



EP W TOKU
NA EP.COM.PL

tylko Prenumeratorzy
mają dostęp do artykułów przed ich publikacją w EP

inspirujące, użyteczne projekty

Xmas-box – sterowany przez Arduino kontroler świątecznych dekoracji • Przedwzmacniacz lampowy do gramofonu • Zegar na rękę • Termostat warsztatowy • Odtwarzacz audio z Raspberry Pi • Czujnik światła ultrafioletowego • Moduł audio DAC z układem CS4344 • Analogowa klawiatura dotykowa • Minimoduł z mikroprocesorem LPC802 • Detektor przejścia prądu przez zero

podzespoły, sprzęt, aplikacje

Raspberry Pi Compute Module 4 • Raspberry Pi 400 okiem elektronika • Narzędzia dla pracowni i serwisu • Modułowe zasilacze impulsowe dla przemysłu firmy Relpol • Profesjonalne wyposażenie serwisu elektronicznego • Elektronika w medycynie

tutoriale

OpenSTLinux dla procesorów z rodziny STM32MP1 • Symulacja i pomiar, czyli LTspice i Analog Discovery 2 w rękach konstruktora. Generowanie przebiegu sinusoidalnego – suplement • Implementacja funkcji Screen Mirroring na platformach SoMLabs VisionSOM-6ULL oraz Raspberry Pi • Projektowanie prostego, energooszczędnego sensora toksycznych gazów • Dwa podejścia do pomiaru temperatury za pomocą termopary

kursy

Systemy dla Internetu Rzeczy. Układy bardzo małej mocy do przyspieszania sztucznej inteligencji • Eksperymenty z FPGA. Dyskretna transformata Fouriera

ELEKTRONIKA W MEDYCYNIE

TEMAT NUMERU



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

ISSN 1230-3526 Indeks 357677



9 771230 352207

PRENUMERUJ!

Standardowe ceny prenumerat:

- roczna – 207,90 zł (1 wydanie gratis)
- dwuletnia – 340,20 zł (6 wydań gratis)

Po latach nawet ZA PÓŁ CENY!

Wieloletni Prenumerat po kilku latach nieprzerwanej prenumeraty zyskuje **DO 50% ZNIŻKI**. Jeśli prenumerujesz EP, wszystkie dane nt. swojej prenumeraty znajdziesz teraz po zalogowaniu na www.avt.pl/prenumerata. Co szczególnie ważne – znajdziesz tam również propozycje przedłużenia Twojej prenumeraty, które uwzględniają przysługujące Ci zniżki.

Prenumerata	bez zniżki lojalnościowej	ze zniżką lojalnościową, jeżeli prenumerujesz nieprzerwanie			
		od roku	od 2 lat	od 3 lat	od 5 lat
roczna	207,90 zł 1 wydanie gratis	189,00 zł 2 wydania gratis	170,10 zł 3 wydania gratis	151,20 zł 4 wydania gratis	
dwuletnia		340,20 zł 6 wydań gratis		283,50 zł 9 wydań gratis	226,80 zł 12 wydań gratis



PREZENT
do każdej opłaconej
prenumeraty:
koszulka lub płyta

E-prenumerata, czyli **NAJSZYBSZY DOSTĘP**

Uzyskaj dostęp do najnowszego numeru – nawet 5 dni przed ukazaniem się pisma w kioskach!

Prenumerata roczna wersji cyfrowej (PDF) kosztuje 151,00 zł (2 e-wydania gratis), dwuletnia – 271,80 zł (6 e-wydań gratis).

Prenumerat wersji drukowanej za równoległe e-wydania płać jedynie 20% ceny: opłata za e-prenumeratę równoległą wynosi 36,20 zł/rok i 72,40 zł/2 lata.

Korzystaj też z innych **przywilejów PRENUMERATORA**

- **prezent** – każdorazowo opłacenie prenumeraty jest premiowane prezentem. W tym numerze są to do wyboru:
 - koszulka z logo EP (rozmiar: L, XL)
 - lub
 - płyta Van Morrisona „Versatile”.Zamów swój prezent mailowo – prenumerata@avt.pl.
- do 50% zniżki w Sklepie AVT (szczegóły na www.avt.pl/klub-elektronika)

- prenumeratorki mają od 30 do 50% zniżki na zakupy na www.UlubionyKiosk.pl (wystarczy podczas zamówienia powołać się na swój numer prenumeraty)
- jeśli zamawiasz prenumeratę drukowaną na www.avt.pl po raz pierwszy lub przedłużasz ją po zalogowaniu do swojego Panelu Prenumeratora, otrzymasz kody rabatowe na bezpłatne pobranie e-wydań z oferty www.UlubionyKiosk.pl (szczegóły na www.avt.pl)

Zamów prenumeratę EP w dogodny sposób:

- na www.avt.pl • poprzez wpłatę na konto: AVT-Korporacja sp. z o.o., ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa, ING Bank Śląski 18 1050 1012 1000 0024 3173 1013 • mailowo: prenumerata@avt.pl

Administratorem Twoich danych osobowych jest AVT-Korporacja sp. z o.o., ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa, prenumerata@avt.pl.

Przetwarzamy Twoje dane, aby móc wysłać Ci nasze czasopisma w formie drukowanej lub elektronicznej oraz inne towary (np. prezenty), a także w innych prawnie uzasadnionych celach, w tym marketingu bezpośredniego naszych produktów i usług (tzw. uzasadniony interes administratora). Podanie danych jest dobrowolne, ale niezbędne do zrealizowania zamówienia na prenumeratę.

Twoje dane osobowe przekazujemy Poczcie Polskiej, która dostarcza do Ciebie przesyłki. Bez Twojej zgody nie przekazujemy i nie będziemy dokonywać obrotu (nie użyjemy, nie sprzedamy) Twoimi danymi osobowymi innym osobom lub instytucjom. Twoje dane osobowe możemy przekazać jedynie podmiotom uprawnionym do ich uzyskania na podstawie obowiązującego prawa (np. sądy lub organy ścigania) – ale tylko na ich żądanie w oparciu na stosownej podstawie prawnej. Będziemy przetwarzać Twoje dane osobowe przez 5 lat od zakończenia roku obrotowego, w którym wystąpiła ostatnia płatność. Dane osobowe do celów marketingowych będziemy przetwarzać do czasu wycofania przez Ciebie zgody na przetwarzanie lub do czasu usunięcia danych.

Informujemy, że masz prawo do żądania od administratora dostępu do Twoich danych, ich sprostowania, usunięcia, ograniczenia ich przetwarzania, wniesienia sprzeciwu wobec przetwarzania Twoich danych lub ich przenoszenia. W każdej chwili możesz odwołać zgodę na przetwarzanie Twoich danych osobowych oraz możesz zażądać, by Twoje wszystkie dane zostały przez nas usunięte.

Kosmos będzie nasz

Kolejny rok dobiega końca i trzeba przyznać, że był wyjątkowo trudny. Jednak wszelkie trudności i niepowodzenia sprawiają, że bardziej doceniamy każdy, nawet mały, sukces. W połowie listopada miało miejsce wydarzenie, które z pewnością obserwowali nasi Czytelnicy oraz inżynierowie wielu branż. Dokładnie 17 listopada ok. godziny 4.00 czasu UTC, w ramach misji Crew-1, moduł załogowy Dragon 2 zadokował do Międzynarodowej Stacji Kosmicznej (ISS). Astronauci NASA: Michael Hopkins, Victor Glover, Shannon Walker i astronauta JAXA Soichi Noguchi, dołączyli do trzech astronautów stacjonujących już na ISS.

Wydarzenie było efektem wspólnego projektu NASA i SpaceX, w ramach Commercial Crew Program – programu komercyjnych lotów załogowych. Po starcie rakieta nośna Falcon 9 po raz kolejny wylądowała bezpiecznie na autonomicznej platformie Just Read the Instructions (JRTI) na Oceanie Atlantyckim. Zastosowanie rakiety wielokrotnego użytku wiąże się z ograniczaniem ogromnych kosztów, potrzebnych do realizacji tego typu przedsięwzięcia, i otwiera drogę do tańszych i bardziej dostępnych podróży w kosmos.

Teraz, drogi Czytelniku, zapewne myślisz: „Hm... tylko co ja mam z tym wspólnego?” Sektor kosmiczny jest jedną z branż najszybciej zyskujących na wartości. W latach 2004–2018 podwoił swoją wartość, która jest teraz szacowana na ponad 350 mld dolarów. Przestrzenią kosmiczną interesują się już nie tylko instytucje naukowe i badawcze, ale również firmy świadczące usługi z zakresu telekomunikacji, przemysłu czy nawet marketingu. Kosmos stał się miejscem z możliwością potencjalnego zarobku. Także krajowe przedsiębiorstwa zaczęły rozwijać się w tym kierunku.

W tym roku, w ramach konkursu „Szybka ścieżka – Technologie kosmiczne”, Narodowe Centrum Badań i Rozwoju przyznało dofinansowanie o łącznej wartości niemal 144 mln złotych dla 15 projektów, wybranych spośród 33 zgłoszeń. Zgłaszane projekty musiały obejmować prace badawczo-rozwojowe, mające na celu opracowanie produktów i technologii w takich obszarach tematycznych, jak: satelitarna obserwacja Ziemi, systemy i podsystemy niewielkich satelitów, testowanie infrastruktury satelitarnej, platformy mikrosatelitarne, systemy robotyki kosmicznej, systemy agregacji i przetwarzania danych satelitarnych, aplikacje przetwarzające i bazujące na danych satelitarnych. Lista projektów dostępna jest na: <https://bit.ly/36xtOgU>.

Na orbitę Ziemi wynoszone są kolejne satelity komunikacyjne, nawigacyjne, badawcze czy szpiegowskie. Są to konstrukcje coraz bardziej zwarte i lekkie. Na fotografiach zostały pokazane dwa polskie nanosatelite: Światowid – zbudowany przez firmę SatRevolution. Jego przeznaczeniem jest wykonywanie zdjęć Ziemi w wysokiej rozdzielczości. KRAKSat – wykonany przez studentów Akademii Górniczo-Hutniczej i Uniwersytetu Jagiellońskiego. Jeden z pierwszych w Polsce satelitów typu Cubesat i pierwszy satelita na świecie, który do sterowania orientacją miał wykorzystywać ferrofluid, czyli ciecz magnetyczną. Niestety uległ awarii – wpadł w niekończącą się pętlę restartów. Te przykłady pokazują, że kosmos jest w naszym (elektroników) zasięgu, więc bierzmy się do pracy.

Przy okazji ostatniego w tym roku wydania chciałbym podziękować autorom artykułów publikowanych w EP. Każdy z nich jest elektronikiem zawodowo lub hobbystycznie, każdy specjalizuje się w którejś z dziedzin elektroniki i każdy z nich chciał się podzielić swoją wiedzą i doświadczeniem. To dzięki temu EP jest tak różnorodna i zawsze aktualna. Natomiast wszystkim Czytelnikom i ich Rodzinom chciałbym życzyć zdrowych świąt.



Fotografia 1. Przybliżona konstrukcja nanosatelite Światowid, zbudowanego przez firmę SatRevolution



Fotografia 2. Nanosatelita KRAKSat wykonany przez studentów Akademii Górniczo-Hutniczej i Uniwersytetu Jagiellońskiego

Damian Sosnowski

Nie przeocz

Nowe podzespoły.....	6
Koktajl newsów.....	12
Dodaj do obserwowanych.....	15

Projekty soft

Xmas-box – sterowany przez Arduino kontroler świątecznych dekoracji.....	22
---	----

Projekty

Przedwzmacniacz lampowy do gramofonu.....	24
Zegar na rękę.....	30
Termostat warsztatowy.....	34
Odtwarzacz audio z Raspberry Pi (3).....	39

Moduły w aplikacjach

Czujnik światła ultrafioletowego.....	45
---------------------------------------	----

Miniprojekty

Moduł audio DAC z układem CS4344.....	47
Analogowa klawiatura dotykowa.....	48
Minimoduł z mikroprocesorem LPC802.....	50
Detektor przejścia prądu przez zero.....	53

Temat numeru: elektronika w medycynie

Elektronika w medycynie.....	58
------------------------------	----

Prezentacje

Modułowe zasilacze impulsowe dla przemysłu firmy Relpol.....	64
---	----

Podzespoły

Raspberry Pi Compute Module 4.....	55
Raspberry Pi 400 okiem elektronika.....	66

Wybór konstruktora: sprzęt warsztatowy

Narzędzia dla pracowni i serwisu.....	82
Profesjonalne wyposażenie serwisu elektronicznego.....	90



Xmas-box – sterowany przez Arduino kontroler świątecznych dekoracji

Świąteczne projekty elektroniczne to pewna tradycja. Jednak wraz z postępem w elektronice projekty stają się bardziej funkcjonalne i efektowne. Kiedyś elektronicy budowali mrugające światełka do bombek czy ledowe gwiazdy do zwieńczenia choinki. Teraz, dzięki rozwojowi płytek z mikrokontrolerami, takich jak Arduino, można bez problemu zestawić system do kontroli świątecznych dekoracji w całym domu.

Wybór konstruktora: czujniki czynników środowiskowych

Projektowanie prostego, energooszczędnego sensora toksycznych gazów.....	93
Dwa podejścia do pomiaru temperatury za pomocą termopary.....	96

Notatnik konstruktora

OpenSTLinux dla procesorów z rodziny STM32MP1 (1).....	69
Symulacja i pomiar, czyli LTspice i Analog Discovery 2 w rękach konstruktora (17). Generowanie przebiegu sinusoidalnego – suplement.....	72
Implementacja funkcji Screen Mirroring na platformach SoMLabs VisionSOM-6ULL oraz Raspberry Pi.....	77

Kursy

Systemy dla Internetu Rzeczy (43). Układy bardzo małej mocy do przyspieszania sztucznej inteligencji.....	103
Eksperymenty z FPGA (13). Dyskretna transformata Fouriera.....	109

Prenumerata.....	2
Od wydawcy.....	3
Konkurs.....	29
Kramik i rynek.....	102
Hity następnego numeru.....	115

*Zdrowych, spokojnych i pogodnych
Świąt Bożego Narodzenia
oraz radosnego Nowego Roku 2021*



życzy Czytelnikom firma
STMicroelectronics

<http://www.ST.com>



life.augmented

nowe podzespóły

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



Kondensatory polimerowe hybrydowe

Panasonic Industry Europe powiększa ofertę kondensatorów polimerowych hybrydowych. Na rynek trafiły nowe warianty kondensatorów serii ZS, które pomimo mniejszych wymiarów obudów charakteryzują się szerszym zakresem pojemności i odpornością na dwukrotnie większe prądy tętnień. Ponadto są to kondensatory o długiej żywotności, wynoszącej 4000 h w temperaturze 125°C. Zajmują tę samą powierzchnię montażową, co wcześniejsze wersje, natomiast ich wysokość zmniejszono z 16 mm do 12 mm.

Kondensatory serii ZS, projektowane głównie pod kątem zastosowań w elektronice samochodowej, występują w wersjach o napięciu znamionowym od 25 do 63 V i są produkowane na zakres pojemności do 560 µF. Charakteryzują się małą rezystancją ESR, wynoszącą od 11 mΩ i dopuszczalnym prądem tętnień 4 A rms. Uzyskały kwalifikację AEC-Q200.

www.panasonic.com

Moduły pamięci o pojemności do 480 GB w obudowach BGA

Swissbit wprowadza do oferty serię modułów pamięci SSD PCIe M.2 o symbolu EN-20, zamykanych w obudowach BGA o wymiarach



20×16×0,8 mm. Są to szybkie moduły SSD klasy przemysłowej, zgodne ze specyfikacją PCIe 3.1 x4/ NVMe 1.3, produkowane w wersjach o pojemności do 480 GB. Mogą znaleźć zastosowanie w małogabarytowych systemach embedded, routerach, aparaturze medycznej, automatyce przemysłowej i innych aplikacjach, w których krytycznym parametrem jest niezawodność zastosowanych komponentów.

EN-20 został wykonany na bazie pamięci 3D NAND klasy przemysłowej i może pracować w szerokim zakresie temperatury otoczenia od -40 do +85°C. Zawiera układy pamięci NAND Flash, kontroler PCIe i oprogramowanie firmware do obsługi wymagających aplikacji. Interfejs PCIe x4 z kompatybilnością oddolną z systemami jedno- i dwuścieżkowymi jest zgodny z najnowszą specyfikacją PCIe 3.1 i oferuje szybkość odczytu sekwencyjnego do 1600 MBps oraz szybkość zapisu sekwencyjnego 770 MBps. Szybkość pracy w trybie random wynosi odpowiednio 145000/130000 IOPS dla odczytu i zapisu, niemal dwukrotnie więcej niż w przypadku modułów SATA SSD.

Moduł EN-20 obsługuje standard szyfrowania AES 256 i standard korekcji błędów LDPC. Zawiera zabezpieczenie przed zanikiem napięcia zasilającego oraz inteligentny układ zarządzania temperaturą, zapewniający długi czas bezawaryjnej pracy kontrolera i pełną przepustowość w różnych warunkach pracy. Funkcja End-to-End Data Path Protection (ETEP) zapewnia integralność danych w całej ścieżce transmisji, począwszy od przesłania ich z układu host do opuszczenia modułu, dzięki wykorzystaniu mechanizmu korekcji błędów (ECC).

Moduł EN-20 uzyskał już kwalifikacje najważniejszych producentów. Jest produkowany w wersji TLC na zakres pojemności od 15 do 480 GB oraz w wersji pSLC o 10-krotnie większej niezawodności (ozn. EN-26) na zakres od 5 do 160 GB.

www.swissbit.com

Kondensatory przeciwzakłócenia klasy Y2/X1

Do oferty firmy Panasonic wchodzi nowa seria kondensatorów przeciwzakłóceń ECQUB o dużej niezawodności, mogących znaleźć zastosowanie w zasilaczach przemysłowych i systemach energii odnawialnej. Są to kondensatory klasy Y2/X1 o napięciu znamionowym 300 V_{AC}, przystosowane do pracy w zakresie temperatury otoczenia od -40 do +110°C. Są produkowane na zakres



REKLAMA

BORNICO

Teraz większe MOŻLIWOŚCI

bornico.com.pl

- montaż kontraktowy elektroniki
- projektowanie urządzeń i systemów

Zakład Elektroniczny BORNICO

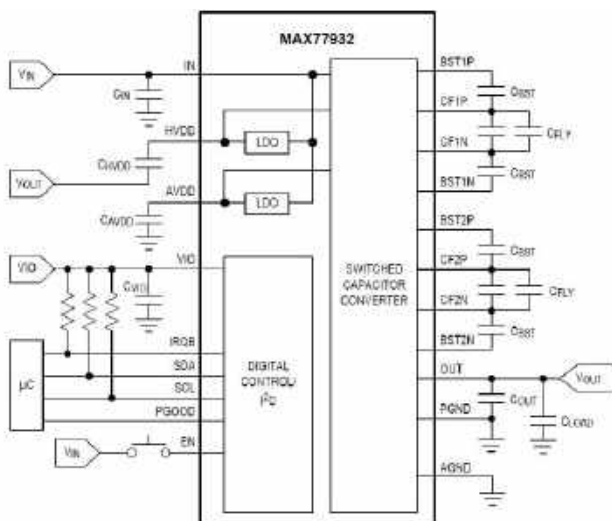
ul. Małczyńska 25
26-600 Radom
tel. +48 48 365 58 22
bornico@bornico.com.pl





pojemności nominalnych od 0,001 μF do 0,0068 μF dla klasy Y2 oraz od 0,001 μF do 1 μF dla klasy X1. Zapewniają dużą odporność na wilgoć; przeszły w tym zakresie test THB (85°C, 85%, 275 V_{AC} , 500 godzin). Wersje o pojemności 0,01 μF i większej podlegają na etapie produkcji dodatkowemu procesowi metalizacji, zapewniającemu dużą niezawodność i stabilną pojemność przez cały czas użytkowania. Kondensatory ECQUB są zamykane w ognioodpornych, niepalnych obudowach zgodnych z obecnymi regulacjami UL/CSA oraz europejskimi dla klasy Y2/X1.

www.panasonic.com



8-ampierowy konwerter DC-DC z przełączanymi pojemnościami

Układ MAX77932C to autonomiczny, dwufazowy konwerter DC-DC z przełączanymi pojemnościami, obniżający dwukrotnie napięcie wejściowe i zapewniający wydajność prądową 8 A. Został on zaprojektowany do zastosowań w urządzeniach zasilanych dwoma ogniwami litowo-jonowymi, wymagających napięcia zasilającego odpowiadającego pojedynczemu ogniwu. Może być też stosowany w urządzeniach, w których planowane jest przejście z konfiguracji zasilania jedno- do dwuogniowego. Dzięki topologii z przełączanymi pojemnościami nie wymaga stosowania cewki indukcyjnej, co zmniejsza wymaganą powierzchnię płytki drukowanej i maksymalną wysokość komponentów. Ponadto duża częstotliwość taktowania (do 1,5 MHz) pozwala ograniczyć liczbę i gabaryty zastosowanych kondensatorów.

MAX77932C zawiera zabezpieczenie nadnapięciowe, podnapięciowe, nadprądowe i termiczne. Wbudowana funkcja ditheringu zmniejsza poziom generowanych zaburzeń elektromagnetycznych. Kolejną zaletą układu jest duża sprawność energetyczna (do 98,5%), upraszczająca konstrukcję układu chłodzenia. 2-żyłowy interfejs, kompatybilny ze standardem I²C, jest wykorzystywany do konfigurowania m.in. zabezpieczeń, częstotliwości pracy i prądu układu miękkiego startu. MAX77932C charakteryzuje się małym poborem prądu, wynoszącym 30 μA w stanie spoczynkowym i 4 μA w trybie shutdown. Jest produkowany w 42-wyjściowej obudowie WLP o wymiarach 2,4×2,8 mm.

www.maximintegrated.com



Komputer modułowy o wymiarach 40×35 mm z mikroprocesorem NXP i.MX RT1050

Do rodziny komputerów modułowych PicoCore firmy F&S Elektronik Systeme GmbH wchodzi nowy model PicoCore RT1 o wymiarach wynoszących 40×35 mm. Bazuje na jednostce obliczeniowej NXP i.MX RT1050 z rdzeniem ARM Cortex-M7 taktowanym zegarem o częstotliwości do 600 MHz.

Układ i.MX RT1050 to moduł CoM (Computer On Module) łączący dużą szybkość obliczeniową i dużą skalę integracji, typowe dla procesorów aplikacyjnych z łatwością programowania i funkcjonalnością czasu rzeczywistego, typowymi dla mikrokontrolera. Nadaje się do zastosowań w przemysłowych urządzeniach przenośnych oraz w tanich aplikacjach z wbudowanym wyświetlaczem TFT. Zawiera pamięć operacyjną SDRAM i pamięć programu SPI NOR/NAND Flash o dużej niezawodności. Ponadto może współpracować z zewnętrzną kartą pamięci SD.

Do płytki można podłączyć wiele typów interfejsów za pośrednictwem dwóch 80-pinowych złączy umieszczonych na dolnej powierzchni. Pozwalają one zapewnić dystans pomiędzy płytkami wynoszący od 1,5 do 4,0 mm. Do dyspozycji projektanta dostępne są interfejsy Ethernet, 2×USB, 2×CAN, 4×I²C, 2×SPI, 2×UART, Audio (Line In/Out/Mic/Headphone lub I²S), PWM, GPIO i ADC oraz linie SDIO do karty SD. Ponadto PicoCore RT1 zawiera 16-bitowy interfejs RGB do współpracy z wyświetlaczami TFT o rozdzielczości do WXGA. Jeden z interfejsów I²C może być wykorzystany do współpracy z pojemnościowym ekranem dotykowym.

PicoCore RT1 zawiera zegar RTC. Pracuje pod kontrolą systemu operacyjnego FreeRTOS. Pobiera mniej niż 1 W mocy przy napięciu zasilania 5 V. Występuje w wersjach przystosowanych do pracy w zakresie temperatury otoczenia od 0 do +70°C oraz od -40 do +85°C. Producent gwarantuje dostępność modelu PicoCore RT1 co najmniej do 2030 roku. W ofercie F&S Elektronik Systeme dostępne są również inne moduły rodziny PicoCore, kompatybilne z RT1 pod względem rozkładu wyprowadzeń, oparte na mikrokontrolerach rodziny i.MX 6 z rdzeniem Cortex-A7/-A9.

www.fs-net.de

Superkondensatory o pojemności do 600 F

Superkondensatory serii DGH produkowane przez firmę CDE Illinois Capacitor są teraz dostępne w wersjach na rozszerzony zakres pojemności. Obecna oferta obejmuje 24 warianty o pojemności od 0,5 F do 600 F i napięciu znamionowym wynoszącym 2,7 lub 5,5 V_{DC} . Są one produkowane w cylindrycznych obudowach o wymiarach od $\varnothing 8 \times 17$ mm (wersja DGH504Q5R5 o pojemności





0,5 F) do $\varnothing 18 \times 70$ mm (DGH607Q2R7 o pojemności 600 F). Mogą pracować w zakresie temperatury otoczenia od -40 do $+65^\circ\text{C}$ przy maksymalnym napięciu znamionowym oraz od -40 do $+85^\circ\text{C}$ przy napięciu 2,3 V. Istnieje możliwość ich łączenia równoległego lub szeregowego w banki o zwiększonej pojemności lub napięciu pracy.

Superkondensatory DGH mogą wytwarzać duże impulsy energetyczne, aby kompensować chwilowe przerwy w zasilaniu, a nawet mogą być w niektórych aplikacjach stosowane jako podstawowe źródło zasilania. W odróżnieniu od akumulatorów nie degradują się z każdym kolejnym cyklem rozładowania/ladowania. Przy napięciu pracy 2,7 V ich żywotność jest określana na 500 tys. cykli ładowania/rozładowania. Zakres zastosowań obejmuje aplikacje energy harvest, silowniki mechaniczne, inteligentne mierniki energii elektrycznej, zasilacze UPS, systemy oświetlenia awaryjnego i inne aplikacje wymagające gromadzenia dużej energii w małej objętości.

www.newyorkerelectronics.com

Sterowniki silników DC i BLDC o dużym stopniu integracji

Do oferty firmy Infineon wchodzi nowa seria układów sterowania silnikami DC i BLDC, zaprojektowanych głównie na potrzeby silników małej mocy stosowanych m.in. w elektronice samochodowej.

REKLAMA

ZAJRZYJ NA TE STRONY

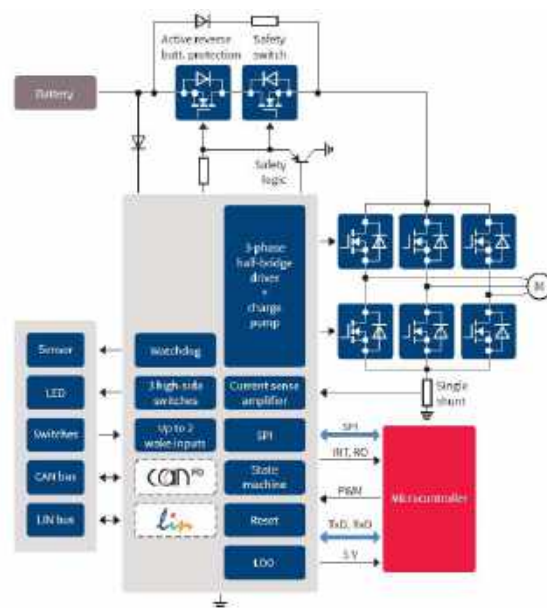
GAMMA

www.gamma.pl
 info@gamma.pl
PODZESPOŁY ELEKTRONICZNE

P www.piekarz.pl
części elektroniczne
sprzedaz@piekarz.pl tel. 22 599 49 70

RENEX **RENEX** **RENEX**

www.renec.com.pl www.ipctraining.pl www.renecline.pl



Są to sterowniki wyróżniające się dużym stopniem integracji, zawierające w zależności od wersji 3 lub 4 wbudowane stopnie półmostkowe do współpracy z zewnętrznymi n-kanalowymi tranzystorami MOSFET, zestaw liniowych regulatorów napięcia 5 V/250 mA, linie do współpracy z zewnętrznymi czujnikami i mikrokontrolerem oraz interfejs CAN FD (do 5 Mbps) i opcjonalny interfejs LIN.

