Wydanie elektroniczne dostępne na www.ulubionykiosk.pl

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

EP.com.pl

● Międzynarodowy magazyn elektroników konstruktorów ● maj ● 5/2025 ●

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

• Zaawansowany licznik czasu pracy maszyny • Moduł z dwoma przekaźnikami bistabilnymi do Raspberry Pi Pico

podzespoły, sprzęt, aplikacje

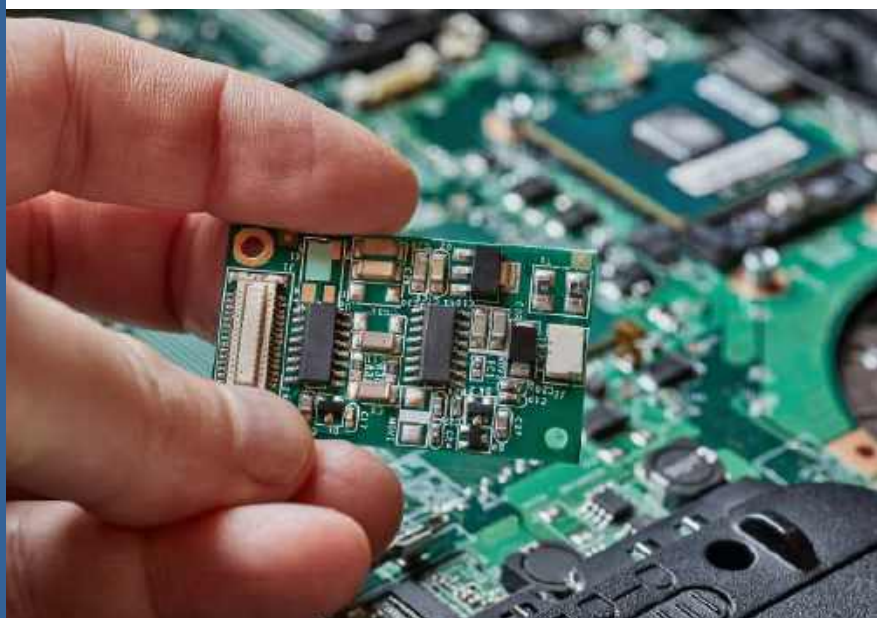
• Rozwiązanie napędowe na niemal każde wymogi. Nowy kontroler ruchu do czterech różnych technologii silników • Projektowanie wspomagane chmurą w środowisku Altium Designer • Technologie i rozwiązania wspierające osoby z niepełnosprawnością • Międzynarodowe Targi Elektroniki Użytkowej w Ptak Warsaw Expo

tutoriale

• Druk 3D w służbie elektroniki • Idealna dioda zabezpieczająca • Internet Rzeczy w pomiarach środowiskowych. Zastosowanie czujnika MQ-7 do pomiaru tlenku węgla (CO) • Pomiary zespołów głośnikowych • Konwersja cyfrowo-analogowa w technice audio

kursy

• Programowanie w środowisku MicroPython. Wstęp • Kurs DSP Audio, czyli SigmaDSP dla każdego. Środowisko SigmaStudio



ISSN 1230-3526 Indeks 357677
9 771230 352252 05
18,90 zł (w tym 8% VAT) • PRICE: 8 EUR

MODUŁY DO PROTOTYPÓW I PRODUKCJI

eprasa.pl 50e19a3eb3

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

Będzie się działo

Elektronika to dziedzina, która z jednej strony wciąż przesuwa granice technologicznych możliwości, z drugiej – nieustannie odbija się od bardzo konkretnych „ścian". I wbrew pozorom wcale nie chodzi o nieuniknione ograniczenia natury fizycznej (wszak fizyki oszukać się nie da i trzeba się z tym pogodzić, o czym każdy praktyk wie zresztą doskonale). Jedną z takich przeszkód, która wydawała się być już daleko za nami, był globalny kryzys półprzewodnikowy z czasów niedawnej pandemii. Po długotrwałym dołku, w którym znaleźliśmy się wszyscy (i to niemal w tym samym momencie), a ostatnie sztuki mikrokontrolerów schodziły wręcz „na pniu", sytuacja uległa na pewien czas znaczącej poprawie. Półki magazynów zdążyły się ponownie zapełnić, ceny układów – ustabilizować. A producenci sprzętu – tak wielcy, jak i ci najmniejsi – odetchnęli z ulgą. I kiedy wielu sądziło, że to już zamknięty rozdział – pojawiły się sygnały, że sytuacja znów może się powtórzyć.

Na horyzoncie majaczy bowiem kolejne zawirowanie w łańcuchach dostaw. Rosnące napięcia geopolityczne, modyfikacje polityki handlowej i zmieniające się realia ekonomiczne sprawiają, że niepewność wraca na salony. Wojny celne, pośrednio i bezpośrednio, mogą znów podciąć skrzydła europejskiemu (i nie tylko) sektorowi elektroniki, który dopiero co zebrał się po covidowych zawirowaniach.

To wszystko dzieje się w czasie, gdy zapotrzebowanie na układy scalone rośnie jak nigdy dotąd – głównie za sprawą powszechnej ekspansji sztucznej inteligencji, rozwoju e-mobilności oraz dalszego wzrostu znaczenia IoT i IIoT. Jeśli popyt przyspiesza, a podaż zaczyna się krztusić, to... dobrze znamy wynik tego równania – i nie jest on korzystny ani dla producentów sprzętu, ani dla konstruktorów. Co to dużo mówić – odbiorcy także na tym stracą, o czym mieliśmy okazję się przekonać próbując kupić nowy komputer lub inny sprzęt codziennego użytku w czasie półprzewodnikowego krachu.

Czy można się przed tym uchronić? Europa próbuje reagować – inicjatywy takie jak European Chips Act oraz inwestycje w lokalne moce produkcyjne, w tym planowana rozbudowa infrastruktury w Polsce, mają za zadanie zwiększyć odporność na podobne wstrząsy. Ale to długofalowe procesy, których efekty zobaczymy dopiero za kilka lat. Wymagane nakłady są ogromne, a na rodzimym gruncie przemysł półprzewodnikowy praktycznie nie istnieje – o ile w czasach PRL mieliśmy pewne możliwości produkcyjne w tym zakresie (choć daleko w tyle za Zachodem albo Japonią), to teraz nie mamy ich prawie wcale. Szacuje się, że w Polsce istnieje obecnie zaledwie około 20 firm, operujących na rynku mikroelektroniki krzemowej. Zdaniem Ministerstwa Cyfryzacji trzeba powiększyć tę wartość 10-krotnie, działając na wszystkich możliwych polach – począwszy od infrastruktury R&D, poprzez rozkręcenie współpracy międzynarodowej, aż po zabezpieczenie niezbędnego zaplecza, chociażby w zakresie wody, energii czy surowców. I jeszcze ludzie – czyli ten najcenniejszy zasób, składający się z wysoko wykwalifikowanych specjalistów, posiadających wiedzę i umiejętności niezbędne do popchnięcia naszego kraju w przyszłość sektora elektronicznego.

Tymczasem inżynierowie muszą znowu zacząć działać w trybie „planu B" – szukać zamienników, upraszczać konstrukcje, skracać czas projektowania i szybciej podejmować decyzje zakupowe. Z pewnością większe znaczenie zyskają lokalni (zarówno polscy, jak i ogólnoeuropejscy) dystrybutorzy oraz producenci komponentów, a także dostawcy usług. Trudno w tym momencie ocenić, w jakim stopniu będą zachodziły kolejne zmiany i jaka będzie ich dynamika, ale sprawne, przemyślane zarządzanie całym cyklem życia produktów (począwszy od wyboru technologii i komponentów, aż po komercjalizację prac rozwojowych) będzie miało z pewnością kluczowe znaczenie dla płynności finansowej i konkurencyjności producentów elektroniki.

Jednym ze sposobów na przyspieszenie cyklu prac nad nowymi produktami może być sprawne żonglowanie dostępnymi na rynku modułami – i to nie tylko tymi radiowymi, choć zapewne większości z nas hasło „moduł" kojarzy się w pierwszej chwili właśnie z niewielką płytką, wyposażoną w transceiver BLE bądź Wi-Fi. W tym numerze „Elektroniki Praktycznej" modułom poświęcamy sporo miejsca – omawiamy ich zalety i wady, a także praktyczne aspekty, które trzeba rozważyć wybierając moduł z (póki co!) szerokiej oferty rynkowej.

Majowy „Temat numeru" został natomiast zdominowany przez obszerny materiał, poświęcony technologiom wspierającym codzienne funkcjonowanie osób niepełnosprawnych. Autor tego przekrojowego opracowania udowadnia, że elektronika pomaga potrzebującym w znacznie większym stopniu, niż mogłoby się wydawać w pierwszej chwili – wspomaga nie tylko uszkodzone lub niedomagające zmysły (zwłaszcza wzrok czy słuch), ale także ułatwia poruszanie się (tak w pomieszczeniach, jak i w otwartym terenie), komunikację z innymi osobami, naukę i pracę. W skrajnych przypadkach implantowalne urządzenia elektroniczne pomagają w leczeniu depresji, utrzymują zaburzony rytm serca w fizjologicznych ryzach, czy umożliwiają terapię lekoopornej padaczki.

A co jeszcze czeka na naszych Czytelników w najnowszym numerze EP? Dla fanów techniki audio przygotowaliśmy obszerny materiał poświęcony teoretycznym podstawom konwersji cyfrowo-analogowej oraz kolejne odcinki kursu audio DSP i cyklu prezentującego zagadnienia pomiarów zespołów głośnikowych. Startujemy także z zapowiadanym wcześniej, całkowicie nowym kursem – tym razem bierzemy na warsztat MicroPythona, który zdobywa coraz szersze rzesze wiernych użytkowników. Autor kursu – Dominik Bieczyński – jest doskonale znany Czytelnikom EP ze sporego cyklu poświęconego programowaniu FPGA, który skończył się zaledwie przed miesiącem. Merytoryczna jakość nowego kursu i jego przystępna forma są zatem więcej niż pewne. W numerze nie zabrakło oczywiście także dwóch projektów, kolejnych odcinków serii dotyczących IoT oraz druku 3D, a także poradnika dotyczącego – tym razem – diod zabezpieczających i ich niestandardowych realizacji układowych.

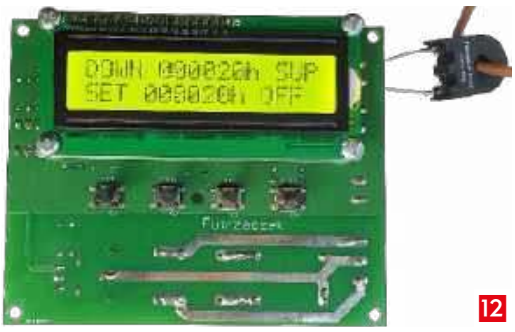
Zapraszam do lektury!

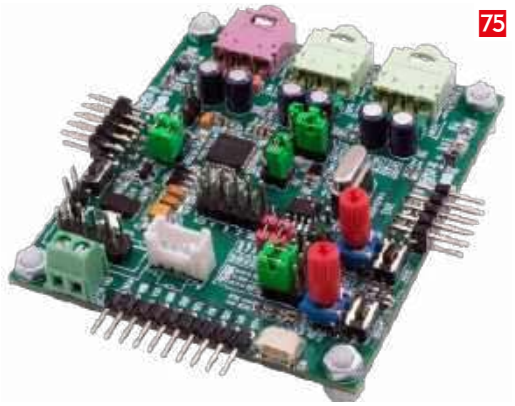
Przemysław Musz

eprasa.pl 50e19a3eb3

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

Nr 5 (388) • Maj 2025





Nie przeocz

Nowe podzespoły 6

Dodaj do obserwowanych 11

Koktajl niusów 84

Projekty

Zaawansowany licznik czasu pracy maszyny 12

Miniprojekty

Moduł z dwoma przekaźnikami bistabilnymi do Raspberry Pi Pico 17

Prezentacje

Rozwiązanie napędowe na niemal każde wymogi.

Nowy kontroler ruchu do czterech różnych technologii silników 19

Międzynarodowe Targi Elektroniki Użytkowej w Ptak Warsaw Expo 20

Projektowanie wspomagane chmurą w środowisku Altium Designer 22

Temat numeru: Elektronika w służbie niepełnosprawnych

Technologie i rozwiązania wspierające osoby z niepełnosprawnością 24

Technologie wokół elektroniki

Druk 3D w służbie elektroniki (7) 38

Notatnik konstruktora

Idealna dioda zabezpieczająca 42

Moduły w aplikacjach

Internet Rzeczy w pomiarach środowiskowych (17).

Zastosowanie czujnika MQ-7 do pomiaru tlenku węgla (CO) 44

Audio bez tajemnic

Pomiary zespołów głośnikowych (3) 48

Konwersja cyfrowo-analogowa w technice audio (1) 53

Elektronika w praktyce

Projektowanie oparte na modułach – o czym warto pamiętać? 61

Kursy

Programowanie w środowisku MicroPython (1). Wstęp 71

Kurs DSP Audio, czyli SigmaDSP dla każdego (2). Środowisko SigmaStudio 75

Prenumerata 2

Od wydawcy 3

Hity następnego numeru 87

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

eprasa.pl 50e19a3eb3

FN-SWM10
Zgrzewarka do ogniw – spawarka punktowa z kolorowym wyświetlaczem i funkcją powerbank FNIRSI SWM10

FN-DPOS-350P
Dwukanałowy oscyloskop 350 MHz, FNIRSI DPOS350P

FN-2C53T
Dwukanałowy oscyloskop z multimetrem i generatorem 50 MHz FNIRSI 2C53T

BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

Mierniki Testery FNIRSI

Rabat dla Czytelników EP
przy zakupie podaj kod **EP2505FN** **–3%**

Rabat dla Prenumeratorów EP
przy zakupie podaj numer prenumeraty **–6%**

FN-LCR-ST1
Miernik pęsetowy, tester elementów FNIRSI LCR-ST1

FN-LCR-P1
Tester elementów FNIRSI LCR-P1

FN-HRM10
Tester rezystancji wewnętrznej akumulatorów FNIRSI HRM-10

FN-G1200
Mikroskop cyfrowy G1200 z wyświetlaczem 7 cali, powiększenie ×1200, tryb foto/video

FN-DWS200-F245
Stacja lutownica 200 W z kolbą F245, FNIRSI DWS200

FN-1014D
Oscyloskop dwukanałowy 100 MHz; Generator sygnału DDS, FNIRSI 1014D

nowe podzespoły

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

Tanie oscylatory i rezonatory SMD w obudowach o rozmiarach już od 1,6×1,2 mm

Vishay informuje o rozszerzeniu oferty miniaturowych rezonatorów i oscylatorów SMD. Do portfolio firmy wchodzi 6 nowych serii rezonatorów i 3 nowe rodziny oscylatorów, zamykanych w obudowach o rozmiarach odpowiednio 1,6×1,2 mm i 2,0×1,6 mm. Są one tańsze nawet o 40% od wcześniejszych odpowiedników, dostępnych w standardowych obudowach 7×5 mm.

Nowe rezonatory pokrywają zakres częstotliwości wyjściowych od 12 do 60 MHz, jest wśród nich także dostępny wariant 32,768 kHz. Docelowy zakres częstotliwości znamionowej rozciąga się w przedziale od 1,0 do 125 MHz, przy stabilności rzędu ±25 ppm (lub lepszej). Dla porównania stabilność rezonatorów i oscylatorów starszego typu wynosiła przeważnie ±50 ppm...±100 ppm.

www.vishay.com

Elektrolityczne kondensatory polimerowe ZV firmy Panasonic w ofercie TTI Europe

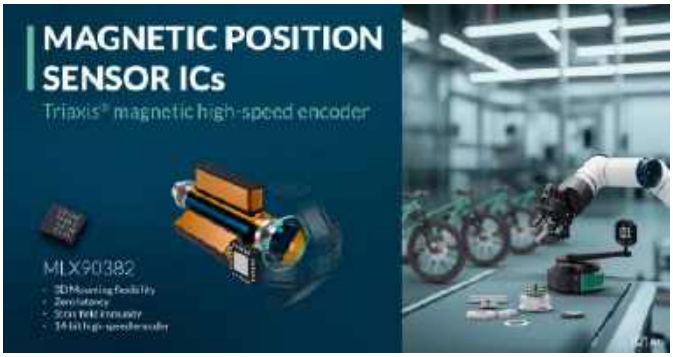
W ofercie TTI Europe są obecnie dostępne elektrolityczne kondensatory polimerowe z serii ZV, produkowane przez firmę Panasonic. Elementy mają kwalifikację AEC-Q200, są zatem przeznaczone do użycia w aplikacjach motoryzacyjnych – wyróżniają się odpornością na duże impulsy prądowe, minimalnym prądem upływu oraz małą i stabilną rezystancją ESR. Poza motoryzacją producent poleca je również do zastosowań m.in. w robotyce i fotowoltaice. W zależności od modelu dopuszczalny prąd rozruchowy kondensatorów z serii ZV wynosi od 3,3 do 4,6 A, czyli przewyższa o około 50% inne, popularne kondensatory o zbliżonych gabarytach. Typowa wartość ESR wynosi 12 mΩ przy napięciu 35 V, co zwiększa sprawność i niezawodność w porównaniu z typowymi odpowiednikami, których rezystancja ESR utrzymuje się zwykle na poziomie 16 mΩ.

Niezawodność kondensatorów z serii ZV producent określa na 4000 godzin nieprzerwanej pracy w temperaturze +135°C. Są one też dostępne w wariantach o zwiększonej wytrzymałości mechanicznej, odpornych na udary do 30 g.

Pozostałe parametry:

- pojemność: 33...330 µF (±20%),
- napięcie znamionowe: od 25 do 63 V,
- zakres temperatury pracy: od –55 do +135°C,
- wymiary: ∅ 8×10 mm i ∅ 10×10 mm.

http://industry.panasonic.eu



Cyfrowy enkoder magnetyczny o dużej elastyczności montażowej i kilku opcjach wyjścia

MLX90382 to bezwzględny enkoder magnetyczny o małych gabarytach i wysokiej odporności na zewnętrzne pola zakłócające, przeznaczony do współpracy z silnikami m.in. w ramionach robotów, zautomatyzowanych maszynach pakujących czy aplikacjach e-mobility. Do najważniejszych zalet układu należą: 14-bitowa rozdzielczość, zerowe opóźnienie oraz możliwość pracy w konfiguracjach on-axis i off-axis.

MLX90382 uzyskał kwalifikację AEC-Q100 (Grade 0). Może być stosowany w systemach o poziomie nienaruszalności bezpieczeństwa do SIL 2. Jego struktura wewnętrzna obejmuje sekcję front-end z zespołem czujników Halla, przetwornik A/C, sekcję cyfrowego przetwarzania sygnału oraz blok sterowników wyjściowych. Dostępne są różne tryby pracy wyjścia (SPI/SSI/PWM, asymetryczny i różnicowy ABI/UVW oraz zsynchronizowany odczyt wielu modułów przez interfejs SPI).

Układ został wyprodukowany w opracowanej przez firmę Melexis technologii Triaxis. Jest wrażliwy na trzy składowe gęstości strumienia magnetycznego (Bx, By i Bz). Umożliwia pomiar prędkości obrotowej w zakresie do 200 tys. rpm. Jest odporny na zewnętrzne pola zakłócające o natężeniu do 4 kA/m, co zapewnia stabilną pracę nawet w trudnych warunkach przemysłowych. Zakres dopuszczalnej temperatury pracy enkodera rozciąga się od –40 do +150°C. MLX90382 występuje w wersjach jednochipowych i dwuchipowych, dostępnych w obudowach odpowiednio QFN-24 i TSSOP-16.

www.melexis.com

6-osiowy moduł IMU do zastosowań w dronach i robotyce

Murata rozszerza rodzinę modułów inercyjnych SCH16T o 6-osiowy model SCH16T-K10. W porównaniu z wcześniejszym odpowiednikiem SCH16T-K01, wprowadzonym na rynek w styczniu 2024, wykazuje on kilkukrotnie szerszy zakres dynamiczny, wynoszący ±26 g.

SCH16T-K10 został zrealizowany w technologii 3D-MEMS ze specjalnie

eprasa.pl 50e19a3eb3

opracowanym układem ASIC obsługującym pomiary i funkcje sterowania. Układ oferuje szerokie zakresy pomiarowe żyroskopu i akcelerometru, wynoszące odpowiednio ±2000 dps i ±16 g, co gwarantuje, że czujnik nie będzie wchodził w nasycenie nawet w dynamicznych warunkach pracy. Ma to znaczenie zwłaszcza w przypadku zastosowań w robotyce czy dronach. Dodatkowymi zaletami są: duża odporność na udary i wibracje (w porównaniu z innymi czujnikami MEMS) oraz wbudowane obwody diagnostyczne.

SCH16T-K10 uzyskał kwalifikację AEC-Q100. Może pracować w szerokim zakresie temperatury roboczej od –40 do +110°C. Jest zamykany w obudowie SOIC-24 o wymiarach 14×12×3 mm.

Pozostałe parametry:

- niestabilność żyroskopu: 4°/h,
- szum żyroskopu: 6 m°/s/$\sqrt{Hz}$,
- zakres napięcia zasilania: 3,0...3,6 V,
- zakres napięcia linii I/O: 1,7...3,6 V,
- interfejs: SafeSPI v2.0 (format 16- lub 20-bitowy).

www.murata.com

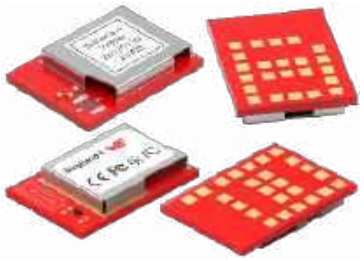
Czujnik prądowy na zakres 250 A z interfejsami CAN i RS-485/MODBUS

Riedon SSD-250A to kolejny czujnik prądowy z oferty firmy Bourns, wyposażony w interfejsy CANbus i RS-485/MODBUS. Został zaprojektowany do pomiaru natężenia prądu w układach napędowych, stacjach ładowania pojazdów oraz systemach gromadzenia energii, oferując zakres pomiarowy 250 A i 24-bitową rozdzielczość. Wewnętrzny mikrokontroler 16-bitowy realizuje algorytm kompensacji temperaturowej i zapewnia korekcję błędów CRC.

Czujnik SSD-250A charakteryzuje się rezystancją wewnętrzną 120 μΩ, dokładnością ±0,1% i pasmem 5 kHz. Pracuje z napięciem zasilania 5 V. Zapewnia izolację galwaniczną do 1500 VDC pomiędzy obwodami sygnałowymi i sekcją wysokoprądową. Jego zakres dopuszczalnej temperatury pracy rozciąga się od –40 do +115°C.

www.bourns.com

Uniwersalne moduły radiowe na pasmo 2,4 GHz



Do oferty firmy Würth Elektronik wchodzą dwa nowe, uniwersalne moduły radiowe na pasmo 2,4 GHz, oparte na 32-bitowym SoC ESP32-C3 z 4 MB pamięci Flash, 400 kB pamięci RAM oraz 15 konfigurowalnymi liniami GPIO. Orthosie-I to model do dowolnej konfiguracji przez użytkownika. Z kolei Stephano-I to model z zainstalowanym oprogramowaniem firmware oraz stosami protokołów TCP/IP, MQTT i HTTP, mogący pracować w trybach stacji i punktu dostępowego oraz obsługujący standardy szyfrowania WPAPSK, WPA2PSK i WPA/WPA2PSK. Zapewnia równoczesną obsługę do trzech połączeń Bluetooth LE. Firma Würth Elektronik oferuje aplikację WE Bluetooth LE Terminal do szybkiego i łatwego testowania komunikacji bezprzewodowej, mogącą też stanowić podstawę do opracowywania własnych aplikacji użytkownika. Jest ona dostępna w wersjach na systemy operacyjne Android i iOS, a kod źródłowy jest dostępny w serwisie GitHub.

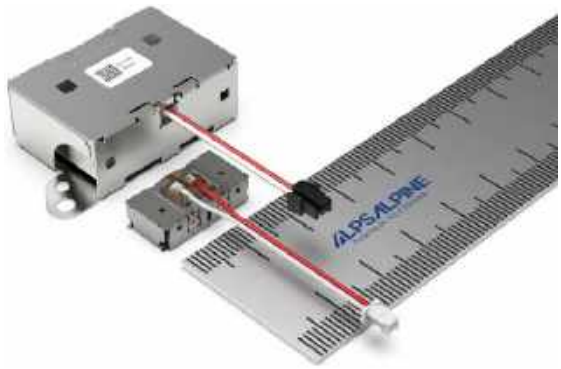
Orthosie-I i Stephano-I są zgodne ze specyfikacjami IEEE 802.11 b/g/n i Bluetooth LE 5.0. Charakteryzują się dużym zasięgiem transmisji, a równocześnie energooszczędną pracą. W trybie

REKLAMA

eprasa.pl 50e19a3eb3

power-off ich pobór prądu zmniejsza się do zaledwie 1 μA. Oba moduły są produkowane w obudowach o wymiarach 13×9,5×2 mm z wbudowaną anteną. Umożliwiają bezprzewodowe aktualizowanie oprogramowania firmware, zaś komunikacja lokalna może się odbywać za pośrednictwem interfejsów UART, SPI i I²C.

www.we-online.com



Moduł haptyczny U-Type o małych gabarytach do zastosowań w motoryzacji

Firma Alps Alpine wprowadza do oferty moduł haptyczny U-Type o małych gabarytach, zaprojektowany do zastosowań w motoryzacji. Jego objętość jest o 90% mniejsza w porównaniu do wcześniejszych modeli, co pozwala na instalację w ciasnych przestrzeniach, m.in. w kierownicy czy konsoli sterowania klimatyzacją. Daje to dodatkowy, bardziej ergonomiczny mechanizm interakcji z kierowcą, poza sprzężeniem akustycznym w tradycyjnych przyciskach.

Moduł U-Type jest zamykany w obudowie o wymiarach 19×10×5 mm z zamocowanym kablem o długości 35 mm i wtykiem Molex 501330-0200. Pracuje z napięciem sterowania 5,5 Vpp. Charakteryzuje się częstotliwością rezonansową 175 Hz, rezystancją terminali 6,5 Ω i zakresem temperatury roboczej od –40 do +85°C, a jego zoptymalizowana konstrukcja mechaniczna i magnetyczna zapewnia dużą siłę wibracji (4,9 Gpp przy masie 100 g), pomimo małych gabarytów.

www.alpsalpine.com

Samochodowy moduł komunikacyjny Wi-Fi 7 do środowisk Apple CarPlay i Android Auto

RUBY-W2 to moduł komunikacyjny Wi-Fi 7 + Bluetooth 5.4, zaprojektowany do samochodowych systemów telematyki i aplikacji informacyjno-rozrywkowych. Może być zastosowany m.in. do łączności bezprzewodowej (Apple CarPlay, Android Auto) między smartfonem i wyświetlaczami w pojeździe, umożliwiając szybkie przesyłanie strumieni danych do wielu klientów. Wspiera rozszerzenie Bluetooth LE Audio do transmisji wysokiej jakości dźwięku przy minimalnym poborze mocy.

RUBY-W2 zapewnia szybkość transmisji do 5,8 Gbps w technologii IEEE 802.11 be i trybie HBS (High Band Simultaneous) 5/6 GHz. Może pracować jako punkt dostępowy bądź stacja, a także w połączeniach P2P lub ich kombinacjach. Umożliwia bezprzewodową aktualizację oprogramowania firmware (tryb FOTA). Występuje w dwóch wariantach MLO (Multi-link operation), różniących się rodzajem zastosowanego chipsetu:

- Dual Band Simultaneous (DBS) Wi-Fi 7 (ozn. RUBY-W273, chipset QCA6787AQ),
- High Band Simultaneous (HBS) Wi-Fi 7 (ozn. RUBY-W295, chipset QCA6797AQ).

www.u-blox.com

3-osiowy, 16-bitowy czujnik przyspieszenia o małym poborze prądu i niskich szumach

ADXL382 to energooszczędny, 3-osiowy czujnik przyspieszenia, zrealizowany w technologii MEMS i mogący znaleźć zastosowanie w aparaturze pomiarowej oraz medycznej, systemach utrzymania predykcyjnego czy też w urządzeniach konsumenckich, np. słuchawkach TWS. Charakteryzuje się 16-bitową rozdzielczością i bardzo małą gęstością szumu, wynoszącą 44 μg/$\sqrt{\text{Hz}}$ w osiach X i Y oraz 55 μg/$\sqrt{\text{Hz}}$ w osi Z. Jego pobór prądu, wynoszący 520 μA podczas normalnej pracy, może zostać zredukowany do zaledwie 33 μA w trybie oszczędnościowym.

Dzięki bardzo małym szumom ADXL382 wymaga jedynie minimalnej kalibracji w aplikacjach o dużej precyzji, np. podczas rejestrowania dźwięków audio lub uderzeń serca w obecności wibracji. Zawiera interfejs SPI/I²C oraz port audio, mogący pracować w trybach PDM/I²S/TDM. Oferuje funkcje systemowe pozwalające na zredukowanie poboru mocy, w tym wykrywanie aktywności/nieaktywności czy też detekcję pojedynczego, podwójnego i potrójnego stuknięcia palcem. Do standardowego wyposażenia należy też czujnik temperatury oraz funkcja autotestu elektromechanicznego.

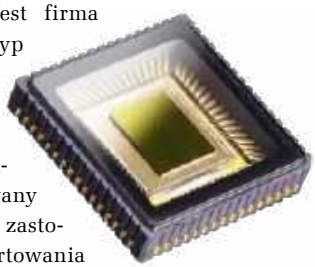
Pozostałe cechy:

- pasmo: 8 kHz,
- zafalowania charakterystyki: <0,5 dB (po korekcji),
- opóźnienie grupowe: <85 μs,
- programowalne filtry LPF i HPF,
- próbkowanie synchroniczne lub asynchroniczne,
- pamięć FIFO o pojemności 320 słów,
- konfigurowalne tryby przerwania.

ADXL382 pracuje z napięciem zasilania z zakresu od 2,25 do 3,6 V. Układ jest produkowany w obudowie LGA o wymiarach 2,9×2,8×0,87 mm. Jego zakres dopuszczalnej temperatury pracy rozciąga się od –40 do +125°C.

www.analog.com

Czujnik podczerwieni SWIR VGA do przemysłowych systemów wizyjnych



Na targach SPIE Photonics West firma Lynred zaprezentowała nowy typ czujnika podczerwieni do przemysłowych systemów wizyjnych. Eyesential SW to sensor SWIR (shortwave infrared) na zakres długości fali 0,9...1,7 μm, zrealizowany w procesie InGaAs. Może znaleźć zastosowanie np. w recyklingu (do sortowania różnych rodzajów tworzyw sztucznych z dużą prędkością), a także w laboratoriach badawczych. Charakteryzuje się rozdzielczością 640×512 pikseli, średnicą piksela 10 μm i czasem ekspozycji powyżej 1 μs. Zawiera wyjście cyfrowe o 14-bitowej rozdzielczości.

Eyesential SW stanowi uzupełnienie wcześniejszej wersji Snake SW (640×512/15 μm) do systemów high-endowych oraz

eprasa.pl 50e19a3eb3

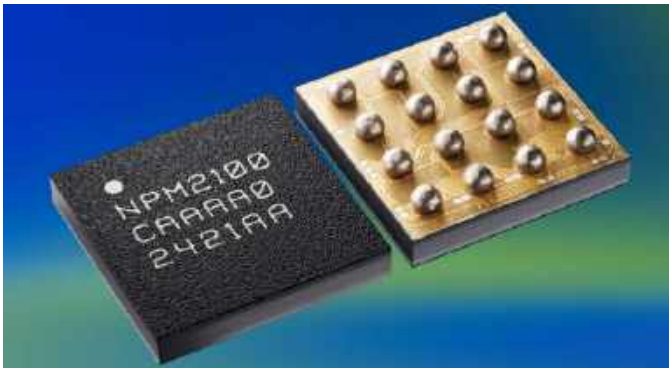
modułów NIT SWIR. Oferuje tryby pracy o częstotliwości próbkowania 300 Hz i 1200 Hz (320×256). Jest czujnikiem o połowę tańszym od dostępnych na rynku odpowiedników o porównywalnych parametrach. Firma Lynred oferuje nową matrycę w obudowie typu LCC-64 ze szkłem borosilikatowym. Układ może pracować w temperaturze otoczenia od –20 do +60°C.

www.lynred.com

Wieloobrotowe, szczelne trymery SMD do pracy w trudnych warunkach środowiskowych

Do oferty komponentów elektromechanicznych firmy Vishay wchodzą wieloobrotowe trymery SMD z serii TSM3, przeznaczone do pracy w trudnych warunkach środowiskowych i szerokim zakresie temperatury otoczenia od –65 do +150°C. Są zamykane w obudowach SMD o wymiarach 4×4×3 mm, z pokrętłem regulacyjnym umieszczonym z boku lub z góry szczelnej obudowy (stopień ochrony IP67). W ramach serii TSM3 dostępne są modele o rezystancji od 10 Ω do 2 MΩ i mocy znamionowej 0,125 mW @ +70°C. Ich zakres zastosowań obejmuje m.in. robotykę, elektronarzędzia, detektory dymu, systemy spawalnicze i układy chłodzenia.

www.vishay.com



Układ PMIC do baterii nieładowalnych

nPM2100 to układ zarządzania zasilaniem (PMIC), mogący znaleźć zastosowanie m.in. w bezprzewodowych myszach i klawiaturach, pilotach zdalnego sterowania i urządzeniach medycznych noszonych na ciele użytkownika. Dzięki energooszczędnym obwodom wewnętrznym i precyzyjnemu algorytmowi pomiarowemu, bazującemu na pomiarze napięcia i temperatury, układ pozwala do maksimum wykorzystać energię zgromadzoną w bateriach nieładowalnych. Oferuje szeroki zakres napięcia wejściowego od 0,7 do 3,4 V, co umożliwia współpracę m.in. z połączonymi szeregowo bateriami AA/AAA/LRxx lub z pojedynczym, 3-woltowym ogniwem LiMnO2.

Struktura układu obejmuje 150-miliamperową przetwornicę DC-DC typu boost o dużej sprawności energetycznej, umożliwiającą pracę z napięciem wyjściowym z zakresu od 1,8 do 3,3 V, 50-miliamperowy regulator LDO/przełącznik zasilania o napięciu wyjściowym 0,8...3,0 V, interfejs cyfrowy TWI (zgodny ze SPI) oraz 2 linie GPIO. Regulator boost charakteryzuje się rekordowo małym prądem spoczynkowym, wynoszącym zaledwie 150 nA. Układ zapewnia sprawność do 95% @ 50 mA i do 90,5% @ 10 µA, co redukuje do minimum straty mocy.

nPM2100 oferuje tryb ship, w którym pobór prądu spada do zaledwie 35 nA, co eliminuje konieczność stosowania plastikowej blokady, zapobiegającej rozładowywaniu baterii w nowo wyprodukowanych urządzeniach podczas ich składowania i transportu. Dodatkowy tryb hibernate o poborze prądu 200 nA z okresowym wybudzaniem przeznaczony jest do aplikacji spędzających większość czasu w stanie głębokiego uśpienia. Sytuacja taka występuje m.in. w aplikacjach Bluetooth z trybem advertising. Tryb hibernate pozwala nawet 3-krotnie wydłużyć żywotność baterii w porównaniu z okresowym wybudzaniem realizowanym przez układ SoC lub mikrokontroler.

nPM2100 jest dostępny w dwóch wariantach obudów: WLCSP (1,9×1,9 mm) i QFN16 (4×4 mm).

www.nordicsemi.com

2-chipowy, 9-osiowy system nawigacyjny PositionSense do urządzeń konsumenckich

TDK InvenSense prezentuje nowy, 9-osiowy system nawigacyjny PositionSense do pomiaru bezwzględnej orientacji przestrzennej,

REKLAMA

HAMMOND®

1591 Obudowy ABS ognioodporne

Dowiedz się więcej:
hammondmfg.com/1591

eusales@hammfg.com • + 44 1256 812812

eprasa.pl 50e19a3eb3

mogący znaleźć zastosowanie m.in. w dronach, robotyce, smartfonach, słuchawkach i innych urządzeniach konsumenckich. Został oparty na dwóch energooszczędnych układach scalonych własnej produkcji: 6-osiowej jednostce inercyjnej IMU SmartMotion, zrealizowanej w technologii MEMS oraz 3-osiowym magnetometrze o dużej czułości i dokładności, odpornym na chwilowe, silne pola magnetyczne. PositionSense może być łatwo integrowany z oprogramowaniem PDR (pedestrian dead reckoning) firmy TDK, co umożliwia realizowanie takich aplikacji, jak wirtualne ogrodzenia (geofencing) oraz implementowanie funkcji oszczędzania energii, np. GNSS Duty Cycling w systemach nawigacyjnych.

www.invensense.tdk.com

Najmniejszy na rynku układ eSIM do urządzeń mobilnych

OPTIGA Connect Consumer OC1230 to najmniejszy na rynku układ eSIM, wyprodukowany w technologii 28 nm i oparty na 32-bitowej architekturze ARM v8, pozwalający ograniczyć nawet o połowę pobór mocy w porównaniu z dostępnymi na rynku odpowiednikami. Jest zamykany w dwóch typach obudów: X2QFN20 (3,0×3,0×0,3 mm) oraz WLCSP o wymiarach 1,8×1,6×0,4 mm, której powierzchnia jest 37-krotnie mniejsza od powierzchni karty Nano SIM. Układ może pracować w temperaturze otoczenia od –25 do +85°C.

Nowy eSIM nadaje się do zastosowań we wszelkiego typu urządzeniach mobilnych z funkcją transmisji danych przez sieć 5G, w tym w smartfonach, tabletach i smartwatchach, zapewniając globalną interoperacyjność z serwisami eSIM. Zawiera interfejsy ISO 7816 i SPI oraz dużą, wewnętrzną pamięć nieulotną o pojemności 1 MB, umożliwiającą przechowywanie wielu profili operatorów sieci wraz z dodatkowymi danymi aplikacji i użytkowników. Obsługuje standardy kryptografii asymetrycznej RSA (do 2048 bitów), ECC (do 521 bitów), NIST P-256, Brainpool256r1 i FRP256V1 oraz standardy kryptografii symetrycznej AES (do 256 bitów) i DES.

www.infineon.com

Niskoszumowy zegar atomowy SMD o grubości <12,7 mm

SA65-LN to niskoszumowy chipowy zegar atomowy (CSAC) firmy Microchip, produkowany w niskoprofilowej obudowie SMD o grubości <12,7 mm, umożliwiającej montaż w modułach VPX. Jest on przeznaczony do zastosowań głównie w instalacjach lotniczych i militarnych (w których tradycyjne zegary są zbyt duże i pobierają zbyt dużą moc) oraz wszędzie tam, gdzie systemy pomiaru czasu oparte na danych z satelitów nie mogą być stosowane ze względów bezpieczeństwa.

SA65-LN pobiera mniej niż 295 mW mocy. Łączy zalety oscylatora (dużą czystość widmową) i zegara atomowego (wysoką dokładność i stabilność). Charakteryzuje się szumami fazowymi poniżej –120 dBc/Hz przy offsecie 10 Hz. Jego dryft długoterminowy nie przekracza 0,9 ppb/miesiąc. Moduł występuje w dwóch wersjach, różniących się zakresem dopuszczalnej temperatury pracy i stabilnością:

- 090-04018-001 (–10...+70°C, $\pm 5\times10^{-10}$),
- 090-04018-002 (–40...+80°C, $\pm 3\times10^{-10}$).

Do prowadzenia prac projektowych z użyciem zegara SA65-LN firma Microchip oferuje narzędzie programowe Clockstudio, interfejs GUI i zestaw LN-CSAC Developer Kit.

www.microchip.com

REKLAMA

eprasa.pl 50e19a3eb3

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.

Konsola z prostymi grami w formie breloczka do kluczy

Projekt GameLight to kompaktowa konsola do gier o rozmiarach breloka, wyposażona w wyświetlacz LED i zaprojektowana z naciskiem na oszczędność miejsca oraz kosztów. Składa się z niewielkiej liczby komponentów, które umożliwiają funkcję ładowania bez dodatkowego regulatora napięcia – mikroprocesor samodzielnie zarządza procesem ładowaniem i monitoruje stan akumulatora. Konsola bazuje na procesorze ATtiny402, choć – zdaniem autora projektu – kod powinien też działać na układach 400 i 401.

Dzięki niestandardowej aplikacji interfejsu UPDI programowanie przez port USB jest łatwe i szybkie. Konsola ma funkcję uśpienia oraz zabezpieczenie akumulatora przed nadmiernym rozładowaniem, zaś zintegrowany watchdog co cztery sekundy sprawdza stan baterii. Ograniczeniem projektu jest niewielka pamięć Flash (4 kB), dlatego autor rozważa użycie mikrokontrolera wyposażonego w większą pamięć programu.

Projekt cały czas jest rozwijany, więc można spodziewać się dalszych usprawnień w zakresie rozmiaru pamięci, a także kompatybilności. Obecnie na GitHubie dostępne są trzy gry do pobrania i zainstalowania na breloczkowej konsoli.

https://github.com/LED-BOY/Ledboy-Adventures
https://github.com/LED-BOY/Space-Ivaders-Light
https://github.com/LED-BOY/Ledboy-caves
https://tiny.pl/n4hm_rxq

Bezprzewodowy monitor otwarcia drzwi

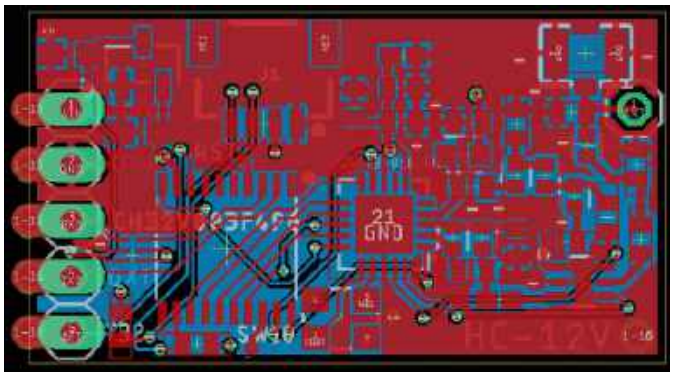
Prezentowany projekt to rozbudowany system monitorowania ruchu w drzwiach pokoju, opracowany z myślą o wsparciu opieki nad osobami z demencją, przebywającymi w domu opieki. System składa się z jednostki głównej umieszczonej przy biurku pielęgniarek i zawierającej zegar czasu rzeczywistego, moduł rejestracji danych na karcie SD, wyświetlacz oraz przyciski do konfiguracji.

Czujniki ruchu typu PIR zamontowane zostały na suficie. Rejestrują one ruch i przesyłają dane przez moduły nRF24 do jednostki głównej, umożliwiając tym samym monitorowanie aktywności seniorów. Przenośne odbiorniki z wyświetlaczami i alarmami ułatwiają pielęgniarkom śledzenie zdarzeń także poza biurkiem.

Początkowo planowano użycie magnetycznych czujników kontaktronowych do monitorowania otwierania drzwi i połączenie z nimi zasilanych bateryjnie modułów Arduino (z procesorem ATmega328) z radiem nRF24 przy każdym wejściu. Prace postępowały w tym kierunku, zaprojektowano nawet pierwszą wersję płytki PCB – po czasie okazało się jednak, że nad każdym wejściem znajduje się już dyskretny czujnik ruchu, który jednak nie uruchamiał alarmu,

jeśli lokator pokoju pozostawał w łóżku. Kluczowe zalety zastosowania czujnika PIR zamontowanego na suficie obejmują: brak konieczności używania baterii, uproszczenie infrastruktury systemu oraz mniejszą liczbę komponentów, a także możliwość wykrywania ruchu bez powiązania ze zdarzeniami otwierania czy zamykania drzwi.

https://hackaday.io/project/191066-dsu-bedroom-door-monitor



Mostek 433 MHz z rdzeniem RISC-V i interfejsem szeregowym oparty na module HC-12

Projekt umożliwia komunikację bezprzewodową między urządzeniami za pomocą mostu szeregowego, działającego na platformie RISC-V i korzystającego z modułu HC-12 do transmisji na częstotliwości 433 MHz. System opiera się na mikrokontrolerze RISC-V i jest zoptymalizowany do przesyłania danych na duże odległości przy minimalnym poborze mocy, co czyni go praktycznym rozwiązaniem do prostych, energooszczędnych sieci IoT.

https://tiny.pl/cpvk2

eprasa.pl 50e19a3eb3

AVT sklep

W ofercie AVT*
AVT6076

Najważniejsze parametry:
- pomiar czasu w przedziale 0...999 999 godzin,
- możliwość zliczania w górę lub w dół, od zadanej wartości do zera,
- zadawanie wartości progowej, po której następuje załączenie przekaźnika,
- możliwość wyboru rodzaju bodźca uaktywniającego odmierzanie: załączenie zasilania układu lub wykrycie poboru prądu przemiennego o dostatecznie wysokim natężeniu,
- możliwość regulacji progu detekcji prądu,
- nastawy przechowywane w nieulotnej pamięci EEPROM,
- zewnętrzne wejście zerujące + przycisk monostabilny na płytce,
- dwa wyjścia (NO i NC) przekaźnika o obciążalności do 8 A,
- alfanumeryczny wyświetlacz LCD o organizacji 2 wiersze po 16 kolumn,
- zasilanie napięciem stałym 12 V (lub 24 V po modyfikacji).

Projekty pokrewne na stronie www.ep.com.pl
(aktywne linki do artykułów):
- Licznik uniwersalny
- Licznik błysków, czyli tworzenie unikatowych fotografii
- Licznik czasu z czujnikiem odbiciowym
- Licznik czasu pracy z wyświetlaczem LCD
- Zaawansowany licznik impulsów
- Progowy licznik impulsów
- Licznik czasu pracy 8 w 1
- Programowany licznik zdarzeń
- Licznik czasu pracy
- Licznik czasu pracy wyzwalany za pomocą przepływu prądu

* **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**.

Zaawansowany licznik czasu pracy maszyny

Prezentowany układ mierzy czas, ale potrafi robić to w różny sposób: do góry, do dołu, po załączeniu zasilania lub po wykryciu przepływu prądu. Po co? Żeby na bieżąco monitorować, ile czasu pracuje dane urządzenie. W dodatku może je nawet zatrzymać, jeżeli limit czasu pracy od ostatniego serwisu zostanie już wyczerpany.

– Panie majster, ta tokarka coś rzęzić zaczyna, kiedy ona była w serwisie?

– Y, 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 całe mnóstwo 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 dzisiaj podzespoły. Ba, przedstawiony w tym artykule układ jest na tyle zaawansowany, że potrafi nawet zatrzymać dalszą pracę maszyny po upływie określonego czasu, jeżeli taka potrzeba by zachodziła.

Budowa

Schemat ideowy omawianego układu znajduje się na **rysunku 1**. Do pomiaru czasu i obsługi wyświetlacza służy mikrokontroler US2 typu ATmega8A. Ten popularny model procesora pozostaje w ciągłej produkcji, ponadto ma wystarczające peryferia do realizacji tego zadania. Jego rdzeń jest taktowany sygnałem o częstotliwości 4 MHz, dla którego wzorcem jest rezonator kwarcowy Q1. Wbudowany w mikrokontroler generator wzbudza drgania kryształu kwarcu, przez co układ może odmierzać czas z dużą dokładnością, co jest jego głównym zadaniem. Kondensatory 15 pF ułatwiają wzbudzenie oscylacji Q1. Nieopodal jego wyprowadzeń zasilania znajdują się cztery kondensatory, które filtrują napięcie zasilające z tętnień o szerokim widmie częstotliwościowym. Ich źródłem mogą być zarówno tranzystory wchodzące w skład struktury US2, jak i okoliczne elementy.

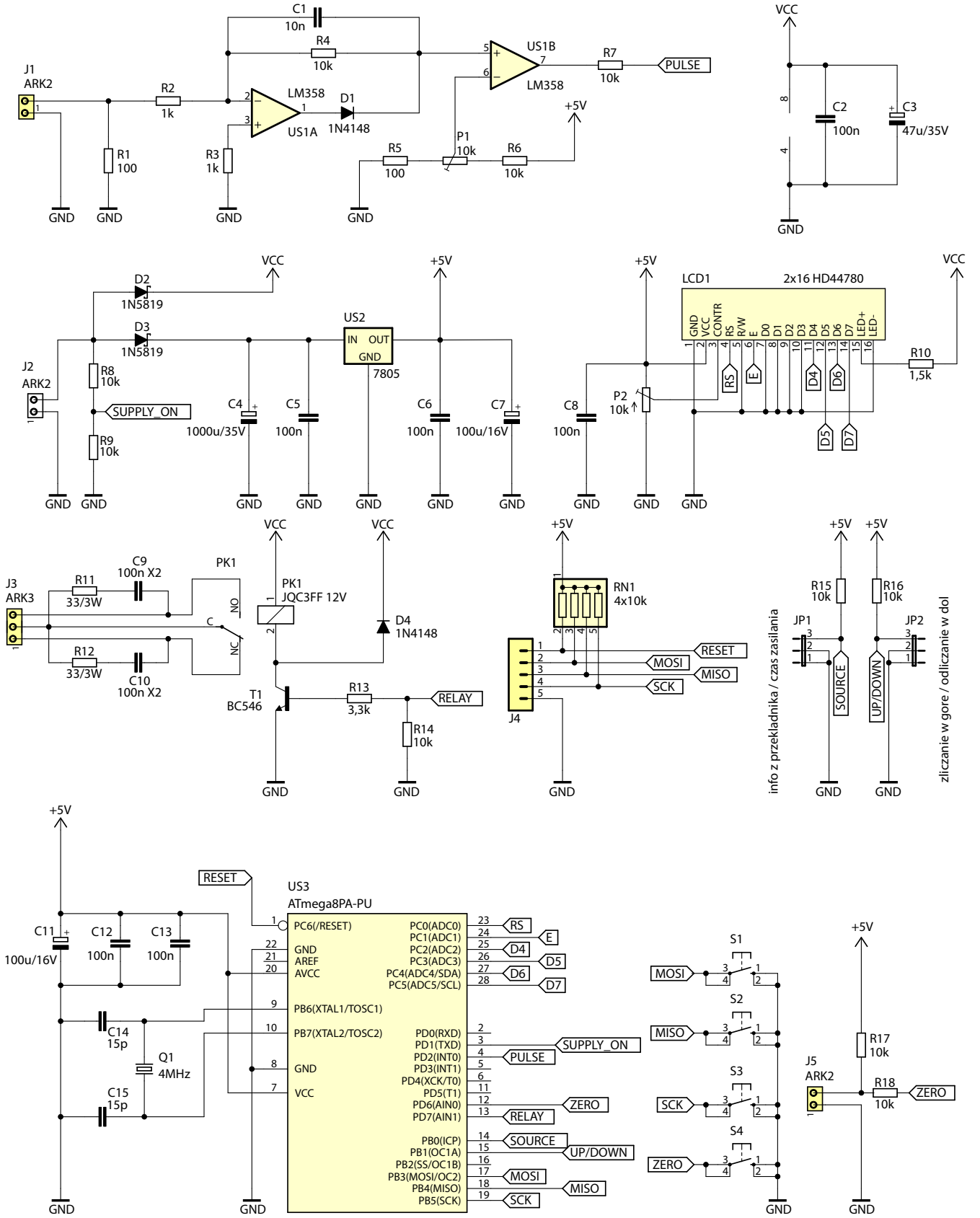
Aby móc wygodnie zadawać żądane wartości, w układzie znalazły się trzy przyciski monostabilne S1…S3. Wewnętrzne rezystory podciągające, które udostępnia mikrokontroler, zostały zrównoleglone dodatkowymi, znajdującymi się w strukturze drabinki RN1, co zwiększa odporność na zakłócenia. Do zaprogramowania pamięci Flash służy złącze J4, na które wyprowadzono sygnały interfejsu ISP, znanego z układów z rodziny AVR. Rezystory z drabinki RN1 ustalają ich potencjał względem masy, zapewniając tym samym możliwość rozładowania wyprowadzeń złącza J4 z nagromadzonych ładunków elektrostatycznych. Na płytce są również dwie zworki, JP1 i JP2, umożliwiające ręczny wybór trybu pracy, o czym dalej.

W prosty sposób zostało zabezpieczone wejście zerujące, którego zaciski znajdują się w złączu J5. Rezystor R18 zapewnia ograniczenie prądu diod zabezpieczających wejście mikrokontrolera, ponieważ w przewodach łączących płytkę z przyciskiem mogą indukować się zakłócenia. Rezystor R17 ustala napięcie między rozwartymi stykami odpowiadające wysokiemu stanowi logicznemu. Tę samą funkcję co styk

eprasa.pl 50e19a3eb3

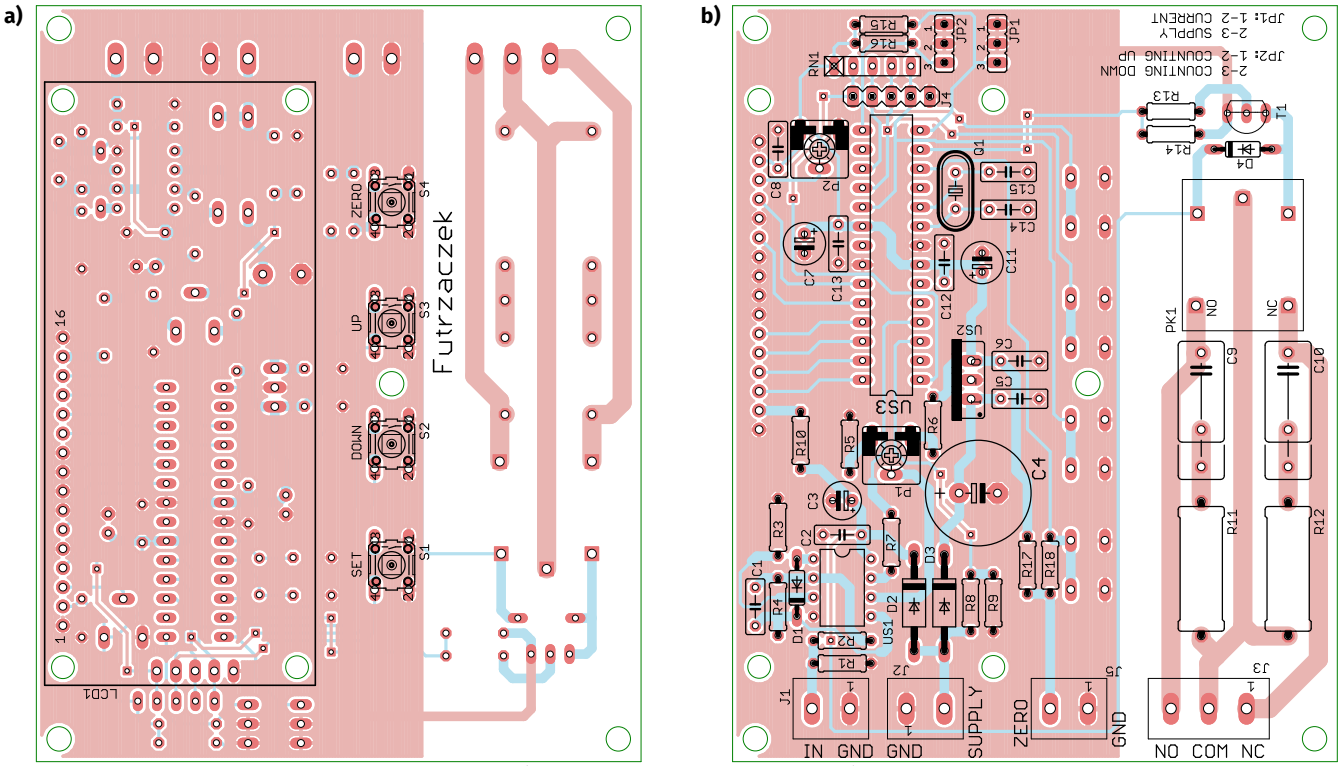
zewnętrzny, spełnia również przycisk S4 znajdujący się na płytce – nie trzeba zatem koniecznie podłączać oddzielnego przycisku do zerowania.

Detekcja prądu pobieranego przez nadzorowane urządzenie jest realizowana przez przekładnik prądowy, podłączony do zacisków złącza J1. Zapewnia on bardzo dobrą izolację galwaniczną między układem a mierzonym obwodem. Generowany w jego uzwojeniu prąd odkłada na rezystorze R1 napięcie, które jest prostowane jednopołówkowo przez prosty układ zawierający wzmacniacz operacyjny US1A. Wzmocnienie tego prostownika wynosi –10 V/V dla połówek ujemnych oraz +1 V/V dla połówek dodatnich (ponieważ następuje zatykanie diody D1), więc tylko połówki ujemne grają tutaj główną rolę. Układ mógłby działać bez diody D1, lecz stanowi ona bardzo proste rozwiązanie



Rysunek 1. Schemat ideowy układu licznika czasu pracy

eprasa.pl 50e19a3eb3



Rysunek 2. Schemat montażowy i wzór ścieżek płytki (a – strona Top, b – strona Bottom)

problemu niezerowego napięcia wyjściowego wzmacniacza operacyjnego – po prostu musi ono wzrosnąć do około 600 mV, aby dioda zaczęła przewodzić, co będzie miało przełożenie na dalszą część układu. W przeciwnym wypadku, kiedy wyjście wzmacniacza operacyjnego próbuje osiągnąć potencjał możliwie bliski potencjałowi masy (w praktyce 20…30 mV), dioda pozostaje zatkana, a potencjał jej katody wynosi 0 V. Kondensator C1 zawęża pasmo przenoszenia prostownika aktywnego, przez co układ jest mniej wrażliwy na zakłócenia wywoływane przez impulsy pochodzące chociażby od iskrzących styków lub przetwornic impulsowych.

Tak uzyskany unipolarny sygnał napięciowy trafia na prosty komparator, którego funkcję pełni drugi wzmacniacz operacyjny US1B, znajdujący się w tej samej strukturze co US1A. Porównuje on wartość chwilową sygnału z wyjścia prostownika z napięciem stałym, ustalonym przez położenie ślizgacza potencjometru P1. Z uwagi na występujący offset napięciowy wzmacniacza operacyjnego zastosowano rezystor R5, który pozwala na ustawienie minimalnego napięcia wynoszącego około 25 mV. Odpowiada ono minimalnej wartości szczytowej sygnału, która spowoduje zadziałanie odmierzania czasu. Z kolei zbyt wysoka regulacja „w górę" zakresu byłaby po prostu niewygodna i dlatego zastosowano ograniczenie w postaci rezystora R6. Przy użytych wartościach elementów (jak na schemacie) przekłada się to na ustalenie progu zadziałania układu w przedziale od 0,24 A do 24 A wartości skutecznej pobieranego przez układ prądu, przy założeniu kształtu czysto sinusoidalnego. Możliwość regulacji progu zadziałania jest wygodna w sytuacji, kiedy nadzorowane urządzenie pobiera niewielki prąd w stanie spoczynku, niezaliczającym się do jego czasu pracy. Impulsy generowane przez komparator pobudzają wejście mikrokontrolera, a dopasowaniem potencjałów zajmuje się rezystor R7, na którym odkłada się nadmiar napięcia – płynący przez niego prąd jest odprowadzany do dodatniej linii zasilającej 5 V.

Napięcie zasilające układ należy podłączyć do zacisków złącza J2. Jego obecność jest wykrywana przez mikrokontroler poprzez detekcję wysokiego stanu logicznego na linii SUPPLY_ON. Diody D2 i D3 zapobiegają zasilaniu rezystorów R8 i R9 (tworzących dzielnik napięciowy) z kondensatorów elektrolitycznych w układzie, ponadto odcinają one przepływ prądu w przypadku pomylenia polaryzacji zasilania. Dioda D3 doładowuje kondensator elektrolityczny C4, którego pojemność jest relatywnie wysoka; zgromadzona w nim energia pozwoli układowi dokonać zapisu do nieulotnej pamięci EEPROM. Stabilizator liniowy typu 7805 dostarcza napięcie 5 V do układów cyfrowych. Moc strat na nim jest na tyle niska, że nie ma potrzeby stosowania przetwornicy impulsowej – jego metalowa wkładka wystarcza do odprowadzania ciepła. Z kolei drugi obwód, nieistotny po zaniku zasilania, jest zasilany poprzez diodę D2. Dostarcza ona prąd do podświetlenia wyświetlacza LCD1, wzmacniacza operacyjnego i cewki przekaźnika elektromagnetycznego PK1, które są nieużywane po zaniku napięcia zasilającego. Dlatego gałąź ta została oddzielona, aby nie obciążała niepotrzebnie kondensatora C4.

Użytkownik widzi informacje podawane przez układ na alfanumerycznym wyświetlaczu LCD1, który zawiera sterownik typu HD44780 (lub kompatybilny) o dwóch wierszach po szesnaście znaków. Potencjometrem P2 można ustawić kontrast wyświetlacza. Rezystor R10 pozwala na zasilanie jego podświetlenia niestabilizowanym napięciem wejściowym, nie obciążając tym samym stabilizatora US3 i kondensatora C4.

Wyjściem układu są zaciski złącza J3, do którego zostały doprowadzone wyprowadzenia styków normalnie otwartych (NO) oraz normalnie zamkniętych (NC) przekaźnika PK1. Rezystor 33 Ω i kondensator 100 nF (z dielektrykiem typu X2) tworzą prosty układ pochłaniający energię wydzielaną w momencie przełączania styków przekaźnika, kiedy może dochodzić do ich iskrzenia. Zmniejsza to ryzyko wystąpienia błędu w funkcjonowaniu układu, ponieważ redukcji ulega poziom emitowanych zakłóceń elektromagnetycznych. Zabezpieczone są w ten sposób zarówno styki NO, jak i NC.

Montaż i uruchomienie

Układ został zmontowany na dwustronnej płytce drukowanej o wymiarach 100 mm × 80 mm. Jej wzór ścieżek oraz schemat montażowy pokazano na **rysunku 2**. W odległości 3 mm od krawędzi płytki znalazły się cztery otwory montażowe, każdy o średnicy 3,2 mm. Dodatkowo, aby płytka nie uginała się podczas naciskania

eprasa.pl 50e19a3eb3

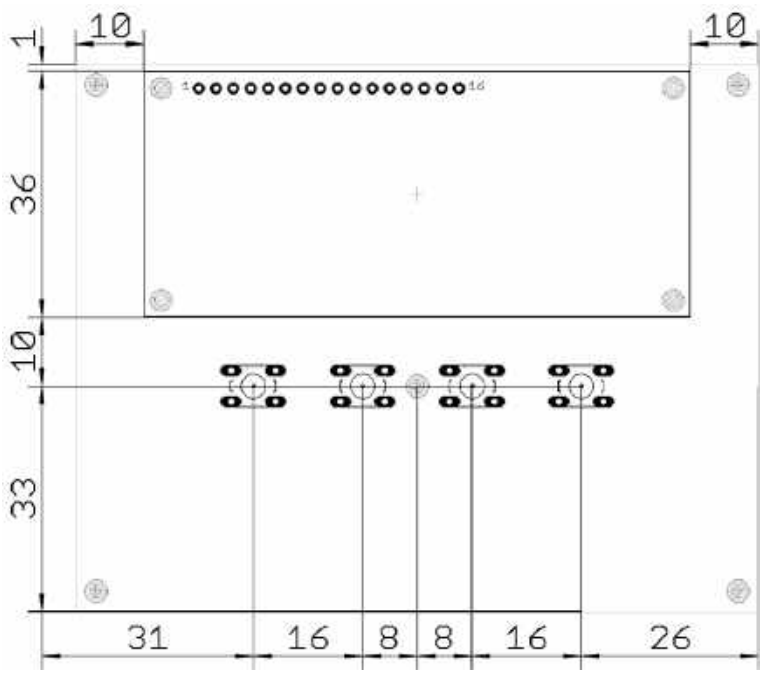
Wykaz elementów:

Rezystory: (THT o mocy 0,25 W, jeżeli nie podano inaczej)
R1, R5: 100 Ω
R2, R3: 1 kΩ
R4, R6...R9, R14...R18: 10 kΩ
R10: 1,5 kΩ (opis w tekście)
R11, R12: 33 Ω 3 W
R13: 3,3 kΩ
RN1: 4×10 kΩ SIL5
P1, P2: 10 kΩ montażowy leżący jednoobrotowy

Kondensatory:
C1: 10 nF raster 5 mm MKT
C2, C5, C6, C8, C12, C13: 100 nF raster 5 mm MKT
C3: 47 µF 35 V raster 2,5 mm
C4: 1000 µF 35 V raster 5 mm
C7, C11: 100 µF 16 V raster 2,5 mm
C9, C10: 100 nF MKP X2 305 V AC raster 15 mm
C14, C15: 15 pF monolityczny raster 5 mm

Półprzewodniki:
D1, D4: 1N4148
D2, D3: 1N5819
LCD1: 2×16, zgodny z HD44780 np. LCD2×16 15
T1: BC546
US1: LM358 (DIP8)
US2: 7805 (TO220)
US3: ATmega8A-PU (DIP28)

Pozostałe:
J1, J2, J5: ARK2/500
J3: ARK3/500
J4: goldpin 5 pin męski 2,54 mm THT
JP1, JP2: goldpin 3 pin męski 2,54 mm THT + zworka
PK1: JQC3FF/121ZS (opis w tekście)
Q1: 4 MHz niski
S1...S4: microswich 6×6 mm, H=13,5 mm
Jedna podstawka DIP28 wąska
Jedna podstawka DIP8
Złącze męskie i żeńskie goldpin 1×16 pin 2,54 mm
Cztery tuleje dystansowe, gwint wewnętrzny M3
12 mm poliamid
Osiem śrub M3 6 mm
Przekładnik prądowy TALEMA ASM-010



Rysunek 3. Rozmieszczenie przycisków, wyświetlacza LCD i otworu montażowego na płytce drukowanej

przycisków, w pobliżu środka płytki umieszczono piąty otwór.

