Wydanie elektroniczne dostępne na www.ulubionykiosk.pl

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

EP.com.pl

● Międzynarodowy magazyn elektroników konstruktorów ● marzec ● 3/2025 ●

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 źródłowe projektów na naszym serwerze **FTP** www.ulubionykiosk.pl/media

DRUKARKI I MECHANIZMY TERMICZNE

TEMAT NUMERU

inspirujące, użyteczne projekty

• Klasyk – wzmacniacz lampowy EL84SE • Retro wyświetlacz matrycowy LED z interfejsem I²C • Konwerter 4...20 mA na 0...10 V • Stanowisko dydaktyczne – robot kartezjański z taśmowym systemem transportowym

podzespoły, sprzęt, aplikacje

• Widmo jak na dłoni – moduł spektrometru Hamamatsu C16767MA • nRF54L już na biurkach inżynierów! • Narzędzia i akcesoria w serwisie elektroniki oraz warsztacie konstruktora • Kompleksowa oferta wyposażenia dla elektroników

tutoriale

• Dobór topników w praktyce • Jak umierają podzespoły? • Druk 3D w służbie elektroniki • Konwersja analogowo-cyfrowa w technice audio • Pomiary zespołów głośnikowych • Internet Rzeczy w pomiarach środowiskowych. Płytka Raspberry Pi Pico 2/2W z procesorem RP2350

kursy

• Kurs Nordic nRF z BT. Bluetooth LE – urządzenie centralne • Implementacja systemu Linux na platformie STM32MP. Sterowanie portem GPIO z poziomu systemu operacyjnego • Kurs FPGA Lattice. Terminal tekstowy VGA • Pomiary charakterystyk częstotliwościowych. Filtry cyfrowe DSP typu FIR

ISSN 1230-3526 Indeks 357677
9 771230 352252 03
18,90 zł (w tym 8% VAT) • PRICE: 8 EUR

SPRZĘT LUTOWNICZY I NARZĘDZIA DLA ELEKTRONIKÓW

eprasa.pl e84dd9a9f2

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

O tym, co elektronicy lubią najbardziej

Elektronika to dość specyficzna branża – znaczna część dzisiejszych profesjonalistów zaczynała stawiać w niej pierwsze kroki nie tyle z pragmatycznego wyboru drogi zawodowej, ile z pasji do majsterkowania, tworzenia interesujących i praktycznych urządzeń czy też po prostu… eksperymentowania. Doskonale pamiętam, jak przeszło 20 lat temu rozpoczynałem swoją przygodę z dziedziną, która szybko stała się dla mnie nie tylko doskonałym sposobem na spędzanie każdej wolnej chwili, ale także sposobem na życie. Na przestrzeni tych (zaledwie?) dwóch dekad technologie elektroniczne poszły do przodu… ba, wystrzeliły (!) w niebywałym tempie, o czym zresztą chyba nikogo nie trzeba dziś przekonywać. W ślad za drastycznymi przeobrażeniami dostępnego od ręki portfolio układów scalonych (zwłaszcza mikrokontrolerów i mikroprocesorów), czujników – przede wszystkim MEMS – czy też rozmaitych modułów, platform ewaluacyjnych i wielu innych zdobyczy współczesnej techniki, podążała także rozbudowa arsenału narzędziowego. Na początku obecnego milenium posiadacze wielofunkcyjnej stacji lutowniczej – z kilkoma kanałami obsługującymi zwykłą kolbę (grotową), rozlutownicę, termopincetę czy też kolbę na gorące powietrze – mogli czuć się szczęściarzami. Tak rozbudowany sprzęt był przede wszystkim domeną użytkowników profesjonalnych, gdyż z punktu widzenia wielu amatorów czy małych początkujących firm taki system mógł znajdować się poza zasięgiem dostępnego budżetu. Dziś dwufunkcyjna stacja lutownicza („grotówka" + hot air) jest już standardem nawet w segmencie rynku najtańszych urządzeń o dalekowschodnim rodowodzie. A co dzieje się na najwyższych półkach cenowych? Najnowocześniejsze stacje są wyposażane w rozbudowane funkcje dodatkowe – począwszy od wizualnej kontroli zużycia mocy (co pozwala monitorować w czasie rzeczywistym wpływ pojemności cieplnej lutowanych komponentów i samych płytek na temperaturę grota), poprzez interfejsy pozwalające na łączenie z systemami zewnętrznymi (np. mikroskopem elektronicznym czy robotem lutowniczym), aż po funkcje zdalnego zarządzania profilami ustawień czy zabezpieczenia przed nieuprawnionym (lub po prostu omyłkowym) przestawieniem aktualnych parametrów pracy. Standardem w wyższych piętrach jakościowej drabiny na rynku wyposażenia dla elektroników stało się automatyczne rozpoznawanie działań podejmowanych przez użytkownika (podstawki pod kolby lutownicze wykrywają fakt odłożenia narzędzia czy też wymiany grota i odpowiednio reagują na te zdarzenia poprzez regulację mocy grzałki), a producenci budżetowych stacji lutowniczych podpatrują i implementują te rozwiązania także w produktach kilkukrotnie tańszych.

To jednak dopiero początek opowieści, którą można by kontynuować na wielu stronach naszego czasopisma. Warte uwagi (choć zdecydowanie wykraczające poza objętość jednostronicowego felietonu) są chociażby stacje lutownicze na podczerwień przeznaczone do pracy z układami BGA, wspomniane już roboty lutownicze, systemy obrazowania rentgenowskiego i maszyny AOI itp., itd. – choć tutaj płynnie wchodzimy już w zakres nie tyle wyposażenia warsztatowego, co urządzeń produkcyjnych, stosowanych w montażu średnio- i wielkoseryjnym. Jednak i w tym przypadku granice zaczynają się zacierać – automaty pick & place, wielostrefowe piece lutownicze czy automatyczne drukarki szablonowe stają się coraz bardziej kompaktowe, a to sprawia, że bardziej zaawansowane przedsiębiorstwa projektowo-produkcyjne są w stanie pozwolić sobie na ich zakup oraz instalację nawet w dość ograniczonej przestrzeni i przy budżecie ograniczonym do zaledwie stu kilkudziesięciu tysięcy złotych. Wspomniana kwota wydaje się niewielka – zważywszy na fakt, że wzrost wydajności pracy dzięki zastosowaniu montażu automatycznego lub półautomatycznego, w porównaniu do lutowania manualnego, jest absolutnie niepodważalny.

W tym numerze „Elektroniki Praktycznej" wyposażeniu warsztatowemu poświęcamy sporo miejsca – w codziennej pracy ważny jest bowiem nie tylko „duży" sprzęt pomiarowy czy lutowniczy, ale także precyzyjne narzędzia ręczne, środki ochrony osobistej ESD czy wreszcie rozmaite systemy przechowywania warsztatowej „drobnicy".

Drugim tematem wiodącym w marcowym wydaniu EP są drukarki i mechanizmy termiczne. Choć wszyscy doskonale zdajemy sobie sprawę z ich popularności (chyba pierwszym naszym skojarzeniem są wszechobecne drukarki i kasy fiskalne czy też parkomaty), to raczej niewielka część konstruktorów miała w swojej karierze okazję przyjrzeć się konstrukcji, zasadzie działania i metodom sterowania mechanizmów od strony najbardziej niskopoziomowej. Nie ma w tym nic dziwnego, gdyż w sporej części aplikacji stosowane są gotowe moduły OEM – np. drukarki kioskowe – które odpowiednie sterowniki mają już wbudowane w swojej strukturze. Warto jednak poznać szczegóły konstrukcji i implementacji gołych mechanizmów, chociażby dla lepszej orientacji w zakresie parametrów i funkcji dodatkowych gotowych drukarek.

A co jeszcze czeka na naszych Czytelników w marcowej „Elektronice Praktycznej"? Publikujemy m.in. cztery diametralnie różne projekty, przedostatni odcinek kursu FPGA, a także ostatnie już części kursu programowania modułów Nordic nRF oraz cyklu poświęconego zagadnieniom konwersji A/C w aplikacjach audio. W myśl zasady „coś się kończy, coś zaczyna" proponujemy Wam, drodzy Czytelnicy, kolejne serie artykułów. Nie sposób nie wspomnieć w tym miejscu o pierwszym odcinku cyklu pt. „Pomiary zespołów głośnikowych", którego autorem jest jeden z najbardziej rozpoznawalnych ekspertów w dziedzinie audio w Polsce i redaktor naczelny siostrzanego magazynu „AUDIO", p. Andrzej Kisiel. Konstruktorów operujących w obszarze aparatury pomiarowej z pewnością zainteresuje natomiast artykuł poświęcony praktycznej implementacji modułu OEM, należącego do najmniejszych spektrometrów na świecie.

W numerze kontynuujemy ponadto cykle dotyczące druku 3D oraz aplikacji IoT, zaś do działu kursów trafił czwarty odcinek serii o pomiarach parametrów filtrów – tym razem w oparciu o techniki cyfrowego przetwarzania sygnałów. Nie byłbym sobą, gdybym nie uchylił rąbka tajemnicy i nie wspomniał o tym, że zarówno tematyka najnowszego odcinka z serii „Moduły w aplikacjach" (MicroPython), jak i zagadnienia DSP powrócą z pełną mocą już w najbliższych numerach EP w postaci całkowicie nowych kursów, prowadzonych przez dwóch doświadczonych Autorów – doskonale zresztą znanych naszym stałym Czytelnikom. Oj, będzie się działo!

Zapraszam do lektury!

Przemysław Musz

eprasa.pl e84dd9a9f2

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

Nr 3 (386) • Marzec 2025

10

14

17

20

Nie przeocz
Nowe podzespoły 5
Dodaj do obserwowanych 9
Koktajl niusów 94

Projekty
Klasyk – wzmacniacz lampowy EL84SE 10
Konwerter 4...20 mA na 0...10 V 17

Miniprojekty
Retro wyświetlacz matrycowy LED z interfejsem I²C 14

Projekty czytelników
Stanowisko dydaktyczne
– robot kartezjański z taśmowym systemem transportowym 20

Poradnik implementacji
Widmo jak na dłoni – moduł spektrometru Hamamatsu C16767MA 24

Temat numeru: Drukarki i mechanizmy termiczne
Drukarki i mechanizmy termiczne 28

Notatnik konstruktora
Jak umierają podzespoły? 34

Technologie wokół elektroniki
Druk 3D w służbie elektroniki (6) 36

Prezentacje
nRF54L już na biurkach inżynierów! 42
Kompleksowa oferta wyposażenia dla elektroników 44
Dobór topników w praktyce 58

Elektronika w praktyce
Narzędzia i akcesoria w serwisie elektroniki oraz warsztacie konstruktora 46

Moduły w aplikacjach
Internet Rzeczy w pomiarach środowiskowych (15).
Płytka Raspberry Pi Pico 2/2W z procesorem RP2350 61

Audio bez tajemnic
Konwersja analogowo-cyfrowa w technice audio (3) 68
Pomiary zespołów głośnikowych (1) 71

Kursy
Kurs Nordic nRF z BT (7). Bluetooth LE – urządzenie centralne 74
Kurs FPGA Lattice (29). Terminal tekstowy VGA 79
Implementacja systemu Linux na platformie STM32MP (4).
Sterowanie portem GPIO z poziomu systemu operacyjnego 84
Pomiary charakterystyk częstotliwościowych (4).
Filtry cyfrowe DSP typu FIR 86

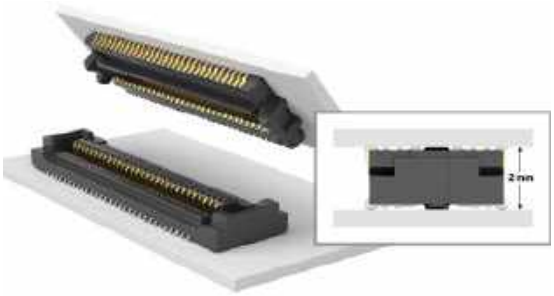
Prenumerata 2
Od wydawcy 3
Hity następnego numeru 95

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

eprasa.pl e84dd9a9f2

nowe podzespoły

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



Złącza płytka–płytka o wysokości 2 mm i przepustowości 28 Gbps

Samtec wprowadza do sprzedaży złącza płytka–płytka z serii SLH/TLH wyróżniające się wyjątkowo małą wysokością, wynoszącą zaledwie 2 mm po zamontowaniu wtyku w gnieździe. Umożliwiają one transmisję sygnałów z modulacją NRZ przy szybkości do 28 Gbps. Stanowią rozszerzenie linii produktowej Ultra Micro, obejmującej złącza o wysokiej niezawodności i małych gabarytach, znajdujące zastosowanie w motoryzacji, robotyce oraz sektorach: wojskowym i lotniczym.

Aby zminimalizować przestrzeń zajmowaną przez złącza na płytce drukowanej, komponenty z serii SLH/TLH oferują nie tylko bardzo małą wysokość, ale także niewielką powierzchnię footprintu, wynoszącą zaledwie 9×4,7 mm w przypadku wersji 20-kanałowej. Są też dostępne modele 40- i 60-torowe. Dużą gęstość styków uzyskano dzięki zastosowaniu kontaktów typu *micro blade and beam* o rastrze 0,50 mm. Precyzyjne umiejscowienie złącza na płytce drukowanej ułatwia zastosowanie poliamidowej podkładki.

www.samtec.com

12-pinowe złącza M8 do wymagających instalacji przemysłowych

Firma binder wprowadziła na rynek 12-pinowe, okrągłe złącza M8, przeznaczone do zastosowań w wymagających aplikacjach przemysłowych, w tym w systemach kontrolno-pomiarowych, robotyce oraz interfejsach do komunikacji z kamerami i czujnikami. Na tle wcześniejszych odpowiedników nowe komponenty wyróżniają się miniaturową konstrukcją pomimo dużej liczby wyprowadzeń, co pozwala na zastosowania w ograniczonych przestrzeniach montażowych. Stopień ochrony IP67 pozwala na pracę w trudnych warunkach przemysłowych.

Nowe złącza występują w wersjach z blokadą śrubową lub zatrzaskową, również z kodowaniem typu C i spełniają wymogi normy branżowej DIN EN 61076-2-104. Produkty znalazły już zastosowanie w systemach pomiaru długości, automatyce laboratoryjnej związanej z analizą środowiskową oraz w kamerach przemysłowych. Opisywane gniazda i wtyki mogą pracować w temperaturze otoczenia od –40 do +85°C i zapewniają niezawodność powyżej 100 cykli montażowych.

www.binder-connector.com

Najmniejszy na rynku przekaźnik SPST-NO o prądzie znamionowym 55 A

Do oferty firmy Omron Electronic Components wchodzi najmniejszy obecnie na rynku przekaźnik SPST-NO o parametrach znamionowych 480 VAC/55 A, produkowany w obudowie o wymiarach 30,5×16 mm. Zajmuje on mniejszą (o około połowy) powierzchnię na płytce drukowanej w porównaniu z podobnymi modelami oraz mniejszą o 33% wysokość, wynoszącą 20,5 mm. Został opracowany

REKLAMA

HAMMOND®

Obudowa miniaturowa 1551W IP68

Dowiedz się więcej:
hammondmfg.com/1551w

eusales@hammondmfg.com
+44 1256 812812

eprasa.pl e84dd9a9f2

z myślą o zastosowaniach głównie w falownikach fotowoltaicznych i ładowarkach pojazdów elektrycznych. Dzięki szerokiej przerwie między kontaktami, wynoszącej minimum 2 mm, zapewnia kompatybilność z wymogami normy IEC62109 dot. przekształtników mocy w systemach fotowoltaicznych.

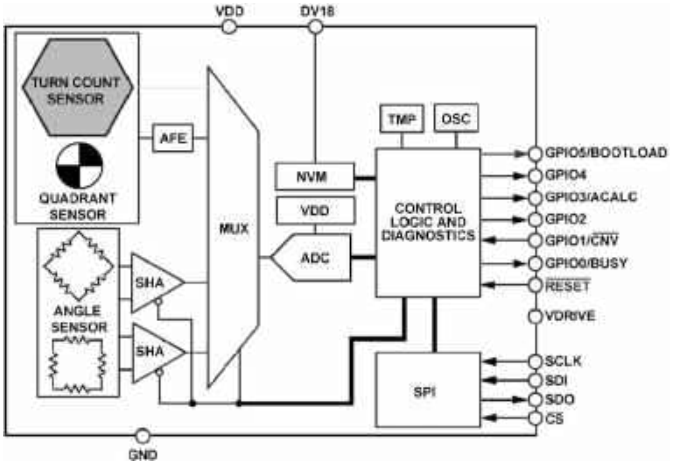
Przekaźnik G6QG zapewnia izolację do 10 kV między cewką i kontaktami. Jego maksymalna rezystancja kontaktu wynosi 100 mΩ, czas zadziałania nie przekracza 20 ms, a zakres temperatury roboczej rozciąga się od –40 do +85°C. Napięcie trzymania cewki stanowi 35%...50% napięcia znamionowego, dzięki czemu pobór mocy można obniżyć do 12% wartości pobieranej przy pełnym napięciu znamionowym (z 1400 mW do zaledwie 172 mW).

www.omron.com

Jednochipowy enkoder wieloobrotowy o zakresie pomiarowym 46 obrotów i dokładności ±0,25°

Dostępne obecnie na rynku monolityczne czujniki położenia obrotowego i enkodery oferują zakres pomiaru 360°. Systemy wymagające dodatkowo zliczania obrotów zazwyczaj wymagają zastosowania dodatkowych komponentów mechanicznych lub zapasowego źródła zasilania do śledzenia ruchu przy wyłączonym napięciu. ADMT4000 jest pierwszym na rynku wieloobrotowym czujnikiem położenia, zrealizowanym na pojedynczym chipie i oferującym zakres pomiarowy 46 obrotów (16560°) i dokładność na poziomie ±0,25°. Pozwala on zrewolucjonizować konstrukcję siłowników, eliminując potrzebę stosowania przetworników liniowych, dużych mechanizmów przekładni redukcyjnych lub konieczność ciągłego zasilania systemu. Nowy czujnik znacznie ułatwia projektowanie aktuatorów, umożliwiając zmniejszenie rozmiaru, masy i kosztów urządzeń końcowych.

Konstrukcja układu została oparta na 3 sensorach pola magnetycznego (GMR – do zliczania obrotów oraz GMR – kwadrantowy



i AMR – do pomiaru kąta w zakresie 360°). Komunikacja z mikroprocesorem odbywa się przez interfejs SPI. ADMT4000 zawiera też detektor podnapięciowy i nadnapięciowy oraz czujnik temperatury. Omawiany enkoder charakteryzuje się szybkością próbkowania 100 kSps, zakresem zewnętrznego pola magnetycznego 16...31 mT i dopuszczalną temperaturą pracy złącza wynoszącą –40...+150°C. Jego zakres zastosowań obejmuje siłowniki i napędy stosowane w robotach przemysłowych, motoryzacji, przemyśle lotniczym i wojskowym oraz w aparaturze medycznej. Układ jest zamykany w obudowie TSSOP-24.

www.analog.com

Miniaturowe, szczelne potencjometry SMD do pracy w ciężkich warunkach środowiskowych

Firma Vishay powiększa ofertę podzespołów mechanicznych o nową serię miniaturowych potencjometrów SMD, przystosowanych do pracy w ciężkich warunkach środowiskowych. Są to potencjometry jednoobrotowe, produkowane w obudowach o powierzchni 7,0×6,7 mm i wysokości 5 mm. Charakteryzują się dopuszczalną temperaturą pracy do +70°C i stopniem ochrony IP67, świadczącym o dużej odporności na kurz i wodę. Zawierają cermetowy element rezystancyjny o małym współczynniku temperaturowym. W ramach serii TS7 dostępne są modele o zakresie rezystancji od 10 Ω do 2 MΩ i mocy znamionowej 0,5 W, z pokrętłem regulacyjnym na górze lub z boku obudowy.

www.vishay.com

Wypełniacz do szczelin o przewodności cieplnej 6,0 W/mK

Oddział Chomerics firmy Parker Hannifin wprowadza na rynek nowy wypełniacz do szczelin THERM-A-FORM CIP 60, zapewniający doskonałą przewodność cieplną na poziomie 6,0 W/mK. Jest to preparat dwuskładnikowy o proporcji mieszania 1:1, umożliwiający łatwe nakładanie ręczne lub automatyczne. Proces utwardzania trwa 60 minut w temperaturze 110°C lub 24 godziny w temperaturze 25°C. Po całkowitym utwardzeniu preparat charakteryzuje się twardością 50 w skali Shore'a i może pracować w zakresie temperatury otoczenia od –50 do +200°C. Wykazuje również właściwości tłumiące drgania, co pozwala sprostać trudnym warunkom pracy. Jego wytrzymałość dielektryczna wynosi 125 kVAC/mm, objętościowy opór właściwy 10^{13} Ω·cm, stała dielektryczna 69,3 (przy 1000 kHz), a współczynnik rozproszenia 0,006 przy 1000 kHz.

www.parker.com

6-osiowy czujnik inercyjny do zastosowań w motoryzacji

SCH1633-D01 to nowy 6-osiowy czujnik inercyjny firmy Murata z wewnętrznym żyroskopem i akcelerometrem, zaprojektowany do zastosowań w aplikacjach motoryzacyjnych. Został zrealizowany w technologii MEMS. Może być stosowany w systemach nawigacji, kontroli stabilności pojazdu i automatycznego kierowania

eprasa.pl e84dd9a9f2

oraz statycznych i dynamicznych układach poziomowania świateł. Oferuje zakresy pomiarowe: ±300°/s (żyroskop) i ±8 g (akcelerometr). Ponadto zakres dynamiczny akcelerometru dochodzi do ±26 g. Układ komunikuje się z mikroprocesorem przez interfejs SafeSPI 2.0 z obsługą ramek o rozmiarze do 20 bitów, zapewniający dużą rozdzielczość pomiaru. Wewnętrzny układ autodiagnostyki, monitorujący ponad 200 wewnętrznych sygnałów, gwarantuje niezawodną pracę układu i prawidłowe wyniki pomiarów.

SCH1633-D01 uzyskał kwalifikację AEC-Q100 grade 1, pozwalającą na pracę w ciężkich warunkach środowiskowych, w tym w temperaturze otoczenia od –40 do +110°C. Może być stosowany w systemach o poziomie nienaruszalności bezpieczeństwa do ASIL-D. Jest zamykany w obudowie SOIC-24 o wymiarach 13,4×11,8×2,9 mm.

www.murata.com

Miniaturowe przełączniki NanoT w wersjach top- i side-actuated o zróżnicowanej sile nacisku

Littelfuse rozszerza ofertę mikroprzełączników NanoT o nowe modele o zróżnicowanej sile nacisku, produkowane w wariantach z przyciskiem usytuowanym z boku lub z góry obudowy. Są to komponenty o wodoszczelnej konstrukcji (IP67), mogące znaleźć zastosowanie w słuchawkach dousznych, akcesoriach medycznych i wszelkiego typu niewielkich urządzeniach przenośnych. Charakteryzują się niezawodnością na poziomie 200...300 tys. cykli. W chwili obecnej są najmniejszymi tego typu przełącznikami dostępnymi na rynku. Ich wymiary wynoszą 2,2×1,7×1,65 mm – w przypadku wariantu z przyciskiem bocznym oraz 2,1×1,65×0,55 mm – dla wariantu z przyciskiem górnym. Pozwala to zaoszczędzić odpowiednio 35% i 20% powierzchni montażowej w porównaniu z najbliższymi odpowiednikami.

Nowe mikroprzełączniki NanoT występują w wersjach o sile aktywacji mechanizmu wynoszącej 100, 160 i 240 g. Wersje 100 g nadają się idealnie do zastosowań w urządzeniach o częstym klikaniu. Minimalna siła nacisku oznacza, że użytkownik może wielokrotnie aktywować przycisk, bez odczuwalnego zmęczenia dłoni. Wersje 160 g są polecane do zwykłego, codziennego użytkowania, gdy istotna jest zarówno wygoda, jak i precyzja. Najbardziej sztywne wersje 240 g ograniczają ryzyko przypadkowej aktywacji. Mogą znaleźć zastosowanie np. w środowiskach przemysłowych.

www.littelfuse.com

Energooszczędny moduł komunikacji satelitarnej z obsługą protokołu 3GPP Rel-17 IoT-NTN

Firma SIMCom opracowała nowy moduł komunikacji satelitarnej NTN (Non-Terrestrial Network), oznaczony symbolem SIM7070G-HP-S i umożliwiający korzystanie z sieci satelitarnych na obszarach, gdzie tradycyjne sieci naziemne okazują się niedostępne lub nie są w stanie zapewnić wymaganych parametrów łącza. Moduł obsługuje protokół 3GPP Rel-17 IoT-NTN w pasmach L (B255) i S (B23/B256). Może znaleźć zastosowanie w aplikacjach wymagających małych opóźnień w zróżnicowanych warunkach propagacji fal

REKLAMA

arm KEIL

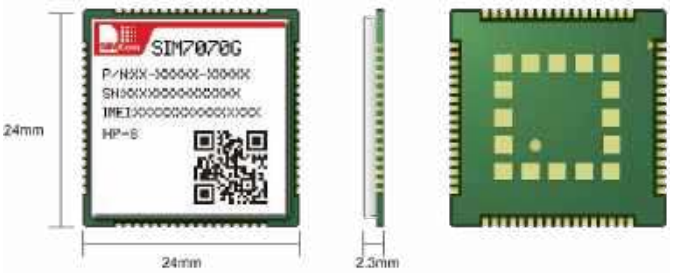
Nowe zasady licencjonowania Arm KEIL

- Model User-Based Licensing (UBL) oraz MDK v6, które zawiera między innymi: FuSa w wersji Professional, Keil Studio Visual Studio Code Extensions, Keil Studio Cloud, Arm Virtual Hardware (AVH), Arm Compiler for Embedded
- Licencje sieciowe i stanowiskowe dostępne tylko do 30.06.2025
- Ostania szansa na zakup licencji bezterminowych do 30.06.2025

Dowiedz się więcej na www.ccontrols.pl

COMPUTER CONTROLS
Computer Controls Sp. z o.o.
Bielsko-Biała, ul. Bystrzańska 94
Tel: +48 (33) 485 94 90
E-mail: info@ccontrols.pl

eprasa.pl e84dd9a9f2

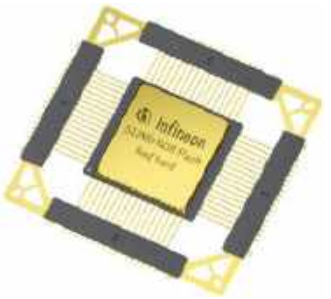


radiowych. Zapewnia przepustowość 250 kbps (DL)/200 kbps (UL) w systemach IoT-NTN oraz do 589 kbps (DL)/1119 kbps (UL) w systemach Cat-M.

Opisywany produkt jest zamykany w obudowie LCC+LGA o powierzchni 24×24 mm, zapewniającej kompatybilność z wcześniejszymi układami z oferty SIMCom (SIM7000X, SIM800F, SIM900), co ułatwia integrację w istniejących projektach. Interfejsy UART, GPIO, PCM, SPI i I²C zapewniają łatwą rozbudowę i skalowanie aplikacji. Dzięki wbudowanym funkcjom oszczędzania energii, takim jak PSM (Power Saving Mode) i eDRX (Extended Discontinuous Reception), moduł charakteryzuje się energooszczędną pracą. Przy napięciu zasilania 3,8 V pobiera 3,8 µA prądu w trybie głębokiego uśpienia i 0,45 mA w trybie Sleep, co pozwala na wydłużenie żywotności baterii nawet do 10 lat, a w konsekwencji czyni SIM7070G-HP-S idealnym wyborem do zastosowań w systemach zdalnego monitorowania, telemetrii i śledzenia zasobów oraz aplikacjach e-health.

www.simcom.com

Pierwsza w branży pamięć NOR Flash 512 Mb z kwalifikacją QML



Infineon wprowadza na rynek pierwszą w branży pamięć NOR Flash 512 Mb z kwalifikacją QML, przeznaczoną do pracy w przestrzeni kosmicznej. Układ oznaczony symbolem CYRS17B512 jest zamykany w dwóch typach obudów: ceramicznej QML-V o powierzchni 25×25 mm oraz plastikowej TQFP (QML-P) o wymiarach 20×13 mm. Zawiera interfejs QSPI do komunikacji z układami FPGA i mikroprocesorami. Zapewnia niezawodność na poziomie 10 tys. cykli programowania/kasowania oraz 10-letni czas retencji danych. Może pracować w militarnym zakresie temperatury otoczenia od –55 do +125°C.

Pamięć została zrealizowana w technologii SONOS (Silicon-Oxide Nitride-Oxide-Silicon) z przechowywaniem ładunku elektrycznego w „pułapkach" w warstwie azotku krzemu. Zapewnia odporność na całkowitą dawkę napromieniowania (TID) do 300 krad (Si) i impulsy energetyczne SEL co najmniej do 80 MeV·cm²/mg.

www.infineon.com

Wysokostabilny oscylator OCXO w obudowie 7,5 × 5,5 mm

Firma IQD, będąca oddziałem Würth Elektronik, zaprezentowała na tegorocznych targach Electronica nowy, miniaturowy oscylator OCXO o symbolu IQOV-116, będący najmniejszym obecnie modelem w jej ofercie. Jest on zamykany w obudowie o wymiarach podstawy zaledwie 7,5×5,5 mm – czyli niewiele większej od standardowych oscylatorów zegarkowych. Charakteryzuje się tolerancją ±1,50 ppm, stabilnością ±20 ppb w szerokim zakresie temperatury otoczenia od –40 do +95°C i szumami fazowymi –150 dBc/Hz @ 1 kHz. Dryf długoterminowy wynosi ±5 ppb/dzień i maksymalnie ±0,5 ppm/rok.

IQOV-116 pracuje z napięciem zasilania 3,3 V, pobierając 230 mA prądu w stanie stabilnym. Występuje w wersjach o częstotliwości znamionowej 10 MHz, 19,2 MHz i 20 MHz. Jest polecany do zastosowań głównie w systemach komunikacji bezprzewodowej i systemach pomiarowych. Producent oferuje go również w wersjach na indywidualne zamówienia o niestandardowych częstotliwościach.

www.iqdfrequencyproducts.com

Małogabarytowy czujnik jakości powietrza o 10-letniej żywotności

Panasonic dodaje do oferty czujników jakości powietrza kolejny małogabarytowy sensor laserowy o oznaczeniu SN-GCQB1, umożliwiający monitorowanie temperatury, wilgotności oraz zawartości cząstek stałych i lotnych związków organicznych. Nowa konstrukcja wyróżnia się na tle wcześniejszych modeli małymi gabarytami i długim czasem bezawaryjnej pracy. Jest jednym z najmniejszych tego typu urządzeń spośród dostępnych na rynku, produkowanym w prostopadłościennej obudowie o wymiarach 37×37×12 mm. Zoptymalizowana konstrukcja wewnętrznego duktu powietrznego, ograniczająca akumulację kurzu, zapewnia ochronę wewnętrznych elementów elektronicznych i pozwala uzyskać dużą dokładność pomiaru, nawet w najbardziej wymagających warunkach pracy.

Wewnętrzny czujnik optyczny mierzy zawartość cząstek stałych w trzech kluczowych klasach: PM1.0, PM2.5 i PM10. Oferuje mechanizm autokalibracji, gwarantujący dużą dokładność pomiaru w długim okresie eksploatacji. Powłoka zewnętrzna, zabezpieczona specjalną żywicą, stanowi zaporę dla fal elektromagnetycznych, zapewniając mały dryft długoterminowy, wysoką stabilność pomiaru i krótki czas reakcji. Przewidywana żywotność czujnika wynosi ponad 10 lat, co czyni go idealnym do zastosowań w fabrykach, instalacjach HVAC, klimatyzatorach pokojowych, oczyszczaczach powietrza itp.

Ważniejsze parametry:

- minimalna średnica wykrywanych cząstek: 0,3 µm,
- zakres pomiarowy TVOC: 0,015...10 mg/m³,
- dokładność pomiaru pyłu zawieszonego: ±10 µg/m³,
- zakres pomiarowy eCO_2: 400...5000 ppm,
- zakres pomiaru wilgotności: 0...100%RH,
- dokładność pomiaru wilgotności: ±3,0%RH,
- zakres pomiaru temperatury: –10...+60°C,
- dokładność pomiaru temperatury: ±0,4°C,
- interfejs: I²C/UART (3,3 V),
- czas pomiaru: 10 s.

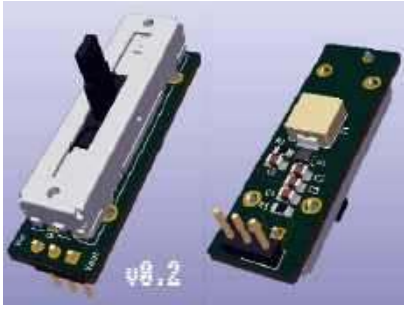
http://industry.panasonic.eu

eprasa.pl e84dd9a9f2

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.

Płytka deweloperska do przetwornicy typu boost



Prezentowany projekt został oparty na układzie TPS61022 i przystosowany do użycia na płytkach prototypowych. Niewielki moduł umożliwia generowanie różnych napięć z pojedynczej baterii 1,5 V, co jest szczególnie przydatne w urządzeniach bazujących na mikrokontrolerach, w tym ESP32. Autor opracował ten projekt w ramach rozwijania swoich umiejętności w zakresie projektowania PCB, a przy okazji stworzył kompaktową i wygodną alternatywę dla dostępnych na rynku modułów przetwornic DC/DC. Układ jest przeznaczony dla osób chcących nauczyć się pracy z komponentami SMD oraz dla użytkowników szukających uniwersalnego modułu podwyższającego napięcie.

Obecnie autor pracuje nad uporządkowaniem dokumentacji w repozytorium na GitHubie, dlatego też numeracja wersji w artykule na portalu Hackaday i na GitHubie może nie być spójna. W chwili pisania niniejszego tekstu uruchamiana i testowana jest wersja v0.2 modułu.

https://github.com/n8thnl/boost-converter
https://tiny.pl/r9_w5905

Samoreplikujaca się wizytówka USB-HID oparta na WS2812 i RF24

Projekt ten to kolejne zgłoszenie na wyzwanie Hackaday dotyczące elektronicznych wizytówek. Pokazany na fotografii wszechstronny układ w formie wizytówki wyposażony został w mikroprocesor ATtiny84 oraz moduły V-USB, diody WS2812 i moduł bezprzewodowy nRF24L01+, który może pełnić funkcję programatora USBasp.

Urządzenie zawiera wprawdzie typowe elementy wizualne spotykane na klasycznych wizytówkach, ale w rzeczywistości oferuje dość zaawansowane funkcje bezprzewodowe, w tym możliwość „samoreplikacji" – czyli programowania kolejnych kart za pomocą jednej z nich. Twórca postawił na unikalne połączenie funkcjonalności i kompaktowego formatu, tworząc inspirujące urządzenie o wielu praktycznych zastosowaniach.

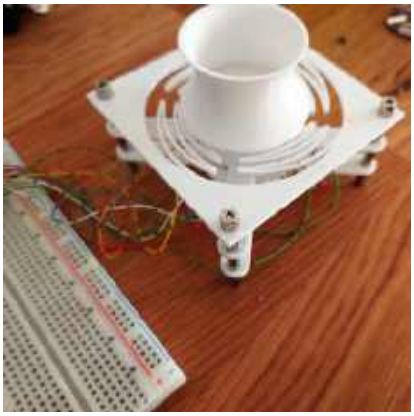
https://tiny.pl/vhb4fptm

Zasilana solarnie latarka formatu wizytówki

Na wyzwanie portalu Hackaday dotyczące elektronicznych wizytówek przesłano także wiele innych, ciekawych projektów – kolejnym z nich jest innowacyjna wizytówka wyposażona w lampkę LED RGB ładowaną energią słoneczną. Zintegrowane ogniwo solarne ładuje wbudowany akumulator, który zasila trzy diody LED (czerwoną,zieloną i niebieską). Regulacja jasności każdej diody odbywa się za pomocą potencjometrów, co pozwala na uzyskanie szerokiej gamy kolorów światła. Projekt ten jest praktyczną i estetyczną alternatywą dla klasycznej wizytówki, a przy okazji służy jako ekologiczna latarka.

https://tiny.pl/dpm0ttv6

Jeszcze jedna myszka 3D



Kontrolery takie jak klawiatury czy myszki – w tym myszki 3D – często przewijają się na łamach tego działu. Projekt „One More 3D Mouse" to innowacyjne podejście do stworzenia ergonomicznej myszy 3D, która umożliwia intuicyjne sterowanie obiektami i przestrzeniami w środowiskach trójwymiarowych. Głównym celem tego projektu jest zapewnienie użytkownikowi łatwości i precyzji w manipulowaniu grafiką 3D, co czyni urządzenie idealnym dla projektantów, inżynierów i wszystkich innych osób pracujących z oprogramowaniem CAD czy też pakietami do modelowania 3D. Dzięki zastosowaniu nowoczesnych sensorów i kontrolerów opisywana mysz pozwala na płynne sterowanie w wielu osiach, dając użytkownikowi pełną swobodę ruchu, bez konieczności zmiany pozycji dłoni.

Sensory zawarte w konstrukcji „One More 3D Mouse" wykonano w oparciu o pomiar pola magnetycznego w bazie myszki i cztery magnesy umieszczone w manipualtorze. Ten ostatni element jest bardzo ciekawy mechanicznie, gdyż ma wydrukowany nie tylko sam uchwyt manipulatora, ale także zintegrowane z nim elementy podatne – sprężyny – które pozwalają na ruch manipulatora w wielu osiach.

https://cdn.hackaday.io/images/7227861719513262238.JPG
https://hackaday.io/project/196687-one-more-3d-mouse

eprasa.pl e84dd9a9f2

AVT sklep

W ofercie AVT*
AVT6072

Najważniejsze parametry:
- stereofoniczna konstrukcja oparta na popularnych lampach EL84 i ECC83,
- moc wyjściowa: 4...4,5 W @ 8 Ω,
- pasmo przenoszenia @ 1 W: 20...50000 Hz,
- czułość przy mocy znamionowej 4 W: 820 mV,
- zniekształcenia przy mocy znamionowej, 100 Hz/1 kHz/10 kHz: 2/1,5/1,2%,
- zniekształcenia przy mocy 1 W, 100 Hz/1 kHz/10 kHz: 0,5/0,4/0,4%.

Projekty pokrewne na stronie www.ep.com.pl (aktywne linki do artykułów):
- Lampowy wzmacniacz stereofoniczny. Single ended, bez globalnej pętli sprzężenia zwrotnego
- Wzmacniacz lampowy ze sprzężeniem katodowym
- Lampowy przedwzmacniacz gramofonowy
- Wzmacniacz lampowy z regulacją barwy dźwięku
- Wzmacniacz lampowy PCL86 Stereo
- ECL82SE. Stereofoniczny wzmacniacz lampowy dla początkujących
- Sansuix – lampowy wzmacniacz mocy 2×20 W

* **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**

Klasyk – wzmacniacz lampowy EL84SE

Prezentowany projekt jest prostym wzmacniaczem dla osób rozpoczynających przygodę z elektroniką lampową. Jest to klasyczna aplikacja najbardziej popularnych lamp przeznaczonych do wzmacniaczy audio – pentody EL84 i triody ECC83.

UWAGA!
We wzmacniaczu występują wysokie napięcia (300 V DC) niebezpieczne dla życia oraz wysoka temperatura. Uruchamianie należy przeprowadzić z zachowaniem szczególnej ostrożności, wszelkie manipulacje bądź zmiany wartości elementów wykonujemy po wyłączeniu wzmacniacza i odczekaniu do rozładowania kondensatorów elektrolitycznych. Wzmacniacz musi być podłączony do sprawnej instalacji zasilającej poprzez gniazdo sieciowe 230 V z bolcem ochronnym.

Zasada działania

Konstrukcja urządzenia jest klasyczna i bazuje na wzmacniaczu dwustopniowym. Stopnień wzmocnienia napięciowego zrealizowany został na podwójnej triodzie ECC83 (**fotografia 1**, **rysunek 1**), a końcówka mocy – na pentodzie EL84 (**fotografia 2**, **rysunek 2**). Taki zestaw lamp umożliwia wykonanie prostego wzmacniacza o mocy około 4...4,5 W, pracującego w konfiguracji SE.

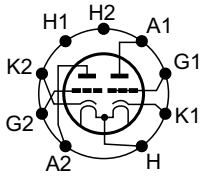
Fotografia 1. Wygląd lampy ECC83

Fotografia 2. Wygląd lampy EL84

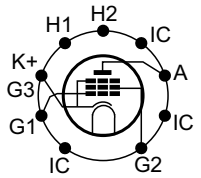
Schemat ideowy wzmacniacza pokazano na **rysunku 3**. Elementy kanału lewego oznaczono „L", zaś kanału prawego – „R". Elementy wspólne dla obu kanałów nie mają dodatkowych oznaczeń. Schemat połączeń gotowego wzmacniacza prezentuje **rysunek 4**.

Sygnał wejściowy z gniazda JIN doprowadzany jest do potencjometru regulacji głośności RV1, a stąd do złącza IN na płytce wzmacniacza. Dalej, już bez kondensatora separującego składową stałą (praktycznie wszystkie urządzenia mają separację, więc nie ma sensu jej powielać), sygnał trafia na siatkę sterującą triody V1 poprzez rezystor „antywzbudzeniowy" R2L. V1 pracuje w układzie polaryzacji automatycznej – do wytworzenia ujemnego napięcia na siatce sterującej, ustalającego punkt pracy, stosowany jest spadek napięcia, jaki wywołuje przepływ prądu anodowego przez rezystor katodowy R3L+R5L. Wzmocniony sygnał wejściowy wysterowuje – poprzez kondensator

eprasa.pl e84dd9a9f2



Rysunek 1. Schemat wyprowadzeń lampy ECC83



Rysunek 2. Schemat wyprowadzeń lampy EL84

C2L (separujący składową stałą) – siatkę pentody V2L. R8L, podobnie jak wcześniej, pełni funkcję antywzbudzeniową (tworzy z pojemnością wejściową lampy filtr dolnoprzepustowy). Wzmacniacz objęty jest pętlą globalnego sprzężenia zwrotnego R4L/C1L. Elementy R7L i CE2L zapewniają dodatkową filtrację napięcia zasilającego stopnie wstępne.

R10L, CE3L odpowiadają za automatyczną polaryzację pentody. Rezystor R11L polaryzuje drugą siatkę pentody. W obwód anodowy V2L włączony jest transformator głośnikowy 5 kΩ/8 Ω, dopasowujący niską impedancję głośnika. Kondensator C1L w obwodzie sprzężenia zwrotnego kształtuje charakterystykę wzmacniacza. Jeżeli zastosowany zostanie inny transformator, należy odpowiednio dobrać jego wartość w celu jak najwierniejszego przenoszenia przebiegu prostokątnego.

Napięcie anodowe dostarczone jest z uzwojenia 230 V/0,2 A transformatora sieciowego o mocy 60 VA. Po wyprostowaniu i wygładzeniu napięcie to filtrowane jest w stopniu aktywnym, opartym na tranzystorze Q1, wymagającym niewielkiego radiatora. Napięcie żarzenia 6,3 V dostarczone jest z drugiego uzwojenia transformatora TS1. Aby zminimalizować przydźwięk od żarzenia, zastosowana jest symetryzacja rezystorami R5, R6. Z obwodu żarzenia zasilana jest także dioda LED sygnalizująca pracę wzmacniacza.

Tabela 1. Wyniki pomiaru parametrów wzmacniacza

Parametr	Wartość	Jednostka
Napięcie zasilania	230	V
Rezystancja obciążenia	8	Ω
Moc wyjściowa	4	W
Zniekształcenia przy mocy znamionowej 100 Hz/1 kHz/10 kHz	2/1,5/1,2	%
Zniekształcenia przy mocy 1 W 100 Hz/1 kHz/10 kHz	0,5/0,4/0,4	%
Pasmo przenoszenia 1 W	20...50 000	Hz
Czułość przy mocy znamionowej	820	mV

Montaż wzmacniacza

Wzmacniacz zmontowany jest na dwustronnej płytce drukowanej – rozmieszczenie elementów pokazują **rysunki 5a** i **5b**. Aby umożliwić odpowiednie wyeksponowanie lamp, podstawki montowane są na warstwie TOP, na której nie ma innych wystających elementów. Ułatwia to mocowanie płytki do górnej części obudowy wzmacniacza za pomocą kołków dystansowych o długości 10...12 mm. Wszystkie gniazda połączeniowe płytki są łatwo dostępne od spodu obudowy.

Montaż wzmacniacza podzielony jest na dwa etapy. W pierwszej kolejności montujemy płytkę drukowaną. Kolejność montażu jest klasyczna i nie wymaga opisu. Należy pamiętać, aby wszystkie rezystory o mocy większej niż 0,5 W oddalić od powierzchni płytki drukowanej, żeby ułatwić odprowadzenie ciepła. W płytce przewidziano kilkanaście otworów umożliwiających cyrkulację powietrza wokół lamp i nagrzewających się elementów.

Drugi etap to montaż wzmacniacza w obudowie wg schematu z rysunku 4. Ze względu na różnorodność zastosowanych obudów etap ten musi być przemyślany indywidualnie. Należy jednak starać się odsunąć lampy i transformatory głośnikowe od transformatora sieciowego, polecam też zastosowanie transformatora toroidalnego, cechującego się mniejszym rozproszeniem pola magnetycznego. Połączenia sygnałowe wejść i sprzężenia zwrotnego należy poprowadzić przewodem w ekranie, pozostałe przewody – szczególnie te doprowadzające napięcie żarzenia – należy prowadzić skrętką i – w miarę możliwości – daleko od przewodów sygnałowych. Przewody sieciowe, napięcia anodowego oraz uzwojeń anodowych transformatorów głośnikowych należy dodatkowo zaizolować rurką termokurczliwą lub koszulką olejową. Nie należy zapominać o zapewnieniu odpowiedniej cyrkulacji powietrza wokół lamp poprzez wykonanie otworów wentylacyjnych w obudowie wzmacniacza.

Zmontowaną płytkę pokazano na **fotografii 3**.

REKLAMA

Zaawansowane rozwiązania do testowania i inspekcji PCB

Sprawdzimy między innymi jakość lutowania Twoich płytek PCB

- 3D AOI-SPI z AI
- Wykrywanie zanieczyszczenia jonowego
- Inspekcja i analiza X-Ray (Rentgen)
- Testy Flying Probe (FPT)
- Adaptery do testów In-Circuit (ICT)
- Testy funkcjonalne FCT

SEMICON®

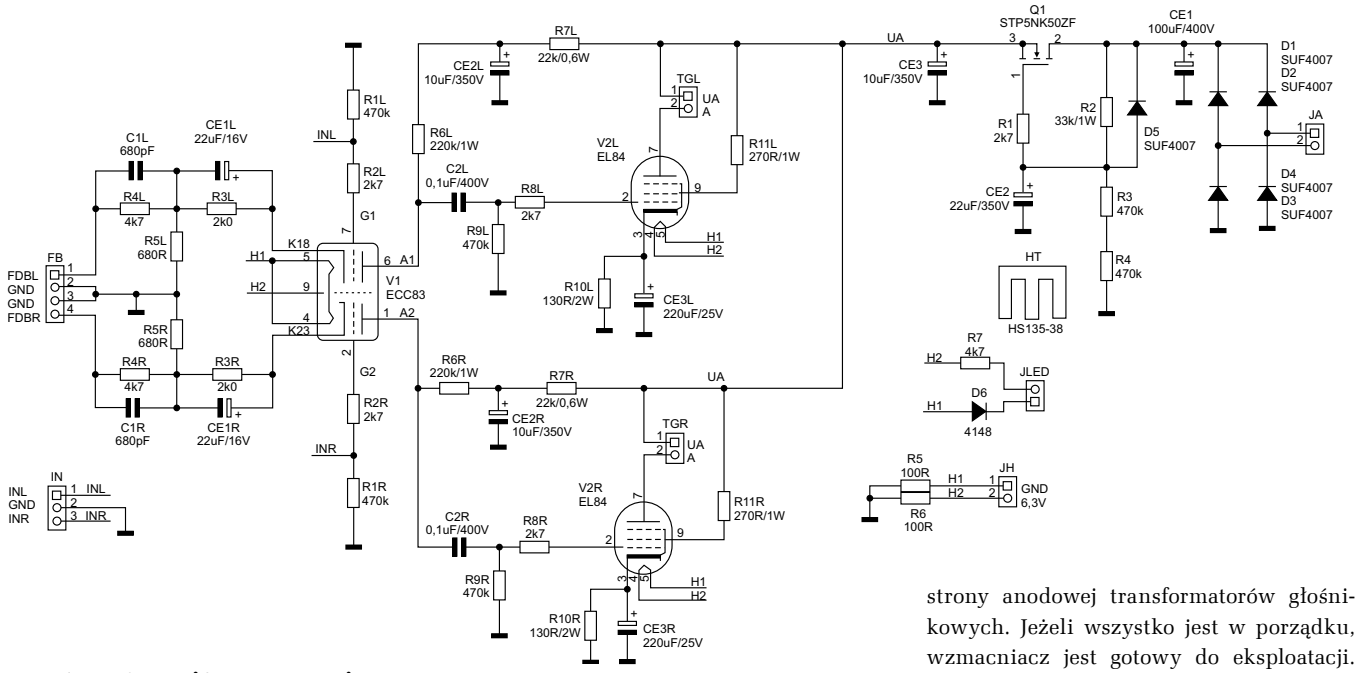
Wykaz elementów:

Rezystory:
R1, R2L, R2R, R8L, R8R: 2,7 kΩ (SMD 1206, 1%)
R2: 33 kΩ/1 W (THT, metalizowany)
R3, R4, R1L, R1R, R9L, R9R: 470 kΩ (SMD 1206, 1%)
R5, R6: 100 Ω (SMD 1206, 1%)
R7, R4L, R4R: 4,7 kΩ (SMD 1206, 1%)
R10L, R10R: 130 Ω/2 W (THT, metalizowany)
R11L, R11R: 270 Ω/1 W (THT, metalizowany)
R3L, R3R: 2 kΩ (SMD 1206, 1%)
R5L, R5R: 680 Ω (SMD 1206, 1%)
R6L, R6R: 220 kΩ/1 W (THT, metalizowany)
R7L, R7R: 22 kΩ/0,6 W (THT, metalizowany)

Kondensatory:
C1L, C1R: 680 pF (SMD 1206, NP0, 50 V)
C2L, C2R: 100 nF/400 V (THT osiowy, foliowy)
CE1: 100 µF/400 V (SNAP 25 mm, elektrolityczny)
CE2: 22 µF/350 V (SNAP 12 mm, elektrolityczny)
CE3, CE2L, CE2R: 10 µF/350 V (THT 10 mm, elektrolityczny)
CE1L, CE1R: 22 µF/16 V (THT 5 mm, elektrolityczny)
CE3L, CE3R: 220 µF/25 V (THT 10 mm, elektrolityczny)

Półprzewodniki:
D1...D5: SUF4007 (SMB)
D6: 1N4148 (SMD 1206)
Q1: STP5NK50ZF (TO-220 izolowany)

Pozostałe:
FB: złącze KK4 proste (kompletne)
HT: HS135-38 (radiator 38 mm z zestawem montażowym)
IN: złącze KK3 proste (kompletne)
JA, JH, TGL, TGR: złącze ARK 5 mm
JLED: złącze KK2 proste (kompletne)
V1: ECC83 (lampa ECC83 z podstawką noval do druku)
V2L,V2R: EL84 (lampa EL84 z podstawką noval do druku)
Transformatory (opis w tekście)



Rysunek 3. Schemat ideowy wzmacniacza

Uruchomienie

Po sprawdzeniu poprawności montażu wyjmujemy lampy z płytki i podłączamy wzmacniacz do sieci zasilającej (najlepiej przez autotransformator). Sprawdzamy obecność napięć żarzenia (6,3 VAC), anodowego (ok. 260...300 V DC), jeżeli nic nie budzi naszych wątpliwości, wyłączamy wzmacniacz, czekamy chwilę na rozładowanie pojemności, wkładamy lampy w podstawki, do wejścia podłączamy generator audio, wyjście obciążamy rezystorami 8 Ω/10 W, a na koniec podłączamy oscyloskop. Ponownie podajemy zasilanie sieciowe. Lampy powinny się żarzyć, a napięcie anodowe powinno wynosić ok. 270 V DC. Na rezystorach katodowych napięcie względem masy powinno wynosić ok. 6...7 V (w zależności od stanu lamp). Jeżeli wzmacniacz wzbudzi się, należy go wyłączyć i zamienić wyprowadzenia strony anodowej transformatorów głośnikowych. Jeżeli wszystko jest w porządku, wzmacniacz jest gotowy do eksploatacji. W przypadku zastosowania innych transformatorów wyjściowych warto skorygować wartości elementów C1L/R.

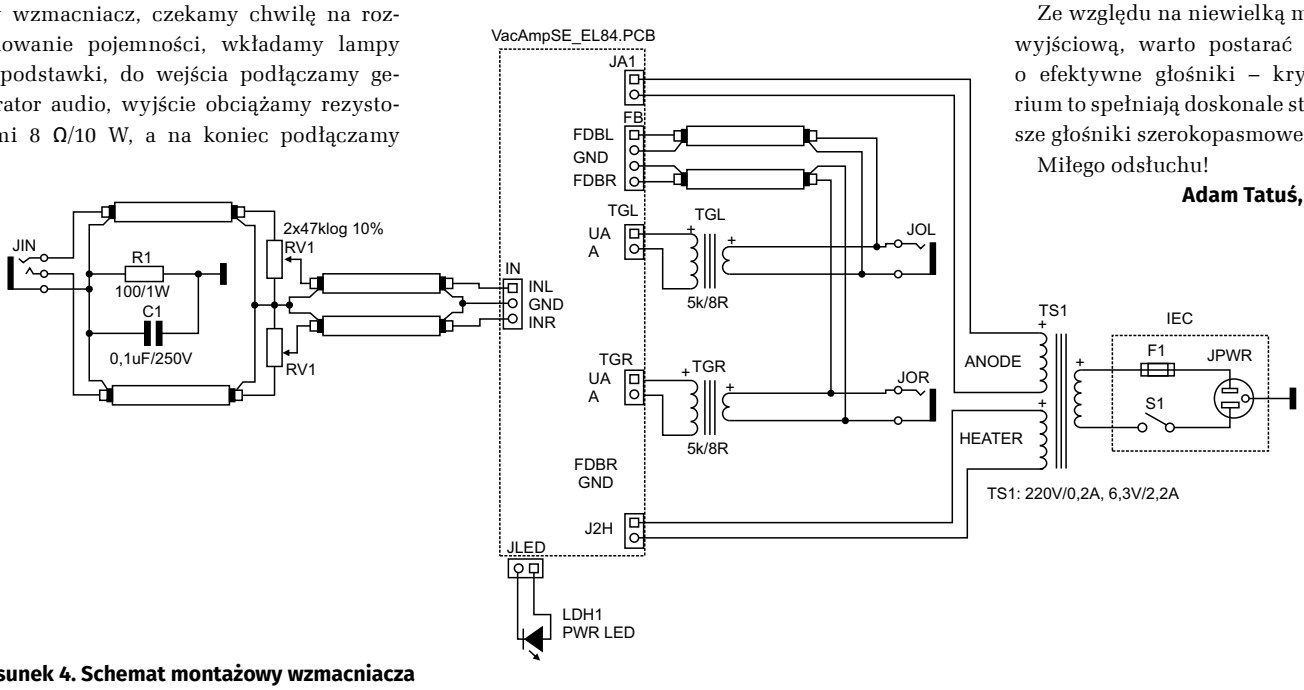
Pomimo prostoty układu, wzmacniacz ma przyjemne brzmienie i całkiem znośne parametry – patrz **tabela 1**.

Przykładowe przebiegi uzyskane podczas testów przedstawia **rysunek 6**. Pokrywają się całkowicie z wynikami pomiarów zniekształceń.

Ze względu na niewielką moc wyjściową, warto postarać się o efektywne głośniki – kryterium to spełniają doskonale starsze głośniki szerokopasmowe.

Miłego odsłuchu!

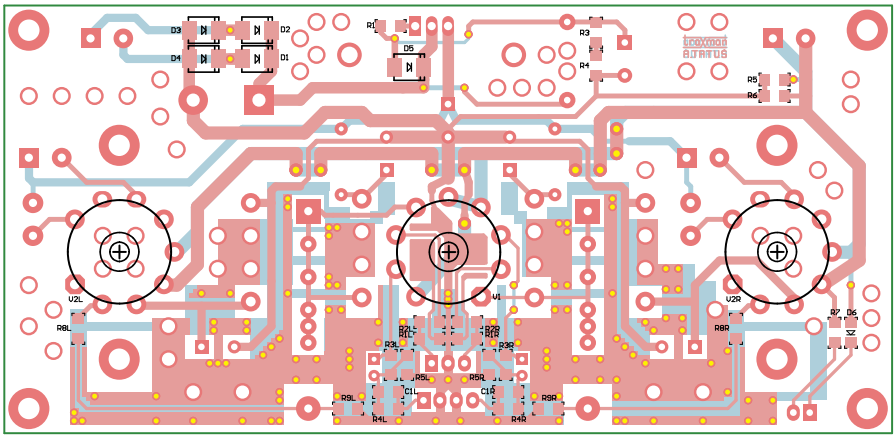
Adam Tatuś, EP



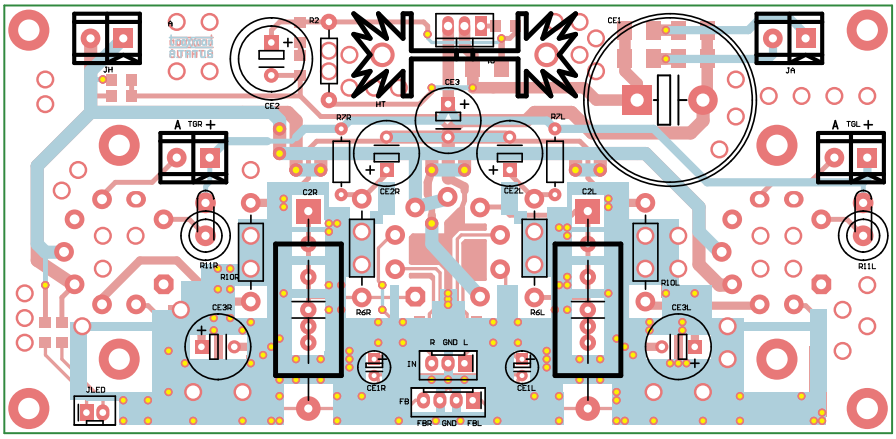
Rysunek 4. Schemat montażowy wzmacniacza

eprasa.pl e84dd9a9f2

a)

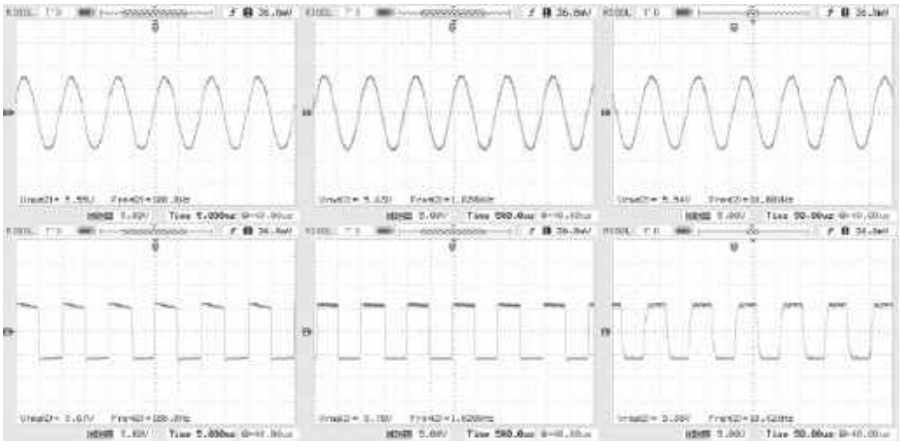


b)



Rysunek 5. Rozmieszczenie elementów wzmacniacza (a – strona TOP, b – strona BOTTOM)

Fotografia 3. Zmontowana płytka wzmacniacza



Rysunek 6. Przykładowe przebiegi uzyskane podczas testów wzmacniacza

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

REKLAMA

eprasa.pl e84dd9a9f2

AVT sklep

Najważniejsze parametry:
- czteropozycyjny wyświetlacz matrycowy o organizacji 5×7 pikseli,
- zasilanie: 3,3...5 V/200 mA (min.),
- interfejs: I²C,
- programowe sterowanie zawartością wyświetlacza, jasnością oraz trybem migania,
- cztery wersje kolorystyczne do wyboru: czerwona, pomarańczowa, żółta, zielona.

Projekty pokrewne na stronie www.ep.com.pl (aktywne linki do artykułów):
- Termometr analogowy z lampą Nixie
- Sterowanie lampy Nixie z Arduino
- PiCardo – wizytówka będąca jednocześnie retrokonsolą
- PiTelephone – retro telefon z Raspberry Pi
- SDC_Zero – komputer retro do zmontowania w pół godziny
- Konsola do gier retro z RPi Zero
- retroWatch – zegarek naręczny w stylu retro
- Retro wzmacniacz mocy z tranzystorami germanowymi

* **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**

Retro wyświetlacz matrycowy LED z interfejsem I²C

Nie tylko w technice audio zwolenników znajdują rozwiązania retro – takie jak lampy elektronowe czy tranzystory germanowe. Także w codziennych zastosowaniach można zastosować starsze, niespotykane już dzisiaj rozwiązania, jakimi są wyświetlacze Nixie, Numitron lub VFD.

W opisywanym module użyto czteroznakowego, alfanumerycznego wyświetlacza LED o organizacji matrycy 5×7 punktów. Zintegrowane ze sterownikiem wyświetlacze (H)DLx-3416 lub ich zamienniki były spotykane powszechnie w sprzęcie wojskowym lub wyższej klasy przyrządach pomiarowych. Co ciekawe, niektóre modele są dalej produkowane i dostępne u większych dystrybutorów. Decydując się na ten (dosyć spory) wydatek, możemy uatrakcyjnić interfejs użytkownika konstruowanego urządzenia, wyróżniający się niespotykanym wyglądem i kolorem świecenia, a przy okazji uniknąć obcowania z wysokim napięciem, co było konieczne w przypadku wyświetlaczy Nixie. W wersji oszczędnościowej i przy poświęceniu kilku chwil na wyszukanie stosownej oferty, można zastosować wyświetlacze z demontażu, dostępne czasem na aukcjach internetowych. Aby moduł dostosować do współczesnych wymogów, dodano możliwość regulacji natężenia świecenia matrycy LED oraz funkcję migania z określonym współczynnikiem wypełnienia. Dzięki zastosowaniu magistrali I²C oraz uniwersalnego zasilania 3,3...5 V moduł działa poprawnie z Raspberry Pi, STM32, Arduino i wieloma innymi platformami.

Schemat układu zaprezentowano na **rysunku 1**. Minimoduł bazuje na wyświetlaczu typu DLx-3416, gdzie x oznacza kolor świecenia matrycy LED. Dostępne wykonania to: O – czerwony, A – pomarańczowy, Y – żółty, G – zielony. Wyświetlacze z rodzin HDLx oraz DLx są wzajemnie kompatybilne pod względem wyprowadzeń, różnią się natomiast realizacją dodatkowych funkcji, np. możliwościami regulacji jasności czy sterowania kursorem. Wyświetlacze z serii HDLx mają dodatkowo uproszczony dekoder adresowy, co w prezentowanym module nie ma jednak znaczenia. Budowę wewnętrzną wyświetlacza pokazano na **rysunku 2**.

DLx-3416x ma wbudowane wszystkie elementy odpowiadające za wyświetlanie multipleksowe czterech znaków ASCII. Komunikacja odbywa się poprzez magistralę równoległą: szyna danych D0...

Wykaz elementów:

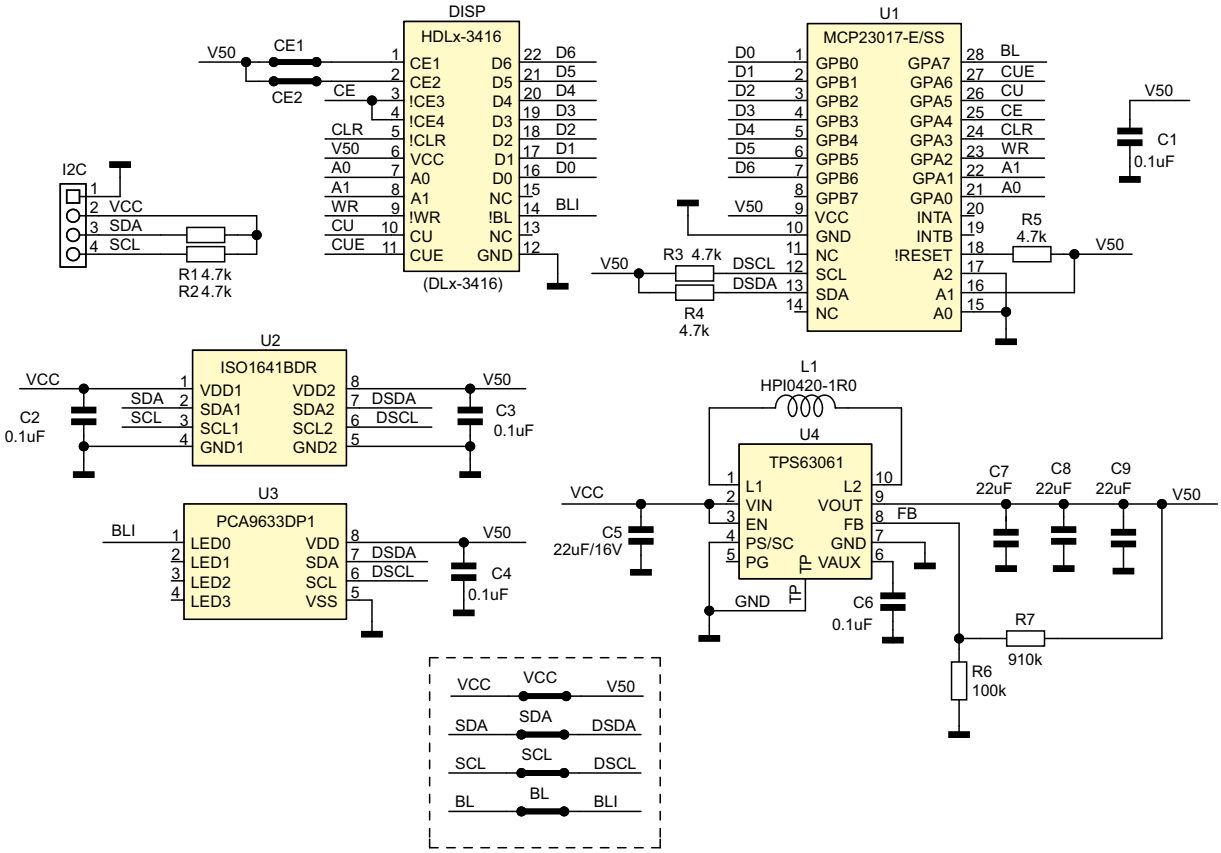
Rezystory:
R1...R5: 4,7 kΩ (SMD 0402, 5%)
R6: 100 kΩ (SMD 0402, 1% – patrz opis)
R7: 910 kΩ (SMD 0402, 1% – patrz opis)

Kondensatory:
C1...C4, C6: 100 nF (SMD 0402, 16 V)
C5: 22 μF (SMD 0805, 16 V)
C7...C9: 22 μF (SMD 0603, 10 V)

Półprzewodniki:
DISP: wyświetlacz matrycowy (OSRAM HDLx-3416)
U1: MCP23017-E/SS (SSOP28_065)
U2: ISO1641BDR (SO8)
U3: PCA9633DP1 (TSSOP8_065)
U4: TPS63061DSC (WSON10)

Pozostałe:
I²C: złącze Grove SMD kątowe (HY2.0-4P)
L1: dławik SMD (typ: HPI0420-1R0)

eprasa.pl e84dd9a9f2



Rysunek 1. Schemat ideowy układu

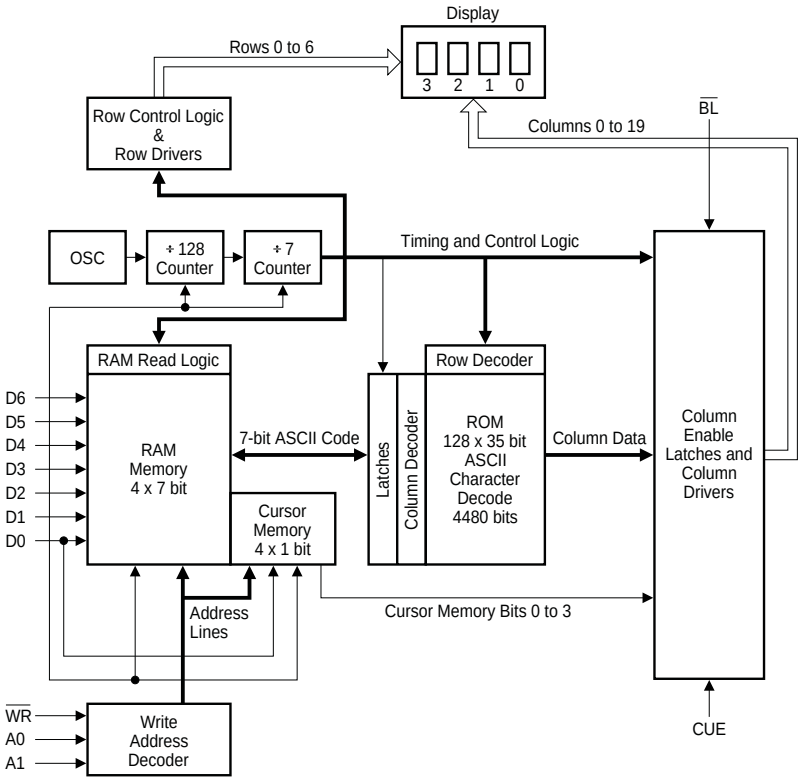
D6 odpowiada za przesyłanie kodu znaku do wyświetlenia, sygnały A0, A1 wybierają aktywne pole wyświetlacza 3..0 (A1=A0=0 wybiera skrajnie prawą pozycję wyświetlacza), sygnał !WR aktywuje zapis danych z magistrali do kontrolera wyświetlacza, !CLR kasuje wyświetlaną zawartość i resetuje kontroler, sygnały CEx/!CEx aktywują wybór wyświetlacza w trybie adresowanym, przy jednoczesnej pracy kilku wyświetlaczy na jednej magistrali, ułatwiając budowę pól odczytowych o liczbie znaków większej niż cztery. Możliwe jest niezależne sterowanie kursorem za pomocą sygnałów CU/CUE. Sterownik wyświetlacza umożliwia wygaszanie lub – po dodaniu zewnętrznego generatora – regulację jasności, przy użyciu wyprowadzenia BL. Wszystkie sygnały aktywowane są poziomem logicznym. Wbudowane bloki generatora znaków i sterownika multipleksującego upraszczają oprogramowanie modułu.