Rodzina TLE956x obejmuje 7 typów układów zamykanych w obudowach VQFN-48 o powierzchni 7×7 mm. Ich duży stopień integracji pozwala zmniejszyć o połowę wymaganą powierzchnię płytki drukowanej w stosunku do wcześniejszych rozwiązań. Zastosowanie opatentowanego przez Infineona adaptacyjnego sterownika tranzystorów MOSFET pozwoliło ograniczyć poziom emisji elektromagnetycznej i zapewnić małe straty przy przełączaniu. Użyty algorytm sterujący pozwala skompensować rozrzut parametrów tranzystorów MOSFET poprzez automatyczne dostrajanie prądu bramki.

www.infineon.com



Oscylatory kwarcowe 32,768 kHz z kryształem z cięciem AT o stabilności ± 25 ppm

Zegary czasu rzeczywistego (RTC) zapewniają dokładny pomiar czasu w laptopach, smartfonach, licznikach i innych urządzeniach elektronicznych. Sercem każdego zegara RTC jest zwykle oscylator kamertonowy o częstotliwości 32,768 kHz. Firma Jauch Quartz opracowała do tego typu zastosowań dwa nowe oscylatory, oznaczone symbolami JO22 i JO32. W odróżnieniu od oscylatorów kamertonowych, wykorzystują one kryształy kwarcu z cięciem AT, co zapewnia znacznie lepszą stabilność częstotliwości wyjściowej. Wynosi ona ± 25 ppm w zakresie temperatury otoczenia

od -20 do $+70^{\circ}\text{C}$, ± 30 ppm w rozszerzonym zakresie od -40 do $+85^{\circ}\text{C}$ oraz ± 100 ppm w zakresie do $+125^{\circ}\text{C}$. Podobnie jak w przypadku modeli JO22/JO32 na zakres MHz, wprowadzonych do oferty w ubiegłym roku, nowe wersje 32,768 kHz mogą pracować z napięciem zasilania z zakresu od 1,8 do 3,3 V. Zawierają wyjścia LVCMOS kompatybilne ze standardowymi układami logicznymi. Są produkowane w obudowach o wymiarach $2,5 \times 2,0 \times 0,8$ mm (JO22) i $3,2 \times 2,5 \times 1,0$ mm (JO23).
www.jauch.com



Przemysłowa alternatywa dla Raspberry Pi

Firma ICP Germany wprowadza na rynek przemysłowy komputer jednopłytkowy formatu PICO-ITX, mogący być alternatywą dla Raspberry Pi. ND108T jest dostarczany w postaci modułu

o powierzchni 100×72 mm z dwu- lub czterordzeniowym mikroprocesorem NXP i.MX8M 1,5 GHz, opartym na jednostce obliczeniowej ARM Cortex A53. Występuje w wersjach z pamięcią LPDDR4 SDRAM o pojemności 1, 2 lub 4 GB. Jako pamięć masową zastosowano w nim moduł eMMC o pojemności 8, 16 lub 32 GB. Ponadto ND108T zawiera slot dla kart micro SD.

W wersji podstawowej ND108T zawiera interfejsy GbE, $2 \times$ USB 3.0, USB 2.0, USB 2.0 OTG, RS-232/422/485 i audio (line-out, mic-in) oraz port HDMI umożliwiający podłączenie wyświetlacza o rozdzielczości do 4 k. Oprócz standardowego portu Mini-PCle z sygnałami PCIe i USB, do rozbudowy przewidziano 40-pinowy interfejs GPIO kompatybilny z Raspberry Pi. Jest do niego dostępna biblioteka API.

Oprócz wersji podstawowej, komputer występuje też w wersji rozszerzonej o drugi port GbE oraz dodatkowy interfejs graficzny LVDS lub DisplayPort, umożliwiającą współpracę z wyświetlaczami o maksymalnej rozdzielczości Full HD. ND108T pracuje pod kontrolą systemów operacyjnych Yocto i Android.

www.icp-deutschland.de

Krzemowe tranzystory LDMOS dużej mocy na pasmo VHF i UHF

Ampleon powiększa rodzinę tranzystorów w.cz. 9. generacji o dwa 50-watowe, krzemowe tranzystory LDMOS o oznaczeniach BLF978P i BLF974P. Są to tranzystory mogące zapewnić dużą sprawność energetyczną, nawet do 80% we wzmacniaczach klasy AB o mocy wyjściowej na poziomie kilowatów, mogące znaleźć



REKLAMA

COMPUTER CONTROLS

Autoryzowany dystrybutor Altium w Polsce

Altium 365

Jedyna na świecie platforma w chmurze, wspomagająca projektowanie i wymianę danych projektów PCB. Bezproblemowo dostępna z Altium Designer lub dowolnego urządzenia podłączonego do internetu.

Bezpłatna dla posiadaczy Subskrypcji Altium.

**SUPER CENY
SUPER RABATY**

Altium 365 dla posiadaczy Altium Designer **GRATIS**

AD20 + A365

Computer Controls Sp. z o.o.
Bielsko-Biała, ul. Budowlanych 1

tel.: +48 (33) 485 94 90

e-mail: info@ccontrols.pl
www.ccontrols.pl

zastosowanie w aplikacjach przemysłowych i naukowych. Zawierają wbudowane zabezpieczenie ESD do 2000 V HBM. Charakteryzują się dużym wzmocnieniem mocy, wynoszącym 25 dB w zakresie częstotliwości od 225 do 700 MHz oraz bardzo małą rezystancją termiczną złącze-obudowa, wynoszącą 0,12...0,16 K/W. Różnią się mocą znamionową, wynoszącą 1200 W dla BLF978P i 500 W dla BLF974P. Są dostępne bezpośrednio w ofercie Ampleona oraz u dystrybutorów: RFMW i Digi-Key.

www.ampleon.com



Diody LED dużej mocy o strumieniu do 825 lm

Lampy uliczne oraz lampy typu high-bay, stosowane do oświetlania hal przemysłowych, hal sportowych i magazynów, muszą zapewnić duży strumień światła i dużą sprawność, aby sprostać stale rosnącym wymaganiom w zakresie wydajności i redukcji kosztów energii. Opracowane do tego typu zastosowań diody LED serii LUXEON 5050 firmy Lumileds są obecnie produkowane w wersjach o zwiększonym strumieniu i sprawności energetycznej. Wynoszą one do 675 lm i 172 lm/W w przypadku wersji okrągłych oraz do 825 lm i 169 lm/W w przypadku wersji kwadratowych.

Oferta obejmuje diody białe o temperaturze barwowej od 2200 do 6500 K i współczynniku CRI wynoszącym w zależności od wersji od 70 do 90. Mogą one pracować przy maksymalnej temperaturze obudowy +105°C. Występują w wersjach pracujących z napięciem zasilania 6 i 24 V. Są zamykane w obudowach SMD o wymiarach 5x5x0,8 mm.

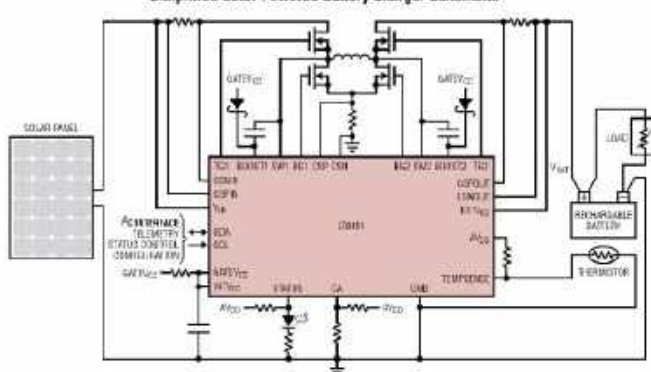
www.lumileds.com

Kontroler ładowania akumulatora z funkcją MPPT do współpracy z panelem solarnym

Układ LT8491 to kontroler ładowania akumulatorów, pracujący w trybie stałego prądu i stałego napięcia wyjściowego (CCCV), mogący znaleźć zastosowanie m.in. przy współpracy z panelami solarnymi. Umożliwia ładowanie różnych typów akumulatorów, w tym



Simplified Solar Powered Battery Charger Schematic



kwasowo-ołowiowych, żelowych i litowo-jonowych. Zastosowana w układzie topologia buck-boost pozwala na pracę z napięciem wejściowym mniejszym, równym lub większym od wyjściowego.

LT8491 zawiera logikę MPPT (*maximum power point tracking*), zapewniającą konwersję w punkcie maksymalnego transferu mocy przy współpracy z panelami solarnymi. Może też współpracować z zewnętrznym zasilaczem DC. Zapewnia automatyczną kompensację temperatury przy użyciu zewnętrznego termistora sprzężonego z akumulatorem. Zawiera wbudowaną pamięć EEPROM do przechowywania danych konfiguracyjnych, interfejs I²C do monitorowania parametrów pracy i konfiguracji oraz wyjście statusu mogące współpracować z zewnętrzną diodą LED.

Pozostałe parametry układu:

- zakres napięć wejściowych: 6...80 V,
- zakres napięć wyjściowych: 1,3...80 V,
- zakres częstotliwości pracy: 100...400 kHz,
- zakres temperatury złącza: -40...+125°C,
- obudowa: QFN-64 (11x7x0,75 mm).

www.analog.com

Transformatory SMD do aplikacji Power Over Ethernet

Signal Transformer, oddział firmy Bel specjalizujący się w produkcji komponentów indukcyjnych, wprowadza na rynek nową serię transformatorów SMD do aplikacji Power Over Ethernet. Transformatory serii



SPoE mogą znaleźć zastosowanie w telefonach VoIP, kamerach IP, bezprzewodowych punktach dostępowych, dekodernach IPTV, instalacjach oświetleniowych LED oraz switchach, ekstenderach i spliterach PoE. Są elementami tanimi i małowagowymi, nadającymi się do zastosowań w urządzeniach o dużej gęstości upakowania podzespołów. Mogą pracować w zakresie częstotliwości do 250 kHz. Charakteryzują się izolacją między uzwojeniem pierwotnym i wtórnym wynoszącą 1500 V rms. Są produkowane w wersjach o mocy znamionowej 3, 7, 10, 13 i 27 W z rdzeniem rozmiaru EP7, EP10 i EP13.

www.belfuse.com

Czujnik obrazu Full HD do pracy w słabych warunkach oświetleniowych

Najnowszy czujnik obrazu OS02G10 firmy OmniVision Technologies wyróżnia się bardzo dobrymi parametrami rejestracji w słabych warunkach oświetleniowych, a równocześnie małym poborem mocy. Właściwości te uzyskano dzięki zastosowaniu architektury OmniPixel3-HS zapewniającej dużą sprawność kwantową i optymalny stosunek sygnału do szumu. Czujnik OS02G10 został



REKLAMA

OBWODY DRUKOWANE

- płytki jednostronne i dwustronne
- płytki na podłożu aluminiowym
- testy elektryczne płytek
- pokrycia płytek: cyna, cyna/ołów, złoto



Faldruk s.c., 05-462 Emów, ul. Wiązowska 2E
tel. +48 22 872 43 01, 612 67 76, +48 698 468 850
biuro@faldruk.pl, www.faldruk.pl

SPRAWDŹ NOWY KALKULATOR
CENY ONLINE

zaprojektowany do zastosowań głównie w kamerach systemów monitoringu wymagających rozdzielczości Full HD i dobrych parametrów obrazów rejestrowanych przy słabym oświetleniu. W porównaniu z wcześniejszymi odpowiednikami zapewnia większy o 60% stosunek sygnał/szum i mniejszy o 40% pobór mocy. Do komunikacji zastosowano tu 2-liniowy interfejs szeregowy MIPI. Czujnik OS02G10 może pracować w zakresie temperatury otoczenia od -30 do $+85^{\circ}\text{C}$, przy czym zapewnia stabilny obraz w większym zakresie od -20 do $+60^{\circ}\text{C}$. Udostępnia tryb łączenia pikseli (2×2 color binning) oraz funkcje mirror, flip, crop i window.

Ważniejsze dane techniczne:

- rozdzielczość: 1920×1080 @ 30 fps,
- średnica piksela: $2,8 \mu\text{m}$,
- powierzchnia aktywna: $5398,4 \times 3046,4 \mu\text{m}$,
- format optyczny: $1/2,9''$,
- format wyjściowy: 10-bit. RAW RGB,
- interfejs: szeregowy MIPI 2-lane,
- zakres temperatury pracy: od -30°C do $+85^{\circ}\text{C}$.

www.ovt.com

Nakładka HAT do Raspberry Pi z funkcją monitorowania jakości powietrza w pomieszczeniach

Firma Avnet zaprezentowała nową nakładkę HAT (Hardware Attached on Top) do minikomputerów Raspberry Pi, zawierającą zestaw czujników do monitorowania jakości powietrza w pomieszczeniach.

Płytkę, oznaczoną symbolem AES-RH-SEN-ZM44-G, bazuje na czujniku ZMOD4410 produkcji Renesas, określającym całkowite stężenie lotnych związków organicznych (TVOC) w zakresie od ppb do ppm i estymowany poziom dwutlenku węgla (eCO_2).

Są to ważne parametry wykorzystywane przy określaniu jakości powietrza. Wszystkie czujniki są testowane elektronicznie i chemicznie na etapie produkcji, a ich współczynniki kalibracyjne są przechowywane w wewnętrznej pamięci nieulotnej.

Oprócz czujnika ZMOD4410, na płytce znajduje się też precyzyjny czujnik wilgotności względnej i temperatury HS3001 firmy Renesas, diody statusu LED kontrolowane programowo oraz punkty testowe umożliwiające pobór prądu w stanie aktywnym czujnika ZMOD4410, mogące być przydatne np. podczas integrowania w urządzeniach bateryjnych.

Avnet oferuje wstępnie skompilowaną aplikację testową, która działa na systemie operacyjnym Raspberry Pi i umożliwia prowadzenie pomiarów TVOC i eCO_2 bezpośrednio po rozpakowaniu zestawu, bez konieczności projektowania. Aplikacja została zrealizowana na bazie licencjonowanych algorytmów firmy Renesas. Do celów produkcyjnych klienci mogą uzyskać algorytmy bezpośrednio od Renesas zgodnie z warunkami umowy licencyjnej oprogramowania.

www.avnet.com



REKLAMA

CONTRANS TI

Naszym Klientom oraz Czytelnikom
magazynów Elektronika Praktyczna i Elektronik
najserdeczniejsze życzenia z okazji Świąt Bożego Narodzenia,
a także wszelkiej pomyślności w Nowym Roku 2021

Zarząd i Pracownicy Firmy

oficjalny partner handlowy firm:
VACUUMSCHMELZE, FERROXCUBE, WEISSER, ADELS CONTACT, ERNI, ILME, ACP, HITACHI, FROLYT, TEXAS INSTRUMENTS, THINKING,
UCHIYA, WAASNER, EURO-CONN

www.contrans.pl

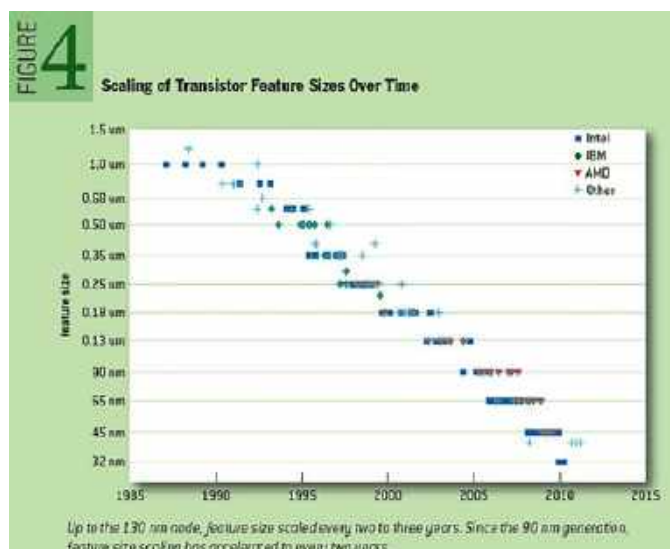
CONTRANS TI Sp. z o.o. ul. Polanowicka 66, 51-180 Wrocław
✉ contrans@contrans.pl ☎ +48 71 325 26 21...24 📞 +48 71 325 44 39

.. a na przedświąteczne zakupy online zapraszamy do

eprasa.pl/6e384983f7



koktajl niusów



Proces technologiczny w czasie

Na rysunku pokazano ewolucję procesu technologicznego jednostek CPU dla komputerów osobistych, w latach 1987...2010. Na początku obowiązywały dwa procesy technologiczne: pierwszy 1 μm oraz drugi 1,2 μm . To duże wartości, ale były to początkowe etapy tej technologii i dawały tylko takie możliwości. Pierwszy proces dotyczył układów firmy Intel, a drugi układów firm pozostałych. Jednak już w 1990 roku (według innych źródeł w 1989 roku) zastąpiono je procesem 800 nm. Następny, 650 nm, wprowadzono dwa lata później. Kolejny, 500 nm, w 1994 roku (według innych źródeł w 1993 roku). Dalsze procesy to: 350 nm (1996 rok), 250 nm (1998 rok, według innych źródeł w 1997 roku), 180 nm (1999 rok lub według innych źródeł lata 2000...2001), 130 nm (2003 rok lub według innych źródeł 2002 rok), 90 nm (2004 rok), 65 nm (2006 rok) i 45 nm (2008 rok). Wreszcie ten równy 32 nm (2010 rok).

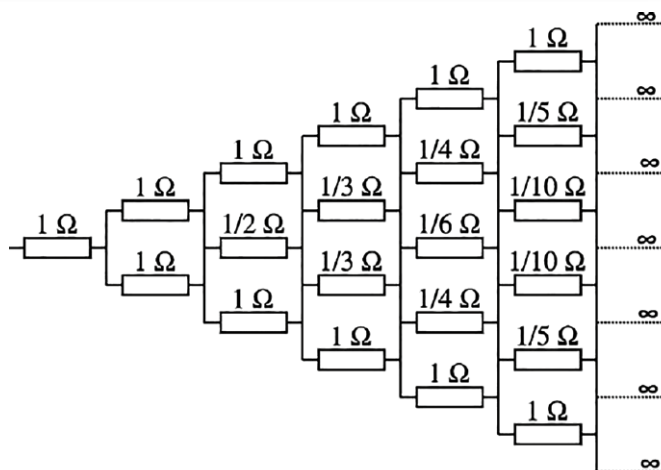
Każdy nowy proces wprowadzono co 2 lata. Widać podobieństwo do prawa Moore'a, ale nowa wartość to w zaokrągleniu 70 procent poprzedniej. Ponadto widać, że stary proces technologiczny nie kończył się z wprowadzeniem nowego – zawsze przez pewien czas oba były stosowane. Druga prawidłowość dotyczy czasu trwania procesu (czasu, w którym producenci wprowadzali na rynek układy produkowane w tym procesie). Do 2010 roku wynosił 4...5 lat, obecnie trwa niewiele krócej.

Od samego początku widać w tej branży dominację firmy Intel. Z każdym nowym procesem wprowadzała największą liczbę nowych modeli CPU (jeden punkt na rysunku to jeden model). Tak jest do dziś pomimo wzmoczonych wysiłków firmy AMD, jej głównego rywala, który nie poddał się tak łatwo jak firma IBM w początkach XXI wieku. Może niektórzy czytelnicy pamiętają rodzinę układów PowerPC tworzoną przy współpracy firm Motorola, IBM i Apple – konsorcjum AIM?

Obecnie korzystamy z dobrodziejstw procesów technologicznych 7 nm i 5 nm, a jednocześnie oczekujemy procesu 3 nm. Kto wie, może już w następnym roku tego doczekamy, szczególnie w przypadku procesorów.

Matematyka w służbie obwodów elektrycznych

Prezentujemy kolejną zagadkę rezystorową. Jest to pewna konstrukcja trójkątna, stosowana m.in. do rozwijania potęg sumy dwóch liczb. Na brzegach jedynki, ale wewnątrz odwrotności liczb z oryginału



to tzw. trójkąt Pascala. Jaka jest rezystancja zastępcza pokazanego na rysunku nieskończonego obwodu? Dokładniej: między jego szczytem (strona lewa), a podstawą (strona prawa)? Odpowiedź to 2 Ω – należy spojrzeć szeregowe połączenie rezystora o wartości rezystancji 1 Ω oraz n połączeń równoległych. W tej sytuacji rezystancja zastępcza to suma tego rezystora oraz rezystancji zastępczych tych połączeń. Należy zauważyć, że ostatnie wartości to:

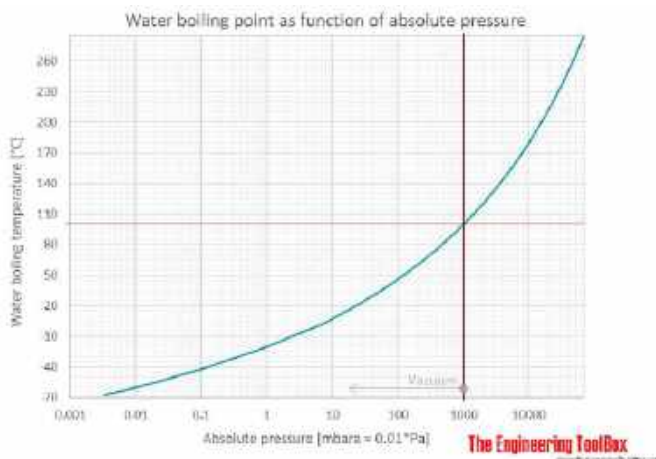
$$\frac{1}{2^k}; 1 \leq k \leq n$$

Z czego k to numer połączenia równoległego, liczony od lewej strony obwodu.

Biorąc pod uwagę te wartości, otrzymujemy następującą sumę:

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} + \dots + \frac{1}{2^n}$$

Wynik działania zmierza w nieskończoność do 1. Tym samym rezystancja zastępcza trójkąta jest równa 1+1. Wystarczy dodać właściwą jednostkę i mamy odpowiedź.

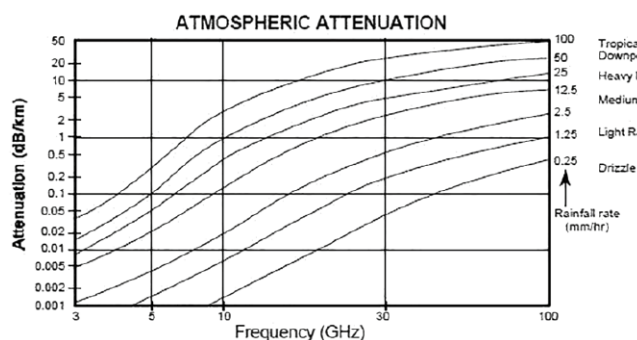


Dlaczego czajnikiem elektrycznym nie można podgrzać wody do temperatury wyższej niż 100 stopni Celsjusza?

Nie chodzi o wprowadzone w nim ograniczenia (jak twierdzi wiele osób). W rzeczywistości to ciśnienie w jego wnętrzu warunkuje

podaną wartość. Jakie ciśnienie? Ciśnienie atmosferyczne o wartości ok. 1013,25 hPa (jest to 1 atm – jedna atmosfera). Na rysunku została pokazana zależność temperatury wrzenia wody od jej ciśnienia. Większe ciśnienie to wyższa temperatura i odwrotnie.

Co można zrobić, aby to zmienić? Należałoby zwiększyć ciśnienie. Jednak trudno to zrobić w przypadku czajnika – brak w nim bowiem mechanizmu wypuszczającego parę dopiero powyżej ciśnienia atmosferycznego. Jednak istnieje coś takiego jak szybkowar, który ten mechanizm już ma. Jest to szczelniejszy garnek upuszczający parę zazwyczaj przy dwukrotności wspomnianego wcześniej ciśnienia (2 atm), nigdy poniżej.



Radiolinie też mają swego wroga

Nie jest nim ani człowiek, ani ośrodek propagacji, ani przeszkody terenowe. Co to takiego? Jeżeli się nie domyślacie, to spójrzcie na rysunek – chodzi o opady deszczu. Powodują one wzrost tłumienia (*attenuation*) łączy radiolinii. Im większe opady, tym większe to tłumienie, i wzrasta ono z częstotliwością przesyłanego sygnału. Zatem dla wyższych częstotliwości należy przyjąć wyższy margines tłumienia łączy, w przeciwnym razie nastąpi zanik sygnału. Jednak nie zawsze to możliwe, szczególnie gdy łączy radiolinii jest długie. Zwykle częstotliwość przenoszonego sygnału jest wtedy mniejsza, lecz to nie jest rozwiązaniem, tak samo jak wymiana zastosowanych anten.

Zaniki sygnału są po prostu wpisane w naturę radiolinii i będą się zdarzały, ponieważ ich projekty i obliczenia bazują na niedoskonałych modelach skończonych. Można zmniejszyć te zaniki, szczególnie pod kątem częstości występowania. Jednak aby radiolinie zapewniały w miarę niezawodną transmisję, firmy zajmujące się utrzymaniem infrastruktury telekomunikacyjnej muszą stale nad nimi czuwać. Doceńmy ich pracowników, ponieważ wykonują naprawdę trudne zadanie. Jednym z nich jest ojciec autora tej ciekawostki, pracujący w tej branży od ponad 40 lat, trudni się m.in. radioliniami. Przez wzgląd na to autor, podobnie jak redakcja, pragnie złożyć mu dedykację w postaci tej ciekawostki. Jak najwięcej zdrowia i co najmniej 100 lat zasłużonemu tacie!



Pasma częstotliwości telefonii komórkowej 5G

Na rysunku zostały pokazane pasma dla kilku wybranych krajów z całego świata. Nie ma przy tym znaczenia, że to dane z roku 2018 – do teraz się nie zmieniły. Widoczne są (od góry): Stany Zjednoczone,

Kanada, Unia Europejska, Wielka Brytania, Chiny, Korea Południowa, Japonia i Australia. Przyjęte pasma obejmują szerokie spektrum częstotliwości: od 600 MHz do 71 GHz. Są zarówno tam, gdzie telewizja DVB-T, i tam, gdzie radary pogodowe. Większość z nich wymaga pozwoleń – są to pasma zaznaczone na niebiesko, pasma zaznaczone na seledynowo to te, które ich nie wymagają bądź są współdzielone. Natomiast pasma zaznaczone na fioletowo są na razie zarezerwowane. Tylko czekać na działania miłośników teorii spiskowych wariujących na hasło „5G”. Oby jednak ich w Polsce nie było.



Praca zdalna na stałe? Ależ tak!

Jak podaje BBC News, w firmie Microsoft od teraz menedżerowie mogą pozwolić pracownikom na realizację obowiązków służbowych w domu, w pełnym wymiarze czasu pracy – zezwolono na home office w długiej perspektywie czasu. Jednak poza osobami opiekującymi się danymi, organizującymi szkolenia i prowadzącymi badania, z racji konieczności korzystania ze specjalizowanego sprzętu. Co więcej: należy zrezygnować z zajmowanej dotąd przestrzeni biurowej. Niemniej wstęp do firmy nadal będzie możliwy, tak samo jak korzystanie z dostępnych w niej miejsc.

Ponadto zezwolono na pracę mieszaną (hybrydową), tj. 50% w biurze i 50% w domu, na którą zgoda nie będzie jednak wymagana. Jak podano we wpisie opublikowanym na blogu pracowniczym firmy: „(...) pandemia wywołała pytania o to, czego nasi pracownicy mogą spodziewać się w przyszłości, dlatego w tym tygodniu przedstawiliśmy pracownikom wskazówki dotyczące naszego myślenia o elastyczności pracy. Idąc dalej, naszym celem jest oferowanie jak największej elastyczności w celu wspierania indywidualnych stylów pracy, przy jednoczesnym równoważeniu potrzeb biznesowych i dbaniu o to, abyśmy żyli zgodnie z naszą kulturą”. Decyzję podjęto po podobnych deklaracjach Facebooka i Twittera. Firma przyznaje, że wielu pracowników czuje się lepiej, pracując zdalnie i są tak samo efektywni jak w przypadku pracy stacjonarnej.

	Internet Protocol version 4 (IPv4)	Internet Protocol version 6 (IPv6)
Deployed	1981	1999
Address Size	32-bit number	128-bit number
Address Format	Dotted Decimal Notation: 192.149.252.76	Hexadecimal Notation: 3FFE:F200:0234:ABCD: 0123:4567:8901:ABCD
Prefix Notation	192.149.0.0/24	3FFE:F200:0234::/48
Number of Addresses	$2^{32} = 4,294,967,296$	$2^{128} = 340,282,366,920,938,463,463,374,607,431,768,211,456$

IT w liczbach skąpane

Wielu pracowników branży IT ma dobre obycie z liczbami i łatwo je zapamiętuje, nawet gdy jest ich dużo. Na pewno ma to związek z tym, że urządzenia sieciowe, takie jak routery, serwery czy urządzenia

końcowe, wymagają konfiguracji. Na przykład, trzeba ustawić porty urządzeń – to podstawa współczesnych sieci teleinformatycznych, w dodatku dwojaka. Chodzi o protokół IP w wersji 4 (IPv4) i protokół IP w wersji 6 (IPv6). Na rysunku zestawiono ich wybrane właściwości – 2^{32} możliwych adresów dla IPv4 oraz 2^{128} dla IPv6. Do bardzo dużo, nie pomagają nawet zaokrąglenia podanych wartości, czyli: $4,3 \cdot 10^9$ dla pierwszej i $3,4 \cdot 10^{38}$ dla drugiej. Planowanie, wdrażanie czy zmiany tych parametrów są dobrym treningiem dla mózgu.