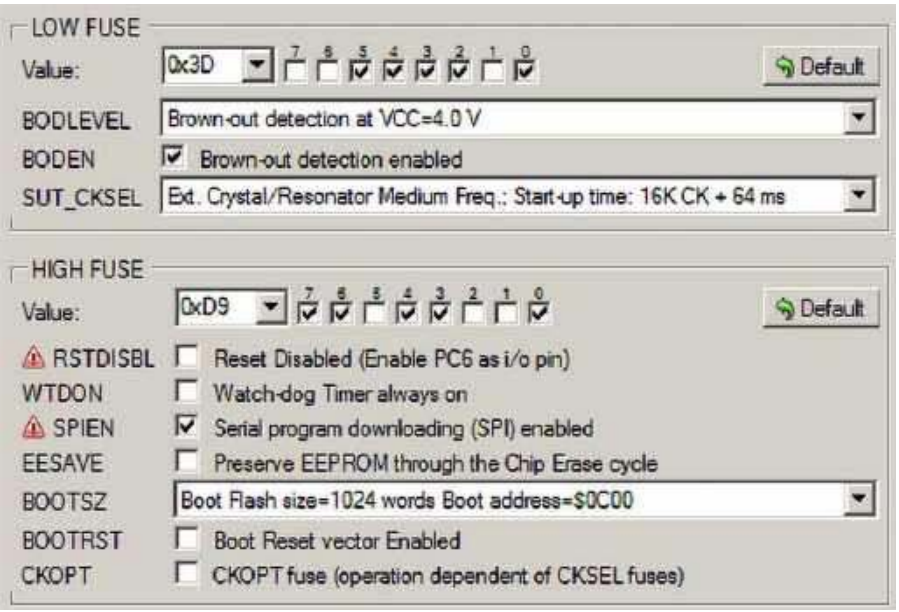
Montaż proponuję rozpocząć od elementów o najmniejszej wysokości obudowy, czyli rezystorów i diod półprzewodnikowych. Pod układy scalone US1 i US3 warto zastosować podstawki. Ten etap montażu można zobaczyć na fotografii 1.

Na drugiej stronie płytki znajduje się miejsce na wyświetlacz LCD1 oraz cztery przyciski S1...S4. Ich lokalizację po przylutowaniu pokazuje **fotografia 2**. Na samym końcu, po wlutowaniu wszystkich przycisków, należy przykręcić wyświetlacz LCD za pomocą czterech tulei dystansowych oraz przylutować jego złącza. Warto lutowanie zostawić na sam koniec, po dokładnym przykręceniu, aby ewentualny naddatek wysokości tulei mógł być skompensowany przez lekkie wystawienie złączy z powierzchni płytki – tak aby część męska i żeńska wchodziły w siebie całkowicie. Rozmieszczenie przycisków i wyświetlacza oraz lokalizacja dodatkowego otworu montażowego na powierzchni płytki znajduje się na **rysunku 3**, dzięki niemu łatwiej będzie wykonać obudowę dla tego urządzenia.

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

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

Szczegóły są widoczne na **rysunku 4**, który zawiera widok okna konfiguracji tychże bitów z poziomu programu BitBurner. W ten sposób zostanie uruchomiony wbudowany generator obsługujący rezonator kwarcowy o średniej częstotliwości drgań oraz Brown-Out Detector, który



Rysunek 4. Szczegóły ustawienia bitów zabezpieczających

REKLAMA

LASEROWE
SZABLONY
DO MONTAŻU SMT

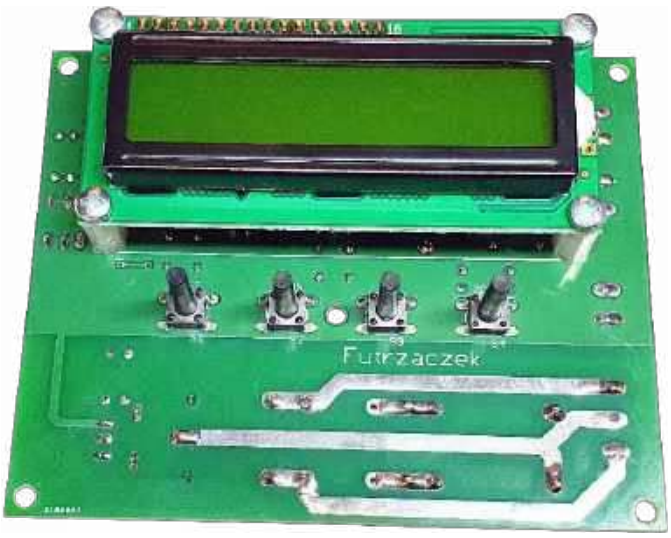
Materiał: stal nierdzewna CrNi
Zakres grubości blach: 0,020–1,000 mm
Wycinamy również detale
o dowolnych kształtach

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 50e19a3eb3

Fotografia 1. Widok zmontowanego układu od strony spodniej (Bottom)



Fotografia 2. Widok zmontowanego układu od strony wierzchniej (Top)

wprowadzi mikrokontroler w stan zerowania, jeżeli jego napięcie zasilające spadnie poniżej 4 V. Taka konfiguracja znacznie zmniejsza ryzyko zawieszenia się układu podczas uruchamiania – zwłaszcza wtedy, gdy napięcie zasilające narasta powoli.

Poprawnie zaprogramowany układ jest gotowy do działania po ustawieniu kontrastu wyświetlacza potencjometrem P2. Do zasilania należy zastosować źródło napięcia stałego o wartości około 12 V (dopuszczalny przedział 10…16 V uwzględnia zakres prawidłowej pracy przekaźnika, z uwzględnieniem spadku napięcia na przewodzącej diodzie D2 i nasyconym tranzystorze T1 w temperaturze 20°C). Warto, aby owe napięcie było dobrze filtrowane, a jeszcze lepiej stabilizowane. Pobór prądu ze źródła napięcia 12 V wynosi około 10 mA przy wyłączonym przekaźniku oraz około 40 mA, kiedy cewka zostanie załączona. Trzeba zadbać o to, aby napięcie szybko zanikało w momencie wyłączenia zasilania, tak by układ wykrył jego zanik i zdążył z zapisem odmierzonego czasu do EEPROM.

Układ można łatwo przystosować do zasilania napięciem 24 V. Aby tego dokonać, w układzie wystarczy dokonać kilku niewielkich modyfikacji. Po pierwsze, przekaźnik PK1 powinien mieć cewkę przystosowaną do napięcia 24 V. Najlepiej pasujący podzespół ma oznaczenie JQC3FF/241ZS z oferty sklepu AVT. Po drugie, rezystor R10, który ogranicza prąd pobierany przez diody LED wyświetlacza LCD, powinien mieć rezystancję 2,7 kΩ, aby zachować podobną jasność podświetlenia. Po trzecie, jeżeli obudowa urządzenia miałaby słabą wentylację, polecam do stabilizatora US2 przykręcić radiator, który rozproszy wydzielane w układzie ciepło. Wystarczy niewielki radiator kompatybilny z obudową typu TO220, na przykład D02A z asortymentu wspomnianego już sklepu AVT.

Z uwagi na szerokość ścieżek łączących wyprowadzenia przekaźnika ze złączem J3, proponuję przyjąć maksymalne natężenie prądu płynącego przez to złącze na poziomie 8 A. Ścieżki te zostały odsłonięte spod maski lutowniczej, co ułatwia ich pogrubienie, na przykład spoiwem lutowniczym.

Eksploatacja

Widok ekranu działającego urządzenia jest zamieszczamy na fotografii tytułowej. Jego dokładna zawartość zależy od konfiguracji zworek JP1 i JP2:

- zwarte 1–2 w JP1: pomiar czasu aktywowany prądem płynącym przez przewód w przekładniku,
- zwarte 2–3 w JP1: pomiar czasu odbywa się zawsze po załączeniu zasilania układu,
- zwarte 1–2 w JP2: liczenie czasu w górę, od zera aż do 999999 h, bez aktywacji przekaźnika;
- zwarte 2–3 w JP2: liczenie czasu w dół, od wcześniej ustalonej wartości do zera, z załączeniem przekaźnika po dojściu do zera.

W górnym wierszu mamy dwie informacje: o już odmierzonym od zera czasie (UP, przy zliczaniu w górę) lub pozostałym czasie do końca (DOWN, przy odmierzaniu w dół). Po prawej stronie ekranu znajduje się informacja o aktywowaniu odliczania: stale załączony napis SUP (przy aktywacji po zasileniu) lub napis CUR załączający się, kiedy pobierany przez urządzenie prąd przekracza zadaną potencjometrem P1 wartość. Przy korzystaniu z aktywacji napięciem przekładnika prądowego można nie podłączać.

Drugi wiersz (SET) zawiera informację liczbową o ustalonym do odmierzenia czasie lub kreski w przypadku odmierzania w górę, bez limitu. Wartość tego progu można zmieniać, trzymając wciśnięty przycisk SET (S1) oraz S2 (DOWN) lub S3 (UP). Dłuższe trzymanie przyspiesza przewijanie wartości. Po około 10 s od ostatniej modyfikacji układ zapisze tę liczbę do nieulotnej pamięci EEPROM. Po prawej stronie dolnego wiersza znajduje się informacja o stanie styków przekaźnika: OFF – styki rozłączone, limit jeszcze nie został osiągnięty lub ON – styki załączone, limit czasu wyczerpany. Informacji tej nie ma przy zliczaniu w górę, przekaźnik jest bowiem wtedy nieużywany.

Układ odmierza czas w odcinkach po 200 ms i z taką rozdzielczością dokonuje zapisu do pamięci. Jedynie wyświetlanie zostało ograniczone do pełnych godzin. Dlatego krótsze okresy pracy maszyny, rzędu np. kilkudziesięciu minut, również zostaną dodane do ogólnej puli czasu pracy, choć mogą nie powodować inkrementacji wskazania na wyświetlaczu.

Michał Kurzela, EP

REKLAMA

eprasa.pl 50e19a3eb3

AVT sklep

Najważniejsze parametry:
- dwa bistabilne wyjścia przekaźnikowe typu NO o obciążalności do 30 V (DC)/8 A,
- zasilanie cewek: 3,3 V,
- kompatybilność z Raspberry Pi Pico,
- wbudowane sprzężenie zwrotne do programowego monitorowania stanu wyjść przekaźników z poziomu RPi Pico.

Projekty pokrewne na stronie www.ep.com.pl
(aktywne linki do artykułów):
- Zasilacz bezprzerwowy z akumulatorem litowym do Raspberry Pi Pico
- Moduł komunikacji szeregowej RS232/RS485 do Raspberry Pi Pico
- Płytka bazowa dla Raspberry Pi Pico
- Sterownik mikroserwomechanizmów do Pi Pico

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

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

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

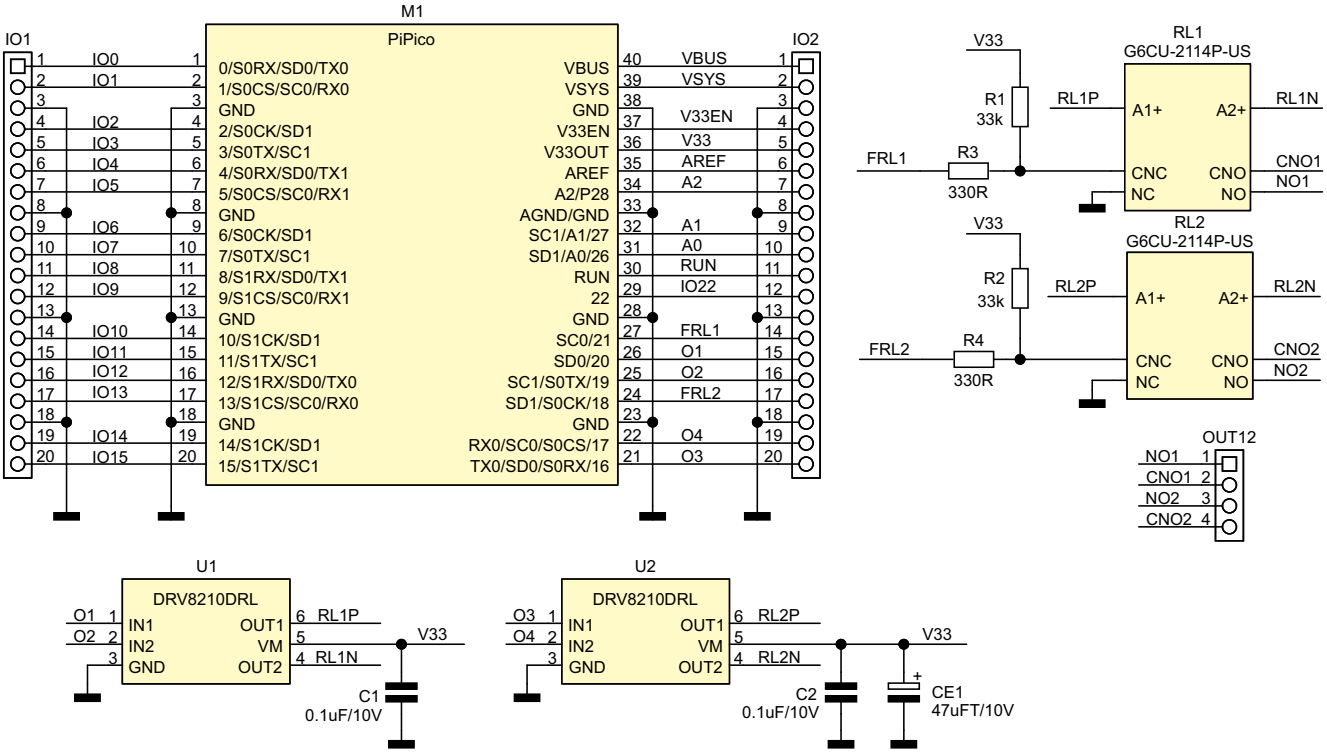
W przypadku braku dostępności na stronie sklepu osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: **kity@avt.pl**.

Moduł z dwoma przekaźnikami bistabilnymi do Raspberry Pi Pico

Prezentowana płytka rozszerza funkcjonalność Raspberry Pi Pico o dwa wyjścia 30 V/8 A zbudowane w oparciu na przekaźnikach bistabilnych. Moduł znajdzie zastosowanie m.in. w aplikacjach automatyki domowej.

UWAGA: moduł przeznaczony jest tylko do przełączania sygnałów niskonapięciowych (max 30 V/8 A), niedopuszczalne jest korzystanie z niego w aplikacjach sieciowych 230 V!

Schemat modułu zaprezentowano na **rysunku 1**. W roli elementów wykonawczych pracują przekaźniki bistabilne RL1,2 typu G6CU-2114P-US o dopuszczalnym obciążeniu do 30 VDC/8 A. Wybór przekaźników o znamionowym napięciu cewki równym 3 V umożliwia zasilanie ich z szyny 3,3 V dostępnej na płytce Raspberry Pi Pico, co zapewnia zgodność z nakładkami prze-



Rysunek 1. Schemat modułu

eprasa.pl 50e19a3eb3

```
from machine import Pin
import time
from time import sleep

O1 = Pin(20, Pin.OUT)
O2 = Pin(19, Pin.OUT)
FRL1 = Pin(21, Pin.IN)
O3 = Pin(16, Pin.OUT)
O4 = Pin(17, Pin.OUT)
FRL2 = Pin(18, Pin.IN)

O1.value(0)
O2.value(0)
O3.value(0)
O4.value(0)

flts=0

O1.value(0) # RL1 OFF 0/1
O2.value(1)
sleep(0.1)
O2.value(0)
flts=FRL1.value()
print('RL1 = OFF, FRL1 = ',flts)
sleep(1)
O1.value(1) # RL1 ON 1/0
O2.value(0)
sleep(0.1)
O1.value(0)
flts=FRL1.value()
print('RL1 = ON, FRL1 = ',flts)

sleep(1)

O3.value(0) # RL2 OFF 0/1
O4.value(1)
sleep(0.1)
O4.value(0)
flts=FRL2.value()
print('RL2 = OFF, FRL2 = ',flts)
sleep(1)
O3.value(1) # RL2 ON 1/0
O4.value(0)
sleep(0.1)
O4.value(0)
flts=FRL2.value()
print('RL2 = ON, FRL2 = ',flts)

sleep(1)

O1.value(0) # RL1 OFF 0/1
O3.value(0) # RL2 OFF 0/1
O2.value(1)
O4.value(1)
sleep(0.1)
O2.value(0)
O4.value(0)
print('RL1,2 = OFF')
```

Listing 1. Skrypt testowy 2BiRelay.py

Wykaz elementów:

Rezystory:
R1, R2: 33 kΩ (SMD 0603, 5%)
R3, R4: 330 Ω (SMD 0603, 5%)

Kondensatory:
C1, C2: 0,1 µF/10 V (SMD 0603, X7R)
CE1: 47 µF/10 V (SMD 3528, tantalowy)

Półprzewodniki:
U1, U2: DRV8210DRL (SOT-563)

Pozostałe:
IO1, IO2: gniazdo SIP20 żeńskie
OUT12: złącze śrubowe DG 3,5 mm 4 pin (DG381-3.5-4)
RL1, RL2: przekaźnik bistabilny 3 V (G6CU-2114P-US)

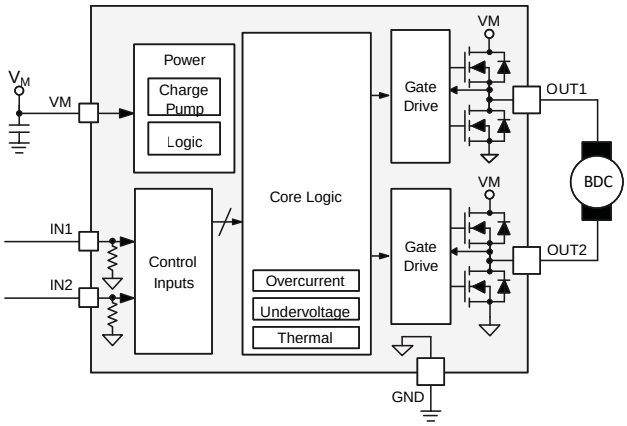
znaczonymi do podtrzymania zasilania (UPS).

Za kluczowanie napięcia cewek odpowiadają – użyte w nieco nietypowej roli – drivery silników prądu stałego U1,2 typu DRV8210. Strukturę wewnętrzną DRV8210 pokazano na **rysunku 2**. Układ zawiera wszystkie elementy niezbędne do sterowania uzwojeniem: mostek MOSFET o niskiej wartości RDS(on), logikę sterującą i zabezpieczającą, wbudowany kompleksowy układ zabezpieczeń oraz generator napięć polaryzacji. DRV8210 został wybrany ze względu na niską cenę, łatwą dostępność oraz znaczące uproszczenie aplikacji w porównaniu z realizacją dyskretną. Sterowanie jednocewkowymi przekaźnikami bistabilnymi G6CU-2114P-US polega na impulsowej zmianie kierunku przepływu prądu przez cewkę. Generowanie impulsów sterujących cewkami odbywa się na drodze programowej. Podanie impulsu na linie O1,O3 ustawia odpowiedni przekaźnik (zwiera styk NO), a zasilenie wejść O2,O4 kasuje odpowiedni przekaźnik (rozwiera styk NO).

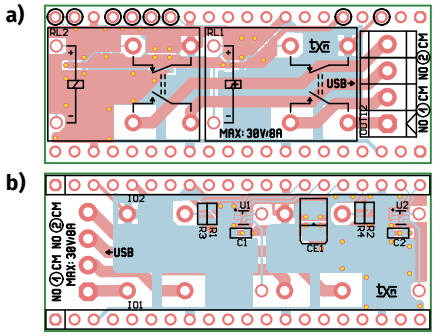
Logikę wejść sterujących IN1/IN2 układu DRV8210 opisano w **tabeli 1**.

Układy driverów U1,2 zasilane są napięciem 3,3 V ze złącza GPIO modułu RPi Pico. Kondensatory C1,2 i CE1 odsprzęgają zasilanie. Przekaźniki G6CU-2114P-US mają dwa niezależne styki NO/NC, przy czym styk NO używany jest do sterowania obciążeniem podłączonym do złącza OUT12, zaś styk NC – do monitorowania stanu przekaźnika. Sygnały FRL1,2 doprowadzono do GPIO21,18 RPi Pico.

Układ zmontowany jest na niewielkiej dwustronnej płytce drukowanej, której rozmieszczenie elementów pokazano na **rysunkach 3a i 3b**.



Rysunek 2. Struktura wewnętrzna DRV8210 (za notą TI)



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

Tabela 1. Logika sterująca układu DRV8210

IN1 (Set)	IN2 (Reset)	OUT1	OUT2
0	0	Hi-Z	Hi-Z
1	0	H	L
0	1	L	H
1	1	L	L

Montaż nie wymaga opisu. Gotową płytkę zaprezentowano na fotografii tytułowej.

W celu sprawdzenia działania modułu można uruchomić prosty skrypt testowy 2BiRelay.py, którego zawartość pokazuje **listing 1**.

Adam Tatuś, EP

REKLAMA

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

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

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

KLUB AVT ELEKTRONIKA

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

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

eprasa.pl 50e19a3eb3

Rozwiązanie napędowe na niemal każde wymogi. Nowy kontroler ruchu do czterech różnych technologii silników

Kontroler ruchu o jeszcze większych możliwościach: dzięki nowym kontrolerom ruchu MC 3602 B i MC 3606 B wybór i wdrożenie systemów napędowych do eksploatacji jest teraz jeszcze prostsze.
Dzięki kompaktowemu kontrolerowi MC 3602/06 B silniki komutatorowe, bezszczotkowe (BLDC) i napędy liniowe mogą być obsługiwane z typowymi enkoderami jako serwonapędy zgodne z CiA 402. Nowością jest również obsługa silników krokowych z enkoderem w roli serwonapędu lub bez enkodera – w trybie otwartej pętli. Moduły komunikują się poprzez EtherCAT, CANopen, RS232, jak również USB.

Nowy wariant MC 3602 B (z prądem ciągłym wyjściowym do 2 A do mniejszych silników) oraz wariant MC 3606 B (z prądem ciągłym wyjściowym do 6 A do silników średniej wielkości) upraszczają pracę inżynierów. W przypadku zastosowań, w których wykorzystywana jest więcej niż jedna technologia silnika, potrzebny jest tylko jeden sterownik i graficzny interfejs użytkownika. Dostępne jest bezpłatne oprogramowanie FAULHABER „Motion Manager 7”

Fotografia 1. Nowy kontroler ruchu do czterech różnych technologii silników FAULHABER

Więcej informacji:
FAULHABER Polska sp z o.o.
60-204 Poznań, ul. Górki 7
6980 Croglio, Szwajcaria, tel: +41 916 113 239
info@faulhaber.pl, faulhaber.pl

do instalacji i wdrażania nowych rozwiązań do eksploatacji, dzięki któremu napęd uruchamia się w zaledwie kilku krokach. Oferowane są wszystkie główne tryby pracy serwonapędu CiA 402. Integracja odbywa się poprzez CANopen lub RS232, zaś podczas przygotowania do eksploatacji używany jest głównie interfejs USB. Dodatkowy, opcjonalny moduł EtherCAT umożliwia uzyskanie cyklu pracy wynoszącego zaledwie 1 ms. Co więcej, kontrolery ruchu mogą być również obsługiwane bez centralnego sterowania, w trybie samodzielnym.

Wszystko, co potrzebne, dostępne z jednego źródła

MC 3602 B i MC 3606 B – w połączeniu z silnikami FAULHABER – stanowią zaawansowany system napędowy z rozbudowanymi funkcjami ochronnymi. Produkty te zostały stworzone do pracy z silnikami z bezrdzeniowym uzwojeniem i gwarantują dużą dynamikę sterowania. Standardowe silniki – takie jak napędy krokowe NEMA – można również łatwo obsługiwać za pomocą modułów MC 3602/06 B. Stanowią one tym samym solidną podstawę dla szeregu aplikacji. Niezależnie od tego, czy implementacja bazuje na silniku krokowym (w otwartej lub zamkniętej pętli sprzężenia zwrotnego) bądź na serwomotorach bezszczotkowych, liniowych lub DC, MC 3602/06 B zapewnia rozwiązanie do niemal wszystkich rozwiązań – w automatyce przemysłowej i laboratoryjnej, robotyce, przemyśle półprzewodnikowym czy nawet w systemach pomiarowych.

W przypadku pytań można uzyskać pomoc od zespołu wsparcia FAULHABER Motion Control.

eprasa.pl 50e19a3eb3

Międzynarodowe Targi Elektroniki Użytkowej w Ptak Warsaw Expo

Electronics Show to jedno z najważniejszych wydarzeń branżowych poświęconych elektronice użytkowej w tej części Europy. Najbliższa edycja odbędzie się w dniach 13...15 czerwca 2025 roku w nowoczesnej przestrzeni wystawienniczej Ptak Warsaw Expo. To prestiżowe spotkanie producentów, dystrybutorów i pasjonatów technologii, które przyciąga uwagę branży zarówno z Polski, jak i z zagranicy.

Technologia w zasięgu ręki

Wydarzenie stanowi doskonałą okazję do zapoznania się z najnowszymi osiągnięciami technologicznymi, innowacyjnymi urządzeniami i przełomowymi rozwiązaniami, które wpływają na jakość codziennego życia. Zwiedzający będą mogli z bliska zobaczyć premiery produktowe, przetestować nowinki technologiczne oraz porozmawiać z liderami rynku i ekspertami reprezentującymi najważniejsze marki światowej elektroniki.

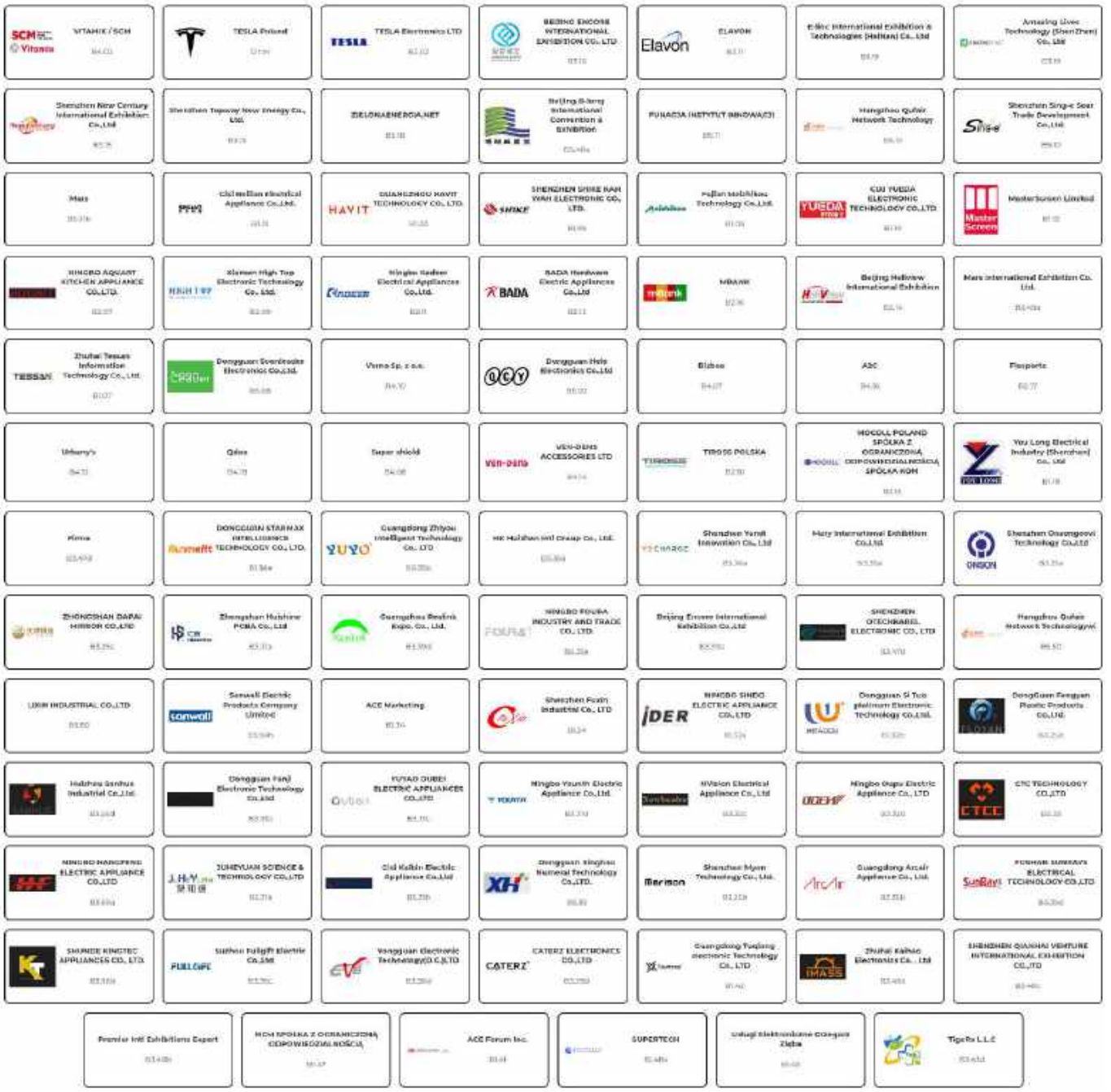
Silna pozycja targów – liczby mówią same za siebie

Poprzednia edycja Electronics Show pokazała, jak silną pozycję mają targi w kalendarzu wydarzeń branżowych. W 2024 roku wydarzenie odwiedziło 10 638 gości, swoją ofertę zaprezentowało 180 wystawców, a całość odbywała się na imponującej powierzchni 25 000 m². Te liczby są najlepszym dowodem na to, że Electronics Show to platforma sprzyjająca zarówno efektywnej prezentacji produktów, jak i nawiązywaniu wartościowych kontaktów biznesowych.

Dla profesjonalistów i pasjonatów

Targi adresowane są do szerokiego grona odbiorców – od integratorów i instalatorów systemów inteligentnego domu, przez właścicieli oraz menedżerów sklepów elektronicznych, aż po architektów, projektantów, inżynierów i programistów. Uczestnicy

eprasa.pl 50e19a3eb3



szukają tutaj nie tylko nowoczesnych rozwiązań technologicznych, ale także praktycznych inspiracji do wdrożenia ich w codziennej pracy i działalności.

Tematyka i prezentowane rozwiązania

Podczas wydarzenia zaprezentowane zostaną najnowsze rozwiązania z zakresu AGD i RTV – od nowoczesnych urządzeń kuchennych, przez telewizory i wyświetlacze, po innowacyjne akcesoria domowe. Ważną część ekspozycji stanowić będą systemy inteligentnego domu – z rozwiązaniami do sterowania oświetleniem, ogrzewaniem czy asystentami głosowymi. Nie zabraknie również technologii bezpieczeństwa, takich jak systemy alarmowe, czujniki, monitoring czy wideodomofony. Uzupełnieniem oferty będą roboty sprzątające i zaawansowane modele odkurzaczy, zarówno klasycznych, jak i wodnych czy piorących.

Electronics & Innovation Summit

Integralną częścią wydarzenia będzie Electronics & Innovation Summit – konferencja towarzysząca, poświęcona przyszłości elektroniki, inteligentnym technologiom oraz cyfrowej transformacji. To idealna przestrzeń dla tych, którzy chcą nie tylko poznać najnowsze trendy, ale również zrozumieć, jak innowacje wpływają na życie prywatne i rozwój biznesu. Prelekcje ekspertów i praktyków będą inspiracją do wdrażania nowoczesnych rozwiązań oraz śledzenia kierunku, w jakim zmierza ta dynamicznie rozwijająca się branża.

Więcej informacji można znaleźć na oficjalnej stronie wydarzenia: https://electronics-show.com/

eprasa.pl 50e19a3eb3

Projektowanie wspomagane chmurą w środowisku Altium Designer

Rozwiązania chmurowe odgrywają coraz większą rolę w nowoczesnym projektowaniu elektroniki, umożliwiając efektywną współpracę i centralizację danych, a co za tym idzie – możliwość dostępu do zasobów z dowolnego miejsca. Wszyscy właściciele licencji oprogramowania Altium Designer z aktywną subskrypcją mogą skorzystać z platformy chmurowej Altium 365. Umożliwia ona utworzenie dedykowanej przestrzeni w chmurze – tzw. Workspace – przeznaczonej do przechowywania danych projektowych, takich jak projekty czy biblioteki komponentów, z wykorzystaniem wbudowanego systemu kontroli wersji.

Dzięki Altium 365 możliwe jest zaawansowane zarządzanie tymi danymi oraz łatwa współpraca między projektantami, kierownikami, zaopatrzeniem, produkcją oraz wszystkimi innymi osobami czy organizacjami, związanymi z procesem projektowym/produkcyjnym.

Dzięki umieszczeniu danych w chmurze, w bardzo prosty sposób można między innymi:

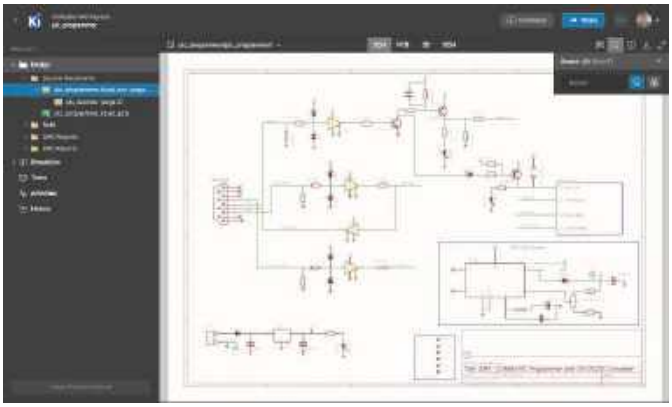
- udostępniać projekty innym użytkownikom do edycji czy przeglądania,
- tworzyć komentarze/taski, czy to przez użytkowników Altium Designer, czy przez osoby korzystające z przeglądarki projektów w przeglądarce internetowej,
- korzystać ze wspólnej, spójnej biblioteki komponentów,
- automatycznie wymieniać dane z projektantami mechaniki, z możliwością edycji elementów mechanicznych produktu tak w Altium Designer, jak i w mechanicznym programie CAD.

Funkcjonalności oferowane w A365 zależą od wybranego planu subskrypcyjnego – Standard, Pro czy Enterprise. Dodatkowo, Altium oferuje osobne aplikacje, rozszerzające funkcjonalności platformy. Poniżej opisano wybrane z nich.

Aplikacje ECAD Connectivity

Aplikacje ECAD Connectivity (Eagle Basic Connector, KiCad Basic Connector, OrCAD Basic Connector) pozwalają na obsługę projektów/bibliotek z oprogramowania Eagle (ASCII, v5 i nowsze), KiCad (do v6) czy OrCAD (schemat – pliki .dsn; PCB – pliki .brd v17.2 i nowsze, .alg, .MAX, .ALG; pliki bibliotek .olb itd. są tylko przechowywane, bez możliwości podglądu) na platformie A365. Te nieodpłatne aplikacje pozwalają umieścić projekty z wymienionych programów w Workspace. Przetworzone projekty są przechowywane

eprasa.pl 50e19a3eb3



w natywnym systemie kontroli wersji Git i interpretowane w widokach projektu, takich jak schematy, PCB, PCB 3D oraz listy BOM. Dzięki integracji z Altium 365, projekt i jego dokumenty mogą korzystać z zaawansowanych funkcji, takich jak kontrola widoczności obiektów i warstw, dwukierunkowy cross-probing, współpraca poprzez zarządzane udostępnianie projektu czy komentowanie dokumentów. Jeśli organizacja posiada dostęp do aplikacji BOM Portal, można utworzyć z projektu dokument Managed BOM. Ponadto, jeśli pojawi się nowa wersja projektu (np. w wyniku dalszej pracy zewnętrznego wykonawcy), istniejący projekt w Workspace można zaktualizować, zatwierdzić jako nową rewizję w systemie kontroli wersji i zarejestrować to zdarzenie w widoku historii projektu.

Wkrótce dostępne będą aplikacje pozwalające na współpracę z PADS, KiCAD v7 i v8 oraz Zucken CR-5000.

Advanced MCAD CoDesigner

Opcja Advanced MCAD CoDesigner jest niezbędna, jeśli w organizacji, posiadającej plan subskrypcyjny Pro lub Enterprise, wymagana jest wymiana ECAD-MCAD z więcej niż jednym projektantem mechaniki. W planie Standard nie ma ograniczeń co do liczby projektantów mechaniki, lecz wymiana ograniczona jest do podstawowych obiektów i projektów. W planie Pro lub Enterprise, oferującym zaawansowane opcje wymiany danych mechanicznych (obsługa projektów wielopłytkowych, rigid-flex i harness; eksport miedzi jako model 3D; synchronizacja Keepout i obudowy; wstawianie komponentów po stronie MCAD), w cenie subskrypcji można wymieniać dane z jednym projektantem mechaniki, a jeśli to nie wystarcza, należy zakupić aplikację Advanced MCAD CoDesigner dla każdego następnego projektanta MCAD.

Assembly Assistant

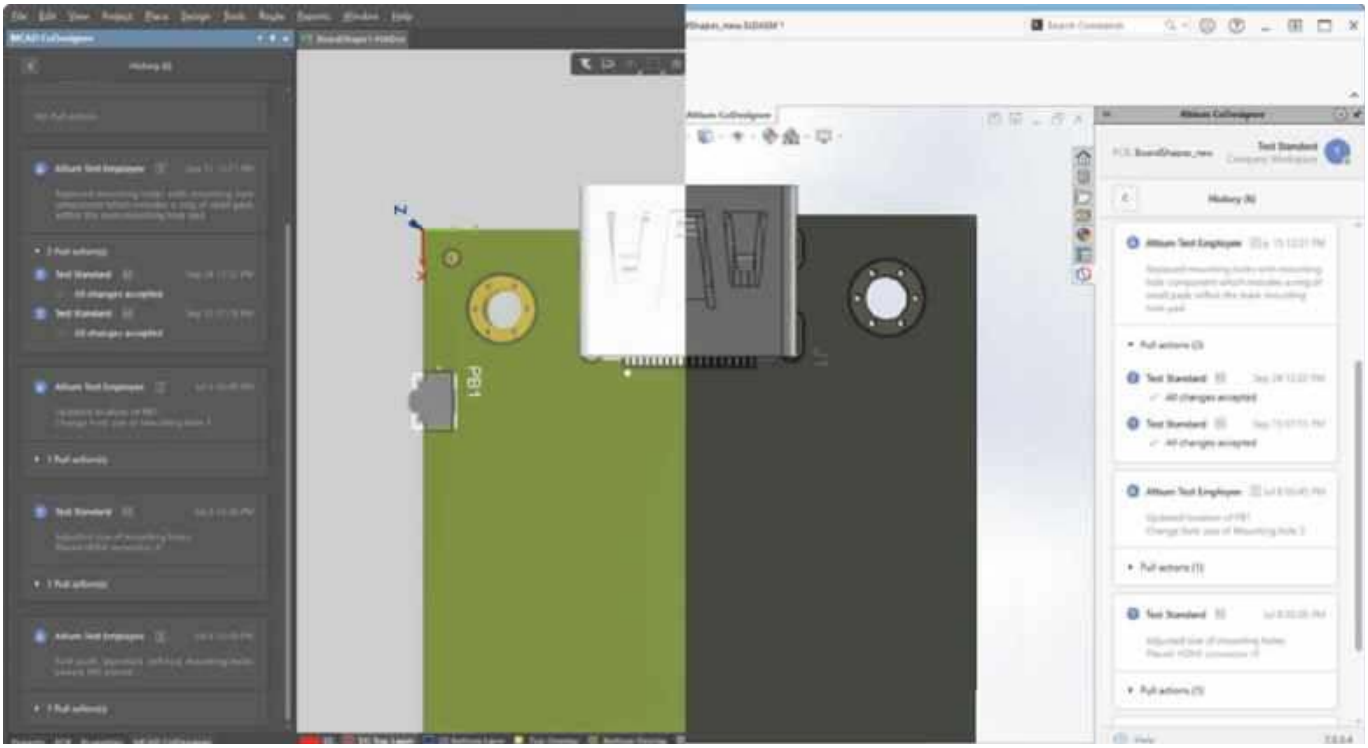
Aplikacja Assembly Assistant pozwala uruchomić w przeglądarce internetowej narzędzie wspomagające ręczny montaż PCB.

Typowy proces ręcznego montażu obejmuje wydrukowanie dokumentacji projektowej. Po zainstalowaniu każdego elementu na gołej płytce inżynier odhacza odpowiednią pozycję w wydrukowanym BOM-ie za pomocą ołówka lub długopisu. Musi przy tym ciągle sprawdzać oznaczenia w BOM-ie z tymi na wydruku PCB, aby upewnić się, że komponenty są zainstalowane w odpowiednich miejscach. Oprócz wydruków papierowych niektórzy monterzy mogą otwierać projekt płytki w programie Altium Designer. Oglądanie projektu w oprogramowaniu CAD dostarcza więcej szczegółów, ale wymaga przełączania się między różnymi widokami płytki (2D i 3D) oraz dokumentami (PCB i BOM). Przeglądanie wydruków lub nawigowanie po złożonym oprogramowaniu CAD jedną ręką, podczas gdy drugą trzyma się lutownicę, może być nieefektywne, czasochłonne i podatne na błędy.

Assembly Assistant to rozwiązanie, które łączy szczegółowy wykaz materiałów projektu z widokiem montażu w 2D/3D na ekranie. Dzięki zintegrowaniu tych dwóch powiązanych źródeł danych montażowych aplikacja zapewnia zintegrowane środowisko, które pomaga użytkownikom wykonywać wysokiej jakości pracę podczas ręcznego procesu montażu PCB.

Interfejs aplikacji jest intuicyjny i łatwy w użyciu. Na ekranie wyświetlany jest wykaz materiałów zawierający wszystkie komponenty potrzebne do montażu płytki. Umożliwia on przechodzenie od komponentu do PCB w widoku 2D/3D, aby szybko zobaczyć dokładną fizyczną lokalizację komponentu na płytce. Możesz oznaczać każdy zamontowany komponent, pomijać części (jeśli to konieczne) oraz przeglądać lokalizację (w tym górną i dolną stronę płytki) wszystkich elementów. Ponieważ wszystko odbywa się w połączonej przestrzeni roboczej, każda zmiana projektu jest automatycznie odzwierciedlana w BOM-ie, bez konieczności ręcznej aktualizacji dokumentacji.

Dariusz Polus
Altium Technical Manager



eprasa.pl 50e19a3eb3

Technologie i rozwiązania wspierające osoby z niepełnosprawnością

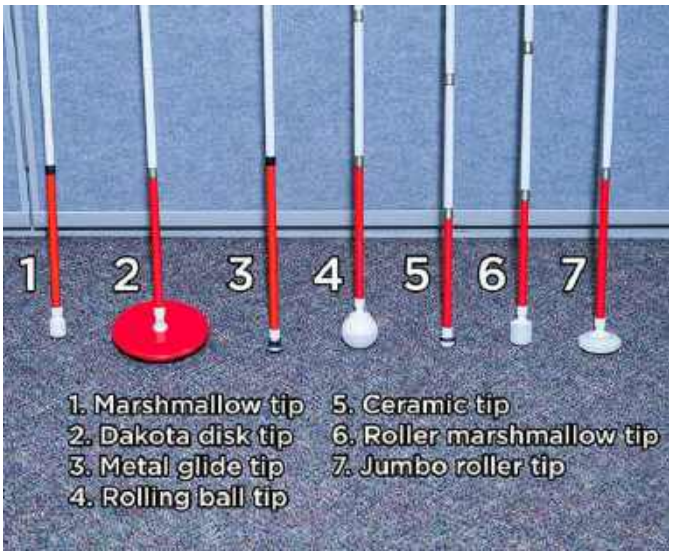
Osoby niepełnosprawne istnieją tak długo, jak istnieje ludzkość jako taka. W różnych czasach i kręgach kulturowych były traktowane w najróżniejszy sposób, od całkowitego ostracyzmu, po pełne wsparcie ze strony społeczności, przy czym dużo zależało od rodzaju niepełnosprawności. Jednak XIX i XX wiek przyniosły 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 trzydzieści lat przyniosło prawdziwy skok technologiczny, jeśli idzie o możliwości dostępnych technologii i stopień ich integracji oraz miniaturyzacji.

Niniejszy artykuł to pobieżny przegląd obecnie dostępnych technologii asystujących i wspierających dla osób z niepełnosprawnością oraz spojrzenie na przyszłość tego segmentu rynku. Spora część tego artykułu poświęcona będzie narządowi wzroku, z kilku względów. Według szacunków naukowców wzrok dostarcza 70...80% wszystkich informacji zmysłowych człowieka, co czyni go najważniejszym zmysłem człowieka. Jego utrata, szczególnie nagła, jest doświadczeniem często traumatycznym. Po drugie, problemy ze wzrokiem dominują wśród niepełnosprawności. Według danych Światowej Organizacji Zdrowia (WHO), co najmniej 2,2 miliarda ludzi na świecie ma zaburzenia widzenia lub ślepotę. W Polsce żyje około 1,75 miliona osób z niepełnosprawnością narządu wzroku. Po trzecie, niepełnosprawność wzroku jest tym problemem, który Autor zna z doświadczenia, a co za tym idzie, posiada najwięcej wiedzy właśnie ten temat.

Wszystkie fotografie pochodzą z materiałów reklamowych producentów, chyba że zaznaczono inaczej.

Mobilność dla niedowidzących i niewidomych

Biała laska jest de facto symbolem osób niewidomych, ale nie tylko one z niej korzystają. Również osoby słabowidzące posługują się tym narzędziem, szczególnie gdy warunki nie sprzyjają percepcji, lub gdy wada wzroku istotnie ogranicza percepcję potencjalnych przeszkód. Biała laska nie jest wynalazkiem nowym – ludzie używali kijów różnej długości jako probierzy terenu już w czasach antycznych. Jednakże pierwszym prawdziwym użytkownikiem białej laski został James Biggs, angielski fotograf, który w 1921 roku stracił wzrok w wyniku wypadku. To on jako pierwszy pomalował zwykłą laskę na biało, by być lepiej widocznym dla użytkowników dróg. Od tamtej pory biała laska zmieniła się w niewielkim stopniu. Podstawowa konstrukcja wykonana jest z aluminium lub grafitu (czasem też włókna szklanego) i składa się z kilku segmentów – przebiegająca przez wnętrze elastyczna linka trzyma segmenty razem i pozwala na składanie laski. Obecnie laski te występują w innych kolorach niż biały, zwykle z pierwszym segmentem w kolorze czerwonym (często odblaskowym). Końcówka laski, czyli część dotykająca gruntu, występuje w kilku wariantach, zależnie od preferencji użytkownika. Dwa podstawowe typy to zwykły, zaokrąglony walec oraz podobny walec z łożyskami wewnątrz,



Fotografia 1. Różne końcówki białej laski: standardowa (1), dysk Dakota do nierównego terenu (2), trwała końcówka metalowa (3), kula na łożysku (4), końcówka ceramiczna podobna do metalowej (5), rolka, najpopularniejsza końcówka (6), rolka Jumbo (7)

pozwalający na swobodne toczenie się po gruncie. Te i inne końcówki pokazuje **fotografia 1**.

Od lat trwają prace nad „ulepszeniem" białej laski za pomocą elektroniki, większość z nich stanowi jednak rozwiązania mało przydatne i/lub wymagające zaawansowanego treningu, oferując przy tym niewielkie korzyści. Opracowano więc opaski czołowe, pasy i kamizelki wyposażone w dalmierze ultradźwiękowe, podczerwone lub LIDAR-y, które mają dostarczyć większej informacji o najbliższym otoczeniu i ostrzegać dźwiękiem lub wibracjami przed przeszkodami znajdującymi się poza zasięgiem samej laski. Większość z nich jednak w praktyce nie sprawdza się wcale, dając za dużo (a przy tym często sprzecznych) komunikatów. Spora część tych rozwiązań ma formę niedopracowanych prototypów, przez co nie wyglądają też estetycznie. Projekty te zwykle zostają porzucone zaraz po konkursie, na który zostały opracowane. Wyjątkiem jest jeden dopracowany produkt, WeWALK Smart Cane 2, czyli biała laska z asystentem głosowym opartym na GPT oraz funkcją detekcją przeszkód na wysokości głowy użytkownika. Laska do działania wymaga smartfona ze stałym dostępem do Internetu i większość jej możliwości wynika tylko i wyłącznie z oprogramowania, z którym współpracuje, szczególnie zaś z systemu SI opartego na dużym modelu językowym (LLM). Smart Cane 2 poza asystentem głosowym oferuje też wsparcie nawigacyjne: nawigację krok po kroku do konkretnego celu oraz informację o mijanych miejscach (sklepy, restauracje, budynki użyteczności publicznej, etc.), system ostrzegawczy zaś zapewnia informację zwrotną za pomocą dźwięku i sygnalizacji haptycznej. Urządzenie prezentuje **fotografia 2**, pochodząca ze strony producenta. Czytelnika może też zaciekawić recenzja/demonstracja tej laski z kanału YouTube o nazwie The Blind Life: https://youtu.be/cIVoECPglSo.

Innym „narzędziem" nawigacji i orientacji w terenie jest pies-przewodnik. Wbrew powszechnemu mniemaniu zadaniem psa wytresowanego do roli przewodnika nie jest prowadzenie osoby niewidomej lub słabowidzącej, lecz omijanie przeszkód i unikanie

eprasa.pl 50e19a3eb3

Fotografia 2. Elektroniczna laska dla niewidomych – WeWALK Smart Cane 2

potencjalnych wypadków. Co ważne, nawet najlepiej wyszkolony pies popełnia czasami błędy i choć ułatwia poruszanie się w przestrzeni publicznej, to nie stanowi stuprocentowej gwarancji bezpieczeństwa. Warto też wspomnieć, że nie każdy pies nadaje się na przewodnika, a do tego tylko połowa wyselekcjonowanych psów z powodzeniem kończy szkolenie. Dlatego też dostęp do psa-przewodnika w Polsce jest ograniczony, a samo szkolenie do tanich nie należy. Jak łatwo się domyślić, technologia nie jest w stanie zastąpić naturalnej inteligencji i percepcji wyszkolonego zwierzęcia, choć takie próby są podejmowane. Czy roboty w rodzaju Spota firmy Boston Dynamics (**fotorafia 3**) mają szansę zastąpić żywego psa? Z pewnością mają dostateczną percepcję zmysłową i zdolności nawigacyjne. Problemem jednak jest stworzenie odpowiedniego oprogramowania oraz koszt samego robota. Spot w wersji podstawowej, bez czujników, specjalizowanego oprogramowania i innych elementów, kosztuje 75 tysięcy dolarów. Drugim problemem, który zaobserwował student Queensland University of Technology, pracujący nad zastosowaniem robota w roli przewodnika, jest zbyt duża sztywność „grzbietu" – Spot porusza się sprawnie w jednym kierunku, ale skręcanie jest dla niego trudne. Chińska firma Unitree też oferuje roboty-psy w znacząco niższej cenie: model Go1 kosztuje od 2700 dolarów, Go2 zaś zaś od 1600 dolarów. Co ciekawe, Go1 też był używany jako pies-przewodnik. Przyszłość zapowiada się zatem ciekawie. Go2 Air jest dostępny w Polsce już od około 13 700 złotych, czyli za dwa razy więcej, niż wynosi cena producenta. Czytelnik może zapoznać się z filmem pokazującym serię Go2 pod linkiem: https://youtu.be/Q0Rn2R37bcI.

Percepcja otoczenia to niejedyny aspekt nawigacji dla osoby niedowidzącej czy niewidomej. Ważne jest też, by znać swoją bieżącą lokalizację oraz lokalizację celu. W przeszłości poruszając się z pomocą laski i psa-przewodnika, trzeba było zachować w pamięci

Fotografia 3. Robot mobilny Boston Dynamics Spot ma potencjał stać się w przyszłości psem-przewodnikiem

mentalną mapę otoczenia. O ile każdy człowiek tworzy taki obraz w swojej głowie dla dobrze mu znanej lokalizacji, jak własne mieszkanie/dom, to tworzenie takiej mapy dla nawet niedużego wycinka przestrzeni publicznej stanowi już wyzwanie. Istnieją jednak dwa narzędzia, które obecnie mocno ułatwiają taką nawigację i oba dostępne są dla każdego. Pierwszy to nawigacja satelitarna. Już 25 lat temu eksperymentowano z urządzeniami GPS, które zamiast tradycyjnego wyświetlacza miały małą matrycę brajlowską, na której wyświetlana była konturowa mapa, którą posługiwać się mogła osoba niewidoma. Obecnie jednak stosuje się nawigację głosową opartą zarówno o gotowe rozwiązania w rodzaju Google Maps, jak i własne koncepcje, jak choćby ViaOpta Nav. Dokładność takiej nawigacji zależy od warunków oraz systemu satelitarnego, który jest używany i może wynosić od jednego metra do kilkunastu metrów. Warto nadmienić, że da się zastosować różne triki, by zwiększyć dokładność nawigacji, zwłaszcza w mniej korzystnych warunkach. Nawigacja taka jednak nie za bardzo sprawdza się wewnątrz budynków i na razie nie ma jednego, uniwersalnego rozwiązania tego problemu, choć opracowano cały szereg różnych rozwiązań, głównie z myślą o robotach mobilnych. Dostępne układy IMU oraz możliwości łączności bezprzewodowej pozwalają na stworzenie hybrydowego systemu nawigacji budynkowej, w którym poszczególne pomieszczenia i piętra mają własne nadajniki radiowe, przekazujące informację o lokalizacji, zaś urządzenie odbiorcze wspiera nawigację, używając inercyjnego pomiaru prędkości i położenia.

Drugim aspektem nawigacji jest zdolność do identyfikacji lokalizacji i elementów otoczenia. Dla osoby niedowidzącej od lat dostępne są narzędzia optyczne, jak monookulary pozwalające czytać napisy na budynkach, znaki i światła drogowe, numery autobusów czy tablice informacyjne na i wewnątrz autobusów, autokarów i pociągów. Jednak gdy wada wzroku staje się zbyt głęboka, pomoc optyczna przestaje wystarczać. Pewnym rozwiązaniem pośrednim przez ostatnie 15...20 lat były aparaty wbudowane w smartfony – szczególnie w ostatniej dekadzie, gdy producenci starali się upychać matryce o coraz większej rozdzielczości. Aparat taki pozwala na zrobienie zdjęcia i znaczne powiększenie obrazu, co ułatwia odczytanie znaków, tablic czy choćby cen w sklepie. Jednak obecnie lepszym wyborem są aplikacje w rodzaju Google Lens czy Microsoft Seeing AI, które dysponują funkcją OCR (optycznego rozpoznawania tekstu). Szczególnie ta druga aplikacja, dedykowana osobom niedowidzącym i niewidomym, jest użyteczna. Poza możliwością szybkiego odczytania krótkich tekstów, jak tabliczki i etykiety, umożliwia też czytanie całej strony, przy czym program podpowiada, jak ustawić telefon względem kartki, by zeskanować cały tekst. Kolejną funkcją jest skanowanie otoczenia i identyfikowanie obiektów, co jest realizowane za pomocą dedykowanego modelu AI Microsoftu. Aplikacja ma też skaner kodów kreskowych produktów, skaner pieniędzy, miernik jasności i identyfikator kolorów. Ciekawą funkcją jest też mechanizm opisujący płeć i wiek osoby, na którą skierujemy obiektyw. Zaletą Seeing AI jest fakt, że aplikacja pozostaje kompletnie darmowa. Alternatywę stanowią dwie inne aplikacje: BeMyEyes i Aira. Programy te różnią się od Seeing AI tym, że nie używają one sztucznej inteligencji. Zamiast tego obraz ze smartfona przekazywany jest do wolontariusza, który komunikuje się z użytkownikiem i pomaga mu w identyfikacji i nawigacji. W przypadku Aira dodatkowo osoba udzielająca pomocy przechodzi szkolenie, dzięki czemu jest bardziej pomocna niż zwykły wolontariusz. BeMyEyes wspiera wiele różnych języków, ale Aira jest dostępna tylko dla użytkowników anglojęzycznych.

Używanie smartfona przez cały czas może być niewygodne, a nawet wręcz niebezpieczne, dlatego istnieją alternatywy. Okulary Envision Glasses (**fotografia 4**) pozwalają na korzystanie z tych samych funkcji, co Seeing AI, plus dodają kilka kolejnych udogodnień. Dla przykładu: funkcja „Find Object" pozwala wybrać jeden obiekt z dość bogatej listy, okulary skanują otoczenie

eprasa.pl 50e19a3eb3

Fotografia 4. Okulary Envision Glasses

Fotografia 5. Meta Ray-Ban Smart Glasses w kilku wersjach kolorystycznych. Wariantów jest więcej, ale szkła fotochromowe ciemnieją tylko wtedy, gdy są wystawione na bezpośrednie promieniowanie ultrafioletowe

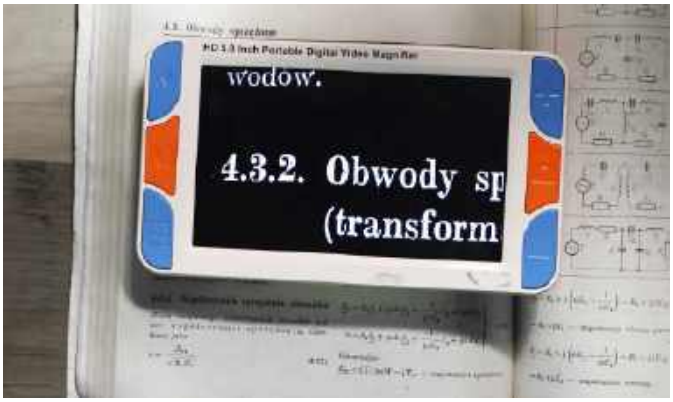
wizualnie w poszukiwaniu tego obiektu i po jego zlokalizowaniu podają kierunek, w którym się on znajduje. Pozwala to na przykład zlokalizować ławki, krzesła, drzwi, światła drogowe i wiele innych obiektów. Okulary pozwalają też na nawiązanie połączenia video z drugą osobą i przesyłanie obrazu na żywo celem uzyskania pomocy. Współpracują również z usługą Aira, choć ta jest dostępna tylko po angielsku. Od niedawna dostępna jest także darmowa aplikacja Envision AI, która udostępnia wszystkie funkcje okularów w smartfonie. Podobnie jak w przypadku innych aplikacji, dostępne są wersje zarówno na system iOS, jak i Android. W ostatnich miesiącach jednak dużą popularność zyskały inne okulary: Meta Ray-Ban Smart Glasses (**fotografia 5**). Te okulary są produkowane przez firmę Ray-Ban we współpracy z koncernem Meta, do którego należy m.in. Facebook. Okulary używają systemu sztucznej inteligencji Meta AI i choć nie są zaprojektowane specyficznie dla osób niedowidzących i niewidomych, to oferują wiele przydatnych im funkcji, a do tego są relatywnie tanie. Envision Glasses kosztują u polskiego dystrybutora sprzętu dla niepełnosprawnych około 9200 zł, podczas gdy Meta Ray-Ban Smart Glasses można nabyć za cenę między 1300 zł a 1800 zł, zależnie od wybranych szkieł.

Elektronika użytkowa (i nie tylko) dla niedowidzących i niewidomych

Dla osób niedowidzących i niewidomych powstał szeroki wybór przedmiotów codziennego użytku wyposażonych w układy i rozwiązania zwiększające dostępność. Przykładem mogą być dostępne od lat 90. zegarki głośnomówiące, oparte zwykle o prosty przetwornik cyfrowo-analogowy oraz bibliotekę zapisanych w pamięci ROM próbek dźwiękowych. Już w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku dostępne były dedykowane układy syntezy mowy, które generowały fonemy na żądanie – kontrolujący taki układ mikroprocesor składał z tych fonemów kompletne słowa i zdania na bazie posiadanych definicji. Rozwiązanie takie stosowane było też w komputerach PC jako wczesna forma ułatwienia dostępu dla niewidomych i niedowidzących – systemy w rodzaju DOS czy zapomniany już CP/M, ze względu na swoją tekstową naturę, doskonale współpracowały z takimi prostymi, scalonymi syntezatorami. Czytelnika zdziwi nieco fakt, że tego typu układy są wciąż wytwarzane, choć stanowią produkt niszowy – mikrokontrolery MIPS i ARM przynajmniej od dwóch dekad mają dość mocy obliczeniowej, by móc z powodzeniem wspierać algorytmiczną syntezę mowy, szczególnie za sprawą zaawansowanych funkcji DSP, którymi wiele układów może się poszczycić.

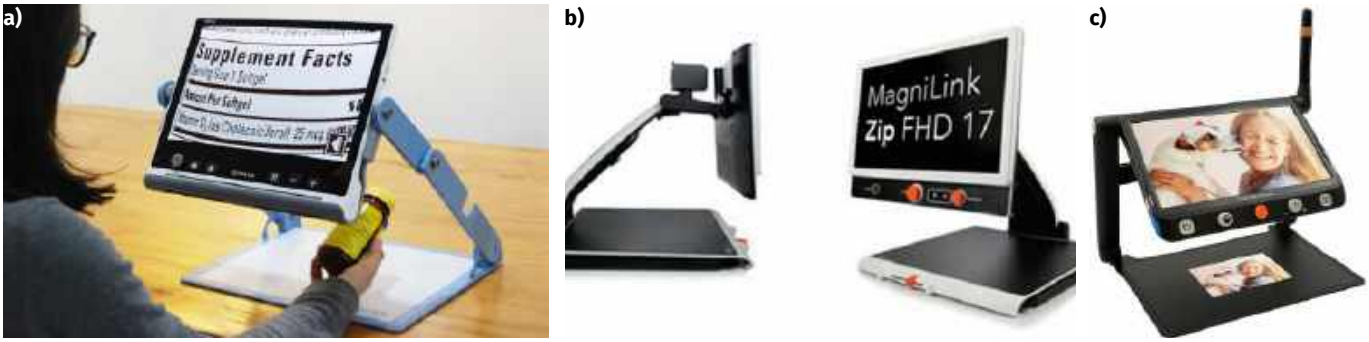
Zatem jakie przedmioty codziennego użytku można udźwiękowić? Standardowymi przykładami są wagi kuchenne i łazienkowe. Można też nabyć mówiące dzbanki, termometry czy taśmy miernicze. Co ciekawe, ostatnie dwa spośród wymienionych... nie są dostępne w Polsce. Istnieją też sprzętowe identyfikatory koloru oraz specjalne skanery etykiet, gdzie rzeczone etykiety użytkownik nakleja na przedmiot lub naszywa na ubranie, a urządzenie przypisuje do niej notatkę głosową. Wśród różnych gadżetów znaleźć też można czujniki poziomu cieczy, które przypina się do krawędzi naczynia. Sygnalizują one dźwiękiem, gdy poziom cieczy zbliża się do czujnika. Alternatywnie można postawić naczynie na wadze głośnomówiącej i napełniać je do uzyskania pożądanej ilości cieczy, przyjmując przelicznik 1 gram = 1 mililitr. Innym, użytecznym akcesorium, popularnym na Zachodzie, są rękawiczki chroniące przed kuchennym skaleczeniem, z wplecioną w materiał metalową siatką. W Polsce jednak przyjęło się uczyć osoby niewidome i niedowidzące technik krojenia, które chronią przed skaleczeniem.

Na rynku nie ma udźwiękowionego sprzętu AGD, choć technicznie rzecz biorąc, koszt dodania tej funkcjonalności nie byłby zbyt duży. Zamiast tego osoby niedowidzące i niewidome mogą stosować etykiety samoprzylepne. Dostępne są zarówno etykiety o wysokim kontraście, jak i proste etykieciarki brajlowskie dla tych, którzy znają alfabet Braille'a. W praktyce jednak o wiele lepiej sprawdzają się aplikacje w rodzaju Seeing AI czy Envision AI. Co ciekawe, aplikacja ChatGPT i funkcja analizy obrazu i konwersacji z tym dużym modelem językowym świetnie się sprawdza w codziennym życiu osoby niedowidzącej i niewidomej, szczególnie za sprawą wielkości modelu i jego uniwersalnej natury. Niewidomi i niedowidzący mogą użyć tego narzędzia do identyfikacji przedmiotów i ich odnajdywania, sprawdzania stanu roślin doniczkowych czy uzyskania pomocy w obsłudze urządzeń AGD. W segmencie sprzętu medycznego dostępne są udźwiękowione termometry do ciała, ciśnieniomierze i glukometry. Jednak każde urządzenie współpracujące ze smartfonem przez Bluetooth może być „udźwiękowione" za sprawą funkcji ułatwień dostępu wbudowanych w systemy iOS, Android czy Windows.