Wyświetlacz DLx-3416 wymaga źródła zasilania 5 V o obciążalności co najmniej 200 mA (przy świecących 80 pikselach). Za dostarczenie zasilania 5 V do elementów układu odpowiada przetwornica U4 typu TPS63061, pracująca w zakresie napięć 3,3...5 V. Płytka umożliwia zamienne stosowanie układów TPS63061 o ustalonym na 5 V napięciu wyjściowym (w tym przypadku w miejsce rezystora R7 należy wlutować zworę) oraz TPS63060 o regulowanym dzielnikiem R6, R7 napięciu wyjściowym (w tym przypadku lutujemy elementy R6, R7 o wartościach podanych na schemacie).

Interfejs równoległy wyświetlacza połączony jest z GPIO ekspandera magistrali I²C U1 typu MCP23017 (adres 0x22). Sygnały danych podłączono do portu GPB, a sygnały sterujące – do portu GPA. Sterownik wyświetlacza umożliwia tylko zapis, więc oba rejestry odpowiedzialne za kierunek transmisji portów GPA, GPB ustawione są jako wyjścia. Układ U2 pełni funkcję konwertera poziomów magistrali I²C. Jeżeli nie przewidujemy konieczności uniwersalnego zasilania 3,3...5 V, a tylko 5 V (np. w przypadku współpracy z Arduino), możemy elementy przetwornicy U4 i konwertera poziomów U2 pominąć, montując odpowiednio zwory VCC, SDA, SCL. Ostatnim elementem jest układ generatora PWM (U3 typu PCA9633, adres 0x62), służący do programowej regulacji jasności wyświetlacza z użyciem sygnału wygaszania BL. PCA9633, oprócz generowania przebiegu PWM, ma możliwość wytwarzania sygnału o niskiej częstotliwości w celu realizacji programowej funkcji migania wyświetlacza (BLINK). Jeżeli sterowanie jasnością nie będzie wykorzystywane, można układ U3 pominąć, a dwustanowe sterowanie sygnałem BL, poprzez wlutowaną zaworę o tej samej nazwie, doprowadzić do GPA7 układu ekspandera U1.

REKLAMA

eprasa.pl e84dd9a9f2



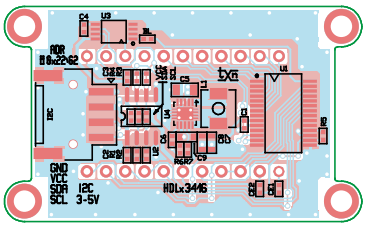
Rysunek 2. Uproszczony schemat blokowy wyświetlacza DLx-3416 (za notą OSRAM)

```
#!/bin/bash
echo "(H)DLx-3416 5x7 display test ADR=0x22/62"

i2cset -y 1 0x22 0x00 0x00
i2cset -y 1 0x22 0x01 0x00
i2cset -y 1 0x22 0x14 0x00
i2cset -y 1 0x22 0x15 0x20

i2cset -y 1 0x62 0x00 0x00
i2cset -y 1 0x62 0x01 0x34
i2cset -y 1 0x62 0x02 0x34
i2cset -y 1 0x62 0x06 0x7f
i2cset -y 1 0x62 0x07 0x1f
i2cset -y 1 0x62 0x08 0xff

i2cset -y 1 0x22 0x15 0x74
sleep 0.5
i2cset -y 1 0x22 0x14 0xa8
i2cset -y 1 0x22 0x14 0xac

i2cset -y 1 0x22 0x15 0x73
sleep 0.5
i2cset -y 1 0x22 0x14 0xa9
i2cset -y 1 0x22 0x14 0xad

i2cset -y 1 0x22 0x15 0x65
sleep 0.5
i2cset -y 1 0x22 0x14 0xaa
i2cset -y 1 0x22 0x14 0xae

i2cset -y 1 0x22 0x15 0x54
sleep 0.5
i2cset -y 1 0x22 0x14 0xab
i2cset -y 1 0x22 0x14 0xaf
i2cset -y 1 0x22 0x14 0xbf
echo "Quit"
```

Listing 1. Skrypt testowy

Zwory CE1, CE2 montowane są w zależności od wybranego typu wyświetlacza, zgodnie z kartą katalogową – w przypadku DLx-3416 powinny być wlutowane, zaś przy użyciu HDLx-3416 mogą być pominięte, gdyż wyświetlacz nie ma aktywnej adresacji na wyprowadzeniach 1,2.

Moduł zmontowany jest na dwustronnej płytce drukowanej (**rysunek 3**). Montaż jest typowy i nie wymaga opisu. W zależności od wyboru wyświetlacza i dodatkowych funkcji należy zamontować odpowiednie elementy, zgodnie z opisem. Do montażu wyświetlacza warto użyć kielichowych gniazd precyzyjnych, wtedy będzie możliwe łatwe rozłączenie i wymiana współpracującego wyświetlacza.



Rysunek 3. Rozmieszczenie elementów na PCB

Gotowy moduł, współpracujący z minikomputerem Raspberry Pi, pokazano na **fotografii otwierającej**, która niestety nie jest w stanie oddać rzeczywistej czytelności i jakości wyświetlacza.

Zmontowany moduł nie wymaga uruchamiania, należy tylko sprawdzić obecność napięcia zasilania 5 V. Dla szybkiego sprawdzenia działania modułu i podświetlenia, za pomocą płytki Raspberry Pi, przygotowano odpowiedni skrypt testowy (**listing 1**). Pierwsze cztery polecenia konfigurują MCP23017 (adres 0x22) jako porty wyjściowe, kolejne sześć ustawia PCA9633 (adres 0x62) w tryb globalnego PWM+BLINK. Ostatnie cztery sekcje odpowiadają za zapis sekwencji znaków „tseT", wyświetlanej jako „Test". Wartość zapisywana do rejestru 0x02 PCA9633 odpowiada za jasność świecenia wyświetlacza, zaś zawartość rejestru 0x07 – za częstotliwość migania. Po szczegółowe informacje, niezbędne do implementacji sterowania wyświetlaczem, a także związane ze szczegółową konfiguracją układów MCP/PCA, odsyłam do odpowiednich not katalogowych. Aby oszczędzić dosyć drogi wyświetlacz i maksymalnie wydłużyć czas pracy, warto ograniczyć maksymalną jasność wyświetlania, przy okazji redukując nieco zużycie energii.

Po uruchomieniu skryptu testowego HDLx-3416.sh na wyświetlaczu powinien się pojawić przyciemniony i migający napis „Test". Jeżeli wszystko działa poprawnie, można moduł zastosować we własnej aplikacji.

Adam Tatuś, EP

REKLAMA

facebook.com/ElektronikaPraktyczna

eprasa.pl e84dd9a9f2

AVT sklep

W ofercie AVT*
AVT6073

Najważniejsze parametry:
- konwersja prądu z przedziału 4...20 mA na napięcie stałe w przedziale 0...10 V,
- prosta kalibracja,
- rezystancja wyjściowa: 100 Ω,
- możliwość przystosowania wyjścia do standardu 0...5 V,
- zasilanie: 15...32 V DC, typowo 24 V DC,
- pobór prądu: około 20 mA.

Projekty pokrewne na stronie www.ep.com.pl (aktywne linki do artykułów):
- Konwerter KF dla tunera RTL-SDR
- Konwerter S88 na S88N
- Konwerter poziomów 3,3/5 V z zasilaczem
- Konwerter USB/RS232 z izolacją galwaniczną
- Konwerter USB/UART w standardzie Grove
- Konwerter USB-C/RS485
- Dwukanałowy konwerter USB-C z układem FT2232H
- Konwerter USB/UART z ekstenderem

* **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

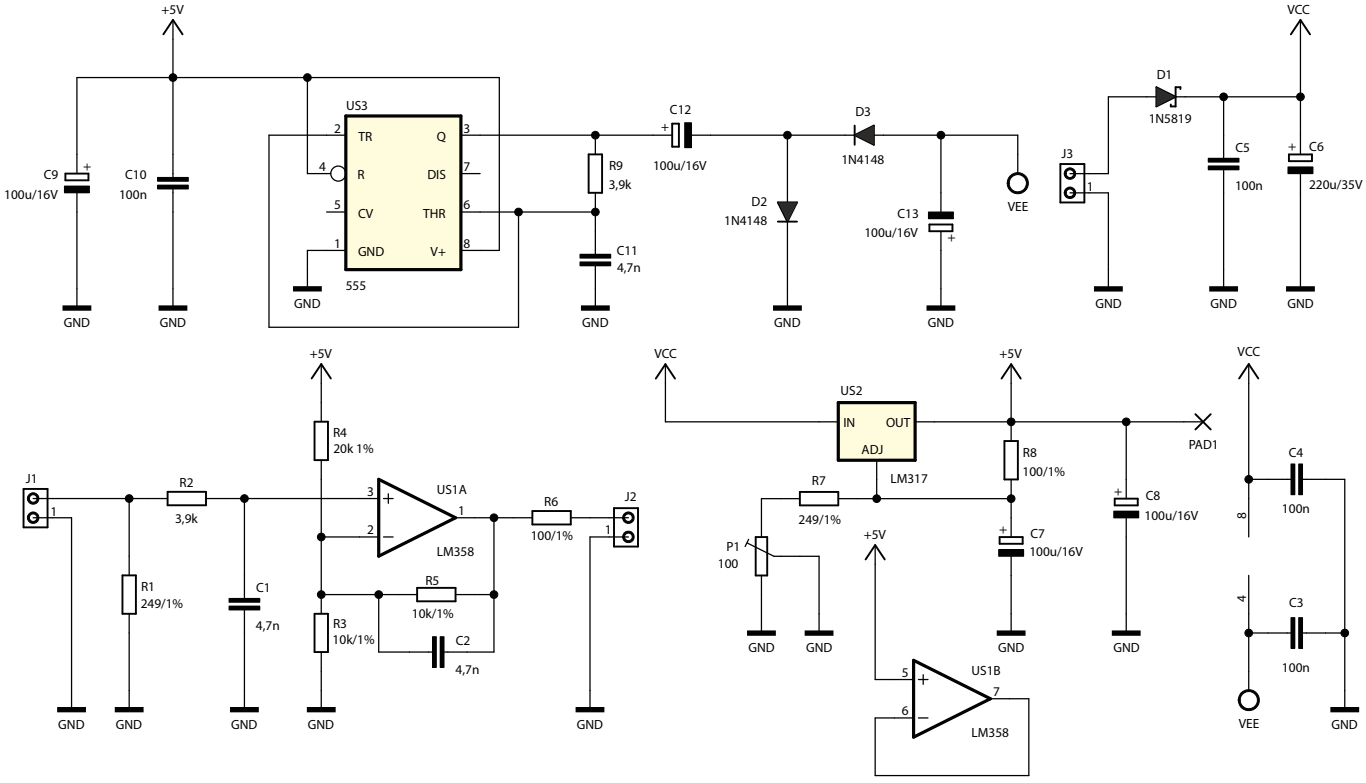
W przypadku braku dostępności na stronie sklepu osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: **kity@avt.pl**

Konwerter 4...20 mA na 0...10 V

Analogowe standardy transmisji przemysłowej wciąż są stosowane, o czym świadczy szeroka gama odpowiednich czujników dostępnych na rynku. Również istniejące już systemy, które nadal pozostają w użyciu, wymagają niekiedy serwisu lub rozszerzenia o nowe sensory. Opisany w artykule konwerter pozwala na „przetłumaczenie" standardu pętli prądowej na wyjście napięciowe.

Konwersji prądu na napięcie najłatwiej można dokonać przy użyciu zwykłego rezystora, wówczas prawo Ohma „zrobi za nas resztę". Niestety w przypadku standardu pętli prądowej 4…20 mA i typowej rezystancji obciążenia jej wyjścia, równej 250 Ω, uzyskamy napięcie stałe zmieniające się w przedziale 1…5 V. Taki zakres nie jest w pełni kompatybilny ze standardem 0…5 V ani tym bardziej z popularniejszym w aplikacjach przemysłowych 0…10 V, ponieważ nie wykorzystuje pełnego zakresu przetwarzania oferowanego przez przetwornik ADC na wejściu PLC.

Dlatego trzeba ów rezystor „obudować" kawałkiem prostej i taniej elektroniki, aby móc liniowo przekonwertować wyjście pętli prądowej 4…20 mA na wejście napięciowe 0…10 V. Warto zauważyć, że przerobienie wyjścia na zakres 0…5 V będzie już niezwykle proste – wystarczy zwykły dzielnik rezystancyjny! Ale to nie wszystko, bowiem wymiana dwóch rezystorów również umożliwi przystosowanie tego układu do pracy ze standardem 0…5 V.



Rysunek 1. Schemat ideowy konwertera

eprasa.pl e84dd9a9f2

Wykaz elementów:

Rezystory: (THT o mocy 0,25 W, o ile nie napisano inaczej)
R1, R7: 249 Ω 1% 0,6 W
R2, R9: 3,9 kΩ
R3: 10 kΩ 1% 0,6 W (opis w tekście)
R4: 20 kΩ 1% 0,6 W (opis w tekście)
R5: 10 kΩ 1% 0,6 W
R6, R8: 100 Ω 1% 0,6 W
P1: 100 Ω potencjometr montażowy (pionowy, 3296W)

Kondensatory:
C1, C2, C11: 4,7 nF (raster 5 mm, MKT)
C3...C5, C10: 100 nF (raster 5 mm, MKT)
C6: 220 µF 35 V (raster 3,5 mm)
C7...C9, C12, C13: 100 µF/16 V (elektrolityczny THT, raster 2,5 mm)

Półprzewodniki:
D1: 1N5819
D2, D3: 1N4148
US1: LM358 (DIP8)
US2: LM317 (TO220)
US3: 555 (DIP8)

Pozostałe:
J1...J3: złącze śrubowe ARK2/500
Dwie podstawki DIP8

Budowa

Schemat ideowy omawianego układu znajduje się na **rysunku 1**. Prąd wypływający z nadajnika pętli prądowej przepływa przez zaciski złącza J1 oraz rezystor R1, na którym wywołuje spadek napięcia, który następnie jest filtrowany dolnoprzepustowo przez prosty obwód składający się z rezystora R2 i kondensatora C1.

Wstępnie odfiltrowane napięcie stałe z przedziału 1…5 V musi zostać „przesunięte" i wzmocnione do zakresu 0…10 V. Służy do tego wzmacniacz nieodwracający zrealizowany na wzmacniaczu operacyjnym US1A, w którym wejście nieodwracające jest polaryzowane potencjałem pochodzącym z dzielnika napięciowego, składającego się z rezystorów R3 i R4. Jednocześnie wzmocnienie owego wzmacniacza ustalone jest przez rezystor R5 i wypadkową rezystancję wyjściową dzielnika R3+R4. Kondensator C2 ogranicza pasmo przenoszenia omawianego wzmacniacza, przez co zmniejsza wartość skuteczną napięcia szumów na wyjściu. Rezystor R6, połączony szeregowo z wyjściem wzmacniacza operacyjnego US1A, ma za zadanie zapobiec jego wzbudzeniu przy sterowaniu obciążenia o charakterze silnie pojemnościowym, np. długiego przewodu ekranowanego.

Rezystor R2 nie tylko współtworzy filtr dolnoprzepustowy, ale stanowi również kompensację prądu polaryzującego bazę tranzystora wejściowego we wzmacniaczu US1A. Wypadkowa rezystancja obwodu zasilającego jego wejście odwracające wynosi 4 kΩ. Z kolei wejście nieodwracające „widzi" połączone szeregowo rezystory R1 i R2, ponieważ rezystancja wewnętrzna źródła prądu (nadajnika pętli prądowej) jest bardzo wysoka. Teoretycznie rzecz ujmując, R2 powinien mieć rezystancję 3751 Ω, ale znajdująca się w szeregu wartość 3,9 kΩ z dobrym przybliżeniem sprawdzi się w tym miejscu.

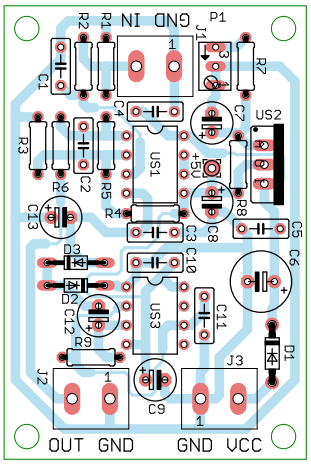
Do prawidłowej pracy wyżej opisanego wzmacniacza potrzebne jest napięcie referencyjne równe 5 V. Zdecydowałem się użyć w tym miejscu popularnego stabilizatora typu LM317, w układzie umożliwiającym regulację napięcia wyjściowego w niewielkim zakresie przy użyciu potencjometru wieloobrotowego. W ten sposób można uzyskać napięcie 5 V, niezależnie od rozrzutów wartości rezystorów, jak i źródła napięcia odniesienia zawartego w strutkurze LM317. Przy okazji z wyjścia tak powstałego stabilizatora można pobierać prąd o nieco większym natężeniu, co jest przydatne do zasilania całego układu. Kondensator C7 zmniejsza tętnienia napięcia wyjściowego poprzez poprawę współczynnika tłumienia tętnień (PSRR).

Układ LM358 może teoretycznie pracować przy asymetrycznym zasilaniu, jednak pojawia się wtedy problem z uzyskaniem zerowego napięcia na wyjściu. Aby poprawić parametry urządzenia w zakresie niskich napięć wyjściowych, do układu dodany został prosty generator napięcia ujemnego. Znany, popularny i nadal lubiany układ typu 555 pracuje w roli generatora astabilnego o wypełnieniu impulsów wyjściowych około 50%. Z uwagi na maksymalne napięcie zasilania równe 18 V jest on zasilany przez opisany już wcześniej stabilizator. Wyjście tego układu czasowego steruje prostym, diodowo-kondensatorowym odwracaczem napięcia, dając napięcie wyjściowe na poziomie około –3 V. To niewiele, ale w pełni wystarczy do poprawienia pracy układu LM358 przy niskim wysterowaniu wyjścia.

Układ LM358 zawiera w swojej strukturze dwa wzmacniacze operacyjne. Drugi, nieużywany wzmacniacz został połączony jako wtórnik napięciowy, którego wejście spolaryzowano potencjałem 5 V z wyjścia stabilizatora. Teoretycznie można byłoby zrealizować na nim generator astabilny, pozbywając się dodatkowego układu 555, ale wiążą się z tym dwa problemy: pierwszy wynika z faktu, że układ ten zasilałby... sam siebie, gdyż ujemne napięcie przezeń wytworzone miałoby trafiać na ujemną linię zasilającą tegoż układu – a to mogłoby powodować problemy ze wzbudzeniem generatora. Po drugie, impulsy wytwarzane w jednej części struktury krzemowej mogłyby przenikać do sąsiedniej, realizującej wzmacniacz napięciowy. Dlatego zdecydowałem się na użycie całkiem oddzielnej kostki do realizacji zasilacza napięcia ujemnego, kosztem nawet niewielkiej rozbudowy układu.

Montaż i uruchomienie

Układ został zmontowany na jednostronnej płytce drukowanej o wymiarach 60 mm×40 mm (**rysunek 2**). W odległości 3 mm od krawędzi płytki znalazły się cztery otwory montażowe, każdy o średnicy 3,2 mm.



Rysunek 2. Schemat montażowy i wzór ścieżek płytki

Fotografia 1. Zmontowany układ prototypowy

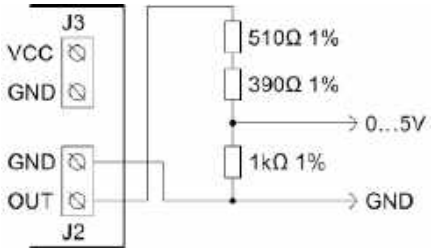
Montaż proponuję przeprowadzić w sposób typowy, czyli rozpoczynając od elementów o najmniejszej wysokości obudowy, w tym wypadku rezystorów i diod półprzewodnikowych. Pod układy scalone w obudowach DIP8 proponuję zastosować podstawki, aby ułatwić ich wymianę w razie uszkodzenia. Zmontowany układ można zobaczyć na **fotografii 1**.

Na etapie uruchamiania jest konieczne ustawienie napięcie referencyjnego 5 V przy użyciu potencjometru P1. W tym celu należy podłączyć zasilanie do zacisków złącza J3 – powinno to być napięcie stałe z przedziału 15…32 V, dobrze filtrowane z tętnień, choć niekoniecznie stabilizowane. Można do tego użyć napięcia 24 V, którym często są zasilane sterowniki PLC i ich czujniki. Dolny limit dopuszczalnego napięcia zasilania wynika z konieczności zapewnienia prawidłowej pracy stopnia wyjściowego wzmacniacza operacyjnego przy napięciu wyjściowym równym 10 V, zaś maksymalna – z wytrzymałości elementów.

eprasa.pl e84dd9a9f2

Po zasileniu układu należy włączyć woltomierz o możliwie wysokiej dokładności pomiędzy masę układu (zacisk GND) a pole lutownicze PAD1 i tak ustawić potencjometr P1, by wskazywane przez przyrząd napięcie było równe 5 V. Ma to wpływ na błąd późniejszego przetwarzania prądu na napięcie, więc im dokładniej ten etap zostanie wykonany, tym lepiej dla późniejszego działania układu. Zamiast podłączać końcówkę woltomierza do pola PAD1, można również przytknąć ją do metalowej wkładki chłodzącej układu US2 – znajduje się ona na tym samym potencjale, a jest znacznie lepiej dostępna.

Poprawnie wyregulowany układ jest gotowy do działania. Wejściem układu są zaciski złącza J1, do którego należy podłączyć wyjście nadajnika pętli prądowej. Na zaciskach złącza J2 dostępne jest napięcie liniowo odwzorowujące wejściowy prąd (ze stosownym offsetem): prądowi 4 mA odpowiada napięcie 0 V, zaś prądowi 20 mA – napięcie 10 V. Jeżeli wejściowy prąd jest niższy niż 4 mA (na przykład po rozwarciu pętli prądowej), napięcie wyjściowe staje się ujemne, jednak nie niższe niż około –2 V. Rezystor wyjściowy R6 może w tej sytuacji ograniczyć



Rysunek 3. Przykład podłączenia dzielnika napięcia w celu uzyskania zakresu napięcia wyjściowego 0...5 V

prąd płynący przez diody zabezpieczające wejście następnego stopnia.

Rezystancja wyjściowa równa nieco ponad 100 Ω powinna być uwzględniona na etapie dokonywania połączeń, bowiem zbyt niska rezystancja wejściowa układu mierzącego to napięcie może wprowadzać zafałszowanie wyniku. Typowe sterowniki PLC mają rezystancję wejściową równą 100 kΩ, więc rezystor R6 wprowadzi tu niezauważalnie mały błąd – większy będzie wynikał ze zwykłego rozrzutu elementów. Ale rezystor R6 powinien zostać uwzględniony również przy tworzeniu dzielnika napięciowego w celu uzyskania kompatybilności ze standardem 0…5 V (**rysunek 3**). Zaproponowane wartości elementów zapewniają równy podział napięcia przez 2, ponieważ „górna" gałąź owego dzielnika zawiera rezystory o wypadkowej rezystancji mniejszej o 100 Ω od „dolnej" gałęzi. Rezystancja wyjściowa takiego tworu wynosi 500 Ω i będzie wystarczająca w większości zastosowań, na przykład do sprzęgnięcia z wejściem przetwornika analogowo-cyfrowego mikrokontrolera. Można też dokonać innej modyfikacji tego układu. Aby jego wyjście napięciowe zmieniało się w granicach 0…5 V, wystarczy wymienić rezystory R3 i R4 na 30 kΩ o tolerancji 1%. Wówczas rezystancja wyjściowa będzie wciąż na poziomie 100 Ω.

Układ LM317 nie wymaga radiatora. Maksymalna moc tracona w jego strukturze nie powinna przekraczać wartości około 0,5 W, z czym obudowa TO220 poradzi sobie doskonale. Jedynie w sytuacji, kiedy układ byłby zamknięty w szczelnej i ciasnej obudowie, mogłoby być przydatne wlutowanie tego stabilizatora na dłuższych nóżkach i przykręcenie doń radiatora, ponieważ w takich warunkach sama metalowa wkładka może okazać się niewystarczająca. Uwaga ta dotyczy zwłaszcza pracy przy wyższym napięciu zasilającym, to jest 24 V lub więcej.

Michał Kurzela, 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 zewnętrznego dystrybutora? Odblokuj bibliotekę multimediów samodzielnie.

Szczegóły na UlubionyKiosk.pl/media

Dział „Projekty Czytelników” zawiera opisy projektów nadesłanych do redakcji EP przez Czytelników. Redakcja nie bierze odpowiedzialności za prawidłowe działanie opisywanych układów, gdyż nie testujemy ich laboratoryjnie, chociaż sprawdzamy poprawność konstrukcji.
Prosimy o nadsyłanie własnych projektów z modelami (do zwrotu). Do artykułu należy dołączyć podpisane oświadczenie, że artykuł jest własnym opracowaniem autora i nie był dotychczas nigdzie publikowany. Przysyłanych tekstów nie zwracamy. Redakcja zastrzega sobie prawo do dokonywania skrótów.

PROJEKT NR 263

Stanowisko dydaktyczne – robot kartezjański z taśmowym systemem transportowym

Robot kartezjański to urządzenie, które 70 lat temu zmieniło wykonywanie precyzyjnych operacji, a obecnie pozwala na wydajniejsze działanie przemysłu na całym świecie. Charakterystyczna dla tego rodzaju robota jest kinematyka odwzorowująca bezpośrednio układ współrzędnych kartezjańskich, których używamy praktycznie codziennie, aby opisać położenie obiektu w trzech wymiarach. W artykule przyjrzymy się elementom składowym robota oraz procesowi projektowania i konstruowania własnego systemu tego typu – w naszym przypadku przeznaczonego do celów dydaktycznych.

Pomysł

Idea zbudowania własnego robota kartezjańskiego pojawiła się podczas przygotowań do jednego z konkursów technicznych. Doszliśmy do wniosku, że robot kartezjański, pomimo dziesiątek lat od wprowadzenia na rynek, nadal jest urządzeniem niezwykle przydatnym i praktycznym. W związku z powyższym niezwłocznie zaczęliśmy pracę nad naszym projektem.

Założenia projektowe oraz cel budowy robota

Projektowanie robota rozpoczęliśmy od analizy dostępnych robotów na rynku, ich zasady działania oraz zadań, jakie spełniają w przemyśle. Wizję naszego automatu oparliśmy na stosunkowo dużym polu roboczym – 1,0×1,0×0,8 m. Celem projektu było poznanie poszczególnych kroków konstrukcji urządzeń: projektowania, budowania, testowania i walidacji działania, a także nauka programowania robota, co szczególnie przydatne okazuje się w zastosowaniach edukacyjnych. Wizualizacje naszej pierwszej wersji robota można zobaczyć na **rysunku 1**.

Kwestie mechaniczne

Prezentowany robot kartezjański bazuje na profilach aluminiowych V-slot 20×40 mm i 20×20 mm. Profile te charakteryzują się dużą wytrzymałością przy małej masie własnej. Wymiary robota to: 1040×1040×1114 mm (X, Y, Z). Aby zwiększyć sztywność konstrukcji, zastosowaliśmy małe zastrzały 200 mm, a od dołu umieściliśmy przezroczystą płytę z pleksi o grubości 4 mm. Robot ma możliwość poruszania się w trzech osiach i jest wyposażony w serwochwytak, który pozwala chwytać produkty i przenosić je z rolki na rolkę.

Ciekawie rozwiązana została oś Y, która napędzana jest za pomocą tylko jednego silnika krokowego w rozmiarze NEMA 23, napędzającego „nieskończony” pasek zębaty GT2. Z niego z kolei napęd jest przenoszony na wałek o średnicy 8 mm, umocownay na łożyskach

Rysunek 1. Pierwsza wizualizacja konstrukcji robota

Rysunek 2. Wizualizacja napędu osi Y

eprasa.pl e84dd9a9f2

Rysunek 3. Wizualizacja napędu osi Z i X

kulkowych przytwierdzonych do ramy robota. Po dwóch końcach wałka zostały umieszczone zębatki GT2 T20 (20 zębów), które napędzają oś Y – aby umożliwić takie samo działanie po drugiej stronie robota, został tam zamontowany identyczny zespół, lecz już pozbawiony silnika. Część napędową osi Y pokazano na **rysunku 2**.

Oś Z została zbudowana w oparciu o koło zębate i listwę zębatą o module 1. Taki układ zamienia ruch obrotowy wału silnika na ruch posuwisto-zwrotny, dzięki któremu można podnosić przedmioty z rolek. Aby unieruchomić ten zespół, połączyliśmy opisywany moduł z prowadnicą liniową i wózkami liniowymi MGN12H – **rysunek 3**.

Oś X została zrealizowana poprzez użycie paska zębatego GT2 i dwóch kompatybilnych zębatek. Pasek napędza zespół osi X i Z na prowadnicy liniowej i dwóch wózkach liniowych.

Wiele elementów robota zostało wydrukowanych w technologii druku 3D (FDM). Użyliśmy filamentu ASA, który charakteryzuje się dużą wytrzymałością mechaniczną przy relatywnej łatwości drukowania.

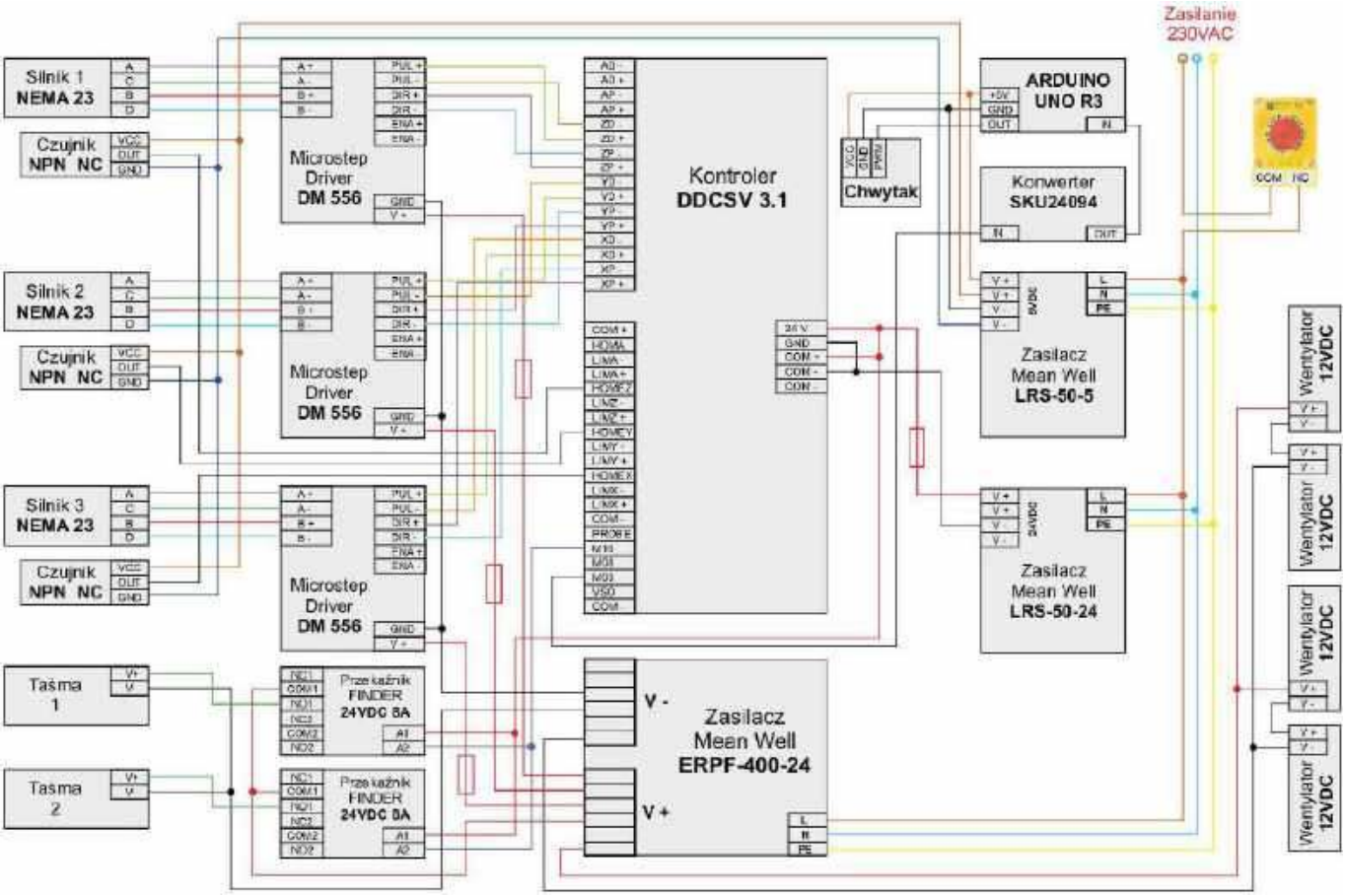
Elektronika
Zasilanie i zabezpieczenia

Schemat ideowy układu zaprezentowano na **rysunku 4**. Układ zasilany jest napięciem sieciowym 230 V AC, dlatego wszelkie prace związane z łączeniem elektroniki w szafie sterowniczej i poza nią należy wykonywać z zachowaniem szczególnej ostrożności. Bardzo ważnym elementem jest wyłącznik bezpieczeństwa – obowiązkowy przy projektowaniu każdego rodzaju maszyny, a w szczególności stanowisk dydaktycznych. Zabezpieczeniem przed przeciążeniem zasilacza w przypadku awarii są bezpieczniki, włączone na liniach zasilających poszczególne moduły sterownika.

Większość bloków funkcjonalnych, poza samymi silnikami, znajduje się w zamykanej szafie sterowniczej, widocznej na **fotografii 1**. Jedynymi elementami na stałe wystającymi z szafy są: panel dotykowy kontrolera DDCSV oraz puszka z wyłącznikiem bezpieczeństwa.

Skoro kwestie bezpieczeństwa zostały już omówione, warto skupić się na kolejnych elementach – zasilaczach. Pierwszy zasilacz (o napięciu wyjściowym 5 V) jest odpowiedzialny za zasilanie Arduino Uno, chwytaka oraz czujników indukcyjnych NPN NC, które po wykryciu metalu wysyłają sygnał do sterownika (ich rolę w projekcie opiszemy w części artykułu poświęconej działaniu robota).

Zastosowanie dwóch niezależnych zasilaczy, zgodnie z instrukcją kontrolera DDCSV 3.1 wymagającą osobnego zasilania wejść i wyjść, zapewnia poprawne działanie logiki układu, a optoizolacja spełnia funkcję dodatkowej ochrony. Pierwszy zasilacz



Rysunek 4. Schemat ideowy układu sterowania robota kartezjańskiego

eprasa.pl e84dd9a9f2

Fotografia 1. Szafa sterownicza robota

24 V małej mocy odpowiada za zasilanie kontrolera oraz przekaźników, natomiast drugi, o tym samym napięciu, ale dużej mocy, odpowiada za zasilanie sterowników silników, taśm transportowych oraz wentylatorów (zastosowaliśmy wentylatory na napięcie 12 V).

Opis działania

Na **fotografii 2** można zobaczyć ukończony projekt. Za poprawne działanie urządzenia odpowiada kontroler DDCSV, który można nazwać sercem całego układu. Wyjścia panelu kontrolują pracę sterowników silników NEMA 23. Sygnały z czujników indukcyjnych trafiają do poszczególnych wejść kontrolera, dzięki czemu sterownik może automatycznie bazować ramię, jednocześnie nie pozwalając na wysunięcie ramienia poza pole robocze. Sygnały sterujące pracą rolek transportowych (poprzez przekaźniki) pochodzą z wyjścia kontrolera o numerze M10.

Fotografia 2. Widok gotowego robota kartezjańskiego

Pracę chwytaka kontroluje moduł Arduino Uno, otrzymujący sygnały sterujące/wejściowe z jednokierunkowego konwertera poziomów logicznych z zakresu 5 V...24 V na napięcia z bezpiecznym dla płytki przedziale 3,3 V...5 V. Dzięki temu sygnał z wyjścia sterownika (M03) może bezpiecznie sterować chwytakiem, bez ryzyka uszkodzenia mikrokontrolera.

Instrukcja użytkowania stanowiska edukacyjnego

W ramach projektu napisaliśmy instrukcję, która krok po kroku informuje o kolejnych etapach uruchamiania systemu i właściwej pracy z robotem. Po załączeniu zasilania należy uruchomić robota za pomocą przycisku w szafce sterowniczej. Następnie trzeba poczekać na załączenie systemów i zresetować robota za pomocą przycisku RESET na kontrolerze.

W kolejnym kroku należy dokonać rewizji chłodzenia, naciągnięcia pasów zębatych oraz poprawności działania funkcji manualnej kontroli osi za pomocą poszczególnych przycisków na kontrolerze:

- przycisk Z+: ramię porusza się do góry, Z–: w dół,
- X – lewo/prawo,
- Y – przód/tył.

Za zamykanie i otwieranie chwytaka odpowiada komenda M3, przycisk SPINDLE (naciśnięcie powoduje otwarcie lub zamknięcie chwytaka), zaś do sterowania rolek transportowych służą komendy: M10 (włącz) i M11 (wyłącz), przycisk TOOLPATH.

Kolejnym etapem jest bazowanie, uruchamiane odpowiednią sekwencją przycisków SHIFT → Z– ENTER HOME (2-krotne naciśnięcie). Po wykonaniu ostatniej komendy należy odczekać, aż robot wyzeruje wszystkie osie.

Teraz można przejść do programowania. W tym celu do kontrolera (wejście USB DISK) od strony szafy sterowniczej wkładamy pendrive z programem zapisanym w formacie G-code. Kontroler wybiera program i go wykonuje – należy w tym czasie obserwować jego ruchy. Pole robocze robota jest zapisane w sterowniku – jeśli nie zmieniamy niczego za pomocą własnego programu, to robot nie wyjedzie poza ustalone czujnikami pole. Jeśli jednak zauważymy błąd, należy natychmiast wyłączyć robota przyciskiem bezpieczeństwa.

Oprogramowanie robota

Programowanie robota odbywa się za pomocą komend G-code, które programujemy na przykład w Visual Studio Code, Notepad++ lub w zwykłym notatniku systemowym, zapisując plik z rozszerzeniem .nc. Przykładowy kod można zobaczyć na **listingu 1**.

Skrócony opis procesu opracowywania robota kartezjańskiego

1. Założenia konstrukcyjne – określenie celów projektowych, wymagań technicznych oraz funkcjonalności robota, z uwzględnieniem specyfiki zastosowań przemysłowych.
2. Zebranie odpowiedniej literatury.
3. Wykonanie schematów, projektów i wizualizacji: opracowanie szczegółowych schematów elektrycznych, projektów mechanicznych oraz wizualizacji 3D, umożliwiających precyzyjne zaplanowanie budowy i funkcjonalności robota.
4. Dobór odpowiedniego sterownika na potrzeby projektu, z uwzględnieniem jego funkcji, kompatybilności z innymi elementami oraz możliwości programowania.
5. Wybór zasilaczy, sterowników silników, napędów oraz pozostałych elementów.

eprasa.pl e84dd9a9f2

Fotografia 3. Gotowy robot z jego twórcami (od lewej Hubert i Szymon)

6. Dobranie odpowiednich elementów mechanicznych, takich jak profile aluminiowe, łożyska, prowadnice czy koła zębate, z uwzględnieniem kluczowych parametrów.
7. Przygotowanie elementów montażowych i złożenie konstrukcji zgodnie z zaplanowanym schematem.
8. Przeprowadzenie testów oraz ostateczne dostrojenie i kalibracja robota przed przystąpieniem do użytkowania.
9. Napisanie programu w kodzie geometrycznym, który będzie sterował pracą robota, a następnie wgranie kodu do sterownika i sprawdzenie poprawności działania w warunkach rzeczywistych.
10. Sprawdzenie całej konstrukcji robota oraz testy działania w różnych warunkach i z różnymi obiektami.
11. Ostatnie sprawdzenia i testy, drobne zabiegi kosmetyczne.

Rozwiązania techniczne i ich wpływ na użyteczność projektu

Zastosowanie technologii druku 3D

Kluczowe elementy robota, takie jak kątowniki, mocowania łożysk czy uchwyty do silnika, zostały przez nas zaprojektowane i wykonane za pomocą druku 3D. Zapewnia to idealne dopasowanie komponentów, zwiększa stabilność konstrukcji oraz umożliwia szybką i tanią modyfikację projektu.

```
G90 G94 G17 G54
G1 X 200 Y500 F2000
Z-400
M5
Z-660
M3
Z-400
X400 Y600
Z-660
M5
Z-400
X200 Y500
M10
G4 F3
M11
G0 Z-20 X0 Y0
M30
```

Listing 1. Przykładowy G-Code

Taśmociągi jako element systemu

Zastosowanie taśmociągów umożliwia płynny i ciągły transport materiałów, co skraca czas cyklu produkcyjnego. Automatyzacja tego procesu minimalizuje ryzyko błędów, oszczędza czas oraz zasoby ludzkie, a także zwiększa elastyczność systemu.

Czujniki indukcyjne dla większej precyzji

Czujniki indukcyjne zastępują tradycyjne ograniczniki mechaniczne, eliminując ryzyko uszkodzeń oraz zwiększając precyzję i bezpieczeństwo działania. Dzięki temu robot pracuje bardziej niezawodnie, a ograniczników nie trzeba wymieniać, ponieważ się nie zużywają, przez co koszty utrzymania robota są niższe.

Potencjalne zastosowania

Nasz projekt robota kartezjańskiego przynosi liczne korzyści. Po pierwsze, ma szerokie zastosowanie w edukacji, umożliwiając studentom oraz uczniom naukę podstawowych, jak i bardziej zaawansowanych zagadnień związanych z robotyką, automatyką oraz programowaniem. Dzięki jego intuicyjnej obsłudze oraz bezpiecznym funkcjonalnościom użytkownicy mogą efektywnie kształcić się w obszarach związanych z automatyzacją, co w dłuższej perspektywie przyczynia się do wzrostu ich kompetencji jako pracowników oraz zwiększenia ich wartości na rynku pracy.

Pracodawcy, dzięki możliwości szkolenia pracowników na łatwo dostępnym i bezpiecznym sprzęcie, mogą przygotowywać personel do obsługi bardziej zaawansowanych oraz kosztownych maszyn używanych na zakładach produkcyjnych.

Podsumowanie

Roboty kartezjańskie, choć istnieją od kilkudziesięciu lat, nadal są podstawową konstrukcją w wielu aplikacjach przemysłowych. Dlatego stanowiska przygotowujące do pracy z takimi maszynami są wciąż potrzebne i przydatne. Nawet pomijając wszystkie wymienione powyżej powody, budowanie robota od podstaw było dla nas dobrym sprawdzianem umiejętności oraz przyjaźni. Czytelników zainteresowanych prześledzeniem naszych działań, od etapu złożenia kilku aluminiowych profili, aż do ukończenia budowy całego robota, zapraszamy do obejrzenia playlisty kilkunastu filmików na YouTube (**rysunek 5**).

Rysunek 5. Kod QR do playlisty na YouTube (https://t.ly/Ldfvo)

Obydwu autorów projektu, wraz z gotowym urządzeniem, można zobaczyć na **fotografii 3**.

Szymon Kusiński[a]
Hubert Żarnowski[a]
mgr inż. Jarosław Sobczak[a]
dr Paweł Sobczak[a, b]

[a] Zespół Szkół Technicznych im. Waldemara Gostomczyka w Ostrowie Wielkopolskim
[b] Akademia Nauk Stosowanych w Koninie

Literatura użyta podczas budowy projektu:

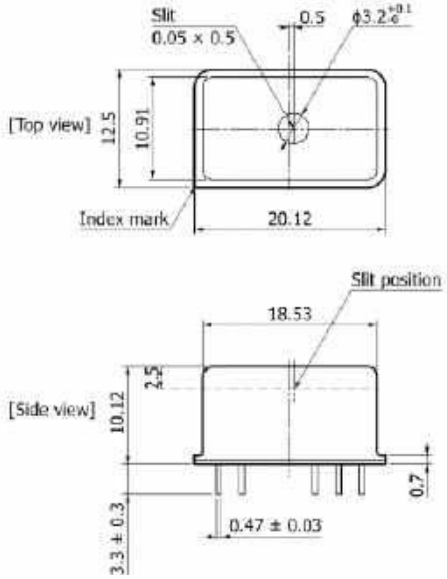
- Chwaleba Augustyn, Moeschke Bogdan, Płoszajski Grzegorz, *Elektronika*, wyd. 7, WSiP, Warszawa 1999, ISBN 83-02-06221-9
- Horowitz Paul, Hill Winfield, *Sztuka elektroniki*, t. 1, 2, wyd. 12 zmienione, przeł. Bogusław Kalinowski, Grażyna Kalinowska, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2023, ISBN 978-83-206-1992-8
- Głocki Wojciech, *Układy cyfrowe*, wyd. 1, WSiP, Warszawa 1996, ISBN 83-02-06242-1
- Kostro Jerzy, *Elementy urządzenia i układy automatyki*, WSiP, Warszawa 1983, ISBN 83-02-01284-X

eprasa.pl e84dd9a9f2

Widmo jak na dłoni – moduł spektrometru Hamamatsu C16767MA

Spektrometria optyczna – czyli szeroki wachlarz technik bazujących na analizie składu widmowego światła absorbowanego, odbijanego lub emitowanego przez badany obiekt – znalazła niezliczone zastosowania w technologii materiałowej i chemicznej, medycynie i inżynierii biomedycznej, biotechnologii, a nawet… kolorymetrii. Większości osób, które miały w swojej karierze zawodowej (lub akademickiej) kontakt np. ze spektrofotometrem, spektrometria kojarzy się raczej z relatywnie sporym, ciężkim i delikatnym urządzeniem stacjonarnym. Firma Hamamatsu zerwała z tradycyjnym podejściem do technik analizy widma optycznego, wprowadzając na rynek serię minispektrometrów o rozmiarze zbliżonym do… połowy kciuka. W artykule pokazujemy krok po kroku, w jaki sposób można zaimplementować taki spektrometr we własnym projekcie, korzystając z niemal dowolnej platformy sprzętowej wyposażonej w przetwornik ADC i kilka cyfrowych linii GPIO.

Fotografia 1. Widok spektrometru z serii Micro marki Hamamatsu [1]



Rysunek 1. Wymiary minispektrometrów z serii Micro marki Hamamatsu [2]

Budowa klasycznego spektrometru opiera się na dość złożonym układzie elektroniczno-mechaniczno-optycznym, w którym światło jest najpierw rozszczepiane w celu dekompozycji wiązki wejściowej do postaci wiązki wachlarzowej, w której kąt propagacji poszczególnych promieni zależy od długości fali. Następnie wiązka wachlarzowa pada na przesuwną szczelinę, której precyzyjne pozycjonowanie umożliwia wybór pożądanej długości fali (a raczej wąskiego zakresu fal). I już taki pobieżny opis doskonale oddaje podstawowe problemy tej technologii: w celu uzyskania akceptowalnej jakości pomiarów konstruktor musi stawić czoło szeregowi wyzwań, w tym przede wszystkim rozważyć następujące aspekty:

- **stateczność mechaniczna** – elementy statyczne (układ optyczny, fotodetektor, system szczeliny przesuwnej) muszą być zamontowane w sztywnej, odpornej na zmiany temperatury „ramie", która zapewni stałe pozycje poszczególnych elementów względem siebie,
- **precyzja i powtarzalność pozycjonowania** – rzeczywiste położenie szczeliny w plamie światła rozszczepionego bezpośrednio wpływa na wynikową dokładność pomiaru,
- **dynamika pomiaru** – przeskanowanie całego dostępnego widma (lub jego sporego fragmentu) wymaga dość długiego czasu, dlatego mechaniczne spektrometry zupełnie nie nadają się do prowadzenia pomiarów zjawisk szybkozmiennych,
- **niski poziom sygnału wyjściowego** – ilość światła docierającego do fotodetektora zależy nie tylko od natężenia wiązki wejściowej, ale także od szerokości szczeliny – im jest ona węższa, tym lepsza rozdzielczość widmowa (mierzona w nanometrach), ale także niższy poziom sygnału. Z tego względu spektrometry wymagają stosowania wysokiej klasy, bardzo czułych i niskoszumowych układów pomiarowych współpracujących z fotodetektorem,
- **charakterystyka widmowa fotoelementu** – sam czujnik również wpływa na poziom sygnału fotoelektrycznego. Pod uwagę trzeba wziąć nie tylko charakterystykę spektralną (musi ona obejmować całe docelowe widmo, które ma być badane w spektrometrze), ale także powierzchnię fotoelementu – większy czujnik to zwykle lepsze parametry szumowe, zwłaszcza w zakresie bardzo słabych sygnałów (podobna sytuacja ma miejsce w matrycach kamer i aparatów fotograficznych),
- **rodzaj szkła elementów optycznych** – optyka spektrometru musi uwzględniać docelowe widmo badanych zjawisk/obiektów, stąd np. zwykłe soczewki odpadają w przedbiegach w przypadku spektrometrów chociażby lekko zahaczających o zakres ultrafioletu – konieczne okazuje się stosowanie np. znacznie droższego szkła kwarcowego.

Te i inne aspekty sprawiają, że budowa dobrej klasy spektrometru od zera jest zadaniem trudnym, pracochłonnym i kosztownym, osiągalnym tylko dla niektórych, wysoce zaawansowanych technologicznie przedsiębiorstw.

Fotonika na wyciągnięcie ręki – minispektrometry OEM

Wszystkie opisane powyżej bolączki można rozwiązać, stosując gotowy moduł spektrometru OEM. Bohater tego artykułu – niewielki moduł o oznaczeniu C16767MA japońskiej marki Hamamatsu

eprasa.pl e84dd9a9f2

Photonics K.K. – należy do rodziny minispektrometrów o wymiarach 20,1×12,5×10,1 mm (**fotografia 1**, **rysunek 1**) i masie zaledwie… 5 gramów! Tak imponująca miniaturyzacja była możliwa dzięki zastosowaniu technologii w pełni statycznej, tj. pozbawionej jakichkolwiek elementów ruchomych, mało tego – sama optyka także została zredukowana do absolutnego minimum. Światło wpada do wnętrza obudowy przez uszczelnione okno optyczne, a następnie przechodzi przez szczelinę wejściową (**rysunek 2**, **fotografia 2**), której zadaniem jest rozproszenie wiązki i skierowanie jej na specjalną siatkę dyfrakcyjną, zbudowaną w oparciu o odpowiednio zakrzywione podłoże.

Światło ulega rozszczepieniu i pada na jednorzędowy liniał pomiarowy CMOS, umieszczony po wewnętrznej stronie pokrywy spektrometru. Co ciekawe, szczelina jest wykonana w tej samej strukturze krzemowej, co… wbudowany układ ASIC oraz współpracujący z nim czujnik obrazu 1D. Taka konstrukcja jest nieprzypadkowa, oferuje bowiem dwie bardzo ważne zalety: po pierwsze, struktura doskonale „trzyma" wymiary, co wpływa na większą powtarzalność produkcji; po drugie zaś jakość wykończenia brzegów szczeliny jest zapewniona przez stabilny i ultraprecyzyjny proces produkcji półprzewodnikowej. W istocie jedynym elementem umieszczonym poza samym czipem jest zatem siatka dyfrakcyjna. Całość znajduje się w solidnej, metalowej puszce, co z kolei gwarantuje sporą odporność mechaniczną i termiczną oraz wysoką sztywność całej konstrukcji.

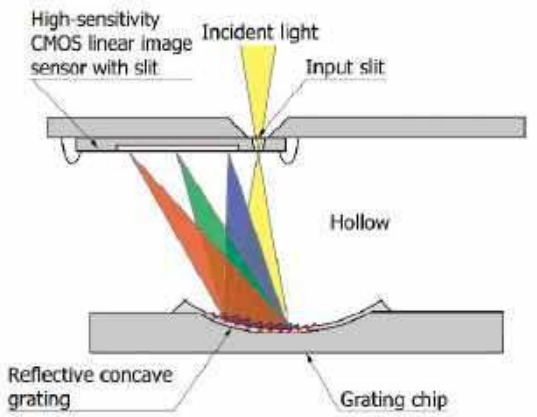
Trochę liczb – parametry techniczne

Spektrometr C16767MA jest – pod względem konstrukcyjnym – klonem wprowadzonego na rynek wiele lat wcześniej modułu C12880MA (oczywiście także marki Hamamatsu). Inne są natomiast podstawowe parametry optyczne, a przez to także docelowe zastosowania. O ile bowiem model C12880MA jest pełnoprawnym spektrometrem klasy UV-VIS-IR (jego spektrum obejmuje bowiem zakres długości fali od 340 nm do 850 nm), o tyle nowy model C16767MA jest już przeznaczony niemal wyłącznie do analizy w widmie ultrafioletu (zahaczającym nieco o obszar widzialny) – w tym przypadku mówimy o przedziale 190...440 nm, intensywnie eksploatowanym m.in. w badaniach biologicznych. Ze względu na zastosowanie matrycy CMOS o tej samej rozdzielczości, równej 288 pikseli, różne są także uzyskiwane rozdzielczości widmowe – wersja C16767MA dzieli widmo wiązki wejściowej na pasma o szerokości około 5,5...8 nm, podczas gdy w modelu C12880MA wartość ta oscyluje wokół 15 nm.

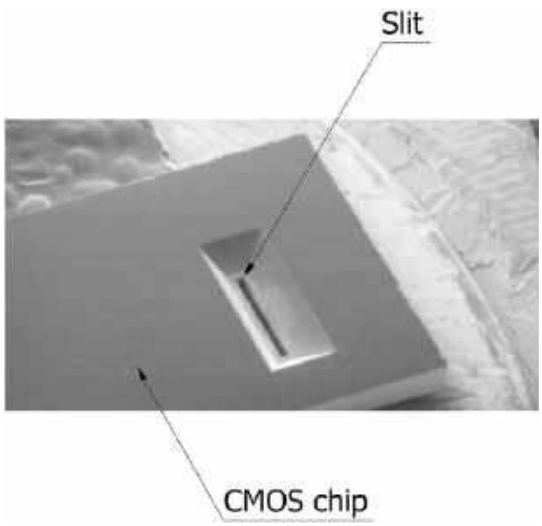
Pozostałe parametry są takie same dla obydwu modeli. Rozmiar pikseli wynosi 14×200 µm, zaś szczeliny: 50×500 µm. Obywa spektrometry pracują w zakresie napięcia zasilania od 4,75 do 5,25 V, przy czym napięcie znamionowe to rzecz jasna dokładnie 5,0 V. Pobór prądu zawiera się w przedziale od 5 do 35 mA (typowo 15 mA w przypadku C16767MA, a 20 mA w przypadku C12880MA).

Interfejs elektryczny

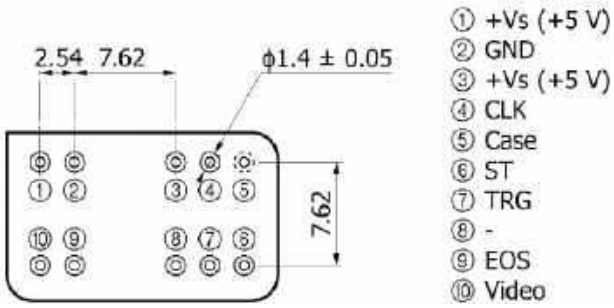
Najciekawsze aspekty z punktu widzenia konstruktora elektronika (oraz programisty) to zdecydowanie interfejs sygnałowy oraz sposób komunikacji z układem ASIC spektrometru. Rozkład wyprowadzeń (w widoku od dołu) pokazano na **rysunku 3**, zaś schemat przykładowego układu peryferyjnego współpracującego z modułem – na **rysunku 4**. Już na pierwszy rzut oka widać, że mamy do czynienia z konstrukcją analogowo-cyfrową, przy czym właściwy przebieg pomiarowy (dostępny na pinie 10) jest w istocie sygnałem analogowym, synchronizowanym za pomocą prostego interfejsu złożonego z linii CLK, ST, EOS oraz TRG. Układ nadrzędny generuje ciągły przebieg zegarowy o częstotliwości w zakresie od 200 kHz do 5 MHz i wystawia go na linię CLK (**rysunek 5**). Przełączenie linii ST (START) w stan wysoki powoduje rozpoczęcie



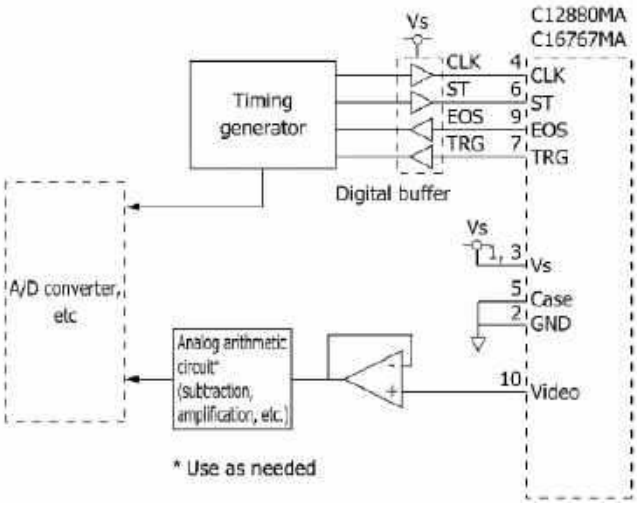
Rysunek 2. Budowa spektrometru [2]



Fotografia 2. Mikrofotografia struktury zawierającej szczelinę wejściową i układ ASIC [2]

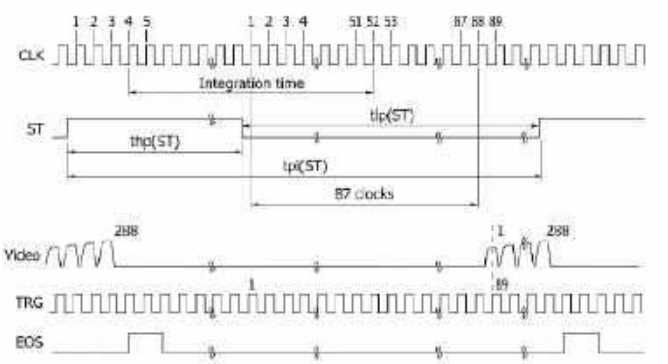


Rysunek 3. Układ wyprowadzeń spektrometru (widok od dołu) [2]

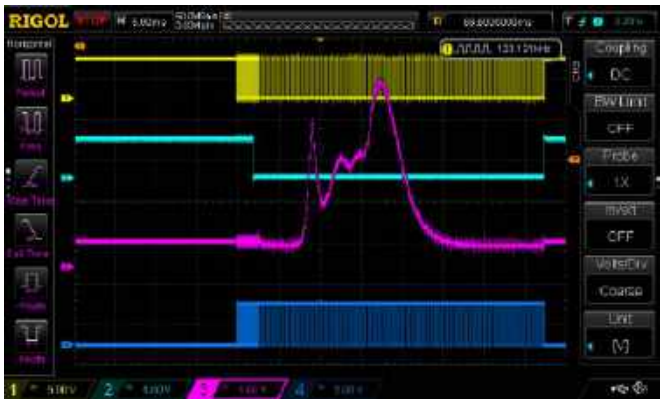


Rysunek 4. Schemat aplikacyjny spektrometru [2]

eprasa.pl e84dd9a9f2



Rysunek 5. Protokół komunikacji z układem ASIC spektrometru [2]



Rysunek 6. Oscylogram zarejestrowany podczas wykonywania pojedynczej akwizycji za pomocą minispektrometru marki Hamamatsu. CH1 – sygnał na linii CLK, CH2 – sygnał na linii START, CH3 – sygnał na linii VIDEO, CH4 – sygnał na linii TRIG

całkowania sygnału z fotodetektorów, ale nie natychmiast, tylko po upływie czterech cykli zegarowych. Całkowanie kończy się po 48 impulsach na linii CLK, licząc od zbocza opadającego na wejściu ST. Po 87 okresach sygnału zegara (od ww. zbocza) układ nadrzędny może rozpocząć akwizycję napięcia na linii VIDEO, przy czym powinna ona być realizowana synchronicznie nie z głównym zegarem (CLK), ale z sygnałem na wyjściu TRG (TRIGGER) układu ASIC spektrometru. Zakończenie całej sekwencji tego „jednowymiarowego wideo" jest sygnalizowane wystawieniem stanu wysokiego na linię EOS (oczywiście także przez spektrometr). Oscylogram pojedynczej akwizycji można zobaczyć na **rysunku 6** – nietrudno się zorientować, że kształt sygnału w kanale 3 jest w istocie… odwzorowaniem kształtu badanego widma optycznego, więc jak na dłoni widać wszystkie piki i doliny spektrum, bez problemu można także wyznaczyć stosunki ilościowe poszczególnych partii widma.

I to wszystko – jak widać, realizacja pomiaru nie jest szczególnie skomplikowana i poradzi sobie z nią praktycznie każdy współczesny mikrokontroler, wyposażony choćby w jedno wejście ADC oraz cztery linie cyfrowe. Rzecz jasna, zastosowanie wydajniejszego procesora pozwala skorzystać z maksymalnej szybkości przesyłu danych, co ma niebagatelne znaczenie w aplikacjach, w których dynamika pomiaru jest ważna z uwagi na szybkość zmian badanego zjawiska – tym bardziej że kolejne akwizycje mogą następować praktycznie bez przerwy, jedna po drugiej, co doskonale widać na oscylogramie zamieszczonym na **rysunku 7**.

Rysunek 7. Oscylogram zarejestrowany podczas wykonywania kilku kolejnych akwizycji za pomocą minispektrometru marki Hamamatsu. Poziom szumu w sygnale wideo wynika z zastosowanego układu aplikacyjnego, użytego tylko do szybkiej oceny działania spektrometru (płytka z mikrokontrolerem była zasilana bezpośrednio z portu USB, co wpłynęło na poziom szumów impulsowych w całym układzie)

Maksymalizacja rozdzielczości pomiaru

A co z rozdzielczością przetwornika? Oficjalny zestaw ewaluacyjny o oznaczeniu C13016, przeznaczony do współpracy ze spektrometrami C12880MA i C16767MA, ma wbudowany konwerter ADC o rozdzielczości 16 bitów i taką właśnie wartość można przyjąć jako referencyjną. Nadmiarowe zwiększanie rozdzielczości nie ma większego sensu z dwóch powodów. Po pierwsze, należy pamiętać o poziomie szumów własnych matrycy CMOS i wewnętrznego toru analogowego ASIC-a, która wynosi zwykle 0,8 mV (maks. 2,4 mV) w przypadku modelu C16767MA. Zakres użyteczny sygnału na linii VIDEO zawiera się natomiast pomiędzy wartościami 0,3 V a 4,3 V, co daje wymagany zakres dynamiki (w typowym przypadku) na poziomie przekraczającym nieco 70 dB. Teoretycznie zatem idealny przetwornik ADC (przy założeniu braku szumów własnych oraz dodatkowych zakłóceń zewnętrznych) mógłby mieć rozdzielczość zaledwie 13 bitów. Po drugie natomiast, szybkie przetworniki o 18+ bitach natywnej rozdzielczości są zwykle dość kosztowne, podczas gdy część dobrych konwerterów 14- czy 16-bitowych plasuje się raczej na średniej półce cenowej.

Fotografia 3. Zestaw ewaluacyjny C13016

eprasa.pl e84dd9a9f2

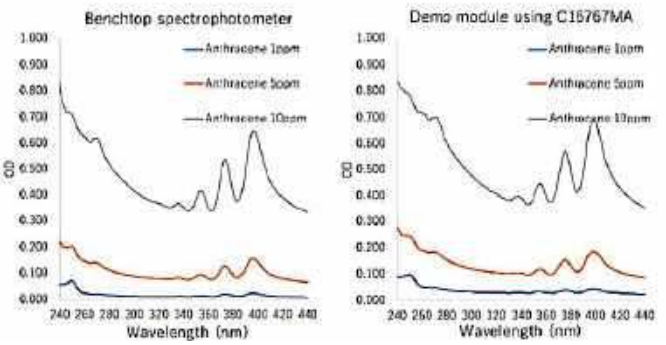
Jakie zatem mamy opcje w praktycznej implementacji omawianego spektrometru? Jedną z metod realizacji interfejsu współpracującego z naszym bohaterem jest zastosowanie zewnętrznego przetwornika ADC o rozdzielczości minimum 14 bitów (i możliwie wysokim ENOB), a lepiej 15…16 bitów.

Druga ścieżka to użycie mikrokontrolera z typowym, 12-bitowym przetwornikiem i skonfigurowanie go do pracy w trybie sprzętowego uśredniania – trzeba będzie oczywiście obniżyć częstotliwość taktowania spektrometru (np. do 200...500 kHz), ale i tak uzyskamy w ten sposób naprawdę zwinny układ pomiarowy, z którym jakikolwiek spektrometr z przesuwną szczeliną nie miałby szansy konkurować pod względem częstotliwości skanowania. Należy także pamiętać, że sam ASIC spektrometru pozwala wydłużyć czas integracji, więc tutaj także zyskujemy dodatkowy stopień swobody.

Kolejną opcją może być również prowadzenie pomiarów z pełną prędkością oferowaną przez moduł spektrometru, a następnie uśrednienie odpowiednich pikseli z kolejnych *N* akwizycji poprzez zastosowanie bufora programowego – w tym przypadku zyskujemy dostęp zarówno do gołych danych z każdej pojedynczej sekwencji pomiarowej, jak i do elastycznie konfigurowalnej wartości uśrednionej, wyliczanej np. za pomocą algorytmu średniej kroczącej.

Podsumowanie

Miniaturowe spektrometry marki Hamamatsu oferują doskonałe parametry metrologiczne przy zachowaniu niebywale kompaktowej formy i prostej integracji w niemal dowolnym systemie wbudowanym. Małe wymiary, niski pobór mocy oraz wysoka jakość widm uzyskiwanych za pomocą modułów spektrometrycznych C16767MA (**rysunek 8**) pozwalają przypuszczać, że spektrometry z serii Micro istotnie wpłyną na całą branżę pomiarów widma optycznego. Nic dziwnego, że produkt został dostrzeżony w międzynarodowym konkursie ***inspect award 2024***, organizowanym przez znane wydawnictwo naukowe John Wiley & Sons i zdobył **pierwszą nagrodę** wśród 20 zgłoszonych konkurentów w kategorii *Automation + Control*. Niebagatelne znaczenie ma zakres pomiarów realizowanych przez moduł C16767MA – analiza spektralna w zakresie ultrafioletu ma bowiem ogromny udział w branży pomiarów jakości wody, co w świetle globalnych zagrożeń związanych z zanieczyszczeniami rzek, oceanów czy wód gruntowych nabiera pierwszorzędnego znaczenia z punktu widzenia współczesnej ekologii.



Rysunek 8. Porównanie wyników pomiaru widm absorpcyjnych roztworów antracenu o trzech różnych stężeniach, wykonany z użyciem laboratoryjnego spektrofotometru stacjonarnego oraz zestawu demo z minispektrometrem C16767MA [1]

inż. Przemysław Musz, EP

Źródła:
[1] https://t.ly/1OtTe
[2] https://t.ly/nLrC5

REKLAMA

HAMAMATSU
PHOTON IS OUR BUSINESS

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

ultra-compact
UV-mini-spectrometer
C16767MA

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

C16767MA.hamamatsu.de

eprasa.pl e84dd9a9f2

Drukarki i mechanizmy termiczne

Drukarki termiczne znalazły niezliczone zastosowania w urządzeniach, z którymi na każdym kroku mamy styczność w codziennym życiu. Systemy POS, drukarki paragonów i etykiet, samoobsługowe wagi sklepowe, elektrokardiografy stacjonarne, a nawet aparatura pomiarowa czy niektóre stanowiska badawcze – to zaledwie kilka spośród setek zastosowań niewielkich, szybkich i cichych mechanizmów termicznych. W marcowej „Elektronice Praktycznej" zaglądamy do wnętrza tych ciekawych urządzeń – prezentujemy najważniejsze zagadnienia techniczne i implementacyjne, mało znane nawet tym konstruktorom, którzy pracują nad systemami bazującymi na gotowych drukarkach kioskowych czy mniejszych modułach OEM.