Rynek smartfonów w II kw 2020 r.

Producent	II kw 2020 r.		II kw 2019 r.	
	Sprzedaż [szt.]	Udział w rynku	Sprzedaż [szt.]	Udział w rynku
Huawei	55,8 mln	20,20%	58,7 mln	17,70%
Samsung	54,7 mln	19,50%	76,3 mln	23,00%
Apple	37,6 mln	13,60%	37,2 mln	11,20%
Xiaomi	28,4 mln	10,30%	32,2 mln	9,70%

„Covidowy” spadek sprzedaży smartfonów na świecie

Rynek wspomnianych w tytule urządzeń skurczył się o ponad 20% w rok. Kiedy? W drugim kwartale br. Liczbowo to 75,6 mln urządzeń mniej. W szczególności chodzi o firmy: Samsung, Xiaomi i Huawei, które notują największe spadki. Pierwsza sprzedała 21,6 mln smartfonów mniej niż przed rokiem, druga 3,8 mln mniej, a trzecia 2,9 mln mniej. Procentowo to: 28,31%, 11,8% i 4,94%.

Wyjątkiem jest firma Apple, która sprzedała 400 tys. smartfonów więcej – wzrost o 1,075%. Tym samym zwiększyły się jej udziały rynkowe o 2,4%. Natomiast firmy Samsung zmniejszyły się o 3,5%. Z kolei firm Xiaomi oraz Huawei zwiększyły się o odpowiednio: 0,6% i 2,5%. W efekcie obecnym liderem w sprzedaży jest firma Huawei, podczas gdy dwie dalsze lokaty zajmują firmy: Samsung i Apple. Dla porównania rok temu była to kolejność: Samsung, Huawei, Apple. Bój o pałeczkę pierwszeństwa toczą Chińczycy i Koreańczycy z południa.

Na razie niech lepiej pandemia już ustąpi – cierpi przez nią nie tylko elektronika. Życzymy Wam zdrowia, i pamiętajcie: koronawirus utrzymuje się także na smartfonie.



LTE na Księżycu

W 2024 roku planowany jest powrót człowieka na Księżyc, w ramach misji Artemis agencji NASA. W tym celu zawarto kontrakt na budowę infrastruktury telefonii komórkowej czwartej generacji (4G) na Srebrnym Globie. Dzięki temu zostanie zapewniona łączność wysokiej klasy dla astronautów: zarówno między sobą, jak i ze statkiem. Wartość kontraktu to 14,1 mln dolarów (niespełna 54 mln zł) – niewiele na tle budżetu misji, równego 370 mln dolarów (ok. 1,411 mld zł). Wykonawcą będzie firma Nokia.

Praca szuka człowieka – i to w Tesli

Wspaniała wiadomość dla bezrobotnych mechaników, ale nie tylko, także dla doradców biznesowych i serwisowych (<https://bit.ly/3n2cTIK>).



Zapewne wielu Czytelników chciałoby poznać od środka pojazdy Tesli, szczególnie te autonomiczne. Elektronika jest w nich z pewnością ciekawa.

Są to przymiarki firmy do otwarcia pierwszego, autoryzowanego salonu oraz drugiego, również autoryzowanego, serwisu przy tym salonie. Będzie to w Warszawie, tam gdzie obecnie znajduje się tzw. *pop-up store* tej firmy, przy ul. Klimczaka 1, nieautoryzowany serwis firmy na pl. Konesera 3, oraz autoryzowany serwis na ul. Powsińskiej 69/71. Oferta to wyjątkowa, szczególnie w dobie pandemii Covid-19, przez którą szybciej się traci pracę, niż ją zyskuje.



Autopilot Tesli oszukany

Sprawa dotyczy Modelu X. Jak się okazuje, naukowcy z Uniwersytetu Ben Guriona w Izraelu skutecznie sprowokowali auto do awaryjnego hamowania. W tym celu skorzystali z własności jego autopilota do natychmiastowej reakcji na przeszkody na drodze. Aby tego dokonać, ustawili przy drodze wyświetlacz na statywie, na którym wyświetlana była reklama burgerów McDonald's. Jednak nie było to takie proste – w najmniej spodziewanym momencie pokazywano na pół sekundy wkomponowany w nią znak stopu. Wydaje się to mało, lecz wystarczyło do osiągnięcia spodziewanego efektu.

Jak zaznacza członek zespołu badawczego Yisroel Mirsky: jest to poważna wada, z której mogą skorzystać cyberprzestępcy – mogą dokonać ataku z zastosowaniem billboardów drogowych, aby skłonić auto do określonych zachowań. Tak, by kierowca nie spostrzegł tego ataku, jedynie potem jego efekty.

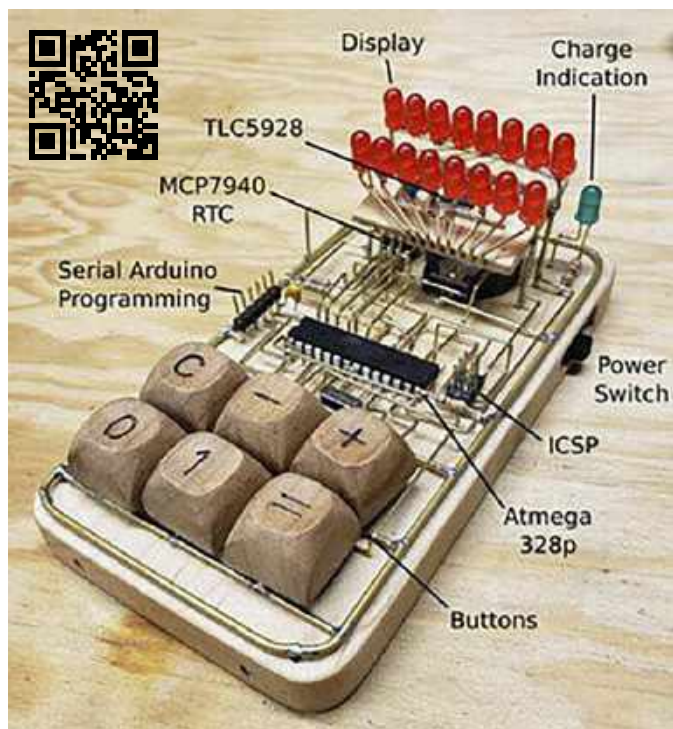
Sprawą zaciekawiono samego producenta. Rezultatem był lakoniczny komunikat: „Autopilot to funkcja wspomagająca kierowcę, która jest przeznaczona do użytku tylko przez w pełni uważnego kierowcę trzymającego ręce na kierownicy i gotowego do przejęcia kontroli nad autem w dowolnym momencie”. Jednak wiele osób to ignoruje. Być może ta ciekawostka zmieni ich nastawienie. Dodajmy, że wcześniej próbowano jeszcze wyświetlać sylwetki pieszych oraz inne znaki drogowe, co także kończyło się podobnym rezultatem. System oparty na kamerach to nadal niedoskonały wynalazek.

Jakub Tyburski

jakub.tyburski@wat.edu.pl

dodaj do obserwowanych

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



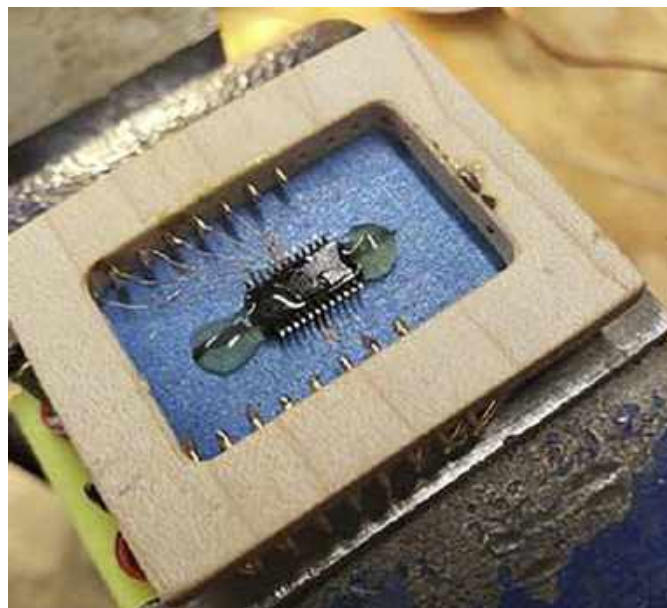
Kalkulator binarny

Inspiracją do opracowania tej nietypowej konstrukcji nie była potrzeba w zakresie algebry boolowskiej, a chęć wykonania estetycznej rzeźby, będącej jednocześnie ciekawym urządzeniem elektronicznym. „Chciałem zbudować coś, co byłoby zabawne, ale nie przesadnie skomplikowane. Wstępne pomysły doprowadziły mnie do kalkulatora binarnego – fajnej mieszanki zabawy i użyteczności”, pisze autor. Finałnie, urządzenie oprócz kalkulatora, pełni także funkcję zegara. Jest wyposażony, w zegar czasu rzeczywistego i baterię podtrzymującą.

Podstawowym założeniem konstrukcji mechanicznej układu była budowa na tzw. „pająka”, przy użyciu mosiężnych drutów do realizacji połączeń. Zapewniło to unikatową estetykę konstrukcji. Pozostałe elementy mechaniczne wykonane zostały z drewna.

Autor chciał, aby kalkulator był podręczny i miał wbudowaną ładowarkę. Do sterowania diodami LED użyto scalonego sterownika TLC5928 w obudowie SSOP (głównie po to, aby dodać trochę trudności do projektu). Po opracowaniu szczegółów, rysunek ścieżek został zaprojektowany w Inkscape (program do grafiki wektorowej), a następnie wymodelowany w FreeCAD (program do projektowania 3D). Następnie projekt został wydrukowany za pomocą drukarki 3D, co istotnie pomogło w dalszym montażu, gdyż zapewniło sztywność elementów w czasie lutowania.

„Jedną z najtrudniejszych części obwodu był sterownik LED. Ponieważ użyłem elementu w obudowie do montażu powierzchniowego, chciałem znaleźć sposób na połączenie go z mosiężnym drutem. Sam



drut był zbyt gruby (0,81 mm), aby można go było podłączyć do wyprowadzeń układu (raster 0,65 mm). Zrobiłem klonową ramkę, w której mogłem zawiesić układ scalony na cieńszym druciku”. Pozostałe drewniane elementy zostały wycięte z drewna przy użyciu frezarki CNC. Od spodu korpusu znajduje się kontroler ładowania i bateria (ze starego telefonu). Podstawa ma kształt koła. Z tyłu znajduje się port microUSB do ładowania, a z przodu wyłącznik zasilania. Podstawa utrzymuje kalkulator w pozycji pionowej, dzięki czemu jest ładnie wyeksponowany, gdy działa jako zegar. Całość jest wtedy zamknięta pod szklanym kloszem, aby chronić delikatny obwód.

Urządzenie ma dwa główne tryby pracy: kalkulator i zegar. W trybie kalkulatora można wprowadzić liczbę w dolnym rzędzie diod LED, a po naciśnięciu przycisku sterującego liczba przesuwa się do górnego rzędu diod LED. Wtedy do dolnego wiersza wprowadzić można drugą liczbę, a po naciśnięciu przycisku równości wynik zostanie wyświetlony w górnym wierszu. Mimo że układ wyposażony jest tylko w przyciski do dodawania i odejmowania, można wykonywać inne operacje – po przytrzymaniu przycisku dodawania dostępna jest operacja mnożenia, a przytrzymanie przycisku odejmowania pozwala na dzielenie.

<https://bit.ly/3nzkDSO>

Bezprzewodowa sieć sensorów zasilanych solarnie

Głównym zamysłem tego projektu było skonstruowanie stosunkowo małego urządzenia, które mierzy temperaturę i wilgotność (lub cokolwiek innego za pomocą czujnika I²C), przysyła dane do bramki i nigdy nie wymaga wymiany baterii. W obecnej iteracji autor użył





mikrokontrolera ATmega328P, transceivera RFM69W, superkondensatora 1 F i kilku dodatkowych komponentów zapewniających ochronę przed przepięciem/zbyt niskim napięciem z ogniwa fotowoltaicznego.



Do pomiaru temperatury i wilgotności autor zastosował sensor HTU21. Mikrokontroler w stanie głębokiego uśpienia zużywa niewielką ilość energii – ok. 4 μ A, ale do pracy przy najniższym napięciu (1,8 V) należy zastosować oscylator 4 MHz. System zasilany jest z superkondensatora naładowanego do napięcia 3,6 V, aby nie przekroczyć maksymalnych dopuszczalnych napięć w systemie. Dzięki temu udało się wyeliminować stabilizatory napięcia, pobierające dodatkowy prąd. Jest on ładowany z ogniwa fotowoltaicznego przez prosty układ, który ogranicza napięcie do 3,6 V (ogniwo generuje w pełnym słońcu i bez obciążenia do 5,5 V). Dodatkowy obwód czuwa nad napięciem i załącza mikrokontroler powyżej napięcia 1,8 V, ponieważ bez niego układ zatrząskuje się w stanie resetu i pobiera relatywnie duży prąd, uniemożliwiając naładowanie superkondensatora z ogniwa PV.

Dane z układu odbierane są za pomocą bramki, opartej na ESP32. Oprogramowanie do samego układu, jak i bramki dostępne jest w repozytorium autora na portalu GitHub. Konstrukcja jest cały czas rozwijana, więc warto monitorować postępy autora w realizacji tego ciekawego projektu.

<https://bit.ly/3pEeMNU>

<https://bit.ly/3kL5agQ>



Zegarek z płytki stykowej

Zabawny projekt zegarka na rękę z „bąbelkowym” wyświetlaczem LED QDSP-6064. Elementy zegara są wpięte w płytkę stykową, używaną normalnie do prototypowania urządzeń elektronicznych. „Teraz możesz mieć platformę do prototypowania elektroniki na swoim nadgarstku przez cały czas!”, pisze przewrotnie autor. Pod płytką znajduje się system zasilania napięciem 3,1 V z ogniwem litowo-polimerowym, ładowanym przez złącze microUSB na boku zegarka. Zasilacz oparty jest na układzie STNS01 firmy ST-Microelectronics, który integruje w sobie ładowarkę ogniw Li-Po oraz stabilizator liniowy LDO do zasilania systemu.

Zegarkiem steruje 14-pinowy mikrokontroler ATtiny84. Jest takto wyposażony oscylatorem 32768 Hz, który stanowi źródło sygnału zegara procesora i zegara czasu rzeczywistego (przy użyciu układu licznika Timer0). Sprawia to, że system pobiera jedynie 10 μ A w stanie bezczynności, podczas gdy działa tylko RTC. Zużywa około 24 mA przy włączonym wyświetlaczu LED. Mała liczba GPIO mikrokontrolera



ATtiny84 oznacza, że piny sterownika segmentów są również używane dla pinów katod każdej cyfry. Zrealizowano to poprzez podłączenie diod szeregowo do wyjść mikrokontrolera, tworząc prosty obwód logicznego OR dla dwóch segmentów. Diody Shottky'ego obniżają również napięcie do odpowiedniego dla segmentów LED.

<https://bit.ly/2HiDuC9>



Konkurs na projekty zasilane bateryjnie

Portal Instructables organizuje wiele ciekawych konkursów, dotyczących projektów elektronicznych (i nie tylko). Tematem przewodnim najnowszego z nich jest zasilanie bateryjne. Jedyne warunki, jaki musi spełnić projekt, aby wziąć w nim udział, jest zasilanie bateryjne. Na czas pisania tego tekstu pozostało jeszcze 33 dni na prezentację swoich pomysłów.



W konkursie wygrać można bony do sklepu Amazon o różnej wartości, główna nagroda to 500 dolarów. Dalsze nagrody to trzy bony po 250 dolarów, pięć bonów po 150 dolarów i dziesięć bonów po 50 dolarów dla wyróżniających się projektów. Aby wziąć udział w konkursie, wystarczy opublikować swój projekt na portalu Instructables i zgłosić go do konkursu.

<https://bit.ly/2IWbvbL>



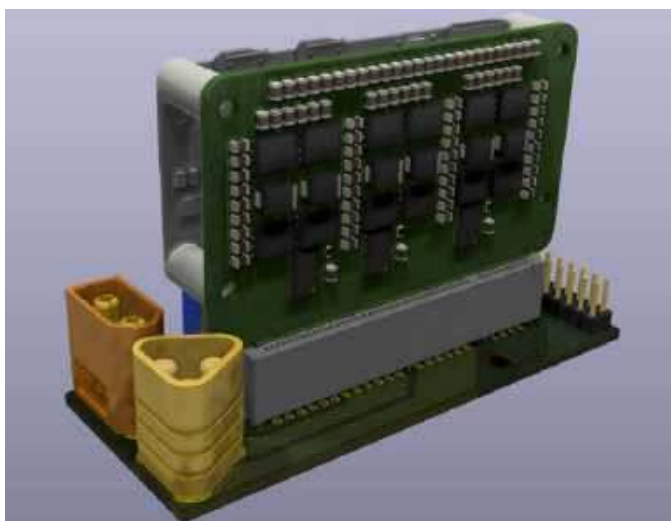
CoViano – bezdotykowy instrument muzyczny

Konstrukcja ta początkowo miała być po prostu interesującą, elektroniczną rzeźbą. Jednak dzisiejsze czasy, z powtarzanymi jak mantra sugestiami korzystania z technologii bezdotykowych, sprawiły, że autor wpadł na pomysł skonstruowania pianina bez klawiszy, które można obsługiwać bezpiecznie – bez dotykania.

W systemie użyto transoptorów do detekcji dłoni grającego. Zastosowane układy CNY70 mają odległość roboczą na poziomie kilku milimetrów, co doskonale sprawdza się w tej konstrukcji. Jeśli chodzi o obwód generujący tony, autor zastosował klasyczne kości timera 555. Fala prostokątna nie jest najbardziej muzycznym dźwiękiem, ale przynajmniej obwód jest łatwy do zbudowania. Na każdy klawisz przypada jeden generator przebiegu prostokątnego.

„Dla mnie budowa rzeźby obwodu oznacza, że obwód elektroniczny, który coś robi, powinien być rzeźbą samą w sobie jak piękna osoba. Dlatego używanie mikrokontrolera do generowania różnych częstotliwości było po prostu niemożliwe. Użyłem wzmacniacza o zmiennym wzmacnieniu, sterowanym przez transoptor, co zapewniło pewną kontrolę dynamiki dźwięku”, pisze autor konstrukcji. Filmy z testowania prototypu i grania na CoViano znajdują się na stronie z dziennikiem projektowym.

<https://bit.ly/2IR7bdZ>



FOCESPI – sterownik silnika z algorytmem FOC

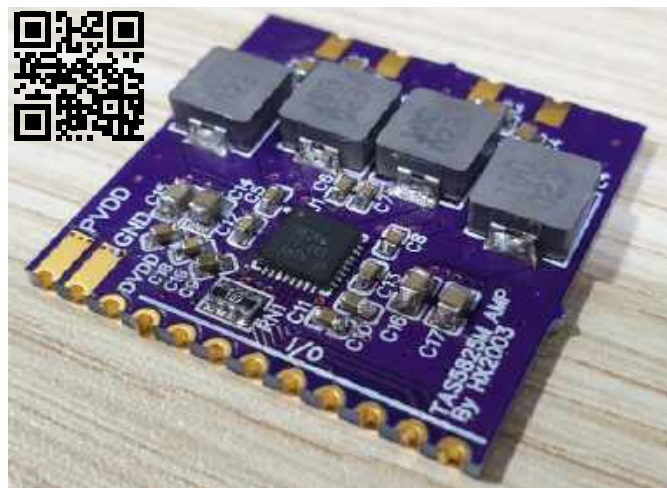
Projekt ten zapewnia skalowalny, wydajny i inteligentny system sterowania silnikiem, którego „brakuje światu”, jak twierdzi projektant systemu. Obecne serwonapędy kosztują tysiące dolarów i wymagają zastrzeżonego oprogramowania sterującego, które jest

często rozbudowane, drogie i ograniczone w swoich możliwościach. Większość tej ceny pochłaniają ubezpieczenia i prawnicy. To doskonale obrazuje motywację autora do skonstruowania czegoś lepszego – otwartego sterownika silnika FOCESPI.

W tym systemie niedrogie złącza PCIe są używane jako struktura połączeń międzysieciowych do obsługi dużej mocy i integracji systemów na dużą skalę. Zastosowanie Raspberry Pi Zero znacznie obniża koszty systemu. Wieloosiowy manipulator robotyczny może mieć jedną płytę główną zawierającą kilka modułów sterowników, które można wymieniać podczas pracy. Integrowane są ze sobą za pomocą złączy PCIe x8. Złącza XT60 i MT60 służą do podawania zewnętrznego zasilania DC i trójfazowego wyjścia AC dla silnika.

Przyszłe wersje będą zmodyfikowane głównie w formacie PCB. Konstrukcja spełnia większość norm IPC dla napięcia magistrali do 24...36 V, ale możliwe jest osiągnięcie wyższego napięcia, jeśli tylko poprawione zostaną niuanse projektu PCB (głównie odległości pomiędzy elementami etc). Autor ma przed sobą, jak sam przyznaje, jeszcze wiele pracy i testów do wykonania, dlatego warto obserwować postępy w realizacji tego projektu.

<https://bit.ly/3fgn4qp>



Wzmacniacz mocy z wejściem I²S

Ten prosty moduł to uniwersalna płytka wzmacniacza audio, który ma wejście cyfrowe – interfejs I²S i jest świetną alternatywą dla konstrukcji opartych np. na układzie MAX98357. Zastosowany wzmacniacz TAS5825MRHBR to pracujący w klasie D stereofoniczny układ z wejściem cyfrowym. Przy zasilaniu napięciem od 4,5 V do 26 V jest w stanie wygenerować moc do 38 W.

<https://bit.ly/3kVKjaN>



Dentystyczny inklinometr

To ciekawe urządzenie zostało zaprojektowane przez polskiego użytkownika ukrywającego się pod nickiem zano17 na portalu Hackaday.



io. Jest on technikiem dentystycznym z zawodu i elektronikiem z zamiłowania. To sprawiło, że skonstruował unikatowe urządzenie do pomiaru różnych kątów stosowanych w technice dentystycznej. Urządzenie jest całkowicie nowym podejściem do określania wartości HCI (kąt nachylenia drogi stawowej), kąta Bennetta i ISS (natychmiastowego wychylenia bocznego). System pozwala zmierzyć najważniejsze wartości używane w technice dentystycznej. Do jego konstrukcji wykorzystano trzy, przemysłowej klasy sensory, z dwięcioma stopniami swobody (Xsens). Jeden z nich wyznacza płaszczyznę kąta nachylenia drogi stawowej, a dwa pozostałe kąty.

<https://bit.ly/2ULeZ3z>



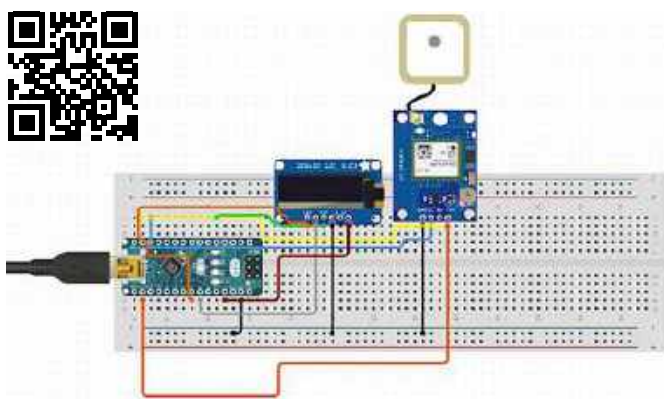
Kontroler do symulatorów lotów

Jest to połączenie wolantu (w stylu występującym w samolotach Cessna), przełącznika i przepustnicy ze skrzynką z przyciskami i enkoderem obrotowym. Autor pierwotnie planował oddzielenie wolantu i skrzynek kontrolnych, ale później zdecydował się na integrację wszystkich urządzeń w jednym.

System jest pełen okropnych decyzji projektowych, ale, jak twierdzi sam autor, zakończyło się to świetnym doświadczeniem edukacyjnym w zakresie projektowania, trasowania i porządkowania przewodów i znacznie zwiększyło jego wiedzę na temat Fusion360 (oprogramowanie do projektowania 3D). „Używaj i ucz się za jednym razem”, podsumowuje autor.

System kontrolowany jest przez Arduino Due, które przetwarza poszczególne wejścia z elementów sterujących i przekazuje je do komputera. Zastosowanie tego modułu, może się wydawać nadmiarowe, ale potrzebna była tak duża liczba wejść, aby podłączyć wszystkie elementy. Dodatkowo przekłada się to na mniejsze opóźnienia niż w przypadku zastosowania np. Arduino Micro. Wyjścia zrealizowano przy użyciu standardowej biblioteki dla joysticka MHeironimus i domyślnej biblioteki klawiatury dla Arduino jako urządzeń HID.

<https://bit.ly/3kISQxn>



Prędkościomierz GPS oparty na Arduino

Prędkościomierze to urządzenia służące do szacowania prędkości jazdy pojazdu. W tym projekcie autor użył odbiornika GPS NEO6M do oszacowania prędkości. Moduł ten jest dobrze znany w środowisku Arduino, dzięki wbudowanej ceramicznej antenie oferuje dobre parametry w zakresie wyszukiwania satelitów GNSS. Wbudowany wskaźnik sygnału pozwala w łatwy sposób przeanalizować stan sieci. Urządzenie zawiera baterię podtrzymującą zapisane dane, więc moduł może chronić je w przypadku nieoczekiwanego wyłączenia zasilania centralnego. Do wyświetlania wyników pomiaru zastosowano niewielki wyświetlacz OLED, dołączony do mikrokontrolera poprzez I²C. Całym systemem steruje moduł Arduino.

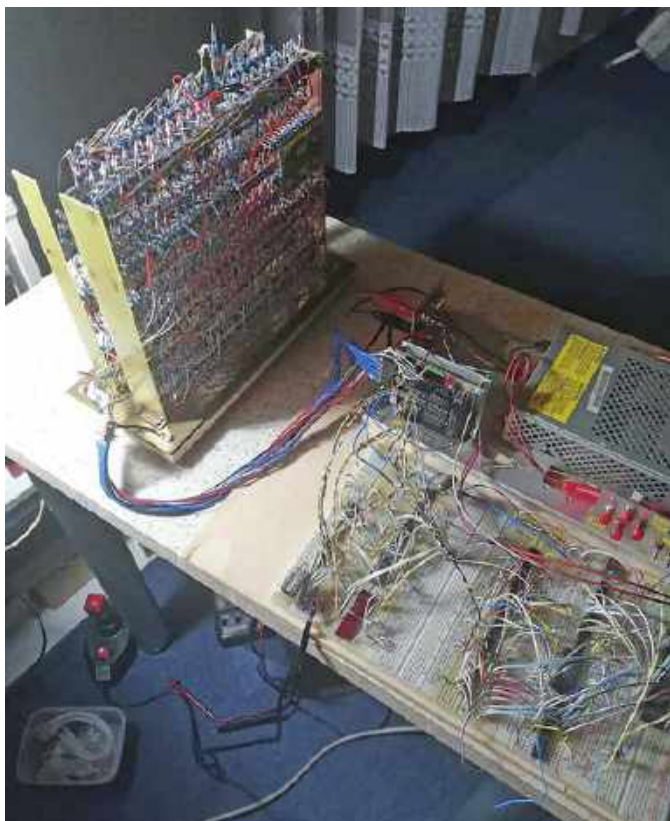
<https://bit.ly/2UJE27q>



Tranzystorowy komputer 4-bitowy

Zaprezentowana konstrukcja to w pełni autorski projekt 4-bitowego procesora zbudowanego z dyskretnych tranzystorów. Urządzenie składa się z około 450 tranzystorów bipolarnych (BC182). Pobór prądu wynosi około 3 A przy 5 V, zegar, którego używa system, to 2,5 MHz (i najpewniej nie jest to maksymalna





wartość). Oprócz samego CPU, autor skonstruował także urządzenia wyjściowe – kartę SVGA obsługującą ekran z 16×16 znaków, która wykonana jest w pełni z dyskretnych układów TTL oraz kartę wektorów XY z 16×16 znaków, którą można również podłączyć do wyświetlacza YX lub oscyloskopu. Do systemu podłączona jest klawiatura qwerty, oparta na dyskretnych przyciskach.

