Wydanie elektroniczne dostępne na www.ulubionykiosk.pl

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

EP.com.pl

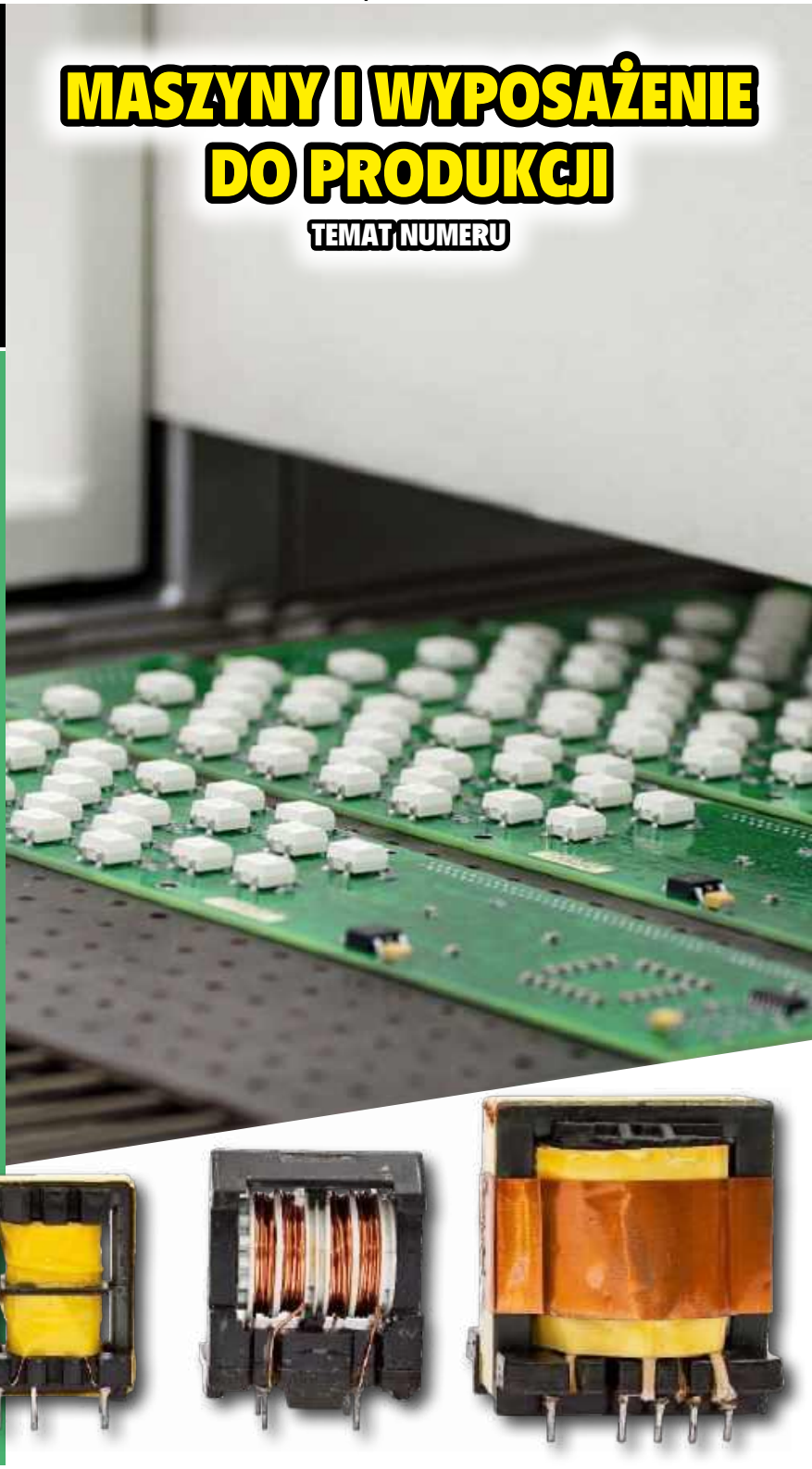
● Międzynarodowy magazyn elektroników konstruktorów ● październik ● 10/2025 ●

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

MASZYNY I WYPOSAŻENIE DO PRODUKCJI

TEMAT NUMERU



inspirujące, użyteczne projekty

• Kompaktowy licznik czasu pracy z detekcją przepływu prądu • Czujnik zamrożenia z interfejsem Grove • Trójkanałowy moduł pomiaru napięcia, prądu i mocy do Raspberry Pi

podzespoły, sprzęt, aplikacje

• 64-bitowy mikroprocesor do rozwiązań IoT produkowanych masowo • Sipeed Tang Primer 25k – zestaw rozwojowy FPGA dla oszczędnych • Creality K1 Max – szybka i tania drukarka do prototypowania • Transformatory impulsowe z systemem izolacji UL • Zaufany partner w branży transformatorów • Komórkowy Internet Rzeczy (IoT) oraz Bluetooth LE wspierają zrównoważone rolnictwo • Sprawdzony dostawca zaopatrzenia technicznego – klucz do oszczędności czasu i środków

tutoriale

• Oszczędzanie energii w teorii i w praktyce • Snubbery – trudne przypadki • Prowadzenie masy w układach lampowych • Syntezatory dźwięku. Wczesne syntezatory i instrumenty elektroniczne • Internet Rzeczy w pomiarach środowiskowych. Detekcja pożaru z czujnikami płomieni i ruchu

kursy

• Programowanie w środowisku MicroPython. Wyświetlacz TFT z panelem dotykowym

ISSN 1230-3526 Indeks 357677

9 771230 352252 10

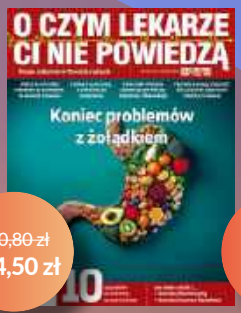
18,90 zł (w tym 8% VAT) • PRICE: 8 EUR

TRANSFORMATORY DO RÓŻNYCH APLIKACJI

eprasa.pl 3b5392c828

Prenumerata

Rodzina i zdrowie



~~190,80 zł~~ **114,50 zł**



~~107,40 zł~~ **64,50 zł**



~~179,00 zł~~ **107,40 zł**

Jesienna promocja

–40%

na wszystkie prenumeraty

Dom, wnętrza



~~152,10 zł~~ **91,30 zł**



~~199,00 zł~~ **119,40 zł**

Fotografia



~~116,00 zł~~ **69,60 zł**



~~116,00 zł~~ **69,60 zł**

Zaprenumeruj wybrane czasopisma z **rabatem aż 40%!**

Promocja jesienna dotyczy rocznych prenumerat drukowanych.
Zamów prenumeratę na www.UlubionyKiosk.pl/prenumerata
lub poprzez dokonanie przelewu na konto:
AVT-Korporacja sp. z o.o., ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa,
ING BANK ŚLĄSKI 18 1050 1012 1000 0024 3173 1013
(w tytule wpłaty podaj nazwę czasopisma)

Muzyka i nowe technologie



~~220,00 zł~~ **132,00 zł**



~~152,90 zł~~ **91,70 zł**



~~178,80 zł~~ **107,30 zł**

Masz opłaconą bieżącą prenumeratę?
Już teraz przedłuż ją z rabatem 40%.
Promocja trwa do 30.11.2025 i nie łączy się z innymi promocjami Wydawnictwa AVT.
Koszt wysyłki na terenie kraju ponosi wydawnictwo.

E-mail: prenumerata@avt.pl
Telefon: 22 257 84 22 (pn.-pt. 10.00–14.00)

Elektronika i automatyka



~~226,80 zł~~ **136,10 zł**



~~226,80 zł~~ **136,10 zł**



~~180,00 zł~~ **108,00 zł**



~~179,10 zł~~ **107,50 zł**



~~89,40 zł~~ **53,60 zł**

eprasa.pl 3b5392c828

Elektronika na straży bezpieczeństwa



Projektowanie systemów związanych z bezpieczeństwem przypomina slalom pomiędzy kompromisami i sprzecznymi wymaganiami. Z jednej strony chcemy rozwiązań lekkich, łatwo skalowalnych i nowoczesnych, z drugiej – wymagamy stabilności działania, niezawodności, odporności na zakłócenia i trudne warunki środowiskowe, a wreszcie – pełnej zgodności z regulacjami. Dochodzi do tego odwieczny wyścig pomiędzy tym, co służy do ofensywy, a tym, co ma przed nią bronić – zarówno w tej najmniejszej, ludzkiej skali, jak i na poziomie całych krajów czy ich sojuszy.

Pomysł obywatelskiej sieci wykrywania dronów to doskonała ilustracja zmian, jakie zaszły we współczesnej sztuce wojennej. Wyobraźmy sobie rozproszone punkty obserwacyjne zbudowane np. z minikomputerów (niech będzie – chociażby słynnych Raspberry Pi), tanich modułów kamer i mikrofonów. Każdy z nich czuwa nad niewielkim fragmentem przestrzeni powietrznej, obserwując i nasłuchując sygnałów z nieba nad owym węzłem. Każdy punkt w naszej hipotetycznej sieci wykonuje proste przetwarzanie danych lokalnie – potrafi rozpoznać ruch, oszacować trajektorię obiektu czy wychwycić charakterystyczny szum śmigieł. Metadane z takich stacji są następnie przesyłane do serwera centralnego lub chmury, gdzie następuje fuzja informacji z wielu źródeł. Dzięki synchronizacji czasowej i korelacji pomiarów możliwe jest wyznaczenie aktualnego położenia i prędkości obiektu, a także prognozowanie jego trajektorii na najbliższych kilka lub kilkanaście minut. Odpowiednie algorytmy pozwalają odrzucić fałszywe alarmy, a system powiadomień przekazuje operatorom tylko te zdarzenia, które zostały potwierdzone przez kilka niezależnych węzłów. Tak skonstruowana sieć byłaby relatywnie tania, łatwa do rozbudowy, a przy tym skuteczna – pod warunkiem, że zadbamy o kwestie bezpieczeństwa komunikacji, prywatności użytkowników i odporności na próby manipulacji.

Pomysł, który nagłośnił w polskich mediach Tomasz Rożek, znany popularyzator nowinek technicznych i naukowych, nie jest wcale wizją czysto teoretyczną. Sky Fortress – bo tak nazywa się ów system – działa już w Ukrainie i korzysta z 14 000 sensorów akustycznych, które nasłuchują charakterystycznych dźwięków wydawanych m.in. przez drony i przesyłają nagrania do systemu teleinformatycznego. Zalety? Można by wymieniać długo, ale trzy najważniejsze to: niski koszt, doskonałe pokrycie terenu i zdolność wykrywania najniżej lecących obiektów, które umykają potężnym, wojskowym radarom. Co do tej pierwszej z wymienionych zalet wystarczy powiedzieć, że koszt całej sieci Sky Fortress jest niższy niż… cena dwóch mobilnych systemów rakietowych ziemia-powietrze typu Patriot. Na dodatek trzeba wspomnieć, że pierwsza wersja systemu oparta była na… smartfonach!

Doskonałym przykładem podobnego podejścia, które działa już od wielu lat, choć w bardziej pokojowych zastosowaniach, jest system Blitzortung – globalna sieć obywatelskich stacji wykrywających wyładowania atmosferyczne. Tysiące ochotników zbudowało w swoich domach niewielkie odbiorniki, które rejestrują sygnały elektromagnetyczne towarzyszące uderzeniom piorunów. Dane przesyłane są do serwerów centralnych, gdzie na podstawie różnic czasowych w odbiorze sygnałów wykonywana jest triangulacja. Superdokładna synchronizacja jest realizowana w najbardziej dostępny i najtańszy ze wszystkich możliwych sposobów – poprzez pobieranie znaczników czasu z systemów GNSS. Efekt? Dokładna i stabilna mapa burz, dostępna publicznie i aktualizowana z potężną dokładnością w czasie rzeczywistym, wykorzystywana przez meteorologów i pasjonatów na całym świecie. Blitzortung udowadnia, że obywatelskie systemy wykrywania zagrożeń mogą działać skutecznie, jeśli tylko zbudowane są na solidnej architekturze i jasnych zasadach współpracy. To wzór, z którego warto czerpać inspirację.

Współczesna elektronika wnosi do obronności znacznie więcej niż tylko sensory i kamery. To dzięki niej mamy dostęp do miniaturowych radarów, czujników akustycznych, systemów SDR, szybkiej komunikacji bezprzewodowej i energooszczędnych układów obliczeniowych. Elektronika to oczy i uszy współczesnego pola walki, ale także fundament systemów przeciwdziałania zagrożeniom – od jammerów, które zakłócają sygnały dronów, przez zaawansowane filtry EMC chroniące urządzenia przed zakłóceniami, po specjalizowane układy kryptograficzne zabezpieczające komunikację. Miniaturyzacja i rosnąca moc obliczeniowa pozwalają umieszczać sztuczną inteligencję bezpośrednio na brzegu sieci, a postęp w zakresie energooszczędności wydłuża czas pracy niewielkich platform mobilnych. To jednocześnie szansa i ryzyko – bo dokładnie każda nowinka technologiczna, którą adaptuje wojsko, rozwija jednocześnie systemy obronne i ofensywne. Tak dzieje się od zawsze, niczym w nieskończonej pętli programowej, która niestety nie doczekała się jak dotąd skutecznego sposobu na jej przerwanie.

Nie możemy też zapominać, że w świecie obronności ogromne znaczenie ma kontekst gospodarczy i polityczny. Technologie dual-use, czyli takie, które mają zarówno cywilne, jak i militarne zastosowania, stają się obszarem dynamicznego rozwoju. Polska ma szansę stać się znaczącym eksporterem w tej branży, o ile zdoła połączyć potencjał inżynieryjny z odpowiednimi regulacjami, procedurami certyfikacji i sprawnym ekosystemem innowacji.

Patrząc na przykłady takie jak obywatelskie sieci detekcji zagrożeń czyhających na nas z powietrza wyraźnie widzimy, że przyszłość bezpieczeństwa będzie w dużej mierze zależeć od tego, jak wykorzystamy elektronikę i jak zbudujemy most pomiędzy światami hobbystów, naukowców, inżynierów i decydentów. To z jednej strony fascynująca szansa, z drugiej ogromna odpowiedzialność. I właśnie dlatego w tym numerze „Elektroniki Praktycznej" wykonujemy pierwszy krok w tę stronę – uruchamiamy nową rubrykę poświęconą zagadnieniom cyberbezpieczeństwa. Na początku będzie ona miała formę cyklicznie rozwijanego słownika najważniejszych pojęć związanych z ochroną przed cyberatakami, ale już teraz w naszych planach są znacznie obszerniejsze materiały, ukierunkowane stricte na zagadnienia leżące na styku elektroniki, programowania i technologii IoT.

Zapraszam do lektury!

Przemysław Musz

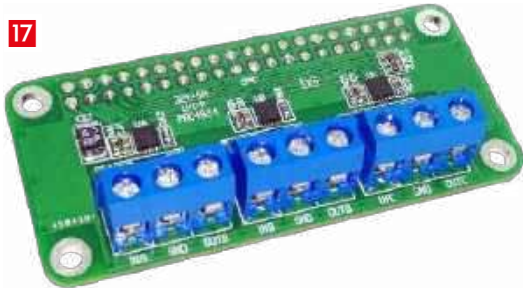
eprasa.pl 3b5392c828

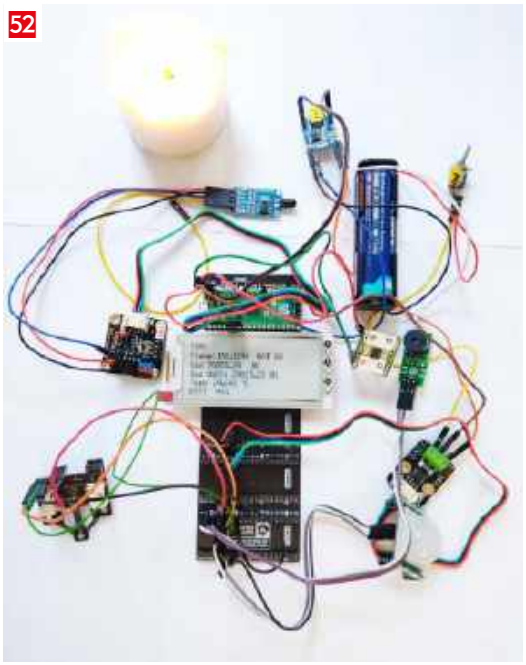
ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

Nr 10 (393) • Październik 2025











Nie przeocz
Nowe podzespoły ... 6
Koktajl niusów ... 80

Projekty
Kompaktowy licznik czasu pracy z detekcją przepływu prądu ... 12

Miniprojekty
Czujnik zamrożenia z interfejsem Grove ... 16
Trójkanałowy moduł pomiaru napięcia, prądu i mocy do Raspberry Pi ... 17

Prezentacje
64-bitowy mikroprocesor do rozwiązań IoT produkowanych masowo ... 20
Sprawdzony dostawca zaopatrzenia technicznego – klucz do oszczędności czasu i środków ... 38
Komórkowy Internet Rzeczy (IoT) oraz Bluetooth LE wspierają zrównoważone rolnictwo ... 42
Transformatory impulsowe z systemem izolacji UL ... 58
Zaufany partner w branży transformatorów ... 66

Notatnik konstruktora
Oszczędzanie energii w teorii i w praktyce (10) ... 23
Snubbery – trudne przypadki ... 40

Temat numeru: Maszyny i wyposażenie do produkcji
Maszyny i wyposażenie do produkcji ... 26

Technologie wokół elektroniki
Creality K1 Max – szybka i tania drukarka do prototypowania ... 33

Audio bez tajemnic
Prowadzenie masy w układach lampowych ... 44
Syntezatory dźwięku (2). Wczesne syntezatory i instrumenty elektroniczne ... 48

Moduły w aplikacjach
Internet Rzeczy w pomiarach środowiskowych (22). Detekcja pożaru z czujnikami płomieni i ruchu ... 52

Elektronika w praktyce
Transformatory do różnych aplikacji ... 60

Sprzęt
Sipeed Tang Primer 25k – zestaw rozwojowy FPGA dla oszczędnych ... 68

Kursy
Programowanie w środowisku MicroPython (6). Wyświetlacz TFT z panelem dotykowym ... 72

Prenumerata ... 2
Od wydawcy ... 3
Hity następnego numeru ... 83

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

eprasa.pl 3b5392c828



Sztuczna inteligencja na krawędzi sieci

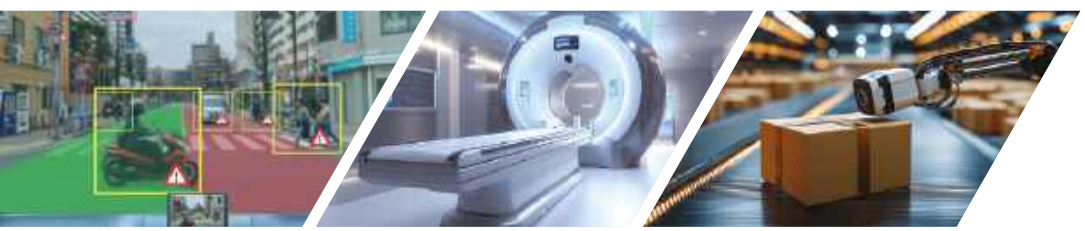
Zoptymalizowane rozwiązania dla modeli uczenia maszynowego

Sztuczna inteligencja (AI) i uczenie maszynowe (ML) zmieniają branże, umożliwiając tworzenie inteligentniejszych i bardziej autonomicznych systemów. Jednak wdrażanie AI na krawędzi sieci – gdzie podejmowanie decyzji w czasie rzeczywistym jest niezbędne – wymaga wysoce wydajnych i energooszczędnych rozwiązań dostosowanych do środowisk wbudowanych. Firma Microchip Technology jest liderem w tej transformacji dzięki kompleksowemu zestawowi procesorów, układów FPGA i narzędzi programistycznych, które ułatwiają wprowadzanie inteligentnych rozwiązań na krawędź sieci.

W kluczowych sektorach, takich jak **inteligentne fabryki, diagnostyka medyczna, systemy motoryzacyjne, sprzęt budowlany, rolnictwo i inteligentne miasta**, AI na krawędzi sieci zapewnia analizy w czasie rzeczywistym i automatyzuje zadania, w których łączność z chmurą jest ograniczona lub opóźnienia są niedopuszczalne. Niezależnie od tego, czy chodzi o konserwację predykcyjną w hali fabrycznej, monitorowanie pacjentów w sali szpitalnej, wykrywanie obiektów na placu budowy, czy energooszczędne zarządzanie ruchem drogowym, rozwiązania firmy Microchip umożliwiają deweloperom wdrażanie ML tam, gdzie jest ono najbardziej potrzebne.

Microchip upraszcza integrację AI na brzegu sieci dzięki pakietowi **ML Development Suite**, zestawowi narzędzi, który usprawnia trenowanie modeli, kwantyzację i wdrażanie rozwiązań na naszych mikrokontrolerach i mikroprocesorach. W celu zapewnienia wydajnego wnioskowania brzegowego z wykorzystaniem układów FPGA, nasz zestaw programistyczny **VectorBlox® Accelerator Software Development Kit** umożliwia szybką i efektywną implementację sieci neuronowych na układach FPGA PolarFire®, zapewniając wiodącą w branży wydajność w przeliczeniu na wat.

Nasze rozwiązania są projektowane z myślą o skalowalności, bezpieczeństwie i długoterminowej niezawodności, zapewniając bezproblemową pracę systemów AI na brzegu sieci w wymagających środowiskach. Dzięki Microchip programiści mogą śmiało tworzyć inteligentne urządzenia brzegowe, które są wydajne, responsywne i stworzone z myślą o przyszłości.





MICROCHIP

microchip.com/EdgeAI

Nazwa i logo Microchip oraz logo Microchip są zastrzeżonymi znakami towarowymi Microchip Technology Incorporated w Stanach Zjednoczonych i innych krajach. Wszystkie pozostałe znaki towarowe stanowią własność ich zarejestrowanych właścicieli. © 2025 Microchip Technology Inc. Wszelkie prawa zastrzeżone. MEC2628A-POL-09-25

eprasa.pl 3b5392c828

nowe podzespoły

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

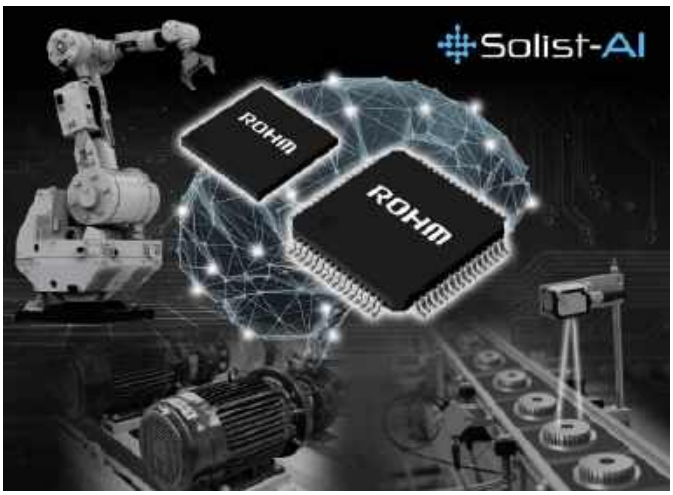


Moduł komunikacyjny Bluetooth/ Bluetooth LE 5.4 o wymiarach 16,6 × 12 × 1,7 mm

Würth Elektronik wprowadza do oferty kolejny dwuprotokołowy moduł komunikacyjny Bluetooth 5.4 (BR, EDR 2/3 Mbps, LE 1/2 Mbps). Skoll-I to moduł o wymiarach 16,6 × 12 × 1,7 mm z wbudowaną anteną, precyzyjnym oscylatorem kwarcowym i regulatorem napięcia. Obsługuje protokoły Bluetooth Classic i Bluetooth LE. Może znaleźć zastosowanie w medycynie, automatyce przemysłowej, zabezpieczeniach oraz aplikacjach IoT (w tym w systemach predykcyjnego utrzymania ruchu), wymagających komponentów o małym poborze mocy. Uzyskał certyfikaty CE, FCC, IC, TELEC i ETA-WPC. Może stanowić zamiennik dla wcześniejszego modelu PUCK-I, wycofanego z produkcji po wydaniu specyfikacji Bluetooth 2.0.

Skoll-I został oparty na jednostce obliczeniowej ARM Cortex-M4. Komunikuje się z nadrzędnym procesorem przez interfejs UART. Umożliwia bezprzewodową aktualizację oprogramowania (OTA). Producent oferuje do nowych modułów zestawy ewaluacyjne ze złączem USB 2.0 Type C, zrealizowane w postaci płytek o wymiarach 79 × 52,5 × 1,6 mm oraz aplikację WE Bluetooth LE Terminal, dostępną na systemy operacyjne Android i iOS.

www.we-online.com



Mikrokontrolery z akceleratorem AI niewymagające komunikacji z siecią

Firma Rohm opracowała nowe mikrokontrolery z serii ML63Q253x-NNNxx i ML63Q255x-NNNxx z wbudowanym akceleratorem AI, potrafiące samodzielnie uczyć się bez konieczności utrzymywania ciągłego połączenia z siecią. Umożliwiają one m.in. analizowanie stanu urządzeń (np. silników) i przewidywanie awarii. Wykorzystano w nich autorski system Rohm o nazwie Solist-AI, oparty na prostych, 3-warstwowych sieciach neuronowych. Dzięki wbudowanemu akceleratorowi AI (A×lCORE-ODL) uzyskano nawet 1000-krotnie szybsze przetwarzanie w porównaniu z wcześniejszymi seriami mikrokontrolerów, w których algorytmy AI były wykonywane wyłącznie w postaci oprogramowania pracującego na głównym rdzeniu (przy założeniu, że jego częstotliwość taktowania wynosiłaby 12 MHz), co pozwala na wykrywanie i raportowanie anomalii w czasie rzeczywistym.

Modele przetwarzania AI są zazwyczaj klasyfikowane jako: oparte na chmurze, brzegowe (edge) lub końcowe (endpoint AI). W przypadku tego pierwszego rozwiązania zarówno trening, jak i wnioskowanie są wykonywane w chmurze. Edge AI korzysta z połączenia systemów chmurowych i lokalnych (np. urządzenia w fabryce, sterowniki PLC), komunikujących się za pomocą sieci. Z kolei w przypadku endpoint AI trening jest przeprowadzany w chmurze, a wnioskowanie – lokalnie na urządzeniu (nadal niezbędne jest zatem połączenie sieciowe). Wszystkie modele najczęściej wykonują wnioskowanie za pomocą oprogramowania, co wymaga użycia GPU lub wydajnej jednostki CPU.

Mikrokontrolery AI firmy Rohm – w przeciwieństwie do powyższych rozwiązań – mogą samodzielnie wykonywać zarówno uczenie, jak i wnioskowanie bezpośrednio na urządzeniu (on-device learning), choć formalnie są zaliczane do kategorii endpoint AI. Takie autonomiczne rozwiązanie umożliwia elastyczne dostosowanie do rozmaitych środowisk instalacyjnych i różnic pomiędzy poszczególnymi egzemplarzami urządzeń.

Mikrokontrolery AI z nowej oferty nadają się idealnie do modernizacji istniejących maszyn. Podczas pracy pobierają około 40 mW mocy. Zostały oparte na rdzeniu ARM Cortex-M0+ i zawierają m.in. interfejsy CAN FD, I²C, SPI i UART, zestaw timerów 16-bitowych, kontroler PWM do silników 3-fazowych, zegar RTC oraz dwa 12-bitowe przetworniki A/C o częstotliwości próbkowania do 1 MSps. Dostępnych jest już 8 pierwszych modeli, zawierających od 128 do 256 kB pamięci Flash programu, 8 kB pamięci Flash danych i 16 kB pamięci RAM. W ofercie firmy Rohm są dostępne płytki ewaluacyjne oraz symulator Solist-AI Sim, umożliwiający testowanie działania AI przed wdrożeniem.

Mikrokontrolery serii ML63Q253x-NNNxx i ML63Q255x-NNNxx mogą znaleźć zastosowanie w maszynach przemysłowych, instalacjach budynkowych i sprzęcie AGD. Są produkowane w 4 typach

eprasa.pl 3b5392c828

obudów TQFP i WQFN o wymiarach od 7 × 7 × 0,8 mm do 12 × 12 × 1,2 mm. Mogą pracować w zakresie temperatury otoczenia od –40 do +105°C.

www.rohm.com

Przełączniki SMT 6,2 × 6,2 × 5,2 mm o konstrukcji umożliwiającej zalewanie żywicą





Przełączniki KSC PF firmy Littelfuse zostały zaprojektowane do zastosowań w trudnych warunkach środowiskowych, w tym w przemyśle, motoryzacji, medycynie i lotnictwie. Charakteryzują się stopniem ochrony IP67, świadczącym o odporności na wodę i kurz oraz zapewniają niezawodność od 300 tysięcy do 1 miliona cykli, w zależności od modelu. Specjalna konstrukcja obudowy umożliwia pełne zalanie żywicą (potting), zapewniające ochronę nie tylko samego przełącznika, ale i sąsiednich komponentów na PCB. Ułatwia to produkcję i zwiększa trwałość przy pracy w miejscach narażonych na wilgoć, wibracje i korozję.

Przełączniki KSC PF są produkowane w obudowach o wymiarach 6,2 × 6,2 × 5,2 mm, w wersjach z wyprowadzeniami typu Gullwing i J-bend. Są kompatybilne z automatami SMT. Charakteryzują się prądem znamionowym 50 mA, izolacją o rezystancji >50 MΩ i wytrzymałości dielektrycznej >250 V rms oraz rezystancją kontaktu <100 mΩ.

www.littelfuse.com

Cewki ekranowane o niskiej emisji elektromagnetycznej i akustycznej



Do oferty firmy Bourns wchodzą dwie nowe serie cewek ekranowanych o niskim poziomie emisji elektromagnetycznej, zaprojektowanych do zastosowań w modułach pamięci DDR5. Komponenty zawierają nanokrystaliczny rdzeń zapewniający małą emisję akustyczną i wysoki dopuszczalny prąd roboczy. Ponadto charakteryzują się małą rezystancją uzwojenia i szerokim zakresem dopuszczalnej temperatury pracy: od –40 do +125°C. Są produkowane w obudowach o wymiarach 2,5 × 2,0 × 1,0 mm i 3,2 × 2,5 × 1,0 mm. W ramach serii SRP2512CL dostępne są warianty o indukcyjności do 1,5 µH i prądzie nasycenia 3,8...4,5 A. Z kolei seria SRP3212CL obejmuje cewki o indukcyjności 0,47...1,0 µH i prądzie nasycenia 5,0...7,5 A.

www.bourns.com

Moduł komunikacyjny Wi-Fi 6/Bluetooth Low Energy 5.4

STMicroelectronics rozpoczyna masową produkcję modułu komunikacyjnego ST67W611M1, opracowanego we współpracy z firmą Qualcomm Technologies. Ułatwia on rozbudowę systemów z mikrokontrolerami STM32 o łączność bezprzewodową w standardach Wi-Fi 6 i Bluetooth Low Energy 5.4. Zawiera wieloprotokołowy koprocesor sieciowy produkcji Qualcomm i sekcję radiową 2,4 GHz ze wszystkimi niezbędnymi elementami toru w.cz.: wzmacniaczami, przełącznikiem RF, symetryzatorem i anteną PCB. Ponadto jego struktura obejmuje 4 MB pamięci Flash i rezonator 4 MHz. Komunikacja z układem host odbywa się przez interfejs SPI i/lub UART.

ST67W611M1 może znaleźć zastosowanie w aplikacjach smart home, IIoT, aparaturze medycznej i urządzeniach AGD. Zawiera

REKLAMA

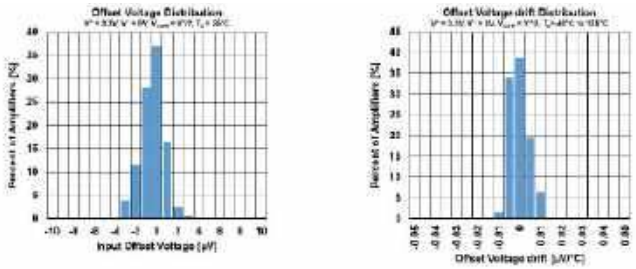


eprasa.pl 3b5392c828



sprzętowe zabezpieczenia kryptograficzne, w tym funkcje bezpiecznego rozruchu i debugowania, zgodne z wymogami PSA Level 1. W przyszłości (dzięki planowanej aktualizacji oprogramowania) będzie wspierał również standardy Thread i Matter. Jest modułem o dużym stopniu integracji, produkowanym w 32-wyprowadzeniowej obudowie LGA o wymiarach 17,3 × 12,3 × 2,4 m. Układ pinów umożliwia integrację na tanich, 2-warstwowych płytkach drukowanych. Moduł występuje również w wersji przeznaczonej do współpracy z zewnętrznym wzmacniaczem, pozwalającym zwiększyć moc wyjściową do 30 dBm, a za sprawą aż trzech dostępnych wariantów może pracować z anteną wewnętrzną lub zewnętrzną.

www.st.com



Energooszczędne wzmacniacze operacyjne Zero-Drift z wejściem i wyjściem Rail-to-Rail

Firma Nisshinbo Microdevices opracowała serię energooszczędnych wzmacniaczy operacyjnych Zero-Drift z wejściem i wyjściem Rail-to-Rail. NL0333 i NL1333 to warianty pojedyncze, zamykane w 5-wyprowadzeniowych obudowach odpowiednio SOT23-5 i SC-88A, natomiast NL2333 to wersja dwukanałowa w 8-wyprowadzeniowych obudowach VSP lub EMP. Wszystkie układy z nowej serii charakteryzują się bardzo małym wejściowym napięciem offsetu, wynoszącym maksymalnie 10 μV, o znikomym dryfcie temperaturowym (typowo 0,01 μV/°C). Końce zakresu zmian napięcia wyjściowego są oddalone tylko o 50 mV od potencjałów masy i szyny zasilającej.

Wzmacniacze z serii NLx333 zawierają wbudowany filtr EMI redukujący wpływ zewnętrznych pól elektromagnetycznych. Pracują w zakresie napięcia zasilania od 2,1 do 5,5 V, pobierając prąd maksymalnie 25 μA/kanał. Ich zakres zastosowań obejmuje głównie urządzenia bateryjne i systemy czujnikowe.

Pozostałe parametry:

- pasmo: 260 kHz,
- slew-rate: 0,11 V/μs,
- wejściowy prąd polaryzacji: typ. 30 pA,
- wejściowy prąd offsetu: typ. 60 pA,
- gęstość napięcia szumu: typ. 60 nV/√Hz,
- zakres temperatury roboczej: od –40 do +125°C.

www.nisshinbo-microdevices.co.jp



Złącza Nano SIM i microSD o wysokiej niezawodności

Würth Elektronik prezentuje 4 nowe typy złączy do kart Nano SIM i microSD o długim czasie bezawaryjnej pracy, przeznaczonych do montażu powierzchniowego. Są to miniaturowe złącza z kontaktami pokrytymi warstwą złota, dostępne w dwóch wariantach mechanicznych. Komponenty mogą pracować w temperaturze otoczenia od –25 do +85°C. Ich korpusy zostały wykonane z polimeru o klasie palności UL94 V-0.

Złącza Nano SIM WR-CRD ze sprężynowym mechanizmem blokowania/odblokowania push-pull, wymagającym naciśnięcia krawędzi karty w celu jej zablokowania lub odblokowania, charakteryzują się żywotnością mechaniczną co najmniej 3000 cykli. W przypadku wersji z zawiasami, żywotność jest ograniczona do co najmniej 5000 cykli. Złącza microSD również występują w wersjach push-pull i z zawiasami, a ich żywotność wynosi odpowiednio >5000 cykli i >10000 cykli.

www.we-online.com



Precyzyjny, liniowy czujnik Halla 3D do zastosowań w motoryzacji

AH4930Q to precyzyjny, liniowy czujnik Halla 3D, opracowany przez firmę Diodes pod kątem zastosowań w motoryzacji. Układ mierzy gęstość strumienia magnetycznego wzdłuż 3 osi. Uzyskał on kwalifikację AEC-Q100 Grade 1 i może pracować w temperaturze otoczenia od –40 do +125°C. Zawiera 12-bitowy przetwornik A/C i czujnik temperatury, zapewniający precyzyjną kompensację wyniku pomiaru, bez konieczności stosowania dodatkowych komponentów. Dostęp do programowalnych, wewnętrznych rejestrów konfiguracyjnych odbywa się przez interfejs I²C o przepustowości 1 Mbps.

AH4930Q oferuje kilka trybów oszczędnościowych, pozwalających ograniczyć pobór prądu do niezbędnego minimum.

eprasa.pl 3b5392c828

Może on wynosić zaledwie 9 nA w trybie power-down, a podczas normalnej pracy dochodzi do 3,8 mA. Układ jest zamykany w 6-wyprowadzeniowej obudowie SOT26. Jego zakres zastosowań obejmuje motoryzację (pomiar położenia dźwigni zmiany biegów, lusterek, klamek), robotykę, elektronarzędzia, pojazdy dwukołowe, przepływomierze itp.

Pozostałe parametry:

- napięcie zasilania: 2,8...5,5 V,
- średni pobór prądu: 13 µA,
- czułość: 1 mV/Gs,
- rozdzielczość: 1 Gs,
- zakres pomiaru: ±1300 Gs,
- czas startu: 10 µs,
- czas odpowiedzi: 4 µs.

www.diodes.com

Czujnik indukcyjny do pomiaru kąta i momentu obrotowego w motoryzacji

XENSIV TLE4802SC16-S0000 to czujnik indukcyjny do pomiaru kąta i momentu obrotowego w aplikacjach motoryzacyjnych, wyposażony w wyjście cyfrowe z obsługą protokołu SENT/SPC. Jest on odporny na oddziaływanie obcych pól magnetycznych i nie wymaga dodatkowego ekranowania. Struktura wewnętrzna układu obejmuje sterownik cewek wejściowych, blok kondycjonowania sygnału, procesor DSP, pamięć do przechowywania parametrów pracy i danych kalibracyjnych oraz zabezpieczenie nadnapięciowe i przed odwróceniem polaryzacji zasilania. Układ uzyskał kwalifikację AEC-Q100 Grade 0. Charakteryzuje się szerokim zakresem temperatury roboczej (od –40 do +150°C) i jest zamykany w obudowie TSSOP-16. Kompatybilność z normą ISO 26262 czyni go idealnym do zastosowań w systemach krytycznych ze względu bezpieczeństwa (do poziomu ASIL-D). Ponadto wbudowane funkcje cyberbezpieczeństwa zabezpieczają układ przed atakami typu man-in-the-middle.



www.infineon.com

Czujniki wilgotności i temperatury w obudowach z powłoką ochronną

Do oferty firmy Sensirion wchodzą dwa nowe czujniki ciśnienia i temperatury, produkowane w obudowach DFN o wymiarach 1,5 × 1,5 × 0,5 mm ze zrywalną powłoką ochronną, zabezpieczającą komponenty przed uszkodzeniem podczas transportu i montażu. Są to czujniki 4. generacji o dużej dokładności i niezawodności, mogące znaleźć zastosowanie w aplikacjach o wysokim stopniu miniaturyzacji. Nadają się idealnie do produkcji wielkoseryjnej. Komunikują się z mikroprocesorem za pośrednictwem interfejsu I²C. Modele SHT40-AD1P-R2 i SHT41-AD1P-R2 różnią się dokładnością pomiaru – w przypadku tego pierwszego wynosi ona ±1,8% RH (maks. ±3,5%) i ±0,2°C. Dla SHT41-AD1P-R2 wartości te wynoszą odpowiednio: ±1,8% RH (maks. ±2,5%) i ±0,2°C.



Oba układy pracują z napięciem zasilania od 1,08 do 3,6 V, pobierając średnio 0,4 µA prądu. Ich zakres dopuszczalnej temperatury pracy rozciąga się od –40 do +125°C. Czasy odpowiedzi (mierzony stałą czasową, tj. zmianą o 63% skoku) przy pomiarze wilgotności i temperatury to odpowiednio: 4 s i 2 s.

www.sensirion.com



Energooszczędne pamięci SPI NOR Flash do układów SoC o napięciu zasilania 1,2 V

Firma GigaDevice powiększa ofertę energooszczędnych pamięci SPI NOR Flash, zaprojektowanych specjalnie do współpracy z układami SoC o napięciu zasilania 1,2 V. Są to pamięci o podwójnym napięciu zasilania, eliminujące konieczność stosowania konwerterów typu boost. Zawierają rdzeń zasilany napięciem 1,8 V i sekcję I/O o napięciu roboczym 1,2 V. Obsługują tryby pracy single, dual i quad STR (single transfer rate) oraz quad DTR (double transfer rate). Pracują z częstotliwością taktowania do 133 MHz w trybie STR i do 104 MHz w trybie DTR.

Pamięci serii GD25NE są szybsze od ich odpowiedników w technologii Flash, zasilanych pojedynczym napięciem 1,2 V. Czas programowania strony wynosi 0,15 ms, a czas kasowania sektora: 30 ms (są to wartości mniejsze odpowiednio o 60% i 30%). Obecnie dostępne są wersje o pojemności od 32 Mb do 256 Mb. Wszystkie układy z omawianej serii pobierają zaledwie 0,2 µA prądu w trybie power-down, 8 mA w trybach programowania i kasowania oraz 9 mA w trybie odczytu przy częstotliwości taktowania 104 MHz (Quad I/O DTR).

www.gigadevice.com

Programowalny czujnik inercyjny o zakresie pomiaru przyspieszenia do ±28 g



BHI385 to programowalny czujnik inercyjny z oferty firmy Bosch Sensortec, zaprojektowany do zastosowań w smartwatchach i trackerach aktywności użytkownika. Umożliwia pomiar przyspieszenia w szerokim zakresie do ±28 g, co wystarcza do rejestracji nawet najbardziej dynamicznych ruchów w różnych dyscyplinach sportowych. Zawiera żyroskop, akcelerometr i 32-bitowy mikroprocesor z 256 kB pamięci SRAM. Wbudowane oprogramowanie AI automatycznie adaptuje się do nowych

REKLAMA



eprasa.pl 3b5392c828



wzorców ruchu, bez konieczności interwencji „manualnej”. BHI385 pozwala na uruchamianie własnych modeli ML przez użytkownika, bez konieczności współpracy z zewnętrznym mikroprocesorem. Mogą być one opracowywane za pomocą dostarczanego przez Bosch Sensortec oprogramowania Motion AI Studio i Open SDK.

BHI385 został opracowany na bazie wcześniejszego modelu BHI360, oferując dodatkowo możliwość programowania i funkcjonalność AI. Charakteryzuje się małym poborem prądu, wynoszącym od 8 µA w trybie standby do 2,8 mA przy maksymalnym obciążeniu. Komunikuje się przez interfejs SPI lub I²C. Jest zamykany w 20-wyprowadzeniowej obudowie LGA o wymiarach 3,0 × 2,5 × 0,95 mm.

Pozostałe parametry:

- rozdzielczość akcelerometru i żyroskopu: 16 bitów,
- zakresy pomiarowe akcelerometru: ±4, ±8, ±16, ±28 g,
- zakresy pomiarowe żyroskopu: ±125, ±250, ±500, ±1000, ±2000 °/s,
- offset: ±25 mg (akcelerometr), ±0,5 °/s (żyroskop),
- napięcie zasilania (VDD): 1,71...3,6 V,
- napięcie zasilania (VDDIO): 1,71...1,89 V,
- zakres temperatury pracy: –40...+85°C.

www.bosch-sensortec.com

Wysokotemperaturowy kondensator foliowy Vishay MKP1848e w ofercie firmy Rutronik



W ofercie firmy Rutronik jest obecnie dostępny wysokotemperaturowy kondensator foliowy MKP1848e produkcji Vishay, przeznaczony głównie do sektora e-Mobility. Jest to kondensator z kwalifikacją AEC-Q200, mogący pracować w temperaturze otoczenia do +125°C. Duża odporność na wilgoć czyni go idealnym do zastosowań w samochodowych aplikacjach HVDC.

Model MKP1848e występuje w wariantach o pojemności od 1,0 do 140 µF. Przeszedł testy klimatyczne THB Class III, zgodnie z normą IEC 60384-16 ed. 3. Charakteryzuje się niską rezystancją i indukcyjnością resztkową oraz doskonałą odpornością na silne impulsy prądowe. Jest produkowany w wersjach o napięciu znamionowym od 500 do 1300 VDC @ +85°C (400...800 VDC @ +125°C). W porównaniu z wcześniejszymi kondensatorami DC-link z oferty firmy Vishay, jego objętość zredukowano nawet o 40%, przy takich samych parametrach elektrycznych.

www.rutronik.com

Płytka rozszerzająca GNSS RTK 4 Click do systemów nawigacyjnych z obsługą RTK

GNSS RTK 4 Click to nowy moduł z oferty firmy Mikroe, obsługujący standard RTK (Real-Time Kinematics) i przeznaczony do precyzyjnych systemów pozycjonowania. Bazuje na 4-zakresowym



module LG290P produkcji Quectel, umożliwiającym odbiór sygnałów z satelitów konstelacji GPS, GLONASS, Galileo, BDS, QZSS i NavIC oraz korzystanie z systemu wspomagającego SBAS. Pozwala osiągnąć dokładność lokalizacji lepszą od 1 m. Oferuje funkcje wykrywania interferencji i monitorowania integralności sygnału, opcję zasilania awaryjnego (bateria podtrzymująca) oraz trzy interfejsy (UART, I²C i USB-C) do samodzielnej konfiguracji.

Moduł GNSS RTK 4 Click pozwala przyspieszyć projektowanie takich aplikacji, jak drony, robotyka, geodezja i rolnictwo precyzyjne. Jest zgodny ze standardem mikroBUS i może być stosowany w dowolnym systemie host, obsługującym ten typ gniazda. Wbudowana pamięć oferuje funkcję ClickID, umożliwiającą automatyczne wykrywanie i identyfikację modułu przez system nadrzędny. Producent dostarcza do płytki zestaw bibliotek open-source w ramach mikroSDK.

www.mikroe.com

8-kanałowe oscyloskopy o paśmie 1 GHz i 12-bitowej rozdzielczości pionowej

Do oferty firmy Siglent wchodzą dwie nowe serie 8-kanałowych oscyloskopów o 12-bitowej rozdzielczości pionowej. SDS5000X HD i SDS5000L pracują z szybkością próbkowania do 5 GSps i oferują szerokość pasma do 1 GHz. Modele SDS5000X HD, zawierające duży wyświetlacz z intuicyjnym interfejsem dotykowym, są idealne do pracy laboratoryjnej i interaktywnego debugowania, natomiast SDS5000L to wariant do montażu w szafie przemysłowej, przeznaczony do integracji w zautomatyzowanych systemach testowych.

Oscyloskopy z obu serii zostały wyposażone w wewnętrzną pamięć o pojemności 500 Mpts./kanał, umożliwiającą długotrwałe rejestrowanie przebiegów z dużą rozdzielczością. Przy częstotliwości 1 GHz współczynnik ENOB wynosi 8,2, a poziom szumu to 140 µV rms.

SDS5000X HD i SDS5000L umożliwiają kompleksową analizę mocy w układach 3-fazowych, pozwalając na jednoczesne zobrazowanie wszystkich napięć i prądów. Dzięki wbudowanym funkcjom FFT zapewniają również szczegółową analizę harmonicznych. Opcjonalne oprogramowanie aplikacyjne dodatkowo rozszerza funkcjonalność, umożliwiając użytkownikom wizualizację diagramu wektorowego do diagnostyki silników, oceny jakości energii, pomiaru tętnień itp.

Dzięki wprowadzeniu nowej serii optycznie izolowanych sond różnicowych ODP6000B, firma Siglent wypełniła kluczową lukę w testach półprzewodników o szerokiej przerwie energetycznej (WBG). SDS5000 zapewnia czasy narastania na poziomie pikosekund, umożliwiając precyzyjne rejestrowanie przebiegów podczas badania komponentów SiC i GaN. Sondy ODP6000B, dostępne w wersjach o szerokości pasma 500 MHz i 1 GHz, charakteryzują się wysokim współczynnikiem CMRR, wynoszącym 160 dB przy niskich częstotliwościach, co dodatkowo zwiększa dokładność i odporność na zakłócenia.

www.siglentna.com

eprasa.pl 3b5392c828



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



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



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

BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

Trzecia ręka

Rabat dla Czytelników EP
przy zakupie podaj kod EP2505TR
-3%

Rabat dla Prenumeratorów EP
przy zakupie podaj numer prenumeraty
-6%



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



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



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



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



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



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

eprasa.pl 3b5392c828

Najważniejsze parametry:
- pomiar czasu przepływu prądu przemiennego o wartości przekraczającej ustalony próg,
- możliwość wyświetlania zmierzonego czasu w jednym z trzech wariantów: dni, dni i godzin, godzin i minut,
- maksymalna pojemność licznika: 9999 dni lub 99 dni i 23 godziny lub 99 godzin i 59 minut,
- pomiar pobieranego prądu poprzez przekładnik prądowy z izolacją galwaniczną,
- możliwość ustawienia progu nieczułości wartości skutecznej prądu w zakresie 240 mA...24 A,
- sygnalizacja przepełnienia licznika,
- czytelny, czterocyfrowy wyświetlacz siedmiosegmentowy LED,
- możliwość wyzerowania wskazań,
- zapamiętywanie zmierzonego czasu podczas zaniku zasilania,
- pobór prądu: około 20 mA,
- napięcie zasilania: 9...30 V DC.

Projekty pokrewne na stronie www.ep.com.pl

(aktywne linki do artykułów):
- Licznik czasu pracy 8 w 1
- Licznik impulsów
- Programowany licznik zdarzeń
- Licznik czasu pracy
- Miniaturowy licznik czasu pracy
- Licznik czasu pracy wyzwalany za pomocą przepływu prądu
- Zaawansowany licznik czasu pracy maszyny
- 24-bitowy sprzętowy licznik impulsów z interfejsem I²C
- Progowy licznik impulsów
- Zaawansowany licznik impulsów
- Licznik czasu pracy z wyświetlaczem LCD
- Licznik czasu z czujnikiem odbiciowym
- Licznik impulsów z podtrzymaniem bateryjnym

W ofercie AVT*
AVT6089

* **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

Kompaktowy licznik czasu pracy z detekcją przepływu prądu

Czas pracy maszyny, mierzony podczas pobierania przez nią energii elektrycznej, to jeden z podstawowych parametrów warunkujących prawidłową pracę urządzeń, które wymagają okresowego serwisu. Prezentowany układ umożliwia łatwą realizację takiego pomiaru, a dodatkowo cechuje się kompaktową formą i prostą obsługą.



Wiele urządzeń przemysłowych wymaga tak trywialnej rzeczy, jak pomiar czasu ich pracy. Jest to wymagane do zachowania gwarancji producenta (nierzadko również ubezpieczenia!) danej maszyny, aby przechodziła ona przeglądy co ściśle określony czas. Jednocześnie wiele urządzeń, zwłaszcza starszej daty, nie została wyposażonych w tak prostą funkcję. Z kolei „ręczne" zliczanie na zasadzie oszacowania dziennego czasu pracy lub – co gorsza – w zeszycie z notatkami, jest niewygodne i niedokładne. Znacznie prościej jest polegać pod tym względem na elektronice.

Prezentowany układ mierzy czas upływający podczas zwiększonego poboru prądu przez maszynę. Rozdzielczość pomiaru wynosi 1 s, choć wynik jest prezentowany w jednej z trzech bardziej czytelnych form: dni, dni i godzin lub godzin i minut, w zależności od potrzeb. Pomiar prądu jest realizowany przez przekładnik prądowy, więc nie ma galwanicznego połączenia opisywanego licznika z siecią energetyczną.

Wykaz elementów:

Rezystory: (SMD 1206)
R1...R8, R14, R15: 1 kΩ
R9...R12, R16, R18, R19: 10 kΩ
R13, R17: 100 Ω
P1: 10 kΩ potencjometr montażowy leżący

Kondensatory:
C1, C2: 15 pF (SMD 1206)
C3, C4, C6, C7, C10: 100 nF (SMD 1206)
C5: 470 µF 35 V elektrolityczny (raster 5 mm)
C8, C9: 47 µF 35 V elektrolityczny (raster 2,5 mm)
C11: 10 nF (SMD 1206)

Półprzewodniki:
D1: SS14
D2, D3: 1N4148 (MiniMELF)
LED1: AF5643FS
US1: ATmega8A (TQFP32)
US2: 78L05 (SOT89)
US3: LM358 (SO8)

Pozostałe:
J1, J3: ARK2/500
J2: goldpin 5 pin męski (2,54 mm, THT)
Q1: kwarc 4 MHz (niski)
S1: microswitch 6×6, h=1,5 mm
Przekładnik prądowy, typ: TALEMA ASM-010

Budowa układu

Schemat ideowy układu znajduje się na **rysunku 1**. Głównym podzespołem zawiadującym jego pracą jest mikrokontroler typu ATmega8A z 8-bitowym rdzeniem AVR, taktowanym sygnałem o częstotliwości 4 MHz, której wzorzec stanowi rezonator kwarcowy Q1.

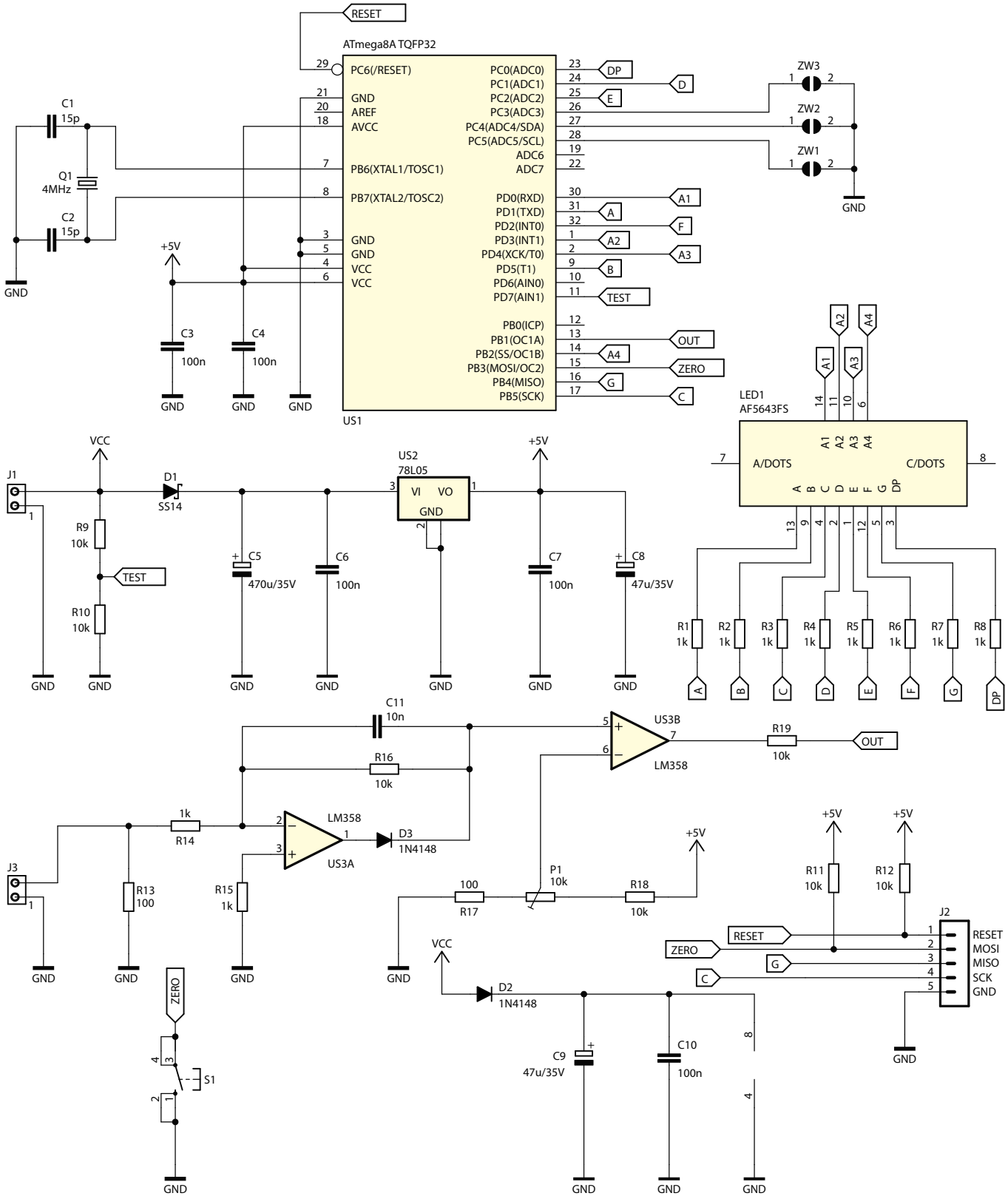
Zastosowany w układzie wyświetlacz ma cztery cyfry, z których każda jest złożona z siedmiu segmentów oraz kropki. Do jego pełnego wysterowania w trybie multipeksowym potrzeba zatem dwunastu wyprowadzeń mikrokontrolera, których ten ma aż nadto. W ten sposób można było pominąć dodatkowe ekspandery, które zwiększałyby powierzchnię zajmowaną przez układ na PCB. Sterowanie segmentów odbywa się poprzez rezystory o stosunkowo wysokiej rezystancji (1 kΩ), zatem ich prąd wynosi około 3 mA – co umożliwia sterowanie całych cyfr wprost z wyjść mikrokontrolera, bez dodatkowych tranzystorów (sumaryczny prąd nie przekracza bowiem 24 mA). Dzięki tym (oraz innym) zabiegom płytka drukowana ma powierzchnię niewiele większą od samego wyświetlacza LED. Dwukropek nie jest w tej aplikacji używany, pozostał zatem niepodłączony.