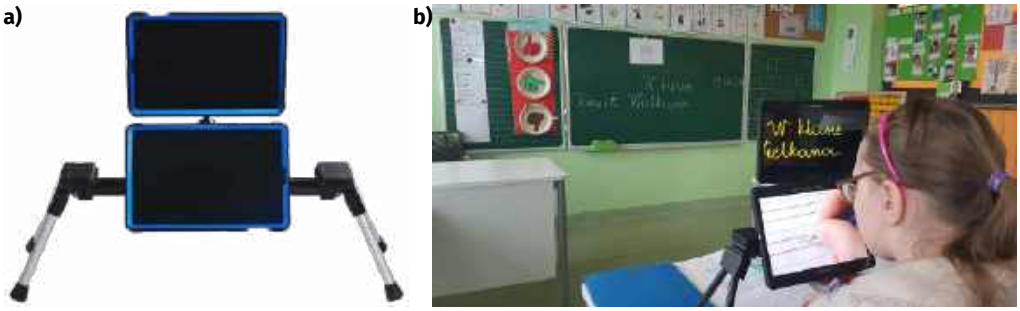


Fotografia 6. Powiększalnik Eyoyo 5" w użyciu, w trybie „białe na czarnym" dla lepszej czytelności

eprasa.pl 50e19a3eb3



Fotografia 7. Różne powiększalniki dla słabowidzących: Snow HD 12 OCR (a), MagniLink ZIP 13 (b) oraz CloverBook Pro (c)



Fotografia 8. Powiększalnik dwuekranowy Exigo: wygląd ogólny (a), urządzenie w użyciu w warunkach szkolnych (b)

Osobną grupę urządzeń stanowią przyrządy ułatwiające dostęp do dokumentów, czasopism i książek czarnodrukowych. Wspomniano już o funkcji skanowania dokumentów w programie Seeing AI czy Envision AI. Tę samą funkcję oferuje Meta AI i Envision w swoich okularach, a także ChatGPT. Alternatywą jest użycie powiększalnika. **Fotografia 6** pokazuje użycie takiego sprzętu chińskiej produkcji (Eyeyo 5") do czytania „Poradnika radioamatora". Powiększalniki takie pozwalają zmieniać tryb wyświetlania kolorów, standardowo do wyboru są kolory zwykłe, odwrócone, o powiększonym kontraście, tryb czarno-biały oraz szereg trybów koloru jednobitowego: czarne litery na tle białym, żółtym, czerwonym, zielonym, pomarańczowym czy niebieskim, a także czarne tło i litery w ww. kolorach – wg preferencji użytkownika. Wśród niedowidzących popularne są też powiększalniki na podstawie bądź statywie. Przykładowym modelem jest Snow HD 12 OCR firmy Zoomax, wyposażony w kamerę 13 MPx, ekran FullHD i funkcję OCR. Standardowo oferuje też różne filtry kolorów, jak wszystkie inne powiększalniki, a dodatkowo pozwala na podłączenie zewnętrznego źródła sygnału HDMI, zewnętrznego monitora HDMI, a także słuchawek. Cały interfejs jest też udźwiękowiony. Urządzenie może pracować jako powiększalnik przenośny dzięki wbudowanej, składanej podpórce, ale w zestawie jest też duży stojak, dzięki któremu powiększalnik staje się urządzeniem bardziej stacjonarnym i pozwala nie tylko na czytanie książek, dokumentów lub czasopism, ale też na wygodne pisanie i rysowanie. Cena niecałych 6400 zł czyni to urządzenie atrakcyjnym wyborem za sprawą dofinansowania PFRON w ramach programu „Aktywny samorząd", wynoszącego do 10 tysięcy złotych na zakup sprzętu elektronicznego dla niedowidzących. Innym ciekawym powiększalnikiem jest MagniLink ZIP 13 firmy LVI. Urządzenie to nie ma wprawdzie funkcji OCR i kosztuje już około 11 tysięcy złotych, ale w zamian oferuje dwa tryby pracy: czytanie/pisanie i patrzenie w dal. W tym drugim trybie zmieniana jest orientacja kamery, którą dodatkowo można obrócić w stronę użytkownika. Wspomniany model oferuje nawet specjalny tryb odbicia lustrzanego, dzięki któremu osoba niedowidząca może skorzystać z powiększenia dla łatwiejszego przycinania brody, czesania włosów czy nakładania makijażu. Dopłacając kolejny tysiąc, można nabyć model MagniLink ZIP 17. Różnica między nimi jest taka, że ten ostatni ma ekran o przekątnej 17", podczas gdy model tańszy oferuje wyświetlacz 13-calowy. Jeszcze innym przykładem jest niedostępny w Polsce przenośny powiększalnik CloverBook Pro, przeznaczony dla uczniów. Ma on dwie kamery: jedną skierowaną w dół, a drugą – na wysięgniku – do patrzenia w dal. Co więcej, urządzenie może przełączać się między tymi kamerami, a także wyświetlać obraz z obu naraz, przy czym obrazy mogą być prezentowane obok siebie albo jeden nad drugim. Urządzenie oferuje również funkcję OCR. Cena to 2999 USD (co w chwili pisania artykułu odpowiada kwocie około 11 500 zł). Prezentacja urządzenia jest dostępna pod adresem: https://youtu.be/3q9ain6GL04. **Fotografia 7** prezentuje wszystkie wymienione urządzenia.

Dla uczniów dostępne są powiększalniki dwuekranowe Exigo, w których jeden ekran pozwala na czytanie książek i sporządzanie notatek, podczas gdy drugi wyświetla przybliżony obraz z tablicy. Powiększalnik ten oraz jego użycie pokazuje **fotografia 8**.

Fotografia 9. CloveBook Pro XL z dodatkowym ekranem CloverView XL: urządzenie (a) i przykłady jego użycia (b i c)

eprasa.pl 50e19a3eb3

Fotografia 10. Funkcje dostępności w systemie Windows 11: lupa i odwracanie kolorów w przeglądarce (a), odwracanie kolorów w grze Planet Zoo (b), użycie lupy w tej samej grze (c)

Cena tego urządzenia to prawie 19 tysięcy złotych, co wydaje się ponurym żartem, biorąc pod uwagę, że technicznie rzecz biorąc coś takiego można stworzyć na bazie typowego tabletu, dodając drugi ekran i modyfikując układ optyczny jednej z wbudowanych kamer. Cała „magia" dzieje się w oprogramowaniu, które w tym przypadku nie oferuje funkcji OCR. Producent chwali się, że Exigo jest jedynym powiększalnikiem dwuekranowym, co jest oczywiście nieprawdą. CloverBook Pro XL ma te same funkcje co jego starszy, 12-calowy brat, ale ma ekran 16". Można też dokupić drugi ekran, CloverView XL rozszerzający funkcjonalność. Główny ekran jest odchylany dla lepszej widoczności, zaś drugi – doczepiany do ramy. Każdy monitor może wyświetlać inny obraz, ale można też je połączyć, by uzyskać jeden większy obraz. Urządzenie pokazano na **fotografii 9**, a jego prezentację/recenzję można obejrzeć pod linkiem: https://youtu.be/3q9ain6GL04.

Wspomniano wcześniej o zastosowaniu etykiet i ich skanera do oznaczania przedmiotów czy ubrań. Urządzenia te bazują na etykietach RFID. Obecnie można też wykorzystać programowalne etykiety NFC, komunikujące się z większością współczesnych smartfonów. Wcześniej jednak istniało rozwiązanie dużo prostsze technicznie: etykiety brajlowskie lub o podwyższonym kontraście. Na rynku można nabyć drukarki mechaniczne i elektroniczne, które drukują napisy na dedykowanych taśmach. Nieco droższe są mechaniczne drukarki brajlowskie. Te ostatnie urządzenia w ostatnich latach staniały, gdyż jeszcze 20...30 lat temu były mało znane i zwykle niedostępne. Etykiety takie sprawdzają się szczególnie na sprzęcie AGD i RTV, choć z czasem ludzie uczą się na pamięć interfejsów najróżniejszych urządzeń.

Smartfon, komputer, komunikacja i Internet dla osób niepełnosprawnych

Ostatnie 25...30 lat przyniosło ogromne zmiany, jeśli idzie o dostępność komputerów czy smartfonów dla osób niedowidzących i niewidomych. We wczesnych latach 90. ub. wieku opracowano polski syntezator mowy Syntalk, który działał na komputerach z systemem DOS. Równocześnie już Windows 3.xx oferował ustawienia wyglądu typu „wysoki kontrast" czy powiększone czcionki. Na późniejsze systemy Windows dostępne były dedykowane programy „czytające ekran". W Polsce popularnym wyborem był program Window-Eyes. W zestawie, poza samą aplikacją, znajdowały się kasety magnetofonowe z wersją audio podręcznika użytkownika oraz sprzętowy klucz zabezpieczający, w późniejszych zastąpiony kluczem USB. Program odczytywał na głos nazwę i zawartość każdego okna systemowego oraz większości aplikacji, w tym przeglądarki internetowej. Pozwalał też na używanie pakietu biurowego, szczególnie programu do tworzenia dokumentów tekstowych i arkuszy kalkulacyjnych. Cena tej aplikacji w Polsce „przypadkiem" odpowiadała maksymalnej kwocie, do której obowiązywała refundacja na oprogramowanie specjalistyczne w ramach programu PFRON „Komputer dla Homera", który wspierał zakup sprzętu i oprogramowania komputerowego dla osób niedowidzących i niewidomych.

Warto zaznaczyć, że programy czytające ekran nie zawsze posiadały własne głosy. Dlatego czasem należało zakupić je oddzielnie. W Polsce popularne były głosy Expressivo/Ivona, z których korzystały nie tylko osoby niepełnosprawne. Popularny niegdyś program AllPlayer używał SAPI (standardowe API dla syntezy mowy), by czytać na głos polskie napisy do zagranicznych filmów, często niegdyś pobieranych z nielegalnych źródeł. Innym narzędziem dla niedowidzących była aplikacja powiększająca fragment ekranu, czyli systemowa lupa. Powiększała ona obszar wokół wskaźnika myszki, przy czym mogło to być zrealizowane w formie pływającej ramki wokół wskaźnika lub jako rozciągnięcie tego obszaru na całą powierzchnię ekranu – wtedy ruch wskaźnika przemieszczał aktywnie powiększany obszar.

Obecnie wciąż dostępne są płatne „czytniki ekranu", ale większość systemów operacyjnych (Windows, macOS X, część dystrybucji Linuxa, iOS oraz Android) ma wbudowane własne rozwiązania ułatwień dostępu: wspomniany czytnik, gotowe głosy, lupę systemową czy specjalne tryby wyświetlania. Pisząc te słowa, Autor korzysta z trybu odwróconych kolorów, by mieć białe litery na czarnym tle. **Fotografia 10** pokazuje przykład zastosowania tych narzędzi w systemie Windows 11. Poza samym odwracaniem kolorów są dostępne tryby wyświetlania dla różnych form daltonizmu. Inne dostępne funkcje to zmiana wielkości czcionek systemowych czy kolorowe znaczniki ułatwiające lokalizację wskaźnika myszki w trybie kursora. Nie tylko system oferuje funkcje ułatwień dostępu – coraz więcej aplikacji, w szczególności gier, ma własne funkcje „uszyte na miarę", a do innych dostępne są mody (tworzone przez fanów modyfikacje gier) pozwalające niewidomym i niedowidzącym na korzystanie z nich. Standardem w wielu grach jest funkcja skalowania interfejsu, choć nie zawsze działa ona jak należy i wymaga ręcznego edytowania plików gry. Takim przykładem jest gra Sid Meier's Civilization VI, która ma ograniczone skalowanie interfejsu powiązane z rozdzielczością ekranu. By wykroczyć poza parametry ustalone przez programistów, należy ręcznie edytować stosowną linijkę w pliku ustawień. Z kolei gry Planet Zoo i Planet Coaster pozwalają na dość swobodną zmianę skali interfejsu, lecz w tym wypadku zbyt duża skala powoduje, że jego elementy znikają za dolną i prawą krawędzią ekranu. Pewną formą ułatwienia dostępu przez szereg lat były kody do gier, używane w trakcie produkcji, ukryte polecenia i funkcje pozwalające betatesterom sprawdzić różne aspekty gry bez konieczności mozolnego jej przechodzenia. Takim kodem ułatwiającym życie niedowidzącego gracza w strzelankach był „God Mode", czyli nieśmiertelność dla postaci gracza. Ponieważ coraz więcej gier powstaje najpierw na konsole, a potem jest konwertowana do wersji na PC, kody powoli z nich zniknęły, i zamiast ich należy używać trainerów – programów modyfikujących wartości zmiennych w obszarze pamięci używanym przez grę.

Dla osób, które nie lubią systemowego czytnika ekranu, dostępny jest darmowy i otwarty program NVDA, który na bieżąco jest rozwijany. Oferuje on zarówno głosy systemowe, jak i te dodane samodzielnie. Odnośnie do głosów warto dodać, że obecnie – dzięki uczeniu maszynowemu i sieciom neuronowym – można stworzyć syntetyczne brzmienie będące kopią głosu dowolnej osoby, a wystarczy do tego kilkusekundowa próbka. Czytelnik mógł spotkać się z tym przy okazji „deep fake'ów", czyli generowanych przez oszustów z użyciem AI nagrań, podszywających się pod prawdziwe osoby.

eprasa.pl 50e19a3eb3

a)

b)

Fotografia 11. Linijki brajlowskie: 40-znakowa linijka Braille eMotion z klawiaturą brajlowską (a) oraz linijka 20-znakowa z klawiaturą QWERTY Orbit Reader Q20 (b). Oba urządzenia mają zestaw dodatkowych przycisków, dwa po bokach (do przewijania tekstu) oraz przyciski dla każdego znaku do pozycjonowania kursora

Stosowane są one nie tylko w celach politycznych czy do wywoływania skandali, ale także do wyłudzania pieniędzy przez podszywanie się pod bliską osobę lub partnera biznesowego. Technologia ta oraz pokrewne metody generowania syntetycznych głosów za pomocą uczenia maszynowego dostarczają bardziej naturalne brzmienie sztucznej mowy, a jednym z zastosowań jest tworzenie ścieżki wokalnej tam, gdzie brakuje adekwatnego wykonawcy albo wykonawca... nie umie śpiewać. Dla osób niewidomych (i nie tylko) oraz dla twórców gier taka synteza wspierana przez AI pozwoli na łatwą produkcję audiobooków lub nadanie głosów wszystkim postaciom w grze, bez konieczności zatrudniania dziesiątek czy setek lektorów. Oznacza to też audiobooki, w których każda postać oraz narrator mają własne głosy.

Osoby niewidome i niedowidzące mają jeszcze jedno narzędzie, a dokładniej rozwiązanie sprzętowe współpracujące z komputerem. Jest nim linijka brajlowska (**fotografia 11**). Urządzenie to zawiera szereg „cel", czyli pojedynczych komórek pisma brajlowskiego, a każda z nich zawiera osiem punktów w dwóch kolumnach po cztery. Pismo brajlowskie standardowo używa tylko sześciu punktów, ostatni rząd jest stosowany m.in. jako znacznik położenia kursora. Plastikowe „punkty" są unoszone w górę za pomocą elementów piezoelektrycznych. Zwykle nie spotyka się też linijek dłuższych niż 40 znaków, co i tak oznacza 320 indywidualnych punktów wymagających zasilania i kontroli. Ze względu na koszty wykonania tych elementów i wymaganą precyzję oraz raczej niszową naturę produktu, koszty linijek przekraczają 10...20 tysięcy złotych. Dość unikalnym tworem jest pokazany na **fotografiach 12a** i **12b** komputer z linijka brajlowską i brajlowskim wyświetlaczem graficznym Graphiti Plus® firmy Orbit. Urządzenie to może funkcjonować niezależnie jako czytnik ebooków, edytor tekstu czy prostej grafiki (dzięki faktowi, że „wyświetlacz" jest dotykowy). Oprogramowanie jest otwarte, a urządzenie oferuje szereg typowych aplikacji, jak zegar z alarmem, kalendarz czy kalkulator. Rozdzielczość matrycy wynosi 60×40 px, co daje 2400 indywidualnych punktów, przy czym każdy z nich może mieć różną wysokość.

Fotografia 12. Komputer Graphiti Plus® firmy Orbit

a)

b)

Fotografia 13. Komputer BrailleSense 6 (a) oraz elektroniczny notatnik polskiej produkcji Kajetek 2000, znajdujący się w posiadaniu Autora (b)

Poniżej głównego wyświetlacza znajduje się 40 cel zwykłej linijki brajlowskiej z przyciskami do pozycjonowania kursora, a jeszcze dalej – przyciski nawigacyjne i klawiatura brajlowska w stylu Perkinsa (producent brajlowskich maszyn do pisania). Urządzenie oferuje też haptyczne i akustyczne sprzężenie zwrotne – syntezę mowy. Może współpracować z komputerem lub smartfonem za sprawą łączy HDMI i USB oraz łączności bezprzewodowej przez Wi-Fi i Bluetooth. Równie ciekawym urządzeniem jest komputer działający pod kontrolą systemu Android 12, BrailleSense 6, pokazany na **fotografii 13a**. Podstawowa specyfikacja sprzętowa jest typowa dla lepszej klasy smartfona:

- procesor Octa-Core, 4×2 GHz A73, 4×2 GHz A53,
- 8 GB pamięci RAM,128 GB pamięci Flash z możliwością rozszerzenia za pomocą karty microSD,
- możliwości komunikacji bezprzewodowej i nawigacji satelitarnej,
- kilka kamer,
- możliwość podłączenia zewnętrznego monitora lub projektora,

a dodatkowo:

- fizyczna klawiatura brajlowska do kontrolowania urządzenia,
- 32-znakowa linijka brajlowska.

Całe urządzenie kosztuje „jedynie" 26 tysięcy złotych. Ta wysoka cena wynika po części z kosztów samej linijki, ale po części z niszowej natury produktu i chęci producenta do maksymalizacji zysków. **Fotografia 13b** prezentuje produkt polski, notatnik/czytnik plików tekstowych Kajetek 2000. Urządzenie to ma wbudowany syntezator mowy, kilka różnych aplikacji, w tym zegarek czy kalkulator

eprasa.pl 50e19a3eb3

oraz umożliwia tworzenie i edytowanie notatek czy dokumentów. Niestety, dostępna pamięć była mocno ograniczona, a urządzenie nie miało opcji rozbudowy tej pamięci za pomocą kart czy układów Flash. Do tego jedyną opcją komunikacji z komputerem był port szeregowy. Obecnie urządzenie o podobnej funkcjonalności, ale bardziej rozbudowane, można zrealizować na mikrokontrolerze ARM albo na komputerze jednopłytkowym w rodzaju Raspberry Pi.

Komunikacja osób głuchych i niedosłyszących za pomocą komputera jest o wiele prostsza – wystarczy umieć czytać lub użyć chatu video. Inaczej ma się sprawa w przypadku rozmów telefonicznych. Na Zachodzie dostępna była – przynajmniej od lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku – usługa, w której osoba niesłysząca używała dedykowanego terminala w połączeniu z modemem, by móc połączyć się z pracownicą firmy komunikacyjnej. Ta zaś – w imieniu osoby korzystającej z opisywanej usługi – wykonywała połączenie i mówiła rozmówcy, co osoba niesłysząca chce przekazać, a potem przesyłała jej odpowiedź rozmówcy. We wczesnych latach dziewięćdziesiątych w Polsce pojawiły się podobne terminale rodzimej produkcji. Posiadacze tych urządzeń mogli komunikować się ze sobą drogą telefoniczną. Pojawienie się telefonii komórkowej, szczególnie zaś funkcji SMS, wyeliminowało terminale z powszechnego użycia. Obecnie zaś osoby niesłyszące używają funkcji rozmowy video do komunikacji językiem migowym. Ponadto istnieje też komunikacja alternatywna i wspomagająca (AAC – Augmentative and Alternative Communication) – w rozwiązaniu tym używa się kart z symbolami lub aplikacji wyświetlającej te karty. Każdy symbol opisany jest też tekstem, a w przypadku aplikacji znaczenie symbolu jest odczytywane na głos. W Polsce służy do tego oprogramowanie Mówik, pozwalające na sprawną komunikację osobom, które z jakiegoś powodu mają problemy z mową lub są całkowicie nieme. Co ciekawe, z podobnych narzędzi mogą też korzystać turyści – od szeregu lat dostępne są karty z obrazkami i napisami w szeregu języków, które pomagają podróżnym odnaleźć się w obcym im kraju – jest to dość prosta, acz skuteczna alternatywa do „rozmówek" czy elektronicznych tłumaczy. Wracając do osób niesłyszących, warto wspomnieć, że podejmowano też próby stworzenia rozwiązań konwertujących język migowy (głównie ASL, czyli amerykański język migowy) na mowę. Metody optyczne, opierające się na rozpoznawaniu obrazu, miały spore trudności z wyłapaniem i odróżnianiem poszczególnych gestów. Grupy hobbystów próbowały stworzyć też rękawice z modułami IMU i rezystancyjnymi czujnikami ugięcia palców, lecz ta opcja – choć obiecująca – miała problemy z samym ruchem. Należy zaznaczyć, iż były to prace konkursowe, a nie prototypy przyszłych, komercyjnych produktów.

Dla osób, które zmagają się z problemami ruchowymi, opracowano cały szereg rozwiązań, dopasowanych do różnych przypadłości. Niepełnosprawni pozbawieni po amputacji ręki albo z niedowładem kończyny górnej mogą korzystać z dostępnych na rynku klawiatur z układem Dvoraka, w wariantach lewo- i praworęcznym. Nie trzeba kupować dedykowanej klawiatury, gdyż wystarczy pozmieniać położenia klawiszy i ustawienia systemu lub dodać aplikację zmieniającą układ w sposób programoy. Jeśli jednak chodzi o kontrolery do gier, sytuacja ma się zdecydowanie gorzej. Dostępne są jednoręczne klawiatury gamingowe, ale ich zadaniem jest zastąpienie zwykłej klawiatury, podczas gdy dla osoby posiadającej tylko jedną sprawną rękę potrzebna byłaby zintegrowana alternatywa dla klawiatury i myszki. Pewnym rozwiązaniem może być joystick, ale i ten typ kontrolera często ma dodatkowe przyciski czy przepustnicę, które kontroluje się drugą ręką. Hobbyści też budowali własne kontrolery, biorąc kontroler fabryczny i przerabiając go tak, by mógł działać jako kontroler jednoręczny. Obecnie takie eksperymenty są łatwiejsze za sprawą druku 3D, dostępności części do kontrolerów oraz płytek rozwojowych ze wsparciem sprzętowym USB HID. Pozwala to na przykład zastąpić jedną gałkę analogową modułem IMU, który śledzi fizyczne położenie kontrolera.

Dla osób z ograniczeniami w zakresie małej motoryki, tj. precyzyjnej kontroli palców i dłoni, opracowano klawiatury „Jumbo", o większych klawiszach, często z oznaczeniami o dużym kontraście. Można też wykorzystać kontrolery typu arcade znane z automatów do gier, które oferują duże przyciski i gałki analogowe o sztywniejszej i solidniejszej konstrukcji. Zamiast podatnej na drżenie dłoni myszki można zastosować trackballa – dziś już mocno zapomniane peryferium, w którym palcem toczy się kulkę, podczas gdy reszta dłoni spoczywa na urządzeniu, a palce na przyciskach. Redukując czułość, można uodpornić urządzenie na niepożądane drżenie palca, choć rzecz jasna odbywa się to kosztem wolniejszego ruchu wskaźnika. Dla graczy z tego typu ograniczeniami niektóre gry oferują mniejszą lub większą asystę w celowaniu oraz inne opcje ułatwień. Nie każda gra pozwala na swobodną zmianę przypisania klawiszy, są jednak aplikacje, które – przynajmniej na komputerze PC – na to pozwalają. Dla osób z poważniejszymi problemami, jak brak obu dłoni/rąk, dostępne są klawiatury i kontrolery nożne, a dla osób sparaliżowanych czterokończynowo – rozwiązania oparte na ruchu gałek ocznych (i nie tylko) i współpracujące ze specjalizowanym oprogramowaniem komputerowym.

Rozpoznawanie mowy, a co za tym idzie, także polecenia głosowe również stanowią formę ułatwienia dostępu. Już w latach osiemdziesiątych dostępne były proste układy rozpoznawania pojedynczych poleceń w języku angielskim. Microchip z kolei udostępnia bibliotekę na 16-bitowe mikrokontrolery dsPIC, która również rozpoznaje pojedyncze słowa, używając ukrytego modelu Markowa (HMM – Hidden Markov Model). Firma Nuance od ponad dwudziestu lat rozwija własne narzędzie, którego głównym zastosowaniem było dyktowanie notatek i danych pacjentów w amerykańskiej służbie zdrowia, z ekstremalnie wysoką dokładnością. Firma – poza wersjami specjalizowanymi – oferowała też aplikację uniwersalną (pozwalającą kontrolować komputer, a także umożliwiającą swobodne dyktowanie). Obecnie jednak, dzięki możliwościom uczenia maszynowego, sterowanie głosowe jest dostępne na różne platformy. Windows, macOS X, iOS i Android oferują te funkcje od dłuższego czasu. Dostępny jest też Asystent Google, a każda platforma AI, jak ChatGPT, Meta AI czy Gemini, również pozwala na interakcję głosową. Tak samo Envision AI oraz podobne narzędzia dla niedowidzących i niewidomych pozwalają na interakcję głosową. Technologia ta rozwijana jest cały czas, a jeden z kierunków tego rozwoju to ograniczenie wpływu niskiej jakości dźwięku oraz zakłóceń środowiskowych na skuteczność rozpoznawania mowy. Firma nVidia udostępnia darmowe narzędzie dla twórców, które wykorzystuje możliwości kart graficznych RTX do usuwania niechcianych dźwięków z otoczenia. Z funkcji rozpoznawania mowy od lat korzystają też różne systemy automatyki domowej i jest to zasadniczo podstawa ich działania.

Kultura i multimedia

Odkąd istnieje technologia trwałego zapisu dźwięku, istniały też książki mówione dla niewidomych i niedowidzących. Pierwotnie zapisywane na płytach winylowych, później taśmach szpulowych, a następnie na kasetach magnetofonowych audiobooki, jak je współcześnie nazywamy, były i są ważną częścią życia wielu osób, nie tylko niepełnosprawnych. Polski Związek Niewidomych od wielu dekad udostępnia swoje zbiory osobom z niepełnosprawnością wzroku. Co ciekawe, przez dekady ta usługa była realizowana z pomocą Poczty Polskiej, która za darmo dostarczała przesyłki z taśmami. Autor korzystał z tej usługi dość często i niejeden raz otrzymał z Warszawy paczki zawierające po 5...10 kartonów, a w każdym kilkanaście kaset magnetofonowych. Obecnie zbiory te są dostępne również online. Co więcej, nie tylko audiobooki są tak udostępniane, ale również e-booki. Od ponad dwóch dekad bowiem dostępne są zarówno programy (wspomniane Expressivo i jego późniejsza wersja, Ivona Reader), jak i sprzętowe czytniki e-booków.

eprasa.pl 50e19a3eb3

Przykładem może być pokazany na **fotografii 14** czytnik e-Lektor. Urządzenie to pozwala czytać pliki tekstowe, nagrania audio oraz książki w formacie DAISY, które łączą ze sobą tekst, nagranie audio oraz zaawansowane opcje nawigacji i wyszukiwania (te ostatnie są dostępne tylko wtedy, gdy twórca książki DAISY doda potrzebne informacje). Synteza mowy realizowana jest za pomocą bardzo popularnego głosu IVONA Jacek. Innym produktem jest Czytak (**fotografia 15**), który poza standardowymi formatami plików używa też własnego, zaszyfrowanego formatu, który ma na celu ukrócenie piractwa. Z tego także powodu pliki Czytaka są niekompatybilne z innymi urządzeniami. Warto też wspomnieć o darmowym programie Balabolka, który wykorzystuje zainstalowane głosy kompatybilne z SAPI do czytania plików tekstowych na komputerze PC. Może też generować pliki audio, dzieląc dokument na mniejsze kawałki, na przykład rozdziały, przez rozpoznawanie stosownych sekwencji znaków.

Fotografia 14. Czytnik e-Lektor

Fotografia 15. Czytak 4. Istnieją też podobne urządzenia wielu innych producentów

Alternatywą dla audiobooków teoretycznie mogą być książki brajlowskie. W praktyce rozwiązanie to ma jedną, dużą wadę: objętość. Ze względu na naturę pisma brajlowskiego kartki nie mogą być ściśnięte, a do tego w pojedynczym tomie mieści się ich ograniczona liczba. W konsekwencji pojedyncza, niezbyt duża książka czarnodrukowa w brajlu zająć może całą półkę. W formie brajlowskiej wydaje się więc głównie podręczniki szkolne, które wypożycza się potrzebującym ich uczniom. E-booki, zwłaszcza w połączeniu ze wspomnianymi wcześniej linijkami brajlowskimi i komputerami, są obecnie dużo praktyczniejsze, pomimo wysokiej ceny urządzeń. Dla osób niedowidzących dostępne są książki, podręczniki, a nawet czasopisma z powiększoną czcionką i ilustracjami. Obecnie jednak i to rozwiązanie nie jest aż tak praktyczne, biorąc pod uwagę dostępność przenośnych i stacjonarnych powiększalników oraz fakt, że wiele wydawnictw dostępnych jest w formatach PDF i epub, co pozwala na czytanie ich na komputerze czy smartfonie, z możliwością dowolnego powiększenia, zmiany kolorów, a niekiedy też konwersji do formatu audio. Pliki PDF jednak do tego nadają się średnio, szczególnie w językach, w których występują znaki diakrytyczne. Zdarza się bowiem, że symbole te są tworzone przez „składanie" litery i znaku interpunkcyjnego, co jest potem odzwierciedlane przez syntezator mowy. Ponadto pliki PDF często są zabezpieczone przed kopiowaniem treści, co utrudnia programom „czytającym ekran" dostęp do tekstu. Spotyka się też czasami dokumenty, które nie mają w ogóle tekstu, lecz zbiór zeskanowanych stron. Oczywistym rozwiązaniem wszystkich trzech problemów jest użycie optycznego rozpoznawania tekstu (OCR), zarówno w formie aplikacji działającej na komputerze PC, jak i za pomocą aplikacji Seeing AI, Envision AI bądź okularów, np. Meta Ray-Ban czy Envision Glasses.

Telewizja jest tym medium, które mocno przysłużyło się osobom niesłyszącym. Zarówno w Polsce, jak i w innych krajach pojawili się bowiem tłumacze języka migowego, którzy tłumaczyli (i wciąż tłumaczą) na ten język programy informacyjne. W latach osiemdziesiątych w USA opracowano przystawki do telewizorów, które wyświetlały na nich napisy – w analogowym sygnale ukryty był tekst, a urządzenia go dekodowały i generowały napisy za pomocą sprzętowego generatora znaków. Co ciekawe, urządzenia były zdolne do detekcji wulgaryzmów i cenzurowały je. W Polsce napisy są dostępne przez wybór odpowiedniej strony Telegazety. Obecnie jednak ludzie przechodzą na platformy streamingowe, które również dostarczają napisy w wielu językach. Dla osób niewidomych i niedowidzących z kolei platformy te oferują audiodeskrypcję, choć nie zawsze w języku polskim. Tutaj ciekawostka: polska audiodeskrypcja bywa mniej dokładna i uboższa w informacje w porównaniu do audiodeskrypcji angielskiej – Autor preferuje tę drugą wersję właśnie z opisanego wyżej powodu.

Jeśli idzie o dostęp do kultury w bardziej bezpośredni sposób, jak na przykład przedstawienia teatralne, to w Polsce jest z tym pewien problem. Sztuki teatralne w języku migowym czy z asystą tłumacza języka migowego to rzecz wciąż niespotykana, z kolei jeśli osoba niewidoma lub niedowidząca potrzebuje audiodeskrypcji, zazwyczaj musi się o to zatroszczyć sama, choć kultura osobista wymaga, by nie rozmawiać w trakcie przedstawienia. Osoby z niepełnosprawnością ruchową często mają problem, żeby w ogóle dostać się do teatru, kina czy filharmonii. Wiele z tych budynków powstawało w czasach, gdy nikt nie myślał o dostępności, a modernizacja takiego budynku może być bardzo kosztowna lub wręcz niemożliwa. Muzea również miewają problemy z dostępnością, szczególnie jeśli znajdują się w zabytkowych budynkach. Drugim problemem są ograniczenia w możliwości obcowania z dziełami sztuki czy artefaktami historycznymi. Osoby z dużym ubytkiem wzroku i całkowicie niewidome muszą opierać się na opisach eksponatów, gdyż w znakomitej większości muzeów nie tylko nie można eksponatów dotykać, ale nawet do nich podejść. Jest to, oczywiście, całkowicie zrozumiałe. Pewną opcją jest posiadanie replik eksponatów oraz płaskorzeźb odtwarzających obrazy czy miniatur i modeli większych eksponatów. W niektórych muzeach jednak istnieje możliwość mniej lub bardziej ograniczonego kontaktu z eksponatami. Ciekawym przypadkiem jest Centrum Nauki Kopernik, gdzie spora część obiektów jest wręcz stworzona do interakcji ze zwiedzającymi. Nie wszystko jest przyjazne niewidomym i niedowidzącym, lecz poziom interakcji i dostępności jest i tak bardzo wysoki. Ciekawym przypadkiem są też ogrody zoologiczne.

REKLAMA

eprasa.pl 50e19a3eb3

Fotografia 16. Wózki inwalidzkie różnych typów: drewniany wózek z początku XX wieku (a), współczesne wózki inwalidzkie: model składany i modele wsuwane jeden w drugi, w szwedzkim szpitalu (b), wózek elektryczny z napędem na przednie koła i siedziskiem „kapitańskim" (c), pionizator (d), wózek terenowy (e), skutery dla niepełnosprawnych (f). Źródło: Wikipedia.org

Warszawskie zoo, wychodząc naprzeciw niewidomym i niedowidzącym, oferuje rzeźby różnych zwierząt w miniaturze, które pozwalają przez dotyk poznać ich kształt. Niestety, tych rzeźb jest zdecydowanie mniej, niż gatunków zwierząt, które można w zoo zobaczyć, za to nie brakuje tablic i map brajlowskich. Muzea, galerie sztuki oraz ogrody zoologiczne, szczególnie na Zachodzie, oferują elektroniczne przewodniki z audiodeskrypcją, podobne rozwiązanie starają się też zapewnić przewodnicy.

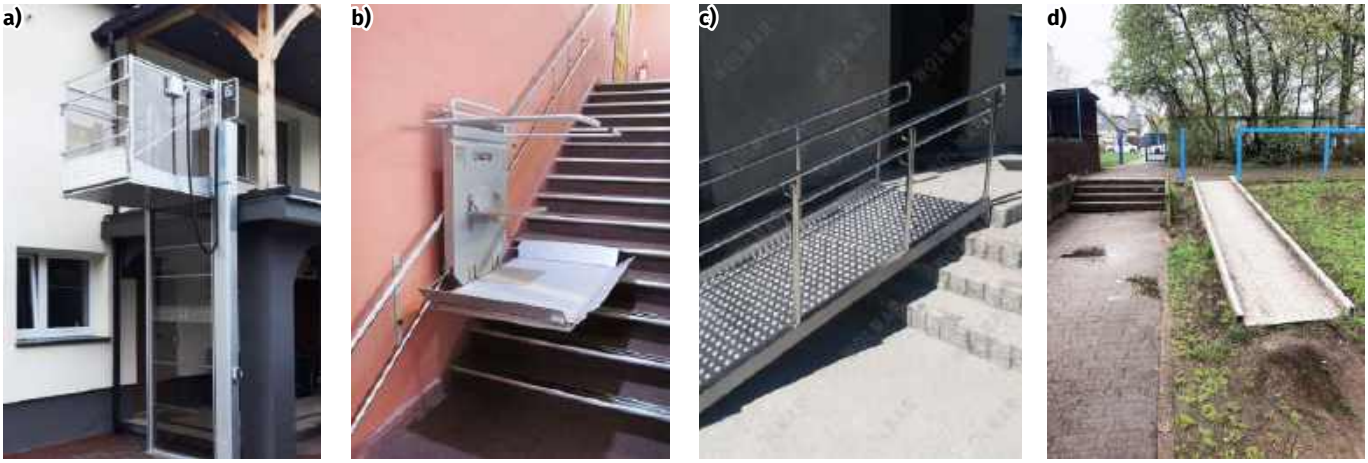
Rozwiązania i sprzęt dla osób z niepełnosprawnością ruchową

Uniwersalnym symbolem oznaczającym miejsca dostępne dla osób niepełnosprawnych jest uproszczona grafika osoby na wózku inwalidzkim. To relatywnie proste narzędzie zapewniające mobilność służyło ludziom przez dekady i w swej nieskomplikowanej formie wciąż jest popularnym i tanim wyborem. Poruszanie się na wózku wymaga jednak w miarę silnych rąk, co może stanowić problem dla osób starszych lub mających dodatkowe dolegliwości ruchowe, nie wspominając już o osobach sparaliżowanych. Warto też pamiętać, że poruszanie się na wózku inwalidzkim nie jest zarezerwowane tylko dla tych, którzy nie mają władzy w kończynach dolnych – istnieje bowiem cały szereg chorób i wad wrodzonych, które utrudniają lub uniemożliwiają poruszanie się na własnych nogach. Poza wózkami klasycznymi na rynku od dekad dostępne są też wózki elektryczne. Prostsze modele mają dwa silniki napędzające tylne koła, niewielki kontroler i akumulator (często obecnie litowo-jonowy ze zintegrowaną ładowarką) i pozwalają na wjazd wszędzie tam, gdzie poradzi sobie też zwykły wózek. Istnieją jednak droższe i bardziej rozbudowane modele, które na przykład potrafią wspinać się po schodach. Inne wersje integrują też respirator, komputer do komunikacji za pomocą syntezy mowy i system sterowania dostosowany do stopnia i rodzaju niepełnosprawności. Oddzielną grupę stanowią wózki z funkcją pionizatora, w których użytkownik może znajdować się w pozycji siedzącej, ale w razie potrzeby może przyjąć też pozycję stojącą, przy czym wózek utrzymuje użytkownika i przenosi część ciężaru. Kolejną grupę stanowią wózki inwalidzkie terenowe, w tym również zmotoryzowane. Warto też dodać do tej listy skutery elektryczne, trójkołowe, które mogą poruszać się zarówno po chodnikach, jak i wewnątrz budynków. **Fotografia 16** pokazuje wszystkie te warianty transportu dla niepełnosprawnych.

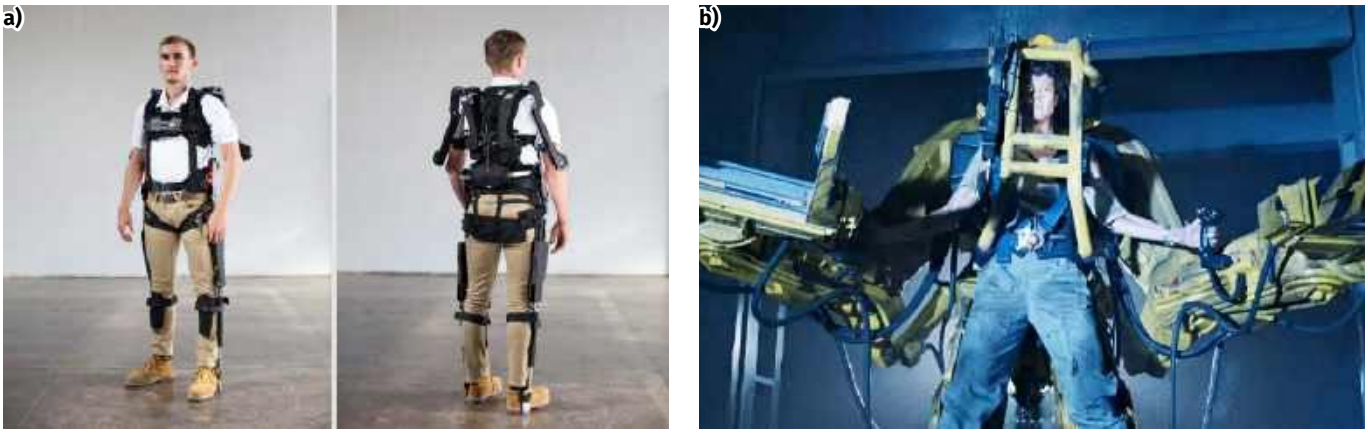
Dostosowywanie budynków dla osób poruszających się na wózkach inwalidzkich trwa w Polsce od ponad dwudziestu lat i jest współfinansowane przez państwo w ramach programu likwidacji barier architektonicznych. W budynkach użyteczności publicznej montowane są na przykład windy (często hydrauliczne, gdy budynek ma dwie lub trzy kondygnacje) oraz ruchome platformy dla wózków inwalidzkich, wspinające się wzdłuż schodów. Najprostszą zmianą jest montaż rampy przy wejściu do budynku, choć nie zawsze udaje się to zrobić prawidłowo. **Fotografia 17** prezentuje te rozwiązania, w tym rampę wykonaną ewidentnie źle (**fotografia 17d**).

Również pojazdy dostosowuje się do potrzeb osób niepełnosprawnych. Standardem są autobusy niskopodłogowe z rozkładaną rampą, rzadziej jednak spotyka się w Polsce odpowiednio dostosowane wagony kolejowe czy autokary. W takim wypadku alternatywą są samochody osobowe czy miniwany. Te drugie mają rozkładaną rampę lub zautomatyzowany podnośnik. Oba typy pojazdów można dalej zmodyfikować tak, by osoba niepełnosprawna mogła operować nimi bez użycia nóg. Zamiast pedałów gazu i hamulca montuje się dźwignie lub manetki przy kierownicy, a dla ułatwienia konwersji wybiera się pojazd z automatyczną skrzynią biegów. Łatwiej też

eprasa.pl 50e19a3eb3



Fotografia 17. Hydrauliczna winda dla niepełnosprawnych dobudowana do istniejącego budynku (a), platforma dla wózków inwalidzkich (winda schodowa) wędrująca po szynie wzdłuż schodów (b), rampa wykonana prawidłowo (c) i nieprawidłowo (d). Źródło: materiały prasowe



Fotografia 18. Egzoszkielety: prototyp dla osób niepełnosprawnych (a) i wizja przyszłości, egzoszkielet z filmu „Obcy – decydujące starcie", przeznaczony do przenoszenia dużych kontenerów (b)

jest zmodyfikować samochód elektryczny niż spalinowy. Od szeregu lat trwają też prace nad pojazdami częściowo lub całkowicie autonomicznymi. Jak na razie jednak eksperymenty wskazują na to, że – o ile sam pojazd zazwyczaj umie podejmować odpowiednie decyzje – to problem mogą stanowić inni użytkownicy drogi, którzy (sądząc po statystykach wypadków drogowych) po ponad stu dwudziestu latach istnienia motoryzacji i setkach lat istnienia wozów konnych wciąż nie nauczyli się przestrzegać zasad ruchu drogowego i zdrowego rozsądku. Pojazdy autonomiczne będą doprawdy bezpieczne dopiero wtedy, gdy będą stanowić większość w ruchu drogowym, a ich nieautonomiczni kuzyni będą mogli być zdanie kontrolowani w razie zagrożenia wypadkiem drogowym.

Ciekawym kierunkiem, w jakim zmierza technologia dla osób niepełnosprawnych ruchowo, są egzoszkielety. Urządzenia te jednak nie tylko mają służyć niepełnosprawnym, ale też pomagać pracownikom w dźwiganiu ciężkich przedmiotów. Dużym ograniczeniem takiego rozwiązania jest pobór energii – egzoszkielet zasilany bateryjnie ma ograniczony czas działania. Z drugiej strony osoby poruszające się na wózkach inwalidzkich są narażone na cały szereg problemów zdrowotnych związanych z ograniczeniem mobilności. Egzoszkielet ma potencjał zapobiegać tym problemom przez wymuszenie naturalnego ruchu ciała. Osoby po udarach mogą dzięki egzoszkieletom nauczyć się chodzić na nowo. Od strony inżynierii głównym problemem nie jest zaprojektowanie rozwiązania, które ma tyle samo stopni swobody, co kończyna wspierana przez egzoszkielet, lecz stworzenie oprogramowania, które nie tylko będzie naśladować naturalny ruch tej kończyny, ale też pozwoli na balansowanie egzoszkieletem i naturalny ruch. Drugim wyzwaniem jest stworzenie konstrukcji lekkiej, a jednocześnie niewymagającej zewnętrznego zasilania. Czytelników może zaciekawić krótki

Fotografia 19. Proteza stopy w stylu Flex-Foot Cheetah. Źródło: Wikipedia.org

reportaż o egzoszkielecie wifry Wandercraft, który już jest używany do rehabilitacji osób po udarach: https://youtu.be/WuG_11qK9x8. Na **fotografii 18a** można zobaczyć inny, przykładowy egzoszkielet, wspomagający osobę niepełnosprawną w poruszaniu się. Jednakże drugim, dominującym kierunkiem rozwoju jest budowa egzoszkieletów, które w przyszłości mogą wyglądać jak ten z filmu „Obcy – decydujące starcie" (**fotografia 18b**).

Protezy, implanty

Ostatnie kilka dekad przyniosło ogromne zmiany również w kwestii protetyki. Przykładem jest proteza stopy Flex-Foot Cheetah

eprasa.pl 50e19a3eb3

(**fotografia 19**), która pozwala na bieganie – coś, na co protezy wcześniejsze, przypominające formą prawdziwą stopę nie pozwalały. Ta proteza opiera się na doborze kilku różnych materiałów tworzących wyprofilowaną, kompozytową „stopę" – ukształtowaną w taki sposób, by uzyskać optymalny stosunek sztywności i elastyczności. Proteza ugina się w sposób naśladujący pracę stopy w czasie chodzenia czy biegania, bazując na sprężystości materiału. W przypadku amputacji nogi powyżej kolana sytuacja mocno się komplikuje, bowiem bez ruchomego stawu kolanowego chodzenie jest mocno utrudnione. Przyjmuje się, że osoba z protezą nogi zaczynającą się powyżej kolana zużywa 60% więcej energii na chodzenie niż osoba zdrowa. Dlatego też współczesne protezy wyposażone są w dość zaawansowane mechaniczne stawy, często zmotoryzowane i sterowane przez mikrokontroler. Przykład takiej protezy w użyciu pokazuje **fotografia 20**. Nie każdy jednak może sobie pozwolić na zaawansowaną technicznie protezę. Dla tych osób dostępne są modele tańsze, zaprezentowane na **fotografii 21**. Czy da się jeszcze taniej? Tak, istnieje kilka projektów opartych na druku 3D i podstawowych komponentach mechanicznych. To rozwiązanie ma jednak jeden, dość poważny problem: tanie i łatwo dostępne filamenty podstawowe nie oferują wystarczającej wytrzymałości, więc proteza musi być stosunkowo ciężka. Z kolei filamenty nadające się lepiej do takich zastosowań, jak na przykład nylon z dodatkiem włókna szklanego lub węglowego, są kłopotliwe w druku i wymagają nieco kosztowniejszych drukarek oferujących wyższe temperatury druku. Oczywiście protezy w Polsce są refundowane, co obniża znacząco koszty ponoszone przez pacjenta, ale nie rozwiązuje wszystkich problemów. Gdy sporządza się protezę,

Fotografia 20. Sierżant Jerrod Fields w czasie treningu z protezą nogi

Fotografia 21. Protezy niskobudżetowe. Źródło: Wikipedia.org

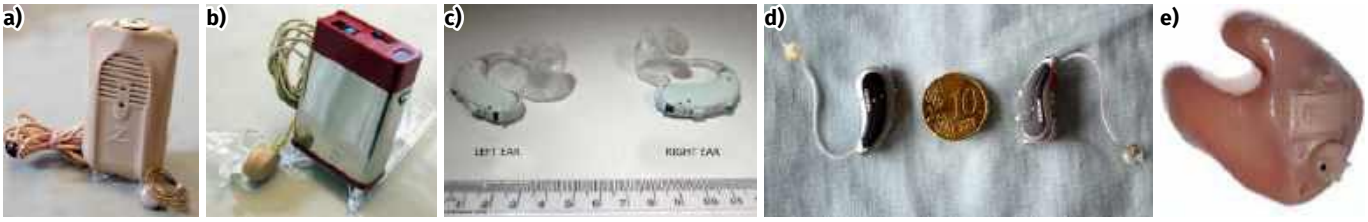
Fotografia 22. Proteza dłoni firmy Open Bionics w stylu „Gwiezdnych wojen". Źródło: Wikipedia.org

kielich – czyli element nakładany na kikut – wykonywany jest tak, by ten kikut lepiej uformować. Po kilku miesiącach należy zmienić kielich na nowy, przeznaczony do normalnego użytku. Ta wymiana jest refundowana raz na kilka lat. Oznacza to, że osoba po amputacji może korzystać z protezy przez kilka miesięcy, ale potem przestaje z powodu narastającego bólu – i dopiero po kilku latach, gdy może otrzymać właściwy kielich, proces atrofii mięśni doprowadza do tego, że taka osoba już nie może chodzić bez kosztownej i długotrwałej fizjoterapii.

Protezy dłoni czy całej ręki są w tej chwili dość zaawansowanymi konstrukcjami, łączącymi w sobie mechanikę precyzyjną, miniaturowe silniki i serwa, czujniki i kompleksowy system kontrolny oraz zaawansowane funkcje akwizycji i przetwarzania sygnałów bioelektrycznych. Kielich takiej protezy ma zintegrowany szereg elektrod wykrywających sygnały przesyłane do mięśni, które pozostały w kikucie. Sygnały te są wzmacniane, analizowane i przetwarzane na polecenia dla sztucznej kończyny. Mózg użytkownika takiej protezy uczy się na nowo używania kończyny, co zajmuje wiele tygodni. Z drugiej strony taka proteza jest w stanie wykonywać większość czynności, które wykonuje normalna ręka, a prace idą w kierunku nie tylko ulepszenia systemu kontroli, ale też zapewnienia sprzężenia zwrotnego. Oczywiście tak zaawansowane protezy są wyjątkowo kosztowne. Im tańsze rozwiązanie, tym proteza staje się bardziej ograniczona, aż do przysłowiowego haka zamiast dłoni. Firma Open Bionics pracuje nad szeregiem sztucznych kończyn, przykładem może być pokazana na **fotografii 22** proteza dłoni w stylu „Gwiezdnych wojen". Co przyniesie przyszłość? Być może naturalnie wyglądające protezy kończyn, komunikujące się bezpośrednio z nerwami ruchowymi i czuciowymi, które będą w stanie całkowicie zastąpić biologiczną kończynę.

Swego rodzaju protezą jest też aparat słuchowy. Najprostsza forma to trąbka słuchowa, która wzmacnia dźwięki poprzez skupienie niewielkich zmian ciśnienia z dużego obszaru (otworu o dużej średnicy) do dużych zmian ciśnienia na małym obszarze (mała średnica otworu przyłożonego do ucha). Przed wynalezieniem radaru masywne konstrukcje o kierunkowej charakterystyce były używane do nasłuchiwania, z którego kierunku nadlatuje wrogi samolot. Na tej samej zasadzie działa też stetoskop. Jednak prawdziwym początkiem aparatów słuchowych było pojawienie się triody – lampy elektronowej umożliwiającej budowę wzmacniaczy. Na potrzeby budowy małych, przenośnych urządzeń opracowano kilka subminiaturowych lamp elektronowych o ekstremalnie niskim napięciu żarzenia, dzięki czemu pojedyncza bateria mogła zasilać dwa żarniki połączone szeregowo. Lampy te były niewiele większe od współczesnych tranzystorów małosygnałowych, jak BC547 i na ich bazie budowano aparaty słuchowe wielkości paczki papierosów. Mikrofon w urządzeniu wychwytywał dźwięki, które były następnie wzmacniane i czasem filtrowane, a następnie przewodem trafiały do słuchawki

eprasa.pl 50e19a3eb3

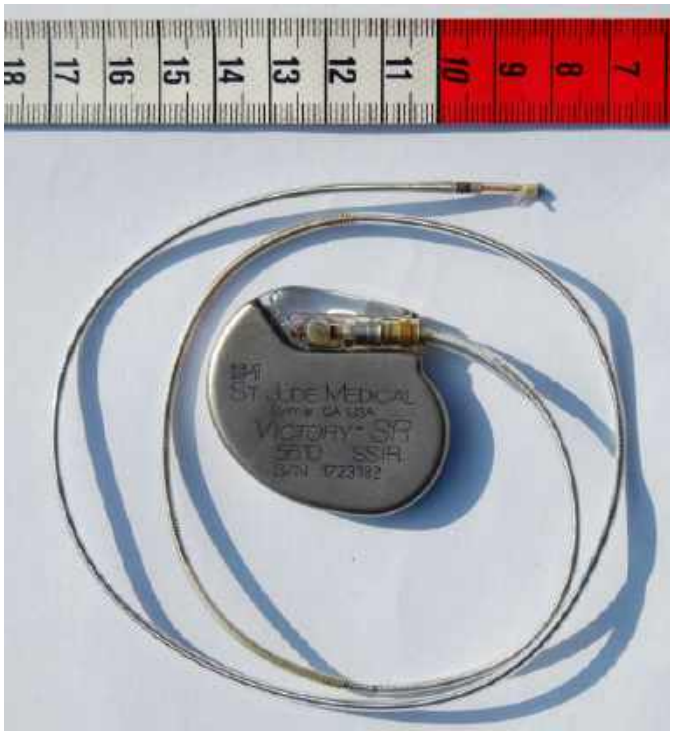


Fotografia 23. Aparaty słuchowe: lampowy (a), tranzystorowy (b), współczesne aparaty zauszne z silikonową rurką przenoszącą dźwięk do kanału słuchowego (c), aparaty z głośnikiem umieszczonym we wkładce dokanałowej (d), aparat instalowany w małżowinie usznej (e). Źródło: Wikipedia.org

noszonej na uchu. Dalsza miniaturyzacja nastąpiła po pojawieniu się tranzystorów, gdy całe urządzenie, łącznie z baterią, dało się umieścić za uchem, jak to jest robione ze współczesnymi aparatami słuchowymi. Wciąż jednak produkowano też modele „kieszonkowe", jako że oferowały większe wzmocnienie i dłuższy czas pracy. Obecne aparaty słuchowe to już urządzenia dużo bardziej skomplikowane, wyposażone we wzmacniacz klasy D, przynajmniej jeden wysokiej jakości mikrofon oraz zaawansowany układ DSP, pozwalający dostosować charakterystykę dźwięku do indywidualnej charakterystyki ubytku słuchu pacjenta. Urządzenia te są zasilane bateriami cynkowo-powietrznymi i – zależnie od poziomu głośności – mogą na nich pracować od kilkunastu do kilkudziesięciu godzin. Nieco starsze modele pozwalały też na użycie pętli indukcyjnej (noszonej na szyi), która z kolei mogła być połączona z telefonem komórkowym, przenośnym odtwarzaczem muzyki czy nawet odbiornikiem radiowym sparowanym z nadajnikiem (a ten mógł być umieszczony gdzieś indziej). To ostatnie rozwiązanie pozwala użytkownikowi na przykład na uczestnictwo w zajęciach dydaktycznych poprzez wręczenie nadajnika nauczycielowi lub wykładowcy. Obecnie częściej spotyka się technologię Bluetooth Low Energy, choć i wsparcie dla pętli indukcyjnych też bywa dodane w celu zachowania kompatybilności z istniejącymi rozwiązaniami. Różne aparaty słuchowe pokazano na **fotografii 23**.

Poza oczywistymi protezami kończyn istnieje też cały szereg innych protez. Od kosmetycznych protez uszu, nosów czy szklanych gałek ocznych, po endoprotezy stawów czy elementy zastępujące fragmenty kości bądź uzupełniające zniszczenia i ubytki twarzoczaszki. Sztuczne zamienniki stawów są relatywnie proste w wykonaniu (pod względem technologicznym), ale najbardziej skomplikowanym etapem pozostaje operacja wymiany biologicznego stawu na sztuczny. Elementy mające pomóc w rekonstrukcji twarzy czy czaszki wykonuje się za pomocą obrabiarek CNC na bazie modelowania komputerowego, którego pierwszym etapem jest tworzenie dokładnego obrazu czaszki za pomocą tomografii komputerowej. Protezy uszu, nosa czy oka wymagają już większej dozy artyzmu – są formowane i malowane ręcznie. Dla przykładu szklane oko robione na miarę jest ręcznie malowane tak, by wyglądało jak oryginał, który ma zastąpić.

Implanty aktywne, czyli urządzenia elektroniczne instalowane wewnątrz ciała pacjenta, są wyjątkowo wymagające od strony inżynierii. Nie dość, że muszą być jak najmniejsze, to jeszcze powinny przetrwać trudne warunki wewnątrz ciała, zapewnić niemal absolutną bezawaryjność, przy zachowaniu biologicznej obojętności, hermetyczności i energooszczędności. Najbardziej znanym typem implantu medycznego jest oczywiście rozrusznik serca. Urządzenie to pracuje przez 5...10 lat, cały czas generując impulsy stymulujące poprawny rytm serca. Kardiowertery-defibrylatory z kolei stymulują serce w razie pojawienia się nieprawidłowego rytmu zagrażającego życiu. Swoją drogą, w wielu serialach medycznych powielany jest mit defibrylacji wtedy, gdy serce całkowicie przestaje bić (tzw. asystolia, czyli zanik elektrycznej akcji serca – przyp. red.) – w rzeczywistości zabieg ten wykonuje się wtedy, gdy rytm serca wprawdzie pozostaje aktywny, ale jest nieprawidłowy, jego celem jest zatem przerwanie tego rytmu. **Fotografia 24** prezentuje przykładowy

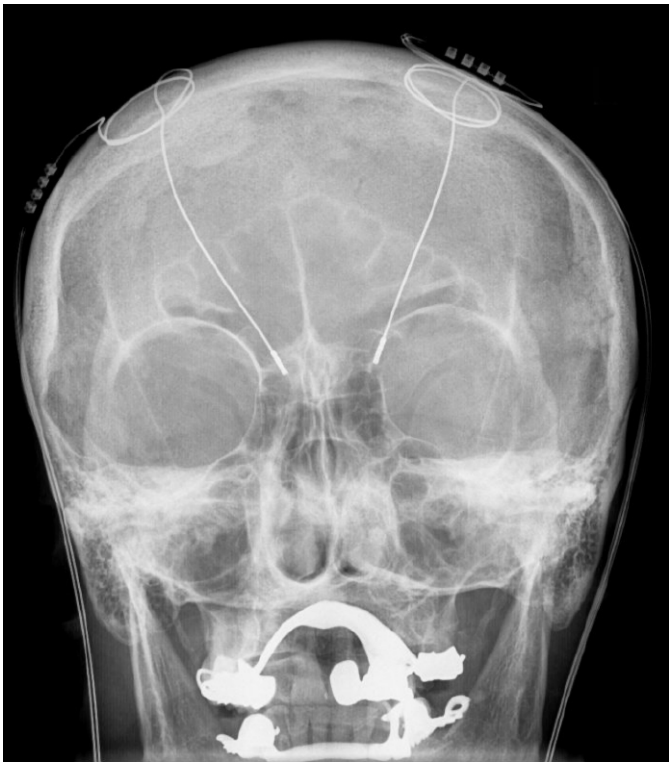


Fotografia 24. Rozrusznik serca. Źródło: Wikipedia.org

rozrusznik serca. Innym, popularnym implantem jest pompa insulinowa, która dozuje insulinę w miarę potrzeb pacjenta. Pompy same z siebie nie monitorują stężenia glukozy we krwi, do tego potrzebna jest oddzielna metoda pomiarowa. Jej prostą formą jest glukometr paskowy, a zaawansowaną – glukometr ciągły (CGM – przyp. red.), który – po umieszczeniu na ramieniu – monitoruje poziom glukozy przez cały czas, zwykle 10...14 dni. Istnieją też zewnętrzne pompy insulinowe, które przykleja się do ciała pacjenta, a następnie specjalny mechanizm wbija igłę podskórną, przez którą dostarczana będzie insulina z ampułki zamkniętej wewnątrz urządzenia.

REKLAMA

eprasa.pl 50e19a3eb3



Fotografia 25. Zdjęcie rentgenowskie ukazujące elektrody do głębokiej stymulacji mózgu. Źródło: Wikipedia.org

Kolejnym wszczepialnym urządzeniem medycznym jest implant ślimakowy, który poprawia lub wręcz przywraca słuch u osób ze znacznym lub całkowitym jego ubytkiem. Sam implant jest relatywnie prosty. Zawiera cewkę odbiorczą, elektroniczny układ dekodujący odbierane sygnały i zestaw elektrod umieszczanych wewnątrz ślimaka, które stymulują nerw słuchowy. Drugą częścią zestawu jest nadajnik, zwykle noszony za uchem, choć u dzieci bywa przypinany do ubrania. Nadajnik działa analogicznie do aparatu słuchowego, odbierając z mikrofonów dźwięki i przetwarzając je. Różnica polega na tym, że zamiast je wzmacniać i wysyłać do zminiaturyzowanego głośnika, sygnały te trafiają do cewki nadawczej, która je transmituje do wszczepionego odbiornika. Stymulatory nerwu błędnego z kolei są stosowane w leczeniu lekoopornej padaczki, chronicznego bólu (w tym migren) oraz depresji. Urządzenie wielkości pudełka zapałek wszczepia się pod kością obojczykową, a następnie przeprowadza się elektrodę pod skórą szyi aż do lewego nerwu błędnego, wokół którego jest ona owijana. Po zaprogramowaniu (za pomocą pętli indukcyjnej) stymulator generuje odpowiednie impulsy, które poprzez nerw błędny wpływają na pracę mózgu. Ale nie tylko nerw błędny można stymulować. W leczeniu chronicznego bólu stosuje się też stymulację rdzenia kręgowego. Elektrody są umieszczane w przestrzeni zewnątrzoponowej na wysokości dobranej odpowiednio do lokalizacji źródła chronicznego bólu. Technik włącza stymulator i dobiera jego parametry według odczuć pacjenta, który jest odpytywany o samopoczucie. Po osiągnięciu pożądanych ustawień urządzenie jest wyłączane, elektrody są mocowane zewnętrznie na miejscu. Po zagojeniu się rany chirurgicznej urządzenie jest ponownie testowane i ostatecznie konfigurowane. Nawiasem mówiąc, w trakcie badań nad stymulatorami rdzenia kręgowego odkryto ciekawy efekt uboczny – w niektórych przypadkach wywołują one... orgazm. Efekt ten badany był pod kątem zastosowania u kobiet, które orgazmu w ogóle nie doświadczają. Jednakże efekt ten jest zmienny, a mechanizm działania wciąż pozostaje nieznany. Ponadto wszelkie procedury wiążące się z rdzeniem kręgowym obarczone są dużym ryzykiem powikłań, w tym infekcji, krwotoków do rdzenia czy nawet jego uszkodzenia. Dlatego też implantacja stymulatora rdzenia kręgowego u osób z chronicznym bólem jest wybierana, gdy inne alternatywy zostały wykluczone. Mimo to prowadzone są też eksperymenty mające na celu przywrócenie możliwości chodzenia u osób po urazie rdzenia kręgowego poprzez bezpośrednią stymulację rdzenia poniżej miejsca jego przerwania.

Jeśli instalowanie elektrod przy rdzeniu kręgowym wydaje się ryzykowne, to co powiedzieć o umieszczaniu ich wewnątrz mózgu? Głęboka stymulacja mózgu (DBS – Deep Brain Stimulation) stosowana jest w leczeniu szeregu schorzeń, począwszy od problemów ruchowych (choroba Parkinsona, dystonia, drżenie samoistne), neuropsychologicznych (np. zaburzenia obsesyjno-kompulsywne) czy neurologicznych jak padaczka. **Fotografia 25** pokazuje zdjęcie rentgenowskie czaszki, na którym widać elektrody wewnątrz mózgu. Jak łatwo się domyślić, instalacja tych elektrod to proces skomplikowany i dość ryzykowny, dlatego metoda DBS stosowana jest tylko wtedy, gdy inne metody leczenia zawodzą.

Co przyniesie przyszłość?

Wspomniano wcześniej o bieżących kierunkach rozwoju technologii wspierających dla niepełnosprawnych. Duży nacisk kładziony jest na aplikacje sztucznej inteligencji, wielkich modeli językowych i uczenia maszynowego w celu ulepszenia rozwiązań już istniejących. Równolegle prowadzone są też badania mające na celu bezpośrednie połączenie mózgu człowieka z komputerem, by tą drogą pozwolić na lepszą percepcję, komunikację i kontrolę urządzeń wspomagających. Jednakże zdaniem Autora prawdziwy przełom nastąpi nie na drodze tworzenia cyborgów, lecz poprzez regenerację uszkodzonych narządów i połączeń nerwowych. Modele oparte na uczeniu maszynowym już pozwoliły odkryć, jak zbudowane są niemal wszystkie białka występujące naturalnie i jakie sekwencje genetyczne im odpowiadają, ale też jak projektować nowe, do tej pory nieistniejące białka oraz sekwencje genetyczne je tworzące. Takie syntetycznie zaprojektowane białka mogą posłużyć nie tylko do zwalczania zanieczyszczeń (jeden z przykładów zastosowania tej technologii), ale też na przykład wspierać pracę organizmu lub wytwarzać nowe leki. Inny model LLM pozwolił opracować całą serię nieznanych do tej pory antybiotyków przeciw jednemu z powszechnie występujących w szpitalach zakażeń lekoopornych. Środek stymulujący wzrost nowych zębów jest w fazie badań i wejdzie do użytku w ciągu dziesięciu lat. Oznacza to, że koszmar leczenia kanałowego oraz protezy uzębienia mogą w przyszłości zostać całkowicie wyeliminowane. Od kilku lat dostępne są terapie genowe leczące rdzeniowy zanik mięśni czy rzadką chorobę genetyczną – dystrofię siatkówki. Prowadzone są też badania nad innymi terapiami genowymi, które w przyszłości mogą wyeliminować m.in. pląsawicę Huntingtona, mukowiscydozę czy hemofilię. Inne badania z kolei są skierowane na tworzenie celowanej terapii antynowotworowej, w której układ odpornościowy pacjenta jest „uczony", jak rozpoznać i zwalczyć konkretny nowotwór. Rozwiązanie to nie tylko eliminuje wszystkie problemy tradycyjnych metod (takich jak chemioterapia, radioterapia czy chirurgia), ale do tego może zagwarantować długotrwałe wyleczenie i ochronić przed przerzutami.