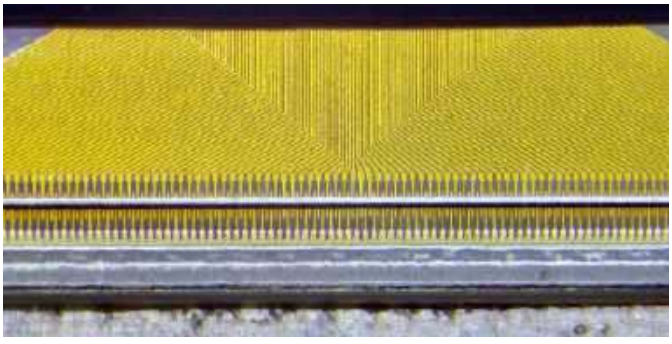
Nomenklatura

Zanim przejdziemy do „technikaliów" związanych z implementacją drukarek i mechanizmów termicznych w nowo projektowanych urządzeniach, powinniśmy najpierw uszczegółowić stosowaną terminologię.

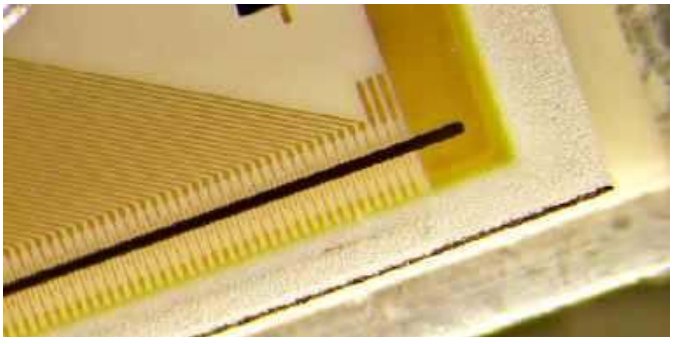
Zasadniczo mianem **drukarki termicznej** określa się gotowe urządzenia lub moduły składające się z właściwego mechanizmu termicznego oraz sterownika. Sam **mechanizm termiczny** to w istocie elektromechaniczny moduł złożony z precyzyjnej **głowicy** drukującej, **zespołu napędowego** obejmującego silnik krokowy, przekładnię i ogumiony wałek napędowy (współpracujący z dociskiem sprężynowym) oraz zestawu czujników. W niektórych przypadkach mechanizm jest wyposażony także w drugi silnik z mechanizmem **automatycznego obcinacza** papieru – takie rozwiązanie jest niezbędne np. w parkomatach, w których gotowy wydruk wypada pod wpływem grawitacji do kieszeni odbiorczej dostępnej dla użytkownika.

Głowica termiczna – budowa i wstęp do sterowania niskopoziomowego

Głowica termiczna – czyli „serce" mechanizmu i całej drukarki – to dość prosta, ale bardzo precyzyjna i delikatna struktura złożona z setek mikroskopijnych grzałek, podzielonych zwykle na kilka grup, co upraszcza układ połączeń, ale nieco komplikuje samo sterowanie. Zastosowanie technik makro- i mikrofotograficznych pozwala przyjrzeć się szczegółom tego niezwykle ciekawego ustroju – rzut oka na zdjęcia wykonane przez autora specjalnie na potrzeby niniejszego artykułu pozwala natychmiast zrozumieć metodę produkcji głowic (**fotografie 1...3**) – na wytrzymałe termicznie podłoże (np. z ceramiki) nanoszona jest precyzyjna sieć cienkich ścieżek metalowych w taki sposób, że tworzą one swego rodzaju

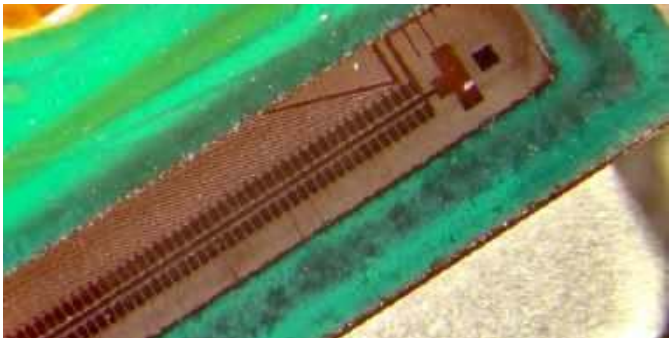


Fotografia 1. Makrofotografia przykładowej głowicy termicznej



Fotografia 2. Makrofotografia przykładowej głowicy termicznej

eprasa.pl e84dd9a9f2



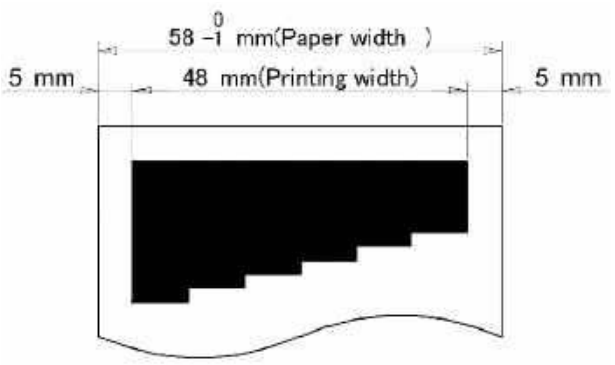
Fotografia 3. Makrofotografia przykładowej głowicy termicznej

„grzebień". Ścieżki na ostatniej części swojego przebiegu są przerwane, a na obszar owej przerwy nanoszona jest specjalna warstwa oporowa – w ten sposób powstaje linijka mikroskopijnych rezystorów grzejnych, które mogą być niezależnie załączane za pomocą impulsów sterujących, pochodzących z wbudowanego układu scalonego, umieszczonego w pobliżu głowicy i podłączonego do ścieżek przewodzących metodą COB (Chip-on-Board).

A jakie jest zadanie owego „kawałka krzemu"? Powód instalowania takiego układu przez producentów mechanizmów termicznych jest banalnie prosty – wyprowadzenie wszystkich linii bezpośrednio na taśmę FPC lub jakiekolwiek złącze byłoby wysoce niepraktyczne i to z dwóch powodów. Po pierwsze nawet przy zastosowaniu multipleksu liczba pinów byłaby dość spora – najpopularniejsze modele drukarek o szerokości papieru 58 mm oferują rozdzielczość na poziomie 384 pikseli (**rysunek 1**), więc przy zastosowaniu szyny danych o szerokości 16 bitów potrzeba byłoby jeszcze 24 linii na sterowanie wyprowadzeniami wspólnymi, co dałoby w efekcie aż 40 linii. Niby nie dużo – przecież złącza ZIF przeznaczone do taśm FPC i FFC o półmilimetrowym rastrze często mają nawet więcej niż 40 pinów. Trzeba jednak pamiętać, że mamy tutaj do czynienia z elementami grzejnymi, które siłą rzeczy (pomimo małych rozmiarów) muszą być zasilane odpowiednio dużym prądem, niezbędnym do bardzo szybkiego nagrzania danego elementu. Rezystancja pojedynczego elementu wynosi zwykle około 160 Ω, co przy zasilaniu napięciem 5 V daje prąd o natężeniu 31 mA. Pół biedy, gdyby sterowanie odbywało się piksel po pikselu – to jednak nie wchodzi w grę, bo… trzeba jeszcze uwzględnić czas nagrzewania i reakcji chemicznej substancji termoczułej pokrywającej papier. Do tego dochodzi jeszcze duża gęstość linii, która w najpopularniejszych modelach mechanizmów termicznych (np. LTP01-245 marki Seiko Instruments) wynosi 16 linii na milimetr. Aby wydrukować wers tekstu o sensownej wysokości (na poziomie 2...3 milimetrów) trzeba zatem „przeskanować" kilkadziesiąt linii po 384 piksele w każdej, co daje **kilkanaście tysięcy punktów**.

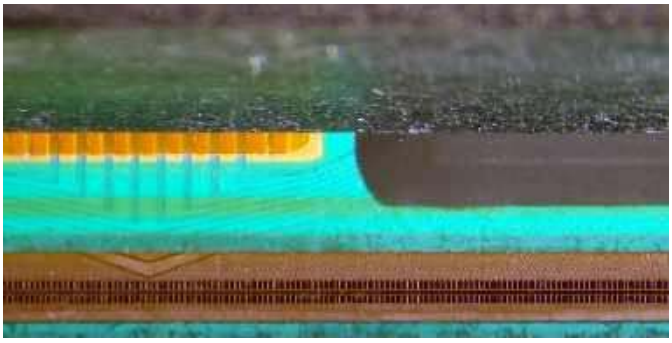
Opisane powyżej zależności doprowadziły producentów mechanizmów termicznych do konkluzji, że jedyną sensowną drogą do rozwiązania problemów w zakresie szybkości druku i optymalizacji interfejsu połączeniowego będzie zastosowanie… lokalnych rejestrów przesuwnych. I to właśnie – mówiąc w największym skrócie – są owe układy COB (**fotografia 4**), montowane w pobliżu właściwej ścieżki oporowej. Oczywiście i w tej konstrukcji są pewne ograniczenia. W przypadku wspomnianych już mechanizmów z rodziny LTP01-245 liczba jednocześnie aktywowanych pikseli nie może przekraczać 64, co daje w istocie 1/6 całej linii punktów. Nieprzypadkowo zresztą głowica jest podzielona właśnie na 6 sekcji, aktywowanych osobnymi wyprowadzeniami sterującymi (o tym za chwilę). Przy założeniu, że zostaną jednocześnie włączone wszystkie 64 piksele danej sekcji, łatwo obliczyć maksymalny pobór prądu głowicy, zbliżony do 1,9 A (!).

Warto przy okazji uświadomić sobie, że rozmiar i kształt kropek widocznych na finalnym wydruku zależy nie tylko od natywnej rozdzielczości głowicy (czyli – innymi słowy – od fizycznego rozstawu poszczególnych mikrogrzałek), ale także od… przesuwu papieru. W efekcie, choć piksele głowicy są rozsunięte względem siebie,

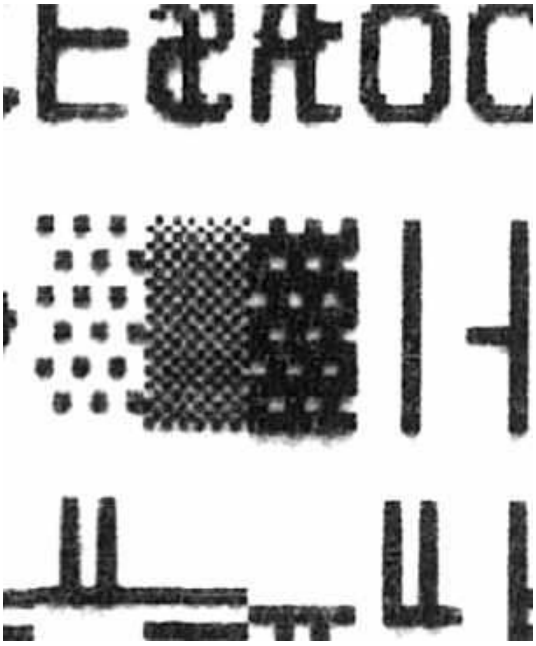


Rysunek 1. Wymiary papieru termicznego w standardzie 58 mm z zaznaczonymi marginesami zadruku, narzuconymi przez konstrukcję głowicy [1]

Rysunek 2. Szczegóły wymiarowe pojedynczej linii wydruku [1]

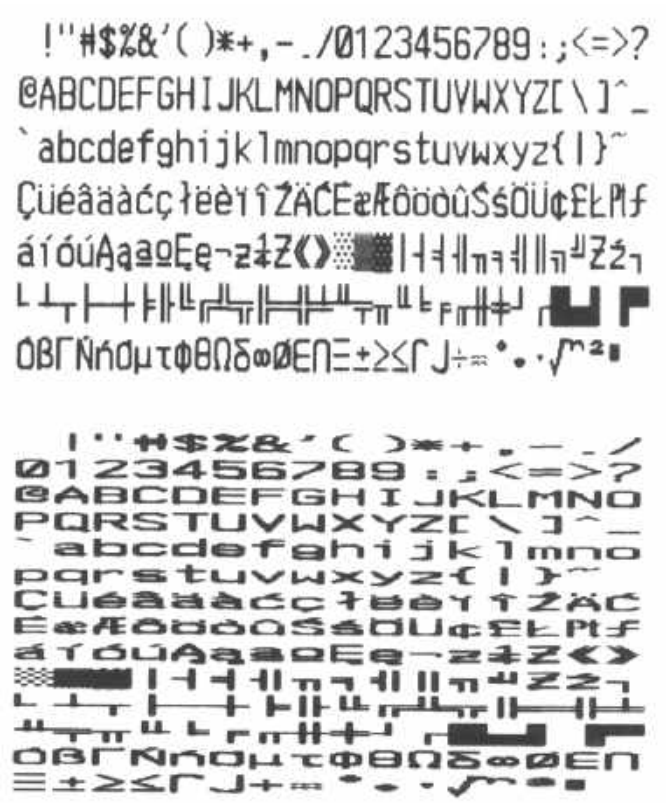


Fotografia 4. Makrofotografia przykładowej głowicy termicznej. Czarny, zaokrąglony element w prawej części zdjęcia to warstwa epoksydu, którym zalano układ COB współpracujący z głowicą

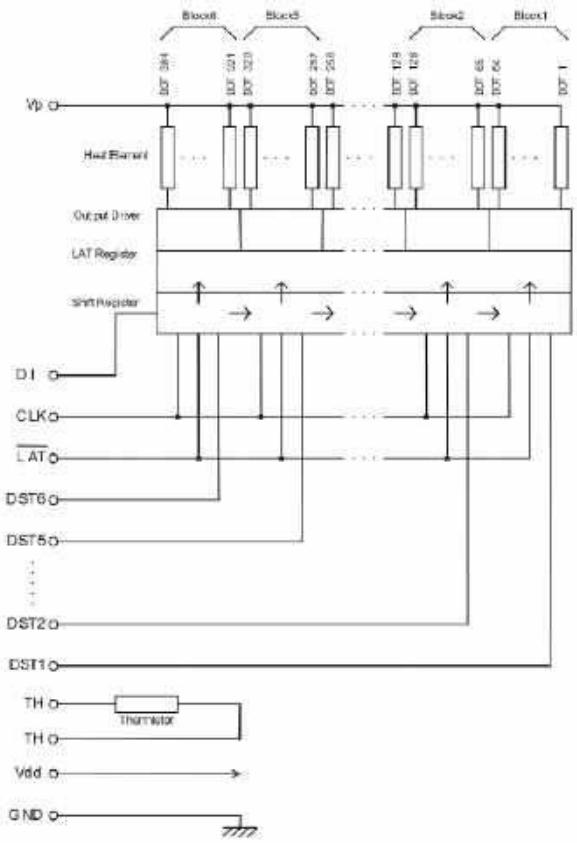


Fotografia 5. Wysokiej rozdzielczości skan przykładowego wydruku testowego. Widoczne są pojedyncze piksele i rozmycie w kierunku przesuwu papieru

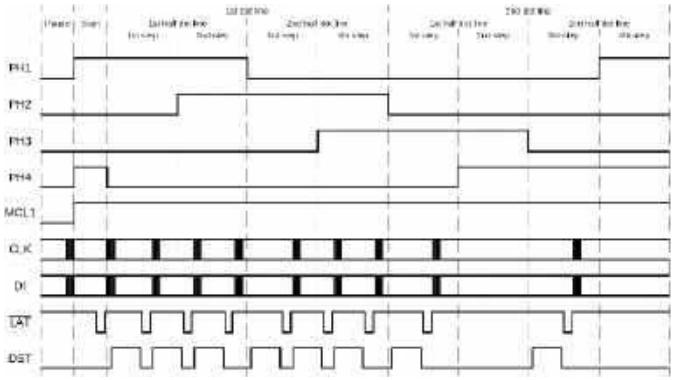
eprasa.pl e84dd9a9f2



Fotografia 6. Skan wydruku testowego z fotografii 5 (pełna szerokość). Rozmycie w normalnej skali „użytkowej" nie jest widoczne, o ile sterownik prawidłowo synchronizuje przesuw papieru i załączanie poszczególnych pikseli głowicy termicznej



Rysunek 3. Wewnętrzny schemat blokowy układu COB współpracującego z głowicą termiczną [1]



Rysunek 4. Przebiegi czasowe na liniach silnika napędowego (PH1…PH4) oraz liniach sterujących zespołu głowicy termicznej [1]

to rozpraszanie ciepła powoduje, że sąsiadujące punkty wydruku zlewają się, dając wrażenie jednolitej linii poziomej. W kierunku prostopadłym do głowicy (równolegle do kierunku przesuwu papieru) piksele faktycznie się zlewają, gdyż parametry silnika krokowego, średnica wałka oraz stopień przekładni napędowej są tak dobrane, że przesunięcie papieru o jeden elementarny krok jest równe rozmiarowi fizycznego piksela – widać to doskonale na **rysunku 2**. Z kolei na **fotografii 5** zaprezentowano skan wysokiej rozdzielczości, wykonany na wydruku testowym jednego z modułów drukarek dostępnych na rynku. W ogromnym powiększeniu widać jak na dłoni poszczególne piksele oraz charakterystyczne rozmycie, wynikające z termodynamicznych zależności pomiędzy chłodzeniem grzałek, a prędkością przesuwu papieru – nietrudno zauważyć, że rozmycie poziomych linii jest widoczne tylko na dole wydruku, co jasno pokazuje w jakim kierunku był przemieszczany papier w czasie drukowania. Oczywiście w normalnych warunkach eksploatacyjnych taki „efekt ducha" nie ma absolutnie żadnego znaczenia, gdyż rozmycie pozostaje całkowicie niewidoczne podczas oglądania wydruku na żywo (**fotografia 6**), w skali makroskopowej.

Sterowanie głowicą termiczną

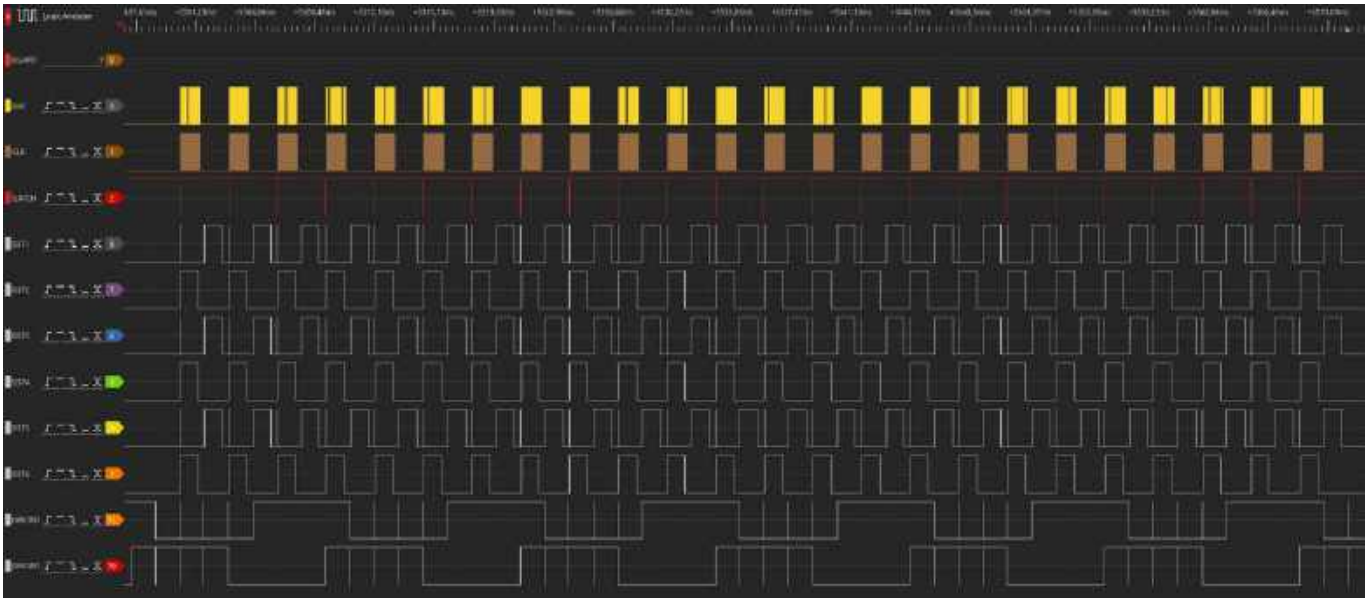
Wspomnieliśmy już, że wbudowane układy sterujące głowic termicznych oparte są na buforowanych rejestrach przesuwnych. Wewnętrzną strukturę takiego układu, wraz z oznaczeniami kierunków przepływu danych, w dużym uproszczeniu uproszczeniu zobrazowano na **rysunku 3**. Do dyspozycji użytkownika są następujące linie cyfrowe:

- DI – szeregowe wejście danych rejestru przesuwnego,
- CLK – linia zegarowa,
- $\overline{\text{LAT}}$ – wejście zatrzaskujące stan rejestru w buforze,
- DST1...DST6 – linie aktywujące poszczególne sekcje głowicy, które obejmują piksele 1...64, 65...128 i tak dalej.

Dodatkowo wyprowadzony jest także wewnętrzny termistor (umożliwiający urządzeniu nadrzędnemu kontrolę temperatury głowicy i wyłączenie jej w przypadku przegrzania) oraz oczywiście linie zasilania.

Przebiegi sygnałów na liniach cyfrowych (bez rozróżnienia wejść DST1…6) oraz na poszczególnych wyprowadzeniach silnika napędowego pokazano na **rysunku 4**. Druk rozpoczyna się od synchronicznego przesłania ramki danych, odpowiedzialnej za stan poszczególnych pikseli w jednej linii obrazu. Następnie kontroler wystawia stan niski na linię LAT, co skutkuje zatrzaśnięciem porcji danych w rejestrze przesuwnym. Aktywacja jednej z sześciu linii DST powoduje natychmiastowe włączenie grzania w poszczególnych partiach głowicy termicznej – z uwagi na czas propagacji ciepła, niezbędny do prawidłowego zaczernienia papieru, impulsy te są relatywnie długie. Podczas gdy sama komunikacja szeregowa na liniach DI oraz CLK odbywa się z częstotliwością rzędu kilku megaherców, to czas aktywacji segmentów DST1...6 wynosi w praktyce około 1 ms. Na **rysunku 5** pokazano przebiegi na wszystkich liniach cyfrowych oraz na wejściach sterownika silnika krokowego podczas druku jednego wersu znaków, zaś **rysunek 6** obrazuje

eprasa.pl e84dd9a9f2



Rysunek 5. Rzeczywiste przebiegi sterujące zarejestrowane na liniach interfejsu głowicy termicznej – widok pełnej sekwencji podczas wydruku pojedynczej linii znaków, wysłanego przez interfejs UART do zewnętrznego sterownika współpracującego z mechanizmem (źródło: archiwum własne autora)

Rysunek 6. Przybliżenie fragmentu komunikacji z mechanizmem termicznym, odpowiedzialnego za przesłanie danych pojedynczej linii pikseli (źródło: archiwum własne autora)

przybliżenie jednej z ramek odpowiedzialnych za wydruk pojedynczej linii pikseli.

Warto przy okazji zwrócić uwagę na istotny szczegół, widoczny zarówno na „teoretycznym" rysunku 4, jak i na zrzutach ekranu z analizatora sygnałów logicznych, za pomocą którego autor dokonał nasłuchu komunikacji na interfejsie głowicy. Otóż jeśli przyjrzymy się sygnałom na liniach kontrolujących sterownik silnika krokowego to zauważymy, że na każdą ramkę przypadają dwie sekwencje impulsów przesuwających papier. Wygląda to tak, jakby kontroler dwa razy drukował każdą z linii…

Przypadek? Oczywiście nie. Uzasadnienia takiego sposobu sterowania należy szukać w rozmiarach pikseli – jak pokazano wcześniej na rysunku 2, rozdzielczość pionowa (w kierunku rozwijania papieru) jest 2-krotnie większa, niż rozdzielczość pozioma (w kierunku szerokości papieru). Oznacza to, że aby uzyskać piksele o kształcie (w przybliżeniu) kwadratowym, należy wydrukować każdą linię dwa razy, korzystając z dokładnie tego samego zestawu danych w rejestrze zatrzaskowym.

W tym miejscu należy jeszcze dodać, że samo sterowanie silnikiem także nie jest zagadnieniem trywialnym. Okazuje się bowiem, że w celu uzyskania pożądanej jakości druku konieczne jest dokładne podążanie za wytycznymi producenta w zakresie rozpędzania silnika. Niezachowanie precyzyjnych zależności czasowych może spowodować gubienie kroków – trzeba bowiem pamiętać, że malutki silnik (pomimo dość solidnej przekładni redukcyjnej) ma ograniczony moment obrotowy, a pracuje pod relatywnie sporym obciążeniem, wynikającym przede wszystkim z konieczności solidnego docisku papieru do głowicy przez gumowy wałek. Szczegóły techniczne sterowania napędem wykraczają jednak poza ramy niniejszego opracowania, dlatego nie będziemy ich tutaj opisywać.

Pozostałe aspekty konstrukcyjne mechanizmów termicznych

Jednym z podstawowych aspektów, które należy przewidzieć projektując mechanikę urządzenia z modułem drukarki termicznej, jest zapewnienie ergonomicznego dostępu do dźwigni zwalniającej wałek (jeżeli ma on być wyciągany podczas wymiany papieru). Widok mechanizmu termicznego z odłączonym wałkiem pokazano na **fotografii 7**. Na **fotografii 8** umieszczono dodatkowo widok

eprasa.pl e84dd9a9f2

Fotografia 7. Moduł mechanizmu termicznego z wyjętym wałkiem napędowym. Widoczna cała głowica termiczna na podłożu ceramicznym

wielostopniowej przekładni napędowej po zdjęciu osłony – rzecz jasna, w normalnych warunkach eksploatacji element ten pozostaje na swoim miejscu, jednak w serwisie może być konieczne zdjęcie tej części obudowy, np. w celu nasmarowania zębatek.

Od strony programowej kontroler drukarki powinien obsługiwać dwa czujniki montowane standardowo nawet w najprostszych modelach mechanizmów termicznych. Pierwszy z nich to czujnik obecności wałka, pozwalający wykryć fakt usunięcia tegoż w celu

Fotografia 8. Widok przekładni wałka napędowego po usunięciu tworzywowej pokrywy

Fotografia 9. Dźwignia zwalniająca zatrzask mocujący wałek. Po lewej stronie widoczny jest elektromechaniczny czujnik obecności wałka

Fotografia 10. Moduł średnioformatowej drukarki termicznej z doskonale widocznym, optycznym czujnikiem papieru w postaci transoptora odbiciowego, wlutowanego bezpośrednio na sztywno-giętkiej płytce drukowanej

wymiany papieru bądź czyszczenia głowicy termicznej. Zwykle sensor ten ma postać prostego mikroprzełącznika, jak widać na **fotografii 9**. Drugi czujnik pozwala na wykrywanie obecności papieru – w tym przypadku stosowane są transoptory odbiciowe, umieszczane zwykle w niewielkim otworze obudowy, tuż pod wałkiem napędowym (**fotografie 10** i **11**).

Najczęściej stosowanym sposobem wykonywania połączeń elektrycznych pomiędzy modułem mechanizmu termicznego, a sterownikiem, jest użycie taśmy FPC lub – rzadziej – FFC. Zaletą tej pierwszej technologii jest możliwość wykonania wszystkich bądź prawie wszystkich połączeń za pomocą pojedynczego, rozgałęzionego obwodu sztywno-giętkiego, co jak na dłoni widać na **fotografii 12**.

Zupełnie osobną kwestią – choć o znaczeniu fundamentalnym dla ergonomii i niezawodności docelowego urządzenia – jest mechaniczny montaż modułu drukarki termicznej i odpowiednie zamocowanie rolki papieru oraz wylotu zadrukowanego nośnika. Przykład, zaczerpnięty z dokumentacji [1], można zobaczyć na **rysunku 7**.

Drukarki termiczne w ofercie rynkowej

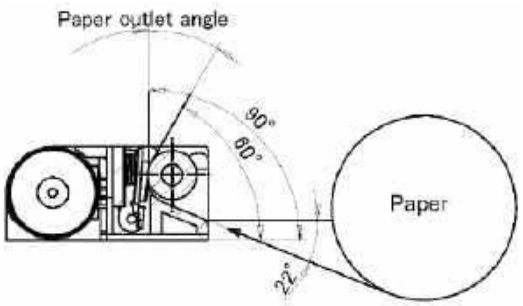
Dostępne na rynku urządzenia do druku termicznego można podzielić na pięć kategorii, różniących się poziomem abstrakcji w realizacji funkcji sterujących.

1. **Mechanizmy termiczne**, jak opisaliśmy na początku niniejszego artykułu, wymagają zrealizowania całego procesu drukowania najbardziej niskopoziomowo – trzeba „samodzielnie" wysterować każdy piksel i głowicy i synchronicznie przesuwać papier, co wymaga nie tylko dość sporych zasobów pamięciowych,

Fotografia 11. Popularny model mechanizmu termicznego, stosowany m.in. w przenośnych kasach fiskalnych. Doskonale widoczne są: czujnik obecności papieru oraz docisk sprężynowy w metalowej ramie, pełniącej jednocześnie rolę mocowania wałka napędowego. W tym modelu silnik, czujnik papieru oraz czujnik wałka są podłączane za pomocą wiązki pojedynczych przewodów, zakończonej złączem rastrowym, zaś taśma FFC obsługuje jedynie głowicę termiczną

Fotografia 12. Moduł drukarki termicznej z wbudowanym obcinaczem automatycznym. Główna taśma FPC udostępnia zasilanie i sygnały logiczne głowicy, przewody silnika napędowego i połączenia z czujnikami, zaś druga, węższa taśma obsługuje silnik i czujnik obcinacza papieru

eprasa.pl e84dd9a9f2



Rysunek 7. Rysunek wymiarowy opisujący zasady prawidłowego ulokowania wejścia oraz wyjścia papieru względem mechanizmu termicznego [1]

Fotografia 14. Drukarka termiczna OEM z wbudowanym sterownikiem w wersji do zabudowy (https://t.ly/SG6iF)

Fotografia 15. Przykładowa drukarka kioskowa (https://t.ly/6-mDh)

ale także bardzo złożonego oprogramowania wbudowanego, pracującego w reżimie czasu rzeczywistego. Zaletą tego rodzaju implementacji jest pełna kontrola nad każdym aspektem pracy mechanizmu termicznego (w tym możliwość stosowania niestandardowych metod druku), ale zdecydowanie najważniejszym aspektem przemawiającym za wyborem „gołego" mechanizmu jest jego cena – wielokrotnie niższa niż w przypadku jakiekolwiek modułu drukarki z wbudowanym sterownikiem.

2. **Mechanizmy termiczne z zewnętrznym sterownikiem** – niektóre firmy oferują zestawy mechanizmów termicznych wraz z płytkami kompatybilnych sterowników (**fotografia 13**), z którym nadrzędne urządzenie może nawiązać komunikację za pomocą interfejsu UART. Zaleta takiego rozwiązania to łatwość implementacji (porównywalna ze stosowaniem gotowych drukarek OEM) oraz pewna swoboda we wzajemnym pozycjonowaniu modułu oraz PCB sterownika wewnątrz obudowy urządzenia. Wada? Sumaryczna cena, która nierzadko dorównuje kosztom zakupu gotowej drukarki modułowej.
3. **Podstawowe moduły drukarek termicznej OEM** – w przypadku systemów prototypowych oraz urządzeń o niewielkim obciążeniu eksploatacyjnym możliwe jest stosowanie stosunkowo niedrogich drukarek modułowych, wyposażonych w mechanizm termiczny i sterownik, umieszczone we wspólnej, łatwej w montażu obudowie (**fotografia 14**). Komunikacja odbywa się zwykle za pomocą interfejsu szeregowego (UART, RS-232 lub USB), co znakomicie upraszcza implementację programową.
4. **Drukarki kioskowe** (**fotografia 15**) to dość kosztowne i zwykle spore moduły, oferujące w zamian możliwość pracy z dużym obciążeniem (mierzonym liczbą zadrukowanych kilometrów papieru). Nierzadko wyposażone są we wbudowane ucinacze, mają ponadto zintegrowane uchwyty na duże rolki papieru termicznego, co jest kluczowe dla kosztów obsługi (większy zapas papieru przekłada się wprost na rzadsze jego uzupełnianie).
5. **Gotowe drukarki termiczne** mają postać peryferyjnych urządzeń stacjonarnych, współpracujących z komputerem PC (**fotografia 16**). Należy jednak pamiętać, że nie wszystkie drukarki do etykiet mają konstrukcję bazującą na mechanizmach termicznych – niektóre z nich wymagają stosowania kartridży ze specjalnym paskiem, który odbija warstwę farby na zadrukowywanym nośniku. Tak działają m.in. popularne drukarki marki DYMO, które są w stanie wykonywać opisy nie tylko na samoprzylepnych taśmach (w tym winylowych), ale także na specjalnych rurkach termokurczliwych.

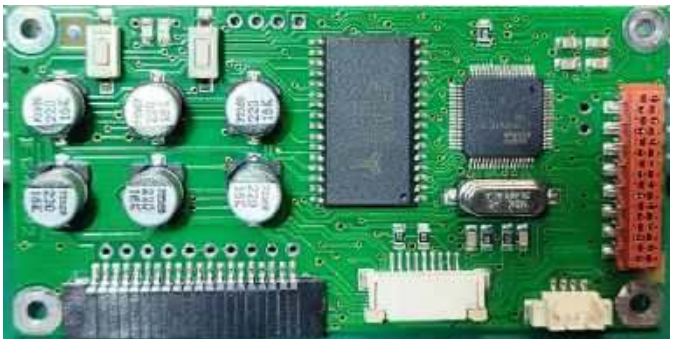
Fotografia 16. Gotowa drukarka termiczna w postaci urządzenia współpracującego z komputerem (https://t.ly/-WyHh)

Podsumowanie

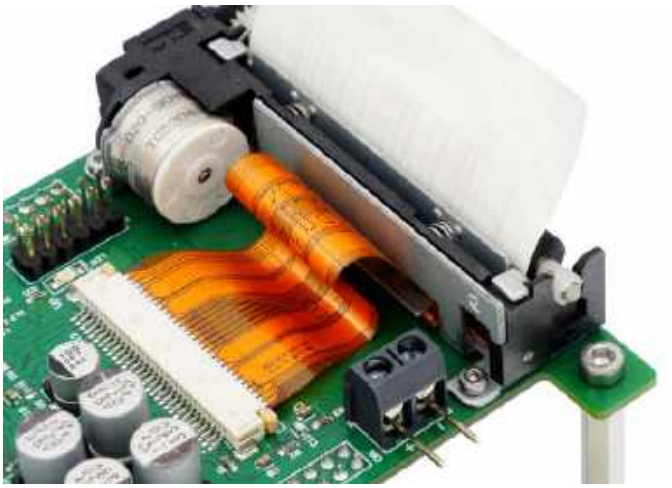
Zaprezentowane w artykule informacje pozwalają lepiej zrozumieć dość złożoną tematykę niskopoziomowego sterowania mechanizmami termicznymi. Implementacja tego typu modułów w projektowanych samodzielnie urządzeniach zdecydowanie nie należy do zadań trywialnych, trzeba bowiem z dużą pieczołowitością podejść do aspektów timingu przebiegów kontrolujących ruch silnika i aktywację głowicy termicznej – a to dopiero sam początek, gdyż trzeba przecież jeszcze zapewnić obsługę generatora znaków i elementów graficznych. Tematyka ta będzie jeszcze poruszana na łamach „Elektroniki Praktycznej" – już teraz trwają prace nad cyklem artykułów poświęconych właśnie niskopoziomowemu sterowaniu mechanizmami termicznymi na bazie zestawu ewaluacyjnego, opracowanego przez autora specjalnie do tego celu (**fotografia 17**).

inż. Przemysław Musz, EP

[1] https://t.ly/rKaUA



Fotografia 13. Płytka drukowana przykładowego sterownika przeznaczonego do współpracy z mechanizmem termicznym



Fotografia 17. Zestaw ewaluacyjny z zamontowanym modułem termicznym

eprasa.pl e84dd9a9f2

Jak umierają podzespoły?

Strzały, iskry, dym, niemiłosierny smród, czasem latające w powietrzu odłamki – elektronika realizowana w praktyce potrafi zaskoczyć efektownością swojego odejścia „na tamten świat". Czasem jednak po uszkodzeniu nie ma ani śladu bądź jest nim tylko niewielki otworek w obudowie elementu. Jak wyglądają różne uszkodzenia i do czego można tę wiedzę wykorzystać?

Osoby na co dzień serwisujące falowniki lub inny sprzęt energoelektroniczny z pewnością naoglądały się w swojej karierze zniszczeń niczym po wybuchu granatu wewnątrz obudowy naprawianego urządzenia. Oczywiście nie było żadnego granatu – to po prostu wielka porcja energii, skumulowanej w niewielkiej przestrzeni, „postanowiła" się uwolnić, najczęściej wraz z kawałkami obudowy elementu, która stała jej na drodze.

W niniejszym artykule podejmę próbę opisania powiązania między skutkami (w postaci widocznych bądź niewidocznych uszkodzeń podzespołów) a ich przyczynami, z którymi spotkałem się na przestrzeni lat. Taka wiedza ułatwia postawienie diagnozy oraz odtworzenie biegu zdarzeń, które do tego doprowadziły. W ten sposób można się dowiedzieć, czy za słowami klienta: *Panie, to nie działa!,* stoi spowodowany przeze mnie błąd konstrukcyjny, czy też zawinił sam użytkownik, ale nie chce się do tego przyznać. Na co dzień tworzę wiele prototypów i/lub krótkie serie produkcyjne, które trafiają w ręce rozmaitych odbiorców – niekiedy mało uważnych. Poznanie przyczyn uszkodzenia urządzenia, które trafiło do mnie jako zwrot, potrafi dać cenną informację na przyszłość.

Rezystory

Zacznę od podzespołów biernych, jako najliczniej występujących. Z reguły są to przegrzane rezystory, które w wersji przewlekanej (THT) po prostu zmieniają swą barwę na tym ciemniejszą, im silniejsze było przeciążenie. W skrajnej sytuacji dochodzi do popękania i odpadnięcia warstwy lakieru na ich powierzchni, połączonego z odsłonięciem spiralnie ułożonej ścieżki oporowej. Przegrzany rezystor zwiększa swoją rezystancję względem nominalnej, zaś przegrzany skrajnie będzie zawsze wykazywał przerwę. Ot, za duża moc tracona w tych komponentach przy zbyt słabym odprowadzaniu ciepła.

Jednak nieco inaczej wyglądają rezystory, które zostały przeciążone bardzo, bardzo mocno, zaś przyrost mocy był szybki. Otóż moje doświadczenia wskazują, że przy niskich napięciach dochodzi wtedy z reguły do powstania przerwy w ścieżce oporowej (rezystancja sięga wartości niemierzalnych), ale na powierzchni rezystora nie widać jakichś szczególnych uszkodzeń. Jeżeli zaś napięcie było wysokie, rezystor potrafi pęknąć na pół, co również skutkuje przerwą w obwodzie. Tak samo zachowują się rezystory SMD, przy czym wywołanie uszkodzenia pierwszego rodzaju (pęknięcie ścieżki bez widocznych uszkodzeń) jest w nich rzadziej spotykane – częściej dochodzi do powstania odprysków na zewnętrznej powierzchni lakieru.

Ciekawie wygląda sprawa rezystorów, w przypadku których przekroczono dopuszczalne napięcie, co może być związane z wyładowaniami atmosferycznymi lub przepięciami w układzie. Otóż między sąsiadującymi ze sobą zwojami spiralnej ścieżki oporowej potrafi na chwilę zapalić się łuk niszczący tylko fragment lakieru, a nie – jak w przypadku przekroczenia dopuszczalnej mocy – cały lakier. Wypalony lakier staje się wówczas czarny, z wyraźnym nalotem sadzy, podczas gdy pozostała powierzchnia rezystora jest co najwyżej lekko zbrązowiała.

Od około dwóch lat zauważam przyrost liczby elementów SMD uszkodzonych fabrycznie. Rezystory pobierane hurtem z rolki, układane przez maszynę na panelach, potem lutowane rozpływowo w piecu. Raz na dwa, trzy tysiące podzespołów (średnio dwa, trzy w typowej rolce 5000 sztuk) trafia się taki, który potem podczas testów wykazuje przerwę. I nie może tu być mowy o jego uszkodzeniu w układzie, bowiem rzecz dotyczy np. rezystora SMD w obudowie 0805 i rezystancji 10 kΩ, podciągającego linię 5 V.

Kondensatory

Kondensatory tantalowe są bardzo wrażliwe na zmianę polaryzacji zasilania oraz przekroczenie jego dopuszczalnej wartości. Reagują wtedy zwarciem, choć na obudowie brak widocznych uszkodzeń. Co ciekawe, elementy te potrafią się uszkadzać, pracując przez długi czas przy napięciu rzędu 80...90% nominalnej wartości oznaczonej na obudowie. Odpowiednio duży margines bezpieczeństwa jest zatem wysoce wskazany przy projektowaniu układów z użyciem „tantali". Co jeszcze ciekawsze, w analogiczny sposób reagują one na… przegrzanie podczas lutowania. Zdarza się to głównie przy lutowaniu prototypów przy użyciu gorącego powietrza, ale w piecu też takie przypadki się zdarzają, choć musi on być wyjątkowo kiepskiej jakości. Nie musi nawet dojść do zmiany koloru obudowy.

Kondensatory ceramiczne (mam na myśli głównie SMD) reagują zwarciem na przekroczenie napięcia bez widocznych objawów z zewnątrz. Jeden jedyny raz w życiu widziałem przegrzany kondensator, który pracował jako element snubbera – wtedy dochodziło prawdopodobnie do tracenia mocy na jego rezystancji szeregowej (ESR). Obudowa elementu wyraźnie pociemniała, choć nadal był on sprawny.

Z kolei kondensatory elektrolityczne potrafią zafundować zwarcie lub wyciek elektrolitu z obudowy przy zbyt wysokim napięciu, tudzież przy odwrotnej polaryzacji. Długotrwałe przegrzewanie (np. w przetwornicach impulsowych) też z reguły prowadzi do otwarcia puszki i wylania elektrolitu, ale ścianki tej puszki nie są wówczas silnie rozdęte, zaś elektrolit z reguły nie pozostawia śladów wszędzie dookoła. Wyschnięcie kondensatora też ma związek z jego długotrwałą pracą w cieple, ale przyczyna może leżeć w temperaturze otoczenia (słaba wentylacja) – rzadko widuję elegancko wysuszone kondensatory, pracujące w przetwornicach impulsowych dużej mocy, w których grzeją się za sprawą własnej ESR. Wysuszony kondensator z reguły ma podejrzanie małą masę, choć niektóre dalekowschodnie wynalazki (pomimo prawidłowych parametrów) są bardzo lekkie zaraz po wyjściu z fabryki, więc trzeba podchodzić ostrożnie do tego kryterium…

Tranzystory

Odrębną kategorię stanowią półprzewodniki, które uszkadzają się na mnóstwo różnych sposobów. Bardzo ciekawe są tranzystory w obudowach SOT-23, w których dochodzi do pojawienia się niewielkiego otworku na środku obudowy, jak pokazano na **fotografii 1**. Bywa on tak sprytnie ukryty, że wkomponowuje się w ogólne zabrudzenie obudowy elementu bądź nawet w napis. Co ciekawe, najczęściej dotyczy to tranzystorów bipolarnych, zapewne z racji tego, iż obszar kolektora jest

Fotografia 1. Przeciążony tranzystor BC807

eprasa.pl e84dd9a9f2

największy w ich strukturze, przez co ciepło rozkłada się na większej powierzchni i potrafi stopić obudowę, zanim sam krzem ostatecznie ulegnie uszkodzeniu. Przyczyną jest przekroczenie dopuszczalnej mocy strat, co bardzo często dzieje się, kiedy zwarciu ulegnie obciążenie sterowane w układzie wspólnego emitera. Napięcie kolektor-emiter jest wówczas równe zasilającemu, ale prądu kolektora nie ogranicza niemal nic.

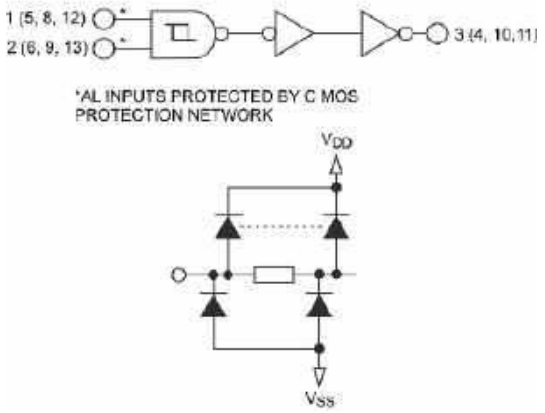
W przypadku tranzystorów unipolarnych bardzo charakterystycznym uszkodzeniem jest zwarcie bramki ze źródłem, co ma związek z przekroczeniem dopuszczalnego napięcia bramka (G) źródło (S). Przebiciu ulega wówczas dielektryk podbramkowy i rezystancja obwodu GS wynosi kilka lub kilkanaście omów. Tranzystorem nie da się wtedy sterować, ale dren pozostaje z reguły odizolowany od źródła.

Inaczej sprawa wygląda przy przeciążeniu tranzystora unipolarnego bardzo wysoką dawką energii, dostarczonej w bardzo krótkim czasie. Doświadczyłem tego przy próbie uruchomienia układu spowalniającego ładowanie kondensatorów elektrolitycznych na wejściu falownika. W obszarze pojedynczej struktury wydzielała się moc na poziomie kilowatów w czasie rzędu milisekund. Po takiej próbie tranzystor zachowywał się jak dosłownie zespawany wewnątrz, wszystkie jego elektrody były połączone rezystancją poniżej 1 Ω. Natomiast obudowa nie nosiła śladów jakiejkolwiek pracy tego elementu. Nie był to pojedynczy przypadek, kilkanaście rozmaitych tranzystorów w tym układzie zachowało się w identyczny sposób.

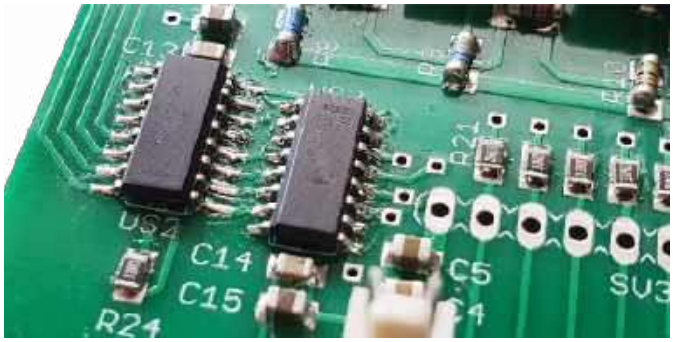
Z reguły mamy do czynienia z tranzystorami mocy, które zostały przeciążone nieznacznie (wtedy obudowa kruszy się i pęka, wydzielając potworny smród) lub silnie (wtedy tranzystor jest rozrywany, a kawałki jego obudowy są dosłownie… wszędzie). Ten pierwszy przypadek dotyczy z reguły pogorszonego chłodzenia, na przykład przy zestarzeniu się pasty między tranzystorem a radiatorem, zaś drugi dotyczy zwartego obciążenia w układzie wspólnego drenu. Brylują w tym obszarze zwłaszcza przetwornice, choć widziałem na własne oczy eksplozję tranzystora sterującego silnikiem DC dużej mocy, którego wirnik został zablokowany śrubokrętem przypadkowo wetkniętym w łopatki obracanej przezeń turbiny…

Układy scalone

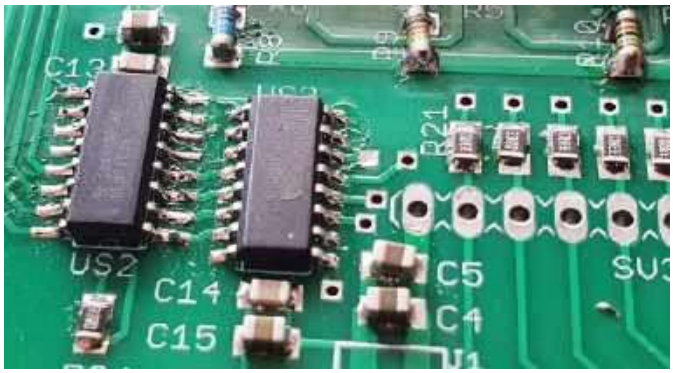
Układy scalone to już w ogóle temat rzeka, ponieważ jest ich całe mnóstwo. Można jednak wyróżnić kilka istotnych grup uszkodzeń. Zacznę od uszkodzenia wywołanego ładunkami elektrostatycznymi (słynne ESD), które może przytrafić się niezabezpieczonym wejściom mikrokontrolerów lub innych układów cyfrowych CMOS. Taki układ zaczyna wtedy pobierać bardzo duży prąd, czasem nawet częściowo działa, oczywiście dopóki nie ulegnie całkowitemu przegrzaniu. Układy z tranzystorami bipolarnymi (proste wzmacniacze operacyjne, drivery) nie są na to wrażliwe. Powodem okazuje



Rysunek 1. Diody zabezpieczające wejścia zaczynają przewodzić przy odwrotnej polaryzacji zasilania



Fotografia 2. Układ 74HC595 uszkodzony zbyt wysokim napięciem zasilającym



Fotografia 3. Inny układ 74HC595, który również został uszkodzony zbyt wysokim napięciem zasilającym

się zwarcie dielektryka podbramkowego. Na obudowie nie ma wtedy nawet śladu, chyba że układ taki pracuje i się przegrzewa – wtedy może wydzielać dym lub smród, zaś materiał jego obudowy zaczyna się kruszyć.

Przy odwrotnym podłączeniu biegunów napięcia zasilającego układ taki z reguły eksploduje, ponieważ zaczyna przez niego płynąć prąd o bardzo wysokim natężeniu. Dzieje się tak, ponieważ przewodzą wszystkie diody zabezpieczające wejścia (**rysunek 1**), w normalnych warunkach spolaryzowane zaporowo. Jest ich tyle, ile opatrzonych nimi wyprowadzeń, a łączny spadek napięcia na takim układzie wynosi wtedy 1,5…2 V. Jeżeli nieszczęsny układ scalony ma kilka odrębnych wyprowadzeń doprowadzających do niego zasilanie, wtedy płynący prąd może być naprawdę potężny i struktura ulega rozerwaniu – nie ma już czego zbierać.

Inaczej jednak sprawa wygląda przy zbyt wysokim napięciu zasilającym. Przykłady mam na **fotografiach 2** i **3**, a wcale niełatwo było te uszkodzenia znaleźć. Prezentowane układy powinny być zasilane napięciem nie wyższym niż 5,5 V i takie właśnie napięcie powinno być doprowadzone do całej płytki. Kostki sterowały driverami ULN2003, które w momencie „badania" urządzenia okazały się w pełni sprawne. Po pokazaniu klientowi zdjęć ten przyznał się, że podłączył zasilanie 12 V zamiast ustalonego napięcia 5 V i stąd te uszkodzenia. Same układy oczywiście nie działały, ale nie pobierały żadnego prądu, zaś na ich obudowach znalazły się jedynie ledwie widoczne pęknięcia. Powiem więcej – często widuję mikrokontrolery (choćby z serii ATmega, zasilane napięciem do 6 V), które po potraktowaniu napięciem nieco wyższym zachowują się identyczne, jak pokazane na fotografiach 74HC595.

Opisane przeze mnie zachowania podzespołów elektronicznych to zapewne wierzchołek góry lodowej, bowiem każda dziedzina elektroniki cechuje się swoistymi uszkodzeniami – od pozornie subtelnych, jak ESD, po iście *hardkorowe,* jak wybuch kilku tranzystorów IGBT. Niemniej jednak wszystkie te zdarzenia pozwalają ze sporym prawdopodobieństwem wytropić przyczynę powstania danego uszkodzenia i – być może – zapobiec mu w przyszłości.

Michał Kurzela, EP

eprasa.pl e84dd9a9f2

Druk 3D w służbie elektroniki (6)

W poprzedniej części zaprezentowane zostały przykładowe rozwiązania nie tylko w zakresie składania samej obudowy z wydruków, ale też montażu elementów w takiej obudowie. Opisano również bryłę przykładowej obudowy z panelem sterującym oraz zastosowanie złotego podziału w celu uzyskania przyjemnych dla oka proporcji. W tej części przygotujemy projekt obudowy i omówimy zasady poprawnego i estetycznego wykonania panelu kontrolnego z wyświetlaczem, przyciskami, enkoderem i diodami LED. Docelowo obudowa będzie wykonana z PETG, omówimy więc pokrótce ten materiał i porównamy z używanym do tej pory PLA.

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

Wybór filamentu do produkcji obudowy

W części drugiej tego cyklu omówione zostały parametry najróżniejszych filamentów. Przypomnijmy sobie kilka z nich za pomocą **tabeli 1**. Wybrano do niej materiały potencjalnie najlepiej nadające się do wykonywania obudów, ale przy założeniu, że chcemy mieć możliwość druku na każdej, nawet relatywnie taniej drukarce 3D. Obudowa powinna być wytrzymała zarówno mechanicznie, jak i termicznie. Już na początku widać, że nie są to cechy najpopularniejszego materiału „drukarskiego", czyli PLA. Szczególnie wytrzymałość w poprzek warstw jest dość niska, a to implikuje też niską wytrzymałość na siły ścinające. Jeśli wydrukujemy wewnątrz obudowy elementy montażowe do radiatora lub innego, cięższego elementu, to mogą one z łatwością się oderwać przy uderzeniu z boku. Wytrzymałość termiczna też jest na tyle mała, że obudowa zdeformuje się od stania na blacie, w snopie światła słonecznego w ciepły dzień. Ponadto PLA pod długotrwałym obciążeniem powoli się deformuje.

Materiałem wyglądającym najlepiej pod względem mechanicznym jest PCTG. Filament ten jest niemal tak samo wytrzymały w poprzek warstw, co wzdłuż warstw, zaś pod kątem wytrzymałości termicznej jest lepszy od PLA i porównywalny do PETG. Jego główną wadę stanowi mała popularność. Cenowo tworzywo to wypada porównywalnie do dobrej klasy PLA czy PETG. Kolejnym kandydatem na materiał obudowy jest ASA – filament, który stanowi „podkręconą" wersję ABS. Pod względem mechanicznym okazuje się niewiele lepszy od PLA, ale ma wyższą temperaturę topnienia. Z ABS wykonuje się wiele najróżniejszych produktów, w tym właśnie obudowy, więc pokrewny mu ASA powinien być dobrym wyborem. I byłby, gdyby nie dwa dość poważne problemy: wysoka temperatura druku i duży potencjał do deformowania się. ASA nie za bardzo nadaje się do drukowania dużych paneli i choć teoretycznie można drukować go na wolnym powietrzu, to warto mieć drukarkę wyposażoną w komorę i to najlepiej ogrzewaną. Z drugiej strony, jeśli mamy już ową komorę, a sama drukarka może osiągnąć zalecane temperatury druku, jest to najlepszy wybór na obudowy do elektroniki.

Ostatnimi dwoma filamentami w tym podstawowym zestawieniu są PETG i PET. Oba materiały mają zbliżone właściwości, są łatwo dostępne i relatywnie tanie. PET oferuje wyższą temperaturę mięknięcia i większą wytrzymałość, ale wynika to z jego wyższej elastyczności. Obudowa wykonana z opisywanego materiału wymaga uwzględnienia tego problemu, a – co za tym idzie – dodania elementów i profili zwiększających sztywność, jak na przykład żebra czy wkładki z innych, wytrzymalszych materiałów. PETG jest materiałem sztywniejszym, przez co mniej wytrzymałym mechanicznie i termicznie. Przy odpowiednim rozmieszczeniu komponentów w projekcie i użyciu aktywnego chłodzenia żaden element obudowy nie osiągnie temperatury 80°C. Podobnie przy wystawieniu na działanie słońca urządzenie nie nagrzeje się aż tak bardzo. PETG to dobry materiał do prototypowania, ma jednak drobny problem: bardzo dobrze przylega do powierzchni blatu. Na tyle dobrze, że blat należy smarować zwykłym klejem w sztyfcie, który pełni funkcję bufora między wydrukiem a powierzchnią. Takie rozwiązanie umożliwia bezproblemowe drukowanie dużych paneli.

Warto nadmienić, że właściwości wszystkich tych materiałów można poprawić przez wyżarzanie. Zmienia ono strukturę materiału, poprawiając zarówno własności termiczne, jak i mechaniczne. Dlatego obudowy z ABS wykonane metodą wtryskową są znacznie wytrzymalsze od tych drukowanych. Niestety wielkim problemem związanym z tą metodą postprocessingu jest zmiana wymiarów, a często też i kształtu tak potraktowanego wydruku. Najlepszym sposobem na zachowanie wymiarów jest zatopienie wydruków w wysokiej klasy gipsie przeznaczonym do wykonywania form dla protez dentystycznych i aparatów ortodontycznych. Proces jest kłopotliwy, zajmuje dużo czasu i wymaga poniesienia dodatkowych kosztów, jednak nie zawsze gwarantuje dobre rezultaty. Być może metoda ta zostanie szerzej opisana w przyszłości jako ciekawostka. Teraz natomiast przejdźmy do kolejnego etapu pracy nad obudową.

Model bryły urządzenia z podziałem na panele oraz elementy wewnętrznej konstrukcji

Obudowa urządzenia będzie składać się z siedmiu paneli: podstawy, ścian bocznych, ścianki tylnej oraz przedniej, panelu kontrolnego (umocowanego pod kątem) oraz pokrywy górnej. W ten sposób

Tabela 1. Właściwości wybranych filamentów stosowanych w druku 3D

	PLA	PCTG	ASA	PETG	PET
Temperatura druku	180...230°C	230...270°C	240...260°C	220...260°C	230...250°C
Temperatura blatu	50...70°C	60...90°C	90...110°C	60...80°C	80...100°C
Temperatura komory (zalecana)	–	60...80°C	60...100°C	60...80°C	80...100°C
Temperatura mięknięcia	60°C	80...85°C	90...105°C	80...85°C	130...145°C
Wytrzymałość na rozciąganie (wzdłuż warstw)	40...60 MPa	50...70 MPa	30...50 MPa	50...70 MPa	70...80 MPa
Wytrzymałość na rozciąganie (w poprzek warstw)	10...20 MPa	50...60 MPa	15...25 MPa	20...30 MPa	40...50 MPa
Stała dielektryczna	2,3...2,8	3,0...3,2	3,0...3,4	3,0...3,2	3,1...3,4
Wytrzymałość elektryczna	14...16 kV/mm	20...25 kV/mm	18...22 kV/mm	20...25 kV/mm	22...25 kV/mm

eprasa.pl e84dd9a9f2

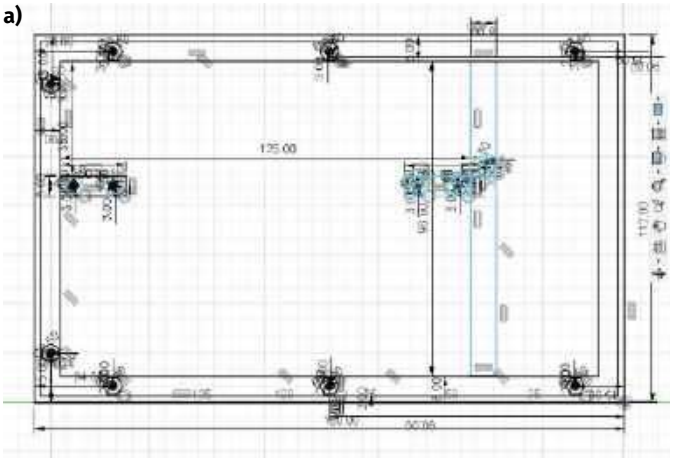
Rysunek 1. Bryła projektowanej obudowy zaprojektowana z użyciem proporcji złotego podziału

Rysunek 3. Panel tylny

każdy panel może być wydrukowany powierzchnią zewnętrzną do blatu, co znacząco zwiększy też wytrzymałość całości. Na tym etapie należy też rozważyć, które panele będą trwale związane ze sobą, a które powinny być demontowalne. Nic nie stoi na przeszkodzie by cała obudowa była rozbieralna, ale niekoniecznie musimy używać w tym celu wtapianych wkładek gwintowanych oraz ukazywać wszystkie wkręty. Dlatego wybór padł na użycie ukrytych nakrętek w panelu dolnym i tylnym. W podobny sposób umocowane zostaną też elementy wewnątrz obudowy. Panel przedni, sterujący i pokrywa będą mocowane za pomocą wtapianych wkładek gwintowanych. Przy użyciu tych samych wkładek umocowana zostanie płytka panelu kontrolnego. Wymiary obudowy to 112×112×180 mm. **Rysunek 1** prezentuje ogólną formę obudowy.

Dolny panel funkcjonuje jako główny element nośny ciężaru całego urządzenia. Do niego właśnie przymocowane zostaną panele boczne i tylny, a także radiator o wymiarach 125×72×35 mm oraz elementy związane z aktywnym chłodzeniem. Dlatego już na tym etapie należy uwzględnić montaż tych elementów. Panel będzie miał grubość 2 mm ze wzmocnieniami o grubości 4 mm, pod nimi właśnie ukryte będą nakrętki M2,5. W trakcie procesu drukowania należy pamiętać o wstrzymaniu druku na czas montażu tych nakrętek. **Rysunek 2a** pokazuje plan panelu, a **rysunek 2b** – gotowy element.

a)



b)

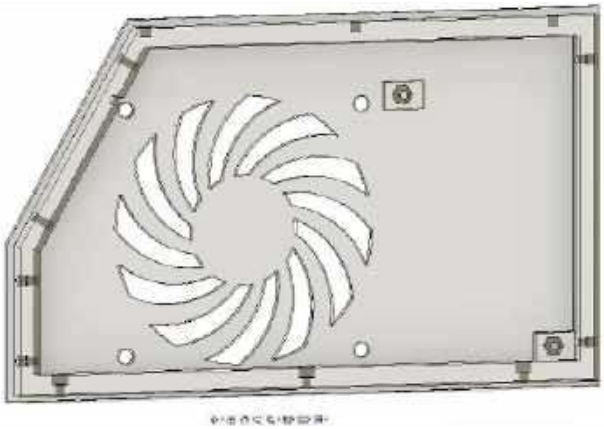
Rysunek 2. Panel dolny: szkic (a) i gotowy element (b)

Kolejnym podzespołem jest panel tylny, zaprezentowany na **rysunku 3**. Jego szkic powstał jednak jako ostatni, by zagwarantować dobre spasowanie całości. Użyto w tym celu płaszczyzny konstrukcyjnej, odsuniętej od frontowej części panelu przedniego na 180 mm. Płaszczyzny takie, w różnych wariantach, pozwalają łatwo stworzyć nawet dość skomplikowane kształty. W tym jednak przypadku szkic na płaszczyźnie konstrukcyjnej pozwala nam na dodanie otworów w panelach bocznych, gdyż panel tylny jest do nich przykręcany dzięki wtapianym wkładkom. Same wkładki mocują też do niego panel górny. Dwa wkręty M2,5×6 łączą omawiany element z panelem dolnym. Aby zrealizować opisane założenia projektowe, utworzono dodatkowy szkic pomocniczy. Jedynym istotnym detalem tego panelu jest otwór na gniazdo IEC-C14, wokół którego znajduje się wzmacniające zgrubienie.

Dwa panele boczne są częściowymi odbiciami lustrzanymi – zachowują ten sam kształt i wzmocnienia, ale panel lewy (**rysunek 4**) ma miejsce na wentylator 80×80 mm oraz zasilacz modułowy 12 V/3 A. Na etapie prototypowania zadbano też o ładne i estetyczne wykonanie kratki wentylacyjnej – forma otworów podąża za kierunkiem obrotów wentylatora i profilem łopatek. Panel prawy (**rysunek 5**) został utworzony za pomocą płaszczyzny konstrukcyjnej, odnoszącej się do boku panelu dolnego. W dolnej części ma on otwory wlotowe, nachylone pod kątem 60°, co odpowiada nachyleniu panelu kontrolnego. Tutaj też znajdują się dodatkowe wzmocnienia i kolejne zatopione nakrętki M2,5 – tym razem do zamocowania elementu wzmacniającego konstrukcję, który ogranicza przy okazji kierunek przepływu powietrza i przytrzymuje radiator od góry. Oba panele mają wtopione wkładki gwintowane, do których przykręcone

REKLAMA

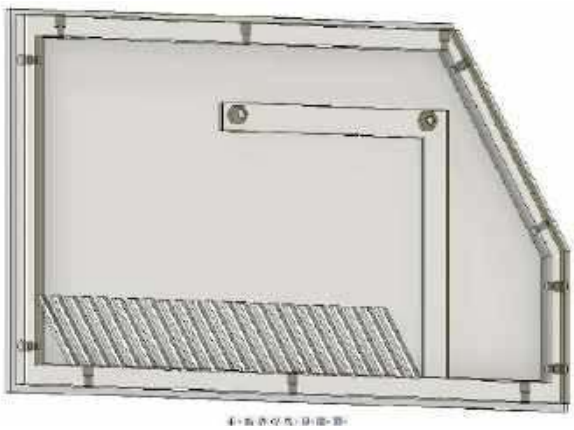
eprasa.pl e84dd9a9f2



Rysunek 4. Panel lewy z mocowaniami modułu zasilacza oraz wentylatora. Dodanie ciekawej formy otworu pod wentylator jest nieco pracochłonne, ale efekt końcowy poprawia estetykę obudowy

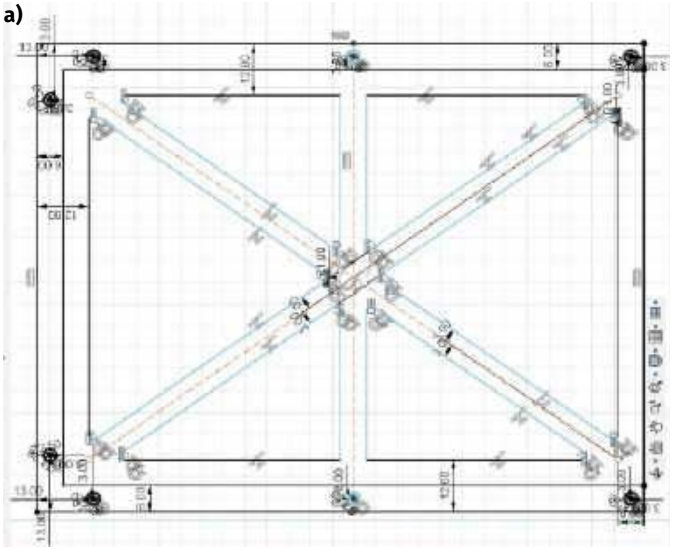
będą: panel przedni, kontrolny i górny. Dzięki temu serwisowanie urządzenia i wymiana najbardziej narażonych na uszkodzenia paneli będzie prosta. Ze względu na duże rozmiary komponentów i niewielką objętość obudowy, upakowanie wszystkiego wymagało pewnej dozy wyobraźni. Elementy, zwłaszcza te znajdujące się na lewym panelu bocznym, są spasowane na styk, a wentylator może potrzebować dodatkowego zaokrąglenia jednego z narożników. Pewną pomocą byłaby wizualizacja wszystkich komponentów, ale nie jest to konieczność – tak długo, jak pamiętamy o krytycznych wymiarach. Dla drobnego ułatwienia szkice paneli zawierają też linie konstrukcyjne wizualizujące sam radiator.