Użytkownik ma do dyspozycji trzy zworki SMD, które służą do wyboru sposobu zliczania czasu, a także przycisk monostabilny przeznaczony do zerowania wskazań. Zaprogramowanie pamięci Flash mikrokontrolera montowanego powierzchniowo jest ułatwione dzięki obecności

eprasa.pl 3b5392c828

w układzie złącza J2, do którego zostały doprowadzone linie sygnałowe interfejsu ISP. Linie: zerująca mikrokontroler oraz zerująca wskazania zostały dodatkowo podciągnięte do dodatniego potencjału zasilającego przez zewnętrzne rezystory o wartości 10 kΩ, aby układ był bardziej odporny na pochodzące z zewnątrz zakłócenia elektromagnetyczne, których w środowisku przemysłowym jest przecież niemało.

Przekładnik prądowy wytwarza na swoich wyprowadzeniach napięcie (po obciążeniu go rezystorem), które ma bardzo małą amplitudę w stosunku do czułości mikrokontrolera. Dlatego sygnał prądowy zeń pochodzący jest konwertowany na napięcie przy pomocy równoległego połączenia rezystorów R13 i R14, których wypadkowa wartość wynosi około 91 Ω. Wzmacniacz operacyjny US3A został skonfigurowany do pracy w charakterze jednopołówkowego prostownika ze wzmocnieniem –10 V/V, którego zadaniem jest zwiększenie wartości szczytowej co drugiej połówki sygnału napięciowego, odłożonego na rezystancji obciążającej przekładnik. Kondensator C11 ogranicza pasmo przenoszenia tego układu, eliminując z sygnału krótkotrwałe zakłócenia szpilkowe oraz pewną część energii szumu.



Rysunek 1. Schemat ideowy kompaktowego licznika czasu pracy

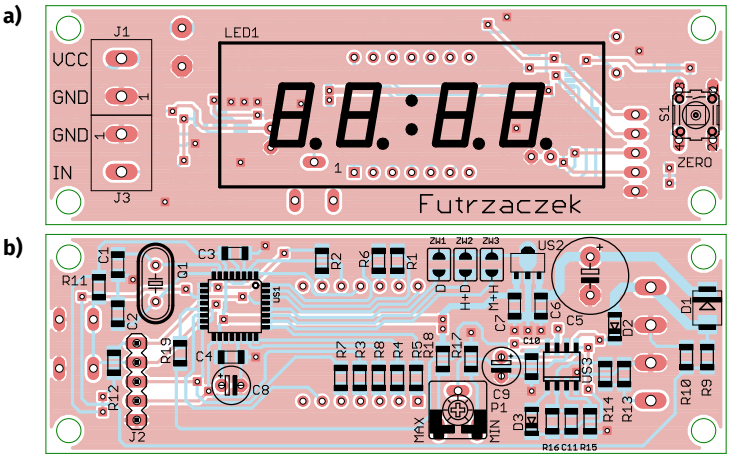
eprasa.pl 3b5392c828

Warto zauważyć, że tylko ujemna połówka wejściowego sygnału napięciowego ulega wzmocnieniu, z kolei dodatnia przechodzi przez układ bez dodatkowego wzmocnienia. To jednak nie przeszkadza, bowiem można założyć, że są one sobie równe co do amplitudy.

Tak uzyskany, unipolarny sygnał napięciowy trafia na prosty komparator, którego rolę pełni drugi wzmacniacz operacyjny (US3B). Porównuje on wartość chwilową sygnału wyjściowego wzmacniacza z napięciem stałym, ustalonym przez położenie ślizgacza potencjometru P1. Z uwagi na występujący offset napięciowy, rezystor R17 pozwala na ustawienie minimalnego napięcia wynoszącego około 25 mV. Jest to także minimalna wartość szczytowa sygnału, która spowoduje zadziałanie funkcji odmierzania czasu. Z kolei zbyt wysoka regulacja „w górę” zakresu byłaby po prostu niewygodna i została ograniczona rezystorem R18. Przy wartościach elementów takich, jak na schemacie, przekłada się to na ustalenie progu zadziałania układu w przedziale od 0,24 A do 24 A wartości skutecznej prądu, przy założeniu sinusoidalnego kształtu jego przebiegu. Możliwość regulacji progu zadziałania jest wygodna w sytuacjach, kiedy nadzorowane urządzenie pobiera jakiś niewielki prąd w stanie spoczynku, który nie zalicza się jednak do jego czasu pracy.

Mikrokontoler jest zasilany stabilizowanym napięciem o wartości 5 V, dostarczanym przez układ US2. Pobór prądu jest na tyle niski, że niewielki układ scalony w obudowie SOT89 poradzi sobie z odprowadzeniem ciepła nawet przy wysokiej różnicy napięć między swoim wejściem a wyjściem. Ponieważ do zapisania w pamięci EEPROM konieczna jest znajomość momentu zaniku napięcia zasilającego, został dodany obwód składający się z dzielnika rezystancyjnego R9+R10, z którego napięcie trafia wprost na wejście mikrokontrolera. Jego rezystancja wyjściowa jest na tyle wysoka, że nawet przy wysokim napięciu zasilającym prąd płynący przez diodę zabezpieczającą wejście mikrokontrolera (wbudowaną w jego strukturę) nie przekroczy kilku miliamperów, a dodatkowo odciąży stabilizator.

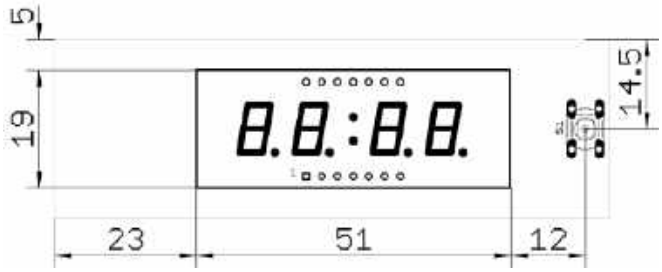
Aby jednak możliwie szybko wykryć moment zaniku napięcia zasilającego, kondensatory elektrolityczne utrzymujące energię w układzie zostały oddzielone od wejścia zasilania diodami, co zapobiega sztucznemu podtrzymaniu napięcia na dzielniku w momencie, kiedy źródło zasilania już „padło”. Kondensator C5 stanowi główny rezerwuar energii dla mikrokontrolera, który musi dokonać zapisu odmierzonych wartości do pamięci EEPROM, wykorzystując jedynie energię zgromadzoną w C5.



Rysunek 2. Schemat montażowy płytki: a) strona TOP, b) strona BOTTOM



Fotografia 1. Widok zmontowanej płytki od strony BOTTOM



Rysunek 3. Położenie przycisku i wyświetlacza LED na powierzchni płytki drukowanej

Dlatego wzmacniacz operacyjny US3 jest zasilany przez odrębny obwód, zawierający diodę D2 – dzięki temu nie obciąża on dodatkowo kondensatora C5, dając mikrokontrolerowi jak najwięcej czasu na dokonanie zapisu.

Montaż i uruchomienie

Układ został zmontowany na dwustronnej płytce drukowanej o wymiarach 90 mm × 29 mm. Jej wzór ścieżek oraz schemat montażowy pokazuje **rysunek 2**. Szczegóły na temat lokalizacji obiektów kluczowych dla wykonania obudowy (przycisku monostabilnego i wyświetlacza LED) znajdują się na **rysunku 3**. Wszystkie otwory montażowe mają średnicę 3,2 mm i znajdują się w odległości 3 mm od krawędzi płytki.

Montaż proponuję rozpocząć od elementów montowanych powierzchniowo, które znajdują się wyłącznie na spodniej stronie płytki. Po dokonaniu ewentualnych poprawek radzę wlutować kondensatory elektrolityczne (C5, C8 i C9), potencjometr P1, rezonator kwarcowy Q1 i złącze J2. Po przycięciu ich wprowadzeń oraz upewnieniu się co do poprawności wykonanych lutów, można przejść do wlutowania złączy J1 i J3 (warto połączyć je razem), przycisku S1 i wyświetlacza LED1. Taka kolejność jest zalecana z racji zakrywania części pól lutowniczych przez wyświetlacz. Zmontowany układ można zobaczyć na fotografii tytułowej oraz **fotografii 1**. Nic nie stoi na przeszkodzie, by przycisk wlutować od drugiej strony laminatu, czyniąc go niedostępnym od strony płyty czołowej obudowy licznika czasu.

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

```
Low Fuse = 0xBD
High Fuse = 0xD9
```

Szczegóły są widoczne na **rysunku 4**, który zawiera widok okna konfiguracji tychże bitów z programu BitBurner. W ten sposób zostanie uruchomiony wbudowany generator dla rezonatorów kwarcowych o średniej częstotliwości drgań oraz Brown-Out Detector, który wprowadzi mikrokontroler w stan zerowania, jeżeli jego napięcie

eprasa.pl 3b5392c828



Rysunek 4. Szczegóły ustawienia bitów zabezpieczających



Fotografia 2. Widok układu w czasie pracy

zasilające spadnie poniżej 2,7 V. To znacznie zmniejsza ryzyko zawieszenia się mikrokontrolera podczas uruchamiania.

Poprawnie zaprogramowany układ jest gotowy do działania po podłączeniu zasilania do zacisków złącza J1. Powinno to być napięcie stałe, dobrze filtrowane, niekoniecznie stabilizowane. Powinno pochodzić ze źródła, które nie zawiera kondensatorów wyjściowych o wysokiej pojemności, aby zagwarantować szybki spadek napięcia zasilającego w momencie utraty zasilania sieciowego. Powolne zanikanie napięcia może sprawić, że układ nie zdąży zapisać danych. Pobór prądu jest zależny od aktualnego wskazania wyświetlacza i typowo nie przekracza 20 mA. Napięcie zasilające powinno zawierać się w przedziale 9…30 V.

Przed włączeniem zasilania należy również dokonać wyboru trybu pracy układu, poprzez zwarcie kroplą spoiwa lutowniczego tylko jednej z trzech zworek SMD:

1. ZW1: odmierzanie dni w przedziale 0…9999,
2. ZW2: odmierzanie dni w przedziale 0…99 i godzin w przedziale 0…23,
3. ZW3: odmierzanie godzin w przedziale 0…99 i minut w przedziale 0…59.

Eksploatacja

Po podłączeniu przekładnika prądowego do złącza J3 oraz włączeniu zasilania, układ pokaże na matrycach ostatnio zapamiętany czas, jak na **fotografii 2**. Tutaj pokazywane są minuty i godziny (zwarta zworka ZW3). Jeżeli ustawiona jest zworka ZW1, świeci się kropka po prawej stronie wyświetlacza, za najmniej znaczącą cyfrą, która miga w czasie pomiaru czasu. W dwóch pozostałych przypadkach kropka ta jest położona pośrodku wyświetlacza, oddzielając symbolicznie dni od godzin lub godziny od minut.

Ustawienie progu zadziałania licznika jest możliwe poprzez regulację potencjometrem P1. Powinien on być tak ustawiony, aby w czasie pracy maszyny kropka migała nieprzerwanie. Skręcanie ślizgacza w stronę MIN oznacza zwiększanie czułości (mniejszy prąd wymagany do zadziałania licznika), zaś ustawienie bliżej strony MAX przekłada się na większy prąd konieczny do aktywacji zliczania.

Zerowanie wskazań jest możliwe tylko podczas włączania zasilania układu, aby uchronić go przed przypadkowym wyzerowaniem w czasie pracy. Należy trzymać wciśnięty przycisk S1 i włączyć zasilanie – odmierzone wcześniej wartości zostaną wyzerowane. Potem można już puścić klawisz przycisku S1.

Wyświetlacz jest w stanie pokazać dwa komunikaty. Jeżeli zworki ZW1…ZW3 ustawione są nieprawidłowo (na przykład nie jest zwarta żadna lub zwarte więcej niż jedna), to układ pokaże napis „Err” i zatrzyma dalsze działanie. Należy wyłączyć jego zasilanie, poprawić ustawienie zworek SMD i włączyć ponownie. Jeżeli zaś licznik ulegnie przepełnieniu w danym zakresie, układ pokaże kreski „----”. Trzeba go wówczas wyzerować, stosując opisaną wcześniej procedurę z użyciem przycisku S1.

Przekładnik prądowy należy połączyć z płytką przy użyciu możliwie krótkich przewodów. Warto, aby nie były one drastycznie cienkie, co tłumiłoby sygnał użyteczny – choć nie jest to krytyczne, wszak układ nie dokonuje pomiaru natężenia prądu, a jedynie wykrywa jego obecność. Użycie przewodu ekranowanego jest wskazane; oplot warto podłączyć do zacisku masy (GND) na płytce.

Michał Kurzela, EP

REKLAMA

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

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

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

KLUB AVT ELEKTRONIKA

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

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

eprasa.pl 3b5392c828

Najważniejsze parametry:
- detekcja spadku temperatury poniżej 5°C i wzrostu powyżej 7°C,
- sygnalizacja spadku temperatury stanem niskim na wyjściu,
- napięcie zasilania: 2,7...5 V,
- wbudowany bufor wyjściowy,
- złącze zgodne ze standardem Grove.

Projekty pokrewne na stronie www.ep.com.pl

(aktywne linki do artykułów):
- Dwukanałowy multiplekser magistrali I²C zgodny z systemem Grove
- Cyfrowy termometr/termostat I²C zgodny z Grove
- Translator poziomów I²C Grove
- Ośmiokanałowy mostek master I²C/1-Wire Grove

* **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

Czujnik zamrożenia z interfejsem Grove

Minimoduł czujnika zamrożenia znajduje zastosowanie w aplikacjach, w których potrzebna jest sygnalizacja spadku temperatury do wartości poniżej kilku stopni Celsjusza, przy której rośnie ryzyko zamrożenia instalacji wodnej, wystąpienia kondensacji lub oblodzenia powierzchni. Moduł bazuje na układzie ADT6402 – przetworniku temperatury zawierającym wbudowany komparator z histerezą.

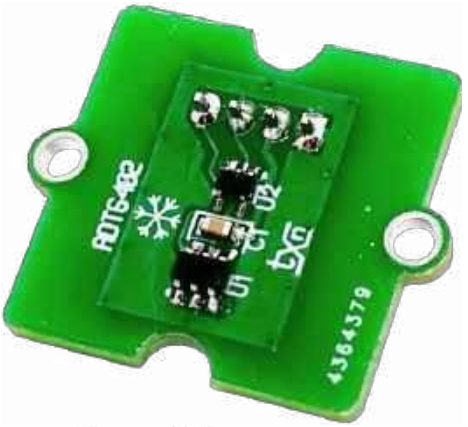
Budowę wewnętrzną ADT6402 pokazano na **rysunku 1**. Sygnał z wbudowanego przetwornika temperatury przetwarzany jest na wartość cyfrową i porównywany w komparatorze z wartościami ustawionymi za pomocą wyprowadzeń S0...S2. W zależności od potrzeb możliwe jest wybranie kilku progów temperatury i dwóch progów histerezy zadziałania. Na wyjściu układu, po spełnieniu warunków zadziałania, pojawia się stan wysoki. W modelu wybrano sygnalizację spadku temperatury poniżej 5°C z histerezą 2°C, co pozwala na wcześniejsze ostrzeżenie przed ryzykiem zamrożenia.

Schemat ideowy modułu pokazano na **rysunku 2**. Oprócz układu ADT6402 na płytce znajduje się jedynie bufor wyjściowy w postaci inwertera U2 typu LVC1G06. Zastosowanie negatora z wyjściem typu otwarty dren, oprócz separacji obciążenia od U1 (które mogłoby wpływać na dokładność pomiaru temperatury), umożliwia także równoległe łączenie kilku czujników umieszczonych w różnych miejscach monitorowanego obszaru. Zasilanie (2,7...5 V), sygnał wyjściowy (TFRO) oraz bezpośredni sygnał z wyjścia z czujnika (TFR) doprowadzone są do złącza FRS w standardzie Grove.

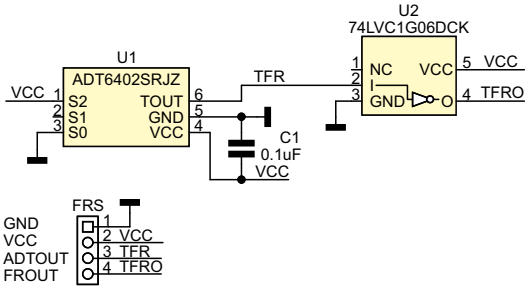
Moduł zmontowano na dwustronnej płytce drukowanej. Rozmieszczenie elementów widać na **rysunkach 3a** i **3b** – sposób montażu jest klasyczny i nie wymaga dokładniejszego opisu. Elementy płytki należy zabezpieczyć lakierem izolacyjnym (np. Plastic 70), aby uchronić je przed wpływem wilgoci. Gotowy moduł pokazano na fotografii tytułowej.

Uruchomienie czujnika polega na umieszczeniu go w komorze klimatycznej i sprawdzeniu reakcji na spadek temperatury poniżej 5°C (co powinno załączyć sygnalizację – stan niski na linii TFRO) oraz na wzrost powyżej 7°C, który powinien wyłączyć sygnalizację (stan wysoki na TFRO). Dostęp do komory jest jednak rzadkością, więc w celu sprawdzenia działania układu można posiłkować się zamrażarką i termometrem.

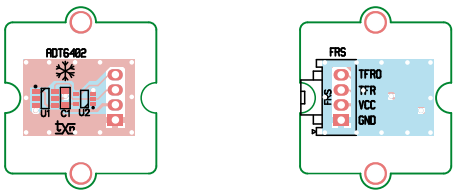
Adam Tatuś, EP



Rysunek 1. Budowa wewnętrzna ADT6402



Rysunek 2. Schemat czujnika zamrożenia



Rysunek 3. Rozmieszczenie elementów na PCB: a) strona TOP, b) strona BOTTOM

Wykaz elementów:

Kondensatory:
C1: 100 nF (0603, 10 V, X7R)

Półprzewodniki:
U1: ADT6402SRJZ (SOT-23-6)
U2: 74LVC1G06DCK (SC70-5)

Pozostałe:
FRS: złącze Grove proste

eprasa.pl 3b5392c828

Najważniejsze parametry:
- funkcje: pomiar napięcia, prądu i mocy DC,
- liczba kanałów: 3,
- zakres pomiaru napięcia: 0...32 V,
- zakres pomiaru prądu: 0...5 A (konfigurowalny – patrz tekst),
- rozdzielczość przetwornika ADC: 11 lub 14 bitów,
- zasilanie układu: 3,3 V (z Raspberry Pi),
- pobór prądu: 450 µA (odczyt)/15 µA (uśpienie).

Projekty pokrewne na stronie www.ep.com.pl

(aktywne linki do artykułów):
- Zasilacz buforowy z superkondensatorami do Raspberry Pi
- Inteligentny wentylator dla Raspberry Pi
- Podwieszany ploter z Raspberry Pi
- Zasilacz buforowy dla Raspberry Pi
- Płytka domowej automatyki do Raspberry Pi Zero

* **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.

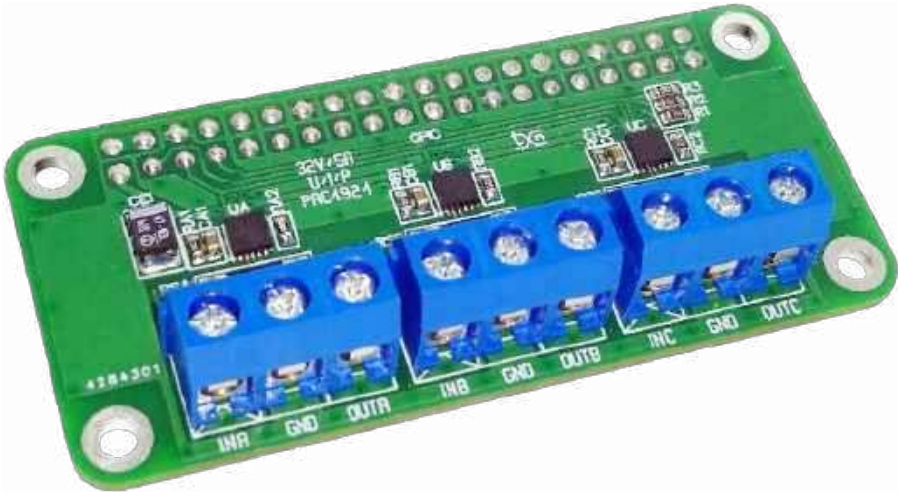
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- **wersja [A+]** – płytka drukowana **[A]** + zaprogramowany układ **[UK]** i dokumentacja,
- **wersja [UK]** – zaprogramowany układ.

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**

Trójkanałowy moduł pomiaru napięcia, prądu i mocy do Raspberry Pi

Opisana nakładka do Raspberry Pi umożliwia pomiar napięcia, prądu i mocy trzech niezależnych odbiorników prądu stałego. Maksymalny zakres pomiarowy napięcia to 0...32 V, zakres pomiaru prądu zależy natomiast od doboru rezystora pomiarowego i w modelu prototypowym wynosi 0...5 A.



Moduł zbudowany jest w oparciu o specjalizowany układ monitora mocy PAC1921 firmy Microchip. Strukturę wewnętrzną układu zaprezentowano na **rysunku 1**.

Pomiar odbywa się po stronie dodatniej szyny zasilania (tzw. tryb high–side). Napięcie jest mierzone bezpośrednio na wyprowadzeniu SENSE+, w zakresie 0...32 V z możliwością programowego ustalenia dodatkowego wzmocnienia (×1, ×2, ×4, ×8 lub ×32). Prąd mierzony jest metodą pośrednią poprzez pomiar spadku napięcia na rezystorze pomiarowym, podłączonym pomiędzy wyprowadzenia SENSE+/– wbudowanego wzmacniacza różnicowego. Maksymalny zakres mierzonego spadku napięcia VSENSE to 100 mV. Wbudowany wzmacniacz o programowanym w ośmiu stopniach wzmocnieniu (×1, ×2, ×4, ×8, ×16, ×32, ×64, ×128) umożliwia realizację zmiany zakresów, bez konieczności stosowania dodatkowych elementów zewnętrznych. Istnieje także możliwość użycia rezystora pomiarowego o możliwie najmniejszej wartości, w celu minimalizacji strat mocy i spadku napięcia na układzie pomiarowym. Jest to szczególnie istotne w aplikacjach, w których mierzony jest prąd pobierany z baterii lub akumulatora.

Oba tory wzmocnienia sygnalizują przekroczenie dopuszczalnego zakresu ustawieniem odpowiednich flag w rejestrach, co ułatwia programową obsługę zmiany wzmocnienia. Napięcia uzyskane w części analogowej przetwarza wbudowany konwerter ADC o rozdzielczości ustawianej przez użytkownika na 11 lub 14 bitów, zaś pomiar mocy realizowany jest programowo. Możliwa jest filtracja sygnału i wybór czasu integracji. Układ PAC1921 konfigurowany jest poprzez magistralę I²C i obsługuje do 16 adresów ustalanych poprzez dobór wartości rezystora podłączonego do wyprowadzenia ADDR_SEL. Układ ma wyprowadzenie !READ/INT umożliwiające sprzętowe sterowanie pomiarami i synchronizację kilku układów w ramach większego systemu. W aplikacjach realizujących np. zabezpieczenia przeciążeniowe,

REKLAMA



eprasa.pl 3b5392c828

Wykaz elementów:

Rezystory:
R1, R2: 10 kΩ (SMD 0603, 1%)
R3: 100 kΩ (SMD 0603, 1%)
RA1, RB1, RC1: 100 Ω (SMD 0603, 1%)
RA2: 0 Ω (SMD 0603, 1%)
RB2: 120 Ω (SMD 0603, 1%)
RC2: 220 Ω (SMD 0603, 1%)
RSA, RSB, RSC: LRP12FTDRR020 (SMD 2512, 1%)

Kondensatory:
CA1, CB1, CC1: 1 µF (SMD 0603, X7R, 50 V, 10%)
CE1: 47 µF/10 V (tantalowy, SMD 3528)

Półprzewodniki:
UA, UB, UC: PAC1921-1 (VDFN10)

Pozostałe:
GPIO: złącze żeńskie IDC40
MTRA, MTRB, MTRC: złącze DG 3 pin 5 mm (DG126-5.0-3)

w których niedopuszczalna jest zwłoka związana z odczytem danych przez magistralę I²C, możliwe jest zastosowanie konfigurowalnego wyjścia analogowego, na które może zostać wyprowadzona zmierzona wartość napięcia, prądu lub mocy.

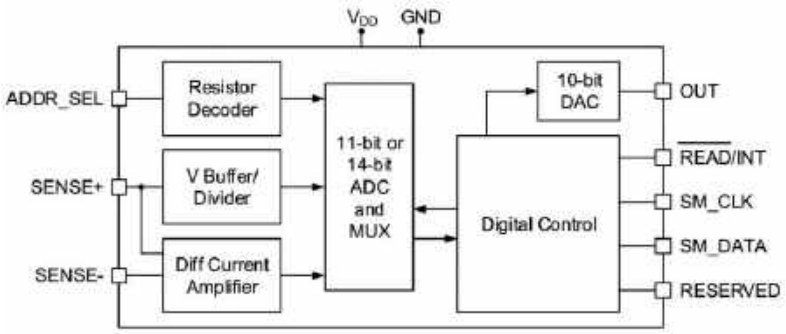
Schemat modułu pokazano na **rysunku 2**. Zastosowano trzy identyczne bloki pomiarowe oparte na układach PAC1921. Mierzone napięcia doprowadzone są do złącz MTRA...C, pomiędzy wyprowadzenia 1 (INx) i 2 (GND). Obciążenia podłączono do wyprowadzeń 3 (OUTx), 2 (GND). Rezystory pomiarowe RSx o wartości 20 mΩ/3 W umożliwiają pomiar prądu w zakresie 0...5 A. Magistralę I²C doprowadzono do wszystkich układów, zaś adresacja odbywa się poprzez zmianę wartości rezystora Rx2, podłączonego do wyprowadzenia ADR każdego układu, zgodnie z kartą katalogową. W modelu układy dostępne są kolejno pod adresami 0x4C, 0x4D, 0x4E. Równolegle podłączone wejścia !RD/INT umożliwiają sprzętową synchronizację układów sygnałem INT. Układy zasilane są napięciem 3,3 V, pobieranym ze złącza GPIO Raspberry Pi.

Układ zmontowano na dwustronnej płytce drukowanej zgodnej z formatem Raspberry Pi Zero, co oczywiście nie wyklucza stosowania modułu z innymi modelami Raspberry Pi. Rozmieszczenie elementów pokazano na **rysunku 3**.

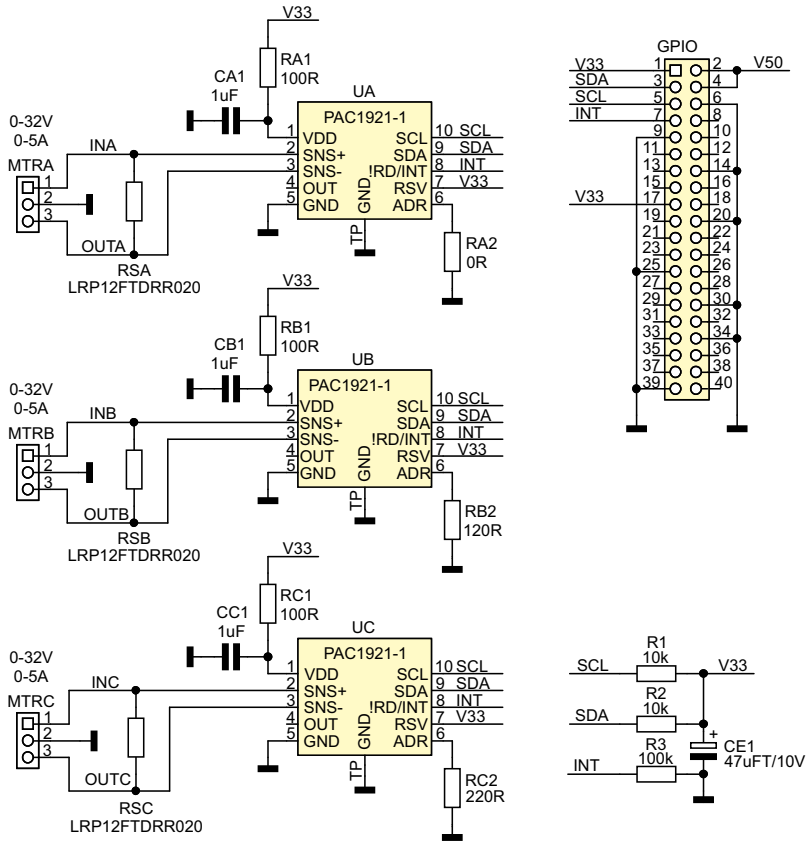
Montaż układu nie wymaga opisu. Prawidłowo zmontowany moduł pokazano na fotografii tytułowej. Moduł nie wymaga uruchamiania, należy jednak dobrać wartości rezystorów pomiarowych odpowiednio do zakresu mierzonego prądu, pamiętając o nieprzekraczaniu maksymalnego spadku napięcia na bocznikach równego 100 mV. Od spodu



Rysunek 4. Detekcja układów PAC1921



Rysunek 1. Budowa układu PAC1921 (za notą Microchip)



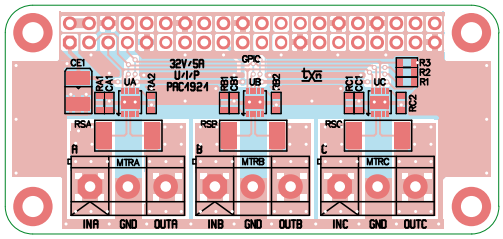
Rysunek 2. Schemat ideowy układu

płytki są przewidziane pola lutownicze pod opcjonalny rezystor 2512, połączony równolegle z rezystorem pomiarowym.

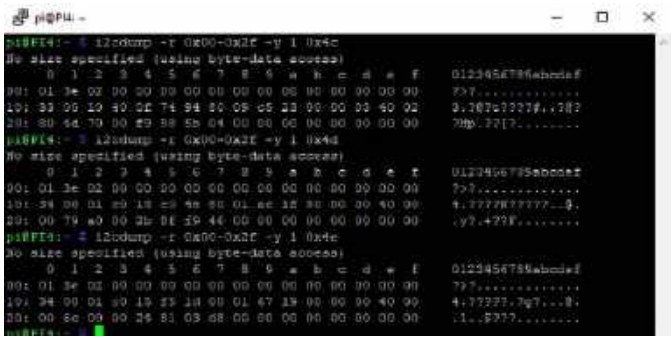
W celu szybkiego sprawdzenia działania modułu można użyć narzędzi i2ctools. Po podłączeniu zasilania i obciążenia do złączy MTRx, sprawdzamy detekcję układów na magistrali poleceniem i2cdetect –y 1. Wynik detekcji można zobaczyć na **rysunku 4**.

Układ PAC1921 pracuje w trzech trybach: integracji (int), odczytu (read), uśpienia (sleep).

W pierwszym z nich układ jest w pełni



Rysunek 3. Rozmieszczenie elementów modułu



Rysunek 5. Odczyt pomiarów modułu

eprasa.pl 3b5392c828

aktywny i integruje (mierzy i przelicza) sygnał sterowany w jednym z dwóch trybów. Pierwszy to sterowanie sprzętowe stanem wysokim wyprowadzenia !READ/INT, a drugi to sterowanie programowe poprzez rejestr konfiguracyjny pod adresem 0x01 (Integration Configuration Register), za pomocą zmian stanu bitów 0 (INT_EN=1) oraz 1 (RIOV=1). RIOV=1 wyłącza sterowanie sprzętowe wyprowadzeniem !READ/INT. Pobór prądu podczas integracji jest mniejszy niż 900 µA.

Stan odczytu wiąże się z niższym poborem mocy. Gdy pin !READ/INT jest utrzymywany w stanie niskim przez czas tREAD co najmniej 9,8 µs, to urządzenie pozostaje w stanie odczytu. W przypadku sterowania programowego, układ można wprowadzić w ów stan ustawiając stan bitu 0 (INT_EN=0). Stan odczytu kończy integrację, uruchamia wewnętrzny licznik czasu uśpienia, aktualizuje rejestry oraz przesyła wybrany wynik pomiaru do wyjściowego przetwornika cyfrowo-analogowego (wyprowadzenie OUT) i wprowadza urządzenie w stan niskiego poboru mocy. Pobór prądu w stanie odczytu jest mniejszy niż 450 µA.

W stanie uśpienia pobór mocy jest najniższy. Domyślnie urządzenie przechodzi w ten tryb automatycznie, gdy pin !READ/INT (lub bit 0, czyli INT_EN w trybie sterowania programowego) jest utrzymywany w stanie niskim dłużej niż czas tSLEEP równy około 1,088...1,203 s. Tryb uśpienia może być też wyzwolony ustawieniem w rejestrze Control Register (pod adresem 0x02) bitu 2 SLEEP w stan logicznej jedynki. Pobór prądu w stanie uśpienia jest mniejszy niż 15 µA.

Przed pomiarem należy oczywiście skonfigurować układy – pełna lista rejestrów PAC1921 znajduje się w dokumentacji producenta. Przykładowo w celu pomiaru napięcia w zakresie 0...16 V i prądu 0...5 A z 14-bitową rozdzielczością konfigurujemy rejestr Gain Configuration (0x00):

```
i2cset -y 1 0x4c 0x00 0x01
// I_RES/V_RES=14bit, DI_GAIN=1x, DV_GAIN=2x
```

oraz ustalamy liczbę próbek, załączamy filtry i sterowanie programowe, tryb pomiaru INT w rejestrze konfiguracji:

```
i2cset -y 1 0x4c 0x01 0x3F
// SMPL=16 próbek, VSFEn/VBFEN=1 filtry załączone, RIOV=1
sterowanie programowe
```

Ustawiamy także tryb integracji:

```
i2cset -y 1 0x4c 0x01 0x3F
```

a następnie tryb odczytu:

```
i2cset -y 1 0x4c 0x01 0x3e
```

i odczytujemy rejestry PAC1921:

```
i2cdump -r 0x00-0x2f -y 1 0x4c
```

Pomiar odbywa się cyklicznie poprzez zmianę trybów pracy układów PAC1921. Zmiana konfiguracji układu (np. wzmocnień) powinna odbywać się w trybie odczytu. Każdorazowo po odczycie rejestrów zawierających wyniki pomiarów (Vbus, Vsense) wymagane jest przeliczenie wyniku w zależności od wybranego wzmocnienia (DI_GAIN, DV_GAIN). Sposób przeliczania podany jest w nocie aplikacyjnej. Po wykonaniu opisanej sekwencji kolejno dla wszystkich trzech układów, przykładowy odczyt rejestrów może wyglądać tak jak na **rysunku 5**.

W rejestrach VBusResultHigh (0x10), VBusResultLow (0x11) znajdują się 10-bitowe odczyty wartości napięcia. Po uwzględnieniu ustalonych wzmocnień i przeliczeniu wyników pomiaru z użyciem wzorów:

```
Vbus [dec]= VbusH*256+VbusL/64
Vbus [V], zakres 0-16V = Vbus[dec]*16/65408
```

otrzymujemy napięcia odpowiednio 3,19 V, 3,26 V, 3,26 V.

W przypadku prądów 10-bitowe wartości przechowywane są w rejestrach VsensResultHigh (0x12), VsensResultLow (0x13). Po przeliczeniu dla ustalonego wzmocnienia i rezystora pomiarowego:

```
Vsens [dec]= VsensH*256+VsensL/64
Vsens [V], zakres 0-100mV = Vsens[dec]*16/65408
Isens[A] = Vsens(0-100mV)[dec]/Rsens
```

otrzymujemy odpowiednio: 0,31 A, 0,02 A, 0,02 A.

10-bitowe wyniki pomiaru mocy przechowywane są w rejestrach VpowerResultHigh (0x1D), VpowerResultLow (0x1E), po przeliczeniu dla ustalonego wzmocnienia i rezystora pomiarowego:

```
Vpower [dec] = VpowerH*256+VpowerL/64
Power(0-80W: 16V*5A)=Vpower[dec]*80/65408
```

otrzymujemy odpowiednio 0,94 W, 0,00 W, 0,00 W.

Otrzymane pomiary przykładowe oczywiście można, a wręcz należy, skorygować odpowiednio zmieniając zakres pomiaru napięcia i prądu w rejestrze Gain Configuration (0x00), gdyż mieszczą się one w dostępnych niższych zakresach pomiarowych. Korygując odpowiednio wzmocnienia DI_GAIN, DV_GAIN oraz odczytując flagi przekroczenia zakresu w rejestrze OVERFLOW Status (0x1C), możemy zautomatyzować przełączanie zakresów oraz zapewnić maksymalną dokładność pomiaru.

Adam Tatuś, EP

REKLAMA



KURS Nordic nRF z BT

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

ulubionykiosk.pl

eprasa.pl 3b5392c828



64-bitowy mikroprocesor do rozwiązań IoT produkowanych masowo

Nowoczesne systemy stają się coraz bardziej złożone, co wymaga zróżnicowanych architektur przetwarzania danych do obsługi dużych obciążeń obliczeniowych. Wzbogacenie urządzeń brzegowych o algorytmy uczenia maszynowego (ML) i sztucznej inteligencji (AI), często z wykorzystaniem systemu operacyjnego Linux, zwiększa złożoność finalnego projektu. Aplikacje krytyczne pod względem bezpieczeństwa, rozwiązania w zakresie sterowania systemami czy zabezpieczenia muszą łączyć elastyczność Linuksa z determinizmem systemów czasu rzeczywistego, co pozwala na niezawodne kontrolowanie pracy sprzętu. To wszystko napędza zapotrzebowanie na tzw. systemy typu multi-hart, w których wiele sprzętowych wątków (tzw. hartów w terminologii RISC-V) umożliwia równoległe wykonywanie zróżnicowanych zadań.

Symetryczne architektury wieloprocesorowe (ang. symmetric multiprocessing, SMP) zapewniają co prawda elastyczność uruchamiania rozbudowanych systemów operacyjnych, lecz często nie są w stanie zagwarantować deterministycznej wydajności wymaganej przez systemy czasu rzeczywistego. Natomiast asymetryczna architektura wieloprocesorowa (Asymmetric Multiprocessing, AMP) umożliwia optymalizację pod kątem konkretnych zadań poprzez izolowanie obciążeń na odrębnych jednostkach przetwarzających – podejście to może być jednak bardziej złożone we wdrożeniu. Aby sprostać temu wyzwaniu, firma Microchip wykorzystała sprawdzony klaster sprzętowych wątków RISC-V („hartów" w terminologii RISC-V) w ramach pojedynczego zespołu rdzeni (coreplex), tworząc architekturę układową obsługującą funkcjonalność AMP w szerokim zakresie zastosowań przemysłowych oraz aplikacji przetwarzania brzegowego z użyciem AI.

Procesor PIC64GX MPU integruje rdzeń zdolny do uruchomienia systemu Linux z wieloma hartami (wątkami sprzętowymi) w ramach jednego kompleksu, spójnego z podsystemem pamięci. Umożliwia to połączenie deterministycznych systemów czasu rzeczywistego z systemem Linux w jednym klastrze CPU. Takie rozwiązanie pozwala na działanie w trybie AMP w typowych przemysłowych zastosowaniach wizyjnych i brzegowych systemach AI, upraszczając tworzenie oprogramowania mogącego działać na systemach operacyjnych czasu rzeczywistego, Linuksie, a nawet bez systemu operacyjnego (tzw. bare metal).

W systemach sterowania i przetwarzania czasu rzeczywistego architektura AMP pozwala programistom przypisać dedykowane jednostki przetwarzające do zadań wrażliwych czasowo, zapewniając przewidywalną wydajność i niskie opóźnienia. Planowanie procesów w Linuksie z zasady nie jest deterministyczne – opóźnienia przerwań potrafią być znaczne i nieprzewidywalne. Dzięki AMP obciążenia wymagające twardych ograniczeń czasowych mogą być obsługiwane przez system RTOS na wydzielonym rdzeniu, podczas gdy funkcje aplikacyjne działają równolegle na Linuksie na innym rdzeniu.

Choć mechanizmy pamięci podręcznej zwiększają wydajność, to nieprzewidywalne problemy z pamięcią cache (tzw. cache misses) mogą powodować wahania czasów wykonania zadań (jitter), co prowadzi do utraty deterministycznego charakteru pracy systemu. Mikroprocesor PIC64GX zapobiega temu, pozwalając kontekstom czasu rzeczywistego działać w trybie Loosely Integrated Memory (LIM), omijając tym samym niedeterministyczne opóźnienia związane z pamięcią cache. Umożliwia to realizację wydajnych

eprasa.pl 3b5392c828

potoków przetwarzania, szczególnie w przypadku obciążeń algorytmami AI i uczenia maszynowego, minimalizując czasy przetwarzania.

System bazuje na 64-bitowym rdzeniu RV64IMAC E51, taktowanym zegarem 600 MHz i pełniącym rolę monitora systemu. Jest on wyposażony w 16 kB pamięci, którą można skonfigurować jako 2-drożną pamięć podręczną instrukcji L1 z korekcją błędów lub jako ściśle zintegrowaną pamięć instrukcji, a także 8 kB ściśle zintegrowanej pamięci danych i jednostkę PMP (Physical Memory Protection) do obsługi aplikacji.

Sercem układu jest jednak kompleks czterech 64-bitowych hartów aplikacyjnych U54 RV64GC, z maksymalną częstotliwością pracy 600 MHz, z których każdy zapewnia wydajność rzędu 3,1 CoreMark/MHz i 1,7 DMIPS/MHz. Jest to klaster znany z układów SoC z serii PolarFire, co stanowi gwarancję niezawodnego, sprawdzonego podsystemu wielordzeniowego oraz ugruntowanego ekosystemu narzędzi. Piąty hart (E51) zarządza funkcjami monitorującymi układu, lecz jest również dostępny do bezpośredniego uruchamiania zadań czasu rzeczywistego lub bare-metal, jeśli zajdzie taka potrzeba.

Subsystem pamięci L1 obejmuje 32 kB 8-drożnej pamięci podręcznej instrukcji (lub opcjonalnie 28 kB ściśle zintegrowanej pamięci instrukcji) oraz 32 kB 8-drożnej pamięci podręcznej danych. Dodatkowo przewidziano jednostkę ochrony pamięci PMP oraz jednostkę zarządzania pamięcią (MMU). Podsystem pamięci oferuje wiele funkcji, w tym 2 MB pamięci L2 z różnymi trybami dostępu, zintegrowany kontroler pamięci obsługujący różne wersje DDR, jednostkę ochrony pamięci MPU i wbudowaną nieulotną pamięć zapewniającą opcje bezpiecznego bootowania.

Spójna z cache matryca połączeń (bus matrix) CPU oraz elastyczny, 2-megabajtowy podsystem pamięci L2 odgrywają kluczową rolę w działaniu trybu AMP. Pamięć z korekcją błędów można skonfigurować jako 16-drożną pamięć podręczną L2 lub w trybie Loosely Integrated Memory (LIM) dla deterministycznego dostępu, a także jako spójną pamięć typu Scratchpad do obsługi współdzielonych komunikatów między hartami.

Zintegrowany 36-bitowy kontroler pamięci DDR4/LPDDR4 z korekcją błędów obsługuje pamięci DDR4 o przepustowości 1,6 Gb/s i oferuje przestrzeń adresową 8 GB. Kontroler zawiera jednostkę ochrony pamięci (MPU) oraz wbudowaną pamięć nieulotną 128 kB (eNVM) do obsługi procesu bootowania. Takie rozwiązanie zapewnia w pełni elastyczną konfigurację startową, umożliwiając podział hartów przy uruchomieniu – na te pracujące w trybie czasu rzeczywistego oraz te uruchamiające Linuksa – z odpowiednim wsparciem cache L2.

Implementacja AMP

W architekturze RISC-V jednostki przetwarzające określa się jako wątki sprzętowe (harts). Każdy hart w układzie PIC64GX stanowi niezależny kontekst wykonawczy, zdolny do uruchomienia własnego systemu operacyjnego lub zadania typu bare-metal. Czterohartowy klaster aplikacyjny można skonfigurować do pracy maksymalnie w dwóch niezależnych kontekstach programowych. Każdemu z kontekstów można przypisać własny system operacyjny, wydzielone obszary pamięci oraz zasoby sprzętowe. Sprzętowe mechanizmy separacji uniemożliwiają jednemu kontekstowi dostęp do zasobów innego. Wszelkie naruszenia mogą zostać wykryte i obsłużone przez oprogramowanie Hart Software Services (HSS), a hart E51 (monitor) jest przeznaczony do uruchamiania firmware HSS.

HSS pełni rolę bootloadera zerowego poziomu (zero-stage), monitora systemowego oraz dostawcy usług wykonawczych dla aplikacji. HSS wspomaga wczesną inicjalizację systemu – w tym trening kontrolera DDR oraz konfigurację/inicjalizację sprzętu. Kod HSS w większości wykonuje się na rdzeniu E51, z niewielką częścią funkcjonalności działającą w trybie maszynowym na każdym z rdzeni U54. HSS uruchamia jeden lub więcej kontekstów, ładując kod aplikacji z pamięci startowej (którą może być wbudowana pamięć NVM) i zapewnia środowisko wykonawcze platformy/nadzorcy (Platform Runtime Services/Supervisor Execution Environment, SEE) dla jąder systemów operacyjnych. Wspiera także bezpieczny rozruch (secure boot) i jest istotnym elementem gwarantującym sprzętową separację kontekstów w środowisku AMP.

Za pomocą HSS konfigurowany jest czterohartowy kompleks rdzeni. Na przykład możliwe jest ustawienie trzech hartów U54 do uruchamiania systemu Linux i instalacja systemu operacyjnego czasu rzeczywistego Zephyr na pozostałym, czwartym harcie. Peryferia sprzętowe mogą zostać przypisane do jednego lub drugiego z tych kontekstów.

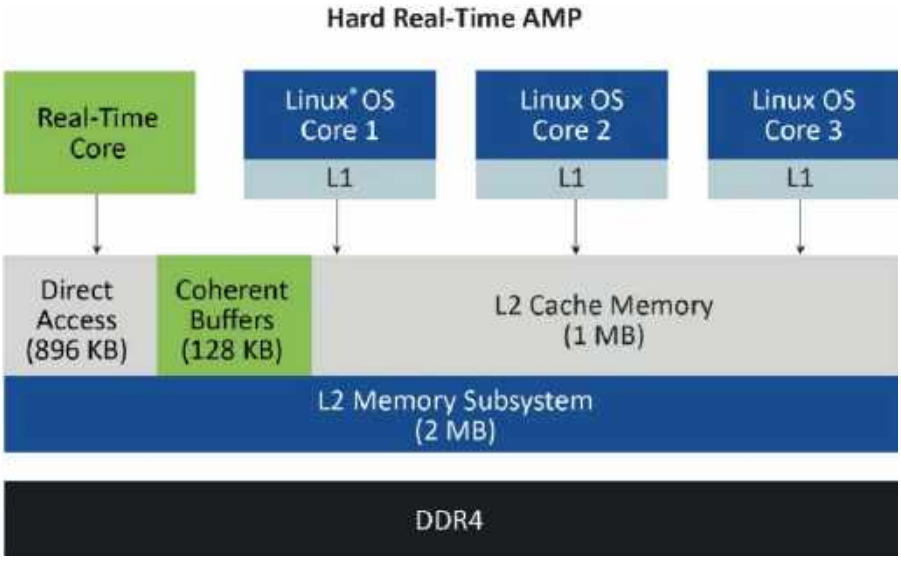
Otwarty, standardowy framework programistyczny o nazwie Open Asymmetric Multiprocessing (OpenAMP) dostarcza komponenty programowe niezbędne do tworzenia aplikacji dla systemów AMP. Kluczowymi elementami OpenAMP są mechanizmy Remote Processor Messaging (RPMsg) oraz remote Processor (remoteProc), które umożliwiają podział zadań pomiędzy dwa konteksty AMP i łatwą komunikację między nimi.

Wskazówki projektowe

Architektura AMP sprzyja tworzeniu zaawansowanych projektów składających się z wielu współpracujących komponentów programowych. Dzięki sprzętowemu podziałowi zasobów, AMP pozwala pogodzić wymagania i ograniczenia systemów o mieszanej krytyczności z zachowaniem wymogów czasu rzeczywistego.

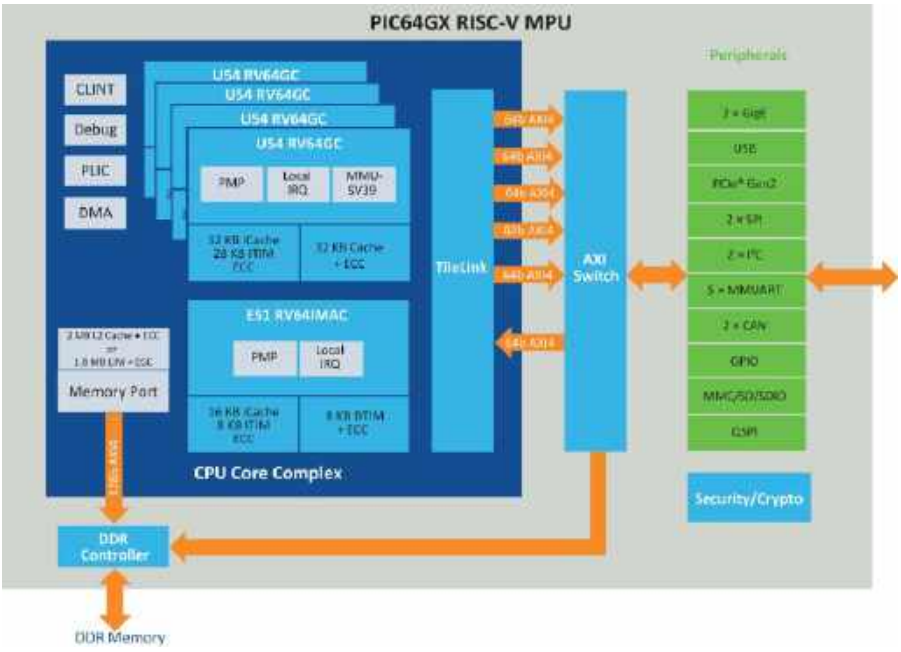
Programiści powinni zwrócić szczególną uwagę na mapę pamięci i rozmieszczenie pamięci w układach PIC64GX, metody komunikacji RPMsg i RPMsg-Lite, a także własność zasobów – rozumianą jako wyłączne przydzielenie określonych obszarów pamięci i/lub peryferiów do danego kontekstu.

Aplikacje muszą dysponować przejrzystym kanałem komunikacyjnym pomiędzy kontekstami (wykorzystującym RPMsg i współdzieloną pamięć) wraz z jasnym zdefiniowaniem znaczenia przesyłanych komunikatów. Należy dokonać podziału zadań, tak aby efektywnie rozproszyć obciążenia na części możliwe do wydajnego wykonania przez różne jednostki przetwarzające. Każdy hart musi dysponować wystarczającymi zasobami pamięci, a transfer danych między hartami powinien być minimalny – taka



eprasa.pl 3b5392c828

konfiguracja redukuje opóźnienia komunikacyjne i maksymalizuje równoległość przetwarzania wątków. HSS pełni funkcję monitora systemowego, raportując błędy magistrali, błędy ECC oraz krytyczne wyjątki występujące na rdzeniach U54.



Peryferia

Pod względem urządzeń peryferyjnych, rodzina procesorów wielohartowych PIC64GX obejmuje zintegrowane interfejsy, m.in. kontrolery Gigabit Ethernet MAC do szybkiej komunikacji, a także USB 2.0 OTG oraz interfejsy kart pamięci SD/SDIO 5.1. Dostępne są dwa porty CAN 2.0, pięć programowalnych portów UART, dwa interfejsy SPI i dwa I²C, a ponadto kontroler pamięci Flash Quad SPI z funkcją wykonywania kodu bezpośrednio z pamięci (execute-in-place) oraz zintegrowany, jedno- lub czteroliniowy port PCIe Gen2 (×1 lub ×4) w trybie Root Port.

Bezpieczeństwo

Różnorodne funkcje bezpieczeństwa zostały zintegrowane w systemie, aby zapewnić solidną ochronę przed zagrożeniami. Podwójne, zintegrowane układy typu PUF (Physically Unclonable Function) stanowią podstawę technologii root of trust dla kluczy szyfrujących, oferując 56 kB bezpiecznej, nieulotnej pamięci sNVM oraz 128 kB wbudowanej, nieulotnej pamięci eNVM – przy czym wszystko jest zintegrowane w ramach jednego chipu. Projekt układu zawiera także wbudowane detektory manipulacji (tamper) i mechanizmy zapobiegawcze, funkcje kontroli integralności dla bloków pamięci sNVM i eNVM oraz zabezpieczenia przed atakami wykorzystującymi różnicową analizę mocy (DPA), które mogą posłużyć do przechwytywania kluczy.

Zastosowania

Układy PIC64GX MPU są przeznaczone do zastosowań takich jak jednopłytkowe systemy wbudowane, sterowniki silników, systemy przetwarzania danych w czasie rzeczywistym, systemy wizyjne oraz aplikacje z zakresu AI/ML. Przykładowo, mogą one posłużyć do agregacji danych z czujników i wnioskowania AI poprzez uruchomienie systemu operacyjnego czasu rzeczywistego w pojedynczym kontekście.

Czujniki można z łatwością podłączyć do układu PIC64GX, korzystając z dostępnych peryferiów, takich jak SPI czy I²C. System operacyjny czasu rzeczywistego może następnie przetwarzać dane z czujników, a bloki komunikacyjne – na przykład interfejsy UART lub CAN – mogą posłużyć do transmisji danych (surowych lub przetworzonych), w zależności od potrzeb danego systemu.

W zadaniach z zakresu komputerowego przetwarzania obrazu na poziomie urządzenia brzegowego, odrębny kontekst z systemem Linux może realizować wykrywanie i klasyfikację obiektów oraz strumieniowanie wideo przez interfejsy takie jak Ethernet – wszystko w ramach jednego układu scalonego dzięki możliwościom architektury AMP. W ten sposób można tworzyć mniejsze i bardziej opłacalne rozwiązania w aplikacjach przemysłowych lub medycznych.

Narzędzia

Zastosowanie architektury AMP w przemysłowych aplikacjach SI jest zadaniem o rosnącej złożoności. Mikroprocesor PIC64GX dysponuje jednak kompletnym łańcuchem narzędzi programistycznych, obejmującym toolchain dla Linuksa oraz otwartoźródłowych systemów RTOS, a także wsparcie dla środowisk takich jak VxWorks i innych, używanych w systemach typu safety-critical. Rozszerzenia MPLAB zapewniają możliwość konfiguracji oraz ułatwiają migrację z innych procesorów Microchip. W skład narzędzi wchodzi również pakiet Hart Software Services (HSS), który dostarcza kod źródłowy zeropoziomowego bootloadera HSS oraz monitora systemowego.

Układ ma oficjalne wsparcie (upstream) w ekosystemie systemu operacyjnego Zephyr RTOS oraz w pakiecie BSP (Board Support Package) systemu Linux w ramach Yocto Project. System budowania Linuksa oparty na Buildroot korzysta z jądra Linux4Microchip, a od wersji 2024.10 dostępne jest także wsparcie dla systemu Ubuntu. Pakiet narzędzi zawiera wszystkie sterowniki – w tym sterowniki interfejsów peryferyjnych – niezbędne do rozpoczęcia pracy z układem. Po więcej informacji na temat narzędzi i ekosystemu warto odwiedzić repozytorium GitHub pod adresem https://github.com/pic64gx.

Klaster hartów PIC64GX jest częścią ugruntowanego ekosystemu Mi-V, który obejmuje m.in. wsparcie narzędzi debugujących firm Lauterbach i Ashling. Układ obsługuje funkcje debugowania przez interfejs JTAG – dostępnych jest dziesięć sprzętowych wyzwalaczy na każdy CPU, konfigurowanych jako punkty przerwania (breakpoints) lub punkty obserwacji (watchpoints), a także liczniki wydajności.

Podsumowanie

Układy PIC64GX zostały zaprojektowane specjalnie z myślą o implementacji architektury AMP w inteligentnych aplikacjach brzegowych osadzonych w systemach wbudowanych, które wymagają obsługi zadań o różnej krytyczności. Sprawdzony, wydajny klaster czterech 64-bitowych hartów RISC-V w ramach jednego zespołu rdzeni (coreplex) można bezpiecznie skonfigurować podczas uruchamiania systemu tak, by równolegle uruchomić system operacyjny czasu rzeczywistego obok systemu Linux. Umożliwia to w szczególności stworzenie usprawnionego potoku przetwarzania wizji z wykorzystaniem AI, działającego w czasie rzeczywistym. Dzięki dojrzałemu i dobrze wspieranemu zestawowi narzędzi, mikroprocesor PIC64GX daje deweloperom systemów wbudowanych możliwość pewnego tworzenia złożonych aplikacji przemysłowych, AI/ML oraz systemów czasu rzeczywistego, co usprawnia proces rozwoju i przyspiesza wprowadzanie produktów na rynek.

Venki Narayanan
Dyrektor ds. marketingu
Dział FPGA w firmie Microchip Technology

eprasa.pl 3b5392c828



Oszczędzanie energii w teorii i w praktyce (10)

W poprzedniej części tego cyklu omawialiśmy użycie sieci GSM i przykładową płytkę GSM/GPS marki AND Technologies (BK-A7970) z modułem SIMCOM A7670E. Noty katalogowe płytki i modułu nie udostępniają jednak dokładnych informacji o poborze prądu, w związku z czym w tej części spróbujemy ów pobór zmierzyć, demonstrując przy tym dwie metody pomiarowe. Pierwszą jest użycie multimetru stołowego Owon XDM3051, zaś druga opiera się na użyciu oscyloskopu Siglent SDS1104X-U i chińskiej sondy różnicowej, której recenzja została opublikowana w EP 07/2025.