Czy zatem czeka nas wizja rodem z powieści science fiction, w której utracone kończyny czy uszkodzone organy będą nam zwyczajnie odrastać? Wszystko na to wskazuje. I drugie pytanie – czy obecnie istniejące technologie wspierające odejdą do lamusa? Raczej nieprędko, gdyż nie każdy i nie od razu będzie miał dostęp do najnowszych osiągnięć medycyny. Wspomniana terapia genowa przeciw SMA ma tak wysoką cenę (koncern farmaceutyczny siłą rzeczy też musi zarobić i odzyskać pieniądze wydane na badania), że dopiero od niedawna jest ona w Polsce dostępna dzięki refundacji. Zatem najwidoczniej jeszcze przez kilka dekad będziemy korzystać z opisanych w tym artykule rozwiązań.

Paweł Kowalczyk, EP

eprasa.pl 50e19a3eb3

TAWOIA Glass (szkło kwarcowe)

https://sklep.avt.pl/pl/menu/tawoia-glass-4505.html

BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

3 unikalne serie gniazdek i włączników

Rabat dla Czytelników EP
przy zakupie podaj kod **EP2505GW**

-5%

Rabat dla Prenumeratorów EP
przy zakupie podaj numer prenumeraty

-10%

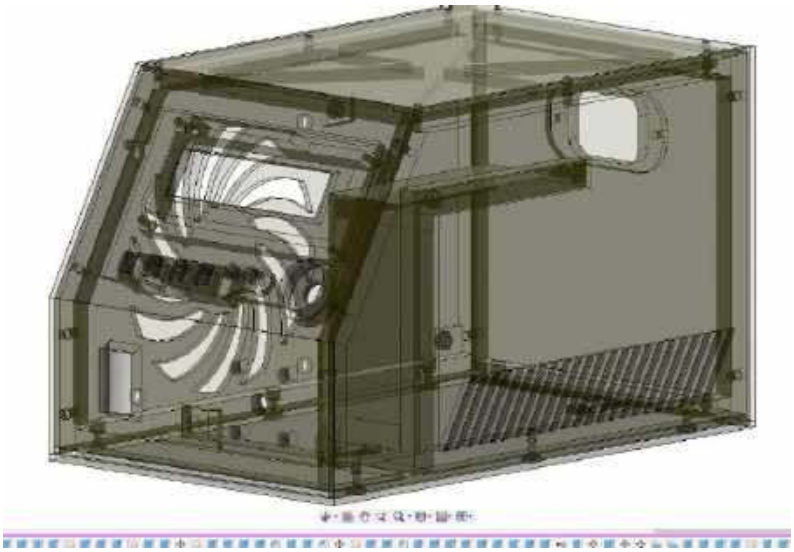
Ceramic Loft (ceramika)

https://sklep.avt.pl/pl/menu/seria-ceramic-loft-4190.html

Retro PRL (bakelit)

https://sklep.avt.pl/pl/series/retro-prl-3237.html

eprasa.pl 50e19a3eb3



Druk 3D w służbie elektroniki (7)

W poprzednim odcinku niniejszego cyklu przygotowaliśmy projekt obudowy do zasilacza, zoptymalizowany do druku 3D. W tej części obudowa zostanie wydrukowana i zmontowana. Przy okazji omówimy największą zaletę prototypowania metodą druku 3D, czyli łatwość w korekcji błędów i iteracyjną naturę procesu. Sprawdzimy też, jak obudowa z PETG będzie się prezentować w rzeczywistości – materiał ten został wybrany jako bardziej wytrzymała, lecz wciąż łatwa w drukowaniu alternatywa dla PLA.

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

Poprawki w projekcie

Wiele elementów obudowy było drukowanych po kilka razy, a główną tego przyczyną były inkrementalne zmiany w projekcie. Panel kontrolny doczekał się dwóch większych modyfikacji: dodania wcięcia na element podświetlenia wyświetlacza LCD oraz nowych napisów. Omawiany element należy drukować z włączonymi podporami, bo inaczej otwór na enkoder nie jest drukowany poprawnie. Drobne zmiany nastąpiły też w panelu lewym – elementy, pod którymi kryją się nakrętki, uległy modyfikacji, by można je było wzmocnić. Oczywiście proces druku wymaga dodania pauzy w trakcie, przy czym należy zaznaczyć opcję utrzymania zasilania silników i zaparkowania głowicy poza drukowanym elementem. Warto też dodać następującą sekwencję poleceń do pliku G-Code, przed rozpoczęciem właściwego druku:

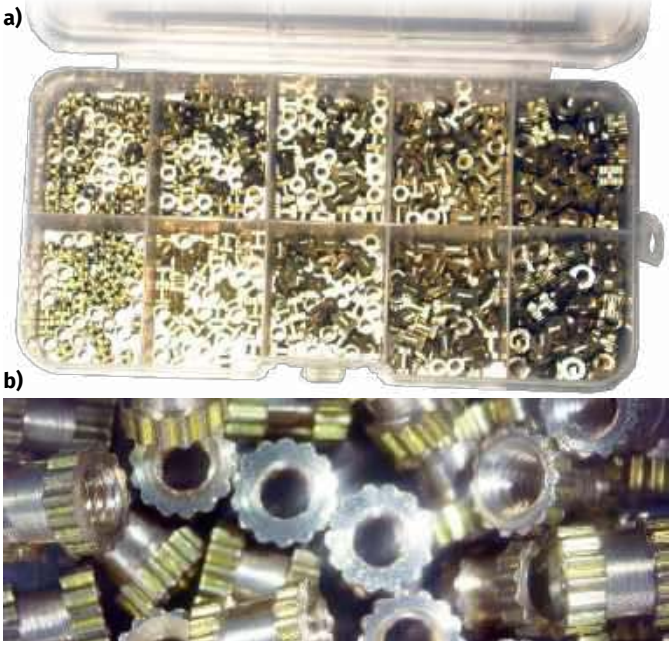
```
M84 S3600
M500
```

Pierwsze polecenie zwiększa czas blokowania silników do jednej godziny. Drugie zapisuje zmiany w pamięci urządzenia. W przypadku Creality Ender 3 V2 jest to konieczne, bo domyślnie timer jest ustawiony na 10 minut, co może nie wystarczyć, gdy trzeba dodatkowo obrobić otwory pod nakrętki – w dwóch przypadkach w tych otworach były nadmiarowe ilości tworzywa. Przy okazji średnica, na której opisany jest kształt nakrętki, została zwiększona z 5 mm na 5,2 mm. Dodatkowo zmienione zostało rozmieszczenie otworów w górnej pokrywie, co wymusiło też przesunięcie otworów w bocznych panelach. Przednie wkręty zostały odsunięte o 10 mm, co odpowiada położeniu otworów tylnych. Taka modyfikacja ułatwi przy okazji montaż wtapianych tulejek gwintowanych. Boczne panele zostały wydrukowane z wypełnieniem typu „3D Cubic" z gęstością 100%, a panel górny – z wypełnieniem 50%. Panel dolny uległ dalszym zmianom: podstawa została pogrubiona, zrezygnowano też z ukrywania nakrętek – teraz są umieszczane od spodu. Zwiększono także wymiary elementów wzmacniających konstrukcję za pomocą narzędzia „Pchnij/Ciągnij". Zmodyfikowano ponadto elementy mocujące radiator, ze względu na brak wkrętów M2,5×10 w zasobach Autora. Gałka była zmieniana kilka razy, aż uzyskano satysfakcjonujący kształt.

Wielką zaletą prototypowania z użyciem druku 3D jest możliwość szybkiego wprowadzania i testowania zmian, aż do uzyskania pożądanego rezultatu. Koszt filamentu jest relatywnie niski, a czas drukowania największego z paneli (dolnego) to tylko cztery godziny przy parametrach i ustawieniach zastosowanych przez Autora. Obecnie dostępne są maszyny 2...4-krotnie szybsze, więc inwestycja czasu jest jeszcze mniejsza. Metody tradycyjne, w razie błędu w projekcie, wymagałyby wykonania nowej formy wtryskowej, co zawsze wydłuża czas oczekiwania i drastycznie podnosi koszty. Oczywiście w dużym przedsiębiorstwie ekonomia skali może skompensować te wysokie koszty początkowe, ale mała firma może nie mieć rezerwy gotówkowej na nieudane eksperymenty. W tym wypadku druk 3D jest lepszą inwestycją, bo cena drukarki i filamentu, a nawet licencji na program CAD, będzie niższa niż koszt wykonania jednej formy wtryskowej. Po zakończeniu procesu prototypowania można dostosować projekt do metody wtryskowej i dopiero wtedy zamówić formę.

Warto też pamiętać, że w przypadku produkcji małoseryjnej lub na zamówienie druk 3D wciąż jest lepszym wyborem. Jeśli bowiem nie skalujemy produkcji do setek czy tysięcy sztuk, koszt pojedynczej obudowy z wtryskarki jest dość wysoki. Sytuacja robi się jeszcze trudniejsza, jeśli w ofercie mamy więcej niż jeden produkt i każdy z nich ma inną obudowę. Jeszcze jedną zaletą wytwarzania przyrostowego jest fakt, że w razie uszkodzenia elementu obudowy

eprasa.pl 50e19a3eb3



Fotografia 1. Wtapiane tuleje gwintowane: opakowanie zbiorcze różnych rozmiarów (a) i zdjęcie mikroskopowe tulejek (b)

nie trzeba jej wykonywać w całości ani dekompletować innej obudowy, lecz można nowy element wydrukować i wymienić. Dodatkowo dostępne są drukarki 3D wielofilamentowe, które pozwalają na druk w kilku kolorach lub/i z użyciem różnych materiałów. Dla przykładu można zmodyfikować projekt naszej obudowy tak, by napisy na panelu kontrolnym i na klawiszach były wykonane z użyciem białego filamentu – takie oznaczenia będą bardzo trwałe, a przy tym czytelne. Używając filamentów transparentnych, jak poliwęglan, akryl czy bezbarwny PETG, można w projekt wkomponować elementy i napisy podświetlane.

Wtapiane tuleje gwintowane

Fotografia 1a prezentuje opakowanie mosiężnych, wtapianych tulejek gwintowanych w różnych rozmiarach i długościach (3 mm i 5 mm), zaś – **fotografia 1b** zdjęcie mikroskopowe pokazujące tulejki nieco dokładniej. Elementy te pozwalają na tworzenie rozbieralnych połączeń, ale ich instalacja wymaga pewnej ostrożności. Do tego celu użyć można zwykłej lutownicy oporowej albo specjalnej prasy z elementem grzejnym. Temperatura powinna być na tyle wysoka, że możliwe będzie dostarczenie na tyle dużej ilości ciepła do tulei, aby tworzywo wokół niej zostało zmiękczone. Na tuleję wywiera się stały nacisk, aż ta całkowicie zagłębi się w tworzywie. Metoda zastosowana przy montażu tulei w panelach bocznych bazuje na wkrętach M2,5×6 mm jako prowadnicy – otwór 2,5 mm przechodzi przez tworzywo na wylot. Otwór pod tuleję ma głębokość 3 mm i średnicę 3,2 mm. Na **fotografii 2a** widać tuleję od strony otworu dla niej przeznaczonego oraz wkręcony od spodu wkręt, który trzyma ją na miejscu i zapewnia prowadzenie prostopadle do otworu. Na **fotografii 2b** tuleja została już wciśnięta grotem lutownicy. **Fotografia 2c** ukazuje moment wtapiania tulei za pomocą kolby lutownicy ze zwykłym grotem. Istnieją dedykowane groty do wtapiania tych tulejek w różnych, dopasowanych do nich rozmiarach.

Wtapianie tulejek w panelu kontrolnym przebiega nieco inaczej, jako że nie mamy dostępu od zewnątrz, by użyć wkrętu do prowadzenia tulei. Zamiast tego zastosowano inny trik: tuleja została nakręcona na wkręt, a ten wkręcono w otwór w panelu, jako że za sekcją o większej średnicy (przeznaczonej na tuleję) znajduje się otwór o średnicy wkrętu M2, który w praktyce jest nieco węższy. Proces wkręcania gwintuje ten otwór, a jednocześnie wstępnie wciska samą tuleję w przeznaczone dla niej wgłębienie. Nie musimy zagłębiać tulei do samego końca, celem jest tylko to, by nie przemieściła się przy przykładaniu grota. Po wykręceniu wkrętu do tulei wkłada się grot lutownicy, jak to pokazano wcześniej i wywiera nacisk, aż do zagłębienia wkładki i zrównania jej brzegu z powierzchnią wokół.

W trakcie wtapiania mogą się pojawić problemy. Zbyt wysoka temperatura i nadmierny nacisk mogą zdeformować otwór albo za bardzo zagłębić tuleję. Nadmiar plastiku może pojawić się wokół wkładki, szczególnie przy wypełnieniu 100%, gdy tworzywo nie ma gdzie „uciec". W tym wypadku trzeba użyć pilnika do wyrównania powierzchni. Wtopienie tulei krzywo to już poważniejszy problem – czasem można jej osadzenie poprawić, ale może się to wcale nie udać, a wtedy trzeba wykonać nowy wydruk. Wtapianie tulei o średnicy większej niż M2 czy M2,5 może już wymagać zakupu grubszego grota lub końcówki dedykowanej do tego zastosowania. Korzystanie z tej ostatniej ma wiele zalet, takich jak łatwiejsze składanie obudowy czy możliwość wielokrotnego demontażu. Dodatkowo stapianie tworzywa wokół tulei scala warstwy w tym miejscu, lokalnie wzmacniając wydrukowany element.

Montaż obudowy

Proces składania całości był relatywnie prosty, ale w jego trakcie pojawiły się jednak pewne problemy Jak wspomniano wcześniej, część paneli trzeba było przeprojektować i wydrukować od nowa. Wszystkie elementy musiały też być umyte, gdyż pokrywała je cienka warstwa kleju używanego w celu ułatwienia separacji od blatu. PETG przywiera do standardowych blatów używanych w druku 3D na tyle mocno, że próba oderwania może zniszczyć powierzchnię stołu roboczego drukarki. Panele wymagały ponadto oszlifowania krawędzi i powierzchni styku, gdyż proces drukowania tworzy czasami naddatki na narożnikach i krawędziach. Tu pojawia się kolejna zaleta PETG – tworzywo to łatwiej obrobić pilnikiem, gdyż jego temperatura mięknięcia jest wystarczająco wysoka, by proces szlifowania nie stapiał opiłków (co mogłoby doprowadzić trwałego zabrudzenia powierzchni roboczej pilnika). Nadal jednak należy ograniczyć się do użycia narzędzi ręcznych.

Dwa panele zostały wydrukowane ponownie, z powodu błędów w czasie wtapiania tulei. Nowy panel prawy nastręczył sporo kłopotów w czasie montażu, gdyż otwory pod wkręty mocujące go do panelu dolnego miały nadmiar tworzywa, przez co same

Fotografia 2. Instalacja wkładek gwintowanych w panelu bocznym: przed przyłożeniem rozgrzanego grotu (a) i po (b). Wtapiając tuleję, należy postępować ostrożnie i uważać, by grot lutownicy był umieszczony prostopadle do osi otworu (c)

eprasa.pl 50e19a3eb3

Fotografia 3. Gotowa obudowa

wkręty nie chciały się zagłębić. Po dwóch godzinach obróbki mechanicznej i termicznej udało się dokonać montażu dwóch z trzech wkrętów, co wystarcza do wstępnego złożenia całości. Panel prawy trzymany też jest przez panele: tylny i górny, a panel przedni i kontrolny dodatkowo go stabilizują. Płyta przednia została przeprojektowana, by lepiej umocować gniazda bananowe i umożliwić umieszczenie napisów nad nimi. Dodano też kolejne elementy pozwalające lepiej umocować przełącznik znajdujący się między gniazdami. Niestety sam przełącznik uległ wcześniej uszkodzeniu, dlatego brakuje go na zdjęciu. Przy okazji montażu panelu kontrolnego okazało się, że przymocowana do niego płytka drukowana za bardzo się zbliża do wentylatora – jego narożnik został odpiłowany. Złożoną obudowę pokazano na fotografii tytułowej, w zestawieniu z modelem z poprzedniej części artykułu, a także na **fotografii 3**.

Nie jest to jednak wersja ostateczna tej obudowy. Dla przykładu wentylator zostanie przesunięty lekko w głąb, by rozwiązać problem zawadzania o płytkę drukowaną. Panel kontrolny zaś zyska fazowania wokół otworów pod diody LED. Otwory pod wkręty wentylatora też powinny mieć lekkie fazowanie, by lepiej zrównać łby mocowań z obudową. Sposób montażu nakrętek w panelu dolnym też nie jest doskonały – nadmiar materiału utrudniał ich instalację i wymagał wkręcania wkrętów od góry celem ich „dociągnięcia" – takie brutalne traktowanie tworzywa nie jest zalecane.

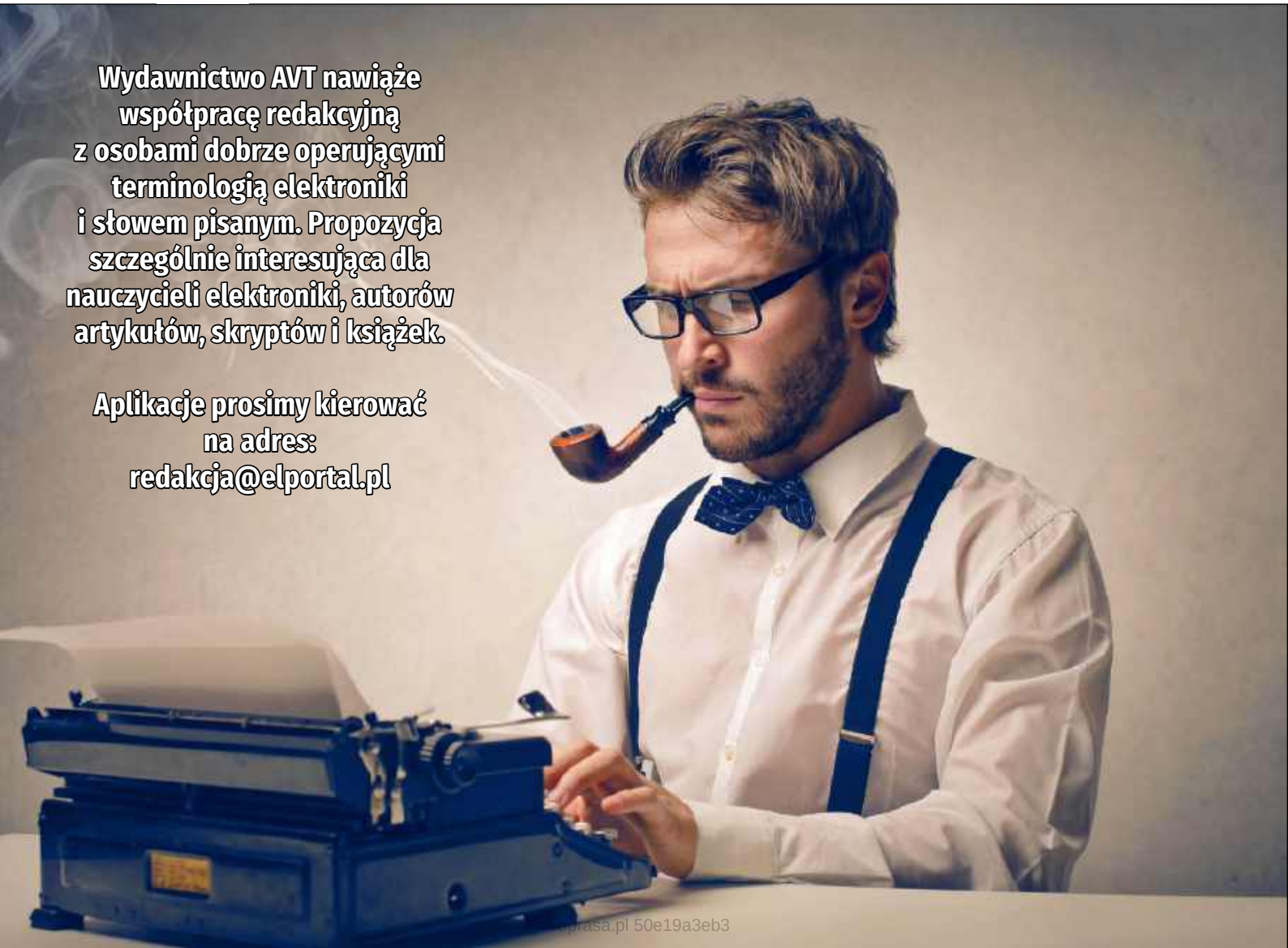
Zakończenie

Prezentowana obudowa nie jest jeszcze skończonym projektem, nie będziemy jednak wracać do niej w ramach tego cyklu. Warto nadmienić, że na wydruk kolejnych wersji poszczególnych paneli aż do stanu bieżącego zużyto około 600 gramów filamentu PETG, czyli całkiem sporo. Proces inkrementalnego wprowadzania poprawek sprawdza się jednak bardzo dobrze w projektowaniu, gdy można sprawdzić spasowanie elementów w rzeczywistym świecie. Zrobienie tego w świecie wirtualnym wymagałoby opracowania modelu niemal każdego elementu.

W następnej części odejdziemy na jakiś czas od obudów i skupimy się nad rozwiązaniami z pogranicza mechaniki i elektroniki – zajmiemy się tworzeniem własnych, niestandardowych przełączników z użyciem typowych elementów stykowych.

Paweł Kowalczyk, EP

REKLAMA



prasa.pl 50e19a3eb3

TRZECIARĘKA ZD-11P
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt z latarką, ZD11P

TRZECIARĘKA ZD-11P-1
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt z latarką i lupą, ZD11P-1

TRZECIARĘKA SN-394
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk z lupą 50 mm, przykręcany do blatu Proskit SN-394

BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

Trzecia ręka

Rabat dla Czytelników EP
przy zakupie podaj kod **EP2505TR**

-3%

Rabat dla Prenumeratorów EP
przy zakupie podaj numer prenumeraty

-6%

TRZECIARĘKA ZD-11M-1
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – z uchwytem na szpulkę cyny, ZD11M-1

TRZECIARĘKA ZD-11M-2
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt z lupą i podświetleniem LED ZD11M-2

TRZECIARĘKA ZD-11M-3
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt z lupą i podświetleniem LED ZD-11M-3

TRZECIARĘKA ZD-11M
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt ZD11M

TRZECIARĘKA SN-392
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka” z lupą 90 mm, Proskit SN-392

TRZECIARĘKA
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka” z lupą 60 mm

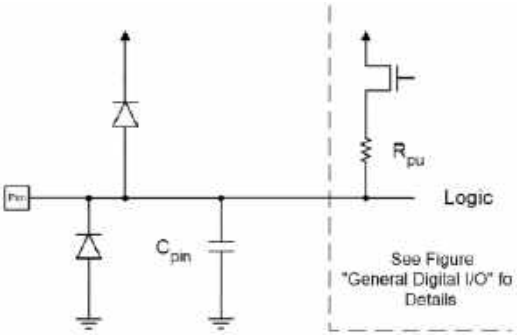
eprasa.pl 50e19a3eb3

Idealna dioda zabezpieczająca

Podobno ideały się sprzedały, lecz mam nadzieję, że jednak nie w każdej dziedzinie. Wyjątkiem jest na przykład elektronika, a dokładniej te miejsca układowe, w których trzeba ograniczyć napięcie do ściśle ustalonej wartości. Opisane dalej rozwiązanie może nie jest aż tak idealne, jak byśmy wszyscy tego chcieli, ale jest mu bliższe niż powszechnie stosowane elementy.

Znane przysłowie głosi, że jak nie wiadomo, o co chodzi, to chodzi o pieniądze. Tutaj jednak wiadomo, o co chodzi, bowiem zagadnienie jest (na pierwszy rzut oka) bardzo proste: trzeba ograniczyć napięcie zasilające układ do z góry określonej wartości. Po co to robić? Ponieważ w układzie znajduje się – zasilany napięciem 5 V – czujnik Halla, który bardzo nie lubi, gdy jego zasilanie wzrasta powyżej tej wartości – zaczyna pracować wtedy silnie nieliniowo. A czemu nie wystarczy zasilać go niższym napięciem? To też nie jest takie proste, gdyż tego typu rozwiązanie obniża wiarygodność odczytów. Doświadczalnie ustaliłem, że zakres od 4,8 V do 5,2 V jest optymalny. Stabilizator 5 V i gotowe? Niestety nie do końca.

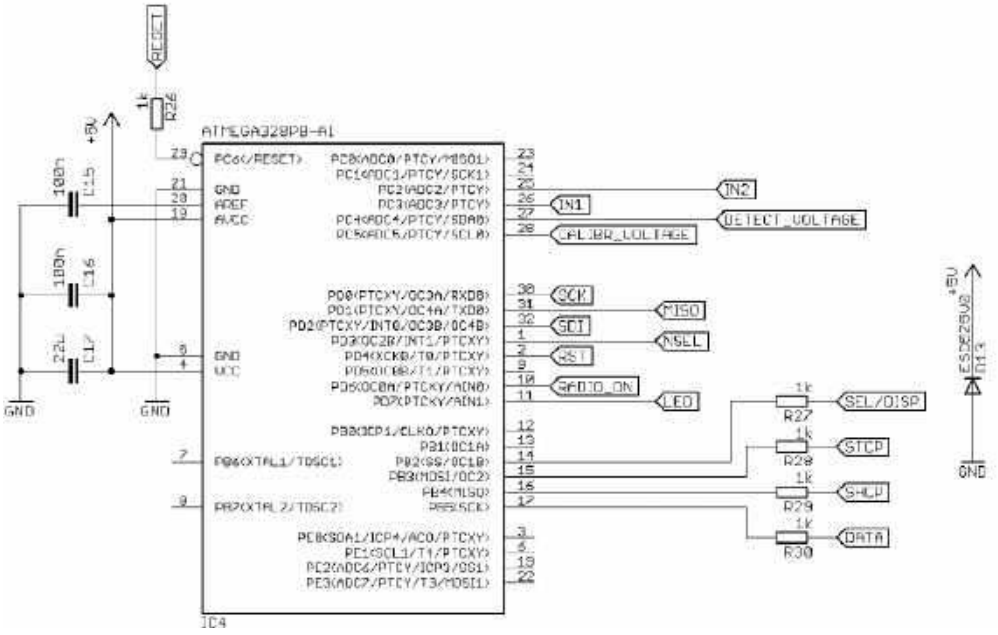
Przeanalizujmy schemat z **rysunku 1** – jest to fragment większego urządzenia. Do mikrokontrolera typu ATmega328PB prowadzą linie połączone z innymi podzespołami znajdującymi się na płytce, jak i poza nią. Te spoza płytki są zabezpieczone diodami transil, dodatkowo przed samym mikrokontrolerem znajdują się rezystory szeregowe, które ograniczają prąd diod zabezpieczających wejścia MCU, standardowo znajdujących się w jego strukturze – **rysunek 2**. Ich rola jest dobrze znana: jedna z nich otwiera się, kiedy potencjał danego wyprowadzenia wykracza poza wartość napięcia zasilającego (tutaj 5 V) lub spada poniżej poziomu masy (0 V). W tym wypadku bardziej doskwierają nam impulsy o polaryzacji dodatniej, więc tylko one będą dalej analizowane.



Rysunek 2. Diody zabezpieczające wejścia mikrokontrolera

Dlaczego akurat one? Ponieważ prąd przewodzony przez „górną" diodę (wg rysunku 2) jest odprowadzany do linii zasilającej. Jej potencjał się wtedy podnosi, co stanowi naturalny skutek „dolewania" prądu do kondensatorów filtrujących zasilanie. Owszem, stabilizator może zmniejszyć prąd wyjściowy, aby utrzymać stałe napięcie na linii zasilającej, ale jego pole manewru jest ograniczone – przecież nie zmniejszy swojego prądu wyjściowego do wartości poniżej zera. A to byłoby wymagane w sytuacji, kiedy napięcie na jego wyjściu wzrasta powyżej nominalnego. W typowej sytuacji taki nadmiarowy prąd, który przedostał się do układu poprzez diodę zabezpieczającą w układzie scalonym, zostałby natychmiast spożytkowany przez inne obwody, które są zasilane z tej linii. W tej akurat sytuacji sprawa jest ciut bardziej skomplikowana, gdyż cały układ pobiera przez większość czasu prąd o bardzo małym natężeniu, rzędu 100 μA.

Jak więc temu zapobiec, jak sobie z tym poradzić?



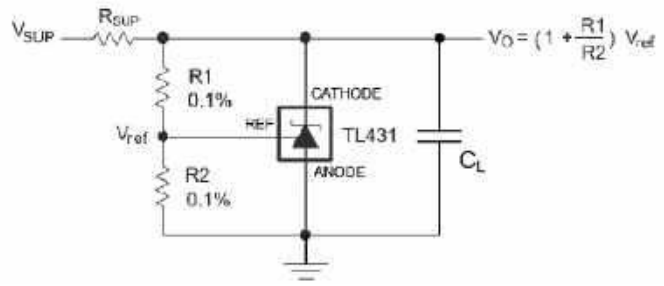
Rysunek 1. Fragment schematu analizowanego układu

eprasa.pl 50e19a3eb3

Characteristics (T_j = 25°C) **Kennwerte (T_j = 25°C)**

Type Typ	Type Code	Junction capacitance Sperrschichtkapazität V_R = 0 V, f = 1 MHz	Stand-off voltage Sperrspannung	Max. rev. current Max. Sperrstrom at / bei V_{WM}	Breakdown voltage Abbruch-Spannung I_T = 1 mA	Max. clamping voltage Max. Begrenzer-Spannung at / bei I_{PPM} (8/20 µs)	
		C_j [pF]	V_{WM} [V]	I_D [µA]	$V_{BR\,min}$ [V]	V_C [V]	I_{PPM} [A]
ESD5Z3V3	ZE	typ. 105	3.3	0.05	5.0	8.4	5
ESD5Z5V0/-AQ	05	typ. 80	5.0	0.05	6.2	11.6	5
ESD5Z6V0	06	typ. 70	6	0.01	6.8	12.4	5
ESD5Z12/-AQ	12	typ. 55	12	0.01	14.1	27	5
ESD5Z15	15	typ. 40	15	0.2	16.5	30	6
ESD5Z24	N5	typ. 25	24	0.5	25.5	52	6

Rysunek 3. Charakterystyka diody ESD5Z5V0



Rysunek 4. Schemat stabilizatora równoległego

Najbardziej logicznym posunięciem wydaje się zastosowanie jeszcze jednego podzespołu, który załączy się, kiedy napięcie wzrośnie powyżej oczekiwanej granicy. Zastosowałem diodę typu ESD5Z5V0, którą stosuję w wielu miejscach z powodzeniem, lecz tutaj nie zdała jednak egzaminu. Na **rysunku 3** znajduje się tabela zawierająca informacje, między innymi, o jej napięciu przebicia.

Co można wywnioskować z tej tabeli? Otóż nic odkrywczego: napięcie przebicia tejże diody silnie zależy od natężenia prądu, jaki przez nią płynie. Wpływ na to ma zarówno sama charakterystyka złącza półprzewodnikowego, jak również rezystancja szeregowa tej diody. Przy prądzie 50 µA (typowo) napięcie na jej zaciskach powinno wynosić 5 V. Ale przy 1 mA będzie to już 6,2 V. Impulsu prądu o natężeniu 5 A już nawet nie analizuję… Nie ma się jednak co dziwić: tego typu diody nie mają wbudowanego wzmacniacza błędu, który byłby w stanie lepiej „pilnować" tego napięcia. Albo, mówiąc bardziej naukowo: uczynić charakterystykę prądowo-napięciową bardziej stromą. Niezależnie od określenia, efekt jest taki sam: napięcie na diodzie może się zmieniać w dość szerokich (jak na wymagania tego układu) granicach. Po uwzględnieniu wpływu temperatury na napięcie przebicia sytuacja wcale nie robi się bardziej optymistyczna.

Jak więc żyć, co robić? Czy pozostaje tylko załamać ręce? Polecałbym jednak zachować sprawność kończyn górnych, mogą się one przydać do zbudowania czegoś bardziej adekwatnego, czyli idealnej diody transil. Z pomocą może przyjść bardzo znany i bardzo lubiany (przynajmniej przeze mnie) układ TL431, wraz ze wszystkimi swoimi odmianami pracującymi w szerszym zakresie temperatur lub przy niższym prądzie. Ten prosty układ scalony może zostać zastosowany do budowy ogranicznika napięcia, który jest szerzej znany jako stabilizator równoległy, zgodnie z **rysunkiem 4**. W dzisiejszym świecie ten rodzaj stabilizatorów został już niemal zapomniany, bowiem są one generalnie energochłonne i trudne do implementacji w układach wymagających pracy w szerokim zakresie prądu wyjściowego. Prąd pochodzący ze źródła zasilania, który nie popłynął do odbiornika, jest tracony w postaci ciepła. Tutaj ta wada może stać się zaletą. Przecież TL431 wraz z jego najbliższą „świtą", czyli dwoma rezystorami w pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego, zachowuje się dokładnie jak zwykła dioda Zenera. Tyle że jej napięcie przebicia jest bardzo dokładnie określone i niemal niezależne od natężenia płynącego prądu, o ile mieści się on w dopuszczalnych granicach.

Typowy układ TL431 (lub jego odpowiednik innego producenta) wymaga do prawidłowej pracy prądu katody o natężeniu nie mniejszym niż 1 mA. To dosyć sporo jak na warunki zaprezentowanego układu. Istnieją inne wersje tegoż stabilizatora, które zadowala prąd już dziesięciokrotnie mniejszy, tylko 100 µA. Ponadto, mogą one pracować w szerokim zakresie temperatur (od –40°C do +125°C) i mają zadowalającą tolerancję wartości napięcia odniesienia, typowo 1% lub nawet 0,5%. Przykładem może być układ typu AZ431LBNTR-G1, który kosztuje mniej niż 1 zł za sztukę, a po obudowaniu go dwoma rezystorami bardzo dobrze sprawdza się w roli cerbera pilnującego napięcia zasilającego wrażliwe urządzenie.

Michał Kurzela, EP

Bibliografia:
- https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40001906A.pdf
- https://www.tme.eu/Document/ce6dc2b16f15e75cb22a06d57779cb3c/esd5z2v5.pdf
- https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl431.pdf
- https://www.tme.eu/Document/8a7c5ac6353e9f704529e493fa222979/AZ431L.pdf

REKLAMA

eprasa.pl 50e19a3eb3

Internet Rzeczy w pomiarach środowiskowych (17)

Zastosowanie czujnika MQ-7 do pomiaru tlenku węgla (CO)

Z roku na rok pomiary stężenia różnych gazów nabierają coraz większego znaczenia w szerokim zakresie aplikacji. Niedrogie, rezystancyjne czujniki substancji chemicznych zapewniają niemal gotowe rozwiązanie sensoryczne, ale wymagają starannego projektowania obwodów współpracujących. W artykule został zaprezentowany sposób realizacji wiarygodnych pomiarów poziomu CO z zastosowaniem popularnego czujnika MQ-7.

Czujniki rezystancyjne stanowią niedrogie rozwiązanie do pomiaru stężeń szerokiej gamy gazów w zastosowaniach takich jak sterowanie przemysłowe, systemy HVAC, ochrona zdrowia czy też bezpieczeństwo. Ponieważ ich konstrukcja opiera się na elemencie grzewczym, w praktycznych aplikacjach występują trudności z zapewnieniem dokładnego pomiaru rezystancji czujnika – trzeba bowiem odpowiednio kontrolować pracę elementu grzewczego w celu utrzymania właściwej temperatury.

Spośród dostępnych czujników gazu, sensory metalowo-tlenkowe zapewniają ekonomiczne rozwiązanie, które jest w stanie dostarczyć wiarygodnych wyników nawet w trudnych warunkach pracy. W tych czujnikach zmiana stężenia cząsteczek gazu w powietrzu powoduje zmianę rezystancji czujnika (RS). Zmiana ta może osiągnąć nawet kilka rzędów wielkości (w zakresie roboczym czujnika). Zależność między rezystancją (RS) a stężeniem gazu jest wyrażona charakterystyką określoną przez producenta w dokumentacji technicznej [1]. W praktyce czujniki będą wykazywać szybkie zmiany rezystancji przy niskich stężeniach, ale znacznie wolniejsze zmiany przy stężeniach wysokich.

Oprócz elementu pomiarowego, czujniki zawierają także element rezystancyjny, który podgrzewa strukturę do temperatury optymalnej do wykonywania pomiarów. Wyzwaniem dla konstruktora jest zatem zapewnienie dokładnego pomiaru rezystancji czujnika przy jednoczesnym utrzymaniu odpowiedniej temperatury elementu grzejnego.

Czujnik rezystancyjny wymaga dostarczenia odpowiedniego, stabilnego zasilania struktury pomiarowej. Można mierzyć rezystancję czujnika (Rs) za pomocą różnych metod, w tym poprzez:

- umieszczenie czujnika w prostym dzielniku napięcia,
- zasilanie sensora za pomocą stałego źródła napięcia,
- zasilanie sensora za pomocą stałego źródła prądu.

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

Przydatność każdego z wymienionych podejść zależy od wymagań aplikacji i docelowego stosunku złożoności układu pomiarowego do jakości metrologicznej. Zdecydowanie najprostsza konfiguracja to dzielnik napięcia, w którym struktura czujnika jest włączona w szereg ze stałym rezystorem RL (**rysunek 2**).

Niezależnie od podejścia zastosowanego podczas projektowania układu element pomiarowy musi zostać podgrzany do określonej temperatury, aby uzyskać optymalne rezultaty. Podobnie jak czujnik, grzałka jest elementem rezystancyjnym, który wymaga stabilnego źródła napięcia lub prądu, aby utrzymać wymaganą temperaturę. Należy upewnić się, że obwód sterownika grzałki zapobiega wahaniom, które mogą zmienić czułość czujnika. W przypadku stałego źródła napięcia można użyć konwencjonalnego, liniowego regulatora napięcia (LDO), który jest w stanie sprostać wymaganiom napięcia i mocy danego czujnika.

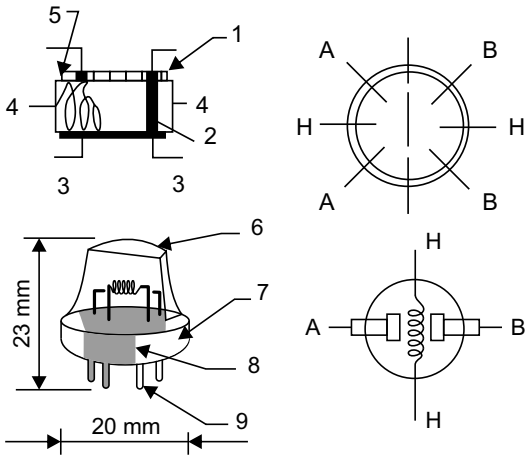
Czujnik MQ-7

Czujnik MQ-7 to zintegrowany układ analogowy, który wykrywa stężenie CO (tlenku węgla) w powietrzu [2]. Sam czujnik, jak i moduły zbudowane z jego zastosowaniem są oferowane przez wielu dostawców. Sensor ma obudowę z metalową siatką, na którą może być nałożona plastikowa osłona w różnych kolorach. Jednak odnośniki do pliku danych czujnika prowadzą do jednego producenta – firmy Henan Hanwei Electronics. Niestety, w sieci dostępne są dwa pliki firmowe danych czujnika, z różnymi parametrami i opisami [3, 4]. Pierwszy dokument [3] zawiera szerszy opis i on jest podstawą opracowanego rozwiązania. Dla porównania w nawiasach klamrowych {} zostały podane wartości pochodzące z drugiego dokumentu [4]. Także na stronach dystrybutorów podawane są często różniące się wartości poszczególnych parametrów.

Parametry czujnika MQ-7 [3]:

- Zakres pomiaru CO: {10 ppm...2000 ppm}
- Vc (zasilanie czujnika): 5 V ±0,1 V
- Rs (rezystancja czujnika): 2...20 kΩ (@ 100 ppm CO)
- Rl (rezystancja obciążenia): 10 kΩ ± 5% (typ) (5...47 kΩ)
- Parametry grzałki [3]:
  - Rh (rezystancja wewnętrzna): 33 Ω ± 5% {31 Ω ± 3 Ω}
  - Vh (wysokie napięcie grzania): 5 V ±0,1 V {±0,2 V}

eprasa.pl 50e19a3eb3



Rysunek 1. Czujnik MQ-7 [3]

- Vh (niskie napięcie grzania): 1,4 V ±0,1 V {1,5 V ±0,1 V}
- Ph (moc grzania): {≤350 mW}
- Th (czas fazy wysokiego napięcia): 60 s ±1 s
- Tl (czas fazy niskiego napięcia): 90 s ±1 s
- Wstępne wygrzewanie: > 48 h
- I = ≤150 mA (@ 5 V)

- Czułość S: ≥5 dla Rs(powietrze)/Rs(100 ppm CO)
- Nachylenie charakterystyki α: ≤0,5 (R300 ppm/R100 ppm CO) {≤0,5}
- Temperatura pracy: od –20 do 50°C
- RH: ≤95%
- Typowe warunki pracy: RL=10 Ω, RH=65%, T=20°C, O_2: 21%, CO: 100 ppm

Rezystancja czujnika może dryfować odwracalnie po długotrwałym przechowywaniu bez zasilania. Należy zatem wstępnie podgrzać czujnik, aby osiągnąć wewnętrzną równowagę chemiczną. Napięcie wstępnego podgrzewania jest takie samo, jak wysokie napięcie grzania (5 V). Sugerowane jest wstępne podgrzewanie po braku aktywności dłuższym niż 48 godzin.

Struktura i konfiguracja czujnika gazu MQ-7 zostały pokazane na **rysunku 1**. Czujnik jest złożony z mikrorurki ceramicznej AL2O3 (5), warstwy wrażliwej chemicznie na bazie SnO_2 (1), grzejnika (4), elektrod pomiarowych (3) i siatki ze stali nierdzewnej (6). W obudowie MQ-7 cztery piny służą do odbioru sygnałów pomiarowych, a pozostałe 2 służą do dostarczania prądu grzejnego.

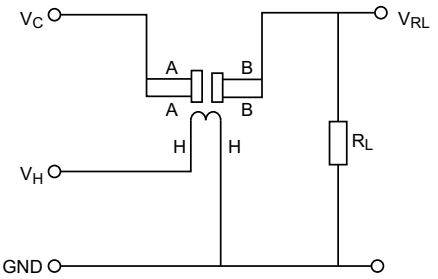
Standardowy układ pracy czujnika MQ-7 składa się z dwóch obwodów (**rysunek 2**). Do czujnika należy podłączyć dwa napięcia: zasilanie grzejnika (VH) i zasilanie struktury pomiarowej (VC).

Zasilanie grzejnika (styki H) jest dostarczane w cyklu pomiarowym 2,5 min, składającym się z dwóch faz [3]:

- faza grzania (czyszczenia): 5 V przez 60 sekund. W wysokiej temperaturze pochłonięty CO i inne związki odparowują z płytki czujnika,
- faza pomiaru: 1,4 V przez 90 sekund. Podczas fazy niskiej temperatury CO jest absorbowany na płytce, co generuje „nowe" dane pomiarowe.

Zasilanie części pomiarowej należy doprowadzić do styków A, zaś do wyprowadzeń oznaczonych literami B jest dołączony rezystor obciążenia RL, z którego zbierany jest napięciowy sygnał wyjściowy.

Praca czujnika MQ-7 została pokazana na **rysunku 3**. Przy niskim stężeniu CO sygnał pomiarowy w fazie grzania szybko rośnie i powoli spada. W fazie pomiaru sygnał szybko opada i utrzymuje się na tym pułapie, z lekką tendencją wzrostową.



Rysunek 2. Standardowy układ pracy czujnika MQ-7 [4]

Pomiar rezystancji czujnika (Rs) uzyskuje się poprzez pomiar sygnału napięciowego na rezystancji obciążenia RL, która jest połączona szeregowo z Rs. Relacje między nimi wynoszą [6]:

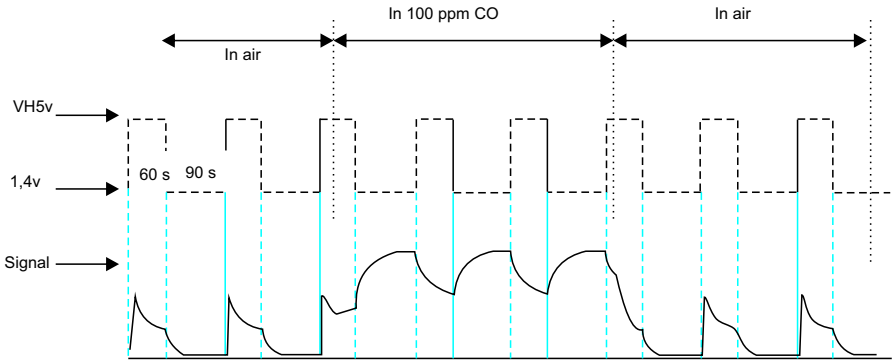
$$Rs\backslash RL=(Vc-VRL)/VRL$$

Typowa czułość czujnika MQ-7 na różne gazy w standardowych warunkach pracy jest pokazana na **rysunku 4**. Wartość R0 to rezystancja czujnika przy stężeniu CO równym 100 ppm, Rs to aktualna rezystancja czujnika podczas pomiaru.

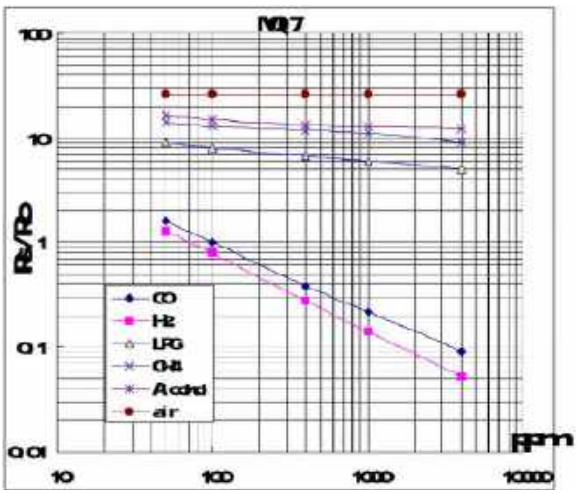
Sensor MQ-7 dostarcza tylko ilościowych danych dotyczących stężenia gazów w otoczeniu. Aby uzyskać dane jakościowe, należy cały układ skalibrować – a to wydaje się zagadnieniem dosyć karkołomnym, choćby ze względu na wątpliwą powtarzalność i stabilność pomiarów.

Moduły z czujnikiem MQ-7

Na rynku oferowanych jest wiele płytek z czujnikiem MQ-7. Na najprostszym module znajduje się tylko czujnik i rezystor obciążenia (DFRobot SEN132). Najwięcej spośród oferowanych produktów zapewnia zgodność z płytką modMQ-7 [6]. Typowo różnią się one tylko nadrukami, czasami zastosowane są trochę inne wersje



Rysunek 3. Typowy sposób pracy z czujnikiem MQ-7 [3]



Rysunek 4. Typowa czułość czujnika MQ-7 na różne gazy [3]

eprasa.pl 50e19a3eb3

elementów pasywnych. Zazwyczaj nie jest także dostępny schemat ideowy modułów – wyjątkiem jest płytka MQ-7 Gas Sensor (SKU: 9532) firmy Waveshare [5]. Układ jest w zasadzie taki sam jak w przypadku płytki modMQ-7, ale ma dodatkowo zamontowaną przetwornicę DC/DC. Przy napięciu wejściowym 2,5...5 V daje ona stałe napięcie 5 V do zasilania czujnika. Niestety przetwornica powoduje w sygnale wyjściowym zakłócenia szpilkowe o amplitudzie dochodzącej nawet do 50% poziomu sygnału pomiarowego. Ten mankament sprawia, że moduł okazuje się praktycznie nieprzydatny do jakichkolwiek rzetelnych pomiarów.

W module firmy Paralllax (obecnie niedostępnym w sprzedaży) został zastosowany tranzystor PNP do kluczowania zasilania grzałki, ale... tylko z jednym poziomem mocy. Przeprowadzone próby z trzema egzemplarzami czujników wykazały, że każdy dawał inne wartości sygnału, a w dodatku – inne po całym tygodniu pracy.

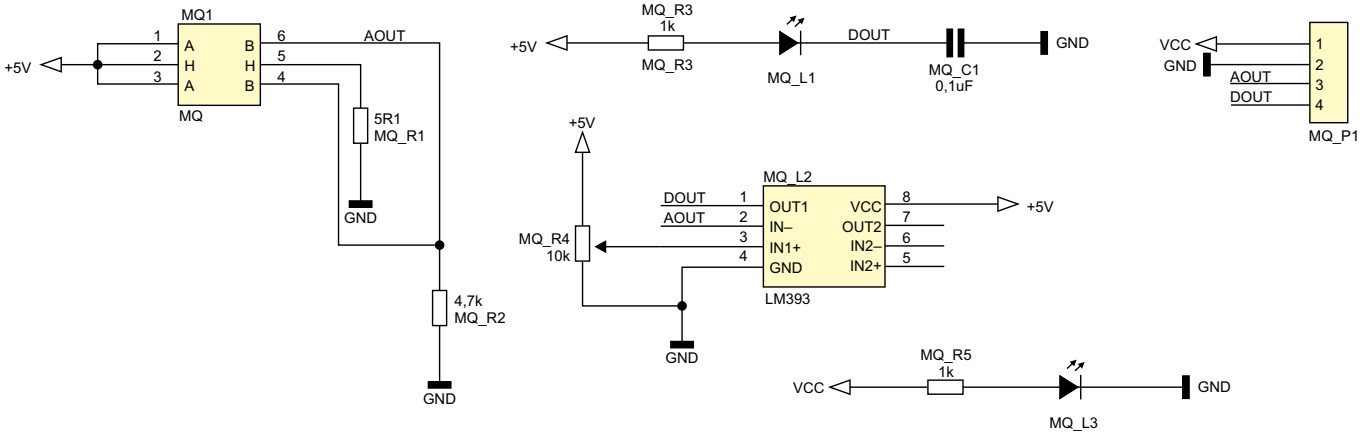
W jednym z ciekawszych projektów zastosowano do kluczowania zasilania całego modułu tranzystor NPN [7]. Układ pracuje w dwóch fazach. W fazie nagrzewania tranzystor pozostaje włączony na stałe (5 V). W fazie pomiaru jest sterowany sygnałem PWM 62,5 kHz, a uśrednione napięcie zasilania odpowiada danym katalogowym – teoretycznie producent dopuszcza bowiem zasilanie AC czujnika MQ-7. Odczyty danych analogowych są uśredniane (ok. 1000×). O ile wyniki pomiarów są przez autora projektu uznawane za wiarygodne, o tyle wykonane próby własne z PWM od 20 kHz do 100 kHz pokazały, że tak nie jest.

Moduł modMQ-7 z czujnikiem tlenku węgla

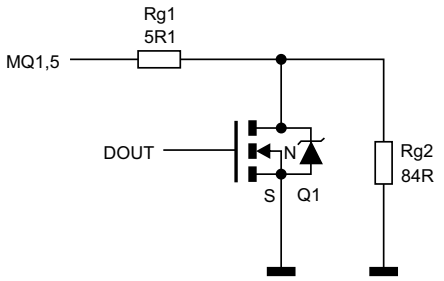
Moduł modMQ-7 [6] jest wyposażony w wyjście analogowe oraz dodatkowe wyjście cyfrowe, wyzwalane przekroczeniem ustalonego progu. Moduł przy zasilaniu 5 V pobiera do 150 mA prądu.

Elementy płytki modułu modMQ-7 pokazano na **rysunku 5**. Nie jest dostępny schemat modułu modMQ-7 [6], lecz jest on zbliżony do modułu MQ-7 Gas Sensor firmy Waveshare pokazanego na **rysunku 6** [5]. Rezystor MQ_R2 ma wartość 1 kΩ (z równolegle dołączonym kondensatorem). Linia VCC jest połączona z szyną +5 V. Na wejściu VCC=+5 V znajduje się kondensator, wpięty pomiędzy VCC i GND.

Rysunek 5. Moduł modMQ-7 [6]



Rysunek 6. Schemat modułu MQ-7 Gas Sensor firmy Waveshare (fragment) [5]



Rysunek 7. Modyfikacja modułu modMQ-7

Zasilanie elementu pomiarowego i grzejnika MQ-7 jest dołączone do tego samego napięcia VCC. Prąd grzałki ogranicza rezystor MQ_R1. Nie ma możliwości zmiany napięcia zasilania grzałki. Napięcie z rezystora obciążenia MQ_R2 jest podawane bezpośrednio na wyjście AOUT oraz na wejście komparatora LM393. Poziom zadziałania komparatora można ustawić potencjometrem MQ_R4.

Modyfikacja modułu modMQ-7

Czujnik MQ-7 wymaga zastosowania dwóch różnych napięć: do zasilnia grzejnika i obwodu pomiarowego [3]. Dlatego trzeba zmodyfikować moduł modMQ-7. Próby z kluczowaniem zasilania [7] zainspirowały autora do zastosowania prostego i skutecznego rozwiązania tego problemu.

Najpierw należy usunąć z płytki niepotrzebne elementy: MQ_L2, MQ_R1, MQ_R4, MQ_R3, MQ_L1, MQ_C1. Rezystor MQ_R2 należy zamienić na 10 kΩ. Pomiędzy DOUT (MQ_P1.4) a masę trzeba dodać rezystor 1 MΩ. Sposób dalszej modyfikacji pokazano na **rysunku 7**.

Rezystor Rg1 (5,1 Ω) należy dołączyć do wyprowadzenia 5 czujnika MQ1 oraz do tranzystora N-MOSFET (IRLML0060 [8]) i rezystora Rg2 o wartości 84 Ω. Tranzystor jest sterowany z wyprowadzenia DOUT – złącze MQ_P1.4 (wejście zamiast wyjścia).

Widok płytki modułu modMQ-7 po modyfikacji został pokazany na **fotografii 1**. Elementy zostały położone bezpośrednio na płytkę drukowaną i dolutowane do wolnych pól lutowniczych. Dodatkowe połączenia wykonano przy użyciu przewodów. Rezystor Rg2 został złożony z dwóch oporników w rozmiarze 0603 połączonych szeregowo.

Moduł modMQ-7 po modyfikacji pobiera z szyny 5 V:

- w fazie grzania (H) ok. 129 mA – tranzystor włączony,
- w fazie pomiaru (L) ok. 43 mA prądu – tranzystor wyłączony.

Napięcie na grzejniku wynosi:

- w fazie H: 4,34 V (561 mW),
- w fazie L: 1,42 V (62 mW).

Próby zostały przeprowadzone z zastosowaniem modułu Pico 2 oraz modułu z 16-bitowym przetwornikiem ADC typu ADS1115.

Po umieszczeniu czujnika w czystym powietrzu i wygrzewaniu – praca ciągła (dwufazowa) przez czas ok. 8 godzin – czujnik bardzo stabilnie powtarzał pomiary. Aby wcześniej zakończyć wygrzewanie,

eprasa.pl 50e19a3eb3

Fotografia 1. Płytka modułu modMQ-7 po modyfikacji (opis w tekście)

można monitować poziom sygnału wyjściowego pod koniec cyklu pomiarowego. Jeśli jest on stabilny, to można zakończyć wygrzewanie.

W trakcie stabilnych pomiarów w czystym powietrzu, w fazie grzania (60 s), sygnał pomiarowy szybko rośnie do ok. 2,68 V, po czym opada powoli do ok. 2,42 V. W fazie pomiaru (90 s) sygnał pomiarowy szybko maleje do ok. 780 mV i utrzymuje się na tym poziomie z tendencją do niewielkiego wzrostu.

Podsumowanie

Czujnik MQ-7 – poza zaletami w postaci bardzo niskiej ceny oraz dużej dostępności – wykazuje też pewne wady. Wymaga zasilania 5 V, co w dobie powszechności układów 3,3 V stwarza problemy. Powtarzalność pomiaru (pomiędzy różnymi egzemplarzami czujnika) i jego stabilność są dosyć wątpliwe. Układ wymaga dużej mocy zasilania i praktycznie pracy ciągłej. Jednak po łatwej modyfikacji dostępnych modułów można go z powodzeniem zastosować do wykrywania obecności groźnego tlenku węgla (w zastosowaniach niewymagających wysokiej niezawodności, oczekiwanej np. od komercyjnych, atestowanych czujek CO – przyp. red.). Seria czujników MQ pozwala na wykrywanie także wielu innych gazów, przy czym nie wymagają one przełączania napięcia zasilania grzałki.

Innym rozwiązaniem do wykrywania CO jest zastosowanie modułu z czujnikiem GM-702B o prądzie roboczym 20 mA (3,3 V) i żywotności 5 lat (praca w powietrzu). W tym przypadku występuje jednak ten sam problem, dotyczący innego napięcia pracy grzejnika w fazie czyszczenia (2,5 V) oraz pomiaru (0,5 V), czego nie umożliwia standardowy moduł fabryczny.

Henryk A. Kowalski
Instytut Informatyki
Politechnika Warszawska

Literatura

[1] Designing Accurate Gas Monitoring Systems with Chemiresistive Devices, DigiKey, 2018-03-14, https://www.digikey.pl/en/articles/designing-accurate-gas-monitoring-systems-with-chemiresistive-devices?dclid=CMXClcP0iYoD-FUed_Qcd9fkvGw
[2] MQ-7 – czujnik stężenia tlenku węgla (CO), https://kamami.pl/gazu/211324-mq-7-czujnik-stezenia-tlenku-wegla-co.html
[3] Technical data MQ-7 gas sensor, Hanwei Electronics, https://files.waveshare.com/upload/2/2c/MQ-7.pdf
[4] MQ-7 Semiconductor Sensor for Carbon Monoxide, Henan Hanwei Electronics, https://dl.btc.pl/kamami_wa/mq_7_ds.pdf
[5] MQ-7 Gas Sensor SKU: 9532 Waveshare, https://www.waveshare.com/mq-7-gas-sensor.htm
[6] modMQ-7 – moduł z czujnikiem stężenia czadu (tlenku węgla), https://kamami.pl/czujniki-gazow/211362-modmq-7-modul-z--czujnikiem-stezenia-czadu-tlenku-wegla.html
[7] Arduino CO Monitor Using MQ-7 Sensor, https://www.instructables.com/Arduino-CO-Monitor-Using-MQ-7-Sensor/
[8] IRLML0060, Infineon, https://www.infineon.com/cms/en/product/power/mosfet/n-channel/irlml0060/

REKLAMA

eprasa.pl 50e19a3eb3

Pomiary zespołów głośnikowych (3)

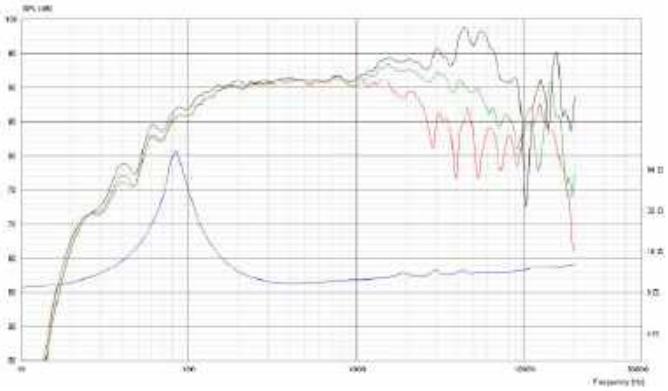
W trzecim odcinku cyklu poświęconego pomiarom zespołów głośnikowych kontynuujemy tematykę pomiarów metodą MLS (tzw. pomiar w polu dalekim), biorąc też na warsztat układy wielodrożne z ich wielorakimi problemami, a nie idealizowane, punktowe źródło dźwięku.

Zacznijmy jednak od układu z jednym przetwornikiem (nieważne jakiego typu: szerokopasmowym, średniotonowym czy wysokotonowym) albo nawet szczególnego rodzaju układem wielodrożnym – z koncentrycznym układem przetworników. W takich przypadkach możliwe jest jednoznaczne określenie punktu centralnego źródła (głośnika); prosta łącząca to centrum z mikrofonem jest najkrótszą drogą, jaką fala może dotrzeć do mikrofonu. W związku z tym takie układy akustyczne (pojedyncze głośniki i układy koncentryczne) często określa się mianem punktowego źródła dźwięku, jednak membrana głośnika nie jest punktem – ma skończone wymiary i specyficzną, trójwymiarową geometrię. Fale biegnące od odległych od siebie części membrany, na skutek zmieniających się relacji fazowych między nimi, kształtują różne charakterystyki przenoszenia na różnych dystansach od głośnika; zmiany te dotyczą jednak tylko fal o długościach porównywalnych ze średnicą membrany i takiego rzędu odległości od mikrofonu, więc przy odległości 1 metra (a tym bardziej większej) nie mają znaczenia – pod warunkiem utrzymywania mikrofonu na ustalonej prostej (łączącej go z centrum membrany), czyli na osi pomiaru.

Fakt, że nawet pojedynczy głośnik nie jest punktowym źródłem dźwięku, najlepiej widać zmieniając oś (bez modyfikacji odległości) na inną prostą łączącą centrum membrany z mikrofonem. Takich odcinków może przecież być nieskończenie wiele. Piszemy teraz o sprawach dość oczywistych, ale nie zaszkodzi o nich przypomnieć, aby za chwilę pewniej poruszać się w bardziej skomplikowanej materii. Charakterystyka będzie się zmieniać, ponieważ wspomniana geometria membrany powoduje, że zmieniając pozycję mikrofonu,

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

nawet przy takiej samej odległości od centrum głośnika, zmieniamy względne odległości, a więc i przesunięcia fazowe, od różnych części membrany. Generalnie najwyższy poziom (przy ustalonej odległości) pojawia się na tzw. osi głównej – prostopadłej do głośnika, mówiąc potocznie – „na wprost". Na niej koordynacja fazowa pracy różnych części głośnika jest zwykle najlepsza w większej części



Rysunek 1. Charakterystyki 18-centymetrowego głośnika średniotonowego, zmierzone pod różnymi kątami (w małej komorze bezechowej, w pełnym zakresie akustycznym). 0° (oś główna) – charakterystyka czarna, 30° zielona, 60° czerwona. Charakterystyki rozchodzą się powyżej 1 kHz na skutek skupiania promieniowania fal krótszych bliżej osi głównej głośnika. Dokładny przebieg tego zjawiska zależy od średnicy, profilu i materiału membrany. Na osi głównej charakterystyka ma mocne wyeksponowanie powyżej 1 kHz, ale właśnie dzięki niższemu poziomowi poza nią charakterystyka zmierzona na 30° wygląda bardzo ładnie, co niektórzy konstruktorzy (całego zespołu głośnikowego) zauważą i wykorzystają, ustawiając tę oś w kierunku miejsca odsłuchowego, np. mocno pochylając front obudowy (płaszczyznę instalacji głośnika)

eprasa.pl 50e19a3eb3

przetwarzanego przezeń pasma. Właściwość skupiania fali w pobliżu osi głównej wynika właśnie z tego zjawiska, a ponieważ w przypadku dużych głośników różnice odległości, a więc przesunięcia fazowe między falami generowanymi przez różne części membrany pod określonym kątem, są większe niż w przypadku głośników małych – stąd duże głośniki bardziej skupiają dźwięk w zakresie średnich i wysokich częstotliwości, a więc fal krótszych (**rysunek 1**).

To przypomnienie (w zasadzie elementarnej) właściwości ma ścisły związek z ważnym pytaniem – na jakiej osi i dlaczego właśnie na niej zamierzamy mierzyć głośnik czy zespół głośnikowy?

Producenci samych głośników oś główną ustalają właśnie zgodnie z powyższą zasadą i prezentują główną (a czasami jedyną) charakterystykę ustaloną w taki sposób; często na wykresie są też charakterystyki zmierzone na innych osiach, np. 30° i 60°. Najczęściej wcześniej „opadają" one w zakresie wysokich częstotliwości. W przypadku okrągłego głośnika, czy to wyspecjalizowanego do przetwarzania określonego zakresu (średniotonowego, wysokotonowego itd.), czy szerokopasmowego (a nawet układu koncentrycznego), nie ma znaczenia płaszczyzna, w jakiej ustalane są osie będące pod określonym kątem względem osi głównej; charakterystyka pod kątem np. 30° w płaszczyźnie poziomej będzie taka sama, jak charakterystyka pod kątem 30° w płaszczyźnie pionowej i jakiejkolwiek innej, ustawionej „ukośnie". Te charakterystyki są informacją dla konstruktora zespołu głośnikowego, jakie (najogólniej mówiąc) są możliwości głośnika, a nie jaka będzie docelowa charakterystyka konstrukcji z jego użyciem.