<https://bit.ly/2UKGIBG>



Interfejs kasetowy dla FPGA

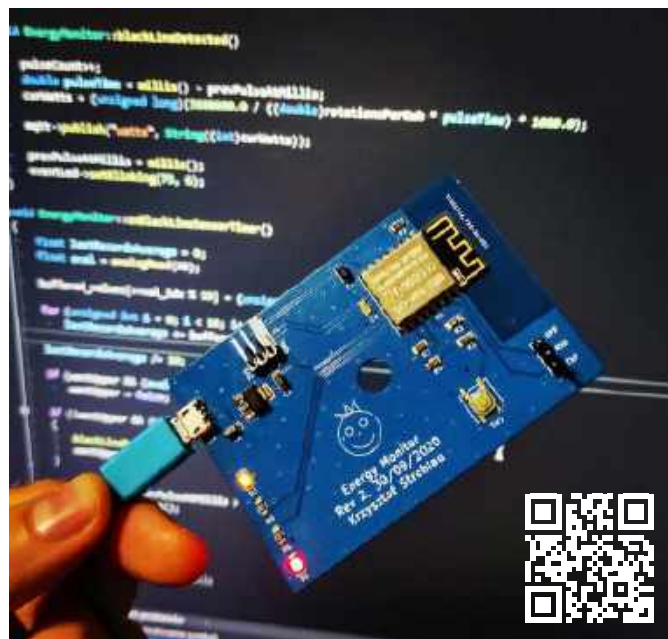
Jeśli wolicie komputery retro oparte na układach programowalnych, ale chcecie korzystać z klasycznych źródeł danych, to projekt, umieszczony na portalu Hackaday przez Zoltana Pekica, może Was zainteresować. Jest to prosty interfejs do odtwarzacza kasetowego, takiego jak w starszych komputerach, który został zrealizowany w pełni na układzie FPGA. Pozwala on na wczytywanie danych z klasycznych kaset magnetofonowych i na digitalizację ich na komputerze PC.

Interfejs oparty jest na binarnym kodowaniu FSK (kluczowanie z przesunięciem częstotliwości) i korzysta z przetwornika analogowo-cyfrowego znajdującego się na płytce z układem FPGA. Do komputera układ podłączany jest przez prosty interfejs UART – to, co wychodzi na TXD, jest nagrywane na taśmie, a to, co jest odczytywane



z odtwarzanej taśmy, jest transmitowane na RXD. Zamiast taśmy można użyć dowolnego innego nośnika dźwięku – od nagrania w postaci plików wave, po nadawanie na antenie (to nawiązanie do audycji Ventilator 202, która nadawana była przez radio Beograd 202 w Serbii w latach 80., podczas której autor Zoran Modli przesyłał, także oprogramowanie na popularne wtedy komputery Galaksija, ZX Spectrum oraz Commodore 64).

<https://bit.ly/3fhtxkY>



Moduł IoT do starego licznika zużycia energii elektrycznej

Problemem, często napotykanym w systemach Internetu Rzeczy, jest podłączenie starszych urządzeń mechanicznych, takich jak starsze mierniki zużycia energii elektrycznej, do Internetu. Autor prezentowanej konstrukcji musiał się zmierzyć z takim problemem i postanowił skonstruować urządzenie, które zlicza obroty pierścienia mechanicznego licznika energii elektrycznej za pomocą modułu opartego na układzie ESP32. Pierwsza wersja modułu oparta była na odczytach cyfrowych, jednak ta technika wprowadzała wiele problemów, ponieważ była bardzo wrażliwa na światło (jasne światło słoneczne czasami wpływało na pomiary). Druga wersja używa przetwornika analogowo-cyfrowego, który zbiera sygnał z transformatora odbiciowego, co pozwala dokładniej wykrywać ruch elementów miernika. Druga płytka jest również zaprojektowana lepiej pod kątem EMI. Obecnie autor pracuje nad oprogramowaniem – frameworkiem do urządzeń IoT, takich jak to, dzięki któremu aplikacja dla użytkownika końcowego będzie opracowywana dość szybko.

<https://bit.ly/38Yt324>



Wizualizator obciążenia sieci

Projekt jest prostą zabawką na biurko, która łączy w sobie, moduł ESP8266 z rejestrem przesuwającym, użytym aby wyświetlać dane na 8 niebieskich diodach LED i służy do wizualizacji obciążenia sieci bezprzewodowej. Autor napisał prosty szkic w Arduino, który



mierzy liczbę pakietów Wi-Fi, które „latają” dookoła modułu i wyświetla ich natężenie na diodach LED. Działa to podobnie jak VU-meter dla dźwięku, jednakże monitoruje natężenie ruchu w sieci bezprzewodowej. Za pomocą kilku automatycznych funkcji moduł może odnaleźć kanał z najsilniejszą siecią i automatycznie dopasować skalę wyświetlacza w trakcie działania systemu.

System można również obsługiwać manualnie. W pierwszej kolejności należy przytrzymać czarny przycisk, aby przejść do trybu wyboru kanału AP, w którym można przełączać się pomiędzy 11 kanałami. Ponowne naciśnięcie i przytrzymanie przycisku potwierdza wybór. Naciśnięcie ten przycisk jedynie na chwilę, można wrócić do automatycznego skalowania do 100 pakietów na sekundę za pomocą krótkiego naciśnięcia przycisku.

Autor pracował nad tym systemem około dwóch lat (z przerwami). Obecnie osiągnął etap niemalże gotowej konstrukcji. Cała dokumentacja modułu znajduje się na repozytorium GitHub.

„Moją pierwotną motywacją do pracy nad tym modułem była chęć nauki programowania modułów ESP01, które były wtedy szalenie popularne, ale także zbudowanie obwodu, który mrugałby światłami. Chciałem spróbować zmierzyć stan domowej sieci Wi-Fi, aby sprawdzić, kiedy ktoś coś pobiera lub czy jakiś ukryty program pobiera coś w tle”, opisuje autor. W tym celu zastosował tryb „promiscuous” układów ESP, który pozwala na pobieranie wszystkich pakietów, które znajdują się w bieżącym kanale, niezależnie od tego, czy moduł jest w ogóle podłączony do sieci. Pozwala to na monitorowanie liczby pakietów, które w danym momencie są przesyłane danym kanałem sieci.

Obecna wersja bazuje na module ESP-WROOM-02 i elementach SMD w obudowach SMD1206, aby ułatwić ręczne lutowanie płytki. Na płycie znajdują się jeszcze dwa dodatkowe przyciski, które pomagają ustawić ESP w tryb programowania, aby nie zawracać sobie głowy zworkami lub dodatkowymi komponentami do automatycznego programowania.

<https://bit.ly/36QwmWy>



BatCha – inteligentna ładowarka do akumulatorów

BatCha to ładowarka do ładowania akumulatorów litowych zawierających od dwóch do dwunastu ogniw (2S...12S). Projekt oparty jest na otwartym oprogramowaniu i ma interfejsy, pozwalające na łączenie się z inteligentnymi pakietami ogniw. Do wyboru są trzy interfejsy cyfrowe do komunikacji:

- I²C (SMBus),
- CAN (UAVCAN lub własne protokoły),
- LIN bus (jednoprzewodowy interfejs często stosowany w motoryzacji).

<https://bit.ly/3pSAsWX>



SNAPZZ – modułowa platforma do mikrokontrolerów w formacie kart M.2

Płytki stykowe czy płytki deweloperskie to doskonałe narzędzia do prototypowania urządzeń, jednakże zazwyczaj nie są one praktycznym rozwiązaniem do instalacji w bardziej zaawansowanych projektach. Z drugiej strony, robienie pełnych płytek drukowanych dla każdego projektu również nie jest praktyczne, szczególnie w warsztacie hobbysty amatora. Rozwiązaniem tego problemu jest modułowa konstrukcja – wyniesienie części wspólnej większości projektów – mikrokontrolera z niezbędną otoczką – na osobny moduł, co pozwala na zastosowanie go w wielu systemach.

W roli mikrokontrolera autor projektu użył dobrze znany układ ESP32, wyposażony w możliwość komunikacji poprzez Wi-Fi i Bluetooth. Ciekawszy jest natomiast format mechaniczny modułu – tutaj sięgnięto po znane złącze M.2 w wersji z kluczem E. Typowo gniazdo to jest stosowane w komputerach osobistych do interfejsów mSATA czy PCIe. Popularność tego złącza w komputerach sprawia, że ma ono niewielką cenę. Moduł z mikrokontrolerem ma wymiary 22×30 mm. Łatwo jest zaprojektować do niego dowolną płytkę bazową z opcjami, jakie wymagane są w danym, konkretnym produkcie. Autor, w oparciu na swoim systemie, zestawiał już wiele urządzeń, przeznaczonych do różnych zastosowań.

<https://bit.ly/3fimW9P>



Kamera stereoskopowa oparta na Raspberry Pi Compute Module 4

StereoPi v2 to następca modułu widzenia stereoskopowego opartego na wcześniejszej wersji Compute Module. StereoPi ma być przyjaznym narzędziem do eksperymentów i szybkiego prototypowania w wszelkiego rodzaju projektach wideo. Z pewnością pomoże w takich zadaniach, jak:

- wykonywanie zdjęć 3D lub nagrywanie filmów stereoskopowych,
- eksperymentowanie z transmisją wideo 3D do systemów rzeczywistości wirtualnej,
- komputerowe systemy wizyjne czy praca z OpenCV,
- widzenie maszynowe dla robotów, dzięki wsparciu dla ROS,
- prototypowanie systemów widzenia 360°.

StereoPiv2 współpracuje z klasycznym Raspbianem. Ten kompaktowy moduł obsługuje dwie kamery wideo, a także ma Wi-Fi oraz Bluetooth 5.0 ze wsparciem dla BLE, dzięki zastosowaniu Compute Module 4. System pozwala na zaawansowane zarządzanie siecią bezprzewodową lub komunikację poprzez gigabitowy Ethernet. Kamera może być zasilana poprzez USB typu C, złącze zasilania lub przez sieć z użyciem PoE. Autorzy projektu planują rozpocząć niebawem kampanię crowdfundingową, która dostępna będzie na: <https://bit.ly/3fkuPf1>.

<https://bit.ly/390pmsA>

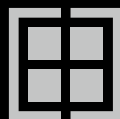


LOMOPI – cyfrowa lomografia z Raspberry Pi

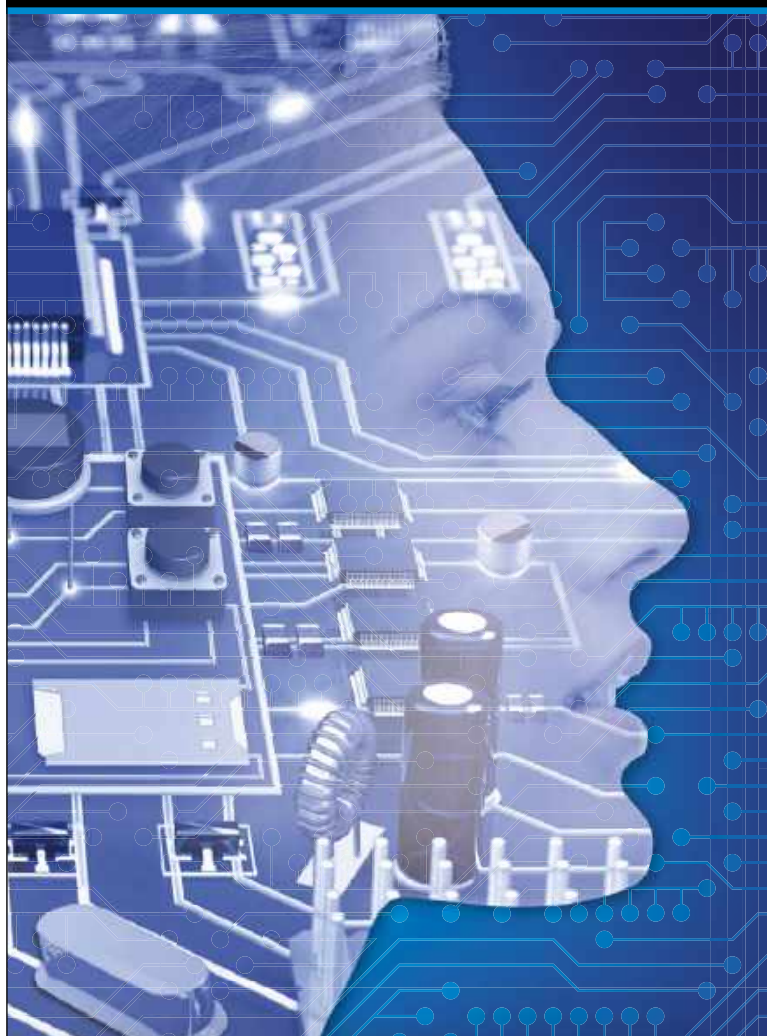
Lomografia to trend, który pojawił się w fotografii w latach 90. XX wieku i polegał na uwiecznieniu napotykanego rzeczywistości za pomocą starych, radzieckich aparatów kompaktowych. Sama nazwa trendu wzięła się od aparatu LOMO. Cóż to może mieć wspólnego z elektronicznymi zabawkami, takimi jak Raspberry Pi? Okazuje się, że nurt DIY ma więcej wspólnego z podejściem znanym z Lomografii, niż można by początkowo sądzić. „Od dawna jestem ewangelistą 'film nie umarł' – a nawet pokazuje swoje prace na portalu lomography.com” pisze o sobie autor projektu. Z drugiej strony sam zauważa, że w tej sferze istnieje miejsce na ujęcia „z biodra” robione aparatami DIY. Dlatego też zaproponował prosty aparat cyfrowy własnej roboty, który pozbawiony jest wszystkich zbędnych w lomografii gadżetów, które często tylko odwracają uwagę od zwykłego robienia sztuki. „Wystarczy nacisnąć przycisk, zrobić zdjęcie – być może przekręcić pokrętkę, ale nic więcej”, podsumowuje założenia. Najlepsza obudowa dla takiego układu to klasyczny LOMO LC-A.

Projekt jest w pełni amatorski. Autor sam przyznaje, że ma niemalże zerowe doświadczenie w zakresie projektowania 3D i jeden udany projekt RPi na koncie. Wszystkie posiadane umiejętności pochodzą z książek i tutoriali. Mimo to udało mu się skonstruować LOMOPI – kompaktowy aparat cyfrowy oparty na Raspberry Pi, który zamknięto w obudowie klasycznego LOMO LC-A. Projekt nie jest jeszcze w pełni zakończony, gdyż autor nadal poszukuje pewnych elementów, pozwalających jeszcze bardziej upodobnić obsługę LOMOPI do klasycznego radzieckiego kompaktu.

<https://bit.ly/2Kp6Obs>



RUTRONIK
ELECTRONICS WORLDWIDE



ELEMENTY HIGH-TECH do Twoich innowacji

Jako jeden z wiodących dystrybutorów elementów elektronicznych, oferujemy na całym świecie szeroki wachlarz produktów, kompetentne wsparcie techniczne podczas opracowywania i projektowania produktów, indywidualne rozwiązania logistyczne oraz kompleksowe usługi serwisowe.

- Półprzewodniki
- Elementy elektroniczne bierne
- Elementy elektromechaniczne
- Wyświetlacze i Monitory
- Płyty i Systemy Komputerowe
- Technologie pamięci
- Technologie bezprzewodowe

Informacje o RUTRONIK

+48 (32) 461 2000 | rutronik_pl@rutronik.com

www.rutronik.com



COMMITTED TO EXCELLENCE

Consult | Components | Logistics | Quality



Xmas-box

– sterowany przez Arduino kontroler świątecznych dekoracji



Świąteczne projekty elektroniczne to pewna tradycja. Jednak wraz z postępem w elektronice projekty stają się bardziej funkcjonalne i efektowne. Kiedyś elektrony budowali mrugające światełka do bombek czy ledowe gwiazdy do zwieńczenia choinki. Teraz, dzięki rozwojowi płytek z mikrokontrolerami, takich jak Arduino, można bez problemu zestawić system do kontroli świątecznych dekoracji w całym domu.

Zaprezentowany projekt składa się z kontrolowanych przez Internet lampek choinkowych, które dodatkowo odtwarzają muzykę. Kolendy można wybrać on-line i dorzucić do listy odtwarzania. Muzyka nadawana jest przez moduł kieszonkowego nadajnika FM, który pozwala odtworzyć ją na dowolnym radioodbiorniku w obrębie domu.

Urządzenie Xmas-box ma 8 kanałów (gniazdek zasilających 230 V), które mogą sterować oświetleniem w różnym trybie. Potrafi emulować wskaźnik wysterowania, zapalać światła w różnych sekwencjach lub losowo. Tryby są częściowo synchronizowane z muzyką – podczas odtwarzania kolęd co 10 sekund zmieniany jest tryb zapalania świateł, aby animacje nie były zbyt monotonne.

Autor w swoim systemie umieścił imponującą liczbę elementów oświetlenia. Łącznie na wszystkich gałęziach znajduje się 3300 miniaturowych światełek, trzy reflektory, linijka LED, cztery komplety ledowego oświetlenia drzew (po 40 diod każda) i jeden podświetlany renifer.

Potrzebne elementy

Do budowy urządzenia potrzebne będą następujące moduły:

- Arduino Duemilanove,
- Wave Shield v1.1 dla Arduino od Adafruit,
- moduł ioBridge IO-204 Monitor & Control,
- moduł ioBridge Smart Serial,
- karta SD o pojemności do 1 GB,
- cyfrowy transmitter FM PPA Digital,
- mostek bezprzewodowy Linksys WET11 lub podobny.

Ponadto potrzebne będą:

- rozdzielacz zasilania 230 V, z co najmniej ośmioma wyjściami,
- opornik 10 kΩ,
- tranzystor 2N2222 lub podobny,
- osiem przełączników półprzewodnikowych o odpowiedniej mocy, dobranej do obciążenia,
- obudowa – autor użył w tym celu plastikowej skrzynki na narzędzia (fotografia 1),

- kable, kostki do wykonywania połączeń itp.

Budowa systemu

Autor konstrukcji badał kilka wariantów realizacji tego zadania, ale finalnie zdecydował się na zastosowanie modułu Arduino z nakładką WaveShield oraz modułem ioBridge, który zapewnia komunikację sieciową. Za sterowanie światłami odpowiadają przełączniki półprzewodnikowe (SSR), kluczujące napięcie sieciowe. System jest zamknięty w małej plastikowej obudowie – skrzynce na narzędzia. Został zamontowany na poddaszu – zastosowana obudowa nie jest całkowicie odporna na warunki atmosferyczne. Skrzynka narzędziowa ma trzy poziomy. Na dole znajdują się wszystkie przełączniki i okablowanie 230 V. Na środkowym umieszczone są zasilacze dla Arduino (9 V), ioBridge (5 V) oraz mostek Wi-Fi z jego zasilaniem. Na najwyższym poziomie znajdują się moduły – Arduino, ioBridge i nadajnik FM.

Ogromną zaletą stosowania przełączników elektronicznych zamiast mechanicznych jest to, że nie trzeba dodawać diod, tranzystorów ani rezystorów do sterowania czy zabezpieczania. Ponieważ nie są to mechaniczne zależności, przełączanie jest płynniejsze. Podczas prototypowania przełączniki można zamienić kolorowymi diodami LED z opornikami 1 kΩ. Po uruchomieniu układu można bezpiecznie podłączyć przełączniki.



Fotografia 1. Gotowy układ w obudowie z plastikowej skrzynki na narzędzia

Połączenia są dość proste. Wyjścia cyfrowe z Arduino zostały podłączone do dodatknych pinów sterujących każdego z 8 przełączników elektronicznych. Do wyjść 230 V przełączników podłączone są gniazda sieciowe z rozdzielaczy. Należy pamiętać, aby połączyć ze sobą wszystkie przewody neutralne i uziemienia. Przewody fazowe podłączone są do każdego z ośmiu przełączników, a następnie faza z gniazdka podłączana jest do drugiego terminalu przełącznika. Instalacja została zasilona z systemu dwóch gniazdek – na każdą wtyczkę podłączono po cztery przełączniki, co pozwala na zmniejszenie poboru prądu z gniazdka zasilającego cały system, a także umożliwiło estetyczniejsze poprowadzenie kabli w obudowie.

Finalnie musimy podłączyć wszystkie linie GPIO do sterowania poszczególnymi modułami. Połączenia podzielono na sekcje (w kolejności narzucanej przez konwencję numeracji GPIO Arduino) i rozpisano poniżej:

- Komunikacja
 - D0(RX) → ioBridge TX;
 - D1(TX) → ioBridge RX;
- Moduł Wave Shield
 - D2 → LCS;
 - D3 → CLK;
 - D4 → DI;
 - D5 → LAT;
 - D10 → CCS;
 - wyjście modułu Wave → wejście transmittera FM;
 - D11, D12, D13 → interfejs karty SD;
- Przełączniki świateł
 - D6 → Kanał 1;
 - D7 → Kanał 2;
 - D8 → Kanał 3;
 - A1 (D15) → Kanał 4;
 - A2 (D16) → Kanał 5;
 - A3 (D17) → Kanał 6;
 - A4 (D18) → Kanał 7;
 - A5 (D19) → Kanał 8;
- Transmitter FM
 - D9 → do bazy tranzystora 2N2222 przez opornik 10 kΩ, kolektor

i emiter do przełącznika zasilania na transmitterze;

- Zasilanie
 - GND[0] → masa sterowania przełączników;
 - 5 V → zasilanie transmittera FM;
 - GND[1] → masa transmittera FM;
 - GND[2] → masa płytki ioBridge
- Vu Meter
 - A0 → opornik R7 (1,5 kΩ) na module WAVE do pomiaru wyjściowego poziomu dźwięku.

Oprogramowanie

Szkic dla Arduino IDE można pobrać ze strony projektu na portalu Instructables (link na końcu artykułu). Do zadziałania będą potrzebne trzy zewnętrzne biblioteki, które należy doinstalować w Arduino IDE:

- AF Wave (<https://bit.ly/3fuIksw>);
- Wave (jak wyżej);
- String, dawniej TextString (<https://bit.ly/3lYzI00>).

Szkic programu dostępny jest w materiałach dodatkowych do artykułu. Po pobraniu powyższych bibliotek można załadować go do Arduino IDE, skompilować i załadować do Arduino.

Konfiguracja ioBridge

Konfiguracja ioBridge jest bardzo łatwa. Wszystko, co trzeba zrobić, aby poprawnie komunikować się z systemem, to wysłać poprzez port szeregowy proste komunikaty. Głównie chodzi o numer ścieżki, który będzie do pobrania przez interfejs API w formacie JSON (*LastSerialOutput*).

Oto składnia komunikacji z Xmas-boxem poprzez port szeregowy. Średnik jest elementem komendy i oznacza koniec polecenia.

- Następną ścieżka
 - n;
- Dodaj do kolejki
 - q(1...99);
- Dodaj do kolejki z konkretnym trybem oświetlania
 - q(1...99)m(1...8);
- Zmień tryb oświetlania
 - xxxm(1...7);
- Zapal/zgaś wszystkie światła
 - xxxm8{1/0};
- Zapal/zgaś konkretne kanały świateł
 - xxxm9(1...8){1/0};

Transmitter FM

Początkowo w roli transmittera autor chciał zastosować Belkin TuneCast II, ponieważ znalazł wiele informacji w Internecie, dotyczących integracji go z Arduino. Niestety nie udało się znaleźć takiego urządzenia. Zastosowany inny moduł sprawdza się doskonale. Jedyne modyfikacje modułu, jakie trzeba było wykonać to wylutowanie gniazda mini-jack i podłączenie 2 przewodów wychodzących z wyjścia audio modułu WAVE oraz



Rysunek 1. Aplikacja webowa Xmas-box

wylutowanie gniazda zasilania, aby podłączyć zasilanie bezpośrednio z Arduino.

Nadajnik FM zasilany jest napięciem 5 V wychodzącym z Arduino. Nie jest to najlepszy pomysł, gdyż Arduino może być zasilane również wyższym napięciem, a transmitter potrzebuje 5 V. W tej aplikacji Arduino zasilane jest z zasilacza 5 V, więc nie ma ryzyka przekroczenia napięcia.

Zamiast włącznika należy w układzie włączyć tranzystor 2N2222 z bazą podłączoną do rezystora 10 kΩ, którą steruje wyjście cyfrowe Arduino. Aby włączyć transmitter, należy emulować naciśnięcie przycisku poprzez ustawienie na chwilę stanu wysokiego na tym pinie. Jako antena służy fragment przewodu, dolutowany drugą stroną do masy wejścia zasilania transmittera.

Interfejs webowy

Kolejkowanie utworów realizowane jest w aplikacji internetowej. Do stworzenia interfejsu webowego autor korzysta z Oracle Application Express (APEX), ponieważ jest to jego ulubione narzędzie do szybkiego tworzenia aplikacji internetowych. Ale system może być również zarządzany przez dowolne inne rozwiązanie internetowe wykorzystujące bazę danych (np. Linux z Apache, MySQL i PHP, tak zwany pakiet LAMP). Na **rysunku 1** pokazano panel aplikacji webowej, która steruje omawianym systemem.

Aplikacja przechowuje w bazie 2 główne tabele:

- SONGS – przechowuje nazwę i wykonawcę utworu;
- QUEUE – przechowuje żądania piosenek.

Aplikacja internetowa używa jQuery do pobierania z interfejsu API ioBridge JSON Data Feed w celu określenia aktualnie odtwarzanego utworu. Używając JavaScript, pobierany jest node LastSerialOutput, który przechowuje numer bieżącej ścieżki. Następnie kolejne jQuery wywołuje usługę REST w aplikacji internetowej i wysyła numer ścieżki. Usługa REST zwraca tytuł utworu, wykonawców i nazwisko osoby, która zażądała utworu. Strona docelowo ma być wzbogacona o podgląd na żywo wraz z odtwarzaniem dźwięku, ale autor nadal nad tym pracuje.

Nikodem Czechowski, EP

Źródło: <https://bit.ly/3fwEVcP>



Przedwzmacniacz lampowy do gramofonu

Płyty winylowe, zastąpione już dawno płytami CD, nie zniknęły całkowicie z rynku. W dobie mediów cyfrowych nadal są obecne jako stare, kolekcjonerskie wydania ulubionych artystów, a niekiedy także nowe, aktualne wydania. Do odtworzenia zapisu z płyty winylowej niezbędny jest gramofon, ale aby umożliwić jego współpracę z zestawem audio i wydobyć wszystkie walory ścieżki dźwiękowej, niezbędny jest specjalizowany przedwzmacniacz gramofonowy zaprezentowany poniżej.

Na przestrzeni lat technika odtwarzania dźwięku zapisanego na płycie winylowej przeszła chyba wszystkie możliwe drogi ewolucji, zarówno pod względem mechanicznym, jak i układów elektronicznych. Powszechnie wiadomo, że dźwięk na płycie winylowej jest zapisany w postaci rowka, którego boczne ścianki zostały precyzyjnie odwzorowane w tłoczni z matrycy i ich nierówna powierzchnia przechowuje pierwotnie zapisany sygnał dwóch kanałów. Dźwięk ten jest możliwy do odtworzenia za pomocą igły gramofonowej, której drgania są zamieniane na sygnał elektryczny. Chęć zapisania dwudziestu kilku minut dźwięku wymusiła na autorach standardu opracowanie płyty drobnorówkowej. To z kolei wymagało specjalnego rodzaju

zapisu według krzywej RIAA. Nie wdając się w szczegóły, zapis taki polega na obniżeniu poziomu niskich częstotliwości i podwyższeniu poziomu zapisu dla częstotliwości wysokich. Tematyka krzywych RIAA jest szeroko omawiana w literaturze i internecie. Temat mechaniki i geometrii ramienia jest również ciekawy i zachęca się do zgłębienia przynajmniej podstawowych wiadomości na ten temat z innych źródeł.

Igła gramofonowa jest umieszczona we wkładce gramofonowej, która jest przetworzoną drgań igły na sygnał elektryczny. Istnieją trzy podstawowe rodzaje wkładek gramofonowych:

- **Wkładka piezoelektryczna** – występująca we wczesnych modelach

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

W ofercie AVT* AVT-5827

Podstawowe parametry:

- przeznaczony do wkładek typu MM, których sygnał wyjściowy ma napięcie ok. 4.5 mV,
- stopnie lampowe pracują w układzie wspólnej katody z lampami 6N2P-EW,
- blok korekcji RIAA w pętli sprzężenia zwrotnego,
- wejścia i wyjścia wyprowadzone na gniazda DIN5,
- wymaga zasilacza o napięciu 12 VDC i wydajności 2 A.

Projekty pokrewne na www.media.avt.pl:

- Automatyczny wyciszacz dźwięku po zaniku zasilania (EP 9/2020)
- Wzmacniacz lampowy z regulacją barwy dźwięku (EP 5/2020)
- AVT-5727 Hybrydowy wzmacniacz słuchawkowy na lampie Nutube 6P1 (EP 11/2019)

Uwagi! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu.