Badany moduł ma dość szerokie możliwości konfiguracji i liczne tryby pracy, dlatego przeprowadzono szereg pomiarów. Nota nie podaje minimalnego poboru prądu ani specyficznych wartości tego parametru w różnych trybach pracy – znany jest jedynie pobór maksymalny przekraczający 1 A. Patrząc na omawiane wcześniej układy komunikacyjne i inne moduły można wyciągnąć wniosek, że w wielu przypadkach minimalny pobór prądu w trybie uśpienia może być ponżej 100 µA. Daje to zakres dynamiki ponad



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

1:10000, czyli >80 dB. Stąd też konieczność dobrego przygotowania się do pomiarów. Drugim elementem, często pomijanym w kontekście pomiarów prądowych z użyciem bocznika, jest wpływ parametrów pasożytniczych. Okazuje się bowiem, że zwykły rezystor o małej wartości może mieć rezystancję rzędu 10...100 mΩ, ale jego impedancja przy 1 MHz może już być 3 razy wyższa niż rezystancja mierzona w warunkach DC, co zaburzy pomiary szybko zmieniającego się poboru prądu. Ma to szczególne znaczenie, gdy pobór ten rośnie tylko na kilkaset mikrosekund do kilku milisekund. Do takich pomiarów potrzebny jest specjalny typ rezystora.

Rezystory bezindukcyjne

Standardowe rezystory przewlekane są wykonywane przez napylanie warstwy węgla lub metalu na element nośny, a następnie wykonywanie spiralnego nacięcia, by uzyskać relatywnie długą ścieżkę. Grubość warstwy i długość ścieżki określają rezystancję. W podobny sposób wykonuje się rezystory SMD, z tą jednak różnicą, że nośnik warstwy przewodzącej jest płaski, a nie walcowy. Rezystory

eprasa.pl 3b5392c828

Tabela 1. Pomiary rezystora bezindukcyjnego miernikiem LCR Uni-T UT622E

Pomiar		Częstotliwość				
		100 Hz	120 Hz	1 kHz	10 kHz	100 kHz
Składowe impedancji	R	98,1 mΩ	97,5 mΩ	97,4 mΩ	99,7 mΩ	103,1 mΩ
	X	2 mΩ	0,3 mΩ	1,4 mΩ	3 mΩ	15,2 mΩ
Impedancja	Z	98 mΩ	97,9 mΩ	98,4 mΩ	99,3 mΩ	103,7 mΩ
Rezystancja DC	DCR	98,2 mΩ				

Tabela 2. Pomiary zwykłego rezystora 10 Ω/2W miernikiem LCR Uni-T UT622E

Pomiar		Częstotliwość				
		100 Hz	120 Hz	1 kHz	10 kHz	100 kHz
Składowe impedancji	R	9,9287 Ω	9,9296 Ω	9,9302 Ω	9,931 Ω	9,9341 mΩ
	X	2,2 mΩ	1,9 mΩ	4,7 mΩ	31,9 mΩ	299,7 mΩ
Impedancja	Z	9,9293 Ω	9,927 Ω	9,9304 Ω	6,9315 Ω	9,94 Ω
Rezystancja DC	DCR	9,9266 Ω				

Tabela 3. Pomiary zwykłego rezystora 0,1 Ω/5 W miernikiem LCR Uni-T UT622E

Pomiar		Częstotliwość				
		100 Hz	120 Hz	1 kHz	10 kHz	100 kHz
Składowe impedancji	R	99,7 mΩ	99,8 mΩ	98,4 mΩ	99 mΩ	102,2 mΩ
	X	1,1 mΩ	0,3 mΩ	–0,1 mΩ	8,2 mΩ	70,1 mΩ
Impedancja	Z	99,3 mΩ	100,1 mΩ	98,7 mΩ	99,7 mΩ	124,8 mΩ
Rezystancja DC	DCR	101,5 mΩ				

drutowe większej mocy wykonuje się nawijając drut oporowy na ceramiczny karkas, a następnie pokrywa się całość odpowiednim lakierem izolacyjnym, jak w przypadku pozostałych rezystorów. Można też całość zalać masą ceramiczną, która następnie zostanie spieczona – tak powstają rezystory cermentowe. Problemem takich metod konstrukcyjnych jest spora indukcyjność własna i pojemność pasożytnicza – parametry raczej niepożądane w układzie pomiarowym. Istnieją jednak rezystory bezindukcyjne. Ich wersje drutowe nawija się albo bifilarnie (i łączy uzwojenia przeciwsobnie), albo dwoma drutami w przeciwnych kierunkach, po czym łączy się je równolegle. W efekcie powstaje rezystor, którego indukcyjności się znoszą. Elementy większej mocy budowane są w formie metalowej lub metalizowanej płytki zalanej cermetem, dzięki czemu zamiast zwoju mamy do czynienia z niedomkniętą pętlą, przypominającą kształtem grecką literę π. Indukcyjność takiego elementu jest znacznie mniejsza niż standardowego rezystora.

Jak to wygląda w praktyce? Możemy to sprawdzić używając miernika LCR do pomiarów parametrów rezystorów na różnych częstotliwościach. Do pomiaru użyty został miernik LCR Uni-T UT622E, pozwalający na pomiar impedancji, ale też rezystancji (prądem stałym). W **tabeli 1** zestawiono wszystkie możliwe pomiary jednego rezystora bezindukcyjnego 0,1 Ω/2 W o tolerancji 5%. Przed każdym pomiarem przyrząd był kalibrowany. Jak widać, wyniki pomiarów są dość ciekawe. Rezystor ma wartość poniżej znamionowej, ale wciąż w zakresie jego tolerancji. Reaktancja zmienia się dość znacznie, zależnie od częstotliwości, ale rezystancja i impedancja pozostają relatywnie stałe dla większości pomiarów. Jednak nawet rezystor bezindukcyjny nie zachowuje stałej wartości przy częstotliwości 100 kHz. Mimo to wciąż mieści się w zakresie tolerancji. Porównajmy to ze zwykłym rezystorem osiowym – pomiary pokazuje **tabela 2**. Z kolei **tabela 3** zbiera wyniki pomiarów rezystora cermetowego 0,1 Ω/ W.

Autor spodziewał się dużo gorszego wyniku rezystora 2-watowego, jednakże wartości rezystancji i impedancji pozostawały relatywnie zbliżone – rosła jedynie reaktancja i to dość znacznie, zwłaszcza przy 100 kHz. W przypadku rezystora cermetowego rezystancja pozostawała relatywnie stała, ale zarówno reaktancja, jak i impedancja wzrosły przy częstotliwości 100 kHz. Pomiary nie dawały też stałych odczytów, gdyż sam miernik jest wrażliwy na zmiany temperatury, a rezystory – na zbliżanie ręki (przez pojemności pasożytnicze). W porównaniu ze zwykłymi rezystorami element bezindukcyjny wypada bardzo dobrze. Większe wahania odczytów można zaobserwować przy jeszcze wyższych częstotliwościach, ale to już wymaga użycia specjalistycznego miernika stołowego lub kombinacji oscyloskopu i generatora funkcyjnego.

W tym celu zestawiono obwód składający się z dwóch rezystorów 0,1 Ω: bezindukcyjnego 2 W i cermetowego 5 W, podłączonych szeregowo do generatora funkcyjnego. Używając sondy różnicowej zmierzone zostało napięcie odkładające się najpierw na jednym rezystorze, potem na drugim, przy zmianie częstotliwości sygnału z generatora. Amplituda sygnału generatora wynosi 2 Vp-p. Na początek podłączono sondę do rezystora cermetowego, a sondę ustawiono na wzmocnienie 10×. Przy 10 kHz średnia amplituda zmierzona wyniosła:

- 77,6 mVp-p (przy dużej składowej zakłóceń z otoczenia),
- 100 kHz: 60 mVp-p,
- 400 kHz: 122 mVp-p,
- 1 MHz: 268 mVp-p.

Różnica niemal 3,5-krotna!

W przypadku rezystora bezindukcyjnego sytuacja wygląda inaczej:

- 10 kHz: 69,6 mVp-p,
- 100 kHz: 71,3 mVp-p,
- 500 kHz: 75,1 mVp-p,
- 1 MHz: 129,4 mVp-p.

Przyrost znacznie mniejszy, bo tylko 1,85 raza, przy czym dokładność pomiarów nie jest zagwarantowana dla niższych częstotliwości, ze względu na liczne zakłócenia „łapane" z otoczenia. Pomiary z uśrednianiem miałyby w tym przypadku zastosowanie. Nie zmienia to jednak faktu, że rezystor bezindukcyjny (choć zdaniem autora, wcale nie najwyższej jakości, co odzwierciedla jego cena) jest lepszym wyborem do takich pomiarów.

Praktyczne pomiary modułu łączności

Do pomiarów poboru prądu zastosowano dwie metody. Pierwsza korzysta z trybu pomiaru prądu multimetru

eprasa.pl 3b5392c828

stołowego Owon XDM3051. Instrument ten oferuje wysoką precyzję pomiarów prądowych w dość szerokim zakresie prądów, od ułamków mikroampera, aż po 10 A. Przy braku karty SIM moduł pobiera około 41...43 mA, po włączeniu modułu GPS wartość ta rośnie do 79...103 mA. Wiele zależy od położenia anteny.

Multimetr miał duże problemy ze wskazaniem momentów wzmożonej aktywności modułu, dając jedynie odczyt uśrednionego poboru prądu. Za to w czasie, gdy pobór spadał poniżej pewnego dolnego limitu, multimetr przełączał zakresy przekaźnikiem, co powodowało, że modem się resetował. Ustawienie trybu pracy na ręczny wybór zakresu rozwiązało ten drobny problem.

Pomiary oscyloskopowe pokazały wzrost poboru prądu do około 80 mA w chwili początkowego nawiązywania łączności z siecią GSM/LTE. Średni pobór prądu wynosił 65 mA, z trwającymi po kilka milisekund „pikami" poboru do około 80 mA, występującymi co 850 ms. Jest to interwał wywołania tej konkretnej sieci. Przesłonięcie anteny ręką zwiększało szczytowy pobór prądu do 12...140 mA. Aktywacja funkcji GPS/GNSS dodawała stały przyrost poboru prądu o 42,5 mA, choć nie udało się określić pozycji modemu – antena GPS znajdowała się wewnątrz budynku, z dala od okien. Nie zaobserwowano szybszych zmian poboru prądu, a i precyzja pomiaru była w pewnym stopniu ograniczona przez duży poziom szumów w sygnale pomiarowym, pochodzących z różnych źródeł: impulsowego zasilacza warsztatowego czy samej anteny modułu A7670E. Nie udało się też dokonać pomiarów poboru prądu w stanie uśpienia. Wymagane było zwarcie dwóch pinów na płytce modułu, z jednoczesną obserwacją oscyloskopu, czego autor nie był w stanie wykonać ze względu na posiadanie tylko dwóch rąk, podczas gdy zadanie to wymagało przynajmniej trzech (czterech, jeśli uwzględnić elektroniczną lupę, z której autor jest zmuszony korzystać). Być może jednak autor wróci do tych pomiarów, mając odpowiednią liczbę kończyn do pomocy...

Warto nadmienić też, że zestawiony obwód pomiarowy był dość delikatny – przypadkowe przesunięcie przewodu łącza szeregowego spowodowało przynajmniej dwukrotne rozłączenie obwodu pomiarowego. Autor planuje (i zaleca to samo Czytelnikom) wykonanie przystawki pomiarowej do włączenia między zasilacz a badany układ, która pozwoli na pewne połączenie rezystora pomiarowego z sondą różnicową przewodami BNC-BNC. Warto też będzie umieścić taką przystawkę w metalowej obudowie, co powinno zmniejszyć wrażliwość całości na zakłócenia.

Zakończenie

Na tych pomiarach zakończymy niniejszy cykl artykułów. Nie oznacza to jednak, że nie powrócimy do tematu w przyszłości, zwłaszcza po pozyskaniu stosownej przystawki pomiarowej lub dedykowanego zasilacza precyzyjnego. W przyszłości pojawić się też mogą praktyczne projekty energooszczędnych układów lub omówienia gotowych urządzeń czy modułów. Tematyka oszczędzania energii i alternatywnych źródeł jej pozyskiwania jest bowiem dość istotna w dobie potencjalnych zagrożeń, związanych z ograniczeniami lub całkowitym brakiem zasilania. Tegoroczny blackout w Hiszpanii pokazał, jak wrażliwa na błędy operatorów może być sieć elektroenergetyczna i to nawet bez dodatkowego zagrożenia ze strony hakerów czy sabotażystów. Dlatego autor jest przekonany, że tematyka związana z odnawialnymi źródłami energii i oszczędzaniem energii z łam „Elektroniki Praktycznej" raczej nieprędko zniknie.

Paweł Kowalczyk, EP

Słownik cyberbezpieczeństwa (1). Szyfrowanie i uwierzytelnianie

Wraz z rozwojem IoT pojawiła się konieczność stosowania metod zabezpieczających systemy wchodzące w skład Internetu Rzeczy. Należą do nich m.in. czujniki i kamery, które niosą ze sobą dużą odpowiedzialność operacyjną, co wiąże się ze szczególną potrzebą ochrony przed cyberatakami. Podstawowymi technikami są szyfrowanie i uwierzytelnianie, dzięki którym dane pozostają poufne i wiarygodne.



Szyfrowanie (ang. *encryption*) polega na zamianie czytelnych danych w postać nieczytelną, którą można odszyfrować wyłącznie za pomocą odpowiedniego klucza [1].

Przykład:
Czujnik mierzy temperaturę i wysyła dane do serwera w chmurze. Zanim wyśle komunikat 21°C, zamienia go przy pomocy algorytmu szyfrowania i klucza szyfrującego w ciąg niezrozumiałych znaków, np. jd$8g0LKc3Z. Dzięki temu, nawet jeśli ktoś przechwyci transmisję, nie zobaczy prawdziwej treści, lecz jedynie ciąg znaków wyglądający na losowy.

Do najczęściej używanych metod szyfrowania należą AES (*Advanced Encryption Standard*) oraz RSA (*Rivest–Shamir–Adleman*) [2].



Uwierzytelnianie (ang. *authentication*) służy do potwierdzania tożsamości urządzenia lub użytkownika, który próbuje nawiązać połączenie [3].

Przykład:
Czujnik temperatury łączy się z centralą przez Wi-Fi. Centrala wysyła losową liczbę, np. 638571, do czujnika. Czujnik podpisuje tę liczbę swoim kluczem prywatnym, w wyniku czego powstaje unikalny podpis cyfrowy. Centrala sprawdza podpis przy pomocy klucza publicznego czujnika, który zna od początku (np. z procesu instalacji). Jeśli podpis się zgadza, centrala wie, że czujnik rzeczywiście dysponuje swoim kluczem prywatnym i uwierzytelnienie zostaje potwierdzone.

Istnieją różne sposoby uwierzytelniania, w tym użycie hasła lub PIN-u, danych biometrycznych, certyfikatów SSL/TLS, tokenów, uwierzytelniania wieloskładnikowego i innych metod [4].



Dobre praktyki
Szyfrowanie bez uwierzytelniania nie wystarczy. Jeśli nie zweryfikujemy nadawcy danych, to nawet bardzo dobrze zaszyfrowana transmisja może okazać się próbą ataku dokonaną przez osobę nieautoryzowaną. Z drugiej strony uwierzytelnianie bez szyfrowania również jest ryzykowne, ponieważ dane mogą zostać zmienione „w locie" lub ich treść może zostać wykradziona. Dlatego w nowoczesnych rozwiązaniach IoT stosuje się kombinację obu mechanizmów. Patrząc z innej perspektywy, każde narzędzie ma także wady. Mimo że uwierzytelnianie, np. za pomocą kombinacji nazwy użytkownika, hasła i uwierzytelniania wieloskładnikowego, jest uważane za bezpieczne, istnieją przypadki, w których nie jest ono zalecane. Wdrażając środki zabezpieczenia, warto zadać sobie pytania: **kto** ma kontrolę nad danymi i **kiedy** poufne informacje mogą trafić do osób trzecich. Nawet połączenie uwierzytelniania i szyfrowania nie będzie bezpieczne, jeśli wdrożymy je w nieprzemyślany sposób [5].

Filip Krzyżański

[1] https://t.ly/KjA1z
[2] https://t.ly/HyzRO
[3] https://t.ly/h6c8L
[4] https://t.ly/QbilP
[5] https://t.ly/-rFdg

eprasa.pl 3b5392c828

Maszyny i wyposażenie do produkcji

Nowoczesna produkcja elektroniki to zaawansowany i wieloetapowy proces, w którym dokładność, powtarzalność i skrupulatna kontrola jakości mają fundamentalne znaczenie dla finalnego produktu. Od nakładania pasty lutowniczej aż po końcową inspekcję – każdy etap wymaga odpowiedniego parku maszynowego i właściwego przygotowania stanowisk pracy. W artykule prezentujemy najważniejsze urządzenia używane w montażu powierzchniowym SMT: automaty pick&place, piece rozpływowe (reflow), drukarki szablonowe do pasty lutowniczej czy też systemy inspekcji optycznej (AOI) i rentgenowskiej (X-Ray). Omawiamy również rolę robotów lutowniczych w procesach THT oraz znaczenie wyposażenia antystatycznego stref EPA, w tym mebli ESD, mat, opasek, a także organizacji stanowisk zgodnych z normami ochrony przed wyładowaniami elektrostatycznymi.



Fotografia 1. Automatyczna drukarka szablonowa ASM DEK TQ (https://t.ly/Jclrt)

Drukarki szablonowe

Pierwszym etapem montażu powierzchniowego jest nakładanie pasty lutowniczej na pady PCB za pomocą drukarki szablonowej. Od jakości i powtarzalności tego procesu zależy w dużej mierze ostateczny rezultat lutowania – szacuje się, że 60...70% defektów montażu SMD wynika właśnie z problemów z drukiem pasty. Nowoczesne, automatyczne drukarki wyposażone są w systemy centrowania szablonu względem płytki z dokładnością rzędu ułamka milimetra oraz mechanizmy kontroli nałożonej pasty. Przykładowo drukarka ASM DEK TQ (**fotografia 1**) osiąga ±12,5 µm precyzji pozycjonowania szablonu i około ±17 µm dokładności nadruku pasty (tzw. wet print accuracy), co umożliwia obsługę płyt HDI obsadzanych najmniejszymi komponentami pasywnymi i układami BGA o gęstym upakowaniu pinów. Czas cyklu drukowania jest bardzo krótki i wynosi około 6,5 sekundy na jedną płytkę (lub panel), dzięki czemu drukarka nadąża za tempem szybkich automatów pick & place.

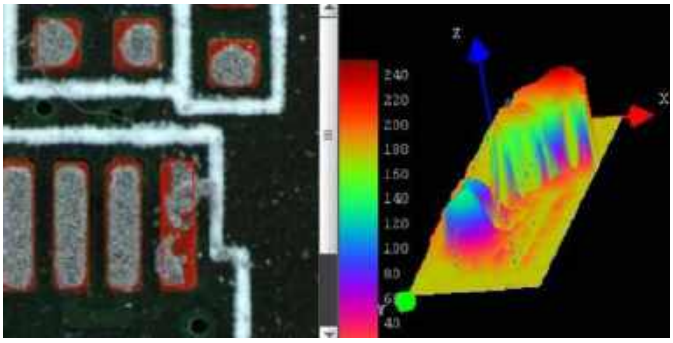
Podstawowe elementy drukarki to stolik pozycjonujący PCB, rama napinająca metalowy szablon oraz rakle rozprowadzające pastę. W procesie nadruku rakla przemieszcza pastę po powierzchni szablonu, wciskając ją w otwory odpowiadające padom na płytce. Po zdjęciu szablonu płytka pozostaje pokryta precyzyjnie wydzielonymi porcjami pasty na wszystkich wymagających tego polach lutowniczych. Grubość (a więc i objętość) naniesionej pasty zależy od grubości szablonu oraz geometrii apertur (otworów) – typowo używa się szablonów stalowych o grubości 100...150 µm, co zapewnia odpowiednią ilość pasty dla większości komponentów SMD. Bardzo istotnym elementem systemów automatycznego nakładania pasty jest też mechanizm usuwania z szablonu z resztek lutowia, ponieważ wszelkie zanieczyszczenia mogą powodować pogorszenie jakości rozkładu pasty, a w efekcie prowadzić do powstawania uszkodzonych połączeń.

Automatyzacja procesu nadruku pasty eliminuje błędy ludzkie obecne w rozwiązaniach półautomatycznych i manualnych. Drukarki automatyczne same pozycjonują płytkę i szablon (za pomocą kamer i systemu znaczników optycznych), dozują pastę z kartusza na szablon oraz kontrolują kluczowe parametry druku, w tym przede wszystkim prędkość rakli oraz kąt natarcia. Obwód drukowany może być utrzymywany w docelowym miejscu za pomocą systemu podciśnieniowego, co ułatwia pracę z pojedynczymi płytkami drukowanymi lub mniejszymi panelami. Wiele drukarek wyższej klasy ma zintegrowane systemy inspekcji 2D, które zaraz po nadruku skanują wzór pasty i wykrywają ewentualne niedodruki lub mostki (czyli przyszłe zwarcia, które powstaną po roztopieniu lutowia). Coraz częściej stosuje się także autonomiczne urządzenia SPI (ang. Solder Paste Inspection) typu 3D, które optycznie mierzą objętość naniesionej pasty i pozwalają korygować proces (np. regulując docisk rakli lub częstotliwość czyszczenia szablonu) – patrz **fotografie 2** i **3**.



Fotografia 2. System optycznej inspekcji pasty lutowniczej Yamaha YSI-SP (https://t.ly/SJpTA)

Średnie partie produkcyjne mogą być realizowane za pomocą drukarek półautomatycznych, w których nie ma już wprawdzie systemu wizyjnego i zaawansowanych funkcji automatycznej kontroli oraz pozycjonowania, ale proces nakładania pasty jest ułatwiony w porównaniu do rozwiązań całkowicie manualnych. Przykład takiego urządzenia



Fotografia 3. Przykładowy obraz z kamery maszyny SPI oraz render trójwymiarowy błędnie nałożonej pasty lutowniczej (https://t.ly/qIXGp)

eprasa.pl 3b5392c828



Fotografia 4. Półautomatyczna drukarka szablonowa SPR-45 marki DDM Novastar (https://t.ly/PS5mh)



Fotografia 5. Ręczna drukarka szablonowa do pracy z szablonami bez ramy (FP2636 marki Neoden) – https://t.ly/9IJcu

– SPR-45 amerykańskiej marki DDM Novastar – można zobaczyć na **fotografii 4**. Urządzenie automatycznie dostosowuje nacisk rakli i przesuwa ją w obydwu kierunkach, natomiast procesy wymiany płytek drukowanych oraz ich pozycjonowania muszą być wykonywane ręcznie przez operatora.

W przypadku produkcji małoseryjnej lub prototypowej pasta może być także nanoszona za pomocą drukarek manualnych – jest to rozwiązanie nieporównanie tańsze i bardziej kompaktowe w porównaniu do najprostszych nawet drukarek automatycznych oraz półautomatycznych. Na rynku istnieją zasadniczo dwa rodzaje tego typu prostych urządzeń, dostosowane do obsługi szablonów bez ramy lub fabrycznie naciągniętych na ramę aluminiową. Te pierwsze mają prosty, mechaniczny system mocowania i napinania szablonu, oparty na śrubach i odpowiednio sztywnych prowadnicach (**fotografia 5**). Drukarki przystosowane do pracy z szablonami na ramie (**fotografia 6**) nie wymagają wbudowanych napinaczy, są przez to wyraźnie prostsze w obsłudze i pozwalają na szybsze przezbrajanie urządzenia. Niezależnie od rodzaju stosowanych szablonów, kluczem do precyzji i powtarzalności procesu nadrukowywania pasty na pady PCB jest odpowiednia sztywność konstrukcji drukarki i małe luzy w jej mechanizmach. Pozycjonowanie odbywa się w trzech osiach głównych (przesuw w płaszczyźnie XY oraz regulacja wysokości szablonu nad płytką, czyli w osi Z), a dodatkowo konieczna jest także regulacja kąta płytki względem szablonu, za co odpowiada osobne, czwarte pokrętło. Z uwagi na konieczność ręcznego przesuwu rakli oraz dokładnego ustawienia szablonu i PCB, uzyskanie wysokiej jakości rezultatów przy użyciu drukarek manualnych wymaga pewnego doświadczenia, dogłębnego zrozumienia procesu i zachowania samej pasty lutowniczej oraz… „wyczucia" danej drukarki i poznania jej specyficznych cech użytkowych.



Fotografia 8. Superszybka głowica obrotowa typu RM marki Yamaha, obsługująca do 120 000 komponentów na godzinę (https://t.ly/DmMWC)

Automaty pick&place – serce montażu SMT

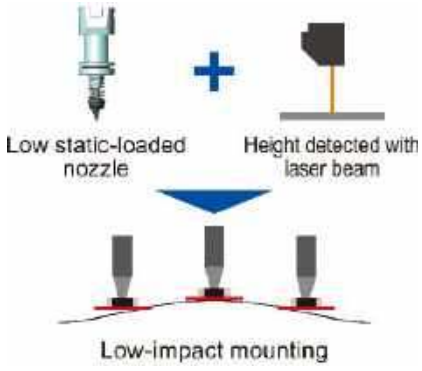
Automaty montażowe pick&place odpowiadają za szybkie i precyzyjne rozmieszczanie elementów SMD na płytkach drukowanych z nałożoną uprzednio pastą lutowniczą. Najnowsze maszyny tego typu imponują wydajnością dochodzącą do ponad stu tysięcy komponentów na godzinę (CPH). Dla przykładu: automat najnowszej generacji Yamaha YRM20DL (**fotografia 7**) jest modułowym urządzeniem o układzie dwutorowym, zdolnym do ułożenia nawet 120 000 komponentów na godzinę dzięki głowicy obrotowej RM, obsługującej do 18 dysz (**fotografia 8**). Maszyna ma konstrukcję dwutorową (ang. dual-lane), zapewniającą równoczesne układanie elementów po dwóch stronach maszyny za pomocą osobnych wózków zawierających głowice dostosowane do rozmiarów układanych podzespołów. Wysoka wydajność idzie tu w parze z dokładnością: w trybie wysokiej precyzji maszyna uzyskuje powtarzalność rzędu ±0,015 mm, co pozwala na bezbłędne układanie komponentów od rozmiaru 0201 w górę. Konstrukcja umożliwia delikatną pracę z najmniejszymi elementami, stosując laserowy pomiar odległości PCB od głowicy (**rysunek 1**), a z drugiej strony radzi sobie nawet z dużymi złączami o rozmiarach dochodzących do 200 mm (np. złącza pamięci DDR – **rysunek 2**). Niektóre głowice są w stanie układać zarówno podzespoły 0201, jak i złącza dochodzące do 100 mm długości – tak szeroki zakres obsługiwanych



Fotografia 6. Ręczna drukarka szablonowa do pracy z szablonami w ramie (https://t.ly/bc_lr)

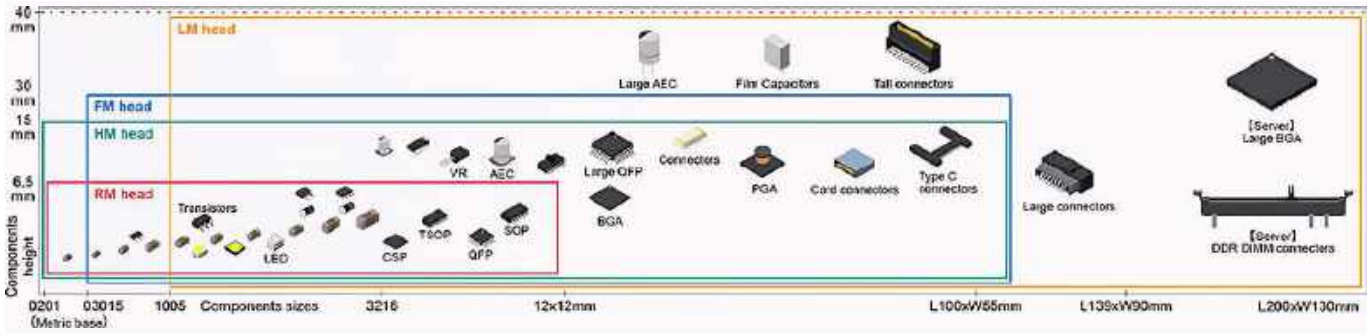


Fotografia 7. Ultrawydajny automat pick&place – YRM20DL marki Yamaha (https://t.ly/KXsDF)



Rysunek 1. Zastosowanie laserowego skanera głębi do wspomagania montażu najmniejszych elementów SMD w automatach marki Yamaha (https://t.ly/DmMWC)

eprasa.pl 3b5392c828



Rysunek 2. Zakres rozmiarów komponentów montowanych przez poszczególne głowice przeznaczone do automatów YRM20DL marki Yamaha (https://t.ly/DmMWC)



Fotografia 9. Przykładowy znacznik optyczny (fiducial) rozpoznany przez system wizyjny automatu P&P marki Neoden (https://t.ly/5VgR0)

komponentów zmniejsza straty czasu wynikające z konieczności przezbrajania automatu. Przy uzbrojeniu maszyny wyłącznie taśmami o szerokości 8 mm urządzenie jest w stanie jednocześnie obsługiwać do 128 rodzajów podzespołów (licząc tylko automatyczne podajniki, czyli tzw. feedery).

Na wydajność i dokładność pozycjonowania elementów SMD wpływa oczywiście szereg innych czynników, w tym obecność magazynu do automatycznej zmiany dysz czy odpowiednia sztywność konstrukcji (minimalizująca drgania podczas wykonywania bardzo szybkich przesuwów). Co ciekawe, w omawianym modelu YRM20DL istnieje nawet możliwość automatycznej weryfikacji wartości elementów RLC, co pozwala na wykrycie i ostrzeżenie operatora np. o błędnie załadowanej taśmie.

We wszystkich współczesnych automatach P&P za precyzję układania elementów oraz pozycjonowania samych płytek drukowanych odpowiadają zaawansowane, superszybkie systemy wizyjne – kamery skanują komponent w celu określenia jego pozycji i orientacji, a oprogramowanie koryguje odpowiednio położenie i obrót dyszy. Kamery są także stosowane do rozpoznawania znaczników optycznych (tzw. fiduciali – **fotografia 9**), co umożliwia korygowanie rozbieżności pomiędzy położeniem kolejno obsadzanych PCB.

Wspomniany próg wydajności na poziomie 100 000 CPH udało się już przekroczyć ponad dwukrotnie. Automat YSM40R (również marki Yamaha, **fotografia 10**) umożliwia osiągnięcie w optymalnych warunkach wydajności rzędu 200 000 CPH, a niektórzy producenci dalekowschodni szczycą się nawet wartością 250 000 CPH. Wprawdzie ten ostatni wynik



Fotografia 10. Automat YSM40R marki Yamaha (https://t.ly/K5sMq)

dotyczy specjalistycznego automatu do układania diod elektroluminescencyjnych SMD w produkcji masowej (np. żarówek czy taśm LED – **fotografia 11**) i trudno znaleźć szczegółowe dane na temat samej maszyny, jak i jej producenta, to i tak należy się spodziewać, że przynajmniej jeszcze przez pewien czas wytwórcy maszyn P&P będą prześcigali się właśnie na gruncie maksymalnej „przepustowości" montażowej.



Fotografia 11. Automat do montażu diod LED o teoretycznej wydajności 250 000 CPH (https://t.ly/GEupw)

Należy pamiętać, że najwyższej klasy automaty montażowe SMT są kosztowne, duże i ciężkie – w przypadku sporych maszyn pokroju YRM20DL należy liczyć się z kosztami rzędu setek tysięcy złotych i masą na poziomie 2,5 tony (!). A jak wygląda pozostała część rynku?

Firmy dysponujące budżetem na poziomie około 80 tysięcy złotych mogą pozwolić sobie na zakup automatów o wydajności znacznie niższej, ale wciąż w zupełności wystarczającej do produkcji prototypów, a także małych i średnich serii. Sztandarowym przykładem może być tutaj około 100-kilogramowy automat Neoden4 (**fotografia 12**), który umożliwia zamontowanie (teoretycznie) do 48 podajników 8-milimetrowych, obsługuje także pobieranie komponentów z lasek (podajnik wibracyjny) oraz dowolnie umiejscowionych tacek. 4 głowice z ręcznie wymienianymi dyszami i podwójny system wizyjny (kamera „w dół" – pozycjonowanie PCB na podstawie fiduciali, kamera „w górę" – centrowanie dysz i korygowanie położenia pobranych elementów) pozwalają uzyskać wydajność na poziomie 4000 CPH – wciąż jest to zatem ponad 1 element na sekundę, czyli prędkość montażu pozostawiająca daleko w tyle osiągi nawet najbardziej wprawnych montażystów. Rzecz jasna w przypadku tego rodzaju maszyn z chińskim rodowodem trzeba liczyć się z potencjalnymi problemami, wynikającymi zwykle z niedoskonałego oprogramowania, jednak przy odpowiednim ustawieniu, kalibracji i optymalizacji całego procesu korzyści wynikające z automatyzacji znacznie przekraczają pewne utrudnienia, chociażby w postaci pojedynczych elementów ułożonych pod niewłaściwym kątem lub np. na boku. Zwykle wynika to z nieprawidłowego pobrania elementu z taśmy, co jest określane mianem mispick.



Fotografia 12. Automat montażowy SMT Neoden4 (https://t.ly/0Fzdn)

Do dyspozycji małych firm, startupów, a nawet

eprasa.pl 3b5392c828



Fotografia 13. Przykładowy automat z dolnej półki cenowej (https://t.ly/pxUb8)



Fotografia 15. Piec rozpływowy z modułem próżniowym marki SMT Wertheim (https://t.ly/WzLEd)

amatorów z bardziej zasobnym portfelem są także chińskie maszyny typu biurkowego, których koszt wynosi zwykle kilkanaście tysięcy złotych (**fotografia 13**). W takich przypadkach trzeba oczywiście brać pod uwagę znaczne ograniczenia, chociażby pod względem liczby podajników, szybkości układania oraz dokładności. Z uwagi na brak doświadczenia z tego rodzaju tanimi automatami autor nie wypowie się na temat jakości oprogramowania i niezawodności takich urządzeń – można się jednak spodziewać, że w przypadku tego rodzaju urządzeń liczba problemów zapewne przekracza liczbę niewątpliwych zalet (głównie niską cenę i niewielkie wymiary).

Piece rozpływowe

Po ułożeniu komponentów SMD na PCB następuje proces lutowania rozpływowego w specjalnym piecu. Jest to zwykle tunelowy piec przelotowy z wieloma strefami grzewczymi i chłodzącymi, przez który płytki są transportowane na przenośniku taśmowym lub łańcuchowym. Celem procesu jest stopienie ziaren lutowia w paście i stworzenie trwałych połączeń lutowanych, w ściśle kontrolowanych warunkach odwzorowujących zalecany przez producenta (pasty i/lub samych komponentów krytycznych) profil termiczny. Tematyka profili (w tym także norm opisujących typowe konfiguracje parametrów) była już szerzej opisywana na łamach EP, więc zainteresowanych Czytelników zachęcamy do zapoznania się z materiałami archiwalnymi na stronie ep.com.pl.

Typowy piec rozpływowy ma od kilka stref grzania (górnych i dolnych) oraz 1...2 strefy chłodzenia. W wielkoskalowej produkcji, np. w dużych przedsiębiorstwach EMS, stosowane są natomiast piece zawierające łącznie nawet ponad 20 stref – przykładowy model 2156 firmy Heller Industries ma 17 stref grzewczych i 5 chłodzących, a jego całkowita długość przekracza 8,5 metra (!) – patrz **fotografia 14**.

W przypadku pieców wielostrefowych każda strefa to w istocie segment z elementami grzejnymi i wymuszonym obiegiem gorącego powietrza (konwekcja). Piece konwekcyjne precyzyjnie utrzymują zadane temperatury w kolejnych strefach (określanych jako preheat, soak, reflow, cooldown) z dokładnością często ±1°C, a stabilność procesu monitorowana jest za pomocą wielopunktowego systemu termopar.

Nowoczesne piece lutownicze oferują szereg usprawnień zwiększających powtarzalność i jakość lutowania. Jednym z nich są moduły próżniowe integrowane tuż za strefą rozpływu – jak w systemach Vacuum Plus firmy SMT Wertheim (**fotografia 15**). Zaraz po rozpuszczeniu lutowia następuje cykl odsysania powietrza z komory, co redukuje powstawanie pęcherzy (albo – innymi słowy – pustych wnęk, określanych mianem voids) w spoinach. Dzięki temu luty np. pod układami BGA są niemal całkowicie pozbawione pustek, co istotnie zbliża połączenia lutowane do ideału wymaganego przez normy IPC (maksymalne dopuszczalne obszary pustek w spoinach są opisane w IPC-A-610). Tego rodzaju podejście – lutowanie w próżni – staje się coraz popularniejsze w produkcji elektroniki motoryzacyjnej czy medycznej, gdzie niezawodność ma znaczenie krytyczne.

Innym wyzwaniem w eksploatacji pieców jest zarządzanie lotnym topnikiem odparowującym z pasty. Osady kalafonii mogą zanieczyszczać wnętrze pieca, dlatego producenci stosują np. wymienne pułapki kondensacyjne i katalizatory spalin. Wspomniany piec Heller MK7 oferuje system Low Temperature Catalyst rozkładający lotne związki powstałe po odparowaniu topnika do CO_2 i H_2O – co znacząco wydłuża okresy między wymaganymi przeglądami.

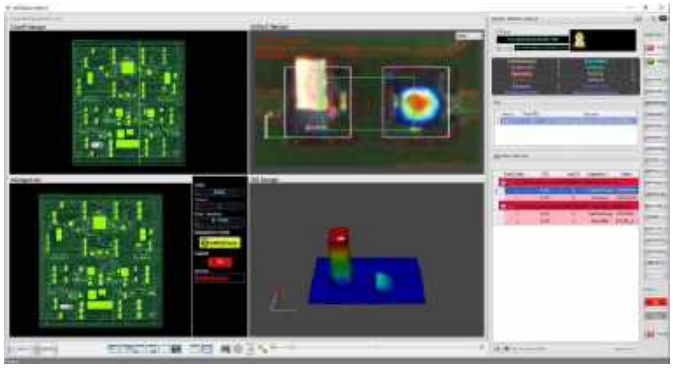
Wydajność energetyczna i stabilność termiczna to kolejne istotne cechy współczesnych pieców reflow. Dzięki ulepszonym modułom konwekcyjnym (większe turbiny, lepsza izolacja) nowsze piece osiągają krótkie czasy rozgrzewania (ok. 15...20 min) i mniejsze zużycie energii – np. 8-strefowy piec GTSMT GT-R8 pobiera podczas pracy średnio 9...10 kW mocy, a tylko przy rozruchu wartość ta rośnie do 28 kW. Wiele urządzeń oferuje opcję pracy w atmosferze azotu, co sprzyja lutowaniu bezołowiowemu, redukując utlenianie poprzez wyparcie większości cząsteczek tlenu z wnętrza komory pieca. Wiąże się to z dodatkowymi kosztami, ale poprawia zwilżanie i połysk spoin – ów proces stosuje się zwłaszcza przy lutowaniu BGA i układów CSP.

Inspekcja optyczna (AOI) – automatyczna kontrola jakości

Miniaturyzacja i rosnąca złożoność PCB sprawiają, że kontrola jakości montażu nie może opierać się wyłącznie na oględzinach ludzkim okiem. Automatyczne systemy inspekcji optycznej (AOI) są obecnie standardowym elementem linii produkcyjnych – wykrywają błędy montażu takie jak brakujące lub przesunięte komponenty, nieprawidłowe spoiny lutownicze, zwarcia czy odwrócone komponenty. Najnowocześniejsze AOI pracują w technologii 3D – zamiast tylko analizować obraz 2D z kamery, dokonują pomiaru wysokości



Fotografia 14. Piec rozpływowy Heller Industries, model MK7 2156 (https://t.ly/gy0i0)



Fotografia 16. Przykładowy błąd w montażu SMT wykryty przez maszynę AOI – efekt nagrobkowania (tombstoning) – https://t.ly/_lAUX

eprasa.pl 3b5392c828

obiektów metodą projekcji prążków i triangulacji. Dzięki temu potrafią mierzyć kształt lutu i wysokość komponentu z dokładnością kilkunastu mikrometrów oraz tym samym wiarygodnie ocenić np. stopień zwilżania wyprowadzeń czy występowanie efektu nagrobkowania (**fotografia 16**).

Przykładem jest system Koh Young Zenith 3D AOI (**fotografia 17**), który wykonuje pełny pomiar współrzędnych X, Y, Z każdego komponentu i spoiny, a następnie porównuje wyniki z kryteriami akceptacji na podstawie standardu IPC-A-610. Dzięki rozdzielczości kamery (sięgającej 12 MPx) i projekcji z kilku kątów, AOI wykrywa wady typu coplanarity (odstawanie wyprowadzeń układu scalonego od powierzchni PCB), skew (przesunięcie), nadmiar lub brak lutu, a także obecność ciał obcych. Niektóre systemy łączą klasyczną wizję w świetle widzialnym z laserowym skanowaniem głębi sceny, co umożliwia niezawodną analizę jakości PCB bez ryzyka powstawania artefaktów zaburzających wyniki testu.



Fotografia 17. System do automatycznej inspekcji optycznej Koh Young Zenith 3D AOI (https://t.ly/ueDol)

Integracja AOI z pozostałymi elementami linii wpisuje się w koncepcję Inteligentnej Fabryki (Industry 4.0). Dane z inspekcji mogą automatycznie korygować proces – wykrycie błędów powtarzalnych w ramach danej serii produkcyjnej może wymusić np. zmianę profilu termicznego pieca lub sygnał dla operatora do sprawdzenia ustawień drukarki pasty. Producent Koh Young rozwija pakiet oprogramowania KSMART, który gromadzi wyniki inspekcji z AOI i SPI, by w czasie rzeczywistym regulować parametry maszyn biorących udział we wcześniejszych etapach produkcji. W efekcie jedna linia montażowa z wieloma sprzężonymi systemami kontrolnymi może zbliżyć się do idei produkcji zero-defect, gdzie błędy są korygowane niemal natychmiast po ich wystąpieniu.

Zaletą systemów AOI jest ich powtarzalność i obiektywizm. Program inspekcyjny dla nowego produktu tworzy się na podstawie danych CAD i wzorcowego egzemplarza – definiując kryteria zgodne z normami IPC (np. maksymalna różnica przesunięcia elementu względem środka, minimalna wysokość menisku lutu itp.). Nowoczesne AOI wykorzystują algorytmy uczenia maszynowego do optymalizacji procesu programowania i redukcji tzw. false call (fałszywych alarmów). Według użytkowników wdrożenie AOI 3D pozwoliło zredukować odsetek fałszywych alarmów do minimalnego poziomu, a także wyeliminować występowanie wad seryjnych dzięki szybkiej detekcji anomalii. Przykładowo amerykańska firma z branży EMS – Suntronic – odnotowała wzrost uzysku z 60% do 98,9% po wdrożeniu zaawansowanej automatyzacji inspekcji 3D.

Inspekcja rentgenowska (X-Ray)

Mimo zaawansowania metod AOI są sytuacje, gdzie okazują się one niewystarczające – dotyczy to przede wszystkim oceny połączeń lutowanych, które pozostają ukryte pod obudowami (np. w układach BGA, QFN, LGA) lub wewnątrz modułów. Tutaj niezastąpione są systemy inspekcji rentgenowskiej (X-Ray), które umożliwiają zajrzenie przez układ i obejrzenie geometrii spoin, a nawet wykonanie przekrojów tomograficznych. W produkcji elektroniki stosuje się tzw. rentgenowskie systemy mikrofokusowe – generujące promieniowanie X za pomocą specjalnych lamp o zasilaniu 40...90 kV, generujące wiązkę o bardzo małym ognisku (rzędu 5 µm), co pozwala uzyskiwać powiększenia nawet 1500×. Maszyny tego rodzaju nie są jednak szczególnie kompaktowe – przykładowy system X6800 marki Manncorp (**fotografia 18**) waży 1200 kg, ale jest to cena za wysoką jakość obrazowania i solidne zabezpieczenia radiacyjne, które mają na celu ochronę użytkowników przed nadmierną ekspozycją na promieniowanie jonizujące. W przypadku wspomnianej maszyny „upływ" promieniowania do otoczenia urządzenia nie przekracza 1 µSv/h.

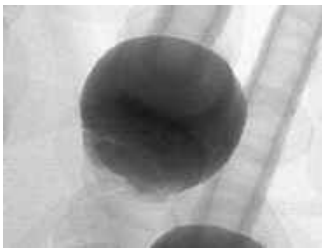


Fotografia 18. System inspekcji rentgenowskiej X6800 firmy Manncorp (https://t.ly/49pUf)

Typowy system X-Ray do obrazowania PCB składa się ze źródła promieniowania (lampy) i detektora promieni X (panelu płaskiego). Badana płytka jest umieszczana pomiędzy nimi i może być obracana oraz pochylana w celu oględzin pod różnymi kątami. Takie systemy umożliwiają zarówno szybki podgląd 2D (rzutowanie) – z częstotliwością odświeżania na poziomie 20 fps – jak i akwizycję sekwencji obrazów pod różnymi kątami celem rekonstrukcji 3D (tomografia komputerowa – opcja stosowana np. do kontroli przelotek lub połączeń w komponentach wielowarstwowych).

Kluczowym zastosowaniem X-Ray wciąż pozostaje jednak ocena lutów BGA, gdzie standardy jakości dopuszczają określony udział procentowy pustek w objętości spoiny. Rentgen umożliwia zmierzenie wielkości i liczby wnęk niewidocznych z zewnątrz. Na **fotografii 19** pokazano przykładowy obraz rentgenowski spoin BGA ujawniający defekt w geometrii kulki lutowniczej. Takie wady mogłyby ujść uwadze podczas testu elektrycznego (niektóre pęknięcia mogą dawać przerywany kontakt zależnie od naprężeń), natomiast maszyny rentgenowskie wykrywają je z dużą skutecznością.

Nowoczesne systemy X-Ray wspierają operatora automatyczną analizą obrazów: oprogramowanie potrafi zliczać voidy, wykrywać mostki lutownicze czy identyfikować nieprzylutowane wyprowadzenia za pomocą filtrów obrazu. Dzięki skośnemu ustawieniu detektora możliwe jest również oglądanie połączeń pod kątem (**fotografia 20**), co pomaga np. ocenić zwilżanie wyprowadzeń w układach QFN. Trzeba jednak zaznaczyć, że inspekcja X-Ray, choć bardzo przydatna, nie zastępuje AOI na wszystkich płytkach ze względu na koszt i przepustowość. W praktyce urządzenia rentgenowskie używane są do wyrywkowej kontroli najbardziej krytycznych połączeń oraz



Fotografia 19. Obraz rentgenowski pokazujący uszkodzenie kulki spoiwa pod układem BGA. Widok zarejestrowany przy użyciu systemu MXI QUADRA 7 Pro (https://t.ly/VH_-x)



Fotografia 20. Wnętrze maszyny QUADRA 7 Pro marki Nordson (https://t.ly/VThh7)

eprasa.pl 3b5392c828



Fotografia 21. Przemysłowy automat do lutowania selektywnego Ersa VERSAFLOW 3/45 – modularny system z wieloma modułami pokrywania topnikiem, podgrzewania i lutowania (możliwość jednoczesnego lutowania kilkoma dyszami) – https://t.ly/UCrTD

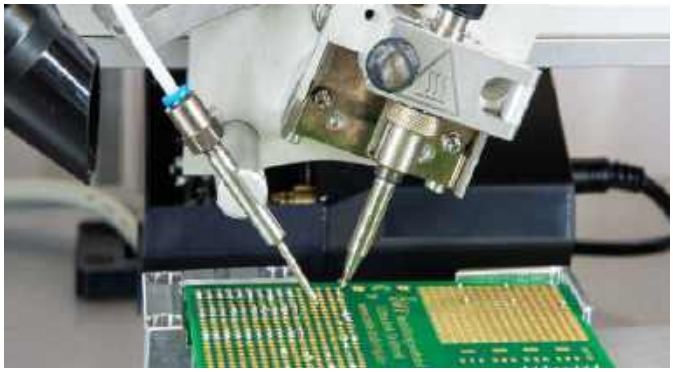
do optymalizacji procesów montażu. Duże firmy EMS stosują rentgena pracującego w linii produkcyjnej (tzw. on-line) dla szczególnie wymagających produktów (np. modułów RF). Ponadto technika X-Ray jest niezastąpiona przy analizie awarii – lokalizowaniu wewnętrznych uszkodzeń, pękniętych połączeń, nadtrawień w płytkach wielowarstwowych itp.

Automaty lutownicze THT – selektywne lutowanie połączeń przewlekanych

Mimo dominacji montażu SMT, w wielu urządzeniach wciąż stosowane są komponenty przewlekane (THT) – szczególnie złącza, transformatory, kondensatory elektrolityczne czy przyciski. Ich lutowanie tradycyjną metodą na fali jest coraz częściej zastępowane przez lutowanie selektywne lub roboty lutownicze, aby sprostać wymogom montażu dwustronnego i zminiaturyzowanego. Selektywne lutowanie polega na precyzyjnym nanoszeniu topnika oraz lokalnym lutowaniu wybranych punktów THT za pomocą fali lutowniczej, kierowanej dokładnie tam, gdzie potrzeba. Realizują to automaty – np. urządzenia z rodziny Ersa VERSAFLOW (**fotografia 21**) – wyposażone w miniaturowe tygle z pompką elektromagnetyczną, generujące minifalę lutowniczą. Płytka jest pozycjonowana nad dyszą z dokładnością ułamka milimetra, co umożliwia lutowanie nawet gęsto upakowanych obwodów THT bez ryzyka zalania cyną sąsiednich elementów.

Kluczową zaletą lutowania selektywnego jest mniejsze narażenie płytki na wysoką temperaturę – ciepło dostarczane jest tylko do punktów lutowniczych, bez nagrzewania całej PCB, co przekłada się na poprawę trwałości i niezawodności montażu. Zaawansowane maszyny pozwalają rozbudować konfigurację o wiele modułów równoległych (np. dwie stacje pracujące niezależnie). W systemie Ersa VERSAFLOW 3/45 można uzyskać nawet 6 niezależnych punktów lutowania pracujących jednocześnie. Dodatkowo dostępne są opcje lutowania multi-wave – to specjalna kąpiel lutownicza o powierzchni dostosowanej do całego bloku wyprowadzeń (np. lutowanie wielu pinów złącza naraz). Zastosowanie wielu osi i torów (np. dual track do podawania dwóch płytek równolegle) umożliwia istotne zwiększenie wydajności bez zwiększania powierzchni instalacyjnej maszyny – takie rozwiązanie można porównać do dwustrefowych automatów montażowych, które opisaliśmy wyżej.

Pod względem parametrów, typowe urządzenie selektywne dysponuje podgrzewaczami IR i konwekcyjnymi do wstępnego wygrzania płytki (zapobieganie szokowi termicznemu), precyzyjnymi aplikatorami topnika (najczęściej z użyciem metody drop-jet) oraz pompami lutowniczymi o dużej stabilności. Wspomniana technologia pompy elektromagnetycznej (zamiast mechanicznej) zapewnia powtarzalność fali i brak elementów zużywających się w tyglu, upraszczając tym samym konserwację. Popularne stopy lutownicze (SnCu, SnAgCu) utrzymywane są w tyglach o pojemności np. 10...15 kg, a zaawansowane sterowanie CNC dba o odpowiednią ścieżkę ruchu płytki – tak by dysza podjeżdżała do lutowanego pinu pod optymalnym kątem i czas kontaktu spełniał wymagania norm (wspomniany już standard IPC-A-610 określa wymogi dotyczące akceptowalności montażu, w tym także elementów przewlekanych). Lutowanie selektywne może też używać azotu do wytworzenia obojętnej atmosfery wokół minifali, co poprawia jakość połączeń – podobnie jak w piecach rozpływowych.



Fotografia 22.Robot lutowniczy SR 500 marki Ersa (https://t.ly/2UaSj)

Alternatywą lub uzupełnieniem lutowania selektywnego są roboty lutownicze z ramionami wyposażonymi w grot lutowniczy i podajnik cyny w postaci klasycznego drutu (**fotografia 22**). Stosuje się je do automatyzacji ręcznych prac lutowniczych przy małych seriach lub nietypowych, dużych komponentach. Przykładem są stanowiska z 6-osiowym robotem, który pobiera cynę z podajnika i lutuje punkt po punkcie płytkę, podobnie jak człowiek – ale z dużo większą precyzją, powtarzalnością i szybkością. Rozwiązania takie są i tak wolniejsze od lutowania falą czy lutowania selektywnego, więc pełnią rolę pomocniczą. We współczesnych fabrykach dominują zatem selektywne maszyny pracujące w ramach linii zautomatyzowanego montażu, zapewniające wysoką jakość połączeń THT przy minimalnym udziale operatora – ich efektywność potwierdza fakt, że dwa lata temu Ersa sprzedała dwutysięczny egzemplarz systemu VERSAFLOW 3/45.

Wyposażenie antystatyczne i strefy EPA – ochrona przed ESD

Nawet najlepiej zautomatyzowany proces montażu elektroniki może zostać zakłócony przez niewidzialnego wroga: wyładowania elektrostatyczne (ESD). Pojedyncza iskra o napięciu kilkuset woltów potrafi zniszczyć wrażliwy komponent półprzewodnikowy. Dlatego w środowisku produkcji elektronicznej kluczowe jest utrzymanie stref chronionych antystatycznie (EPA) zgodnych z normami takimi jak IEC/EN 61340-5-1. Normy te określają m.in. dopuszczalne parametry uziemień, rezystancję materiałów czy maksymalne napięcia elektrostatyczne w strefie. Dla przykładu, standardowe wymaganie to ograniczenie maksymalnego potencjału do 100 V, ale najbardziej wrażliwe komponenty mogą być uszkodzone znacznie niższym napięciem. W praktyce ochronę na wymaganym poziomie osiąga się poprzez stosowanie odpowiednich materiałów i uziemień dla wszystkich elementów wyposażenia oraz dla personelu (**fotografia 23**).

Wyposażenie antystatyczne obejmuje m.in. meble ESD (stoły, półki, regały, krzesła itp.) wykonane z materiałów o kontrolowanej rezystancji rozpraszającej (stąd zastosowanie znajdują np. specjalne farby do malowania proszkowego konstrukcji stalowych), maty stołowe i podłogowe, opaski uziemiające na rękę i na obuwie, odzież antystatyczną, a także pojemniki i narzędzia ESD. Wszystkie te elementy mają za zadanie odprowadzać ładunek w sposób kontrolowany – ani zbyt gwałtownie (co stwarzałoby ryzyko dla elementów w rozumieniu modelu obiektu naładowanego – CDM, czyli charged device model), ani zbyt

eprasa.pl 3b5392c828



Fotografia 23. Przykładowe wyposażenie strefy EPA (https://t.ly/AFvUV)

wolno. Normy wymagają np. by rezystancja powierzchniowa stanowiska pracy mieściła się w zakresie 104 Ω do 109 Ω. Dzięki temu każda naładowana osoba lub obiekt szybko traci ładunek dotykając maty, ale prąd upływu jest ograniczony rezystorem 1 MΩ dla bezpieczeństwa operatora (i samych komponentów).

Krytycznym elementem jest uziemienie personelu – najczęściej poprzez opaski na nadgarstek połączone przewodem do uziomu. Opaska ESD tworzy połączenie galwaniczne ze skórą operatora, a przez przewód ze wspomnianym wyżej, szeregowym rezystorem 1 MΩ, łączy go z punktem uziemiającym EPA. Dzięki temu nawet podczas poruszania się czy tarcia ubraniem, potencjał ciała pozostaje zerowy względem otoczenia. Używanie opaski jest konieczne zawsze, gdy pracujemy bezpośrednio z nieobsadzonymi elementami wrażliwymi – jest to najskuteczniejsza forma ochrony osobistej w strefie ESD. Niestety – praktyka pokazuje, że wielu elektroników wciąż bagatelizuje znaczenie ESD i nie stosuje nawet tak podstawowego środka zaradczego.

Uzupełniająco stosuje się paski uziemiające do obuwia, które współpracując z podłogą przewodzącą odprowadzają ładunki z ciała przez buty. Warunkiem jest jednak noszenie ich na obu stopach i regularne testowanie – np. przed wejściem do EPA na stanowisku do pomiaru oporu i potencjału zgromadzonego na ciele. Normy dopuszczają maksymalnie 35 MΩ łącznej rezystancji personel + obuwie + podłoga, co ma zapewnić ograniczenie napięcia do bezpiecznych wartości. W praktyce wiele firm przyjmuje jeszcze surowsze kryteria – zwłaszcza przy montażu elementów szczególnie wrażliwych, których struktury krzemowe już przy 5...10 V mogą zostać poważnie uszkodzone.

Organizacja stanowiska EPA wymaga także wyeliminowania materiałów generujących ładunki na drodze zjawiska tryboelektrycznego (np. zwykłe plastikowe pudełka czy pianki). Zamiast nich stosuje się opakowania antystatyczne – worki foliowe z warstwą metaliczną, pojemniki z tworzyw przewodzących, pianki ESD itp. Odzież pracowników (fartuchy, rękawice) wykonana jest z tkanin z włóknem przewodzącym, by nie ładowały się podczas ruchu. Krzesła laboratoryjne wyposażone są w przewodzące kółka i połączenie metalicznych elementów nośnych z uziemieniem podłogi – spełniają wymogi EN 61340-5-1 i ANSI, co powinno być potwierdzone odpowiednimi certyfikatami. W praktyce sprowadza się to do tego, że wszystkie elementy wyposażenia mają rezystancję względem ziemi rzędu 106...109 Ω (dzięki specjalnym farbom, laminatom i łącznikom), a każda osoba i obiekt jest połączone są systemem uziemiającym. Monitoring skuteczności wyposażenia ochronnego zapewniają np. stałe stacje testujące opaski – zalecenia obejmują wykonywanie takiej kontroli codziennie przed rozpoczęciem pracy. W zaawansowanych zakładach stosuje się kontrolery ciągłości opaski, do których pracownik podłącza się w trakcie pracy – w razie rozłączenia lub wzrostu oporu urządzenia natychmiast alarmują o uszkodzeniu (**fotografia 24**).