Nie jest jednak takie oczywiste, jak powinniśmy ustalić oś główną, gdy mamy do czynienia z finalną konstrukcją, w której zastosowano np. głośnik szerokopasmowy lub układ koncentryczny. Wyobraźmy sobie, że kolumna jest niewysoka i głośnik (jego środek) znajduje się na wysokości 70 cm. Wedle wcześniejszych założeń, związanych z cechami samego głośnika (a w tym momencie całej konstrukcji), oś główna pomiaru powinna pokrywać się z osią tego głośnika (co wcale nie znaczy, że powinna biec 70 cm nad podłogą – w pomiarach powinniśmy taką konstrukcję postawić na ok. 50-centymetrowej podstawce, wynosząc sam głośnik na wysokość ok. 120 cm, na takiej samej wysokości ustawić mikrofon, aby „oddalić" odbicia od podłogi). To jednak oznaczałoby, że pokazujemy charakterystykę, jaka biegłaby bezpośrednio do słuchacza, który postawiłby kolumny przecież bezpośrednio na podłodze, mając głowę (uszy) na wysokości 70 cm. A to wysokość znacznie niższa niż typowa dla siedzącego słuchacza; z tego powodu słuszniej byłoby przyjąć wysokość 90...100 cm, ale wtedy oś pomiaru (prosta łącząca mikrofon z centrum głośnika) nie będzie pokrywała się z osią główną głośnika, lecz znajdowała względem niej pod niezerowym kątem (jakim dokładnie, zależy też od odległości; im większa odległość, tym mniejszy kąt). Nie są nam znane ścisłe normy postępowania w takich sytuacjach – zarówno podejście „konstrukcyjne", jak i „użytkowe" mają swoje uzasadnienie, a każdy musi rozważyć, jaką sytuację zamierza przedstawić w swoich pomiarach. Zresztą jedno nie wyklucza do końca drugiego; można przecież zmierzyć i pokazać obydwie charakterystyki, jednak konstruktor musi zadać sobie pytanie, która jest dla niego najważniejsza? W praktyce testów i pomiarów AUDIO, wybieramy jako oś główną pomiaru tę, która przechodzi przez hipotetyczny, prawdopodobny punkt odsłuchowy znajdujący się na wysokości 90...100 cm, w odległości 3 m. Nie znaczy to, że mikrofon znajduje się na wysokości 90...100 cm ani że mikrofon znajduje się w odległości 3 m; z powodów opisanych miesiąc temu mikrofon znajduje się bliżej, a jednocześnie względem centrum akustycznego zespołu głośnikowego pozostaje on na tej samej prostej, na jakiej znajdowałby się, gdyby był ustawiony na wysokości 90...100 cm od podłogi, w odległości 3 metrów od kolumny stojącej na podłodze.

Zespoły wielodrożne stanowią 99% konstrukcji głośnikowych średniej i wyższej klasy, z powodów które powinny być znane wszystkim zainteresowanym, dlatego nie będziemy tutaj ich przypominać. To, co ważne dla naszych rozważań, to fakt, że zespół wielodrożny, poczynając od dwudrożnego, składa się z co najmniej dwóch przetworników różnego rodzaju, przetwarzających różne zakresy częstotliwości i fizycznie odsuniętych od siebie (abstrahując od układów koncentrycznych, które omówiliśmy wcześniej).

Zastosowanie kilku głośników przetwarzających różne częstotliwości wymaga od konstruktora opanowania ich indywidualnych charakterystyk amplitudowych i fazowych tak, aby sumowały się do wyrównanej (albo jakiejkolwiek innej – byle w ogólnym zarysie zamierzonej, a nie przypadkowej) charakterystyki zespołu. Ta będzie jednak zmieniać się wraz ze zmianą osi – kierunku pomiaru. Na wstępie załóżmy, że ustaliliśmy oś główną (jak – o tym podyskutujemy dalej) i mamy na niej oczekiwaną charakterystykę. W zależności od częstotliwości podziału (im wyższa, tym bardziej), nachylenia filtrów (im niższe, tym bardziej), fizycznej odległości między głośnikami (im większa, tym bardziej), będzie ona zmieniać się wraz ze zmianą osi – i to zupełnie inaczej w płaszczyźnie pionowej niż w płaszczyźnie poziomej.

Charakterystyki zmierzone pod różnymi kątami w płaszczyźnie poziomej będą odbiegały od charakterystyki z osi głównej na skutek schodzenia z osi głównych poszczególnych przetworników, a więc ze względu na ich indywidualne charakterystyki kierunkowe (którą to właściwość omówiliśmy w poprzednim numerze), a uwzględniając front obudowy o skończonych wymiarach – również przez zmianę odległości mikrofonu od jej krawędzi (do jednej bocznej będziemy się zbliżać, od drugiej oddalać, co w sumie jest zjawiskiem pożądanym, bowiem znosi kumulację odbić od tych krawędzi, następujących przy tej samej częstotliwości, gdy układ głośnikowy znajduje się w osi symetrii, a mikrofon w takiej samej od nich odległości – **rysunek 2**).

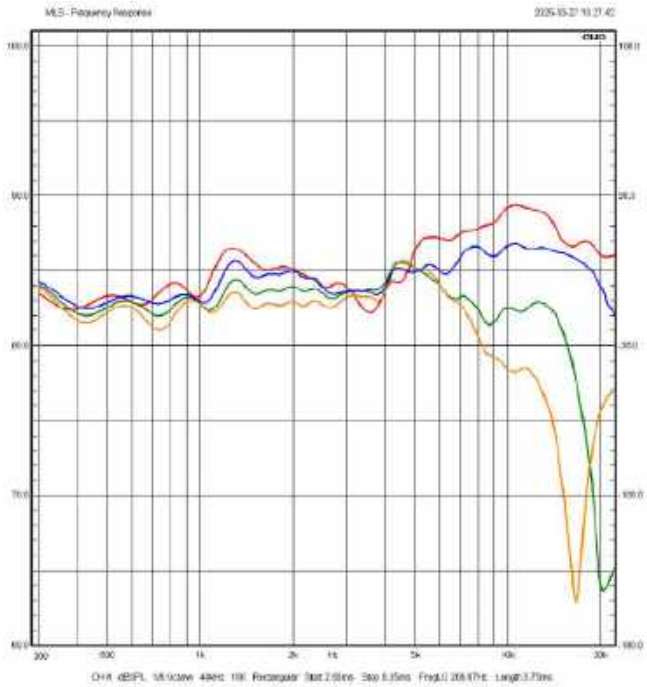
Charakterystyki zmierzone pod różnymi kątami w płaszczyźnie pionowej będą odbiegały od charakterystyki z osi głównej również na skutek schodzenia z osi głównych poszczególnych przetworników, ale w zakresie częstotliwości podziału często jeszcze bardziej na skutek zmiany (pogorszenia) koordynacji fazowej między przetwornikami. To zjawisko może przybierać bardzo poważne rozmiary, jest zasadniczo niekorzystne, ale żeby być „sprawiedliwym" wobec konstruktora, jak też uczciwie przedstawić sytuację użytkownikowi, należy je indywidualnie zinterpretować (**rysunek 3**).

Ogólnym zaleceniem jest, aby oś główną takich konstrukcji wyprowadzać albo na osi wysokotonowego (co gwarantuje najlepszą charakterystykę w zakresie najwyższych częstotliwości), albo pomiędzy nim a głośnikiem nisko-średniotonowym (w układach dwudrożnych), albo średniotonowym (w układach trójdrożnych). Wielu konstruktorów przyjmuje tę oś za oś referencyjną, na niej dopracowując najlepszą charakterystykę w zakresie częstotliwości podziału.

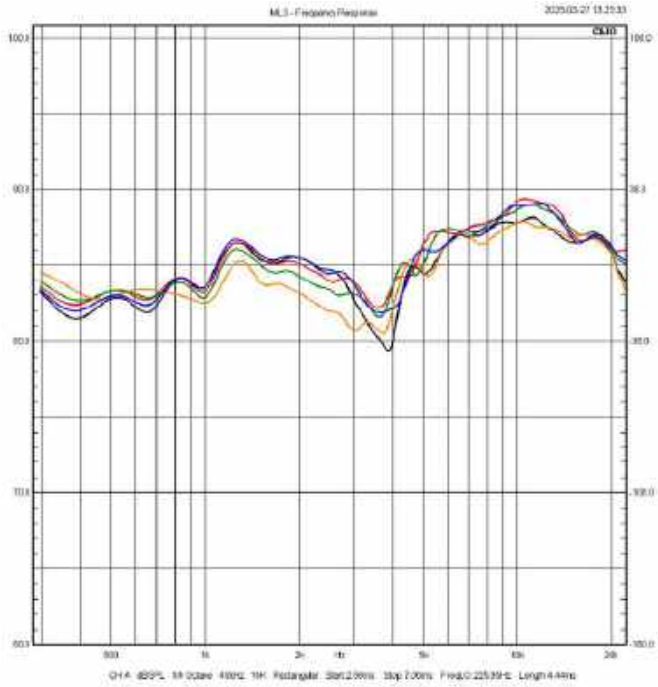
Konstrukcje podstawkowe mają zwykle wysokość w zakresie 30...40 cm, a przeznaczone do nich podstawki 60 cm, więc głośnik wysokotonowy znajduje się na wysokości ok. 90 cm, a ponieważ głowy siedzącego słuchacza można spodziewać się na wysokości 90...100 cm, główna oś pomiaru zbieżna z osią przetwornika wysokotonowego wydaje się słusznym wyborem, chociaż nie zawsze będzie pokrywać się z osią najlepszej charakterystyki.

Również w konstrukcjach wolno stojących głośnik wysokotonowy znajduje się często na wysokości ok. 90 cm i można wówczas ustalić oś główną na takim właśnie poziomie – względem dolnej krawędzi obudowy, niekoniecznie podłogi (przypominamy o zaleceniu przeniesienia w pomiarach całego układu wyżej, na wysokość ok. 120...130 cm, za pomocą odpowiedniej podstawki pod kolumnę).

eprasa.pl 50e19a3eb3



Rysunek 2. Charakterystyki małego, podstawkowego, dwudrożnego zespołu głośnikowego, w zakresie 300 Hz...20 kHz, zmierzone metodą MLS na odległości 1 m, pod różnymi kątami w płaszczyźnie poziomej. Charakterystyka czerwona – oś główna, niebieska 15°, zielona 30°, pomarańczowa 45°. Przy 4 kHz (częstotliwość podziału) poza osią główną nie pojawia się osłabienie, bowiem w płaszczyźnie poziomej zachowana jest taka sama korelacja fazowa między przetwornikami w szerokim zakresie kątów, a głośnik wysokotonowy rozprasza tę częstotliwość bardzo szeroko. Skupia promieniowanie (zawęża charakterystyki kierunkowe) wraz ze wzrostem częstotliwości, nie należy jednak sądzić, że zjawisko to jest silniejsze w płaszczyźnie poziomej niż pionowej (rysunek 3), bowiem tutaj badamy charakterystyki w szerszym zakresie kątów. Najlepiej zrównoważona jest charakterystyka pod kątem 15°, dlatego takich zespołów głośnikowych nie trzeba (a nawet nie należy) „wycelowywać" dokładnie w miejsce odsłuchowe



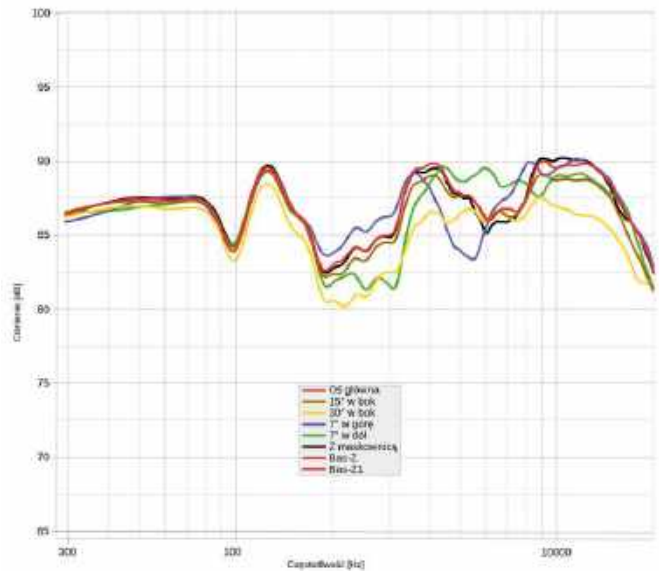
Rysunek 3. Charakterystyki tego samego (co na rysunku 2) zespołu głośnikowego, w zakresie 300 Hz...20 kHz, zmierzone metodą MLS z odległości 1 m, pod różnymi kątami w płaszczyźnie pionowej. Charakterystyka czerwona – oś główna (wyprowadzona prostopadle pomiędzy głośnikiem nisko-średniotonowym a wysokotonowym), niebieska +7°, czarna +12°, zielona –7°, pomarańczowa –12°. Pod kątami ±12° widać pogłębiające się osłabienie przy ok. 4 kHz, związane z częstotliwością podziału i słabszą niż na osi głównej zgodnością fazową promieniowania obydwu przetworników, spowodowaną zmieniającą się od nich odległością (1 m jest ustalony względem punktu pomiędzy nimi). Dobry konstruktor jest w stanie wypracować najlepszą zgodność fazową (i najlepszą charakterystykę przetwarzania) poza osią główną, o ile byłoby to celowe – np. gdy zespoły głośnikowe stoją na niskiej komodzie i ich oś główna biegnie znacznie poniżej uszu siedzącego słuchacza albo odwrotnie – gdy stoją na regale

Kłopot mamy wtedy, gdy głośnik wysokotonowy jest na wyraźnie innej wysokości; są kolumny wolno stojące, w których znajduje się on nawet na wysokości 120 cm, albo znacznie niżej – na 70 cm; do podobnych sytuacji odnieśliśmy się już w analizie pomiaru układu z pojedynczym przetwornikiem, ale w przypadku układów wielodrożnych, z podanych już powodów, sytuacja się „zaostrza". Oś referencyjna – czyli oś najlepszej charakterystyki – powinna być przez konstruktora wybrana przy uwzględnieniu warunków użytkowania kolumn. W niezależnym pomiarze, w ramach testu, oś główna – wskazująca użytkownikom potencjalnie „najważniejszą" charakterystykę – też powinna być ustalona rozsądnie.

Najpierw wejdziemy na grunt konstruktorski; jeżeli przetwornik wysokotonowy znajduje się na „niestandardowej" wysokości, np. 120 cm czy 70 cm, zwykle nie jest to spowodowane zamiarem ustalenia osi referencyjnej bardzo wysoko albo bardzo nisko; raczej zmuszają do tego inne przesłanki konstrukcyjne, którymi nie będziemy się tutaj zajmować.

Jeżeli głośnik wysokotonowy będzie znajdował się 20...30 cm wyżej lub niżej od zakładanej wysokości miejsca odsłuchowego, to przy dodatkowym założeniu, że słuchacz będzie znajdował się w odległości nie mniejszej niż 3 metry (założenie całkowicie uzasadnione w przypadku kolumn wolno stojących, stosowanych w salonach, a nie na biurkach), kąt między osią przetwornika wysokotonowego a prostą łączącą go z miejscem odsłuchowym jest niewielki, ok. 5...7°. Można wówczas skierować oś referencyjną o tyle niżej lub wyżej, czyli tak zestroić zwrotnicę, aby najlepsza zgodność fazowa między przetwornikiem wysokotonowym i głośnikiem bezpośrednio mu towarzyszącym (a w ślad za tym najwyżej i najbardziej płynnie biegnąca charakterystyka przetwarzania w zakresie częstotliwości podziału między nimi) powstała właśnie w tym kierunku. W celu dokonania dostatecznie dokładnego pomiaru nie musimy jednak ustawiać mikrofonu w odległości 3 metrów, co w przypadku redukcji odbić byłoby zbyt trudne, lecz przesuwać go po prostej (łączącej punkt na wysokości 90...100 w odległości 3 metrów z głośnikiem wysokotonowym); w praktyce, mierząc wysoką kolumnę z przetwornikiem wysokotonowym na wysokości 120 cm, nie musimy jej już ustawiać na żadnej podstawce, zaś mikrofon, jeżeli będzie znajdował się w odległości 1,5 metra, będzie ustawiony na wysokości 105...110 cm. Kiedy będziemy stroić kolumnę niską, postąpimy odwrotnie, ale według tej samej ogólnej zasady – mikrofon ustawimy odpowiednio wyżej niż głośnik wysokotonowy. Swoją drogą, w tak niewielkim zakresie kątów (między osią głośnika wysokotonowego a osią referencyjną) konstruktor powinien być w stanie opanować podobne charakterystyki, tak aby wyniki pomiarów zarówno na osi przetwornika wysokotonowego, jak i z opisaną korektą były bardzo podobne; czasami może to być jednak trudne (zwłaszcza przy zastosowaniu filtrów 1. rzędu, wysokiej częstotliwości podziału czy przy dużym rozsunięciu głośników).

eprasa.pl 50e19a3eb3



Rysunek 4. Charakterystyki wolno stojącego, trójdrożnego zespołu głośnikowego (Bowers & Wilkins 703 S3, test w „AUDIO", nr 3/2025), w zakresie 300 Hz...20 kHz, zmierzone metodą MLS w odległości 1,5 m, pod różnymi kątami w płaszczyźnie poziomej i pionowej. Podobnie jak we wszystkich konstrukcjach B&W, szczególna konfiguracja filtrów powoduje duże zmiany charakterystyki przetwarzania w płaszczyźnie pionowej na skutek zmian relacji fazowych między przetwornikami: średniotonowym i wysokotonowym. Współpracują one w szerokim zakresie częstotliwości na skutek zastosowania filtrów niższego rzędu (o łagodnym nachyleniu zbocza). Oś główna (charakterystyka czerwona) ustalona jest na wysokości 100 cm, pomiędzy średniotonowym a wysokotonowym. Również ona jest mocno pofalowana, a charakterystyki z osi ±7° (niebieska/zielona) nie mniej, ale inaczej. Brzmienie będzie wyraźnie zmieniać się wraz ze zmianą wysokości miejsca odsłuchowego. Zmiany pod kątem 15° w płaszczyźnie poziomej (charakterystyka brązowa) są znacznie mniejsze względem charakterystyki z osi głównej (gdyż nie ulega zmianie korelacja fazowa między przetwornikami), a dopiero pod kątem 30° – większe, gdzie zaznacza się już wyraźnie skupianie promieniowania przez poszczególne przetworniki. Takie charakterystyki nie wyglądają imponująco, ale wynikają z przyjęcia przez konstruktora innych priorytetów. Bowers stwierdził, że jego wysokotonowe brzmią najlepiej, gdy są podłączone przez proste, jednoelementowe filtry (kondensator) i temu podporządkował cały układ

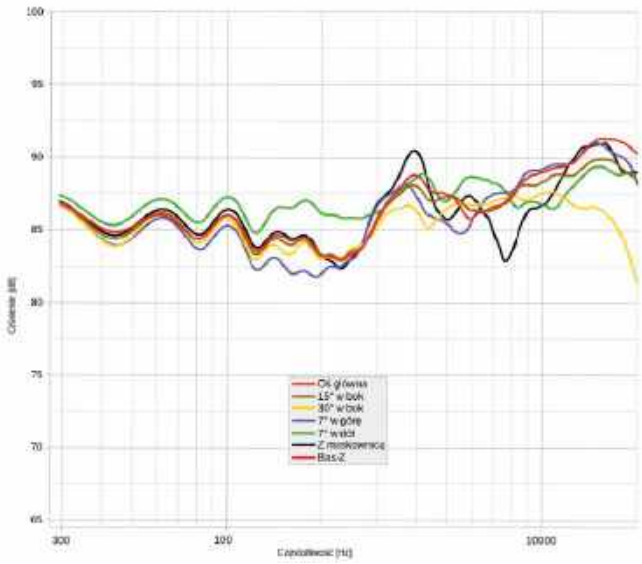
Z kolei od strony pomiarowej można popełnić błąd, ustawiając mikrofon na wysokości 90...100 cm (dopasowanej do głowy siedzącego słuchacza względem podstawy kolumny), ale w odległości tylko 1...1,5 metra od zespołu, którego oś referencyjna (znajdująca się na osi wysokotonowego albo w pobliżu) biegnie znacznie wyżej lub niżej; wtedy kąt będzie znacznie większy, zniekształcenia charakterystyki też się powiększą, a taki obraz sytuacji nie będzie miarodajny do określenia tego, co odebrałby słuchacz znajdujący się w większej odległości, a więc pod mniejszym kątem.

Podobne zagadnienie i kwestia do rozstrzygnięcia powstają, gdy konstrukcja ma pochyloną przednią ściankę; konstruktor czy też badający muszą sobie odpowiedzieć na pytanie, w jakim celu jest pochylona, a więc w jakim celu oś główna samego przetwornika jest skierowana lekko do góry? W przypadku układów wielodrożnych najczęściej jest to związane z zamiarem korekty czasów dolotu (fal od poszczególnych głośników; centrum akustyczne nisko-średniotonowego czy średniotonowego znajduje się dalej niż centrum kopułki wysokotonowej i pochylenie ścianki te odległości wyrównuje), ale wcale nie zawsze tak być musi. Konstrukcje starszej generacji, z obudowami o wysokości do 70 cm, są czasami stawiane na specjalnych, niskich podstawkach, które kierują ich promieniowanie lekko do góry, aby dotarło do uszu słuchacza siedzącego w odległości kilku metrów. Nowoczesne konstrukcje z pochyloną przednią ścianką są natomiast strojone z uwzględnieniem fizycznego przesunięcia głośników względem siebie (które takie pochylenie wprowadza do układu), na osi biegnącej równolegle do podłoża, zwykle na optymalnej wysokości 90...100 cm.

Zwykle największe tego typu problemy – ze zmiennością charakterystyki w płaszczyźnie pionowej – występują w zakresie częstotliwości podziału między przetwornikami: wysokotonowym a nisko-średniotonowym (lub średniotonowym), ze względu na relatywnie krótkie fale takich częstotliwości, co już pod niewielkimi kątami powoduje duże przesunięcia fazowe, zaburzające charakterystykę przetwarzania (**rysunki 4** i **5**). Gdy jednak mikrofon znajduje się w niewielkiej odległości, typowej dla pomiarów metodą MLS (a więc równej 1...1,5 metra) i na wysokości ok. 1 metra (względem podstawy kolumny), mogą zostać zaburzone również relacje fazowe między głośnikami: średniotonowym a niskotonowym. Obserwujemy to, zwłaszcza gdy częstotliwość podziału jest wysoka bądź przetwornik niskotonowy jest od średniotonowego odsunięty (znajduje się bardzo nisko, czasami na bocznej ściance). Do tego może dołożyć się jeszcze jeden niekorzystny (dla pomiarów prowadzonych tą metodą) efekt umieszczenia głośnika niskotonowego blisko podłogi, a mianowicie znacznie wcześniejsze odbicie (niż fal wysokich częstotliwości); teoretycznie powinniśmy je „wyciąć" z tego pomiaru, skracając okno czasowe, ale wtedy poprawną charakterystykę zobaczylibyśmy dopiero powyżej 500 Hz.

Jeżeli bardzo nam zależy, aby w takich „trudnych" przypadkach, w miarę wiarygodnie zmierzyć metodą MLS charakterystykę w całym zakresie średnio-wysokotonowym, w typowych warunkach mieszkalnych, gdzie nie możemy ani odsunąć mikrofonu na więcej niż 1,5 m, ani odsunąć się z osią pomiaru od najbliższej powierzchni odbijającej (podłogi i sufitu) bardziej niż na 1,3 metra, musimy wykonywać dwa pomiary; np. jeden na wysokości głośnika wysokotonowego, drugi pomiędzy średniotonowym i niskotonowym (w każdym starając się być jak najdalej od podłogi i sufitu, w więc w drugim stawiając kolumnę na wyższej podstawce, a nie obniżając pozycję mikrofonu) i składając je np. przy 1 kHz. Wtedy uzyskamy najlepsze (choć nie idealne) odtworzenie charakterystyki w dużej odległości od zespołu głośnikowego. Wpływ odbić jest problemem metody MLS, natomiast problem

eprasa.pl 50e19a3eb3



Rysunek 5. Charakterystyki wolno stojącego, dwuipółdrożnego (abstrahując od wstęgowego superwysokotonowego) zespołu głośnikowego (Dali Rubikore 6, test w „AUDIO" 3/2025), w zakresie 300 Hz...20 kHz, zmierzone metodą MLS z odległości 1,5 m, pod różnymi kątami w płaszczyźnie poziomej i pionowej. Sytuacja jest dość znamienna dla układów dwuipółdrożnych, gdzie w zakresie średniotonowym, znowu na skutek przesunięć fazowych, tym razem między przetwornikiem (nominalnie) niskotonowym a głośnikiem nisko-średniotonowym charakterystyka obniża się wraz z „oddalaniem" od niskotonowego (a więc pod kątem +7°, charakterystyka niebieska) i rośnie wraz ze zbliżaniem do niego (–7°, charakterystyka zielona). Na osi głównej (wyprowadzonej na osi głośnika wysokotonowego, na wysokości 90 cm) charakterystyka ma lżejsze osłabienie. Takiemu układowi głośników i filtrów dobrze posłużyłoby pochylenie obudowy do tyłu (a dokładnie – przedniej ścianki, co jednak wcale nie jest uniwersalnym sposobem na lepsze zestrojenie, jak sądzą niektórzy). Typowe dla konstrukcji firmy Dali jest wyeksponowanie wysokich tonów (na osi głównej), które z powodu „naturalnych" właściwości skupiania promieniowania musi ustępować na innych osiach, dlatego sam producent rekomenduje, aby kolumny ustawiać osiami głównymi biegnącymi daleko od miejsca odsłuchowego, nawet równolegle, a wtedy słuchacz znajdzie się na osi ok. 30° – czyli będzie słyszał charakterystykę żółtą, która biegnie najrówniej aż do 15 kHz. W pewnym sensie to zaplanowana przez producenta oś główna, a nie standardowa oś wyprowadzona na wprost kolumny

przesunięcia fazowego między promieniowaniem głośników przy różnych ustawieniach mikrofonu w takim samym stopniu dotyczyłby pomiaru w komorze bezechowej, gdyby był on wykonywany z niewielkiej odległości (chociaż komora pozwoliłaby na ustawienie mikrofonu dalej).

Właśnie takie zjawiska są źródłem rekomendacji, w myśl której odległość mikrofonu od zespołu głośnikowego powinna wynosić co najmniej trzykrotność jego największego wymiaru, co uogólnia bardziej szczegółowe zalecenia, uzależnione od konfiguracji zespołu; jak już jednak stwierdziliśmy, odległość 3 metrów w pomieszczeniu mieszkalnym powoduje zbyt wczesne odbicia, chociaż w zamian może zredukować przesunięcia fazowe między głośnikami zespołu. Dlatego jak dokładnie ustawić mikrofon przed konkretnym zespołem głośnikowym… wiemy na podstawie nabytego doświadczenia, konfiguracji głośnikowej badanej konstrukcji i próbnych pomiarów. Czyli trzeba zrobić rozpoznanie bojem. Trudno wszystko wiedzieć od razu, nawet widząc konstrukcję, gdy nie znamy np. częstotliwości podziału, które będą miały duży wpływ na rezultaty.

Wreszcie nie jesteśmy skazani na zrobienie czy też pokazanie jednego pomiaru. Mając już system pomiarowy, odpowiednie pomieszczenie i podstawową wiedzę, możemy zrobić wiele testów, odpowiednio interpretując i opisując ich wyniki. Zarówno na etapie konstruowania, jak i podczas zapisywania ostatecznie uzyskanych wyników czy też ich prezentowania – powinniśmy robić pomiary pod różnymi kątami. Nowoczesne projektowanie zdecydowanie wymaga opanowania charakterystyk w większym zakresie kątów, w każdej płaszczyźnie, a nie tylko jednorazowe przeskoczenie poprzeczki za pomocą uzyskania jednej pięknej charakterystyki na wybranej osi. Przy tym wcale nie musi chodzić o to, aby charakterystyka ta była idealnie liniowa, bo wcale nie zawsze taka będzie brzmieć najlepiej, niezależnie od tego, że nie utrzymalibyśmy jej w szerokim zakresie kątów. Należy jednak zadbać o to, aby w „użytecznym" zakresie kątów i odległości, w jakim może znaleźć się słuchacz (oczywiście siedzący, a nie leżący czy stojący), a więc ±7° w pionie i do 15° w poziomie, charakterystyka zmieniała się niewiele, a w szerszym – aby zmieniała się w sposób „kontrolowany" (tj. naturalnie tracąc energię w zakresie wysokich częstotliwości), lecz nie pokazywała gwałtownych nierównomierności; chodzi bowiem o to, aby w rzeczywistych warunkach odsłuchu, przy udziale odbić, które przecież będą docierać do słuchacza, charakterystyka pozostawała zrównoważona i dźwięk nie zmieniał „charakteru"; w celu zmniejszenia wpływu odbić obniżenie poziomu pod kątami większymi niż 30° może być nawet korzystne, ale nie powinno dyskryminować pewnych częstotliwości względem innych, o co bardzo trudno ze względu na znacznie szersze promieniowanie częstotliwości niskich niż średnich, a tym bardziej wysokich. To już uwagi bardziej na temat konstruowania, ale należy do nich właściwie podejść w pomiarach i dobrze je rozumieć.

W dotychczasowych rozważaniach skupiliśmy się na wyborze właściwej osi, odległości mikrofonu od źródła, odległości od najbliższej powierzchni odbijającej (w praktyce – podłogi), a więc na pomiarze w tzw. polu dalekim metodą MLS. Wybór osi będzie miał wpływ głównie na obraz sytuacji powyżej 1 kHz (ze względu na kierunkowość przetworników i relacje fazowe między nimi), a dobór odległości – na dokładność pomiaru poniżej 1 kHz, z tym że będzie ona pogarszać się stopniowo.

Na szczęście w zakresie niskich częstotliwości z pomocą mogą przyjść inne metody pomiaru, które – podobnie jak metoda MLS – nie wymagają komory bezechowej.

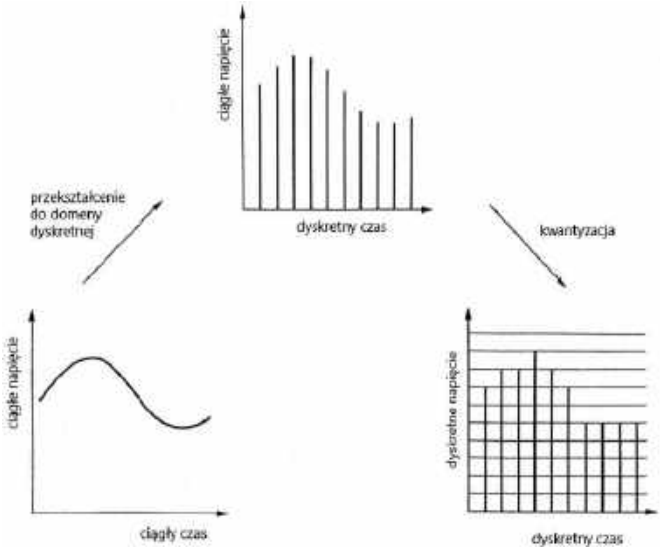
Andrzej Kisiel

eprasa.pl 50e19a3eb3

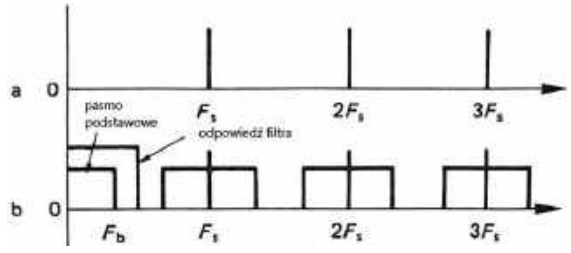
Konwersja cyfrowo-analogowa w technice audio (1)

W ramach działu „Audio bez tajemnic" omawiamy nie tylko klasyczne, analogowe zagadnienia technik elektroakustycznych – sporo miejsca poświęcamy także nowoczesnym urządzeniom cyfrowym, bez których nie sposób wyobrazić sobie współczesnego świata audio. Po szczegółowym omówieniu konwersji analogowo-cyfrowej, które opublikowaliśmy w EP 01...03/2025 przyszedł czas na zaprezentowanie podstaw teoretycznych procesu odwrotnego – czyli przetwarzania cyfrowo-analogowego.

Jak już wiemy, analogowy sygnał jest konwertowany na postać cyfrową w procesie kwantowania. W wyniku konwersji otrzymujemy zbór liczb reprezentujących ten sygnał w domenie dyskretnej. Jeżeli kwantowanie (pobieranie próbek) zostało wykonane prawidłowo, czyli z częstotliwością spełniającą kryterium Nyquista, to ze zbioru próbek można odtworzyć sygnał analogowy bez utraty jakości. Dla przypomnienia na **rysunku 1** pokazano proces kwantowania. Analogowy sygnał jest przekształcany do domeny cyfrowej poprzez mierzenie i zapisywanie wartości amplitudy napięcia z częstotliwością próbkowania Fs, czyli w jednakowych odstępach czasu równych 1/Fs. Zakładamy, że napięcie jest mierzone z nieskończoną rozdzielczością, czyli próbki mają charakter wartości analogowych. Kolejnym krokiem jest kwantyzacja, czyli zapisanie wartości owych próbek z określoną rozdzielczością bitową (na przykład 16 bitów).



Rysunek 1. Proces próbkowania sygnału analogowego



Rysunek 2. Powstawanie powielonych pasm w procesie kwantyzacji

Trzeba zwrócić uwagę na dwa ważne fakty, wynikające z dyskretnego przetwarzania sygnału. Po pierwsze pobieramy i zapisujemy próbki co zadany okres i tylko w tych momentach mamy informację o wartości próbkowanego sygnału. To, co się dzieje z sygnałem pomiędzy kolejnymi momentami próbkowania, nie zostanie zapisane i wydaje się, że jest bezpowrotnie tracone. Po drugie zarejestrowana amplituda sygnału po procesie kwantowania będzie, z dużym prawdopodobieństwem, różnić się od rzeczywistej wartości sygnału mierzonego w momentach następujących co 1/Fs. Proces kwantyzacji napięcia musi nieuchronnie prowadzić do powstania zniekształceń amplitudy odtworzonej na podstawie tak zapisanych próbek. Jak zobaczymy dalej, nie musi to jednak być tożsame z modyfikacją kształtu sygnału, czyli wprowadzaniem zniekształceń harmonicznych.

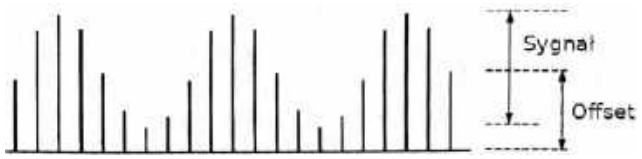
Kwantyzacja jest odpowiednikiem stosowanej w radiofonii modulacji amplitudy (AM). Ciąg impulsów o stałej amplitudzie (nośna), pojawiających się w odstępach czasowych równych 1/Fs, jest modulowany wartością próbek odczytywanych z zapisanego zbioru (sygnał modulujący). Podobnie jak radiowa modulacja AM, proces ten wytwarza pasma boczne powyżej i poniżej nośnej. Innymi słowy, próbkowanie również wytwarza pasma boczne, chociaż nośna jest teraz ciągiem impulsów i ma nieskończoną ilość harmonicznych, jak pokazano na **rysunku 2a**. Pasma boczne powtarzają się powyżej i poniżej każdej harmonicznej częstotliwości próbkowania, co widać na **rysunku 2b**.

Pasmo podstawowe zawiera widmo sygnału kwantowanego i ma szerokość od 0 Hz do Fb, gdzie Fb to maksymalna częstotliwość sygnału kwantowanego.

Opisane zjawiska powstają w procesie kwantyzacji, czyli konwersji analogowo-cyfrowej. Proces odwrotny, czyli konwersja cyfrowo-analogowa, ma za zadanie odtworzyć z zapisanych próbek oryginalny sygnał analogowy.

Zastanówmy się, jak mógłby wyglądać proces konwersji cyfrowo-analogowej. Wyobraźmy sobie urządzenie (przetwornik), które z pliku pobiera liczbę odpowiadającą amplitudzie skwantowanego sygnału. Na podstawie jej wartości przetwornik wystawia na wyjściu impulsy co 1/Fs o zerowym czasie trwania i napięciu proporcjonalnym do napięcia odniesienia (czyli napięcia pełnego zakresu). Odpowiadają one próbkom pobranym w procesie kwantowania sygnału. Wynik mógłby wyglądać tak, jak na **rysunku 3**. Ponieważ próbki są zapisywane jako liczby całkowite bez znaku, to dodaje się do nich stały offset o wartości równej połowie ich maksymalnej amplitudy.

Na początek załóżmy, że mamy na wyjściu przetwornika ciąg idealnych impulsów – takich, jak na rysunku 3. Jak już wiemy, ich widmo zawiera pasmo podstawowe od 0 Hz do Fb i powielone pasma z wstęgami



Rysunek 3. Impulsy na wyjściu idealnego przetwornika cyfrowo analogowego

eprasa.pl 50e19a3eb3

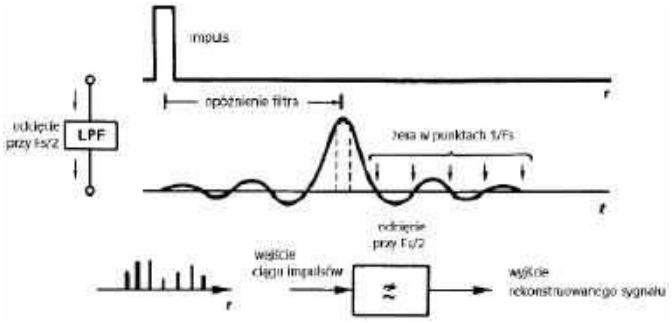
Rysunek 4. Idealne filtrowanie analogowe widma ciągu impulsów

bocznymi o szerokości równej wartości Fs, układającymi się symetrycznie wokół wielokrotności częstotliwości próbkowania Fs (**rysunek 4**). Można się spodziewać, że po konwersji tego ciągu impulsów na sygnał analogowy będzie on zawierał pasmo podstawowe i powielone pasma – podobnie, jak na rysunku 2b. Proces kwantyzacji powoduje zatem powielanie pasma w domenie cyfrowej, czyli próbki zawierają – oprócz skwantowanego pasma – „matematyczną" informację o jego powielonych kopiach. Niestety po konwersji odwrotnej te powielone pasma z domeny cyfrowej pojawiają się w rzeczywistym sygnale analogowym. W prawidłowo skwantowanym sygnale (bez aliasingu) te znajdują się one poza pasmem akustycznym (obejmującym zakres od 0 Hz do Fb) i w praktyce powinniśmy się ich bez problemu pozbyć. Jest na to prosty sposób – filtrowanie dolnoprzepustowe. Na początek poddamy zatem to pasmo idealnemu, analogowemu filtrowaniu dolnoprzepustowemu. Filtr powinien przenosić bez zmian wszystkie częstotliwości od 0 Hz do Fs/2 i całkowicie tłumić częstotliwości powyżej Fs/2. Wyniku filtrowania mamy wyodrębnione pasmo podstawowe od 0 Hz do Fs/2. Wszystkie wstęgi powielonego pasma, tak jak chcieliśmy, zostały idealnie odfiltrowane (stłumione).

Wróćmy do rysunku 3. Każdy z impulsów na wyjściu przetwornika jest poddawany działaniu tego filtra dolnoprzepustowego. Odpowiedź impulsowa liniowego fazowo, idealnego, dolnoprzepustowego filtra na takie pobudzenie jest zgodna z funkcją sin(x)/x (w dziedzinie czasu). Inaczej mówiąc: jeżeli na wejście idealnego filtra dolnoprzepustowego podamy impuls o pomijalnym czasie trwania, to na jego wyjściu otrzymamy przebieg odpowiadający funkcji sin(x)/x. To jednak nie wszystko. Przebieg sin(x)/x przechodzi przez wartości zerowe w odległościach 1/Fs. Dlatego odpowiedź impulsowa wywołana opisywanym pobudzeniem nie wpływa na odpowiedzi impulsowe filtra dla kolejnych próbek, pojawiających się co czas 1/Fs. Ta bardzo ważna właściwość została zobrazowana na **rysunku 5**.

Jeżeli teraz podamy na wejście idealnego filtra dolnoprzepustowego ciąg impulsów z wyjścia przetwornika, to przebiegi sin(x)/x na wyjściu filtra będą tworzyły obwiednię, zbudowaną z sumy odpowiedzi impulsowych na impulsy reprezentujące kolejne próbki i odtwarzającą próbkowany przebieg bez zniekształceń – **rysunek 6**.

Dyskretny sygnał, reprezentowany przez próbki pobierane z częstotliwością Fs, jest przekształcany do postaci ciągłej w dziedzinie czasu poprzez filtrowanie impulsów wyjściowych przetwornika filtrem dolnoprzepustowym. Filtr ten musi przenosić bez zmian pasmo podstawowe do częstotliwości Fs/2, a tłumić wszystkie pasma powielone powyżej Fs/2. Taki układ spełnia rolę filtra rekonstruującego.



Rysunek 5. Odpowiedz impulsowa filtra dolnoprzepustowego o częstotliwości odcięcia Fs/2

Rysunek 6. Odtworzenie oryginalnego przebiegu na wyjściu przetwornika

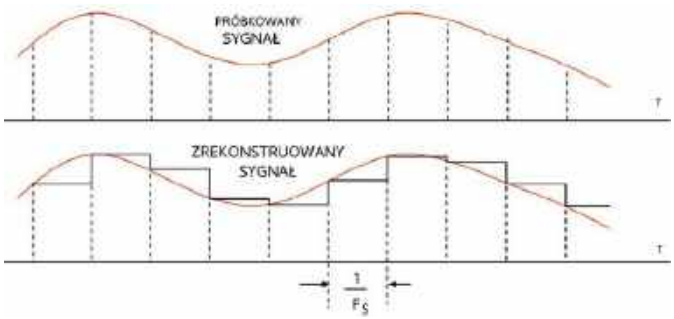
Jeżeli filtr dolnoprzepustowy ma pionowo opadającą charakterystykę przy częstotliwości Fs/2, to analogowy sygnał na jego wyjściu ma płaskie pasmo równe pasmu sygnału próbkowanego.

Popatrzmy teraz jak to wygląda w praktyce. Teoria zakłada, że na wyjściu przetwornika mamy ciąg idealnych impulsów o pomijalnym czasie trwania. W rzeczywistym świecie nie można wygenerować takich impulsów, które miałyby pomijalny czas trwania i zerowe czasy narastania oraz opadania. Rzeczywiste przetworniki nie działają w ten sposób. Napięcie na ich wyjściu utrzymuje stałą wartość przez praktycznie cały okres równy 1/Fs. Powoduje to, że sygnał wyjściowy przypomina przebieg schodkowy, a nie ciąg impulsów (**rysunek 7**). Taki system generowania napięcia nazywa się systemem zerowego rzędu z aperturą (wypełnieniem) 100%.

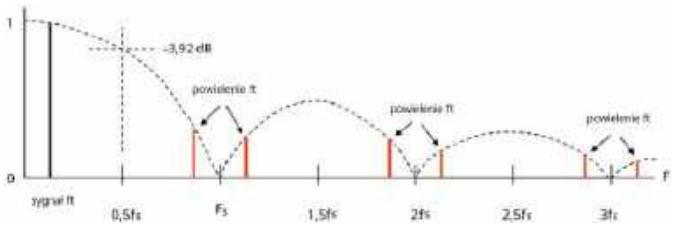
Jak się łatwo domyśleć, taka konwersja nie spełnia założeń teoretycznych opisanych powyżej i analogowy sygnał wyjściowy – po przejściu przez filtr rekonstruujący – musi być w jakiś sposób modyfikowany.

Na szczęście zmiana dotyczy tylko charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowej, a nie kształtu sygnału (co wiązałoby się z pojawieniem zniekształceń harmonicznych). Jak już wspomniałem, w teoretycznie idealnych warunkach pasmo sygnału wyjściowego jest płaskie i równe pasmu próbkowanego sygnału. Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa przebiegu schodkowego (pokazanego na rysunku 7 przebiega zgodnie z funkcją sin(x)/x. Pokazano to na **rysunku 8**.

Jak widać, przy częstotliwości Fs/2 amplituda spada o –3,92 dB w stosunku do początku pasma. Przy częstotliwości Fs i jej wielokrotnościach amplituda ma wartość zerową. Jeśli szerokość przebiegu schodkowego na wyjściu jest stabilna, to redukcja powielonych wysokich częstotliwości ponadakustycznych jest przewidywalna. Odpowiednio dobrany obwód korekcyjny, na przykład w postaci

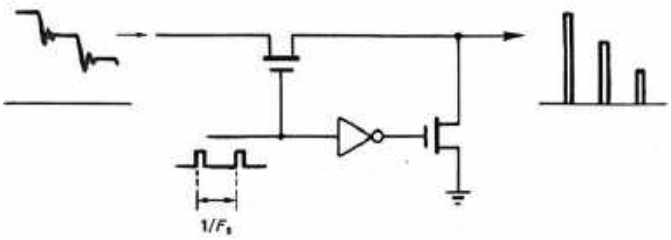


Rysunek 7. Rzeczywiste działanie przetwornika cyfrowo-analogowego



Rysunek 8. Charakterystyka częstotliwościowa sygnału schodkowego z wyjścia przetwornika

eprasa.pl 50e19a3eb3



Rysunek 9. Przykładowa realizacja układu resamplingu

odwrotnego filtra sin(x)/x, może spowodować że charakterystyka stanie ponownie się płaska.

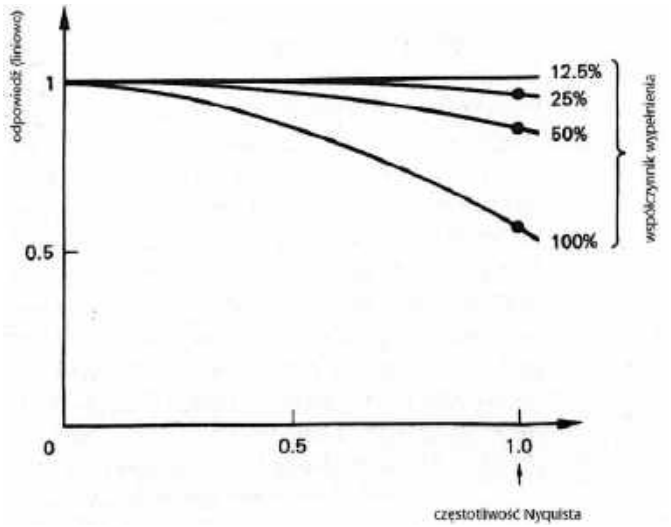
Innym środkiem zaradczym jest resampling, polegający na przekształcaniu sygnału schodkowego z rysunku 6 na ciąg impulsów o wypełnieniu (aperturze) poniżej 100%. Na **rysunku 9** pokazano ideę układu resamplingu, zamieniającego przebieg schodkowy w ciąg impulsów o niższej aperturze.

Przy zmniejszeniu apertury do wartości 50% charakterystyka częstotliwościowa staje się bardziej płaska. Praktycznym limitem jest 12,5%, kiedy charakterystyka jest już w praktyce akceptowalna – **rysunek 10**. Dalsze zmniejszanie apertury nie jest właściwe, bo powoduje problemy z szumem sygnału wyjściowego.

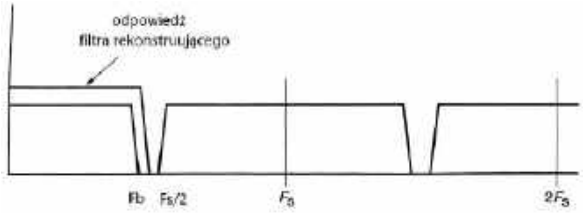
Należy zwrócić uwagę, że terminem resampling nazywa się również proces zmiany częstotliwości próbkowania i należy te dwa pojęcia rozróżniać zależnie od kontekstu.

Kolejnym idealnym elementem, który nie może być zrealizowany w praktyce, jest filtr dolnoprzepustowy o pionowej charakterystyce opadania. Taki filtr musiałby mieć nieskończony czas opóźnienia. Musimy się więc pogodzić, że charakterystyka filtra rekonstruującego będzie miała określone nachylenie i filtrowanie takie, jak pokazano na rysunku 4 (w którym idealnie przenoszone jest pasmo do częstotliwości Fs/2 i idealnie tłumione powyżej Fs/2) nie będzie wykonalne. Oznacza to, że pasmo sygnału audio musi mieć niższą częstotliwość graniczną Fb w porównaniu do Fs/2. Dlatego w standardzie CD pasmo przenoszenia wynosi 20 kHz, a częstotliwość próbkowania Fs=44,1 kHz – a zatem Fs/2=22,05 kHz. Wtedy można zaprojektować filtr, który będzie przenosił 20 kHz i wystarczająco tłumił częstotliwości powyżej Fs/2=22,05 kHz.

Filtr rekonstruujący realizuje dwa zadania: oprócz odtwarzania sygnału analogowego z ciągu impulsów (lub sygnału schodkowego) spełnia również funkcję filtrowania sygnału wyjściowego z częstotliwości ponadakustycznych powielanego pasma.



Rysunek 10. Charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowe przy różnych wartościach apertur



Rysunek 11. Odpowiedź częstotliwościowa rzeczywistego filtra rekonstruującego

Nadpróbkowanie (oversampling)

W procesie konwersji sygnału analogowego na postać cyfrową (i odwrotnie) stosuje się pewne techniki pozwalające na uproszczenie tych procesów i poprawę parametrów konwertowanych sygnałów. Jedną z najczęściej używanych metod jest nadpróbkowanie.

Jak już wiemy, nadpróbkowanie oznacza użycie częstotliwości próbkowania, która jest większa (zwykle wielokrotnie) niż częstotliwość Nyquista, wynikająca z pasma sygnału próbkowanego. **Ani teoria próbkowania, ani teoria kwantyzacji, nie wymagają nadpróbkowania, aby uzyskać pożądaną jakość sygnału.** Jak wiemy, można ją uzyskać stosując wystarczające próbkowanie, zgodnie z kryterium Nyquista. Ale kryterium Nyquista nakłada wysokie wymagania na budowę analogowego filtra rekonstruującego w konwersji cyfrowo-analogowej. Analogicznie jest w przypadku konwersji analogowo-cyfrowej, w której wysokie wymagania musi spełniać filtr antyaliasingowy.

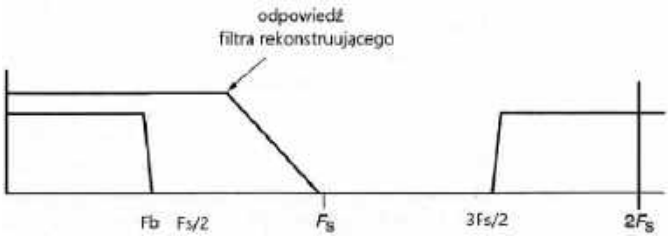
W przykładzie standardu CD analogowy filtr rekonstruujący powinien przenosić bez zmian sygnał od 0 Hz do 20 kHz i tłumić całkowicie (a w praktyce: odpowiednio mocno) sygnały o częstotliwości 22,1 kHz (**rysunek 11**). Wykonanie takiego filtra jest technicznie możliwe, ale wymaga to stosowania elementów o nietypowych wartościach i niskich tolerancjach, co jest kłopotliwe i drogie.

W przypadku konwersji cyfrowo-analogowej możemy sobie wyobrazić sytuację, w której próbki pobrane z częstotliwością dwukrotnie większą niż wynikająca z kryterium Nyquista, czyli 2Fs=88,2 kHz, dalej reprezentują analogowy sygnał audio o paśmie rozciągającym się od 0 Hz do Fb=20 kHz. Wstęga dolna pierwszego powielonego pasma nie będzie się zaczynała od Fs/2, czyli 44,1 kHz/2=22,05 kHz, tylko od 3Fs/2=66,15 kHz.

Rysunek 12 prezentuje jedną z zalet nadpróbkowania. Zastosowanie częstotliwości próbkowania znacznie przekraczającej częstotliwość Nyquista pozwala na realizację filtra rekonstrukcyjnego z dużo łagodniejszym nachyleniem odcięcia. Istnieje wówczas znacznie mniejsze prawdopodobieństwo wystąpienia problemów z liniowością fazy i zafalowaniami charakterystyki w paśmie sygnału audio do częstotliwości Fb.

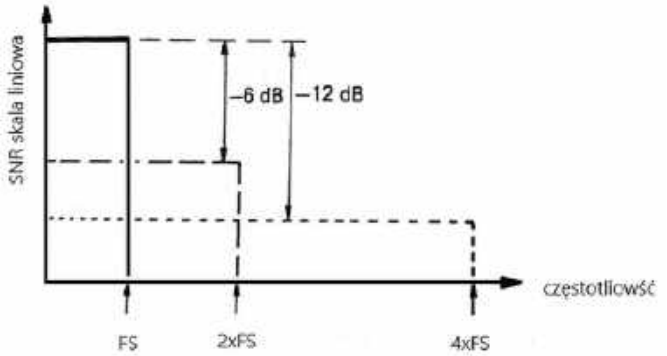
W praktyce stosuje się nadpróbkowania 4-krotne lub 8-krotne, co jeszcze bardziej łagodzi wymagania odnośnie charakterystyki i tym samym dodatkowo upraszcza realizację filtra dolnoprzepustowego.

Jeśli współczynnik nadpróbkowania wynosi n, to wejściowe pasmo analogowe musi być ograniczone do nFs/2 przez analogowy filtr



Rysunek 12. Odpowiedź częstotliwościowa filtra rekonstruującego przy nadpróbkowaniu 2·Fs

eprasa.pl 50e19a3eb3



Rysunek 13. Zmiana poziomu SNR w funkcji szerokości kanału analogowego

rekonstruujący, który musi zachować płaską odpowiedź częstotliwościową i liniowość fazy jedynie w paśmie audio.

Informacje przesyłane w kanale analogowym można opisać jako obszar, który jest iloczynem szerokości pasma i liniowo wyrażonego stosunku sygnału do szumu (SNR) – patrz **rysunek 13**. Jeżeli przy tej samej ilości przesyłanej informacji w kanale będziemy zwiększać szerokość pasma, to wartość SNR będzie malała. Dwukrotne zwiększenie pasma powoduje teoretyczne poszerzenie SNR o 6 dB, czterokrotne zwiększenie pasma powoduje poszerzenie SNR o 12 dB i tak dalej. W naszym przypadku szerokość pasma jest określana przez częstotliwość próbkowania Fs. Teoretycznie przy Fs=44,1 kHz szerokość pasma jest równa 22,05 kHz, ale przy częstotliwości próbkowania 2Fs=88,2 kHz szerokość pasma to 44,1 kHz. Moc szumu rozciąga się na całe pasmo podstawowe, aż do granicy Nyquista. W procesie nadpróbkowania szerokość pasma rośnie wraz ze współczynnikiem nadpróbkowania n i jest równa n·FS.

Jeśli teraz szerokość pasma podstawowego zostanie zmniejszona o współczynnik nadpróbkowania wynoszący na przykład cztery, z powrotem do oryginalnego pasma analogowego (przez cyfrowy filtr FIR interpolatora), to pasmo szumu zostanie zmniejszone czterokrotnie, a moc szumu będzie stanowić jedną czwartą mocy wytwarzanej przez kwantyzator. Jedna czwarta mocy szumu oznacza z kolei o połowę niższe napięcie szumu, więc SNR w tym przykładzie został zwiększony o 6 dB.

Nadpróbkowanie powoduje redukcję szumów konwertera, bo określona część energii szumów pozostaje poza pasmem akustycznym.

Podany tu przykład redukcji szumów jest prawdziwy dla idealnego konwertera próbkującego sygnał szumu białego o jednolitej gęstości widmowej. Jeśli szum z kwantyzatora stanie się widmowo niejednolity, współczynnik nadpróbkowania nie będzie już czynnikiem zmniejszającym moc szumu o 6 dB przy dwukrotnym zwiększeniu Fs.

Żeby osiągnąć znaczącą redukcję szumów, w metodzie nadpróbkowania stosuje się technikę kształtowania szumów (noise shaping). Jej celem jest skoncentrowanie mocy szumu na wysokich częstotliwościach, tak aby po filtrowaniu dolnoprzepustowym w domenie cyfrowej, aż do szerokości pasma wejściowego, audio moc szumu została zmniejszona o więcej niż współczynnik nadpróbkowania. Jest to technika sprzężenia zwrotnego stosowana w kwantyzatorach i rekwantyzatorach, w której proces kwantyzacji bieżącej próbki jest w pewien sposób modyfikowany przez błąd kwantyzacji poprzedniej próbki.

Przykładową technikę kształtowania szumu zastosowano w odtwarzaczach CD firmy Philips pierwszej generacji, które zapewniały czterokrotne nadpróbkowanie. Idea tego rozwiązania polegała na tym, by wejściowe dane z płyty CD o długości 16 bitów i Fs=44,1 kHz były konwertowane przy użyciu 14-bitowego przetwornika. Zmniejszenie długości słowa o 2 bity zwiększa poziom szumów kwantyzacji, co jest następnie korygowane przez układ kształtowania szumów.

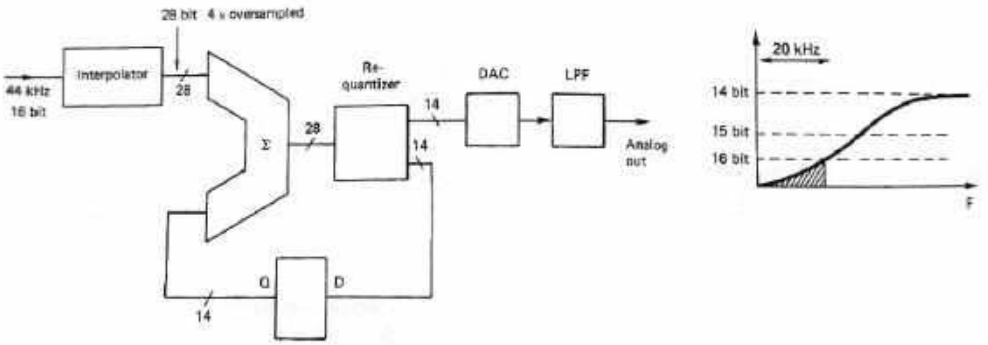
Opisywany system DAC z nadpróbkowaniem pokazano na **rysunku 14**. Proces nadpróbkowania wykonywany w filtrze interpolatora (jego działanie jest wyjaśnione poniżej) powoduje 4-krotne zwiększenie częstotliwości próbkowania i wydłużenie słowa do 28 bitów poprzez arytmetyczne operacje na 16-bitowym słowie danych.

Dane o długości 28 bitów trafiają na układ sprzężenia zwrotnego, który rozdziela je na 14-bitowy sygnał do konwersji DAC i 14 bitowy sygnał sprzężenia zwrotnego. Ten ostatni jest opóźniany o jeden takt zegara w przerzutnikach typu D umieszczonych w torze sprzężenia. Sygnał z poprzedniej próbki jest sumowany z sygnałem bieżącej próbki. Poziom szumów nieznacznie wzrasta w kierunku krawędzi pasma audio, ale pozostaje poniżej poziomu szumów konwencjonalnego, szesnastobitowego przetwornika DAC. Na rysunku 14 pokazano także wykres wyniku działania techniki kształtowania szumów – w paśmie akustycznym jest on porównywalny do szumów przetwornika 16-bitowego. Po co tak komplikować całość? Najprawdopodobniej dużo łatwiej w tamtym czasie było technologicznie wykonać konwerter 14-bitowy (o dobrych parametrach) niż 16-bitowy. Użyta technika pozwalała dorównać parametrom osiąganym przez 16-bitowe przetworniki. Ale nic nie stoi na przeszkodzie, by uzyskać w ten sposób parametry przetwarzania 18-bitowego przy konwerterze 16 bitowym.

Jak już powiedzieliśmy, informacje w sygnale analogowym mogą być przekazywane przy użyciu pewnego schematu modulacji analogowej, w dowolnej kombinacji szerokości pasma i SNR, która zapewnia odpowiednią pojemność kanału. Jeśli szerokość pasma zostanie zastąpiona częstotliwością próbkowania, a SNR – funkcją długości słowa – to… to samo musi dotyczyć sygnału cyfrowego, ponieważ jest on niczym więcej, niż tylko analogiem numerycznym. **Dlatego zwiększenie częstotliwości próbkowania potencjalnie pozwala na zmniejszenie długości słowa każdej próbki bez utraty informacji.**

Inaczej mówiąc możemy zmniejszać długość słowa przy jednoczesnym zwiększaniu częstotliwości próbkowania i na odwrót.

Sygnał audio można próbkować z wielokrotnością częstotliwości wynikającej z kryterium Nyquista i w takiej postaci



Rysunek 14. Zasada działania przetwornika DAC z kształtowaniem szumów

Rysunek 15. Przetwornik cyfrowo-analogowy bez nadpróbkowania

eprasa.pl 50e19a3eb3

go zapisywać oraz przesyłać. Dzisiaj są dostępne formaty zwane „gęstymi" o długości słowa równej 24 bity i częstotliwości próbkowania 96 kHz lub nawet 192 kHz, reprezentujące sygnał analogowy o paśmie 0…20 kHz. Mają one mieć możliwość przesyłania muzyki o dużo wyższej jakości niż tradycyjny format CD 16/44,1. A skoro istnieją takie możliwości techniczne i widoczne zapotrzebowanie „społeczne", to formaty gęste są oferowane i dostępne. O ile zwiększenie długości słowa można uznać za zaletę (bo im większa długość, tym mniejszy szum kwantyzacji), to nadpróbkowane dane na wejściu przetwornika teoretycznie są zupełnie nadmiarowe i niczego nie zmieniają. Ten sam efekt można uzyskać przez nadpróbkowanie sygnału wejściowego w filtrze interpolatora przetwornika.

W klasycznym przetworniku pozbawionym nadpróbkowania strumień danych wejściowych (na przykład z odtwarzacza CD 16 bitów/44,1 kHz) jest podawany bezpośrednio na konwerter cyfra/napięcie, potem poddawany ewentualnemu procesowi resamplingu (żeby zmniejszyć współczynnik apertury – patrz rysunki 9 i 10) i dalej filtrowany przez analogowy filtr rekonstruujący – **rysunek 15**.

Jak wiemy, filtr rekonstruujący musi spełniać surowe wymagania pod względem tłumienia poza pasmem akustycznym, żeby móc odfiltrować powielone pasma zaczynające się już od Fs/2.

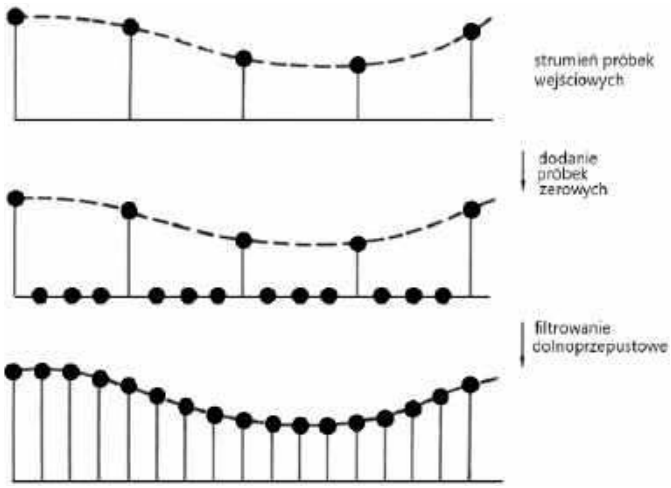
Jeżeli na wejście trafi strumień danych próbkowany zgodnie z kryterium Nyquista, to nadpróbkowanie trzeba wykonać w układzie przetwornika. Jak to zrobić?

Konwersję częstotliwości próbkowania można przeprowadzić powracając do domeny analogowej. Przetwornik cyfrowo-analogowy jest podłączony do przetwornika analogowo-cyfrowego. Aby spełnić wymagania teorii próbkowania, między nimi musi znajdować się filtr dolnoprzepustowy o charakterystyce częstotliwości ograniczonej do połowy niższej częstotliwości próbkowania. W rzeczywistości rzadko się to robi, ponieważ niezbędne stosowanie filtrów analogowych (rekonstruującego i antyaliasingowego) wprowadza zniekształcenia, szczególnie fazowe.

Preferowane są metody konwersji częstotliwości próbkowania w domenie cyfrowej. Nadpróbkowanie stosowane w konwersji cyfrowo-analogowej polega na zwiększaniu częstotliwości próbkowania o czynnik całkowity. Wtedy dodatkowe próbki muszą zostać utworzone w równych odstępach między istniejącymi. Nie ma potrzeby zmniejszania szerokości pasma próbek wejściowych, ponieważ jeśli oryginalna częstotliwość próbkowania była odpowiednia, to wyższa również musi być odpowiednia.

Proces zwiększania częstotliwości próbkowania można rozpatrywać w dwóch etapach. Najpierw uzyskuje się właściwą częstotliwość, wstawiając próbki o wartości zerowej w odpowiednich momentach pomiędzy istniejącymi próbkami, a następnie dodatkowym próbkom nadaje się znaczące wartości, przepuszczając strumień przez cyfrowy filtr dolnoprzepustowy odcinający sygnały się przy częstotliwości Nyquista określonej względem oryginalnej częstotliwości próbkowania – **rysunek 16**. Filtr ten nazywany jest filtrem interpolatora, a kolejnym z jego zadań jest zapobieganie pojawianiu się powielonych pasm, pochodzących z niższego widma próbkowania wejściowego, w rozszerzonym paśmie podstawowym widma wyjściowego (o wyższej częstotliwości).