Panel górny, przedni i kontrolny zostały „wyciągnięte" ze szkicu panelu lewego. Do wewnętrznych powierzchni tych elementów przypisane zostaną szkice, które pozwolą dodać nie tylko wszystkie otwory montażowe, ale też wzmocnienia i otwory do montażu gniazd, przycisków czy włącznika zasilania. Łby wkrętów trzymających te panele będą wystawać nad powierzchnię urządzenia i jest to celowy zabieg estetyczny. Również panel tylny jest w ten sam sposób umocowany, ale w tym wypadku zostało to podyktowane względami technicznymi – panel nie może być zbyt gruby. Przy okazji stajemy przed wyborem: możemy użyć w tym miejscu wkładek wtapianych niskich lub wysokich. Wkładki M2,5 wymagają otworu o średnicy 3,2 mm i głębokości, zależnie od wariantu, 3 lub 5 mm. Wybór padł na wkładki 3 mm, gdyż wzmocnienia, w których będą mocowane, mają grubość tylko 6 mm. Do skręcenia obudowy użyte będą wkręty walcowe M2,5×6 mm. Wysokość łba tych tego typu wkrętów wynosi



Rysunek 5. Panel prawy. Otwory wentylacyjne radiatora są w dolnej części po to, by wymusić kierunek nawiewu. Dodatkowo osłona radiatora i sam radiator ograniczą przepływ powietrza do tylnej części obudowy

a)

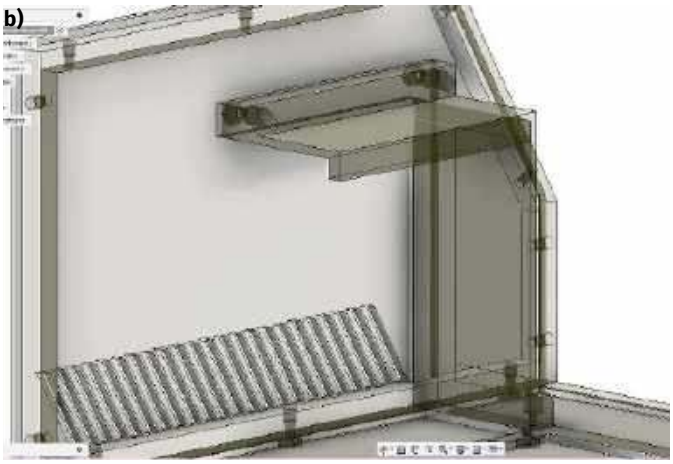


b)

Rysunek 6. Panel górny: szkic (a) i gotowy element (b)

a)

b)

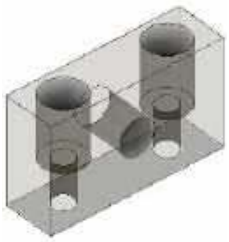


Rysunek 7. Osłona radiatora: sam element (a) i osłona z panelami, do których będzie umocowana (b)

eprasa.pl e84dd9a9f2

a)

b)



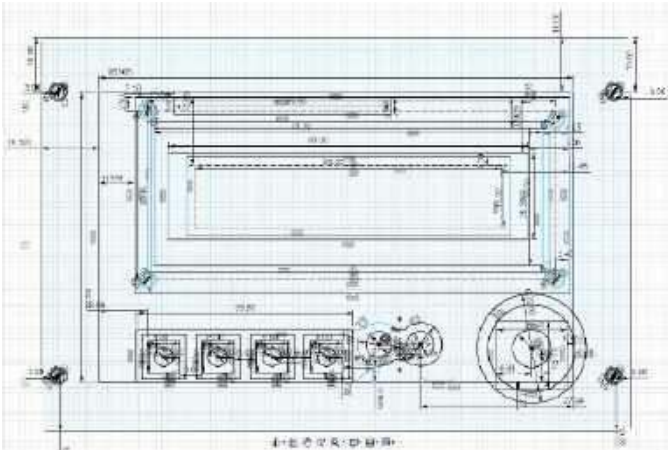
Rysunek 8. Elementy dodatkowe: przymiar dla radiatora (a) i element montażowy radiatora (b). Ten ostatni należy wydrukować dwa razy

maksymalnie 2,5 mm, a średnica – 4,5 mm (ma to znaczenie przy projektowaniu otworów w panelach bocznych i innych elementach). Na razie jednak zajmijmy się panelem górnym, który poza otworami ma też odpowiednie wzmocnienia – pokazują to **rysunki 6a** (szkic) i **6b** (gotowy panel, widok od spodu). Panelem przednim i kontrolnym zajmiemy się później.

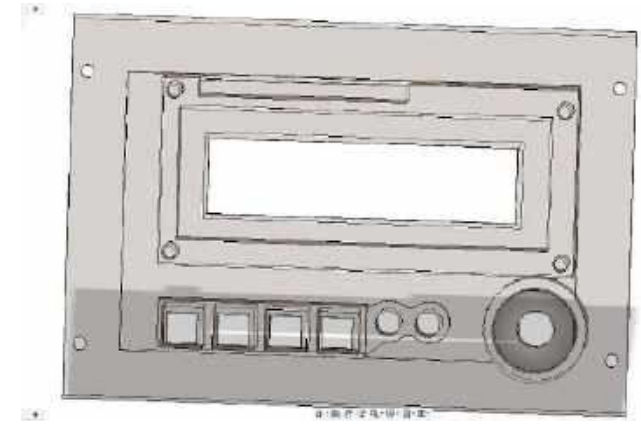
Obudowie brakuje jeszcze dwóch elementów montażowych do zainstalowania radiatora i elementu ograniczającego ruch powietrza. Przy okazji można też wykonać dodatkowy element pozwalający łatwiej ustalić położenie otworów montażowych dla płytki drukowanej układu – ta będzie dokręcona do radiatora na elementach dystansowych. Osłona radiatora została wykonana na kolejnej płaszczyźnie konstrukcyjnej, tym razem odnoszącej się do panelu prawego. Kształt jest dość skomplikowany – zastosowanie fazowania nie tylko wzmacnia całość, ale pozwala też wydrukować ten element bez użycia wsporników, jeśli się go odpowiednio ustawi. **Rysunek 7a** pokazuje sam element, a **rysunek 7b** prezentuje go w połączeniu z panelami, do których jest umocowany. **Rysunek 8** obrazuje elementy montażowe radiatora oraz przymiar dla płytki drukowanej. Elementy montażowe

Rysunek 9. Panel przedni. Warto zwrócić uwagę na zaślepiony cienką warstwą tworzywa otwór pod gniazdo TRS – od wewnętrznej strony otacza go wzmocnienie

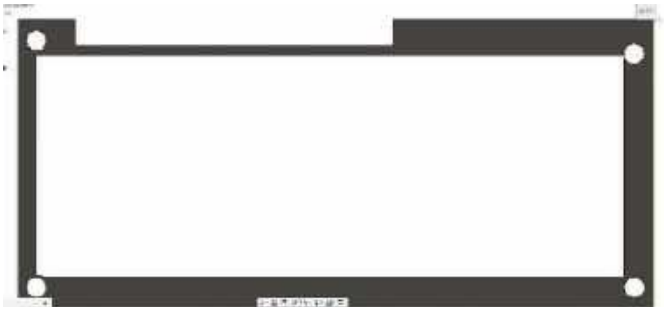
a)



b)



c)



Rysunek 10. Panel kontrolny: szkic (a), gotowy model (b) i element dystansowy między wyświetlaczem a płytką drukowaną panelu (c). Jest to najbardziej skomplikowany komponent obudowy – na szkicu odtworzono wszystkie wymiary płytki drukowanej i wyświetlacza

REKLAMA

eprasa.pl e84dd9a9f2

a)

b)

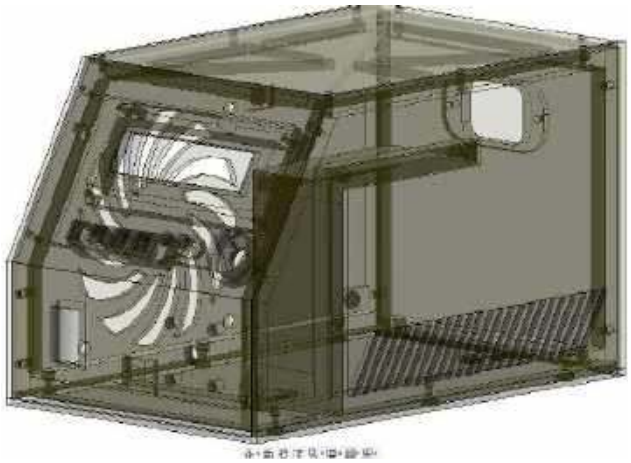
Rysunek 11. Gałka (a) i klawisze (b)

będą mocowane wkrętami M2,5×8 do panelu dolnego i wkrętami M4 do radiatora. Zapewnia to wystarczającą sztywność całości, zwłaszcza przy uwzględnieniu elementu dociskowego, jakim jest osłona radiatora. Przymiar zaś zaprojektowany został tak, by dało się go z łatwością nałożyć na radiator o szerokości 125 mm i wywiercić oraz nagwintować wszystkie potrzebne otwory – z wyjątkiem tych, które trzymają komponenty chłodzone radiatorem (te zostaną wykonane w trakcie składania urządzenia).

Panel przedni i kontrolny

Jak wspomniano wcześniej, panele te są „wyciągnięte" ze szkicu panelu lewego. Panel przedni ma wbudowany włącznik zasilania, przełącznik gniazd oraz cztery gniazda bananowe o rozstawie 19×19 mm. Wyznaczono też otwór pod gniazdo TRS 3,5 mm, ale jest on zaślepiony cienką warstwą plastiku, gdyż stanowi opcjonalne wyprowadzenie portu UART. Panel ma dodatkowe wzmocnienia usztywniające, zwłaszcza w okolicach gniazd bananowych – model gotowego elementu pokazano na **rysunku 9**.

Szkic panelu kontrolnego (**rysunek 10**) jest najbardziej skomplikowanym szkicem w całym projekcie. Należało odtworzyć nie tylko kształt i wymiary płytki, ale też wymiary i położenie przycisków, enkodera, diod LED i całego wyświetlacza LCD. Dla wyświetlacza narysowano nawet wymiary pola znaków, by następnie użyć narzędzia odstępu, by wykonać właściwy kształt otworu w panelu. Wielu autorów projektów amatorskich popełnia błąd, wycinając otwór pod wyświetlacz wielkości metalowej ramki, która mocuje matrycę do płytki drukowanej. Jest to nad wyraz nieestetyczne, gdyż powoduje „uciekanie" światła z wbudowanego podświetlenia wokół ramki, a dodatkowo w ogóle nie chroni wnętrza obudowy. Co ciekawe, ten sam błąd projektowy można spotkać w chińskich produktach opartych na amatorskich projektach. Dlatego też w naszym przypadku otwór pod wyświetlacz jest tylko o 3 mm większy od pola znakowego, a dla poprawy widoczności jego krawędzie zostały dodatkowo sfazowane. W ten sposób nie tylko chronimy wnętrze urządzenia – a zwłaszcza płytkę panelu kontrolnego – ale także zapobiegamy „wyciekowi" światła i mało estetycznemu wyglądowi ekranu – jego dioda pozostaje całkowicie ukryta. Ten sam sposób postępowania można, a wręcz należy stosować także do wyświetlaczy graficznych. Od spodniej strony wyświetlacza znajduje się też wzmocnienie otaczające metalową ramkę, w nim znajdują się również odpowiednie otwory montażowe. Wysokość tego wzmocnienia, a zatem i innych elementów panelu, zależy mocno od grubości ramki,



Rysunek 12. Złożona obudowa

a ta – od grubości podświetlacza. Standardowe wysokości ramek to 7,5 mm i 8,6 mm. W tym wypadku zastosowany zostanie wyświetlacz wyższy, o odwróconych kolorach.

Wokół diod LED również dodano wzmocnienie o wysokości 5 mm, przez co diody będą tylko nieznacznie wystawać nad powierzchnię panelu. Same otwory są nieco mniejszej średnicy, by diody nie miały nadmiernych luzów montażowych. Wokół otworów na przyciski znajdują się kolejne wzmocnienia, ale ich głównym przeznaczeniem jest stabilizacja klawiszy, które będą nałożone na mikroprzełączniki. Dla enkodera dołożono „niszę", by móc go przykręcić do panelu, a – co za tym idzie – dodatkowo wzmocnić całość. Na bazie tego samego szkicu wykonano również element dystansowy do umieszczenia między wyświetlaczem a właściwą płytką drukowaną sterownika. **Rysunek 10a** prezentuje szkic panelu od przodu, a **rysunek 10b** – gotowy panel. Przekładka z **rysunku 11** pasuje do każdego wyświetlacza LCD 16×2 i zalecam Czytelnikom korzystanie z takiego właśnie rozwiązania. Ostatnimi elementami do wykonania są klawisze i gałka. Te pierwsze są dość prostymi blokami tworzywa z otworem z jednej strony (na umieszczenie trzpienia mikroprzełącznika), z drugiej zaś znajdują się wgłębienia w formie liter V, C, M oraz E. Tu objawia się największa wada programu Fusion 360: tworzenie tekstu i jego pozycjonowanie stanowi nieliche wyzwanie, gdyż narzędzie do tworzenia napisów jest nieintuicyjne i nie ma podstawowych funkcji. Dość powiedzieć, że próbując zmienić położenie litery, można przypadkiem zmienić jej rozmiar i ją obrócić. Użytkownicy od lat zgłaszają problemy z tym narzędziem, a firma Autodesk... od lat konsekwentnie je ignoruje.

Gałka jest znacznie wyższa, niż pierwotnie planowano, ze względu na dość długą osi enkodera – ta wystaje na 13,6 mm ponad panel. Dlatego też sama gałka musi być odpowiednio grubsza. Dla poprawienia estetyki jej kształt jest też nieco bardziej skomplikowany, z wcięciami na palce i skośnymi bokami. Gałkę i klawisze można obejrzeć na rysunku 11.

Zakończenie

Rysunek 12 pokazuje gotowy projekt obudowy. Nie jest ona jednak w stu procentach kompletna, brakuje jej kilku napisów, ale te zostaną dodane, gdy projekt urządzenia będzie już ukończony. W następnej części wydrukujemy obudowę (z uwzględnieniem ukrytych nakrętek), wtopimy w nią wkładki i zamontujemy komponenty. Zabierzemy się też za zastosowanie druku 3D do konstrukcji z elementami mechanicznymi. Technologia wytwarzania przyrostowego okazuje się niezwykle użyteczna przy budowie takich komponentów, jak części maszyn i robotów, nietypowe formy sensorów czy obudowy inne niż proste pudełka.

Paweł Kowalczyk, EP

eprasa.pl e84dd9a9f2

Next-level wireless SoCs

Integrated multipurpose MCU

New ultra-low power radio

2x processing power

nRF 54 L SERIES

3x processing efficiency

MADE FOR DEVELOPERS

GET STARTED
nordicsemi.com/nRF54L15-DK

NORDIC® SEMICONDUCTOR

eprasa.pl e84dd9a9f2

nRF54L już na biurkach inżynierów!

Komunikacja przez Bluetooth Low Energy zadomowiła się na dobre w naszych urządzeniach elektronicznych. Już od lat każdy telefon, tablet czy laptop ma wbudowane radio Bluetooth obsługujące także standard Low Energy. Skutkuje to nieustającym rozwojem rynku nowych, coraz bardziej zaawansowanych produktów z Bluetooth i rosnącym zapotrzebowaniem na układy scalone realizujące tę formę komunikacji – według danych organizacji Bluetooth SIG w 2023 roku wyprodukowano 1,5 miliarda chipów obsługujących Bluetooth Low Energy.

Fotografia 1. Układ nRF54L15

Nowa rodzina mikrokontrolerów z radiem 2,4 GHz od Nordic Semiconductor

Firma Nordic Semiconductor, w celu ugruntowania swojej pozycji lidera na tym rynku, wprowadziła serię bezprzewodowych układów SoC nRF54L: wcześniej zapowiadany model nRF54L15, a także nRF54L10 i nRF54L05. Nowa rodzina układów nRF oferuje znacznie zwiększoną wydajność obliczeniową i energetyczną oraz szeroką gamę podsystemów peryferyjnych do zastosowania w różnorodnych aplikacjach.

Układy SoC nRF54L integrują: radio 2,4 GHz (Bluetooth Low Energy, Thread, ZigBee), mikrokontroler wyposażony w pamięć RAM oraz nieulotną, a także układy peryferyjne w jednym chipie. Kluczowe zastosowania obejmują elektronikę ubieralną (inteligentne zegarki czy pierścienie), kontrolery gier czy też urządzenia HID (takie jak myszki bezprzewodowe, urządzenia medyczne, inteligentne urządzenia domowe i produkty przemysłowego Internetu Rzeczy). nRF54L15 jest przeznaczony do bardziej wymagających aplikacji, natomiast nRF54L10 i nRF54L05 – do urządzeń IoT wrażliwych na koszty.

Nowe produkty integrują zastrzeżone IP firmy Nordic, takie jak pamięć RAM o niskim poborze prądu i zaawansowana technologia radiowa. Jednym z priorytetów jest także cyberbezpieczeństwo; zintegrowane funkcje, takie jak ARM TrustZone, akceleratory kryptograficzne czy możliwość bezpiecznego przechowywania kluczy, ułatwiają opracowywanie produktów zgodnych z wymaganiami Cybersecurity Resilience Act.

Ultraniski pobór mocy i wydajność przetwarzania zostały osiągnięte przez zastosowanie technologii 22ULL (w procesie 22 nm) firmy TSMC, zajmującej się produkcją struktur krzemowych użytych w układach scalonych nRF54L.

Aby umożliwić użycie nowego układu SoC w jak najszerszym zakresie zastosowań IoT, seria nRF54L obsługuje protokoły Bluetooth LE, Bluetooth Mesh, Thread, Matter, ZigBee, Amazon Sidewalk

Tabela 1. Porównanie układów z rodziny nRF54L

	nRF54L15	nRF54L10	nRF54L05
Procesor	128 MHz Arm Cortex-M33		
Pamięć NVM	1,5 MB	1,0 MB	0,5 MB
Pamięć RAM	256 kB	192 kB	96 kB
Wersja Bluetooth LE	6.0		
Bluetooth Channel Sounding	Tak (oprogramowanie w trakcie opracowania)		
Bluetooth Mesh, ZigBee, Thread	Tak		
Matter, Amazon Sidewalk	Tak		–
ESB i własnościowy protokół ISM 2,4 GHz (do 4 Mbps)	Tak		
NFC	Tak		
Wi-Fi (w połączeniu z układem towarzyszącym z serii nRF70)	Tak	–	
Moc nadawania	Do 8 dBm	7 dBm	
Czułość odbiornika (1 Mbps Bluetooth LE)	–96 dBm		
Czułość odbiornika (IEEE 802.15.4)	–101 dBm		
Koprocesor RISC-V	128 MHz FLPR		
Interfejsy cyfrowe	Szybki SPI/UART, 4×SPI/UART/TWI, PDM, I²S, PWM, QDEC		
ADC	8 kanałów, do 14 bitów/2 MS/s		
Izolacja kodu krycznego	TrustZone		
Akcelerator kryptograficzny i ochrona przed sabotażem (tamper)	Tak		
Zakres temperatur pracy	–40...+105°C		
Zakres napiecia zasilania i sygnałów GPIO	1,7...3,6 V		
Obudowa QFN	QFN48 6×6 mm, 31 linii GPIO		
Obudowa WLCSP	2,4×2,2 mm WLCSP, 32 linie GPIO	–	

eprasa.pl e84dd9a9f2

Rysunek 1. Uproszczony schemat blokowy układów z rodziny nRF54L

i własnościowe łącze ISM 2,4 GHz z ulepszonymi możliwościami (transfer do 4 Mbps). Podobnie jak dotychczasowe SoC od Nordic, nRF54L może również działać jako układ host dla innych rodzajów komunikacji po podłączeniu zewnętrznego układu radiowego – jak na przykład układy SubGHz lub LoRa. Dzięki temu Bluetooth Low Energy może być używany do konfiguracji i zarządzania urządzeniem, podczas gdy właściwa komunikacja odbywa się poprzez łącze o innej częstotliwości nośnej, jeżeli takie działanie jest pożądane w danej aplikacji. Opisywane rozwiązanie ułatwia np. późniejszy serwis wraz z aktualizacją oprogramowania, która może się odbywać przez połączenie urządzenia z telefonem za pośrednictwem Bluetooth.

Najnowsze układy marki Nordic Semiconductor są zaprojektowane do obsługi standardu Bluetooth 6.0 wraz z technologią Bluetooth Channel Sounding. Technologia ta pozwala na dokonywanie pomiarów odległości między dwoma urządzeniami Bluetooth za pomocą pomiaru przesunięcia fazy sygnału na dwóch częstotliwościach (PBR – Phase-Based Ranging) oraz czasu powrotu wysłanego pakietu (RTT – Round Trip Timing). Dzięki temu możemy uzyskać znacznie dokładniejszą informację o odległości niż za pomocą pomiaru siły odebranego sygnału. Docelowo Channel Sounding znajdzie się także w telefonach, umożliwiając zastosowanie w aplikacjach takich jak kontrola dostępu, inteligentne zamki czy lokalizacja osób i obiektów wewnątrz budynku.

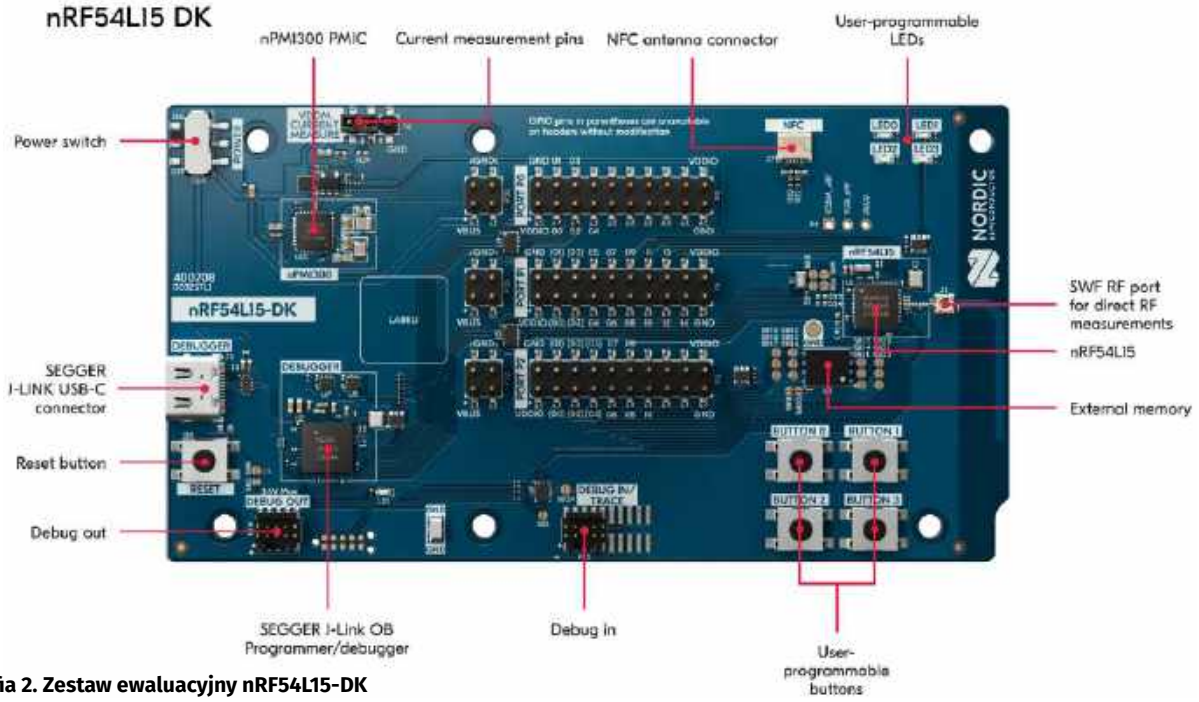
Układy SoC nRF54L (**tabela 1**) oparte są na rdzeniu ARM Cortex-M33 taktowanym częstotliwością 128 MHz. nRF54L15 (**rysunek 1**) oferuje 1,5 MB pamięci nieulotnej (NVM) RRAM oraz 256 kB RAM, co czyni go odpowiednim do bardziej zaawansowanych zastosowań. Wersja nRF54L10 ma wbudowaną pamięć NVM o pojemności 1 MB oraz 192 kB pamięci RAM, natomiast zoptymalizowany pod kątem kosztów SoC nRF54L05 ma 512 kB NVM i 96 kB pamięci RAM. Dodatkowo dostępny jest koprocesor RISC-V, którego można użyć do uruchomienia zadań niezależnych czasowo od kodu wykonywanego przez główny rdzeń, takich jak zaimplementowane programowo układy peryferyjne czy sterowanie silnikiem.

Narzędzia sprzętowe i programowe

Do rozpoczęcia pracy z nRF54L15 Nordic Semiconductor poleca zestaw projektowy nRF54L15-DK, za pomocą którego można także emulować wersje SoC z mniejszą wielkością pamięci. Programowanie odbywa się przy użyciu dobrze znanego od lat środowiska nRF Connect SDK bazującego na systemie operacyjnym Zephyr RTOS. Zalecane środowisko programistyczne to bezpłatne Visual Studio Code, do którego firma Nordic Semiconductor opracowała dodatki ułatwiające pracę z nRF Connect SDK. Pełna dokumentacja układów SoC nRF54L oraz towarzyszącego oprogramowania znajduje się na stronie internetowej: https://docs.nordicsemi.com.

W celu ułatwienia pracy z nRF54L15 Nordic poleca również darmowe kursy dla programistów dostępne w Nordic DevAcademy na stronie: https://academy.nordicsemi.com/, gdzie można zapoznać się z podstawami nRF Connect SDK i Zephyr oraz Bluetooth Low Energy. Wsparcie techniczne ze strony Nordic oraz wymiana doświadczeń między inżynierami odbywa się na portalu DevZone pod adresem: https://devzone.nordicsemi.com.

Maciej Michna
Nordic Semiconductor



Fotografia 2. Zestaw ewaluacyjny nRF54L15-DK

eprasa.pl e84dd9a9f2

Kompleksowa oferta wyposażenia dla elektroników

Współczesny elektronik to przede wszystkim praktyk, który potrzebuje odpowiednich narzędzi do realizacji projektów i prac montażowych bądź serwisowych. Wyposażenie, które znajduje się w warsztacie elektronika, ma pierwszorzędne znaczenie dla efektywności pracy, ergonomii oraz jakości jej efektów. Poczynając od prostych narzędzi ręcznych, a kończąc na zaawansowanych urządzeniach lutowniczych czy zabezpieczeniach antystatycznych – wybór odpowiedniego sprzętu to fundament sukcesu na każdym odcinku prac w branży elektronicznej.

Oferta firmy RENEX – czołowego dostawcy wyposażenia do pracowni montażowych, serwisów i prototypowni – obejmuje pełen zakres sprzętu, narzędzi ręcznych oraz akcesoriów niezbędnych w codziennej pracy. Zapraszamy do zapoznania się z reprezentatywnym przeglądem oprzyrządowania cieszącego się największą popularnością w naszej ofercie.

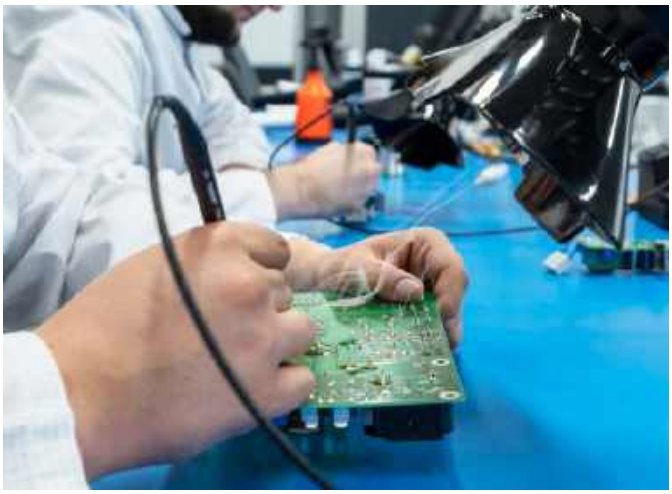
Sprzęt lutowniczy

Cyfrowa stacja lutownicza JBC CDB z rączką T245

Model CDB znanej marki JBC jest przeznaczony do ogólnych zastosowań w montażu punktowym oraz serwisie elektroniki. Stacja ma postać zintegrowaną – zarówno sterownik z zasilaczem, jak i podstawka na kolbę lutowniczą, ekstraktor do szybkiej wymiany grotów oraz podstawka czyścika są umieszczone we wspólnej obudowie. Kilkusekundowe nagrzewanie grota, tryb hibernacji oraz automatyczne rozpoznawanie odłożenia i podniesienia rączki lutowniczej zapewniają oszczędne zużycie grota z wbudowaną grzałką, co obniża koszty eksploatacji.

Stacja lutownicza PACE ST-25 z rączką PS-90

Sprawdzony „w boju" model stacji lutowniczej marki PACE wyposażony jest w analogową regulację temperatury i element grzejny o dużej pojemności cieplnej, co umożliwia wygodne lutowanie większych złączy, elementów przewlekanych (w tym indukcyjnych) itp. Stacja polecana do podstawowych zastosowań w montażu i naprawach urządzeń elektronicznych.



Więcej informacji:
RENEX
87-800 Włocławek, Al. Kazimierza Wielkiego 6E
tel. 54 231 10 05, e-mail: office@renex.pl
www.renex.pl

Stacja REECO RA-150 do montażu i demontażu gorącym powietrzem

Prosta w obsłudze stacja hot air typu REECO RA-150 to popularny wybór wśród serwisantów, zwłaszcza z uwagi na szeroki wybór dysz, stabilny kontroler temperatury oparty na mikroprocesorze oraz dużą moc elementu grzejnego. Urządzenie jest wyposażone w unikalną funkcję chłodzenia elementu grzejnego po wyłączeniu zasilania.

Stacja lutownicza PACE ADS200 ze standardową podstawką

Stacja wyposażona w cyfrowy kontroler temperatury sterowany zaledwie dwoma przyciskami i czytelny wyświetlacz LED. Podstawka automatycznie wykrywa odłożenie narzędzia i redukuje pobór mocy (a zarazem i temperaturę grota), co ogranicza zużycie energii i wydłuża żywotność grotów oraz samej grzałki. Propozycja idealna dla firm poszukujących sprzętu do intensywnej eksploatacji w systemie pracy wielozmianowej.

Rozlutownica Den-On SC7000Z

Markowa rozlutownica pistoletowa do demontażu elementów w technologiach SMT i THT, wyposażona we wbudowany kompresor, antystatyczną obudowę oraz przełącznik trybu pracy (ssanie/nadmuch). W zestawie, oprócz samego urządzenia, znajdują się także niezbędne akcesoria, w tym dwa wyciory, filtry oraz 1-milimetrowa dysza.

Sprzęt inspekcyjny

Lupy REECO z soczewkami o mocy optycznej 3D i 5D

Firma REECO – znany producent szerokiej gamy wyposażenia dla elektroników – oferuje sześć różnych modeli lup warsztatowych z wbudowanym oświetleniem pierścieniowym LED. Poszczególne modele róznią się mocą optyczną soczewki (3 lub 5 dioptrii), kolorem i kształtem obudowy, a także rozmiarem soczewki. Cennym

eprasa.pl e84dd9a9f2

ułatwieniem pracy jest czteropoziomowa kontrola natężenia światła w sekwencji 25%…50%…75%…100%.

Mikroskop cyfrowy TAGARNO MAGNUS ZIP FHD

Wysokiej klasy mikroskop cyfrowy przeznaczony dla użytkowników oczekujących bezkompromisowej jakości obrazu, szerokiego zakresu powiększeń oraz bogatego zestawu dodatkowych funkcji programowych i sprzętowych (w tym nawet opcji wskaźnika laserowego). Urządzenie zapewnia sporą przestrzeń roboczą (250 mm od blatu do obiektywu) oraz – niezbędne w przypadku pracy w strefie EPA – zabezpieczenia antystatyczne.

Wyposażenie dodatkowe

Pochłaniacz oparów lutowniczych Reeco ESD Safe

Solidna stacja odciągu i filtracji oparów lutowniczych w wersji dwustanowiskowej, wyposażona w 3-poziomowe filtry cząstek stałych i zanieczyszczeń gazowych, bezprzewodowego pilota zdalnego sterowania z 10 trybami przepływu powietrza, a także system monitorowania stanu filtra z funkcją alarmu o konieczności jego wymiany.

Maty antystatyczne

W ofercie firmy RENEX dostępna jest szeroka gama antystatycznych mat stołowych i podłogowych, zarówno w gotowych formatkach, jak i w rolkach sprzedawanych na metry bieżące. W przypadku stanowisk wymagających pracy stojącej zalecane jest stosowanie dodatkowych mat antyzmęczeniowych. Niektóre wersje produktów dostępne są w gotowych zestawach zawierających opaskę z przewodem spiralnym oraz główny kabel uziemiający.

Opaski nadgarstkowe i na obuwie

Ważnym uzupełnieniem stacjonarnych elementów ochrony ESD są opaski nadgarstkowe, umożliwiające bezpośrednie wyrównywanie różnicy potencjałów pomiędzy ciałem pracownika, a ziemią, wynikającej z gromadzenia ładunków statycznych. Cennym dodatkiem są także opaski na obuwie, których celem jest zmniejszanie wypadkowej rezystancji powierzchniowej obuwia.

Rękawiczki

Rękawiczki antystatyczne okazują się niezbędne podczas pracy z wrażliwymi na wyładowania ESD elementami i płytkami PCBA. W ofercie RENEX dostępne są zarówno rękawiczki tkaninowe, jak i szczelne rękawiczki winylowe, także w wykonaniu antystatycznym – te ostatnie zapewniają dodatkową ochronę skóry przed chemikaliami (np. topnikami czy preparatami opartymi na IPA).

Pęsety i obcinaczki Piergiacomi

Piergiacomi to włoski producent wysokiej klasy, precyzyjnych narzędzi ręcznych dla elektroników. W portfolio firmy znajdują się m.in. rozmaite modele obcinaczek (bocznych o różnych kątach zakrzywienia oraz czołowych), obcinaczki pneumatyczne wraz z wymiennymi ostrzami, a także potężny wybór modeli pęset w wykonaniach antymagnetycznych (w tym także w wersji ESD), sprzedawanych pojedynczo lub w zestawach.

Bezołowiowy drut lutowniczy Reeco

Wysokiej jakości drut lutowniczy Reeco Sn96,5Ag3Cu0,5 o średnicy 0,8 mm i zawartości topnika 4,5%, oferowany w szpulach 500-gramowych. Produkt jest zgodny z normą ISO 9453:2014 i charakteryzuje się wyjątkowo niskim rozpryskiem oraz szybkim zwilżaniem.

Zestaw czyszczący Microcare DC1

Innowacyjny zestaw do czyszczenia płytek drukowanych z uporczywych pozostałości topnika, wyposażony w butelkę ze sprężonym preparatem VeriClean, opatentowany dozownik minimalizujący zużycie rozpuszczalnika i ograniczający narażenie operatora na kontakt z oparami, a także opakowanie 50 sztuk niestrzępiących chusteczek o wysokiej czystości.

Szkolenia dla elektroników

Mocną stroną Grupy RENEX jest nie tylko dystrybucja i produkcja wyposażenia, ale także bogata oferta szkoleń dla elektroników, obejmująca m.in. certyfikowane szkolenia IPC dla specjalistów, projektantów PCB oraz trenerów, a także obszerne portfolio szkoleń autorskich – warto dodać, że istnieje możliwość pozyskania refundacji kosztów związanych z realizacją kursów przez pracowników.

eprasa.pl e84dd9a9f2

Narzędzia i akcesoria w serwisie elektroniki oraz warsztacie konstruktora

O sprzęcie lutowniczym dostępnym obecnie na rynku można by napisać cały podręcznik. Nieczęsto jednak wspomina się o różnych narzędziach i akcesoriach przydatnych przy pracach lutowniczych. Jest to zrozumiałe, bo w końcu to właśnie stacja lutownicza (kolbowa lub hot air), a czasem też preheater są głównymi narzędziami używanymi w procesie prototypowania i serwisowania – tak w warunkach profesjonalnych, jak i hobbystycznych. Ten artykuł jednak poświęcony został innym narzędziom, o których zwykle się nie wspomina, a w istocie odgrywają one istotną rolę w pracach lutowniczych.

Warto przy tym pamiętać nie tylko o samym lutowaniu, ale też o innych aspektach pracy serwisanta czy konstruktora prototypów. Dlatego im też poświęcimy odrobinę uwagi. Na końcu artykułu zajmiemy się również organizacją miejsca pracy oraz sposobami składowania komponentów, prototypów i narzędzi. Przy okazji omówienia organizacji miejsca pracy wspomniane będą też tak istotne drobiazgi, jak oświetlenie, narzędzia inspekcyjne czy mikroskopy. Na początek jednak weźmy na warsztat narzędzia niedoceniane, ale istotne w pracach serwisowych.

Odsysacze i stacje rozlutownicze, plecionki, topniki i niskotemperaturowe stopy lutownicze

Proces wymiany komponentów – zarówno w technologii przewlekanej, jak i SMT – wymaga usunięcia spoiwa lutowniczego z padów na PCB. W przypadku THT mamy do czynienia z sytuacją, w której spoiwo nie tylko pokrywa pole lutownicze, ale też wnika między wyprowadzenie elementu a ścianki otworu, w którym osadzona jest końcówka elementu. Jest to sytuacja typowa dla dwustronnych i wielowarstwowych płytek drukowanych. Demontaż elementu wymaga zatem nie tylko usunięcia spoiwa z powierzchni samego pola, ale też z wnętrza otworu, a także oczyszczenia tego ostatniego przed montażem nowego komponentu. W arsenale elektronika są przeznaczone do tego celu narzędzia: odsysacze i stacje rozlutownicze.

Odsysacze można podzielić na dwie kategorie: mechaniczne i elektromechaniczne. Te pierwsze wytwarzają podciśnienie za pomocą tłoka w hermetycznym cylindrze, który to tłok jest przesuwany siłą sprężyny po zwolnieniu blokady. Narzędzia takie, znane doskonale każdemu hobbyście, są bardzo tanie, ale nie do końca się sprawdzają przy płytkach dwustronnych czy wielowarstwowych. Problem polega na tym, że jednocześnie trzeba podgrzewać wyprowadzenie komponentu i pole lutownicze, przy równoczesnym operowaniu odsysaczem. Odsysacz taki jednak nie może objąć całego pola lutowniczego, by wyssać spoiwo lutownicze z wnętrza otworu – chyba że grot lutownicy będzie ogrzewać pole od drugiej strony płytki drukowanej. Wymaga to sporej zręczności i nie jest łatwym zadaniem. Jeśli jednak mamy do czynienia z płytką jednostronną, taki odsysacz jest całkowicie adekwatny. Popularny model polskiego producenta pokazuje **fotografia 1**. Pewnym ułatwieniem w przypadku płytki dwustronnej jest odsysacz elektromechaniczny, który od odsysacza tradycyjnego różni się tym, iż zakończony jest kompletną kolbą rozlutowniczą z elementem grzejnym i grotem w formie wydrążonego stożka zwieńczonego otworem. Taki odsysacz jednocześnie roztapia spoiwo, ogrzewa pole lutownicze i wyprowadzenie, pozwala zatem usunąć spoiwo także z wnętrza otworu. Oczywiście część odsysająca jest wciąż mechaniczna, a do tego często nie mamy możliwości regulacji temperatury. Tańsze odsysacze tego typu łatwo się psują, ale jako alternatywa dla odsysaczy mechanicznych są dobrym wyborem. Urządzenie z omawianej grupy można zobaczyć na **fotografii 2**.

Fotografia 1. Odsysacz ręczny

W warunkach profesjonalnych stosuje się stacje rozlutownicze, które łączą kolbę z odsysacza elektromechanicznego z prostą pompą próżniową i kontrolerem temperatury. Kolba zamontowana jest na uchwycie pistoletowym, wyposażonym w pojemnik na odessane spoiwo. Naciśnięcie spustu aktywuje pompę wytwarzającą podciśnienie. Kolbę tę pokazuje **fotografia 3a**, a kompletną stację – **fotografia 3b**. Urządzenia takie świetnie sprawdzają się w serwisie, gdyż pozwalają na bardzo szybki demontaż komponentów. Spora masa termiczna pozwala też poradzić sobie z elementami indukcyjnymi, które mogą sprawiać problemy przy użyciu innych metod. Na rynku dostępne są modele różnych producentów operujących w segmencie sprzętu lutowniczego, w zróżnicowanych cenach – od relatywnie tanich modeli, przeznaczonych głównie dla hobbystów i małych serwisów, po modele profesjonalne do prac wymagających dużej mocy (zarówno grzałki, jak

Fotografia 2. Odsysacz elektromechaniczny

a)

b)

Fotografia 3. Stacja rozlutownicza ZD-8915: kolba pistoletowa (a) i całe urządzenie (b)

eprasa.pl e84dd9a9f2

Fotografia 4. Stacja rozlutownicza JBC Tools CS-2F

Fotografia 5. Stacja rozlutownicza Solomon SL-928

i pompy). Stacjom takim niestraszna jest praca ciągła przez wiele godzin. Fotografia 3 prezentuje tani model ZD-8915, zaś na **fotografii 4** pokazano stację rozlutowniczą firmy JBC o oznaczeniu CS-2F, kosztującą... 19 razy więcej. Model Solomon SL-928 (**fotografia 5**) jest tylko około czterech razy droższy od modelu ZD-8915 i choć regulację ma analogową, to jakość wykonania i trwałość stoją na wyższym poziomie. W zbliżonej cenie występuje też model 201B firmy Quick (**fotografia 6**) z regulacją cyfrową. Uwagę zwraca duży napis ESD świadczący o tym, iż stacja ta ma mieć przewagę nad innymi poprzez ochronę komponentów przed wyładowaniami elektrostatycznymi. W rzeczywistości każdy z tych modeli powinien mieć uziemiony grot.

Niedawno na rynku pojawiły się odsysacze elektryczne, które zawierają kolbę rozlutowniczą z regulacją temperatury oraz prostą elektryczną pompkę zintegrowaną w korpusie. Jak łatwo się domyślić, urządzenia te poza rozmiarem nie mają zbyt wielu zalet, a i rozmiar można uznać za wadę, gdyż są nieporęczne. Skuteczność odsysania jest gorsza niż w odsysaczu tradycyjnym, gdyż pompka ma za małą wydajność. Modele z Chin są też dosyć awaryjne. Często na przykład kolba przestaje być częścią rozlutownicy, gdyż ten fragment korpusu jest wykonany z tworzywa termoplastycznego o relatywnie niskiej temperaturze topnienia – tworzywo mięknie w trakcie pracy, co kończy się samoczynną dezintegracją narzędzia. Urządzenie tego typu pokazano na **fotografii 7**.

Fotografia 6. Stacja rozlutownicza Quick 201B

Demontaż komponentów SMD przebiega nieco inaczej. Komponent ogrzewać można stacją hot air aż do roztopienia spoiwa, a następnie zdjąć go pęsetą z powierzchni płytki. Następnie pola lutownicze oczyszcza się, używając miedzianej plecionki i grota lutowniczego – grot ogrzewa pole i topi spoiwo, a plecionka niczym knot „wysysa" i zatrzymuje nadmiarowe spoiwo. Cały proces należy przeprowadzać w osłonie dużej ilości topnika. Dawniej używano w tej roli kalafonii, czyli naturalnej żywicy powstałej po oddestylowaniu terpentyny z żywicy drzew iglastych, głównie sosny. Nawet płytki drukowane zabezpieczało się lakierem powstałym przez rozpuszczenie kalafonii w spirytusie etylowym – lakier taki chronił płytkę przed utlenianiem i jednocześnie ułatwiał proces lutowania. Obecnie zamiast tego naturalnego materiału stosuje się topniki w formie past i żeli, sprzedawane w pojemnikach i strzykawkach. Topniki te znacząco ułatwiają proces rozlutowywania, poprawiając przewodnictwo cieplne i usuwając warstwę tlenków ze spoiwa i grotu czy końcówki rozlutownicy. Wybór produktów i producentów jest dość szeroki i generalnie – jeśli nie ma szczególnych wymagań co do procesu lutowania (stawianych na przykład przez nietypowe spoiwa lutownicze), to niemal każdy topnik do spoiw bezołowiowych sprawdzi się w praktyce. Autor nie zaleca jedynie nabywania najtańszych topników chińskich – choć nadal spełniają swoje zadanie, są często mocno grudkowate i zostawiają więcej zanieczyszczeń.

W przypadku plecionek marka producenta generalnie nie ma znaczenia – wszystkie wykonane są z miedzi, czasem z dodatkiem własnego topnika, a czasem z dodatkową powłoką. Ba, w razie braku fabrycznej plecionki można użyć w tym samym celu... oplotu przewodu ekranowanego.

Na koniec warto wspomnieć o specjalnych spoiwach niskotemperaturowych, które nie są przeznaczone do lutowania, lecz do użycia w sytuacjach, gdy natrafiamy na spoiwo bezołowiowe o wysokiej temperaturze topnienia, na domiar złego w połączeniu z dużą masą termiczną elementów i/lub miedzi na PCB. Wtedy na wyprowadzenia „upartego" komponentu nakłada się szczodrze rzeczony stop lutowniczy, a ten – mieszając się ze spoiwem wysokotemperaturowym – znacząco obniża wynikową temperaturę topnienia mieszaniny. Różnica jest tak znacząca, że nawet po zaprzestaniu

Fotografia 7. Chińska rozlutownica ze zintegrowaną w kolbie pompką. Ten model nie ma regulacji temperatury

eprasa.pl e84dd9a9f2

ogrzewania spoiwo pozostaje płynne jeszcze przez kilka sekund. Niestety, rozwiązanie to jest nieco kosztowne i zupełnie nieprzydatne w przypadku komponentów BGA.

Dodatkowe „kończyny”

Niewątpliwą pomyłką natury jest fakt, iż elektronik posiada tylko dwie ręce, przez co nie może jednocześnie trzymać płytki drukowanej, komponentu, spoiwa lutowniczego i kolby. Ten ewidentny błąd ewolucji można obejść, stosując specjalne uchwyty i stojaki do płytek oraz „trzecie ręce”. Najprostszym i najtańszym przykładem jest prosty uchwyt z lupą, pokazany na **fotografii 8**. Ma on zwykłe „krokodylki” w roli chwytaków i zazwyczaj jest wystarczający przy lutowaniu przewodów i niektórych złączy. Ma jednak dwie wady: pierwszą są same „krokodylki”, które z łatwością zedrą soldermaskę z każdej płytki. Warto więc zabezpieczyć tę ostatnią kawałkiem chusteczki higienicznej lub ręcznika papierowego. Drugą wadę stanowi sposób ich montażu – dość szybko pojawiają się luzy. Jednak tego typu „trzecia ręka” jest niezastąpiona, gdy pracuje się z dużymi komponentami w technologii przewlekanej.

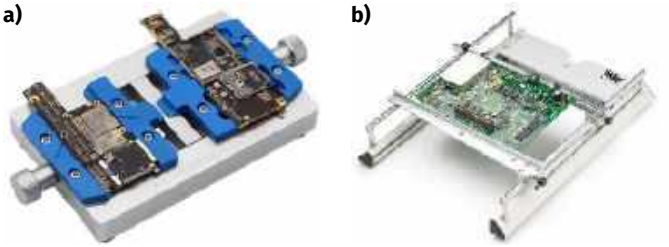
Fotografia 8. Klasyczna „trzecia ręka”, szczególnie użyteczna przy lutowaniu przewodów i złączy

Fotografia 9. Uchwyt sprężynowy do mniejszych płytek drukowanych

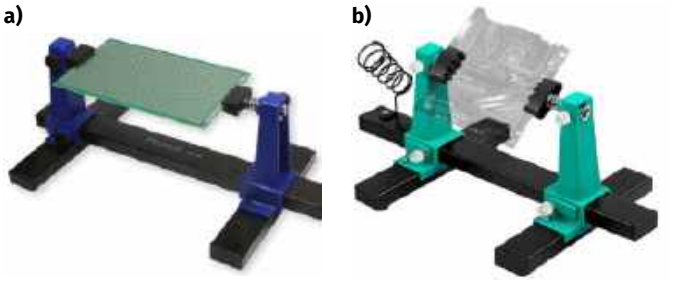
Do prac z mniejszymi płytkami, gdzie przeważają elementy SMD, przydaje się prosty uchwyt pokazany na **fotografii 9**. Niski profil idealnie sprawdzi się pod dużą lupą stołową lub mikroskopem. Należy za to wystrzegać się tanich uchwytów magnetycznych (**fotografia 10**) – aluminiowe elementy z magnesami neodymowymi zwyczajnie przesuwają się po podstawce, a uchwycenie płytki między nimi jest zadaniem niełatwym. Przy próbie użycia lutownicy tradycyjnej płytka „ucieknie” i wypadnie spomiędzy trzymających ją elementów. Użycie kolby hot air ma większy sens, ale nawet wtedy zbyt duży nacisk pęsetą skończy się podobnym fiaskiem.

Fotografia 10. Tani uchwyt magnetyczny o wątpliwej użyteczności

Do większych płytek drukowanych dostępne są duże uchwyty, jak na **fotografii 11**. Stanowią one rozwinięcie idei uchwytu z fotografii 9 i zapewniają stabilną podstawę do pracy nawet przy płytach głównych komputerów czy urządzeń przemysłowych. Na **fotografii 12** pokazano wariant umożliwiający ustawienie płytki pod dowolnym kątem, co przydaje się nie tylko w trakcie prac konstrukcyjnych i serwisowych, ale też ułatwia inspekcję, regulację i diagnostykę. Alternatywnie można położyć na blacie matę silikonową, a na niej płytkę drukowaną. Nie jest to jednak rozwiązanie najwygodniejsze i nie zapewnia ochrony ESD, choć niewątpliwie jest tanim rozwiązaniem. Jeszcze jedną opcją jest wykonanie odpowiedniej podstawki na drukarce 3D, jak na **fotografii 13**.



Fotografia 11. Uchwyty na płytki drukowane: mniejszy (a) w dość przystępnej cenie (ok. 120 złotych) oraz duży uchwyt firmy Weller (b). To profesjonalne narzędzie kosztuje ponad sześć tysięcy złotych



Fotografia 12. Bardzo tani uchwyt obrotowy (a) oraz model trzy razy droższy (b)

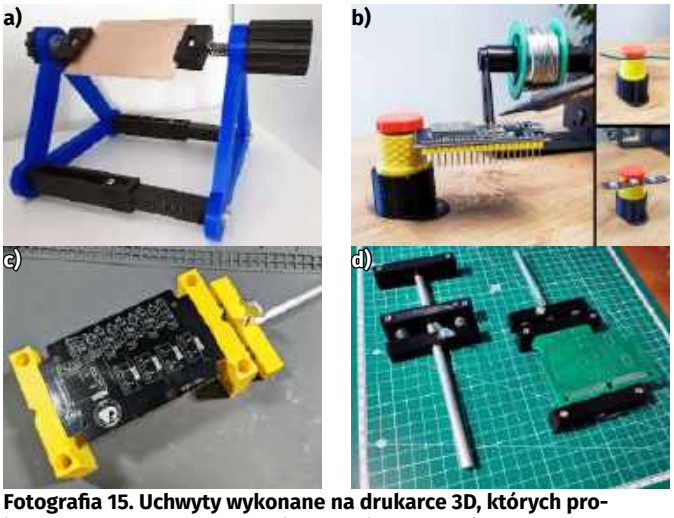
Fotografia 13. Płytka na dedykowanej podstawce, wykonanej na drukarce 3D

W praktyce elektronika zaleca się posiadanie zarówno prostej „trzeciej ręki”, jak i solidnego uchwytu do płytek. Dodatkowym, użytecznym narzędziem może być imadło modelarskie, przydatne szczególnie przy pracach mechanicznych. Imadła takie występują w kilku wariantach. Tradycyjne modele przykręcane są do blatu, jak ich więksi bracia przeznaczeni do prac ślusarskich. Bardziej rozbudowane mają z kolei głowicę kulową i uchwyt w stylu imadła maszynowego.

Imadła maszynowe przeznaczone są do montowania na blatach wiertarek stołowych lub frezarek (w tym CNC) i nadają się szczególnie do fabrykacji płytek do prototypów. Dwa różne imadła prezentuje

Fotografia 14. Imadła modelarskie: proste imadło przykręcane do stołu, model HT3B609 (a), imadło z uchwytem maszynowym i przegubem kulowym Stanley MaxSteel 1-83-069 (b), małe imadło maszynowe Topex 07A306 (c) oraz bardzo tanie imadło stołowe Talon-Tech FT2201 (d)

eprasa.pl e84dd9a9f2



Fotografia 15. Uchwyty wykonane na drukarce 3D, których projekty są dostępne do pobrania dla każdego: remiks autorstwa Epp (a) (źródło: https://t.ly/uv6d2), uchwyty skręcane od Dst (b) (źródło: https://t.ly/kJgY6), imadło do płytek wg projektu KYFriedHam (c) (źródło: https://t.ly/qZFQ4), bardzo proste imadło projektu Kabacisa (d) (źródło: https://t.ly/rtCVc). Wszystkie te modele (i wiele innych) można znaleźć na stronie Printables (https://t.ly/ZsydH)

fotografia 14. Uchwyty, imadła i regulowane „ręce" są też dostępne w formie wydruków 3D do samodzielnego wykonania. Zaletą jest niski koszt i możliwość dowolnej modyfikacji czy rozbudowy takiego rozwiązania. Wadą zaś – niska odporność na wysokie temperatury: PLA, najpopularniejszy filament, zaczyna mięknąć w temperaturze 50°C, a przy 85...90°C traci jakąkolwiek wytrzymałość mechaniczną. Materiały bardziej trwałe, np. nylon, wymagają nieco bardziej kosztownych drukarek z zamkniętą obudową oraz osuszaczy filamentu. Z drugiej strony nawet jeśli w trakcie prac uchwyt ulegnie uszkodzeniu, wykonanie nowego elementu kosztuje grosze. Przykłady takich projektów pokazuje **fotografia 15**.

Drobne narzędzia lutownicze i warsztatowe

Przy ręcznym montażu komponentów SMD, a także podczas lutowania przewodów i drutów w celu dokonania pomiarów w trudno dostępnych miejscach czy też modyfikacji układu pęseta staje się narzędziem wręcz niezbędnym. Wbrew pozorom nie musi to być

Fotografia 16. Pęsety firmy Baku

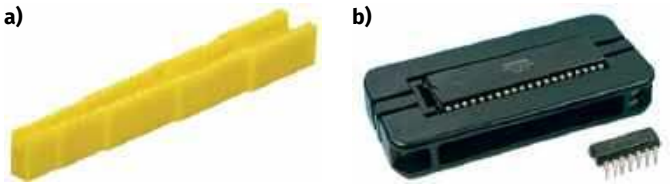
Fotografia 17. Tanie cążki w dwóch wariantach. Na dwóch parach widać ślady zużycia

Fotografia 18. Ściągacze do izolacji: ręczny marki Parkside (a) i profesjonalny ściągacz automatyczny Molex 638171100 (b)

narzędzie kosztowne i z najwyższej półki, nie trzeba mieć też każdego dostępnego modelu. Z powodzeniem wystarczą dwa narzędzia: proste i zakrzywione. Dobrym wyborem są pęsety firmy Baku pokazane na **fotografii 16**, ze względu na korzystny stosunek jakości do ceny. Modele te zapewniają pewną ochronę ESD dzięki naniesionej powłoce izolacyjnej na niemal całą powierzchnię pęsety.

Kolejnym przydatnym narzędziem są cążki do cięcia przewodów czy odcinania wyprowadzeń komponentów THT. Warto mieć dwie pary: większą do grubszych przewodów i drutów oraz mniejszą, do wyprowadzeń i cieńszych przewodów. Cążki z czasem będą się zużywać, co wymaga albo ich ostrzenia, albo wymiany na nowe. Markowe modele są oczywiście trwalsze, szczególnie gdy tniemy twardsze i grubsze przewody oraz druty. **Fotografia 17** pokazuje budżetową opcję. Warto też zaopatrzyć się w przyrząd do ściągania izolacji. Do wyboru jest sporo różnych konstrukcji w zróżnicowanych cenach. Dwa przykłady prezentuje **fotografia 18**.

Przy montażu komponentów przewlekanych często przydaje się też przystawka do doginania wyprowadzeń. **Fotografia 19** prezentuje warianty przeznaczone do elementów osiowych oraz układów scalonych. Przyrządy takie są bardzo tanie, a mają nawet swoje wersje przystosowane do druku 3D. Przy okazji warto też zaopatrzyć się w zestaw igieł do przepychania otworów na wyprowadzenia. W tej roli sprawdzą się świetnie igły do czyszczenia dysz



Fotografia 19. Przystawki do doginania wyprowadzeń komponentów osiowych (a) i układów scalonych (b)

Fotografia 20. Zestaw tanich pilników do prac precyzyjnych Parkside

eprasa.pl e84dd9a9f2

Fotografia 21. Szczypce i małe kombinerki

drukarek 3D – występują w zestawach o różnych średnicach i są bardzo tanie. Pod ręką trzeba też mieć zestaw pilników – można nimi nacinać płytki przed łamaniem, obrabiać krawędzie, powiększać otwory i przecinać niechciane połączenia. Prosty i relatywnie tani zestaw pokazuje **fotografia 20**. Przydadzą się też szczypce w różnych rozmiarach i kształtach – na **fotografii 21** zaprezentowano kolekcję autora zebraną przez lata. Większe szczypce pozwalają na łatwiejsze odłamywanie fragmentów płytek przy ich docinaniu, mniejsze ułatwiają wyciąganie „upartych" komponentów i pomagają w trudno dostępnych miejscach, gdy pęseta okazuje się zbyt delikatnym narzędziem.

W pracach serwisowych niezbędne okazują się narzędzia do demontażu naprawianych urządzeń, czyli przede wszystkim wkrętaki i narzędzia do podważania. Te pierwsze występują generalnie w dwóch formach: albo zestawu bitów z uchwytem, albo w formie pełnowymiarowych wkrętaków. Wariant drugi przydaje się szczególnie tam, gdzie wkręty tkwią głęboko w otworze plastikowej obudowy, jako że większość uchwytów do bitów i przedłużek jest zdecydowanie za gruba. Warto więc mieć obie wersje na podorędziu – bity są bardziej poręczne, podczas gdy duże wkrętaki przydają się w tych niedostępnych zakamarkach. Co taki zestaw powinien zawierać? Oto lista:

- wkrętaki Philips w rozmiarach od PH000,
- wkrętaki Pozidriv we wszystkich czterech rozmiarach (spotykane w obudowach tańszego sprzętu RTV i w sprzęcie AGD, głównie jako wkręty do plastiku i blachowkręty),
- wkrętaki płaskie, przydatne szczególnie w naprawie mechanizmów i do otwierania zabytków techniki,
- wkrętaki Torx od T1,
- wkrętaki Torx TH (TR), z otworem,
- wkrętaki imbusowe.

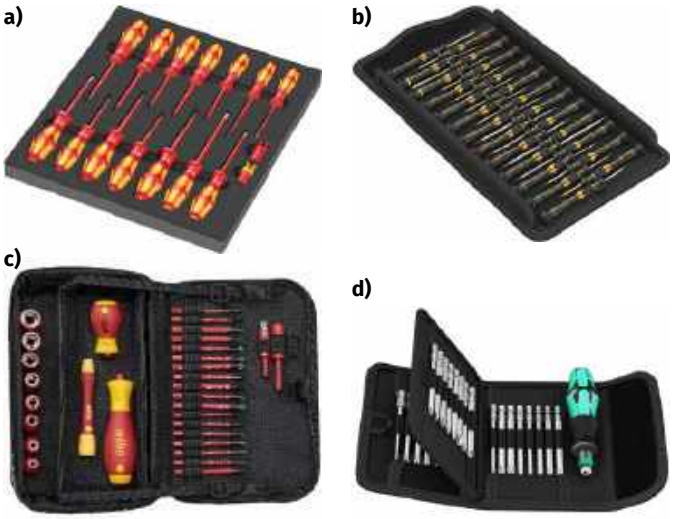
To podstawowy, minimalny zestaw pozwalający otworzyć i naprawić prawie wszystko. Czasem mogą się trafić nietypowe wkręty, ale Unia Europejska wprowadziła przepisy, które zakazują ich stosowania w nowych produktach w ramach prawa do naprawy.

Na rynku nie brakuje zestawów do wyboru. Zaleca się jednak wybrać markowy zestaw dobrej klasy, gdyż tanie komplety chińskie oraz te dostępne w dyskontach są wykonane z miękkich materiałów i przez to ich trwałość jest niewystarczająca. Do codziennych prac z większymi gabarytowo urządzeniami zaleca się zestawy w rodzaju pokazanego na **fotografii 22** kompletu (DeWalt DT7969). Zestaw jest trwały i zawiera większość potrzebnych rozmiarów oraz typów końcówek, nie zawiera natomiast uchwytu, gdyż jest przeznaczony do współpracy z wkrętarkami elektrycznymi. Dla pracujących pod napięciem dobrym wyborem może być zestaw trwałych, izolowanych wkrętaków Wera VDE Set 1 (05150102001) z **fotografii 23a**. Ten sam producent ma też zestaw dedykowany dla elektroników: Kraftform Micro ESD Big Pack (05134019001) – wprawdzie nie zawiera on bitów Pozidriv, ale zamiast nich obejmuje szeroki wybór

Fotografia 22. Zestaw bitów DeWalt DT7969

wkrętaków niestandardowych, spotykanych w różnych produktach z USA czy Japonii. Zestaw ten prezentuje **fotografia 23b**. Wiha oferuje zestaw wkrętaków slimVario electric (43465), podobny do pierwszego zestawu od Wery. Komplet Wera Kraftform Kompakt 62 (5059297001) również stanowi doskonały wybór, zawierając w sobie nie tylko podstawowe wkrętaki, ale też kolekcję wkrętaków niestandardowych – jest on bogatszy, a przy tym tańszy od zestawu Kompakt Micro ESD Big Pack, brakuje mu jednak mniejszych rozmiarów spotykanych w urządzeniach mobilnych czy w precyzyjnych mechanizmach. Widok produktu pokazano na **fotografii 23d**.

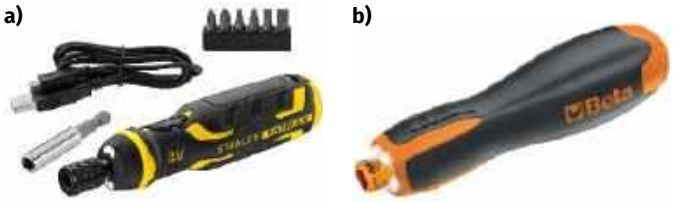
Komplety mniejszych bitów też są dobrym wyborem, choć nie zawsze okazują się praktyczne, szczególnie w ciasnych miejscach lub w głębokich otworach. Zestawy te zwykle są dużo bogatsze, przy niższej cenie detalicznej. Dobrym przykładem może być zestaw precyzyjny Wiha 39971 (**fotografia 24a)** zawierający 65 elementów, dostępny w cenie porównywalnej do 25-elementowego zestawu Big Pack dla elektroników. Uzupełnieniem palety podstawowych bitów jest Wiha XLSelector Security Standard 25 mm (29416), który poradzi sobie z wieloma nietypowymi śrubami spotykanymi w elektronice (**fotografia 24b**). Ciekawym wyborem są też zestawy iFixit Mako (**fotografia 24c**) oraz Manta (**fotografia 24d**) – to precyzyjne narzędzia przeznaczone dla serwisów elektronicznych, sama zaś marka



Fotografia 23. Zestawy wkrętaków: Wera VDE Set 1 (a), Kraftform Micro ESD Big Pack (b), Wiha slimVario® electric (c), Wera Kraftform Kompakt 62 (d)

eprasa.pl e84dd9a9f2

Fotografia 24. Zestawy bitów: Wiha 39971 (a), Wiha XLSelector Security Standard 25 mm (b), iFixit Mako (c), oraz Manta (d)



Fotografia 25. Wkrętaki elektryczne: Stanley Fatman 4V (a) i Beta Evox-E (b)

Fotografia 26. Wkrętarki DeWalt DCD777N BODY (a) i Parkside PAS 4 D7 (b)

iFixit oferuje darmowe przewodniki po naprawach urządzeń konsumenckich, głównie smartfonów. Zestawy są niewątpliwie obszerne i zawierają wszystko, co potrzebne w warsztacie elektronika. Propozycja firmy Manta zawiera dwa komplety bitów: precyzyjne 4 mm i nieco większe w standardzie ¼ cala, oraz wkrętaki w obu rozmiarach. Wkrętak przeznaczony do bitów 4 mm ma dość długą i wąską część trzymającą bit, dzięki czemu łatwiej nim sięgnąć w głąb zakamarków obudowy. Pokrywki obu zestawów mają też przegródki, dzięki czemu sprawdzą się jako tacki na wkręty.

Na krótką wzmiankę zasługują też wkrętaki specjalne, czyli stroiki. Są to delikatne narzędzia wykonane z tworzywa i przeznaczone do regulacji potencjometrów, trymerów, cewek i dławików w obwodach w. cz., które są bardzo wrażliwe na pojemności i indukcyjności pasożytnicze. Obecnie nieczęsto trafia się sytuacja, w której mogą być potrzebne, ale Czytelnik powinien mieć świadomość, że istnieją i że dobrą praktyką jest nie stroić obwodów tego wymagających zwykłym wkrętakiem z metalową końcówką.

Elektronarzędzia i akcesoria

Budowanie prototypów, wykonywanie płytek drukowanych, modyfikacje i niektóre naprawy może nie wymagają dostępu do szerokiego wachlarza elektronarzędzi, ale takie wyposażenie zdecydowanie ułatwia pracę. Mała wkrętarka przyspiesza wykonywanie czynności mechanicznych, a wkrętarka udarowa pozwala odkręcić zapieczone lub zardzewiałe wkręty, które mogą trafić się w serwisie AGD czy samochodowym. Miniszlifierki umożliwiają natomiast wiercenie, cięcie, czyszczenie czy polerowanie, a także rzeźbienie. Cichy kompresor pozwala zasilać narzędzia pneumatyczne, ale też może pomóc oczyścić zakurzone wnętrze komputera czy innego urządzenia. W połączeniu z aerografem lub pistoletem malarskim można za jego pomocą nie tylko upiększyć prototyp albo gotowy produkt, ale też przywrócić stan pierwotny urządzeniom mającym już trochę lat. Frezarka CNC pozwoli natomiast szybko przygotować płytkę prototypową, panel kontrolny lub elementy montażowe, podczas gdy drukarka 3D odda nieocenione zasługi nie tylko w prototypowaniu, ale też w produkcji elementów zastępczych z tworzywa. Omówmy więc pokrótce te narzędzia.

Wkrętarki i wkrętaki elektryczne są dość prostymi narzędziami pod względem konstrukcyjnym. Główną różnicą między poszczególnymi modelami różnych marek jest jakość wykonania i pojemność akumulatora. Dla przykładu – Wiha ma w ofercie zestawy bitów z wkrętakami PocketDrive oraz speedE II electric. Zaletą tych zestawów jest dobra jakość bitów. Firma Stanley oferuje relatywnie tani wkrętak z serii Fatman (FMTH66719), pokazany na **fotografii 25a**. Podobnym elektronarzędziem jest produkt firmy Beta – Evox-E (BE 1210E/GE), pokazany na **fotografii 25b**. Te przykładowe wkrętaki łączy jedna cecha wspólna – trzyma się je tak samo, jak zwykłe wkrętaki ręczne. Czasami jednak warto mieć inny chwyt, by lepiej aplikować moment obrotowy. W tym celu powstały wkrętarki i wiertarko-wkrętarki – zazwyczaj dużo większe i przeznaczone do ogólnych prac konstrukcyjnych oraz remontowych. Przykładem może być wkrętarka DeWalt DCD777N BODY (**fotografia 26a**). Lepszym wyborem dla elektronika będzie jednak narzędzie mniejsze, jak chociażby dyskontowa wkrętarka Parkside PAS 4 D7 (a także C5). Ta mała wkrętarka (**fotografia 26b)** nie jest wykonana najlepiej, a bity są raczej marnej jakości – w zestawie jednak znajdują się głowice: kątowa, wygięta, z regulacją momentu i ciekawa, choć średnio przydatna piła. To „maleństwo" może poszczycić się sporym momentem obrotowym wynoszącym 5 Nm. Akumulator nie starcza na długo, ale w warsztacie elektronika okazuje się adekwatny.

Miniszlifierki, multiszlifierki, szlifierki precyzyjne, szlifierki wielofunkcyjne czy wreszcie „dremele" (od nazwy popularnego na Zachodzie producenta, firmy Dremel) to bardzo proste narzędzia składające się z mocnego silnika elektrycznego, do którego wału umocowany jest uchwyt wiertarski na narzędzia. Od wiertarek czy wkrętarek odróżnia go brak jakiejkolwiek przekładni, przez co narzędzie obraca się z dużą prędkością, ale znacznie mniejszym momentem obrotowym. Na rynku dostępne są narzędzia najróżniejszych klas i jakości wykonania – od tanich zestawów „multiszlifierka + 1001 akcesoriów na każdą okazję", prosto z dyskontu, po narzędzia i zestawy wspomnianej już marki Dremel. Dostępne są warianty zasilane napięciem sieciowym, dodatkowym zasilaczem regulowanym, akumulatorem, a także sprężonym powietrzem. Jako ciekawostkę warto dodać, że wariantem tych ostatnich jest zresztą urządzenie, z którym każdy Czytelnik miał wątpliwą przyjemność spędzić chwile boleści: wiertarka dentystyczna.

Urządzenia akumulatorowe mają dość ograniczoną moc, a przez to i moment obrotowy, podobnie zresztą jak modele pneumatyczne. Szlifierki zasilane napięciem sieciowym oferują natomiast największą moc, wysoką prędkość maksymalną i spory moment obrotowy. Niezależnie od tego, czy są zasilane bezpośrednio z instalacji, czy przez regulowany zasilacz, najlepiej się sprawdzają w warunkach warsztatowych, gdzie konieczność pracy „na uwięzi" nie stanowi większego problemu.