Fotografia 24. Urządzenie do ciągłego monitorowania rezystancji opasek ESD (https://t.ly/QKKJJ)

Wszystkie opisane środki mają wspólny cel: zapobieganie wyładowaniom ESD i utrzymywanie bezpiecznego środowiska dla wrażliwej elektroniki. Nawet najlepszy komponent czy idealnie polutowana płytka mogą ulec uszkodzeniu przez mikrowyładowanie, dlatego profesjonalne wytwarzanie elektroniki jest nierozerwalnie związane z reżimem EPA. Wdrożenie programu ochrony przed ESD zgodnego z normą (np. ANSI/ESD S20.20) obejmuje szkolenia personelu, audyty stanowisk i regularną kontrolę (pomiar rezystancji mat, kontrola jonizatorów powietrza, walidacja uziemień, etc.). W zamian można uzyskać drastyczne zmniejszenie liczby tzw. uszkodzeń latentnych – trudnych do wykrycia mikrouszkodzeń, które skracają żywotność produktu. Dlatego wyposażenie antystatyczne – choć nie „produkuje" bezpośrednio – jest równie ważne jak opisane wcześniej maszyny; stanowi fundament niezawodnej i powtarzalnej produkcji elektroniki zgodnej z najwyższymi standardami jakości.

Podsumowanie

Branża produkcji elektronicznej dynamicznie się rozwija, a kluczem do utrzymania konkurencyjności jest inwestycja w nowoczesne maszyny i systemy. Automaty pick & place o ogromnej wydajności i precyzji pozwalają montować coraz mniejsze komponenty w zawrotnym tempie, a drukarki szablonowe i piece reflow gwarantują wysoką jakość połączeń lutowniczych dzięki precyzyjnej, wielopunktowej kontroli procesów. Systemy AOI i X-Ray zapewniają, że prawie każda wada zostanie wykryta, a roboty i automaty lutownicze THT domykają proces, automatyzując montaż elementów przewlekanych. Całość musi funkcjonować w reżimie ochrony ESD – bezpieczne środowisko EPA to podstawa, by czułe układy scalone i niektóre komponenty dyskretne przetrwały cały proces montażu bez uszkodzeń. Sumarycznie, nowoczesna linia montażowa elektroniki to harmonijne połączenie wielu zaawansowanych technologii, działających pod nadzorem norm branżowych (IPC, JEDEC, EN) i inżynierów dbających o każdy detal. Taka integracja umożliwia osiągnięcie opłacalnej, masowej produkcji przy zachowaniu jakości i niezawodności wymaganej we współczesnych zastosowaniach – od sprzętu konsumenckiego po elektronikę medyczną, lotniczą czy kosmiczną.

Ciekawym trendem wartym podkreślenia jest tendencja do zwiększania wydajności produkcyjnej bez wpływu na obszar zajmowany przez maszyny na hali produkcyjnej. Automaty P&P czy maszyny do lutowania selektywnego, które są wyposażone w kilka głowic pracujących niezależnie lub w zespołach, stopniowo stają się codziennością. Można się zatem spodziewać, że w najbliższych latach powierzchnia fabryk elektroniki będzie stopniowo malała, przy zachowaniu tej samej lub nawet wyższej wydajności. Jednak opisywane zjawisko nie dotyczy tylko największych producentów z milionowym budżetem na inwestycje w najnowocześniejsze linie produkcyjne – mniejsze przedsiębiorstwa także mogą znaleźć na rynku urządzenia dostosowane do ich potrzeb finansowych i logistycznych, co idzie w parze z rosnącą potrzebą zwiększania efektywności procesów i optymalizacji kosztów.

inż. Przemysław Musz, EP

eprasa.pl 3b5392c828



Creality K1 Max – szybka i tania drukarka do prototypowania

Rynek drukarek 3D jest przesycony produktami najróżniejszych klas: od najtańszych klonów Creality Ender 3, które mają tendencję do niedziałania i spontanicznego samozapłonu, po urządzenia dla dużych firm, jak drukarki przemysłowe firmy Stratasys. Drukarki Creality są bliżej początku tego spektrum, ale – jak się okazuje – niska cena nie jest równoznaczna z niską jakością.

Przez długi czas drukarki 3D nie grzeszyły prędkością. Głównym ograniczeniem były prawa fizyki, a konkretniej prędkość maksymalna i przyspieszenie, jakie mogą osiągnąć elementy drukarki (blat i ekstruder) bez utraty kontroli nad położeniem. Drugim ograniczeniem była prędkość, z jaką ekstruder może topić i nakładać warstwy filamentu. O ile ten drugi problem rozwiązać było dość łatwo (dysze o dużym przepływie i grzałki o większej mocy), to dopiero kilka lat temu projektanci poradzili sobie z zagadnieniami kinematycznymi, a firma Bambu Lab jako pierwsza wypuściła na rynek relatywnie tanie i szybkie drukarki 3D, detronizując tym samym dotychczasowego lidera wśród hobbystów i małych przedsiębiorstw – firmę Creality. Ta jednak dość szybko opracowała własną serię drukarek: K1, K1 Max i K1C. Przyjrzymy się jednej z nich – modelowi łączącemu duże pole robocze i rozsądną cenę – i odpowiemy sobie na pytanie, czy warto zakupić K1 Max na potrzeby prototypowania i produkcji małoseryjnej obudów do elektroniki oraz innych elementów, które mogą się przydać w pracowni elektronika.

Zakup i pierwsze wrażenia

Creality oferuje kilka modeli drukarek Core X-Y, które miały konkurować z produktami Bambu Lab. Podstawowym wariantem była drukarka K1, której ulepszonym, a zatem i droższym modelem, jest K1C (od słowa carbon – ten model przeznaczony jest bowiem do druku filamentów z włóknem węglowym). K1 Max jest modelem pośrednim, o większym polu roboczym. Nowością w ofercie chińskiej marki są drukarki K2 i K2 Plus. Creality K1C oraz seria K2 wspierają rozszerzenie o nazwie CMS – konkurencyjny system zmiany filamentu w trakcie drukowania, działający jak AMS drukarek Bambu Lab.

Autor, po dłuższej analizie ofert Creality, Bambu Lab, Prusa i innych producentów, zdecydował się na model Creality K1 Max. Głównymi czynnikami decydującymi o zakupie były: większe pole robocze (pozwalające na drukowanie większych elementów bez konieczności podziału), znaczny przyrost prędkości względem poprzednio używanego sprzętu oraz możliwość drukowania materiałami kompozytowymi. Model ten, w chwili pisania artykułu, ma

eprasa.pl 3b5392c828

normalną cenę 2999 złotych, ale często sprzedawany jest w promocyjnej cenie 2799 zł. Autor zdecydował się na zakup modelu powystawowego, za kwotę 1838 zł – egzemplarz jest pozbawiony szklanych drzwi, jednej z bocznych ścian oraz szklanej pokrywy. Autor zdecydował się zamówić w innej firmie docięcie na wymiar panelu bocznego i pokrywy z poliwęglanu. Zastępcze drzwi można zakupić za 260...300 zł, ale zdaniem autora projekt Creality w tym miejscu ma poważną wadę. Na fotografiach widać, że wyświetlacz dotykowy nachodzi na otwór drzwiowy, przez co Creality zdecydowało się na zastosowanie wycięcia w szybie. Same drzwi nie są też dopasowane do ramy maszyny, przez co prawie nie tłumią odgłosów pracującej drukarki ani nie chronią użytkowników przed nieprzyjemnymi odorami przy druku niektórymi rodzajami filamentów. To nie jest jedyna, wątpliwa decyzja projektowa w tym modelu. Dmuchawa boczna chłodząca blat, model i dyszę ekstrudera po zakończeniu procesu drukowania przykręcona jest bezpośrednio do bocznej ściany wykonanej z niezbyt sztywnego akrylu. Ściana ta zachowuje się jak membrana głośnikowa, co w połączeniu z odgłosami samych wentylatorów i dmuchawy sprawia, iż K1 Max jest zwyczajnie głośną drukarką, a charakter dźwięków jest dodatkowo męczący. Kolejny problem to sposób prowadzenia filamentu – rurka PTFE wykonuje kilka ostrych skrętów, a założenie górnej płyty dodatkowo ją ugina – niepotrzebnie to zwiększa opory mechaniczne i może stanowić problem przy druku filamentami sztywnymi i kruchymi.

Rama maszyny jest wykonana z aluminium i dość sztywna. Głowica ekstrudera przemieszcza się w osi Y na dwóch prętach stalowych dzięki łożyskom liniowym, co jest rozwiązaniem spotykanym też we frezarkach CNC. Z kolei te pręty osadzone są w dwóch blokach, które przemieszczają się w osi X na kolejnych prętach. Napęd zapewniają paski zębate – rozwiązanie znane z drukarek z serii Ender. Blat przemieszcza się za sprawą trzech śrub trapezowych i trzech prętów prowadzących, śruby połączone są razem za pomocą kolejnego paska zębatego z dodatkowym mechanizmem napinającym, ukrytym w podstawie maszyny. Jest to wystarczające rozwiązanie, ale znacząco utrudnia regulację wypoziomowania blatu. Pojawia się też kolejna wada maszyny, „kuleje" bowiem kontrola jakości. **Rysunek 1a** pokazuje rezultat pomiaru wypoziomowania blatu po pierwszym uruchomieniu drukarki. Różnica między skrajnymi wartościami wynosi niemal 1,3 mm (sic!), co rzecz jasna stanowi wartość nieakceptowalną. By podnieść jeden z narożników, autor użył brutalnej siły i ręcznie obrócił śrubę trapezową, aż pasek ząbkowany „przeskoczył" o kilka zębów na kółku napędowym śruby. Różnica poziomów w różnych punktach blatu spadła do około 0,56 mm, dalszą poprawę zapewniło podłożenie kilku kawałków papieru między właściwy blat PAI, a folię magnetyczną, która go „trzyma". Rezultat takiego prowizorycznego obejścia problemu pokazuje **rysunek 1b**.

Większość elementów drukarki wykonanych jest z tworzywa sztucznego, wliczając w to ekstruder. Nie przeszkadza to jednak w tym, by dysza osiągała temperaturę 300°C. W tym egzemplarzu zastosowano nową dyszę „Unicorn", wykonaną z utwardzonej stali, która integruje też heat break, czyli element ograniczający przepływ ciepła wzdłuż filamentu do napędu typu direct drive. Blok grzejny jest mały i zintegrowany z grzałką, a czujnik temperatury znajduje się blisko końca dyszy – zarówno dysza, jak i blat nagrzewają się bardzo szybko i utrzymują stabilną temperaturę. Blat zabezpieczony jest od spodu silikonową okładziną, co izoluje go od blaszanego elementu nośnego i poprawia stabilność termiczną.

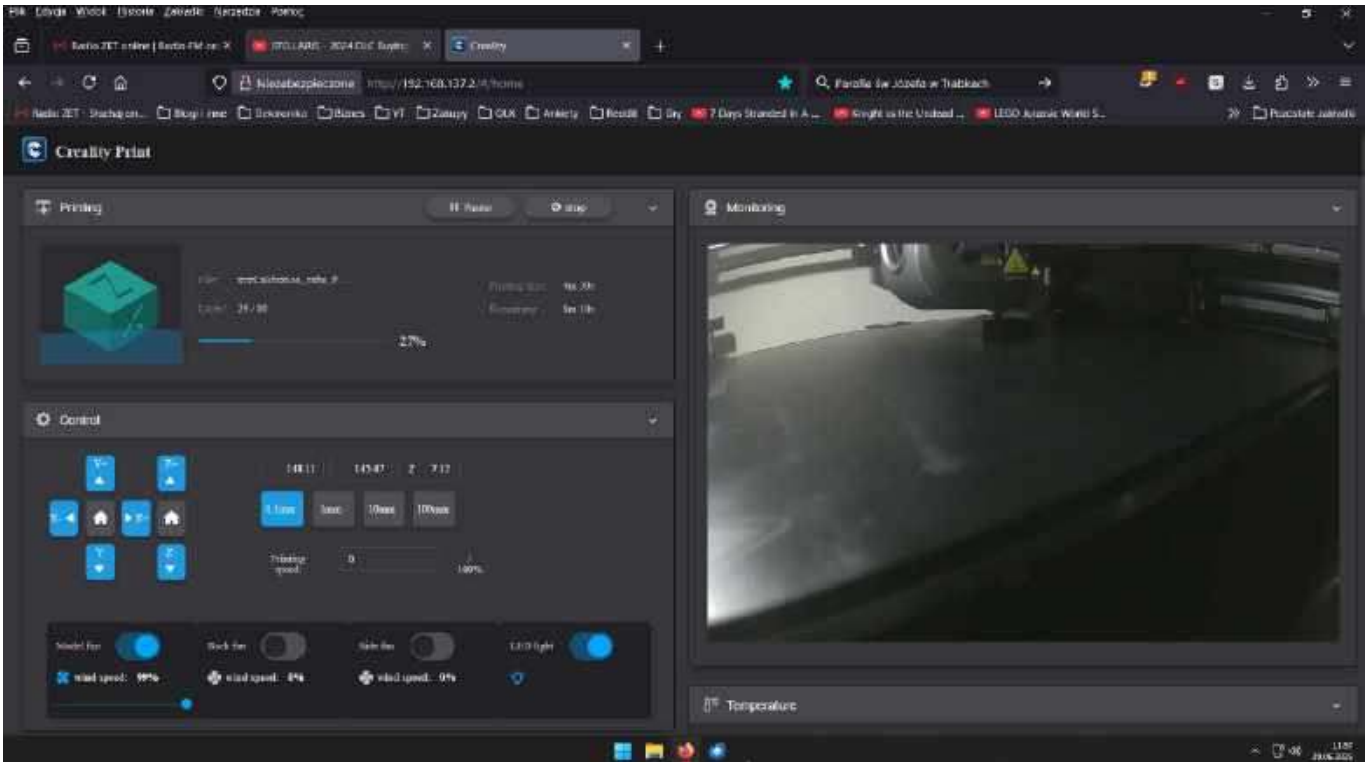
Spód drukarki zamknięty jest zwykłą blachą, uwagę zwraca brak nóżek. Zamiast tego w zestawie otrzymujemy cztery gumowe, ścięte stożki, na których należy postawić maszynę. Z jednej strony rozwiązanie praktyczne – autor mógł postawić urządzenie na blacie ze ściętym narożnikiem i nadal zapewnić stabilne podparcie. Z drugiej jednak trąci brakiem profesjonalizmu, a same „nóżki" nie zapewniają dobrej amortyzacji maszyny. W zestawie otrzymujemy też komplet narzędzi – szczypce, szpatułkę, metalowy „przepychacz" do ekstrudera, pendrive z oprogramowaniem oraz uchwyt do szpuli mocowany z tyłu maszyny. Również z tyłu znajduje się koniec rurki PTFE, przez który wprowadza się filament. W głębi obudowy, zaraz koło otworu na wspomnianą rurkę, znajduje się czujnik końca filamentu. Autor wymienił tę rurkę na dłuższą, by obok maszyny postawić osuszacz z filamentem. Creality K1 Max ma z tyłu gniazdo zasilania i główny włącznik oraz gniazdo sieci LAN, z przodu zaś znajduje się panel dotykowy (zamontowany na niepraktycznym uchwycie) i gniazdo USB do podłączenia pamięci typu pendrive. Creality dodaje też kilogramową szpulę filamentu HyperPLA, która pozwala wydrukować dołączony plik modelu Benchy w 13 minut. Samodzielne użycie slicera do przygotowania stosownego pliku daje natomiast wynik około 30 minut. Drukarki typu Ender 3 V2 w tym samym teście potrzebowały ponad godziny.

Pierwsze uruchomienie włącza konfigurator maszyny, w którym ustawia się język i strefę czasową. Następnie trzeba odkręcić śruby trzymające blat, a na koniec – włączyć automatyczny test sprawności maszyny, kalibrację silników i skanowanie powierzchni blatu. Autor nie zauważył, by drukarka K1 Max miała jakiekolwiek przełączniki krańcowe – pozycja końcowa wykrywana jest przez detekcję zablokowania wału silnika krokowego. Druga faza, kalibracja silników, odpowiada za umożliwienie wysokiej prędkości druku. W ekstruderze umieszczony jest akcelerometr, który z dużą precyzją mierzy wszelkie wibracje głowicy w trakcie ruchu.



Rysunek 1. Test wypoziomowania blatu: po uruchomieniu maszyny rezultat jest katastrofalny – około 1,3 mm różnicy między przeciwległymi krańcami stołu (a). Po obróceniu jednej ze śrub i podłożeniu papieru pod blat rezultat poprawiono do około 0,3 mm (b)

eprasa.pl 3b5392c828



Rysunek 2. Interfejs drukarki w przeglądarce, w trakcie drukowania kostki kalibracyjnej. Po prawej stronie widok na żywo z narożnej kamery wewnątrz drukarki

Drukarka wykonuje serię ruchów z różną prędkością i przyspieszeniem, by określić parametry, przy których ruch głowicy będzie gładki, bez niechcianego drżenia, które byłoby potem odzwierciedlone w jakości powierzchni wydruku. Rezultatem tego procesu jest seria parametrów, które wpływają na przyspieszenie silników w taki sposób, by wygładzić ruchy w osiach X i Y – ta funkcjonalność nazywana jest input shaping. Ostatni element stanowi wspomniane wcześniej mapowanie wysokości blatu. Drukarka używa kombinacji belki tensometrycznej pod blatem i LIDARu, umocowanego na głowicy ekstrudera, by dokładnie zmierzyć milion punktów na powierzchni blatu i stworzyć mapę, pozwalającą na kompensację wysokości pierwszej warstwy. Im równiejsza powierzchnia, szczególnie na środku blatu, tym lepiej. Przyjmuje się, iż wynik poniżej 0,5 mm jest dobry, zaś poniżej 0,3 mm – bardzo dobry. LIDAR oraz umocowana w narożniku maszyny kamera (i bardzo mały, niezbyt jasny pasek LED) pozwalają na kontrolę pracy maszyny i wykrywanie oderwania się modelu lub problemu „spaghetti" – gdy wydruk zmienia się w kłębek filamentu. Rozwiązania te opierają się na AI i chmurze Creality, z czego autor nie planuje jednak korzystać. Drukarka wymaga też konfiguracji Wi-Fi albo połączenia z Internetem przez sieć LAN, by móc pobierać aktualizacje. Autor połączył maszynę z komputerem za pomocą kabla Ethernet i karty sieciowej, co wymagało uruchomienia w systemie operacyjnym darmowego narzędzia DHCPServ. Windows 11 nie pozwolił na konfigurację połączenia mostkowego lub udostępnienia połączenia sieciowego (ICS), więc skonfigurowano Wi-Fi w celu aktualizacji oraz połączenie kablem – z myślą o zdalnej kontroli drukarki i przesyłaniu plików.

Teoretycznie drukarka powinna być – po wykonaniu opisanych czynności – od razu gotowa do pracy. W praktyce pierwszy wydruk, kostka kalibracyjna z PETG, nie dał zadowalającego wyniku. Dwukrotnie zamiast wydruku powstało „spaghetti", gdyż materiał nie przywarł do gładkiego blatu. Odwrócono więc blat stroną zmatowiałą do góry i ponownie wypoziomowano blat. **Rysunek 2** pokazuje natomiast standardowy interfejs sieciowy drukarki w trakcie drukowania kostki kalibracyjnej. W próbnym wydruku uzyskano wymiary: 20,09 mm w osi X, 20,08 mm w osi Y i 19,89 mm w osi Z. Następnie wykonano test tolerancji, dostarczony wraz z programem Orca Slicer, który jest zalecany dla maszyn Core X-Y. Wynik 0,1 mm w przypadku PETG, przy użyciu standardowego profilu drukowania, jest dobry. I taką tolerancję należy uwzględnić przy projektowaniu części pod kątem druku z wykorzystaniem tego konkretnego filamentu oraz ustawień.

Druk filamentami technicznymi i kompozytowymi

Jednym z pierwszych, testowanych przez autora filamentów, był materiał kompozytowy PCTG-10GF, czyli PCTG z dodatkiem 10% włókna szklanego. Drukarka radzi sobie z nim bezproblemowo, a sam materiał został użyty do wykonania części pracujących pod zmiennym obciążeniem. Innym przetestowanym filamentem było PLA+, czyli PLA zmodyfikowane przez różne dodatki chemiczne, mające zwiększyć wytrzymałość na rozrywanie i podnieść tolerancję termiczną. Z tym materiałem drukarka rozwija prędkość 200 mm/s, czyli dwukrotnie wyższą, niż podaje producent, ale nic nie tracimy na jakości wydruku. Największą zaletą tego materiału jest mnogość dostępnych kolorów, co czyni go szczególnie dobrym wyborem do produkcji przedmiotów użytkowych. Dostępne są filamenty udające drewno, kość, marmur i inne materiały. **Fotografia 1** pokazuje rzeźbioną czaszkę wydrukowaną z PLA+ w kolorze kości, wykonaną na recenzowanej drukarce.

Jednym z bardziej użytecznych, a jednocześnie relatywnie tanich materiałów kompozytowych do druku 3D, jest ASA-GF. Filament tego typu łączy wyższą temperaturę, dobrą wytrzymałość i odporność na UV zwykłego ASA, z poprawioną stabilnością wymiarów i mniejszą tendencją do deformacji wszystkich kompozytów. Podobny materiał, ABS-GF, jest używany do produkcji obudów elektronarzędzi i komponentów broni palnej metodą wtryskową i też jest dostępny w formie filamentu – choć nie sprawdza się aż tak dobrze, jak ASA-GF. Drukarka Creality K1 Max bez problemu drukuje tym materiałem, choć w slicerze nie ma dedykowanego profilu i do druku użyto ustawień Generic ASA. Problem pojawił się przy

eprasa.pl 3b5392c828



Fotografia 1. Model wydrukowany na K1 Max filamentem PLA+ w kolorze imitującym starą kość



Fotografia 2. Model spiralnej sprężyny wydrukowany z użyciem niebieskiego ASA-GF

prowadzeniu filamentu do ekstrudera – jest to materiał dość kruchy i dwukrotnie pękł, na szczęście poza rurką PTFE. Ponieważ filament zawiera włókno szklane, a nie węglowe, występować może w różnych kolorach – co też jest zaletą. Szczególnie nada się do wykonywania obudów i elementów konstrukcyjnych, które mogą być narażone na wyższe temperatury oraz bezpośrednie światło słoneczne. K1 Max szczególnie dobrze nadaje się do druku filamentami ABS/ASA dzięki zamkniętej obudowie i blatowi zdolnemu osiągać wysokie temperatury – zwłaszcza, że te materiały są wrażliwe na nierównomierne chłodzenie (zwłaszcza ABS potrafi się zdeformować i w praktyce nie da się go używać w otwartych maszynach, takich jak Ender 3 V2). Przykładowy wydruk pokazuje **fotografia 2**. Warto też dodać, że materiały z grupy ABS/ASA można wygładzić za pomocą oparów acetonu, co maskuje linie warstw.

Kolejnym przetestowanym filamentem kompozytowym jest PC-CF, czyli poliwęglan z dodatkiem włókna węglowego. Bazowy filament poliwęglanowy oferuje wysoką wytrzymałość i sztywność, a dodatek włókna węglowego czyni go jeszcze lepszym materiałem do druku elementów strukturalnych narażonych na duże obciążenia. Jego wysoka sztywność stanowi jednak problem przy prowadzeniu go do ekstrudera – rurki PTFE mają dość ostre zakręty, szczególnie tuż przed samym ekstruderem. W trakcie wprowadzania filament pękł raz, gdyż zaklinował się właśnie przed ekstruderem. Druga próba wymagała lekkiego podważenia rurki tuż nad ekstruderem i ostrożnego wsuwania go. Sam filament drukuje się sprawnie z użyciem profilu „Generic PC", choć podniesiono ręcznie temperaturę dyszy do 280°C. Temperatura blatu wynosi 110°C, co w takich maszynach, jak na przykład Ender 3 V2, zazwyczaj jest nieosiągalne – zasilacze nie mają dostatecznej wydajności prądowej, a otwarta konstrukcja powoduje zbyt szybkie wytracanie ciepła. Creality K1 Max trzyma temperaturę aż za dobrze i nawet kilkanaście minut po zakończeniu druku blat pozostaje bardzo ciepły. Wydrukowany element wykazuje pożądane właściwości w zakresie sztywności, ale jakość powierzchni pozostawia wiele do życzenia – jest chropowata i nierówna, tylko część przylegająca do blatu pozostaje gładka. Profil wymaga zatem dopracowania dla tego materiału. Tworzywo jest tak sztywne, że filament spontanicznie odwijał się ze szpuli, a przy wymianie pękł kolejny raz.

Nylon, a dokładniej PA12, to bardzo użyteczny filament do zastosowań w mechanizmach. Jego niski współczynnik tarcia, dobra wytrzymałość i pewna doza elastyczności czynią go idealnym materiałem do drukowania kół zębatych, pasowych i krzywek. Jednak ten sam niski współczynnik tarcia utrudnia proces drukowania – w razie zatoru czy innego problemu koła zębate ekstrudera mogą zwyczajnie się na nim prześlizgiwać. Drugim problemem nylonu jest jego niemal legendarna higroskopijność – świeżo wypakowana szpula na początku wydruku może mieć niską wilgotność, ale już pod koniec będzie na tyle przesiąknięta, że w dyszy będzie dochodzić do gwałtownego parowania, co zaburzy przepływ materiału. Posiadanie osuszacza, z którego będzie pobierany filament, stanowi zatem konieczność.

Ładowanie nylonu PA12 jest odwrotnością tego procesu w przypadku PC-CF: materiał przemieszcza się gładko przez całą drogę, aż do ekstrudera. Slicer nie miał odpowiedniego profilu także dla tego filamentu, użyto więc ustawień PA12-CF, które zmodyfikowano tak, aby temperatura blatu wyniosła 100°C, a temperatura dyszy



Fotografia 3. Nieudany wydruk z nylonu PA12 – w trakcie wydruku model oderwał się od blatu



Fotografia 4. Udany model z nylonu PA12 – dwunastościan z zębatek

eprasa.pl 3b5392c828

– tylko 270°C. Blat został dodatkowo pokryty klejem, gdyż PA12 jest zbyt śliskim filamentem, by dobrze trzymać się platformy roboczej. Niższa temperatura druku niż w przypadku wersji z włóknem szklanym wynika z mniejszej pojemności termicznej nylonu. Do wydruku najpierw wybrany został model przekładni planetarnej print-in-place, czyli drukowanej w całości na blacie. Specjalny profil zębów powoduje, iż mechanizm nie rozleci się na kawałki. Jednakże wydruk nie udał się właśnie z powodu właściwości nylonu i gładkości powierzchni blatu typu PEI. Jeden z rezultatów widać na **fotografii 3**. Wybrano inny model, a blat pokryto grubą warstwą kleju PVA, co pozwoliło na udany wydruk (**fotografia 4**). Nylon to świetny materiał do wykonywania elementów mechanicznych wymagających niskiego tarcia, ale podłoże dostarczane z drukarką Creality K1 Max nie chce z nim współpracować. Dlatego przy druku nylonu zalecane jest stosowanie nakładki z materiału kompozytowego o nazwie Geralite lub G10. Co ciekawe, również laminat jednostronny FR4 może się sprawdzić jako płyta do drukarki 3D dla nylonu.

Ostatnim testowanym materiałem był TPU. Właściwie jest to cała grupa materiałów (termoplastycznych elastomerów, TPE), których szczególną cechą jest właśnie ich elastyczność. Materiały te są odporne na deformacje, szczególnie zgniatanie, a zależnie od wyboru konkretnego filamentu mogą być twardsze niż kółka deskorolki, albo tak miękkie i rozciągliwe, jak lateks czy silikon. Ze względu na te cechy filamenty TPU/TPE stawiają wysokie wymagania względem ekstrudera – szczególnie bardziej elastyczne wersje mogą nie dać się ekstrudować lub wręcz mogą owinąć się wokół kółka zębatego, które miało je prowadzić do dyszy. Materiały te są również higroskopijne jak nylon, ale w przeciwieństwie do niego nie mają problemu z przywieraniem do blatu. Wręcz odwrotnie, przywierają aż za dobrze, dlatego blat też trzeba pokryć klejem, w celu jego ochrony. Do wydruku stworzony został model zausznika do okularów, czyli prosty, aczkolwiek praktyczny i użyteczny przedmiot. Użyty filament nie zawierał informacji o twardości, ale najprawdopodobniej wynosi ona 90D, gdyż gotowe zauszniki okazały się wyjątkowo sztywne przy wypełnieniu 100%. Redukując procent wypełnienia można zmniejszyć sztywność gotowego wydruku, podobny efekt można uzyskać zmniejszając liczbę warstw ścianek i góry/dołu. Czubek zausznika jest dużo bardziej elastyczny od jego najszerszej części. Niewielka ilość nitkowania pojawiła się wewnątrz otworu, ale zewnętrzna powierzchnia jest pozbawiona tego problemu, co dobrze świadczy zarówno o profilu, jak i samej drukarce. Łącząc wydruki z TPU i ASA-GF/CF czy PC-CF można tworzyć obudowy z uszczelkami i membranami chroniącymi wnętrze przed zalaniem, a przy tym pozwalającymi na stworzenie użytecznych przycisków. Z TPU można też drukować niestandardowe przepusty kablowe i usztywnienia przewodów – Creality K1 Max wydrukuje je bez problemu.

Podsumowanie

W trakcie eksploatacji zauważono kilka problematycznych elementów. Na przykład zbyt ostre zakręty rurki prowadzącej filament do ekstrudera w połączeniu z górną szybą, która jest zbyt blisko i dodatkowo dociska tę rurkę. Efekt jest taki, że sztywniejsze filamenty trudniej się wprowadza, mają one też nieprzyjemną tendencję do pękania. Z kolei miękkie filamenty, jak TPU, stwarzają problemy przy przechodzeniu przez czujnik filamentu czy mechanizm ekstrudera. Sam blok ekstrudera i głowicy jest zbudowany w taki sposób, że wymiana dyszy na inny rozmiar wymaga częściowego demontażu mechanizmu, wraz z odpinaniem wtyczki wentylatora – rodzi to obawę o trwałość tego połączenia.

Firma Creality do kompletu wraz z urządzeniem dołączyła zapasowy zespół dyszy z grzałką i tzw. skarpetą, który można obejrzeć na fotografii 5. Koszt pojedynczej dyszy ze stali hartowanej to 45 złotych na znanym portalu aukcyjnym. Sporą wadą drukarki może być



Fotografia 5. Zapasowa grzałka z dyszą, gardzielą i osłoną z silikonu

jej głośność oraz fakt, że przy gwałtownych ruchach i szybkich wydrukach drukarka wręcz skacze po blacie, a gumowe nóżki potrafią się pod nią przemieszczać, gdyż nie są trwale związane z urządzeniem. Nie każdemu też spodoba się wyprowadzenie rurki PTFE z tyłu maszyny oraz dodany do drukarki uchwyt na szpule mocowany z tyłu, gdzie znajduje się też główny włącznik zasilania. Nie jest to wygodne rozwiązanie i Autor wymienił tę rurkę na dłuższą, która sięga do suszarki filamentu.

Innym drobnym problemem jest sposób montażu ekranu – niezbyt pewny, przez co ekran łatwo spada. W Ender 3 V2 ekran łączy się z płytą główną solidną, wielokolorową wstęgą przewodów. W K1 Max użyto znacznie cieńszej taśmy przewodzącej, którą o wiele łatwiej uszkodzić w sytuacji, gdy przypadkiem szarpniemy i strącimy ekran. Są to jednak drobne problemy, szczególnie porównując ze starszymi, budżetowymi konstrukcjami typu bed slinger. Creality K1 Max po prostu działa i to całkiem dobrze. Poza wstępną regulacją blatu maszyna nie potrzebowała dalszych regulacji czy drobnych napraw. Mimo użycia najróżniejszych filamentów dysza ani razu się nie zapchała, a głowica ekstrudera nie wymagała rozbiórki. Dla porównania – drukarka Creality Ender 3 V2, będąca także w posiadaniu autora, zapychała się regularnie, a stopiony filament wylewał się nad blokiem grzejnym. Choćby dla samego faktu generalnie bezproblemowej pracy zakup Creality K1 Max to dobry pomysł. Jest ona też dość szybką drukarką, wspierającą drukowanie szeroką gamą filamentów, a przy tym jest tańsza od drukarek konkurencyjnych, jak te oferowane przez firmy Bambu Lab czy Prusa Research. W przeciwieństwie do Bambu Lab nie ma też problemu „zamkniętych źródeł" i kompatybilności tylko z oprogramowaniem producenta. Creality od początku opiera się na oprogramowaniu open source i dla K1 Max są dostępne specjalne skrypty pozwalające rozszerzyć funkcjonalność maszyny, dodać alternatywny interfejs w przeglądarce czy wręcz zdalną kontrolę przez Internet.

Creality K1 Max to bardzo dobra, szybka drukarka 3D i mimo pewnych drobnych problemów stanowi dobry wybór, nie tylko do okazjonalnych wydruków czy prototypowania, ale nawet do pracy w farmie drukarek – choć zastosowane rozwiązanie utrudnia wymianę filamentu, gdy chcemy ustawić wiele urządzeń obok siebie. K1 Max jest też jedną z najtańszych drukarek Core X-Y w tym rozmiarze, a przy tym bogactwie możliwości to także najbardziej opłacalna drukarka.

Paweł Kowalczyk, EP

eprasa.pl 3b5392c828

Sprawdzony dostawca zaopatrzenia technicznego – klucz do oszczędności czasu i środków

Skuteczna realizacja celów przedsiębiorstwa wymaga współpracy ze sprawdzonymi partnerami, którzy pozwolą sprostać wyzwaniom w zakresie zakupu komponentów i wyposażenia oraz zapewnią bezpieczeństwo i stabilność łańcucha dostaw. Jak tego dokonać? Odpowiedź zna zespół Conrad Sourcing Platform.

Ralf Bühler, CEO Conrad Electronic, podkreśla: „Stoją za nami wielkie idee. Naszym celem jest wspieranie przedsiębiorstw w osiąganiu sukcesów." Droga do tego celu prowadzi przez uproszczenie złożonych procesów zakupowych dzięki szerokiemu portfolio produktów oraz nowoczesnym rozwiązaniom sourcingowym. W ten sposób Conrad wspiera swoich klientów biznesowych w oszczędzaniu czasu i redukcji kosztów. Conrad Sourcing Platform jest również przystosowana do sytuacji nagłych, kiedy konieczne jest szybkie zaspokojenie niespodziewanych potrzeb technicznych.

Różne grupy docelowe to różne wyzwania

Jako dostawca rozwiązań, Conrad staje przed różnymi wyzwaniami w zależności od obszaru odpowiedzialności w przedsiębiorstwie. Zarząd oraz dyrektorzy ds. zakupów (CPO – Chief Procurement Officer) ponoszą pełną odpowiedzialność za procesy zakupowe. Ich priorytetem jest utrzymanie całkowitych kosztów zaopatrzenia w ramach zaplanowanego budżetu. Wybierając partnerów zakupowych, zadają sobie przede wszystkim dwa pytania:

- Który dostawca oferuje mojej firmie najlepsze połączenie ceny, jakości i obsługi?
- Kto zapewnia rozwiązania i usługi wspierające realne oszczędności kosztowe?



Fotografia 1. Zapewnienie sukcesu przedsiębiorstwom jako niezawodny partner w zakresie zaopatrzenia – taki cel stawia sobie dyrektor generalny firmy Conrad, Ralf Bühler (fot. Kristof Lemp)



Fotografia 2. Wszystko z jednego źródła: Conrad Sourcing Platform umożliwia sprawne zaopatrzenie wszystkim, którzy mają potrzeby techniczne (fot. Westend61/Getty Images)

Zakupy – umożliwiać czy inicjować?

Podobnie jak ta grupa, również dział zakupów strategicznych oraz kierownicy projektów są odpowiedzialni za umożliwianie zakupów. Inaczej wygląda to w przypadku działów technicznych, które jako trzecie Buying Center same generują potrzeby i dokonują zamówień. W zakupach strategicznych priorytetem, obok bezpieczeństwa dostaw w łańcuchu logistycznym, jest przede wszystkim uzyskanie atrakcyjnych warunków cenowych i redukcja kosztów. Dla użytkowników technicznych kluczowe znaczenie mają natomiast natychmiastowa dostępność, prosty proces zamówienia, szybka dostawa i wysoka jakość towaru – szczególnie w przypadku nagłych, nieplanowanych potrzeb technicznych.

Wszystko z jednego źródła

Conrad Sourcing Platform wspiera wszystkie trzy grupy docelowe, pomagając im skutecznie eliminować wyzwania w codziennej pracy. Dzięki szerokiemu portfolio rozwiązań – od elementów elektronicznych, przez aparaturę pomiarową, wyposażenie IT i elektronarzędzia, po części zamienne – firmy mogą zaopatrzyć się we wszystko w jednym miejscu. Takie podejście upraszcza proces zakupowy, oszczędza czas i obniża koszty, ponieważ w idealnym scenariuszu całość obsługiwana jest przez jednego dostawcę i jedną fakturę.

Zapewnienie przewagi

„Nasza strategia opiera się na jasnej wizji: Conrad stanie się pierwszym wyborem w zakresie zaopatrzenia technicznego w Europie. W tym celu łączymy technologię cyfrową z dogłębnym zrozumieniem potrzeb klientów, a wszystkie nasze działania koncentrujemy na prostocie, efektywności i budowaniu zaufania" – podkreśla

Liczby i fakty przemawiające za firmą Conrad		
17 spółek krajowych w Europie	5000 + połączeń z systemami eProcurement	200 mln wizyt rocznie w sklepach Conrad
1 mld + Obroty grupy Conrad na całym świecie	21 mln klientów na całym świecie	11 mln przesyłek rocznie

eprasa.pl 3b5392c828



Fotografia 3. Technika pomiarowa do zastosowań profesjonalnych – jedna z głównych kategorii produktów na Conrad Sourcing Platform (fot. Kristof Lemp)

Ralf Bühler. W centrum uwagi znajdują się dwie grupy klientów: firmy dokonujące samodzielnych zakupów online oraz przedsiębiorstwa, które ze względu na złożoność procesów potrzebują z jednej strony zautomatyzowanych rozwiązań, a z drugiej – indywidualnego wsparcia. Obie grupy korzystają z modelu opartego na platformie, który oferuje rozwiązania dokładnie dopasowane do ich potrzeb. „Rozwijamy się w sposób przemyślany, inwestując w technologie cyfrowe, integracje systemowe i silne partnerstwa – wszystko po to, aby zapewnić naszym klientom trwałą przewagę konkurencyjną" – dodaje CEO Conrad.

Optymalne połączenie

Cyfrowe interfejsy umożliwiają firmie Conrad integrację wybranych katalogów produktowych bezpośrednio z systemami swoich klientów. Dzięki temu przedsiębiorstwa mogą zamawiać produkty prosto z własnego systemu, korzystając z już wdrożonych narzędzi zakupowych. Proces ten przebiega szybciej i taniej, a jednocześnie zapewnia pełną kontrolę nad wydatkami. Dodatkowo dostępne jest elastyczne zarządzanie uprawnieniami, które pozwala pracownikom zamawiać niezbędne produkty z określonego asortymentu – bez konieczności każdorazowego angażowania działu zakupów.

Nowoczesne rozwiązania eProcurement to przede wszystkim szybsze, bardziej przejrzyste i mniej podatne na błędy procesy zaopatrzeniowe, które pozwalają znacząco ograniczyć koszty. Wiele mniejszych firm wciąż jednak obawia się inwestycji związanych z wdrożeniem takiego rozwiązania. Dlatego Conrad Sourcing Platform przygotowała dla nich alternatywę – bezpłatne narzędzie Conrad Smart Procure, dostępne z poziomu przeglądarki. Pozwala usprawnić zakupy i zwiększyć efektywność, bez konieczności inwestowania we własny system zakupowy.

Ponad 100 lat Conrad Electronic

Kompleksowe zaopatrzenie techniczne z jednego źródła? Oszczędność czasu i pieniędzy przy zakupach? Natychmiastowy dostęp do potrzebnej części – nawet w sytuacjach nieprzewidzianych? Dzięki Conrad Sourcing Platform to możliwe! Niemieckie przedsiębiorstwo rodzinne od 1923 roku zajmuje się sprzedażą techniki i elektroniki. Już od ponad wieku Conrad stawia klienta w centrum swojej działalności. Globalna sieć Conrad skutecznie łączy dostawców z odbiorcami. W skrócie: Conrad to platforma zakupowa dla branży technicznej, która dostarcza wszystkie elementy niezbędne do sukcesu.

Odpowiednie usługi

Co jednak w sytuacji, gdy mimo cyfrowej integracji i ogromnego wyboru danego produktu nie ma w ofercie? Co, jeśli kupujący może zamówić w Conrad 37 elementów, ale brakujący 38 okazuje się niedostępny? „Wtedy do działania wkracza nasz dział zakupów lub zespół naszej spółki zależnej Electronic Direct" – wyjaśnia Ralf Bühler.

Electronic Direct (ED) dołączył do Grupy Conrad w lutym 2024 roku i od tego czasu wspiera klientów biznesowych jako doświadczony i kompetentny partner usługowy. Ambicją Conrad jako dostawcy rozwiązań jest zapewnienie firmom dokładnie tego, czego potrzebują do sprawnej i skutecznej realizacji projektów. Dlatego blisko 50-osobowy zespół ED wynosi proces specjalistycznych zakupów komponentów elektronicznych na wyższy poziom. Sprawdzone rozwiązanie oferowane przez ED umożliwia wgląd w globalnie dostępne stany magazynowe elementów elektronicznych. Dodatkowo firma wspiera klientów w pozyskiwaniu trudno dostępnych podzespołów oraz w zarządzaniu problemem wycofywania komponentów z rynku (obsolescencją).

Od ludzi dla ludzi

Przykłady pokazują, że Conrad wyróżnia się dzięki wiedzy specjalistycznej w zakresie technologii cyfrowych i inteligentnej integracji systemów. Jednak za tymi rozwiązaniami stoją ludzie, którzy każdego dnia pracują nad tym, aby zapewnić najlepsze doświadczenie zakupowe. W Conradzie ludzie działają dla ludzi.

„Conrad łączy ponad 100 lat doświadczenia z ambicją nowego spojrzenia na proces zaopatrzenia technicznego" – zaznacza Ralf Bühler. Jego zdaniem prawdziwa siła Conrad tkwi w synergii człowieka i technologii: „W Conrad opracowujemy rozwiązania dla nowoczesnych firm, zawsze z myślą o ludziach. Oferujemy też indywidualne wsparcie. W ten sposób powstaje dynamiczna sieć, w której cyfrowe rozwiązania, ludzie, usługi i partnerzy wzajemnie się uzupełniają. To platforma, która nie tylko dostarcza produkty, lecz przede wszystkim usprawnia procesy i zwiększa efektywność przedsiębiorstw."

www.conrad.pl



Fotografia 4. Wspólne, efektywne zaopatrzenie: analiza aktualnej sytuacji i optymalizacja procesów zaopatrzenia – to również należy do portfolio firmy Conrad Electronic (fot. Mirja Kofler/storytile)



Fotografia 5. Z Wernberg do całego świata: średnio około 50 000 paczek opuszcza codziennie centrum logistyczne Conrad (fot. Conrad Electronic)

eprasa.pl 3b5392c828

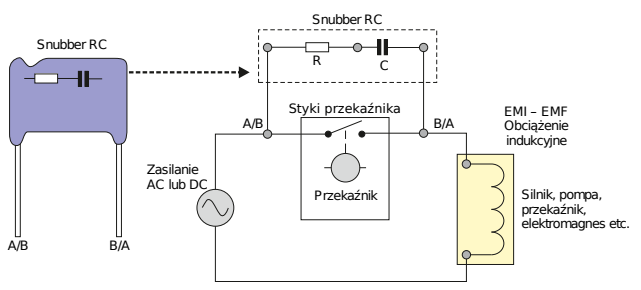
Snubbery – trudne przypadki

Określenie „snubber" jest znane każdemu, kto styka się z elementami przełączającymi większej mocy. Literatura fachowa podaje złożone wzory i sposoby na prawidłowe zaprojektowanie takich obwodów. Co jednak począć w sytuacji, kiedy o przełączanym obciążeniu nie wiemy zbyt wiele? W tym artykule opisuję kilka moich sztuczek, które stosuję w tego typu aplikacjach.

Polskie tłumaczenia słowa „snubber" – obwód gaszący lub obwód tłumiący, czasem również gasik – moim zdaniem zbytnio upraszczają całą sprawę, będę jednak konsekwentnie stosował określenie „obwód gaszący", jako że jest to czasopismo wydawane w języku polskim.

Topologie obwodów gaszących są rozmaite, mniej lub bardziej złożone, lecz jako punkt startowy do dalszych rozważań chcę przyjąć układ najprostszy, czyli RC – jak na **rysunku 1**. Rezystor i kondensator połączone są szeregowo, zaś taki układ jest włączony równolegle do elementu przełączającego zasilanie dla jakiegoś obciążenia o bliżej nieznanych parametrach. Rolą tego obwodu RC jest podtrzymanie drogi przepływu prądu przez indukcyjność znajdującą się w odbiorniku (lub wynikającą z jego budowy, na przykład w przypadku grzałki z bardzo długimi przewodami) po rozłączeniu jego zasilania. To powoduje, że prąd w owej indukcyjności nie zanika zbyt szybko (dzięki zmniejszeniu dI/dt), co z kolei redukuje amplitudę napięcia impulsu samoindukcji (dV/dt). W ten sposób można skutecznie ograniczyć zjawisko iskrzenia styków i ryzyko powodowane przez impulsy wysokiego napięcia na elementach półprzewodnikowych. Snubbery często można znaleźć przy triakach, właśnie w celu ograniczenia szybkości narastania prądu, który mógłby spowodować ich samoczynne wyzwolenie [2].

Literatura podaje całkiem użyteczne metody obliczenia prawidłowych wartości elementów obwodu gaszącego, polegające np. na pomiarze częstotliwości rezonansowej przełączanego obwodu [3]. To podejście ma mocne naukowe podstawy i daje bardzo dobre wyniki, lecz ma pewną wadę: musimy doskonale wiedzieć, co jest docelowym obciążeniem. Dlatego można posiłkować się takimi metodami w sytuacjach, kiedy dany element wykonawczy (przekaźnik, triak, tranzystor itd.) załącza dobrze znane obciążenie, na przykład uzwojenie konkretnego silnika BLDC. Przysłowiowe schody zaczynają się w sytuacji, gdy nie wiemy, co będzie przełączane – grzałka, odkurzacz, przetwornica impulsowa, lampa jarzeniowa ze statecznikiem indukcyjnym, transformator, zawór elektromagnetyczny, silnik prądu przemiennego, czy coś jeszcze innego. Możemy więc tylko domniemywać, że to obciążenie będzie miało charakter mniej lub bardziej indukcyjny, lecz jego parametry, typu pojemność lub indukcyjność, są nam nieznane.



Rysunek 1. Sposób włączenia najprostszego obwodu gaszącego RC [1]



Fotografia 1. Gotowy obwód gaszący RC w hermetycznej obudowie [5]

Taka sytuacja ma miejsce w rozmaitych układach sterowania, które tworzę na co dzień. Tak naprawdę rzadko mam do czynienia z sytuacją, w której mogę o obciążeniu powiedzieć wszystko ze stuprocentową pewnością. Na przykład regulatory temperatury: w teorii załączają grzałki, więc obciążenia czysto rezystancyjne, ale długość połączeń jest już mi nieznana. A te z kolei potrafią ujawnić się za sprawą impulsu samoindukcji przy rozłączaniu w szczycie prądu, który w tym wypadku pokrywa się na osi czasu z wartością szczytową napięcia. Z kolei przy układach mających pracować z dowolnymi rodzajami obciążenia nie wiem już zupełnie nic poza napięciem oraz maksymalnym prądem. Jak w takiej sytuacji dobieram obwód gaszący?

Poza szczególnym przypadkiem, który pokażę na końcu, korzystam z obwodu RC. Zakładam też, że przełączenia odbywają się (jak na elektronikę) stosunkowo rzadko, zatem moc tracona w rezystorze nie jest szczególnie istotna – interesuje mnie jedynie jego odporność na impulsy prądu. Skoro więc rezystor ma podtrzymać przepływ prądu przez obciążenie po rozłączeniu styków, to jego rezystancja nie może być zbyt wysoka. Z kolei zbyt niska spowoduje, że zwieranie styków przy naładowanym w pełni kondensatorze spowoduje niepotrzebnie wypalanie ich impulsami prądu o wysokim natężeniu, co również zwiększy poziom emitowanych zakłóceń elektromagnetycznych przez układ – zatem uzyskany efekt będzie odwrotny do zamierzonego.

W najprostszym ujęciu, które często się sprawdza, maksymalną wartość rezystancji szacuję ze wzoru [4]:

$$R_{Smax} = \frac{U_{supply}}{I_{max}}$$

gdzie:

U_{supply} – napięcie zasilające obciążenie;

I_{max} – maksymalny prąd, jaki może pobierać obciążenie podczas pracy ciągłej.

W obwodach prądu przemiennego (sinusoidalnie zmiennego) można obie wartości podstawiać jako skuteczne lub szczytowe, stosowny współczynnik ulegnie wówczas skróceniu podczas dzielenia.

Dla przykładu, przy zasilaniu przetwornicy pobierającej 500 W w stanie ustalonym, która jest zasilana z sieci 230 V (zatem jej Imax ≈ 2,17 A), oszacowana w ten sposób maksymalna wartość rezystora obwodu gaszącego wynosi 106 Ω. Jeżeli uzyskany wynik jest większy niż 47 Ω, a tak jest w tym wypadku, to ograniczam go arbitralnie właśnie do owych 47 Ω – taką wartość stosuję bardzo często z powodzeniem w systemach przełączających napięcie sieciowe. Pamiętajmy, że mniejsza wartość rezystancji wpływa pozytywnie na przewodzenie prądu po rozwarciu styków, tj.

eprasa.pl 3b5392c828

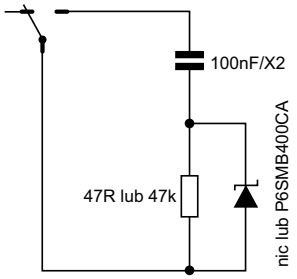
ogranicza napięcie impulsu samoindukcji. Z drugiej strony staram się nie stosować rezystorów o wartościach mniejszych niż 10 Ω, aby niepotrzebnie nie przełączać stykami prądu o bardzo dużym natężeniu podczas załączania obciążenia. Z kolei w obwodach prądu stałego o niskim napięciu, na przykład 12 V czy 24 V, często używam rezystorów 3,3 Ω. Z reguły staram się, by ich moc wynosiła 2 W lub więcej, co jest szczególnie istotne dla wytrzymałości napięciowej. Sporadycznie używam gotowych modułów zawierających w swej strukturze rezystor i kondensator, zalane w obudowie przypominającej do złudzenia kondensator – jak na **fotografii 1**. Nie polecam jednak stosowania ich bezrefleksyjnie, ponieważ moc wewnętrznego rezystora jest niewielka, ponadto jest on zalany żywicą i jego chłodzenie jest utrudnione. Tymczasem każde przełączenie powoduje wydzielenie ciepła w owej rezystancji.

Jeżeli chodzi o kondensator, to tutaj przyznaję, że bardzo często wystarcza klasyczne 100 nF. Taka pojemność wystarcza, aby podtrzymać przepływ prądu w ewentualnej indukcyjności obciążenia, aż do płynnego zaniku energii w niej zgromadzonej. Jednak nie może to być byle jaki kondensator, głównie z powodu wytrzymałości dielektryka. Do zastosowań przeciwzakłóceniowych przeznaczone są polipropylenowe kondensatory o oznaczeniu X2. Na szczęście można je bez problemu kupić w wielu hurtowniach, zaś rozpiętość cenowa pozwala na ich stosowanie nawet w budżetowych aplikacjach. Wada? Elementy te są dostępne tylko w obudowach do montażu przewlekanego (THT), z wersją SMD jeszcze się nie spotkałem.

Taka pojemność umożliwia jednak przepływ prądu przez obwód gaszący po rozwarciu styków w obwodzie napięcia zmiennego. W przypadku owych 100 nF, zastosowanych w obwodzie sieci owym 230 V 50 Hz, będzie to prąd o natężeniu około 7 mA. Niby niewiele, ale – przede wszystkim – taki prąd może porazić użytkownika, który dotknie wyprowadzeń odłączonego obwodu myśląc, że „on przecież jest odłączony" (choć w istocie każdy obwód gaszący RC będzie się cechował tym ryzykiem).

Po drugie, niektóre urządzenia mogą działać nieprawidłowo. Miałem taki przypadek z zaworami elektromagnetycznymi, które pobierają bardzo mały prąd, rzędu kilkunastu miliamperów. Wtedy te 7 mA prądu upływu powodowało, że zawory nie mogły się zamknąć po otwarciu obwodu. W tej sytuacji pomogło zredukowanie pojemności do 4,7 nF, co było o tyle możliwe, że prąd obciążenia był naprawdę niski. Podobny temat przerabiałem ze stycznikami 230 V, a dokładniej z załączaniem ich cewek przez zwykłe przekaźniki elektromagnetyczne, montowane na PCB.

Jeżeli prąd upływu jest istotnym parametrem, wówczas nie redukuję pojemności kondensatora w nieskończoność, tylko zmieniam topologię układu. Dzieje się tak w układach prądu przemiennego, ponieważ w obwodach prądu stałego jedynym źródłem upływności



Rysunek 2. Stosowany przeze mnie obwód gaszący RCD

jest rezystancja izolacji kondensatora, która sięga gigaomów. Natomiast w obwodach zasilanych z sieci mamy reaktancję kondensatora, która bywa niemożliwa do pominięcia – co pokazał przykład opisany w poprzednim akapicie. Obwód gaszący z **rysunku 2** stosuję wówczas, gdy mam do wysterowania odbiorniki o bardzo małej mocy, na przykład cewki niewielkich przekaźników elektromagnetycznych lub małe przetwornice impulsowe. Wtedy na płytce przewiduję miejsce na dwukierunkową diodę transil o napięciu przebicia 400 V, rezystor i kondensator 100 nF z dielektrykiem X2. Montuję jeden z dwóch zestawów elementów:

- rezystor 47 Ω i kondensator dla obciążeń większej mocy;
- rezystor 47 kΩ, diodę i kondensator dla obciążeń małej mocy.

Rezystor 47 kΩ umożliwia przeładowanie kondensatora, jednak nie pełni on istotnej funkcji w samym procesie przełączania obciążenia. To zadanie bierze na siebie dioda, która zaczyna przewodzić w chwili, gdy zaindukowane napięcie staje się zbyt wysokie – wtedy impuls prądu przepływa przez nią oraz przez kondensator. Sprawdziłem doświadczalnie, że taki układ lepiej tłumi zakłócenia elektromagnetyczne, niż sama tylko dioda transil, włączona równolegle do zacisków obciążenia. Przypuszczalnie ma to związek z większą impedancją zwierającą impuls generowany przez obciążenie – oprócz samej rezystancji dynamicznej diody do głosu dochodzi również reaktancja kondensatora.

Michał Kurzela, EP

Źródła:

[1] http://www.bpesolutions.com/bpemanuals/Snubber.pdf
[2] https://www.st.com/resource/en/application_note/an437-rc-snubber-circuit-design-for-triacs-stmicroelectronics.pdf
[3] https://www.ti.com/document-viewer/lit/html/SSZTBC7
[4] https://shop.richardsonrfpd.com/docs/rfpd/CDE_Snubber_Capacitors_Application%20Notes.pdf
[5] https://botland.com.pl/shelly-automatyka-domowa/23097--shelly-rc-snubber-uklad-pochlaniajacy-energie-skoku-napiecia-3800235266144.html

REKLAMA



eprasa.pl 3b5392c828



Komórkowy Internet Rzeczy (IoT) oraz Bluetooth LE wspierają zrównoważone rolnictwo

Platforma do monitorowania nasion Smartbox firmy Seedbox Solution korzysta z łączności komórkowej do śledzenia pojemników, warunków środowiskowych i jakości nasion, przesyłając istotne dane do chmury.

Globalny magazyn nasion Svalbard, znajdujący się na odległej wyspie Morza Arktycznego, Spitsbergen, u północnych wybrzeży Norwegii, stanowi najbezpieczniejsze na świecie zaplecze zapewniające różnorodność upraw. Obsługiwany przez Global Crop Diversity Trust (GCDT) magazyn ma docelowo przechowywać ponad dwa miliardy nasion [1], działając jako kluczowe zabezpieczenie przed utratą bioróżnorodności w wyniku klęsk żywiołowych, zmiany klimatu lub konfliktów międzyludzkich.

Chociaż na całym świecie istnieje ponad 1700 innych banków genów, Svalbard Global Seed Vault jest najlepszą polisą ubezpieczeniową dla światowych dostaw żywności. Dzięki wiecznej zmarzlinie i grubej skale obiekt jest w stanie utrzymać optymalną temperaturę przechowywania na poziomie –18°C przez cały rok, nawet w przypadku utraty zasilania. Zawiera próbki wszystkich ważnych odmian upraw dostępnych obecnie na świecie i zapewnia przyszłym pokoleniom możliwość przezwyciężenia wyzwań związanych ze zmianami klimatu i wzrostem liczby ludności.

Magazyn nasion jest ważny dla globalnego bezpieczeństwa żywnościowego, ale ochrona nasion i różnorodności biologicznej są równie ważne na znacznie mniejszą skalę – pomagają bowiem wspierać zrównoważone praktyki rolnicze. Jest to misja bliska sercom pracowników firmy QuarterPoint LLC z siedzibą w stanie Illinois, zajmującej się technologiami niestandardowymi.