Jak działają interpolatory? Ważne jest, aby zdać sobie sprawę, że zgodnie z teorią próbkowania wszystkie próbkowane sygnały mają skończoną szerokość pasma (są dolnopasmowe). Wartość próbki cyfrowej jest uzyskiwana poprzez próbkowanie (mierzenie) chwilowego napięcia oryginalnego analogowego sygnału. Ponieważ impuls reprezentujący próbkę ma zerowy czas trwania, to musi mieć także zerowe czasy narastania i opadania – a przez to reprezentuje w domenie częstotliwości nieskończone widmo. Jednak taka próbka podlega procesowi rekonstrukcji, który



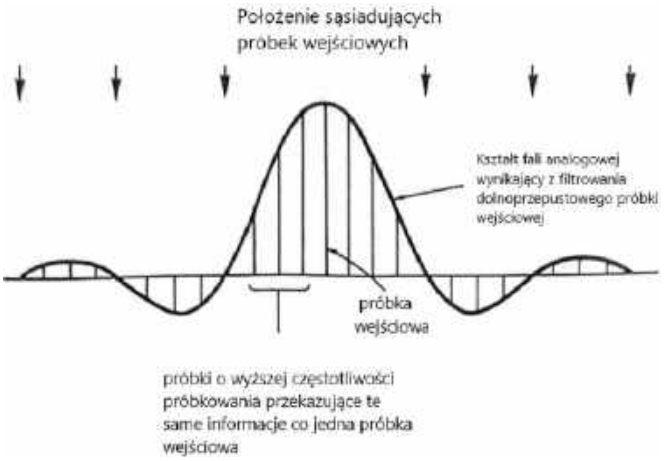
Rysunek 16. Idea działania filtra interpolatora

ogranicza widmo impulsu do granicy Nyquista. Jak już wiemy, po rekonstrukcji jedna (nieskończenie krótka) próbka cyfrowa reprezentuje impuls sin(x)/x, którego centralna szerokość szczytu jest określana przez odpowiedź filtra rekonstrukcji, a amplituda jest proporcjonalna do wartości próbki. Oznacza to, że w rzeczywistości jedna wartość próbki ma znaczenie w szerszym przedziale czasowym, a nie tylko w chwili odpowiadającej próbce – tak jak to zostało pokazane na rysunku 5. Gdyby nie to, zbudowanie interpolatora byłoby niemożliwe.

Kiedy częstotliwość próbkowania jest zwiększana, szerokość pasma sygnału pozostaje niezmieniona; dlatego oryginalne próbki wejściowe przejdą przez filtr bez zmian, zbędne jest zatem ich obliczanie.

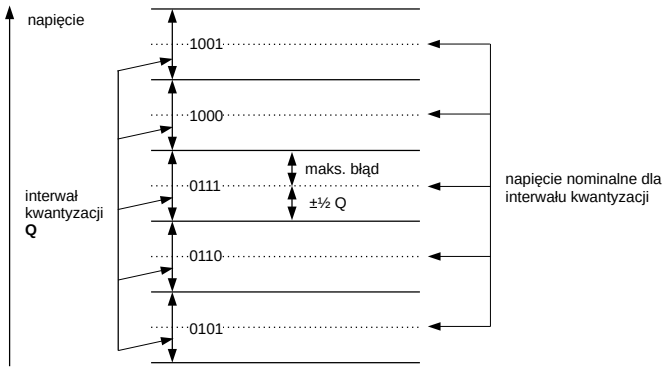
W przetworniku z nadpróbkowaniem wejściowy strumień danych trafia najpierw do bloku interpolatora, który – jak wiemy – zwiększa ilość próbek na wyjściu, a tym samym umożliwia podwyższenie częstotliwości próbkowania. Popatrzmy na **rysunek 17**.

Pojedyncza próbka, po filtrowaniu w domenie analogowej, daje przebieg sin(x)/x. Przy nowej, wyższej częstotliwości próbkowania, ten przebieg się nie zmieni i będzie zawierał nowo dodane próbki o wyższej częstotliwości. Wartość tych nowych próbek można obliczyć z próbek wejściowych w domenie cyfrowej, filtrując je dolnoprzepustowo w filtrze FIR – tak jak to pokazano na rysunku 16. Proces interpolacji jest w zasadzie taki sam, jak filtrowanie rekonstrukcyjne, które ma miejsce w przetwornikach cyfrowo-analogowych. W cyfrowym filtrze interpolacyjnym proces ten jest powielany, ale w domenie dyskretnej.

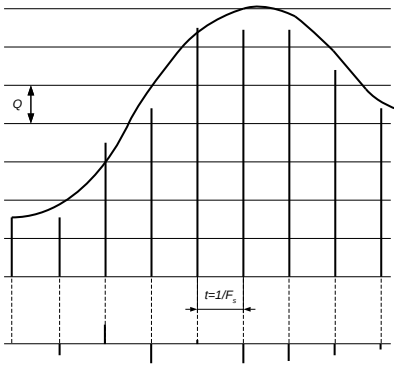


Rysunek 17. Idea działania interpolatora

eprasa.pl 50e19a3eb3



Rysunek 18. Ilustracja powstawania błędu kwantyzacji



Rysunek 21. Powstawanie impulsów błędu kwantyzacji

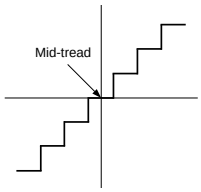
Szum, czyli błąd kwantyzacji

Wspomnieliśmy już o szumie kwantyzacji w rozważaniach o nadpróbkowaniu. Do jego redukcji w przetwornikach cyfrowo-analogowych stosuje się nadpróbkowanie połączone z mechanizmem kształtowania szumu (noise shsping). Popatrzmy teraz, jaka jest natura tego zjawiska i jakie niesie ono ze sobą zagrożenia dla wierności rejestracji i odtwarzania sygnału analogowego.

Szum kwantyzacji – a ściśle rzecz ujmując: błąd kwantyzacji – jest czynnikiem, który degraduje sygnał analogowy poddany procesowi konwersji cyfrowej. Jest tym większy, im mniejsza rozdzielczość przetwornika cyfrowo-analogowego. Przyjrzyjmy się trochę bliżej temu zjawisku. Na **rysunku 18** pokazano genezę błędu kwantyzacji.

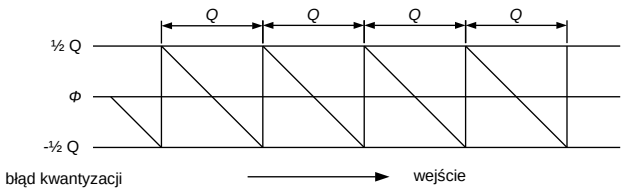
Kwantowanie przypisuje dyskretne liczby do zmiennych wartości napięcia. Wszystkim napięciom w tym samym przedziale kwantyzacji przypisuje się tę samą liczbę, co powoduje, że przetwornik DAC wytwarza potem napięcie plasujące się w środku przedziałów o długości Q (pokazanych liniami przerywanymi). Jest to charakterystyka kwantyzatora typu mid-tread.

Na **rysunku 19** pokazano tzw. *funkcję przejścia* takiego idealnego kwantyzatora, czyli – innymi słowy – wykres zależności wyjścia układu od aktualnego stanu jego wejścia. W audio, gdy używamy terminu „liniowość", mamy zazwyczaj na myśli prostoliniową funkcję przejścia. Liniowość jest w technice audio pożądanym celem, jednak – jak widać na rysunku 19 – idealny kwantyzator nie ma absolutnie charakterystyki liniowej i... to jest główny problem. Funkcja przejścia wygląda jak profil schodów. Przy napięciu analogowym równym zero woltów powinniśmy otrzymać tylko cyfrową wartość zero – a tak nie jest. Wyjściowa wartość kwantyzatora jest bowiem równa zeru dla wejściowych napięć różnych od zera, obejmujących cały przedział kwantyzacji Q. Bezwzględny zakres tych napięć jest określony przez rozdzielczość przetwornika i wartość napięcia referencyjnego. Omawiany układ to tak zwany *kwantyzator środkowego stopnia*, powszechnie używany w technice audio. Dokładnie taki sam problem występuje w konwersji cyfrowo-analogowej.



Rysunek 19. Kwantyzacja typu mid-tread

Jak widać, kwantowanie wprowadza pewien błąd napięcia w próbce audio, spowodowany przez różnicę między rzeczywistą funkcją przejścia (schodkową), a idealną linią prostą. Na **rysunku 20** pokazano go jako funkcję piły, która ma okres równy Q. Amplituda nie może przekraczać ±½Q od szczytu do szczytu.



Rysunek 20. Okresowa funkcja błędu kwantyzacji idealnego kwantyzatora

Błąd kwantyzacji można również badać w dziedzinie czasu. Dla uproszczenia pominiemy zmiany pasma wyjściowego, wywołane efektem apertury przetwornika cyfrowo-analogowego. Załóżmy więc, że próbki wyjściowe mają pomijalny czas trwania. Następnie impulsy z przetwornika cyfrowo-analogowego można porównać z teoretycznie wyliczonymi impulsami, wyznaczonymi dla oryginalnego sygnału analogowego. Różnica pomiędzy tymi impulsami będzie stanowiła impulsy reprezentujące błąd kwantyzacji – patrz **rysunek 21**.

Poziome linie na rysunku to granice między interwałami kwantyzacji, a krzywa to przykładowy, wejściowy sygnał analogowy. Pionowe paski to skwantowane próbki, które są pobierane w środku interwału kwantyzacji. Impulsy reprezentujące różnicę pomiędzy impulsami z wyjścia kwantyzatora a rzeczywistą wartością sygnału wejściowego pokazano na dole rysunku 21. Reprezentują one przebieg błędu kwantyzacji, postrzegany jako niepożądany sygnał, który w procesie kwantyzacji dodaje się do oryginalnego sygnału. Dodatkowo jeżeli bardzo mały sygnał wejściowy pozostaje całkowicie w jednym interwale kwantyzacji, to błąd kwantyzacji staje się sygnałem wyjściowym kwantyzatora. Ponieważ funkcja przenoszenia jest nieliniowa, idealna kwantyzacja powoduje zniekształcenia. W rezultacie rzeczywiste, cyfrowe urządzenia audio celowo używają nieidealnych kwantyzatorów, z mechanizmami pomagającymi linearyzować charakterystykę przejścia kwantyzacji.

Co poza tym możemy z tym zrobić? Ponieważ wielkość błędu kwantyzacji jest ograniczona, jego wpływ można zminimalizować zwiększając sygnał. Będzie to wymagało większej liczby interwałów kwantyzacji i większej liczby bitów do ich wyrażenia.

Gdy sygnał wejściowy obejmuje cały zakres kwantyzacji i ma złożony kształt (np. w muzyce orkiestrowej), kolejne próbki będą miały bardzo różne wartości liczbowe, a błąd kwantyzacji danej próbki będzie niezależny od błędu kwantyzacji innych próbek. W takim przypadku rozmiar błędu kwantyzacji będzie rozłożony z równym prawdopodobieństwem między swoimi granicami i niepożądany sygnał (dodany przez kwantyzację) staje się addytywnym, szerokopasmowym szumem, nieskorelowanym z sygnałem. Wtedy właściwe jest nazwanie go szumem kwantyzacji. To dobra wiadomość, bo w przypadku dużego sygnału szum jest maskowany przez właściwy przebieg użyteczny. W tych warunkach można obliczyć znaczący stosunek sygnału do szumu jako:

$$SNR = 6{,}02 + n \cdot 1{,}76 \text{ dB}$$

gdzie n jest rozdzielczością bitową kwantyzacji.

Przykładowo system szesnastobitowy będzie oferował SNR na poziomie około 98,1 dB. Powyższy wynik jest prawdziwy dla dużej,

eprasa.pl 50e19a3eb3

złożonej fali wejściowej, ale metody zakładające, że błąd kwantyzacji jest zawsze szumem, dają wyniki, które niestety nie są zawsze prawdziwe. Przy niskich poziomach dźwięku błąd kwantyzacji przestaje być losowy i staje się funkcją przebiegu wejściowego, a ta – jak wiemy – nie jest liniowa. Gdy niepożądany sygnał (błąd kwantyzacji) staje się deterministyczną funkcją pożądanego sygnału, musi zostać sklasyfikowany jako zniekształcenie, a nie szum. Zniekształcenie można również przewidzieć na podstawie nieliniowości lub schodkowej natury funkcji przejścia.

Jak wiadomo, nieliniowość funkcji przejścia powoduje zniekształcenia, a te generują częstotliwości harmoniczne. Niestety, w procesie konwersji analogowo-cyfrowej zniekształcenia te są generowane po filtrze antyaliasingowym, więc każda składowa częstotliwościowa , która przekracza połowę częstotliwości próbkowania, będzie źródłem aliasingu. Powstają zatem zniekształcenia, które przypominają ćwierkanie ptaków – tzw. zniekształcenia intermodulacyjne (znane jako granulacja) oraz modulacja szumów.

Główną przyczyną tych wszystkich niekorzystnych zjawisk jest nieliniowa funkcja przejścia idealnego kwantyzatora. Nie trzeba dodawać, że każdy z powyższych efektów uniemożliwiłby użycie idealnego kwantyzatora do konwersji wysokiej jakości. Jedynym rozwiązaniem jest linearyzacja tej funkcji.

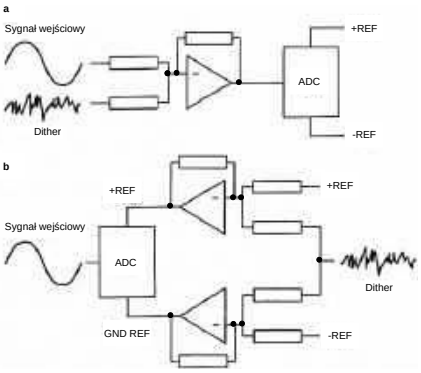
Dithering

Negatywne efekty nieliniowości idealnego kwantyzatora powinny (i mogą) być całkowicie wyeliminowane w praktycznym sprzęcie dzięki zastosowaniu ditheringu. Nie można przecenić znaczenia prawidłowego ditheringu kwantyzatora, ponieważ – jak już wiemy – nieliniowość nieodwracalnie zniekształca przekonwertowany sygnał i nie istnieje proces, który pozwoli to zniekształcenie usunąć.

Jak już powiedzieliśmy przy okazji opisu wysokich poziomów sygnału, błąd kwantyzacji jest w zasadzie szumem. W miarę spadku poziomu sygnału błąd kwantyzacji idealnego kwantyzatora silniej koreluje z sygnałem, a wynikiem są zniekształcenia nieliniowe (harmoniczne). Jeśli błąd kwantyzacji można by w jakiś sposób „odkorelować" od sygnału wejściowego, to system kwantowania może się stać liniowy. Mechanizm dithera wykonuje to zadanie sprawiając, że działanie kwantyzatora staje się nieprzewidywalne i nadaje systemowi poziom szumu taki, jak w systemie analogowym.

Jak działa dithering? Jedną z metod jest dodanie pseudolosowego szumu z równomiernym rozkładem prawdopodobieństwa i amplitudą szczytową równą przedziałowi kwantyzacji Q analogowego sygnału sprzed kwantowania. Ten sam sygnał zostaje później odjęty od sygnału analogowego powstałego po konwersji cyfrowo-analogowej. Ta metoda nazywa się ditheringiem subtraktywnym i ma tę zaletę, że amplituda ditheringu nie jest krytyczna – szum ma pełną niezależność statystyczną od sygnału i ten sam poziom, co błąd kwantyzacji w przypadku dużego sygnału bez ditheringu. Niestety, proces ten niesie ze sobą pewne wady praktyczne, ponieważ oryginalny przebieg szumu musi towarzyszyć próbkom lub być synchronicznie odtwarzany w przetworniku cyfrowo-analogowym. Jak się łatwo domyśleć, w systemach audio jest to bardzo trudne do wykonania, szczególnie w przypadku rozwiązań konsumenckich.

Dodatkowo działanie takie jest praktycznie niemożliwe w systemie, w którym dźwięk mógł zostać edytowany lub w którym jego poziom został zmieniony przez przetwarzanie, ponieważ szum musi pozostać synchroniczny i być przetwarzany w ten sam sposób. W praktyce wszystkie cyfrowe systemy audio korzystają z niesubtraktywnego dithera, w którym sygnał ditheru jest dodawany przed kwantyzacją i nie podejmuje się próby jego późniejszego usunięcia w DAC.



Rysunek 22. a) dither jest liniowo dodawany do analogowego sygnału wejściowego, b) dither jest dodawany do napięć odniesienia kwantyzatora

Jak już powiedzieliśmy, wprowadzenie dithera przed konwencjonalnym kwantyzatorem nieuchronnie prowadzi do niewielkiej redukcji stosunku sygnału do szumu, ale ta redukcja jest niewysoką ceną za eliminację nieliniowości. Szum w sygnale jest akceptowalny przez nasz zmysł słuchu, ponieważ jest nieodłącznym elementem towarzyszącym sygnałom analogowym – odwrotnie niż zniekształcenia harmoniczne, szczególnie w przypadku małych sygnałów. Poza tym umiemy skutecznie usuwać szum z sygnału przez nadpróbkowanie i kształtowanie szumu w przetwornikach DAC, a usuniecie zniekształceń harmonicznych nie jest już możliwe. Technika kształtowania szumu w konwersji DAC – w połączeniu z ditheringiem w konwersji ADC – pozwala uzyskać jakość przewyższającą osiągi systemów z ditheringiem subtraktywnym.

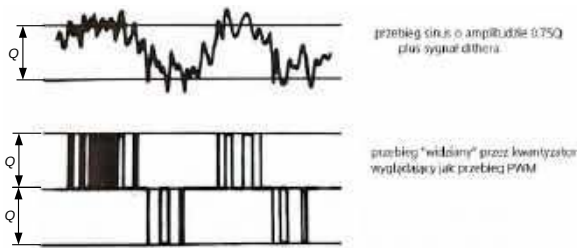
Idealny (bezszumowy) kwantyzator ma stałe przedziały kwantyzacji i zawsze musi generować ten sam błąd kwantyzacji przy tym samym sygnale. Na **rysunku 22** pokazano sposób ditheringu idealnego kwantyzatora przez liniowe dodawanie kontrolowanego poziomu szumu – albo do analogowego sygnału wejściowego, albo do napięcia odniesienia, które jest używane do wyprowadzenia przedziałów kwantyzacji.

Dodanie ditheru oznacza, że kolejne próbki skutecznie przekraczają interwały kwantyzacji w różnych miejscach skali napięcia. Błąd kwantyzacji staje się funkcją ditheru, a nie przewidywalną funkcją sygnału wejściowego. Co ważne, błąd kwantyzacji nie jest eliminowany, ale subiektywnie przykre dla naszego słuchu, a więc – w praktyce – niedopuszczalne zniekształcenia harmoniczne, są przekształcane w szerokopasmowy szum. Ten zaś – jak już wiemy – jest akceptowany przez nasz zmysł słuchu i dodatkowo można go potem usuwać po stronie konwersji DAC.

Rozważmy sytuację, w której analogowy sygnał wejściowy o niskiej amplitudzie zmienia się powoli w tym samym przedziale kwantyzacji. W takim przypadku na wyjściu kwantyzatora – bez zastosowania ditheru – ten sam wyjściowy kod numeryczny jest generowany w wielu okresach próbkowania, a następujące w tym czasie zmiany sygnału są tracone. Dither zmusza kwantyzator do przełączania się między dwoma lub większą liczbą stanów. Im wyższe napięcie sygnału wejściowego w danym przedziale, tym bardziej prawdopodobne staje się, że kod wyjściowy przyjmie następną (wyższą) wartość, zaś odwrotna sytuacja ma miejsce w miarę obniżania się napięcia wejściowego. Dither powoduje więc podwyższanie rozdzielczości systemu, dzięki czemu nie jest ona ograniczona tylko przez wielkość przedziałów kwantyzacji. Pokazane to zostało na **rysunku 23**.

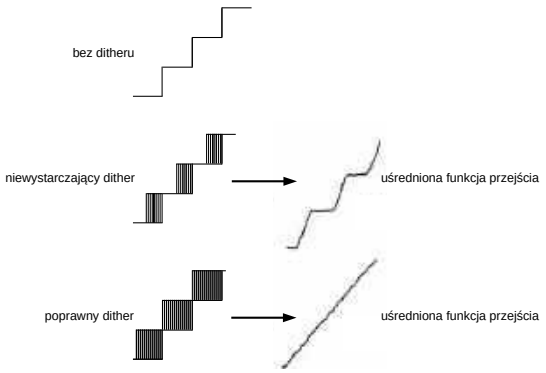
Działanie dithera można również analizować rozważając jego wpływ na funkcję przejścia kwantyzatora. Jak wiemy funkcja przejścia idealnego kwantyzatora jest schodkowa, ale

eprasa.pl 50e19a3eb3



Rysunek 23. Działanie dithera przy małych sygnałach (poniżej wartości Q)

w obecności dithera staje się ona „rozmyta w poziomie", aż przy pewnej amplitudzie sygnału dithera średnia funkcja przejścia stanie się prosta – patrz **rysunek 24**.



Rysunek 24. Wpływ dithera na linearyzację funkcji przejścia kwantyzatora

Podsumowanie

W tym artykule zaprezentowaliśmy szereg teoretycznych zagadnień dotyczących konwersji cyfrowo-analogowej. Szczególnie istotne aspekty, które zostały omówione, to:

- odtwarzanie sygnału analogowego z impulsów na wyjściu konwertera cyfra-analog przez filtrowanie dolnoprzepustowe filtrem rekonstruującym,
- techniki nadpróbkowania i kształtowania szumów
- zasada działania interpolatora stosowanego do nadpróbkowania.

Dodatkowo zostało dogłębniej wyjaśnione zjawisko błędu kwantyzacji, jego wpływ na konwersję analogowo-cyfrową oraz działanie techniki ditheringu, pozwalającej redukować nieliniowości idealnego kwantyzatora. Dobrze dobrana technika ditheringu po stronie konwersji analogowo-cyfrowej, w połączeniu z kształtowaniem szumów po stronie konwersji cyfrowo-analogowej, daje solidne, teoretyczne i praktyczne podstawy do uzyskania bardzo dobrych parametrów szumowych oraz wyjątkowo niskich zniekształceń THD.

Tomasz Jabłoński, EP

REKLAMA

Pobierz bezpłatnie multimedialne dodatki do tego wydania „Elektroniki Praktycznej"

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

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

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

Szczegóły na UlubionyKiosk.pl/media

Projektowanie oparte na modułach – o czym warto pamiętać?

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 niemalże 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 można jednak utożsamiać wyłącznie z komunikacją radiową, tak samo jak nie należy zapominać o istotnych ograniczeniach i wadach stosowania ich w projektach komercyjnych – diabeł tkwi w szczegółach, a zbyt optymistyczne sięgnięcie po gotowe „klocki" może nas czasem wyprowadzić na manowce.

Moduły OEM w projektowaniu elektroniki – błogosławieństwo czy kosztowny kompromis?

Współczesny rynek elektroniki – napędzany rosnącymi oczekiwaniami konsumentów oraz presją kardy zarządzającej firm, ukierunkowaną na skrócenie cyklu rozwojowego nowych produktów – coraz częściej sięga po gotowe moduły funkcjonalne. Pomimo oczywistych korzyści, jakie niesie za sobą takie podejście, nie sposób nie dostrzec również licznych ograniczeń, które – przy braku odpowiedniej świadomości projektowej i myślenia na poziomie systemowym – mogą nie tylko utrudnić rozwój produktu, ale wręcz zablokować jego skalowanie lub skuteczne wdrożenie do produkcji seryjnej.

Łatwo, szybko i kompaktowo – zalety użycia modułów w projektowaniu urządzeń

Pierwszą i bodaj najbardziej oczywistą zaletą stosowania modułów jest **skrócenie czasu opracowania nowego produktu**. W tradycyjnym podejściu projektant, zanim przystąpi do budowy właściwego układu, musi przejść przez cały proces dobierania najważniejszych komponentów, projektowania płytki drukowanej, przygotowania listy komponentów (BOM) oraz finalnie – wyprodukowania, zmontowania i przetestowania urządzenia. Każdy z tych kroków wiąże się z ryzykiem błędów i nieprzewidzianych opóźnień, a ryzyko to jest zwykle tym większe, im bardziej innowacyjny jest opracowywany produkt. Tymczasem skorzystanie z gotowych, fabrycznie przetestowanych modułów (do których jest dostępna szczegółowa dokumentacja) pozwala w wielu przypadkach uniknąć znacznej części tych problemów, a przynajmniej mocno **uprościć łańcuch dostaw**. Dotyczy to zwłaszcza obszarów newralgicznych z punktu widzenia kompatybilności elektromagnetycznej, takich jak tory radiowe (np. Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, LoRa, GSM/LTE, etc.) czy przetwornice impulsowe, gdzie nawet niewielkie błędy projektowe mogą skutkować całkowitą dysfunkcją urządzenia lub niezgodnością z obowiązującymi na danym rynku przepisami.

eprasa.pl 50e19a3eb3

Fotografia 1. Moduł przetwornicy DC/DC z serii MGN1 marki Murata (https://t.ly/kxSAE)

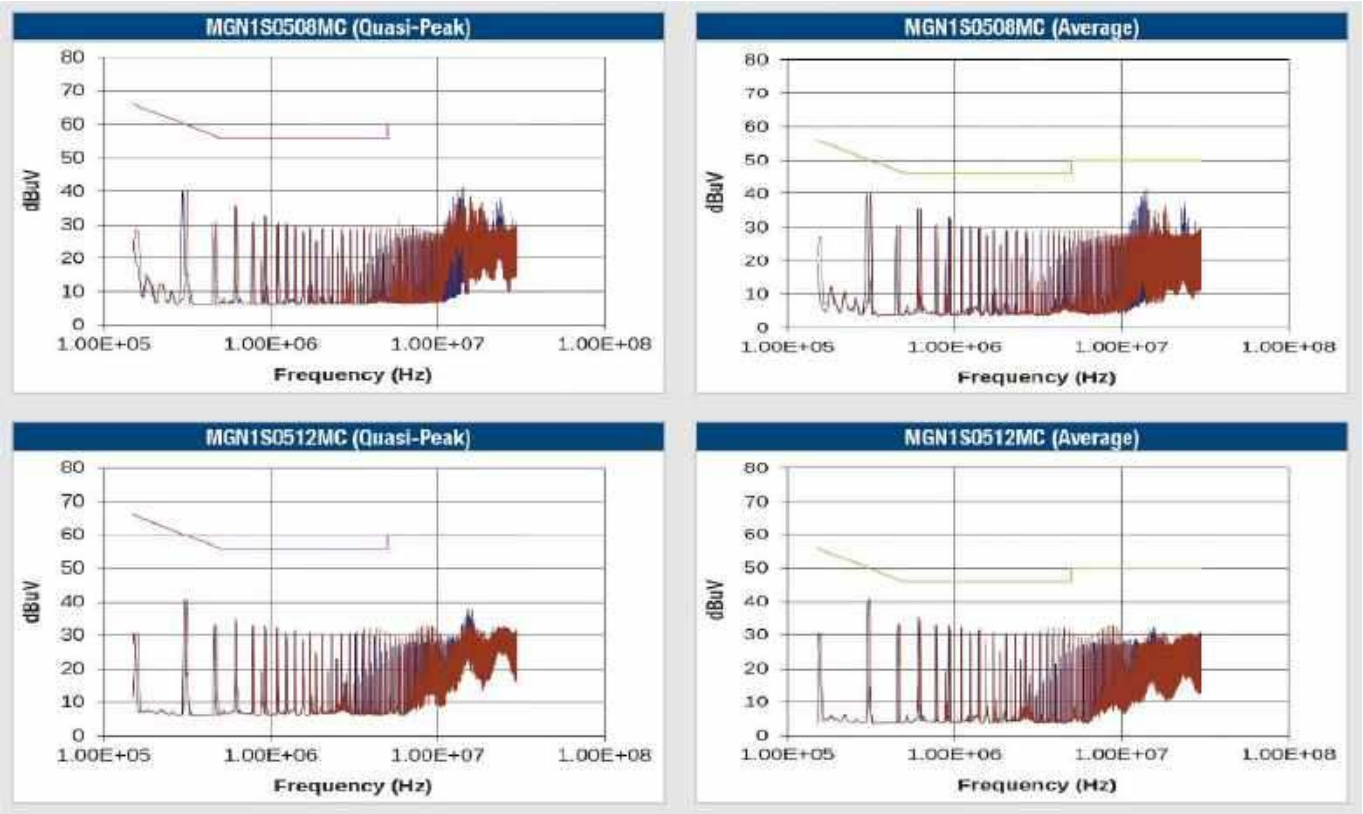
Fotografia 2. Popularny moduł ESP32 z serii WROVER (ESP32-WROVER-E-N8R8) z padami lutowniczymi typu castellated (https://t.ly/pKMvI)

Fotografia 3. 300-watowa przetwornica DC/DC marki TDK Lambda do montażu przewlekanego na płycie bazowej docelowego urządzenia (https://t.ly/3csPt)

Nie bez znaczenia pozostaje również fakt, że liczne moduły – zwłaszcza komunikacyjne czy zasilające – są dostarczane z **gotową dokumentacją certyfikacyjną** (deklaracja zgodności CE, certyfikaty FCC, etc.), a niekiedy nawet przeszły już rygorystyczne testy środowiskowe – przykładowe wyniki badań EMC miniaturowej przetwornicy marki Murata z serii MGN1 (**fotografia 1**) można zobaczyć na **rysunku 1**. Oznacza to, że producent końcowego urządzenia może w wielu przypadkach ograniczyć się do badań zgodności na poziomie integracji modułu z resztą układu, zamiast przechodzić przez pełną procedurę od podstaw. Przekłada się to nie tylko na **skrócenie czasu wprowadzenia produktu na rynek** (tzw. *time-to-market*), ale także na znaczne **oszczędności finansowe** – zwłaszcza w przypadku produktów niskonakładowych lub demonstratorów technologii.

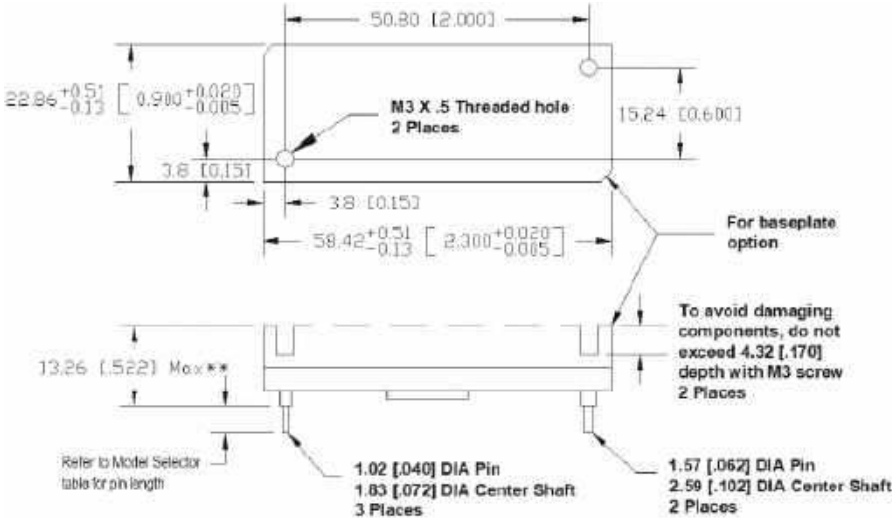
Kolejną zaletą podejścia modułowego do projektowania urządzeń jest możliwość znacznej **redukcji rozmiarów docelowej płytki drukowanej**. Efekt ten jest jednak uzależniony od rodzaju modułu oraz technologii, a przede wszystkim – od gęstości montażu komponentów na PCB projektowanego urządzenia. Większość modułów lutowanych bezpośrednio na płytce drukowanej w technice SMT (za pomocą padów z półotworami, tzw. *castellated pads* – **fotografia 2**) lub – rzadziej – THT (np. w przypadku przetwornic DC/DC o dużej mocy wyjściowej, ale niewielkich wymiarach – **fotografia 3**, **rysunek 2**) jest bowiem produkowana przy dość gęstym upakowaniu elementów, a często wręcz z użyciem wielowarstwowych obwodów drukowanych w technologii HDI (**fotografia 4**). Bardziej zaawansowani producenci modułów stosują technikę COB (chip-on-board), w której struktury krzemowe są montowane bezpośrednio na PCB i łączone ze ścieżkami metodą bondingu, zaś w skrajnych przypadkach moduł przyjmuje formę SIP – „udaje" układ scalony, choć w istocie stanowi rozbudowaną konstrukcję hybrydową (**fotografia 5**). Takie rozwiązanie pozwala niebywale zredukować rozmiary całości, przez co dany blok urządzenia (np. moduł radiowy) jest wielokrotnie mniejszy od jego odpowiednika funkcjonalnego, który zostałby zbudowany z użyciem osobnych układów scalonych i zestawu niezbędnych komponentów peryferyjnych.

W tym momencie dochodzimy do jeszcze jednego zagadnienia. Coraz większa liczba nowych układów scalonych, tj. projektowanych



Rysunek 1. Wyniki badań w zakresie emisji zaburzeń EMI dla dwóch modeli przetwornic z serii MGN1 (https://t.ly/nTCeC)

eprasa.pl 50e19a3eb3

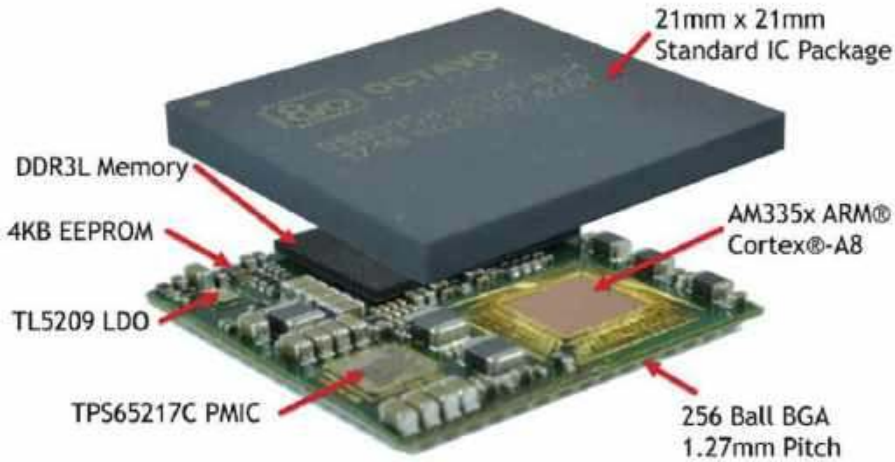


Rysunek 2. Wymiary miniaturowej przetwornicy z fotografii 3 (https://t.ly/P9gZb)

Fotografia 4. Minikomputer SoM jako przykład modułu OEM o dużej gęstości upakowania elementów (https://t.ly/EAzn5)

Fotografia 6. Moduł emSTAMP-Neon-CM4 (https://t.ly/JhoSn)

i wdrażanych do sprzedaży, jest dostępna tylko i wyłącznie w obudowach wymagających stosowania zaawansowanych (a przez to także kosztownych) technik produkcji PCB – w tym przede wszystkim przelotek ślepych i zagrzebanych, przelotek w padach (via-in-pad), precyzyjnej kontroli soldermaski (w przypadku padów definiowanych soldermaską, tj. SMD), czy wreszcie pełnego złocenia pól lutowniczych. Jeżeli na płycie urządzenia znajduje się tylko jeden lub maksymalnie kilka układów o tak wysokich wymaganiach (zwykle w obudowiach typu BGA czy WLCSP), to zamontowanie ich bezpośrednio na PCB powodowałoby nieunikniony i dość drastyczny wzrost kosztów produkcji – zwłaszcza, jeżeli cała płyta musi być relatywnie spora, chociażby z uwagi na rozmiar zastosowanych złączy czy wielokanałowy charakter urządzenia. Zastosowanie modułu, który ma już „na pokładzie" wszystkie niezbędne obwody, pozwala **zredukować liczbę warstw płyty bazowej** (czasem nawet do zaledwie 2) oraz znakomicie **obniżyć wymagania odnośnie produkcji PCB** (rozmiar przelotek, odstępy izolacyjne i szerokości ścieżek, etc.). I takie właśnie założenia przyświecają producentom modułów opartych



Fotografia 5. Przykładowy moduł SIP (https://t.ly/N-0C0)

REKLAMA

FAULHABER

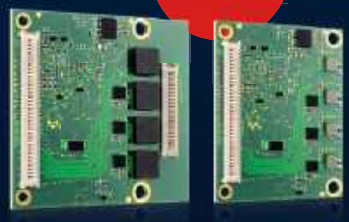
FAULHABER Motion Control

Jeden kontroler. Cztery technologie silników.

Dzięki nowym kontrolerom ruchu MC 3602/3606 B możesz bez wysiłku żonglować silnikami BL, DC, krokowymi i liniowymi w swoich aplikacjach.

www.faulhaber.com/mc3602/pl
FAULHABER Polska sp. z o.o.
info@faulhaber.pl

NEW

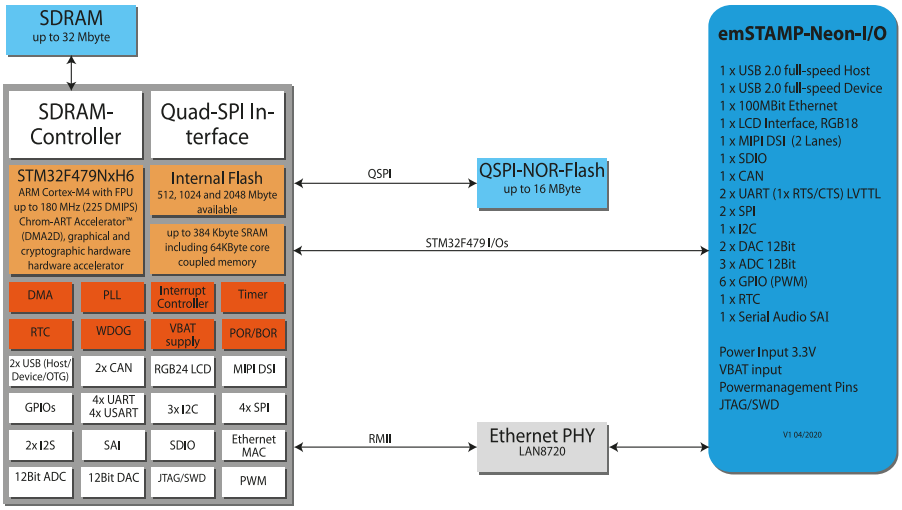


Seria MC 3602 B / MC 3606 B

WE CREATE MOTION

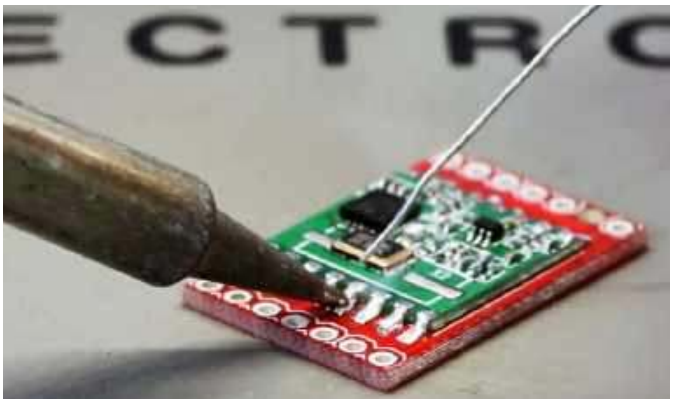
eprasa.pl 50e19a3eb3

na większych mikrokontrolerach, jak chociażby emSTAMP-Neon-CM4 (**fotografia 6**, **rysunek 3**) – oprócz samego mikrokontrolera (w tym przypadku jest to STM32F479 z rdzeniem ARM Cortex-M4) na pokładzie modułu znalazły się tylko najważniejsze peryferia: pamięci SDRAM oraz NOR Flash, zestaw podstawowych elementów pasywnych oraz – dodatkowo – układ Ethernet PHY. Zastosowanie padów typu *castellated* sprawia, że montaż układu jest możliwy nie tylko w piecu rozpływowym lub za pomocą gorącego powietrza, ale („na upartego") nawet przy zastosowaniu lutownicy kolbowej z (dobranym odpowiednio do wielkości padów) cienkim grotem (**fotografia 7**). W przypadku urządzeń wymagających implementacji kompletnego systemu wbudowanego (ale bez nadmiernego inwestowania w zaawansowane obwody drukowane), takie rozwiązanie może zatem przynieść istotne korzyści w zakresie uproszczenia procesów montażu czy nawet późniejszego serwisu urządzeń.



Rysunek 3. Budowa modułu emSTAMP-Neon-CM4 (https://t.ly/JhoSn)

W przypadku modułów wyposażonych we wbudowany procesor niezwykle istotnym aspektem implementacyjnym jest **uproszczenie prac nad oprogramowaniem** nadrzędnego procesora. Dotyczy to zwłaszcza układów radiowych, implementujących zwykle np. gotowy stos Bluetooth czy zaawansowane algorytmy zabezpieczeń sieci Wi-Fi, ale także niektórych modułów czujnikowych bądź sterowników silników. Oczywiście im wyższa jest jakość dokumentacji producenta, tym lepiej – dlatego często jednym z głównych kryteriów wyboru, zwłaszcza w przypadku projektów niskonakładowych czy mocno ograniczonych czasowo przez zbliżający się wielkimi krokami deadline, jest właśnie... dostępność bibliotek API czy też przykładowych projektów. Zazwyczaj jakość dokumentacji (jak i samego modułu) idzie w parze z ceną detaliczną modułu – nie ma w tym jednak nic dziwnego, gdyż porządne opracowanie oprogramowania oraz napisanie dokumentacji i przeprowadzenie wyczerpujących testów jest procesem bardzo pracochłonnym, który zwyczajnie musi się zwrócić producentowi z odpowiednią nawiązką. Innym, niezwykle cennym aspektem jest także **wsparcie techniczne** – czy to ze strony samego producenta, czy też inżynierów aplikacyjnych lokalnego dystrybutora.

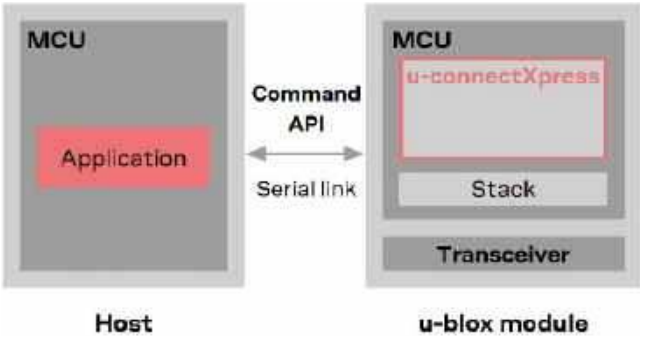


Fotografia 7. Ręczne lutowanie punktowe modułu z padami typu castellated (https://t.ly/RqdQd)

Nie wszystko złoto, co się świeci, czyli o wadach modułów

Nie sposób jednak przemilczeć faktu, że korzystanie z gotowych modułów wiąże się z bardzo konkretnymi kompromisami. Jednym z najczęściej wskazywanych ograniczeń jest znaczna **utrata elastyczności projektowej**. Moduł – jako jednostka zamknięta, w niektórych przypadkach traktowana w dokumentacji producenta niemal jako „czarna skrzynka" – ma z góry zdefiniowaną liczbę i rozmieszczenie złączy czy innych kluczowych elementów (np. anteny), określony pobór mocy, arbitralnie ustaloną topologię połączeń i niejednokrotnie również zamknięte oprogramowanie niskopoziomowe (firmware). Oznacza to, że konstruktor – zamiast tworzyć architekturę urządzenia „na czysto" – musi naginać własną koncepcję do ograniczeń narzuconych przez producenta modułu. W praktyce może to prowadzić do nieoptymalnych rozwiązań – zarówno pod względem wydajności, jak i wymiarów, zużycia energii, czy wreszcie docelowej funkcjonalności.

Ograniczenia elastyczności dotyczą zresztą nie tylko sprzętu, ale także części programowej. To, co w części przypadków jest zaletą stosowania modułów (np. dostępność gotowych stosów protokołów komunikacyjnych), może stanowić ograniczenie, jeżeli zachodzi potrzeba dostosowania danego aspektu do specyficznych

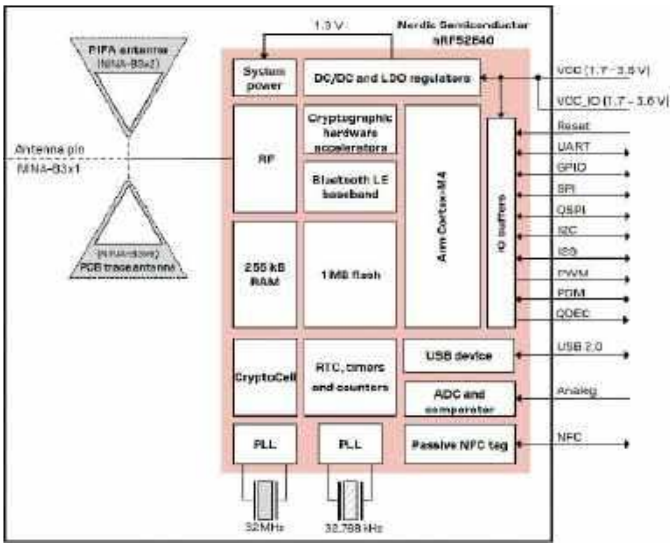


Rysunek 4. Przykład architektury systemu opartego na module wyposażonym w firmowe oprogramowanie wbudowane – moduł u-blox z wgranym pakietem u-connectXpress (https://t.ly/CFx_k)

wymogów projektowanego urządzenia lub chociażby... zmieniających się wymogów prawnych (np. w zakresie cyberbezpieczeństwa) czy normalizacyjnych. **Uwiązanie do zewnętrznego oprogramowania**, w przypadku którego mamy do dyspozycji tylko dokumentację techniczną, może stanowić dodatkowe utrudnienie w procesie certyfikacji – taki firmware bądź biblioteki API (przeznaczone do komunikacji z modułem z poziomu nadrzędnego procesora) jest bowiem traktowane jako tzw. SOUP, czyli *Software of Unknown Provenance* (w dosłownym tłumaczeniu *oprogramowanie o nieznanym pochodzeniu*). Norma IEC 62304, dotycząca cyklu życia oprogramowania urządzeń medycznych, definiuje w ten sposób wszystkie te komponenty programowe, w przypadku których – mówiąc w ogromnym skrócie – producent docelowego urządzenia medycznego nie może mieć pewności co do prawidłowego procesu rozwoju owego oprogramowania.

eprasa.pl 50e19a3eb3

Fotografia 8. Rodzina modułów NINA-B3 marki u-blox (https://t.ly/l4moh)



Rysunek 5. Schemat blokowy modułów z serii NINA-B3 marki u-blox (https://t.ly/nAc2p)

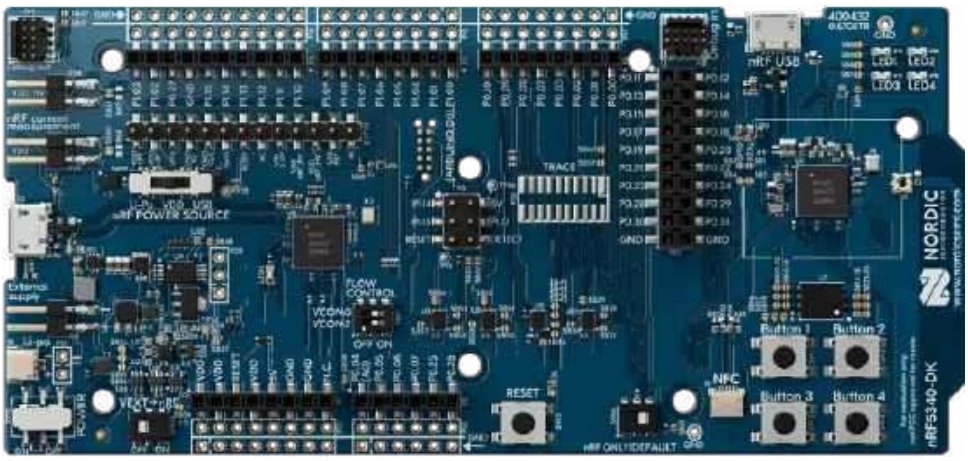
W tym miejscu warto wspomnieć o interesującym rozwiązaniu, które wdrożyła firma u-blox. Producent dostrzegł bowiem fakt, że w przypadku rozbudowanych układów radiowych SoC – takich, jak procesory z serii nRF marki Nordic Semiconductor – zaprzęgnięcie SoC tylko do obsługi radia (np. Bluetooth LE) byłoby w wielu przypadkach marnotrawstwem zasobów, wymuszającym użycie dodatkowego, zewnętrznego mikrokontrolera do obsługi wszystkich pozostałych funkcjonalności docelowego urządzenia. Dlatego też firma u-blox dała swoim odbiorcom wybór – te same moduły (np. z serii Nina-B3 – **fotografia 8**) są dostępne zarówno w wersji z fabrycznie wgranym oprogramowaniem u-connectXpress (implementującym cały stos komunikacyjny oraz dekoder komend AT – **rysunek 4**), jak i w tzw. wariancie Open CPU (gotowym do zaprogramowania przez użytkownika). Dzięki temu we wszystkich tych projektach, które i tak wymagają użycia dodatkowego MCU, możliwe jest szybkie wdrożenie funkcjonalności radiowych w oparciu o gotowy firmware, a jeżeli czas i zasoby ludzkie firmy na to pozwalają, konstruktor urządzenia docelowego może zdecydować się na skorzystanie z wewnętrznego mikrokontrolera układu nRF (**rysunek 5**), który zostanie zaprogramowany np. z użyciem oficjalnego środowiska deweloperskiego firmy Nordic. To drugie rozwiązanie – choć przeważnie okaże się dalece bardziej praco- i czasochłonne, zwłaszcza jeżeli programista odpowiedzialny za oprogramowanie wbudowane nie pracował wcześniej z platformą nRF – będzie nie tylko bardzo kompaktowe, ale także znacznie tańsze (pod względem BOM) i zapewne również bardziej energooszczędne w porównaniu do wariantu korzystającego z dodatkowego mikrokontrolera.

Powróćmy jednak do potencjalnych wad modułów. Kolejnym istotnym punktem naszej listy, który należy rozważyć z punktu widzenia produkcji seryjnej, jest cena. Moduł – mimo że w fazie prototypowania niemal zawsze stanowi tańszą i wygodniejszą alternatywę – w przeliczeniu na jednostkowy koszt BOM urządzenia produkowanego masowo często okaże się **droższy niż równoważne rozwiązanie oparte na dedykowanym projekcie PCB**, z samodzielnie dobranymi komponentami. Szczególnie jaskrawo widać to w projektach konsumenckich, gdzie dosłownie każdy grosz różnicy w cenie jednostkowej przekłada się na tysiące złotych w skali całej serii.

Dodatkowym utrudnieniem w przypadku produkcji wielkoseryjnej bywa również **zależność od zewnętrznego dostawcy** – jeśli producent modułu zdecyduje się wycofać dany produkt z oferty (co, niestety, nie należy do rzadkości, szczególnie w przypadku firm dalekowschodnich bądź małych producentów o stosunkowo niewielkich możliwościach reakcji na wahania rynkowe), to konstruktor

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 50e19a3eb3

Fotografia 9. Przykładowy moduł marki HopeRF wycofany ze sprzedaży (https://t.ly/nB_BI)

Fotografia 10. Przetwornica DC/DC z serii THM 3 do zastosowań medycznych marki Traco Power (https://t.ly/8Pcky)

zostaje postawiony przed koniecznością przeprojektowania urządzenia, a nierzadko nawet całego oprogramowania wbudowanego, zmiany zaś wiążą się z koniecznością powtórnego przejścia przez cały proces certyfikacji. Jest to szczególnie dotkliwe w branżach silnie obwarowanych przez wymogi prawne, np. w sektorze medycznym.

Zauważalnym problemem dla wytwórców nastawionych na produkcję wielkoseryjną może być więc mała stabilność dostaw modułów. W niektórych przypadkach płytki bardzo szybko znikają z rynku – o ile każdemu producentowi może zdarzyć się wpadka (produkt nieudany lub po prostu nieopłacalny, a przez to szybko wycofany z obrotu), to można wskazać firmy, dla których ciągła rotacja w portfolio jest niemal codziennością. Przykładem firmy, która bardzo często zdejmowała z rynku wprowadzone co najwyżej kilka lat wcześniej moduły, może być Hope RF – znany producent bardzo tanich modułów radiowych ISM (**fotografia 9**) – o ile wyjątkowo niski koszt jednostkowy (cena detaliczna na poziomie kilku złotych) zachęca do stosowania w niektórych mniej wymagających aplikacjach codziennego użytku, to słaba dostępność produktów zakupionych dosłownie „chwilę wcześniej" z pewnością jest aspektem, który warto wziąć pod uwagę planując stabilną, długofalową produkcję masową.

W kontekście projektów wymagających szczególnej odporności EMC lub wysokiego poziomu niezawodności (np. systemów automotive, urządzeń medycznych czy aparatury lotniczej), stosowanie modułów bywa również ryzykowne z innego powodu – **ograniczonej kontroli nad szczegółami konstrukcji wewnętrznej**. Wbudowane przetwornice impulsowe, nieoptymalnie dobrane komponenty pasywne, brak ekranowania czy niewłaściwe prowadzenie masy wewnątrz modułu mogą prowadzić do nieoczekiwanych problemów w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej, które w przypadku projektu prowadzonego samodzielnie od podstaw dałoby się łatwiej zidentyfikować i wyeliminować. Co gorsza, w niektórych przypadkach zidentyfikowanie źródła problemu wymaga wręcz dokonania swego rodzaju inżynierii odwrotnej, gdyż producenci nie zawsze chętnie dzielą się szczegółowymi schematami ideowymi czy kodem oprogramowania własnościowego (o layoucie PCB modułu już nie wspominając).

Rysunek 7. Budowa ultraminiaturowego modułu BLE 4.2 – BGM121N256 marki Silicon Labs o wymiarach 6,5 × 6,5 × 1,4 mm (https://t.ly/auQtw)

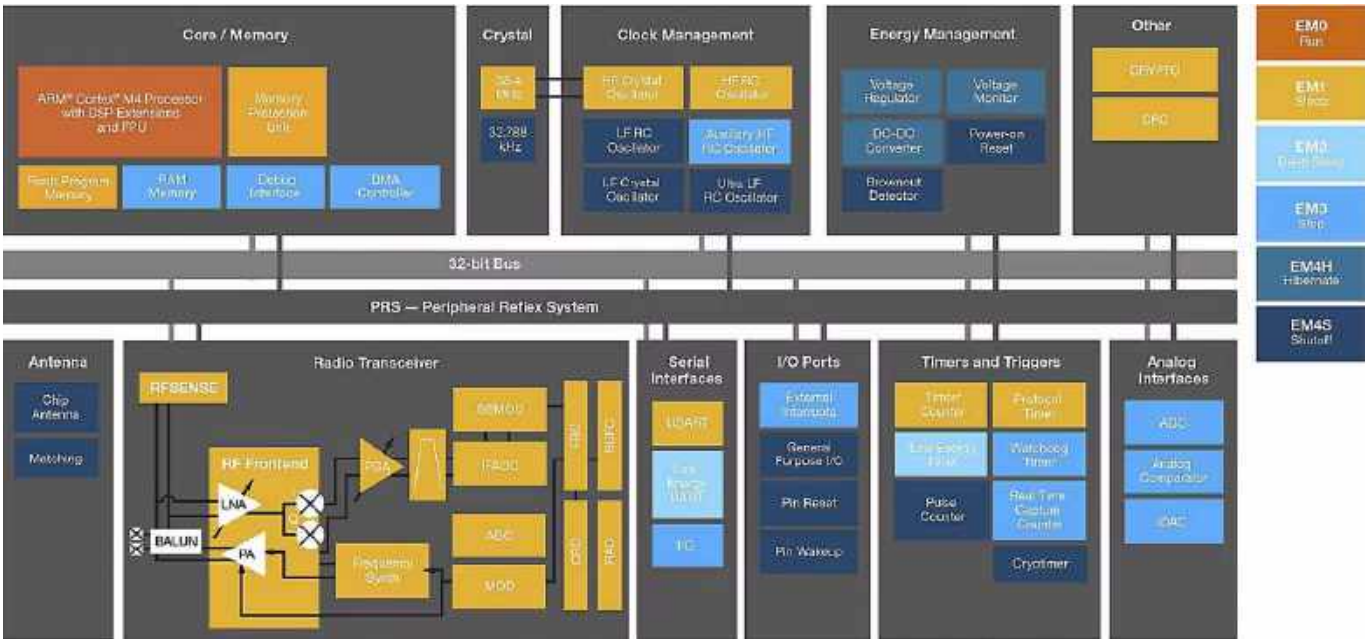
Z tego samego powodu w projektach medycznych unika się zwykle stosowania przetwornic DC/DC czy modułów zasilaczy, których producent nie określił *explicite* ich medycznego przeznaczenia. Nawet, jeżeli dany model konwertera lub zasilacza sieciowego oferuje wysoki poziom napięcia izolacji, to sama konstrukcja wewnętrzna zastosowanej bariery galwanicznej także ma znaczenie dla spełnienia (lub nie) wymogów normy 60601-1. Dlatego też producenci przetwornic, od których zależy stopień ochrony przed porażeniem pacjenta i/lub operatora, wprost odwołują się do konkretnych zapisów ww. standardu, dzięki czemu konstruktor ma pewność, że wybierając dany produkt jest w stanie zapewnić wymagany poziom bezpieczeństwa. Przykład można zobaczyć na **fotografii 10** i **rysunku 6** – w dokumentacji medycznej przetwornicy DC/DC producent, firma Traco Power, jawnie określa liczbę środków ochrony pacjenta (MOPP – *Means of Patient Protection*), która ma znaczenie nie mniejsze, niż konkretne wartości napięcia izolacji czy też prądów upływu.

W części artykułu poświęconej zaletom stosowania gotowych modułów wspomnieliśmy o znaczącym obniżeniu wymagań odnośnie procesu produkcji docelowej PCB, o ile wybrany moduł sam „załatwia" za nas konieczność projektowania złożonych

Safety Specifications		
Standards	- IT / Multimedia Equipment	EN 62368-1 IEC 62368-1 UL 62368-1
	- Medical Equipment	EN 60601-1 IEC 60601-1 ANSI/AAMI ES 60601-1 2 x MOPP (Means Of Patient Protection)
	- Certification Documents	www.tracopower.com/overview/thm3
Pollution Degree		PD 2
Over Voltage Category		OVC II

Rysunek 6. Fragment dokumentacji technicznej przetwornicy THM 3 z zaznaczonymi odniesieniami do norm medycznych i bezpośrednim wskazaniem liczby środków ochrony pacjenta (https://t.ly/PtnMM)

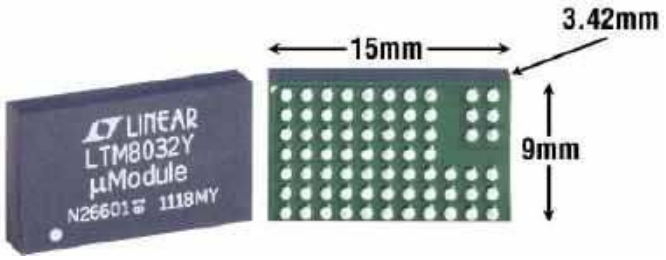
eprasa.pl 50e19a3eb3



Rysunek 8. Schemat blokowy modułu BGM121N256 (https://t.ly/auQtw)

obwodów wielowarstwowych, w tym HDI. Gwoli ścisłości należy jednak zwrócić uwagę, że w niektórych przypadkach to właśnie sam **moduł wymusza użycie zaawansowanych obwodów drukowanych** – chociażby przelotek umieszczonych w padach. Taka sytuacja, choć dość paradoksalna w świetle opisanych wcześniej zalet, ma miejsce niemal wyłącznie w przypadku ekstremalnie kompaktowych płytek, np. niektórych modułów Bluetooth (**rysunki 7** i **8**) czy niektórych wybitnie zminiaturyzowanych przetwornic DC/DC typu SIP (System-in-Package) – np. takich, jak na **fotografii 11**, które wymagają montażu BGA (choć sam footprint jest w tym przypadku silnie zoptymalizowany pod kątem uproszczenia mozaiki ścieżek PCB). Aby oddać sprawiedliwość twórcom takich modułów trzeba jednak jasno podkreślić, że stosowanie na większych płytach tak maleńkich modułów, jak przykład z rysunku 7, jest przeważnie i tak z góry pozbawione sensu – są to bowiem produkty kierowane do wytwórców wyjątkowo kompaktowych urządzeń, które siłą rzeczy bazują na płytkach drukowanych o dużej gęstości upakowania komponentów. Zastosowanie w nich technik HDI jest zatem zwykle i tak standardowym rozwiązaniem.

Na koniec warto wspomnieć jeszcze o **aspekcie edukacyjnym**. Choć użycie gotowych modułów z pewnością skraca krzywą uczenia się i pozwala szybciej osiągnąć „działające" rozwiązanie, to jednocześnie pozbawia młodych konstruktorów możliwości głębszego zrozumienia, jak naprawdę funkcjonują poszczególne sekcje urządzenia elektronicznego. W efekcie może dojść do sytuacji, w której projektant potrafi poprawnie użyć układu w postaci zamkniętego bloku, ale nie jest w stanie samodzielnie zaprojektować jego funkcjonalnego odpowiednika – co w dłuższej perspektywie ogranicza jego kompetencje zawodowe.



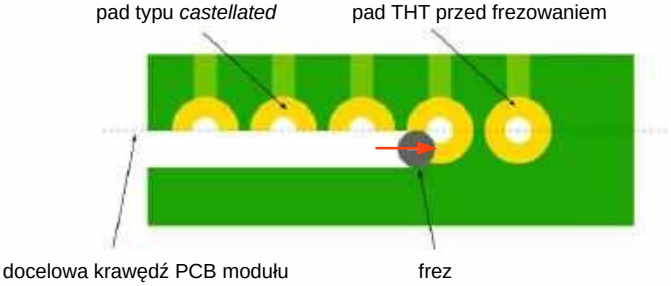
Fotografia 11. Miniaturowa przetwornica DC/DC typu SIP z wbudowanym dławikiem (https://t.ly/wMdiW)

Techniki integracji modułów z płytą główną

Jeżeli dany rodzaj modułu (np. radiowego) występuje na rynku w szerokiej gamie odmian, to konstruktor może stanąć przed koniecznością wyboru sposobu integracji modułu z resztą urządzenia. Decyzja powinna opierać się nie tylko na samej funkcjonalności czy parametrach elektrycznych, ale także – zwłaszcza w bardziej wymagających zastosowaniach – na zagadnieniach natury mechanicznej i niezawodnościowej. To, w jaki sposób moduł zostanie zamocowany i połączony z płytką drukowaną urządzenia docelowego, wpływa nie tylko na trwałość i jakość połączeń elektrycznych (w tym ich rezystancję), ale także na łatwość montażu, testowania i ewentualnej wymiany modułu w ramach działań serwisowych. W praktyce stosuje się kilka typowych rozwiązań, które z grubsza można podzielić na sześć grup.

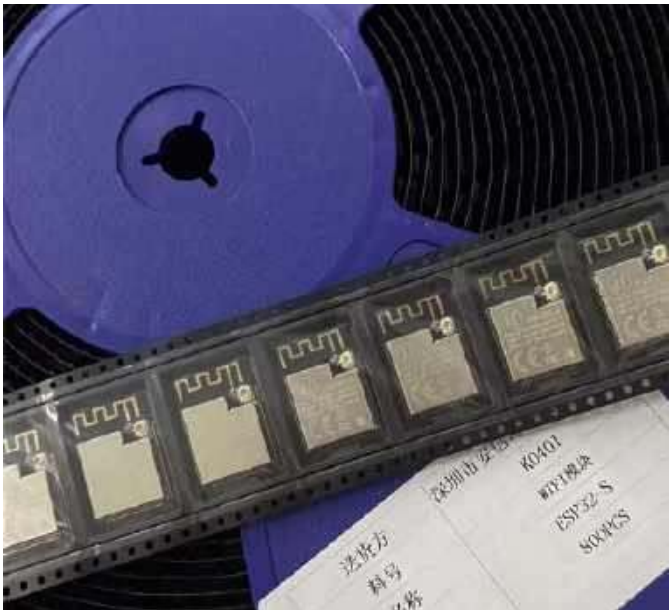
1. Pady półotwarte (*castellated pads*)

Jednym z najbardziej popularnych i uniwersalnych sposobów integracji modułów – zwłaszcza komunikacyjnych czy niektórych minikomputerów SoM – jest zastosowanie padów typu *castellated*. Są to metalizowane otwory, umieszczone na krawędzi płytki modułu i – już po metalizacji – częściowo sfrezowane (**rysunek 9**), przez co przypominają nieco swoim kształtem zwieńczenie muru baszty obronnej, czyli tzw. blanki (stąd zresztą anglojęzyczna nazwa tego rodzaju wyprowadzeń). Takie połączenie umożliwia lutowanie modułu bezpośrednio na powierzchni płyty bazowej, przy zachowaniu pełnej automatyzacji procesu montażu SMT (w tym lutowania rozpływowego), o ile oczywiście posiadany automat *pick and place* pozwala na pracę z odpowiednio dużymi komponentami, a sam moduł jest stosownie zapakowany fabrycznie i przystosowany do takiej techniki układania komponentów (**fotografia 12**).



Rysunek 9. Proces wytwarzania padów typu *castellated*

eprasa.pl 50e19a3eb3



Fotografia 12. Moduły ESP32 na taśmie, gotowe do montażu automatycznego (https://t.ly/NVKBU)

Z punktu widzenia produkcji seryjnej rozwiązanie to jest niezwykle korzystne – pozwala na pełną inspekcję optyczną (AOI) po lutowaniu, nie wymaga stosowania żadnych dodatkowych złączy (co znacznie obniża koszty BOM samego modułu), a jednocześnie zapewnia dobre parametry elektryczne. Należy jednak pamiętać o konieczności prawidłowego zaprojektowania footprintu na płycie głównej – niedopasowanie padów lub błędy w planowaniu ilości pasty lutowniczej mogą skutkować zimnymi lutami lub brakiem styku na pojedynczych pinach.