Wymagana umiejętność lutowania!

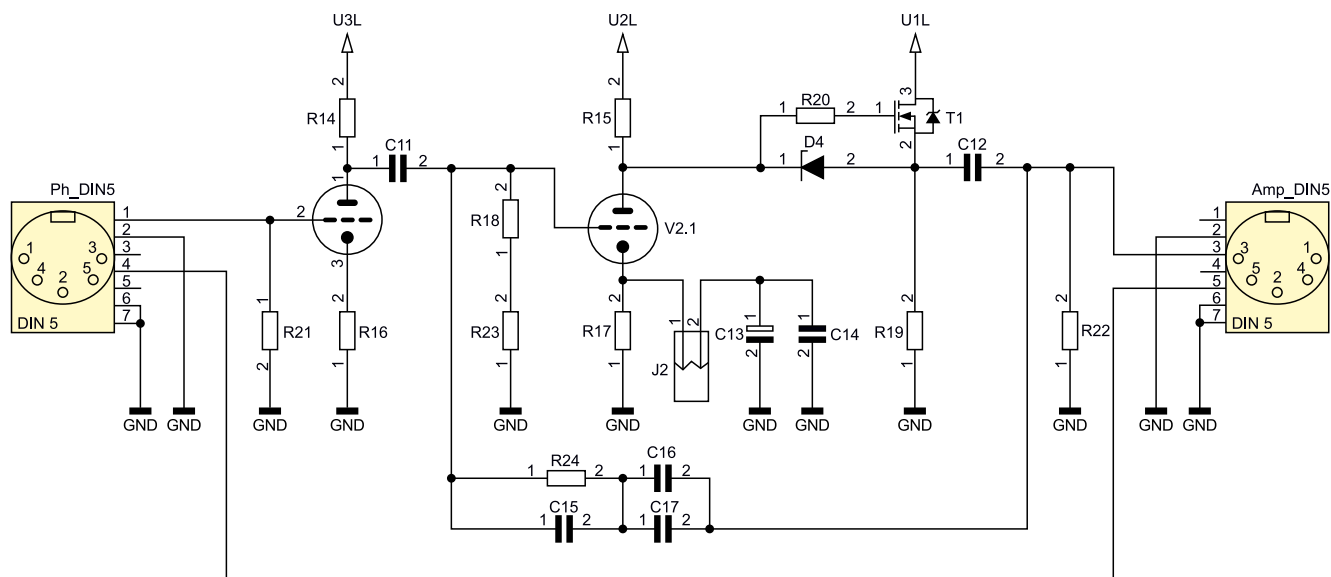
Podstawową wersją zestawu jest wersja [B] nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji [B] zawiera elementy elektroniczne (w tym [UK] – jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wlutować w dołączoną płytkę drukowaną (PCB). Wykaz elementów znajduje się w dokumentacji, która jest podlinkowana w opisie kitu.

Mając na uwadze różne potrzeby naszych klientów, oferujemy dodatkowe wersje:

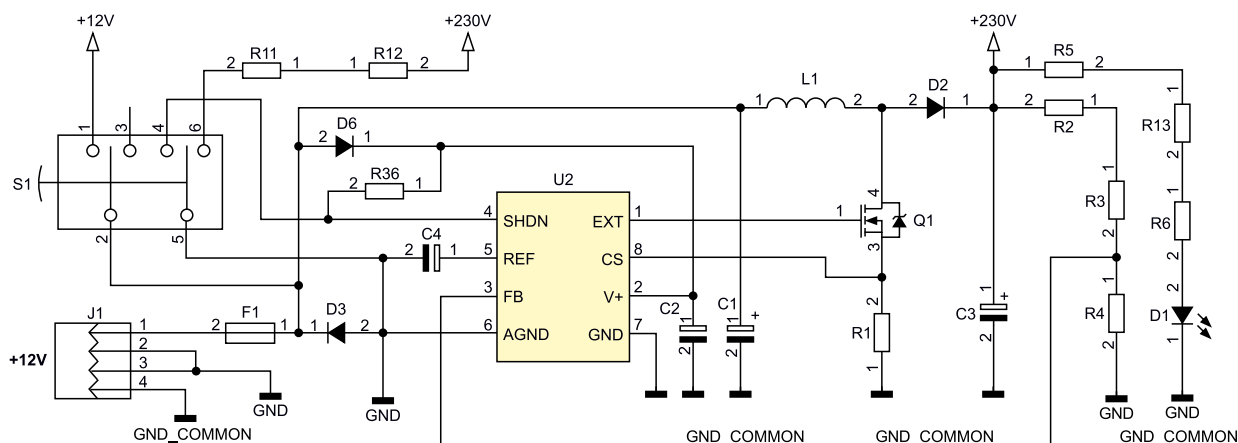
- wersja [C] – zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw [B] (elementy wlutowane w płytkę PCB)
- wersja [A] – płytkę drukowaną bez elementów i dokumentacji Kity w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
 - wersja [A*] – płytkę drukowaną [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
 - wersja [UK] – zaprogramowany układ

Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz!

<http://sklep.avt.pl>. W przypadku braku dostępności na <http://sklep.avt.pl>, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.



Rysunek 1. Schemat jednego toru sygnałowego przedwzmacniacza



Rysunek 2. Schemat bloku zasilania z przetwornicą podwyższającą napięcie

gramofonów klasy popularnej, ale trafia się również w obecnie sprzedawanych gramofonach;

- **Wkładka typu MM (Moving Magnet)** – najpopularniejszy rodzaj wkładki, zawiera element magnetyczny drgający w pobliżu cewki;
- **Wkładka typu MC (Moving Coil)** – elementem drgającym jest cewka. Wkładka stosowana jest w sprzęcie najwyższej klasy, wymaga specjalnego przedwzmacniacza o dużym wzmacnieniu, gdyż sama oferuje sygnał o poziomie napięcia zaledwie 0,2...0,5 mV.

Prezentowany przedwzmacniacz przeznaczony jest do używania z wkładką typu MM, której sygnał wyjściowy ma napięcie ok. 4...5 mV. Przez dziesięciolecia opracowano wiele układów elektronicznych wzmacniających sygnał z wkładki gramofonowej. Początkowo były to układy zawierające lampy elektronowe, później tranzystory, a obecnie wykorzystywane są wzmacniacze operacyjne o doskonałych parametrach. Jednak widok gramofonu z obecnym obok przedwzmacniaczem lampowym jest niepowtarzalny, dlatego autor projektu

zdecydował się na zastosowanie lamp w swojej konstrukcji.

Budowa i działanie

Lampowe układy przedwzmacniaczy gramofonowych można podzielić na dwa główne typy. Pierwszy z nich ma układ korekcji częstotliwościowej RIAA umieszczony pomiędzy stopniami wzmacniającymi. Drugi typ ma blok korekcji RIAA w pętli sprzężenia zwrotnego. Ponieważ autor konstrukcji budował już wzmacniacz lampowy audio bez pętli sprzężenia zwrotnego, ciekawość skłoniła go do wyboru układu, który pętlę sprzężenia zawiera.

Popularny i chwalony w sieci jest układ przedwzmacniacza EAR834p. Jest to rozwiązanie, którym inspirował się autor, ale zastosował kilka własnych modyfikacji. Schemat układu pokazano na **rysunku 1**. Na schemacie widoczny jest jeden kanał wzmacniacza, którego wejścia i wyjścia zostały wyprowadzone na gniazda DIN5. Dwa stopnie lampowe pracują w układzie wspólnej katody. Pierwszy stopień wzmacniacza, który zawiera połówkę lampy V1 (6N2P-EW), wzmacnia sygnał wejściowy i jednocześnie

zapewnia właściwe obciążenie wkładki gramofonowej. Wkładka wymaga obciążenia o rezystancji 47 kΩ, lecz dopuszcza się niewielkie zmiany tej wartości, ponieważ można w ten sposób ukształtować dźwięk wedle własnych oczekiwań. W układzie zastosowano rezystor niskoszumowy 47,5 kΩ. Stopień wejściowy pracuje z małymi sygnałami, wzmacnienie nie powinno być zbyt wysokie, ponieważ spowoduje uwypuklenie szumu lampy oraz szumu rezystorów.

REKLAMA

Z tego powodu rezystor katodowy R16 nie jest bocznikowany kondensatorem, a powstałe lokalnie sprzężenie zwrotne dla sygnałów zmiennych obniżyło wzmacnienie i poszerzyło pasmo. Pomiar napięć w układzie dał wartości dla tego stopnia $U_{3L}=195$ V, $U_a=111$ V, $U_k=1,06$ V. Pomiar napięć drugiego kanału wygląda podobnie.

Drugi stopień wzmacniający zawiera półówkę lampy V2 (6N2P-EW). Na wejściu obecne są rezystory o łącznej rezystancji 2 M Ω , które dołączają siatkę lampy V2 do masy. Ten stopień przedwzmacniacza daje możliwość dodania równolegle do rezystora R17 kondensatorów C13 i C14, które zwierając składową zmienną do masy, wyłączają jej sprzężenie zwrotne powodowane rezystorem R17 i w efekcie wzmacnienie stopnia wzrośnie. Autor ma wkładkę typu AT VM520EB i kondensatory nie są włączone do obwodu.

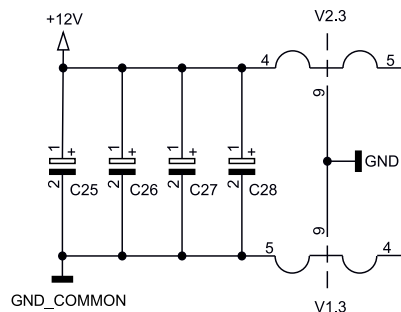
Wartości rezystorów anodowych w zaprezentowanym układzie odbiegają wartościami od rezystorów z układu EAR834p (174 k Ω vs. 330 k Ω). Podczas próbnych odsłuchów zauważono, że wzmacnienie układu jest zbyt wysokie (dla używanej wkładki) i autor subiektywnie odczuwał je jako zbyt krzykliwe. Po zastosowaniu wartości 174 k Ω dźwięk uspokoił się. Wydaje się, że w zależności od zastosowanych lamp, napięć zasilających i użytej wkładki, należy indywidualnie dobrać elementy ustalające punkty pracy lamp

zgodnie z własnymi upodobaniami. Wartości rezystorów katodowych i anodowych nie są krytyczne i można próbować różnych konfiguracji. Jednak należy pamiętać, aby lampa pracowała z niewielkimi wartościami prądów. Ma to wpływ na generowane w niej szumy śrutowe.

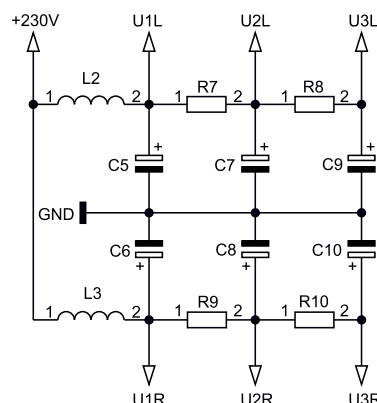
Omawiany stopień wzmacniający jest objęty sprzężeniem zwrotnym, w którym sygnał pobierany jest z wyjścia i poprzez elementy R24, C15, C16+C17 kształtowane jest wzmacnienie stopnia zgodnie z charakterystyką RIAA. W porównaniu do układów z bierną korekcją, przesunięcia fazowe sygnału są w takim rozwiązaniu mniejsze. Po uruchomieniu, napięcia panujące w układzie lampy V2 wynoszą: $U_{2L}=218$ V, $U_a=121$ V, $U_k=1,22$ V.

Wzmocniony sygnał z lampy V2 nie może być bezpośrednio podany na wyjście wzmacniacza, ponieważ impedancja wyjściowa układu jest zbyt wysoka. W rozwiązaniach klasycznych stosuje się kolejną triodę pracującą w układzie wtórnika katodowego. Kolejna lampa, która już nie ma wpływu na barwę dźwięku, może być zastąpiona wtórnikiem źródłowym bez szkody dla dźwięku. Dlatego na wyjściu wzmacniacza zastosowano tranzystor MOSFET oznaczony T1. Płynie przez niego niewielki prąd, więc można zastosować element w obudowie SMD i schować go pod płytką drukowaną. Dioda Zenera D4 zabezpiecza bramkę T1 przed zbyt wysokim napięciem, które pojawia się na chwilę po uruchomieniu, zanim nie wzrośnie prąd anodowy lampy V2.

Przedwzmacniacz wymaga prądu o natężeniu ok. 350 mA do zasilania obwodu



Rysunek 3. Schemat szeregowego połączenia obwodów żarzenia lamp



Rysunek 4. Schemat układu filtracji napięcia anodowego

żarzenia lamp oraz kilku miliamperów prądu anodowego o napięciu 230 V. Zamiarem autora była budowa przedwzmacniacza o niewielkich gabarytach, który będzie dodatkiem do gramofonu, a nie odwrotnie. Cel osiągnięto dzięki zasilaniu przedwzmacniacza z zewnętrznego zasilacza o napięciu 12 VDC i wydajności 2 A. W bloku zasilania znajduje się przetwornica

Wykaz elementów:

Rezystory:

R1: 0,22 Ω SMD1206
R2, R3: 750 k Ω SMD0805
R4, R7, R9: 10 k Ω SMD0805
R5, R6: 68 k Ω
R8, R10, R21, R31: 47,5 k Ω
R11, R12, R13: 68 k Ω
R14, R15, R25, R26: 174 k Ω
R16, R17, R27, R28: 2,2 k Ω
R18, R23, R33, R35: 1 M Ω
R19, R29: 100 k Ω
R20, R30: 100 Ω
R22, R32: 330 k Ω
R24, R34: 750 k Ω
R36: 470 k Ω SMD0805

Kondensatory:

C1: 100 μ F/25 V
C2: 1 μ F MKT
C3, C5, C6, C7, C8, C9, C10: 10 μ F/250 V
C4: 100 nF SMD_0805
C11, C18: 150 nF
C12, C19: 2,2 μ F
C13, C20: 100 μ F
C14, C21: 100 nF
C15, C17, C22, C24: 100 pF
C16, C23: 330 pF
C25: 6,8 μ F/35 V tantalowy
C26, C27, C28: 470 μ F/16 V

Półprzewodniki:

D1: LED 5 mm
D2: US1J
D3: 1N4007
D4, D5: dioda Zenera 12 V
D6: 1N4148 SMD0805
T1, T2: 2SK2865 T0252
U2: MAX1771CSA
Q1: IPD60R600 T0252

Pozostałe:

F1: 1,0 A
L1: 330 μ H 1,2 A DE1207
L2, L3: 47 mH 200R 7,5 mA 7159-473J
S1: przełącznik 7201MD9ABE
V1, VL: 6N2P-P Noval 9
Obudowa: Monacor AH-62/SW
Amp_DIN5: złącza DIN5



Fotografia 1. Przedwzmacniacz w obudowie

StepUp (**rysunek 2**), która dostarcza napięcia anodowego, a obwody żarzenia lamp połączono w szereg (**rysunek 3**). Na wejściu układu zasilającego umieszczono bezpiecznik oraz diodę D3. Elementy te zabezpieczają układ przetwornicy przed odwrotnym podłączeniem zasilania. Przetwornicę podwyższającą zrealizowano na układzie MAX1771, z częstotliwością pracy ustawioną na ok. 300 kHz, ponieważ nie ma wpływu na sygnał z wkładki gramofonowej. Jest to klasyczny układ przetwornicy StepUp z kontrolą prądu tranzystora Q1. Rezystor R1 o rezystancji 220 mΩ ogranicza wartość przełączanego prądu do kilkudziesięciu miliamperów. Z uwagi na niewielki pobierany prąd spodziewana jest duża wartość indukcyjności dławika L1. W dokumentacji układu MAX1771 producent zamieścił uproszczony wzór, według którego można dobrać parametry dławika. Obliczona indukcyjność wyniosła ok. 470 μH , lecz w czasie prób praca układu była niepewna, a napięcie za niskie. Układ uruchomiono z dławikiem 330 μH , 1,2 A – z którym pracuje stabilnie. Producent układu MAX1771 informuje w dokumentacji, że zalecana indukcyjność dławika powinna zawierać się w przedziale 10...300 μH i to się potwierdziło. Wartość napięcia wyjściowego ustalana jest dzielnikiem napięcia R2+R3, R4, a wartość elementów dobiera się ze wzoru zamieszczonego w dokumentacji MAX1771. Uzyskane napięcie 230 V jest dodatkowo filtrowane na układzie z **rysunku 4**.

Oddzielnego omówienia wymaga wyłącznik dźwigniowy S1. W stanie wyłączenia napięcie +12 V podawane jest przez diodę D6 na zasilanie układu MAX1771. Układ przetwornicy jednak nie startuje, ponieważ wejście SHDN jest w stanie wysokim. Napięcie +12 V dociera, poprzez dławik L1 i diodę D2, do diody LED, która świecą słabym światłem, sygnalizuje stan StandBy. Po załączeniu zasilania styki przełącznika 1–2 doprowadzają napięcie do obwodu żarzenia lamp, a styki 4–5 zwierają wyprowadzenie SHDN do masy – to powoduje start przetwornicy i mocniejsze świecenie diody LED D1. Po wyłączeniu wzmacniacza rezystory R11 i R12 podłączają napięcie anodowe do masy, dzięki czemu następuje rozładowanie kondensatorów. Obecność wysokiego napięcia na anodach lamp w czasie, gdy żarnik jest zimny, jest szkodliwe dla lampy.

Montaż i uruchomienie

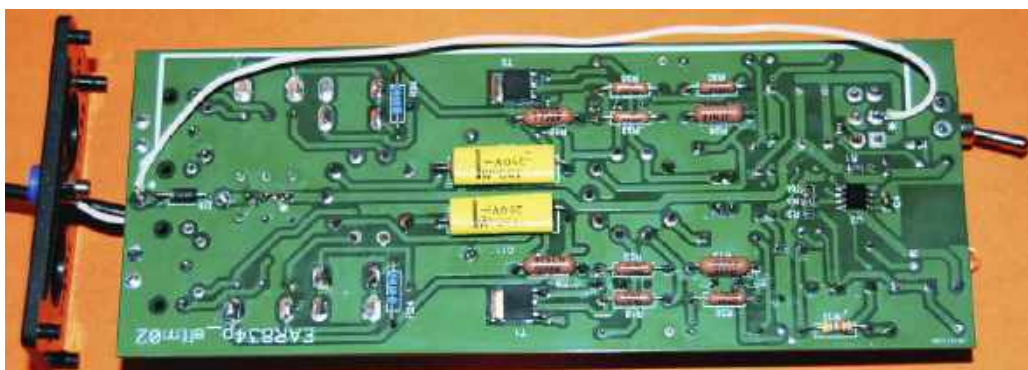
Założono, że przedwzmacniacz będzie niewielkim, nierzucającym się w oczy urządzeniem, dlatego układ umieszczono w małej, podłużnej, aluminiowej obudowie, jednocześnie zapewniającej ekranowanie przed zewnętrznymi zakłóceniami. Na przedniej ścianie umieszczono wyłącznik S1 i diodę LED (**fotografia 1**) sygnalizującą stan pracy. Tył obudowy to dwa gniazda DIN5 oraz gniazdo uziemienia (**fotografia 2**). Niestety nie udało się zmieścić gniazda zasilającego i jest ono zamontowane na przewodzie. Gniazda DIN5 wydają się przestarzałe, ale to naprawdę solidne gniazda o bardzo kompaktowych rozmiarach. Ich opinię zepsuły słabej jakości wtyczki DIN5 wykonane z kiepskiego i nieestetycznego plastiku.



Fotografia 2. Widok tylnej ścianki obudowy przedwzmacniacza



Fotografia 3. Widok zmontowanej płytki od strony TOP



Fotografia 4. Widok zmontowanej płytki od strony BOTTOM

Stosując pierwszą z brzegu markową wtyczkę DIN5, np. NEUTRIK REAN NYS322G, ponownie polubimy ten rodzaj złącza.

Kompletny schemat przedwzmacniacza został pokazany na **rysunku 5**, natomiast **rysunek 6** pokazuje schemat płytki PCB. Elementy układu rozmieszczono na dwustronnej płycie drukowanej. Miejsca na spodzie płytki oznaczone gwiazdkami wymagają oddzielnego połączenia przewodem.

Rezystory w obwodach sygnałowych lamp powinny być niskoszumowe. Elementy korekcji RIAA powinny być dobrej jakości i dobrane tak, aby na obu kanałach ich wartości były identyczne.

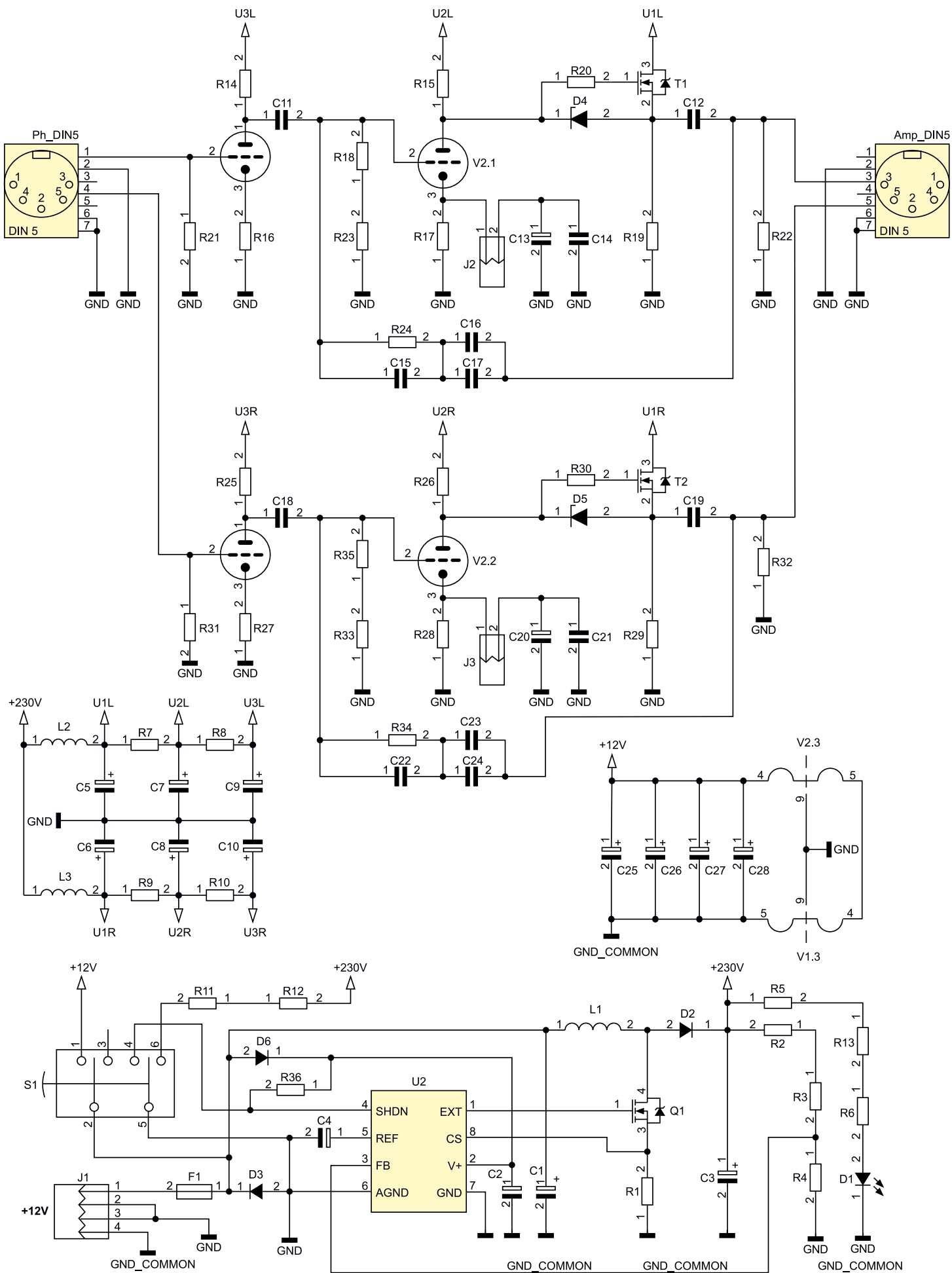
REKLAMA

Kameleon

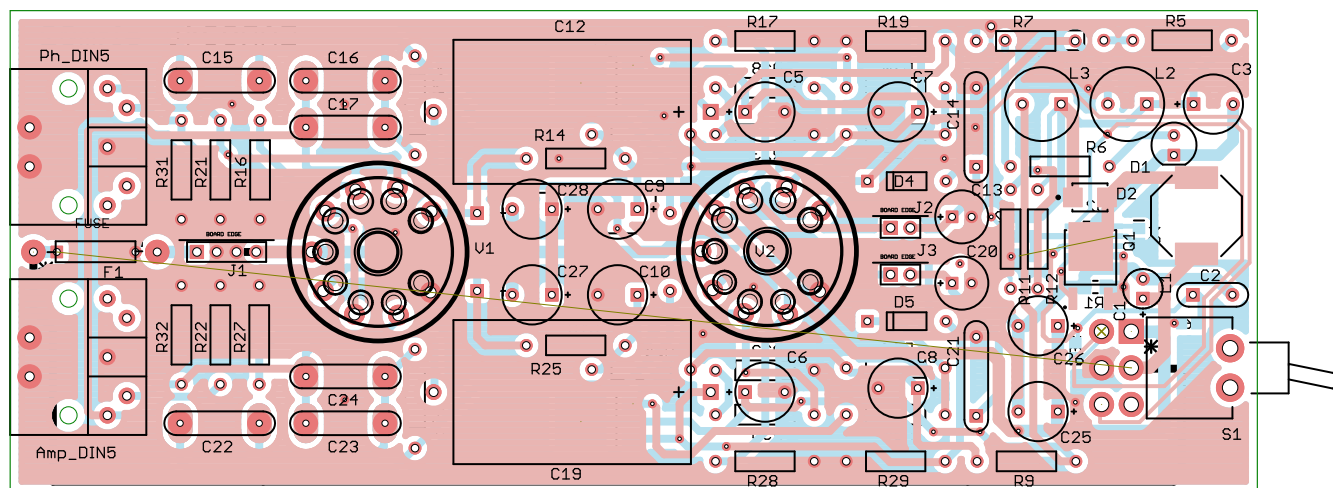
STM32L4 Board

Kompletna platforma do nauki programowania

www.kameleonboard.org STM32



Rysunek 5. Kompletny schemat przedwzmacniacza



Rysunek 6. Schemat płytki PCB

Kondensatory C16 i C23 o pojemności 330 pF mogą być zastąpione pomierzoną parą 220 pF i 100 pF – w ten sposób łatwiej uzyskać wymaganą pojemność równą dokładnie 330 pF. W obwodzie sprzężenia zwrotnego kształtującego charakterystykę RIAA zastosowano kondensatory silver-mica. W pozostałych miejscach zastosowano kondensatory MKSE (150 nF) i MKC (2,2 μ F). Zmontowana płytką została pokazana na fotografii 3 i 4.

Układ nie wymaga uruchamiania po zmontowaniu. Warto jednak sprawdzić, czy napięcia żarzenia na lampach są jednakowe (2x6 V) oraz czy napięcia w gałęziach zasilających anody lamp są zbliżone do wspomnianych wcześniej wartości. Na obu kanałach powinny być podobne napięcia w tych samych punktach układu. We wzmacniaczu zastosowano lampy typu 6N2P-EW, które są wprowadzone odpowiednikami lamp ECC83, lecz mają inaczej rozmieszczone

wyprowadzenia żarzenia. Płytkę PCB może zasiląć wyłącznie lampy 6N2P.

Uruchomiony układ nie był poddawany pomiarom. W subiektywnym odczuciu działa poprawnie, a przy braku obecności sygnału (igła w górę) można wzmacniacz ustawić na maksymalną głośność i z głośników wydobydzie się co najwyżej cichy szum lampy.

Paweł Gotębiwski
info@eltik.pl

KONKURS

Wygraj zestaw deweloperski Microchip SAM IoT WG Development Board

Firma Microchip organizuje konkurs dla czytelników „Elektroniki Praktycznej”, w ramach którego można wygrać płytkę deweloperską SAM-IoT WG Development Board. Bazuje ona na mikrokontrolerze SAMD21G18, wyposażonym w 32-bitowy rdzeń Cortex-M0+. Ponadto zawiera układ scalony ATECC608A CryptoAuthentication, odpowiadający za realizację funkcji bezpieczeństwa. Warto też wspomnieć o w pełni certyfikowanym kontrolerze sieci Wi-Fi – ATWINC1510. Na płytce znajdują się również dwa czujniki: światła (model TMT6000) i precyzyjny czujnik temperatury (model MCP9808). Dzięki tym podzespołom płytka umożliwia błyskawiczne i łatwe połączenie tworzonej aplikacji z platformą Google Cloud IoT Core.