Fotografia 1. Smartbox umożliwia monitorowanie warunków środowiskowych, lokalizacji, poziomów napełnienia pojemników oraz ogólnej jakości nasion

eprasa.pl 3b5392c828

Przedsiębiorstwo to opracowało platformę bezprzewodowego monitorowania LE z obsługą Internetu Rzeczy (IoT), przeznaczoną dla sektora rolniczego.

„Każdego roku tysiące ton nadmiarowych i przestarzałych nasion jest utylizowanych", mówi Joe Waldman, prezes firmy QuarterPoint LLC. „Ze względu na potencjalne obawy EPA (Agencji Ochrony Środowiska) i potrzebę ochrony cennej technologii genetycznej nasion, zarządzanie nadmiarowymi nasionami jest procesem kosztownym i wymagającym dużych nakładów".

Jednym z rozwiązań stosowanych przez rolników jest Seedbox – pojemnik zwrotny popularny w rolnictwie amerykańskim. Pierwotnie zaprojektowany w celu poprawy bezpieczeństwa i wydajności w zakładach produkcyjnych, stał się ważnym elementem wielu urządzeń rolniczych i łańcuchów dostaw. Obecnie zapasy nasion warte miliardy dolarów przemieszczają się przez wiejskie tereny Ameryki w tych pojemnikach, często bez możliwości śledzenia lub monitorowania.

„Firma QuarterPoint powstała w wyniku współpracy firm Trace Engineering i Seedbox Solution w celu wprowadzenia nowej klasy produktów zapewniających widoczność w łańcuchu dostaw dla rynku opakowań rolniczych i zwrotnych", wyjaśnia Waldman. „Łącząc dziesięciolecia doświadczenia w opakowaniach zwrotnych i logistyce zwrotnej z doświadczonym zespołem badawczo-rozwojowym, firma QuarterPoint opracowała wiodącą w branży platformę monitorowania komórkowego z obsługą Internetu Rzeczy i Bluetooth LE".

Zaawansowana łączność komórkowa

Platforma ta obsługuje rozwiązanie Smartbox firmy Seedbox, stanowiące wersję systemu Seedbox wyposażoną w obsługę Internetu Rzeczy (IoT). Zaprojektowany dla producentów nasion, sprzedawców i rolników system Smartbox umożliwia monitorowanie warunków środowiskowych, lokalizacji, poziomów napełnienia pojemników i ogólnej jakości nasion.

System łączy dane o produktach, statusie zapasów i czynnikach środowiskowych, takich jak temperatura, ciśnienie, przyspieszenie i wilgotność, aby zapewnić dokładne śledzenie i zarządzanie. Dane są przetwarzane przez moduł nowej generacji nRF9151 firmy Nordic Semiconductor, bazujący na potężnym procesorze ARM Cortex-M33 (64 MHz) z 1 MB pamięci nieulotnej (NVM) oraz 256 kB pamięci RAM. Oprócz możliwości przetwarzania danych, moduł nRF9151 oferuje wiodący w branży czas pracy na baterii, gdyż może się poszczycić najniższym poborem mocy wśród wszystkich rozwiązań obsługujących komórkowy Internet Rzeczy (IoT) oraz DECT NR+.

„Dane te dostarczają producentom cennych informacji, które pomagają zoptymalizować zarządzanie zapasami, poprawić prognozowanie, zmniejszyć marnotrawienie nasion i ostatecznie dostarczać klientom nasiona wyższej jakości", wyjaśnia Waldman. „Wykorzystując fuzję czujników i modele uczenia maszynowego (ML), byliśmy w stanie usprawnić rozwiązanie do jednego urządzenia, które może gromadzić wszystkie istotne informacje, dostarczając dla Seedbox Solution elegancki i w pełni skalowalny produkt, który spełnia potrzeby klientów".

Korzystając z wielomodowego modemu LTE-M/NB-IoT i globalnego systemu nawigacji satelitarnej (GNSS) w module nRF9151, urządzenie wysyła dane lokalizacyjne i odczyty z czujników do chmury, za pomocą której użytkownicy mogą uzyskać dostęp do informacji przy użyciu aplikacji lub platformy internetowej.

„Moduł Nordic zapewnia bezpieczną, dwukierunkową komunikację z naszym zapleczem (informatycznym – przyp. red.) i jest kluczowym elementem realizacji celów w zakresie wydajności i dynamicznej pracy urządzeń", mówi Kevin Grimstad, dyrektor ds. technologii w firmie QuarterPoint. „Zaplecze to na bieżąco dostosowuje zachowanie każdego urządzenia Smartbox w oparciu o jego pozycję w łańcuchu dostaw i poziomy wglądu potrzebne naszym klientom".



Fotografia 2. Moduł nRF9151 z potężnym, 64-megahercowym procesorem ARM Cortex-M33 przetwarza pomiary środowiskowe, takie jak temperatura, ciśnienie, przyspieszenie i wilgotność, a następnie przesyła je do chmury za pomocą modemu wielomodowego

Bluetooth LE do zarządzania zapasami w magazynie

Oprócz łączności bezprzewodowej z komórkowym Internetem Rzeczy (IoT), najnowsza wersja Smartbox zawiera również układ SoC Nordic nRF52840 o niskim poborze mocy oraz moduł nRF9151, zapewniający łączność Bluetooth LE do śledzenia lokalnych zapasów za pośrednictwem smartfona użytkownika.

„Poza lokalnym zarządzaniem zapasami przez Bluetooth, każdy Smartbox w promieniu 500 metrów od urządzenia mobilnego może aktywnie aktualizować swoją lokalizację i kluczowe wskaźniki produktu w naszym zapleczu chmurowym", wyjaśnia Grimstad. „Ta funkcja jest szczególnie przydatna w dużych obiektach, w których łączność komórkowa może być ograniczona, ponieważ zapewnia widoczność dla wszystkich jednostek. Za każdym razem, gdy Smartbox łączy się z naszym zapleczem za pomocą modułu nRF9151, skanuje również otoczenie w poszukiwaniu pobliskich urządzeń Smartbox przez Bluetooth i przekazuje ich dane".

Smartbox obsługuje wiele typów baterii, zarówno w formie ogniw A, jak i AA, zapewniając użytkownikom elastyczność doboru najlepszej opcji stosownie do potrzeb. Ponadto moduł SiP nRF9151 obsługuje zarówno klasę mocy 5 (20 dBm) w zastosowaniach energooszczędnych o niższej intensywności, jak i dotychczasową klasę mocy 3 (23 dBm), w zastosowaniach o wyższych wymaganiach, w których minimalizacja poboru mocy ma mniej krytyczne znaczenie.

„Dzięki kilkudziesięcioletniemu doświadczeniu firmy Seedbox Solutions w rolnictwie i branży opakowań zwrotnych, byli oni idealnym pierwszym klientem, który wdrożył tę technologię i pomógł nam udoskonalić rozwiązania dla producentów nasion", wyjaśnia Grimstad. „W 2025 roku firma wdroży 10 tysięcy urządzeń Smartbox w ramach umowy serwisowej z dużym producentem nasion, z planami wdrożenia w ramach pełnej floty".

„Smartbox usprawnia zarządzanie zapasami, prognozowanie i identyfikowalność, zmniejszając straty materiału siewnego i koszty logistyczne. Umożliwiając podejście do zakupu nasion oparte na danych, wspiera zrównoważony rozwój, jednocześnie poprawiając wydajność i jakość nasion".

Svalbard Seed Vault może być wzorem zrównoważonej pielęgnacji nasion, a przedsięwzięcia takie jak Smartbox stanowią ważne przypomnienie, że technologia bezprzewodowa ma również do odegrania kluczową rolę w zapewnieniu ciągłości globalnych dostaw żywności.

www.nordicsemi.com

Bibliografia

1. *When seeds must be locked in a vault* [https://t.ly/CYBkt]

eprasa.pl 3b5392c828

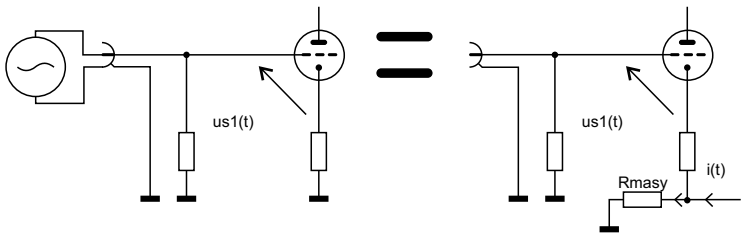
Prowadzenie masy w układach lampowych

Nie wiem, czy w elektronice istnieje bardziej niejasne, mgliste, zawiłe i trącące wręcz ezoteryką pojęcie, niż prowadzenie masy. O ile w układach cyfrowych, zwłaszcza szybkich, prowadzi się w tym temacie badania i symulacje, o tyle układy analogowe – zwłaszcza lampowe – nie są szczególnym obiektem zainteresowania naukowców. Dlatego warto inspirować się metodami przetestowanymi w praktyce.

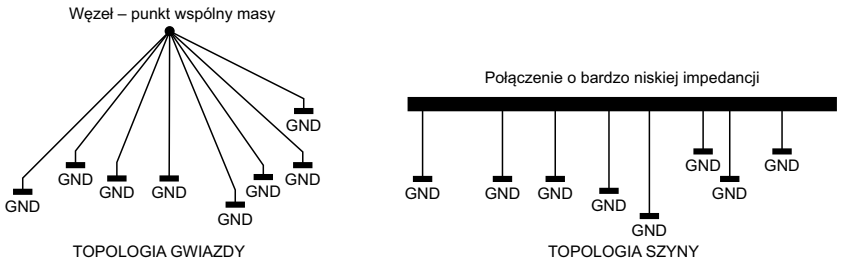
W najprostszym ujęciu masa – w odniesieniu do układów lampowych audio, żeby nie wprowadzać zamieszania – to węzeł o potencjale 0 V, czyli węzeł odniesienia. Spływają do niego wszystkie prądy obecne w układzie. Nie ma tu pojęcia sztucznej masy (o wymuszonym potencjale), ponieważ w lampach sprawa potencjałów jest stosunkowo jasna: potencjał dodatni mają anody i siatki ekranujące, potencjał ujemny lub zerowy przeznaczony jest dla siatek sterujących (przy polaryzacji stałej lub automatycznej), zaś katody mają potencjał nieznacznie dodatni (przy polaryzacji automatycznej) lub zerowy (tudzież niewiele od niego wyższy), jeżeli stosujemy polaryzację stałą. Tyle w kwestii teorii, bo na papierze wszystko wygląda świetnie.

Jednak w praktyce nie należy po prostu jakkolwiek połączyć ze sobą wszystkich wyprowadzeń elementów, które mają mieć potencjał masy. Subtelna natura sygnałów analogowych natychmiast da o sobie znać w postaci buczenia, brzęczenia, skwierczenia lub piszczenia. Stanie się tak, ponieważ prądy o wysokiej amplitudzie, płynące przez masę, będą zakłócały obwody o niskich amplitudach sygnału, na przykład stopnie wejściowe. Tymczasem lampa, jak każdy zresztą element wzmacniający, jest głupia i nie wie, czy to, co trzeba wzmocnić, pochodzi z wejścia, czy z masy, bo liczy się różnica potencjałów między wejściem a masą. Obrazowo ilustruje to **rysunek 1**. Po lewej stronie pokazano idealną sytuację prawidłową, w której napięciem siatka-katoda (a dokładniej jego składową zmienną) steruje wyłącznie źródło sygnału użytecznego, przyłączone do wejścia układu. Z kolei po prawej stronie widać sytuację rzeczywistą, kiedy to na napięcie siatka-katoda ma wpływ jakiś prąd pochodzący z innej części układu, wywołujący spadek napięcia na rezystancji masy w pobliżu katody lampy – co również generuje składową zmienną napięcia siatka-katoda, tak ochoczo wzmacnianego później przez lampę. Ten sygnał, generowany przez masę o niezerowej rezystancji, może pojawić się również na rezystorze upływowym siatki sterującej – nie ma to znaczenia. Nawiasem mówiąc, taki mechanizm (wzmacniania sygnału generowanego przez tętnienia prądu masy) jest najczęstszą przyczyną wzbudzania się układów lampowych. Rezystory antyparazytowe niewiele mogą w tej sytuacji zdziałać.

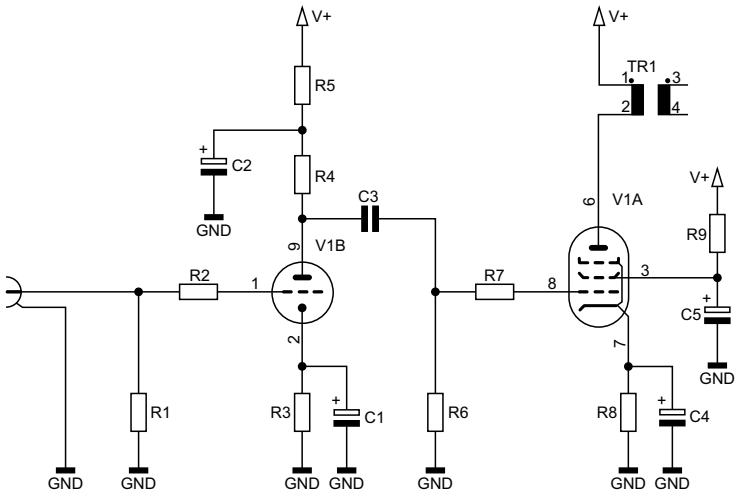
Niepożądana sytuacja nie miałaby miejsca, gdybyśmy dysponowali połączeniami masy o idealnie zerowej rezystancji – lecz takie nie istnieją. Co robić? W tym momencie wkracza teoria, cała na czarno-biało, i prezentuje rozwiązania pokazane na **rysunku 2**. Należy użyć wspólnego punktu masy lub szyny masy o bardzo, bardzo niskiej rezystancji – i już, gotowe. Pierwsza koncepcja jest kompletnie niepraktyczna, ponieważ wymusza łączenie



Rysunek 1. Oddziaływanie na wejście stopnia wzmacniającego: prawidłowe (po lewej) i niepożądane (po prawej)



Rysunek 2. Typowe topologie prowadzenia masy: gwiazda oraz szyna

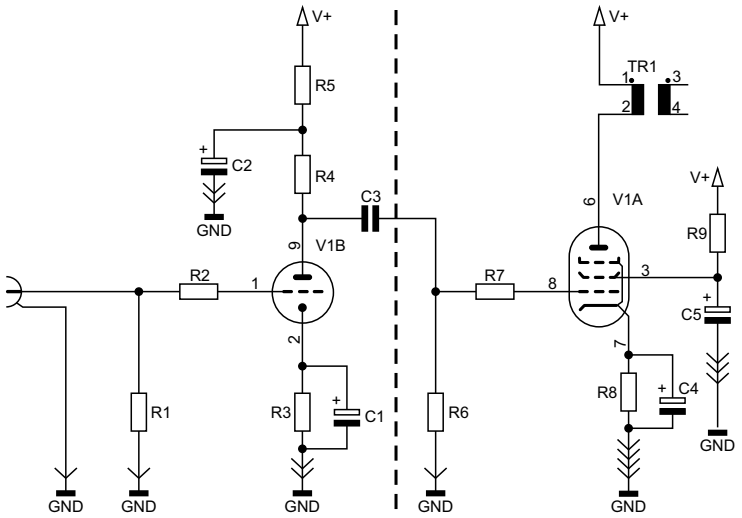


Rysunek 3. Schemat ideowy przykładowego wzmacniacza z lampą ECL86

eprasa.pl 3b5392c828

wszystkich wyprowadzeń elementów, które mają mieć kontakt z masą, do jednego, z reguły dosyć odległego miejsca. Druga już ma nieco racji bytu, w podobny sposób prowadzono bowiem masę w odbiornikach lampowych montowanych na metalowym chassis – było ono bardzo grubą szyną masy. Choć i takie poprowadzenie masy wymaga nieco umiejętności, na przykład przewidzenia dróg rozpływu prądów na tak dużej płaszczyźnie – aby prądy o niskiej amplitudzie nie miały wspólnej drogi z prądami o amplitudzie wysokiej.

W dzisiejszych czasach układy lampowe często tworzy się na obwodach drukowanych, więc użycie wielkiego kawałka blachy jako masy jest niemożliwe. Prowadzenie wszystkich nóżek odrębnymi ścieżkami do jednego punktu też nie ma sensu. Dla ustalenia uwagi zapraszam do analizy schematu ideowego bardzo popularnego układu, jakim jest wzmacniacz SE z lampą ECL86 (**rysunek 3**). Wybrałem ten właśnie układ, ponieważ było to moje pierwsze urządzenie lampowe, które dało mi sakramencko w kość podczas uruchamiania, a to właśnie z powodu uporczywego wzbudzania

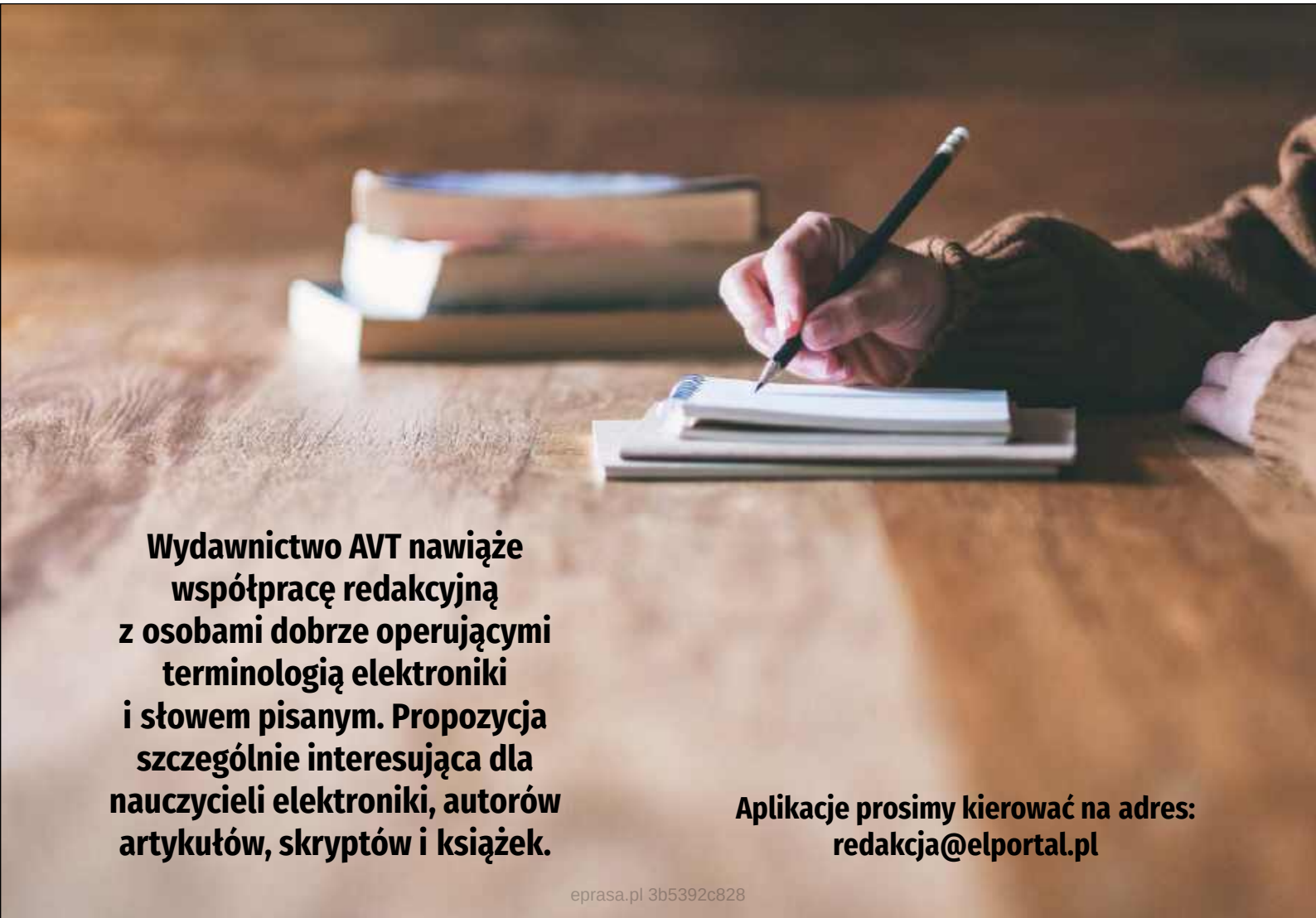


Rysunek 4. Zobrazowanie amplitud prądów spływających do masy

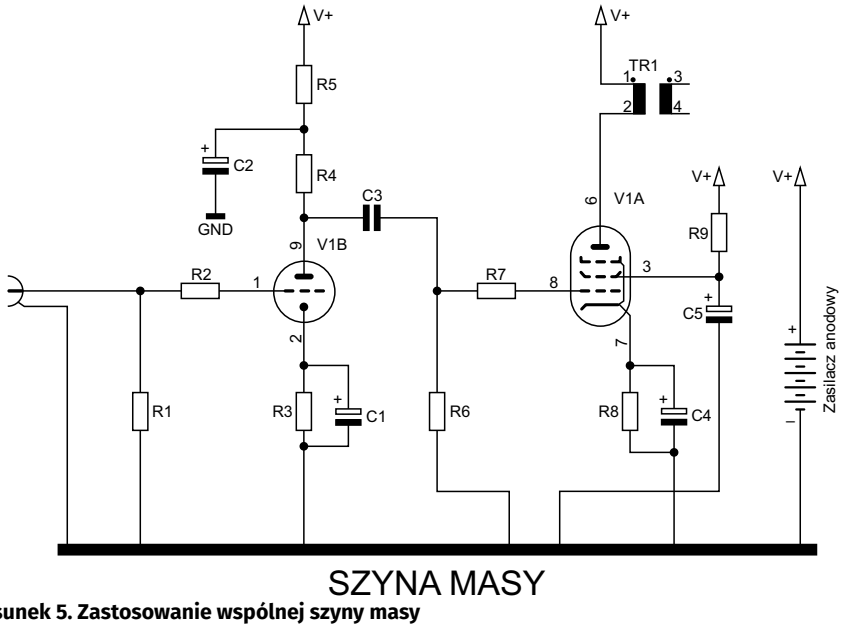
się. Do rzeczy: mamy gniazdo sygnału wejściowego, stopień wzmacniacza napięciowego wykonany na triodzie w układzie wspólnej katody (wraz z, co ważne, kondensatorem C2 filtrującym zasilanie tego stopnia) oraz stopień mocy z pentodą obciążoną transformatorem głośnikowym. Zasilanie jej siatki ekranującej również jest odsprzęgnięte do masy kondensatorem C5. Dla uproszczenia analizy układ nie jest objęty pętlą ujemnego sprzężenia zwrotnego.

W tym układzie znajduje się dziewięć wyprowadzeń, które należy dołączyć do masy. Jeżeli odrzucimy już koncepcję wspólnego węzła pojmowaną wprost, podręcznikowo, to trzeba zaplanować, które

REKLAMA



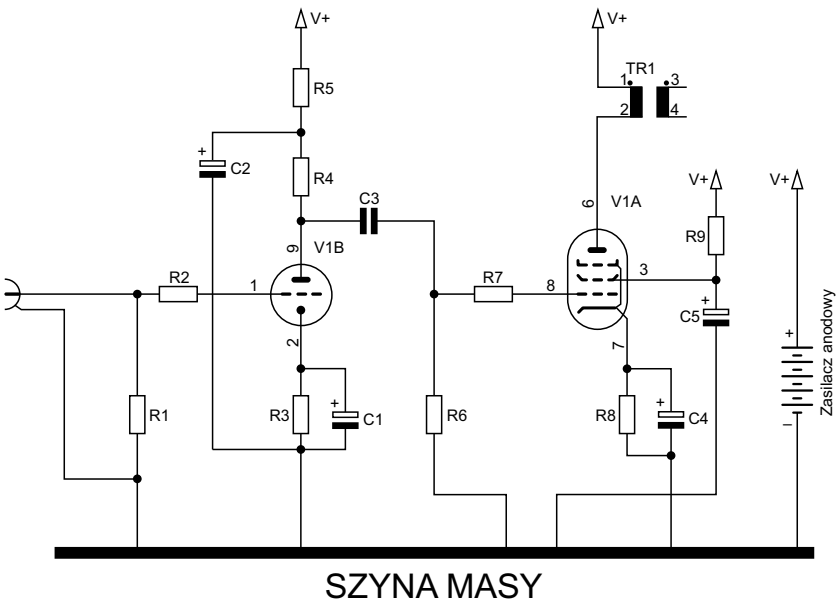
eprasa.pl 3b5392c828



Rysunek 5. Zastosowanie wspólnej szyny masy

z tych podzespołów powinny zostać podłączone do szyny bliżej zasilacza, a które – dalej. Okazuje się również, że niektóre z nich można dla wygody zgrupować razem i poprowadzić do większej szyny. Szyna (w praktyce: szeroka ścieżka) ma tę przewagę nad płaszczyzną masy, że możemy dobrze kontrolować drogę przepływu konkretnego prądu. Prześledźmy teraz, korzystając z **rysunku 4**, które prądy mają największą amplitudę, a które najmniejszą. Celowo uwzględniłem w schemacie z rysunku 3 elementy odsprzęgające C2 i C5, ponieważ wiele osób ma z nimi istotny problem. Rysunek 4 jest modyfikacją schematu z rysunku 3 o tyle, że połączyłem na nim równolegle rezystory katodowe z towarzyszącymi im kondensatorami – w praktyce większość składowej zmiennej prądu powinna przepływać przez kondensatory, ale nie ma sensu traktować tych dwóch podzespołów odrębnie na siłę, skoro powinny znaleźć się możliwie blisko siebie w celu minimalizacji impedancji połączenia między nimi.

Bezdyskusyjnie największą amplitudą składowej zmiennej będzie cechować się prąd katody pentody, bowiem to on przepływa przez transformator (w dużej części) i wytwarza moc dla głośnika. Mniejszą amplitudę można przypisać prądowi, który płynie przez kondensator C5, a który to jest wytwarzany przez siatkę ekranującą pentody. Zdecydowanie mniejsza będzie amplituda prądu rezystora upływowego siatki sterującej pentody (R6) – to będą jakieś mikroampery. I to tyle, jeżeli chodzi o pentodę i jej najbliższe otoczenie, czyli prawą część schematu. Taki umowny podział wprowadziłem po to, by pokazać, które elementy warto utrzymać później, na płytce, możliwie blisko siebie. W części lewej mamy katodę triody jako źródło prądu zmiennego oraz, co często pomijane, kondensator C2, przez który zamyka się droga tego prądu – obydwa sygnały mają więc porównywalne amplitudy. Zdecydowanie subtelniejszy prąd płynie przez rezystor upływowy siatki sterującej tejże triody oraz przez złącze sygnału wejściowego.



Rysunek 6. Zmniejszenie liczby połączeń ze wspólną szyną masy

Postawmy teraz pytanie: jak to wszystko połączyć, żeby układ miał szansę zadziałać? Przykładowe rozwiązanie znajduje się na **rysunku 5**. Najbliżej zasilacza znalazła się katoda pentody, potem kondensator odsprzęgający siatkę ekranującą, za nim rezystor upływowy siatki sterującej pentody, dalej katoda triody, kondensator filtrujący zasilanie triody, rezystor upływowy triody i złącze wejściowe… Hola, hola! Mniejsze prądy miały być dalej... Przecież w układzie jest jeszcze trioda, która generuje większy prąd tętnień, który „wymiesza się" z prądem rezystora siatki sterującej pentody. O co chodzi? Już objaśniam: w rzeczywistym układzie nie ma sensu sztucznie oddalać elementów towarzyszących danej lampie, ponieważ powiększa to pole powierzchni dla zakłóceń elektromagnetycznych – im większe pole obejmuje połączenie, tym wyższy prąd może się w nim zaindukować, co wynika wprost z równań Maxwella, a dokładniej: z prawa Ampère'a. Dochodzi jeszcze jeden aspekt, nieco mniej istotny: prądy katod (triody i pentody) są w przeciwnych fazach względem siebie, więc lepiej ich niepotrzebnie nie mieszać, gdyż tworzy to trudne do kontrolowania sprzężenie między tymi stopniami. To, co należy do triody, zostaje przy triodzie, a to, co pentody, niech będzie przy pentodzie.

Liczbę połączeń do masy można zredukować – **rysunek 6**. Dotyczy to (w tym wypadku) stopnia wejściowego. Prąd rezystora R1 jest tak naprawdę wytwarzany jedynie przez sygnał dołączony do złącza wejściowego, więc ich masy można bez wahania połączyć. Z kolei prąd kondensatora C2 zamyka drogę dla prądu katody triody, więc je również można potraktować wspólnie – gdyby zaszła taka konieczność podczas rozmieszczania elementów i ścieżek na laminacie, nie jest to jednak obowiązek.

Jak to teraz poukładać w rzeczywistości, na płytce? To już temat na oddzielny artykuł.

Michał Kurzela, EP

eprasa.pl 3b5392c828

TAWOIA Glass (szkło kwarcowe)

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



BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

3 unikalne serie gniazdek i włączników

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

-5%

Rabat dla Prenumeratorów EP
przy zakupie podaj numer prenumeraty

-10%

Ceramic Loft (ceramika)

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



Retro PRL (bakelit)

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



eprasa.pl 3b5392c828

Syntezatory dźwięku (2)

Wczesne syntezatory i instrumenty elektroniczne

W tej części cyklu poświęconego instrumentom elektronicznym przyjrzymy się bliżej wczesnym syntezatorom oraz instrumentom, które nie są stricte syntezatorami, lecz mimo to wytwarzają dźwięki drogą elektroniczną. Współczesne wersje tych instrumentów są wciąż produkowane, czasem jako projekty DIY, ale głównie jako produkty komercyjne, najczęściej w postaci cyfrowych lub wirtualnych reprodukcji. Instrumenty te stanowiły też istotny element historii – zarówno elektroniki, jak i muzyki – a ich elementy składowe występują w bardzo wielu innych syntezatorach, dlatego też warto się z nimi zapoznać, choćby pobieżnie.



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

Trautonium, Theremin i Fale Martenota

W poprzedniej części tej serii artykułów pokazaliśmy schemat syntezatora Stylophone, a przy okazji wspomnieliśmy o wcześniejszym instrumencie – Trautonium (**fotografia 1**). Trautonium powstało w 1933 roku i był to instrument oparty na pojedynczym oscylatorze relaksacyjnym, zbudowanym na bazie triody. Późniejsze wersje używały już tyratronów (rodzaj lampy trójelektrodowej gazowanej, która pracowała jak tyrystor i pozwalała na sterowanie ekstremalnie wysokimi napięciami i sporymi prądami). Powstały też wersje tranzystorowe, wszystkie produkował Telefunken pod nazwą Trautonium. Unikalną cechą instrumentu był sposób kontroli: struna owinięta drutem oporowym była dociskana palcem do metalowej płytki, tworząc w ten sposób potencjometr – punkt dotknięcia określał częstotliwość oscylatora. Głośność była kontrolowana drugą ręką. Sposób działania pozwalał na płynne przechodzenie od jednego tonu do innego, a także na uzyskanie mikrotonalności – czyli granie tonów będących pomiędzy półtonami skali chromatycznej. Nad struną montowano też znaczniki ułatwiające dociskanie struny w miejscach, w których przypadały poszczególne tony skali. Instrument pozwalał więc także na bardziej tradycyjną grę. Trautonium nie miało żadnej innej kontroli nad brzmieniem, co ograniczało jego użyteczność. W efekcie instrument miał raczej krótką karierę i nie odniósł znaczącego sukcesu.





Fotografia 1. Trautonium: Telefunken Volkstrautonium z 1933 roku (a) oraz późniejszy instrument, Mixtur-Trautonium z 1955 roku (b)

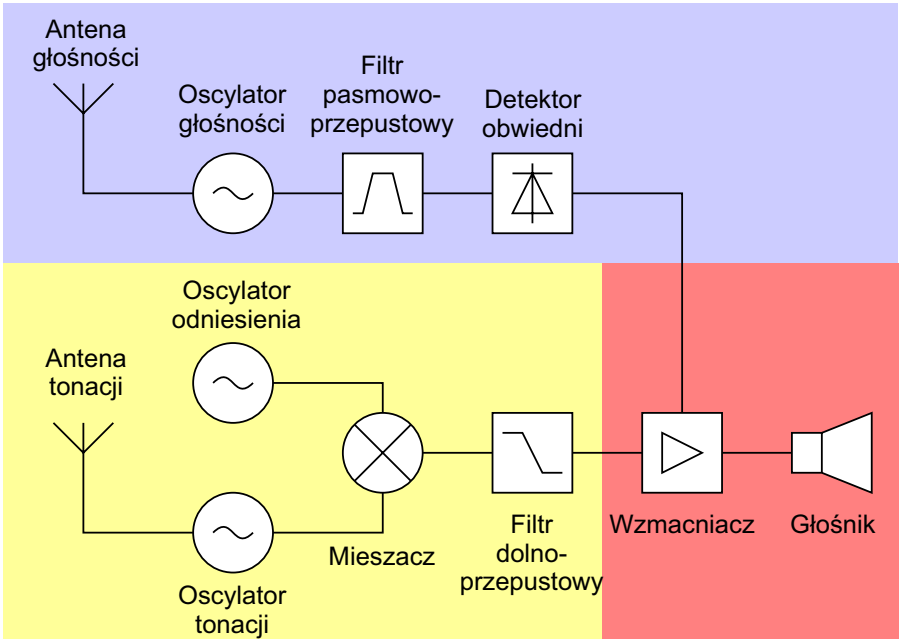
Lew Theremin wynalazł swój instrument w 1928 roku, gdy pracował z urządzeniami radiowymi. Rysunek 1 pokazuje schemat blokowy instrumentu, na którym widać elementy składowe typowe w radiotechnice. Do wytwarzania dźwięku użyte są dwa oscylatory: jeden o stałej częstotliwości f1, drugi – o zmiennej f2, zależnej od położenia ręki thereministy, gdyż pojemność pasożytnicza ciała ludzkiego względem ziemi staje się częścią obwodu rezonansowego oscylatora. Oba sygnały trafiają do miksera, na którego wyjściu jest dostępna zarówno suma, jak i różnica częstotliwości sygnałów wejściowych. Filtr dolnoprzepustowy odcina wyższe częstotliwości, a sygnał wyjściowy trafia przez wzmacniacz sterowany napięciem na wyjście instrumentu. Druga antena, odpowiedzialna za sterowanie głośnością, działa w podobny sposób – z tą tylko różnicą, że na wyjściu tego bloku pojawia się sygnał napięciowy sterujący wzmacniaczem. Antena sterująca głośnością jest zwykle po lewej stronie instrumentu, w formie metalowej pętli, zaś antena regulująca ton znajduje się po prawej i zazwyczaj ma postać pionowego pręta. Theremin produkowany był zarówno w ZSRR, jak i w USA,





Fotografia 2. Theremin: Alexandra Stepanoff gra na instrumencie wyprodukowanym przez RCA w studio NBC Radio (a); tranzystorowy wariant Etherwave Theremin z zestawu do samodzielnego montażu wyprodukowanego przez Roberta Mooga (b)

eprasa.pl 3b5392c828



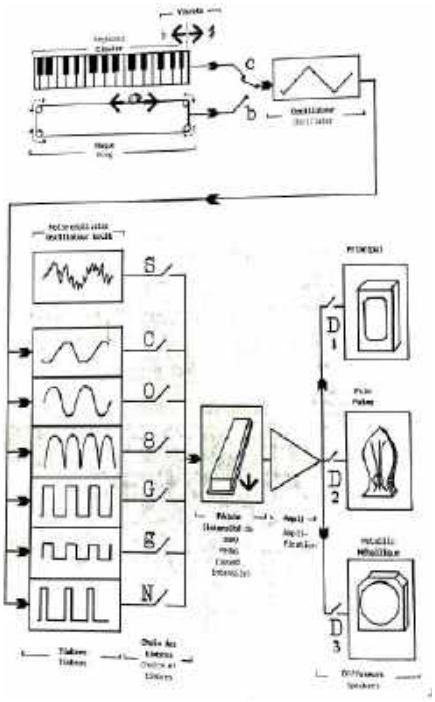
Rysunek 1. Schemat blokowy Theremina

przez amerykańską korporację RCA. Wersję tranzystorową opracował Richard Moog, wybitny projektant syntezatorów. Theremin odniósł znaczny sukces za sprawą swojego unikalnego brzmienia, głównie w ścieżkach dźwiękowych filmów science-fiction. Brzmienie instrumentu jest relatywnie proste, ale kontrola wysokości i ekspresji – o wiele lepsza, niż w przypadku Trautonium. Fotografia 2 pokazuje dwie różne wersje Thereminów.

Również w 1928 roku opracowany został inny instrument inspirowany radiem. Maurice Martenot, francuski wiolonczelista i radiotelegrafista, w czasie I Wojny Światowej zaprojektował swój instrument, nazwany falami Martenota (fr. Ondes Martenot), wokół oscylatora sterowanego napięciem, który to oscylator kontroluje inne generatory – schemat blokowy pokazano na **rysunku 2**. W przeciwieństwie do innych instrumentów z tej epoki, fale Martenota miały o wiele większe bogactwo brzmień do wyboru. Również unikalna jest metoda kontroli: wersja oryginalna używała metalowego pierścienia założonego na pętli z drutu. Pętla ta sprzężona była z potencjometrem wieloobrotowym, który sterował oscylatorem. Pod pierścieniem znajdowała się klawiatura fortepianowa, ale w pierwszej wersji pełniła ona jedynie funkcję orientacyjną. Późniejsze modele pozwalały już na wybór między pierścieniem, a klawiaturą, która



Fotografia 3. Fale Martenota wraz z głośnikami



Rysunek 2. Schemat blokowy fal Martenota

dodatkowo mogła być przesuwana na boki palcem w celu dodatkowej zmiany częstotliwości. Głośność dźwięku regulował pedał ekspresji, podczas gdy lewa ręka kontrolowała wybór oscylatorów, trybu gry czy kolumn głośnikowych.

Pierwszy głośnik to prosta kolumna dwudrożna. Drugi wybór to „dłoń" – głośnik z pudłem rezonansowym, nad którym napięty był szereg strun nastrojonych w skali chromatycznej – wzbogacały one brzmienie, rezonując wraz z dźwiękami z głośnika. Trzeci głośnik używał mosiężnego gongu jako elementu rezonansowego. **Fotografia 3** pokazuje kompletny instrument. Fale Martenota nie odniosły tak wielkiego sukcesu, jak Theremin, głównie ze względu na opozycję jednego z kompozytorów, który określił ten instrument jako „brzmienie domu publicznego", co miało wydźwięk pejoratywny. Obecnie fale Martenota znów zyskują popularność, głównie za sprawą gitarzysty zespołu Radiohead, Jonny'ego Greenwooda, który zlecił wykonanie kontrolera w stylu fal Martenota firmie Analogue Systems. Kontroler ów, pod nazwą „French Connection", sterował zewnętrznym oscylatorem. Od początku XXI wieku powstało kilka replik lub syntezatorów podobnych do fal Martenota. Jedną z lepszych replik jest Ondomo, wyprodukowane przez japońską firmę Asaden w 2017 roku.

Elektryczne pianina i organy

Pierwsze „elektryczne" pianina pojawiły się w latach trzydziestych ubiegłego wieku.

eprasa.pl 3b5392c828



Fotografia 4. Pianino Wurlitzer 200A odniosło największy sukces komercyjny spośród instrumentów tej marki

Były to fortepiany, w których zamiast płyty rezonansowej użyto przetworników elektromagnetycznych (a te stały się potem sercem gitar elektrycznych) oraz wzmacniacza elektroakustycznego. Tego typu instrumenty: fortepiany i mniejsze pianina produkowane były przez kilka różnych firm jako budżetowe alternatywy dla pełnoprawnego, akustycznego instrumentu. W elektrycznych pianinach Wurlitzera (**fotografia 4**) zamiast strun znajdował się metalowy grzebień z płaskimi „zębami" (ang. reeds, czyli trzcinki) różnej długości. Naciśnięcie klawisza powodowało, że filcowy młoteczek uderza; w odpowiedni „ząb", wprawiając go w drgania. Równoległa płyta metalowa tworzyła z grzebieniem kondensator powietrzy, a drgania były przetwarzane i wzmacniane w analogiczny sposób do zasady działania mikrofonu pojemnościowego. Na końcach „zębów" znajdowały się krople cyny – strojenie odbywało się przez jej usuwanie lub dodawanie. Istnieją warianty tego instrumentu, w których zamiast przetwornika pojemnościowego używa się przetwornika elektromagnetycznego.

Pianino elektryczne Fender Rhodes używa dwuelementowego rezonatora przypominającego kamerton. Jedno ramię jest w formie sztywnego, stalowego drutu, w który uderza młoteczek, drugie zaś to metalowy pręt biegnący równolegle, którego zadaniem jest wydłużenie czasu wybrzmiewania całości. Dźwięk jest zbierany za pomocą przetworników elektromagnetycznych, a strojenie odbywa się przez przemieszczanie sprężyny na uderzanym elemencie tego rezonatora. Inny instrument, Hohner Pianet, używa grzebienia w stylu Wurlitzera, ale wibracje są wzbudzane przez odklejanie skórzanej (w późniejszych wersjach silikonowej) poduszki od drgającego „zęba". W oryginalnej wersji skóra nasączona była lepką substancją, w późniejszej wykorzystywano lepkie własności niektórych silikonów. Innym instrumentem Hohnera był Clavinet, w którym naciśnięcie klawisza powodowało dociskanie struny do metalowego kowadła przez znajdujący się pod klawiszem młotek. Powodowało to wprawienie jej w drgania, które wzbudzały przetworniki elektromagnetyczne. Brzmienia wszystkich tych instrumentów można dalej urozmaicić stosując różne efekty, zwykle stosowane przez gitarzystów. Czytelnik zwrócił już zapewne uwagę, że wymienione tu instrumenty nie są prawdziwymi syntezatorami – to prawda, jednak stanowią one zbyt istotny element historii muzyki, by je pominąć. Ponadto ich charakterystyczne brzmienia były później wielokrotnie odtwarzane na drodze syntezy.

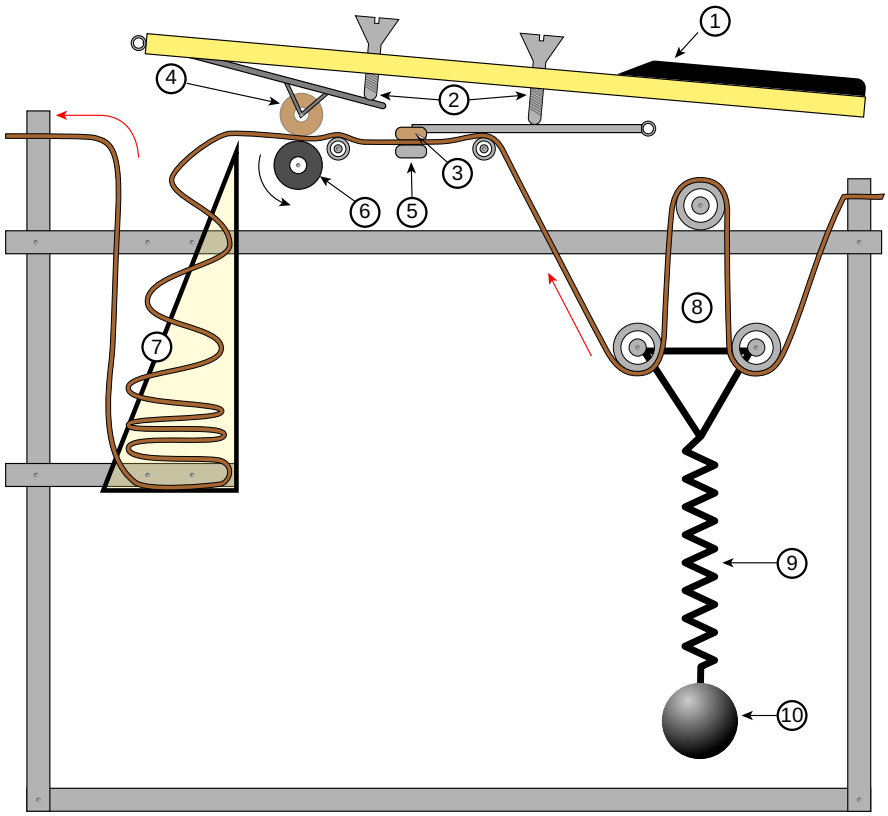


Fotografia 5. Organy Hammond model B-3, model ten produkowany był od 1954 do 1974 roku

Pierwszym „syntezatorem" addytywnym był instrument organowy, Telharmonium, opracowany u schyłku XIX wieku. Telharmonium używał reotomów, które generowały sygnały zmienne (o częstotliwościach akustycznych) w dość prosty sposób: metalowe koło zębate o określonej liczbie zębów obracało się ze stałą prędkością, podczas gdy metalowa szczotka dotykała do tych zębów. Reotom był częścią większego obwodu rezonansowego LC, co pozwalało przekształcać surowe impulsy elektryczne w przebieg sinusoidalny. Telharmonium używało wielu zestawów reotomów, a ich obwody były łączone razem za pomocą przełączników (jak w tradycyjnych organach) celem uzyskania bardziej złożonego brzmienia – dokładnie tak samo, jak w późniejszych syntezatorach addytywnych. Telharmonium znalazło się w Nowym Jorku, gdzie zostało włączone do sieci telefonicznej, oferując użytkownikom możliwość słuchania muzyki na żywo. Ponieważ jednak mówimy o czasach sprzed powstania triody, to nie było możliwości wzmocnienia sygnału, więc samo urządzenie było dość duże i prądożerne: ważyło ponad dwieście ton i pobierało 671 kW mocy zasilającej. Telharmonium, choć było instrumentem przełomowym, nie odniosło sukcesu, gdyż generowało za dużo zakłóceń w systemie telefonicznym.

Laurens Hammond i inni wykorzystali ideę reotomu, ale w formie koła tonowego, przy czym tylko organy Hammonda (**fotografia 5**) odniosły prawdziwy sukces.

eprasa.pl 3b5392c828



Rysunek 3. Schemat mechanizmu Mellotronu. Naciśnięcie klawisza (1) powoduje, że dwie śruby (2) łączą płytkę dociskową (3) z głowicą taśmy (5) oraz koło dociskowe (4) z obracającym się w sposób ciągły wałkiem napędowym (6). Taśma jest naciągana ze stałą prędkością, równoważona sprężyną naciągową (8...10) i tymczasowo przechowywana w pojemniku (7) do momentu zwolnienia klawisza

Koło tonalne również zawierało szereg zębów o liczbie zależnej od pożądanej częstotliwości, jednak zamiast szczotki wykorzystano przetwornik elektromagnetyczny. Zęby, przechodząc blisko niego, modulowały pole magnetyczne, generując różne tony. Dzięki temu, że w momencie powstania omawianych organów obwody wzmacniające już były dostępne, całe urządzenie mogło być dość małe – mniejsze niż organy domowe, które używały sprężonego powietrza i drgających trzcinek. Wariacją na temat koła tonalnego był dysk z wygrawerowanymi na jego powierzchni wgłębieniami o różnych kształtach i wymiarach, który wraz z zestawem elektrod tworzył kondensator powietrzny zmiennej pojemności, a dźwięk był tworzony przez obracanie zestawu takich dysków i wybieranie, które elektrody są włączone w obwód przetwarzania (jak w systemie Wurlitzera). W organach Hammonda był jeden zestaw kół tonalnych, każde generowało jedną stałą częstotliwość. Naciśnięcie klawisza jednak łączyło przetworniki kilku kół (częstotliwości bazowej, harmonicznych i podharmonicznej) do obwodu wzmacniacza, zaś zestawem suwaków (drawbars) można było mieszać tony bazowe i pozostałe w różnych proporcjach. Klasyczny zestaw dziewięciu suwaków pozwalał stworzyć 250 milionów różnych brzmień tych organów i to rozwiązanie stanowi kolejny przykład syntezy addytywnej. Od roku 1975 organy Hammonda były produkowane w formie instrumentu elektronicznego bez kół tonalnych, zamiast których zastosowano układy cyfrowe. Równolegle z organami opartymi na kołach tonalnych powstawały też instrumenty całkowicie elektroniczne, korzystające z syntezy subtraktywnej i dzielników częstotliwości – celem redukcji liczby potrzebnych lamp elektronowych. W latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku na rynek trafiły organy tranzystorowe, a w późniejszym okresie organy oparte na układach scalonych. Pod koniec ery analogowej powstawały relatywnie tanie organy, także w formie zestawów do samodzielnego montażu, gdzie sygnał pojedynczego generatora w.cz. był podawany na szereg dzielników częstotliwości, co dawało pokrycie całego zakresu akustycznego. Nieznacznie przestrajając ten generator można było łatwo dodać pitch bending, czyli chwilowe odstrajanie dźwięku w czasie gry.

Ostatnim instrumentem wartym wspomnienia jest Mellotron, „syntezator" używający taśmy magnetycznej, a konkretnie wielu takich nośników. Każdy klawisz dociskał do głowicy elektromagnetycznej swoją taśmę, a także rolkę dociskową do taśmy i do wałka napędowego, obracającego się ze stałą prędkością przez cały czas (był on wspólny dla całego instrumentu). Głowica odtwarzała zapisany na taśmie dźwięk, podczas gdy wałek i rolka dociskowa przesuwały taśmę do indywidualnego pojemnika. Po zwolnieniu klawisza zestaw dodatkowych rolek i sprężyna napinająca wyciągały taśmę tak, by początek nagrania znajdował się przed głowicą. Mechanizm ten pokazuje rysunek 3. Na każdej taśmie nagrane były trzy różne dźwięki, a dźwignia z boku instrumentu przesuwała cały zespół głowic względem zespołu taśm, pozwalając na wybór brzmienia. Niektórzy artyści nagrywali własne tony na te taśmy zmieniając brzmienie instrumentu, dzięki czemu Mellotronmożebyćuznanyzapierwszyprogramowalny instrument oparty o próbkowanie.

Zakończenie

Opisane w tym artykule instrumenty były ważne nie tylko dla muzyki – ich elementy miały też znaczący wpływ na rozwój syntezy dźwięku i syntezatorów jako takich. Efekt portamento, czyli zdolność syntezatorów do płynnego przechodzenia od jednej częstotliwości do innej, wywodzi się wprost z takich instrumentów, jak Trautonium czy Fale Martenota. Z kolei dążenie do miniaturyzacji organów kościelnych czy późniejszego Harmonium doprowadziły do powstania najpierw organów elektromechanicznych, a później całkowicie elektronicznych, których elementy składowe są też częścią syntezatorów. Idea zapisywania i późniejszego odtwarzania dźwięku z Mellotrona leży u podstawy syntezy wavetable i granularnej, ale też żyje nadal w plikach SoundFont zawierających nagrania prawdziwych instrumentów i używanych w produkcji muzycznej. Nawet w każdym keyboardzie – od dziecięcych zabawek do wysokiej klasy keyboardów estradowych i pianin elektronicznych – łączy się używanie banków brzmień, zapisanych w formie próbek PCM odtwarzanych na żądanie. Wiele keyboardów ma też klasyczne brzmienia pianin i organów: Rhodes, Wurlitzer, Hammond czy Clavinet, gdyż są one kluczowymi składnikami muzyki pop, rock, jazz czy popularnego w USA gatunku muzyki religijnej gospel.

W następnej części zaprezentujemy pierwszy element składowy syntezatora: oscylator sterowany napięciem.

Paweł Kowalczyk, EP

eprasa.pl 3b5392c828

Internet Rzeczy w pomiarach środowiskowych (22)

Detekcja pożaru z czujnikami płomieni i ruchu

Autonomiczny układ wykrywania pożaru z optycznym czujnikiem płomieni pracującym w paśmie podczerwieni jest dosyć łatwy do zbudowania. Czujniki i obwody zasilania można dołączyć do popularnej płytki Raspberry Pi 2. Oprogramowanie zrealizowane w języku MicroPython umożliwia natomiast łatwą modyfikację i rozbudowę.

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

Pożar charakteryzuje się emisją energii cieplnej, której towarzyszy występowanie wysokiej temperatury oraz wydzielanie gazów, dymu i zazwyczaj płomieni. Znany czujnik BME688 nadaje się dobrze do wykrywania tych cech, za wyjątkiem samych płomieni. Dlatego uzupełnienie układu o czujnik płomieni może w znacznym stopniu zwiększyć funkcjonalność układu pomiarowego.



Fotografia 1. Czujnik płomieni Flame Sensor Waveshare 9521[5]

Czujnik płomieni na podczerwień

Flame Sensor Waveshare 9521 to niewielki moduł optycznego czujnika płomieni (**fotografia 1**) [5]. Na płytce został zastosowany popularny fototranzystor YG1006 z niewielkim prądem ciemnym (maksymalnie 100 nA) oraz dość wysokim natężeniem prądu pracy (1,77…7,07 mA), dużą szybkością reakcji (15 µs) i maksymalną czułością przy długości fali 940 nm. Jest on dołączony przez szeregowy rezystor 4,7 kΩ do zasilania. Punkt połączenia (sygnał analogowy) jest wyprowadzony na złącze płytki oraz podany na wejście komparatora LM393. Napięcie odniesienia jest pobierane z potencjometru (regulacja czułości). Wyjście cyfrowe komparatora jest dołączone do diody LED i udostępnione na złączu płytki. Taka organizacja pozwala na samodzielną pracę czujnika z sygnalizacją optyczną detekcji płomienia.

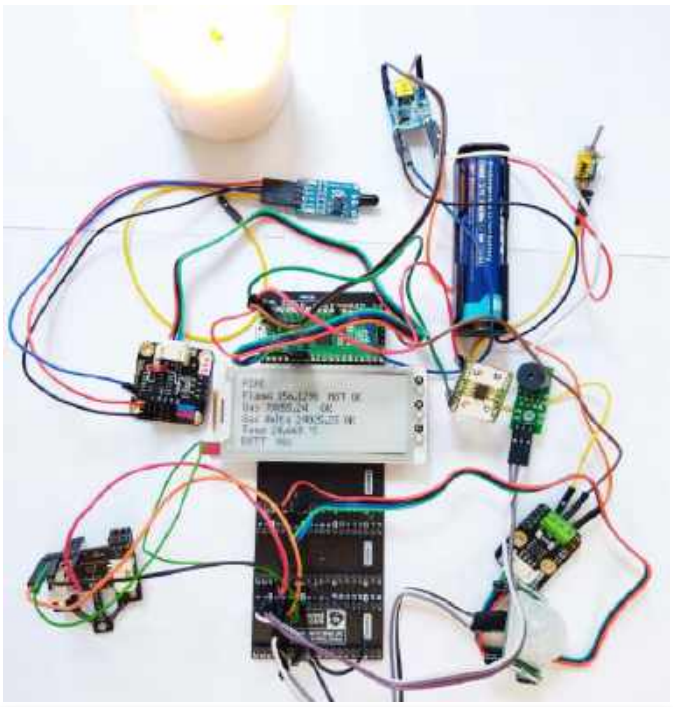
Specyfikacja czujnika:

- zakres widma: 760…1100 nm,
- kąt detekcji: 0°…60°,
- napięcie zasilania: 3,3 V…5,3 V,
- temperatura pracy: –25°…85°C,
- wymiary płytki: 27,3×15,4 mm.

Według producenta czujnik wykrywa płomień o wysokości 5 cm z odległości 1 m.

Czujnik ruchu PIR typu HC-SR501

Moduł czujnika PIR typu HC-SR501 to pasywny detektor ruchu, który reaguje na zmiany promieniowania podczerwonego w otoczeniu (**fotografia 2**) [6]. Czujnik ruchu PIR działa na zasadzie wykrywania różnicy temperatur między obiektami, które emitują ciepło, a otoczeniem. Gdy obiekt przemieszcza się w zasięgu



Podziękowania dla Pana Macieja Michna z Centrum Badań i Rozwoju Nordic Semiconductor w Krakowie za udostępnienie zestawów sprzętowych Power Profiler Kit II (PPK2).



Fotografia 2. Czujnik ruchu PIR typu HC-SR501 [6]

detektora, zmiana w natężeniu promieniowania powoduje wygenerowanie sygnału wyjściowego (wysokiego). Za pomocą dwóch potencjometrów użytkownik może ustawić czas, przez jaki sygnał wyjściowy będzie utrzymywany po wykryciu ruchu (od 5 do 200 sekund) oraz dostosować czułość sensora.

W prezentowanym systemie został zastosowany detektor PIR typu LHI778 z wbudowanym wtórnikiem napięcia na bazie tranzystora FET, pracującego z rezystorem obciążenia 47 kΩ. Promieniowanie podczerwone jest skupiane na detektorze za pomocą soczewki Fresnela (biała kopułka). Na płytce został zastosowany układ scalony BIS0001 (3…6 V) mający prąd spoczynkowy 1 mA (typ) oraz prąd pracy 2,5 mA (maks.). Układ może pracować w dwóch trybach wybieranych zworką:

- Retriggering – stan wysoki utrzymywany podczas trwania ruchu (domyślnie)
- Non-retriggering – stan wysoki generowany tylko raz po wykryciu ruchu.

eprasa.pl 3b5392c828

Zasilanie płytki jest realizowane przez układ LDO typu HT7133-1, dostarczający napięcie 3,3 V (30 mA).

Parametry techniczne czujnika HC-SR501:

- zasilanie: 4,5 V…20 V DC,
- pobór prądu w stanie czuwania: 50 µA,
- napięcie wyjściowe: 3,3 V (cyfrowe),
- zasięg detekcji: do 7 m,
- kąt widzenia: do 100°,
- wyjście cyfrowe: HIGH – ruch wykryty, LOW – brak ruchu.