Co do wyboru konkretnego modelu, można od razu zrezygnować z zestawów dyskontowych – częstymi usterkami są kiepskie łożyska, duże „bicie", niskiej jakości chwyty narzędziowe i silniki,

eprasa.pl e84dd9a9f2

a)

b)

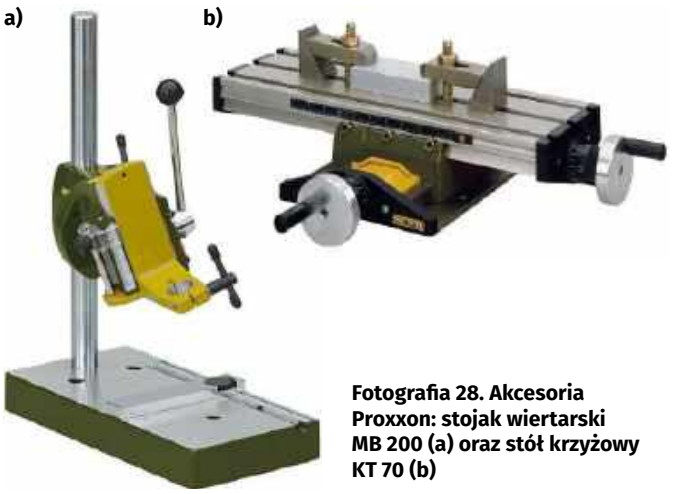
c)

Fotografia 27. Szlifierki precyzyjne: sieciowa Proxxon FBS 240/E (a), akumulatorowa Makita DGD800Z (b) oraz Dremel 8220 z akcesoriami (c)

w których palą się uzwojenia przy zbyt intensywnym użytkowaniu. Z drugiej strony spektrum narzędzia firmy Dremel wydają się mieć nieco zawyżoną cenę, nawet biorąc pod uwagę dobrą jakość produktów. Optymalnym wyborem zdają się narzędzia firmy Proxxon, jak na przykład FBS 240/E (**fotografia 27a**). Jest to urządzenie o prostej konstrukcji, doskonałej jakości wykonania, choć ze skromnym wyborem akcesoriów. Uchwyt wiertarki pozwala na montowanie narzędzi o średnicy osi od 0,3 mm do 3,2 mm, co pozwala też na używanie frezów CNC w standardzie 1/8" (3,175 mm). Zaletą jest cichy silnik z regulacją obrotów od 5000 rpm do 22000 rpm. Wśród urządzeń akumulatorowych dobrym wyborem może być Makita DGD800Z (**fotografia 27b**). Dla porównania warto spojrzeć też na zestaw od firmy Dremel 8220 o oznaczeniu F0138220UM (**fotografia 27c**) – w komplecie dostajemy dwie przystawki i kolekcję akcesoriów (materiałów eksploatacyjnych) na dobry początek, wraz z profesjonalnie wyglądającą walizką. Producent zaleca używanie akcesoriów i materiałów marki Dremel, ale nic złego się nie stanie, jeśli wybierzemy wyroby tańsze (lub droższe). Problemem marki Dremel i powodem, dla którego Autor jej nie zaleca jest fakt, iż są to urządzenia i zestawy typowo hobbystyczne i do hobbystów kierowane.

Przechodząc do akcesoriów i materiałów eksploatacyjnych do tych wielofunkcyjnych szlifierek, warto od razu zaznaczyć, że zestawy

a) b)



Fotografia 28. Akcesoria Proxxon: stojak wiertarski MB 200 (a) oraz stół krzyżowy KT 70 (b)

„100/500/1000 w jednym" – jeśli tylko nie należą do absolutnie najtańszych – okazują się dobrym wyborem na start. Użytkownik może sprawdzić, co z zestawu rzeczywiście mu się przyda, a co nie i dokupić narzędzia, tarcze oraz akcesoria niezbędne do najczęściej wykonywanych prac. Tymczasem reszta zestawu, choć będzie przez większość czasu pokrywać się kurzem, może znaleźć spontaniczne zastosowanie w nietypowej sytuacji. W kontekście pracy konstruktora-elektronika najbardziej przydatne będą narzędzia tnące: frezy i tarcze oraz wiertła. Choć wielu amatorów potrafi wiercić otwory w płytkach domowej produkcji „z ręki", to w warunkach (pół)profesjonalnych warto zainwestować w stojak wiertarski, zwłaszcza że wiertła HSS o małej średnicy oraz (szczególnie) wiertła widiowe źle znoszą naprężenia boczne. Autorowi udało się złamać bardzo kosztowne wiertło widiowe przy próbie wykonania pierwszego otworu, właśnie z tego powodu. Firma Proxxon do swoich szlifierek z serii Micromot oferuje stojak wiertarski MB 200 (**fotografia 28a**) – jest on również kompatybilny ze szlifierką FBS 240/E. Do tego zestawu przydać się może stół krzyżowy KT 70 (**fotografia 28b**) lub większy KT 150 – obydwa wymienione modele znacząco ułatwiają pozycjonowanie obrabianych elementów i ich precyzyjny ruch. Mocując szlifierkę w statywie, a pod nim stół krzyżowy z obrabianym elementem, możemy zagłębić w niego frez, a następnie – obracając powoli korbami – wykonać precyzyjne cięcie. Tak samo operuje się zresztą na tradycyjnych frezarkach manualnych. Do stojaka wiertarskiego można też dokupić imadło maszynowe ułatwiające wiercenie w drobnych elementach.

Kompresor to urządzenie kojarzące się bardziej z warsztatem samochodowym niż z pracownią elektronika. W rzeczywistości jednak jest to przyrząd nad wyraz użyteczny, głównie za sprawą dostępnych akcesoriów – warto dodać, że relatywnie tanich. Sam kompresor jest urządzeniem kosztownym, sporym i zwykle dość hałaśliwym – należy przy tym zaznaczyć, iż interesują nas jedynie kompresory bezolejowe. Są one mniej trwałe, ale też nie wymagają ani dolewania wspomnianego oleju, ani odfiltrowywania powietrza sprężonego czy wreszcie spuszczania oleju z butli. Dostępnych modeli jest bardzo wiele, konkretne przykłady nie będą jednak prezentowane w ramach niniejszego artykułu, gdyż poza marką i wielkością butli nie ma między nimi wielkich różnic. Nie zaleca się zakupu urządzeń z butlą małą, mającą ledwo kilka litrów – będzie ono „na chodzie" przez cały czas, zwłaszcza gdy używane narzędzie potrzebuje stałego ciśnienia przez dłuższy czas. Z drugiej strony kompresory z większymi butlami są nieporęczne i zajmują sporo miejsca. Zawsze warto natomiast poszukiwać modeli z oznaczeniem cichej pracy – pomimo że głośny kompresor można nieco wyciszyć, montując „tłumik" na króćcu wlotowym, a całe urządzenie postawić na macie wygłuszającej.

Jeśli chodzi o akcesoria i narzędzia pneumatyczne, to wybór jest szeroki: od szlifierek po klucze pneumatyczne, od pistoletów malarskich po pistolety do pompowania kół, od przyrządów do przedmuchiwania po końcówki do pompowania piłek i balonów. W serwisie najbardziej

eprasa.pl e84dd9a9f2

Fotografia 29. Frezarka CNC 3018 z Chin. Zbyt kłopotliwa do normalnej pracy

przydatna wydaje się końcówka do przedmuchiwania, która przyda się do oczyszczania radiatorów czy mechanizmów. Pneumatyczne szlifierki wielofunkcyjne są lekkie, osiągają ogromną prędkość obrotową, ale kosztem niskiego momentu obrotowego. Jest to zaletą przy delikatnych pracach, dlatego technologia ta (w odpowiednio mniejszej skali) jest stosowana w stomatologii. Konstruktor o zacięciu artystycznym może z kolei zastosować aerograf do gustownego malowania i ozdabiania swoich prototypów. Dobry aerograf dostępny jest już za kilkadziesiąt złotych, a we wprawnych rękach pozwala uzyskać piękne efekty. Nie bez powodu jest to najpopularniejsze narzędzie malarskie wśród modelarzy.

Frezarka CNC – czyli frezarka sterowana numerycznie przez komputer – to jedno z potężniejszych narzędzi w arsenale konstruktora. W ostatniej dekadzie ceny frezarek znacząco spadły, dzięki czemu hobbyści nie muszą już składać urządzeń DIY z prowadnic do szuflad i kawałków starej meblościanki. Frezarki CNC można podzielić na cztery klasy jakości i ceny. Pierwszą, najtańszą grupą frezarek są proste maszyny dla hobbystów, jak na przykład model oznaczany jako 3018 (od wymiarów pola roboczego, wyrażonych w centymetrach). Urządzenia te to dobry start dla hobbysty, który ma dużo wolnego czasu do zmarnowania. **Fotografia 29** pokazuje taki model. Rama zbudowana jest z profili aluminiowych 20×20 mm i elementów wykonanych metodą druku 3D. Silniki krokowe są małej mocy, podobnie jak elektrowrzeciono, czyli silnik napędzający narzędzie. Autor sam posiadał takie urządzenie i dość szybko odkrył jego ograniczenia: zbyt małą moc elektrowrzeciona, zbyt małą sztywność ramy i silniki krokowe, które „gubią" kroki, bo mają za mały moment obrotowy dla tej konstrukcji. Sterownik oparty jest o projekt GRBL, co okazuje się... największą zaletą frezarek 3018 i podobnych. Wymieniając elektrowrzeciono na laser półprzewodnikowy, można uzyskać całkiem dobry, choć niebezpieczny ploter dla początkujących.

Klasę wyżej stoją frezarki oznaczane dość podobnie, bo jako 3020 (**fotografia 30**) czy 3040. Tu już mamy do czynienia z konstrukcją z metalowych płyt o konkretnej masie i sztywności, a do tego użyte są większe silniki krokowe, śruby trapezowe czy prowadnice. Część maszyn używa do sterowania portu równoległego, inne mają jednak specjalizowany sterownik USB. Wszystkie dostarczane są z programem Mach 3. Elektrowrzeciono zwykle ma moc 300 W i dobry uchwyt ER11. Zaleca się jednak wymianę na elektrowrzeciono większej mocy, minimum 500 W. Dostępne są też modele chłodzone wodą o mocy od 800 W. Przy dużej mocy elektrowrzeciona, małej prędkości posuwu i niewielkiej głębokości frezowania omawiane modele są w stanie obrabiać miedź, aluminium i inne, relatywnie miękkie metale. Te frezarki nadają się też do frezowania płytek drukowanych po dodaniu sondy poziomującej. Można nimi też obrabiać drewno, sklejkę, tworzywa sztuczne, a nawet grawerować szkło i kamień, jeśli użyje się specjalnego narzędzia. Do maszyn tej klasy można też dokupić „czwartą oś", czyli przystawkę tokarską.

a)

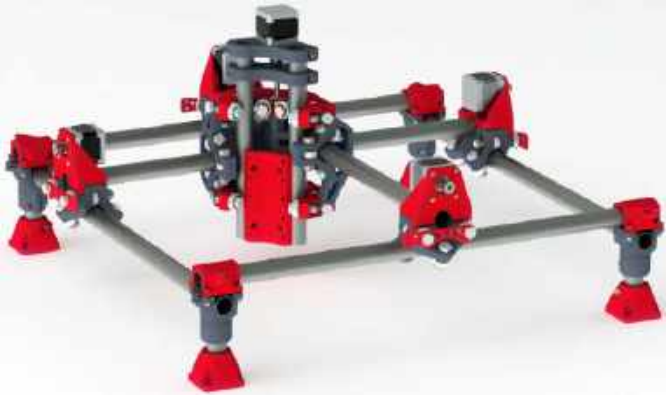
b)

Fotografia 30. Frezarki CNC 3020 (a) i 3040 (b). Oferują najlepszy stosunek ceny do możliwości

Warto w tym miejscu wspomnieć o projekcie MPCNC (Mostly Printed CNC), w którym większość elementów jest wydrukowana na drukarce 3D. W roli prowadnic zastosowano rury instalacyjne, a poruszające się po nich wózki mają wmontowane typowe łożyska – wszystkie elementy są standardowe i łatwe do zdobycia. Przy wyborze odpowiedniego materiału na wydruki (nylon wzmacniany włóknem szklanym wydaje się najlepszą opcją) można uzyskać porównywalne rezultaty do frezarek 3020 i 3040, ale z dowolnymi wymiarami pola roboczego. W roli elektrowrzeciona najczęściej spotyka się szlifierki wielofunkcyjne, zwłaszcza marki Dremel. Przykładowe urządzenie prezentuje **fotografia 31**.

Wyższą jakość oferują urządzenia „profesjonalne". Często są wykonywane na zamówienie, oferują pole robocze, którego krótszy wymiar przekracza nawet metr. Zamiast silników krokowych stosowane są już serwomotory oferujące pełnię kontroli nad pozycją, prędkością posuwu i przyspieszeniem. Zamiast śrub trapezowych czy kulowych dłuższa oś napędzana jest pasami lub przekładnią zębatą. Samo elektrowrzeciono ma moc powyżej 1 kW, a cała konstrukcja jest wystarczająco sztywna, by miękkie metale obrabiać z rozsądną prędkością, choć zwykle maszyny takie spotyka się w warsztatach stolarskich.

eprasa.pl e84dd9a9f2



Fotografia 31. Przykładowa frezarka MPCNC (źródło: https://t.ly/FLtqm)

Fotografia 32. Mocowanie lampy kreślarskiej do blatu za pomocą wydruku 3D

W pracowni elektronika są niepraktyczne, ale dla małej manufaktury urządzeń okazują się jak znalazł, szczególnie jeśli potrzebne są duże elementy z drewna lub sklejki. Do obudów metalowych lepiej sprawdzi się zestaw: przecinarka plazmowa CNC i giętarka. Urządzeniami najwyższej klasy, a przy tym i z najwyższej półki cenowej, są centra obróbcze CNC, które bez problemów wiercą i frezują stal, oferują 5 osi zamiast trzech, mają zautomatyzowane magazynki wierteł i frezów, ale... są absolutnie nieprzydatne w warsztacie elektronika. Tutaj zostały wspomniane tylko jako ciekawostka.

Dodatkowym relatywnie tanim urządzeniem jest ploter laserowy CNC. Nie tylko może on grawerować drewno i niektóre tworzywa czy dedykowane materiały, ale potrafi też ciąć sklejkę, drewno, skórę, tkaniny czy papier. Tanie urządzenia bazują na diodzie laserowej, nieco droższe używają bardziej tradycyjnych laserów. Urządzenia te są nieco niebezpieczne, zwłaszcza że w zestawach oferowane są bardzo tanie okulary ochronne, które prawdziwej ochrony nie zapewniają. Należy zaopatrzyć się w nie we własnym zakresie, pamiętając o tym, że do lasera zielonego stosuje się okulary czerwone, a do czerwonego – zielone. Urządzenia generują nieprzyjemny zapach w wyniku palenia materiału, który jest cięty lub grawerowany, a w niektórych przypadkach w ślad za wątpliwie przyjemną wonią idą też niezdrowe opary. Niemniej jednak taki ploter pozwoli wykonać gustowny panel kontrolny ze sklejki lub tworzywa czy wygrawerować tabliczkę znamionową. Być może znajdzie się nawet sposób na zastosowanie go do produkcji płytek drukowanych.

Drukarkom 3D poświęcono na łamach „Elektroniki Praktycznej" osobny poradnik, dlatego tutaj nie będą one szczegółowo omawiane. W ostatnim roku technologia sterowania i kontroli poczyniła duże skoki za sprawą firm Bambu Labs i Creality, więc obecnie sensownym wyborem są drukarki zamknięte, jak Creality K1 SE lub K2 albo Bambu Labs P1S. A do czego może się przydać drukarka 3D? Choćby do szybkiego wykonania prototypu obudowy, by móc zaprezentować klientowi wygląd urządzenia i przetestować jego ergonomię. Druk 3D sprawdzi się też przy wykonywaniu zamienników uszkodzonych części, podstawek pod płytki drukowane, własnych narzędzi, uchwytów i ramek testowych oraz wielu innych drobiazgów. Kilka praktycznych przykładów projektów zostało już opisaych, inne pojawią się nieco później. Czytelników zainteresowanych zgłębianiem tematu wytwarzania przyrostowego zapraszamy do zapoznania się z serią artykułów „Druk 3D w służbie elektroniki".

Stanowisko pracy

Miejsce pracy elektronika też zasługuje na naszą uwagę – w końcu wydaliśmy już majątek na narzędzia, warto więc mieć odpowiednią przestrzeń do ich używania. Nie będziemy jednak zajmować się wyborem odpowiedniego biurka czy stołu warsztatowego ani rozważaniami, czy lepsze są półki, czy szafki. Te decyzje to sprawa indywidualna i jedyna sugestia, jaką można udzielić, to „więcej znaczy lepiej" – im więcej przestrzeni do pracy, tym większa ergonomia. Zamiast więc tworzyć katalog meblarski, skupmy się na innych aspektach aranżacji miejsca pracy.

Na początek oświetlenie – i tu jedna, prosta sugestia: najlepszy wybór to lampa bądź lampy kreślarskie. Lampa taka, mocowana do krawędzi blatu, to bardzo elastyczne rozwiązanie zapewniające dużo światła w pożądanym kierunku. Urządzenia te projektowane były z myślą o tradycyjnych żarówkach o mocy 60 W, więc bez problemu można wkręcić żarówkę LED odpowiadającą jasnością żarówkom 100-watowym i mocniejszym. Sama żarówka powinna być wysokiej klasy, o najwyższej dostępnej wartości CRI (Color Rendering Index – indeks oddawania barw) i temperaturze barwowej powyżej 3000 K. Pewnym problemem może być mocowanie lampy do blatu, zależnie od konstrukcji biurka/stołu – lecz tu ponownie pomóc może druk 3D, co pokazuje **fotografia 32** – podobny element pomoże też w mocowaniu lekkiego imadła do blatu. Przy okazji kompletowania oświetlenia warto też zaopatrzyć się w latarkę LED – wybór modeli i marek jest ogromny. Gdy kupiona zostanie tania latarka z Chin, warto rozważyć wymianę diody mocy na nową, zakupioną od sprawdzonego dystrybutora – do tanich latarek trafiają diody „najgorszego sortu" o niskim współczynniku CRI i gorszej wydajności, tak więc wymiana diody na komponent „najlepszego sortu" poprawi jej walory użytkowe.

Kolejnym elementem stanowiska pracy jest mata antystatyczna. I znów – nie należy kupować najtańszej wersji z Chin, ale generalnie nie ma wielkiej różnicy między tanim i drogim modelem markowym. Drobna uwaga: maty do cięcia, często widoczne na blatach hobbystów z YouTube, to nie to samo, co maty antystatyczne. Ale i taka mata może się przydać, szczególnie do fotogrametrii (o której będzie mowa w innym artykule). W przypadku opaski ESD różnic nie ma wcale, wszystkie wykonane są tak samo: metalowa płytka, rezystor 1 MΩ, przewód do uziemienia i pasek, który dociśnie płytkę do ciała. Warto rozważyć umocowanie pod blatem panelu z tworzywa z kilkoma gniazdami bananowymi, które są połączone z uziemieniem – pozwala to łatwo uziemić urządzenie, uchwyt, siebie (za pomocą wspomnianej opaski) i ewentualnie inne narzędzia.

Kolejnym, bardzo przydatnym przedmiotem są wszelkiej maści tacki i pojemniki na drobne części. Szczególnie przy naprawach urządzeń przydaje się organizer na wkręty, elementy plastikowe, gałki i przyciski, płytki i moduły. W sprzedaży są tacki i organizery silikonowe, ale wydają się one zbyt miękkie do wygodnego przenoszenia – lepiej sprawdzą się wersje z twardego plastiku. Ponownie druk 3D może się przydać i dostarczyć dowolną liczbę pojemników, tacek i organizerów na żądanie. Poza tackami, na części z demontażu przydadzą się też organizery komponentów i części zamiennych. Standardem, znanym z wielu warsztatów i sklepów, są całe ściany organizerów z małymi szufladkami (**fotografia 33**). Hobbyści, dla których takie rozwiązania komercyjne były za drogie, wykonywali własne organizery z tektury lub pudełek po zapałkach. Obecnie organizery takie mocno staniały, choć zorganizowanie całej ściany

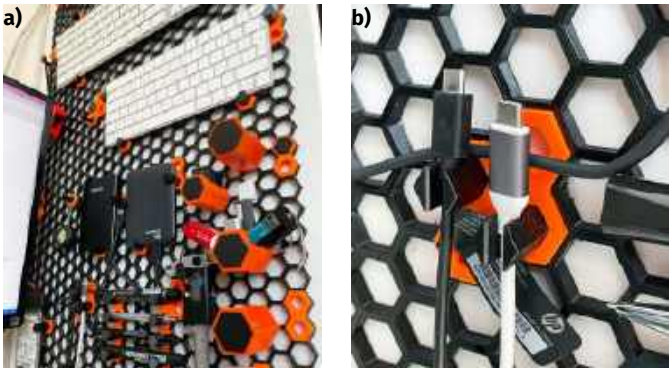
eprasa.pl e84dd9a9f2

Fotografia 33. Typowy organizer na drobne części, niegdyś kosztowne marzenie niejednego hobbysty

wciąż może sporo kosztować. I tutaj pomóc nam może druk 3D. Dwa podstawowe rozwiązania to Honeycomb Storage Wall i Gridfinity.

System Honeycomb Storage Wall opiera się o siatkę heksagonów, którą montuje się do ściany. Owa siatka składa się z mniejszych kawałków, dzięki czemu można wydrukować tyle elementów, na ile starczy miejsca na ścianie. Potem drukuje się zaczepy, haczyki, uchwyty, wieszaki czy tacki kompatybilne z innymi rozwiązaniami i montuje się je w dowolnych miejscach siatki „heksów". Część elementów ma metalowe wzmocnienia, co pozwala umocować nieco cięższe narzędzia.

Gridfinity to otwarty, modułowy system przechowywania „wszystkiego". Podstawą jest siatka o wymiarach 42×42 mm. Każdy pojemnik ma wymiary 42×42×7 mm lub ich wielokrotności, każdy pojemnik można ustawić na innym pojemniku. Poza pudełkami dostępne są też tacki, wkładki do szuflad i „gołe" ramki, pozwalające układać pojemniki obok siebie. Oprócz prostych i pustych pudełek dostępne są także zasobniki przeznaczone na konkrente narzędzia i przedmioty. Tacki pozwalają łatwo przenosić po kilka(naście) pojemników naraz, a magnesy lub wkręty umożliwiają związanie ich w mniej lub bardziej trwałą konstrukcję. Ponieważ sam projekt jest otwarty i każdy może go modyfikować, dostępne są tysiące gotowych rozwiązań przeznaczonych dosłownie do wszystkiego – i właśnie taka idea przyświecała twórcy, Zackowi Freedmanowi. Przykłady pokazuje **fotografia 35**, a wszystkie modele można pobrać ze strony https://gridfinity.xyz/. Na poratlu Printables można natomiast pobrać kolekcje plików Gridfinity, w tym specjalne rozwiązania do tworzenia szuflad z drobnymi częściami. Dla fanów bardziej tradycyjnych rozwiązań dostępne są tradycyjne



Fotografia 34. Honeycomb Storage Wall: ścianka z narzędziami (a) i zbliżenie na uchwyt (b) (źródło: https://t.ly/-bSog)

Fotografia 35. Gridfinity: pojemniki różnych kształtów (a i b) – źródło: https://t.ly/d2xjJ oraz szuflady na pojemniki (c) – źródło: https://t.ly/yDMEo) i (d) – źródło: https://t.ly/pmnhu

eprasa.pl e84dd9a9f2

Fotografia 36. Bardziej tradycyjna skrzyneczka z szufladami (źródło: https://t.ly/BWQ_Q)

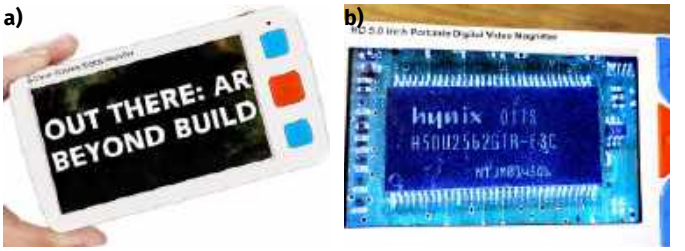
organizery z szufladkami. **Fotografia 36** prezentuje jeden z takich projektów ze strony Printables, którego autorem jest Vadim.

Praca z drobnymi elementami czasem wymaga też pomocy w formie narzędzi powiększających. Wspomniana wcześniej „trzecia ręka" jest zwykle wyposażona w lupę, ale takie proste szkło powiększające może nie wystarczyć. Elektronik często musi posiłkować się odpowiednim mikroskopem. Istnieją dwa warianty: optyczny i elektroniczny. Mikroskopy optyczne, jak pokazany na **fotografii 37** Bresser Advance ICD, są dość kosztowne, ale oferują percepcję głębi, co znacznie ułatwia pracę. Dodatkowo nie wprowadzają one żadnych opóźnień, a obraz wygląda naturalnie.

Alternatywą mogą być mikroskopy cyfrowe, jak chociażby recenzowany na łamach EP mikroskop Andonstar AD249S-M. W tym przypadku tracimy percepcję głębi, a kolory nie są do końca naturalne, można za to zmieniać tryby wyświetlania obrazu, fotografować i nagrywać przedmiot pod mikroskopem na potrzeby dokumentacji, a nawet podłączyć mikroskop do dużego ekranu, co może pomóc, na przykład w procesie edukacyjnym lub w czasie prezentacji. Dodatkowo zakres powiększeń jest z reguły szerszy niż w mikroskopach optycznych. Cena takiego urządzenia bywa też wyraźnie niższa od ceny mikroskopu optycznego. Jeszcze jednym, pomocnym

Fotografia 37. Stereoskopowy mikroskop optyczny Bresser Advance ICD

Fotografia 38. Mikroskop cyfrowy Andonstar AD249S-M



Fotografia 39. Lupa elektroniczna Eyoyo 5": zdjęcie producenta (a) i w użyciu w służbie elektroniki (b)

narzędziem może być cyfrowa lupa, przeznaczona głównie dla osób z wadami wzroku. Przykładowe urządzenie to budżetowy powiększalnik Eyoyo 5" (**fotografia 39**), który wprawdzie jest tanim urządzeniem z Chin, ale oferuje szeroki zakres powiększenia, możliwość wyboru trybu wyświetlania obrazu (łącznie z trybem jednobitowego koloru z możliwością wyboru kilkunastu konfiguracji, znacząco zwiększającego kontrast). To kieszonkowe urządzenie pomaga odczytywać oznaczenia na komponentach, dokonywać inspekcji płytki czy odczytywać drobny druk na tabliczkach znamionowych. Urządzenie pozwala też na zapisywanie zdjęć do pamięci wewnętrznej lub na kartę MicroSD. Osoby niedowidzące mogą go nawet używać do czytania książek, czasopism i dokumentów.

Na koniec warto jeszcze zatroszczyć się o kwestie BHP, a konkretniej o ochronę dróg oddechowych. Zwykły wentylator nie wystarczy, by pozbyć się oparów topnika, pyłów z obróbki mechanicznej czy też mikrocząstek emitowanych w wyniku druku 3D, dlatego na rynku są dostępne specjalne odciągi, oczyszczacze powietrza i całe systemy odpylania. Prace obróbcze powinno się wykonywać, mając założoną półmaskę z odpowiednim filtrem oraz okulary ochronne lub przyłbicę (w myśl powiedzenia: „oko nie pieczarka – nie odrośnie"). Czytelnik powinien zaopatrzyć się w sprzęt ochronny dobrej klasy – najtańsze okulary czy maseczki jednorazowe nie zapewniają adekwatnej ochrony, a wdychanie pyłu drzewnego czy z laminatu epoksydowo-szklanego na dłuższą metę jest bardzo niezdrowe. Przy lutowaniu i rozlutowywaniu przyda się zaś wentylator, choć zdecydowanie lepszym wyborem jest specjalistyczny odciąg, czyli wentylator z filtrem węglowym, który pochłania szkodliwe opary. Gotowe urządzenia są dostępne na rynku, podobnie jak oczyszczacze powietrza do ogólnych zastosowań, ale człowiek oszczędny może złożyć ze sobą kilka standardowych wentylatorów, a przed nimi umieścić „kanapkę" z dwóch metalowych siatek, między którymi ściśnięte jest kilka warstw tkaniny z węgla aktywnego do stosowania w okapach kuchennych.

Zakończenie

Czytelnik zauważył już zapewne, iż kwestie samego lutowania nie zostały zbyt szeroko ani dokładnie omówione w ramach niniejszego artykułu. Jak wspomniano wcześniej, materiałów o lutownicach i lutowaniu nie brakuje. Na tym tle informacje o innych narzędziach i akcesoriach przeznaczonych dla elektroników, serwisantów i projektantów elektroniki jest relatywnie mało. Nie wypisano też długich list sprzętu pomiarowego, zasilaczy laboratoryjnych, generatorów, programatorów i przystawek – wybór jest ogromny i mocno zależy od potrzeb, przeznaczenia i posiadanego budżetu. W praktyce można na ten temat napisać kilka naprawdę grubych książek, co inni czynią zresztą regularnie. Nawet ten artykuł w zakresie poruszanych tematów jest jedynie skromnym wstępem do świata narzędzi i wyposażenia warsztatowego, dlatego zachęcamy Czytelników do samodzielnej eksploracji świata wyposażenia warsztatowego.

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

Paweł Kowalczyk, EP

eprasa.pl e84dd9a9f2

PREMIUM ELECTRIC

ESD

PLUS

PEŁNA **MODUŁOWOŚĆ** ELEMENTÓW STOŁU DLA TWOJEGO **KOMFORTU**

- MOŻLIWOŚĆ PRACY SIEDZĄCEJ I STOJĄCEJ
- NISKI POZIOM POBORU ENERGII
- **MODUŁOWOŚĆ** - MOŻLIWOŚĆ DOWOLNEJ ROZBUDOWY
- NISKI POZIOM EMISJI HAŁASU
- AUTOMATYCZNA I PŁYNNA REGULACJA WYSOKOŚCI BLATU
- KG DUŻA OBCIĄŻALNOŚĆ WAGOWA STOŁU

Reeco.info

MASZ PYTANIA?

T | +48 601 319 635
E | esdworkstations@reeco.info

eprasa.pl e84dd9a9f2

Dobór topników w praktyce

Podstawowy cel stosowania topnika w procesie lutowania to odpowiednie przygotowanie powierzchni łączonych elementów poprzez usunięcie z padu lutowniczego i wyprowadzeń montowanych komponentów wszelkich zanieczyszczeń oraz warstwy tlenków, które utrudniłyby wykonanie niezawodnego lutu. Innym ważnym zadaniem topnika jest poprawa zwilżalności powierzchni (co umożliwia uzyskanie właściwego rozpływu spoiwa), a także zabezpieczenie ich przed ponownym utlenieniem w wyniku kontaktu podgrzanych wyprowadzeń elementów (i samego pola lutowniczego) z tlenem atmosferycznym. Właściwie wykonane połączenie lutownicze zapewni nie tylko niezbędną wytrzymałość mechaniczną, ale także niską rezystancję połączenia.

Więcej informacji:
Cynel-Unipress
tel. 22 519 29 45
www.cynel.com.pl

Najczęściej stosowane topniki składają się z nośnika (czyli substancji bazowej) oraz tzw. aktywatora (jednego lub kilku). Ten ostatni pozostaje wprawdzie nieaktywny w temperaturze pokojowej, ale po podgrzaniu zaczyna pełnić swoją docelową funkcję. Tradycyjny topnik, stosowany w elektronice od wielu dekad, opiera się na kalafonii – popularnym preparacie pochodzenia naturalnego, pozyskiwanym z żywicy drzew iglastych. W tym przypadku kwas organiczny zawarty w kalafonii wchodzi w reakcję z tlenkami metali, tworząc ich sole.

Nowoczesne topniki mogą zawierać również inne substancje wspomagające, takie jak rozpuszczalniki, substancje powierzchniowo czynne czy też dodatki wpływające na konsystencję materiału.

eprasa.pl e84dd9a9f2

W zależności od prowadzonego procesu można podawać topniki z zewnątrz (niezależnie od spoiwa lutowniczego, np. poprzez natrysk preparatu na płytkę PCB w procesie lutowania na fali) bądź też korzystać z tych „zintegrowanych" ze spoiwem lutowniczym – klasyczne przykłady to rdzeniowe druty lutownicze (stosowane w manualnym i automatycznym lutowaniu punktowym) bądź w pastach lutowniczych.

Istnieje kilka standardów klasyfikacji topników lutowniczych, przy czym najpowszechniej stosowane są normy ISO 9454-1 oraz J-STD-004. Pierwsza z nich dzieli topniki na trzy grupy (**tabela 1**):

(1) żywiczne,
(2) organiczne,
(3) nieorganiczne.

Topniki żywiczne dzielą się z kolei na:

(1.1) kalafoniowe
(1.2) niezawierające kalafonii,

a organiczne – na:

(2.1) rozpuszczalne w wodzie,
(2.2) nierozpuszczalne w wodzie.

Kolejny, wspólny dla tych dwóch grup podział opiera się na zastosowanym aktywatorze:

(x.x.1) topniki bez aktywatora,
(x.x.2) topniki z aktywatorem halogenkowym,
(x.x.3) – topniki z aktywatorem wolnym od halogenków.

Topniki nieorganiczne (grupa (3)) są natomiast klasyfikowane ze względu na zastosowaną substancję bazową:

(3.1) topniki bazujące na solach,
(3.1.1) topniki zawierające chlorek amonu jako aktywator,
(3.1.2) topniki pozbawione chlorku amonu,
(3.2) topniki bazujące na kwasach,
(3.2.1) topniki zawierające kwas fosforowy jako aktywator
(3.2.2) topniki zawierające inne kwasy jako aktywatory,
(3.3.1) topniki alkaliczne, zawierające jako aktywatory aminy lub amoniak.

Dodatkowe oznaczenie literowe wprowadza podział na topniki: (A) płynne, (B) stałe i (C) w postaci pasty. Ten element oznaczenia jest jednak często pomijany w praktyce.

Norma J-STD-004 klasyfikuje topniki z uwzględnieniem substancji bazowej, aktywności topnika i obecności halogenków. Oznaczenie składa się z czterech znaków (**tabela 2**). Topnik o zawartości halogenków poniżej 0,05% wagowo uznaje się za „wolny od halogenków".

Oferta Cynel-Unipress

Na liniach produkcyjnych firmy Cynel-Unipress, w jej prawie 40-letniej historii, używanych było około 80 różnych rodzajów topników. Część z nich zastąpiono nowocześniejszymi recepturami, część wycofano razem z powiązanymi produktami. Obecnie do produkcji naszych spoiw lutowniczych i materiałów wspomagających proces lutowania stosowanych jest około 40 typów topników, zarówno tych wprowadzanych do drutów rdzeniowych, jak i sprzedawanych w formie płynnej, a przeznaczonych np. do lutowania na fali.

W grupie rdzeniowych drutów lutowniczych najczęściej spotykane są topniki w klasach 1.1.3, 1.1.2, 1.2.2, 2.1.2 i 2.1.3, w tym zmywalne wodą. W grupie topników płynnych dominują odmiany należące do klas 1.1.2, 1.1.3, 2.1.2, 2.2.3, 3.1.1 i 3.2.2. Część produkcji stanowią także wersje opracowane dla naszych klientów pod konkretne wymagania stosowanego przez nich procesu oraz przeznaczone do procesów niezwiązanych z branżą elektroniczną czy elektrotechniczną

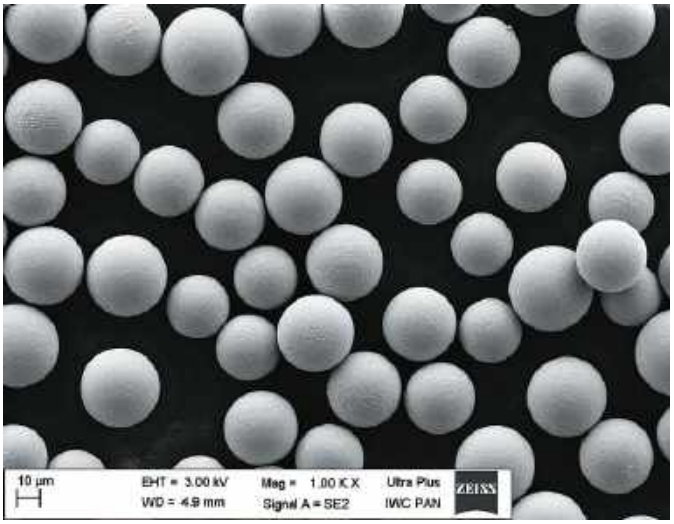
Tabela 2. Klasyfikacja topników wg J-STD-004

Substancja bazowa	Aktywność topnika	Zawartość halogenków
RO: kalafonia RE: żywica OR: organiczny IN: nieorganiczny	L: niska	0: <0,05%
		1: 0,05% do <0,5%
	M: umiarkowana	0: <0,05%
		1: 0,05% do <2,0%
	H: wysoka	0: <0,05%
		1: od 2,0%

Tabela 1. Podział topników

Typ topnika	Substancja bazowa	Aktywator	Postać topnika
1: żywiczny	1: kalafonia 2: niezawierający kalafonii	1: topnik bez aktywatora 2: topnik z aktywatorem halogenkowym 3: topnik z aktywatorem wolnym od halogenków	A: płynny B: stały C: pasta
2: organiczny	1: rozpuszczalna w wodzie 2: nierozpuszczalna w wodzie		
3: nieorganiczny	1: sole	1: chlorek amonu jako aktywator 2: niezawierający chlorku amonu	
	2: kwasy	1: kwas fosforowy 2: inne kwasy	
	3: zasady	1: aminy lub amoniak	

eprasa.pl e84dd9a9f2

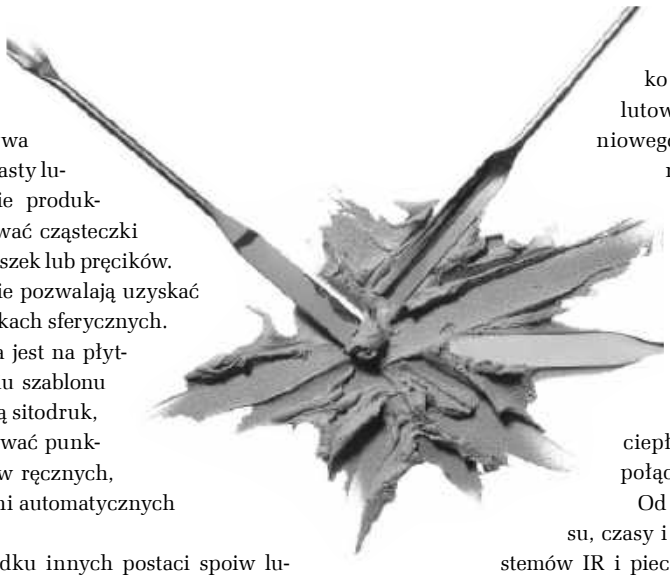


(np. renowacja karoserii samochodowych, branża instalacyjna, lutowanie aluminium i stali nierdzewnej).

Pasty lutownicze

Pasta lutownicza, stosowana do lutowania rozpływowego (reflow) w montażu powierzchniowym (SMD), to mieszanina drobnych cząsteczek (proszku) spoiwa lutowniczego oraz nośnika, pełniącego jednocześnie funkcję topnika oraz medium zapewniającego określone właściwości fizyczne pasty.

W zależności od metody produkcji proszku lutowniczego kształt jego cząsteczek może być mniej lub bardziej regularny, a to wpływa z kolei na dynamikę lepkości pasty lutowniczej. Starsze technologie produkcji proszku pozwalały uzyskiwać cząsteczki w kształcie nieregularnych blaszek lub pręcików. Technologie stosowane obecnie pozwalają uzyskać proszek lutowniczy o cząsteczkach sferycznych.



Pasta lutownicza nakładana jest na płytkę PCB najczęściej przy użyciu szablonu i rakli, metodą przypominającą sitodruk, choć można ją również aplikować punktowo przy użyciu dyspenserów ręcznych, półautomatycznych lub w pełni automatycznych (sterowanych numerycznie).

Analogicznie jak w przypadku innych postaci spoiw lutowniczych, pasty mogą bazować na stopach ołowiowych (np. Sn63Pb37, Sn62Pb36Ag2) lub bezołowiowych (np. Sn96,5Ag3Cu0,5; Sn95,5Ag3,8Cu0,7; Sn95,5Ag4Cu0,5; Sn95,8Ag4,2; Sn99,3Cu0,7; Sn99Cu0,7-Ag0,3), a także specjalnych stopach niskotemperaturowych (np. Bi58Sn42 czy Bi57Sn42Ag1).

W zależności od wielkości cząsteczek proszku lutowniczego norma J-STD-005 klasyfikuje 7 typów proszków. Najpowszechniej stosowane w pastach lutowniczych są: typ 3 (minimum 80% wagowo proszku o średnicy cząsteczek od 25 do 45 µm) i typ 4 (od 20 do 38 µm). Postępująca miniaturyzacja komponentów coraz częściej wprowadza na linie produkcyjne pasty bazujące na proszku typu 5 (od 15 do 25 µm). Dzięki zaawansowanej technologii produkcji wewnętrzne normy Cynel-Unipress zakładają jako minimum 90% zawartość pożądanej frakcji proszku, a w rzeczywistości jej udział przekracza 95%.

Pasta lutownicza jest materiałem tiksotropowym, którego lepkość maleje pod wpływem sił ścinających, działających podczas przeciskania pasty przez otwory szablonu. Na lepkość pasty ma ponadto wpływ temperatura, wilgotność oraz prędkość druku i siła nacisku rakli na szablon.

Właściwości pasty pogarszają się wraz z upływem czasu. Warto też uświadomić sobie, że powierzchnia styku spoiwa z topnikiem w omawianym typie lutowia jest znacznie większa niż w przypadku rdzeniowego drutu lutowniczego. Między cząsteczkami proszku lutowniczego a topnikiem, już w fazie przechowywania, zachodzi reakcja chemiczna i część aktywności pasty zostaje utracona. Dlatego zalecane jest zapewnienie odpowiednio niskich temperatur transportu i przechowywania większości dostępnych past.

Lutowanie rozpływowe z użyciem pasty lutowniczej to złożony proces – występują w nim zjawiska rzadko spotykane w innych technikach lutowania. Niesymetria napięcia powierzchniowego pasty może podnosić element SMD, odrywając jeden z jego końców od pola lutowniczego (tzw. tombstoning, efekt Manhattan). W przypadku pól lutowniczych o dużych powierzchniach odparowujący topnik może natomiast uniemożliwić wypełnienie pewnej powierzchni spoiwem i pozostawi pusty obszar (voiding), pogarszający np. odprowadzanie ciepła z elementu i parametry mechaniczne połączenia.

Od strony sprzętowej ważny jest profil procesu, czasy i prędkości podgrzewania (przy użyciu systemów IR i pieców konwekcyjnych), lutowania/rozpływu oraz studzenia. Stabilność parametrów pasty lutowniczej w zakresie lepkości i jednorodności, zawartości tlenków w użytym proszku lutowniczym, jego profilu granulometrycznego oraz tendencji do rozpływania się pasty po nałożeniu na pole lutownicze pozwala na ustabilizowanie i optymalizację procesu produkcyjnego.

Cynel-Unipress – oferta past

Cynel-Unipress od ponad 10 lat produkuje sferyczne proszki lutownicze w oparciu o ultranowoczesną, zaawansowaną technologię ultradźwiękowej atomizacji płynnego metalu. Jesteśmy więc w bardzo komfortowej sytuacji, mając pod kontrolą wszystkie etapy procesu produkcyjnego – od etapu wytopu stopu lutowniczego, poprzez produkcję proszku, aż do uzyskania wyrobu finalnego. Zdobywane przez lata doświadczenie w sterowaniu przebiegiem procesu produkcyjnego oraz rygorystyczna kontrola jakości pozwoliły nam osiągnąć stabilność i doskonałą powtarzalność parametrów produkowanego proszku. Przekłada się to wprost na powtarzalność parametrów past lutowniczych wytwarzanych na bazie naszych proszków.

eprasa.pl e84dd9a9f2

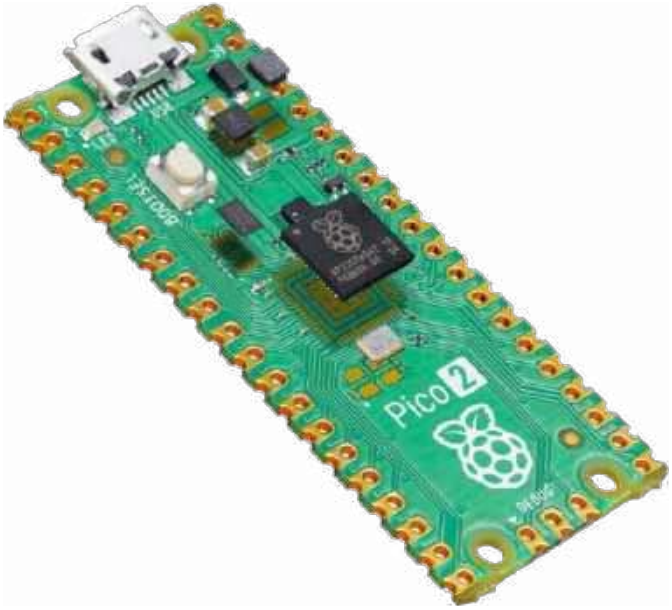
Internet Rzeczy w pomiarach środowiskowych (15)

Płytka Raspberry Pi Pico 2/2W z procesorem RP2350

Na rynku mikrokontrolerów od wielu lat mamy do czynienia z dominacją 32-bitowych architektur ARM z serii M. Niewielki udział w tym segmencie mają też architektury Extensa LX, spotykane w mikrokontrolerach do łączności radiowej Wi-Fi i BLE, wytwarzanych przez firmę Espressif. W ostatnich latach udaje się jednak zaobserwować nowy trend: na rynek wchodzą nowe modele procesorów o architekturze RISC-V, wytwarzane głównie przez producentów chińskich. Idąc za tą modą, również Raspberry Pi stworzyło nowy, ciekawy produkt w postaci mikrokontrolerów RP235x i płytek Raspberry Pi Pico 2/2W.

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

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



Architektura ARM Cortex-Mx („mikrokontrolerowa"), obecnie w wersjach v6, v7 i v8, jest dojrzałym, wypróbowanym rozwiązaniem do ekonomicznych aplikacji systemów wbudowanych. Jej zaletami są: ogromna popularność wiążąca się z dostępnością narzędzi i doświadczeniem inżynierskim, skalowalność umożliwiająca wytwarzanie zarówno prostych mikrokontrolerów o cenie detalicznej na poziomie 0,10 USD, jak i rozbudowanych układów o dużej mocy obliczeniowej, a także – co ważne w systemach wbudowanych – zaprojektowany od nowa 15 lat temu dla ARMv6-M, nowatorski system obsługi wyjątków, w tym wielopoziomowy system przerwań z wywłaszczaniem, eliminujący wady spotykane w starszych architekturach.

ARM-M ma również pewne wady, z których główną jest to, że architektura stanowi własność firmy ARM, co pociąga za sobą konieczność ponoszenia przez producentów opłat licencyjnych i uniemożliwia dokonywanie modyfikacji, w tym rozszerzeń procesorów przez producentów poszczególnych układów.

Architektura RISC-V powstała jako rezultat prac doświadczalnych, prowadzonych około roku 2010 na uniwersytecie Berkeley. Jest ona uwspółcześnioną wersją architektury MIPS, wywodzącej się jeszcze z lat 80. XX wieku. W przeciwieństwie do ARM i MIPS, RISC-V jest architekturą otwartą – każdy może zaprojektować własny procesor zgodny z RISC-V, jest również możliwe rozszerzanie własności architektury, w tym listy instrukcji procesora. Projektant i producent procesora ma pełną kontrolę nad jego implementacją, nie musi on więc polegać na zaufaniu do dostawcy produktu zamkniętego, jak ma to miejsce w przypadku architektur ARM. Ma to również wpływ na model bezpieczeństwa, bazujący na otwartości i możliwości wskazywania błędów w znanym projekcie implementacji procesora (o ile sam projekt procesora pozostaje otwarty, co pozostaje w gestii jego właściciela).

Mikrokontroler RP2040

Chcąc rozszerzyć swoją aktywność na obszar niskokosztowych rozwiązań mikrokontrolerowych, Fundacja Raspberry Pi w styczniu 2021 wprowadziła na rynek swój pierwszy mikrokontroler – RP2040 – wraz z gotowymi modułami/płytkami uruchomieniowymi. W porównaniu z mikrokontrolerami innych producentów miał on dość nietypową charakterystykę, wynikającą z zastosowanej technologii półprzewodnikowej – zawierał dwa rdzenie ARM Cortex-M0+ o wysokiej maksymalnej częstotliwości pracy (133 MHz) i pamięć RAM o pojemności 264 kB oraz niemodyfikowalną pamięć ROM o pojemności 16 kB. Układ RP2040 jest zasilany napięciem z przedziału 1,8..3,3 V, a sam rdzeń pracuje z napięciem 1,1 V, wytwarzanym przez wbudowany stabilizator liniowy.

Ponieważ mikrokontroler nie zawiera programowalnej pamięci nieulotnej, oprogramowanie użytkowe może być albo ładowane przez jeden z dostępnych interfejsów do pamięci RAM i z niej wykonywane, albo uruchamiane bezpośrednio z pamięci Flash dołączonej do interfejsu QSPI mikrokontrolera. Pierwsza możliwość ma zastosowanie wyłącznie wtedy, gdy mikrokontroler jest używany jako inteligentny sterownik wejścia-wyjścia współpracujący z systemem nadrzędnym. Do zastosowań „wolno stojących" niezbędne jest użycie zewnętrznej pamięci Flash z serii 25Q.

Przepustowość interfejsu QSPI jest znacznie mniejsza od wymaganej przez rdzenie nowoczesnych procesorów szybkości pobierania instrukcji. Interfejs pamięci został w związku z tym wyposażony w bufor przyspieszający powtarzające się sekwencje odwołań (np. podczas wykonywania pętli programowych). Taki sposób pobierania i wykonywania programu jest określany jako XIP (Execute In Place – wykonanie

eprasa.pl e84dd9a9f2

bezpośrednio z pamięci QSPI). Ponieważ osiągana w ten sposób wydajność nie zawsze okazuje się wystarczająca, alternatywnym sposobem jest skopiowanie wybranych części lub całości oprogramowania z zewnętrznej pamięci Flash do wewnętrznej pamięci RAM, co gwarantuje pobieranie instrukcji bez opóźnień. Z podobnej techniki korzystają popularne mikrokontrolery firmy Espressif Systems (np. ESP8266, ESP32), a także niektóre modele STM32. Wewnętrzna pamięć RAM ma organizację wielobankową, co w połączeniu z wieloszynową strukturą wewnętrzną układu ogranicza konflikty przy równoczesnym dostępie do pamięci przez wiele modułów mikrokontrolera, w tym przy równoczesnej pracy obu rdzeni procesorowych.

Oprócz standardowego zestawu modułów peryferyjnych, podobnego do spotykanego w większości współczesnych mikrokontrolerów, RP2040 jest wyposażony w mikroprogramowany blok wejścia-wyjścia PIO, który może być użyty do realizacji nietypowych modułów peryferyjnych, w tym timerów lub niestandardowych interfejsów szeregowych.

Mikrokontroler RP235x

W upublicznionym we wrześniu 2024, nowym układzie RP235x zostały zrealizowane dodatkowe funkcje, takie jak: wbudowana pamięć masowa, stany bezczynności o niskim poborze mocy, szybsze rdzenie, więcej pamięci RAM i funkcje ochrony kodu.

RP235x występuje w czterech wersjach, które są identyfikowane w nazwie przez: liczbę rdzeni (2), cyfrę luźno powiązaną z typem rdzenia (3), log2 liczby bloków RAM po 16 kB (5), log2 liczby bloków pamięci Flash po 128 kB (0 lub 4) oraz literę oznaczającą typ obudowy (A lub B):

- RP2350A – 30 GPIO w obudowie QFN-60 o wymiarach 7×7 mm,
- RP2350B – 48 GPIO w obudowie QFN-80 o wymiarach 10×10 mm,
- RP2354A – jak RP2350A + 2 MB pamięci QSPI NOR Flash podłączonej do pierwszej linii *chip select*,
- RP2354B – jak RP2350B + 2 MB pamięci QSPI NOR Flash podłączonej do pierwszej linii *chip select*.

Układ RP2354x ma obudowę typu stack-in-one, w której pamięć Flash jest dołączona do struktury mikrokontrolera jako osobny chip.

Wyprowadzenia GPIO 30 do 47, obecne w większej obudowie, zapewniają dodatkowe piny analogowe (GPIO 40 do 47) i kilka dodatkowych IO ogólnego przeznaczenia z obsługą PWM.

Ogólna architektura układu RP235x została pokazana na **rysunku 1** [6]. Procesory Cortex-M33 lub RISC-V Hazard3 uzyskują dostęp do pamięci i bloków peryferyjnych RP235x poprzez magistrale AHB i APB.

Podstawowe różnice RP235x w stosunku do RP2040 to:

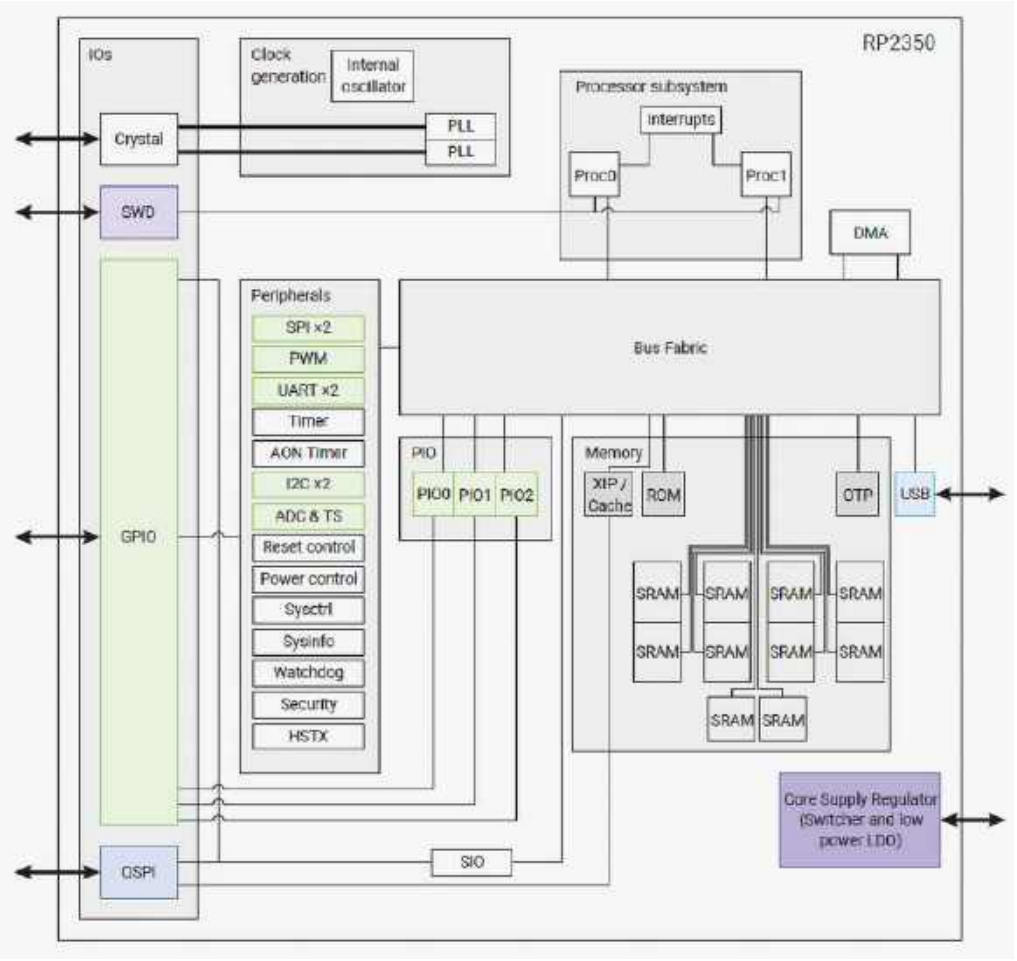
- zmieniony kompleks procesorowy, zawierający dwie pary rdzeni procesorowych, o różnej architekturze – Cortex-M33 i RISC-V Hazard3.
- obsługa różnego rodzaju zabezpieczeń, w tym strefy zaufanej ARM-v8M i szyfrowania SHA-256,
- zwiększona pojemność pamięci RAM – 520 kB i ROM – 32 kB oraz dodatkowa pamięć nieulotna OTP 8 kB,
- możliwość użycia zewnętrznej pamięci Flash lub PSRAM z interfejsem QSPI,
- rozbudowany i ulepszony moduł PiO,
- impulsowy stabilizator napięcia zasilania rdzenia 1,1 V,
- szybki interfejs wejścia-wyjścia HSTX (High-Speed Serial Trasnsmit), umożliwiający realizację bardzo wydajnych interfejsów szeregowych z kodowaniem TMDS.

Wewnętrzny regulator wytwarza napięcie zasilania rdzenia, więc zazwyczaj trzeba dostarczać tylko napięcie IO. Działa on jako przetwornica typu *buck* w trybie przełączanym, gdy system jest aktywny, zapewniając do 200 mA przy zmiennym napięciu wyjściowym i może przełączyć się na tryb LDO o niskim prądzie spoczynkowym, gdy system jest uśpiony, zapewniając do 1 mA na potrzeby podtrzymania pamięci.

Układ RP235x ma pięć domen zasilania. Z pewnymi ograniczeniami domeny te mogą być selektywnie wyłączane, aby zmniejszyć zużycie energii przez układ. System wspiera stany niskiego poboru mocy, w których nieużywana logika jest wyłączana, zaś wybudzenie jest możliwe przy użyciu sygnałów z timera lub zdarzeń IO.

Podstawowe cechy RP235x [1, 6]:

- dwa rdzenie Arm Cortex-M33, 150 MHz z obsługą obliczeń zmiennoprzecinkowych i DSP,
- dwa rdzenie RISC-V Hazard 3, 150 MHz,
- 520 kB wbudowanej pamięci SRAM w dziesięciu bankach,
- RP2350 – brak wewnętrznej pamięci Flash, RP2354 – 2 MB wewnętrznej pamięci QSPI NOR Flash,
- dwa wbudowane układy PLL do generowania zegarów USB i rdzenia,



Rysunek 1. Architektura układu RP235x [6]

eprasa.pl e84dd9a9f2

- obsługa do 16 MB zewnętrznej pamięci Flash za pośrednictwem dedykowanej magistrali QSPI,
- kontroler DMA,
- kompleksowa architektura bezpieczeństwa oparta na Arm TrustZone (rdzenie Cortex-M), obejmująca:
  - wsparcie bezpiecznego rozruchu,
  - 8 kB wbudowanej pamięci typu *antifuse*, programowalnej jednorazowo (OTP),
  - akcelerator kryptograficzny SHA-256,
  - sprzętowy generator liczb losowych (TRNG),
- zasilacz impulsowy na chipie i stabilizator LDO o niskim prądzie spoczynkowym,
- dwanaście ulepszonych maszyn stanu PIO,
- nowy blok peryferyjny HSTX do szybkiej transmisji danych,
- obsługa zewnętrznej pamięci QSPI PSRAM,
- 30/48 pinów GPIO, z czego 4/8 można wykorzystać jako wejścia analogowe
- bloki peryferyjne:
  - 2× UART,
  - 2× SPi,
  - 2× I²C,
  - 24 kanały PWM,
  - kontroler USB 1.1 i PHY z obsługą hosta i urządzenia,
  - 3× programowalne bloki IO (PIO), łącznie 12 maszyn stanu.

Układ RP235x, oprócz typowych układów peryferyjnych, zawiera także moduły umożliwiające programowo-sprzętową realizację szybkiej transmisji danych, w tym TMDS. Moduły te pozwalają m.in. na sterowanie wyświetlaczami w standardach DVI i VGA.

Każdy blok PIO zawiera 4 niezależne automaty o takim samym mikroprogramie. Mikroprogram może mieć długość do 32 instrukcji, przy czym dostępnych jest 9 różnych poleceń. Każdy automat zawiera: 2 rejestry przesuwne do współpracy z wejściami/wyjściami, 2 rejestry robocze, 2 kolejki FIFO do wymiany danych z procesorem, rejestr stanu/przerwań i interfejs DMA.

Interfejs debugowania SWD układu RP235x współpracuje z trzema blokami – dwoma dla rdzeni Cortex-M33 i jednym wspólnym dla dwóch rdzeni RISC-V.

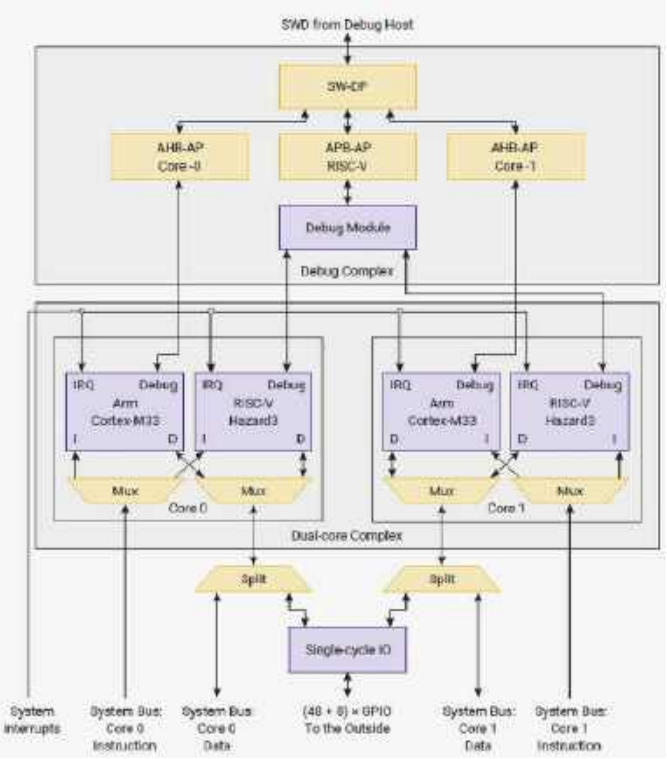
Interfejs QSPI zawarty w strukturze RP235x umożliwia:

- odczyt bloków danych o dowolnej długości po jednokrotnym przesłaniu polecenia odczytu z adresem początkowym,
- obsługę XIP, czyli funkcji modułu QSPI mikrokontrolera umożliwiającej odwzorowanie zawartości pamięci QSPI w przestrzeni adresowej mikrokontrolera,
- automatyczne generowanie poleceń odczytu pamięci,
- buforowanie odczytanej zawartości pamięci w dedykowanym buforze (lokalnej pamięci RAM).

Koprocesor nadmiarowości implementuje asercje sprawdzane sprzętowo, aby pomóc w kontroli integralności przepływu sterowania i danych. Blok ten, określany skrótem RCP, jest używany w obszarze *bootrom* RP235x w celu zapewnienia wspomaganej sprzętowo ochrony przed atakami (wstrzykiwaniem błędów i programowaniem zorientowanym na powrót). Każdy procesor Cortex-M33 jest wyposażony w pojedynczą instancję RCP, mapowaną jako koprocesor [6].

Architekturę podsystemu procesora układu RP235x pokazano na **rysunku 2** [6]. Układ RP235x zawiera dwa gniazda (sockets) dla rdzeni procesorowych, określane jako Core 0 i Core 1. Każde gniazdo zawiera rdzenie ARM Cortex-M33 oraz RISC-V Hazard3. W parze działać może tylko jeden rdzeń, drugi pozostaje w uśpieniu.

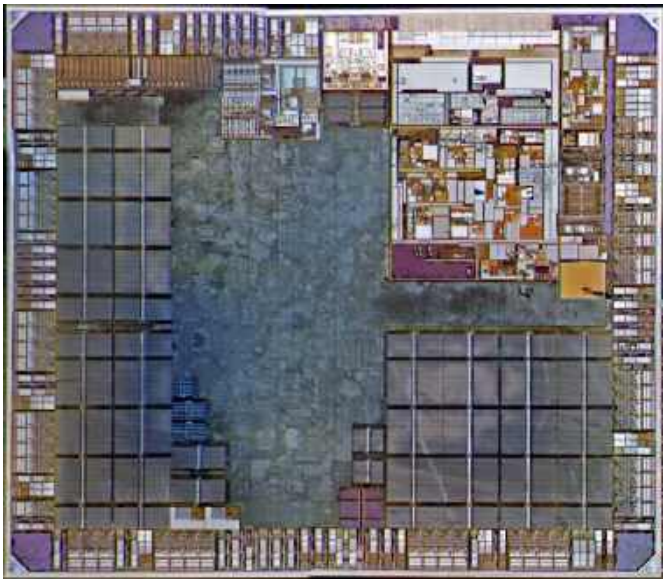
Aktywacja jednego z rdzeni pary następuje po zainicjowaniu sprzętowym mikrokontrolera (reset), na podstawie ustawionych opcji konfiguracji. Cortex-M33 jest opcją domyślną. Każdy nieużywany procesor jest utrzymywany w stanie resetu, a jego zegar jest bramkowany na najwyższym poziomie. Nieużywane procesory nie zużywają żadnej dynamicznej mocy.



Rysunek 2. Architektura podsystemu procesora układu RP235x [6]

Sekwencja rozruchu działa głównie na rdzeniu gniazda Core0. Jeśli *bootrom* napotka prawidłowy i poprawnie podpisany IMAGE_DEF dla architektury innej niż bieżąca (tj. RISC-V podczas rozruchu w trybie Arm lub Arm podczas rozruchu w trybie RISC-V), wykonuje automatyczne przełączenie architektury. *Bootrom* inicjuje ponowne uruchomienie do prawidłowej architektury dla wykrytego pliku binarnego, który następnie uruchamia się pomyślnie przy drugiej próbie.

Na **fotografii 1** zaprezentowano płytkę krzemową procesora po usunięciu obudowy i górnej warstwy metalowej. W produkcji układu została zastosowana ta sama technologia 40 nm, co w poprzednim RP2040. Matryca krzemowa RP2350 ma teraz powierzchnię 5,3 mm² w porównaniu do 2,7 mm² (w przypadku modelu RP2040). Lewy dolny róg matrycy został pokryty siecią dystrybucji zasilania projektu. Różowe obszary to fragmenty struktury nabytego przez producenta IP, takie jak interfejs USB, przetworniki ADC itp. [2].



Fotografia 1. Warstwa dyfuzyjna procesora RP2350 [2]

eprasa.pl e84dd9a9f2

Rdzeń RISC-V Hazard3

RISC-V Hazard3 został opracowany przez Luke'a Wrena, obecnie głównego inżyniera w zespole Raspberry Pi, w jego wolnym czasie [1]. Rezultat solowego projektu to: wysoce zoptymalizowany, 3-fazowy procesor potokowy, implementujący zestaw instrukcji RV32I i duży zbiór standardowych rozszerzeń ukierunkowanych na wydajność i gęstość kodu. W układzie została zrealizowana architektura RV32IMAC z dodatkowymi rozszerzeniami: Zba – instrukcje generowania adresów (indeksowania), Zbb, Zbs, Zbkb – operacje bitowe, Zcb – rozszerzony zestaw instrukcji 16-bitowych, Zcmp – push/pop i podwójne przesłania, Zicsr – dostęp do rejestrów sterujących oraz Hh3power, Xh3bextm – własne instrukcje rdzenia Hazard3. Sterownik przerwań jest podobny do ARM NVIC.

Przełączanie architektury

Pamięć rozruchowa RP235x to obraz binarny w pamięci ROM, który zawiera pierwsze instrukcje wykonywane podczas resetowania. Wszystkie funkcje układu, poza kilkoma funkcjami bezpieczeństwa i akceleratorem zmiennoprzecinkowym podwójnej precyzji, są dostępne w trybie RISC-V.

Podstawą modelu zabezpieczeń RP235x jest bezpieczny rozruch. Jeśli zabezpieczenia są włączone, uruchomienie pliku binarnego jest możliwe tylko wtedy, gdy został on podpisany przy użyciu klucza prywatnego, a skrót odpowiadającego mu klucza publicznego jest przechowywany w OTP. Zapobieganie uruchamianiu dowolnego kodu przez atakującego znacznie komplikuje zadanie wyodrębniania zawartości OTP, w tym kluczy kryptograficznych używanych do ochrony kodu.

Sposoby inicjowania sprzętu i aktywacja rdzeni:

- „twarde" – włączenie zasilania, sygnał reset: aktywne rdzenie są wybierane przez opcje konfiguracji w pamięci OTP, wpływające na wstępną zawartość rejestru ARCHSEL. O ile nie ustawiono inaczej – startuje rdzeń Cortex-M33 w Core0.
- „miękkie" – programowe (CM – SysResetRq, watchdog); aktywne rdzenie wybrane są przez zawartość rejestru ARCHSEL, który może być wcześniej zapisany przez oprogramowanie. Jest możliwy wybór różnych rdzeni z obu par.

Program zapisany w zewnętrznej pamięci QSPI Flash może być wykonywany bezpośrednio z pamięci Flash – XIP lub skopiowany przy starcie mikrokontrolera do pamięci RAM i wykonywany z tejże pamięci (szybciej niż przy użyciu XIP).

W praktyce: małe programy są ładowane do RAM, a duże programy są wykonywane z XIP. Krytyczne procedury oraz stałe (np. tablica adresów procedur obsługi wyjątków) są kopiowane do RAM. Sposób wykonania programu jest określony przez skrypt konsolidatora i kod startowy projektu.