Wbudowany debugger pozwala na programowanie i debugowanie mikrokontrolera, bez potrzeby stosowania jakiegokolwiek dodatkowego sprzętu. Złącze mikroBUS pozwala na wykorzystanie dowolnych płytek MikroElektronika Click. Z tych względów świetnie nadaje się do prototypowania rozwiązań IoT. Dostarczany na płytce mikrokontroler jest wstępnie zaprogramowany, by móc szybko podłączyć się do platformy Google Cloud. Własny kod programu można łatwo przygotowywać z użyciem bezpłatnych bibliotek i programu MPLAB Harmony v3. Płytkę jest obsługiwana przez pakiet MPLAB X IDE.

Aby wziąć udział w konkursie, wystarczy zarejestrować się na stronie <https://bit.ly/395YV4V>. Wszyscy uczestnicy konkursu otrzymają również 20-procentowy bon zniżkowy firmy Microchip, uprawniający zarazem do bezpłatnej wysyłki produktu.



Zegar na rękę

Wśród zegarków na rękę mamy ogromny wybór modeli – od mechanicznych werków z „duszą” nakręcanych ręcznie lub automatycznie, poprzez precyzyjne rozwiązania kwarcowe z serwomechanizmami lub wyświetlaczami LCD, aż po smartwatche, które dodatkowo wyświetlają powiadomienia i monitorują puls. Dla osób, które preferują niestandardowe rozwiązania i zamiast dostępnych na rynku, gotowych produktów wolą własne konstrukcje, prezentujemy właśnie ten projekt.



Prezentowany czasomierz jest zegarkiem kwarcowym wyposażonym w wyświetlacz e-ink, który symuluje pracę wskazówek. Ten typ matrycy charakteryzuje się bardzo małym zapotrzebowaniem energetycznym – pobiera energię wyłącznie podczas odświeżania obrazu, dzięki czemu doskonale nadaje się do urządzeń zasilanych bateryjnie. Ponadto wyświetlany obraz jest dobrze widoczny, nawet przy intensywnym oświetleniu. Zegar dysponuje czujnikami pozwalającymi na pomiar warunków atmosferycznych, magnetometrem oraz chronografem. Jego funkcje i właściwości są następujące:

- zasilanie akumulatorem Li-Po o pojemności 85 mAh,
- ładowanie poprzez złącze microUSB,
- czas pracy na jednym ładowaniu ok. 10 dni,
- pobór prądu w stanie spoczynku ok. 100 µA,
- monochromatyczny wyświetlacz e-ink 1,54" 200×200,
- pomiar ciśnienia atmosferycznego (barometr),
- pomiar wilgotności względnej powietrza,
- pomiar temperatury,
- altimetr (pomiar wysokości),
- kompas,
- datownik,
- chronograf o rozdzielczości 0,1 s,
- skala tachometryczna,
- możliwość zmiany layoutu,
- możliwość odwrócenia kolorów (negatyw),
- wymiary: średnica 44 mm, grubość 12 mm (bez nakrętek), szerokość paska 24 mm.

Budowa i działanie

Schemat ideowy został pokazany na rysunku 1. Możemy na nim wyróżnić kilka funkcjonalnych bloków: czujniki, interfejs wyświetlacza z przetwornicą napięcia, mikrokontroler z klawiaturą sterującą oraz blok zasilania z obwodem ładowania akumulatora.

Układ U1 to czujnik firmy Bosch typu BME280, który odpowiada za pomiar ciśnienia, temperatury i wilgotności. W tej aplikacji został skonfigurowany do komunikacji poprzez interfejs I²C. Obok niego znajduje się układ U6, czyli magnetometr typu QMC5883L, odpowiadający za działanie kompasu. Oba czujniki komunikują się z mikrokontrolerem za pomocą wspólnej szyny I²C.

Tranzystor Q1 wraz z diodami D1, D2, D3 oraz cewką L1 stanowią serce przetwornicy step-up zasilającej wyświetlacz e-ink. Pracą przetwornicy, poprzez wyprowadzenie GDR, steruje układ logiczny znajdujący się w wyświetlaczu. Przetwornica uzyskuje na wyjściu, pomiędzy punktami PREVGL oraz PREVGH, napięcie o wartości aż 50 V. Standardowo, przetwornica znajduje się w module podstawki pod matrycę, jednak ze względu na rozmiary zegarka zdecydowaliśmy się zaimplementować ją na płytce. Złącze J1 to standardowe złącze typu PFC24, które służy do podłączenia taśmy wyświetlacza. Komunikacja z mikrokontrolerem odbywa się poprzez interfejs SPI.

Elementy R6 oraz R7 stanowią dzielnik rezystancyjny do pomiaru napięcia akumulatora, na potrzeby funkcji wskaźnika baterii. Kondensator C21 pełni funkcję filtra,

dzięki któremu wspomniane rezystory mogą mieć dużą rezystancję. Złącze USB, oznaczone jako J2, prowadzi do układu U4 – scalonego kontrolera ładowania z funkcją CC/CV przeznaczonego dla pojedynczego ogniwa Li-Ion/Li-Po. Rezystor R11 ustawia prąd ładowania na wartość 55 mA, dioda LED D5 sygnalizuje ładowanie, a dioda LED D4 jego zakończenie.

Stabilnego zasilania dla mikrokontrolera dostarcza stabilizator liniowy typu TC1185-3.3. Jest to układ z funkcją ultra-low dropout,

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

W ofercie AVT* AVT-----

Podstawowe parametry:

- monochromatyczny wyświetlacz e-ink 1,54" 200×200,
- wskazywanie czasu i daty,
- pomiar ciśnienia, wilgotności, temperatury, wysokości,
- kompas, datownik, chronograf,
- czas pracy na jednym ładowaniu ok. 10 dni.

Projekty pokrewne na www.media.avt.pl:

- AVT-5735 µClock (EP 9/2020)
- AVT-5735 Estetyczny zegar (EP 1/2020)
- AVT-5677 Zegar ClockRDS (EP 6/2019)
- AVT-5640 Rozbudowany zegar (EP 7/2018)

* Uwaga! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu.

Wymagana umiejętność lutowania!

Podstawowy zestaw 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:

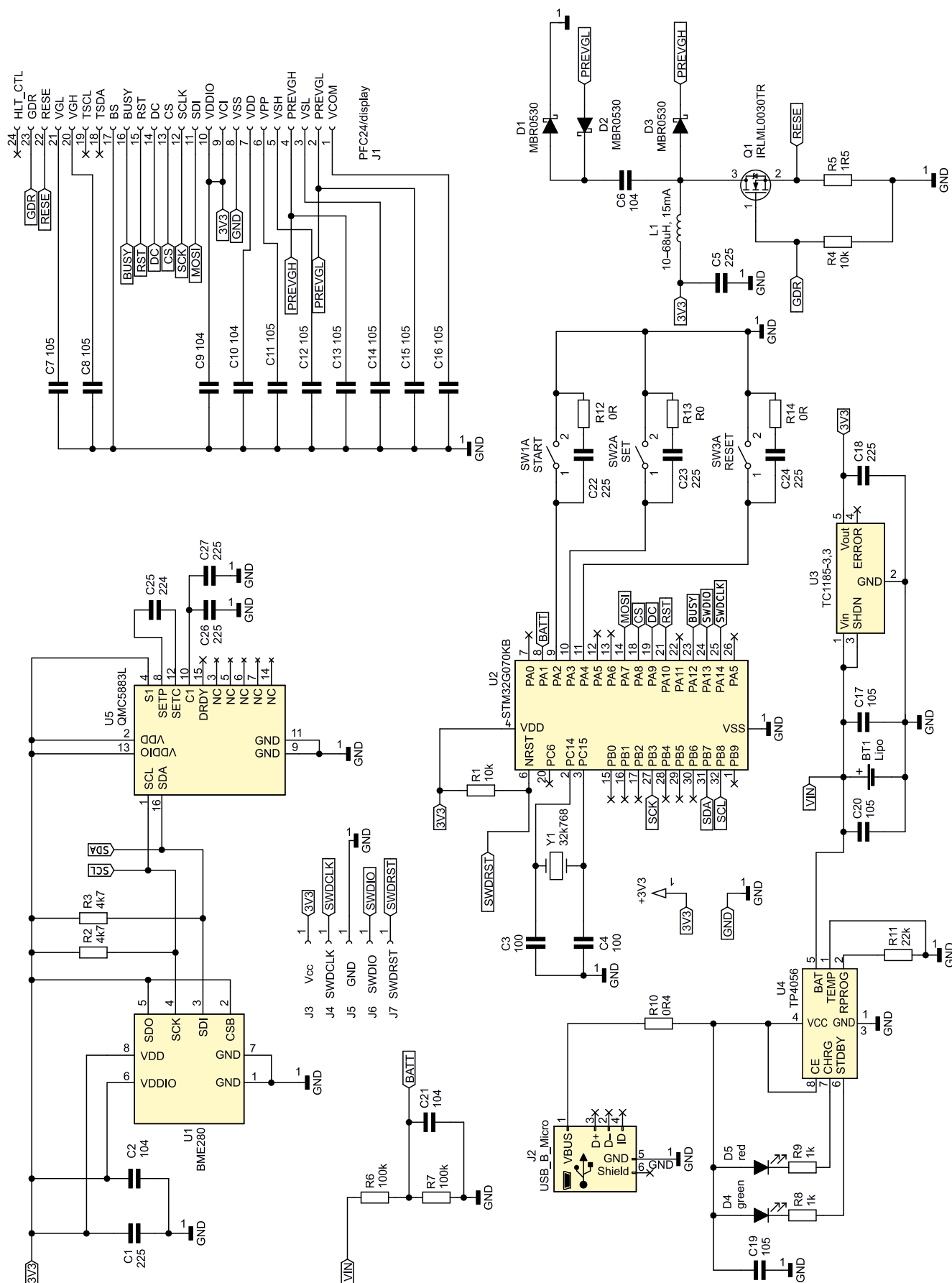
- wersja [C] – zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw [B] (elementy wlutowane w płytkę PCB)
- wersja [A] – płytkę drukowaną bez elementów i dokumentacji
- wersja [A*] – płytkę drukowaną [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
- wersja [UK] – zaprogramowany układ

Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz! <http://sklep.avt.pl>. W przypadku braku dostępności na <http://sklep.avt.pl>, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.

dzięki czemu spadek napięcia na nim, w tej aplikacji, wynosi poniżej 100 mV. W stanie uśpienia pobiera niewielki prąd o wartości ok. 60 μA .

Za sterowanie pracą całego zegara odpowiada układ U2. Jest to mikrokontroler STM32G700K z rdzeniem Cortex M0+, który w stanie spoczynku pobiera prąd o wartości

ok. 3 μA , podtrzymując działanie generatora zegarowego i zawartość pamięci RAM. Co 26 sekund rdzeń jest wybudzany przez wewnętrzną od zegara czasu



Rysunek 1. Schemat elektryczny urządzenia

Wykaz elementów:

Rezystory:

R1, R4: 10 kΩ SMD0603
R2, R3: 4,7 kΩ SMD0603
R5: 1,5 Ω SMD0603
R6, R7: 100 kΩ SMD0603
R8, R9: 1 kΩ SMD0603
R10: 0,4 Ω SMD0603
R11: 15 kΩ SMD0603
R12, R13, R14: 0 Ω SMD0603

Kondensatory:

C1, C2, C6, C9, C22...C24: 100 nF SMD0603
C3, C4: 10 pF SMD0603
C5, C26, C27: 2,2 μF SMD0603
C7...C20: 1 μF SMD0603
C25: 220 nF SMD0603

Półprzewodniki:

D1, D2, D3: MBR0530
D4: dioda LED green SMD603
D5: dioda LED red SMD0603
Q1: IRLML0030TR
U1: BME280 (LGA8)
U2: STM32G070KBT (LQFP32)
U3: TC1185-3.3 (SOT23)
U4: TP4056 (HSOP-8)
U5: QMC5883L (LGA16)
EPD display 1,54" 200×200 wersja V2

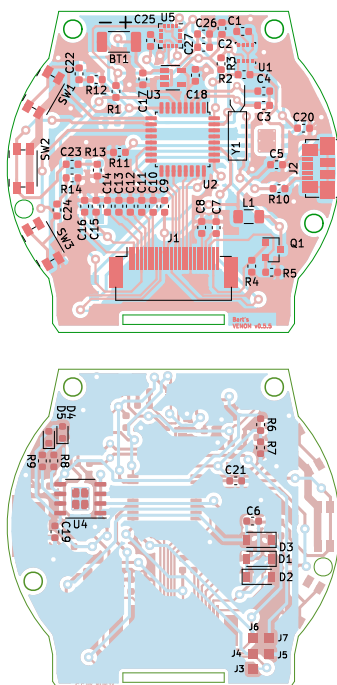
Pozostałe:

L1: 10 μH SMD1206
Y1: rezonator 32,768 Hz
J1: PFC 24 pin
J2: USB B micro
Akumulator Li-Po 85 mAh 25×15×3
SW1A, SW2A, SW3A: mikroswitch

rzeczywistego (RTC) i odświeża wtedy treść wyświetlacza, wskazując aktualną godzinę, odczyty z czujników i stan baterii, po czym znów przechodzi do stanu uśpienia.

Montaż i uruchomienie

Cała konstrukcja składa się z trzech płytek PCB, z czego górna i dolna pełnią funkcję maskownic otwartej obudowy (**fotografia 1**), a centralna płytka, pokazana na **rysunku 2**, pełni funkcję płyty głównej urządzenia. Montaż urządzenia jest typowy ale wymaga precyzji, ponieważ wszystkie kondensatory i rezystory są w małych obudowach



Rysunek 2. Schemat płytki PCB

SMD0603. Jedynym przewlekany element na płytce jest kwarc zegarkowy.

Prace montażowe należy rozpocząć od zmontowania strony frontowej – z mikrokontrolerem, stronę tylną należy zmontować w kolejnym etapie. Największą trudność mogą sprawić komponenty w obudowach LGA – czujnik BME280 oraz magnetometr QMC5883L. Przylutowanie tych komponentów wymaga użycia kolby hot-air. Odpowiednie ustawienie mikrokontrolera i kontrolera ładowania na PCB można rozpoznać po przedłużonej linii pierwszego wyprowadzenia (U4 jest odwrócony). W przypadku magnetometru U5 pierwsza nóżka znajduje się w prawym górnym rogu, zaś BME280 (U1) montujemy otworem z lewej strony.

Szczególną uwagę należy poświęcić złączu microUSB. Pomocne będzie wstępne pocięcie padów i użycie lutownicy hot-air. Złącze PFC24 jest dość delikatne. Montaż należy wykonać za pomocą lutownicy kolbowej, żeby nie nadtopić zatrzasku. W niektórych kątowych przyciskach występują kołki mocujące – należy się ich pozbyć przed montażem, gdyż płytka jest pozbawiona otworów w tych miejscach. Polecam też zwrócić uwagę na poprawną polaryzację diod D1, D2 oraz D3 – nie są one ustawione w tym samym kierunku. Kwarc lutujemy z małym zapasem długości nóżek – lepiej jest go umieścić tuż przy krawędzi płytki, żeby nie było później problemu z umieszczeniem akumulatora w dolnej części płytki.

Po montażu należy upewnić się, że na płytce nie ma żadnych zwarc. Jeżeli wszystkie komponenty zostały umieszczone poprawnie, można wpiąć taśmę wyświetlacza, przewlekając ją uprzednio przez podłużny otwór w taki sposób, żeby widzieć jednocześnie MCU oraz front matrycy, a następnie przylutować akumulator. Zegarek powinien od razu wystartować. Jeżeli na wyświetlaczu widać godzinę 10.10 oraz poprawny odczyt temperatury, wszystko zostało wykonane poprawnie. Na **fotografii 2** i **3** pokazano działający zegar w różnych trybach wyświetlania.

Jeżeli chcemy, żeby zegarek był odporny na zachlapania, akumulator należy odlutować, a płytkę razem z podłączonym wyświetlaczem zalecam pokryć starannie lakierem PVB, używając pędzelka. Należy ominąć przyciski oraz otwór czujnika BME280. Szczególną uwagę należy poświęcić dokładnemu pokryciu złącza PFC razem z odsłoniętymi padami taśmy wyświetlacza, a także ścieżkom MCU-kwarc.

Ostatnim krokiem jest przełożenie wyświetlacza na stronę spodnią płytki i przy mocowanie go na kropkę gorącego kleju w ten sposób, żeby nie zasłonić otworów montażowych.

Złożenie obudowy powinno być już formalnością – akumulator należy umieścić



Fotografia 1. Wygląd płytek-maskownic



Fotografia 2. Zegar wyświetlający treść



Fotografia 3. Zegar wyświetlający w trybie ustawień, parametry widoczne na tarczy



Fotografia 4. Sposób przykręcenia płytek

pośrodku płytki, a maskownice zakontrolować nakrętkami tak, aby nie ścisnąć akumulatora oraz nie uszkodzić matrycy (jest bardzo krucha). Dwie nakrętki od strony wyświetlacza oraz 3 od strony akumulatora (fotografia 4). Jeżeli matryca nie jest ułożona centrycznie, można ją podgrzać suszarką i ustawić na miejscu.

Obsługa urządzenia

Zegarek został wyposażony w 3 przyciski służące do jego obsługi, oznaczonych (od góry) START, SET, RESET. Wciśnięcie przycisku SET pozwala na przejście do ustawień, gdzie można dostosować godzinę, datę, wybrać layout interfejsu, zmienić kolory, a także

ustawić ciśnienie referencyjne dla altimetru oraz korektę temperatury (noszony na rękę pokazuje oczywiście zawyżoną). Strzałką przełączamy się pomiędzy wartościami, plusem zaś dodajemy jeden. Jeżeli chcemy cofnąć wartość, należy wcisnąć i przytrzymać +, docisnąć SET i puścić +. Trzymając cały czas SET, przyciskiem + będziemy teraz cofać wartość. Należy pamiętać, że w trybie ustawień MCU nie jest usypiany, więc pozostawiony w tym trybie szybko wyczerpie akumulator. Po ustawieniu godziny i daty przyciskiem SET wychodzimy z ustawień. Wskazanie barometru jest realizowane małą wskazówką, która ślizga się po brzegu, a ciśnienie odczytuje się ze skali nadrukowanej na maskownicy.

Wskazanie wysokościomierza bazuje na odczycie ciśnienia, wymaga więc ustawienia poziomu referencyjnego – można to zrobić w ustawieniach.

Obsługa chronografu jest zrealizowana tak jak w większości zegarków na rękę. Wciśnięcie przycisku START uruchamia chronograf. Aby go zatrzymać, wciskamy START ponownie i odczytujemy wynik. Pomimo zatrzymania się wskazówek, chronograf nadal odmierza czas. Ponowne wciśnięcie START powraca do wyświetlania aktualnego czasu, gdzie możemy go znów zatrzymać. Po każdym wykonaniu obrotu na tarczy minut pojawia się kropka oznaczająca 30 minut.

W celu zresetowania chronografu należy go zatrzymać i wcisnąć przycisk RESET. Przez pierwszą minutę pracy chronografu zegarek nie jest usypiany, co umożliwia wygodne korzystanie ze skali tachometrycznej.

Jeżeli zegarek jest narażony na niskie temperatury, na wyświetlaczu mogą pojawiać się cienie. Jest to efekt tzw. ghostingu, charakterystyczny dla tego typu matryc. Aby wykonać pełne odświeżenie ekranu, trzeba przytrzymać przycisk RESET i SET jednocześnie. Trzymając przycisk SET, musimy pracować bez usypiania MCU – jest to przydatne, kiedy potrzebujemy monitorować wartości w czasie rzeczywistym.

Bartosz Prac

bartosz.prac.92@gmail.com

Ulubiony Kiosk zmienia się na lepsze!



Czekają na Ciebie spore zmiany, więc nie czekaj i wejdź na
www.UlubionyKiosk.pl!



Termostat warsztatowy

Budowa własnych termometrów, zwłaszcza z wykorzystaniem nietypowych czujników, może być bardzo pouczająca. Jednak na niewiele się taki układ zda, jeżeli nie mamy możliwości skalibrowania go. Do tego właśnie służy przedstawione urządzenie: ogrzewa niewielką płytkę do ustalonej temperatury, wskazując również aktualną jej temperaturę.

Termostaty to urządzenia pozwalające utrzymać określoną temperaturę. Zazwyczaj kojarzymy je z modułami (elektronicznymi lub elektromechanicznymi), które sterują elementem wykonawczym – grzałką lub chłodziarką. Ten układ ma wbudowaną, miniaturową grzałkę oraz sprzęgnięty z nią czujnik temperatury.

Idea układu jest prosta: jeżeli chcemy skalibrować termometr, musimy ograniczyć jego czujnik do znanej temperatury, a następnie dokonać odpowiedniej regulacji w układzie. Często są w tym celu stosowane „chałupnicze” metody, jak wkładanie czujnika do wrzącej wody, chłodzenie w zamrażalce lub chłodziarce. Zaprezentowane urządzenie pozwala na dokładne ustalenie temperatury czujnika, więc skalibrowanie takiego termometru będzie dokładniejsze oraz oczywiście szybsze i wygodniejsze. Sam termostat nie wymaga kalibracji. Użyto w nim cyfrowego czujnika temperatury, skalibrowanego przez producenta.

Budowa i działanie

Schemat ideowy warsztatowego termostatu został pokazany na **rysunku 1**. Układ jest przystosowany do zasilania napięciem stałym o wartości 12 V, które jest doprowadzane także do elementu wykonawczego w postaci grzałki. Pozostała część elektroniki wymaga stabilizowanego napięcia 3,3 V, którego dostarcza stabilizator liniowy US1. Dioda D1 zabezpiecza przed uszkodzeniem w razie

odwrotnego podłączenia zasilania. Grzałką steruje tranzystor T1, podłączony w konfiguracji wspólnego źródła. Sygnał sterujący bramką pochodzi wprost z wyprowadzenia mikrokontrolera, ponieważ tranzystor AO3416 cechuje się bardzo niskim napięciem progowym. Rezystor R1 utrzymuje go w stanie zatkania, zanim mikrokontroler podejmie pracę, a R2 zwiększa czas przełączania, co przyczynia się do zmniejszenia poziomu generowanych zakłóceń.

Jako element grzejny został wybrany grubowarstwowy rezystor typu GBR-618-12-10-2 produkcji krajowej firmy TELPOD, która już od dziesięcioleci zajmuje się elementami pasywnymi oraz technologią grubowarstwową. Ma kształt kwadratu o boku długości 12,7 mm. Został wykonany w postaci warstwy rezystywnej naniesionej na podłoże z tlenku aluminium. Do zasilania zostały przewidziane dwa pola lutownicze. Poglądowy rysunek tego elementu znajduje się na **rysunku 2**. Jego nominalna moc wynosi 10 W przy zasilaniu napięciem 12 V. Co oczywiste, nie ma przeciwwskazań do tego, by tę moc zmniejszyć, stosując np. sterowanie PWM. Dużym atutem użycia takiego elementu jest równomierne rozprowadzenie wydzielanego ciepła po całym obszarze rezystywnym (w kolorze czarnym). Maksymalna temperatura tego elementu może wynieść aż 300°C, więc nie ma obaw o jego przegrzanie w tym zastosowaniu.

Aktualna oraz zadana wartość temperatury wyświetlana jest na niewielkim

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

W ofercie AVT* AVT-5822

Podstawowe parametry:

- sterowanie rezystorem grzejnym dla uzyskania zadanej temperatury,
- możliwość ustawienia temperatury od 30°C do 100°C z krokiem 1°C,
- wyświetlanie aktualnej temperatury z precyzją 0,1°C,
- wyświetlacz OLED o przekątnej 0,91",
- ustawianie zadanej temperatury przyciskami,
- zasilanie napięciem stałym o wartości 12 V,
- pobór prądu maksymalnie 0,45 A.

Projekty pokrewne na www.media.avt.pl:

- AVT-5732 uniTherm – termostat z wyświetlaczem OLED (EP 12/2019)
- AVT-5620 Wielozadaniowy termostat (EP 1/2018)
- AVT-3220 Termostat z wyświetlaczem LED (Edw 1/2018)

*** 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 podłączona w opisie kitu.

Mając na uwadze różne potrzeby naszych klientów, oferujemy dodatkowe wersje:

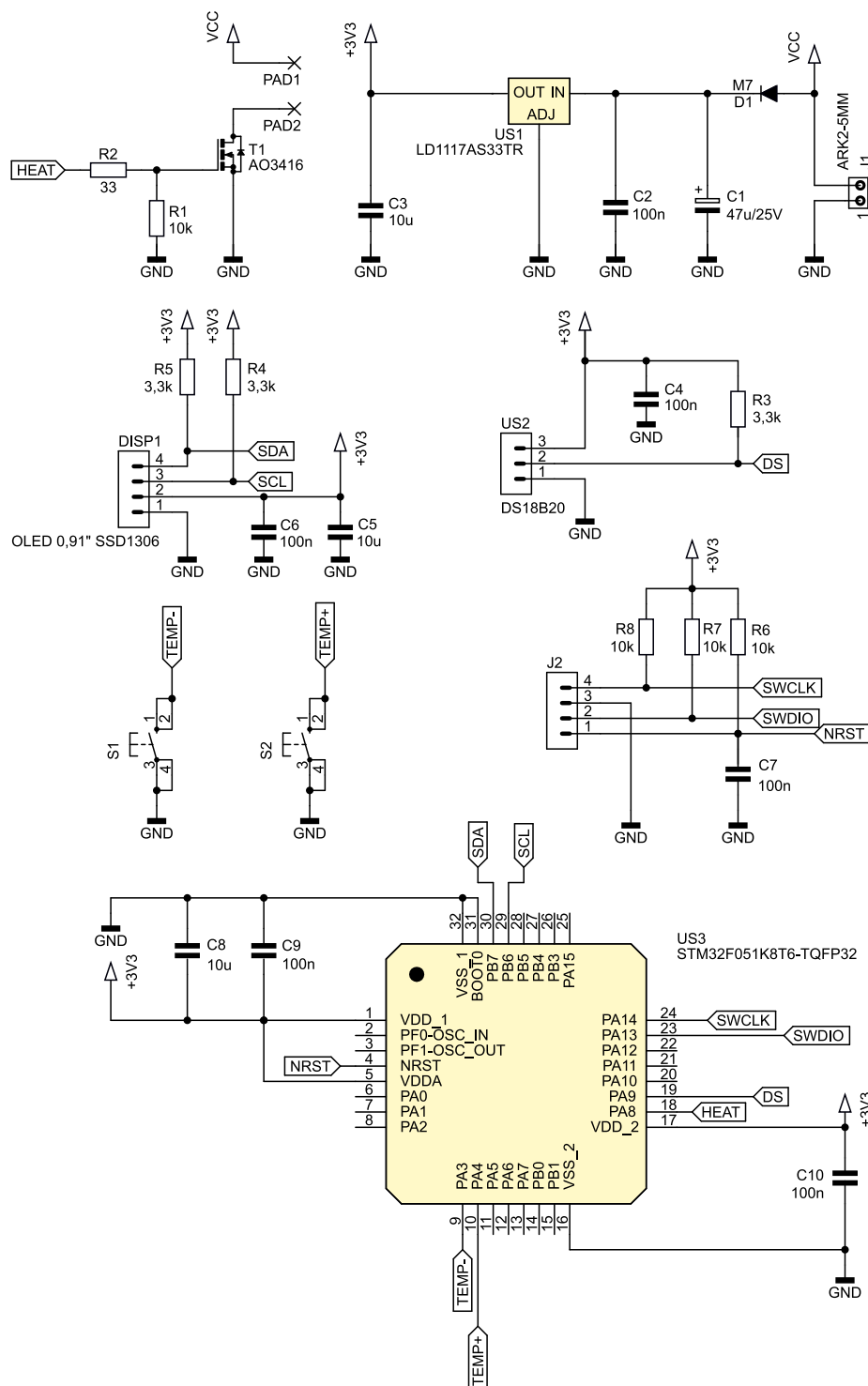
- wersja [C] – zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw
- [B] (elementy wlutowane w płytkę PCB)
- wersja [A] – płytkę drukowaną bez elementów i dokumentacji
- wersja [UK] – płytkę drukowaną z elementami elektronicznymi i dokumentacją
- wersja [A+] – płytkę drukowaną [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
- wersja [UK] – zaprogramowany układ

Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz!