Zaletą padów typu *castellated* jest także możliwość lutowania ręcznego – trzeba to jednak zrobić umiejętnie, w miarę możliwości bez poprawek, gdyż metalizacja otworu półotwartego może stosunkowo łatwo ulec oderwaniu od laminatu PCB w wyniku przegrzania lub przyłożenia zbyt dużej siły. Nieco lepiej pod tym względem wypadają moduły produkowane w oparciu o płytki wielowarstwowe, gdyż prawidłowo zaprojektowane pady (zakotwiczone na więcej niż tylko dwóch skrajnych, zewnętrznych warstwach) są bardziej wytrzymałe niż te obecne w płytkach dwustronnych.

Warto dodać, że dość popularną techniką projektową jest wydłużanie padów w głąb płytki drukowanej modułu i przeszywanie ich dodatkowymi otworami, umożliwiającymi wlutowanie złączy szpilkowych. Takie rozwiązanie można znaleźć w wielu modułach prototypowych, m.in. w popularnych płytkach z serii Raspberry Pi Pico (**fotografia 13**), rzadziej natomiast stosuje się je w modułach typowo „produkcyjnych" (OEM) – głównie z uwagi na chęć maksymalnej redukcji wymiarów modułu, co zawsze stanowi dla producenta dodatkowy atut marketingowy na tle konkurencji.

2. Pady SMD do montażu powierzchniowego (BGA, LGA, QFN itp.)

Niektóre moduły – szczególnie bardziej złożone SoM-y lub miniaturowe przetwornice DC/DC – korzystają z padów SMD rozmieszczonych w całości pod spodem obudowy (**fotografia 14**). Choć takie rozwiązanie umożliwia uzyskanie bardzo gęstego upakowania sygnałów i minimalizację wymiarów, to może jednak nieść ze sobą również szereg kolejnych wyzwań. Przede wszystkim, lutowanie modułów w obudowach typu BGA czy LGA wymaga bardzo precyzyjnego procesu produkcyjnego – w tym kontroli objętości pasty, wręcz idealnego pozycjonowania, a najlepiej także weryfikacji połączeń przy pomocy rentgena, ponieważ połączenia są całkowicie ukryte pod korpusem i niedostępne dla urządzeń do obrazowania optycznego. Gęste upakowanie pinów (**fotografia 15**) wymusza ponadto stosowanie przelotek

Fotografia 13. Moduł Raspberry Pi Pico (https://t.ly/gMUy6)

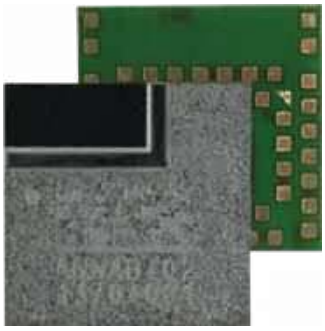
typu via-in-pad (a zwykle także zagrzebanych lub ślepych), co dodatkowo podwyższa koszty produkcji urządzenia (o ile taka technologia byłaby do uniknięcia przy zastosowaniu innego modułu lub rozwiązania dyskretnego).

Wersje z większymi, prostokątnymi padami do klasycznego montażu SMT są nieco bardziej przyjazne pod względem produkcyjnym, bowiem ich montaż może być zrealizowany za pomocą standardowych pieców rozpływowych i często nie wymaga specjalistycznej kontroli rentgenowskiej. Wadą tego typu połączenia jest natomiast wciąż trudność ewentualnej wymiany modułu (brak możliwości demontażu bez specjalistycznych narzędzi) oraz większa wrażliwość na naprężenia termiczne i mechaniczne – szczególnie w warunkach narażenia na silne wibracje i gradienty temperatur.

W szczególnych przypadkach stosowane są rozwiązania nieco mniej typowe, opierające się na uniesieniu modułu ponad powierzchnię płyty bazowej. W tym celu pady modułu są wyprowadzane za pośrednictwem specjalnych styków metalowych, lutowanych na krawędzi płytki (**fotografia 16**) – takie podejście umożliwia umieszczenie na dolnej warstwie PCB modułu nawet znacznej liczby komponentów pasywnych, na które zwyczajnie nie ma miejsca na górnej stronie płytki.

3. Piny przewlekane (THT)

W przypadku większych przetwornic napięcia (AC/DC czy DC/DC), a także innych modułów o dużym poborze prądu (np. sterowników silników), popularnym rozwiązaniem są klasyczne piny do montażu przewlekanego (THT), lutowane w otworach przelotowych płyty głównej (**fotografia 17**). Choć technika THT wydaje się nieco archaiczna w erze miniaturyzacji, to jednak w zastosowaniach wymagających solidnego mechanicznego mocowania oraz przenoszenia znacznych prądów (rzędu kilkunastu czy kilkudziesięciu amperów), okazuje się często nie do zastąpienia.



Fotografia 14. Moduł ANNA-B402 marki u-blox (https://t.ly/UGHDq)

Fotografia 15. Przykładowy moduł radiowy SIP (https://t.ly/TNLwX)

eprasa.pl 50e19a3eb3

Fotografia 16. Przetwornice z serii Artesyn LGA marki Advanced Energy (https://t.ly/SJ-RJ)

Przewlekane połączenia gwarantują bardzo dobrą wytrzymałość mechaniczną, odporność na cykle temperaturowe i drgania oraz niską impedancję połączenia. Należy jednak liczyć się z koniecznością stosowania selektywnego lutowania na fali lub montażu manualnego (punktowego), co wpływa na koszt produkcji. Ponadto piny THT zajmują więcej miejsca na PCB oraz potencjalnie utrudniają prowadzenie ścieżek na warstwie dolnej.

4. Złącza typu *Mezzanine*

Zupełnie inną kategorię połączeń stanowią złącza typu *Mezzanine* – stosowane głównie w przypadku bardziej zaawansowanych modułów SoM z procesorami aplikacyjnymi czy macierzami FPGA (**fotografia 18**), a także płytek rozszerzeń do komputerów jednopłytkowych (**fotografia 19**). Złącza tego typu umożliwiają pionowe łączenie dwóch płytek drukowanych w formie „kanapki" i pozwalają na przenoszenie dużej liczby linii sygnałowych, zasilania oraz szybkich magistral cyfrowych (np. PCIe, nowych generacji USB, MIPI czy CSI).

Główne zalety złączy typu Mezzanine to ogromna łatwość wymiany modułu, separacja warstw funkcjonalnych oraz możliwość niezależnego testowania płyty głównej i modułu. A co z wadami? Należą do nich przede wszystkim: relatywnie wysoki koszt złączy oraz konieczność zachowania bardzo wysokiej dokładności pozycjonowania wtyków i gniazd (zarówno po stronie modułu, jak i płyty bazowej) – i to nie tylko na etapie projektowania (co nie jest większym problemem), ale przede wszystkim podczas montażu złączy.

5. Złącza krawędziowe

Złącza krawędziowe (ang. *edge connectors*) to jedno z najstarszych, ale wciąż bardzo efektywnych rozwiązań stosowanych w integracji modułów z płytą główną. Odpowiednio zaprojektowane, złocone pady, są umieszczone przy krawędzi płytki PCB modułu i współpracują z gniazdem, znajdującym się na płycie głównej. Takie podejście już kilka dekad temu znalazło zastosowanie m.in. w kartach rozszerzeń komputerów czy też rozbudowanej aparaturze modułowej (np. systemach akwizycji danych).

Główne zalety złączy krawędziowych to:

- relatywnie duża gęstość połączeń (choć nieporównywalna ze złączami typu *Mezzanine*),
- możliwość szybkiej wymiany modułu bez lutowania,
- doskonałe właściwości sygnałowe w przypadku szybkich magistral cyfrowych (PCIe, SATA, USB 3.x),
- redukcja liczby komponentów mechanicznych na płycie modułu (brak gniazda – złącze jest wykonywane w procesie produkcji PCB).

Fotografia 17. Zasilacz sieciowy do montażu przewlekanego na PCB (https://t.ly/LiGSW)

Po stronie ograniczeń należy wymienić stosunkowo wysokie wymagania dotyczące precyzji wykonania płytki oraz konieczność przestrzegania ścisłych wymogów mechanicznych i elektrycznych, zdefiniowanych przez standard danego interfejsu (np. grubość laminatu, długość i pokrycie padów, dodatkowe otwory montażowe etc.). Warto również podkreślić, że złącza krawędziowe są szczególnie dobrze przystosowane do montażu pionowego modułów względem płyty głównej, co sprzyja optymalizacji przepływu powietrza w urządzeniach z aktywnym chłodzeniem. W nowszym wydaniu często stosowane są też poziome złącza pamięci w standardzie SO-DIMM, pozwalające na umieszczenie minikomputera SoM równolegle do płyty bazowej (**fotografia 20**), co stanowi rozwiązanie niskoprofilowe, wygodne w implementacji i... sprawdzone w boju przez wielu producentów modułów.

6. Złącza rastrowe i przewodowe

Na koniec warto wspomnieć o bodaj najprostszej formie łączenia modułów – czyli złączach przewodowych i rastrowych (np. typu goldpin, listwy śrubowe stałe i rozłączalne, etc. – patrz **fotografia 21**). Choć ich największą zaletą jest elastyczność i łatwość prototypowania, to w produkcji seryjnej złącza tego typu są postrzegane

Fotografia 18. Zaawansowany moduł SoM z macierzą FPGA. Opis oznaczeń liczbowych dostępny w dokumentacji: https://t.ly/r9gYh

eprasa.pl 50e19a3eb3

Fotografia 19. Moduł z pamięcią eMMC do minikomputerów SBC z serii Orange Pi (https://t.ly/COTcZ)

Fotografia 21. Moduł sterownika silników BLDC ze listwami rozłączalnymi (https://t.ly/i7WZU)

jako źródło potencjalnych usterek: podatne na poluzowanie połączeń, uszkodzenia mechaniczne, utlenianie styków czy nawet błędy podczas montażu (np. odwrotne wpięcie wtyku do gniazda w przypadku złączy bez ustalonej polaryzacji).

Złącza rastrowe świetnie sprawdzają się w aplikacjach prototypowych, edukacyjnych i niskonakładowych, ale w przypadku projektów przemysłowych są zwykle zastępowane trwalszymi i bardziej niezawodnymi rozwiązaniami – szczególnie tam, gdzie urządzenie musi spełniać rygorystyczne wymagania norm odporności środowiskowej.

Podsumowanie

Gotowe moduły z pewnością stanowią niezwykle cenne narzędzie w arsenale współczesnego inżyniera. Ich zastosowanie jest w pełni uzasadnione w projektach demonstracyjnych, niskonakładowych lub tam, gdzie kluczowe znaczenie ma szybkie wdrożenie funkcjonalności. Jednak w projektach o wysokich wymogach jakościowych, dużym wolumenie produkcji, bądź wymagających pełnej kontroli nad cyklem życia komponentów – ich stosowanie powinno być poprzedzone szczegółową analizą techniczno-ekonomiczną i uwzględnieniem ryzyka technologicznego. Zbyt pochopne zaufanie gotowym rozwiązaniom może bowiem okazać się przysłowiowym „strzałem w kolano" – szczególnie wtedy, gdy w grę wchodzi długoterminowa odpowiedzialność za niezawodność końcowego urządzenia. Ciekawym aspektem jest także fakt, że te same cechy podejścia modułowego, które w większości przypadków stanowią jego zalety (np. wysoki poziom miniaturyzacji czy obecność gotowego oprogramowania wbudowanego), w innych sytuacjach stają się przekleństwem projektantów i stanowią niemałą pułapkę dla mniej doświadczonych graczy.

inż. Przemysław Musz, EP

Fotografia 20. Płyta bazowa StarCB-STM32H757-STD z zamontowanym modułem SoM StarSOM-STM32H757 marki SoMLabs (https://t.ly/QUv3a)

eprasa.pl 50e19a3eb3

Programowanie w środowisku MicroPython (1)

Wstęp

Uważa się, że Python jest obecnie najpopularniejszym językiem programowania. Ze względu na swoją wszechstronność znalazł zastosowanie w najróżniejszych aplikacjach, działających na wielu komputerach, serwerach, smartfonach, a nawet kalkulatorach naukowych. Od 2013 roku dostępna jest także wersja MicroPython, czyli implementacja Pythona na mikrokontrolery. Obecnie obsługiwane są prcesory z serii ESP32, STM32, SAM, Raspberry Pico, Nordic NRF i wiele innych.

Dla kogo jest MicroPython?

Kiedyś za jedyny słuszny język do programowania mikrokontrolerów był uważany asembler. Dawał pełny dostęp do każdego rejestru procesora i wprawny programista potrafił stworzyć bardzo efektywny program, ale praca w tym języku była czasochłonna i wymagała specjalistycznej wiedzy.

Problemy te w pewnym stopniu rozwiązywały języki wyższego poziomu, takie jak C i C++, które pozwalały uwolnić się od mozolnego ustawiania bitów w rejestrach. Dawniej zarzucano im, że kod generowany przez kompilatory nie jest tak efektywny, jak kod napisany w asemblerze. Jest w tym trochę prawdy, lecz słabszą optymalizację kompensował zdecydowanie krótszy czas tworzenia programu, a... czas to pieniądz. W przypadku czasu pracy programisty embedded całkiem spory pieniądz.

MicroPython jest językiem jeszcze wyższego poziomu niż C++. Kod w Pythonie nie kompiluje się do instrukcji maszynowych, wykonywanych bezpośrednio przez procesor. W zamian Python korzysta z interpretera, który analizuje kod programu bezpośrednio przed wykonaniem i przetwarza instrukcje na kod wykonywany przez maszynę wirtualną. W tym momencie warto dodać, że interpreter Pythona napisany jest w C.

Jaki to ma sens? Takie podejście pozwoliło jeszcze bardziej oddzielić kod od sprzętu, dzięki czemu ten sam kod powinien działać na ESP32, Raspberry Pico, STM32 i wielu innych mikrokontrolerach obsługujących MicroPythona. Ponadto instrukcje Pythona są bardzo przyjazne i czytelne, dzięki czemu można się go nauczyć niezwykle szybko.

Bardzo często korzystam z MicroPythona w pracy, aby szybko zrobić jakiś prototyp. Przydaje mi się także do tego, by szybko przetestować czujniki, wyświetlacze czy inne elementy. Dużo łatwiej i szybciej jest napisać kod w Pythonie niż w C lub C++.

Jednak MicroPython ma także pewne wady, które moim zdaniem wykluczają jego zastosowanie w produktach komercyjnych. Niestety nie jest on wolny od błędów i czasami zdarza się, że program zawiesi się bez żadnego widocznego powodu. Tendencja ta jest tym bardziej widoczna, im więcej mamy równolegle działających tasków. Innym problemem jest to, że nie ma sposobu, aby skutecznie zabezpieczyć kod programu przed kradzieżą. Istnieje bowiem możliwość, aby podłączyć programator i ściągnąć pliki z kodem w Pythonie. Widać także wyraźną różnicę w szybkości działania programu pomiędzy C i MicroPythonem – pod tym względem C jest wielokrotnie szybszy. Ponadto kod w C jest także lepiej zoptymalizowany pod względem zapotrzebowania na pamięć ROM.

MicroPython, podobnie jak C i C++, ma swoje wady i zalety. Mimo to uważam, że warto poznać ten język. Jest to coś, czego w świecie mikrokontrolerów jeszcze nie było.

Celem kursu jest zaznajomienie czytelnika z możliwościami środowiska MicroPython na przykładzie mikrokontrolerów ESP32, poprzez teoretyczny opis różnych funkcji i klas oraz ich zastosowanie w praktycznych przykładach. Główny nacisk będzie położony na użycie peryferiów sprzętowych, takich jak piny, timery, przerwania, a w szczególności kurs będzie omawiał peryferia typowe dla ESP32, czyli Wi-Fi, ESP-NOW i Bluetooth.

Zakładam, że Czytelnik zna język Python w zakresie podstawowym. Z tego powodu kody używane w kursie mają być proste do zrozumienia i nie będą wymagać znajomości zaawansowanych możliwości tego języka. Jeżeli wiesz, jak działa instrukcja if, for oraz jak napisać funkcję czy klasę, to ta wiedza wystarczy do zrozumienia wszystkich kodów z niniejszego kursu. Jeżeli tak nie jest, to polecam zapoznanie się z jakimś kursem „normalnego" Pythona na zwykły komputer – takich tutoriali jest w Internecie bardzo dużo.

Lista zakupów

Podczas kursu nie będziemy używać żadnej rozbudowanej płytki testowej. Zamiast niej skorzystamy z niedrogiego i popularnego devkitu z modułem ESP32-S3 firmy Espressif. Za pomocą płytki stykowej i kabelków będziemy podłączać różne peryferia omawiane w kursie, takie jak diody LED, zegar RTC, pamięć EEPROM oraz wyświetlacze OLED i TFT. Jestem przekonany, że większość Czytelników już ma pod ręką płytki stykowe i drobne elementy. Jeżeli nie – to jest to odpowiedni moment, aby zamówić te elementy, by zdążyły przyjechać przed publikacją kolejnych odcinków. Poniżej znajduje się lista wyposażenia, z którego będziemy korzystać w 12 odcinkach niniejszego kursu.

1. Płytka ESP32-S3-DevKitC-1-N8R8
2. Płytka z zegarem RTC DS1307 i pamięcią EEPROM 24C32
3. Wyświetlacz TFT 480×320 z kontrolerem ST7796 (SPI) i pojemnościowym panelem dotykowym z kontrolerem FT6336 (I^2C)
4. Wyświetlacz OLED 128×64 z kontrolerem SSD1309 (I^2C) – w sprzedaży dostępne są wyświetlacze w kolorach: białym, żółtym, zielonym i niebieskim, a każdy może mieć interfejs I^2C lub SPI. Płytki z I^2C mają pewną wadę objawiającą się piszczeniem przetwornicy. Lepiej kupić wyświetlacz z SPI (bo nie piszczy), a następnie przerobić go na I^2C, lutując dwie zworki. W razie potrzeby można przywrócić interfejs SPI.
5. Karta MicroSD i przejściówka SD, do której można przylutować goldpiny lub dowolna inna płytka umożliwiająca podłączenie karty MicroSD
6. Płytka stykowa 830 pól
7. Kabelki do płytki stykowej
8. Kilka diod LED przewlekanych: czerwona, żółta, zielona, niebieska
9. Rezystory przewlekane do diod LED (np. 100 Ω, 220 Ω, 470 Ω)

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

eprasa.pl 50e19a3eb3

Dlaczego ESP32-S3?

ESP32 to popularna rodzina układów SoC, która zdobyła uznanie dzięki niskiej cenie, wysokiej mocy obliczeniowej, a przede wszystkim dzięki bajecznie prostej komunikacji przez Wi-Fi i Bluetooth. ESP32-S3 to kolejna generacja tych mikrokontrolerów. Wyposażone są w dwa rdzenie taktowane zegarem o częstotliwości 240 MHz. Moduły z tymi układami dostępne są w wersjach z pamięcią Flash o rozmiarze 4, 8, 16 i 32 MB. Każdy ma 512 kB wbudowanej pamięci RAM, a – w zależności od wersji – może mieć zamontowane dodatkowe 2 lub 8 MB pamięci PSRAM (warto wiedzieć, że wersja z 8 MB PSRAM jest szybsza niż model wyposażony w 2 MB tej pamięci). W jednym z odcinków będziemy korzystać z wyświetlacza TFT, który potrzebuje całkiem sporo pamięci RAM do obsługi bufora obrazu. Z tego powodu zalecam użycie ESP32-S3 z wbudowaną pamięcią PSRAM o rozmiarze 8 MB.

Instalujemy

Podczas naszego kursu będziemy pracować w środowisku Thonny. W chwili pisania tego odcinka najnowsza wersja programu to 4.1.7. Najpierw wchodzimy na stronę www.thonny.org i pobieramy instalator właściwy dla systemu na naszym komputerze. Program dostępny jest na systemy Windows, Linux i MacOS w wielu różnych wersjach, w tym również jako portable i kod źródłowy [3]. Ja, pisząc ten kurs, będę używał wersji na system Windows, zainstalowanej przez instalator **Installer with 64-bit Python 3.10 (thonny-4.1.7.exe)**. Proces wgrywania programu jest banalnie prosty i nie wymaga komentarza.

Podłączamy płytkę z ESP32-S3-DevKitC do komputera. Na module znajdują się dwa porty microUSB. Port oznaczony etykietą „USB" prowadzi prosto do układu ESP32-S3, który ma wbudowany interfejs USB Device/Host. Może zostać użyty w dowolnym celu, także do wgrywania i debugowania programu. Jednak jest to trochę niewygodne, ponieważ każdy reset mikrokontrolera resetuje również USB, a to powoduje, że urządzenie na chwilę przestaje być widziane przez komputer, po czym na nowo się pojawia i za każdym razem musi ponownie łączyć się z komputerem.

Port oznaczony etykietą „UART" służy tylko do wgrywania programu i diagnostyki poprzez konsolę. Pomiędzy tym gniazdem a ESP32-S3 znajduje się przejściówka USB/UART typu CP2102N firmy Silicon Labs. Użycie tej przejściówki jest wygodne, ponieważ ESP możemy wtedy dowolnie resetować, a płytka cały czas jest widziana przez system, nawet podczas rozruchu mikrokontrolera.

Może się zdarzyć, że Windows nie rozpozna układu CP2102N. Wtedy trzeba pobrać sterownik ze strony [7]. Przyda nam się także „zwykły Python" na normalny komputer, który można pobrać spod adresu [8]. Użyjemy go do konwertowania grafik w celu pokazania ich na wyświetlaczu OLED i TFT. Instalując Pythona, należy pamiętać o tym, aby podczas instalacji zaznaczyć opcję **Add python.exe to PATH**.

Uruchom program Thonny. Przy pierwszym uruchomieniu program zapyta nas o wybór języka i domyślny zestaw ustawień. Wybieramy język polski i ustawienia standardowe, po czym klikamy **Let's go**.

Domyślnie w Thonny wyłączone są wszystkie przydatne opcje. W górnej części ekranu widać tylko edytor kodu, a na dole jest umieszczona konsola Pythona. Otwórz menu **Podgląd**, a następnie włącz opcje takie jak: **Pliki**, **Zarys**, **Zmienne** i **Inspektor Obiektów**. Pojawią się dodatkowe okienka po prawej i lewej stronie edytora tekstu.

Okno **Pliki** pozwala wyświetlić listę plików i katalogów naszego projektu na komputerze oraz w pamięci ESP32. Dzięki temu łatwiej można kopiować pliki pomiędzy komputerem i układem SoC. W oknie **Zarys** można zobaczyć „spis treści" aktualnie otwartego pliku, tzn. nazwy wszystkich funkcji i klas. Dzięki temu można szybko odnaleźć potrzebne rzeczy w długich plikach. Okno **Zmienne** pokazuje, jakie zmienne znajdują się w pamięci i jaki mają typ oraz zawartość. **Inspektor obiektów** pozwala dokładniej zbadać zmienne. Za pomocą tej funkcjonalności możemy zaglądać także do środka modułów i klas, aby zobaczyć, jakie w nich są dostępne funkcje i zmienne.

Z menu **Narzędzia** wybierz **Opcje**. Przejdź do zakładki **Edytor** i zaznacz następujące pola:

- Podświetl zmienne lokalne,
- Podświetl bieżący wiersz,
- Automatycznie pokazać informacje o parametrze po wpisaniu '('.

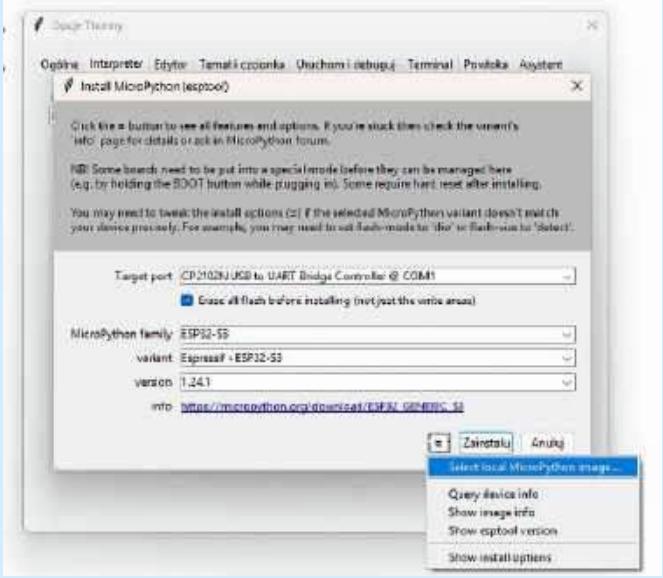
Wybierz zakładkę **Interpreter**. Domyślnie Thonny uruchamia interpreter Pythona na komputerze, przez co aktywna jest opcja **Lokalny Python 3**. Z listy rozwijanej wybierz MicroPython (ESP32). Zwróć uwagę, że w tym miejscu dostępna jest też cała gama innych mikrokontrolerów.

Musimy teraz wgrać MicroPythona do ESP32. W tym celu klikamy **Zainstaluj lub zaktualizuj MicroPythona** w prawym dolnym rogu okna. Pojawi się okienko, w którym podajemy parametry potrzebne do wgrywania programu. Pierwszym z nich jest wybór portu COM. Jeżeli w Twoim komputerze jest więcej niż jeden port szeregowy, upewnij się, który jest odpowiedzialny za komunikację z ESP32. W dalszej części można wybrać typ mikrokontrolera, wariant i żądaną wersję MicroPythona.

Autorzy Thonny przeoczyli jednak układ ESP32-S3 z dodatkową pamięcią RAM, zatem potrzebną wersję musimy pobrać ręcznie spod adresu [6]. Na stronie znajdujemy Firmware (**Support for Octal-SPIRAM**) i pobieramy plik .bin z najnowszą wersją firmware (w chwili pisania tego kursu jest to 1.24.1). Zapisujemy plik na komputerze i wracamy do Thonny. Klikamy przycisk z trzema kreskami (**rysunek 1**) i wskazujemy pobrany plik, po czym klikamy Zainstaluj. Program wgra firmware do ESP32, co zajmie trochę czasu. Kiedy pojawi się komunikat **Done!** możemy kliknąć **Zamknij** i wyłączyć okno ustawień.

Program powinien otworzyć port COM i nawiązać połączenie z mikrokontrolerem. W konsoli na dole okna programu powinniśmy zobaczyć kilka komunikatów, a w nich **MicroPython v1.24.1 on 2024-11-29**; **Generic ESP32S3 module with Octal-SPIRAM with ESP32S3**. Jeżeli program nie połączył się automatycznie, kliknij przycisk STOP na górnym pasku narzędzi.

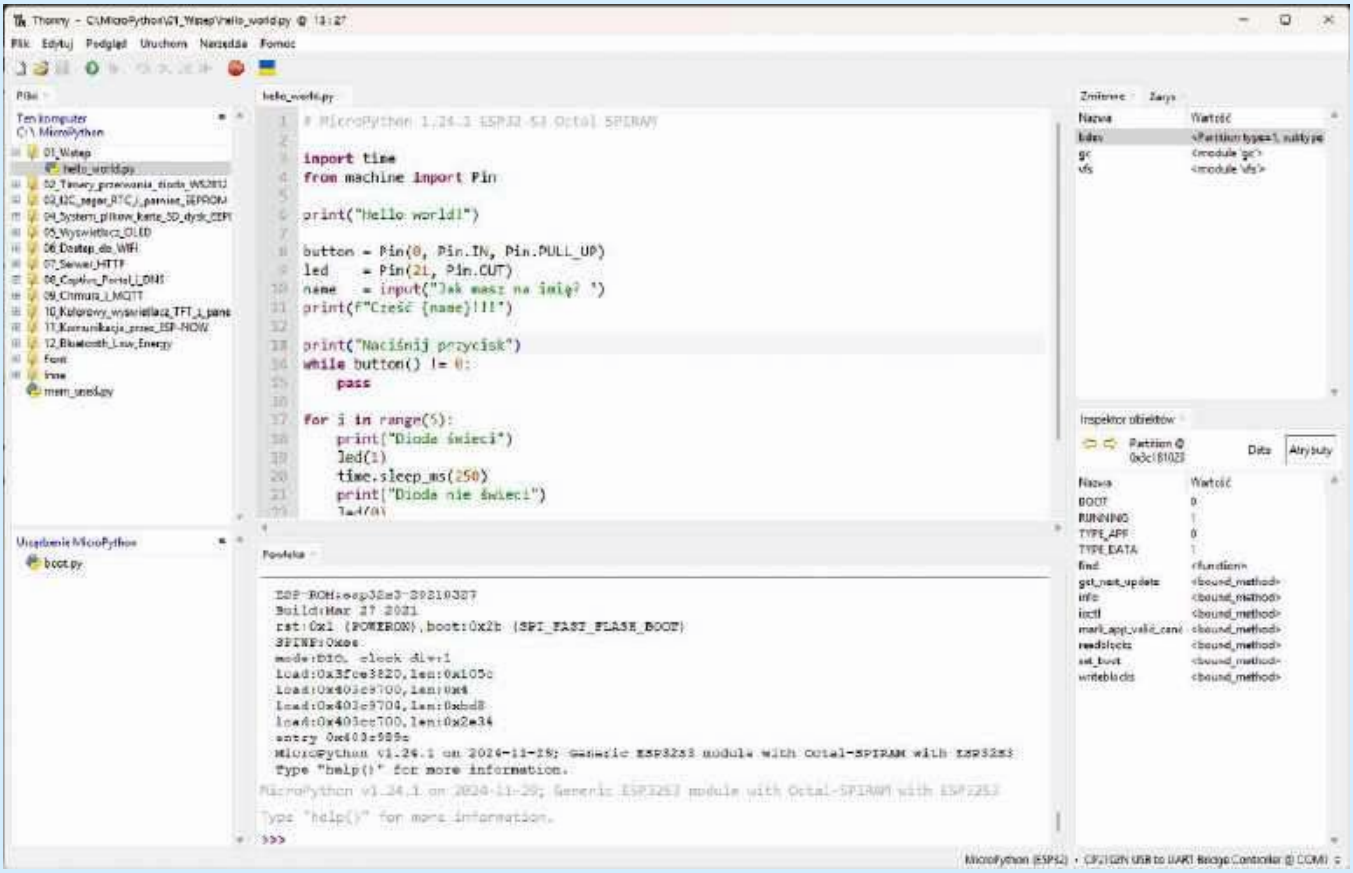
Wszystkie kody programów omawianych w kursie publikowane będą na GitHubie pod adresem [1]. Warto sklonować to repozytorium i przed każdym odcinkiem wykonać polecenie **git pull**.



Rysunek 1. Instalacja firmware z MicroPythonem w ESP32

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

eprasa.pl 50e19a3eb3



Rysunek 2. Program Thonny z włączonymi dodatkowymi funkcjonalnościami

W okienku **Pliki** po lewej stronie otwórz katalog kursu, aby mieć łatwy dostęp do wszystkich plików omawianych w tym i w kolejnych odcinkach. Otwórz plik **hello_world.py** z katalogu **01_Wstep**.

Program Thonny powinien wyglądać tak, jak to pokazano na **rysunku 2**.

Pierwszy program

Czas napisać pierwszy program! Jego celem będzie zademonstrowanie podstawowych funkcjonalności, takich jak wyświetlanie komunikatów na konsoli systemowej, pobieranie danych z konsoli, odczytywanie przycisku i miganie diodą LED co określony czas. Zobacz **listing 1**.

Programy w Pythonie rozpoczynamy najczęściej od zaimportowania bibliotek, które są używane naszym kodzie. Pierwsze dwie linie demonstrują dwa sposoby umożliwiające wykonanie tej operacji. W linii 1 pobieramy całą bibliotekę **time**, tzn. wszystkie

```
# Plik hello_world.py
import time                                 # 1
from machine import Pin                     # 2

print("Hello world!")                       # 3

button = Pin(0, Pin.IN, Pin.PULL_UP)        # 4
led    = Pin(21, Pin.OUT)                   # 5
name   = input("Jak masz na imię? ")        # 6
print(f"Cześć {name}!!!")                   # 7

print("Naciśnij przycisk")
while button():                             # 8
    pass                                    # 9

for i in range(5):                          # 10
    print("Dioda świeci")
    led(1)                                  # 11
    time.sleep_ms(250)                      # 12
    print("Dioda nie świeci")
    led(0)                                  # 13
    time.sleep_ms(250)                      # 14

print("Koniec programu!")
```

Listing 1. Kod pliku hello_world.py

klasy, funkcje, zmienne czy inne elementy, jakie w tej bibliotece są zawarte. W linii 2 natomiast pokazano przykład, jak z biblioteki można zaimportować tylko interesujące nas elementy. W tym przypadku z biblioteki **machine**, która zawiera kod obsługujący wszystkie peryferia sprzętowe, importujemy tylko klasę **Pin** do sterowania liniami GPIO.

W linii 3 korzystamy z funkcji **print()** do wyświetlenia komunikatu na konsoli. Napisy w Pythonie możemy umieszczać wewnątrz cudzysłowów „podwójnych" i 'pojedynczych'. Ponieważ jestem przyzwyczajony do składni C++, będę używał cudzysłowów podwójnych.

Przechodzimy do inicjalizacji peryferiów. Wszystkie piny wejścia i wyjścia zrealizowane są obiektowo (ale nie jest to reguła dla wszystkich peryferiów). W linii 4 tworzymy zmienną **button** i zapisujemy do niej obiekt obiekt klasy **Pin**. Ta klasa ma konstruktor, który wywołuje się, wpisując nazwę klasy z nawiasami okrągłymi. Wewnątrz nawiasów konstruktor przyjmuje argumenty służące do zainicjalizowania nowo tworzonego obiektu. W tym przypadku są to:

1. Pierwszy argument **0** to numer pinu, którym ma sterować tworzony obiekt. Pin GPIO 0 podłączony jest do przycisku BOOT.
2. Drugi argument **Pin.IN** oznacza, że pin ma być wejściem. Inne opcje możliwe do wyboru to **Pin.OUT** (czyli pin wyjściowy typu push-pull) lub **Pin.OPEN_DRAIN** (czyli wyjście z otwartym kolektorem).
3. Trzeci, opcjonalny argument **Pin.PULL_UP** włącza wewnętrzny rezystor podciągający do linii zasilania. Dostępny jest także rezystor ściągający wybraną linię do masy (**Pin.PULL_DOWN**).

W podobny sposób tworzymy obiekt do sterowania pinem podłączonym do diody LED (linia 5) – będzie to pin GPIO 26, skonfigurowany jako wyjście bez żadnych rezystorów pull-up ani pull-down.

W MicroPythonie możemy pobierać dane także z konsoli systemowej, podobnie jak w Pythonie na zwykłych komputerach. Przykład

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

eprasa.pl 50e19a3eb3

takiej operacji znajduje się w linii 6. Program wyświetli komunikat „Jak masz na imię?" i będzie czekał, aż użytkownik wpisze jakiś ciąg znaków i potwierdzi go klawiszem ENTER. Tak pobrany string zostanie zapisany do zmiennej **name**.

W linii 8 wyświetlimy zmienną **name** za pomocą funkcji **print()**. Zwróć uwagę, że jest pewna istotna różnica między liniami 8 i 3. W tym przypadku zastosujemy tzw. f-string, czyli napis objęty w cudzysłów poprzedzony literą f. Powoduje to, że Python wyszuka w stringu nazwy zmiennych, objętych w nawiasy klamrowe, a następnie wstawi wartości tych zmiennych (można je dodatkowo sformatować na różne sposoby).

Zobaczmy, jak odczytuje się stan przycisku na przykładzie z linii 8. Zadaniem programu jest kręcić się w pustej pętli tak długo, aż użytkownik naciśnie przycisk BOOT. Pętla while sprawdza, czy warunek jest spełniony i następnie wykonuje instrukcję **pass** (linia 9), która oznacza „nic nie rób". Warunkiem pętli jest to, by stan przycisku **button** był inny niż zero. Zwróć uwagę na nawiasy okrągłe za button(). Jest to skrócony zapis **button.value()**. Jeżeli przycisk jest wciśnięty, to funkcja zwróci 0, a w przeciwnym razie – wartość 1. Zatem wciśnięcie przycisku sprawia, że warunek pętli przestaje być prawdziwy, więc interpreter przechodzi do kolejnych linii kodu.

W linii 10 rozpoczynamy prostą pętlę, która wykona się 5 razy. Iteratorem pętli jest zmienna i, ale nie będziemy jej nigdzie używać. Zadaniem pętli jest pięciokrotne mrugnięcie diodą, którą steruje obiektem **led** utworzonym w linii 5.

Aby zmienić stan pinu, posługujemy się zapisem pokazanym w liniach 11 i 13. Alternatywnie możemy napisać także **led.value(1)**, ale zapis **led(1)** jest lepszy, bo wykona się trochę szybciej. Można także użyć **led.on()** lub **led.off()**.

Ostatnie do omówienia pozostały linie 12 i 14. W tych miejscach wywołujemy funkcję **sleep_ms()** z biblioteki **time**. Funkcja ta powoduje zatrzymanie programu na czas podany w nawiasach.

Testujemy na żywo!

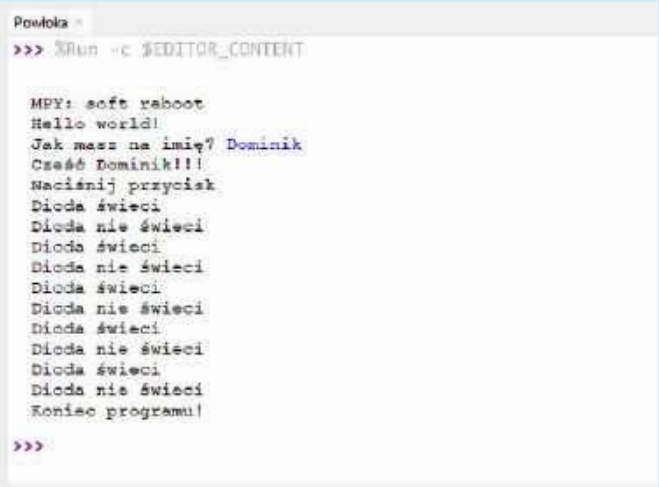
Włóż devboard z ESP32-S3 do płytki stykowej i podłącz diodę LED pomiędzy pin 26 i masę. Teoretycznie szeregowo z diodą powinieneś wstawić rezystor, ale piny w ESP32 mają wbudowany ogranicznik prądowy domyślnie ustawiony na 20 mA i większość diod LED powinna bez problemu wytrzymać takie obciążenie.

Aby uruchomić program, trzeba kliknąć przycisk z zielonym trójkątem na górnym pasku narzędzi lub nacisnąć klawisz F5. Zawartość aktualnie otwartego pliku zostanie przesłana do mikrokontrolera, po czym zostanie on uruchomiony przez MicroPythona w ESP32.

Efekt działania programu pokazano na **rysunku 3**. Najpierw program zapyta Cię o imię, a po otrzymaniu odpowiedzi wyświetli powitanie i kilka razy zaświeci diodę LED.

Spójrz teraz na okienko **Zmienne**. Są tam widoczne wszystkie zmienne użyte w programie oraz kilka obiektów systemowych. Możesz sprawdzić zawartość tych zmiennych.

To jeszcze nie koniec. Na samym dole konsoli systemowej znajduje się ciąg >>>, czyli tzw. znak zachęty informujący o tym, że w tym miejscu możemy wpisać jakieś polecenia. Spróbuj wpisać



Rysunek 3. Efekt działania testowego programu

import sys, a następnie **sys.implementation**. Po każdym poleceniu oczywiście naciśnij przycisk Enter. W konsoli wyświetli się krótka notka zawierająca informację o wersji MicroPythona.

```
>>> import sys
>>> sys.implementation
(name='micropython', version=(1, 24, 1, ''),
_machine='Generic ESP32S3 module with Octal-SPIRAM with
ESP32S3', _mpy=11014)
```

Tym sposobem możemy tworzyć nowe obiekty, modyfikować istniejące, a także wywoływać różne funkcje.

W następnym odcinku przyjrzymy się dokładniej klasie Pin, a także zobaczymy, w jaki sposób zastosować przerwania od pinów i timerów oraz jak sterować popularnymi diodami LED ze sterownikiem WS2812.

Zobacz więcej

1. Repozytorium kursu na GitHubie https://github.com/leonow32/micropython
2. Program Thonny https://thonny.org/
3. Kod źródłowy Thonny https://github.com/thonny/thonny
4. Dokumentacja MicroPythona https://docs.micropython.org/en/latest/
5. Firmware MicroPythona na różne mikrokontrolery https://micropython.org/download/
6. Firmware MicroPythona dla różnych wersji ESP32-S3 https://micropython.org/download/ESP32_GENERIC_S3/
7. Sterownik układu CP2102 https://www.silabs.com/developer-tools/usb-to-uart-bridge-vcp-drivers
8. Python dla Windows, Linux, Mac https://www.python.org/downloads/

Dominik Bieczyński
leonow32@gmail.com

REKLAMA

pl.linkedin.com/company/elektronika-praktyczna

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

eprasa.pl 50e19a3eb3

Kurs DSP Audio, czyli SigmaDSP dla każdego (2)

Środowisko SigmaStudio

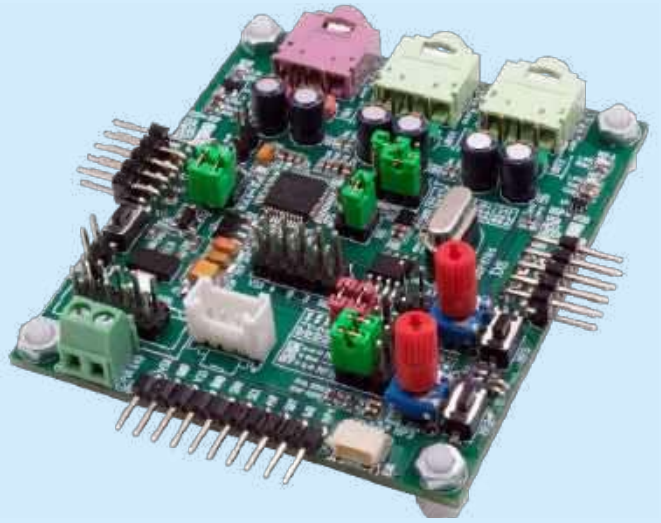
W poprzednim numerze EP opisany został zestaw uruchomieniowy DSP1701A_DSP_MK2 z procesorem ADAU1701A, którego wygląd pokazano na fotografii 1. Zgodnie z zapowiedzią tematem drugiej części kursu jest środowisko IDE SigmaStudio firmy Analog Devices – niezbędne do konfiguracji i programowania procesora DSP, za pomocą którego utworzymy pierwszy projekt testowy.

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

Przed rozpoczęciem pracy musimy przygotować uruchomioną płytkę DSP1701A_DSP_MK2 z zasilaczem 5 VDC/1 A, programator USBi oraz komputer PC z systemem Windows (który dla usprawnienia pracy powinien być wyposażony w kartę dźwiękową) i głośniki aktywne, choć można oczywiście użyć innego źródła sygnału audio i monitora. Niezbędne jest też okablowanie mini jack 3,5 mm stereo z adapterami RCA/jack, w zależności od użytego standardu gniazd zastosowanych we współpracujących urządzeniach.

SigmaStudio (**rysunek 1**) jest kompletnym, graficznym środowiskiem IDE wspierającym wszystkie procesory z rodziny SigmaDSP oraz niektóre inne układy audio z oferty Analog Devices. W aktualnej wersji 4.7.0.1381 można je pobrać ze strony: https://www.analog.com/en/resources/evaluation-hardware-and-software/software/ss_sigst_02.html#software-overview

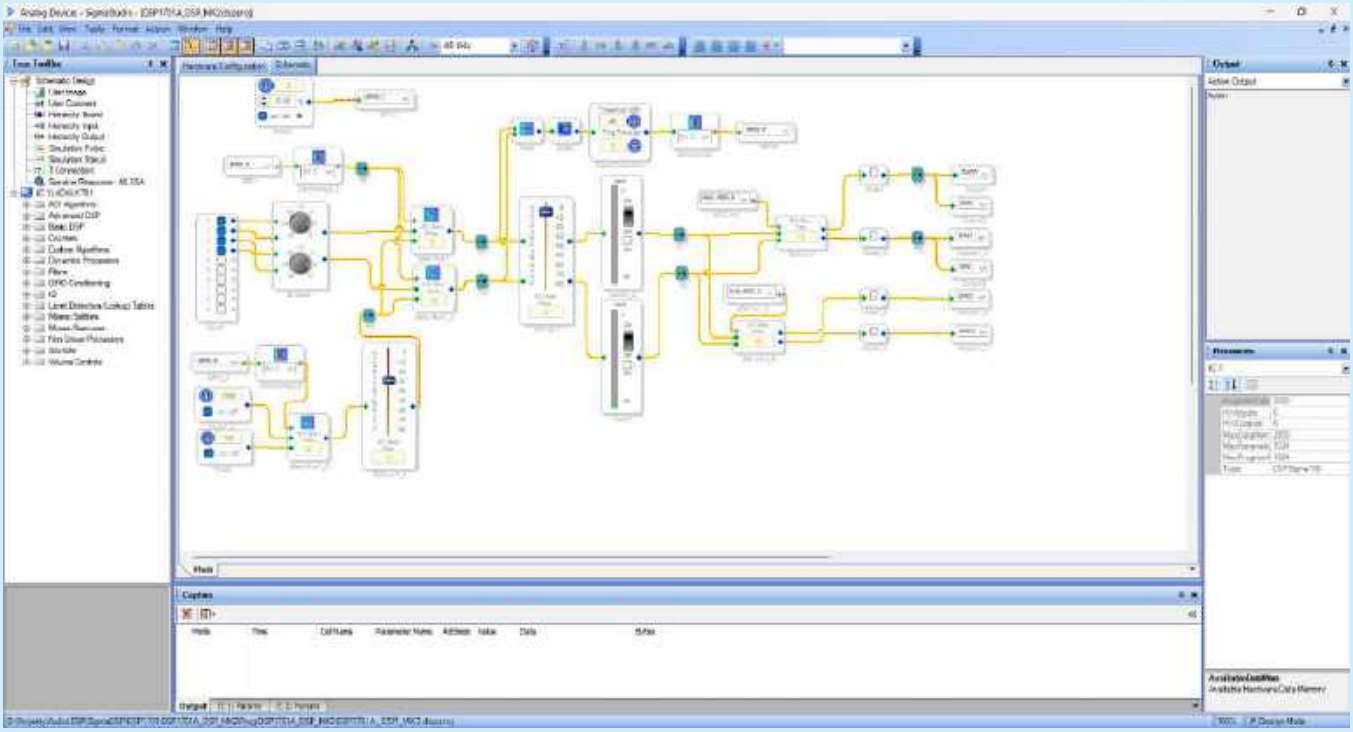
IDE dostępne jest nieodpłatnie, także do zastosowań komercyjnych. Do jego instalacji i uruchomienia niezbędny jest komputer z systemem Windows 7 lub wyższym oraz jeden wolny port USB, którego użyjemy do podłączenia programatora USBi. Oprogramowanie



Fotografia 1. Płytka bazowa DSP1701A_DSP_MK2

działa bez problemu także w Windows 11, niestety nie są natomiast wspierane inne systemy operacyjne. Instalacja za pomocą pliku `adi_sigmastudio-rel4.7-x64.exe` przebiega standardowo.

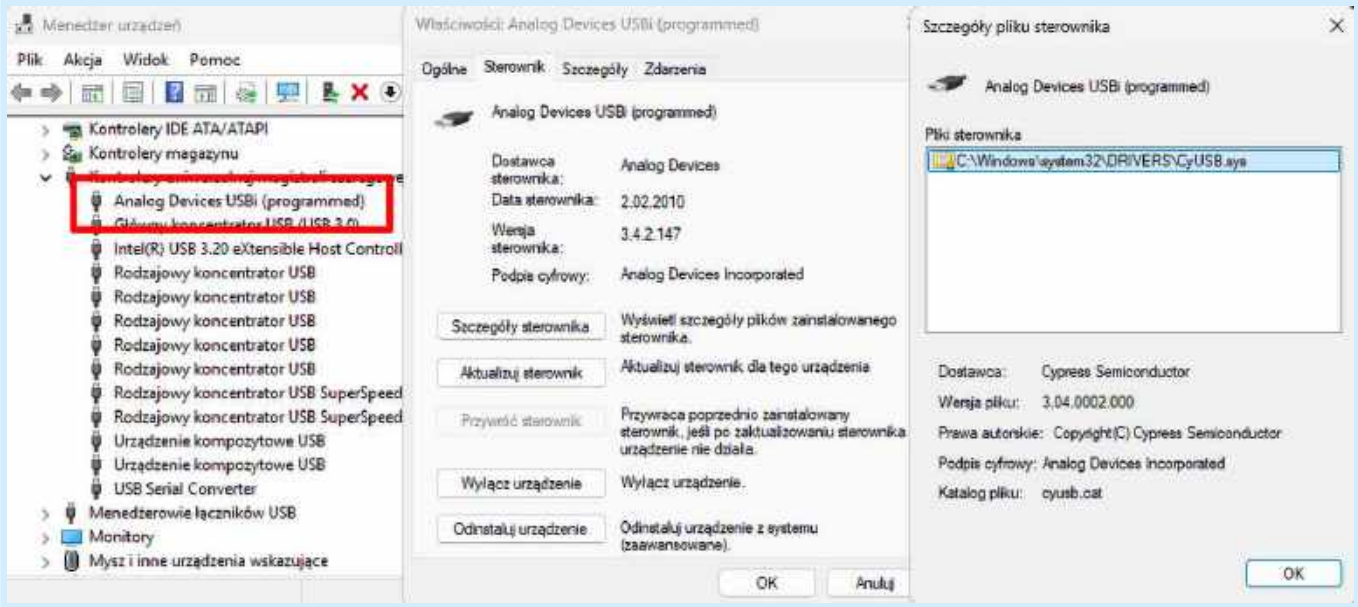
Ze względu na sygnalizowane problemy z działaniem programatora USBi na portach USB3.0/USBC, z którymi osobiście się nie



Rysunek 1. Oprogramowanie SigmaStudio

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

eprasa.pl 50e19a3eb3



Rysunek 2. Poprawnie zainstalowany programator USBi

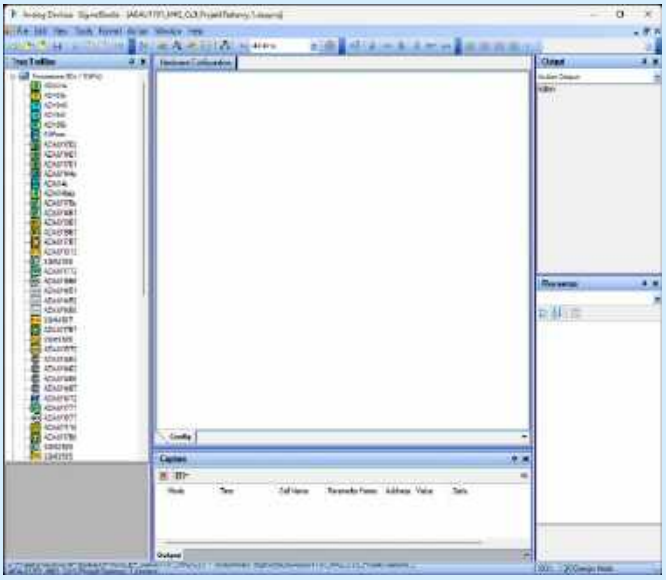
spotkałem, korzystając w mojej pracy z kilku konfiguracji PC, dla pewności lepiej korzystać z starszych portów USB2.0. Po instalacji SigmaStudio należy podłączyć programator USBi poprzez dołączony w komplecie przewód mini USB, tymczasowo jeszcze bez podłączonego zestawu DSP1701A_DSP_MK2. W menedżerze urządzeń, w zakładce ***Kontrolery uniwersalnej magistrali szeregowej***, powinna pojawić się pozycja ***Analog Devices USBi***, co potwierdza prawidłową instalację sterowników programatora (**rysunek 2**).

Po potwierdzeniu poprawności instalacji należy uruchomić SigmaStudio. Proces tworzenia aplikacji na procesory DSP składa się z czterech kroków.

Pierwszym krokiem, jaki należy wykonać po uruchomieniu oprogramowania, jest otwarcie nowego projektu z menu ***File\New Project*** (**Ctrl+N**). Wszystkie niezbędne pliki, podobnie jak w innych IDE, zgrupowane są w projekt zapisywany poleceniem ***File\Save*** (**Ctrl+S**), najlepiej w nowo utworzonym katalogu (w tym przypadku ***ADAU1701_MK2_Cz3_ProjektTestowy_1***). IDE umożliwia jednoczesną pracę z kilkoma projektami. Przy użyciu menu ***View*** mamy możliwość skonfigurowania dostępnych na ekranie zakładek narzędziowych oraz ustalenia powiększenia obszaru roboczego, co zaprezentowano na **rysunku 3**. W nowym projekcie, przed konfiguracją systemu DSP, widoczny jest czysty główny obszar roboczy, który – w zależności od podjętych działań – będzie uzupełniany o kolejne zakładki zawierające konfigurację sprzętową, konfigurację pamięci oraz właściwy (hierarchiczny) schemat aplikacji. Do rozpoczęcia pracy niezbędna jest widoczność zakładki ***Tree Toolbox***, zawierającej (w zależności od wykonywanej czynności): biblioteki obsługiwanych układów, programatorów lub biblioteki dostępnych algorytmów.

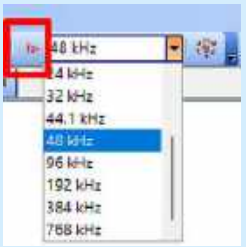
Budowa interfejsu użytkownika jest standardowa. Okno aplikacji podzielone jest na:

- obszar menu,
- obszar ikon poleceń,
- główny obszar projektu (***Program Window***), w którym po wyborze procesora DSP dostępne są główne zakładki schematu (***Schematic***) i konfiguracji sprzętowej (***Hardware Configuration***) z zakładkami konfiguracji systemu (***Config***), procesora DSP (***ICx 170x/140x Register Control***) i pamięci EEPROM (***ICx – WinE2PromLoder***),
- ***ToolBoxy*** z układami procesorów SigmaDSP, pozostałymi konfigurowalnymi układami audio oraz elementami bibliotecznymi, wyświetlanymi w zależności od aktywnej zakładki w oknie głównym projektu,



Rysunek 3. Środowisko SigmaStudio z utworzonym nowym projektem testowym ADAU1701_MK2_Cz3_ProjektTestowy_1

a)



b)

Rysunek 4a, b. Ustawienie częstotliwości f_s i potwierdzenie ustawień

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

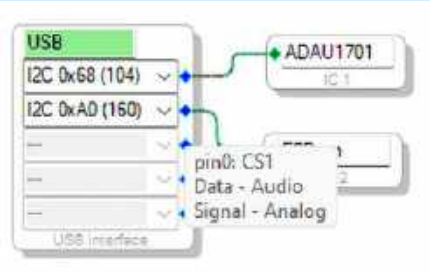
eprasa.pl 50e19a3eb3

- okienka statusu wyświetlające informacje o zasobach systemowych DSP i pamięci EEPROM (***Resources***), umożliwiające podgląd zawartości plików generowanych przez kompilator i linker (***Output***) oraz informacje o komunikacji programatora z DSP, pozwalające na podgląd przesyłanych danych i parametrów wraz z możliwością ich edycji (***Capture Window***),
- paska statusu, raportującego stan projektu oraz komunikacji z programatorem USBi.

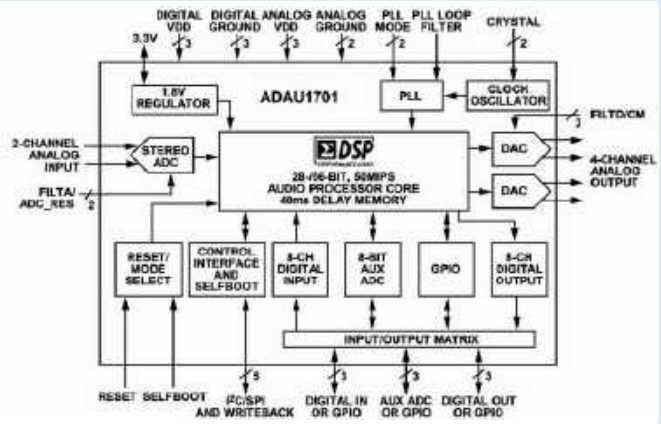
Drugim krokiem po założeniu nowego projektu jest konfiguracja zestawu DSP1701A_DSP_MK2. Konieczna jest weryfikacja ustawienia zwór odpowiadających za działanie układu PLL – powinny się znajdować w położeniu ustalającym krotność 256 częstotliwości próbkowania f_s (zwora M0: zwarte wyprowadzenia 2–3, zwora M1: zwarte 1–2). W przypadku zestawu DSP1701A_DSP_MK2 z zastosowanym kwarcem 11,2896 MHz i ustawioną krotnością PLL=256 częstotliwość próbkowania f_s wynosi 44,1 kHz, odpowiadając próbkowaniu materiału audio na płycie CD. Przy wyborze kwarcu 12,288 MHz system skonfigurowany jest do obróbki z próbkowaniem 48 kHz, czyli zgodnej z materiałem audio zapisywanym na płytach DVD. W celu zmiany fs z listy rozwijanej paska narzędzi, zgodnie z **rysunkiem 4a**, należy wybrać wartość 48 kHz i ustawić ją jako domyślną częstotliwość próbkowania systemu, co zostanie potwierdzone odpowiednim komunikatem, pokazanym na **rysunku 4b**. Opisane czynności przy wyborze fs dostępne są też w menu ***Action\Set System Sampling rate*** (**Ctrl+U**). Zmiana f_s możliwa jest także podczas edycji projektu, należy jednak panować nad ustawieniami, gdyż niepoprawne skonfigurowanie może prowadzić do problemów z funkcjonowaniem procesora DSP. Następnie należy ustawić zworę układu generatora w położenie OSC, aktywując tym samym taktowanie DSP sygnałem z wbudowanego generatora. Podczas uruchamiania projektu testowego będziemy korzystać z zewnętrznego zasilacza 5 V, w związku z tym musimy zdjąć zworę USBi5V i podłączyć zasilanie do złącza PWR5V. Pomimo możliwości zasilania z wykorzystaniem napięcia 5 V z programatora USBi, jest to rozwiązanie **zdecydowanie niezalecane** ze względu na spadek napięcia na kluczach programatora, co – w połączeniu z gorszej jakości zasilaniem z portu USB – może skutkować niepoprawnym działaniem płytki zasilanej zaniżonym napięciem. To zaś ma wpływ m.in. na działanie obwodów WB i RESET. Należy także pamiętać, by zdjąć pozostałe zwory, szczególnie I²C/SBT i WP.

Kolejną czynnością jest ustalenie konfiguracji sprzętowej ***Hardware Configuration*** odpowiadającej płytce DSP1701A_DSP_MK2. Zakładając, że planujemy pracę „samodzielną" zestawu, w obszar roboczy musimy przeciągnąć z Toolboxa bloczki: pocesora DSP ADAU1701A, pamięci E2PROM, programatora USBi oraz odpowiednio je połączyć, co pokazano na **rysunku 5**. Każdy z bloczków ma „punkty" przyłączeniowe, które – w zależności od typu – oznaczone są różnymi kolorami:

- zielony – wejście audio,
- niebieski – wyjście audio,
- czerwony – sterowanie oraz GPIO.



Rysunek 5. Konfiguracja sprzętowa i informacja o typie wyprowadzenia



Rysunek 6. Schemat blokowy ADAU1701A (za notą Analog Devices)

Po ustawieniu kursora myszy nad wybranym punktem otrzymujemy krótką informację o rodzaju sygnału dostępnego na połączeniu, co widać na rysunku 5. Warto zapoznać się z wyświetlaną informacją, gdyż połączenie nieodpowiednich punktów może powodować błędy lub problemy z działaniem aplikacji. Typy łączonych sygnałów muszą się zgadzać – jest to szczególnie istotne w przypadku korzystania z GPIO ADC, gdzie bardzo często mylony jest sygnał audio ze sterującym sygnałem analogowym, pochodzącym z przetwornika ADC GPIO. Podobna sytuacja ma miejsce np. wtedy, gdy nie są zachowane typy zmiennych sterujących pracą bloków funkcjonalnych (np. multiplekserów lub regulatorów głośności), co zostanie opisane w dalszej części kursu przy okazji obsługi GPIO.

Przy konfiguracji USBi należy zwrócić szczególną uwagę na typ magistrali komunikacyjnej i adresy poszczególnych układów. USBi umożliwia programowanie całej rodziny procesorów Sigma DSP przy użyciu interfejsów I²C i SPI, podobnie jest w przypadku pamięci EEPROM. ADAU1701 w zestawie Sigma DSP komunikuje się z EEPROM i USBi poprzez interfejs szeregowy I²C. W związku z możliwością wyboru adresów ADAU1701 i EEPROM należy każdorazowo skontrolować poprawność ich konfiguracji (ADAU1701 – 0x68, E2PROM – 0xA0). Jest to bardzo ważny punkt, ponieważ:

Uwaga: programator USBi ma wbudowaną pamięć EEPROM, której pomyłkowe zaprogramowanie, np. przy błędnym ustawieniu adresu, spowoduje jego trwałe uszkodzenie. Zawsze przy współpracy z zestawem DSP1701A_DSP_MK2 należy używać domyślnych adresów ADAU1701 – 0x68, EEPROM – 0xA0!

W przypadku projektowania własnego sprzętu pracującego w trybie SELFBOOT należy ustawić adres pamięci EEPROM bez zmian (0xA0), ponieważ ADAU1701A obsługuje odczyt tylko z tej lokacji – sam procesor DSP może mieć inny adres magistrali I²C.

Trzecim krokiem jest odpowiednie skonfigurowanie części sprzętowej procesora DSP. Konfiguracja oczywiście zależna jest od realizowanego projektu. Dla przypomnienia warto spojrzeć na budowę wewnętrzną ADAU1701A, którą pokazano na **rysunku 6** i określić bloki funkcjonalne używane w projekcie, które będą wymagały konfiguracji.

Po skonfigurowaniu systemu w obszarze roboczym pojawiają się dwie dodatkowe zakładki: ***IC1-1701x/1401x Register Control*** i ***IC2 – WinE2PromLoader***, odpowiadające elementom składowym DSP1701A_DSP_MK2.

W pierwszej zakładce, pokazanej na **rysunku 7**, ustalamy wewnętrzną konfigurację rejestrów ADAU1701A: ustawiamy cykl programu DSP, wybieramy i konfigurujemy aktywne interfejsy sygnału audio AD/DA, konfigurujemy porty szeregowe Serial Input, Output, aktywujemy i konfigurujemy tryb GPIO oraz współpracujące wyprowadzenia GPIO (Control ADC). Szczegółowe opisy konfiguracji zależą od aplikacji DSP i będą pokazywane na przykładach

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

eprasa.pl 50e19a3eb3

w kolejnych częściach kursu. Projekt testowy nie wymaga zmian w domyślnej konfiguracji.

W drugiej zakładce (**rysunek 8**) zgrupowane są operacje przeznaczone do obsługi pamięci EEPROM. Możliwe jest ustawienie parametrów pamięci (takich jak wielkość i długość bufora zapisu), dostępne są operacje kasowania, programowania i odczytu pamięci wraz z podglądem jej zawartości i możliwością wykonywania operacji plikowych (zapis/odczyt).

Oprócz zakładki ***WinE2Prom Loader*** konieczna jest jeszcze dodatkowa parametryzacja EEPROM w zakładce ***Config***. W tym celu, po zaznaczeniu bloku E2Prom, klikamy na nim prawym klawiszem myszy w celu wywołania menu podręcznego, pokazanego na **rysunku 9**.

Po wybraniu opcji ***Properties*** uzyskamy dostęp do dodatkowych ustawień konfiguracji pamięci EEPROM, zgodnie z **rysunkiem 10**.

W tym miejscu możemy skonfigurować (oprócz wcześniejszych ustawień) dodatkowo prędkość transmisji I²C i długość rejestru adresowego pamięci. Wpisane wartości odpowiadają konfiguracji pamięci 24LC256T.