Bezpieczeństwo

Wszystkie układy mają luki w zabezpieczeniach, a strategia większości dostawców polega na tym, aby o nich nie mówić. Firma Raspberry Pi jest pod tym względem niezwykła, ponieważ o nich mówi i stara się je naprawić, zamiast zamiatać problem pod przysłowiowy dywan. Firma ogłosiła konkurs na przełamanie zabezpieczeń układu RP2350. Po 6 miesiącach prac znalazło się czterech zwycięzców. Ze szczegółami można się zapoznać tutaj [9] i nie są to banalne przypadki. To otwarte podejście do inżynierii bezpieczeństwa o nazwie „bezpieczeństwo poprzez przejrzystość" zostało dobrze przyjęte przez odbiorców.

Płytki uruchomieniowe z procesorem RP235x

Projekt minimalnej płytki z układem RP235x pokazano w dokumencie „Hardware design with RP2350" [7]. Jest tam również dokładny opis wymagań sprzętowych. Wielu producentów opracowało własne płytki z tym układem i udostępniło je równocześnie z oficjalną premierą układu RP2350.

Fundacja Raspberry Pi opracowała dwie płytki z procesorem RP2350A: Pico 2 i Pico 2W. Na swoim portalu firma pokazuje także 34 płytki innych producentów z układami RP2350A i RP2350B [3].

Przykładem może być marka Pimoroni [4] oferująca kilka modułów z nowymi mikrokontrolerami RPi.

- Pico Plus 2 z układem RP2350B, gniazdem USB-C, 16 MB zewnętrznej pamięci QSPI i z takimi samymi wyprowadzeniami jak Pico 2 może być jej bezpośrednim zamiennikiem,
- Pico Plus 2W – dodatkowy moduł Wi-Fi/Bluetooth,
- Explorer – wszystko w jednym,
- Tiny2350 – miniaturowa płytka rozwojowa z RP2350A,
- Plasma 2350 – kontroler typu wszystko w jednym zasilany przez USB-C,
- PGA 2350 – minimalna płytka typu *breakout* z RP2350B, zapewniająca dostęp do wszystkich 48 pinów GPIO.

Na razie nie widać na rynku płytek z układem RP2354A/B.

Płytka Pico 2/Pico 2W firmy Raspberry Pi

W styczniu 2021 roku miała miejsce premiera oryginalnej płytki Pico z mikrokontrolerem RP2040. W ciągu trzech i pół roku od tego czasu sprzedano prawie cztery miliony sztuk Pico i jego bezprzewodowej odmiany Pico W.

Wrzesień 2024 przyniósł premierę płytki Pico 2 firmy Raspberry Pi (**fotografia tytułowa**), a grudzień – płytki Pico 2W (**fotografia 2**) [1]. Obie wersje, oparte na procesorze RP2350A, są zgodne elektrycznie z płytkami Pico z pierwszej serii (Pico/Pico W). Zmieniony został tylko procesor, a reszta jest dokładnie ta sama: rozkład sygnałów na pinach płytki, zastosowane elementy i ich układ elektryczny oraz lokalizacja gniazda microUSB i przycisku BOOTSEL. Podstawowe informacje o płytkach, dokumentacji i środowisku programowym dostarcza strona firmowa „Pico 2 family, Raspberry Pi Pico 2" [10].

Płytka wymaga wlutowania dwóch złączy 2,54 mm (20-pinowych). Najlepiej zastosować listwy z wydłużonymi pinami 5,84 + 7,62 mm – wtedy po wmontowaniu na płyce (dłuższym końcem) pozostaje po obu stronach PCB dostęp do dołączenia standardowych kabelków BLS. Szczególnie przydatne okazuje się to, gdy płytka jest włożona do podstawki w ekspanderze.

Układy zasilania płytek Pico 2 i Pico 2W są prawie takie same. Różnią się jedynie modelem przetwornicy DC/DC, który został dokładnie opisany w artykule „Optymalizacja poboru mocy urządzenia IoT z płytką Raspberry Pi Pico W" [11]. Pico 2 korzysta z wbudowanej przetwornicy buck-boost, która dostarcza napięcie 3,3 V (do zasilania RP2350 i obwodów zewnętrznych) na podstawie szerokiego zakresu napięć wejściowych (1,8 do 5,5 V), co daje znaczną elastyczność w zasilaniu urządzenia z różnych źródeł – takich jak pojedyncze ogniwo litowo-jonowe lub 3 ogniwa AA połączone szeregowo. Ładowarki akumulatorów można również bardzo łatwo zintegrować z łańcuchem zasilania Pico 2. Najprostszym sposobem zasilania Pico 2 jest podłączenie kabla do gniazda micro-USB. W nocie katalogowej Pico 2/2W pokazano, jak poprzez dodanie tranzystora MOS można zrealizować potrzymanie bateryjne zasilania płytki [8].

Fotografia 2. Płytka RPi Pico2 W [10]

eprasa.pl e84dd9a9f2

W modułach zostały zastosowane układy pamięci NOR Flash z serii W25Q (Winbond), pracujące z częstotliwością do 133 MHz (przepustowość do 66 MB/s).

Oprogramowanie

Płytka Raspberry Pi Pico 2/2W może być programowana w dwóch językach: C/C++ [14] oraz Python w wersji na mikroprocesory [13]. Obecnie dostępne są interpretery CircuitPython dla 28 różnych płytek, w tym Pico 2, Pico 2W, Pico Plus 2, Pico Plus 2W oraz interpretery języka MicroPython dostosowane do Pico 2 i Pico 2W [15]. Można także znaleźć wersje dostarczane przez inne firmy, np. interpreter MicroPython firmy Pimoroni (Pico 2 i Pico 2W) zawiera sterowniki do wielu czujników [16, 17]. Prowadzone są też prace nad implementacją języka Rust [1].

Raspberry Pi Pico 2/2W może być programowane przez interfejs USB na dwa sposoby:

- **Tryb pamięci masowej USB** – aby zaprogramować w ten sposób płytkę, należy nacisnąć i przytrzymać przycisk BOOTSEL, a następnie podłączyć moduł przewodem USB do komputera. Urządzenie zostanie rozpoznane jako pamięć masowa, do której można skopiować program w sposób analogiczny do kopiowania plików na pendrive'a. Po przesłaniu pliku programu (i zapisaniu go do pamięci Flash) mikrokontroler automatycznie się zresetuje i uruchomi kod. Sposób ten nadaje się do wpisywania programów napisanych w C/C++ lub interpretera MicroPythona.
- **Tryb interpretera MicroPython** – drugi sposób działa tylko z programami napisanymi w języku MicroPython i wymaga wcześniejszego wpisania interpretera za pomocą pierwszej metody. Polega on na zapisaniu w pamięci układu programu przesłanego za pomocą REPL lub przy zastosowaniu środowiska programowania Thonny [5, 13].

Programowanie jest jednak możliwe także przez SWD. Trzeba wtedy podłączyć programator do płytki za pomocą złącza SWD (3 piny) i zasilanie, np. za pomocą USB. Dodatkowo można w ten sposób debugować program. Jest też możliwość zaprogramowania drugiej płytki Pico jako sprzętowego programatora/debuggera [10, 12].

Fundacja Raspberry Pi wspiera zastosowanie języka MicroPython na procesorze RP2350/2354. Obecnie dostępne są obrazy interpreterów do obsługi rdzenia ARM Cortex-M33 oraz RISC-V na Pico 2 [15] oraz próbna wersja obrazu obsługi rdzenia ARM Cortex-M33 w module Pico 2W [16]. MicroPython w wersji na Pico 2 ma pozostać zgodny ze źródłem oryginalnego MicroPythona RPi Pico [1].

Środowiska programowania

Fundacja Raspberry Pi zaleca stosowanie środowiska Thonny oraz Microsoft Visual Studio Code (VS Code), co zostało opisane w dokumencie „Raspberry Pi Pico Python SDK" [13]. Pokazane są tam przykłady obsługi różnych modułów układu RP23xx oraz użycie środowiska Thonny i VS Code. Dokładny opis pracy z VS Code znalazł się w dokumencie „Getting Started with Pico-series Microcontrollers" [12]. Pełny opis SDK C/C++ jest w dokumencie „Raspberry Pi Pico C/C++ SDK" [14]. Poniżej zostanie opisana tylko praca z językiem MicroPython.

Praca Visual Studio Code z rdzeniem ARM oraz RISC-V

Visual Studio Code to popularny edytor open source opracowany przez Microsoft. Rozszerzenie Raspberry Pi Pico VS Code ułatwia instalowanie zależności i tworzenie oprogramowania na urządzenia z serii Pico.

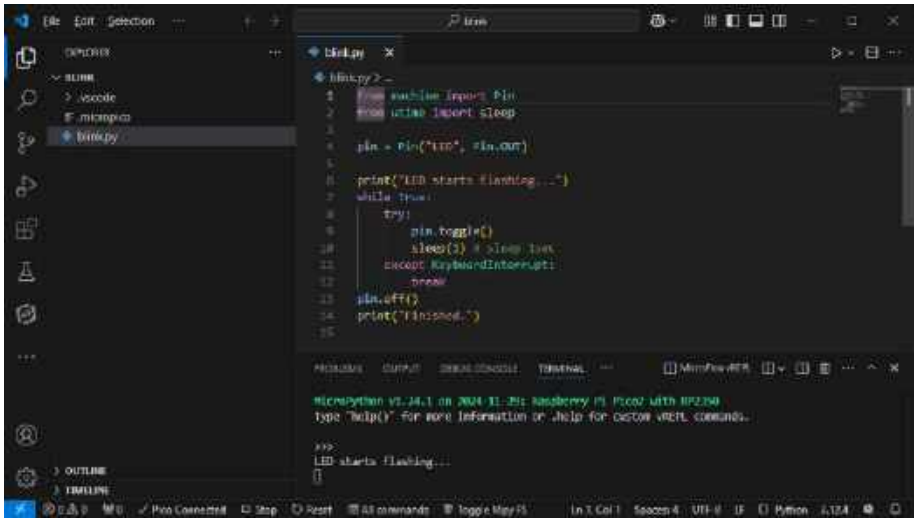
Rozszerzenie *Raspberry Pi Pico VS Code* pomaga tworzyć, rozwijać, uruchamiać i debugować projekty w Visual Studio Code. Zawiera generator projektów z wieloma opcjami szablonów, automatyczne zarządzanie łańcuchem narzędzi, kompilację projektu jednym kliknięciem i dokumentację offline Pico SDK. Rozszerzenie *Raspberry Pi Pico VS Code* obsługuje wszystkie urządzenia Raspberry Pi z serii Pico oraz języki Python i C/C++.

Płytka Pico 2 musi mieć wpisany interpreter MicroPythona z obsługą rdzenia **ARM lub RISC-V** [15]. W przypadku rdzenia ARM może to być wersja firmy od Pimoroni [17].

1. Na systemie Windows pobierz i zainstaluj aplikację VS Code z https://code.visualstudio.com/Download.
2. Po uruchomieniu VSC kliknij ikonkę *Extensions* i wyszukaj rozszerzenie *Raspberry Pi Pico* dostarczane przez Raspberry Pi. Kliknij przycisk *Install*.
3. Po zakończeniu instalacji sprawdź pasek boczny *Activity* (domyślnie po lewej stronie VS Code). Jeśli instalacja się powiedzie, to pojawi się nowa sekcja paska bocznego z ikoną Raspberry Pi Pico, oznaczona jako *Raspberry Pi Pico Project*.

Rozszerzenie Raspberry Pi Pico VS Code może tworzyć projekty na podstawie przykładów dostarczonych przez Pico Examples. Można na przykład utworzyć projekt, który miga diodą LED na urządzeniu z serii Pico:

4. Dołącz płytkę Pico 2 kablem microUSB do komputera.
5. Uruchom VS Code.
6. Na lewym pasku bocznym VS Code wybierz ikonę *Raspberry Pi Pico* oznaczoną jako Projekt Raspberry Pi Pico.
7. Wybierz *New MicroPython Project*.
8. W polu Nazwa wpisz *blink*.
9. Wybierz typ płytki odpowiadający posiadanemu urządzeniu.
10. W polu *Location* określ folder, w którym rozszerzenie może generować pliki. VS Code utworzy nowy projekt w podfolderze wybranego folderu.
11. Kliknij *Create*, aby utworzyć projekt. Rozszerzenie pobierze teraz SDK i zestaw narzędzi, zainstaluje je lokalnie i wygeneruje nowy projekt. Instalacja zestawu narzędzi w pierwszym projekcie może potrwać 5…10 minut. VS Code zapyta Cię, czy ufasz autorom, ponieważ automatycznie wygenerowany został katalog .vscode. Wybierz *Yes*. VS Code automatycznie znajdzie port COM, na którym jest widoczna płytka i połączy się z nią. Na pasku stanu będzie widoczna informacja *Pico Connected*. W oknie Explorer wyświetlone zostaną pliki folderu projektu.
12. Otwórz plik *blik.py* w edytorze.
13. Kliknij prawym klawiszem myszki na plik *blink.py* i wybierz *Upload file to Pico*.



Rysunek 3. Praca Pico2 z projektem języka MicroPython w Visual Studio Code

eprasa.pl e84dd9a9f2

```
import machine
import utime
led_onboard = machine.Pin(25, machine.Pin.OUT)
while True:
    led_onboard.toggle()
    utime.sleep(1)
```

Listing 1. Program testowy RPi Pico 2 [20]

14. Ponownie kliknij prawym klawiszem myszki na plik *blink.py* i wybierz *Run current file on Pico*.

Po przesłaniu kodu urządzenie zostanie uruchomione – dioda LED powinna migać co sekundę. Na dole okna powinna zostać otwarta karta terminala. Wyświetli ona informacje przesłane przez kod zapisany w pamięci Pico (**rysunek 3**).

Praca Thonny z rdzeniem ARM

Thonny to środowisko IDE o otwartym kodzie źródłowym, które służy do tworzenia i przesyłania programów MicroPython do różnych płytek, takich jak Raspberry Pi Pico/Pico 2, ESP32 i ESP8266 [5].

W tej części artykułu zostanie opisana łatwa procedura dołączenia i uruchomienia modułu Pico 2 z czujnikiem BME680 lub BME688 firmy Bosch poprzez szynę I²C.

1. Dołącz masę modułu BME68x do GND (PIN38) oraz zasilanie do 3V3 (OUT) – PIN37, a następnie linię SDA modułu BME68x do GP4 (PIN5), a linię SCL – do GP5 (PIN6) płytki Pico 2.
2. Pobierz najnowszy interpreter MicroPythona (plik *Pico2-v0.0.12-Pimoroni-micropython.uf2*) ze strony firmy Pimoroni [17].
3. Trzymając wciśnięty biały przycisk BOOTSEL, podłącz Pico2 do komputera kablem micro USB. Płytka będzie widoczna jako dysk RP2350 w eksploratorze plików Windows.
4. Skopiuj plik *.uf2* na Raspberry Pi Pico2.
5. Na komputerze zainstaluj najnowszą wersję programu Thonny.
6. Dołącz zaprogramowaną płytkę Pico 2 kablem USB do komputera.
7. Sprawdź w *Menadżerze urządzeń*, który port COM został przypisany do dołączonej płytki.
8. Uruchom program Thonny.
9. Kliknij ikonkę trzech linii w prawym dolnym rogu i wybierz *„Configure interpreter”*.
10. Ustaw typ interpretera na *„MicroPython (Raspberry Pi Pico)”*.
11. Z menu w prawym dolnym rogu wybierz *MicroPython (Raspberry Pi Pico) · Board CD @COMxx*.
12. Pobierz przykładowy program *bme68x_demo.py* odczytujący dane z czujnika BME680 z repozytorium firmy Pimoroni pod adresem [18].
13. W oknie *Files* kliknij prawym klawiszem myszy na plik *bme68x_demo.py* i wybierz *Upload to*.
14. Z okna *Raspberry Pi Pico* otwórz plik *main.py* (podwójne kliknięcie).
15. Kliknij przycisk *Stop/Restart backend*. Zobacz w oknie Shell, jakie wersje interpretera i rdzenia są wybrane (domyślny rdzeń to ARM).
16. Kliknij na przycisk *Run current script*.
17. W konsoli powinny być widoczne wyniki pomiarów.
18. W razie błędu dokonaj proponowanej w opisie zmiany w programie.

Praca Thonny z rdzeniem RISC-V

W Internecie można znaleźć wiele opisów pozwalających rozpocząć pracę z Pico z prostym kodem migającym diodą LED zamontowaną na płytce Pico 2/Pico 2W (dwa przykłady to: strona „Getting Started with Raspberry Pi Pico W Wireless” [19] oraz polecana przez Raspberry książka „Get Started with MicroPython on Raspberry Pi Pico” [20]). Przykładowy program pokazano na **listingu 1**.

19. Pobierz najnowszy interpreter MicroPythona dla rdzenia RISC-V w pliku *RPi_PiCO2-RISCV-20241129-v1.24.1.uf2* ze strony firmy MicroPythona [15].
20. Zapisz plik na płytce Pico 2.
21. W programie Thonny połącz się z Pico 2 i utwórz nowy plik *main.py* z programem mrugania diodą LED.
22. Uruchom program. W konsoli powinny być widoczne wyniki pomiarów.

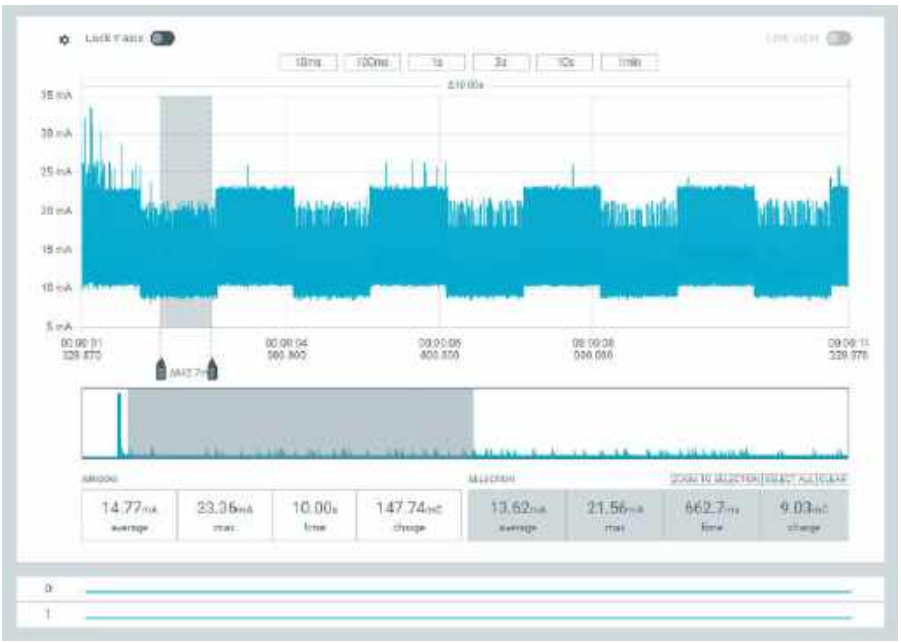
Resetowanie pamięci Flash

W przypadku modułów z serii Pico kod trybu BOOTSEL znajduje się w pamięci ROM (tylko do odczytu) wewnątrz układu RP2350 i nie można go przypadkowo nadpisać. Jeśli przycisk BOOTSEL zostanie przytrzymany podczas podłączania Pico, to płytka zawsze zgłosi się jako dysk, na który możesz przeciągnąć nowy plik UF2. Nie ma sposobu, aby uszkodzić płytkę za pomocą oprogramowania. Istnieją jednak pewne okoliczności, w których można chcieć upewnić się (lub spowodować), że pamięć Flash jest pusta. Można to zrobić przeciągając i upuszczając plik binarny *flash_nuke.uf2* na dysk Pico (do pobrania na końcu strony [10]). Wtedy program kasowania całej pamięci Flash zostanie wykonany i Pico powróci do pracy w trybie pamięci masowej.

Jeśli program w pliku main.py zawiera wywołanie funkcji *deep-sleep,* to redukuje ona pobór prądu układu RP2350, lecz jednocześnie uniemożliwia wybudzanie procesora. Nie pomaga ponowne przesłanie pliku interpretera MicroPythona w trybie pamięci masowej. Co ciekawe, dotyczy to tylko rdzenia, który był używany w pechowym programie. Wgranie interpretera MicroPythona dla innego rdzenia powoduje normalne działanie układu. Na razie dostępne interpretery MicroPythona domyślnie używają rdzenia ARM albo RISC-V z banku Core0.

Pobór mocy płytki RPi Pico 2

Do dynamicznego pomiaru prądu zasilania bardzo dobrze nadaje się zestaw Power Profiler Kit II (PPK2) firmy Nordic Semiconductor. Jest to samodzielny układ, który bez zewnętrznego sprzętu może mierzyć i dostarczać prądy od poniżej µA do 1 A. Dokładny opis PPK2 jest zamieszczony w artykule „Profilowanie mocy z zastosowaniem Power Profiler Kit II” [21].

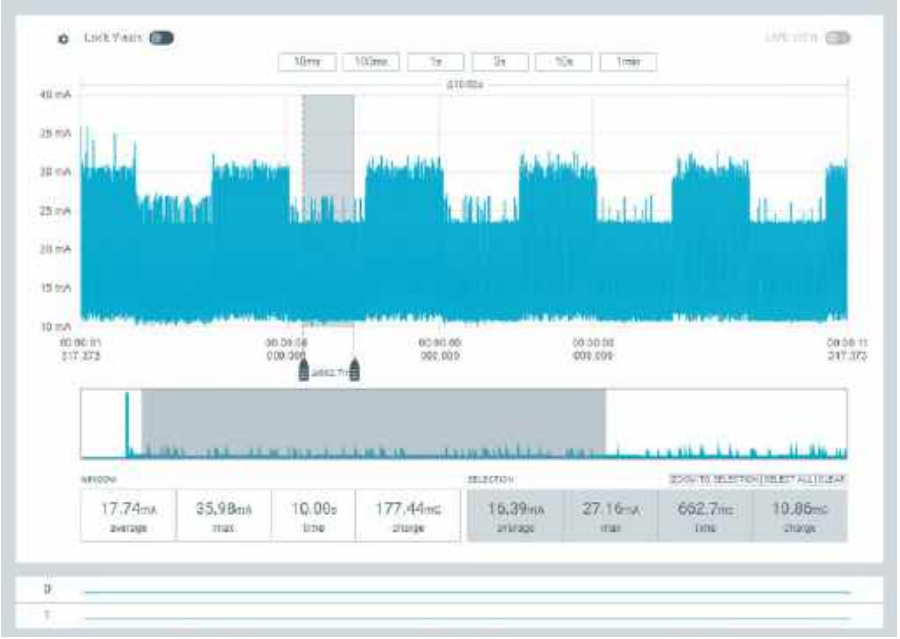


Rysunek 4. Pobór mocy rdzenia RISC-V dla programu testowego

eprasa.pl e84dd9a9f2

W przykładowych pomiarach został celowo zastosowany prosty program z książki [20], pokazany na listingu 1, który używa tylko podstawowych funkcji języka MicroPython.

Pobór prądu rdzenia RISC-V płytki Pico 2 podczas wykonywania programu testowego przy zasilaniu 5 V z pinu VBUS i zastosowaniu oryginalnego interpretera MicroPythona [15] pokazano na **rysunku 4**. Po włączeniu zasilania występuje pik prądu 0,6 A. Potem prąd spada do wartości średniej 18,43 mA (17,17 mA przy wyłączonej diodzie LED). Analogiczny wykres dla sytuacji, w której program jest wykonywany przez rdzeń ARM pod kontrolą interpretera MicroPythona firmy Pimoroni [17], pokazano na **rysunku 5** – pik natężenia wynosi 0,56 A, a prąd średni to 17,74 mA (16,39 mA przy wyłączonej diodzie LED).



Rysunek 5. Pobór mocy rdzenia ARM dla programu testowego

Pobór mocy rdzenia RISC-V układu RP2350 w opisanych testach jest nieco mniejszy niż przy użyciu rdzenia ARM, ale ponad trzy razy mniejszy niż w przypadku płytki poprzedniej generacji (RPi Pico z układem RP2040). Warto też zwrócić uwagę, że omawiane moduły wykazują zaskakująco duży prąd startowy, jak na zastosowaną przetwornicę DC/DC z wewnętrzną kontrolą soft-start.

Podsumowanie

Nie ma wątpliwości, że architektura ARM dominuje w przestrzeni procesorów wbudowanych, jednak jest silny konkurent: RISC-V. Zamiast podejmować ryzyko zbudowania nowego produktu w oparciu tylko i wyłącznie na RISC-V, firma Raspberry Pi umieściła rdzenie z obiema architekturami w swoim kolejnym układzie scalonym RP2350/2354, umożliwiając klientowi wybór tej pary rdzeni, które uzna za lepsze w danej sytuacji. To sprytny sposób oceny popytu rynkowego bez narażania się na zbyt duże koszty. Jest to pierwszy produkt Raspberry Pi bazujący na architekturze RISC-V, ale prawdopodobnie nie ostatni.

Płytka RPi Pico 2 jest bardzo interesująca. Za niewielkie pieniądze można rozpocząć pracę ze wschodzącą gwiazdą rynku Internetu Rzeczy – rdzeniem RISC-V. Zachowanie tego samego formatu i kompatybilności elektrycznej płytki Pico 2 z poprzednią serią Pico oznacza, że można szybko uaktualnić swoje projekty do nowszego sprzętu. Tym bardziej że oprogramowanie MicroPython pozostało praktycznie bez zmian. Pozwala to ogromnej liczbie projektów opartych na RP2040 kontynuować pracę w ekosystemie Pi, przy minimalnym ryzyku wystąpienia problemów związanych z migracją. A istnieją już tysiące projektów, które dobrze działają pod kontrolą RP2040.

Zastosowanie w układzie RP235x (i w płytkach Pico 2) portu microUSB w 2024 roku jest rozczarowujące. Przy totalnym przestawieniu produkcji elektroniki konsumenckiej na złącze USB-C jest to wyraźny problem. Trochę ratuje sytuację spora oferta płytek innych producentów z obsługą USB C.

Zdecydowanie spadł pobór mocy katalogowej w warunkach uśpienia układu, ale 188 μW to nadal dość duża moc jak na najniższy poziom zasilania. Niestety próby stanów obniżonej mocy w MicroPythonie zakończyły się zablokowaniem działania rdzenia RISC-V. Obsługa uśpienia procesora w MicroPythonie po prostu nie działa. Znacznie więcej możliwości daje programowanie RP235x w języku C/C++. Podstawą optymalnej pracy urządzeń IoT jest właściwe użycie trybów obniżonego poboru mocy oraz obsługa przerwań i wybudzania z uśpienia. A z tym wszystkim w implementacji języka MicroPython na RP235x wciąż nie jest najlepiej. Miejmy nadzieję, że to dopiero pierwsze wersje oprogramowania firmowego.

Praca RP235x z językiem C/C++, używanie rdzenia RISC-V oraz tryby pracy z obniżoną mocą to zdecydowanie szersze zagadnienia i będą one tematem następnych artykułów.

Henryk A. Kowalski, Grzegorz Mazur
Instytut Informatyki
Politechnika Warszawska

Bibliografia:

[1] Raspberry Pi Pico 2, our new $5 microcontroller board, on sale now, 8th Aug 2024, Eben Upton, Raspberry Pi, https://tiny.pl/0w8x-6tg
[2] Pi Pico 2 Extreme Teardown, 25th August 2024, https://tinyurl.com/2nuh2udh
[3] Raspberry Pi, https://www.raspberryPi.com/
[4] Pimoroni, https://shop.Pimoroni.com/
[5] Thonny Python IDE, https://thonny.org/
[6] RP2350 Datasheet, 2024-10-16, Raspberry Pi, https://tiny.pl/hz2nh9jd
[7] Hardware design with RP2350, 2024-10-15, Raspberry Pi, https://tiny.pl/k05n-nmy
[8] Raspberry Pi Pico 2 Datasheet, 2024-10-15, Raspberry Pi, https://tinyurl.com/yc6ezkp6
[9] Security through transparency: RP2350 Hacking Challenge results are in, 14th Jan 2025, Eben Upton, https://tiny.pl/6vvh94cg
[10] Pico 2 family, Raspberry Pi Pico 2, https://tinyurl.com/yc6ezkp6
[11] *Optymalizacja poboru mocy urządzenia IoT z płytką Raspberry Pi Pico W*, EP 5/2024, https://tiny.pl/d59hg
[12] Getting Started with Pico-series Microcontrollers. 2024-10-15, Raspberry Pi, https://tinyurl.com/vd7mm2h7
[13] Raspberry Pi Pico Python SDK, 2024-12-04, Raspberry Pi, https://tinyurl.com/y4xvj6he
[14] Raspberry Pi Pico C/C++ SDK, 2024-12-05, Raspberry Pi, https://tinyurl.com/zv62rrzp
[15] Pico 2, MicroPython, https://tinyurl.com/mv4y4en6
[16] Pico 2 W, MicroPython, https://tinyurl.com/3t4ftu56
[17] Pimoroni Pico MicroPython for RP2350/Pico2 boards, https://tiny.pl/3f_36rtn
[18] BME68X, Pimoroni, https://tiny.pl/f15c0tg8
[19] Getting Started with Raspberry Pi Pico W Wireless, https://tiny.pl/4p4rn7qm
[20] Get Started with MicroPython on Raspberry Pi Pico, Gareth Halfacree, Ben Everard, Raspberry Pi, 2024, https://tinyurl.com/4mpyk2h2
[21] Profilowanie mocy z zastosowaniem Power Profiler Kit II, EP 5/2022, https://tiny.pl/d93rd

eprasa.pl e84dd9a9f2

Konwersja analogowo-cyfrowa w technice audio (3)

W ostatniej części naszego cyklu poświęconego zagadnieniom konwersji A/C w zastosowaniach audio przyjrzymy się tematyce błędów, które wpływają na jakość cyfrowej reprezentacji sygnałów uzyskiwanej z wyjść przetworników analogowo-cyfrowych.

Błędy przetwarzania przetworników analogowo-cyfrowych

Producenci, marketing, ale także konsumenci określają jakość przetworników na podstawie dwóch parametrów: maksymalnej częstotliwości próbkowania i rozdzielczości. Bardziej zaawansowani porównują jednak także wartości THD+N i/lub SNR.

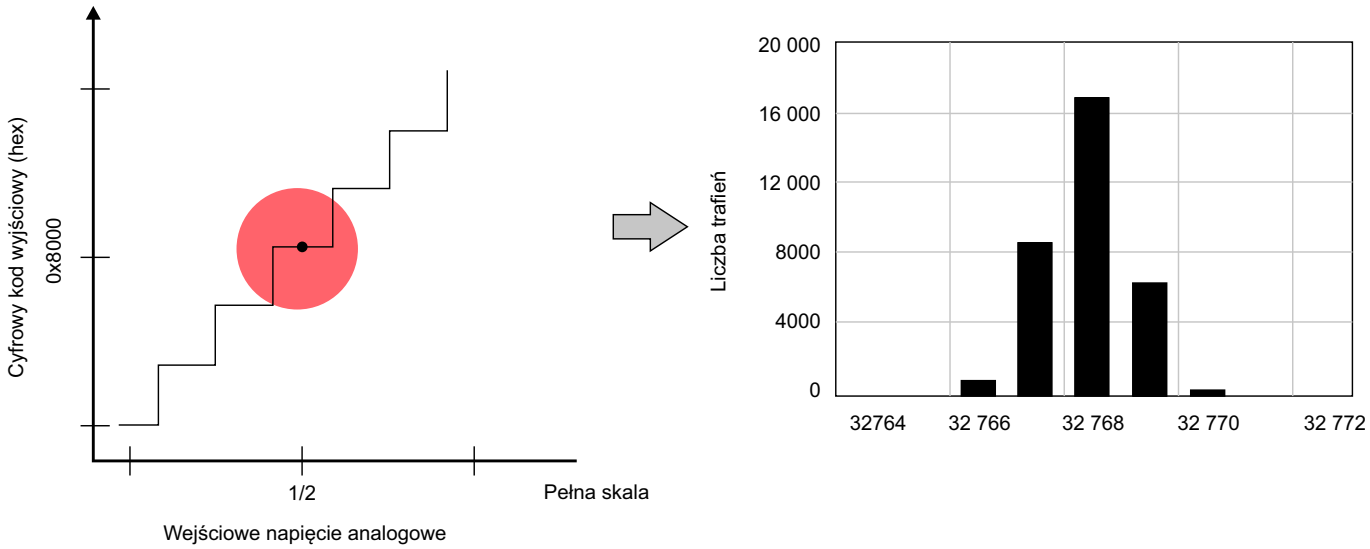
Zastanówmy się, czy przetwornik o n-bitowej rozdzielczości zadeklarowanej w folderze reklamowym (czy nawet w danych technicznych dostarczonych przez producenta) ma rzeczywiście zawsze taką właśnie rozdzielczość. Okazuje się, że istnieją czynniki, które degradują wynik procesu kwantyzacji. Należy więc rozróżnić dwa często mylone (lub używane zamiennie) pojęcia: rozdzielczość i dokładność przetwarzania.

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

Przez rozdzielczość najczęściej rozumiemy wyrażoną w bitach długość wyjściowego słowa danych przetwornika. Mówimy, że mamy przetwornik 16-bitowy, 20-bitowy, 24-bitowy itd. Rozdzielczości bitowej odpowiada rozdzielczość napięciowa, wyliczana w relacji do pełnego zakresu sygnału wejściowego, nazywanego napięciem odniesienia.

Wyobraźmy sobie, że mamy 16-bitowy przetwornik próbkujący napięcie przemienne o wartościach od 0 V do 4 V. Maksymalna wartość wyjściowa uzyskiwana z przetwornika to liczba $2^{16}-1=65535$. Zmiana kodu wyjściowego przetwornika o jeden bit na najmłodszej pozycji odpowiada napięciu odniesienia 4 V, podzielonemu przez 65536 (2^{16}), czyli około 61 μV. Wartość ta to napięciowa rozdzielczość przetwornika, zależna od długości słowa wyjściowego i maksymalnego napięcia wejściowego. Nie można zmierzyć napięcia wejściowego z dokładnością większą niż napięciowa rozdzielczość przetwornika. Często użytkownicy cyfrowego sprzętu audio

eprasa.pl e84dd9a9f2



Rysunek 25. Degradacja procesu przetwarzania spowodowana szumem napięcia analogowego

fascynują się przetwornikami próbkującymi z rozdzielczościami 24-bitowymi, a nawet 32-bitowymi. Znając maksymalne napięcie sygnału wejściowego, można wyliczyć, jakie napięcie odpowiada zmianie kodu wyjściowego na pozycji najmłodszego bitu.

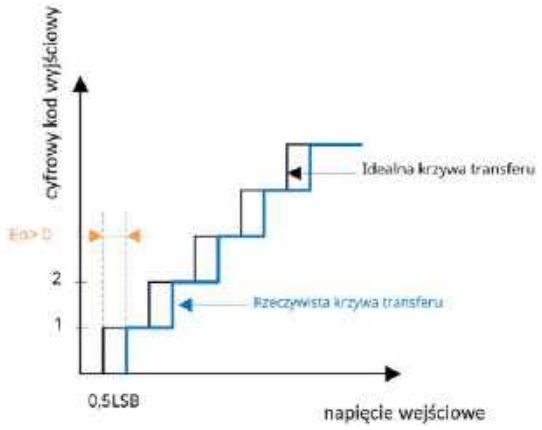
Musimy postawić sobie następujące pytanie: czy w praktyce możemy w urządzeniach konsumenckich osiągnąć deklarowaną rozdzielczość napięciową (na przykład dla napięcia wejściowego 4 V i rozdzielczości bitowej równej 16 bitów)? Tutaj jednym z kluczowych zjawisk jest szum wytwarzany przez tor przetwornika, na który składa się zarówno szum analogowy toru przetwornika, jak i szum toru przesyłowego, degradujący sygnał na wejściu konwertera A/C. Dlatego w parametrach przetworników często są podawane dwa różne parametry SNR: lepszy dla toru zbalansowanego i gorszy w przypadku toru SE (single-ended). W przetwornikach ADC z modulatorami ΔΣ duże znaczenie ma szum źródła napięcia odniesienia.

Teoretycznie jeżeli podamy na wejście przetwornika jakieś stałe napięcie, to na jego wyjściu powinniśmy dostać ten sam kod z każdej konwersji. Jednak im większa rozdzielczość bitowa, tym większe prawdopodobieństwo, że kod będzie inny. Zjawisko to jest powodowane szumem o losowych amplitudach, zbliżonych do napięciowej rozdzielczości przetwornika. Na **rysunku 25** pokazano wycinek idealnej funkcji przetwarzania 16-bitowego przetwornika w środku skali, czyli po podaniu na wejście ADC połowy maksymalnego napięcia. Na wyjściu przetwornika powinniśmy zawsze dostać kod równy 65536/2=32768. W rzeczywistości próbki wyjściowe – z powodu szumu – odbiegają od wartości oczekiwanej, co zostało pokazane w postaci czerwonych punktów tworzących koło wokół teoretycznej oczekiwanej wartości. Wykres obok pokazuje rozkład otrzymanej wartości wyjściowej w zależności od liczby prób (próbkowań). Największa liczba trafień przypada wprawdzie na oczekiwaną wartość 32768, ale spora część wyników trafia do słupków o wartościach 32768–1 i 327638+1.

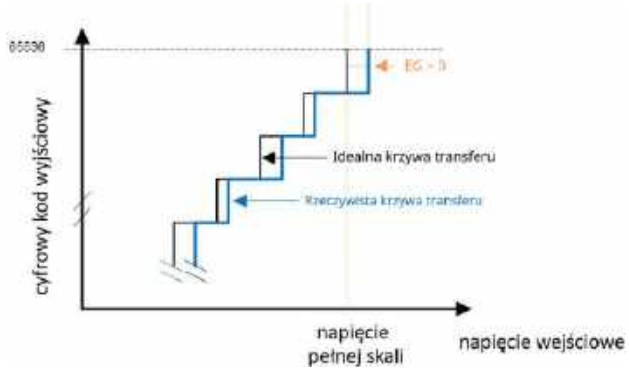
Widoczna jest zależność: im większa rozdzielczość kwantowania, tym wpływ szumu na degradację procesu kwantowania jest także większy. Żeby wykorzystać zalety większej rozdzielczości, musimy zadbać o odpowiedni stosunek sygnału do szumu. Ta zasada obowiązuje też na przykład w oscyloskopach cyfrowych. Wzrost rozdzielczości kwantowania, na przykład z 8 bitów do 12 bitów, musi być połączony z zastosowaniem analogowych układów wejściowych o zdecydowanie lepszych właściwościach szumowych.

W tym miejscu należy sobie postawić pytanie: czy jeżeli ta sama wartość napięcia wejściowego może dawać na wyjściu przetwornika różne wartości cyfrowe, to czy aktualna jest dalej definicja cyfrowej rozdzielczości przetwornika, na podstawie której możemy wyliczyć tylko szum kwantyzacji? Jak widać, w praktyce nie jest to takie proste.

W naszym przykładzie z rysunku 25 rozpatrywaliśmy przetwornik z idealną liniową charakterystyką przetwarzania, a degradacja przetwarzania była wynikiem tylko samego zaszumienia sygnału poddawanego kwantyzacji. W rzeczywistym świecie nie ma przetworników o idealnej charakterystyce przetwarzania

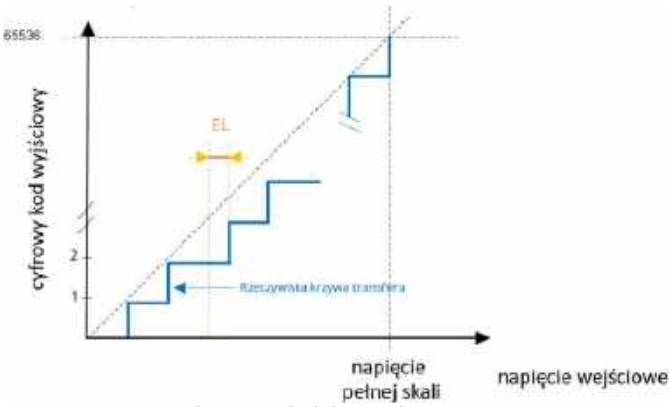


Rysunek 26. Błąd offsetu przetwornika



Rysunek 27. Błąd wzmocnienia

eprasa.pl e84dd9a9f2



Rysunek 28. Całkowity błąd nieliniowości

Rysunek 30. Ograniczenie zakresu dynamiki

– realne implementacje są trapione przez niedoskonałości, które powodują błędy dodatkowo degradujące wyniki konwersji A/C.

Błąd offsetu

Błąd offsetu (przesunięcia) jest to stała różnica między rzeczywistą a idealną krzywą przenoszenia przetwornika ADC – **rysunek 26**.

Błąd wzmocnienia

Błąd wzmocnienia jest to różnica pomiędzy rzeczywistym a idealnym nachyleniem charakterystyki przenoszenia. Wartość bezwzględna błędu wzmocnienia wzrasta, gdy wejście analogowe zbliża się do maksymalnego napięcia wejściowego (pełnej skali). Na **rysunku 27** widzimy przykład, w którym – po podaniu na wejście przetwornika napięcia odpowiadającego pełnej skali – powinniśmy otrzymać na wyjściu same jedynki. Inaczej mówiąc: dla 16-bitowego słowa powinna to być wartość 0xFFFF, czyli – w zapisie dziesiętnym – 65536. W wyniku błędu wzmocnienia przy tym napięciu wejściowym kod wyjściowy jest mniejszy od 0xFFFF.

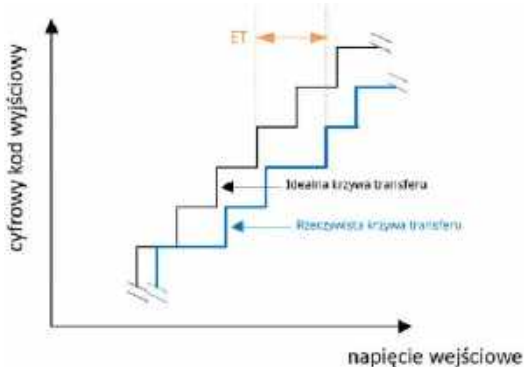
Całkowity błąd liniowości

Całkowity błąd liniowości to maksymalne odchylenie między rzeczywistą krzywą przenoszenia a linią odzwierciedlającą tak zwaną linię korelacji – **rysunek 28**.

Całkowity niekorygowany błąd jest zdefiniowany jako maksymalne odchylenie między rzeczywistymi i idealnymi charakterystykami przenoszenia, opisanymi na **rysunku 29**.

Inne błędy

Wiemy już, że na jakość (dokładność) konwersji analogowo-cyfrowej wpływają szumy sygnału wejściowego. Na wynikową jakość przetwarzania wpływają też inne czynniki zewnętrzne: zakres dynamiki sygnału wejściowego, temperatura, szumy zasilania i zakłócenia EMI.



Rysunek 29. Całkowity, niekorygowany błąd przetwornika

Dość istotnym zagadnieniem jest zapewnienie odpowiedniego zakresu dynamiki. Aby uzyskać maksymalną precyzję konwersji ADC, pożądane jest, aby maksymalne napięcie wejściowego sygnału analogowego było równe napięciu odniesienia, czyli napięciu pełnej skali.

Załóżmy, że sygnał do konwersji zmienia się od 0 V do 2,5 V, a napięcie referencyjne (pełnego zakresu) jest równe 3,3 V – **rysunek 30.** Maksymalna wartość sygnału konwertowanego przez ADC wynosi 49648 przy napięciu +2,5 V i przetwarzaniu 16-bitowym (2,5 V), jak pokazano na rysunku 30. W takim przypadku 15888 kodów wyjściowych (65536–49648=15888) pozostaje niewykorzystanych. Powoduje to utratę dokładności konwertowanego sygnału, a błąd okazuje się jeszcze większy, jeżeli przetwornik wykazuje dodatkowo mierzalne błędy nieliniowości.

Temperatura także ma duży wpływ na dokładność ADC. Zmiana warunków termicznych powoduje dryft dwóch błędów: błędu przesunięcia i błędu wzmocnienia.

Przyczyny powstawania błędów związanych ze środowiskiem pracy przetwornika określają sposoby zapobiegania tym błędom. Prawidłowy projekt i wykonanie toru analogowego może znacząco ograniczyć szumy i zakłócenia sygnału wejściowego. Stosowanie torów zbalansowanych to jeden z lepszych sposobów na eliminację zakłóceń toru przesyłowego. Z kolei użycie niskoszumowych zasilaczy i poprawny projekt PCB to ważne metody ograniczające zakłócenia pracy przetwornika.

Podsumowanie

Konwersja analogowo-cyfrowa nie jest operacją prostą do wykonania. Już sama teoria kwantowania okazuje się skomplikowana matematycznie. Celowo – aby nie zaciemniać obrazu samej idei – zrezygnowałem z przytaczania jej matematycznych podstaw. Czy zasady kierujące procesem kwantowania są potrzebne przeciętnemu elektronikowi, entuzjaście dobrego brzmienia? Przecież konwersja analogowo-cyfrowa jest wykonywana w studiach nagraniowych. Można tam zastosować zaawansowane i drogie rozwiązania, a przez to – uzyskać bardzo dobrą jakość. Wydawać się może, że o wiele ciekawsza jest odwrotna konwersja, cyfrowo-analogowa – bo musi być stosowana, jeżeli chcemy odtwarzać nagrania cyfrowe w domu. W takim punkcie widzenia jest trochę prawdy, ale zrozumienie procesu konwersji analogowo-cyfrowej ułatwia lepsze poznanie tajników procesu przetwarzania cyfrowo-analogowego. Dodatkowo z konwersją analogowo-cyfrową mamy często do czynienia na co dzień – tanie i łatwo dostępne karty muzyczne umożliwiają cyfrową rejestrację wysokiej jakości sygnałów analogowych. Warto zatem wiedzieć, jak owe przetworniki działają i jakie są techniczne ograniczenia procesu digitalizacji sygnałów analogowych.

Tomasz Jabłoński, EP

eprasa.pl e84dd9a9f2

Pomiary zespołów głośnikowych (1)

Tytuł jest bardzo obiecujący, ale już na wstępie wyjaśnijmy, że nazbyt ogólny wobec treści opracowania – nie będzie to kompendium wiedzy na temat pomiarów zespołów głośnikowych. Mimo to jesteśmy przekonani, że zaprezentowane informacje okażą się użyteczne dla wielu zainteresowanych tym tematem. Pokażemy bowiem szczegółowo techniki i metody, jakimi posługuje się redakcja miesięcznika „AUDIO" w pomiarach testowanych zespołów głośnikowych. Jednak w pierwszej części pochylimy się nad wprowadzeniem w problematykę pomiarów zespołów głośnikowych w ujęciu konstrukcyjnym, akustycznym i… historycznym.

Zespoły głośnikowe, podobnie jak słuchawki, są końcowym komponentem systemu rejestracji, transmisji i odtwarzania dźwięku. Sygnał elektryczny zostaje w nich z powrotem zamieniony na ciśnienie akustyczne. Taki proces potrafimy przeprowadzać od dawna dzięki kilku wynalazkom sprzed ponad stu lat. Postęp w technice, zwłaszcza cyfrowej, zapewnił już dobre, a nawet bardzo dobre rezultaty na innych etapach, czyli w pozostałych urządzeniach toru dźwiękowego (odtwarzacze, wzmacniacze), których zasadnicza konstrukcja ogranicza się do układów elektronicznych. Natomiast przetworniki elektroakustyczne, w tym głośniki i zespoły głośnikowe, wciąż okazują się dalekie od doskonałości. Powodem jest zupełnie inna zasada działania – elementy te nie są układami elektronicznymi, w których technika cyfrowa może zrobić rewolucję, lecz układami elektromechanicznymi – znaczenie mają zatem zupełnie inne zjawiska fizyczne i problemy, których nie daje się łatwo rozwiązać. Nie wchodząc głębiej w zasadę działania różnego rodzajów przetworników, wystarczy stwierdzić, że w żadnym z nich nie jest możliwe uzyskanie idealnego przetwarzania dostarczanej do nich energii elektrycznej na ciśnienie akustyczne. Zostaje ono obarczone zniekształceniami różnego rodzaju, których kompleksowy pomiar wymaga bardzo rozbudowanego systemu, a pełny obraz sytuacji jest nieosiągalny. Co gorsza, podejmowane próby syntetyzowania możliwych do uzyskania wyników pomiarów w jedną ocenę jakości spełzły na niczym. Trudności te doprowadziły wielu użytkowników (audiofilów), a także część konstruktorów – zwłaszcza mniej obytych z techniką – do wniosku, że pomiary mają w ogóle niewielką użyteczność, skoro i tak nie gwarantują prostych wniosków, a wymagają nakładu pracy, umiejętności i sprzętu.

O ile jeszcze można zgodzić się z twierdzeniem, że użytkownicy nie muszą wynikami pomiarów zawracać sobie głowy (chociaż i dla nich mogą one być ciekawe i pouczające), o tyle konstruowanie

eprasa.pl e84dd9a9f2

zespołu głośnikowego bez wsparcia systemu pomiarowego jest… wciąż możliwe, ale znacznie trudniejsze i rzadko prowadzi do najlepszych możliwych rezultatów. Ocena jakości przez indywidualnego użytkownika może być oparta na subiektywnych wrażeniach odsłuchowych – w końcu do tego służą kolumny i inny sprzęt – chociaż wielu chciałoby swój wybór wesprzeć świadomością, że budzące ich zainteresowanie kolumny czy wzmacniacz (również według obiektywnych kryteriów) reprezentują wysoki poziom, a brzmienie będzie naturalne dzięki prawidłowym charakterystykom. Dlatego zamieszczamy pomiary w czasopiśmie „AUDIO", który jest magazynem konsumenckim, jednak znaczna część jego czytelników – czy to wcześniej zarażonych pasją do konstruowania kolumn, czy pod wpływem takiej lektury – jest pomiarami zainteresowana.

Czytelnicy EP są jeszcze bliżsi zagadnień technicznych, więc potrzeba prowadzenia pomiarów podczas projektowania zespołów głośnikowych będzie dla nich tym bardziej zrozumiała.

Głównymi adresatami tego opracowania mają więc być początkujący konstruktorzy, którzy jeszcze nie mają praktyki w prowadzeniu pomiarów, ale już tkwi w nich przekonanie, że warto je robić. Dlatego na system pomiarowy i metody wykorzystywane przez redakcję „AUDIO" spojrzymy pod tym kątem – użyteczności nie tylko do badania gotowych zespołów głośnikowych, ale też do ich projektowania.

O jakie dokładnie pomiary chodzi?

Niedoskonałość w działaniu głośnika objawia się wieloma rodzajami zniekształceń, z których żadnych nie można lekceważyć, jednak szczególną pozycję zarówno w tradycji pomiarów, jak i pod względem rzeczywistego znaczeniA, mają zniekształcenia liniowe – czyli zaburzenia charakterystyki częstotliwościowej. O ile w elektronicznych urządzeniach audio zostały one niemal całkowicie wyeliminowane (zapewnione zostało liniowe przetwarzanie pasma akustycznego), o tyle w głośnikach, słuchawkach, mikrofonach i gramofonach (a więc urządzeniach, które przetwarzają energię elektryczną na mechaniczną lub odwrotnie) pozostają wciąż na wysokim poziomie, znacząco wpływając na charakter i jakość dźwięku.

Przyjrzyjmy się strukturze zespołu głośnikowego. Bez względu na to, czy będzie to konstrukcja pasywna, czy aktywna, prawie na pewno w jej składzie będą dwa lub więcej głośników różnego typu, odpowiedzialnych za różne zakresy częstotliwości – czyli będzie to tzw. zespół wielodrożny.

Producenci samych głośników, w znaczeniu komponentów służących do konstruowania kompletnych zespołów głośnikowych, przykładają wagę do różnych parametrów, a charakterystyka częstotliwościowa jest tylko jedną z nich. Kiedy głośniki – komponenty – znajdują się już w rękach konstruktora, na pewne parametry (np. zniekształcenia nieliniowe) ma on już niewielki wpływ (chyba że będzie multiplikował określonego typu głośniki w systemie, zapewniając niski poziom wysterowania każdego z nich, a w ślad za tym obniżając poziom zniekształceń), a na niektóre – decydujący. Również dysponując głośnikami o „ładnych" charakterystykach, należy włożyć dużo pracy i umiejętności w uzyskanie dobrze zrównoważonej charakterystyki całego zespołu.

Czy projektowania na podstawie pomiaru charakterystyk przetwarzania nie można zastąpić symulacjami? Nawet dysponując wiarygodnymi charakterystykami samych głośników (udostępnionymi przez producenta) i charakterystykami elektrycznymi stosowanych filtrów, trudno dokładnie wyznaczyć wypadkową charakterystykę zespołu głośnikowego. Po pierwsze, trzeba wziąć pod uwagę, że charakterystyki „firmowe" mierzone są przy głośnikach zainstalowanych w dużych, standardowych odgrodach pomiarowych, a w naszej konstrukcji będą montowane do frontów (obudowy) o innych wymiarach; samo to ma już duży wpływ na charakterystyki „wyjściowe" i to jeszcze przed właściwym filtrowaniem, bowiem układ krawędzi dookoła głośnika wpływa na rozkład odbić i efekt „ucieczki" dłuższych fal do tyłu (przejście z promieniowania w warunkach półprzestrzeni do promieniowania w przestrzeni otwartej). Programy symulacyjne dają możliwość wprowadzenia odpowiednich korekt, przy regularnych kształtach frontu, poprzez deklarowanie jego wymiarów wraz z określeniem pozycji głośnika, jednak nie są pod tym względem w pełni elastyczne.

Działanie filtrów biernych trzeba ustalić z uwzględnieniem zmiennej charakterystyki impedancji obciążenia (głośników), a nie czystej rezystancji odpowiadającej impedancji znamionowej, co pewnie wszyscy wiedzą i co też da się uwzględnić w programach symulacyjnych. Jednak nasze doświadczenia z kilkoma takimi programami pozwoliły zaobserwować znaczące różnice w wynikach uzyskiwanych tą metodą oraz na drodze rzeczywistych pomiarów.

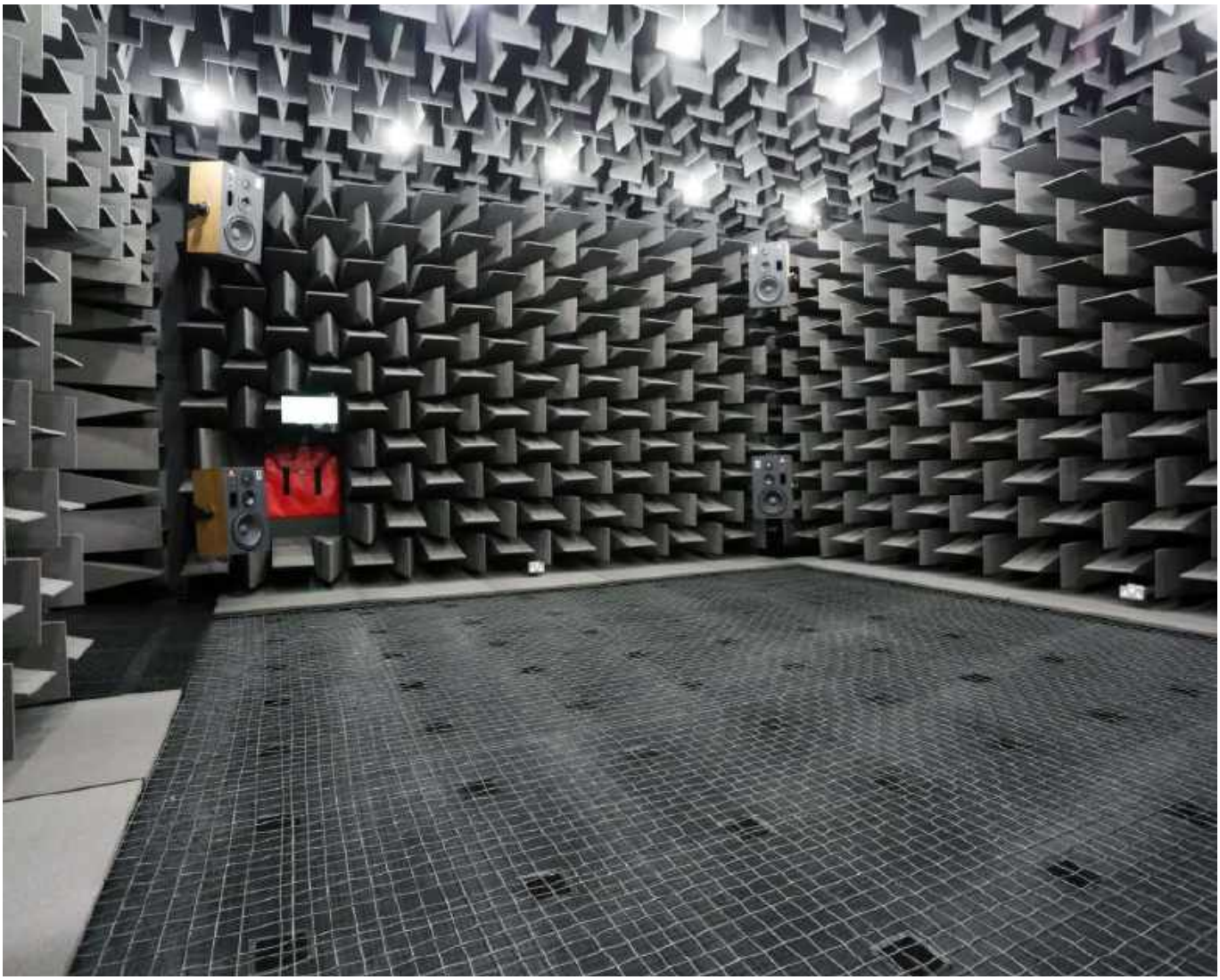
Sprawa komplikuje się jeszcze bardziej, gdy pod uwagę będziemy chcieli wziąć nie tylko charakterystykę z osi głównej, ale również te zmierzone pod innymi kątami. Tutaj zarówno charakterystyki dostarczone przez producenta, jak też kalkulacje i symulacje mogą okazać się dalece niewystarczające – można jednak posłużyć się metodą „kombinowaną" i taką polecamy na wstępnym etapie strojenia zwrotnicy. Polega ona na dokonaniu pomiarów charakterystyk głośników zainstalowanych w obudowie pod dowolnymi kątami (ale jeszcze niefiltrowanych), zaimportowanie ich do programu symulacyjnego, poddanie wirtualnemu filtrowaniu celem ustalenia charakterystyk wypadkowych. Nawet jeżeli nie będą one dokładnie zbieżne z rzeczywistymi charakterystykami, to pozwolą na szybki postęp prac, ułatwią eksperymenty z różnymi wariantami filtrowania, aż do uzyskania rezultatów na tyle satysfakcjonujących, że umożliwi to wykonanie prototypowej zwrotnicy („pająka"), której działanie zostanie zmierzone i… odsłuchane. Szlifowanie charakterystyk i brzmienia trzeba już wykonywać poprzez działanie na tym układzie i wymianę poszczególnych elementów.

Istnieją też bardzo zaawansowane systemy elektroniczne, które – podłączone do badanych głośników – symulują działanie rzeczywistych filtrów pasywnych, pozwalając dowolnie zmieniać ich konfiguracje i to w czasie rzeczywistym, co umożliwia dokonywanie i śledzenie dowolnych zmian, zarówno na mierzonych charakterystykach, jak i w brzmieniu. To jednak domena najlepiej wyposażonych firm, wykracza zatem poza poligon metod dostępnych na pograniczu działań amatorskich i profesjonalnych.

Chyba dostatecznie mocno uzasadniliśmy potrzebę dokonywania pomiarów, ale jeszcze zanim przejdziemy do praktycznych wskazówek, zrobimy mały wykład teoretyczny związany z ich historią i ogólnymi zasadami.

Zakładamy, że zespoły głośnikowe, które bierzemy tutaj pod uwagę, mają mieć zastosowanie głównie w domowych systemach audio; w takich warunkach powstaje wiele odbić i fal stojących, w znacznym stopniu wpływających na wypadkowe ciśnienie akustyczne – czy to w zaplanowanym miejscu odsłuchowym, czy też w każdym innym punkcie pomieszczenia. Do słuchacza docierają więc nie tylko fale biegnące bezpośrednio od zespołu głośnikowego, ale też odbite, znacznie wpływając nie tylko na wrażenia przestrzenne, ale też na charakterystykę częstotliwościową. Ponieważ jednak w każdym pomieszczeniu warunki są inne, nie ustandaryzowano metody pomiaru całej charakterystyki w arbitralnie przyjętym pomieszczeniu z jego specyficznymi rezonansami i przyjęto, że charakterystyki będące podstawą do oceny jakości, a przede wszystkim do porównywania zespołów głośnikowych, będą prowadzone zgodnie z zasadą

eprasa.pl e84dd9a9f2



Fotografia 1. Komora bezechowa to tradycyjnie najlepsze warunki pomiarów charakterystyk przetworników elektroakustycznych

eliminacji odbić i uwzględniania tylko fali biegnącej bezpośrednio z zespołu głośnikowego do mikrofonu, a więc w polu swobodnym: czyli w warunkach idealizowanych i niespełnionych w żadnym, nawet najlepiej zaadaptowanym akustycznie pomieszczeniu, ale jednoznacznie określonych. Jak jednak takie warunki stworzyć na użytek pomiarów?

Różni producenci budowali i wciąż budują tzw. komory bezechowe. Nazwa jest trochę myląca, bowiem echa nie mamy również w naszych pomieszczeniach mieszkalnych; chodzi nawet o coś więcej niż o zlikwidowanie pogłosu, gra toczy się o całkowite wyeliminowanie odbić. To kosztowny, ale najlepszy sposób na pomiar… większej części charakterystyki. Dla hobbystów i małych producentów, którzy komory bezechowej nigdy sobie nie zafundują, może to być mało ważne, ale warto wiedzieć, że nie ma komór bezechowych, które zapewniłyby bezbłędny pomiar w całym pasmie akustycznym; wytłumienie najniższych częstotliwości wymagałoby klinów (które pokrywają wszystkie ściany, sufit i podłogę komory) o długości kilkunastu metrów, co jest w praktyce niewykonalne. W swoim czasie największa w Europie komora bezechowa mieściła się w fabryce Tonsilu we Wrześni [1], a jej dolna częstotliwość graniczna wynosiła 50 Hz – poniżej pomiar był już zakłócony odbiciami. Większość komór bezechowych, średniej wielkości, ma dolną częstotliwość graniczną w okolicach 100 Hz, co w praktyce zupełnie wystarczy, bowiem najniższe częstotliwości można dobrze zmierzyć innym sposobem (o czym dalej), jak też wstępnie ustalić na drodze symulacji, więc inwestowanie fortuny w „pełnopasmowe" komory bezechowe nie ma sensu.

Przeszło trzydzieści lat temu, kiedy powstawały miesięczniki „Elektronika Praktyczna" i „AUDIO", każdy, kto chciał rzetelnie zaprojektować zespoły głośnikowe, musiał mieć dostęp nie tylko do (chociaż niewielkiej) komory bezechowej, ale też do związanego z nią systemu pomiarowego. Dlatego hobbystyczne projekty często były dalekie od profesjonalnego poziomu, mimo wiedzy i wysiłków ich twórców. Od tego czasu dużo się zmieniło, pojawiły się metody i systemy pomiarowe, które można uruchomić nawet w średniej wielkości pokoju. Nie kosztują krocie i każdy, kto traktuje to hobby poważnie – a tym bardziej każdy, kto ma ambicje być choćby małym producentem – powinien się w nie zaopatrzyć. Ci, którzy się przed tym opierają, nie zdają sobie sprawy, jak ogromnie ułatwia to pracę, jak przybliża do dobrych efektów, pozwalając na podstawie obiektywnych kryteriów szybko odrzucać nieudane rozwiązania i skupiać się na udanych, dopiero na późniejszym etapie przechodząc do prób odsłuchowych, które ostatecznie wyłaniają zwycięzcę.

O tych metodach napiszemy w następnym odcinku.

Andrzej Kisiel

[1] Komora firmy Tonsil spłonęła 25 maja 2013 roku

eprasa.pl e84dd9a9f2

Kurs Nordic nRF z BT (7)

Bluetooth LE – urządzenie centralne

W poprzednim odcinku symulowaliśmy działanie algorytmu urządzenia centralnego, używając poleceń w shellu Zephyra. Teraz rozszerzymy nasz firmware o funkcjonalność łączenia się z pilotem Bluetooth lub klawiaturą oraz odbierania informacji o wciśniętych klawiszach. W efekcie będziemy mogli jednocześnie sterować diodą LED na naszej płytce deweloperskiej za pomocą jej wbudowanych przycisków, aplikacji nRF Connect na smartfonie, poleceń shell w konsoli, a także dodatkowego urządzenia BLE.

Jak już wspominaliśmy w czwartej części tego kursu, standard Bluetooth pozwala na jednoczesną pracę w rolach *Central* i *Peripheral*. Telefon jako *Central* nawiązuje połączenie z płytką deweloperską nRF5340-DK, która wystawia serwis sterowania diodą jako *Peripheral*. Pilot (którego przykład pokazano na **fotografii 1**) bądź klawiatura BLE również pracuje w trybie *Peripheral*, więc to nasza płytka będzie miała za zadanie nawiązać połączenie i subskrybować odpowiednie charakterystyki.

Ponieważ w poprzednim odcinku dość szczegółowo omówiliśmy urządzenia HID oraz cały proces komunikacji z nimi, teraz skupimy się na zastosowaniu tej wiedzy w praktycznej implementacji.

Konfiguracja płytki

Zaczniemy od rekonfiguracji projektu w pliku prj.conf (**listing 1**).

Dodane opcje konfiguracyjne `CONFIG_BT_MAX_CONN` i `CONFIG_BT_MAX_PAIRED` zwiększą liczbę możliwych połączeń. Co prawda przewidujemy obsługę tylko jednego urządzenia HID, ale będziemy mogli sparować się z więcej niż jednym telefonem.

Fotografia 1. Pilot BLE

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

Następnie włączamy moduł GATT Discovery Manager, który upraszcza proces odkrywania serwisów i charakterystyk GATT oraz zwiększamy domyślną liczbę atrybutów, które powinien obsłużyć, do 128.

Dalej włączamy obsługę modułu skanowania BLE, który umożliwia detekcję urządzeń w otoczeniu wraz z możliwością

```
CONFIG_GPIO=y

CONFIG_SERIAL=y
CONFIG_CONSOLE=y
CONFIG_UART_CONSOLE=y

CONFIG_LOG=y
CONFIG_LOG_PROCESS_THREAD_SLEEP_MS=100

CONFIG_USE_SEGGER_RTT=y
CONFIG_LOG_BACKEND_RTT=y

CONFIG_SHELL=y
CONFIG_SHELL_BACKEND_SERIAL=y

CONFIG_GPIO_SHELL=y

CONFIG_BT=y
CONFIG_BT_PERIPHERAL=y
CONFIG_BT_DEVICE_NAME="Led control"

CONFIG_BT_SMP=y
CONFIG_BT_PRIVACY=y
CONFIG_BT_FIXED_PASSKEY=y

CONFIG_BT_SHELL=y
CONFIG_BT_CENTRAL=y
CONFIG_BT_GATT_CLIENT=y

CONFIG_BT_MAX_CONN=4
CONFIG_BT_MAX_PAIRED=4

CONFIG_BT_GATT_DM=y
CONFIG_BT_GATT_DM_MAX_ATTRS=128

CONFIG_BT_SCAN=y
CONFIG_BT_SCAN_FILTER_ENABLE=y
CONFIG_BT_SCAN_UUID_CNT=1

CONFIG_BT_HOGP=y

CONFIG_BT_L2CAP_TX_BUF_COUNT=12
```

Listing 1. Plik prj.conf – docelowa konfiguracja

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

eprasa.pl e84dd9a9f2

```
#include <zephyr/bluetooth/bluetooth.h>
#include <zephyr/bluetooth/gatt.h>

#include „bt_control.h”
#include „bt_central.h”

#include <zephyr/logging/log.h>
LOG_MODULE_REGISTER(bt_control, LOG_LEVEL_DBG);

// advertisement data (AdvData)
static const struct bt_data adv_data[] = {
    BT_DATA_BYTES(BT_DATA_FLAGS, (BT_LE_AD_GENERAL | BT_LE_AD_NO_BREDR)),
    BT_DATA(BT_DATA_NAME_COMPLETE, CONFIG_BT_DEVICE_NAME, (sizeof(CONFIG_BT_DEVICE_NAME)-1)),
};

static void connected_cb(struct bt_conn *conn, uint8_t err) {
    if (err) {
        LOG_ERR(„Connection failed. error:%u”, err);
        return;
    }

    struct bt_conn_info info;
    int ret = bt_conn_get_info(conn, &info);
    if (ret == 0) {
        char addr_dst[BT_ADDR_LE_STR_LEN];
        bt_addr_le_to_str(info.le.dst, addr_dst, sizeof(addr_dst));
        LOG_INF(„Connected to: %s”, addr_dst);
    } else {
        LOG_ERR(„MAC read failed”);
    }

    if (info.role == BT_CONN_ROLE_CENTRAL) {
        LOG_INF(„Connected as CENTRAL”);
        bt_central_connected(conn);
    }
    if (info.role == BT_CONN_ROLE_PERIPHERAL) {
        LOG_INF(„Connected as PERIPHERAL”);
    }
}

static void disconnected_cb(struct bt_conn *conn, uint8_t reason) {
    LOG_INF(„Disconnected. Reason: %u”, reason);
}

static void security_changed_cb(struct bt_conn *conn, bt_security_t level, enum bt_security_err err)
{
    if (!err) {
        LOG_INF(„Security changed to BT_SECURITY_L%d”, level);
    } else {
        LOG_ERR(„Security change failed: %d”, err);
    }
}
static struct bt_conn_cb conn_callbacks = {
    .connected = connected_cb,
    .disconnected = disconnected_cb,
    .security_changed = security_changed_cb
};

static void pairing_complete_cb(struct bt_conn *conn, bool bonded) {
    char addr[BT_ADDR_LE_STR_LEN];

    bt_addr_le_to_str(bt_conn_get_dst(conn), addr, sizeof(addr));

    LOG_INF(„Pairing completed: %s, bonded: %d”, addr, bonded);
}
static void pairing_failed_cb(struct bt_conn *conn, enum bt_security_err reason) {
    char addr[BT_ADDR_LE_STR_LEN];

    bt_addr_le_to_str(bt_conn_get_dst(conn), addr, sizeof(addr));

    LOG_ERR(„Pairing failed conn: %s, reason %d”, addr, reason);
}
static struct bt_conn_auth_info_cb conn_auth_info_callbacks = {
    .pairing_complete = pairing_complete_cb,
    .pairing_failed = pairing_failed_cb,
};

static void auth_passkey_display_cb(struct bt_conn *conn, unsigned int passkey) {
    char addr[BT_ADDR_LE_STR_LEN];

    bt_addr_le_to_str(bt_conn_get_dst(conn), addr, sizeof(addr));

    LOG_INF(„Passkey for %s: %06u”, addr, passkey);
}
static void auth_cancel_cb(struct bt_conn *conn) {
    LOG_INF(„Pairing cancelled.”);
}
static struct bt_conn_auth_cb conn_auth_callbacks = {
    .passkey_display = auth_passkey_display_cb,
    .passkey_entry = NULL,
    .cancel = auth_cancel_cb
};

void bt_ready_cb(int status) {
    int err=0;

    //MAC
    bt_addr_le_t addrs[CONFIG_BT_ID_MAX];
    size_t count = CONFIG_BT_ID_MAX;
    bt_id_get(addrs, &count);

    //print MAC
    if (count > 0) {
        char addr_str[BT_ADDR_LE_STR_LEN];
        bt_addr_le_to_str(&addrs[0], addr_str, sizeof(addr_str));
        LOG_DBG(„BLE MAC: %s”, addr_str);
    } else {

        LOG_ERR(„Error while getting MAC”);
    }

    err =  bt_central_scan_start();
    if (err) {
        LOG_ERR(„Failed to connect”);
    }

    k_msleep(5000);
```

Listing 2. Plik bt_control.c

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

eprasa.pl e84dd9a9f2

zastosowania filtrów. Będziemy wykrywać urządzenia HID na podstawie rozgłaszanego przez nie identyfikatora serwisu HID.