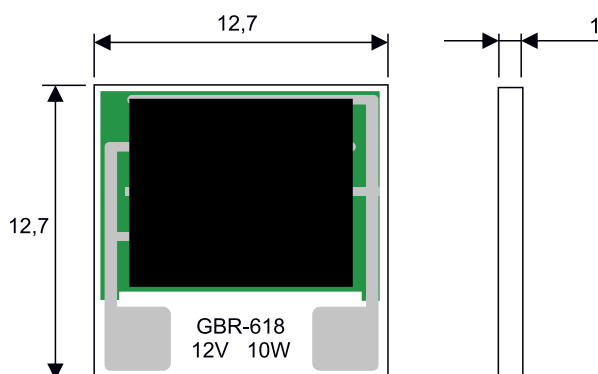
<http://sklep.avt.pl>. W przypadku braku dostępności na <http://sklep.avt.pl>, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.

wyświetlacz OLED o przekątnej 0,91". Ma postać niewielkiego modułu ze zintegrowanym kontrolerem SSD1306. Komunikacja z mikrokontrolerem odbywa się poprzez interfejs I²C, przez co zajęte są tylko jego dwa wyprowadzenia, i ułatwia poprowadzenie ścieżek.

W celu kontroli temperatury powierzchni grzałki został użyty dobrze znany i popularny czujnik typu DS18B20. Jego dużymi zaletami są: fabryczna kalibracja oraz niska cena. Wyklucza to konieczność posiadania dokładnego termometru, który byłby konieczny do kalibracji wskazań termostatu.



Rysunek 1. Schemat ideowy warsztatowego termostatu



Rysunek 2. Wymiary rezystora GBR-618

Zarówno interfejs I²C, jak i 1-Wire, którym posługuje się czujnik DS18B20, wymagają do prawidłowego działania rezystorów podciągających. W projekcie użyto R3...R5 o wartości 3,3 kΩ. Połączenia między elementami są na tyle krótkie, że wymóg zapewnienia odpowiednio krótkiego czasu narastania zboczy można z całą pewnością uznać za spełniony. Układem zarządzającym pracą całego urządzenia jest mikrokontroler typu STM32F051, wyposażony w odpowiednio pojemną pamięć (zarówno Flash, jak i RAM, która jest konieczna do obsługi wyświetlacza) a dodatkowo odznacza się niewysoką ceną. Do jego zaprogramowania służy czterospilkowe złącze J2, do którego można podłączyć programator typu np. ST-LINK, komunikujący się poprzez SWD.

Ustawianie zadanej temperatury odbywa się za pomocą dwóch przycisków. Wyprowadzenia mikrokontrolera, do których są dołączone przyciski, korzystają z wewnętrznych rezystorów podciągających mikrokontrolera. Zadana temperatura nie jest zapisywana w pamięci nieulotnej, po ponownym włączeniu urządzenia należy ustawić ją ponownie. Ma tę zaletę, że po podaniu zasilania układ podgrzewa grzałkę do temperatury 30°C, więc nie ma obawy o poparzenie

Wykaz elementów:**Rezystory:**

R1, R6...R8: 10 kΩ SMD0805
R2: 33 kΩ SMD0805
R3...R5: 3,3 kΩ SMD0805

Kondensatory:

C1: 47 μF/25 V raster 2,54 mm
C2, C4, C6, C7, C9, C10: 100 nF SMD0805
C3, C5, C8: 10 μF/16 V SMD0805

Półprzewodniki:

D1: M7 lub podobna
DISP1: OLED 0,91" SSD1306 128×32 pix
T1: AO3416
US1: LD1117S33TR SOT223
US2: DS18B20 T092
US3: STM32F051K8T6 TQFP32

Pozostałe:

J1: ARK2/500
J2: goldpin 4 pin męski 2,54 mm THT
S1, S2 microswitch 6×6 17 mm THT
Goldpin 4 pin męski+żeński 2,54 mm THT (do wyświetlacza)
Rezystor GBR-618-12-10-2 TELPOD (opis w tekście)
Klej termoprzewodzący np. AG TermoGlue
Rurka elektroizolacyjna 12 mm i długości 10 mm (opis w tekście)

REKLAMA



po przypadkowym dotknięciu. Dopiero użytkownik może tę wartość zwiększyć.

Montaż i uruchomienie

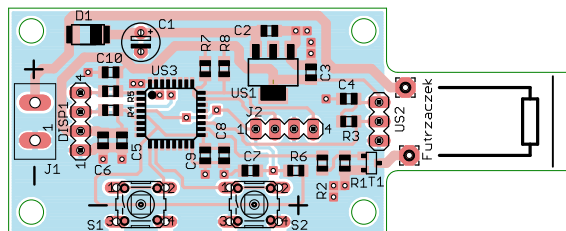
Układ został zmontowany na dwustronnej płytce drukowanej o łącznych wymiarach 75×30 mm, z czego część z elektroniką mieści się na obszarze 50×30 mm, a wystający fragment z elementem grzejnym zajmuje powierzchnię o wymiarach 25×13 mm. Schemat ścieżek oraz schemat montażowy pokazuje **rysunek 3**. W odległości 3 mm od krawędzi płytki (w części z elektroniką) znalazły się otwory montażowe o średnicy 3,2 mm. Szczegóły dotyczące wymiarów płytki oraz lokalizacji otworów, przycisków i wyświetlacza pokazuje **rysunek 4**.

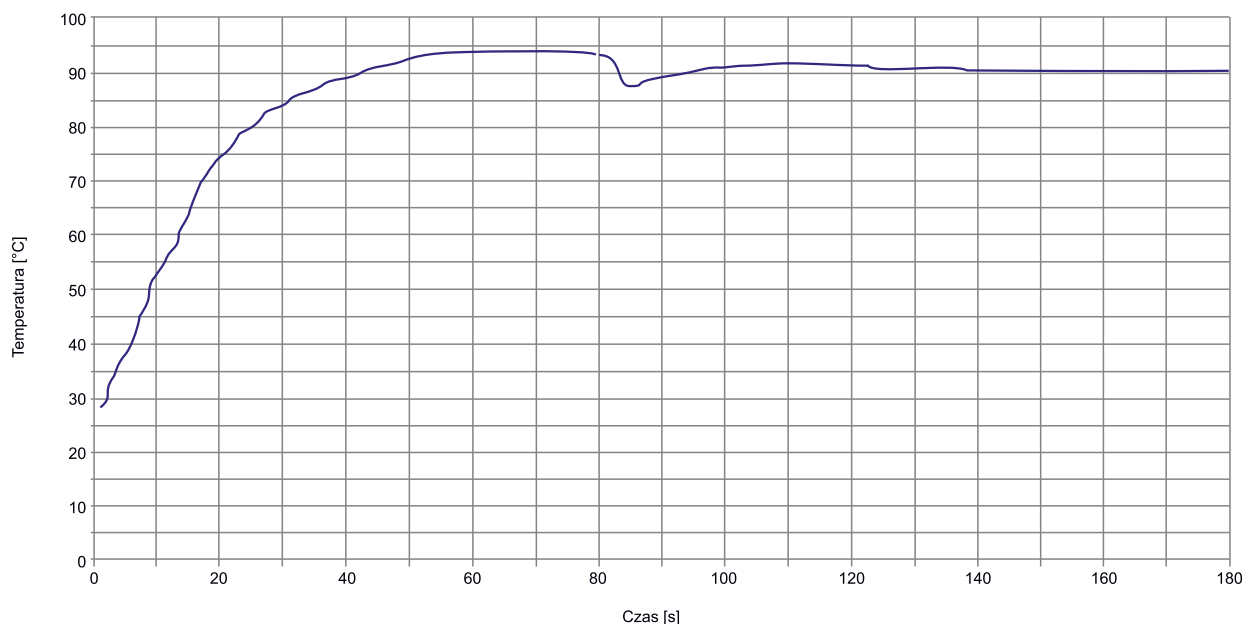
Montaż należy rozpocząć od elementów lutowanych powierzchniowo, które znajdują się tylko na wierzchniej stronie płytki, szczegóły pokazuje **fotografia 1**. Dalsza kolejność czynności montażowych jest następująca:

- przylutować kondensator C1, który leży płasko na powierzchni płytki,
- przylutować listwę zaciskową J1,
- przylutować listwy kołkowe typu gold-pin: J2 i pod wyświetlacz DISP1,
- przylutować przyciski S1 i S2,
- przykleić rezystor grzejny w odległości 3 mm przed końcem wystającej części płytki (szczegóły na **fotografii 2**),
- przykleić czujnik US2 klejem termoprzewodzącym do powierzchni rezystora grzejnego tak, aby cała powierzchnia jego obudowy znajdowała się na czarnym polu warstwy oporowej (fotografia 2),
- po związaniu kleju przylutować wyprowadzenia czujnika US2 do przeznaczonych dla niego pól lutowniczych,
- połączyć cienką srebrzanką (lub innym cienkim drutem) pola lutownicze rezystora z polami lutowniczymi na płycie,
- nałożyć na czujnik krótki odcinek (około 10 mm) rurki elektroizolacyjnej, która zmniejszy oddawanie ciepła z jego obudowy do otoczenia (**fotografia 3**).

Miejsce położenia krawędzi rezystora zostało zaznaczone cienką linią znajdującą się na powierzchni płytki. Taki nadatek wystającego laminatu ma za zadanie ochronić kruche, a przez to podatne na uszkodzenia, podłoże rezystora grzejnego przed przypadkowym uszkodzeniem. Rezystor można przykleić do płytki tym samym klejem termoprzewodzącym. Przypominam w tym miejscu o dokładnym odtłuszczeniu wszystkich położonych powierzchni.

Po zmontowaniu układu, do zacisków złącza J1 można podłączyć napięcie stałe o wartości 12 V i zaprogramować pamięć Flash mikrokontrolera dostarczoną wsadą. Następnie wystarczy wyłączyć zasilanie, odłączyć programator SWD od złącza J2 i nałożyć wyświetlacz DISP1.





Rysunek 5. Wykres temperatury w funkcji czasu przy zadanej temperaturze 90°C

Celsjusza. Minimalna wartość temperatury zadanej to 30°C, a maksymalna 100°C. Z kolei, temperatura aktualna – odczytana z czujnika – może się zawierać w przedziale 0...125°C. Powyżej 100°C jest pokazywana z precyzją 1°C, a poniżej – 0,1°C. Ograniczeniem jest powierzchnia wyświetlacza.

Prąd pobierany przez układ silnie zależy od sygnału, który steruje grzałką. W czasie szybkiego rozgrzewania do wysokiej temperatury pobór prądu w układzie prototypowym wyniósł 0,44 A. Utrzymywanie ustalonej temperatury 90°C wiąże się z poborem prądu o natężeniu 0,13 A. Stąd wniosek, że zasilacz do tego układu musi mieć wydajność prądową minimum 0,5 A. Pomiary wykonano przy napięciu zasilającym o wartości 12 V.

Na **rysunku 5** znajduje się wykres przedstawiający temperaturę aktualną w funkcji czasu po zadaniu temperatury 90°C. Widać na nim fragment obciążony niewielkimi oscylacjami, w którym temperatura zbliża się do wartości zadanej. W zależności od tego, jak dużej dokładności oczekujemy, układ dochodzi do stanu ustalonego po około 1,5 min od zadania nastaw przy dopuszczeniu błędów rzędu 2%. Całkowite ustanie zmian temperatury i ustabilizowanie się wskazań następuje po upływie około 2,5 min.

Czujnik, którego wskazania chcemy kalibrować, najlepiej byłoby przyłożyć do warstwy oporowej rezystora jak najbliższej czujnika US2. Jeszcze lepiej, gdyby udało się go „wtulić” pod izolacyjną rurkę. Producent rezystora dołożył starań dla zapewnienia jak największej równomierności grzania, więc część rezystora, która wystaje przed czujnikiem, powinna mieć tę samą temperaturę – to przydatne w przypadku kalibracji czujników o większych gabarytach. Warto zapewnić izolację termiczną, aby naturalne prądy konwekcyjne nie chłodziły go nadmiernie.

Na powierzchni laminatu znajdują się elementy, których temperatura może osiągnąć 60°C i więcej. Dotknięcie powierzchni silnie nagrzanego rezystora może spowodować bolesne oparzenie.

Dokładność użytego w projekcie czujnika temperatury wynosi $\pm 0,5^\circ\text{C}$ dla mierzonych temperatur do 85°C i $\pm 1^\circ\text{C}$ w przypadku pomiaru temperatury do 100°C.

Dla dociekliwych

Odczyty z czujnika DS18B20 wykonywane są co 750 ms. Czas reakcji rezystora jest bardzo mały, gdyż w ciągu kilku sekund jest w stanie nagrzać się do temperatury przekraczającej możliwości pomiarowe użytego czujnika. Dlatego zrealizowanie termostatu metodą „włącz-wyłącz”, jaką znamy z elektrycznych podgrzewaczy ciepłej wody użytkowej, było niemożliwe: temperatura ulegałaby silnym wahaniom z powodu małej stałej czasowej grzewanego elementu.

Konieczne było zasilanie rezystora przebiegiem typu PWM. W dobie tanich tranzystorów MOSFET o małej rezystancji otwartego kanału i niskim napięciu progowym jest to banalnie proste. Użyty w projekcie tranzystor typu AO3416 jest sterowany napięciem 3,3 V wprost z wyprowadzenia mikrokontrolera, a w czasie pracy jego obudowa jest jedynie ciepła. Częstotliwość sygnału PWM to 480 Hz – na tyle mała, aby nie wychodziły na jaw problemy z szybkim przełączaniem bramki, a na tyle wysoka, aby uśrednianie wydzielanej w rezystorze mocy zachodziło prawidłowo.

Większym problemem jest obliczenie odpowiedniego wypełnienia owego sygnału sterującego. Z jednej strony, układ powinien możliwie szybko dojść do zadanej temperatury, a z drugiej nie ma prawa oscylować wokół niej. To są wzajemnie wykluczające

się warunki, z którymi teoria sterowania boryka się od dziesiątek lat. Jednym z popularniejszych rozwiązań jest implementacja regulatora typu PID. Osoby związane z szeroko pojętą automatyką doskonale znają znaczenie tego akronimu, a mniej obeznanym objaśniam: jest to regulator proporcjonalno-całkująco-różniczkujący. Najczęściej ma postać modułu z podpiętymi czujnikami i własnym wyświetlaczem, ale w ogólności jest to twór matematyczny. Można go zrealizować przy użyciu elementów dyskretnych, jak i zaimplementować programowo, pamiętając o pewnych ograniczeniach.

Wielkością wejściową jest uchyb, czyli różnica między wartością aktualną a zadaną. Uchyb może być dodatni, ujemny lub zerowy. Ideą tego regulatora, w najprostszym jego wydaniu, są trzy człony, pracujące niezależnie:

- proporcjonalny, zwany też liniowym, który wzmacnia aktualną wartość uchybu,
- całkujący, który gromadzi poprzednie wartości uchybu,
- różniczkujący, który odpowiada proporcjonalnie do wielkości przyrostu uchybu.

REKLAMA


www.kamami.pl

wszystko o mikrokontrolerach

STM32

sprawdź naszą ofertę

na **KSIĄŻKI** i **eBOOKI**

Wyjściem regulatora jest suma wielkości wyjściowych wszystkich bloków. Nie wiadomo wielkości, które trzeba obliczyć lub ustalić doświadczalnie, to wielkości tych wag. Od nich zależy, z jaką szybkością układ będzie dochodził do wielkości zadanej oraz zdeterminują jego skłonność do wpadania w oscylacje. Również one pełnią funkcję skalującą między wielkością wejściową a wyjściową, które mogą się różnić o wiele rzędów wielkości (np. wejściem jest napięcie mierzone przetwornikiem o rozdzielczości 8 bitów, a wyjściem generator PWM o rozdzielczości 16 bitów).

Programowa implementacja tego regulatora narzuca kilka ograniczeń. Po pierwsze, skończona precyzja, wynikająca z arytmetyki danego mikrokontrolera. Po drugie, skłonność członu całkującego do nasycania się przy długotrwałym dochodzeniu do stanu ustalonego. Trzeba narzucić mu pewne ograniczenie co do akumulowanej wartości, aby „nagromadzony” w nim uchyb nie powodował zbyt długiego dochodzenia do stanu ustalonego. Warto również sprawdzić, czy obliczona przez regulator nastawa ma sens, czyli czy mieści się w zakresie akceptowalnym przez sterowany obiekt.

Zastosowana w tym projekcie implementacja została pokazana na **listingu 1**. Przyjęto maksymalne wypełnienie sygnału sterującego grzałką na 50%, aby nie uległa ona przegrzaniu pomiędzy kolejnymi odczytami z czujnika DS18B20. Maksymalną wartość zakumulowaną w bloku całkującym przyjęto jako równą maksymalnemu współczynnikowi wypełnienia. Temperatura zadana ma postać liczby całkowitej z przedziału 30...100, zaś aktualna uwzględnia cyfrę po przecinku (czyli jest 10 razy większa od wyświetlanej na ekranie), stąd konieczność pomnożenia zadanej przez 10, aby były

Listing 1. Wybrane fragmenty kodu programu w języku C

```
#define PWM_PERIOD 9999 //maksymalne wypełnienie PWM
#define PWM_MAX PWM_PERIOD/2 //maksymalna wartość wypełnienia, jaką może zadać układ

#define KP 7 //nastawa członu proporcjonalnego
#define KI 0.45 //nastawa członu całkującego
#define KD 0.2 //nastawa członu różniczkującego

volatile uint16_t temp_akt = 0; //aktualna temperatura do utrzymywania
volatile uint16_t temp_zadana = 0; //temperatura zadana

volatile uint16_t pwm = 0; //wypełnienie

volatile int16_t error = 0; //wartość błędu w danej iteracji
volatile int16_t last_error = 0; //poprzedni błąd
volatile int16_t proportional = 0; //wartość P
volatile int16_t integral = 0; //wartość I
volatile int16_t derivative = 0; //wartość D
volatile int16_t set_val = 0; //wartość do ustawienia, przed kontrolą nasycenia

///////////////////////////////////////////////////

last_error = error; //skopiowanie poprzedniej wartości uchybu - dla członu I
error = (temp_zadana * 10) - temp_akt; //aktualny uchyb

proportional = error; //człon P - działanie na aktualnym uchybie

integral = integral + error; //człon I - zbieranie poprzednich wartości uchybu
if(integral > PWM_MAX){integral = PWM_MAX;} //kontrola nasycenia członu I
if(integral < (-1 * PWM_MAX)){integral = -1 * PWM_MAX;}

derivative = error - last_error; //człon D

set_val = (KP * proportional) + (KI * integral) + (KD * derivative); //suma ważona
if(set_val <= 0){pwm = 0;} //wartość ujemna = wypełnienie zerowe
if(set_val > 0 && set_val < PWM_MAX){pwm = set_val;}
if(set_val > PWM_MAX){pwm = PWM_MAX;} //kontrola nasycenia wyjścia

TIM_SetCompare1(TIM1, pwm); //uaktualnij wypełnienie
```

one ze sobą porównywalne. Przedstawiony algorytm jest uruchamiany po każdym odczycie z czujnika temperatury.

W uproszczeniu, największe znaczenie ma człon proporcjonalny, gdyż w dużej mierze warunkuje stabilność układu. Człon całkujący spowalnia reakcję układu na szybkie zmiany, które tutaj mogłyby być spowodowane np. przyłożeniem zimnego czujnika do nagrzanego już rezystora, ale też przyspiesza tę reakcję, kiedy wysoki uchyb trwa zbyt długo. Człon różniczkujący działa przeciwnie: opowiada tym silniej, im większy jest przyrost uchybu, więc odgrywa dużą rolę przy początkowym rozgrzewaniu rezystora, kiedy różnica między wartością

aktualną i zadaną jest bardzo wysoka. Nastawy członów – KP, KI i KD – zostały ustalone doświadczalnie.

Układ nie ma tendencji do wpadania w oscylacje, jest zatem stabilny. Uważam to za najistotniejszą cechę w tego typu projekcie. Jednocześnie, czas na dojście do stanu ustalonego jest stosunkowo krótki, jak na element grzejny z relatywnie rzadką kontrolą stanu aktualnego.

Michał Kurzela, EP

Bibliografia:

- <https://bit.ly/3pNr0UJ>
- <https://bit.ly/36YIPaD>
- <https://bit.ly/336lwcj>

REKLAMA

**ELEKTRONIKA
PRAKTYCZNA**

**MATERIAŁY
DODATKOWE**

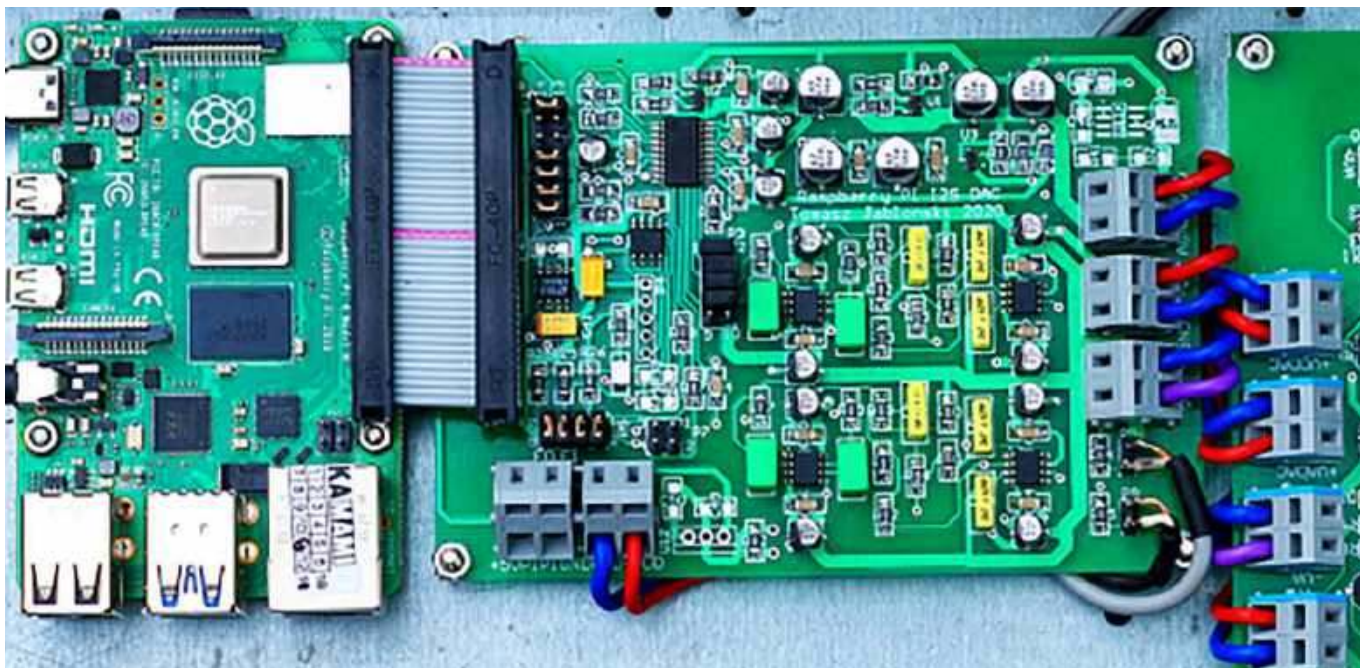


MEDIA

Aby skorzystać z materiałów dodatkowych dołączonych do numeru, należy:

1. Wejść na stronę **www.media.avt.pl**,
2. Zarejestrować się lub zalogować,
3. Wybrać wydanie „Elektroniki Praktycznej”, które ma trafić do biblioteki osobistej,
4. Odpowiedzieć na proste pytanie dotyczące bieżącego numeru,
5. Pobrać pliki.





Odtwarzacz audio z Raspberry Pi (3)



Komputer Raspberry Pi stał się wygodnym źródłem cyfrowego audio. Można na nim uruchomić specjalizowane darmowe oprogramowanie odtwarzacza muzycznego, na przykład Volumio lub podobny, oraz ma interfejs I²S przeznaczony do przesyłania danych audio między innymi do przetworników cyfrowo-analogowych. Raspberry Pi może też wysłać dane audio przez port USB lub sygnał S/PDIF (AES3). Pozostaje dołączyć przetwornik analogowo-cyfrowy i możemy cieszyć się muzyką. Tematem prezentowanego projektu jest właśnie taki przetwornik, gwarantujący odtwarzanie dźwięku w wysokiej jakości. W trzeciej, ostatniej części artykułu omówimy czynności montażowe i uruchomieniowe oraz opisany działanie i obsługę odtwarzacza.

Montaż układu

Płytki przetwornika

Płytki przetwornika został pokazana na rysunku 12. Użyte elementy do montażu powierzchniowego nie powinny nastręczać problemów montażowych średnio wprawemu elektronikowi. Najmniejszy raster wyprowadzeń ma przetwornik. Najlepiej rozpocząć od lutowania rezystorów, układów TL431, potem przetwornika, układu ICS570, stabilizatora 3,3 V i wzmacniaczy operacyjnych. Potem kondensatory elektrolityczne, kondensatory foliowe w filtrze. Na koniec listwy goldpin i największe złączki do podłączenia zasilania. **Uwaga** – nie montujemy oporników R33 i R34 w obwodzie konfiguracji powielacza częstotliwości ICS570B, bo dla współczynnika

powielania 6× wejścia konfiguracyjne powinny być niepodłączone.

Przetworniki audio dla Raspberry Pi zazwyczaj są wykonywane w formie nakładki, mającej gniazdo 40-pinowe, wtykane do złącza I/O. Powstaje wtedy coś w rodzaju „kanapki” z dwóch płytek, jedna nad drugą. Celowo zrezygnowałem tutaj z takiego rozwiązania. Płytki komputerka i przetwornika są umieszczone obok siebie, połączone za pomocą krótkiego kabla 40-pinowego, zakończonego z dwu stron wtykami AWP40 (fotografia 1). Kabel powinien być tak krótki, jak to tylko możliwe. Sygnały I²S nie są przystosowane do przesyłania na większe odległości i długi kabel może spowodować nieprawidłowe działanie.

Płytki przetwornika jest zasilana z osobnego modułu zasilacza. Zawsze w takim

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

W ofercie AVT* AVT-5811

Podstawowe parametry:

- współpracuje ze specjalizowanym darmowym oprogramowaniem odtwarzacza muzycznego, na przykład Volumio,
- przetwornik DAC typu PCM1794A firmy Texas Instruments,
- zakres dynamiki 127 dB dla sygnału stereo, zniekształcenia THD+N 0,0004%, rozdzielczość 24 bity,
- przesyłanie danych audio z odtwarzacza cyfrowego do przetwornika poprzez interfejs I²S,
- układ przetwornika i komputera z osobnymi zasilaczami liniowymi.

Projekty pokrewne na www.media.avt.pl:

- AVT-5776 Kieszonkowy Linux (EP 9/2020)
- AVT-5777 Miniaturowa czujka ruchu dla Raspberry Pi, Arduino i nie tylko (EP 6/2020)
- AVT-5770 Arduino i nie tylko (EP 5/2020)
- AVT-5761 Czterokanałowy moduł przełącznikowy sterowany I²C (EP 4/2020)
- AVT-5739 Zasilacz buforowy z superkondensatorami dla Raspberry Pi (EP 1/2020)
- AVT-5689 Storage na Raspberry Pi (EP 9/2019)
- AVT-5688 Budżetowy interfejs USB-I²S (EP 7/2019)
- AVT-5680 Sensor smogu z technologią Bluetooth Low Energy (EP 4/2019)

Uwaga! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu.

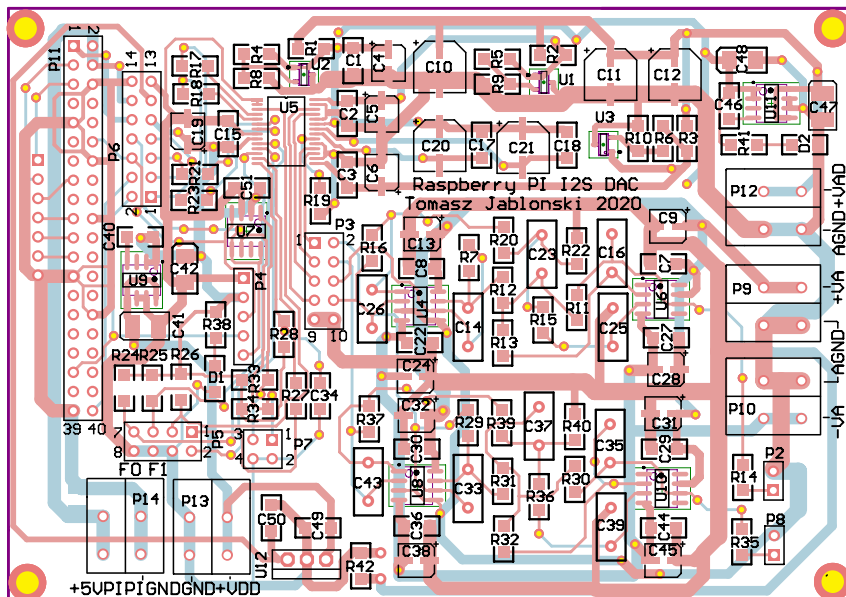
wymagana umiejętność lutowania! Podstawową wersją zestawu jest wersja [B] nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji [B] zawiera elementy elektroniczne (w tym [UK] – jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wzlutować w dołączoną płytkę drukowaną (PCB). Wykaz elementów znajduje 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 wzlutowane w płytkę PCB)
- wersja [A] – płytki drukowane bez elementów i dokumentacji Kity w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
 - wersja [A+] – płytki drukowane [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
 - wersja [UK] – zaprogramowany układ

Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja na załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz!