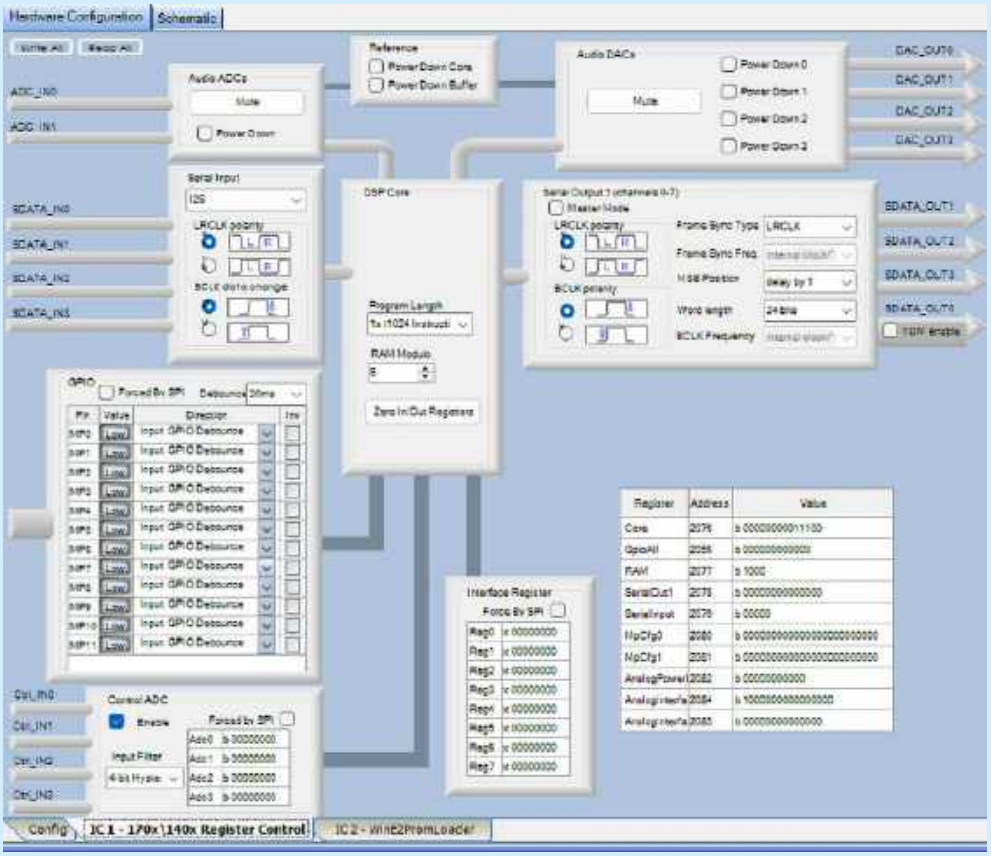
Uwaga: w przypadku błędów programowania warto sprawdzić zawartość tej zakładki i zweryfikować poprawność ustawień z kartą katalogową producenta EEPROM.

Po konfiguracji pamięci EEPROM należy zamknąć okno i zapisać zmiany w projekcie.

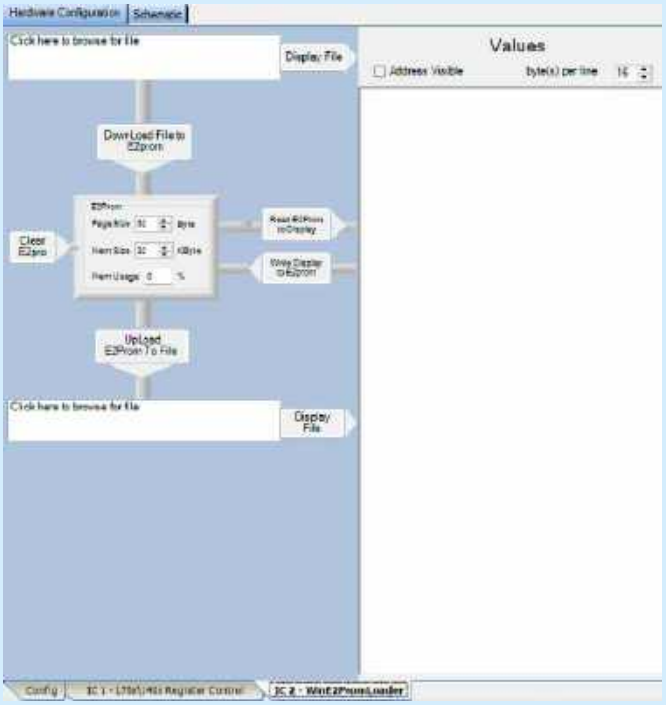
Czwartym i ostatnim krokiem jest utworzenie schematu aplikacji, weryfikacja jego działania i zaprogramowanie DSP. W tym celu przechodzimy do zakładki ***Schematic*** w obszarze roboczym – po przełączeniu zakładek zmieni się zawartość toolboxa i będzie on zawierał narzędzia do tworzenia schematu (***Schematic Design***) oraz biblioteki bloków (***IC1-ADAU1701***), obsługiwanych przez procesor ADAU1701A.

Obsługa edytora jest intuicyjna: do obszaru roboczego przeciągamy elementy z biblioteki bloków lub narzędzi do tworzenia schematu, odpowiednio je łącząc, co pokazano na **rysunku 11**.

Do schematu można dodawać opisy (***User Comment***) i grafiki (***User Image***). Połączenia pomiędzy blokami tworzone są automatycznie, co wymaga czasem korekty przebiegu „drutu". Po wskazaniu pierwszego punktu połączenia i przytrzymaniu lewego klawisza myszy należy przemieścić kursor nad punkt docelowy – w ten sposób połączenie zostanie utworzone. W dowolnym momencie możliwa jest modyfikacja przebiegu połączenia poprzez kliknięcie na przewodzie i odpowiednie przesunięcie podświetlonych uchwytów. Po wybraniu łącznika i kliknięciu prawym przyciskiem myszy pojawi się menu podręczne z dodatkowymi opcjami edycji połączenia, takimi jak: usunięcie, dodanie kolejnych punktów uchwytu, usunięcie ustawień użytkownika, wyrównanie obiektów względem połączenia. Aby dodać rozgałęzienie połączenia sygnału, trzeba użyć narzędzia ***T Connection***. Należy zwrócić uwagę na użycie bloku ***T Connection*** odpowiedniego dla procesora DSP, gdyż kompilator nie sygnalizuje błędów, a program przygotowany na ADAU1701



Rysunek 7. Konfiguracja wewnętrzna DSP ADAU1701A



Rysunek 8. Konfiguracja i obsługa pamięci E2PROM

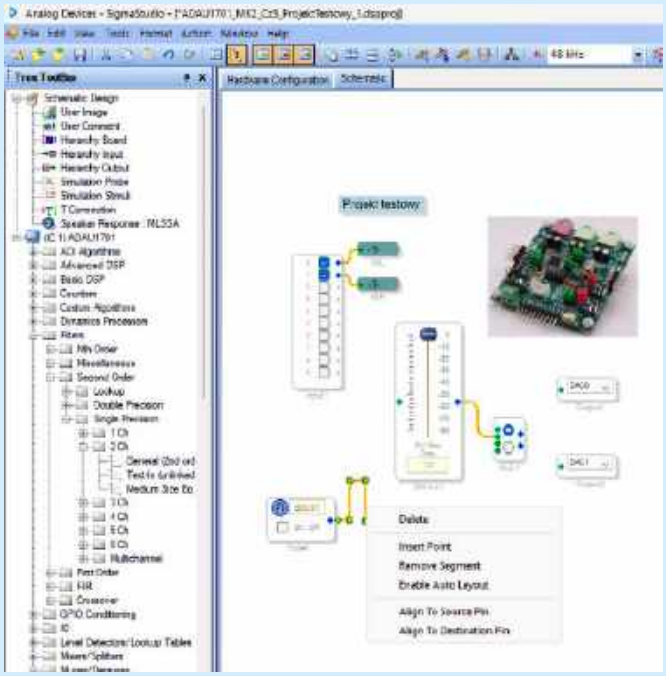
Rysunek 9. Menu właściwości E2Prom

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

eprasa.pl 50e19a3eb3

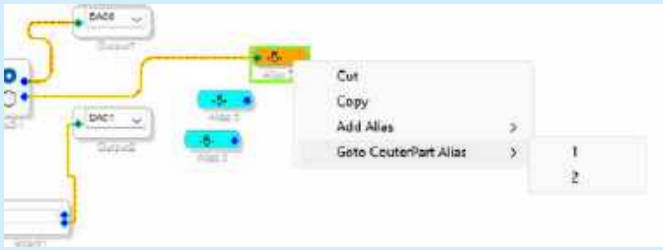
nie będzie działał poprawnie np. po użyciu bloku ***T Connection*** przeznaczonego dla ADAU1772. Aby zachować czytelność schematu, możliwe jest – zamiast prowadzenia „długich” połączeń przewodowych – zastosowanie etykiet (Alias) do każdego sygnału. W celu użycia etykiety należy wybrać niepodłączony punkt podłączeniowy bloku i para etykiet zostanie dodana automatycznie. Edycja etykiety dostępna jest pod prawym przyciskiem myszy – możemy zmienić nazwę, dodać, skopiować, wyciąć lub znaleźć etykietę źródłową bądź docelową, co pokazano na **rysunku 12**.

Rysunek 10. Okienko parametrów EEPROM



Rysunek 11. Edytor schematów SigmaStudio

Edycja bloków funkcjonalnych odbywa się w klasyczny sposób, bloki można przesuwać, usuwać, zaznaczać, zarówno pojedynczo, jak i grupami, a ponadto możliwa jest edycja nazw i parametrów. Nie odbiega to zatem od standardowej obsługi obiektów w systemie Windows. Podczas rysowania schematu warto zadbać o jego czytelność – oprócz „ręcznego” korygowania przebiegu połączeń jest kilka narzędzi edycyjnych, dostępnych w menu (***Format\Align***) i ułatwiających rozmieszczenie oraz wyrównanie bloków funkcjonalnych. Wyrównanie odbywa się po zaznaczeniu bloków i wskazaniu opcji: Center Vertical/Horizontal, Left/Right, Top/Bottom (**Ctrl+E/H**, **+L/R**, **+T/B**) lub po wybraniu odpowiedniej ikony z paska narzędzi, pokazanego na **rysunku 13**.

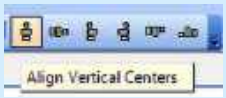


Rysunek 12. Narzędzia etykiet

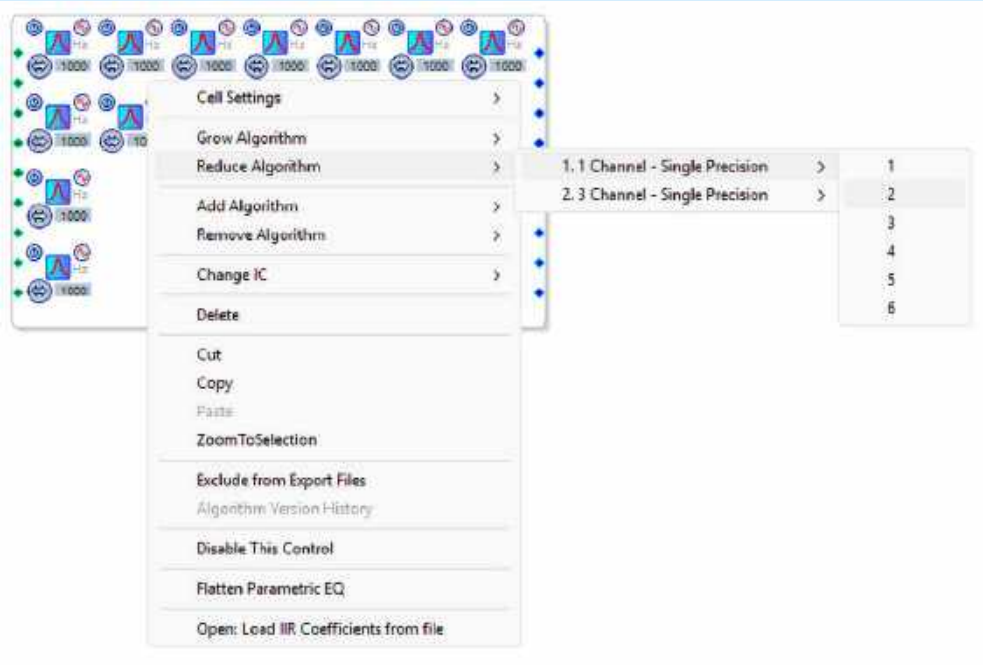
Niektóre z bloków funkcjonalnych mogą zostać rozbudowane o obsługę większej liczby kanałów, np. poprzez dodanie kolejnych kanałów regulatora głośności lub zwiększenie liczby regulowanych parametrów (nowe częstotliwości regulacji korektora graficznego). Odpowiednie menu, pokazane na **rysunku 14**, dostępne jest po zaznaczeniu bloku i naciśnięciu (poza obszarem zmiany parametrów) prawego klawisza myszy w obszarze bloku, który chcemy rozbudować. Analogicznie możemy zredukować konfigurację oraz przeprowadzić pozostałe operacje edycyjne. Wybierając odpowiednio opcje **Grow/Reduce** i **Add/Remove**, dostosowujemy blok do obróbki odpowiedniej liczby kanałów lub zwiększamy liczbę obrabianych parametrów.

Edycja parametrów odbywa się w sposób intuicyjny, gdyż większość bloków wyposażona jest w przyciski, suwaki, pokrętła lub pola tekstowe, do których dostęp uzyskujemy po przyciśnięciu prawego klawisza myszy na odpowiednim elemencie manipulacyjnym, aktywując menu zmiany parametrów, co pokazano na **rysunku 15**.

Tak jak wspominałem, edytor schematów jest hierarchiczny, co ułatwia tworzenie bardziej złożonych aplikacji, wprowadza porządek oraz przyspiesza późniejszą analizę działania układu. Zawsze głównym (nadrzędnym) schematem jest arkusz (zakładka) ***Main***, podrzędne schematy tworzone są narzędziem ***Hierarchy Board*** – zasady rysowania



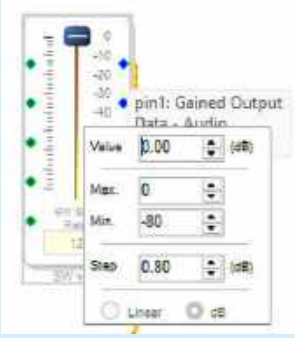
Rysunek 13. Narzędzia wyrównania elementów



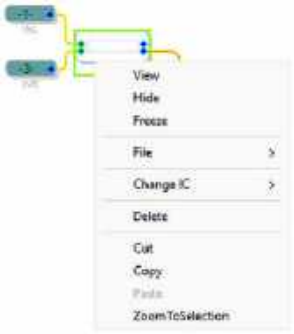
Rysunek 14. Narzędzia edycji bloku

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

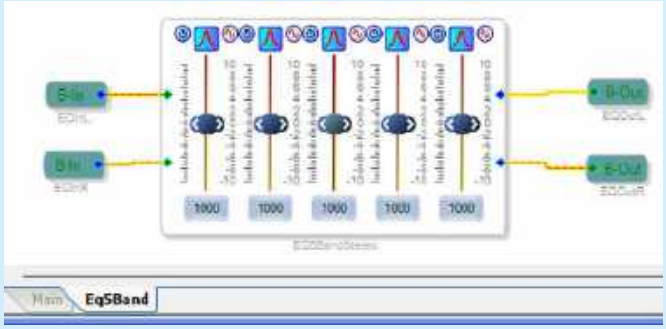
eprasa.pl 50e19a3eb3



Rysunek 15. Narzędzia edycji parametrów bloku



Rysunek 17. Narzędzia edycji bloku hierarchicznego



Rysunek 16. Przykładowy blok hierarchiczny Eq5Band

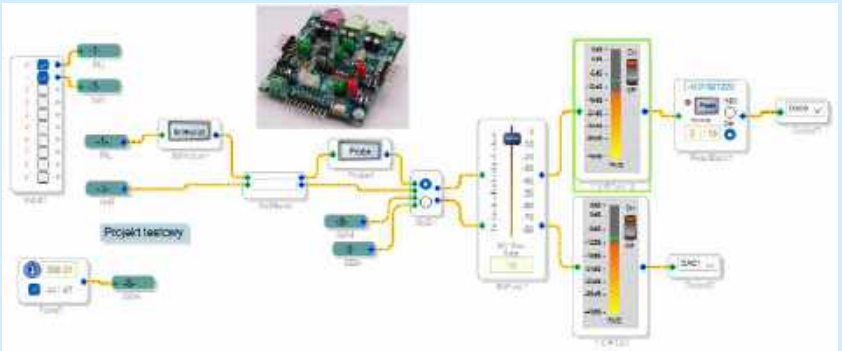
schematów w blokach są identyczne. Aby umożliwić podłączenie sygnałów do schematów nadrzędnych, należy użyć narzędzi ***Hierarchy Input/Output***. Każdy blok hierarchiczny dostępny jest poprzez zakładkę odpowiadającą jego nazwie – przykład zamieszczono na **rysunku 16**.

Dodatkowe menu obsługi bloku hierarchicznego dostępne jest po jego zaznaczeniu i przyciśnięciu prawego klawisza myszy. W menu dostępne są opcje ograniczające dostęp: **Hide/Freeze**. **Hide** ukrywa zawartość zakładki bloku i zapewnia ochronę hasłem. Opcja ta jest przydatna, gdy musimy udostępnić działający algorytm, a nie mamy zamiaru ujawniać sposobu jego realizacji. **Freeze** zabezpiecza natomiast możliwość wprowadzania nieautoryzowanych zmian w konfiguracji bloku. Opcje podmenu **File** umożliwiają odczyt lub zapis bloku na dysk w celu użycia w innych projektach – oczywiście o ile nie jest on zabezpieczony wcześniej opisanymi funkcjami.

Każdy biblioteczny blok funkcjonalny ma dostępną rozbudowaną pomoc kontekstową, zawierającą opis działania, wejść/wyjść i typów sygnałów wymaganych do poprawnej pracy. Dostęp do pomocy jest możliwy po zaznaczeniu bloku lewym klawiszem myszy i przytrzymaniu klawisza F1, co pokazano na **rysunku 17**. Pomoc jest dostępna także podczas pracy z SigmaStudio – warto z niej skorzystać, gdyż znajduje się tam wiele cennych i ciekawych wskazówek, a czasami nawet gotowych rozwiązań układowych. Pomocne są też: strona Wiki prowadzona przez Analog Devices (**rysunek 18**):
https://wiki.analog.com/resources/tools-software/sigmastudio#sigmastudio_and_sigmadsp_documentation
oraz forum DSP:
https://ez.analog.com/dsp/sigmadsp/.

Jeżeli powyższe kroki zostały wykonane, najwyższy czas zabrać się do narysowania aplikacji testowej ***ADAU1701_MK2_Cz3_ProjektTestowy_1.dspproj***. Należy to zrobić zgodnie z **rysunkami 19** i **20**. Aplikacja korzysta z wejść analogowych IN1 (Input 0/1) oraz wyjścia analogowego OUT1. Sygnały z wejść doprowadzone są do pięciopasmowego korektora graficznego, a następnie do multipleksera umożliwiającego wybór pomiędzy sygnałem wejściowym a przebiegiem sinusoidalnym 500 Hz z wbudowanego generatora. Następnie sygnał doprowadzany jest do regulatora poziomu i – poprzez wskaźniki wysterowania – wyprowadzony na wyjścia analogowe DAC0,1. W tor korektora włączone są bloki Stimuls i Probe umożliwiające wykreślenie charakterystyki przenoszenia, co ułatwia projektowanie różnego rodzaju filtrów. Bloki Stimuls, Probe i wskaźniki wysterowania są podstawowymi elementami do oceny działania aplikacji. Należy tylko zwrócić uwagę, że wskaźniki wysterowania zużywają zasoby DSP i wymagają stałego połączenia z SigmaStudio, gdyż część obliczeń jest wykonywana w IDE. Bieżący odczyt poziomu należy każdorazowo aktywować przyciskami na wskaźniku lub z poziomu menu ***Action\Enable*** (***Disable***) ***All Level Detectors*** (**Ctrl+F9/F10**). Pomocny w uruchamianiu jest też blok ***DSP Readback*** służący do odczytu wartości z dowolnego miejsca w algorytmie, w przeciwieństwie do bloku wskaźnika wysterowania, który może być podłączony tylko do sygnału analogowego audio. Opisywany blok przydaje się przykładowo do określenia wartości sygnałów sterujących blokami, w których parametry konfigurowane są zewnętrznym indeksem, bądź też do weryfikacji działania logiki. Podobnie jak wskaźnik poziomu, blok wymaga połączenia DSP z SigmaStudio. W ***DSP Readback*** można określić format odczytywanej wartości z przeliczeniem na wartość HEX, a także – z poziomu menu podręcznego – określić częstotliwość

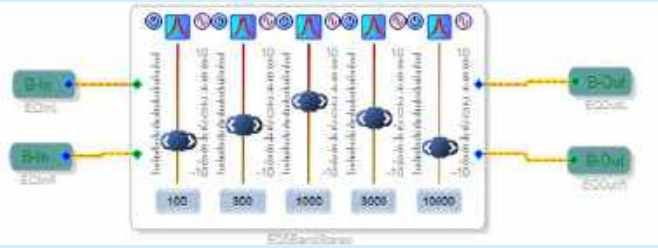
Rysunek 18. Pomoc programu SigmaStudio dostępna poprzez stronę Wiki (z materiałów Analog Devices)



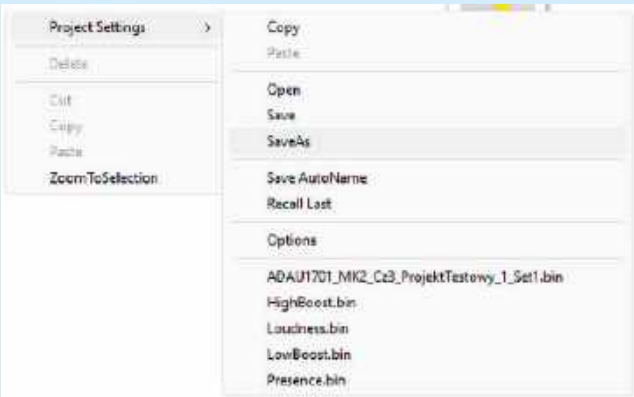
Rysunek 19. Schemat aplikacji testowej

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

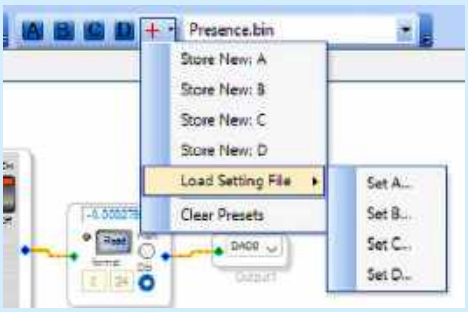
eprasa.pl 50e19a3eb3



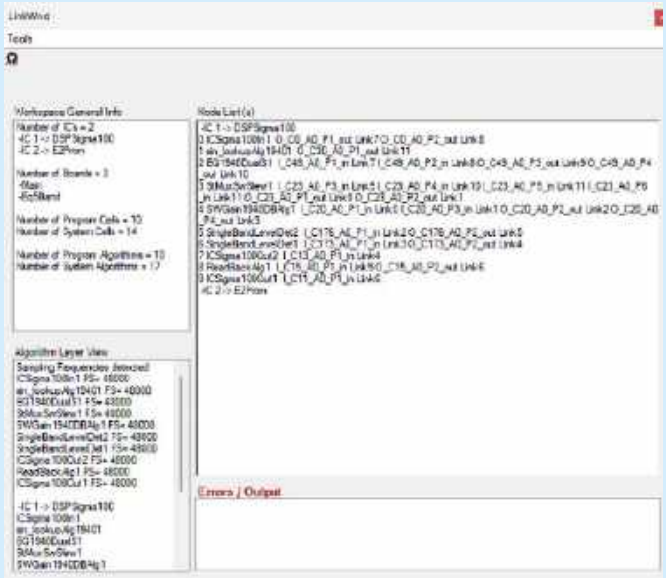
Rysunek 20. Blok hierarchiczny korektora Eq5Band



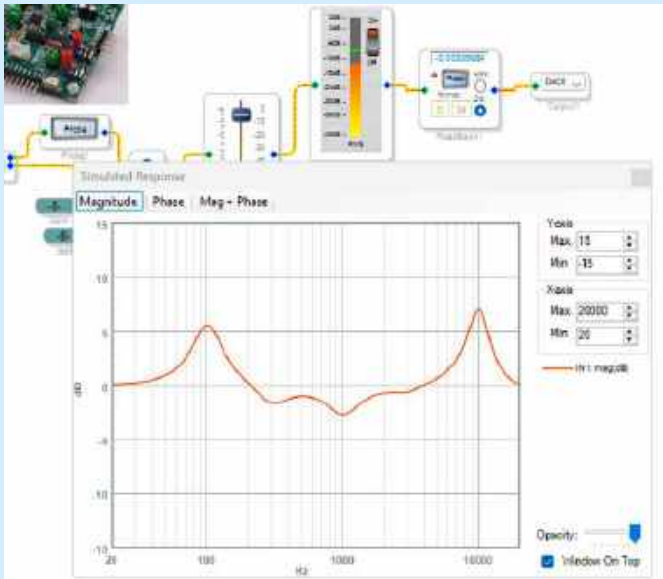
Rysunek 21. Zapis parametrów na dysku



Rysunek 22. Dostępne zestawy parametrów



Rysunek 23. Wynik linkowania projektu



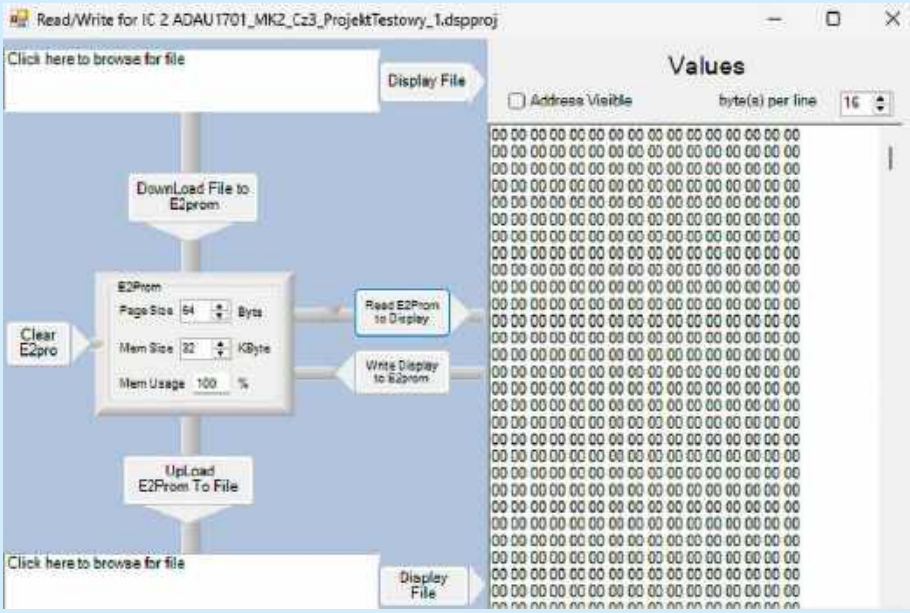
Rysunek 24. Przykładowa charakterystyka korekcji uzyskana z użyciem narzędzi Probe/Stimuls

odczytu automatycznego. Przy stosowaniu bloków ***DSP Readback*** należy jednak zachować umiar, gdyż DSP obsługuje ich ograniczoną liczbę, a każdy dodatkowy, zbędny odczyt spowalnia komunikację z DSP. Odczyt bloków aktywowany jest w menu ***Action/Enable*** (***Disable***) ***All Continous ReadBack Controls*** (**Ctrl+F11/12**).

Kolejnym przydatnym narzędziem są zestawy nastaw, umożliwiające zapisanie ustawień projekt na dysku oraz przypisanie ich do skrótów w menu (w celu szybkiego przełączania), zamiast mozolnego ustawiania kilkunastu pojedynczych parametrów. Aby zapisać parametry na dysk, w dowolnym pustym miejscu w głównym schemacie, prawym przyciskiem myszy wybieramy menu podręczne – zgodnie z **rysunkiem 21**. Poleceniem ***SaveAs*** możemy zapisać zestaw parametrów na dysk. Ustawienia zapisywane są w plikach binarnych, w katalogu projektu, w podkatalogu ***Settings***.

Cztery zapisane zestawy parametrów można dla wygody przypisać do przycisków paska poleceń, zgodnie z **rysunkiem 22** i zmieniać je w czasie rzeczywistym w celu oceny działania aplikacji.

Tak w skrócie wygląda obsługa Sigma Studio – prawda, że prosta? No



Rysunek 25. Narzędzie do obsługi pamięci EEPROM

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

eprasa.pl 50e19a3eb3

może z wyjątkiem poszukiwania właściwego bloku w bibliotece – trzeba to robić ręcznie, bo nie ma żadnego mechanizmu filtrowania lub wyszukiwania. Podobnie nie znalazłem sposobu na sprawdzenie, z jakiego katalogu w ***Toolboxie*** pobrany został blok na schemacie – po pewnym czasie jednak zapamiętuje się lokacje używanych bloków. Warto wspomnieć o – czasami nieprzewidywalnym – zachowaniu edytora schematów. Gdy mamy zamiar kopiować metodą **Ctrl+C/V**, wstawione w ten sposób bloki zachowują się niekiedy jak grafika... Po wklejeniu tracimy dostęp do nastaw, nie polecam więc tej metody, gdy potrzebujemy kilka jednakowych bloków – najlepiej wstawić je po kolei z ***ToolBoxa*** lub poprzez wstawienie zapisanego na dysk bloku użytkownika – wbrew pozorom zaoszczędzimy w ten sposób czas. Sporadycznie zdarza się też nieprawidłowe działanie opcji powiększenia schematu – po zmianie widoku ekran „zamraża" się i ponownie nie mamy dostępu do parametrów bloków – w tym przypadku pomaga zapisanie projektu i restart SigmaStudio. Dla wygody i łatwiejszej nawigacji warto korzystać z bloków hierarchicznych, ograniczając liczbę elementów w okienku schematu i konieczność częstego przewijania ekranu.

W tym miejscu wreszcie można podłączyć programator do zestawu. Wzajemne położenie złączy USBI i PWR5V w zasadzie uniemożliwia odwrotne podłączenie programatora, ale warto sprawdzić przed włączeniem, czy przypadkiem coś takiego się nie zdarzyło, bo konsekwencje mogą być kosztowne. Następnie do wejścia IN podłączamy źródło sygnału, do wyjścia OUT1 głośniczki PC lub wzmacniacz, a do wspomnianego wcześniej gniazda USBi – programator. Kolejny krok to podłączenie zasilania do złącza PWR5V oraz programatora do portu USB. Na płytce programatora USBi powinna zaświecić się czerwona LED sygnalizująca zasilanie oraz żółta – potwierdzająca detekcję I²C. Na płytce AudioDSP powinna natomiast zostać załączona zielona dioda LED V50, sygnalizująca obecność zasilania na szynie o tej samej nazwie.

Po narysowaniu schematu i konfiguracji DSP (po otwarciu projektu ***ADAU1701_MK2_Cz3_ProjektTestowy_1.dspproj***, konfiguracja odbędzie się automatycznie) należy projekt poddać linkowaniu, wybierając z menu ***Action\Link Project*** lub ikonę albo skrót (**Ctrl+I**). W wyniku kompilacji dostajemy informację o systemie, użytych zasobach i oczywiście – w najlepszym przypadku – o braku błędów, zgodnie z rysunkiem 23. Najczęstsze błędy w edytorze to niepodłączone wejścia bloków na schemacie lub zagubione etykiety. Następnie należy projekt skompilować poprzez ikonę ***Link Compile Connect***. Po kompilacji warto sprawdzić prawy fragment paska statusu, jest w nim wyświetlana informacja o statusie projektu. Przed podłączeniem USBi SigmaStudio pracuje w trybie edycji projektu Design Mode, po linkowaniu i kompilacji, jeżeli nie ma błędów zmienia status na skompilowany i gotowy do programowania Ready: Compiled. Po wyborze opcji menu ***Action\Link Compile Download*** (**F7**) lub ikony projekt zostaje załadowany do pamięci DSP, co sygnalizowane jest migotaniem diod I²C w programatorze. Poprawne załadowanie potwierdzone zostanie zmianą statusu na Active: Downloaded, a jeżeli zapomnieliśmy podłączyć programator USBi lub nastąpił błąd podczas programowania, otrzymamy status Compiled, Comm Failed. Możliwy jest też status błędu Computation Error, gdy zmienne przekraczają dopuszczalny zakres lub nastąpiła awaria USB – ale z takim komunikatem w praktyce jeszcze się nie spotkałem.

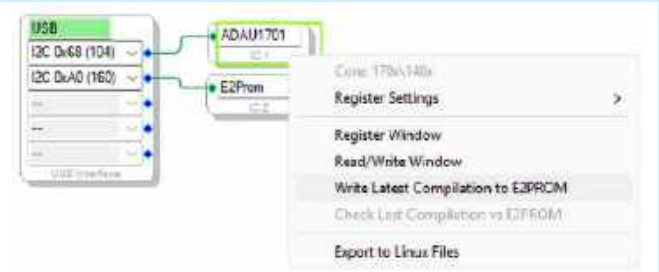
Zmienne statusy – oprócz komunikatu tekstowego – modyfikują także kolor belki pod schematem: niebieski oznacza tryb edycji projektu, ciemnozielony – poprawną kompilację, jasnozielony – poprawne załadowanie projektu do DSP, beżowy – błąd komunikacji USBi oraz czerwony – wspomniany już *Computation Error*. Każdorazowo po edycji schematu proces kompilacji należy powtórzyć. Jeżeli mamy problemy z programatorem USBi, należy go odłączyć i podłączyć ponownie do portu USB – w większości przypadków taki prosty trik pomaga.

Zakładam, że ładowanie projektu odbyło się pomyślnie i najprostsza możliwa aplikacja działa, tj. na wyjściu OUT1 dostępny jest sygnał z wejścia IN, zmodyfikowany zgodnie z wybraną nastawą korektora i z możliwością regulacji głośności oraz zmiany nastaw equalizera. Należy w tym momencie sprawdzić działanie generatora (**uwaga na poziom sygnału!**), zmieniając wejście multipleksera, a następnie sprawdzić w zakładce ***HardwareControl\ICx 170x/140x Register Control*** funkcjonowanie sprzętowego wyciszania przetworników AD/DA oraz wyłączenia zasilania rdzenia. Warto też zweryfikować poprawność działania pamięci nastaw z użyciem ikon A...D – charakterystyka przenoszenia powinna zmieniać się w z zależności od wybranego ustawienia. Można załączyć wskaźniki wysterowania i funkcję ***ReadBack***, weryfikując jej działanie oraz – przyciskami ***Probe***, a następnie ***Stimulus*** – sprawdzić obliczoną charakterystykę przenoszenia, zależną od nastaw korektora. Działanie aplikacji i „przyrządów" testowych zaprezentowano na **rysunku 24**.

W związku z tym, że program ładowany jest do pamięci ulotnej DSP, po przyciśnięciu przycisku reset lub odłączeniu USBi program i parametry zostaną utracone i w razie konieczności muszą zostać załadowane ponownie. Tryb ten przyspiesza sprawdzenie projektu podczas uruchamiania bez straty czasu na mozolne programowanie pamięci EEPROM. Podczas zmian nastaw potencjometru lub korektora warto przyglądnąć się komunikacji USBi z DSP – w okienku ***Capture***, w czasie rzeczywistym, zmieniają się wartości wysyłane i odczytywane do/z pamięci oraz rejestrów procesora.

Aby płytka mogła pracować samodzielnie, należy zaprogramować pamięć EEPROM, z której ADAU1701A pobierze aplikację w trybie pracy SELFBOOT. W tym celu zakładamy zworę WP, przechodzimy do zakładki ***Config***, wybieramy menu podręczne pamięci EEPROM (rysunek 9), kontrolujemy jeszcze raz, czy parametry pamięci ustawione są zgodnie z kartą katalogową (rysunek 10), następnie wybieramy opcję ***Read/Write Window*** otwierającą narzędzie do obsługi pamięci EEPROM, zgodnie z **rysunkiem 25**. W pierwszej kolejności wybieramy opcję kasowania zawartości pamięci ***ClearE2Pro***, usuwając jej ewentualną zawartość, co zajmie dłuższą chwilę… należy pamiętać, aby każdorazowo przed zapisem do pamięci skompilować program, by nie tracić czasu na ponowne kasowanie i programowanie w przypadku wgrania starej wersji aplikacji. Podczas kasowania pamięci okienko potwierdzające ma nieco mylący opis „Zapis do pamięci", w rzeczywistości jednak realizowana funkcja jest poprawna.

Po skasowaniu zawartości EEPROM, w celu weryfikacji odczytamy pamięć do bufora poleceniem ***ReadE2Prom to Display***. Jeżeli odczytamy tylko wartości ***0x00***, to pamięć jest czysta i można ją zaprogramować aplikacją testową. W przeciwnym wypadku, w pierwszej kolejności sprawdzamy poprawny status programatora USBi (warto wykonać restart interfejsu z menu podręcznego programatora USBi), a następnie weryfikuje ustawienie zworek WP i I²C/SBT. Po usunięciu problemu zamykamy narzędzie EEPROM i wracamy do zakładki ***Config***, wybierając menu podręczne procesora ADAU1701A – zgodnie z **rysunkiem 26**.



Rysunek 26. Menu programowania pamięci EEPROM

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

eprasa.pl 50e19a3eb3

Rysunek 27. Postęp programowania pamięci

Rysunek 28. Weryfikacja pamięci

Rysunek 29. Dodatkowe funkcje programatora USBi

Ponownie pokaże się okienko parametrów EEPROM (rysunek 9), po potwierdzeniu parametrów rozpocznie się proces programowania pamięci zgodnie z **rysunkiem 27**, po którym należy zweryfikować zapis, wybierając ponownie z menu podręcznego ADAU170 opcję ***Check Last Compilation vs EEPROM***.

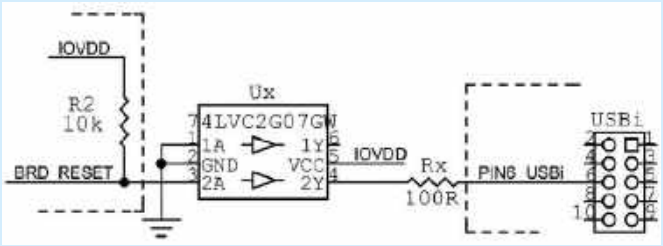
Pliki wynikowe *.hex/*.bin dla zewnętrznego programatora dostępne są w podkatalogu ***ADAU1701_MK2_Cz3_ProjektTestowy_1_IC 2*** projektu.

Po pomyślnej weryfikacji należy zdjąć zworę WP i zrestartować procesor, wyłączając zasilanie płytki lub naciskając przycisk RES. Aplikacja uruchomi się automatycznie, w dalszym ciągu możliwa będzie (po wyborze opcji ***Link Compile Connect***) współpraca z SigmaStudio, pozwalająca na zmianę parametrów i sterowanie elementami manipulacyjnymi.

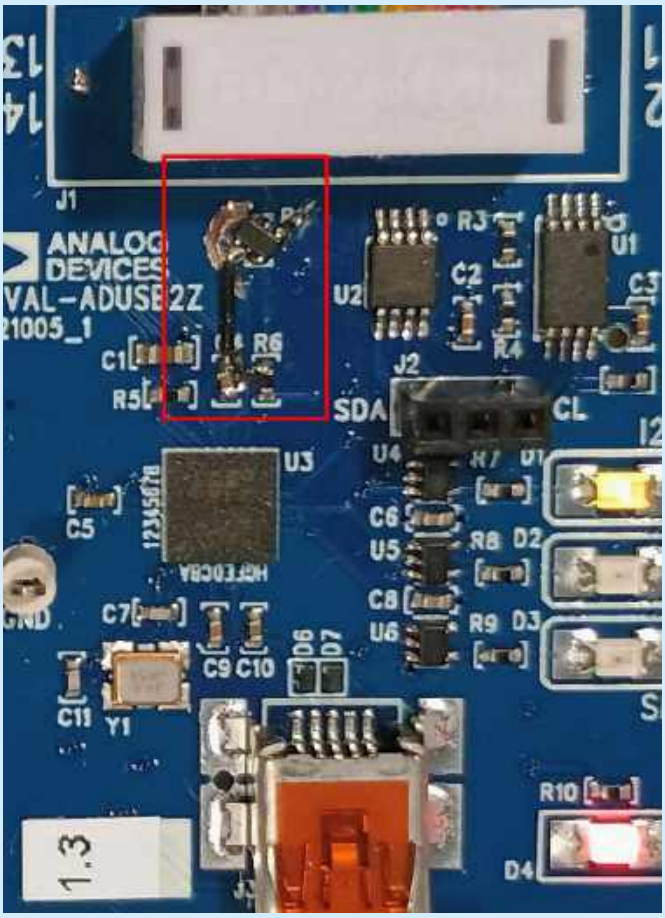
Z praktycznych uwag warto wspomnieć jeszcze o pewnej uciążliwości dotyczącej części sprzętowej programatora USBi, jaką jest obwód sygnału RESET, dostępny na wyprowadzeniu 6 złącza USBi (w nocie aplikacyjnej AN-1006 nazywany jest BRD_RESET).

Generalnie jest to bardzo przydatny sygnał, umożliwiający manualny restart DSP (**rysunek 29**). Niestety obwód ma dodatkowe podciąganie do wewnętrznego zasilania IOVDD programatora przez rezystor R2=10 kΩ, wlutowany na płytce programatora. Jeżeli zasilamy płytkę poprzez programator lub z zewnętrznego zasilacza i zasilanie jest obecne, to sygnał działa poprawnie. Gdy zasilanie zostanie wyłączone, to na płytce programatora dalej jest obecne napięcie IOVDD, które – poprzez rezystor R2 podwieszający linię BRD_RESET – zasila płytkę (zjawisko backfeeding) przez obwód sygnału MR. Powoduje to wprowadzenie obu urządzeń w nieokreślony stan. Niestety w obwodzie tym brakuje klucza odłączającego, który zastosowano w przypadku sygnałów SDA/SCL, także podwieszonych do IOVDD. Brutalnym sposobem obejścia problemu jest odcięcie sygnału MR (czy to w programatorze, czy w płytkach uruchomieniowych) lub mała przeróbka programatora za pomocą bufora z otwartym drenem (np. 74LVC2G07), separującego sygnał BRD_RESET, zgodnie ze schematem z **rysunku 30**.

Przy odrobinie starań można to dosyć zgrabnie przeprowadzić, wylutowując R2 i odfrezowując fragment otaczającej go wylewki



Rysunek 30. Schemat modyfikacji programatora USBi



Fotografia 2. Zmodyfikowany programator USBi

1V8DD. W miejsce R2 lutujemy LVC2G07 (TSSOP5), z odpowiednio zagiętymi wyprowadzeniami, łącząc pin 1 wolnej bramki z masą, wlutowując R2 (10 kΩ) po „skosie" pomiędzy C4/R6. Teraz pozostaje jedynie podłączyć kawałkiem kynaru masę do układu oraz przeciąć ścieżkę prowadzącą sygnał BRD_RESET do wyprowadzenia 6 złącza USBi. Następnie trzeba podłączyć do niej wyjście bufora poprzez rezystor szeregowy 100 Ω. Zmodyfikowany programator pokazano na **fotografii 2**.

W oczekiwaniu na następny odcinek kursu warto zapoznać się z dokumentacją ADAU1701A oraz środowiska SigmaStudio, zwracając szczególną uwagę na zawartość bibliotek i sprawność rysowania schematów, gdyż będzie to niezbędne w następnej części kursu.

Adam Tatuś, EP

REKLAMA

facebook.com/ElektronikaPraktyczna

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

eprasa.pl 50e19a3eb3

koktajl niusów

Liczniki energii DC z serii DMED4 do stacji ładowania pojazdów elektrycznych

Liczniki energii DC z serii DMED4 to kompaktowe urządzenia zaprojektowane z myślą o pracy w wymagających warunkach środowiskowych. Dzięki szerokiemu zakresowi temperatury pracy – od –40 do 85°C – doskonale sprawdzają się w instalacjach zewnętrznych, takich jak stacje ładowania pojazdów elektrycznych.

Urządzenia DMED4 charakteryzują się wszechstronnymi możliwościami montażu – mogą być instalowane zarówno bezpośrednio na szynach zasilających, jak i na płytach montażowych za pomocą śrub. Każdy licznik wyposażono w czytelny wyświetlacz umożliwiający bieżący podgląd najważniejszych parametrów: energii, prądu, napięcia i temperatury. Dodatkowo urządzenia rejestrują listę zdarzeń wraz ze znacznikami czasowymi.

Modele z serii DMED4 są dostępne w dwóch wariantach komunikacyjnych: z pojedynczym portem RS485 lub z portem RS485 i gniazdem Ethernet. Wszystkie liczniki spełniają wymagania normy VDE-AR-E 2418-3-100 oraz uzyskały certyfikaty MID i cURus.

W ofercie dostępne są również dedykowane akcesoria – w tym koncentrator danych i specjalny rejestrator – które razem tworzą kompleksowe rozwiązanie do montażu w stacjach ładowania pojazdów elektrycznych. Liczniki DMED4 oferują trzy zakresy prądowe: 150 A, 400 A oraz 600 A, dzięki czemu umożliwiają odpowiednie dostosowanie urządzenia do konkretnych potrzeb instalacji.

https://tiny.pl/hksy93kp

Skórzano-metalowy pendrive DS-0612 od MemoRabbit

Pendrive DS-0612 od MemoRabbit to elegancka kompozycja skóry i metalu, która przyciąga uwagę oryginalnym wzornictwem. Dobrze komponuje się z innymi ekskluzywnymi akcesoriami, takimi jak skórzany portfel czy designerski notes.

Model dostępny jest w dwóch kolorach: klasycznym brązowym i uniwersalnym czarnym, które wpisują się w jego elegancką stylistykę. Klienci mogą wybierać spośród trzech metod znakowania: nadruku, graweru oraz tłoczenia. Szczególnie tłoczenie sprawia, że logo firmy prezentuje się na skórzanej powierzchni wyjątkowo prestiżowo.

DS-0612 to doskonały pomysł na oryginalny gadżet reklamowy, który można wręczyć kontrahentom lub pracownikom, skutecznie wzmacniając wizerunek marki. Pendrive wpisuje się w aktualne trendy marketingowe, w których praktyczne i eleganckie upominki pełnią ważną funkcję w budowaniu relacji z klientami. W biznesowej rzeczywistości, w której codzienne życie coraz mocniej związane jest z elektroniką, takie rozwiązanie jest naprawdę pożądane.

Dodatkowe informacje:

- pole zadruku: 3,7×1,3 cm,
- wymiary: 7×2,2×0,9 cm,

Szeroki wybór etui, pudełek i akcesoriów do pendrive'a.

https://tiny.pl/26t_bymn

Private 5G RedCap – przełomowa technologia Hyundai, która wspiera inteligentną produkcję

Hyundai z sukcesem rozwija i promuje nowoczesne technologie, w tym Private 5G (P-5G) RedCap. Niedawno zakończony pilotażowy projekt tej technologii potwierdził jej zdolność do zapewniania nieprzerwanej transmisji danych, tak istotnej z punktu widzenia produkcji z zastosowaniem robotów oraz modułów odpowiedzialnych za ich kontrolę.

Private 5G RedCap korzysta z dedykowanego pasma częstotliwości, co sprawia, że idealnie sprawdza się w wymagających środowiskach przemysłowych. Choć inżynierowie pracujący nad projektem wciąż stawiają czoła takim wyzwaniom, jak złożoność konstrukcji czy też wysokie zużycie energii, technologia ta już teraz znacząco przewyższa standardowe sieci Wi-Fi pod względem szybkości i stabilności połączenia oraz redukcji opóźnień.

Do głównych zalet Private 5G RedCap należą również: uproszczona konfiguracja urządzeń, kompaktowa infrastruktura oraz zwiększona przepustowość, niezbędna do obsługi pojazdów autonomicznych, narzędzi, kamer i tabletów.

Sercem systemu jest układ Qualcomm Snapdragon X35 5G Modem-RF, który umożliwia efektywną transmisję danych w sieciach 5G. Ogromne znaczenie ma także dedykowane oprogramowanie oraz niezawodna łączność IoT, które są nieodłącznymi elementami zintegrowanych systemów zarządzania automatyzacją, opartych na technologii Private 5G RedCap.

https://tiny.pl/1hz5g4jb

Toyota ukończyła pierwszy etap budowy inteligentnego miasta Woven City

Toyota zakończyła budowę pierwszego etapu Woven City – eksperymentalnego miasta położonego u stóp góry Fudżi. Docelowo zamieszka tam niemal 2000 osób, które na co dzień będą korzystać

eprasa.pl 50e19a3eb3

z przełomowych technologii zasilanych czystą energią. Pełne ukończenie projektu planowane jest na jesień 2025 roku.

Woven City jest istotnym elementem transformacji Toyoty z producenta samochodów w dostawcę kompleksowych usług mobilności. Miasto zostało zaprojektowane jako w pełni zintegrowany ekosystem, łączący technologie cyfrowe, robotykę, bezemisyjną mobilność oraz nowatorskie podejście do planowania przestrzeni, niespotykane nawet w tak dynamicznie rozwijających się regionach, jak Bliski Wschód.

Infrastruktura Woven City oparta będzie na zaawansowanych systemach technologicznych. W pojazdach poruszających się po mieście zastosowany zostanie nowoczesny system operacyjny Arene. Platforma Digital Twin umożliwi precyzyjne odwzorowywanie środowiska miejskiego, a system Vision AI będzie analizować zachowania mieszkańców przy użyciu kamer i sztucznej inteligencji.

Technologia ma wspierać mieszkańców na każdym etapie życia. Drony zapewnią bezpieczny transport nocą, roboty-zwierzęta zaoferują wsparcie i dotrzymają towarzystwa, a wyścigowe wózki inwalidzkie i podniebne samochody poszerzą możliwości lokomocyjne. W domach wdrażana będzie zaawansowana robotyka – obecnie testowane są roboty uczące się wykonywania codziennych obowiązków, takich jak składanie ubrań.

Toyota, poprzez budowę Woven City, pragnie pokazać wizję miasta przyszłości: przestrzeni całkowicie skoncentrowanej na człowieku, korzystającej z technologii w celu poprawy jakości codziennego życia.

https://tiny.pl/dvf0k00b

Tuba oświetleniowa IP69K od Lena Lighting – rozwiązanie do wymagających zastosowań

Tuba oświetleniowa IP69K od Lena Lighting to cylindryczna oprawa stworzona z myślą o pracy w ekstremalnych warunkach. Łączy dużą szczelność, odporność chemiczną oraz trwałość mechaniczną, spełniając przy tym również najwyższe standardy ochrony zgodne z klasą IP69K – zapewnia bowiem skuteczną ochronę przed pyłem oraz działaniem agresywnych detergentów używanych do intensywnego czyszczenia.

Obudowa wykonana z chemoodpornych materiałów, takich jak PMMA i szkło borokrzemowe, gwarantuje wyjątkową trwałość w środowiskach przemysłowych. Toczone ze stali kwasoodpornej endcapy skutecznie eliminują ryzyko korozji, a dzięki odporności na amoniak i gazy odzwierzęce tuba idealnie sprawdza się w obiektach hodowlanych oraz przetwórczych. Zawór dekompresyjny umożliwia bezpieczną pracę urządzenia nawet przy gwałtownych zmianach temperatury otoczenia.

Tuba charakteryzuje się klasą odporności na uderzenia IK10 oraz najwyższą klasą energetyczną A i osiąga świetlną do 194 lm/W. Dostępna jest w różnych wariantach długości (63 lub 122 cm), rozsyłu soczewkowego oraz współczynnika olśnienia UGR (do 19, 22 i 25), co przekłada się na wysoki komfort eksploatacji.

Minimalistyczny design, łatwość montażu i utrzymania w czystości oraz solidna konstrukcja czynią z tuby IP69K wart uwagi wybór do intensywnego użytkowania w najtrudniejszych warunkach.

https://tiny.pl/nbr4cb6n

Systemy Force Protection na wyposażeniu Wojska Polskiego

Wojsko Polskie wdraża kompleksowe systemy Force Protection, przeznaczone do rozpoznawania i osłony powietrznej dywizjonów HOMAR-K w miejscach ich operacyjnego działania.

Każdy system obejmuje co najmniej tuzin bezzałogowców, składających się z dwóch typów statków powietrznych: FlyEye oraz X-FRONTER. Bezzałogowce FlyEye umożliwiają prowadzenie rozpoznania obrazowego z powietrza – w tym celu wyposażone zostały w specjalistyczne głowice kamer dziennych oraz termowizyjnych. Natomiast X-FRONTER są przystosowane do skrytych działań i oferują jednoczesną obserwację w paśmie widzialnym oraz podczerwieni (IR), niezależnie od pory dnia i warunków atmosferycznych.

Systemy Force Protection są w pełni zintegrowane z systemem rozpoznania radioelektronicznego FP-SPECTRE oraz systemem zarządzania walką TOPAZ. Rozwiązania te sprawdzają się szczególnie w trudnych operacjach bojowych.

Bezzałogowce FlyEye i X-FRONTER zostały przetestowane w realnych warunkach bojowych, podczas konfliktów o dużej intensywności. W ramach systemów Force Protection wspierają działania Wojsk Operacyjnych i Wojsk Obrony Terytorialnej: realizują zadania rozpoznania celów oraz wsparcia operacyjnego, zwłaszcza w rejonach działania wyrzutni i pojazdów artylerii, w tym wieloprowadnicowych wyrzutni rakietowych HOMAR-K.

https://tiny.pl/02wgm45f

Nowość od NAVITEL: samochodowy wideorejestrator R260 NV

Wideorejestrator NAVITEL R260 NV to kompaktowe urządzenie stworzone do rejestrowania dynamicznych ujęć w każdych warunkach drogowych. Kamera nagrywa wideo w rozdzielczości Full HD przy 60 klatkach na sekundę, zapewniając płynny i szczegółowy obraz.

eprasa.pl 50e19a3eb3

Wbudowana bateria o pojemności 180 mAh umożliwia krótkotrwałą, autonomiczną pracę urządzenia. Szerokokątny obiektyw 140° pozwala uchwycić nie tylko drogę przed pojazdem, ale także pobocza i chodniki – dzięki temu zapewnia użytkownikowi pełne pole widzenia.

Model R260 NV wyposażono w G-sensor, który automatycznie zabezpiecza nagrania w przypadku kolizji. Tryb parkingowy umożliwia monitoring pojazdu podczas postoju i współpracuje z opcjonalną tylną kamerą NAVITEL Full HD, dostępną osobno.

Obsługa urządzenia jest wygodna ze względu na 2-calowy wyświetlacz IPS o szerokich kątach widzenia, umożliwiający łatwy podgląd nagrań bezpośrednio na ekranie. R260 NV obsługuje karty pamięci microSD klasy U3 lub wyższej o pojemności do 256 GB, a jego zasilanie realizowane jest przez port USB-C z sieci pokładowej auta.

Intuicyjna obsługa, kompaktowa konstrukcja i szeroki zakres funkcji sprawiają, że NAVITEL R260 NV to interesujące rozwiązanie dla każdego kierowcy, który chce podróżować bezpiecznie i korzystać przy tym z wygodnych w obsłudze urządzeń pokładowych.

https://navitel.cz/pl/about/news/2025/03/navitel-r260-nv

Praktyczna, kieszonkowa lampka Safety Light firmy VARTA

Kieszonkowa lampka Safety Light firmy VARTA to praktyczne i poręczne źródło światła, idealne do stosowania podczas różnych aktywności na świeżym powietrzu. Dzięki kompaktowym wymiarom (4,5×4,9×2,1 cm) oraz niewielkiej wadze (31 g) z łatwością mieści się w dłoni i jest wygodna w noszeniu.

Lampka ma trójkątny kształt. Została wyposażona w sześć diod LED emitujących światło białe lub czerwone. Światło białe może działać w trybach: niskiej i wysokiej mocy oraz migania, natomiast światło czerwone dostępne jest w trybie ciągłym lub migającym. Przy najwyższej intensywności białego światła lampka osiąga strumień świetlny 25 lm, zapewniając do 2,5 godziny ciągłego świecenia lub do 45 godzin w trybie migającym. Przy świetle czerwonym wartości te wynoszą odpowiednio 3 i 45 godzin.

Lampka Safety Light zasilana jest dwiema łatwo wymienialnymi bateriami CR2032. Biała półprzezroczysta soczewka zapewnia szeroką wiązkę światła. Szara obudowa z bocznymi elementami odblaskowymi gwarantuje dobrą widoczność urządzenia w słabszym świetle.

Lampka jest odporna na upadki z wysokości maksymalnie 2 metrów, a uszczelnienia zapewniają klasę ochrony IP54, dzięki czemu gadżet sprawdza się nawet w trudnych warunkach pogodowych. Dzięki przemyślanym rozwiązaniom montażowym, takim jak dwustronny karabińczyk i magnetyczne mocowanie z tyłu obudowy, urządzenie można łatwo przymocować do tornistra, plecaka, torby, breloka do kluczy, a także do odzieży sportowej lub tylnej klapy samochodu. Magnetyczne plecki sprawdzą się również przy mocowaniu lampki na wózkach dziecięcych.

https://tiny.pl/jkfh616t

Najnowszy układ scalony Apple M3 Ultra – przełomowa wydajność i energooszczędność

Apple M3 Ultra to najnowszy procesor oferujący wiodącą na rynku wydajność przy zachowaniu wyjątkowej energooszczędności. Nowa konstrukcja CPU, wyposażona w 32 rdzenie, zapewnia działanie o 1,5 razy szybsze niż M2 Ultra i o 1,8 razy wydajniejsze od M1 Ultra.

Układ M3 Ultra integruje w sobie aż 80 rdzeni GPU – więcej niż jakikolwiek inny chip Apple dostępny obecnie na rynku – dzięki czemu oferuje bezkonkurencyjną moc obliczeniową na potrzeby zaawansowanych zadań graficznych. Nowa architektura graficzna wspiera dynamic caching, mesh shading oraz ray tracing, co sprawia, że M3 Ultra znakomicie odnajduje się w wymagających zastosowaniach (profesjonalne gry czy produkcja treści multimedialnych).

24 rdzenie CPU odpowiadają za maksymalną wydajność w zastosowaniach twórczych oraz gamingowych, natomiast dodatkowych 8 rdzeni zoptymalizowano pod kątem energooszczędności. Układ jest również przeznaczony do pracy w obszarze uczenia maszynowego (ML) i sztucznej inteligencji (AI) – został bowiem wyposażony we wbudowany system Neural Engine.

M3 Ultra obsługuje przepustowość pamięci na poziomie 800 GB/s oraz oferuje możliwość rozszerzenia pamięci RAM do co najmniej 96 GB, co czyni go idealnym rozwiązaniem do obsługi modeli LLM liczących nawet ponad 600 miliardów parametrów.

Dzięki swoim parametrom M3 Ultra wyznacza nowy standard w pracy z grafiką 3D, przetwarzaniu efektów wizualnych i realizacji zaawansowanych projektów bazujących na ML oraz AI.

https://tiny.pl/g-6m52q1

Dysk SSD 9100 PRO firmy Samsung z interfejsem PCIe 5.0 – nowy standard wydajności

Dysk SSD 9100 PRO firmy Samsung to urządzenie stworzone z myślą o najbardziej wymagających użytkownikach – od graczy i twórców treści, po profesjonalistów pracujących z rozwiązaniami z zakresu sztucznej inteligencji (AI). Dzięki interfejsowi PCIe 5.0 oraz zgodności ze standardem PCI-SIG D8, 9100 PRO zapewnia najwyższą wydajność w pracy wielozadaniowej oraz błyskawiczny zapis i odczyt danych.

Model osiąga prędkość sekwencyjnego odczytu do 14 800 MB/s oraz zapisu do 13 400 MB/s. W przypadku operacji losowych oferuje imponujące osiągi: do 2,2 miliona IOPS przy odczycie i do 2,6 miliona IOPS przy zapisie. Aby zapewnić stabilność działania nawet pod dużym obciążeniem, dysk wyposażono w wydajne radiatory zapobiegające przegrzewaniu.

Samsung 9100 PRO dostępny jest w wersji o pojemności 8 TB, oferującej bezprecedensową prędkość, a jednocześnie ogromną przestrzeń do przechowywania danych. Dzięki interfejsowi NVMe i bezpośredniej kompatybilności z laptopami, komputerami stacjonarnymi oraz konsolami do gier dysk znacząco wzbogaca doświadczenie użytkownika, umożliwia bowiem szybkie ładowanie gier, sprawne tworzenie treści i efektywną pracę z wymagającymi aplikacjami opartymi na AI.

https://tiny.pl/74n5pqfh

Jakub Tyburski
jakub.tyburski@elportal.pl

eprasa.pl 50e19a3eb3

Hity następnego numeru • „Elektronika Praktyczna” 6/2025

Temat numeru: (Nie)standardowe interfejsy szeregowe

Głównym zadaniem elektronicznych interfejsów komunikacyjnych jest przekazywanie danych pomiędzy elementami systemu lub systemów elektronicznych. Dane można przesyłać w sposób równoległy, czyli jako kombinację stanów logicznych odpowiadających wartościom 8-, 16-, czy 32-bitowym, bądź w sposób szeregowy – jako ciąg bitów, który może być przekształcony na takie same dane. Główną zaletą interfejsów szeregowych jest to, że mogą być zrealizowane z użyciem zaledwie kilku portów I/O, niewielkiej liczby przewodów i kompaktowych złączy, a szybkością transmisji sięgają gigabitów/s. W artykule opisujemy najczęściej stosowane w elektronice interfejsy szeregowe – omawiamy podstawy ich funkcjonowania, najważniejsze zalety, wady i ograniczenia, ich praktyczne implementacje oraz niektóre niestandardowe zastosowania.

Elektronika w praktyce: Układy i moduły radiowe

Współczesne urządzenia elektroniczne coraz częściej wymagają implementacji przynajmniej jednego protokołu komunikacji bezprzewodowej. Projektowanie własnego toru radiowego (RF) od zera bywa skomplikowane i czasochłonne. Na szczęście jednak konstruktorzy nie muszą zaczynać od zera – mogą skorzystać z gotowych modułów radiowych OEM, które – dzięki integracji niemal wszystkich niezbędnych podzespołów – umożliwiają proste i szybkie wdrożenie komunikacji radiowej w projektowanym urządzeniu. Podejście oparte na stosowaniu takich modułów znacząco skraca czas opracowania produktu i ułatwia spełnienie wymogów technicznych (np. norm radiowych), jednocześnie odciążając inżynierów od wielu żmudnych zadań projektowych, obliczeniowych i symulacyjnych, a także skracając proces testowania. W czerwcowej odsłonie „Elektroniki w Praktyce” omawiamy główne zalety stosowania gotowych modułów radiowych oraz prezentujemy przegląd kluczowych aspektów technicznych, implementacyjnych i użytkowych, związanych z integracją modułów RF w urządzeniach.

Bardzo prosty sterownik silnika krokowego

Szybkość obrotowa silników krokowych może być regulowana w naprawdę imponującym zakresie – i to bez utraty momentu obrotowego. Prezentowany układ pozwala na wysterowanie uzwojeń silnika tak, aby obracał się w zadaną stronę z żądaną prędkością, bez angażowania do tego celu zewnętrznego mikrokontrolera.

Najważniejsze parametry układu:

- sterowanie jednym bipolarnym silnikiem krokowym,
- płynna regulacja szybkości obrotowej i prądu uzwojeń za pomocą potencjometrów,
- możliwość zmiany kierunku obrotów przełącznikiem,
- sterowanie pełnokrokowe oraz 1/2, 1/4, 1/8 lub 1/16 kroku,
- częstotliwość impulsów taktujących pracę silnika: 6…2300 Hz,
- możliwość zatrzymania ruchu silnika przełącznikiem,
- zasilanie: 9…32 V/10 mA (w stanie spoczynku).

MiniMDigitalAudioADDA MKII – seria minimodułów do cyfrowego audio. Przetworniki AD/DA

W artykule opisano minimoduły zawierające przetworniki A/D, D/A oraz kodek cyfrowego audio, przydatne podczas uruchamiania aplikacji DIY. Wszystkie moduły są dwukanałowe (stereo) i komunikują się z hostem za pośrednictwem popularnego interfejsu I²S. Niewielkie rozmiary płytek oraz standardowe zasilanie 5 V pozwalają na stosowanie modułów w połączeniu z komputerami SBC, płytkami na bazie mikrokontrolerów STM32 i niektórymi zestawami Arduino. Szczególnie przydatne okażą się przy rozbudowie płytki z ADAU1701 z prowadzonego na łamach EP kursu audio DSP. W zależności od zastosowanego złącza I²S, opisywane płytki współpracują bezpośrednio z płytką „kursową” lub innymi zestawami wyposażonymi w interfejs Pmod.

Wykaz firm ogłaszających się w tym numerze „Elektroniki Praktycznej”

AKSOTRONIK 43
AVT SPV 5, 37, 41, 88
BORNICO 35
COMPUTER CONTROLS 7, 22
FAULHABER 19, 63
FERYSTER 31
HAMMOND 9
LASTENIC LASER 15
TARGI ELECTRONICS SHOW 20

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 50e19a3eb3

AT-AD269S
Mikroskop cyfrowy
z ekranem 10 cali,
powiększenie do 5000×,
5 obiektywów i endoskop
ANDONSTAR AD269S-M

AT-AD409PRO
Mikroskop do lutowania
z profesjonalnym
metalowym stojakiem,
ekran 10,1 cala,
powiększenie do 300×, HDMI
ANDONSTAR AD409Pro

BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

Mikroskopy cyfrowe dla elektroników

Rabat dla Czytelników EP
przy zakupie podaj kod **EP2505MC** **–3%**

Rabat dla Prenumeratorów EP
przy zakupie podaj numer prenumeraty **–6%**

AT-AD246S-M
Mikroskop cyfrowy 7 cali
z powiększeniem:
60...240×, 18...720×,
1560...2040×
ANDONSTAR AD246S-M

AT-AD407
Mikroskop cyfrowy 7 cali,
powiększenie do 270×
ANDONSTAR AD407

AT-AD249S-M
Mikroskop cyfrowy 10 cali
z powiększeniem:
60...240×, 18...720×, 1560...2040×
ANDONSTAR AD249S-M

AT-AD210
Mikroskop cyfrowy 5...260×
z wyświetlaczem 10,1 cala
ANDONSTAR AD210