Włączenie modułu HOGP (HID over GATT Profile) zautomatyzuje proces subskrybowania charakterystyk urządzenia HID.

Ostatnia opcja zwiększa liczbę kanałów komunikacyjnych z niższymi warstwami stosu BLE do wartości zalecanej w przypadku urządzeń HID.

Jak już wiemy, mikrokontroler nRF5340 ma dwa rdzenie Arm® Cortex®-M33: jeden aplikacyjny i jeden sieciowy (Bluetooth). Musimy jeszcze poinformować część sieciową o większej liczbie możliwych połączeń. W głównym katalogu projektu dodajemy katalog „child_image", a w nim plik „hci_ipc.conf" zawierający tylko jedną linijkę:

```
CONFIG_BT_CTLR_SDC_PERIPHERAL_COUNT=4
```

Teraz buildsystem automatycznie uwzględni ten plik przy budowie obrazu dla procesora sieciowego.

```
    bt_central_scan_stop();

    // Start advertising
    err = bt_le_adv_start(BT_LE_ADV_CONN, adv_data, ARRAY_SIZE(adv_data), NULL, 0);
    if (err) {
        LOG_ERR(„BLE advertisement error: %d", err);
    } else {
        LOG_DBG(„BLE advertisement started");
    }
}

int bt_control_init(void) {

    LOG_DBG(„BLE init..."");

#ifdef CONFIG_BT_FIXED_PASSKEY
    int err = bt_passkey_set(777777);
    if (err) {
        LOG_ERR(„Unable to set passkey (err: %d)", err);
    }
#endif

    //Register connected/disconnected callbacks
    bt_conn_cb_register(&conn_callbacks);

    //Register pairing callbacks
    err = bt_conn_auth_cb_register(&conn_auth_callbacks);
    if (err) {
        LOG_ERR(„Failed to register authorization callbacks.");
    }

    //Register pairing info callbacks
    err = bt_conn_auth_info_cb_register(&conn_auth_info_callbacks);
    if (err) {
        LOG_ERR(„Failed to register authorization info callbacks.");
    }

    int ret = bt_enable(bt_ready_cb);
    if (ret) {
        LOG_ERR(„BLE init error: %d", ret);
        return ret;
    }

    return ret;
}
```

Listing 2. Plik bt_control.c – cd.

Aplikacja

Urządzenie Bluetooth LE nie może jednocześnie skanować i rozgłaszać, ponieważ obie te funkcje korzystają z tego samego interfejsu radiowego. Dlatego po włączeniu naszej płytki procesor rozpocznie skanowanie i – jeśli znajdzie urządzenie HID – nawiąże z nim połączenie. Po upływie pięciu sekund skanowanie zostanie zakończone, a płytka zacznie rozgłaszać, aby umożliwić połączenie ze smartfonem.

Główny przepływ części Bluetooth naszego programu będzie wyglądał następująco:

1. włączenie i zainicjowanie stosu BLE – funkcja `bt_control_init()`,
2. inicjalizacja i rozpoczęcie skanowania w poszukiwaniu urządzenia HID – funkcja `bt_central_scan_start()`.
3. wyłączenie skanowania po upływie pięciu sekund – `bt_central_scan_stop()`,
4. rozpoczęcie rozgłaszania (advertising) i oczekiwanie na połączenie z telefonem – funkcja `bt_le_adv_start`.

W tym celu wprowadzamy tylko dwie główne zmiany w pliku bt_control.c (**listing 2**):

- dodajemy wywołania `bt_central_scan_start()` i `bt_central_scan_stop()` w ciele funkcji `bt_ready_cb()`,
- dodajemy wywołanie `bt_central_connected()` w ciele funkcji `connected_cb()`, ale tylko wtedy, jeśli nasza płytka łączy się poprzez Bluetooth w roli *Central*.

Algorytm pracy jako *Central*

Przypomnijmy, że w poprzednim odcinku odczyt klawiszy pilota osiągnęliśmy, używając następujących komend w konsoli:

- `bt scan on`,
- `bt connect`,
- `bt security 2`,
- `gatt discover`,
- `gatt subscribe <handle CCC> <handle wartości>`.

Według tego samego schematu działa nowa część naszego programu. Całość zawiera się w nowych plikach: bt_central.c (**listing 3**) oraz bt_central.h (**listing 4**).

Logika algorytmu opiera się na wywoływaniu kolejnych funkcji zwrotnych (tzw. callbacków).

```
#include <zephyr/bluetooth/bluetooth.h>
#include <zephyr/bluetooth/conn.h>
#include <zephyr/bluetooth/uuid.h>
#include <zephyr/bluetooth/gatt.h>
#include <bluetooth/scan.h>
#include <bluetooth/services/hogp.h>

#include „led_control.h"

#include <zephyr/logging/log.h>
LOG_MODULE_REGISTER(bt_central, LOG_LEVEL_DBG);

static struct bt_hogp hogp;

static void button_callback(const uint8_t id, const uint8_t *data,
                const uint8_t size) {
    if ((id == 1) && (size == 2)) {

        uint8_t button_val = data[0];

        if (button_val == 0x01) {
            led_send((led_msg){ LED_STATE, 0 });
        } else if (button_val == 0x02) {
            led_send((led_msg){ LED_STATE, 1 });
        } else if (button_val == 0x04) {
            led_send((led_msg){ LED_BLINK, 500 });
        } else if (button_val == 0x08) {
            led_send((led_msg){ LED_BLINK, 100 });
        }
    }
}

static uint8_t hogp_notify_cb(struct bt_hogp *hogp,
                struct bt_hogp_rep_info *rep,
                uint8_t err, const uint8_t *data) {

    if (!data) {
        LOG_DBG(„No data");
        return BT_GATT_ITER_STOP;
    }

    uint8_t id = bt_hogp_rep_id(rep);
    uint8_t size = bt_hogp_rep_size(rep);

    struct bt_conn_info info;
    bt_conn_get_info(hogp->conn, &info);

    char addr[BT_ADDR_LE_STR_LEN];
    bt_addr_le_to_str(info.le.dst, addr, sizeof(addr));

    LOG_INF(„Notification from %s: id:%u, size:%u", addr, id, size);
    LOG_HEXDUMP_INF( data, size, „Notification data:");

    button_callback(id, data, size);

    return BT_GATT_ITER_CONTINUE;
}

static void hids_on_ready(void) {

    struct bt_hogp_rep_info *rep = NULL;

    LOG_INF(„HIDS ready");

    while (NULL != (rep = bt_hogp_rep_next(&hogp, rep))) {
        enum bt_hids_report_type type = bt_hogp_rep_type(rep);
```

Listing 3. Plik bt_central.c

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

eprasa.pl e84dd9a9f2

```
        int id = bt_hogp_rep_id(rep);
        if (type == BT_HIDS_REPORT_TYPE_INPUT) {
            LOG_INF("Subscribe to report id: %u", id);
            int err = bt_hogp_rep_subscribe(&hogp, rep, hogp_notify_cb);
            if (err) {
                LOG_ERR("Subscribe error");
            }
        }
    }
}

static void scan_filter_match(struct bt_scan_device_info *device_info,
                  struct bt_scan_filter_match *filter_match,
                  bool connectable) {

    char addr[BT_ADDR_LE_STR_LEN];
    bt_addr_le_to_str(device_info->recv_info->addr, addr, sizeof(addr));
    LOG_INF("Filter match on device %s", addr);
}

static void scan_connecting_error(struct bt_scan_device_info *device_info) {
    LOG_ERR("Connecting failed");
}

static void scan_connecting(struct bt_scan_device_info *device_info,
                struct bt_conn *conn) {
    LOG_INF("Connecting");
}

static void scan_filter_no_match(struct bt_scan_device_info *device_info,
                bool connectable) {

    char addr[BT_ADDR_LE_STR_LEN];
    bt_addr_le_to_str(device_info->recv_info->addr, addr, sizeof(addr));
    LOG_INF("no filter match on device %s", addr);
}

BT_SCAN_CB_INIT(scan_cb, scan_filter_match, scan_filter_no_match,
        scan_connecting_error, scan_connecting);

void bt_central_scan_stop(void) {
    bt_scan_stop();
    LOG_INF("Scanning stopped");
}

static void hogp_ready_cb(struct bt_hogp *hogp) {
    LOG_DBG("HOGP ready");
    hids_on_ready();
}

static void hogp_prep_fail_cb(struct bt_hogp *hogp, int err)
{
    LOG_ERR("ERROR: HIDS client preparation failed!");
}

static void hogp_pm_update_cb(struct bt_hogp *hogp)
{
    LOG_INF("Protocol mode updated");
}

static const struct bt_hogp_init_params hogp_init_params = {
    .ready_cb       = hogp_ready_cb,
    .prep_error_cb  = hogp_prep_fail_cb,
    .pm_update_cb   = hogp_pm_update_cb
};

static void discovery_completed_cb(struct bt_gatt_dm *dm,
                    void *context) {
    int err;

    LOG_INF("Discovery ok");

    bt_gatt_dm_data_print(dm);

    err = bt_hogp_handles_assign(dm, &hogp);
    if (err) {
        LOG_ERR("Handles assign failed - error: %d", err);
    }

    err = bt_gatt_dm_data_release(dm);
    if (err) {
        LOG_ERR("Release iscovery data failed, error: %d", err);
    }
}

static void discovery_service_not_found_cb(struct bt_conn *conn,
                        void *context) {
    LOG_ERR("Discovery service not found");
}

static void discovery_error_found_cb(struct bt_conn *conn,
                        int err,
                        void *context) {
    LOG_ERR("Discovery failed - error: %d", err);
}

static const struct bt_gatt_dm_cb discovery_cb = {
    .completed = discovery_completed_cb,
    .service_not_found = discovery_service_not_found_cb,
    .error_found = discovery_error_found_cb,
};

static void gatt_discover(struct bt_conn *conn) {
    LOG_DBG("Discovery starting");

    int err = bt_gatt_dm_start(conn, BT_UUID_HIDS, &discovery_cb, NULL);
    if (err) {
        LOG_ERR("Discovery starting error: %d", err);
    }
}

void bt_central_connected(struct bt_conn *conn) {
    int ret = bt_conn_set_security(conn, BT_SECURITY_L2);
    if (ret == 0) {
        LOG_INF("Started changing security level");
    } else {
        LOG_ERR("Security level change failed - err: %d", ret);
```

Listing 3. Plik bt_central.c – cd.

Wywołanie `bt_central_scan_start()` rozpocznie skanowanie z włączonym filtrem. Zwróćmy uwagę na ustawiony tutaj parametr `connect_if_match = 1`. Powoduje on, że w przypadku znalezienia urządzenia spełniającego warunki filtra (czyli rozgłaszającego serwis HID) nastąpi automatyczne nawiązanie połączenia.

Nawiązanie połączenia powoduje wywołanie callbacka `connected_cb()`, który z kolei spowoduje wykonanie kodu zawartego w `bt_central_connected()`.

Funkcja `bt_central_connected()` podnosi poziom bezpieczeństwa połączenia do L2 (szyfrowanie i uwierzytelnianie), inicjalizuje obsługę HID (m.in. ustawiając callbacki modułu HOGP) oraz rozpoczyna odkrywanie usług na podłączonym urządzeniu pod kątem serwisu HID (poprzez parametr `BT_UUID_HIDS`).

Zakończenie procesu odkrywania usług powinno wywołać kolejnego callbacka: `discovery_completed_cb()`. W tym momencie warto bliżej przyjrzeć się funkcji `bt_gatt_dm_data_print()`. Przy obecnej konfiguracji projektu nic ona nie robi, ale jeśli dodamy opcję `CONFIG_BT_GATT_DM_DATA_PRINT=y` do pliku prj.conf, to wspomniany fragment kodu wyświetli nam zestaw informacji o serwisie HID.

Następnie funkcja `bt_hogp_handles_assign()` wyszukuje raporty HID i przypisuje ich uchwyty do struktury *hogp*. W poprzednim odcinku kursu zrobiliśmy to „na piechotę", sprawdzając, jak atrybuty powiązane są z uchwytami. Na końcu zwalniamy pamięć zajętą podczas odkrywania usług funkcją `bt_gatt_dm_data_release()`.

Gdy uchwyty serwisu HID zostaną poprawnie przypisane, wywołana będzie funkcja `hogp_ready_cb()`, która z kolei uruchomi `hids_on_ready()`. W opisywanej procedurze spinamy interesujące nas raporty wejściowe urządzenia HID z finalnym callbackiem `hogp_notify_cb()`. Moduł HOGP automatycznie subskrybuje odpowiednie charakterystyki. Na koniec, już po wysłaniu notyfikacji przez pilota o wciśniętym przycisku, w logach zobaczymy informację o numerze raportu, jego rozmiarze oraz wartościach (co widać na końcu **listingu 5**).

Teraz pozostaje jedynie przekazanie danych do funkcji dekodującej zmianę stanu diody LED, co robimy w funkcji `button_callback()` niemal identycznie, jak przy obsłudze przycisków na płytce.

Uruchomienie

Ponieważ wszystko ma się wydarzyć automatycznie, uruchomienie aplikacji okaże się proste. Urządzenie BLE ustawiamy w tryb parowania, a następnie włączamy lub resetujemy naszą płytkę. Na listingu 5

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

eprasa.pl e84dd9a9f2

```
    }
    bt_hogp_init(&hogp, &hogp_init_params);
    gatt_discover(conn);
}


int bt_central_scan_start(void) {
    int err;

    struct bt_scan_init_param scan_init = {
        .connect_if_match = 1,
        .scan_param = NULL,
        .conn_param = BT_LE_CONN_PARAM_DEFAULT
    };

    bt_scan_init(&scan_init);
    bt_scan_cb_register(&scan_cb);

    err = bt_scan_filter_add(BT_SCAN_FILTER_TYPE_UUID, BT_UUID_HIDS);
    if (err) {
        LOG_ERR(„Scanning filters cannot be set - err: %d)”, err);
        return err;
    }

    err = bt_scan_filter_enable(BT_SCAN_UUID_FILTER, true);
    if (err) {
        LOG_ERR(„Filters cannot be turned on - err %d”, err);
        return err;
    }

    err = bt_scan_start(BT_SCAN_TYPE_SCAN_ACTIVE);
    if (err) {
        LOG_ERR(„Scanning failed to start - err: %d”, err);
        return err;
    }

    LOG_DBG(„Scanning started”);
    return err;
}
```

Listing 3. Plik bt_central.c – cd.

```
#pragma once

int bt_central_scan_start(void);
void bt_central_scan_stop(void);
void bt_central_connected(struct bt_conn *conn);
```

Listing 4. Plik bt_central.h

pokazano przykładowy log z testów aplikacji, w którym kolejne naciśnięcia przycisków pilota powodują włączanie i wyłączanie diody.

Podsumowanie

To był już ostatni odcinek naszego kursu. Choć zaprezentowany materiał był jedynie wprowadzeniem w temat Zephyra i Bluetooth LE, to i tak udało nam się omówić szeroki zakres zagadnień – od konfiguracji projektu, przez implementację algorytmu urządzenia centralnego, aż po testowanie współpracy z urządzeniami HID. System Zephyr oraz nRF Connect SDK znacząco ułatwiły realizację tych zadań, oferując gotowe moduły i narzędzia, które znacznie przyspieszają rozwój aplikacji. Teorii było sporo, ale efekt końcowy – choć skromny – pokazuje, że już na tym etapie można stworzyć funkcjonalne rozwiązanie BLE. Dziękujemy za udział w kursie i zachęcamy do dalszego eksplorowania możliwości Zephyra!

Krzysztof Kierys
Paweł Jachimowski

```
[00:00:15.048,004] <dbg> bt_control: bt_control_init: BLE init...
[00:00:15.062,744] <inf> bt_hci_core: HW Platform: Nordic Semiconductor (0x0002)
[00:00:15.062,774] <inf> bt_hci_core: HW Variant: nRF53x (0x0003)
[00:00:15.062,805] <inf> bt_hci_core: Firmware: Standard Bluetooth controller (0x00) Version 54.58864 Build 1214809870
[00:00:15.065,093] <inf> bt_hci_core: Identity: F5:20:E7:1F:38:EF (random)
[00:00:15.065,124] <inf> bt_hci_core: HCI: version 5.4 (0x0d) revision 0x218f, manufacturer 0x0059
[00:00:15.065,155] <inf> bt_hci_core: LMP: version 5.4 (0x0d) subver 0x218f
[00:00:15.065,246] <dbg> bt_control: bt_ready_cb: BLE MAC: F5:20:E7:1F:38:EF (random)
[00:00:15.068,328] <dbg> bt_central: bt_central_scan_start: Scanning started
[00:00:15.256,866] <inf> bt_central: no filter match on device 7B:1F:47:61:8D:9A (random)
[00:00:15.560,150] <inf> bt_central: no filter match on device 42:8B:8D:03:60:EF (random)
[00:00:15.560,974] <inf> bt_central: Filter match on device B3:F2:CF:65:C6:47 (public)
[00:00:15.562,133] <inf> bt_central: Connecting
[00:00:16.064,544] <inf> bt_control: Connected to: B3:F2:CF:65:C6:47 (public)
[00:00:16.064,575] <inf> bt_control: Connected as CENTRAL
[00:00:16.066,284] <inf> bt_central: Started changing security level
[00:00:16.066,314] <dbg> bt_central: gatt_discover: Discovery starting
[00:00:16.766,082] <inf> bt_control: Security changed to BT_SECURITY_L2
[00:00:17.066,284] <inf> bt_control: Pairing completed: B3:F2:CF:65:C6:47 (public), bonded: 1
[00:00:17.866,088] <inf> bt_central: Discovery ok
[00:00:18.766,082] <dbg> bt_central: hogp_ready_cb: HOGP ready
[00:00:18.766,113] <inf> bt_central: HIDS ready
[00:00:18.766,113] <inf> bt_central: Subscribe to report id: 1
[00:00:18.766,204] <inf> bt_central: Subscribe to report id: 2
[00:00:18.766,265] <inf> bt_central: Subscribe to report id: 3
[00:00:18.766,296] <inf> bt_central: Subscribe to report id: 4
[00:00:18.766,357] <inf> bt_central: Subscribe to report id: 5
[00:00:18.766,387] <inf> bt_central: Subscribe to report id: 6
[00:00:20.068,420] <inf> bt_central: Scanning stopped
[00:00:20.072,479] <dbg> bt_control: bt_ready_cb: BLE advertisement started
[00:00:24.418,609] <inf> bt_central: Notification from B3:F2:CF:65:C6:47 (public): id:1, size:2
[00:00:24.418,640] <inf> bt_central: Notification data:
                                     01 00
[00:00:24.418,762] <inf> led_control: LED_STATE 0 received
[00:00:24.419,372] <inf> bt_central: Notification from B3:F2:CF:65:C6:47 (public): id:1, size:2
[00:00:24.419,403] <inf> bt_central: Notification data:
                                     00 00
[00:00:25.802,368] <inf> bt_central: Notification from B3:F2:CF:65:C6:47 (public): id:1, size:2
[00:00:25.802,398] <inf> bt_central: Notification data:
                                     02 00
[00:00:25.802,490] <inf> led_control: LED_STATE 1 received
[00:00:25.803,131] <inf> bt_central: Notification from B3:F2:CF:65:C6:47 (public): id:1, size:2
[00:00:25.803,161] <inf> bt_central: Notification data:
                                     00 00
uart:~$
```

Listing 5. Log działania aplikacji

REKLAMA

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

eprasa.pl e84dd9a9f2

Kurs FPGA Lattice (29)

Terminal tekstowy VGA

W poprzednim odcinku opracowaliśmy prostą kartę graficzną, generującą czarno-biały obraz VGA o rozdzielczości 128×96 px. Teraz poznamy pewną sztuczkę, dzięki której zwiększymy rozdzielczość do 640×480 px, a obraz będzie kolorowy – i to wykorzystując wyłącznie zasoby wbudowane w FPGA bez żadnych dodatkowych pamięci!

Jak to działa?

Czy pamiętasz takie programy, jak Norton Commander, Turbo Pascal czy mks_vir? Dzisiaj jest to już cyfrowa archeologia. Te programy, za sprawą pewnych trików, umożliwiały wyświetlenie informacji w atrakcyjnej, jak na tamte czasy, szacie graficznej, przy wykorzystaniu bardzo ubogich zasobów sprzętowych (**rysunek 1**). Działały one w tzw. trybie tekstowym, czyli wyświetlały tylko i wyłącznie litery, cyfry oraz różne kreski, strzałki i inne symbole przygotowane przez producenta karty graficznej. Wszystkie symbole musiały mieć te same wymiary, a najczęściej stosowało się znaki o wysokości 16 pikseli i szerokości 8 pikseli. Jeżeli monitor miał rozdzielczość 640×480 px, to można było na nim wyświetlić symbole zorganizowane w 80 kolumn i 30 wierszy.

Do dyspozycji jest 256 symboli, ponieważ tyle można zakodować w 8-bitowej zmiennej, czyli w jednym bajcie. Przykład takiego zestawu symboli, zwanego stroną kodową, widzimy na **rysunku 2**. Istnieje dużo różnych stron kodowych, obejmujących znaki diakrytyczne w wielu różnych językach i innych alfabetach.

We wczesnych systemach komputerowych kolory były 4-bitowe. Trzy bity na składowe poszczególnych kolorów RGB, które pozwalały uzyskać osiem kolorów: czerwony, żółty, zielony, cyjan, niebieski, magentę, biały i czarny. Czwarty bit pozwalał rozjaśnić kolor, co w rezultacie dawało 16 różnych barw.

Każdy symbol ma pierwszy plan (*foreground*) oraz tło (*background*). Można im przypisać różne kolory, jednak w obrębie jednego znaku może być wybrana tylko jedna barwa pierwszego planu i jeden kolor tła. Cztery bity kodowały więc kolor pierwszego planu, a kolejne cztery – kolor tła znaku, czyli wystarczył jeden bajt, aby zapisać wszystkie te informacje.

Dochodzimy do wniosku, że za każdy znak wyświetlany na monitorze odpowiedzialne były dwa bajty. Pierwszy ustalał, jaki znak ma być pokazany, a drugi decydował o kolorach. Zatem jeżeli mamy 80 kolumn i 30 wierszy, to razem otrzymujemy 2400 znaków – czyli potrzebujemy 4800 bajtów. To zaskakująco mało jak na obraz o rozdzielczości 640×480 px i 4-bitowej kolorystyce. Gdybyśmy chcieli taki obraz przechowywać w pamięci jako bitmapę, to potrzebowalibyśmy już 153 600 bajtów, czyli 32 razy więcej!

Rysunek 1. Okno programu Norton Commander

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

Zobacz więcej:
- Repozytorium modułów wykorzystywanych w kursie https://github.com/leonow32/verilog-fpga
- Projekt w programie Diamond: https://tiny.pl/x-dfvt2c

W MachXO2-1200 mamy do dyspozycji siedem bloków EBR o pojemności 1 kB każdy, zatem potrzebujemy pięć takich bloków na pamięć RAM odpowiedzialną za przechowywanie tekstu i koloru – dwa kolejne zostaną nam do innych celów.

Rysunek 2. Przykładowa strona kodowa, składająca się z 256 symboli

Zastanówmy się teraz nad czcionką, ponieważ ona także musi być zapisana w pamięci. Zapewne już domyślasz się, do czego użyjemy pozostałych dwóch bloków EBR. Zobacz **rysunek 3**, na którym zaprezentowano sposób zapisu jednego znaku w pamięci. Symbole mają rozmiar 16 pikseli w pionie i 8 pikseli w poziomie. Te liczby są nieprzypadkowe i wynikają ze sprytnej optymalizacji – rozdzielczość pozioma to osiem pikseli, dlatego że w jednym bajcie jest właśnie tyle bitów. Każdy bit tego bajtu odpowiada zatem za jeden piksel. Stan wysoki bitu oznacza, że zostanie on wyświetlony kolorem pierwszego planu, a stan niski spowoduje, że będzie miał taki kolor, jaki wybrany został dla tła.

Cały znak tworzy 16 bajtów i ta liczba również nie jest przypadkowa – wszak to czwarta potęga dwójki (2^4=16), a 16 kombinacji możemy zapisać na czterech bitach. Każdy symbol ma swój adres w pamięci, a ponieważ każdy z nich wykorzystuje dokładnie 16 bajtów,

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

eprasa.pl e84dd9a9f2

	7	6	5	4	3	2	1	0	Bin	Hex
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0b00000000	0x00
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0b00000000	0x00
2	1	1	1	1	1	1	1	0	0b11111110	0xFE
3	0	1	1	0	0	1	1	0	0b01100110	0x66
4	0	1	1	0	0	0	1	0	0b01100010	0x62
5	0	1	1		1	0	0	0	0b01101000	0x68
6	0	1	1	1	1	0	0	0	0b01111000	0x78
7	0	1	1	0	1	0	0	0	0b01101000	0x68
8	0	1	1	0	0	0	0	0	0b01100000	0x60
9	0	1	1	0	0	0	0	0	0b01100000	0x60
10	0	1	1	0	0	0	0	0	0b01100000	0x60
11	1	1	1	1	0	0	0	0	0b11110000	0xF0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0b00000000	0x00
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0b00000000	0x00
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0b00000000	0x00
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0b00000000	0x00

Rysunek 3. Kodowanie przykładowego znaku w pamięci czcionki

adres początku znaku (tzn. zerowego bajtu znaku) możemy bardzo łatwo obliczyć wzorem

$$Adres = 16 \cdot KodASCII$$

gdzie *KodASCII* to numer znaku od 0 do 255. Jednak wcale nie musimy wykonywać żadnego mnożenia! W FPGA operacje mnożenia i dzielanie na liczbach będących potęgami dwójki to de facto... przestawianie bitów. Popatrz na **rysunek 4**, który ilustruje skład informacji doprowadzanych do wejścia pamięci ROM czcionki. Skoro mamy 256 znaków w pamięci, to potrzebujemy 8 bitów, by zapisać tę liczbę ($2^8=256$) – umieszczamy je na bardziej znaczących pozycjach, a numer jednej z szesnastu linii bitmapy czcionki umieszczamy na czterech młodszych bitach. W ten sposób powstaje nam 12-bitowy adres w pamięci.

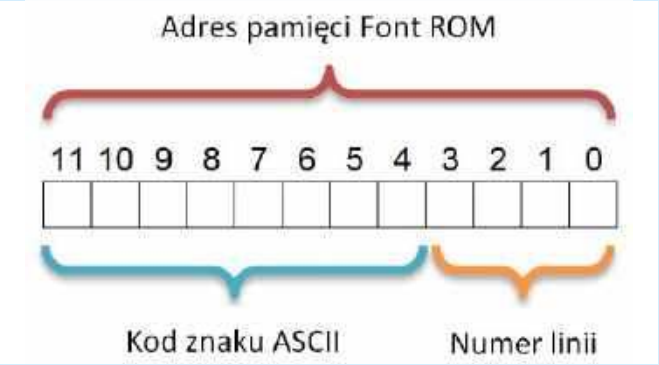
$2^{12}=4096$ – potrzebujemy więc czterech bloków EBR, aby móc pomieścić całą czcionkę. Jednak jest z tym pewien problem… pozostały nam tylko dwa bloki do dyspozycji. No cóż, albo weźmiemy układ FPGA o większej pamięci, albo obetniemy plik czcionki i zadowolimy się znakami od 0 do 127, czyli wszystkimi literami, cyframi, interpunkcją, znakami kontrolnymi i niektórymi znakami diakrytycznymi. Wybrałem tę drugą opcję, czyli 5 bloków EBR przeznaczyłem na pamięć RAM tekstu i koloru, a 2 bloki EBR będą funkcjonować jako pamięć ROM czcionki. Kody znaków ASCII będą nie 8-bitowe, jak to zwykle bywa, lecz tylko 7-bitowe.

Zastanówmy się teraz, w jaki sposób będziemy dostarczać dane do pamięci RAM tekstu i koloru. W założeniu nasz terminal ma być połączony z komputerem, zatem najprościej będzie wyposażyć go w odbiornik UART (nadajnik nie jest potrzebny, bo wystarczy nam komunikacja jednokierunkowa). Musimy opracować jakiś prosty protokół komunikacji. Zobacz **rysunek 5**, na którym pokazano dwie ramki transmisji.

Najstarszy bit z przesyłanego bajtu decyduje o znaczeniu pozostałych bitów. Zero oznacza, że pozostałe bity [6:0] to kod ASCII znaku do wyświetlenia, zaś jedynka na tej pozycji – że bity [6:4] to kolor znaku, a pole [2:0] to kolor tła.

Po odebraniu bajtu tekstu przez interfejs UART odpowiadający mu znak ma zostać natychmiast wyświetlony na ekranie, na pozycji aktualnie wskazywanej przez kursor, po czym kursor zostaje przesunięty o jedną pozycję w prawo lub na początek kolejnej linii. Domyślnie terminal będzie wyświetlał białe znaki na czarnym tle. Odebranie bajtu koloru spowoduje zapisanie do rejestru kolorów nowych ustawień i będą one dotyczyły kolejnych odebranych bajtów tekstu – tak długo, aż zostanie przesłany kolejny znak koloru.

Taki sposób komunikacji jest bardzo wygodny ze względu na kompatybilność z różnymi systemami nadrzędnymi. Terminal



Rysunek 4. Adresowanie pamięci czcionki

będzie mógł prezentować znaki pochodzące od dowolnego nadajnika UART, a jeżeli nie obsługuje on kolorów, to terminal wyświetli wszystko białą czcionką na czarnym tle.

Moduł top

Analizę kodu modułu top rozpoczniemy od zapoznania się ze schematem, który został automatycznie wygenerowany przez Netlist Analyzer. W ten sposób kod stanie się bardziej zrozumiały.

Zobacz **rysunek 6**. Moduł top składa się z instancji czterech innych modułów, połączonych ze sobą w logiczną całość. Są to:

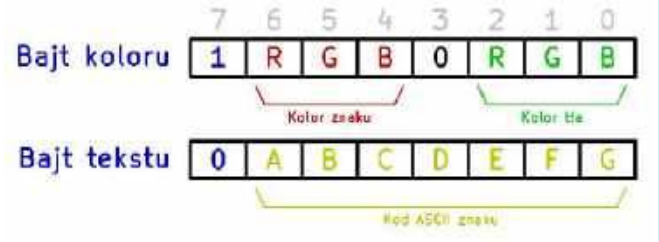
Odbiornik UartRx, który odbiera dane z komputera i przekazuje je dalej do kontrolera pamięci.

Kontroler pamięci, w którym znajduje się pamięć ROM czcionki oraz pamięć RAM tekstu i koloru. Pamięć RAM zrealizujemy jako pamięć pseudodwuportową, gdzie jednym portem będą zapisywane dane (odebrane z UART), a drugim – odczytywane dane (żądane przez moduł VGA). Ponadto kontroler pamięci będzie wyposażony w prosty interpreter znaków kontrolnych, takich jak *Enter*, *Backspace* czy *Escape*.

Moduł VGA, który generuje sygnały przesyłane następnie do monitora. Na schemacie widać pętlę pomiędzy tym modułem a kontrolerem pamięci. Moduł VGA musi poinformować, który znak za chwilę będzie wyświetlany, a dokładniej rzecz ujmując: która z szesnastu linii znaku, leżącego w żądanej kolumnie i wierszu. W odpowiedzi na takie żądanie moduł pamięci podaje osiem pikseli do wyświetlenia oraz informację o kolorach pierwszego planu i tła. Pamiętać należy, że odczytanie tych danych z pamięci zajmuje kilka taktów zegarowych, dlatego moduł VGA musi sformułować żądanie odpowiednio wcześniej, przed wygenerowaniem sygnałów VGA odpowiadających żądanemu znakowi.

Moduł DisplayMultiplex, którego celem jest ułatwienie poszukiwania błędów. Jego zadaniem jest wyświetlenie bajtu, ostatnio odebranego przez UART, na wyświetlaczu 7-segmentowym. Nie ma on nic wspólnego z terminalem i można go usunąć, jeżeli stwierdzisz, że jest niepotrzebny.

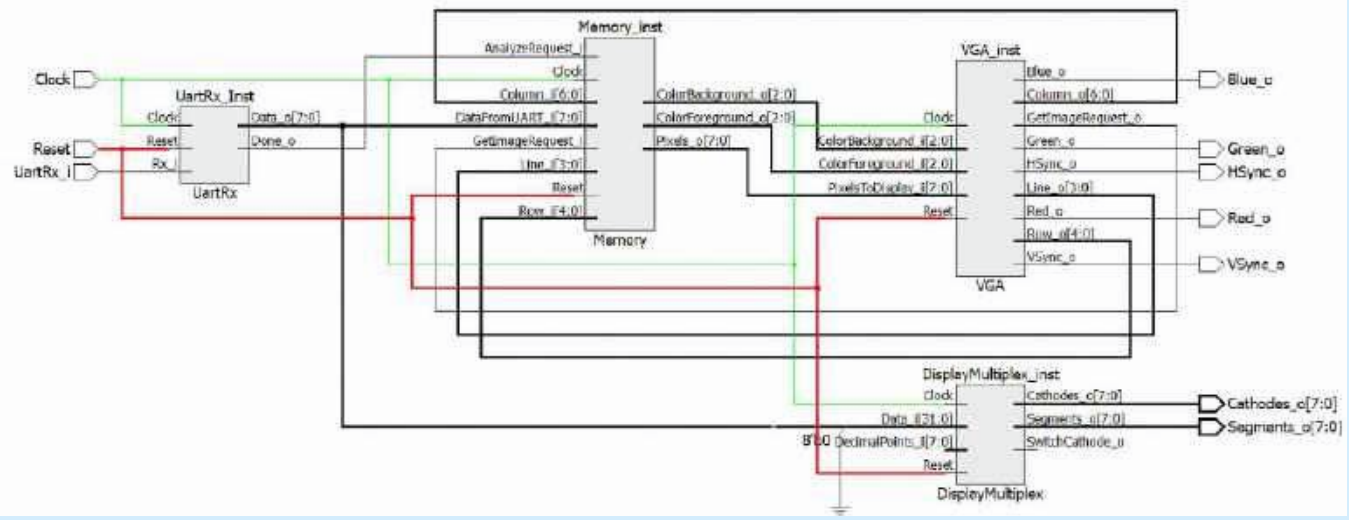
Omówione wcześniej moduły składają się z podmodułów. Hierarchię całego projektu zobrazowano na **rysunku 7**. Moduł VGA nie ma żadnych podmodułów. Moduły UartRX oraz DisplayMultiplex omawialiśmy już w poprzednich odcinkach.



Rysunek 5. Protokół komunikacyjny (budowa ramek odbieranych przez UART)

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

eprasa.pl e84dd9a9f2



Rysunek 6. Automatycznie wygenerowany schemat modułu top

Zaraz, zaraz... coś dziwnego jest z modułem Memory. Składa się on z jednego modułu ROM, zawierającego dwa bloki EBR, a także z pięciu modułów RAM z jednym blokiem EBR. Dlaczego nie można by zrobić jednej instancji PseudoDualPortRAM z pięcioma blokami EBR? Niestety w Lattice Diamond jest pewien błąd. Liczba bloków EBR, a także całkowita pojemność pamięci obliczane są na podstawie szerokości wejścia adresowego. W naszym przypadku potrzeba 5 kB pamięci, czyli szyna adresowa musi mieć 13 bitów. Syntezator z jakiegoś powodu ignoruje rozmiar tablicy podany w nawiasach kwadratowych i tworzy tyle pamięci, ile wynika z szerokości adresu, czyli 2^{13}=8192 bajtów, a zatem osiem bloków EBR... lecz my potrzebujemy tylko pięciu! Rozwiązaniem jest utworzenie pamięci poprzez IP Express lub ręczne zadeklarowanie pojedynczych bloków i później scalenie ich w jedną część własnym dekoderem adresów. Wybrałem drugie rozwiązanie.

Przejdźmy teraz do omówienia kodu modułu top, pokazanego na **listingu 1**. Lista parametrów oraz portów wejściowych i wyjściowych jest oczywista, więc od razu przeskoczymy do deklaracji zmiennych.

W liniach 1, 2 i 3 tworzymy trzy zmienne typu wire, które łączą wyjścia modułu VGA z wejściami modułu **Memory** i informują o tym, co za chwilę ma zostać wyświetlone (tj. znak ze wskazanej kolumny i wiersza, a dodatkowo także numer linii pikseli tegoż znaku). Zmienne te są ustawiae w liniach 25...27, a odczytywane są w liniach 17...19.

Moduł VGA żąda podania kolejnej porcji danych do wyświetlenia za pomocą zmiennej **GetImageRequest typu wire**, która jest tworzona w linii 4, sterowana wyjściem modułu VGA w linii 24, a odczytywana (przez moduł **Memory)** na wejściu w linii 16. Żądanie sygnalizowane jest poprzez ustawienie tego sygnału w stan wysoki na jeden takt zegarowy. Po wystąpieniu takiego zdarzenia moduł pamięci rozpoczyna pracę, co zajmuje kilka taktów zegarowych, zanim odpowiedź (tzn. osiem pikseli oraz kolory) zostanie podana na wyjścia **Pixels_o**, **ColorForeground_o** i **ColorBackground_i** (linie 28...30). **Pixels_o** jest 8-bitową zmienną, a każdy bit tej zmiennej informuje o ośmiu kolejnych pikselach do wyświetlenia. Jeżeli bit jest w stanie wysokim, to odpowiadający mu piksel ma zostać wyświetlony kolorem pierwszego planu, a w przeciwnym wypadku – kolorem tła.

Można zapytać, dlaczego nie ma żadnego sygnału od kontrolera pamięci do VGA o tym, że nowe dane do wyświetlenia są już dostępne na wyjściach? Odpowiedź jest prosta. Odczytanie bajtów tekstu i koloru zawsze zajmuje taką samą liczbę taktów zegarowych. Zatem skoro moduł VGA wie, kiedy wystosował żądanie, to wie również, kiedy otrzyma odpowiedź. Poza tym moduł VGA ciągle zajmuje się odliczaniem pikseli z każdym taktem zegara, zatem nawet nie potrzebujemy żadnego dodatkowego licznika – wystarczy nam licznik pikseli w osi poziomej.

W linii 10 tworzymy instancję modułu **UartRx**, który znamy już z poprzednich odcinków kursu. Dla przypomnienia: interesują nas wyjścia 8-bitowe **Data_o**, zawierające ostatni bajt odebrany przez odbiornik (linia 12) oraz **Done_o**, informujące o tym, że są nowe dane do odczytania z wyjścia **Data_o** (linia 11). Informacja ta, jak zawsze w naszym kursie, sygnalizowana jest poprzez ustawienie tego wyjścia w stan wysoki na czas jednego taktu zegarowego.

Hierarchy---Post Map Resources

Unit	EBR
top	7(0)
VGA_uniq_1(VGA_inst)	0(0)
UartRx_uniq_1(UartRx_Inst)	0(0)
Synchronizer_uniq_1(Synchronizer_Rx)	0(0)
StrobeGeneratorTicks_uniq_1(StrobeGeneratorTicks_inst)	0(0)
EdgeDetector_uniq_1(EdgeDetector_Rx)	0(0)
Memory_uniq_1(Memory_inst)	7(0)
ROM_uniq_1(FontROM)	2(2)
PseudoDualPortRAM_uniq_5(ImageRAM_4)	1(1)
PseudoDualPortRAM_uniq_4(ImageRAM_3)	1(1)
PseudoDualPortRAM_uniq_3(ImageRAM_2)	1(1)
PseudoDualPortRAM_uniq_2(ImageRAM_1)	1(1)
PseudoDualPortRAM_uniq_1(ImageRAM_0)	1(1)
DisplayMultiplex_uniq_1(DisplayMultiplex_inst)	0(0)
StrobeGenerator_uniq_1(StrobeGenerator0)	0(0)
Decoder7seg_uniq_1(Decoder7seg0)	0(0)

Rysunek 7. Hierarchia modułów projektu

Fotografia 1. Widok ekranu podczas działania terminala

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

eprasa.pl e84dd9a9f2

```
// Plik top.v

`default_nettype none
module top #(
    parameter CLOCK_HZ = 25000000,
    parameter BAUD     = 115200
)(
    input wire Clock,               // Pin 20, musi być 25 lub 25.175 MHz
    input wire Reset,               // Pin 17

    input wire UartRx_i,            // Pin 75

    output wire [7:0] Cathodes_o,
    output wire [7:0] Segments_o,

    output wire Red_o,              // Pin 78
    output wire Green_o,            // Pin 10
    output wire Blue_o,             // Pin 9
    output wire HSync_o,            // Pin 1
    output wire VSync_o             // Pin 8
);

    // Aktualnie wyświetlany znak
    wire [6:0] Column;                                      // 1 (Zakres 0..79)
    wire [4:0] Row;                                         // 2 (Zakres 0..29)
    wire [3:0] Line;                                        // 3 (Zakres 0..15)

    // Sygnały pomiędzy pamięcią i modułem VGA
    wire       GetImageRequest;                             // 4
    wire [7:0] Pixels;                                      // 5
    wire [2:0] ColorForeground;                             // 6
    wire [2:0] ColorBackground;                             // 7

    // Odbiornik UART
    wire       DataReceivedEvent;                           // 8
    wire [7:0] DataFromUART;                                // 9

    UartRx #(                                               // 10
        .CLOCK_HZ(CLOCK_HZ),
        .BAUD(BAUD)
    ) UartRx_Inst(
        .Clock(Clock),
        .Reset(Reset),
        .Rx_i(UartRx_i),
        .Done_o(DataReceivedEvent),                         // 11
        .Data_o(DataFromUART)                               // 12
    );

    // Kontroler pamięci
    Memory Memory_inst(                                     // 13
        .Clock(Clock),
        .Reset(Reset),

        .AnalyzeRequest_i(DataReceivedEvent),               // 14
        .DataFromUART_i(DataFromUART),                      // 15

        .GetImageRequest_i(GetImageRequest),                // 16
        .Column_i(Column),                                  // 17
        .Row_i(Row),                                        // 18
        .Line_i(Line),                                      // 19

        .Pixels_o(Pixels),                                  // 20
        .ColorForeground_o(ColorForeground),                // 21
        .ColorBackground_o(ColorBackground)                 // 22
    );

    // Moduł VGA
    VGA VGA_inst(                                           // 23
        .Clock(Clock),
        .Reset(Reset),

        .GetImageRequest_o(GetImageRequest),                // 24
        .Column_o(Column),                                  // 25
        .Row_o(Row),                                        // 26
        .Line_o(Line),                                      // 27

        .PixelsToDisplay_i(Pixels),                         // 28
        .ColorForeground_i(ColorForeground),                // 29
        .ColorBackground_i(ColorBackground),                // 30

        .Red_o(Red_o),
        .Green_o(Green_o),
        .Blue_o(Blue_o),
        .HSync_o(HSync_o),
        .VSync_o(VSync_o)
    );

    // Sterownik 7-segmentowego wyświetlacza LED
    DisplayMultiplex #(                                     // 31
        .CLOCK_HZ(CLOCK_HZ),
        .SWITCH_PERIOD_US(1000),
        .DIGITS(8)
    ) DisplayMultiplex_inst(
        .Clock(Clock),
        .Reset(Reset),
        .Data_i({
            24'd0,
            DataFromUART                                    // 32
        }),
        .DecimalPoints_i(8'd0),
        .Cathodes_o(Cathodes_o),
        .Segments_o(Segments_o),
        .SwitchCathode_o()
    );

endmodule

`default_nettype wire
```

Listing 1. Kod pliku top.v

Omawiane wyjścia podłączone są do zmiennych wire **DataFromUART** i **DataReceivedEvent**, utworzonych w liniach 8 i 9, a doprowadzonych następnie do wejść **AnalyzeRequest_i** i **DataFromUART_i** (linie 14 i 15) modułu **Memory**.

W linii 13 widzimy instancję kontrolera pamięci. Następnie w linii 23 znajduje się instancja modułu VGA, a w linii 31 mamy sterownik wyświetlacza 7-segmentowego. Do jego 32-bitowego wejścia danych (linia 32) doprowadzono 8-bitowe wyjście odbiornika UART, do którego zostały „doklejone" 24 zera za pomocą operatora konkatenacji {}.

Moduł VGA

Omówimy teraz kod modułu VGA, odpowiedzialnego za generowanie sygnałów do obsługi monitora i współpracującego z kontrolerem pamięci. Moduł ten, podobnie jak wszystkie pozostałe w tym odcinku kursu, musi być taktowany zegarem o częstotliwości 25 MHz (a idealnie by było 25,175 MHz). W każdym takcie zegara, trwającym 39,722 ns, wyświetlany jest tylko jeden piksel. Szczegóły działania interfejsu VGA były omówione w 27 odcinku kursu, opublikowanym w EP 01/2025. Ze względu na konieczność precyzyjnego timingu wszystko w tym module musi być zrobione bardzo dokładnie i nie możemy żadnego sygnału wygenerować wcześniej lub później, bo wtedy otrzymamy obraz drżący, rozmazany, a w skrajnym przypadku monitor straci synchronizację i w ogóle przestanie wyświetlać jakikolwiek obraz.

Moduł VGA wysyła do kontrolera pamięci zapytanie o to, które piksele należy wyświetlić w danym fragmencie obrazu. Kluczowym problemem dla nas jest to, że od zapytania do uzyskania odpowiedzi mija 5 taktów zegarowych. Musimy mieć to na uwadze, generując sygnały RGB, a w szczególności – sygnały synchronizacji pionowej i poziomej, razem z *front porch* i *back porch*.

W linii 1 tworzymy liczniki **HCounter** i **VCounter**, które wyznaczają współrzędne: pionową i poziomą aktualnie wyświetlanego piksela. Pamiętaj, że poza pikselami w obszarze widocznym mamy także obszary niewidoczne, w których występują sygnały synchronizacji. Następnie w linii 2 mamy blok always, który w każdym takcie zegara inkrementuje licznik poziomy **HCounter**. Licznik pionowy **VCounter** inkrementuje się natomiast dopiero wtedy, gdy **HCounter** osiągnie wartość maksymalną.

Obydwa liczniki służą do tworzenia bardziej abstrakcyjnych zmiennych, takich jak współrzędne znaku do wyświetlenia czy numery kolumny i wiersza, a także do wyboru, która z szesnastu linii znaku ma być aktualnie wyświetlana. Dzięki temu, że każdy znak ma rozmiar 8×16 pikseli, wystarczy wybrać odpowiednie fragmenty licznika poziomego i pionowego. Robimy to w liniach 3, 4 i 5, gdzie wyjściom **Column_o**, **Row_o** i **Line_o** przypisujemy odpowiednie bity liczników zgodnie z tym, co zostało już opisane kilka stron wcześniej.

Aby poinstruować kontroler pamięci, by przygotował kolejne piksele do wyświetlenia, musimy ustawić wyjście **GetImageRequest_o** w stan wysoki na jeden cykl zegarowy. Najprościej da się to zrobić tak jak w linii 6, gdzie za pomocą operatora == sprawdzamy, czy trzy najmłodsze bity licznika **HCounter** są zerami.

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

eprasa.pl e84dd9a9f2

```
// Plik vga.v

`default_nettype none
module VGA(
    input  wire Clock,
    input  wire Reset,

    output wire       GetImageRequest_o,
    output wire [6:0] Column_o,
    output wire [4:0] Row_o,
    output wire [3:0] Line_o,

    input wire [7:0] PixelsToDisplay_i,
    input wire [2:0] ColorForeground_i,
    input wire [2:0] ColorBackground_i,

    output reg Red_o,
    output reg Green_o,
    output reg Blue_o,
    output reg HSync_o,
    output reg VSync_o
);

    // Liczniki dla rozdzielczości 640*480, a wraz z obszarem nieaktywnym 800*525
    reg [9:0] HCounter;     // Max 799                                          // 1
    reg [9:0] VCounter;     // Max 524

    // Pionowy i poziomy licznik pikseli
    always @(posedge Clock, negedge Reset) begin                                // 2
        if(!Reset) begin
            HCounter <= 0;
            VCounter <= 0;
        end

        else if(HCounter != 799) begin
            HCounter <= HCounter + 1'b1;
        end

        else begin
            HCounter <= 0;
            if(VCounter != 524)
                VCounter <= VCounter + 1'b1;
            else
                VCounter <= 0;
        end
    end

    assign Column_o[6:0]     = HCounter[9:3];                                   // 3
    assign Row_o[4:0]        = VCounter[8:4];                                   // 4
    assign Line_o[3:0]       = VCounter[3:0];                                   // 5
    assign GetImageRequest_o = (HCounter[2:0] == 3'b000);                       // 6

    // Licznik linii w obrębie znaku
    reg [2:0] CharHCounter;                                                     // 7

    always @(posedge Clock, negedge Reset) begin                                // 8
        if(!Reset)
            CharHCounter <= 3'd7;
        else if(HCounter[2:0] == 4)                                             // 9
            CharHCounter <= 3'd7;
        else
            CharHCounter <= CharHCounter - 1'b1;
    end

    // Timing poziomy
    always @(posedge Clock, negedge Reset) begin                                // 10
        if(!Reset) begin
            HSync_o <= 1;
            {Red_o, Green_o, Blue_o} <= 3'b000;
        end

        // Poziomy obszar aktywny
        else if(HCounter >= 5 && HCounter <= 644 && VCounter <= 451) begin      // 11
            if(PixelsToDisplay_i[CharHCounter])                                 // 12
                {Red_o, Green_o, Blue_o} <= ColorForeground_i;                  // 13
            els
                {Red_o, Green_o, Blue_o} <= ColorBackground_i;                  // 14
        end

        // Horizontal front porch
        else if(HCounter >= 645 && HCounter <= 660)
            {HSync_o, Red_o, Green_o, Blue_o} <= 4'b1000;

        // Horizontal sync pulse
        else if(HCounter >= 661 && HCounter <= 756)
            {HSync_o, Red_o, Green_o, Blue_o} <= 4'b0000;

        // Horizontal back porch
        else
            {HSync_o, Red_o, Green_o, Blue_o} <= 4'b1000;
    end

    // Timing pionowy
    always @(posedge Clock, negedge Reset) begin                                // 15
        if(!Reset)
            VSync_o <= 1;
        else if(HCounter == 5) begin                                            // 16

            // Vertical sync pulse
            if(VCounter == 490 || VCounter == 491)
                VSync_o <= 0;

            // Poziomy obszar aktywny, front porch i back porch
            else
                VSync_o <= 1;
        end
    end

endmodule

`default_nettype wire
```

Listing 2. Kod pliku vga.v

Ponieważ istnieje kilka taktów zegarowych opóźnienia między licznikiem **HCounter** i wyświetlanym obrazem (ze względu na czas pracy kontrolera pamięci), musimy jakoś wprowadzić opóźnienie również do procesu generowania sygnałów VGA. Jednym ze sposobów jest utworzenie dodatkowego, 3-bitowego licznika **CharHCounter** w linii 7. Następnie w linii 8 rozpoczynamy blok always sterujący tym licznikiem. Liczy on od wartości maksymalnej w dół, po czym resetuje się i ponownie liczy od góry w dół. Aby zsynchronizować ten licznik z licznikiem **Hcounter,** w linii 9 tworzymy odpowiednią regułę: jeżeli licznik **HCounter** równy jest 4, to wtedy **CharHCounter** ustawiamy na wartość początkową, tzn. na 7.

Przejdźmy do linii 10, w której rozpoczyna się blok always, odpowiedzialny za generowanie sygnałów RGB i HSYNC. Pamiętaj, że HSYNC domyślnie ma stan wysoki, co musimy uwzględnić podczas resetu. Poszczególne etapy pracy monitora, tzn. obszar aktywny, *front porch*, *sync pulse* i *back porch*, zależą od wartości licznika **Hcounter** – podobne rozwiązanie zastosowaliśmy w poprzednich odcinkach kursu. Tym razem w drzewku decyzyjnym if-else musimy dodać kilka taktów zegarowych do porównań, aby uwzględnić opóźnienie generowane przez kontroler pamięci. Z tego powodu obszar jest aktywny wtedy, gdy **HCounter** ma wartość w przedziale od 5 do 644 (linia 11), a nie od 0 do 639, jak to robiliśmy w odcinku 27.

W obszarze aktywnym korzystamy z 8-bitowej zmiennej **PixelsToDisplay_i**, która jest dostarczana przez kontroler pamięci. Odczytujemy z niej jeden bit, wskazywany przez licznik **CharHCounter** (linia 12). Następnie, jeżeli ten bit jest w stanie wysokim, to do wyjść **Red_o**, **Green_o**, **Blue_o** przypisujemy takie stany, aby wyświetlić piksel w kolorze pierwszego planu (zapisanym w zmiennej **ColorForeground_i**, dostarczanej również przez kontroler pamięci). Jeżeli ten bit jest w stanie niskim, to kopiujemy kolor ze zmiennej **ColorBackground_i**. Wszystkie trzy składowe kolorów RGB przypisujemy w jednej linijce za pomocą operatora konkatenacji {}.

Do omówienia pozostaje już tylko blok always, odpowiedzialny za sygnał synchronizacji pionowej VSYNC, który rozpoczyna się w linii 15. Sygnał ten zmienia się w zależności od wartości licznika **VCounter**, lecz wyjście **VSync_o** musi być zsynchronizowane z pozostałymi sygnałami, doprowadzonymi do monitora. Z tego powodu w linii 16 sprawdzamy, czy **HCounter** jest równy 5. W innych przypadkach wyjście **VSync_o** pozostaje w poprzednim stanie.

Dalsza część opisu zostanie opublikowana na kolejnym numerze „Elektroniki Praktycznej" – i będzie to już ostatni odcinek kursu FPGA Lattice!

Dominik Bieczyński
leonow32@gmail.com

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

eprasa.pl e84dd9a9f2

Implementacja systemu Linux na platformie STM32MP (4)

Sterowanie portem GPIO z poziomu systemu operacyjnego

Sterowanie portami GPIO jest jedną z najważniejszych funkcji, jakie pełni każdy mikroprocesor. Możliwość sterowania z poziomu systemu operacyjnego wydaje się dość złożonym zagadnieniem, szczególnie w przypadku STM32MP. Co więcej, operacje dostępu do rejestrów GPIO mogą być wykonywane zarówno za pośrednictwem głównego rdzenia, jak i koprocesora, czyli „wewnętrznego mikrokontrolera" zawartego w strukturze procesorów z rodziny STM32MP.

Sterowanie portami w mikroprocesorze STM32MP może odbywać się za pośrednictwem rdzenia Cortex-M4 (w przypadku serii STM32MP1) lub Cortex-M33 (w przypadku STM32MP2), o ile rdzeń jest dostępny. Czasami jednak chcemy mieć możliwość kontrolowania pracy portu GPIO bezpośrednio z poziomu systemu operacyjnego Linux. W tym celu możemy oczywiście przekazywać informacje o tym, w jakim stanie ma znajdować się port GPIO, do koprocesora. Niestety wymaga to pisania dodatkowego kodu odpowiedzialnego za komunikację pomiędzy rdzeniami. Takie rozwiązanie wprowadza pewne opóźnienie w wykonywanym kodzie.

W kolejnych odcinkach kursu zostanie zaprezentowana procedura pozwalająca na nawiązanie komunikacji pomiędzy rdzeniami, wraz z jej potencjalnym zastosowaniem w prostych, jak i bardziej złożonych projektach. Już teraz możemy natomiast powiedzieć, że użycie tego rodzaju komunikacji okazuje się przydatne sytuacjach, w których dodatkowy rdzeń odpowiada za komunikację z zewnętrznymi układami za pomocą interfejsu SPI, I²C, etc., a główny procesor dokonuje obróbki danych, wyświetlania wartości na ekranie itp.

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

Jeżeli stawiamy na szybkość działania kodu bądź z innych względów nie chcemy angażować dodatkowego rdzenia, do sterowania portem GPIO możemy zastosować główny rdzeń, pracujący pod kontrolą systemu Linux.

Sterowanie LED

W omawianym przykładzie skorzystamy z portu GPIO, do którego na płytce STM32MP157C-DK2 podłączona jest niebieska dioda LED o oznaczeniu LD8. Domyślnie dioda sygnalizuje działanie rdzenia z Linuxem i imituje bicie serca.

Sterowanie diodą odbywać może się na dwa sposoby: z poziomu terminala (konsoli systemu Linux) lub bezpośrednio z poziomu

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

eprasa.pl e84dd9a9f2

kodu. Zaprezentowane zostaną oba podejścia, z uwagi na różnice wynikające ze sposobu ich użycia oraz zakresu potencjalnych zastosowań we własnych projektach.

Sterowanie LED z terminalu Linux

Sterowanie portem GPIO z poziomu terminala jest wygodnym i szybkim sposobem na zmianę aktualnego stanu danego pinu wyjściowego lub odczytanie poziomu logicznego na wejściu, bez konieczności wykonywania złożonego kodu. Może być również przydatne w momencie, gdy chcemy dokonać szybkiej zmiany stanu wyjścia niezależnie od wykonywanego kodu głównego lub w przypadku, gdy w kodzie nie znajduje się funkcja pozwalająca nam na takie działanie.

Nie będziemy ponownie pokazywać procedury nawiązywania komunikacji z naszą płytką za pośrednictwem SSH – wszystkie niezbędne działania zostały już zaprezentowane we wcześniejszych odcinkach tego kursu.

W celu ustawienia stanu wysokiego („1") na wyjściu sterującym diodą LD8 należy wprowadzić w terminalu następującą komendę:

```
echo 1 > /sys/class/leds/heartbeat/brightness
```

natomiast ustawienie stanu niskiego, czyli wyłączenie naszej diody, może być wykonane przez podanie analogicznego polecenia:

```
echo 0 > /sys/class/leds/heartbeat/brightness
```

Użyta w tym przykładzie ścieżka jest zapisana w systemie operacyjnym, więc nie musimy tutaj ingerować w kod źródłowy.

Sterowanie LED z poziomu kodu

Jak wcześniej wspomnieliśmy, sterować diodą LD8 możemy również z poziomu kodu. Taki sposób obsługi GPIO pozwala nam na większą swobodę działania: w kodzie możemy w łatwy sposób wykonywać bardziej złożone operacje, na przykład wprowadzać odpowiednie opóźnienia.

Zaprezentowany na **listingu 1** kod został napisany w języku Python i pozwala na sterowanie portem GPIO w pętli nieskończonej. Dodatkowo pozwala użytkownikowi na zmianę interwału błysków. Standardowy interwał został ustawiony na 1, tak więc wywołanie funkcji bez podania argumentu automatycznie uzupełnia go wartością domyślną, natomiast wywołanie tej samej funkcji z argumentem spowoduje nadpisanie domyślnej wartości przez liczbę wprowadzoną przez użytkownika.

```
import time

def set_led(state):
    try:
        with open("/sys/class/leds/heartbeat/brightness", "w") as led:
            led.write(str(state))
    except IOError as e:
        print(f"Error accessing LED file: {e}")

def blink_led(interval=1):
    while True:
        set_led(1)  # Turn LED on
        time.sleep(interval)
        set_led(0)  # Turn LED off
        time.sleep(interval)

if __name__ == "__main__":
    blink_led()
```

Listing 1. Kod napisany w języku Python, odpowiedzialny za sterowanie portem GPIO w środowisku Linux

W celu uruchomienia kodu – w przypadku, gdy kod powstawał na komputerze – należy przesłać plik do płytki za pośrednictwem polecenia scp. Można też napisać kod bezpośrednio na płytce, z poziomu otwartego połączenia SSH w terminalu. Domyślnie dystrybucja Yocto udostępnia narzędzie pozwalające na pisanie kodu – jest to posty edytor tekstu vi działający w terminalu.

Po wgraniu kodu na płytkę uruchomienie programu odbywa się poprzez wywołanie polecenia:

```
python3 'nazwa_pliku.py'
```

W przypadku poprawnie uruchomionego skryptu widocznym efektem jego poprawnego funkcjonowania będzie cykliczne mruganie niebieskiej diody LD8.

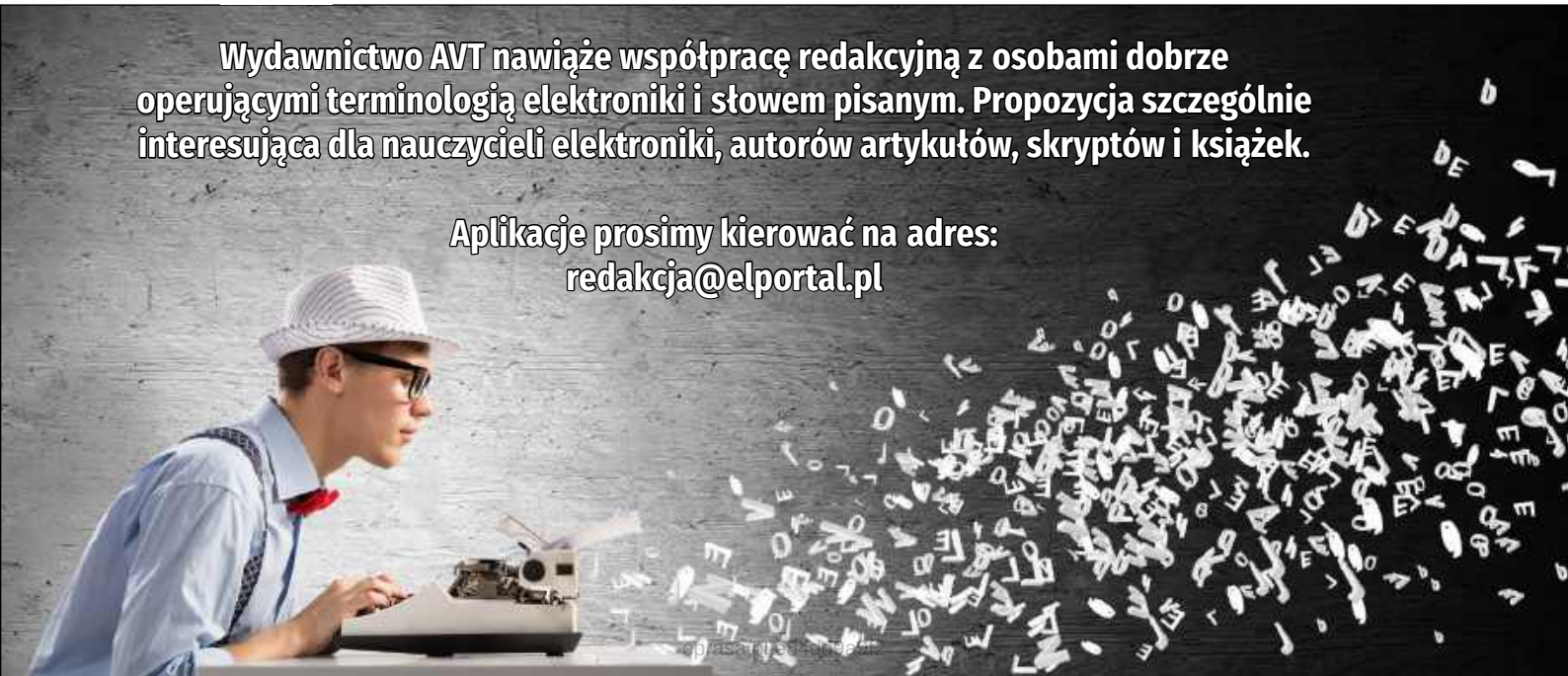
Podsumowanie

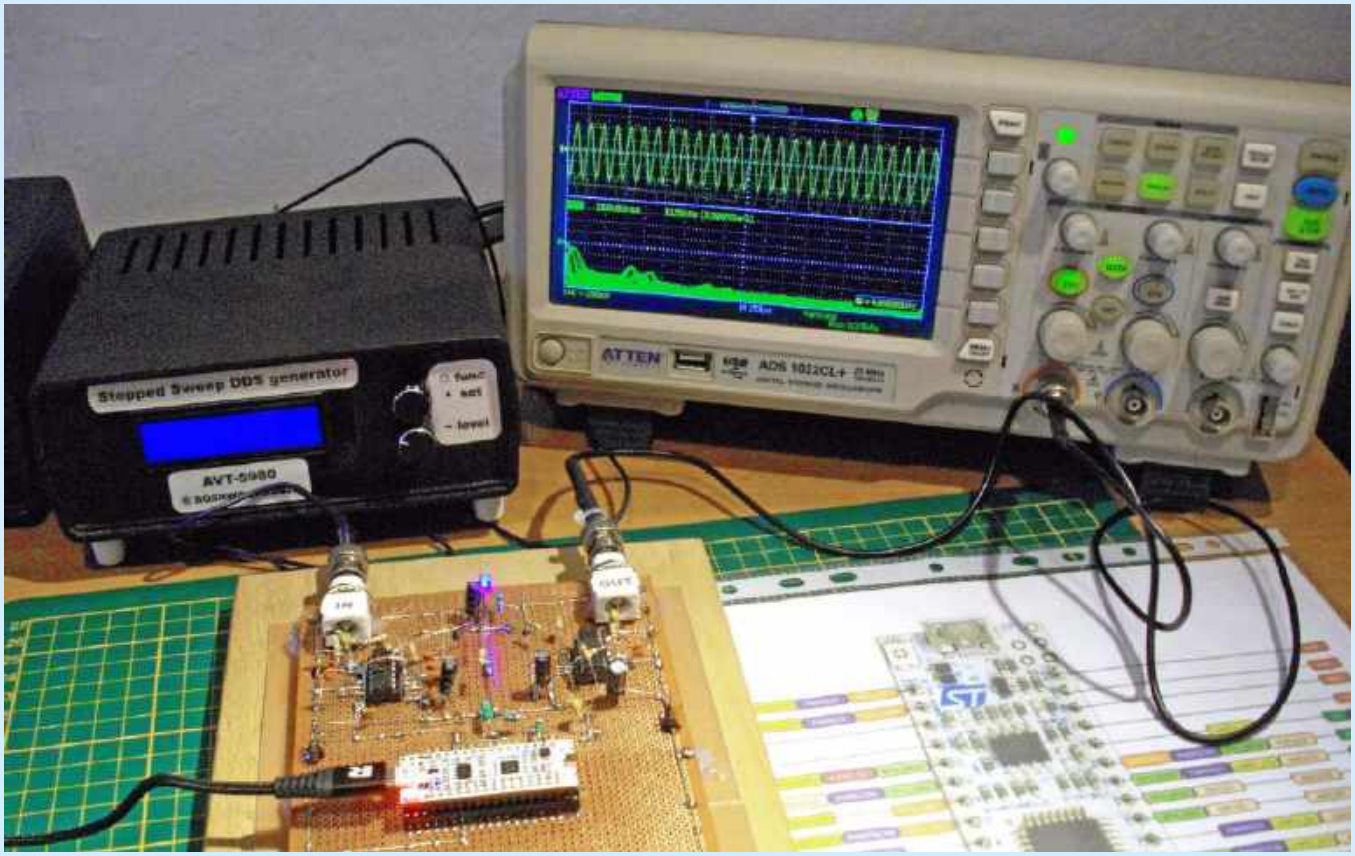
Możliwość sterowania wyjściem z poziomu terminala bądź kodu w języku Python wymaga zastosowania innych mechanizmów dostępu do portu. Wybór odpowiedniej metody sterowania zależy w głównej mierze od docelowego zastosowania, jak i od preferencji użytkownika. W niektórych przypadkach – zwłaszcza gdy zależy nam na szybkiej, jednorazowej zmianie stanu danego pinu – lepiej będzie użyć polecenia wydanego z poziomu terminala linuksowego.