Za pomocą potencjometrów można ustawić czas, przez jaki sygnał wyjściowy będzie utrzymywany po wykryciu ruchu (od 5 do 200 sekund) oraz dostosować czułość czujnika (od 3 do około 7 m).

Płytka RPi Pico2 firmy Raspberry Pi

Nowe płytki Pico 2 i Pico 2W firmy Raspberry Pi z procesorem RP2350 są zgodne elektrycznie z płytkami Pico z pierwszej serii (Pico/Pico W) [1]. W modułach zostały zastosowane układy pamięci NOR Flash z serii W25Q (Winbond) o częstotliwości pracy do 133 MHz (przepustowość do 66 MB/s). Dokładny opis jest zamieszczony w artykule „Płytka Raspberry Pi Pico 2/2W z procesorem RP2350” [2].

Płytka Pico 2 zawiera przetwornicę buck-boost, która dostarcza napięcie 3,3 V (do zasilania RP2350 i obwodów zewnętrznych) z szerokiego zakresu napięć wejściowych (1,8 do 5,5 V).

Czujnik BME688

Czujnik gazu układu BME688 firmy Bosch jest wytwarzany w technologii MOX. Lista gazów, które mogą być wykrywane przez BME688, obejmuje niemal wszystkie lotne związki organiczne, lotne związki siarki oraz inne gazy, takie jak tlenek węgla (CO) i wodór (H) w zakresie na poziomie ppb (*parts per billion*). Czujnik ma w obudowie otwór o średnicy mniejszej niż 1 mm. Dyfuzja gazu do środka i na zewnątrz obudowy trwa kilka sekund. Nie ma potrzeby stosowania wymuszonego przepływu gazu [10].

Moduł BME688 Breakout Board firmy pi3g zawiera układ BME688 firmy Bosch skonfigurowany do pracy z szyną I²C [8]. Układ scalony BME688 jest zamontowany daleko od złączy płytki, co pozwala na poprawną pracę czujnika z daleka od źródeł ciepła. Moduł pobiera prąd nieprzekraczający 50 mA. Złącze X1 ma wyprowadzone sygnały SCL, SDA oraz masę i zasilanie 3,3 V, w sposób kompatybilny ze złączem GPIO płytki Raspberry Pi Pico 2. W celu podłączenia wystarczy wyrównać pozycje 3,3 V na obydwu złączach. Raspberry Pi ma dwa wyprowadzenia I²C na GPIO 2 (SDA) i GPIO 3 (SCL) dla I2C0 (master) – piny układu scalonego 27 i 28.

Aby uzyskać stabilny odczyt rezystancji czujnika konieczne jest czyste napięcie zasilania. Nie nadaje się do tego napięcie 3V3 dostarczane przez płytkę Pico 2, gdyż zawiera ono silne tętnienia. Dobrym sposobem jest pobranie zasilania 3,3 V ze zmodyfikowanej płytki przetwornika ADS1115 (opis w [11]).

Modyfikowany moduł DFRobot I²C ADS1115

Moduł DFRobot I²C ADS1115 (DFR0553) firmy DFRobot [3] zawiera układ przetwornika analogowo-cyfrowego ADS1115. W celu zapewnienia optymalnych warunków zasilania, płytkę należy zmodyfikować zgodnie z opisem, który zamieściliśmy w poprzednich odcinkach niniejszego cyklu. Do pracy z układem ADS115 została zastosowana biblioteka języka MicroPython [4].

Pico Inky Pack – moduł z wyświetlaczem e-Paper

Pico Inky Pack (PIM634) firmy Pimoroni to moduł z czarno-białym wyświetlaczem e-Paper o przekątnej 2,9” i rozdzielczości 296×128 px, przeznaczony do płytek z serii Raspberry Pi Pico. Ma wbudowany kontroler, który realizuje komunikację za pomocą interfejsu SPI. Pico Graphics to zunifikowana biblioteka grafiki i wyświetlania firmy Pimoroni umożliwiająca sterowanie wyświetlaczami z Pico w języku MicroPython [8].

Cyfrowy miernik zużycia energii z układem INA219

INA219 firmy Texas Instruments to scalony bocznik prądowy i monitor mocy z interfejsem zgodnym z I²C. Układ monitoruje zarówno spadek napięcia na boczniku, jak i napięcie zasilania magistrali, z programowalnymi czasami konwersji i filtrowaniem.

Moduł cyfrowego miernika mocy „I²C Digital Wattmeter” (SEN0291) firmy DFRobot [12] zawiera tylko układ INA219 z zewnętrznym rezystorem bocznikującym 0,01 Ω, złącze do zasilania i komunikacji I²C oraz złącze pomiarowe.

Układ INA219 odczytuje napięcie szyny zasilania mierzonego obwodu (wyprowadzenie IN–) względem potencjału swojego wyprowadzenia masy (GND). Jeśli masa mierzonego obwodu nie będzie połączona galwanicznie z wyprowadzeniem GND układu INA219, to wynik pomiaru napięcia szyny zasilania będzie niepoprawny.

Specyfikacja modułu miernika mocy INA219:

- napięcie zasilania: 3,3…5 V,
- zakres pomiaru napięcia: 0…26 V,
- rozdzielczość napięcia: 4 mV,
- błąd pomiarowy napięcia: do 0,2% (typowy),
- zakres pomiaru prądu: 0…8 A (dwukierunkowy),
- rozdzielczość prądu: 1 mA,
- błąd pomiarowy prądu: do 2% (typowy, wymagana ręczna kalibracja),
- zakres pomiaru mocy: 0…206 W,
- rozdzielczość mocy: 20 mW (sprzętowa)/4 mW (programowa),
- prąd spoczynkowy: 1 mA (max.),
- adres I²C: 0x40, 0x41, 0x44 lub 0x45,
- wymiary: 30×22 mm.

Na udostępnianym na stronie producenta schemacie wersji V1.0 modułu widać układ LDO. W aktualnej wersji płytki V2.1.0 nie jest on obecny.

Moduł buzzera z aktywnym generatorem

Moduł buzzera z generatorem MOD-04526 wytwarza dźwięk o stałej częstotliwości przy zasilaniu za pomocą stałego źródła napięcia (**fotografia 3**) [9]. Wewnętrzny generator utrzymuje stabilną częstotliwość dźwięku, więc moduł nie wymaga generowania sygnału PWM ani dodatkowych układów oscylatora. Sygnał generowany jest przy podaniu na pin IN stanu niskiego. Na płytce, oprócz buzzera z generatorem, znajduje się także tranzystor, którego zadaniem jest kluczowanie zasilania.



Fotografia 3. Moduł buzzera z generatorem MOD-04526 [9]

Specyfikacja modułu buzzera:

- napięcie zasilania: 3…5 V,
- pobór prądu: około 20 mA,
- sygnał sterujący: cyfrowy, aktywowany stanem niskim,
- częstotliwość dźwięku: ok. 2300 Hz,
- wymiary modułu: 28×12×12 mm,
- zakres temperatury pracy: –20°C…+70°C.

Moduł ładowarki akumulatora Li-Ion z układem TP4056

Układ TP4056 to scalona ładowarka akumulatora litowo-jonowego lub litowo-polimerowego, przystosowana do obsługi

eprasa.pl 3b5392c828

pojedynczego ogniwa (3,7 V). Wewnętrzne obwody chronią ogniwo przed nadmiernym ładowaniem [13] i zawierają dwa wyjścia stanu, wskazujące ładowanie oraz jego zakończenie. Programowalny prąd ładowania może mieć natężenie do 1 A. Układ obsługuje ładowanie w trybach stałego prądu (CC) oraz stałego napięcia 4,2 V (CV). Obsługuje automatyczne przejście do trybu uśpienia o typowym poborze prądu poniżej 2 µA.

Właściwości modułu ładowarki TP4056:

- wbudowane diody sygnalizujące proces ładowania i pełne naładowanie,
- napięcie zasilania: 4...8 V DC z zewnętrznego zasilacza lub 5 V poprzez złącze microUSB,
- maksymalne napięcie ładowania: 4,2 V,
- maksymalny prąd ładowania: 1 A,
- pobór prądu bez obciążenia: 2 mA,
- pobór prądu z dołączonego ogniwa (po odłączeniu zasilania ładowarki): max. 6 µA,
- przelotowe pola lutownicze do podłączenia ogniwa i zasilania,
- wymiary: 23×17×4 mm.

Akumulator Li-Ion

Akumulator Li-Ion XTAR 18650 ma nominalne napięcie 3,7 V i pojemność 2600 mAh [14]. Posiada zabezpieczenie przed przeładowaniem, nadmiernym rozładowaniem, przeciążeniem i zwarciem.

Właściwości akumulatora XTAR 18650:

- akumulator Li-Ion (litowo-jonowy),
- typ: 18650,
- napięcie nominalne: 3,7 V,
- pojemność minimalna: 2600 mAh,
- maksymalny prąd ładowania: 2 A,
- maksymalne napięcie ładowania: 4,2 V,
- maksymalny prąd rozładowania: 5 A,
- próg zadziałania zabezpieczenia prądowego: 6,2 A.

Akumulator zbudowany jest na bazie na bazie oryginalnego ogniwa marki Samsung.

Ekspander szyny RPi Pico

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

Konfiguracja pomiarowa

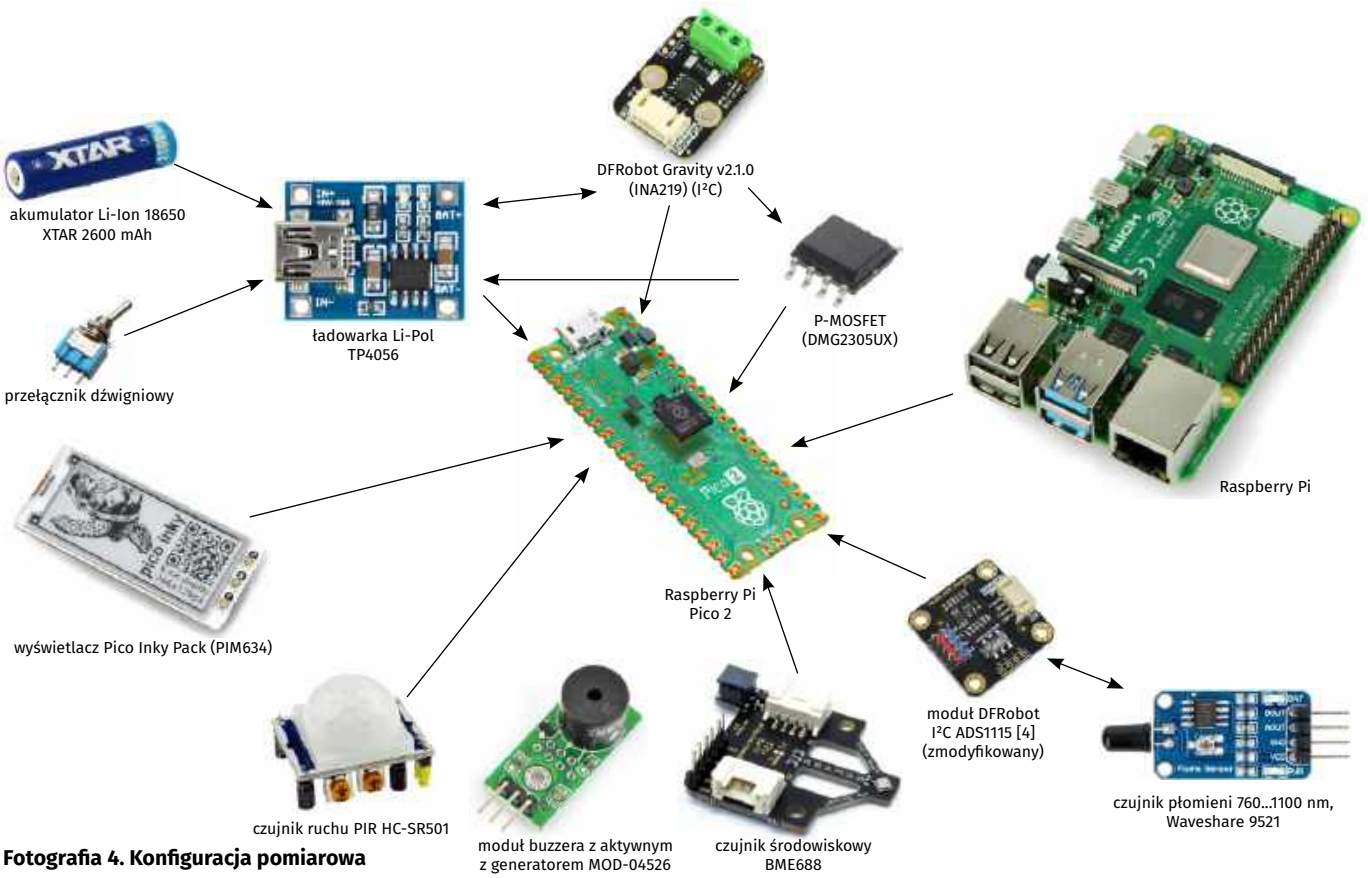
Konfiguracja pomiarowa (**fotografia 4**) zawiera następujące elementy:

- płytka Raspberry Pi Pico 2 [1],
- moduł DFRobot I²C ADS1115 [4] (zmodyfikowany),
- wyświetlacz Pico Inky Pack (PIM634),
- ekspander Pico Omnibus (PIM556),
- czujnik środowiskowy BME688 [10],
- czujnik ruchu PIR HC-SR501 [6],
- czujnik płomieni 760...1100 nm, Waveshare 9521 [5],
- DFRobot Gravity v2.1.0 (INA219) (I²C) [3],
- moduł buzzera z aktywnym z generatorem MOD-04526 [9],
- akumulator Li-Ion 18650 XTAR 2600 mAh [14],
- ładowarka Li-Pol TP4056 [13],
- tranzystor PMOS DMG2305UX.

Istnieje możliwość komunikacji z innym systemem komputerowym z zastosowaniem łącza UART. Przy zmianie płytki Raspberry Pi Pico 2 na wersję 2W jest także możliwe nawiązanie łączności bezprzewodowej poprzez Wi-Fi lub Bluetooth.

Przygotowanie środowiska programowego

Interpreter MicroPython firmy Pimoroni dla Pico 2 [7] zawiera dodatkowo sterowniki wielu czujników oraz wyświetlaczy, w tym Pico Inky Pack [8].



Fotografia 4. Konfiguracja pomiarowa

eprasa.pl 3b5392c828

1. Zmontuj elementy zgodnie z opisem.
2. Pobierz najnowszy interpreter MicroPythona w pliku *pico2--v0.0.12-pimoroni-micropython.uf2* ze strony firmy Pimoroni [7].
3. Trzymając wciśnięty biały przycisk BOOTSEL, podłącz Raspberry Pi Pico2 do komputera kablem Micro USB.
4. Skopiuj pobrany plik *.uf2* na Raspberry Pi Pico 2. Płytka jest widoczna jako dysk RP2350 w eksploratorze plików Windows.
5. W komputerze zainstaluj najnowszą wersję programu Thonny, a następnie uruchom go.
6. Kliknij ikonkę trzech linii w prawym dolnym rogu i wybierz „*Configure interpreter*”.
7. Ustaw typ interpretera na „*MicroPython* (*Raspberry Pi Pico*)”.
8. Z menu w prawym dolnym rogu wybierz *MicroPython* (*Raspberry Pi Pico*) · *Board CD @COMxx*.
9. Interpreter w polu Shell z wyświetli informację o wersji:
10. *MicroPython feature/psram-and-wifi, pico2 v0.0.12 on 2025-02-28; Raspberry Pi Pico2 with RP2350*
11. Pobierz folder *code* z kodem aplikacji z repozytorium https://ep.com.pl/files/kvz/13756-code.zip.
12. Otwórz w oknie *Files folder code*.
13. Kliknij prawym klawiszem myszy na plik *main.py* i wybierz *Upload to*.
14. Tak samo załaduj do płytki Pico 2 drugi plik z folderu.

Oprogramowanie

Oprogramowanie w języku Python realizuje kompleksowe zarządzanie prototypowym systemem bezpieczeństwa, który korzysta z zestawu czujników (gazu, płomienia, ruchu, temperatury, wilgotności, napięcia zasilania) oraz wyświetlacza e-Paper i sygnalizatora dźwiękowo-świetlnego (buzzery i diody LED). Program napisano w języku MicroPython, co ułatwia rozwój oraz implementację logiki sterującej.

Kod dzieli się logicznie na następujące sekcje:

- deklaracje bibliotek i pinów,
- definicje klas (INA219),
- inicjalizacja czujników i urządzeń,
- logika inicjalizacji i kalibracji (linia bazowa odczytu gazu),
- procedury odczytów z czujników i logika alarmowa,
- procedury wyświetlania danych,
- obsługa przycisków i czujnika PIR,
- pętla główna.

Na początku działania system przez 2 minuty zbiera dane z czujnika gazu BME688, aby wyznaczyć wartość bazową (*current_baseline*). Ta liczba służy jako punkt odniesienia do wykrywania anomalii (np. nagłego wzrostu stężenia gazów). Wartość *baseline* jest aktualizowana z wykorzystaniem bieżących odczytów. Wartość delta, czyli odchylenie od *baseline*, służy natomiast do oceny jakości powietrza – duże spadki (poniżej progu *bme_alarm*) sugerują obecność gazów (np. CO).

Wartość napięcia z czujnika płomienia odczytywana jest przez przetwornik ADS1115. Wartości poniżej *flame_alarm* są uznawane za potencjalny pożar.

Klasa INA219 służy do odczytu napięcia i prądu zasilania oraz obliczania poziomu naładowania akumulatora (w %).

Przyciski wyświetlacza umożliwiają natychmiastowe wykonanie funkcjonalności:

A – sprawdzenie warunków pożaru (manualny test),
B – odtwarzanie melodii błędu,
C – odświeżanie ekranu.

Obsługa przycisków wyświetlacza i czujnika ruchu jest realizowana w trybie przerwań (IRQ), co zapewnia natychmiastową reakcję systemu, bez potrzeby ciągłego odpytywania stanu klawiszy.

Buzzer odtwarza sekwencję dźwięków dla alarmu (*tune_fire*) lub błędu (*tune_error*).

Wartości poziomu gazu i płomienia odczytane z czujników, ich status, temperatura, stan naładowania akumulatora i informacje alarmowe (np. „FIRE”) są pokazywane na wyświetlaczu e-Paper oraz wysyłane poprzez łącze USB.

Pętla while działa jako główna pętla nieskończona. Cała logika systemu została zrealizowana w postaci obsługi czterech przerwań i timera.

Timer co 10 s aktywuje sekwencję realizującą następujące zadania:

- odczyt wartości napięcia z czujnika płomienia,
- odczyt wartości poziomu gazu, temperatury, wilgotności i ciśnienia z czujnika BME688,
- pomiar napięcia na akumulatorze,
- wyświetlenie wyników i wysłanie ich przez USB,
- detekcja możliwości wystąpienia pożaru na podstawie zmian odczytów parametrów.

Kod zawiera wiele zabezpieczeń: sprawdzanie statusu wewnętrznego czujnika BME688, obsługę wyjątków (try-except) w przypadku błędów komunikacji z czujnikami, zastosowanie wartości domyślnych przy braku danych inicjalizacji.

Opisany system stanowi jedynie prezentację koncepcji projektowej i nie wolno korzystać z całości ani żadnych fragmentów niniejszego opracowania w celu zabezpieczenia osób i/lub mienia przed skutkami pożaru. W tym celu należy stosować wyłącznie atestowane czujki i systemy zabezpieczeń.

Wnioski z pomiarów

Proces testowania miał na celu weryfikację poprawności działania, skuteczności detekcji oraz wydajności energetycznej prototypu. Testy przeprowadzono w sposób iteracyjny, począwszy od testów jednostkowych komponentów. Przeprowadzono serię eksperymentów pozwalających na sprawdzenie reakcji systemu na różne bodźce:

1. Detekcja ruchu
   - Przebieg: W pobliżu czujnika umieszczono rękę.
   - Wyniki: System natychmiast zasygnalizował ruch. W obecnej wersji reakcja została ograniczona do informacji tekstowej.
2. Detekcja otwartego płomienia
   - Przebieg: W pobliżu czujnika płomieni umieszczano źródło ognia (świeca).
   - Wyniki: System niezawodnie i natychmiastowo (<1 s) reagował na obecność płomienia w polu widzenia czujnika. Wartość odczytu z ADC spadała gwałtownie poniżej ustalonego progu, co skutkowało wyzwoleniem alarmu. Po usunięciu źródła płomienia odczyt powracał do wartości poprzedniej.
3. Detekcja dymu
   - Przebieg: W pobliżu czujnika BME688 umieszczono zapaloną trociczkę zapachową.
   - Wyniki: System niezawodnie i natychmiastowo reagował na obecność dymu. Po usunięciu źródła dymu odczyt bardzo wolno powracał do wartości bazowej.

Testy potwierdziły poprawność doboru czujnika oraz skuteczność działania logiki alarmowej.

Zapis przeprowadzonej próby pokazano na **listingu 1**. Po przeprowadzeniu detekcji urządzeń dołączonych do szyny I²C wykonano dwa dodatkowe pomiary czujnikiem BME688, jeden bezpośrednio po drugim. Jak widać na wydruku, pierwszy pomiar sygnalizował prawidłowe wykonanie pomiaru rezystancji (gazu), lecz przy nieprawidłowym działaniu grzejnika wewnętrznego. Uzyskana wartość pomiarowa jest błędna. Dopiero drugi pomiar jest całkowicie poprawny. W dalszym działaniu oprogramowania następne pomiary z tego czujnika są wykonywane podwójnie.

Zbieranie danych do ustalenia wartości bazowej jest realizowane z takim samym odstępem (co 10 s), jak podczas normalnej pracy. Typowo, po dłuższym okresie bez zasilania, rezystancja bez obecności dymu lub gazów jest bardzo niska i wynosi około 10 kΩ. Następnie

eprasa.pl 3b5392c828

```
MPY: soft reboot
I²C0 (SCL-PIN5 SDA-PIN4): Detected devices:
['0x45', '0x48', '0x77']
I²C0 Decimal address: [69, 72, 119]
23.84°C, 100689.12Pa, 66.11%, 931120.69 Ohm, Heater Status: Unstable, Gas valid: True
23.84°C, 100689.10Pa, 66.13%, 31045.36 Ohm, Heater Status: Stable, Gas valid: True
Gas baseline collection: 2min
1.00 23.86°C 100688.89Pa 66.21% 40583.39 Ohms Heater: Stable Gas_valid: True
2.00 23.86°C 100688.82Pa 65.78% 44849.34 Ohms Heater: Stable Gas_valid: True
3.00 23.87°C 100688.75Pa 65.65% 50127.28 Ohms Heater: Stable Gas_valid: True
4.00 23.87°C 100688.75Pa 65.56% 53556.48 Ohms Heater: Stable Gas_valid: True
5.00 23.88°C 100688.61Pa 65.95% 56574.59 Ohms Heater: Stable Gas_valid: True
6.00 23.88°C 100688.52Pa 65.61% 58918.30 Ohms Heater: Stable Gas_valid: True
7.00 23.89°C 100688.45Pa 65.50% 60850.96 Ohms Heater: Stable Gas_valid: True
8.00 23.89°C 100688.41Pa 65.37% 62591.69 Ohms Heater: Stable Gas_valid: True
9.00 23.90°C 100688.44Pa 65.20% 64532.39 Ohms Heater: Stable Gas_valid: True
10.00 23.91°C 100688.38Pa 65.28% 65523.42 Ohms Heater: Stable Gas_valid: True
11.00 23.92°C 100688.28Pa 65.32% 66753.59 Ohms Heater: Stable Gas_valid: True
12.00 23.92°C 100688.22Pa 65.07% 67226.89 Ohms Heater: Stable Gas_valid: True
Gas Baseline: 64580 Ohm
Gas: 67492.75 Baseline: 64608.95 Gas delta: 2912.93 FlameADC: 3241.35 FlameALARM: 2000.00 Temp: 23.93°C BAT: 98.00%
Gas: 67976.63 Baseline: 64642.63 Gas delta: 3367.68 FlameADC: 3240.47 FlameALARM: 2000.00 Temp: 23.94°C BAT: 98.00%
PIR movement detection
Gas: 73415.55 Baseline: 64730.36 Gas delta: 8772.92 FlameADC: 3253.60 FlameALARM: 2000.00 Temp: 23.95°C BAT: 97.90%
Gas: 78987.97 Baseline: 64872.93 Gas delta: 14257.61 FlameADC: 3247.97 FlameALARM: 2000.00 Temp: 23.96°C BAT: 97.90%
PIR movement detection
Gas: 89043.48 Baseline: 65114.64 Gas delta: 24170.54 FlameADC: 3203.97 FlameALARM: 2000.00 Temp: 23.97°C BAT: 97.81%
Gas: 84460.57 Baseline: 65308.10 Gas delta: 19345.93 FlameADC: 175.76 FlameALARM: 2000.00 Temp: 23.98°C BAT: 97.90%
 WYKRYTO POZAR! ROB ZDJECIE KAMERA
Gas: 81399.05 Baseline: 65469.01 Gas delta: 16090.95 FlameADC: 176.26 FlameALARM: 2000.00 Temp: 23.98°C BAT: 97.81%
 WYKRYTO POZAR! ROB ZDJECIE KAMERA
PIR movement detection
Gas: 80100.13 Baseline: 65615.32 Gas delta: 14631.11 FlameADC: 3259.72 FlameALARM: 2000.00 Temp: 23.99°C BAT: 98.10%
Gas: 90747.96 Baseline: 65866.65 Gas delta: 25132.64 FlameADC: 3219.22 FlameALARM: 2000.00 Temp: 24.00°C BAT: 97.81%
Gas: 5684.85 Baseline: 65806.47 Gas delta: -60181.80 FlameADC: 3217.47 FlameALARM: 2000.00 Temp: 24.02°C BAT: 97.81%
 WYKRYTO POZAR! ROB ZDJECIE KAMERA
Gas: 12703.45 Baseline: 65753.37 Gas delta: -53103.02 FlameADC: 3217.35 FlameALARM: 2000.00 Temp: 24.07°C BAT: 97.81%
 WYKRYTO POZAR! ROB ZDJECIE KAMERA
Gas: 19008.02 Baseline: 65706.63 Gas delta: -46745.35 FlameADC: 3217.60 FlameALARM: 2000.00 Temp: 24.12°C BAT: 98.10%
 WYKRYTO POZAR! ROB ZDJECIE KAMERA
Gas: 24672.32 Baseline: 65665.59 Gas delta: -41034.30 FlameADC: 3218.60 FlameALARM: 2000.00 Temp: 24.16°C BAT: 97.81%
 WYKRYTO POZAR! ROB ZDJECIE KAMERA
Gas: 29976.58 Baseline: 65629.91 Gas delta: -35689.02 FlameADC: 3218.10 FlameALARM: 2000.00 Temp: 24.19°C BAT: 98.10%
 WYKRYTO POZAR! ROB ZDJECIE KAMERA
Gas: 34678.95 Baseline: 65598.95 Gas delta: -30950.96 FlameADC: 3219.72 FlameALARM: 2000.00 Temp: 24.22°C BAT: 98.10%
 WYKRYTO POZAR! ROB ZDJECIE KAMERA
Gas: 39167.69 Baseline: 65572.52 Gas delta: -26431.27 FlameADC: 3218.10 FlameALARM: 2000.00 Temp: 24.24°C BAT: 97.90%
 WYKRYTO POZAR! ROB ZDJECIE KAMERA
Gas: 42866.71 Baseline: 65549.82 Gas delta: -22705.81 FlameADC: 3218.47 FlameALARM: 2000.00 Temp: 24.26°C BAT: 98.00%
 WYKRYTO POZAR! ROB ZDJECIE KAMERA
Gas: 46613.25 Baseline: 65530.88 Gas delta: -18936.57 FlameADC: 3218.85 FlameALARM: 2000.00 Temp: 24.27°C BAT: 97.90%
Gas: 51210.24 Baseline: 65516.56 Gas delta: -14320.64 FlameADC: 3219.47 FlameALARM: 2000.00 Temp: 24.28°C BAT: 98.10%
Gas: 54065.47 Baseline: 65505.11 Gas delta: -11451.09 FlameADC: 3216.85 FlameALARM: 2000.00 Temp: 24.29°C BAT: 97.90%
Gas: 56914.18 Baseline: 65496.52 Gas delta: -8590.93 FlameADC: 3215.35 FlameALARM: 2000.00 Temp: 24.30°C BAT: 97.90%
Gas: 58918.30 Baseline: 65489.95 Gas delta: -6578.23 FlameADC: 3215.97 FlameALARM: 2000.00 Temp: 24.30°C BAT: 97.81%
```

Listing 1. Wydruk próby testowej

rośnie i po kilkunastu/kilkudziesięciu minutach osiąga poziom powyżej 100 kΩ. Zjawisko to zostało pokazane w poprzednim artykule [16]. Jest to spory problem i wymaga dynamicznej adaptacji wartości progowej do tych zmian.

Pomiary zasilania

Do dynamicznego pomiaru prądu zasilania bardzo dobrze nadaje się zestaw Power Profiler Kit II (PPK2) firmy Nordic Semiconductor. Dokładny opis urządzenia można znaleźć w artykule „Profilowanie mocy z zastosowaniem Power Profiler Kit II” [15].

Zapis pomiaru zasilania przeprowadzonej próby pokazano na **rysunku 1**. W dolnym panelu widać stan wejść cyfrowych, przy czym sygnały 2 i 3 dotyczą szyny I²C, a sygnał 5 sygnalizuje działanie procedury uruchamianej przez timer.

Czujnik BME688 pobiera na początku pracy dosyć duży prąd (związany z uruchomieniem grzałki) podczas pomiaru gazu. Potem sensor nagrzewa się wewnętrznie i pobór prądu maleje. Przetwornica DC/DC płytki RPi Pico 2 reaguje na skokowe zwiększenie poboru prądu pikiem prądowym (do 368 mA) ze źródła zasilania. Przy pierwszym dołączeniu zasilania do płytki RPi Pico 2 ten impuls może osiągnąć wartość nawet 0,6 A.

Średni pobór prądu podczas próby wynosił 31 mA. Ta wartość jest podwyższona ze względu na działanie buzzera podczas alarmów (34 mA, 1,5 s). W trakcie normalnej pracy prąd zasilania wynosi średnio ok. 26 mA. Podczas działania pustej pętli (sleep) pobór wynosi ok. 25 mA, zatem wykonywanie pomiarów dodaje średnio tylko poniżej 2 mA. Pobór prądu w trakcie pomiaru gazu wynosi ok. 40 mA, czyli dodaje tylko 15 mA do wartości bazowej.



Rysunek 1. Pomiar zasilania podczas próby testowej

eprasa.pl 3b5392c828

Problemem do rozwiązania jest duży pobór prądu w pustej pętli. Rozwiązaniem może być wprowadzenie procesora w stan obniżonego poboru mocy. Jednak obecna wersja oprogramowania w języku MicroPython nie udostępnia poprawnej procedury uśpienia.

Podsumowanie

Opisany układ jest próbą oceny przydatności tanich i dostępnych czujników do wykrywania zagrożeń pożarowych. Uzupełnienie dobrego czujnika parametrów środowiska BME688 o detektor płomieni (IRED) znacząco zwiększyło możliwość wykrywania różnych cech pożaru. Czujnik ruchu (PIR) umożliwia ponadto wykrywanie obecności osób w zagrożonym obszarze.

Zastosowany do badań interwał pomiarowy równy 10 s stanowi złoty środek, realizując cel projektu, jakim jest stworzenie autonomicznego i skutecznego, a jednocześnie energooszczędnego systemu bezpieczeństwa.

Istnieje możliwość rozszerzenia wykrywania zjawisk związanych z pożarem poprzez monitorowanie zmian temperatury i ciśnienia.

Układ wymaga przeprowadzenia dalszych badań i ustalenia np. optymalnych wartości progów detekcji, dodania monitorowania obecności osób itd. Należy też zastosować usypianie procesora. Wydaje się to możliwe po zintegrowaniu z obecnym oprogramowaniem firmowej biblioteki Powman (w języku C).

Opis i realizacja oprogramowania bazuje na projekcie „Autonomiczny układ wykrywania pożaru" wykonanego w ramach przedmiotu „Systemy Wbudowane i Oprogramowanie" na kierunku Internet Rzeczy Wydziału Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej przez zespół w składzie: Amelia Malaszewska, Mikołaj Piotrowski, Mikołaj Bednarczyk i Jakub Kander.

Henryk A. Kowalski
Instytut Informatyki
Politechnika Warszawska

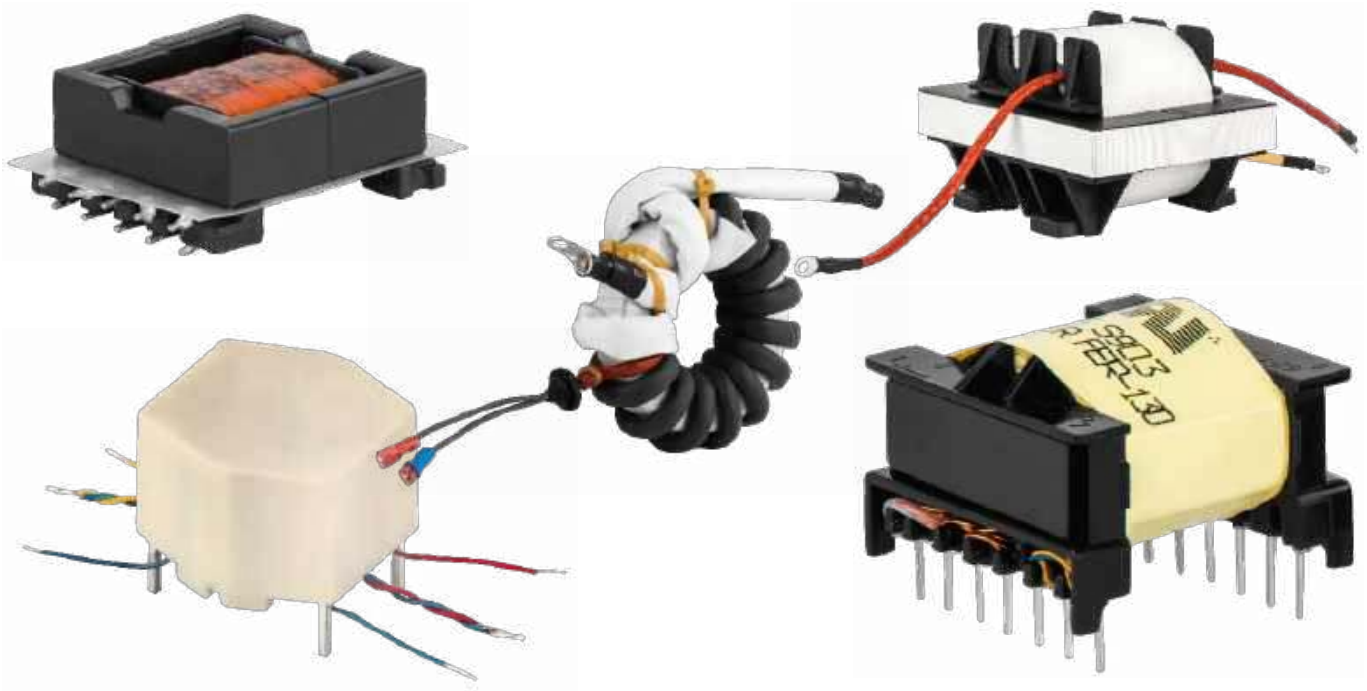
Literatura:

[1] Raspberry Pi Pico 2, https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-pico-2/
[2] RP2350 Datasheet, 2024-10-16, Raspberry Pi, https://datasheets.raspberry-pi.com/rp2350/rp2350-datasheet.pdf
[3] Gravity: I²C ADS1115 16-Bit ADC Module, DFR0553, DFRobot, https://www.dfrobot.com/product-1730.html
[4] ADS1115_mpy, A MicroPython module for the ADS1115 ADC. Wolfgang (Wolle) Ewald, https://github.com/wollewald/ADS1115_mpy
[5] Flame Sensor, Waveshare 9521, https://www.waveshare.com/product/Flame-Sensor.htm
[6] Czujnik PIR HC-SR501 – detektor ruchu, Kamami, https://kamami.pl/czujniki-ruchu/200743-modhc-sr501-5906623440597.html
[7] Pimoroni Pico MicroPython for RP2350/Pico2 boards, https://github.com/pimoroni/pimoroni-pico-rp2350
[8] Pico Graphics, Pimoroni, https://github.com/pimoroni/pimoroni-pico/tree/main/micropython/modules/picographics
[9] Moduł z buzzerem aktywnym z generatorem – zielony, MOD-04526, Botland, https://botland.com.pl/buzzery-generatory-dzwieku/4526-modul-z-buzzerem-aktywnym-z-generatorem-zielony-5904422300654.html
[10] Bosch gas sensor BME688, https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/gas-sensors/bme688/#documents
[11] Czujniki gazu i dymu, Henryk A. Kowalski, EP 6/2025, https://ep.com.pl/projekty/moduly-w-aplikacjach/16536-internet-rzeczy-w-pomiarach-srodowiskowych-18-czujniki-gazu-i-dymu
[12] Gravity: I²C Digital Wattmeter, SEN0291, DFRobot, https://www.dfrobot.com/product-1827.html
[13] Moduł ładowarki akumulatora Li-ion z układem TP4056 i złączem microUSB, Kamami, https://kamami.pl/ladowarki-li-po-moduly/562280-modul-ladowarki-akumulatora-li-ion-z-ukladem-tp4056-i-zlaczem-microusb-5906623455461.html
[14] Akumulator Li-Ion Xtar 18650 3,7 V 2600 mAh z zabezpieczeniem, Kamami, https://kamami.pl/akumulatory/579126-akumulator-li-ion-xtar-18650-37v-2600mah-z-zabezpieczeniem-6952918340263.html
[15] Profilowanie mocy z zastosowaniem Power Profiler Kit II, Henryk A. Kowalski, EP 5/2022, https://ep.com.pl/kursy/15267-systemy-dla-internetu-rzeczy-60-profilowanie-mocy-z-zastosowaniem-power-profiler-kit-ii
[16] Detekcja pożaru z płytką Raspberry Pi Pico 2 w języku Python, Henryk A. Kowalski, EP 4/2025, https://ep.com.pl/projekty/moduly-w-aplikacjach/16496-internet-rzeczy-w-pomiarach-srodowiskowych-16-detekcja-pozaru-z-plytka-raspberry-pi-pico-2-w-jezyku-python

REKLAMA



eprasa.pl 3b5392c828



Transformatory impulsowe z systemem izolacji UL

W porównaniu z klasycznymi zasilaczami liniowymi, zasilacze impulsowe (SMPS) wyróżniają się większą sprawnością, mniejszymi wymiarami i wagą, szerszym zakresem dopuszczalnych napięć wejściowych oraz lepszą stabilizacją napięcia wyjściowego, co ma szczególne znaczenie przy współpracy z urządzeniami elektronicznymi o ściśle określonym przedziale dopuszczalnych napięć zasilających. Ich konstrukcja jest jednak zdecydowanie bardziej złożona od klasycznych odpowiedników. Choć w sieci bez trudu można znaleźć liczne noty aplikacyjne scalonych sterowników SMPS (wraz z praktycznymi wskazówkami dotyczącymi projektowania układów impulsowych), to już zdobycie gotowego, katalogowego transformatora do takiego zasilacza jest zadaniem bardzo trudnym, a nierzadko wręcz niemożliwym. Właśnie dlatego niestandardowe rozwiązania są niezbędne w przypadku transformatorów impulsowych, zwłaszcza jeżeli gra toczy się o spełnienie szczególnych wymagań projektowych.

Transformatory impulsowe pracują przy **znacznie wyższych częstotliwościach** (zwykle kHz lub MHz) niż tradycyjne transformatory sieciowe. Praca w wyższych pasmach generuje problemy związane z zakłóceniami elektromagnetycznymi, co z kolei wymaga odpowiedniej konstrukcji transformatora pozwalającej na eliminację emisji RFI. A tego można dokonać poprzez redukcję indukcyjności rozproszenia i dobór odpowiedniej wielkości rdzenia ferrytowego, co z kolei przekłada się na odpowiednie wypełnienie warstw uzwojeń oraz okna karkasu, odpowiedni podział uzwojeń (np. przez zastosowanie tzw. kanapki) lub też ekranów (zarówno wewnętrznych, jak i zewnętrznych).

Więcej informacji:
Feryster
tel. 68 360 00 77
sales@feryster.pl
www.feryster.pl

Wymagania dotyczące zakresu **napięcia wejściowego, napięć wyjściowych oraz prądów** są bardzo zróżnicowane i zależne od zasilanych urządzeń. Niestandardowe wykonania transformatorów umożliwiają dostosowanie tych parametrów do potrzeb klientów.

W zasilaczach impulsowych stosowane są ponadto **różne topologie** (np. flyback, forward, push-pull itd.), a te mają unikalne wymagania dotyczące konstrukcji transformatorów, np. poprzez zastosowanie odpowiedniej szczeliny (lub jej brak) w kolumnie środkowej rdzenia ferrytowego.

To jednak dopiero początek listy szczególnych zagadnień, z którymi mierzą się projektanci zasilaczy impulsowych – bardzo ważne są bowiem także **wymagania dotyczące izolacji i bezpieczeństwa**. Jest to jeden z najistotniejszych aspektów w indywidualnym projektowaniu transformatorów. Elementy te muszą zwykle zapewniać izolację elektryczną między wejściem i wyjściem. Rozwiązania niestandardowe pozwalają spełnić niezbędne normy dotyczące bezpieczeństwa elektrycznego, różniące się w zależności od docelowego zastosowania zasilacza impulsowego.

Jednym z wyzwań stojących przed konstruktorem elektronikiem jest **optymalizacja rozmiarów transformatora** (czy też całego zasilacza) poprzez dostosowanie go do dostępnego miejsca w obudowie lub urządzeniu. Mogą to być zarówno ograniczenia co do dostępnego miejsca na PCB, jak i maksymalnej wysokości. Producenci rdzeni oraz karkasów oferują wiele opcji pozwalających rozwiązać problemy wymiarowe – istnieje możliwość zaprojektowania transformatorów na karkasach stojących, leżących czy też o niskoprofilowych, np. typu EFD (Economical Flat Design).

eprasa.pl 3b5392c828

Warto dodać, że niestandardowe projekty pozwalają w znacznym stopniu zoptymalizować konstrukcję transformatora pod kątem produkcji, dzięki czemu **koszt produkcji** takiego transformatora jest znacznie niższy.

Podsumowując, należy zauważyć, że gotowe projekty transformatorów mogą spełnić wymagania klientów tylko w niektórych przypadkach – ze względu na różne częstotliwości pracy, moce, topologie i wymagane izolacje transformatory impulsowe wymagają niestandardowych projektów w celu uzyskania optymalnej sprawności.

Projektowanie zasilacza z nietypowym transformatorem. Od czego zacząć?

Wystarczy wysłać zapytanie o projekt transformatora impulsowego do firmy Feryster. Dział konstrukcyjny przygotuje wstępny projekt transformatora do akceptacji Klienta. Jedyne, czego potrzebujemy, to następujące dane:

- zakres napięcia wejściowego,
- topologia i częstotliwość pracy,
- wybrany sterownik zasilacza impulsowego,
- napięcia oraz prądy wyjściowe,
- wymagania odnośnie testu wysokiego napięcia,
- norma bezpieczeństwa, którą transformator musi spełniać.

Nasi Klienci mogą liczyć na pełne wsparcie. Począwszy od projektu (bezpłatnego), wykonania próbek oraz ich walidacji, aż po produkcję pilotażową oraz seryjną.

W obawie przed wysoką ceną projektów czy też produkcji pod zamówienie, Klienci często szukają transformatorów katalogowych. Tym, co wyróżnia firmę Feryster wśród konkurencji, jest bezpłatne opracowanie projektu, minimum zamówieniowe dla partii produkcyjnych na poziomie 50 szt. (za dopłatą możliwe są nawet mniejsze serie) oraz krótkie terminy realizacji. Produkcja odbywa się w Polsce, a wszystkie transformatory przechodzą stuprocentową kontrolę jakości, dzięki czemu nasi Klienci mogą liczyć na wysoką jakość dostarczanych przez Feryster wyrobów.

FERYSTER – certyfikowany przez UL dostawca transformatorów

Jednym z atrybutów jakości oferowanych przez Feryster produktów jest ich wysoka niezawodność. Istotnym czynnikiem, mającym wpływ zarówno na niezawodność, jak i bezpieczeństwo użytkownika, jest temperatura pracy danego urządzenia. Trudne warunki termiczne mogą powodować wzajemne reakcje chemiczne zastosowanych materiałów izolacyjnych, co – w połączeniu z przyspieszonym efektem starzenia – może doprowadzić do osłabienia właściwości izolacyjnych tychże materiałów i uszkodzenia elementu, a nawet zagrożenia bezpieczeństwa użytkowników. Dlatego też Feryster wdrożył do swojej produkcji dwa systemy izolacji, zgodne z UL 1446: klasy B (130°C) oraz klasy F (155°C). Systemy te składają się z listy określonych komponentów izolacyjnych, które zostały poddane badaniu przez UL na zgodność chemiczną przy długotrwałych narażeniach na wysokie temperatury pracy. Wyroby oznaczane przez Feryster, odpowiednio, FER-130 oraz FER-155 są zgodne z wyżej wymienionymi systemami izolacji.

Systemy te zostały oficjalnie uznane w pliku UL o numerze E481059 (OBJY2). Nasi Klienci już na wczesnym etapie projektowania mogą zaznaczyć, że potrzebują transformatora spełniającego system izolacji UL, a dział konstrukcyjny Feryster dobierze odpowiednie materiały spełniające wymogi wspomnianego standardu branżowego.

Zapraszamy do współpracy.

Jacek Sieński

REKLAMA



eprasa.pl 3b5392c828



Transformatory do różnych aplikacji

Pomimo upływu lat, w niektórych zastosowaniach transformatory wciąż są nie do zastąpienia. Czasem możemy pójść na skróty i zrezygnować z nich w niektórych typowych aplikacjach. Które z podzespołów są jednak transformatorami, choć tak nie wyglądają? Jak zrobić transformator bez drutu? I dlaczego, mimo ich ograniczeń, powinniśmy je doceniać? Zapraszam do lektury październikowej odsłony „Elektroniki w Praktyce”!

Osobiście nie lubię transformatorów i staram się ich unikać, jak tylko można. W porównaniu z pozostałymi podzespołami elektronicznymi, zwłaszcza kiedy projektuje się PCB zawierającą transformator, są one duże, ciężkie i „niezgrabne”. Trzeba przemyśleć dodatkowe mocowanie płytki w celu jej usztywnienia – tak duży element z reguły determinuje bowiem cały układ płytki. Pół biedy, kiedy jest to transformator do druku, zalany żywicą i z wygodnymi wyprowadzeniami lutowniczymi, lecz jeżeli jest to pierścień ferrytowy z luźno zwisającymi, łamliwymi drutami miedzianymi… Brr, makabra – zwłaszcza w produkcji seryjnej.

Współczesna elektronika nieco spycha opisywane elementy na margines. Przetwornice impulsowe stają się już na tyle doskonałe, że transformatory w roli konwerterów napięcia nie są już potrzebne, choć nie zawsze da się je tak łatwo zastąpić. Ponadto miniaturyzacja nie może objąć transformatorów w tak znaczącym stopniu, jak ma to miejsce w przypadku innych gałęzi elektroniki, zwłaszcza półprzewodników.

Niestety, od wielu transformatorów nie da się całkowicie uciec. Ich niepodważalna cecha, jaką jest zapewnienie izolacji galwanicznej – zdolnej do wytrzymania różnic potencjałów rzędu tysięcy woltów przy bardzo wysokiej rezystancji izolacji – to coś, czego nie da żaden tranzystor czy wzmacniacz operacyjny. Można to obejść na kilka sposobów, lecz nadal kluczowe pozostanie zapewnienie sprzężenia magnetycznego. To ono jest podstawą funkcjonowania każdego transformatora i umożliwia uzyskanie różnych właściwości, nieosiągalnych innymi metodami, na przykład konwersji napięcia przy bardzo niskich stratach mocy albo dopasowania impedancji. Warto więc znać te pożyteczne podzespoły i umieć je stosować tam, gdzie są niezbędne, gdyż – tak, jak wspominałem – w niektórych przypadkach nie da się z nich zrezygnować.

Transformatory sieciowe

Ten najpopularniejszy typ transformatora poznają już dzieci w szkołach. Mowa o transformatorze w takim wydaniu, jakie powstało jeszcze w XIX wieku i zrewolucjonizowało elektrotechnikę. Odizolowane od siebie uzwojenia, nawinięte na rdzeń (wykonany z odpowiedniej stali) i od niego również odizolowane. Do jednego z uzwojeń podłączone jest źródło napięcia sinusoidalnego o zerowej składowej stałej, co powoduje indukowanie się napięcia w pozostałych uzwojeniach. Dobra, koniec tego opisu, przecież każdy elektronik go zna!

Transformatory małej mocy (do kilkudziesięciu woltoamperów) mogą być zalane żywicą i mieć formę eleganckiej,



Fotografia 1. Transformator sieciowy do druku z dodatkowymi uchwytami [1]

eprasa.pl 3b5392c828

prostopadłościennej kostki z nóżkami gotowymi do wlutowania w płytkę drukowaną. Małe transformatory trzymają się na samych wyprowadzeniach, zaś te większe – jak na **fotografii 1** – mają dodatkowe uchwyty służące do przykręcenia do laminatu. Z własnego doświadczenia mówię szczerze, że nie warto pomijać przykręcenia tychże uchwytów do płytki (a jeszcze lepiej, również do obudowy), gdyż producenci wcale nie dają ich bez przyczyny. W jednym moim urządzeniu doszło do wyrwania wyprowadzeń transformatora z karkasu pod wpływem wstrząsu (nie wiem, jak silnego) podczas transportu przesyłki. Oczywiście skala zniszczeń w obudowie była znaczna, bo taki niemal kilogramowy „klocek" był w niej przerzucany prawdopodobnie przez cały czas trwania dostawy.

Wniosek jest więc prosty: jeżeli coś ma uchwyty i jest ciężkie, lepiej tego faktu nie bagatelizować. Pod tak spore transformatory warto ponadto stosować laminat o grubości 2 mm lub większej, gdyż tak duża masa ma naprawdę spory potencjał w zakresie odkształcenia laminatu szklano-epoksydowego, co może prowadzić do pęknięć ścieżek i spoin lutowniczych SMD – zwłaszcza tych wykonanych w technologii bezołowiowej.

Z transformatorami do druku jest związany jeszcze jeden parametr – wspólny dla wszystkich transformatorów sieciowych, ale w tym wypadku (bardzo często) znaczący. Mam na myśli prąd jałowy uzwojenia pierwotnego. To prąd, który transformator pobiera cały czas i przeznacza na straty w postaci ciepła. Piszę o tym nieprzypadkowo, bowiem to właśnie małe transformatory są często używane w urządzeniach zasilanych z sieci przez cały czas, jak na przykład centralki alarmowe czy sterowniki bram garażowych. O ile nikt nie kłóci się z tym, że „duże" transformatory pobierają wysoki prąd jałowy, dlatego warto je wyłączać, kiedy nie są potrzebne, o tyle w przypadku „małych" transformatorów to już nie jest takie oczywiste. Tymczasem w przypadku transformatorów niektórych znanych marek temperatura obudowy w stanie spoczynku może sięgać 50°C! I nie dotyczy to jednostkowych egzemplarzy, które mogły być po prostu uszkodzone, ale całych serii urządzeń.

Nagrzewanie jest zjawiskiem niepożądanym z dwóch względów. Po pierwsze podnosi temperaturę w obudowie (niekiedy ciasno upakowanej), co wpływa niekorzystnie chociażby na kondensatory elektrolityczne, które przez to wysychają szybciej. Wyższa temperatura zmienia również punkt pracy elementów aktywnych. Po drugie taka pracująca bezustannie *grzałka* to zwyczajne marnotrawstwo energii elektrycznej. Dlatego, w przypadku stosowania transformatorów o typowym układzie wyprowadzeń, warto przetestować wyroby różnych producentów, aby wybrać taki model, który będzie grzał się w jak najmniejszym stopniu.

Większe transformatory, zarówno z rdzeniem toroidalnym, jak i kształtkowym – które żadnym sposobem nie mieszczą się na płytce – wymagają niekiedy odpowiednich urządzeń rozruchowych, zwanych potocznie *soft-startami*. Ich zadaniem jest ograniczenie prądu rozruchowego w momencie włączania zasilania. Bez użycia *soft-startów* konieczne jest zastosowanie bezpiecznika na prąd znacznie wyższy niż wynikający z nominalnego poboru mocy przez zasilane urządzenie. W skrajnych sytuacjach uruchamianie transformatora (zwłaszcza toroidalnego) bez *soft-startu* grozi zadziałaniem zabezpieczeń w tablicy rozdzielczej budynku, o wypalaniu styków przełącznika nie wspominając.



Fotografia 2. Prosty soft-start do urządzenia sieciowego [2]

Przykład takiego urządzenia znajduje się na **fotografii 2** – w praktyce może ono być wykonane na różne sposoby, jednak najprostszy *soft-start* do transformatorów sieciowych składa się z rezystorów dużej mocy, które po chwili są bocznikowane załączającymi się stykami przekaźnika. W ten sposób uzyskuje się wstępne podmagnesowanie rdzenia, a dopiero później uzwojenie pierwotne załączane jest bezpośrednio do sieci.

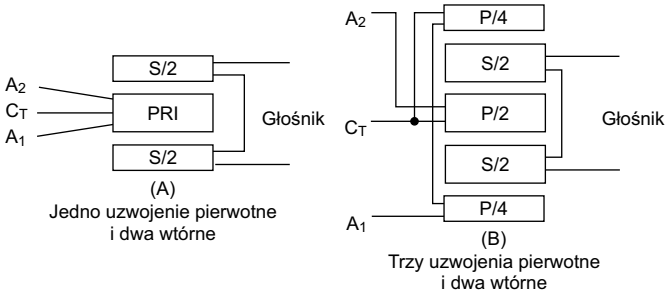
Transformatory głośnikowe

Czytelnicy, których urządzenia lampowe zupełnie nie interesują, mogą pominąć tę część opisu, choć mogą tego później żałować.

We współczesnych wzmacniaczach mocy nie znajdziemy już transformatorów głośnikowych, co najwyżej dławiki będące częściami składowymi filtrów LC wzmacniaczy w klasie D lub pochodnej. Z jednej strony można byłoby powiedzieć: to dobrze. Były ciężkie, drogie i wprowadzały masę ograniczeń, głównie pod względem pasma przenoszenia układu i jego odpowiedzi impulsowej. Nawet wczesne wzmacniacze tranzystorowe wymagały dopasowania impedancji, co wiązało się z koniecznością zastosowania transformatora wyjściowego.

Pod względem budowy transformator głośnikowy niewiele różni się od sieciowego. To, co warto w nim zastosować, to cieńsze blachy, poprawiające przenoszenie niskich tonów (poprzez zmniejszenie strat w rdzeniu). Z tym jednak bywa problem, ponieważ liczba producentów blach transformatorowych nie rośnie – rdzenie robi się więc z tego, co jest dostępne na rynku. Transformatory lepsze niż najzwyklejsze, „podłe" *sieciowce* mają sekcjonowane uzwojenia – oznacza to, że naprzemiennie są nawijane części uzwojenia pierwotnego i wtórnego (**rysunek 1**) – po to, aby zwiększyć bezpośrednie sprzężenie między nimi, co z kolei ma pozytywny wpływ na przenoszenie wysokich tonów. Sekcjonować można również uzwojenia na transformatorach toroidalnych.

Co ciekawe, na portalach sprzedażowych można znaleźć gotowe transformatory głośnikowe produkcji dalekowschodniej. Są to wyroby przeznaczone do współpracy z typowymi układami lampowymi, opartymi np. na dwóch EL34 w układzie przeciwsobnym czy czterech KT88 w takiej samej konfiguracji. Cena omawianych transformatorów jest wyjątkowo atrakcyjna, zaś jak wyglądają parametry? W porównaniu ze stereotypową obiegową opinią o *chińszczyźnie* (w wielu dziedzinach już bardzo niesłuszną), wszystkie testowane przeze mnie transformatory trzymały zakładane parametry, a nawet były od nich lepsze. Wiele osób zarzuca tym wyrobom asymetrię rezystancji połówek uzwojenia pierwotnego (mowa o transformatorach do układów push-pull) – pragnę w tym miejscu zaznaczyć, że nawijanie bifilarne, gwarantujące równość rezystancji, stosuje niewielka liczba fabryk na świecie, zaś wynikająca z tej asymetrii różnica impedancji widzianych przez anody



Rysunek 1. Układ uzwojeń na karkasie z dwóch wersjach sekcjonowania [3]

eprasa.pl 3b5392c828



Fotografia 3. Transformator sygnałowy z wieloma odczepami do regulacji głośności [4]



Fotografia 4. Układ regulacji głośności z transformatorem obsługiwanym przez przekaźniki [5]

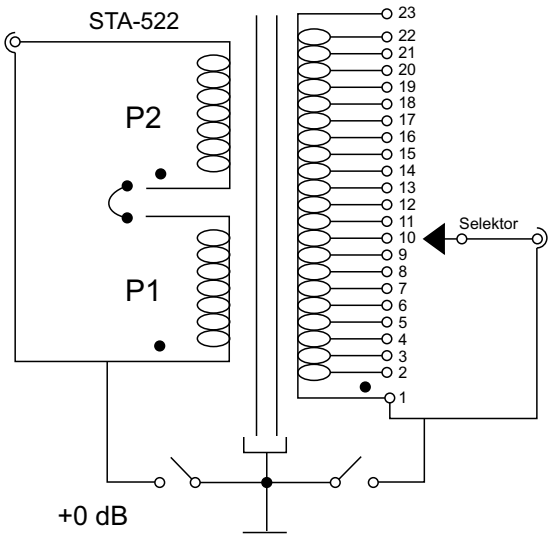
obu lamp jest naprawdę pomijalna, zarówno w pomiarach, jak i w odsłuchach.