Jeżeli pierwszorzędne znaczenie ma niezawodność działania bądź możliwość implementacji bardziej złożonych mechanizmów kontroli wyjścia/wejścia GPIO, lepszym rozwiązaniem okaże się napisanie kodu.

inż. Wiktor Hubaj

REKLAMA





Pomiary charakterystyk częstotliwościowych (4)

Filtry cyfrowe DSP typu FIR

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

W czwartej części cyklu zaprezentowano koncepcję zastąpienia amplifiltrów analogowych za pomocą stosunkowo prostych filtrów cyfrowych typu FIR (o skończonej odpowiedzi impulsowej). Motywacją do wprowadzenia rozwiązań z dziedziny DSP (cyfrowego przetwarzania sygnałów) były przede wszystkim: chęć ujednolicenia platformy sprzętowej dla wszystkich omawianych filtrów, stabilność i powtarzalność uzyskiwanych parametrów filtrów oraz względna łatwość ich programowej implementacji. Omawiane dalej projekty filtrów cyfrowych zostały zaimplementowane z użyciem ekonomicznej platformy STM32 Nucleo-32 (moduł NUCLEO--STM32L432KC), a ich charakterystyki obliczone symulacyjnie zostały także przebadane pomiarowo. Wnioski z tych badań wyznaczyły jasne kierunki dalszych działań rozwojowych w domenie DSP.

Jak wspomniano powyżej, idea zastąpienia amplifiltrów analogowych za pomocą względnie nieskomplikowanych filtrów cyfrowych typu FIR (ang. Finite Impulse Response, czyli filtrów o skończonej odpowiedzi impulsowej, zwanych także filtrami transwersalnymi) zrodziła się przede wszystkim w oparciu o wnioski z wcześniejszych części tego cyklu publikacji. W szczególności satysfakcjonująca implementacja filtrów analogowych o dość wyśrubowanych parametrach wymagały zastosowania elementów RC o dużej dokładności (więc i małej tolerancji), a stabilność i powtarzalność uzyskiwanych parametrów wymagała także znacznej staranności implementacji fizycznej układu. Szczególnie wyraźnie zagadnienia te dotyczyły filtrów wąskopasmowych o znacznej dobroci (typu „peak" oraz „notch"). O ile skuteczna implementacja rozwiązań z dziedziny DSP (ang. Digital Signal Processing, czyli cyfrowego przetwarzania sygnałów) także stawia przed konstruktorem liczne wymagania i obostrzenia, o tyle jednak kusząca jest względna łatwość ich programowej implementacji na jednolitej, powtarzalnej platformie sprzętowej w przypadku wszystkich omawianych filtrów. Dodatkową zachętą okazała się możliwość skorzystania w tym celu z popularnego, łatwo dostępnego (i to w przystępnej cenie), niewielkiego modułu NUCLEO-STM32L432KC produkcji firmy ST Microelectronics w postaci PCB o rozmiarze Arduino Nano. Wstępna analiza właściwości przedmiotowego modułu z mikrokontrolerem STM32L432KC wykazała potencjalną przydatność do realizacji podstawowych technik DSP w zastosowaniach z dziedziny m.cz., czyli głównie audio. Zaważyła o tym przede wszystkim dostępność na jego pokładzie dostatecznie szybkich bloków peryferyjnych: wielokanałowego przetwornika analogowo-cyfrowego (ADC) oraz dwóch przetworników cyfrowo-analogowych (DAC), a także wsparcie sprzętowe dla instrukcji obliczeniowych DSP, dostępne standardowo w MCU z rdzeniem ARM Cortex-M4.

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

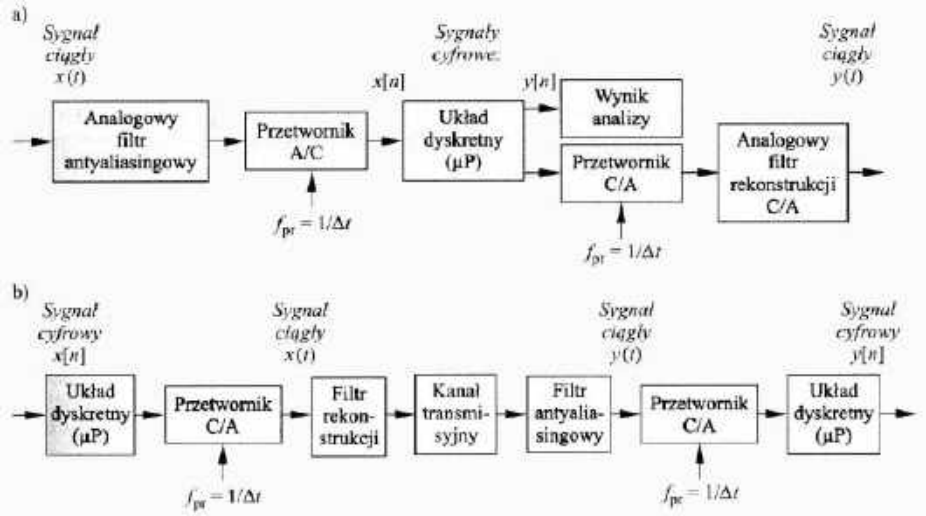
eprasa.pl e84dd9a9f2

Teoretyczne podstawy DSP w pigułce

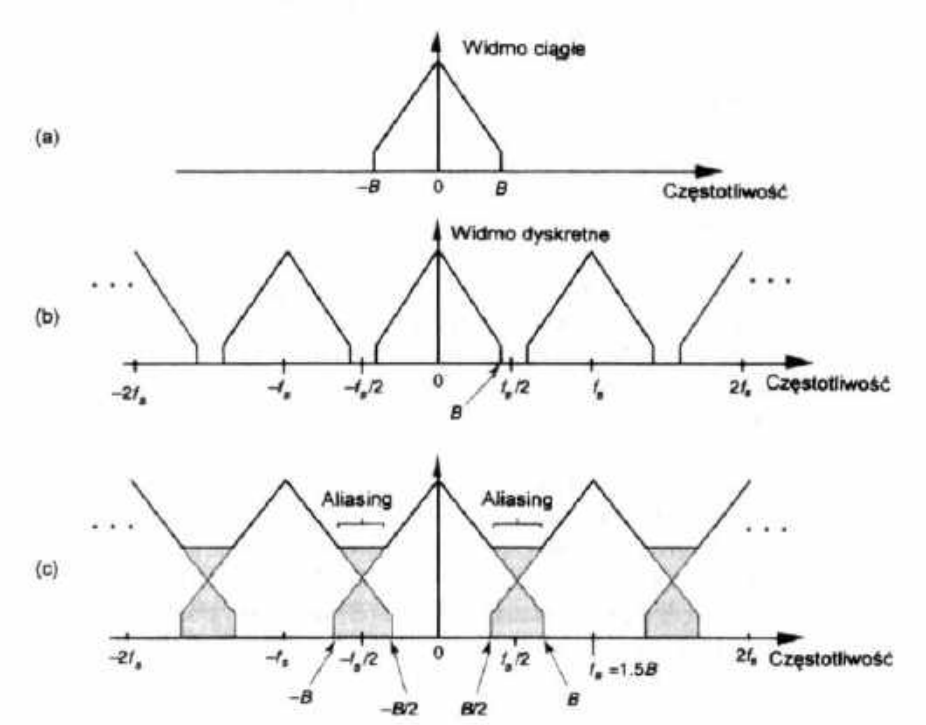
Zasadniczo celem tej publikacji nie jest szczegółowe omawianie licznych zagadnień z rozległej dziedziny cyfrowego przetwarzania sygnałów, jakkolwiek autor niniejszego opracowania poczuł się w obowiązku przedstawić w tym miejscu przynajmniej minimalne teoretyczne podstawy DSP, wykorzystywane dalej na potrzeby rozpatrywanych rozwiązań praktycznych i wprowadzane na bieżąco razem z nimi. Na **rysunku 34** [1] zaprezentowano dwie klasyczne koncepcje cyfrowych torów analizy i przetwarzania sygnałów: analog-cyfra-analog **(a)** oraz cyfra-analog-cyfra **(b)**. Na ilustracjach użyto następujących oznaczeń: Δt – okres próbkowania, f_{pr} – częstotliwość próbkowania. W kontekście tej publikacji nie będzie nas interesował przypadek **(b)**, który z definicji opisuje koncepcję fizycznej realizacji cyfrowego kanału teletransmisyjnego, działającego w oparciu o analogowe medium fizyczne, zatem skupimy się na schemacie blokowym z przypadku **(a)**. Jak widać, oprócz umieszczonego centralnie układu przetwarzania wartości dyskretnych (czyli zazwyczaj układu mikroprocesorowego, µP) oraz przetworników A/C (ADC) i C/A (DAC), niezbędnych do obróbki sygnałów w pełni analogowych (tzn. ciągłych w dziedzinie czasu i wartości fizycznych), na wejściu układu znajdują się także analogowy filtr antyaliasingowy, a na wyjściu toru – analogowy filtr rekonstrukcji. Pierwszy z tych bloków jest niezbędny z uwagi na ryzyko wystąpienia zjawiska aliasingu, czyli pasożytniczego przenikania do spróbkowanego sygnału powielonego widma sygnału użytecznego, powtarzanego wokół całkowitych wielokrotności częstotliwości próbkowania ±n·Fs (n=1, 2, …). **Zjawisko aliasingu występuje wtedy, gdy nie jest spełnione tzw. kryterium Nyquista, tzn. Fmax (najwyższa częstotliwość występująca w próbkowanym sygnale analogowym) nie jest niższa (najlepiej z odpowiednim zapasem) od Fs/2:**

$$F_{max} < F_s/2 \quad (1)$$

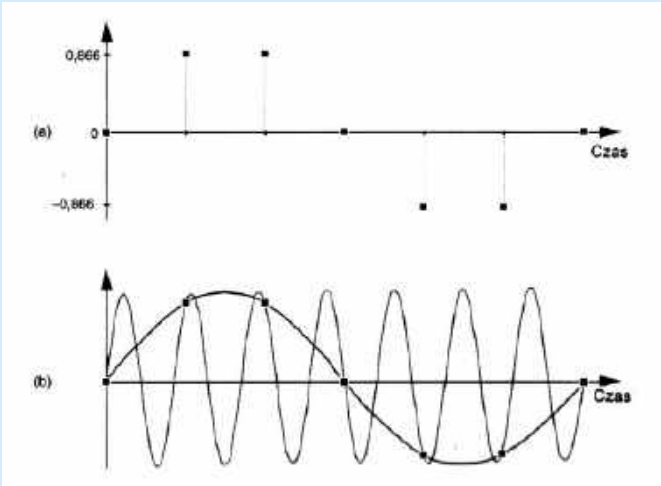
Na **rysunku 35** [2] zilustrowano zjawisko powielania widmowego. Wykres (a) prezentuje widmo ciągłe dolnopasmowego sygnału o paśmie B, natomiast wykresy **(b)** i **(c)** prezentują kolejno: powielanie widmowe sygnału spróbkowanego w przypadku Fs/2 > B oraz powielanie i nakładanie widm spowodowane faktem, że szybkość próbkowania jest zbyt mała (zachodzi warunek Fs/2 < B, występuje zatem nakładanie się częstotliwości i aliasing). Filtry ograniczające pasmo przetwarzanego sygnału analogowego zapobiegają także skutkom występowania zjawiska niejednoznaczności częstotliwości. **Rysunek 36** [2] wyjaśnia istotę tego zjawiska: na wykresie **(a)** widzimy dyskretny ciąg próbek, natomiast wykres **(b)** pokazuje dwa różne przebiegi sinusoidalne, które mogłyby być



Rysunek 34. Cyfrowe tory analizy i przetwarzania sygnałów analog-cyfra-analog oraz cyfra--analog-cyfra [1]



Rysunek 35. Ilustracja zjawisk powielania widmowego i aliasingu [2]

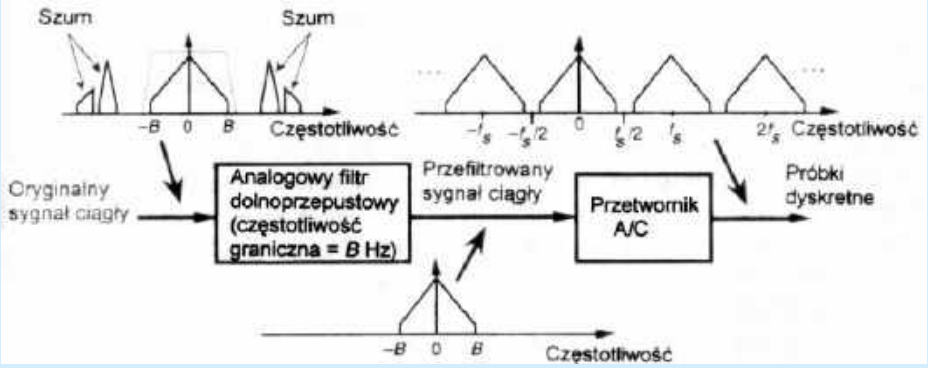


Rysunek 36. Ilustracja zjawiska niejednoznaczności częstotliwości w dziedzinie czasu [2]

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

eprasa.pl e84dd9a9f2

potencjalnie reprezentowane przez ten sam ciąg próbek z wykresu **(a)**. Z kolei **rysunek 37** [2] objaśnia celowość stosowania wstępnych, dolnoprzepustowych filtrów przetwarzanego sygnału analogowego z uwagi na ryzyko przedostawania się do przebiegu spróbkowanego zakłóceń spoza pasma B sygnału użytecznego – także w rezultacie występowania powielania widmowego. Jak łatwo domyśleć się, z powodu występowania opisanych zjawisk również sygnał analogowy na wyjściu systemu przetwarzania wg rysunku 34 – odtworzony np. za pomocą prostokątnych próbek sygnału – powinien zostać poddany analogicznej filtracji dolnoprzepustowej. Szczegółowy opis ilościowy wymienionych zjawisk istotnie wykracza jednak poza podstawowy zakres i cel tego opracowania.

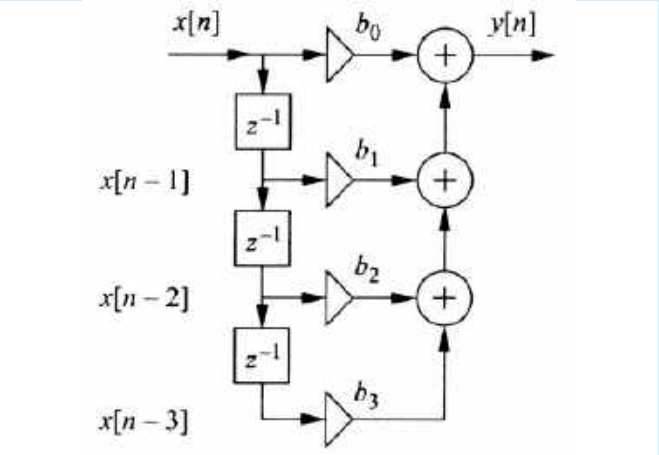


Rysunek 37. Analogowa filtracja dolnoprzepustowa poprzedzająca próbkowanie z szybkością fs [2]

Jako „układ dyskretny (μP)", realizujący przetwarzanie sygnału cyfrowego x[n] na y[n] (rysunek 34a) w pierwszym, stosunkowo najprostszym implementacyjnie podejściu zaproponowano filtr cyfrowy typu FIR (transwersalny lub inaczej nierekursywny), czyli o skończonej odpowiedzi impulsowej. W przeciwieństwie do filtrów rekursywnych IIR (ang. *Infinite Impulse Response*), czyli o nieskończonej odpowiedzi impulsowej, filtry FIR cechuje gwarantowana stabilność, wynikająca z braku gałęzi sprzężenia zwrotnego. Oznacza to także uproszczenie realizacji praktycznej oraz procesów projektowania i analizy właściwości. Niestety ceną, jak trzeba zapłacić za te ewidentne zalety, jest potencjalnie znacznie większy nakład obliczeniowy, potrzebny do realizacji filtrów FIR, a wynikający z istotnie większej liczby bloków opóźniających oraz elementów mnożących niż w przypadku równoważnego funkcjonalnie filtru IIR. Pomimo to zadanie zastąpienia prototypów analogowych w technice DSP rozpoczniemy od realizacji opartej właśnie na (prostsze) filtrach FIR. **Rysunek 38** [1] pokazuje klasyczną implementację takiego filtru rzędu M=3. Bloczki oznaczone „z^{-1}" są układami opóźniającymi o jedną próbkę, natomiast bloczki oznaczone jako b_0...b_3 to człony mnożące (skalujące) wartości kolejnych czterech próbek. Moduły „z^{-1}" realizują swego rodzaju rejestr przesuwny typu FIFO (ang. First Input First Output), w którym nowsze próbki zastępują te wcześniej pobrane wg symbolicznej zależności $x'[n-1]=x[n]$, a najstarsza próbka nieodwracalnie opuszcza rejestr. Ciąg współczynników b_0...b_3 jednoznacznie definiuje właściwości filtru FIR, a jego długość jest zawsze o jeden większa od rzędu filtru. I tak na wyjściu filtru FIR uzyskujemy sygnał y[n] będący sumą liczoną wg wzoru:

$$y[n] = \sum_{m=0}^{M} (b[m]) \cdot x[n-m] \quad (2)$$

Podane informacje teoretyczne zasadniczo wystarczą do implementacji praktycznej naszych prostych filtrów FIR, lecz zostaną rozszerzone w kolejnej części tego cyklu publikacji.

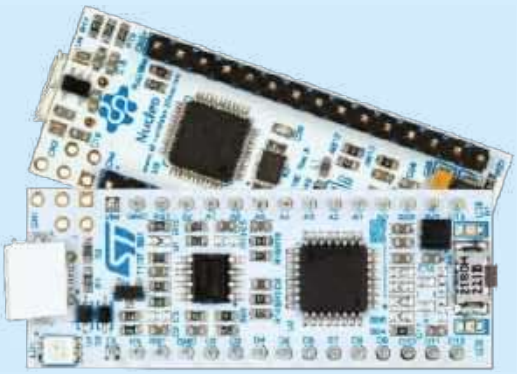


Rysunek 38. Schemat blokowy filtru nierekursywnego [1]

Platforma sprzętowa

Platformę sprzętową, niezbędną do przeprowadzenia opisanych dalej badań, zrealizowano z podziałem na dwie główne części. Odnosząc się do schematu blokowego z rysunku 34a, możemy powiedzieć, że pierwsza, zasadnicza część obejmująca bloki: przetwornika ADC, układu dyskretnego (μP) oraz przetwornika DAC, została zrealizowana w oparciu na zasobach wewnętrznych mikrokontrolera STM32L432KC, osadzonego w 30-pinowym module NUCLEO-STM32L432KC, pokazanym na **fotografii 5** [3].

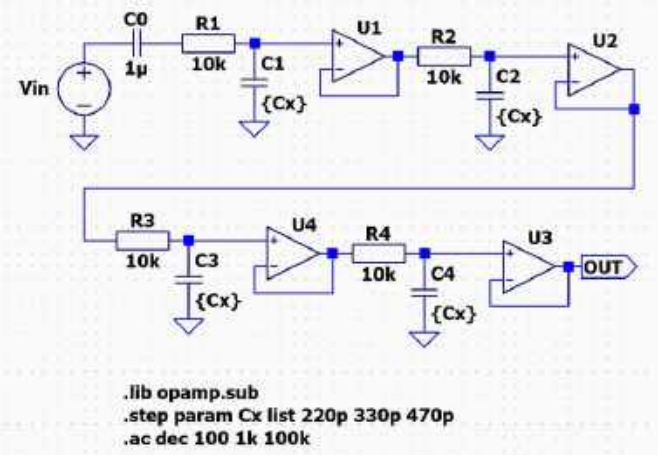
Zastosowany mikrokontroler [4] był taktowany wewnętrznym zegarem, pracującym z maksymalną dopuszczalną dla tego MCU częstotliwością taktowania Fclk=80 MHz, przy czym źródłowy zegar wewnętrzny MSI był synchronizowany z zewnętrznym rezonatorem kwarcowym, pracującym z zegarem LSE o częstotliwości 32,768 kHz. Zasoby obliczeniowe zastosowanego MCU oraz ustalona częstotliwość Fclk pozwoliły na implementację całkowitoliczbowych filtrów FIR o maksymalnym rzędzie równym 26 lub 27 (zależnie od podtypu filtru) przy częstotliwości próbkowania Fs=48 kHz (implementacje filtrów z zastosowaniem liczb zmiennoprzecinkowych typu float były znacznie wolniejsze). Uzyskana częstotliwość Fs pozwoliła na pracę przyrządu z sygnałami analogowymi „monochromatycznymi" (czysta sinusoida) o częstotliwości maksymalnej Fmax=20 kHz, co zgadza się z kryterium Nyquista [1, 2] (Fmax < Fs/2=24 kHz). Poza pinami zasilania (+3,3 V) i masy (GND) zastosowano oczywiście także: wejście przetwornika ADC1/8 (pin A3 modułu NUCLEO) oraz wyjście przetwornika DAC1 (pin A4 modułu NUCLEO). Moduł NUCLEO był cały czas zasilany z portu USB



Fotografia 5. Przykładowe moduły z serii STM32 Nucleo-32 [3]

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

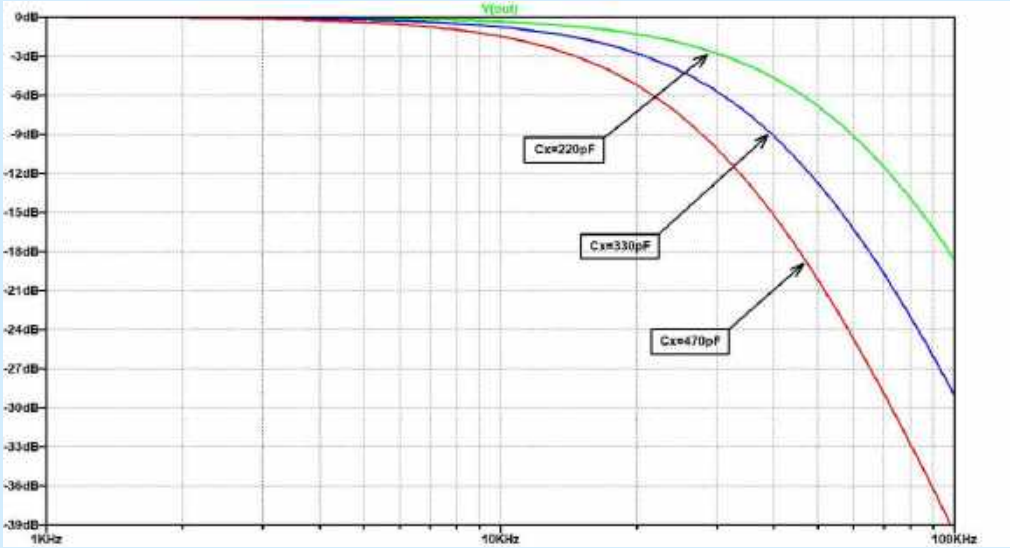
eprasa.pl e84dd9a9f2



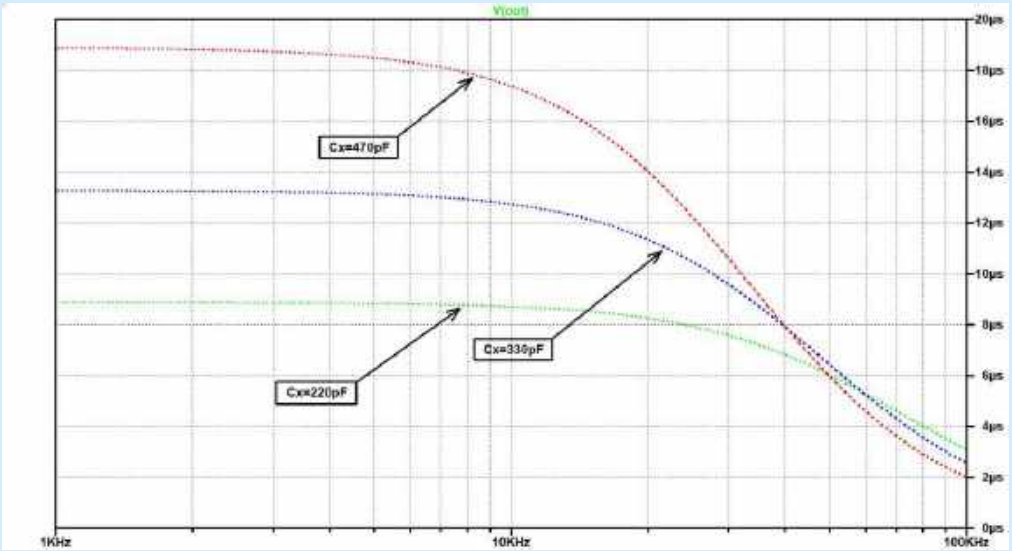
Rysunek 39. Schemat elektryczny układu do symulacji prototypu filtrów analogowych

komputera PC, ten sam interfejs umożliwiał także programowanie i debugowanie procesora.

Analogowe układy filtrujące, realizujące zadania bloków: filtru antyaliasingowego oraz filtru rekonstrukcji C/A, pokazanych na rysunku 34a, zrealizowano wg tej samej prostej koncepcji czterostopniowego filtru RC. Poszczególne człony RC (pierwszego rzędu) zostały odseparowane wtórnikami opartymi na czterech wzmacniaczach operacyjnych, zawartych w strukturze układu MCP6004. Taka nieskomplikowana koncepcja filtrów pozwoliła na uzyskanie znacznej impedancji wejściowej w całym przetwarzanym pasmie częstotliwości, niskiej impedancji wyjściowej, niemal idealnie płaskiej charakterystyki przenoszenia w pełnym użytecznym paśmie oraz prawie stałe opóźnienie grupowe w tymże zakresie częstotliwości. Cechy te są bardzo korzystne z punktu widzenia pomiarowego przeznaczenia zaprojektowanych filtrów analogowych, a ich niezwykle prosta topologia dodatkowo istotnie ułatwia eksperymenty związane z korektą parametrów użytkowych filtrów, jednocześnie znacznie obniżając ich wrażliwość na rozrzut wartości zastosowanych elementów RC. Nie byłoby to możliwe w przypadku zastosowania filtrów kratowych, np. w topologii Sallen-Key czy z wielokrotnym sprzężeniem zwrotnym. Na **rysunku 39** zaprezentowano schemat elektryczny prototypu przedmiotowych filtrów analogowych, użytych do wariantowej, małosygnałowej, zmiennoprądowej symulacji AC (z trzema różnymi wartościami pojemności Cx=220 pF, 330 pF i 470 pF), zrealizowanej w środowisku LTspice [5, 8]. Na podstawie analizy uzyskanych charakterystyk: częstotliwościowych (**rysunek 40**) i opóźnienia grupowego (**rysunek 41**) przyjęto arbitralnie pojemność Cx=330 pF, zapewniającą Fg filtrów równą 20 kHz (przy tłumieniu –3 dB) oraz monotoniczne opóźnienie grupowe, którego zmienność w zakresie pasma przenoszenia filtru nie przekraczała 10% wartości na początku tego pasma. Należy w tym miejscu wyjaśnić, że chociaż podana koncepcja filtrów analogowych nie zapewnia ich wysokiej skuteczności w roli filtrów antyaliasingowych, to w przedmiotowym zastosowaniu (czysto pomiarowym) nie jest to powód do zmartwienia, bowiem z uwagi na wysterowanie układu z założenia silnym, czystym sygnałem sinusoidalnym w dozwolonym pasmie przenoszenia, ryzyko zjawiska aliasingu praktycznie nie występuje. Filtr wejściowy należy zatem traktować jako profilaktyczny filtr przeciwzakłóceniowy, natomiast filtr wyjściowy – jako układ wygładzający dla sygnału wyjściowego, odtworzony prostokątnymi próbkami przetworzonego sygnału testowego. Na **rysunku 42** zaprezentowano schematy elektryczne fizycznych realizacji układów obu omawianych filtrów analogowych. Zastosowano w nich dwa poczwórne wzmacniacze operacyjne typu MCP6004 (U1A..D oraz U2A..D; wybrane parametry małosygnałowe tych układów podano w **tabeli 5**). Ogromną zaletą zastosowanych wzmacniaczy operacyjnych jest zdolność do pracy ich wejść i wyjść w trybie RRIO (*rail-to-rail input/output*) – i to także przy niskim napięciu



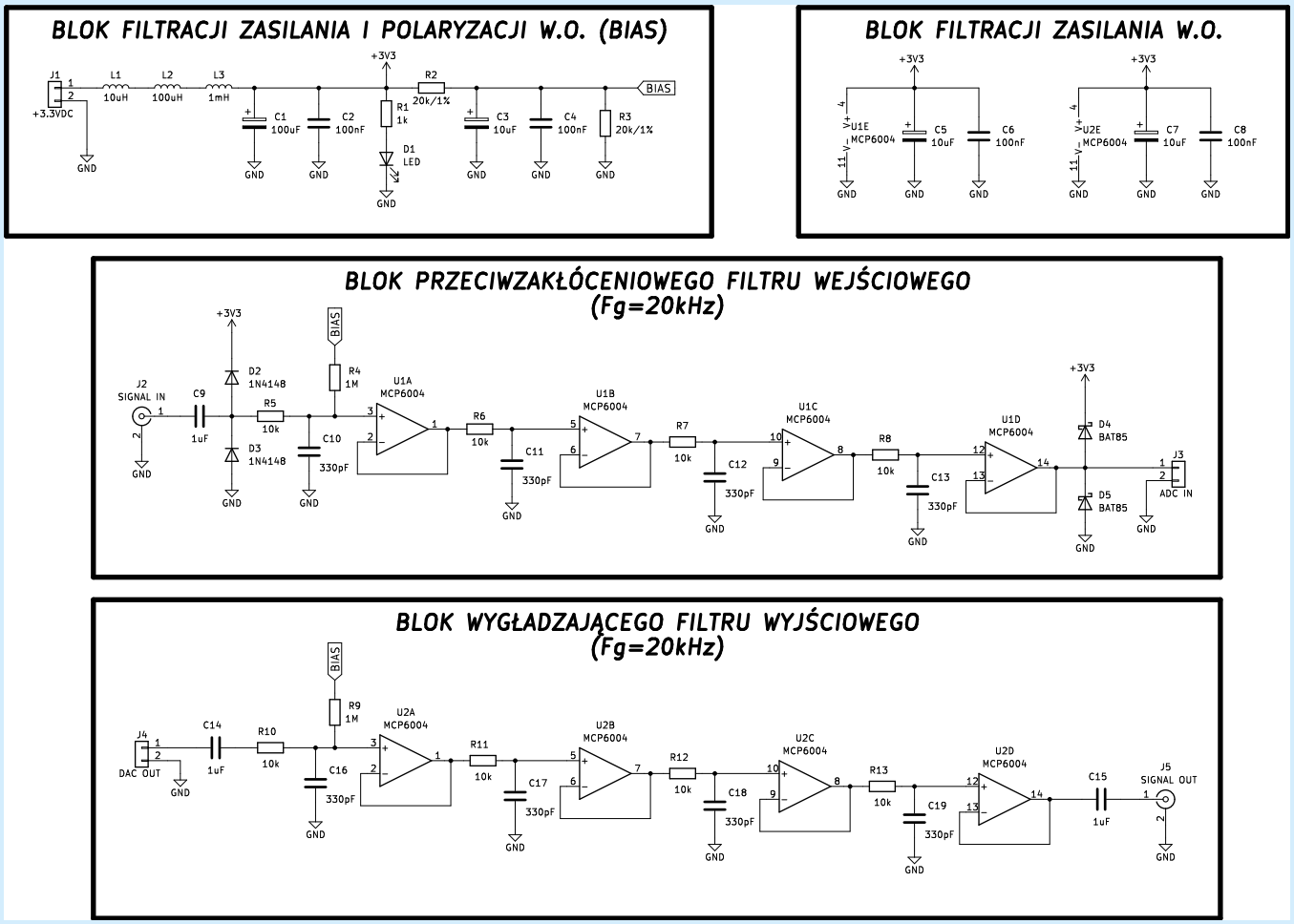
Rysunek 40. Charakterystyki częstotliwościowe prototypu filtrów analogowych



Rysunek 41. Opóźnienie grupowe prototypu filtrów analogowych

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

eprasa.pl e84dd9a9f2



Rysunek 42. Schemat elektryczny analogowych układów filtrujących

zasilania Vdd=+3,3 V, którym jest natywnie zasilany mikrokontroler STM32L432KC modułu STM32-Nucleo. Dlatego celowo do zasilania układów U1 i U2 użyto właśnie tego napięcia. Zabieg ten miał na celu nie tyle uproszczenie konstrukcji bloku filtrów analogowych, co raczej zagwarantowanie, że wejście ADC mikrokontrolera nie zostanie przesterowane (co wiązałoby się z wysokim ryzykiem uszkodzenia MCU). Ostatecznie przeciwzakłóceniowy filtr wejściowy został uzupełniony o wstecznie spolaryzowane diody zabezpieczające D2 i D3 (2×1N4148) na wejściu oraz D4 i D5 (2×BAT85) na wyjściu (diody Schottky'ego na wejściu nie sprawdzały się z uwagi na dość znaczne i nieidentyczne prądy wsteczne, które istotnie zaburzały wartość napięcia BIAS, polaryzującego wejście wzmacniacza U1A). Napięcie BIAS, polaryzujące wejścia U1A i U2A, jest uzyskiwane wprost z dzielnika rezystancyjnego R2 i R3 (bez dodatkowego wtórnika), z uwagi na znikome wejściowe prądy polaryzacji użytych układów. Elementy bierne L1...L3 oraz C1...C8 skutecznie separują napięcia zasilania Vdd i polaryzacji BIAS układów U1 i U2 od zasilania MCU, a dioda LED D1 z opornikiem R1 sygnalizuje obecność zasilania bloku filtrów. **Fotografia 6** prezentuje przygotowaną płytkę testową – z wyróżnionymi na niej: zastosowanym modułem STM32-NUCLEO oraz blokiem filtrów analogowych.

Oprogramowanie

Jak wspomniano wcześniej, do projektowania obwodów filtrów analogowych współpracujących z MCU wykorzystano popularne, stabilne i sprawdzone środowisko LTspice [5, 8]. Z kolei oprogramowanie mikrokontrolera napisano w środowisku STM32CubeIDE [6] – m.in. z użyciem bibliotek HAL (ang. Hardware Abstraction Layer) [7]. Natomiast właściwe filtry cyfrowe DSP zaprojektowano z użyciem darmowego środowiska Octave (pakiet 'signal') [8], przeznaczonego do szeroko pojętego programowania matematycznego i inżynierskiego. Oprogramowanie Octave w znacznym zakresie zastosowań może zastępować w pełni profesjonalne, niezwykle zaawansowane i rozbudowane, komercyjne środowisko MATLAB, do którego to języka ma też bardzo podobną składnię.

Tabela 5. Wybrane parametry małosygnałowe wzmacniaczy operacyjnych w układzie MCP6004

Symbol	Nazwa parametru	Typowa wartość	Jednostka
Iib	Wejściowy prąd polaryzacji Tamb=25°C	±1	pA
Aol	Wzmocnienie otwartej pętli (wielkosygnałowe) RL=2 kΩ, Vo=±10 V, Tamb=25°C	112	dB
GBWP	Iloczyn wzmocnienia i pasma Tamb=25°C, RL=10 kΩ, CL=60 pF	1	MHz
Rdiff	Rezystancja wejściowa	1013	Ω
SR	Szybkość narastania (slew rate) Tamb=25°C, RL=10 kΩ, CL=60 pF	0,6	V/µs

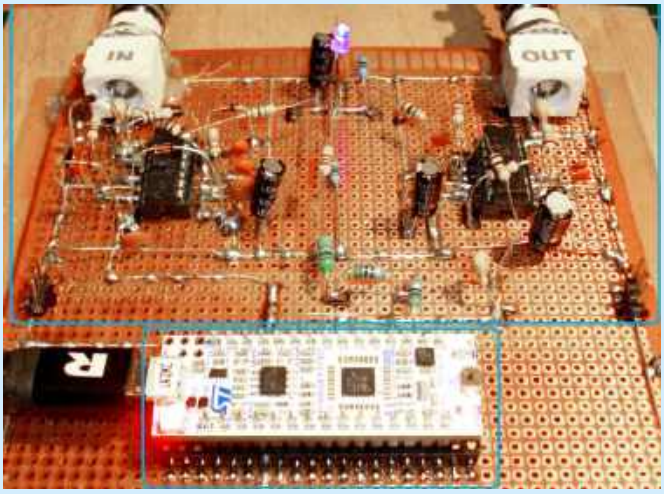
Filtry cyfrowe FIR zostały zaimplementowane wg ram poniższego algorytmu:

I. Projektowanie filtru FIR o zadanym typie, parametrach i jak najwyższym rzędzie $N_{ord} \leq 28$, zapewniającym poprawne wykonywanie obliczeń w pętli ze stałą częstotliwością próbkowania Fs=48 kHz (środowisko Octave, pakiet 'signal', funkcje: `fir1()` oraz `freqz()`),

II. Jednorazowe zdefiniowanie w kodzie programu MCU współczynników filtru FIR oraz bufora – rejestru przesuwnego FIFO na pobrane próbki sygnału wejściowego (oba o długości N_{ord}+1),

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

eprasa.pl e84dd9a9f2



Fotografia 6. Płytka testowa z modułem NUCLEO i blokiem filtrów analogowych

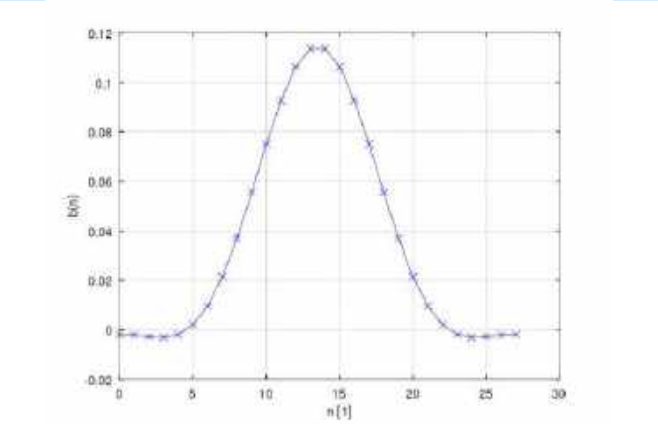
III. Zainicjowanie w MCU bloków peryferiów GPIO, ADC oraz DAC i wyznaczenie składowej stałej na wejściu ADC (tzw. *offset* – do usunięcia z pobranych próbek w kolejnych krokach obliczeniowych).

IV. Wykonywanie w nieskończonej pętli następujących kroków:
- zlecenie ADC pobrania kolejnej próbki sygnału wejściowego,
- przesunięcie bufora – rejestru próbek FIFO o jedną próbkę, „gubiące" najstarszą próbkę na końcu rejestru i przygotowujące miejsce na wpis nowej danej na jego początku,
- odczyt nowego wyniku konwersji z ADC,
- przeliczenie wyjścia filtru FIR wg zależności (2) i schematu na rysunku 38,
- zapis wyliczonej wartości wyjścia filtru FIR do przetwornika DAC w MCU,
- powrót na początek nieskończonej pętli IV.

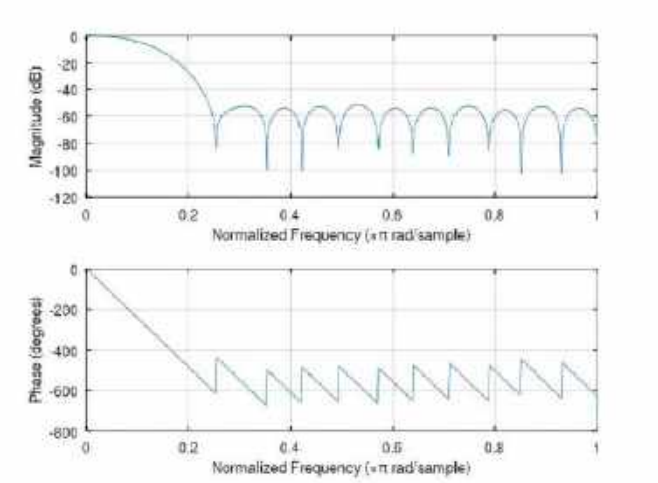
Projekty i analiza własności opracowanych filtrów FIR

Na potrzeby tej publikacji opracowano i przebadano cyfrowe odpowiedniki FIR wszystkich pięciu projektów amplifiltrów analogowych, prezentowanych w 2. i 3. odcinku naszego kursu (*Filtry aktywne m.cz. typu Sallen-Key* oraz *Amplifiltry wąskopasmowe*).

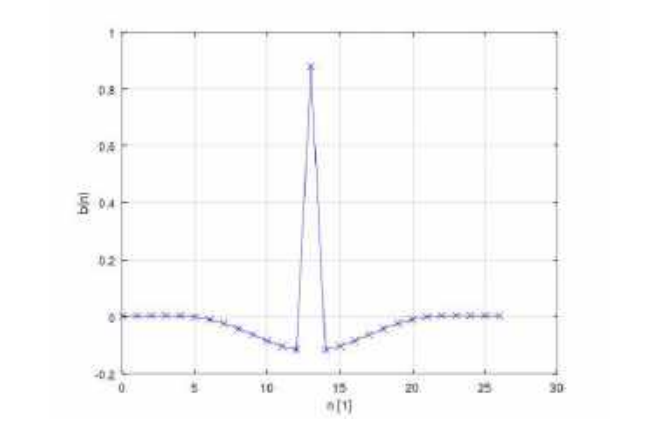
Do projektowania filtrów użyto wbudowanej funkcji programu Octave o nazwie `fir1()`. Jej zastosowanie jest bardzo proste – oprócz wymaganego rzędu projektowanego filtru należy jeszcze określić jego rodzaj (za pomocą jednego z parametrów – ciągów tekstowych: `low`, `high`, `stop`, `pass`, `bandpass`, `DC-0` oraz `DC-1`). Oprócz tego należy jeszcze określić jeden lub dwa momenty znamienne (wyrażone częstotliwością znormalizowaną względem wartości Fs/2), w których oczekiwany jest środek obszaru przejścia (spadku lub wzrostu) częstotliwościowej charakterystyki przejściowej projektowanego filtru cyfrowego. Poprawnie sparametryzowana funkcja `fir1()` daje na wyjściu ciąg $b(n)$ rzeczywistych współczynników filtru FIR, przy czym liczba tych współczynników jest zawsze o 1 większa od rzędu filtru N_{ord}. Opcjonalne okno kształtowania charakterystyki można podać jako wektor w – także o długości $N_{ord}+1$. Jeśli nie określono inaczej, używane jest okno Hamminga o stosownej długości. Przy zastosowaniu opcji *noscale* współczynniki filtru nie są normalizowane, jednak domyślnie filtr jest generowany w formie znormalizowanej – tak, aby odpowiedź amplitudowa dla środka pierwszego pasma przepustowego wynosiła 1. W opisywanych dalej projektach uzyskane za pomocą funkcji `fir1()` ciągi współczynników $b(n)$ były dodatkowo mnożone przez liczbę 2^{12} i zaokrąglane do najbliższej wartości całkowitej, co umożliwiło implementację w obliczeniach arytmetyki całkowitoliczbowej (z zasady znacznie szybszej od arytmetyki zmiennoprzecinkowej), z satysfakcjonującą dokładnością odwzorowania filtrów. Oczywiście rezultat uzyskany na wyjściu filtru FIR był ponownie skalowany „w dół" o tę samą wartość 2^{12}, której wybór pozwolił zamienić zwykle stosunkowo wolną operację dzielenia „$x/(2^{12})$" na bardzo szybkie przesunięcie bitowe w prawo „x >> 12". Na koniec warto zapamiętać to, że filtry typu *high* oraz *notch* wymagają podania jako parametru wejściowego funkcji `fir1()` parzystej wartości rzędu filtru N_{ord} – jeśli sami o to nie zadbamy, to program zapewne automatycznie zwiększy N_{ord} o jeden, co w przypadku krytycznie wysokiego wykorzystania czasu obliczeniowego pomiędzy pobraniem kolejnych próbek (z częstotliwością Fs) może doprowadzić do skrajnie nieprawidłowej pracy badanego układu filtracyjnego.



Rysunek 43. Współczynniki b(n) filtru FIR LPF



Rysunek 44. Charakterystyki: amplitudowa i fazowa filtru FIR LPF (symulacja)

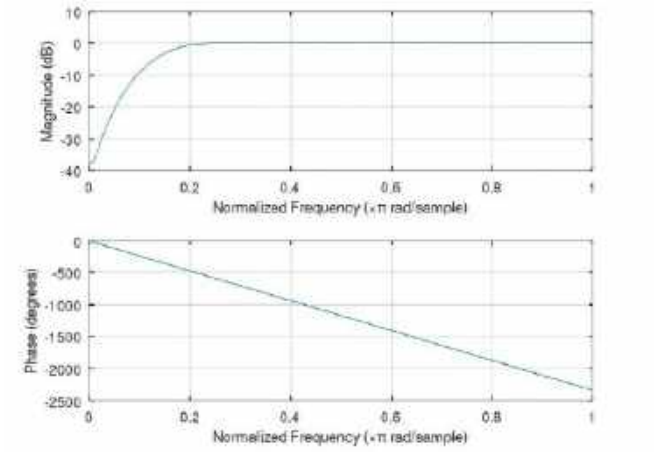


Rysunek 45. Współczynniki *b(n)* filtru FIR HPF

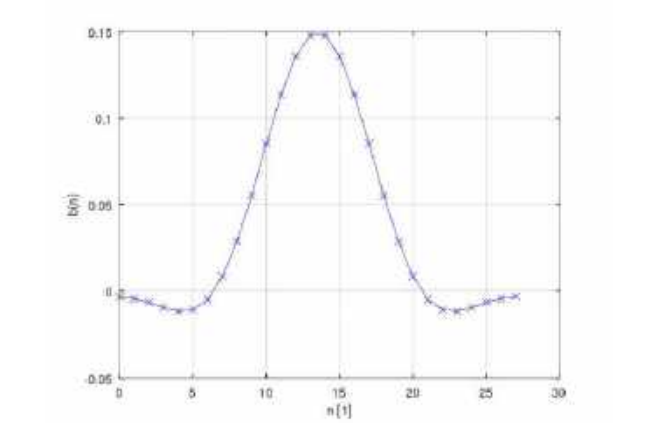
Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl e84dd9a9f2

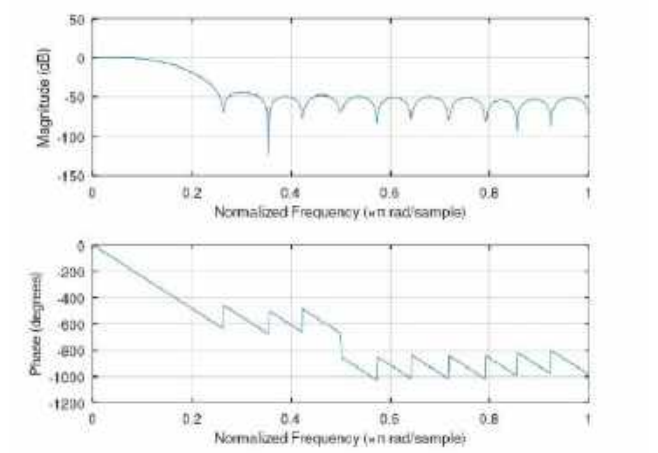
Na **rysunkach 43...52** ujęto zestawy wykresów (po dwa na jeden filtr), obrazujących kolejno: przebieg współczynników *b*(*n*) danego filtru, a także jego wyliczone charakterystyki: amplitudową i fazową. Natomiast pomierzone najistotniejsze fragmenty charakterystyk częstotliwościowych badanych filtrów ujęto w **tabelach 6** i **7** (dane liczbowe) oraz na wykresach, na **rysunkach 53** i **54**. O ile zgodności wyliczonych i zmierzonych charakterystyk częstotliwościowych filtrów FIR typu LPF, HPF oraz BPF nie budzą większych zastrzeżeń (z dokładnością ograniczoną przez możliwości pomiaru bardzo małych napięć wyjściowych Uwy), o tyle już uzyskane charakterystyki filtrów cyfrowych (zwłaszcza *peak* i *notch*) zdecydowanie otwierają szerokie pole do dyskusji nad



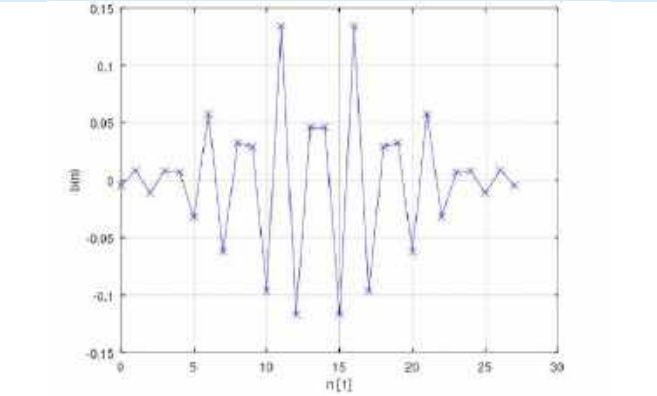
Rysunek 46. Charakterystyki: amplitudowa i fazowa filtru FIR HPF (symulacja)



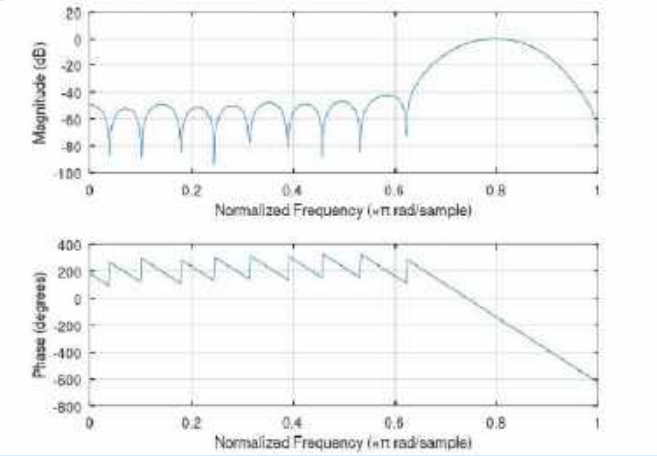
Rysunek 47. Współczynniki *b*(*n*) filtru FIR BPF



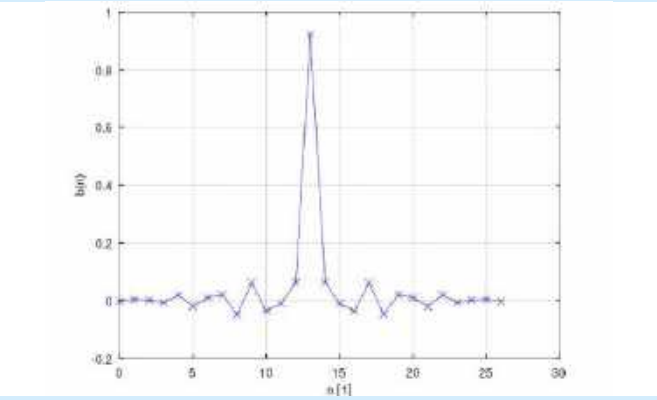
Rysunek 48. Charakterystyki: amplitudowa i fazowa filtru FIR BPF (symulacja)



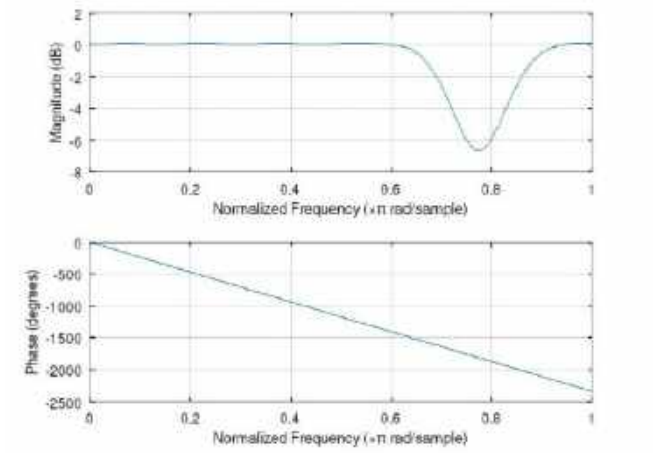
Rysunek 49. Współczynniki *b*(*n*) filtru FIR *peak*



Rysunek 50. Charakterystyki: amplitudowa i fazowa filtru FIR *peak* (symulacja)



Rysunek 51. Współczynniki *b*(*n*) filtru FIR *notch*



Rysunek 52. Charakterystyki: amplitudowa i fazowa filtru FIR *notch* (symulacja)

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

eprasa.pl e84dd9a9f2

Tabela 6. Dane pomiarowe charakterystyk filtrów FIR (LPF, HPF, BPF)

F [kHz]	A [dB]		
	LPF	HPF	BPF
0,5	0,0	−30,5	0,0
1,0	−0,6	−23,1	0,0
1,5	−1,7	−17,1	−0,3
2,0	−3,1	−12,4	−0,9
2,5	−5,1	−8,8	−2,3
3,0	−8,0	−6,0	−4,2
3,5	−11,8	−3,9	−6,9
4,0	−16,7	−2,5	−11,1
4,5	−22,4	−1,6	−15,9
5,0	−32,0	−1,0	−22,5
5,5	−40,0	−0,7	−30,5
6,0	−46,0	−0,6	−40,0

Tabela 7. Dane pomiarowe charakterystyk filtrów FIR (*peak* i *notch*)

F [kHz]	A [dB]		F [kHz]	A [dB]	
	peak	*notch*		*peak*	*notch*
12,0	−40,0	−1,9	19,0	−6,0	−13,2
13,0	−40,0	−1,9	19,5	−6,0	−13,2
14,0	−40,0	−2,5	20,0	−8,0	−12,4
15,0	−40,0	−3,1	20,5	−10,5	−10,5
16,0	−24,4	−4,4	21,0	−14,0	−8,0
17,0	−14,0	−8,0	22,0	−34,0	−4,4
17,5	−10,5	−9,1	23,0	−40,0	−3,1
18,0	−8,0	−11,1	24,0	−40,0	−5,2
18,5	−6,0	−12,0			

optymalizacją – zarówno samych rozwiązań projektowych, jak i obranych technik obliczeniowych i/lub pomiarowych.

Podsumowanie i wnioski

W artykule zaprezentowano minimalne podstawy teoretyczne, niezbędne do projektowania w technice DSP filtrów cyfrowych typu FIR, a także projekt względnie prostej platformy sprzętowej, niezbędnej do fizycznej implementacji opracowanych pięciu filtrów cyfrowych, które następnie przebadano symulacyjnie i pomiarowo. Rezultaty pomiarów nie we wszystkich przypadkach okazały się satysfakcjonujące, co jest solidnym uzasadnieniem do przeprowadzenia dalszych badań i optymalizacji w zakresie projektów i implementacji fizycznej omówionych filtrów cyfrowych. Do kierunków tych poszukiwań będą należały zapewne: wydłużenie projektowanych filtrów FIR na drodze redukcji nakładu obliczeniowego per jednostkowy element filtru, zastosowanie filtrów rekursywnych IIR oraz użycie dedykowanych bibliotek z rodziny CMSIS. Jako opcję można też rozważyć pewne obniżenie zastosowanej częstotliwości próbkowania Fs przy jednoczesnej optymalizacji właściwości analogowych (sprzętowych) filtrów: wejściowego i wyjściowego w opracowanym układzie pomiarowym. Otwartą kwestią pozostaje także możliwość dokładnego pomiaru bardzo małych napięć na wyjściu badanego układu (np. przy napięciu sinusoidalnym na wejściu badanego układu równym Uwe=1 Vp-p i tłumieniu filtru rzędu A=−60 dB powinniśmy być w stanie pomierzyć dokładnie parametry sinusoidy o napięciu wyjściowym rzędu Uwy=1 mVp-p). Wszystkie wymienione w podsumowaniu zagadnienia będą przedmiotem rozważań w kolejnych odcinkach niniejszego kursu.

Adam Sobczyk, EP

Literatura:

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

[2] *Wprowadzenie do cyfrowego przetwarzania sygnałów*, Richard G. Lyons, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności sp. z o.o., Warszawa 1999, wydanie 1,

[3] STM32L432KB STM32L432KC. Datasheet, www.st.com, May 2018, DS11451, Rev. 4

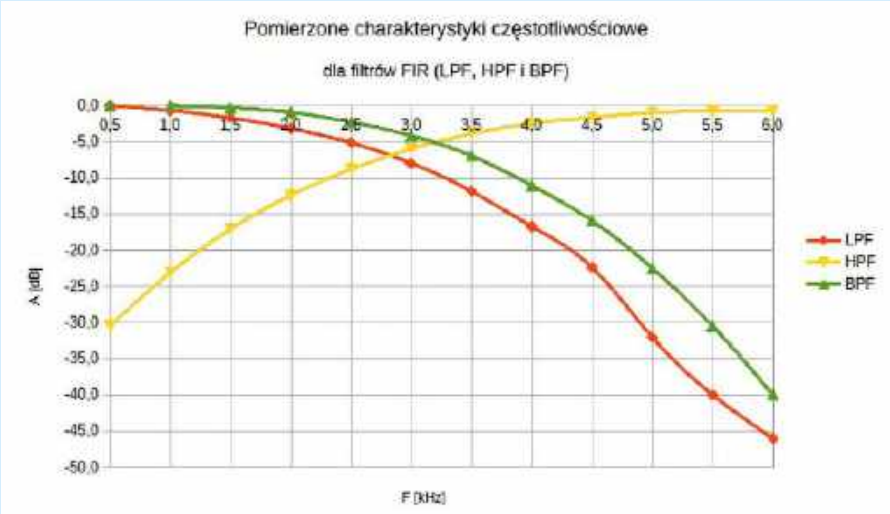
[4] UM1956. User manual. STM32 Nucleo-32 boards (MB1180), November 2018, Rev. 5

[5] Zasoby dotyczące symulatora LTspice, https://tiny.pl/0-3cfvbb

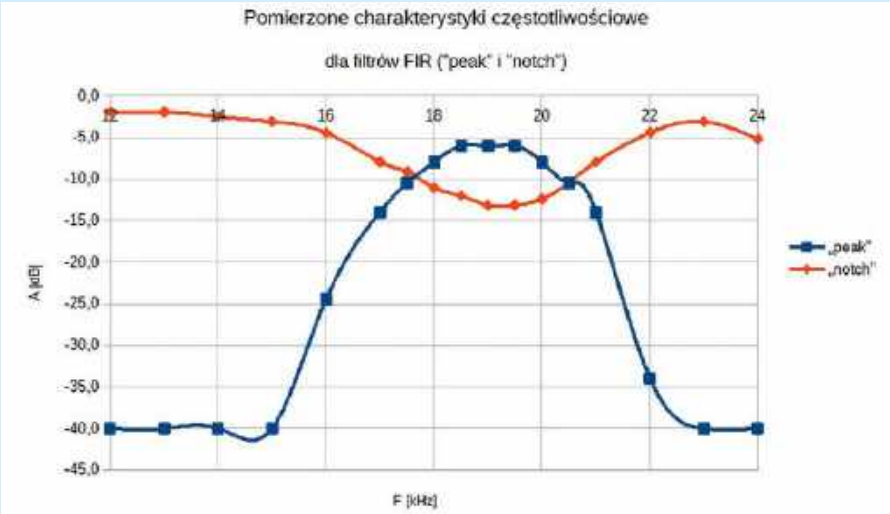
[6] Zasoby dotyczące środowiska programistycznego STM32 CubeIDE, https://tiny.pl/mrnvy7vp

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

[8] Signal processing tools, including filtering, windowing and display functions, https://tiny.pl/dnn6d5cg



Rysunek 53. Zmierzone charakterystyki częstotliwościowe filtrów FIR (LPF, HPF i BPF)



Rysunek 54. Zmierzone charakterystyki częstotliwościowe filtrów FIR (*peak* i *notch*)

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

eprasa.pl e84dd9a9f2

koktajl niusów

Dalszy ciąg rozwoju technologii ogniw pryzmatycznych

Pryzmatyczne ogniwa akumulatorowe charakteryzują się płaskim, prostokątnym kształtem i sztywną obudową, co pozwala na efektywne wykorzystanie przestrzeni w modułach i pakietach baterii. Dzięki szerokiemu portfolio patentów w zakresie konstrukcji oraz procesów produkcji baterii firma LG Electronics już teraz posiada przewagę konkurencyjną na rynku wspomnianych ogniw – nawiązała ona zresztą współpracę z koncernem General Motors (GM), żeby wspólnie opracować pryzmatyczne ogniwa przeznaczone do pojazdów elektrycznych (EV), które zadebiutują w przyszłości. Korzystając z wypróbowanych materiałów i technologii produkcji, LG planuje opracować różne wersje ogniw spełniające oczekiwania nawet najbardziej wymagających klientów. W tym względzie kluczowe okaże się zastosowanie autorskiej technologii układania warstw w strukturach ogniw, która pozwoli wesprzeć masową adaptację pojazdów elektrycznych (EV) w świecie – tym bardziej że obecne praktyki produkcyjne w zakresie akumulatorów zmieniają się z nawijania na układanie.

https://tiny.pl/6y_q5qk4

Oprogramowanie R&S ScopeStudio przeznaczone do obsługi oscyloskopów Rohde & Schwarz z serii MXO

Dzięki oprogramowaniu R&S ScopeStudio można wizualizować pomiary przeprowadzane przy użyciu oscyloskopów z serii MXO. Lekkie, a zarazem stabilne oprogramowanie pozwala szybko i sprawnie analizować, dokumentować i udostępniać wyniki pomiarów – tym bardziej że można je w błyskawiczny sposób zaimportować. Należą do nich zarówno pojedyncze przebiegi z parametrami akwizycji, jak i całe sesje pomiarowe. Prócz możliwości wykonywania ponad 40 rodzajów automatycznych pomiarów, przewidziane w oprogramowaniu R&S ScopeStudio funkcjonalności uwzględniają również: R&S SmartGrid (narzędzie do tworzenia złożonych układów ekranów), filtry, działania matematyczne i analizę widmową sygnałów. W ramach prezentowanego oprogramowania uzyskane wcześniej wyniki można przeglądać i weryfikować, bez konieczności ciągłego zajmowania sprzętu, który pozostaje wolny do użycia przez innych członków zespołu. Narzędzie jest zgodne z następującymi seriami przyrządów: R&S MXO 4, R&S MXO 5 i R&S MXO 5C. Ich obsługa nigdy nie była tak prosta jak teraz – a wkrótce oprogramowanie zostanie poszerzone o kompleksową funkcję dekodowania protokołów takich jak: I²C, SPI, RS-232, CAN (wliczając w to: CAN-FD i CAN-FL), LIN, SENT, ARINC 429 i SPMI (funkcja ta ukaże się w ramach najbliższej aktualizacji, która została przewidziana dla opisanego oprogramowania).

https://tiny.pl/55hq_y0h

Wojskowa radiostacja osobista PERAD

Jest to pierwsza w historii polskiej łączności wojskowej szerokopasmowa radiostacja z opracowanym w kraju modułem kryptograficznym. Prezentowane urządzenie stanowi zaawansowany środek komunikacji na współczesnym polu walki i zostało stworzone z myślą o pracy w najtrudniejszych warunkach, zwłaszcza wtedy, gdy przeciwnik używa systemów walki radioelektronicznej. Dzięki zastosowaniu innowacyjnych rozwiązań osiągnięto świetną jakość transmisji głosu, w połączeniu z długim czasem pracy, niewielkimi gabarytami i małą wagą. Opartą na odbiorniku SDR, wojskową radiostację osobistą PERAD cechuje mała gęstość widmowa sygnału i dobrze zorganizowany hopping częstotliwości, obok autorskich algorytmów kryptograficznych, które są obecnie niemożliwe do złamania. Istnieje możliwość przesyłania danych, w tym obrazów wideo oraz zdjęć, z zastosowaniem sieci IP. Kilka radiostacji może tworzyć samoorganizującą się sieć komunikacyjną na polu walki. Ponadto producent gwarantuje nieduży pobór mocy, a inteligentne zarządzenie energią utrudnia namierzenie radiostacji przez przeciwnika. W trybie energooszczędnym możliwa jest co najmniej kilkudniowa praca urządzenia. Co ważne, urządzenie oferuje spory zasięg łączności, obejmujący np. góry i lasy, a dodatkowym usprawnieniem jest możliwość wspomagania transmisji przez przekaźniki radiowe instalowane w bezzałogowcach. W ten sposób zapewniana jest właściwa przewaga informacyjna w warunkach bojowych, przy jednoczesnej redukcji sygnatury elektromagnetycznej.

https://tiny.pl/q8fzhm-q

Jakub Tyburski
jakub.tyburski@elportal.pl

eprasa.pl e84dd9a9f2

Hity następnego numeru • „Elektronika Praktyczna” 4/2025

Temat numeru: Termowizja w praktyce

Pomiary termowizyjne mają silną pozycję w arsenale technik diagnostycznych stosowanych w różnych gałęziach branży elektronicznej. Swoją popularność zawdzięczają przede wszystkim zdolności do szybkiego wykrywania anomalii termicznych w komponentach elektronicznych i płytkach drukowanych. Dzięki precyzyjnemu obrazowaniu rozkładu temperatury, technologia ta pozwala na monitorowanie pracy układów scalonych, dyskretnych elementów półprzewodnikowych i pasywnych dużej mocy, a nawet pojedynczych ścieżek na PCB, co umożliwia wczesne wykrywanie przegrzewania, zwarć i innych rodzajów uszkodzeń. W artykule przyjrzymy się praktycznym aspektom zastosowań tej technologii w pracy elektronika.

Elektronika w praktyce: Aparatura pomiarowa

Aparatura pomiarowa niezaprzeczalnie stanowi fundament każdej pracowni elektronicznej. Współczesne urządzenia pomiarowe, takie jak oscyloskopy, analizatory widma, multimetry, zasilacze laboratoryjne czy analizatory stanów logicznych, umożliwiają nie tylko diagnostykę uszkodzeń lub błędów układowych, ale także kalibrację produktów czy nawet kontrolę jakości. W kwietniowej odsłonie „Elektroniki w praktyce” przyjrzymy się nowoczesnym narzędziom pomiarowym oraz ich zastosowaniom w diagnostyce, testowaniu i optymalizacji urządzeń elektronicznych.

NOWY KURS: DSP Audio, czyli SigmaDSP dla każdego

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

DSP1701A DSP MK2 – zestaw z procesorem SigmaDSP ADAU1701

DSP1701A DSP MK2 jest przystępną cenowo platformą sprzętową na bazie procesora sygnałowego Analog Devices ADAU1701A, należącego do rodziny SigmaDSP. Prezentowany zestaw, wraz z programatorem USBi (EVAL-ADUSB2EBZ) i darmowym środowiskiem SigmaStudio, umożliwia obróbkę sygnału audio zarówno ze źródeł analogowych, jak i cyfrowych (SPDIF/I²S). Modułowa budowa platformy umożliwia elastyczne dopasowanie zasobów sprzętowych do wymogów aplikacji, ułatwiając szybką rozbudowę funkcjonalną przy zastosowaniu modułów, np. przetworników AD/DA, odbiorników/nadajników SPDIF, wielokanałowych cyfrowych końcówek mocy oraz innych „klocków” – opracowanych samodzielnie lub gotowych, z oferty AVT, Digilent itp. Jednocześnie szczególny nacisk położono na możliwość pracy samodzielnej przy użyciu przetworników AD/DA procesora ADAU1701A oraz znajdujących się na płytce elementów manipulacyjnych.

Wykaz firm ogłaszających się w tym numerze „Elektroniki Praktycznej”

AKSOTRONIK 15
BORNICO 39
COMPUTER CONTROLS 7
CYNEL UNIPRESS 58, 96
FERYSTER 37
HAMAMATSU 24, 27
HAMMOND 5
NORDIC SEMICONDUCTOR 41, 42
RENEX 44, 57
SEMICON 11

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

Wydawnictwo:
AVT Korporacja Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
tel. 22 257 84 99, e-mail: avt@avt.pl

Wydawca:
Wiesław Marciniak

Adres redakcji:
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
e-mail: redakcja@ep.com.pl, www.ep.com.pl

Redaktor Naczelny:
Przemysław Musz

Redaktor Programowy, Przewodniczący Rady Programowej:
Piotr Zbysiński

Menedżer Magazynu:
Katarzyna Gugała, tel. 22 257 84 64

Szef Pracowni Konstrukcyjnej:
Jakub Sobański

Zespół marketingu i reklamy:
Katarzyna Gugała, Bożena Krzykawska, Grzegorz Krzykawski, Grzegorz Lalak

Stali współpracownicy:
Lucjan Bryndza, Nikodem Czechowski, Jarosław Doliński, Andrzej Gawryluk, Krzysztof Górski, Tomasz Jabłoński, Paweł Kowalczyk, Henryk Kowalski, Rafał Kozik, Michał Kurzela, 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 e84dd9a9f2

Cynel® unipress

www.cynel.com.pl

Jesteście z nami już 41 lat

Dziękujemy!

eprasa.pl e84dd9a9f2