Pomimo swoich wad, to transformatory nadają wzmacniaczom lampowym ich charakterystyczne brzmienie. Nie chcę tutaj zagłębiać się w rozważania dotyczące samego brzmienia, bo to kwestia subiektywna i będąca przedmiotem wielu sporów, chcę jedynie zaznaczyć, iż od transformatora zależy naprawdę dużo w kwestii ostatecznej jakości wzmacniacza.

Transformatory sygnałowe

Sygna… co? Kiedyś takie twory były stosowane między poszczególnymi stopniami wzmacniaczy małej częstotliwości, głównie w erze wczesnotranzystorowej. Bardzo szybko zostały jednak zastąpione przez sprzężenia pojemnościowe i bezpośrednie. Dzisiaj transformatory sygnałowe (przykładowy można zobaczyć na **fotografii 3**) są stosowane do regulacji głośności. Mają wiele odczepów, które przełącza się, dokonując odpowiedniego zredukowania (lub nawet zwiększenia o kilka decybeli) amplitudy sygnału, jak na **rysunku 2**. Służą do tego ręczne wybieraki lub układy przekaźnikowe, choćby taki, jak na **fotografii 4**.

W tej roli częściej spotkamy autotransformatory (jako prostsze w wykonaniu), ale nie tylko. Zaletą zastosowania transformatora jest możliwość uzyskania sygnału symetrycznego (zbalansowanego) z asymetrycznego (niezbalansowanego). Owszem, to samo może wykonać nieskomplikowany obwód bazujący na wzmacniaczu operacyjnym, lecz mówimy tu o układach, w których



Rysunek 2. Schemat podłączenia transformatora do regulacji głośności [4]

półprzewodników w torze sygnałowym i tak nie ma zbyt wiele, bądź nie ma ich wcale. Poza tym, stosując transformator możemy rozdzielić masy sygnałowe i przerwać pętlę masy w systemie audio.

Rdzenie transformatorów mocy z reguły są wykonywane z typowej blachy prądnicowej, jednak w przypadku sygnałowych – z uwagi na fakt, że i tak stanowią swego rodzaju fanaberię – sięga się po ferromagnetyki lepszej klasy, jak chociażby permalloy czy supermalloy. Takie transformatory są z reguły zaimpregnowane próżniowo w celu ochrony przed wilgocią i zredukowania magnetostrykcji uzwojeń oraz blach rdzenia. Ponadto często spotyka się je zapakowane w estetyczną puszkę, aby stanowiły ozdobę urządzenia.

Niektórzy cenią sobie transformatory w roli przyrządu do regulacji głośności, dla mnie to kwestia gustu – niemniej jednak, aby takowy pracował poprawnie, trzeba zadbać o zerową składową stałą napięcia podawanego na taki podzespół. W przeciwnym razie podmagnesowanie rdzenia prądem stałym nasyci rdzeń, co przełoży się na drastyczne pogorszenie parametrów. Nastąpi wzrost zniekształceń i zawężenie pasma przenoszenia od dołu. Brzmi to po prostu tragicznie – a uprzedzam o tym, bo wiem, że niektóre źródła sygnału mogą dawać na wyjściu składową stałą.

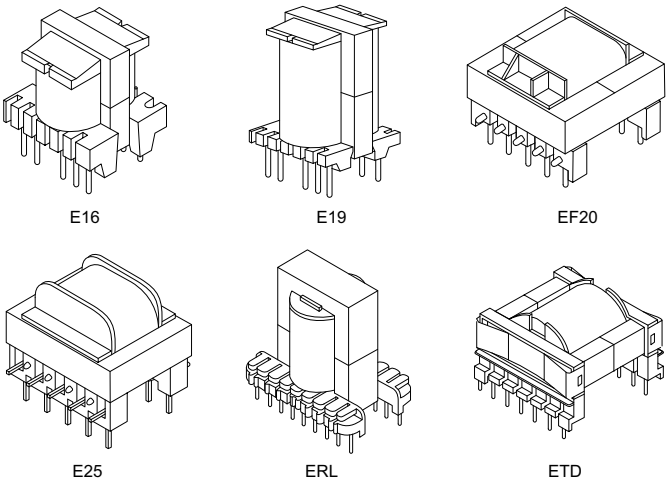
Transformatory impulsowe

Tytułowe komponenty to zminiaturyzowana wersja transformatorów sieciowych, która mogła zostać pomniejszona dzięki zastosowaniu rdzenia o znacznie większej przenikalności niż w przypadku blach. Mają one też znacznie większą rezystywność niż blachy, bowiem ferryty są spiekiem bardzo drobnych ziaren, zatem straty w postaci prądów wirowych będą mniejsze niż u ich *żelaznych* kuzynów – i to jest główna przyczyna, dla której lubimy ferryty. Dzięki wysokiej przenikalności można było zredukować liczbę zwojów, a to z kolei umożliwiło miniaturyzację zasilaczy. Wystarczy tylko kawałek elektroniki, która prąd wejściowy wyprostuje, odfiltruje i „posieka" z częstotliwością kilkudziesięciu bądź kilkuset tysięcy herców. Transformatory impulsowe są małe, lekkie, wygodne i zapewniają izolację galwaniczną od sieci.

Gdzie jest haczyk? Nie trzeba go szukać daleko: to niska wartość indukcji nasycenia. To dlatego transformatory impulsowe z rdzeniami ferrytowymi nie nadają się do pracy z niskimi częstotliwościami, o składowej stałej nawet nie wspominając. Owszem, problem składowej stałej w niektórych topologiach przetwornic rozwiązuje się poprzez dodanie szczeliny w rdzeniu, jednak przy niskich częstotliwościach te transformatory po prostu nie działają.

Transformatory impulsowe o klasycznej budowie (**rysunek 3**) z reguły zamawia się pod konkretną aplikację, choć jest to uciążliwe, bowiem trzeba umieć taki transformator zaprojektować – a zadanie

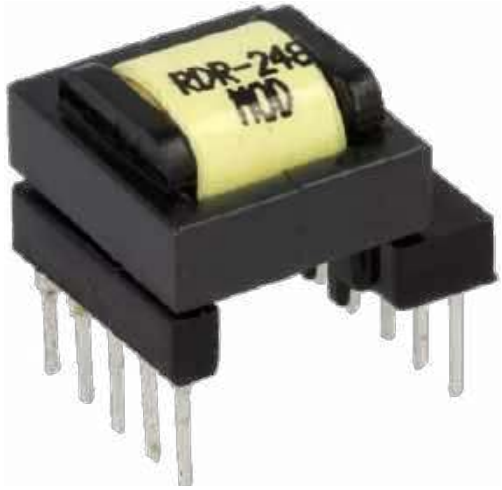
eprasa.pl 3b5392c828



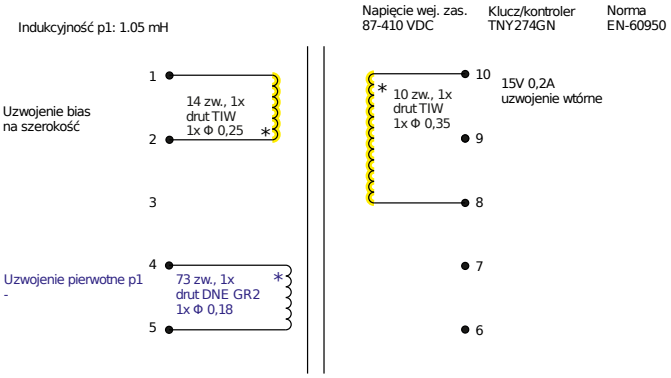
Rysunek 3. Typowe rdzenie transformatorów ferrytowych [6]

takie wcale nie jest proste. Czy musimy więc stosować gotowe moduły przetwornic i nic nie da się zrobić? A jeżeli taki gotowy moduł ma jakieś niekorzystne dla nas cechy, na przykład wymiary, to co wtedy?

Między innymi dla takich jak ja, którzy od czasu do czasu mają potrzebę wstawienia do swojego układu przetwornicy impulsowej, ale bez zbytniego *wgryzania się* w tajniki parametrów rdzeni, uzwojeń, izolacji, reluktancji i masy innych spraw okołomagnetycznych, powstały gotowe transformatory impulsowe ogólnego przeznaczenia. Nie mają one wprawdzie oszałamiających parametrów, ale można kupić kilkadziesiąt czy kilkaset sztuk o powtarzalnych parametrach, zaprojektować typowy sterownik według jego noty katalogowej i gotowe. Coś, jak elektronika dla nieelektroników, tyle że to bardziej można nazwać zasilaczem dla *niezasilaczowców*.



Fotografia 5. Transformator impulsowy TI-E16-1438 marki Feryster [7]

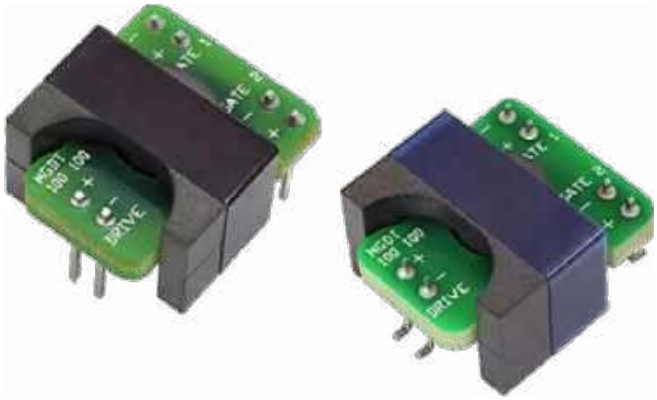


Rysunek 4. Najpotrzebniejsze informacje na temat wybranego transformatora [8]

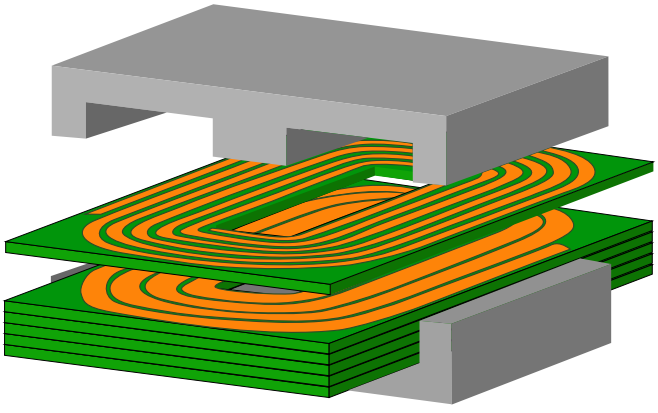
Kilku znanych producentów ma wspomniane komponenty w swojej ofercie, a ponieważ lubię wspierać krajowy biznes, to zdarza mi się korzystać z wyrobów firmy Feryster. Jak to wygląda w praktyce? Wyszukuję transformator o odpowiedniej mocy i (choćby zgrubnie) pasującym napięciu wyjściowym. Niech będzie to malutki TI-E16-1438, który można zobaczyć na **fotografii 5**. Ma moc 2 W i można z niego zrobić zasilacz sieciowy o napięciu wyjściowym 15 V. W jego nocie katalogowej znajdę wszystko, co jest mi potrzebne do zaprojektowania kompletnej przetwornicy. Poza rzeczami oczywistymi, jak footprint, producent podaje mi, niczym na tacy, liczbę zwojów każdego uzwojenia i grubość użytych drutów, indukcyjność uzwojenia pierwotnego, a nawet proponowany kontroler (**rysunek 4**). Nie muszę się przejmować częstotliwością pracy, doborem topologii przetwornicy, rodzajem sprzężenia zwrotnego – transformator został dobrany do kontrolera, a ten z kolei determinuje tego typu cechy układowe. W ten sposób zaprojektowałem już kilka układów, które musiałem mocno zminiaturyzować, więc nie mogłem korzystać z gotowych modułów zasilaczy impulsowych. Urządzenia te przeszły pełny proces certyfikacji i są z powodzeniem produkowane od kilku lat w setkach sztuk rocznie.

Ciekawą odmianą transformatorów impulsowych są transformatory planarne – **fotografia 6**. Te z fotografii służą do sterowania bramek tranzystorów MOSFET lub IGBT. W tego typu transformatorach uzwojenia są wykonywane w postaci ścieżek na płytce – uzwojenie pierwotne jest wówczas umieszczone po przeciwnej stronie laminatu, co uzwojenie pierwotne. Całość jest zamknięta ferrytowymi „okładkami", które stanowią drogę dla pola magnetycznego, jak na **rysunku 5**. Można też mieć wiele uzwojeń, z których każde jest na innej warstwie typowego laminatu, najczęściej szklano-epoksydowego.

Transformatory planarne są interesujące z dwóch powodów. Po pierwsze, można je tworzyć w bardzo prosty sposób, poprzez naniesienie na PCB odpowiedniego wzoru ścieżek oraz otworów na ramiona rdzenia ferrytowego, a następnie zamknięcie



Fotografia 6. Przykład transformatorów planarnych do montażu THT i SMD [9]



Rysunek 5. Budowa transformatora planarnego z użyciem PCB [10]

eprasa.pl 3b5392c828



Fotografia 7. Transformatory do zasilania przetworników piezoelektrycznych



Fotografia 8. Autotransformatory z ferrytowymi ekranami do zasilania przetworników piezo

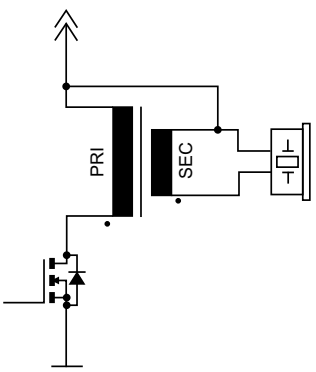


Fotografia 9. Przekładnik prądowy TALEMA ASM-010 [10]

rdzenia na zmontowanej już płytce. Nie musi to być odrębny podzespół (choć może), odpadają wówczas także problemy z nawijaniem drutu, montażem karkasu i lutowaniem transformatora na płytce. Po drugie takie transformatory są też bardzo powtarzalne, gdyż ludzkość ma opanowaną produkcję płytek z laminatu FR4 z dokładnością do mikrometrów – a to sprawia, że transformatory planarne są również znacznie tańsze od dotychczas stosowanych wykonań dyskretnych. Istnieją wprawdzie transformatory planarne z uzwojeniami *drucianymi*, ale nie są one tak interesujące, jak te tworzone na PCB.

Co ciekawe, to wcale nie jest jakaś niespotykana technologia jutra, która nie ma jeszcze praktycznego zastosowania. W pewnej aparaturze – a dokładniej w zasilaczu wielkiej mocy – poszczególne tranzystory są sterowane odrębnymi driverami, z których każdy ma doprowadzony sygnał sterujący optoizolatorem, zaś ich zasilanie jest dystrybuowane właśnie poprzez wiele takich niewielkich transformatorów planarnych. Wszystkie uzwojenia pierwotne są na jednej stronie płytki, zasilane napięciem o częstotliwości kilkuset kiloherców, a uzwojenia wtórne – znajdują się na drugiej stronie laminatu i zasilają drivery poprzez prostowniki i stabilizatory. Proste, szybkie, tanie i niezawodne. Osobiście bardzo kibicuję tej technologii, gdyż umożliwia ona odejście od nawijania drutu i problemów z tym związanych. Wymaga jedynie stosowania relatywnie wysokich częstotliwości, ponieważ uzwojenia mogą mieć niewiele zwojów (lecz w obecnych czasach to już nie jest tak duży problem, jak dawniej).

Szczególnym przypadkiem transformatorów impulsowych są (przynajmniej dla mnie) transformatory do przetworników piezoelektrycznych. Ich zadaniem jest zwiększenie amplitudy napięcia, które powoduje odkształcanie kryształu – co przekłada się na dźwięk o wyższym poziomie głośności. Ich przekładnia nie jest z reguły oszałamiająca (nie więcej niż kilka), nie jest od nich również wymagana jakaś szczególnie wytrzymała izolacja między uzwojeniami. Z reguły nawija się je na ferrytowych rdzeniach szpulkowych, jak na **fotografii 7**. Widoczne na zdjęciu transformatory mają liczbę zwojów 200:1200 oraz 300:900, zatem ich przekładnia wynosi, odpowiednio, 1:6 i 1:3.



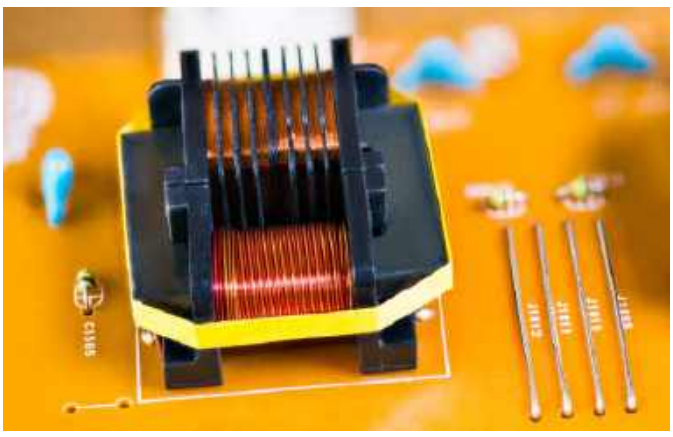
Rysunek 6. Przykładowy schemat podłączenia autotransformatora do przetwornika piezoelektrycznego

Pewnym udanym eksperymentem są autotransformatory do przetworników piezoelektrycznych – tańsze w produkcji, niż pełne transformatory, a równie dobrze spełniające swoją rolę. Nie jest tutaj przecież potrzebna izolacja galwaniczna. Dodatkiem znacznie poprawiającym kompatybilność elektromagnetyczną układu jest ferrytowy kubek ekranujący, widoczny wraz z takim autotransformatorem na **fotografii 8**. Przykładowe podłączenie opisywanego komponentu pokazano na **rysunku 6**. Uzwojenie pierwotne jest zasilane impulsami prądu, które dostarczają energię do rdzenia. To przekłada się na impulsy szpilkowe o bardzo wysokiej wartości szczytowej na uzwojeniu wtórnym. Układ tego typu jest niewielki i tani.

Przekładniki prądowe

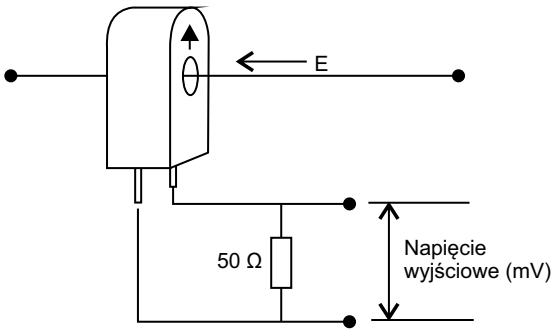
Pewnym szczególnym rodzajem transformatorów, które na pierwszy rzut oka nie wyglądają zbyt okazale, są przekładniki prądowe. Przekładniki takie, jak na **fotografii 9**, często używam w swoich projektach publikowanych na łamach „Elektroniki Praktycznej". Budowa jest prosta: rdzeń z nawiniętym nań uzwojeniem. W porządku, to gdzie ten transformator, który powinien mieć ma dwa uzwojenia? Ano, trzeba go sobie zrobić samemu. W tym celu przewleka się przewód z prądem, który chcemy mierzyć, przez otwór w przekładniku. Tak oto powstaje transformator mający 1 zwój uzwojenia pierwotnego oraz n zwojów uzwojenia wtórnego, wobec czego prąd indukowany w uzwojeniu wtórnym będzie n-krotnie mniejszy od „oryginalnego", płynącego w nadzorowanym przez przekładnik obwodzie.

Gdzie tu pułapki, gdzie są haczyki? Przekładniki bardzo dobrze odwzorowują przebieg prądu na swoim wyjściu, ale – jako, że z punktu widzenia teorii obwodów są to *de facto* źródła prądowe – to najlepiej im się pracuje przy zwartych zaciskach. I tutaj są dwie drogi. Jedna z nich zakłada stosowanie rezystora (o wartości zalecanej przez producenta przekładnika) i wzmacnianie odkładającego się na nim spadku napięcia (**rysunek 7**). Wada? Wzmacniacz musi mieć wzmocnienie rzędu 100 V/V lub więcej, więc mocno szumi. Gdyby ograniczyć jego pasmo przenoszenia, wówczas wraz



eprasa.pl 3b5392c828





Rysunek 7. Proponowany przez producenta sposób użycia przekładnika [11]

z szumami zostanie ucięta wysokoczęstotliwościowa część sygnału. Ciekawszym rozwiązaniem może zatem być wzmacniacz transimpedancyjny (TIA), który od strony wejścia prezentuje sobą niemal idealne zwarcie (a w dodatku łatwiej można zapanować nad jego szumami).

Z kolei w miejscach, w których potrzebuję jedynie zasygnalizowania przekroczenia określonego progu prądu płynącego przez przewód, używam rezystora obciążającego przekładnik o wyższej wartości, na przykład 1 kΩ. Daje to większą amplitudę napięcia na zaciskach rezystora, przez co wzmocnienie wzmacniacza napięciowego może być znacznie niższe. To zmniejsza również poziom szumów na jego wyjściu. Jest to jednak niewskazane działanie, kiedy chcemy uzyskać wysoką liniowość pracy przekładnika, więc do zastosowań pomiarowych (a nie tylko detekcyjnych) taka metoda się nie nadaje.

Podsumowanie

Transformatory są z nami już od ponad 100 lat i nic nie zapowiada, aby ich egzystencja miała zostać zakończona lub zmarginalizowana – tak, jak miało to miejsce w przypadku lamp elektronowych. Przeciwnie, transformatory cały czas ewoluują i spotykamy je w wielu zastosowaniach pod różnymi postaciami. Nie wspominałem w tym artykule chociażby o energetyce, w której transformatory wielkiej mocy będą z nami jeszcze pewnie przez wiele, wiele lat.

Za unowocześnioną ideę transformatora uważam rozwój technologii transformatorów planarnych. W dobie urządzeń coraz silniej zminiaturyzowanych jest to krok ku uproszczeniu konstrukcji i zmniejszeniu objętości tego – dotychczas mocno kłopotliwego – podzespołu. Jest to również zbieżne z innymi technologiami miniaturyzującymi nasze urządzenia, chociażby jak Chip On Board (COB). Może transformatory planarne są wstępem do *Transformer On Board*? Zobaczymy.

Michał Kurzela, EP

Źródła:

[1] https://www.tme.eu/pl/details/bvei6031026/transformatory-do-pcb/hahn/bv-ei-603-1026/
[2] https://adko.eu/Softstart-miekki-start-rozruch-urzadzen-230V-AC-max-16A
[3] https://pearl-hifi.com/06_Lit_Archive/02_PEARL_Arch/Vol_06/Sec_26/1555_Output_Transformers.pdf
[4] https://sacthailand.com/Transformer_Attenuator.html
[5] https://khozmo.com/product/tvc-passive-preamp-preamplifier/
[6] https://www.zettlermagnetics.eu/wp-content/uploads/2014/02/ferrite.pdf
[7] https://www.tme.eu/pl/details/ti-e16-1438/transformatory-do-pcb/feryster/
[8] https://www.tme.eu/Document/812713e3794c61cf1b90885b6ce383a2/1438.pdf
[9] https://www.vishay.com/docs/34454/mgdt.pdf
[10] https://scholarworks.bwise.kr/hanyang/bitstream/2021.sw.hanyang/189616/1/High-Frequency%20Planar%20Transformer%20Based%20on%20Interleaved%20Serpentine%20Winding%20Method%20with%20Low%20Parasitic%20Capacitance%20for%20High-Current%20Input%20LLC%20Resonant%20Converter.pdf
[11] https://www.tme.eu/pl/details/pp-asm-010/przekladniki-pradowe/talema/asm-010/
[12] https://www.tme.eu/Document/ad60966f03600d98df1982d0ee6f0dd3/ASM-Series.pdf

REKLAMA



eprasa.pl 3b5392c828



Zaufany partner w branży transformatorów

W świecie elektroniki i elektrotechniki rola transformatorów i elementów indukcyjnych bywa często niedoceniana – tymczasem w znakomitej większości urządzeń sieciowych wciąż stanowią one fundamentalny komponent decydujący o bezpieczeństwie i sprawności podsystemu zasilania. Firma Indel konsekwentnie rozwija ofertę tych komponentów od wielu lat, niezmiennie utrzymując pozycję czołowego gracza na rynku podzespołów indukcyjnych.

Grupa Indel powstała w 1995 roku w wyniku połączenia warszawskiego przedsiębiorstwa handlowego z zakładem produkcyjnym ulokowanym w Brzezinach. Tradycje produkcyjne związane z transformatorami i i innymi elementami indukcyjnymi sięgają jednak znacznie wcześniejszego okresu – początki działalności projektowej są bowiem datowane na rok 1977. Obecnie Indel oferuje ponad 3000 rozmaitych produktów, począwszy od drutów nawojowych, a kończąc na kompletnych urządzeniach zasilających.

Firma wdrożyła system zarządzania jakością ISO 9001:2008 w zakresie dystrybucji materiałów elektronicznych i elektrotechnicznych, a poszczególne produkty marki Indel mają deklaracje zgodności CE i GOST oraz spełniają wymogi dyrektywy RoHS. Ponadto firma publikuje deklarację zgodności transformatorów z normami należącymi do grupy PN-EN 61558.

Więcej informacji:
INDEL sp. z o.o.
01-924 Warszawa, ul. Rodziny Połanieckich 34A
tel./fax. +48226699937
hurtownia_handlowy@indel.pl, www.indel.pl



Fotografia 1. Transformator małej mocy 10 VA, 230 V–12 V/0,8 A (TS10/018)

eprasa.pl 3b5392c828



Fotografia 2. Transformator toroidalny TST 100/004



Fotografia 3. Przykładowe transformatory toroidalne do wzmacniaczy lampowych – seria TSTL

Przekrój oferty transformatorów i elementów indukcyjnych

Indel oferuje szereg typów transformatorów i elementów pomocniczych, które można pogrupować pod względem funkcjonalnym i/lub konstrukcyjnym na przeszło 20 kategorii. Spośród wszystkich produktów oferowanych przez firmę, w projektach urządzeń elektronicznych szczególnie popularne są:

- TS – transformatory sieciowe małej mocy (niezawodność)
- ATS – autotransformatory sieciowe
- TSL – transformatory sieciowe do wzmacniaczy lampowych
- TSD – transformatory sieciowe do druku
- TSM – transformatory sieciowe z mocowaniem, z przegrodą lub bez (TMB)
- TSMS – transformatory sieciowe z mocowaniem na szynę DIN (TS35), w tym bez przegrody (TMBS)
- ATR – autotransformatory sieciowe z regulacją
- TGR – transformatory głośnikowe, w tym do wzmacniaczy lampowych (TGL)
- TST – transformatory sieciowe toroidalne (**fotografia 2**), w tym do wzmacniaczy lampowych (TSTL – **fotografia 3**), z mocowaniem na boku (TSTB) oraz specjalne wersje do aplikacji audio (TSTA)
- ATST – autotransformatory sieciowe toroidalne
- TSTZ – transformatory sieciowe toroidalne zalewane w obudowie, w tym wersje z mocowaniem do druku (TSTZD) lub na szynę DIN (TSTZS)
- ATSTZ – autotransformatory sieciowe toroidalne zalewane w obudowie
- TSZ – transformatory sieciowe do druku zalewane w obudowie (**fotografia 4**)
- TSPZ – transformatory sieciowe do druku płaskie zalewane w obudowie
- TSZW – transformatory sieciowe zalewane w obudowie, hermetyczne odporne na wilgoć
- EI30R, EI38 – transformatory sieciowe hermetyczne do druku EI 30, EI 38
- TSZS – transformatory sieciowe zalewane w obudowie z mocowaniem na szynę DIN (TS35)
- Ti – transformatory impulsowe na rdzeniach ferrytowych
- D...– dławiki DSz, DTS, DTP, DUS, DW i inne
- C – cewki



Fotografia 4. Przykładowe transformatory zalewane w wersjach z mocowaniem przykręcanym oraz wyprowadzeniami do druku

Podsumowanie

Indel to uznany producent z wieloletnią tradycją projektową, który z czasem rozwinął ofertę od klasycznych transformatorów sieciowych do szerokiej gamy elementów indukcyjnych, zasilaczy oraz systemów zasilania pomocniczego. Oferta transformatorów obejmuje rozwiązania toroidalne, zalewane, do montażu PCB, transformatory sieciowe z wieloma uzwojeniami, a także elementy pomocnicze, w tym rozmaite cewki. Rzetelnie przestrzegane standardy branżowe (normy PN-EN, deklaracje CE, RoHS) oraz wdrożony system jakości (ISO 9001:2008) stawiają firmę Indel w ścisłej czołówce dostawców komponentów pasywnych nie tylko w Polsce, ale także na całym obszarze Europy Środkowej i nie tylko.

Z punktu widzenia konstruktorów i inżynierów najistotniejsze zalety produktów sygnowanych marką Indel to elastyczność w doborze wariantów elektrycznych i montażowych, konkurencyjna cena oraz wysoka jakość. Dlatego też transformatory i inne wyroby Indel trafiają do niezliczonych urządzeń, w przypadku których producenci stawiają na niezawodność oraz stabilność łańcucha dostaw.

www.indel.pl

eprasa.pl 3b5392c828

Sipeed Tang Primer 25k
– zestaw rozwojowy FPGA dla oszczędnych

Układy FPGA stanowią niezwykle ciekawą alternatywę dla tradycyjnych mikrokontrolerów czy układów SoC. Z jednej strony oferują ogromną wydajność i elastyczność, z drugiej praca z nimi wiąże się z koniecznością całkowitej zmiany sposobu myślenia o układach cyfrowych i programowaniu. Sytuację komplikuje też wysoka cena zestawów startowych wiodących firm, takich jak Xilinx czy Altera/Intel. Jest jednak alternatywa przyjazna budżetowi – i nią właśnie zajmiemy się w tym artykule.



Firma Sipeed oferuje wiele różnych zestawów startowych i modułów, spośród których przyjrzymy się serii Tang zawierającej układy FPGA firmy Gowin (pełna nazwa: Guangdong Gowin Semiconductor Corporation). Skupimy się na zestawie Tang Primer 25k, który oferuje świetny stosunek możliwości do ceny. A ta ostatnia jest nawet kilka razy niższa od cen zestawów bardziej renomowanych marek. Nawet w rodzinie Tang zestaw Primer 25k plasuje się dość korzystnie pod względem specyfikacji i dlatego też może być on dobrym wyborem na początek przygody z FPGA.

Zakup, cena i specyfikacja

Sipeed Tang Primer 25k nie jest dostępny w polskich sklepach, za to bez problemu można go znaleźć na portalu AliExpress. Co więcej, Sipeed na swojej stronie Wiki zapewnia linki do większości oferowanych przez markę zestawów właśnie na tej platformie. Cena Tang Primer 25k wynosi 174,39 zł za cały zestaw oraz 122,99 zł za główny moduł (są to ceny obowiązujące w chwili pisania tego artykułu).

Zestaw składa się z płytki głównego modułu, zawierającej układ FPGA typu GW5A-LV25MG121, pamięć konfiguracji Flash 64 Mb oraz przetwornicę napięcia, a także płytki bazowej wyposażonej w debugger, złącza USB (jedno do podłączenia zewnętrznych urządzeń, drugie do programowania i zasilania), trzy złącza PMOD dla dodatkowych modułów oraz jedno złącze 2×20 pinów. Na płytce głównego modułu znajdują się dwa złącza męskie typu DF40C-60DP-0.4V(51) udostępniające 75 pinów IO, linie JTAG i MIPI oraz zasilanie (zarówno napięcie wejściowe, jak i wyjściowe przetwornicy). Sipeed dostarcza w dokumentacji informacje o dokładnych wymiarach płytki (22,9 mm × 17,8 mm) i rozstawie złączy (14 mm), dzięki czemu ten moduł można bezproblemowo zintegrować z własnymi projektami. Płytka bazowa ma złącza żeńskie typu DF40C-60DS-0.4V(51), a Sipeed dodaje w dokumentacji, iż są one dostępne w różnych wysokościach. Płytka modułu może być zasilana napięciem 3,6...5,5 V. Producent nie podaje w opisie dokładnej wartości poboru prądu, gdyż ten mocno zależy od stopnia wykorzystania układu FPGA Gowin GW5A-LV25MG121.

Macierz FPGA zawarta na płytce zawiera 23040 elementów logicznych (LUT4), tyle samo rejestrów (FF), a także 180 kilobitów pamięci SRAM rozdystrybuowanej w całym układzie oraz dodatkowe 1008 kilobitów pamięci SRAM w 56 blokach. Dokumentacja Sipeed podaje też, że układ jest wyposażony w 28 elementów DSP, ale nota Gowin podaje dokładniejszą informację: jest to bowiem 28 bloków... mnożenia 18-bit × 18-bit. Układ ma ponadto sześć pętli PLL, 16 globalnych zegarów i 16 zegarów w.cz. Prędkość transferu danych w standardzie LVDS, odbywającej się przez jeden z ośmiu banków IO, wynosi 1,25 Gbps, a oddzielne linie MIPI zapewniają aż 2,5 Gbps, oferując cztery linie Rx/Tx i jedną linię zegarową. **Fotografia 1** prezentuje zbliżenie na zestaw od strony elementów (a) i druku (b), z oznaczeniami pinów układu FPGA gniazda rozszerzeń (użytkownika) i modułów.

Sipeed oferuje następujące moduły rozszerzeń do płytki bazowej:

- moduł z kontrolerami gier w standardzie SNES,
- moduł z matrycą LED 64×64,
- moduł kamery 5 Mpx (2592×1944 px),

a)



b)



Fotografia 1. Zestaw Sipeed Tang Primer 25k z bliska: strona elementów (a) i druku (b)

eprasa.pl 3b5392c828

```
library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all;
use ieee.numeric_std.all;

entity lfsr_16bit is
    port (
        clk     : in  std_logic;
        reset_p : in  std_logic;
        enable  : in  std_logic;
        lfsr_out : out std_logic;
        clk_out : out std_logic

    );
end entity lfsr_16bit;

architecture rtl of lfsr_16bit is
     signal lfsr_reg : std_logic_vector(15 downto 0) := „0101010101010101”;
     signal feedback_bit : std_logic;
     signal counter : integer :=1;
     signal cbit : std_logic := ‘1’;


begin

    process(clk, reset_p)
    begin
        if (reset_p = ‘1’) then
            lfsr_reg <= „0101010101010101”;
            counter <=1;
        elsif (rising_edge(clk)) then
            if (enable = ‘1’) then
                counter <= counter+1;
                if (counter = 6) then
                    feedback_bit <= lfsr_reg(15) xor lfsr_reg(14) xor lfsr_reg(11) xor lfsr_reg(5);
                    lfsr_reg <= feedback_bit & lfsr_reg(15 downto 1);
                    cbit <= not cbit;
                    counter <= 1;
                end if;
            end if;
        end if;
    end process;
    lfsr_out <= lfsr_reg(0);
    clk_out <= cbit;

end architecture rtl;
```

Listing 1. Przykładowy kod VHDL dla rejestru przesuwnego z liniowym sprzężeniem zwrotnym. Gowin EDA, w przeciwieństwie do innych środowisk programistycznych, nie pozwala skopiować formatowania

- zestaw modułów z przyciskami, diodami, złączem kart SD, i złączem DVI,
- moduł pamięci SDRAM wpinany w złącze 2×20 pin (64 MB, 16-bit).

Moduły te nie są wymagane do pracy z zestawem, ale mogą być przydatne. Nic nie stoi na przeszkodzie, by wykorzystać także płytki innych producentów, podłączone za pomocą przewodów lub samodzielnie zaprojektowanych i wykonanych adapterów. Zestaw podstawowy dostarczony został w dedykowanym, plastikowym pudełku i poza samymi płytkami zawiera też krótki kabel USB-C.

Zestaw nie zawiera też żadnej dokumentacji papierowej, więc należy od razu sięgnąć po stronę Wiki Sipeed. Dokumentacja techniczna jest dość bogata i dobrze przetłumaczona na język angielski, podobnie jak dokumentacja firmy Gowin. Jedynym „zgrzytem” jest strona „Getting Started”, dostępna jedynie w języku chińskim, z opcją tłumaczenia przez Google. Zawiera głównie informacje o aktualizacji firmware debuggera. Przez Wiki można też pobrać wersję edukacyjną środowiska programistycznego Gowin EDA.

Gowin EDA i pierwsze kroki z zestawem Tang Primer 25

Instalacja środowiska nie nastręcza problemów. Po otwarciu programu dostajemy kilka opcji do wyboru, w tym dostęp do przykładowych projektów lub stworzenie nowego. Przy wyborze układu, na którym będziemy pracować, nie zauważono opcji wyszukiwania po rodzajach zestawu rozwojowego – a szkoda, bo niektóre środowiska preferują taką opcję. Bezproblemowo udało się jednak odnaleźć właściwy układ i stworzyć nowy projekt. Pewnym problemem jest wybór lokalizacji projektu – program nie akceptuje folderów, które zawierają spacje w nazwach, przy czym program informuje użytkownika jedynie o „niedozwolonych znakach w nazwie projektu”, co jest dość niejasnym komunikatem.

Kolejnym „zgrzytem” jest sam edytor, w którym nie można zmienić powiększenia (co jest standardem w wielu innych środowiskach programistycznych). Trudno wskazać konkretne przyczyny tego faktu, ale w odczuciu autora Gowin EDA sprawia wrażenie oprogramowania napisanego jeszcze w czasach, gdy wszyscy używali systemu Windows 95, albo nawet 3.11. W ustawieniach można zmienić zarówno wygląd całego programu (klasyczny lub ciemny), jak i edytora kodu. Zmiana na tryb ciemny nie modyfikuje wszystkich elementów, a ciemne wersje edytora nie są wybitnie użyteczne. Dlatego autor zdecydował się na domyślny wygląd programu i po prostu odwrócił wszystkie kolory systemowe, korzystając z funkcji ułatwień dostępu. Rozmiar czcionki też został zwiększony.

Dla osób, które nigdy wcześniej nie korzystały z układów FPGA ważne jest, by producent zestawu startowego dostarczał wraz z nim jakiś poradnik dla początkujących. Sipeed, jak wspomniano wcześniej, nie daje żadnego użytecznego poradnika dla początkujących. Hobbysta jest pozostawiony samemu sobie, z kilkoma odnośnikami do tutoriali nt. języka Verilog (a gdzie VHDL?). Doświadczony użytkownik sobie poradzi, ale cena zestawu i jego opis sugerują raczej przeznaczenie dla początkujących. Trudno nawet znaleźć informacje, do których pinów i banków podłączone są dwa przyciski na płytce bazowej (S1 do pinu H11, S2 do pinu H10). Jest to definitywnie duża wada tego zestawu. Jako przykład „Hello World” autor postanowił napisać rejestr przesuwny z liniowym sprzężeniem zwrotnym, który na wyjścia poda sygnał zegarowy i strumień bitów. Ten prosty kod wygenerowano z pomocą Gemini, a następnie ręcznie dopisano fragment dzielący częstotliwość zegara przez pięć, dzięki czemu ta wynosi 10 MHz. **Listing 1** pokazuje ów kod. Nie jest on napisany zgodnie z dobrymi praktykami programowania, ale celem było wykonanie czegoś, co zadziała i pozwoli szybko zweryfikować poprawność działania całego zestawu.

Drugim krokiem było skonfigurowanie zegara, a także połączeń między sygnałami logicznymi, a fizycznymi pinami układu FPGA. O ile narzędzie „FloorPlanner” pozwala dość łatwo i przyjemnie skonfigurować fizyczne piny oraz przynależne im sygnały, o tyle konfiguracja zegara sprawiła autorowi nie lada problem. Ktoś doświadczony oczywiście wie, co należy zrobić, ale w przypadku osób zaczynających w tym temacie od zera (tak, jak autor

eprasa.pl 3b5392c828



Rysunek 1. Zrzut ekranu z oscyloskopu demonstrujący sygnały wygenerowane przez Tang Primer 25k

niniejszego artykułu) jest to już pewne wyzwanie. Inne zestawy startowe FPGA, szczególnie od takich firm, jak Digilent (którego grupą klientów są głównie uczelnie), czy nawet Xilinx, Altera lub Lattice, zwykle zawierają bogaty zbiór materiałów edukacyjnych dla początkujących, w tym poradniki „krok po kroku". Sipeed, mimo iż cenowo plasuje się w kategorii hobbystycznych zestawów startowych, nie dostarcza absolutnie niczego. Jeśli, szanowny Czytelniku, kupisz ten zestaw, to... pozostajesz zdany na siebie. Autor zajrzał z ciekawości do pliku pomocy Gowin EDA, ale tam też nie znalazł żadnej pomocy. Na szczęście jednak firma Gowin zapewnia sporą kolekcję dokumentów wyjaśniających różne aspekty programowania swoich układów FPGA. Tu należy pochwalić producenta za wysoki poziom anglojęzycznej dokumentacji, z wyjątkiem jednego detalu: kody źródłowe są sformatowane jak zwykły tekst.

Rozwiązanie problemu okazało się dość proste: trzeba było przypisać wejście zegarowe do pinu E2 połączonego z generatorem kwarcowym 50 MHz. Oczywiście to nie zadziałało, gdyż ów ten pełni dodatkową funkcję o oznaczeniu CPU. Trzeba zatem w ustawieniach konfiguracji zezwolić syntezatorowi na użycie tej linii jako pinu ogólnego. Po wskazaniu go jako wejścia dla sygnału zegara pojawił się nowy komunikat:

```
WARN (TA1132) : 'clk' was determined to be a clock but was not created.
```

Tu trzeba przejść do narzędzia Timing Constraints, znaleźć nasz port clk i dodać go jako zegar 50 MHz. Po tym błąd znika.

Ostatnim krokiem jest programowanie. Płytka została połączona z komputerem za pomocą dołączonego do zestawu przewodu, programator/debugger został rozpoznany bez większych problemów. Mamy dostępne dwie opcje umieszczenia kodu: w zewnętrznej pamięci Flash, która przechowuje całą konfigurację, albo bezpośrednio w pamięci układu FPGA. Druga metoda ma tę wadę, iż odłączenie zasilania wymazuje konfigurację i po jego ponownym podłączeniu wczytana zostanie zawartość pamięci Flash. Z drugiej strony programowanie pamięci SRAM układu jest znacznie szybsze (w przypadku przykładowego kodu było to niecałe 5 sekund programowania SRAM, kontra ponad 110 sekund programowania całej pamięci Flash) i pozwala na szybkie testowanie zmian w kodzie VHDL lub Verilog, bez utraty zapisanej w pamięci Flash, poprzedniej konfiguracji.

Autor wybrał programowanie do pamięci Flash. Sygnał reset połączony jest z pinem H10 (przycisk S2), sygnał enable – z H11 (przycisk S1), wyjście rejestru – z pinem K1 (pin 2 J3), a wyjście zegara – z K2 (pin 1 J3). S2 zeruje rejestr przesuwny, a S1 aktywuje jego pracę. Rysunek 1 pokazuje zrzut ekranu z oscyloskopu, na którym widać sygnały wyjściowe. Częstotliwość wyjściowa wynosi ok. 5 MHz, kanał 1 to strumień bitów, a kanał 2 to wyjście zegarowe. Znaczne „dzwonienie" na przebiegach wynika ze zbyt długich połączeń masy sond do płytki. Warto zwrócić uwagę na jedną, szczególną cechę układów FPGA: wyjścia zmieniają swój stan jednocześnie. W końcu opisaliśmy fizyczny układ bramek i rejestrów oraz połączeń między nimi, a nie sekwencję zdarzeń. Co ważniejsze, Tang Primer 25k ma wystarczająco dużo elementów logicznych w zastosowanym w nim układzie FPGA, więc można w nim umieścić kilka lub nawet kilkanaście dość skomplikowanych obwodów logicznych, które mogą pracować razem lub niezależnie od siebie, jeśli jest taka potrzeba.

Podsumowanie

Czy zestaw Sipeed Tang Primer 25k jest wart zainteresowania? Tak, gdyż przede wszystkim jest sporo tańszy od innych, porównywalnych zestawów z układami FPGA od głównych graczy na tym rynku. Modułowa budowa zestawu pozwala też wykorzystać moduł FPGA we własnych projektach, jeśli tylko 75 pinów I/O wystarczy do realizacji projektu. Wadą produktu Sipeed jest dokumentacja. O ile otrzymujemy wszystkie schematy, rysunki techniczne, specyfikacje, a nawet modele 3D, to producent nie oferuje niczego w kategorii „dla początkujących". Nie dostajemy ani poradnika „Jak zacząć", ani bogatej kolekcji przykładowych projektów. Gowin Semiconductor oferuje nieco więcej materiałów, w tym opisy modułów z IP Generatora, czy wskazówki odnośnie kodowania. Doświadczony programista układów FPGA nie będzie miał zatem żadnych problemów z płytką Tang Primer 25k, ale początkujący hobbysta, do którego ten zestaw jest raczej kierowany, będzie skonfundowany i zagubiony. Bez podręcznika (lub dobrego kursu, jak te publikowane na łamach EP) do VHDL lub Verilog się nie obejdzie. Autor zamierza kontynuować swoją przygodę z FPGA i zestawem Tang Primer 25k.

Paweł Kowalczyk, EP

eprasa.pl 3b5392c828



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



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



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

BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

Mierniki Testery FNIRSI

Rabat dla Czytelników EP
przy zakupie podaj kod **EP2505FN**

-3%

Rabat dla Prenumeratorów EP
przy zakupie podaj numer prenumeraty

-6%



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



FN-LCR-P1
Tester elementów FNIRSI LCR-P1



FN-HRM10
Tester rezystancji wewnętrznej akumulatorów FNIRSI HRM-10



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



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



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

Programowanie w środowisku MicroPython (6)

Wyświetlacz TFT z panelem dotykowym



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

W poprzednim odcinku zapoznaliśmy się z obsługą monochromatycznego wyświetlacza OLED o rozdzielczości 128×64 pikseli. W tym odcinku pójdźmy o krok dalej i poznajmy, jak można obsługiwać kolorowy wyświetlacz TFT o rozdzielczości 320×480 pikseli, który dodatkowo wyposażony jest w pojemnościowy panel dotykowy.

Obsługa SPI

Podobnie jak w przypadku interfejsu I²C, w MicroPythonie mamy do dyspozycji sprzętową oraz programową implementację SPI. Implementacja programowa opiera się na zwyczajnej obsłudze pinów GPIO, dzięki czemu można wykorzystać dowolne piny, a mikrokontroler wcale nie musi mieć sprzętowego bloku SPI (co w obecnych czasach jest jednak rzadko spotykane). Interfejs SPI zrealizowany programowo działa bardzo wolno.

Implementacja sprzętowa korzysta z interfejsu, który razem z DMA pracuje niezależnie od rdzenia. Dzięki temu przesyłanie danych odbywa się w tle, a procesor może w tym czasie wykonywać jakieś inne zadania. W wielu mikrokontrolerach musimy użyć ściśle określonych pinów jako sygnałów MISO, MOSI i SCK, ale w przypadku ESP32 mamy pełną dowolność w tym zakresie. W układach z omawianej rodziny znajduje się programowalna matryca połączeniowa, dzięki której wejścia i wyjścia bloku SPI możemy połączyć z dowolnymi pinami GPIO. W takiej sytuacji programowa implementacja SPI traci sens i nie będziemy jej omawiać, a więc w tym i kolejnych odcinkach kursu będziemy korzystać wyłącznie ze sprzętowego SPI.

Aby mieć dostęp do SPI, najpierw musimy zaimportować klasy **SPI** oraz **Pin** z modułu **machine**.

```
from machine import Pin, SPI
```

Następnie musimy utworzyć instancję klasy SPI.

```
spi = SPI(2, baudrate=80_000_000, polarity=0, phase=0, sck=Pin(1), mosi=Pin(2), miso=Pin(3))
```

Pierwszym argumentem konstruktora jest numer interfejsu SPI, z którego chcemy korzystać. W ESP32-S3 dostępne są porty 1 i 2 (port 0 jest używany przez pamięci Flash i PSRAM). Argument **baudrate** to częstotliwość taktowania zegara SCK, podana w hertzach, **polarity** określa stan linii SCK w stanie spoczynku, a **phase** decyduje, które zbocze sygnału SCK ma wywoływać próbkowanie sygnałów danych. Dalej podajemy numery pinów mikrokontrolera, które mają funkcjonować jako linie SCK, MOSI i MISO. Istnieje możliwość, by interfejs SPI pracował w trybie jednokierunkowym – wtedy jako pin MISO lub MOSI podajemy **None**.

Interfejs SPI można zastosować do komunikacji z wieloma układami slave. Każdy z nich ma wejście CS, które sygnalizuje urządzeniu podrzędnemu, że ma odebrać lub zignorować bieżącą transmisję. W stanie spoczynkowym na tym wejściu musi panować stan wysoki. Wówczas slave będzie ignorował wszelkie zmiany na liniach SCK, MISO i MOSI. Zmiana stanu pinu CS z 1 na 0 powoduje aktywację układu slave. W takiej sytuacji będzie on odczytywał dane z wejścia MOSI i będzie wysyłał odpowiedź wyjściem MISO.

W MicroPythonie musimy ręcznie obsługiwać pin CS dla każdego układu slave. Najpierw dla każdego z nich musimy utworzyć instancję klasy, która ma sterować tym pinem. Robimy to tak, jak w przypadku zwykłych pinów wyjściowych.

```
cs = Pin(4, mode=Pin.OUT, value=1)
```

Możemy teraz przesłać kilka bajtów do układu slave. Poniżej prezentujemy kilka sposobów:

```
cs(0)
spi.write(b"\x11\x22\x33\x44")                    #1
spi.write(bytes([0x11, 0x22, 0x33, 0x44]))        #2
spi.write(bytearray([0x11, 0x22, 0x33, 0x44]))    #3
cs(1)
```

Sposób pokazany w linii 1 jest najbardziej optymalny, najszybszy i zajmuje najmniej pamięci, ponieważ bufor z danymi do wysłania jest już gotowy. W linii 2 tworzymy obiekt typu **bytes** na podstawie listy, w której znajdują się poszczególne wartości – stałe lub zmienne. Musimy tu pamiętać, że każda z nich musi znajdować się w zakresie od 0 do 255. Sposób zaprezentowany w linii 3 jest podobny do 2, lecz tworzymy **bytearray**. Różnica między tymi obiektami jest taka, że bytes stanowi typ tylko do odczytu, a **bytearray**



Fotografia 1. Widok przedniej strony płytki z wyświetlaczem



Fotografia 2. Widok tylnej strony płytki z wyświetlaczem

eprasa.pl 3b5392c828

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

można modyfikować. W tym przypadku nie ma takiej potrzeby, zatem użycie **bytes** jest bardziej optymalne niż **bytearray**.

Możemy odczytywać dane przy pomocy metody **read**. W poniższym przykładzie odczytujemy 4 słowa. Należy jednak pamiętać, że SPI jest interfejsem full-duplex, który przesyła informacje jednocześnie w obu kierunkach. Zatem aby coś odczytać, trzeba jednocześnie coś wysyłać. W drugim argumencie definiujemy, jaki bajt ma być wysyłany podczas odczytywania. Zwykle jest to 0x00 lub 0xFF.

```
cs(0)
rx_buffer = spi.read(4, 0x00)
cs(1)
```

Metoda read tworzy w pamięci nowy bufor. W przypadku wielokrotnych odczytów takiej samej liczby bajtów optymalne będzie wykorzystanie bufora, który już istnieje, a nie tworzenie nowego dla każdej transmisji. W tym celu wykorzystujemy metodę **readinto**, do której podajemy bufor utworzony wcześniej jako **bytearray** o odpowiednim rozmiarze. Trzeba także zapewnić informację o tym, jaki bajt ma być wysyłany podczas odczytywania.

```
rx_buffer = bytearray(4)
cs(0)
spi.readinto(rx_buffer, 0x00)
cs(1)
```

Możemy oczywiście operować także na dwóch buforach jednocześnie – nadawczym i odbiorczym. Ważne tylko, by długość obu buforów była jednakowa. Przykład takiej operacji prezentujemy poniżej.

```
tx_buffer = b"\x11\x22\x33\x44"
rx_buffer = bytearray(len(tx_buffer))
cs(0)
spi.write_readinto(tx_buffer, rx_buffer)
cs(1)
```

Wyświetlacz TFT ze sterownikiem ST7796

Wyświetlacze o rozdzielczości 320×480 (lub 480×320) i przekątnej 4" są bardzo popularne na znanym, chińskim portalu z darmowymi wysyłkami. Dostępne są jako samodzielne elementy, a także w zestawach z różnymi płytkami, na których są już przylutowane wszystkie elementy potrzebne do pracy takiego wyświetlacza. Istnieją dwa modele płytek do tych wyświetlaczy, niestety nie mają one żadnych oznaczeń ani nawet nazwy producenta. Płytka czerwona ma wyświetlacz z rezystancyjnym panelem dotykowym ze sterownikiem XPT2046 lub bez niego. Płytka czarna ma natomiast wyświetlacz z panelem pojemnościowym na bazie sterownika FT6336 (albo bez takiego panelu). Oba moduły mają 14-pinowe złącza goldpin, na które wyprowadzone są linie sterujące wyświetlaczem i panelem dotykowym. Zasilanie i sygnały wyświetlacza na obu płytkach wyprowadzone są w taki sam sposób, więc można stosować je zamiennie. W przypadku paneli dotykowych są jednak różnice z uwagi na to, że sterownik panelu rezystancyjnego XPT2046 korzysta z interfejsu SPI (nie połączonego z liniami SPI sterownika wyświetlacza), a kontroler panelu dotykowego FT6336 ma interfejs I²C.

W niniejszym odcinku kursu będziemy korzystać z płytki czarnej, pokazanej na **fotografiach 1** i **2**. Proponuję wykonać drobną modyfikację, ponieważ płytka jest przystosowana do zasilania napięciem 5 V (gdyż takiego wymaga podświetlanie), ale na płytce znajduje się translator napięć na liniach I²C oraz rezystory podciągające te linie do 5 V. Może to powodować ryzyko dla mikrokontrolera, ponieważ ESP32 nie toleruje takiego napięcia na swoich pinach. Aby rozwiązać problem, wystarczy odlutować rezystory R3, R4, R5, R6 oraz tranzystory Q2, Q3 – w miejsce tych ostatnich wstawiamy mały drucik tak, jak to pokazano na **fotografii 3**.



Fotografia 3. Zbliżenie na modyfikacje konieczne do wykonania

Nasz wyświetlacz ma rozdzielczość 320×480 pikseli, a nie 480×320 – oznacza to, że jego standardowym trybem pracy jest orientacja pionowa, a nie pozioma. W konfiguracji sterownika ST7796 możemy zmienić tryb pracy na poziomy, co w tym odcinku kursu uczynimy. Pamiętać należy, że zastosowany wyświetlacz jest kiepskiej jakości matrycą TFT. Jego wada to dość wąski kąt widzenia. Jeżeli będziemy patrzeć na wyświetlacz pod niewłaściwym kątem, wówczas zobaczymy obraz w negatywie. Problem rozwiązuje technologia IPS, jednak w tanich, chińskich płytkach testowych trudno takowe znaleźć.

Wyświetlacz może korzystać z różnych palet kolorów. Tutaj jesteśmy ograniczeni możliwościami MicroPythona, ponieważ obsługuje on tylko format RGB565. W takiej palecie kolor każdego piksela zapisywany jest przy pomocy trzech składowych – są to: 5-bitowa składowa czerwona, 6-bitowa zielona i 5-bitowa niebieska. Razem mamy 16 bitów, co daje nam możliwość wyświetlenia 65536 różnych kolorów.

Zastanówmy się teraz, ile pamięci RAM potrzebujemy, aby obsłużyć taki wyświetlacz. Rozdzielczość 480×320 daje 153 600 pikseli. Na każdy piksel przypada 16 bitów koloru, czyli 2 bajty. Zatem bufor obrazu powinien mieć pojemność 307 200 bajtów. W praktycznych rozwiązaniach stosuje się dwa bufory. W jednym znajduje się obraz aktualnie wyświetlany, a w drugim generowany jest obraz, który ma być wyświetlony w najbliższej przyszłości. Generowanie obrazu może zająć trochę czasu – na tyle długo, że widok budowanych na bieżąco elementów obrazu mógłby być irytujący dla użytkownika. Dlatego w tym czasie musimy pokazywać obraz wygenerowany uprzednio. Na szczęście w sterowniku ST7796 znajduje się wystarczająco dużo pamięci RAM, aby przechowywać tam całą klatkę obrazu aktualnie wyświetlanego. W ESP32 musimy mieć jedynie bufor obrazu generowanego, czyli wystarczą nam 307 200 bajty pamięci. Jest to zarazem mało i dużo. Zbyt dużo, by zastosować mikrokontrolery ESP32 w podstawowej wersji. Musimy skorzystać z tych, które mają dodatkowy PSRAM. W przypadku rodziny ESP32-S3 istnieją moduły z wbudowaną pamięcią PSRAM o pojemności 2 MB i 8 MB. Polecam ten o pojemności 8 MB, nawet jeżeli nie ma potrzeby stosowania tak dużej pamięci, ponieważ jest on jednocześnie dwukrotnie szybszy.

Zastanówmy się też, ile czasu jest potrzebne na przesłanie takiego obrazu. Sterownik ST7796 może komunikować się przez SPI stosując zegar o częstotliwości nawet 80 MHz! To znaczy, że może przesłać 80 milionów bitów na sekundę. 307 200 bajtów to 2 457 600 bitów. Możemy to wszystko przesłać w czasie 30,72 ms, a obliczając odwrotność tej liczby dowiemy się, że w ciągu sekundy możemy przesłać 32 pełne klatki obrazu.

Częstotliwość zegara SPI rzędu 80 MHz to bardzo dużo, ale jest to realne do osiągnięcia nawet, kiedy wyświetlacz pozostaje podłączony do procesora kabelkami na płytce stykowej. Jeżeli masz problemy z uzyskaniem obrazu na wyświetlaczu, spróbuj obniżyć częstotliwość do 40 lub 20 MHz i sprawdź, czy wszystko jest dobrze podłączone. Jeżeli wyświetlacz działa na niższej częstotliwości, a na wyższej nie, problem mogą rozwiązać dodatkowe kondensatory na liniach zasilających.

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

eprasa.pl 3b5392c828

```
# Plik st7796_horizontal.py

import machine
import framebuf
import time

WIDTH   = const(480)                                                    # 1
HEIGHT  = const(320)

RED     = const(0b000_00000_11111_000)                                  # 2
YELLOW  = const(0b111_00000_11111_111)
GREEN   = const(0b111_00000_00000_111)
CYAN    = const(0b111_11111_00000_111)
BLUE    = const(0b000_11111_00000_000)
MAGENTA = const(0b000_11111_11111_000)
WHITE   = const(0b111_11111_11111_111)
BLACK   = const(0b000_00000_00000_000)

class ST7796(framebuf.FrameBuffer):                                     # 3

    def __init__(self, spi, cs, dc, rst):                              # 4
        self.spi = spi
        self.cs  = cs
        self.dc  = dc
        self.rst = rst
        self.cs.init(mode=machine.Pin.OUT, value=1)                     # 5
        self.dc.init(mode=machine.Pin.OUT, value=1)
        self.rst.init(mode=machine.Pin.OUT, value=1)

        self.array = bytearray(WIDTH * HEIGHT * 2)                      # 6
        super().__init__(self.array, WIDTH, HEIGHT, framebuf.RGB565) # 7

        self.rst(0)                                                     # 8
        time.sleep_ms(15)
        self.rst(1)
        time.sleep_ms(15)

        self.write_cmd(0x3A)            # COLMOD: Pixel Format Set
        self.write_data(0x05)           # 16-bit pixel format

        self.write_cmd(0x36)            # Memory Access Control
        self.write_data(0b11101100);    # MY=1 MX=1 MV=1 ML=0 BGR=1 MH=1

        self.write_cmd(0x2B)            # Row range 0..319
        self.write_data(0x00)
        self.write_data(0x00)
        self.write_data(0x01)
        self.write_data(0x3F)

        self.write_cmd(0x2A)            # Col range 0..479
        self.write_data(0x00)
        self.write_data(0x00)
        self.write_data(0x01)
        self.write_data(0xDF)

        self.write_cmd(0x11)            # Sleep Out
        self.write_cmd(0x29)            # Display ON

    def write_data(self, data):                                         # 8
        self.dc(1)
        self.cs(0)
        self.spi.write(bytes([data]))
        self.cs(1)

    def write_cmd(self, cmd):                                           # 9
        self.dc(0)
        self.cs(0)
        self.spi.write(bytes([cmd]))
        self.cs(1)

    def refresh(self):                                                  # 10
        self.cs(0)
        self.dc(0)
        self.spi.write(bytes([0x2C]))
        self.dc(1)
        self.spi.write(self.array)
        self.cs(1)

    def color(self, red, green, blue):                                  # 11
        red   = int(red)
        green = int(green)
        blue  = int(blue)

        if red > 255:                                                   # 12
            red = 255
        if green > 255:
            green = 255
        if blue > 255:
            blue = 255

        red    = red & 0xF8                                             # 13
        green1 = (green & 0xE0) >> 5
        green2 = (green & 0x1C) << 11
        blue   = (blue  & 0xF8) << 5
        color  = red | green1 | green2 | blue
        return color

    def print_char(self, font, char, x, y, color):                      # 14
        try:
            bitmap = font[ord(char)]
        except:
            bitmap = font[0]
            print(f"Char {char} doesn't exist in font")

        width    = bitmap[0]
        height   = bitmap[1]
        space    = bitmap[2]
        offset_x = 0
```

Listing 1. Kod pliku st7796_horizontal.py

Płytkę wyświetlacza możemy połączyć z modułem ESP32-S3 przy użyciu kilku kabelków i płytki stykowej. Przykładowy sposób połączeń pokazano w **tabeli 1**. Możemy oczywiście wykorzystać inne piny GPIO, ale wtedy trzeba zmodyfikować kody programów.

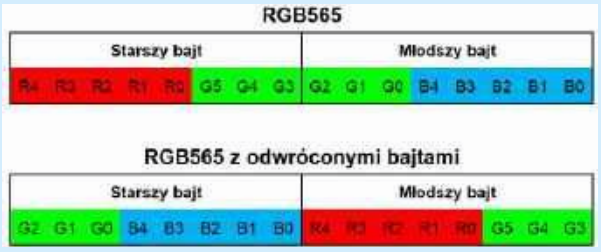
Moduł ST7796

Przygotujemy moduł obsługujący sterownik ST7796 w dwóch wersjach – jeden będzie obsługiwał obraz w poziomie, a drugi w pionie. Kod napiszemy w taki sposób, aby można było stosować zamiennie oba moduły w zależności od potrzeb. Różnić się będą jedynie sekwencją inicjalizacyjną i stałymi, definiującymi wysokość i szerokość w pikselach. Będą to pliki st7796_horizontal.py oraz st7796_vertical.py. Weźmy pod lupę kod pokazany na **listingu 1**, zawierającym kod dla wyświetlacza w orientacji poziomej, a wersję pionową Czytelnik może pobrać z GitHuba autora, dostępnego pod adresem [1].

Program zaczynamy standardowo, czyli od zaimportowania modułów, które będziemy wykorzystywać, a następnie w liniach 1 i 2 definiujemy stałe odpowiadające za wysokość i szerokość. Stałe **const()** to coś, czego nie znajdziemy w normalnym Pythonie na zwykłe komputery. Dzięki ich implementacji w MicroPythonie możemy utworzyć stałe i zaoszczędzić trochę pamięci RAM.

Dalej, w linii 2 i kolejnych, tworzymy definicje podstawowych barw. Są to najbardziej intensywne odcienie kolorów: czerwonego, żółtego, zielonego, błękitnego (cyan), niebieskiego, fioletowego (magenta), białego i czarnego, jakie tylko można uzyskać przy pomocy takiego wyświetlacza. Aby zrozumieć, co oznaczają poszczególne bity w tych stałych, zobaczmy **rysunek 1**. W kodowaniu RGB565 mamy możliwość ustawienia jasności koloru czerwonego przy pomocy 5 bitów, zielonego – 6 bitów, a na niebieski przypada 5 bitów. Bity te zapisujemy od najstarszego do najmłodszego, a całość zajmuje dwa bajty – nazywane starszym i młodszym. Niektóre sterowniki (do nich należy też nasz ST7796) korzystają z odwróconej notacji. Wtedy starszy i młodszy bajt zamienione są kolejnością. Przypatrz się bitom w linii 2 i tabelce na rysunku 1, a na pewno dostrzeżesz prawidłowość. Dla poprawy czytelności kodu zastosowałem znaki „_”, aby rozdzielić bity poszczególnych składowych kolorów.

W linii 3 rozpoczynamy klasę ST7796. W nawiasach za jej identyfikatorem podajemy nazwę nadrzędnej klasy, z której nasza klasa ma dziedziczyć różne metody. Będziemy tutaj korzystać z klasy **FrameBuffer** z modułu **framebuf**. Znajdują się tam wszystkie przydatne moduły do obsługi bufora obrazu oraz rysowania w nim różnych kształtów. My musimy tę klasę rozbudować jedynie o metodę inicjalizującą wyświetlacz, transferującą bufor obrazu przez SPI. Ewentualnie możemy dodać nasze własne metody do generowania tekstu przy pomocy różnych czcionek, co także uczynimy.



Rysunek 1. Znaczenie poszczególnych bitów w kodowaniu RGB565

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

eprasa.pl 3b5392c828

```
        offset_y = 0

        for byte in bitmap[3:]:
            for bit in range(8):
                if byte & (1<<bit):
                    self.pixel(offset_x+x, offset_y+y+bit, color)

            offset_x += 1
            if offset_x == width:
                offset_x = 0
                offset_y += 8

        return width + space

    def print_text(self, font, text, x, y, align="L", color=1):      # 15
        width = self.get_text_width(font, text)

        if   align == "R":
            x = WIDTH - width
        elif align == "C":
            x = WIDTH//2 - width//2
        elif align == "r":
            x = x - width + 1
        elif align == "c":
            x = x - width//2

        for char in text:
            x += self.print_char(font, char, x, y, color)

    def get_text_width(self, font, text):                            # 16
        total = 0
        last_char_space = 0
        for char in text:
            bitmap = font.get(ord(char), font[0])
            total += bitmap[0]
            total += bitmap[2]
            last_char_space = bitmap[2]

        return total - last_char_space
```

Listing 1. Kod pliku st7796_horizontal.py – cd.

Tabela 1. Sposób połączenia wyświetlacza z ESP32-S3

Nr pinu	Nazwa	Podłączenie	Komentarz
1	SD_CS	Nieużywane	Linia Chip Select (CS) karty Micro SD
2	CTP_INT	GPIO 16	Sygnalizacja przerwania od FT6336
3	CTP_SDA	GPIO 8	Dane I²C do FT6336
4	CTP_RST	Nieużywane	Reset FT6336
5	CTP_SCL	GPIO 9	Zegar I²C do FT6336
6	SDO(MISO)	Nieużywane	Sygnał w standardzie napięcia 2,5 V
7	LED	3,3 V	Włączanie podświetlania (można stosować PWM)
8	SCK	GPIO 15	Wejście zegara SPI w ST7796
9	SDI(MOSI)	GPIO 7	Wejście danych SPI w ST7796
10	LCD_RS	GPIO 6	DC ST7796 (na płytce jest błąd w oznaczeniu)
11	LCD_RST	GPIO 5	Reset w ST7796
12	LCD_CS	GPIO 4	Chip select SPI w ST7796
13	GND	GND	Masa
14	VCC	5 V	Zasilanie wszystkiego

Zobacz więcej:
- Repozytorium kursu na GitHubie https://github.com/leonow32/micropython
- Dokumentacja klasy SPI https://docs.micropython.org/en/latest/library/machine.SPI.html#machine-spi
- Dokumentacja klasy FrameBuffer https://docs.micropython.org/en/latest/library/framebuf.html
- Dokumentacja sterownika wyświetlacza ST7796 https://www.displayfuture.com/Display/datasheet/controller/ST7796s.pdf
- Dokumentacja sterownika panelu dotykowego FT6336 https://www.buydisplay.com/download/ic/FT6236-FT6336--FT6436L-FT6436_Datasheet.pdf

Klasę rozpoczynamy od napisania jej konstruktora **__init__** w linii 4. Jako argumenty przyjmuje on interfejs SPI oraz piny CS, DC, RST, które mają być wykorzystywane do obsługi wyświetlacza. Oczekujemy, że zostaną tutaj dostarczone instancje klasy **SPI** oraz **Pin** z modułu **machine**. Zapisujemy te wszystkie obiekty do zmiennych wewnętrznych klasy. Następnie w linii 5 inicjalizujemy wszystkie piny CS, DC i RST jako wyjścia w stanie wysokim.

W linii 6 tworzymy bufor obrazu **array**. Jest to obiekt typu bytearray, którego rozmiar ustalamy jako iloczyn wysokości i szerokości, a następnie mnożymy go przez 2, bo na każdy piksel obrazu trzeba zarezerwować dwa bajty.

W kolejnej linii wywołujemy konstruktor klasy **FrameBuffer**. Musimy się do niej odwołać korzystając z funkcji specjalnej **super()**. Do konstruktora przekazujemy następujące argumenty: bufor obrazu utworzony linijkę wyżej, szerokość, wysokość oraz format obrazu.

Przechodzimy do fizycznej inicjalizacji wyświetlacza. W linii 8 ustawiamy pin reset w stan niski na 15 ms, a następnie w stan wysoki na kolejne 15 ms. Dopiero po tym przesyłamy sekwencję konfiguracyjną przy pomocy metod **write_cmd** i **write_data**. Metody te definiujemy w linijkach 8 i 9 – przesyłają one bajt podany w argumencie jako dane lub polecenie. Są bardzo podobne – ustawiają pin CS w stan niski, transmitują bajt przez SPI i ponownie ustawiają pin CS w stan spoczynkowy (wysoki). Różnią się jedynie ustawieniem pinu DC przed transmisją. Zadanie tej linii polega właśnie na wskazaniu, czy bajty przesyłane przez interfejs SPI mają być interpretowane jako polecenia, czy jako dane.

W linii 10 tworzymy metodę **refresh**. Jej zadaniem jest przesłanie bufora obrazu do sterownika ST7796. Aby to uczynić, rozpoczynamy transmisję od ustawienia pinów CS i DC w stan niski, aby przesłać polecenie 0x2C informujące sterownik, że ma ustawić kursor na współrzędnej zerowej. Dalej w tej samej transakcji musimy przesłać dane obrazu. Ustawiamy pin DC w stan wysoki, po czym przesyłamy cały bufor **array**. Kończymy transmisję, ustawiając linię CS w stan wysoki.

Można zapytać, dlaczego tutaj nie użyto metod **write_data** i **write_cmd**, jakie opracowaliśmy wcześniej? Po pierwsze chodzi o szybkość działania. Funkcja **write_data** rozpoczyna transmisję, ustawia pin DC, przesyła tylko jeden bajt i kończy transmisję. Wydajniej jest natomiast przesłać cały bufor obrazu w jednej transmisji. Po drugie polecenie 0x2C powoduje, że wszystkie kolejne dane, aż do zakończenia transmisji, mają być interpretowane jako obraz. To znaczy, że nie możemy przełączyć pinu CS w stan wysoki, dopóki nie prześlemy całego bufora obrazu. W przeciwnym wypadku musielibyśmy ponownie wysłać polecenie 0x2C i przesyłać bufor obrazu od początku.

Metoda **color** w linii 11 służy do konwersji kolorów na format RGB565 z odwróconymi bajtami. W argumentach należy podać jasność składowych koloru czerwonego, zielonego i niebieskiego w zakresie od 0 do 255. Metoda zwraca 16-bitową wartość, zrozumiałą dla sterownika naszego wyświetlacza. Mogłoby się zdarzyć, że przekazywane argumenty nie są liczbami całkowitymi – z tego powodu wykonujemy konwersję na zmienne całkowite przy pomocy funkcji **int**. Następnie upewniamy się, że argumenty nie przekraczają dopuszczalnych granic, ale jeżeli tak jest, to przypisujemy im wartości maksymalne. Dalej pozostają już tylko operacje bitowe i zwracanie gotowego wyniku.

Metody **print_char** (linia 14), **print_text** (linia 15) i **get_text_width** (linia 16) służą do wyświetlania napisów niestandardowymi czcionkami i działają tak samo, jak w przypadku wyświetlacza OLED z poprzedniego odcinka kursu. Odsyłam więc do wrześniowego numeru „Elektroniki Praktycznej”.

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

eprasa.pl 3b5392c828

```
# Plik demo_simple.py

from machine import Pin, SPI
import st7796_horizontal as st7796                                  # 1
# import st7796_vertical as st7796                                  # 2

spi = SPI(2, baudrate=80_000_000, polarity=0, phase=0,              # 3
          sck=Pin(15), mosi=Pin(7), miso=None)
display = st7796.ST7796(spi, cs=Pin(4), dc=Pin(6), rst=Pin(5)) # 4

display.rect(0, 0, 128, 64, st7796.WHITE)                           # 5
display.text('abcdefghijklm', 1, 2, st7796.RED)
display.text('nopqrstuvwxyz', 1, 10, st7796.YELLOW)
display.text('ABCDEFGHIJKLM', 1, 18, st7796.GREEN)
display.text('NOPQRSTUVWXYZ', 1, 26, st7796.CYAN)
display.text('0123456789+-*/', 1, 34, st7796.BLUE)
display.text('!@#$%^&*(),.<>?', 1, 42, st7796.MAGENTA)
display.refresh()                                                   # 6
```

Listing 2. Kod pliku demo_simple.py



Fotografia 4. Efekt działania kodu z demo_simple.py

Pobierz z GitHuba gotowe pliki [1] i skopiuj st7796_horizontal.py oraz st7796_vertical.py do katalogu głównego dysku w ESP32-S3.

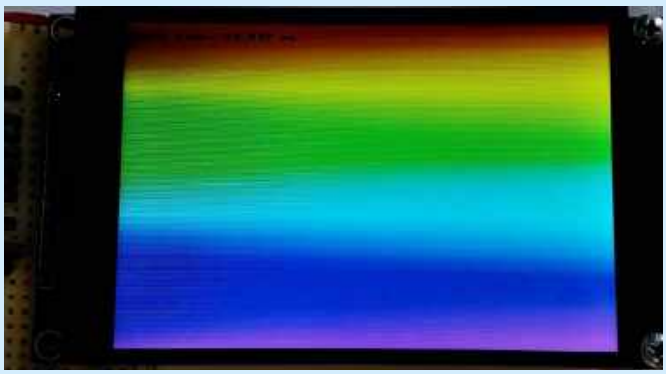
Testujemy wyświetlacz

Czas zobaczyć, jak nasz wyświetlacz działa w praktyce. Zobacz kod pliku demo_simple.py pokazany na **listingu 2**. Jest on bardzo prosty. W liniach 1 i 2 importujemy moduł **st7796_horizontal** lub **st7796_vertical**, w zależności od tego, która linia jest zakomentowana, a która nie. Korzystając ze słowa kluczowego as możemy zmienić nazwę importowanego modułu i w obu przypadkach nazywamy go **st7796**, aby w dalszej części programu nie trzeba było nic modyfikować po zmianie używanego modułu.

W liniach 3 i 4 tworzymy instancje klas SPI, a także ST7796, którą zapisujemy do zmiennej display. Przy pomocy tej zmiennej możemy uzyskać dostęp do wszystkich metod klasy. To wszystko co musimy zrobić, aby mieć możliwość pokazania czegoś na wyświetlaczu.

W linii 5 rysujemy biały prostokąt bez wypełnienia. W kolejnych liniach tworzymy różne napisy przy pomocy standardowej metody **text**, odziedziczonej z klasy **FrameBuffer**. Na koniec wywołujemy metodę **refresh** (linia 6), która przesyła nasz obraz do wyświetlacza. Efekt pracy tego kodu można zobaczyć na **fotografii 4**.

Na GitHubie umieściłem kilka różnych demonstracji. Nie będziemy szczegółowo analizować każdej z nich, a tylko skrótowo je omówimy.



Fotografia 5. Efekt działania kodu z pliku demo_rainbow.py



Fotografia 6. Efekt działania kodu z pliku demo_fonts.py

Program w pliku **demo_rainbow.py** generuje tęczę. Dzieli obszar wyświetlacza na 320 poziomych linii i każdej z nich przypisuje inny kolor, korzystając z metody **color** klasy **ST7796**. Uzyskany efekt widać na **fotografii 5**.

Plik **demo_fonts.py** pokazuje, w jaki sposób można wyświetlać napisy przy pomocy niestandardowych czcionek. Działa to tak samo, jak w przypadku wyświetlacza OLED, omawianego w poprzednim odcinku kursu (nawet pliki czcionek są te same), a jedyna różnica polega na tym, że tekst może mieć dowolny kolor z palety RGB565, a nie tylko czarny lub biały. Demonstrację czcionek pokazuje **fotografia 6**.

Na naszym wyświetlaczu oczywiście możemy pokazywać także pliki graficzne, analogicznie jak w poprzednim odcinku kursu. Otwórz i uruchom pliki demo_images.py oraz demo_logo_ep.py. Efekt działania tego drugiego widzimy na **fotografii 7** – program wyświetla logo „Elektroniki Praktycznej".

Moduł FT6336 z pollingiem

Na naszym wyświetlaczu zamontowany jest pojemnościowy panel dotykowy ze sterownikiem FT 6336 firmy Focal Tech. Dokumentację tego układu znajdziemy pod adresem [5]. Sterownik jest już skonfigurowany przez producenta, a wszystkie dane kalibracyjne są zapisane w pamięci. Ponadto sterownik zna rozdzielczość wyświetlacza, a jego układ współrzędnych jest zgodny z układem współrzędnych wyświetlacza przy domyślnej konfiguracji (tzn. kiedy wyświetlacz pokazuje obraz pionowo, a nie poziomo). Po włączeniu zasilania sterownik od razu działa. Wystarczy tylko odczytywać z niego dane.

FT6336 obsługuje śledzenie dwóch palców jednocześnie, rozpoznawanie prostych gestów, pamięć buforującą dotknięcia, a także wiele innych funkcjonalności. Jednak, aby ten odcinek kursu nie był nadmiernie długi, ograniczymy się do rozpoznawania tylko jednego punktu dotykowego.

Komunikacja przez interfejs I²C może odbywać się na dwa sposoby. Układ slave na I²C, wykorzystujący tylko sygnały SDA i SCL, nie ma może rozpocząć komunikacji z masterem. Jedną z możliwości



Fotografia 7. Efekt działania kodu z pliku demo_ep_logo.py

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

eprasa.pl 3b5392c828

rozwiązania tego problemu jest cykliczne odpytywanie sterownika by sprawdzić, czy panel został dotknięty. Jest to tzw. polling. Drugą opcją jest zastosowanie trzeciego sygnału INT, którym slave informuje mastera, że powinien rozpocząć komunikację i odczytać dane.

Sterownik FT6336 przechowuje dane tak, jakby był pamięcią o 8-bitowym adresowaniu (podobnie jak omawiany wcześniej zegar DS1307). Zobacz **rysunek 2**, który pokazuje fragment mapy rejestrów przechowujących informacje związane z pierwszym wykrywanym punktem dotykowym. Z tego wszystkiego nas interesować będą współrzędne x oraz y tego punktu oraz 2-bitowy kod zdarzenia z nim związanego. Możliwe zdarzenia to:

- 00 – dotknięcie,
- 01 – puszczenie,
- 10 – trzymanie,
- 11 – brak zdarzeń.

Zatem interesować nas będą rejestry o adresach od 0x03 do 0x06, czyli odczytywać będziemy 4 bajty danych.

Address	Name	Default Value	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0	Host Access
0x00	DEV_MODE	0x00		[2:0]Device Mode							R/W
0x01	GEST_ID	0x00	[7:0]Gesture ID								R
0x02	TD_STATUS	0x00					[3:0] Number of touch points				R
0x03	P1_XH	0xFF	[7:6]1st Event Flag				[3:0] 1st Touch X Position[11:8]				R
0x04	P1_XL	0xFF	[7:0] 1st Touch X Position								R
0x05	P1_YH	0xFF	[7:4] 1st Touch ID				[3:0] 1st Touch Y Position[11:8]				R
0x06	P1_YL	0xFF	[7:0] 1st Touch Y Position								R
0x07	P1_WEIGHT	0xFF	[7:0] 1st Touch Weight								R
0x08	P1_MISC	0xFF	[7:4] 1st Touch Area								R

Rysunek 2. Fragment mapy rejestrów sterownika FT6336

Czas na analizę kodu widocznego na **listingu 3**. Zawiera on klasę obsługującą FT6336 metodą pollingu. Cykliczne odczytywanie danych zrealizujemy korzystając z wielowątkowości z modułu **_thread**, który importujemy w linii 1.

Adres sterownika FT6336 na magistrali I²C to 0x38 i nie można go zmienić. Dlatego definiujemy go jako stałą (linia 2). Poniżej, w linii 3, mamy kilka kolejnych stałych, odpowiedzialnych za kody zdarzeń.

W linii 4 znajduje się konstruktor klasy FT6336. Przyjmuje on następujące argumenty:

- i2c – instancja klasy odpowiedzialnej za komunikację przez I²C,
- period_ms – okres w milisekundach pomiędzy odczytami,
- callback – wskaźnik do funkcji, która ma być wywołana po każdym odczycie.

Argument i2c zapisujemy jako zmienną lokalną klasy, a dwa pozostałe służą uruchomienia tasku odczytującego przy pomocy funkcji **start_new_thread** z modułu **_thread**. Pierwszym argumentem tej funkcji jest wskaźnik do tasku, który ma być cyklicznie wywoływany. Drugi argument to krotka, w której możemy spakować dowolne informacje, jakie mają być przekazywane do tasku. W naszym przypadku są to: okres pomiędzy odczytami oraz wskaźnik do funkcji – czyli argumenty przekazywane do konstruktora podajemy dalej do tasku (linia 5).

Task tworzymy w linii 6. W gruncie rzeczy to jest zwykła funkcja. Podczas wywołania przekazywane są do niej argumenty period ms oraz callback. Charakterystyczną cechą wszystkich tasków jest to, że mają w sobie pętlę nieskończoną **while True** (linia 7), która wykonuje się tak długo, aż proces zostanie uśpiony przy pomocy funkcji **sleep_ms** z modułu **time** (linia 8).

W linii 9 odczytujemy interesujące nas rejestry, po czym wykonujemy kilka operacji, aby wyłuskać z nich współrzędne x, y oraz kod zdarzenia. Na zakończenie, w linii 10, wywołujemy funkcję przekazaną do konstruktora klasy, która poprzez argumenty otrzymuje informacje odczytane chwilę wcześniej ze sterownika.

Przetestujmy, jak to działa. Skopiuj plik ft6336_polling.py do pamięci ESP32, a następnie uruchom demo_touch_polling.py, którego kod znajduje się na **listingu 4**. Importujemy tam uprzednio tworzony moduł **ft6336_polling** i dla uproszczenia zmieniamy mu nazwę na **ft6336**. Podobnie robimy z modułem sterownika wyświetlacza (linia 1).

W linii 2 tworzymy prosty słownik **event_str**, ułatwiający nam przekształcenie kodu zdarzenia na zrozumiały napis, który będzie pokazany na wyświetlaczu.

Przeskoczmy teraz do linii 8. Tworzymy tam interfejs SPI. Dalej, w linii 9 tworzymy instancję klasy obsługującej wyświetlacz. W następnej linii tworzymy instancję I²C oraz klasę obsługującą panel dotykowy. Cały bufor wyświetlacza zapełniamy czarnym kolorem (linia 12) i przesyłamy go do wyświetlacza (linia 13). Klasę panelu dotykowego konfigurujemy tak, aby odczytywać dane z panelu co 100 ms, a po każdym odczycie ma być wywołana funkcja **draw_point**.

Definiujemy tę funkcję w linii 3. Odczytuje ona współrzędne i kod zdarzenia. Rysuje niebieski prostokąt (linia 4), a na nim napis ze współrzędnymi i opisem zdarzenia w kolorze żółtym (linia 5). W zależności od tego, jakie zdarzenie nastąpiło, rysujemy piksele o różnych kolorach na współrzędnych, jakie zostały odczytane ze sterownika panelu (linia 6). Pozostaje już tylko przesłać obraz do wyświetlacza (linia 7). Efekt pracy tego kodu pokazuje **fotografia 8**.

Moduł FT6336 z przerwaniami

Teraz zrobimy podobną klasę do obsługi panelu dotykowego, ale zamiast pollingu będzie ona korzystać z przerwań. Zobaczmy kod pliku ft6336_int.py, który zaprezentowano na listingu 5. Jest on podobny do poprzednio opisanego, więc omówimy tylko istotne różnice.

W konstruktorze klasy nie mamy już okresu w milisekundach, a zamiast niego pobieramy instancję klasy odpowiedzialnej za pin INT obsługujący przerwania, którym sterownik panelu dotykowego zgłasza wystąpienie zdarzenia. Wskaźnik do funkcji callback zapisujemy jako zmienną lokalną klasy, a pin konfigurujemy tak, aby pracował jako wejście z rezystorem pull-up (linia 3) oraz aby wywoływał przerwania (linia 4). W momencie wystąpienia zbocza opadającego na pinie INT, ma zostać wywołana funkcja **irq_handler**. Tworzymy także bytearray o rozmiarze 4 bajtów (linia 2), ponieważ autorzy MicroPythona zalecają, aby w przerwaniach nie tworzyć nowych zmiennych, a zamiast tego wykorzystywać te, które już istnieją.

W linii 5 tworzymy funkcję **irq_handler**. Musi ona przyjmować argument source, który jest obiektem wywołującym przerwanie,



Fotografia 8. Efekt pracy testowego programu dla panelu dotykowego

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

eprasa.pl 3b5392c828

```
# Plik ft6336_polling.py

import _thread                                                          # 1
import time

ADDRESS = const(0x38)                                                   # 2

EVENT_PRESS   = const(0b00_000000)                                      # 3
EVENT_LIFT    = const(0b01_000000)
EVENT_CONTACT = const(0b10_000000)
EVENT_NONE    = const(0b11_000000)

class FT6336():

    def __init__(self, i2c, period_ms, callback):                      # 4
        self.i2c = i2c
        _thread.start_new_thread(self.task, (period_ms, callback))     # 5

    def task(self, period_ms, callback):                                # 6
        while True:                                                     # 7
            time.sleep_ms(period_ms)                                    # 8

            buffer = self.i2c.readfrom_mem(ADDRESS, 0x03, 4)            # 9
            x = ((buffer[0] & 0x0F) << 8) | buffer[1]
            y = ((buffer[2] & 0x0F) << 8) | buffer[3]
            event = buffer[0] & 0b11000000

            callback(x, y, event)                                       # 10
```

Listing 3. Kod pliku ft6336_polling.py

```
# Plik demo_touch_polling.py

from machine import Pin, SPI, I2C
import ft6336_polling as ft6336                                         # 1
import st7796_vertical as st7796

event_str = {                                                           # 2
    ft6336.EVENT_PRESS:   "Press",
    ft6336.EVENT_LIFT:    "Lift",
    ft6336.EVENT_CONTACT: "Contact",
    ft6336.EVENT_NONE:    "None",
}

def draw_point(x, y, event):                                            # 3
    display.fill_rect(0, 0, 320, 8, st7796.BLUE)                        # 4
    display.text(f"x={x:3d}, y={y:3d}, event={event_str[event]}",       # 5
                 0, 0, st7796.YELLOW)

    if event == ft6336.EVENT_PRESS:                                     # 6
        display.pixel(x, y, st7796.GREEN)
    elif event == ft6336.EVENT_CONTACT:
        display.pixel(x, y, st7796.YELLOW)
    elif event == ft6336.EVENT_LIFT:
        display.pixel(x, y, st7796.RED)

    display.refresh()                                                   # 7

spi = SPI(2, baudrate=80_000_000, polarity=0, phase=0,                  # 8
          sck=Pin(15), mosi=Pin(7), miso=None)
display = st7796.ST7796(spi, cs=Pin(4), dc=Pin(6), rst=Pin(5))          # 9

i2c = I2C(0)                                                            # 10
touch = ft6336.FT6336(i2c, period_ms=100, callback=draw_point)          # 11

display.fill(st7796.BLACK)                                              # 12
display.refresh()                                                       # 13
```

Listing 4. Kod pliku demo_touch_polling.py

```
# Plik ft6336_int.py

import machine

ADDRESS = const(0x38)

EVENT_PRESS   = const(0b00_000000)
EVENT_LIFT    = const(0b01_000000)
EVENT_CONTACT = const(0b10_000000)
EVENT_NONE    = const(0b11_000000)

class FT6336():

    def __init__(self, i2c, int_gpio, callback):                        # 1
        self.i2c = i2c
        self.callback = callback
        self.buffer = bytearray(4)                                      # 2
        int_gpio.init(mode=machine.Pin.IN, pull=machine.Pin.PULL_UP)    # 3
        int_gpio.irq(self.irq_handler, machine.Pin.IRQ_FALLING)         # 4

    def irq_handler(self, source):                                      # 5
        self.i2c.readfrom_mem_into(ADDRESS, 0x03, self.buffer)
        x = ((self.buffer[0] & 0x0F) << 8) | self.buffer[1]
        y = ((self.buffer[2] & 0x0F) << 8) | self.buffer[3]
        event = self.buffer[0] & 0b11000000

        self.callback(x, y, event)                                      # 6
```

Listing 5. Kod pliku ft6336_int.py

```
# Plik demo_touch_int.py

from machine import Pin, SPI, I2C
import ft6336_int as ft6336                                             # 1
import st7796_vertical as st7796

event_str = {
    ft6336.EVENT_PRESS:   "Press",
    ft6336.EVENT_LIFT:    "Lift",
    ft6336.EVENT_CONTACT: "Contact",
    ft6336.EVENT_NONE:    "None",
}

def draw_point(x, y, event):
    display.fill_rect(0, 0, 320, 8, st7796.BLUE)
    display.text(f"x={x:3d}, y={y:3d}, event={event_str[event]}",
                 0, 0, st7796.YELLOW)

    if event == ft6336.EVENT_PRESS:
        display.pixel(x, y, st7796.GREEN)
    elif event == ft6336.EVENT_CONTACT:
        display.pixel(x, y, st7796.YELLOW)
    elif event == ft6336.EVENT_LIFT:
        display.pixel(x, y, st7796.RED)

    display.refresh()

spi = SPI(2, baudrate=80_000_000, polarity=0, phase=0,
          sck=Pin(15), mosi=Pin(7), miso=None)
display = st7796.ST7796(spi, cs=Pin(4), dc=Pin(6), rst=Pin(5))

i2c = I2C(0)
touch = ft6336.FT6336(i2c, int_gpio=Pin(16), callback=draw_point)       # 2

display.fill(st7796.BLACK)
display.refresh()
```

Listing 6. Kod pliku demo_touch_int.py

ale nam ta funkcjonalność nie jest potrzebna. Wewnątrz tej funkcji jedynie odczytujemy dane przez I²C, przekształcamy je i następnie wywołujemy funkcję **callback**, do której przekazujemy odczytane wartości poprzez argumenty.

Program demonstrujący działanie tej klasy wymaga drobnych zmian – popatrz na **listing 5**. Jedyne dwie różnice to importowanie modułu o innej nazwie (linia 1) oraz wskazanie pinu INT w konstruktorze klasy FT6336 (linia 2). Poza tym wszystko pozostało bez zmian.

Czas zastanowić się, które podejście jest lepsze. Sposób z pollingiem pozwala wykorzystać tylko dwa standardowe piny SDA i SCL interfejsu I²C i nic więcej nie jest potrzebne. Jednak tutaj kończą się zalety tej metody. Ciągłe odpytywanie marnuje czas i energię, a przez większość czasu pracy urządzenia wyświetlacz nie jest dotykany, zatem odczytywanie danych z niego jest bez sensu. Ponadto czas reakcji na dotyk uzależniony jest od częstotliwości odczytywania.

W przypadku implementacji z wykorzystaniem przerwań musimy poświęcić jeden pin procesora na sygnalizację zdarzeń. Procesor odczytuje dane z panelu dotykowego tylko, wtedy, kiedy faktycznie jest co odczytywać. Ponadto procesor reaguje szybciej, bo czas wejścia w przerwanie jest bardzo krótki. Szybszy czas reakcji widać wyraźnie w naszym programie demonstracyjnym.

To wszystko na dziś! W następnym odcinku kursu, a także kilku kolejnych, będziemy poznawać możliwości komunikacji bezprzewodowej ESP32 z wykorzystaniem MicroPythona.

Dominik Bieczyński
leonow32@gmail.com

REKLAMA

facebook.com/ElektronikaPraktyczna

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

eprasa.pl 3b5392c828



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



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

BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

Mikroskopy cyfrowe dla elektroników

Rabat dla Czytelników EP
przy zakupie podaj kod **EP2505MC**

-3%

Rabat dla Prenumeratorów EP
przy zakupie podaj numer prenumeraty

-6%



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



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



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



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

koktajl niusów

Fotoelektryczny czujnik dymu FASD1



Fotoelektryczny czujnik dymu FASD1 implementuje technologię pozwalającą na wykrycie tlącego się pożaru, zanim ogień rozwinie się w pełni. Działa na zasadzie analizy zmian natężenia światła wewnątrz komory detekcyjnej, co sprawdza się szczególnie w przypadku pożarów mebli, instalacji elektrycznych czy ścian kartonowo-gipsowych. Wczesne wykrycie dymu zapewnia czas potrzebny na ewakuację oraz wezwanie służb ratunkowych, zwiększając szansę na opanowanie sytuacji.

Urządzenie zaprojektowano tak, aby jego montaż był szybki i nieskomplikowany. Czujnik można zamocować na ścianie lub suficie przy użyciu uchwytów montażowych i kołków rozporowych. Producent zaleca jednak, aby dla pewności poprawnej instalacji skorzystać z pomocy wykwalifikowanego elektryka. Dołączona instrukcja obsługi zawiera szczegółowe wskazówki dotyczące lokalizacji, w tym unikania tzw. martwych stref przy szczytach sufitowych, a także porady dotyczące optymalnego rozmieszczenia urządzeń w budynku. Regularne czyszczenie i testowanie – na przykład raz w miesiącu – gwarantują długotrwałą i niezawodną pracę.

Czujnik FASD1 wyposażono w funkcje ułatwiające użytkowanie, takie jak automatyczne testowanie, system sygnalizacji LED oraz przycisk pozwalający na chwilowe wyciszenie alarmu. Urządzenie może być stosowane zarówno w domach jednorodzinnych, jak i w obiektach komercyjnych czy przemysłowych. Jego jakość potwierdzają certyfikaty CE, CPR i DOP, co oznacza zgodność z kluczowymi normami bezpieczeństwa przeciwpożarowego.

https://tiny.pl/rn8rdj69



AGH Rescue Dron – nowoczesny system wsparcia ratunkowego oparty na roju dronów

AGH Rescue Dron to studencki projekt, którego celem jest stworzenie nowoczesnego systemu wsparcia ratunkowego opartego na współpracującym roju dronów. Rozwiązanie ma zapewniać tymczasową łączność telekomunikacyjną oraz analizę obrazu wideo w miejscach trudno dostępnych, takich jak tereny górskie, strefa przybrzeżna Morza Bałtyckiego czy obszary dotknięte klęskami żywiołowymi. Dzięki systemowi osoby poszkodowane będą mogły wezwać pomoc nawet w sytuacji braku dostępu do tradycyjnych sieci telekomunikacyjnych. W szczególnych przypadkach technologia ma także zwiększać pojemność sieci 5G, co pozwoli na sprawną obsługę dużych imprez masowych.

Projekt zakłada wykorzystanie kamer wysokiej rozdzielczości i termowizyjnych, systemów uczenia maszynowego oraz wielu technologii komunikacyjnych, w tym Wi-Fi, 5G, LoRa, Bluetooth i ZigBee. Ważnym elementem koncepcji jest niezależność od systemu GPS, co ma zwiększyć niezawodność i bezpieczeństwo działania w trudnych warunkach. Drony wchodzące w skład AGH Rescue Dron będą tworzyć autonomiczną sieć, zdolną do przesyłania obrazu wideo i wspomagania lokalizacji osób potrzebujących pomocy dzięki algorytmom analizy obrazu w czasie rzeczywistym.

System ma zostać zoptymalizowany pod kątem efektywnego zarządzania energią, co pozwoli na długotrwałe działanie w wymagających warunkach terenowych i atmosferycznych. Drony będą mogły być zastosowane do oceny zniszczeń oraz poszukiwania poszkodowanych w rejonach dotkniętych trzęsieniami ziemi, a także w górach i na morzu, gdzie klasyczne metody łączności okazują się niewystarczające. Oprócz tego znajdą zastosowanie w zwiększaniu przepustowości sieci podczas wydarzeń masowych, kiedy infrastruktura telekomunikacyjna jest najbardziej obciążona.

https://kolo.kt.agh.edu.pl/projects/AghRescueDrone



Najnowszy moduł wyświetlacza dvLED z serii FE3 o ultraniskim rozstawie pikseli

Najnowszy moduł wyświetlacza dvLED z serii FE3 wykorzystuje technologię Flip-Chip Integrated Matrix Device (Flip-Chip IMD) i charakteryzuje się ultraniskim rozstawem pikseli wynoszącym 950 µm. Takie rozwiązanie pozwala na uzyskanie wysokiej rozdzielczości obrazu, dzięki czemu wyświetlacz jest szczególnie przydatny w aplikacjach, w których obraz oglądany jest z niewielkich odległości. Podobnie jak inne moduły z tej serii, oferuje on szeroki kąt widzenia, doskonałe odwzorowanie kolorów oraz wysoką jakość wykonania.

W porównaniu z wyświetlaczami opartymi na klasycznej technologii IMD, moduł dvLED FE3 zużywa o około 60% mniej energii, co podkreśla jego efektywność energetyczną. Zastosowana metalowa obudowa pełni podwójną funkcję: ułatwia rozpraszanie ciepła, a jednocześnie zapewnia odporność ogniową i trwałość, umożliwiając bezpieczną eksploatację także w trudnych warunkach środowiskowych. Urządzenie spełnia wymagania licznych norm EMC, co gwarantuje niską emisję zakłóceń elektromagnetycznych i niezawodną współpracę z innymi urządzeniami elektronicznymi.

Konstrukcja modułu została zaprojektowana z myślą o łatwej instalacji i obsłudze. Płaski profil tylny pozwala montować wyświetlacz

eprasa.pl 3b5392c828

blisko ściany, a dostęp serwisowy od przodu znacząco ułatwia konserwację. Moduły mogą być łączone w większe ekrany bez widocznych przerw pomiędzy segmentami, co umożliwia budowę rozległych powierzchni wyświetlających obraz o wysokiej jakości. Niewielkie wydzielanie ciepła dodatkowo zwiększa komfort użytkowania w zamkniętych pomieszczeniach, co stanowi jedną z kluczowych zalet tego rozwiązania.

https://tiny.pl/8g7rg1wp



Firma Samsung wprowadziła na rynek pierwszy na świecie telewizor z matrycą Micro RGB

Telewizor z ekranem o przekątnej 115 cali, oparty na matrycy z diodami Micro RGB, stanowi nowy punkt odniesienia w zakresie odwzorowania kolorów, jakości kontrastu i zdolności do generowania immersyjnych wrażeń u odbiorców. Diody zostały rozmieszczone wyjątkowo gęsto, a każda z nich, o wymiarach poniżej 100 µm, zarządzana jest indywidualnie. W odróżnieniu od konwencjonalnych rozwiązań matrycowych zapewnia to niezwykle precyzyjną kontrolę nad wyświetlanym obrazem i końcową reprodukcją barw.

Sterowanie wszystkimi diodami Micro RGB odbywa się za pomocą algorytmów sztucznej inteligencji, które w czasie rzeczywistym analizują każdą klatkę wideo. AI zagościła także w torze audio opisywanego telewizora. Dzięki temu możliwa jest bieżąca optymalizacja zarówno obrazu, jak i dźwięku. Wbudowany wzmacniacz kolorów (Color Booster Pro) rozpoznaje sceny o matowych odcieniach i koryguje ich wygląd, nadając im intensywność i realizm. Dodatkowo zastosowana technologia Micro RGB Precision Color rozszerza precyzję syntezy kolorów, co pozwala na wyjątkowo realistyczne odwzorowanie detali.

Wyświetlany obraz osiąga 100-procentowe pokrycie palety barw BT.2020, a użytkownicy zyskują także ochronę danych osobowych dzięki systemowi zabezpieczeń Samsung Knox. Producent przewidział ponadto nawet do siedmiu lat aktualizacji systemu operacyjnego Tizen, obejmujących nie tylko ulepszanie oprogramowania, lecz również długoterminowe wsparcie techniczne.

https://tiny.pl/0vqkz3mz

Powstaje cyfrowy bliźniak sieci energetycznej firmy Energa

Firma Energa przygotowuje cyfrowego bliźniaka swojej sieci dystrybucyjnej, który będzie wirtualną reprezentacją jednej z największych w kraju infrastruktur energetycznych. Obejmuje ona obecnie około 200 tysięcy kilometrów linii elektroenergetycznych, blisko 60 tysięcy stacji transformatorowych oraz niemal 3 miliony liczników zdalnych. Cyfrowy model ma odwzorowywać właściwości, stan i zachowanie rzeczywistych obiektów, zachowując wysoką dokładność – od dużych stacji i linii wysokiego napięcia, aż po pojedyncze przyłącza i liczniki. Uwzględnione zostaną także warunki otoczenia i wzajemne oddziaływania pomiędzy elementami systemu.

Powstanie cyfrowego bliźniaka umożliwi lepsze i szybsze prognozowanie kluczowych parametrów pracy sieci, takich jak ilość energii



wytwarzanej przez odnawialne źródła, obciążenia infrastruktury czy efekty planowanych inwestycji i przyłączeń. Spodziewane jest znaczące skrócenie czasu potrzebnego na przygotowanie ekspertyz, wydawanie decyzji oraz obsługę użytkowników sieci. Już teraz infrastruktura Energi, szczególnie na poziomie średniego napięcia, spełnia standardy tzw. sieci inteligentnej, co stanowi solidną podstawę do rozwoju projektu.

Cyfrowy bliźniak sieci powstaje równolegle z wdrożeniem systemów wspierających. Energa stosuje już innowacyjny system zarządzania ruchem sieci typu SCADA/ADMS, który umożliwia zdalny nadzór i sterowanie oraz cyfrowo odzwierciedla infrastrukturę dystrybucyjną. Funkcjonuje także system informacji geograficznej. Trwają prace nad technologiami monitoringu i mapowania podziemnych sieci kablowych średniego i wysokiego napięcia oraz nad rozwiązaniami związanymi z digitalizacją sieci niskiego napięcia. Razem tworzą one podstawę do pełnego odwzorowania zarówno infrastruktury Energi, jak i procesów zachodzących w jej otoczeniu.

https://tiny.pl/h683gq1r



Akumulatory z serii Blade do pojazdów elektrycznych

Akumulatory z serii Blade bazują na materiale litowo-żelazowo-fosforanowym (LFP), który charakteryzuje się powolnym nagrzewaniem, niskim wydzielaniem ciepła i brakiem emisji tlenu. Te cechy sprawiają, że stanowi on bezpieczną i stabilną podstawę chemiczną dla magazynowania energii w pojazdach elektrycznych.

Konstrukcja akumulatorów Blade wyróżnia się płaskim, podłużnym kształtem, który sprzyja efektywnemu chłodzeniu. Każdy model z tej serii przeszedł pomyślnie test przebicia gwoździem, powszechnie stosowany do oceny odporności na zjawisko tzw. ucieczki termicznej. Test ten symuluje zwarcie wewnętrzne, jakie może wystąpić np. na skutek uszkodzenia akumulatora przez ostre, metalowe przedmioty. Wszystkie akumulatory Blade wytrzymały próbę bez emisji ognia czy dymu, a temperatura ich powierzchni nie przekroczyła 30...60°C. Ułożone w modułach tworzą strukturę przypominającą belki nośne, co dodatkowo zwiększa odporność na siły i naprężenia.

Dodatkowym elementem konstrukcyjnym jest aluminiowa obudowa przypominająca plaster miodu, wzmocniona panelami o dużej wytrzymałości na górze i na dole pakietu. Taka budowa znacząco podnosi sztywność pionową, zapewniając trwałość

eprasa.pl 3b5392c828

i bezpieczeństwo w trudnych warunkach pracy. Akumulatory Blade wyróżniają się przy tym wysoką gęstością energii oraz długą żywotnością, określaną na ponad 5000 cykli ładowania i rozładowania. Przekłada się to na bezpieczne użytkowanie i niższe koszty eksploatacji.

https://www.byd.com/pl/technologia/byd-blade-battery



Urządzenie Apoller firmy Zortrax do automatycznego wygładzania wydruków 3D

Urządzenie Apoller firmy Zortrax to desktopowe rozwiązanie przeznaczone do automatycznego wygładzania powierzchni wydruków 3D, nadające im jakość zbliżoną do elementów wytwarzanych techniką formowania wtryskowego. Każdy etap procesu kontrolowany jest przez dedykowane algorytmy, dzięki czemu wydruki wykonane w technologii FDM zyskują równomiernie wykończone powierzchnie niezależnie od ich rozmiaru czy stopnia skomplikowania geometrii. Cały proces wygładzania trwa około trzech godzin i jest w pełni zautomatyzowany.

W urządzeniu zastosowano technologię Smart Vapor Smoothing (SVS), która umożliwia wygładzanie zarówno delikatnych detali, jak i modeli zawierających ruchome części czy złożone kształty. Efekt ten osiągany jest poprzez automatyczne sterowanie temperaturą, ciśnieniem i gęstością oparów rozpuszczalnika w komorze roboczej. Apoller obsługuje modele wytworzone w technologiach FDM, FFF, LPD oraz LPD Plus.

Urządzenie jest kompatybilne z filamentami wykonanymi z materiałów ABS, HIPS i ASA, niezależnie od ich producenta. W roli rozpuszczalnika mogą być stosowane wyłącznie czysty aceton lub czysty MEK.

Bezpieczeństwo procesu zapewnia zintegrowany system próżniowy, który zapobiega nadmiernemu wzrostowi ciśnienia wewnątrz komory nawet w sytuacji odparowania rozpuszczalnika. Opary rozprowadzane są równomiernie ku górze, aby dokładnie pokryć powierzchnię modelu, a w przypadku delikatnych elementów ich ilość jest ograniczana, co chroni geometrię detalu. Po zakończeniu pracy system kondensacji zbiera nadmiar substancji, umożliwiając jej ponowne wykorzystanie i obniżając koszty eksploatacji.

https://zortrax.com/pl/post-processing/apoller

Lampa telewizorowa Hue Play, która podświetla ściany

Lampa telewizorowa Hue Play została zaprojektowana z myślą o podświetlaniu ścian znajdujących się za ekranem telewizora. Mimo kompaktowych wymiarów zapewnia intensywne oświetlenie. Urządzenie implementuje technologię ColorCast, dzięki której generowane barwy są żywe i nasycone. W porównaniu z innymi modelami Hue, oferuje dwukrotnie większą jasność i szeroki zakres kolorystycznych gradientów.

Obudowa lampy została wykonana z matowego aluminium, a jej minimalistyczna konstrukcja umożliwia łatwe wkomponowanie w różne wnętrza, w tym w domowe systemy kina. Urządzenie może być zasilane jednym zasilaczem, a w sprzedaży dostępne



są zarówno pojedyncze egzemplarze, jak i zestawy zawierające dwie lampy. W każdym z opakowań znajdują się niezbędne akcesoria montażowe.

Do obsługi Hue Play wymagana jest aplikacja Hue oraz dedykowany mostek, sprzedawany oddzielnie. Lampa włącza się automatycznie po podłączeniu do zasilania, a dzięki kompatybilności z innymi produktami Philips Hue może być z łatwością integrowana z istniejącymi systemami oświetlenia inteligentnego w domach, biurach i innych przestrzeniach.

https://tiny.pl/w_p2v8zt



Pierwsi klienci Orange mogą już korzystać z łączności 5G w paśmie 700 MHz

Orange uruchomił pierwsze 45 stacji bazowych pracujących w paśmie 700 MHz, przyznanym operatorowi w ramach ostatniej aukcji częstotliwości przeprowadzonej przez UKE. Dzięki temu pierwsi klienci mogą korzystać z mobilnych usług w technologii 5G w nowych lokalizacjach.

Usługi 5G w paśmie 700 MHz operator udostępnił w niespełna miesiąc od przydzielenia częstotliwości. Zasięg obejmuje m.in. wybrane miejscowości na Kaszubach, okolice Mielna oraz Pojezierze Sławskie w rejonach Leszna. W najbliższych tygodniach technologia będzie uruchamiana na kolejnych stacjach bazowych.

Wdrożenie pasma 700 MHz ma szczególne znaczenie dla mieszkańców obszarów mniej zurbanizowanych. Sygnały w tym zakresie częstotliwości charakteryzują się większym zasięgiem, co pozwala objąć łącznością 5G tereny oddalone od dużych aglomeracji. Inwestycja wpisuje się w szerszy plan rozwoju sieci Orange, którego celem jest zwiększanie pojemności, dostępności, jakości i niezawodności usług mobilnych.

https://tiny.pl/v_jtzbsn

Jakub Tyburski
jakub.tyburski@elportal.pl

eprasa.pl 3b5392c828

Hity następnego numeru • „Elektronika Praktyczna” 11/2025

Temat numeru: Oprogramowanie dla elektroników

Proces projektowania układów elektronicznych coraz silniej opiera się na specjalistycznym oprogramowaniu. Pakiety EDA (Electronic Design Automation) pozwalają nie tylko na rysowanie schematów i projektowanie PCB, lecz także integrują się ze środowiskami symulacyjnymi umożliwiającymi analizę zachowania układów w domenie czasu i częstotliwości. Dostępne wtyczki wspierają dodatkowe obliczenia – od integralności sygnałowej (SI), przez kompatybilność elektromagnetyczną (EMI/RFI), po zagadnienia związane z integralnością zasilania (PI). Ważnym elementem wirtualnego warsztatu inżyniera są również środowiska IDE dla programistów systemów embedded, narzędzia CAD pozwalające na spójne projektowanie części elektronicznych i mechanicznych czy nawet przeglądarki plików Gerber ułatwiające kontrolę przedprodukcyjną. Coraz większe znaczenie mają też aplikacje oparte na sztucznej inteligencji, które wspierają automatyzację optymalizacji układów oraz przyspieszają weryfikację projektów. Artykuł systematyzuje dostępne rozwiązania i pokazuje ich praktyczne zastosowania w pracy projektanta elektroniki.



Elektronika w praktyce: Płytki drukowane w produkcji seryjnej

Płytki drukowane to fundament współczesnej elektroniki. W artykule omawiamy ewolucję podłoży PCB: od historycznego laminatu papierowo-fenolowego FR-2 po dzisiejsze standardy FR-4, a także bardziej specjalistyczne rozwiązania, takie jak laminaty elastyczne (flex), rigid-flex, aluminiowe MCPCB czy podłoża ceramiczne. Opisujemy ich zalety, ograniczenia i typowe zastosowania, zwracając uwagę na aspekty praktyczne, takie jak odporność termiczna, prowadzenie linii wysokiej częstotliwości czy odprowadzanie ciepła. Ważnym elementem produkcji seryjnej są również zagadnienia panelizacji, maski lutowniczej, opisów, a także reguły DFM – od minimalnych szerokości ścieżek, po stackup i kontrolę impedancji. Nie zabrakło także omówienia przelotek (klasycznych, mikroprzelotek laserowych), metalizacji otworów oraz punktów testowych niezbędnych w automatycznej kontroli jakości. Artykuł bazuje na doświadczeniach z praktyki projektowej i produkcyjnej, zwracając uwagę na detale, które mogą decydować o jakości i niezawodności gotowego urządzenia.



Prosty licznik impulsów

Liczenie kolejnych zwojów nawiniętych na karkas transformatora czy obrotów wału podnośnika – po co robić to ręcznie? Można się rozproszyć, pomylić, zapomnieć i... cały wysiłek na marne. Po to mamy elektronikę, aby oddawać jej tak mozolne i nudne czynności, jak zwykłe liczenie kolejno powtarzających się zdarzeń. Prezentowany układ jest prosty pod tym względem, że nie ma wielu rozbudowanych funkcji, które mogą zwykłego „zjadacza kajzerek” przyprawić o zawrót głowy. Układ zawiera jedynie najważniejsze elementy obsługowe: wyświetlacz, wejście zerowania i przycisk, wejście impulsów, wejście zasilania oraz trzy zworki z tyłu, które przestawia się lutownicą, a które diametralnie rozszerzają możliwości tego układu. Dwie dotyczą wyboru zbocza, na którym następuje reakcja, a trzecia umożliwia pracę licznika w pętli lub sygnalizację jego przepełnienia. Proste, łatwe i – co najważniejsze – skuteczne.



Nowoczesne podejście do konstrukcji obrabiarki CNC, czyli druk 3D w praktyce

Druk 3D kojarzony jest głównie z szybkim prototypowaniem, lecz coraz częściej znajduje praktyczne zastosowanie także w budowie maszyn i urządzeń przemysłowych. W ostatnich latach obserwuje się wyraźny trend przenoszenia technologii addytywnych z laboratoriów i biur konstrukcyjnych do warsztatów oraz małych zakładów produkcyjnych. Umożliwia to tworzenie komponentów nie tylko testowych, lecz również w pełni funkcjonalnych, zdolnych do pracy w realnych warunkach. W artykule zaprezentowano projekt wielkoformatowej obrabiarki CNC, w której technologia FDM została wykorzystana do wykonania kluczowych elementów konstrukcyjnych, uchwytów i mocowań. Zastosowanie wydruków 3D pozwoliło znacząco obniżyć koszty budowy, przyspieszyć proces iteracyjnego projektowania oraz umożliwiło stosowanie nietypowych geometrii, które byłyby trudne do wykonania tradycyjnymi metodami.

Wykaz firm ogłaszających się w tym numerze „Elektroniki Praktycznej”

AKSOTRONIK 17
AVT-SPV 11, 47, 71, 79
BORNICO 9
COMPUTER CONTROLS 7
CONRAD ELECTRONIC 38, 84
FERYSTER 58, 59
INDEL 66
MICROCHIP 5, 20
NORDIC SEMICONDUCTORS 42

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

Wydawnictwo:
AVT Korporacja Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
tel. 22 257 84 99, e-mail: avt@avt.pl

Wydawca:
Wiesław Marciniak

Adres redakcji:
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
e-mail: redakcja@ep.com.pl, www.ep.com.pl

Redaktor Naczelny:
Przemysław Musz

Redaktor Programowy, Przewodniczący Rady Programowej:
Piotr Zbysiński

Menedżer Magazynu:
Katarzyna Gugała, tel. 22 257 84 64

Szef Pracowni Konstrukcyjnej:
Jakub Sobański

Zespół marketingu i reklamy:
Katarzyna Gugała, Bożena Krzykawska, Grzegorz Krzykawski

Stali współpracownicy:
Lucjan Bryndza, Nikodem Czechowski, Jarosław Doliński, Andrzej Gawryluk, Krzysztof Górski, Tomasz Jabłoński, Paweł Kowalczyk, Henryk Kowalski, Rafał Kozik, Michał Kurzela, Jakub Nowicki, Szymon Panecki, Adam Sobczyk, Damian Sosnowski, Ryszard Szymaniak, Adam Tatuś, Jakub Tyburski

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 3b5392c828



eprasa.pl 3b5392c828