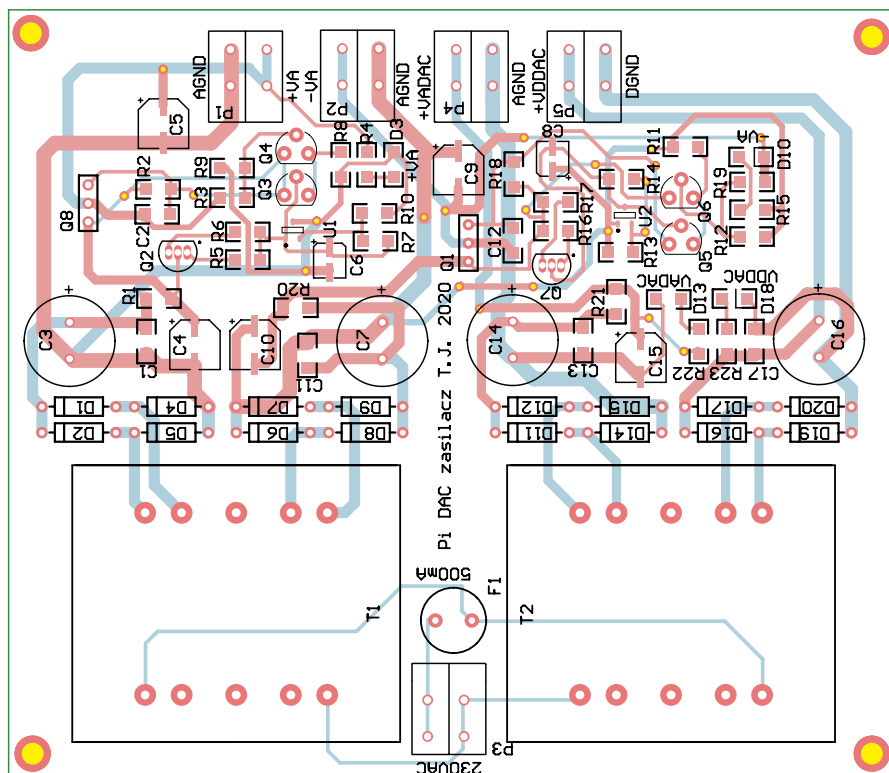
<http://sklep.avt.pl>. W przypadku braku dostępności na <http://sklep.avt.pl>, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.



Rysunek 12. Płytką przetwornika



Fotografia 1. Połączenie Raspberry Pi z płytką przetwornika



Rysunek 13. Płytką modułu zasilacza

przypadku powstaje problem pewnego połączenia zasilacza z płytką przetwornika. Przyznam, że preferuję umieszczanie kompletnych układów zasilania na płytce przetwornika, bo gwarantuje to krótkie i niezawodne połączenia. Z zewnątrz podłączane są tylko napięcia przemienne z transformatora. W tym rozwiązaniu jest inaczej i dlatego zastosowałem sprężynowe złączki Wago do druku. To bardzo szybkie i pewne połączenie dzięki silnej sprężynie złączki. Alternatywą może być polutowanie kabli zasilających przez punkty lutownicze przeznaczone do złączek Wago. Na płytce przetwornika jest wyprowadzenie zasilania +5 V, którym można zasilac Raspberry Pi przez złącze I/O napięciem +5 V, ale ma to pewne wady. Zasilanie przez USB-C jest zabezpieczone przed odwrotną polaryzacją i zbyt wysokim napięciem zasilającym. Ostatecznie, w prototypie podłączyłem zasilanie przez USB-C.

Wyjściowe sygnały audio dla kanału lewego i prawego są wyprowadzone do dwu podwójnych goldpinów. W prototypie do tych wyprowadzeń są przylutowane przewody ekranowane, prowadzące do złączy cinch.

Przetwornik można w pewnym zakresie konfigurować sprzętowo za pomocą zworek na płytce:

- Na złączu P6, w celu podłączenia sygnałów I²S z Raspberry Pi do PCM1794A (**fotografia 2**). **Uwaga** – nie zwieramy pinów 9 i 10 oraz 11 i 12 przeznaczonych do zasilania opcjonalnego separatora sygnałów I²S;
- Na złączu P5 są zwarte wszystkie piny. Pin 1 zwarty z pinem 2 wymusza sygnał MUTE, dla braku prawidłowego sygnału cyfrowego na wejściu przetwornika (ZERO). Zwarcie pinu 2 i 4 wyłącza preemfazę. Zwarcie pinu 5 i 6 oraz 7 i 8 wymusza stan 00 na wejściu FMT0 i FMT1, ustawiając format danych wejściowych I2S;
- Jeżeli jest używany układ konwerterów I/U i filtra na płytce przetwornika, to trzeba zewrzeć piny złącza P3, podając prądowe sygnały różnicowe na wejście konwerterów I/U.

Moduł zasilacza

Płytką zasilacza została pokazana na **rysunku 13**. Są na niej umieszczone wszystkie elementy łącznie z dwoma transformatorami w obudowach, z wyprowadzeniami przeznaczonymi do zamontowania na płytce drukowanej. Montaż nie powinien nastręczać żadnych trudności. Tak jak na płytce przetwornika, do podłączenia napięć wyjściowych zastosowałem złączki sprężynowe Wago. Transzystor wykonawczy dla układu napięć ujemnych powinien mieć mały radiator, bo obciążenie w obwodzie napięć ujemnych jest wyższe niż w obwodzie napięć dodatnich. Zmontowany układ pokazano na **fotografii 3**.

Zasilacz Raspberry Pi

Moduł zasilacza 5 V, 5 A dla Raspberry Pi zmontowałem na kawałku uniwersalnej płytki drukowanej. Stabilizator LM1084 został przykręcony do sporego radiatora. W trakcie normalnej pracy komputerka, pod kontrolą programu Volumio, z podłączonym

przez USB dyskiem HDD o pojemności 1 TB, radiator jest tylko lekko ciepły. Zmontowany zasilacz został pokazany na **fotografii 4**.

Napięcie +5 V jest doprowadzone do złączy Wago, gdzie podłączone są przewody przyłutowane do gniazda USB-A, przeznaczonego do montażu powierzchniowego.



Fotografia 2. Umieszczenie zwerek konfiguracyjnych – złącze P6



Fotografia 3. Zmontowany moduł zasilacza



Fotografia 4. Prototyp zasilacza 5 V, 5 A



Fotografia 5. Wszystkie moduły odtwarzacza zamontowane w obudowie

Do podłączenia zasilania Raspberry Pi użyłem przewodu USB-A z wtykiem USB-C. Przewód ten miał być w założeniu dobrej jakości, co sugerowała jego cena. Po wielu godzinach użytkowania nie było problemu z zasilaniem, więc jakość jest wystarczająca.

Uruchomienie układu

Wszystkie zmontowane moduły należy połączyć ze sobą. Prototypowy odtwarzacz został zamontowany w starej obudowie po zniszczonym tunerze FM (**fotografia 5**). Połączenia pomiędzy modulem zasilacza i przetwornika, zostały wykonane z użyciem giętkich przewodów o przekroju 0,75 mm² (**fotografia 6**). Oprócz modułów komputerka, przetwornika i zasilacza, znalazło się tam miejsce na przenośny dysk HDD z interfejsem USB. Na dysku tym zostały zapisane pliki, przegrane z części moich płyt CD.

Po wykonaniu połączeń sprawdzamy, czy wszystkie napięcia są poprawne. Jeżeli tak, to można przejść do testowania odtwarzania plików muzycznych. Do tego celu potrzebne jest odpowiednie oprogramowanie komputerka. Wybrałem aplikację Volumio, ale są też inne równie dobrze spełniające swoją funkcję. Volumio jest zoptymalizowaną aplikacją Linuksową, przeznaczoną tylko do odtwarzania muzyki. Po włączeniu zasilania uruchamia się automatycznie i przejmuje kontrolę nad Raspberry Pi. Ma to swoje zalety, bo nie musimy uruchamiać programu ręcznie, na przykład z poziomu Raspbiana.

Aplikacja Volumio

Volumio pobieramy ze strony volumio.org, w postaci spakowanego pliku z rozszerzeniem .zip. Po rozpakowaniu mamy do dyspozycji plik obrazu systemu .iso, który należy nagrać na karcie SD, przeznaczonej dla Raspberry Pi. Obraz systemu trzeba nagrywać na karcie za pomocą specjalnego programu. Ja do tego celu użyłem aplikacji **Etcher**. Po nagraniu obrazu systemu wkładamy kartę do złącza Raspberry Pi i włączamy zasilanie.

Aplikacja domyślnie nie obsługuje żadnego lokalnego interfejsu użytkownika,

zbudowanego na przykład z monitora i myszki lub ekranu dotykowego. Volumio ma za to wbudowany serwer WWW i za jego pomocą można urządzenie konfigurować oraz sterować jego pracą. Przy pierwszym uruchomieniu Raspberry Pi z Volumio trzeba go podłączyć do routera sieci lokalnej LAN za pomocą kabla Ethernet. Router przydzieli Volumio adres w sieci lokalnej i można się z nim łączyć za pomocą standardowej przeglądarki www urządzenia (komputer, smartfon), połączonego do tej samej sieci LAN. Według autorów aplikacji najlepiej, kiedy jest to przeglądarka Chrome. W przeglądarce wpisujemy volumio/local i powinna pojawić się strona interfejsu użytkownika.

W przypadku dowolnego komputera pracującego pod kontrolą Windows tak się dzieje, ale u mnie nie zadziałało z przeglądarką Chrome, uruchomioną w smartfonie pod systemem Android. Przez stronę WWW konfiguracji routera podejrzewałem, jaki adres został przydzielony Volumio. W moim przypadku, po wpisaniu 192.168.1.6, strona się otworzyła, ale nie drążyłem dalej tego problemu.

Smartfon jest bardzo wygodnym elementem sterującym i spełnia funkcję inteligentnego pilota. Po pierwszym uruchomieniu można w konfiguracji wybrać swoją sieć Wi-Fi i połączyć się z nią po wpisaniu klucza. Nie musimy używać interfejsu Ethernet do połączenia z routerem, ale trzeba pamiętać, że adres IP, przy połączeniu przez Wi-Fi, będzie najprawdopodobniej inny niż przy połączeniu przez Ethernet. U mnie dla Ethernet ustawione było 192.168.1.6, a dla Wi-Fi – 192.168.1.3. Połączenie Raspberry Pi przez Wi-Fi jest bardzo wygodne. Pozwala umieścić odtwarzacz w dowolnym miejscu zasięgu domowego Wi-Fi. Jeśli chcemy, aby poziom zakłóceń EMI generowany przez Raspberry Pi był jak najmniejszy, to lepszym rozwiązaniem jest połączenie przez Ethernet i wyłączenie Wi-Fi. Moduł radiowy pracujący bardzo blisko układów audio może być przyczyną dodatkowych zakłóceń. Ethernet jest też lepszym wyjściem, kiedy źródłem danych audio są serwery plików czy dyski sieciowe.

W trakcie użytkowania odtwarzacza okazało się też, że podłączenie lokalnego dysku HDD do interfejsu USB 3.0 skracało wyraźnie zasięg Wi-Fi. Najlepiej, gdy dysk był połączony przez interfejs USB 2.0, w pełni wystarczający do poprawnego transferu danych audio. Trudno powiedzieć, czy jest to przypadek komputerka, czy raczej zastosowanego sposobu zasilania albo umiejscowienia, w co prawda otwartej, ale metalowej obudowie. Tak czy inaczej, jeżeli jest taka możliwość, to powinno się wyłączyć Wi-Fi z poziomu ustawień Volumio.

Nie będę szczegółowo opisywał konfiguracji sieci czy konfiguracji interfejsu katalogowania i wyszukiwania nagrań. Interfejs jest



Fotografia 6. Połączenia pomiędzy modułem zasilacza i przetwornika

w miarę intuicyjny, a w przypadku wątpliwości można poczytać instrukcję. Skupimy się na skonfigurowaniu interfejsu audio I²S tak, by Volumio działało z naszym przetwornikiem. W zakładce *Ustawienia* → *Opcje odtwarzania* są cztery panele:

- wyjście audio,
- opcje odtwarzania,
- opcje głośności,
- audio resampling.

Najpierw trzeba w panelu *Wyjście Audio* włączyć interfejs I²S i z menu wybrać typ przetwornika. Na liście jest sporo różnych typów. O ile mi wiadomo, aplikacja może

obsługiwać, oprócz samego interfejsu I²S, różne funkcje dodatkowe, na przykład cyfrową regulację w układzie przetwornika za pomocą jakiegoś interfejsu szeregowego, choćby SPI. W naszym przypadku potrzebujemy tylko sygnału I²S, bo nasza konstrukcja nie przewiduje funkcji dodatkowych. Wybieramy Generic I²S DAC. Ustawienia wyglądają następująco:

- urządzenie audio: Generic I²S DAC,
- I²S DAC – ON,
- DAC Model Generic I²S DAC.

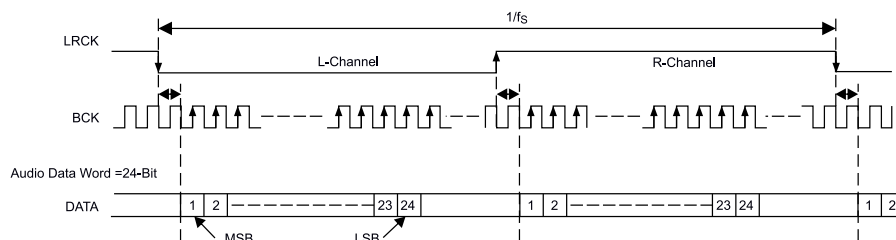
Klikamy na *Zapisz*. Powyższą konfigurację pokazuje **rysunek 14**.



Rysunek 14. Konfiguracja wyjścia I²S



Rysunek 15. Opcje odtwarzania



Rysunek 16. Przykład przesyłania danych 24-bitowych przez I²S

Można eksperymentalnie wybrać inne przetworniki i odtwarzacz powinien działać. Kolejnym ustawieniem są opcje odtwarzania (rysunek 15):

- DSD Playback Mode – przyznam, że nie rozumiem tego ustawienia. W instrukcji jest napisane, że jeżeli DAC nie obsługuje bezpośrednio DSD, to trzeba strumień danych przesyłać przez jakiegoś typu konwersję na PCM. W moim przypadku odtwarzanie działało przy obu ustawieniach i zostawiłem DSD Direct;
- DSD Auto Volume Level i Normalizacja głośności – nasz przetwornik nie obsługuje żadnych z tych opcji i zostały one wyłączone;
- Rozmiar bufora Audio – tu definiuje się, jaka jest pojemność bufora w pamięci RAM na dane audio. Im większy bufor, tym mniej transferów danych z dysku lub sieci. W miarę możliwości wybieramy największą wartość;
- Buforuj przed odtwarzaniem – procent zapęłnienia bufora przed rozpoczęciem odtwarzania.

W panelu *Opcje głośności* można włączyć programowy mixer. Programowa modyfikacja cyfrowego sygnału audio jest dość prosta w implementacji. Możemy regulować głośność, filtrować pasmowo (equalizer) itp. Jednak każda z tych modyfikacji powoduje, że tracimy jakąś część jakości sygnału wejściowego. Z mojego doświadczenia wynika, że regulacje poziomu sygnału najlepiej jest robić po konwersji w torze analogowym. Dlatego mixer programowy wyłączyłem, ale dla zabawy można go włączyć i sprawdzić, czy dobrze działa.

Przechodzimy do ostatniego panelu *Audio Resampling*. Zagorzali audiofile chcieliby, żeby odtwarzacz spełniał wymagania tak zwanego bit perfect, czyli że cyfrowy

sygnał wejściowy nie powinien być w ogóle modyfikowany. To oczywiście w przetwornikach typu PCM1794A nie jest możliwe, bo wejściowy strumień danych jest i tak poddawany 8-krotnemu nadpróbkowaniu przed konwersją C/A. Przyjmuje się, że odpowiednio wykonany resampling, czyli zmiana częstotliwości próbkowania, go nie degradowe, tak jak na przykład cyfrowa regulacja poziomu sygnału (głośności). Teoretycznie, również sztuczne zwiększanie rozdzielczości sygnału wejściowego jest zabiegiem obojętnym. Dlaczego o tym piszę? Bo pojawił się problem, którego rozwiązaniem było włączenie opcji resamplingu i porzucenie idei bit perfect już na wejściu przetwornika.

Na płytach kompaktowych CD materiał dźwiękowy ma parametry: słowo 16-bitowe i częstotliwość próbkowania 44,1 kHz. Pliki .wav o takich parametrach nie były przez przetwornik w ogóle odtwarzane. Początkowo przy uruchamianiu urządzenia trudno było zrozumieć przyczynę. Okazało się jednak, że Volumio odtwarza takie pliki w ciekawy sposób.

Jak wiemy, w interfejsie I²S sygnał LRCK ma częstotliwość równą częstotliwości próbkowania. W czasie połowy okresu LRCK przesyłane są 32 bity jednego kanału, a w czasie drugiej połowy okresu – kolejne 32 bity drugiego kanału. 32 bity na kanał jest przyjęte nadmiarowo, żeby w przyszłości, kiedy pojawią się pliki o większych rozdzielczościach, nie trzeba było projektować i stosować nowego standardu. Sygnał BCK, w czasie całego okresu LRCK, taktuje przesłanie 64 bitów, czyli ma częstotliwość równą 64 fs (rysunek 16).

W przypadku danych z płyt CD o długości 16 bitów Volumio robi coś dziwnego. LRCK ma częstotliwość 44,1 kHz, na linii danych jest przebieg z danymi, lecz słowo danych dla

jednego kanału ma długość 16 bitów, a nie 32 bitów. Z tego powodu, w czasie przesyłania danych dla dwu kanałów, są przesyłane 32 bity i BCK ma częstotliwość 32 fs. PCM1794A nie rozumie takiego formatu wejściowego i blokuje konwersję. Przetwornik nie działa i brak jest sygnału na wyjściu. Jednym rozwiązaniem, które znalazłem, jest włączenie modułu *Audio Resampling* i zwiększenie w ustawieniach *Target Bit Depth* formatu do 24 bitów (więcej niż 16 bitów). Operacja zwiększenia długości słowa polega na dopisaniu ośmiu zer na najmłodszych ośmiu pozycjach słowa danych. Nie powinno to mieć żadnego znaczenia dla odtwarzania, ale na wejściu przetwornika jest jednak zmodyfikowany sygnał danych. Po ustawieniu opcji wszystko zaczęło działać. Można zostawić 44,1 kHz albo najlepiej opcję *native*, bo wtedy resampler nie zmienia częstotliwości próbkowania sygnału wejściowego. Przykład ustawienia panelu *Audio Resampling* pokazuje rysunek 17.

W czasie testów ustawiałem różne *Target Sample Rate*, od *native*, przez 48 kHz do 88,4 kHz. Nie usłyszałem jakiegóż wyczuwalnej różnicy w działaniu przetwornika. Nie było to zbyt dogłębne testy i nie należy z nich wyciągać ostatecznych wniosków. Jakość algorytmu ustawiamy na najwyższą *Very High*. Po tych zmianach sygnał I²S na wyjściu Raspberry Pi pod kontrolą Volumio wyglądał tak jak na rysunku 16.

Robiłem testy także ze zwiększeniem długości do 24 bitów słowa danych, w trakcie zgrywania plików z płyty poprzez Nero. Takie pliki były również odtwarzane prawidłowo, tylko że niepotrzebnie miały, co zrozumiałe, sporo większą objętość. Co ciekawe, w Internecie nie ma żadnych informacji o tym problemie, więc być może jest jakieś inne wyjście zapewniające odtwarzanie bit perfect, którego nie znalazłem.

Ekran odtwarzania wyświetlany na komputerze jest wygodny i przejrzysty (rysunek 18). Z lewej strony jest umieszczona kontrolka czasu odtwarzania, czas całkowity oraz parametry pliku utworu (format pliku .wav, częstotliwość próbkowania 44,1 kHz, długość słowa danych pliku 16 bitów). Pośrodku jest umieszczona okładka albumu i nazwa odtwarzanego utworu (jeżeli jest zapisana w postaci pliku graficznego w katalogu utworu), a z prawej strony – nieaktywna kontrolka regulacji głośności (ta funkcja została wyłączona). Pasek na dole ekranu powiela informację o pliku (nazwa utworu i parametry próbkowania), pasek postępu odtwarzania i kontrolki PLAY, PAUSE, STOP, następny/ poprzedni utwór, odtwarzanie w pętli i odtwarzanie losowe.

Praca ze stroną WWW na komputerze jest dość komfortowa, ale komputer niezbyt się sprawdza w roli mobilnego pilota do sterowania. Lepszy w tej roli jest smartfon. W sklepie



Rysunek 17. Ustawienia panelu Audio Resampling



Rysunek 18. Ekran odtwarzania komputera z systemem Windows

Google Play jest dostępna płatna aplikacja Volumio, ale jej nie używałem. Do sterowania pracą odtwarzacza zupełnie wystarczy przeglądarka Chrome, uruchomiona na smartfonie połączonym przez Wi-Fi z lokalną siecią LAN, do której też jest połączony Volumio. Jak wspominałem wcześniej, na smartfonie trzeba w pasku adresu wpisać adres IP, przydzielony Volumio przez router. Po połączeniu, dostępne są wszystkie funkcje ustawień, wyszukiwania i odtwarzania utworów. Co prawda nie jest to takie komfortowe jak w przypadku komputera, ale smartfon doskonale spełnia funkcję inteligentnego pilota zdalnego sterowania odtwarzaczem, podłączonym do lokalnej sieci LAN przez Wi-Fi lub Ethernet, umieszczonego w dowolnym miejscu mieszkania. To bardzo wygodne rozwiązanie, bo odtwarzacz można schować na przykład w szafce i nie musi mieć atrakcyjnej obudowy. Na rysunku 19

pokazano typowy ekran sterowania odtwarzaniem utworu.

Podsumowanie

Testowałem przetwornik w dwóch zestawach. Pierwszy z bardzo dobrym wzmacniaczem DIY i słuchawkami Bayerdynamic DT880PRO. Zestaw pozwala z jednej strony na usłyszenie wszelkich niedociągnięć przetwornika, a z drugiej, ze względu na jakość toru, pozwala na uzyskanie jak najlepszej jakości odtwarzanej muzyki. Drugi zestaw to wzmacniacz lampowy TU-8200 japońskiej firmy Elekit i kolumny Tannoy o efektywności 92 dB. W **bardzo subiektywnej ocenie** jest to jeden z najlepiej brzmiących przetworników, jakie słyszałem. Rewelacyjna separacja kanałów, połączona z detalicznością i świetną lokalizacją źródeł na scenie muzycznej. Do tego wiele powietrza i przestrzeni. Słuchanie muzyki przez dłuższy



Rysunek 19. Ekran smartfonu sterowany odtwarzaniem utworu przez Volumio

czas sprawia wiele przyjemności i nie jest absolutnie męczące. Nie bez znaczenia jest możliwość łatwego wyboru odtwarzanego materiału muzycznego, z większej lub mniejszej własnej biblioteki muzycznej, oferowanej przez oprogramowanie komputera Raspberry Pi. Nie można tej wygody porównać do odtwarzania płyt w typowym odtwarzaczu CD.

Tomasz Jabłoński, EP

REKLAMA



KITy AVT na wideo: [HTTP://BIT.LY/2SCLZTY](http://bit.ly/2SCLZTY)

O KIT-ach AVT przeczytasz również na Facebooku:
[HTTP://BIT.LY/2BJVMN7](http://bit.ly/2BJVMN7)



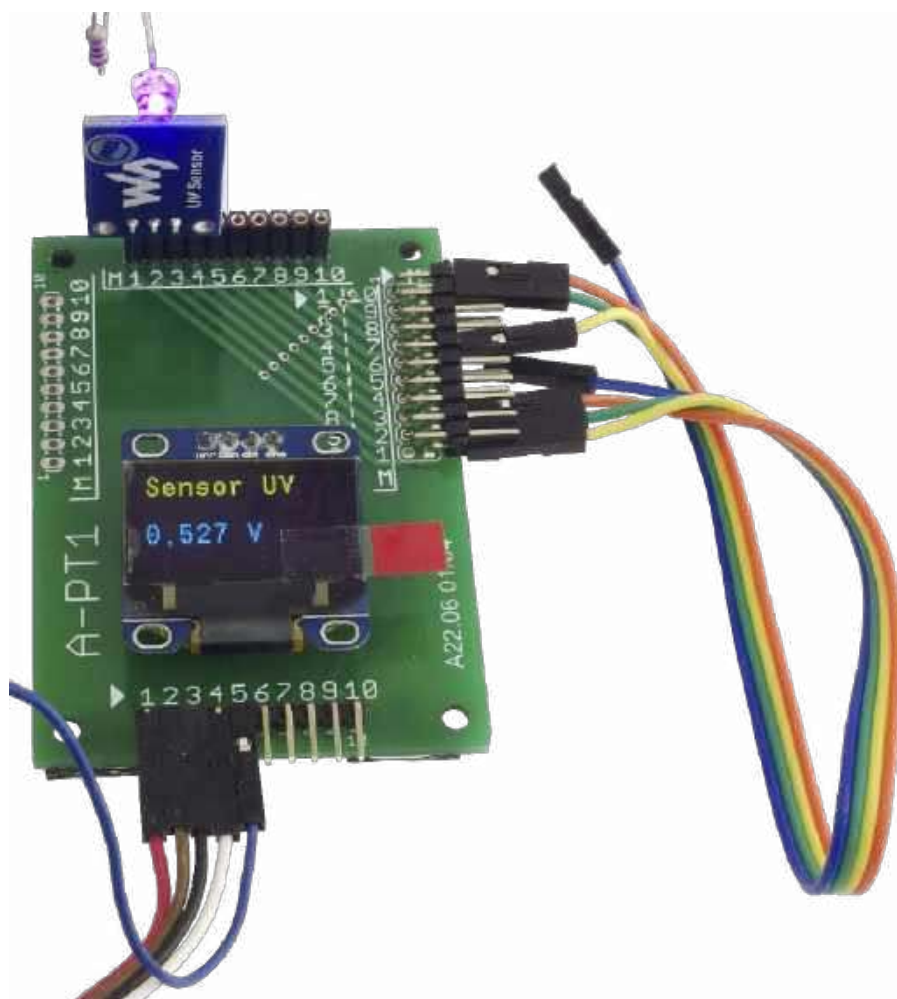
Czujnik światła ultrafioletowego

Urządzenie zostało zbudowane z użyciem fotoelementu reagującego na światło z zakresu UV. Napięcie na wyjściu sensora jest proporcjonalne do natężenia promieniowania. Urządzenie, po przeprowadzeniu kalibracji, może pełnić funkcję wskaźnika indeksu UV. Przyda się także do inspekcji promienników ultrafioletu, których wydajność maleje z upływem czasu.

Światło widziane przez człowieka stanowi wąski wycinek spektrum promieniowania elektromagnetycznego. Ludzkie oko reaguje na promieniowanie o długości fali od około 780 nm do 380 nm. Niewidzialne promieniowanie o fali krótszej niż 380 nm nazywane jest ultrafioletem lub nadfioletem.

Na **rysunku 1** pokazano umowny podział widma światła w zależności od długości fali. Ultrafiolet ze względu na oddziaływanie na organizmy żywe dzielony jest na trzy podzakresy. Promieniowanie UVA jest najmniej szkodliwe. Potrafi najgłębiej wnikać w głąb skóry i w dużych dawkach prowadzi do uszkodzenia włókien kolagenowych, przyspieszając starzenie. UVB w niskich dawkach powoduje wytwarzanie w skórze witaminy D3, co jest korzystne dla organizmu. W większych powoduje oparzenia i zmiany chorobowe. Energia promieniowania UVC jest na tyle duża, że może rozbić łańcuchy DNA i niszczyć żywe komórki.

Jednak ultrafiolet ma także wiele pozytywnych zastosowań. W lampach jarzeniowych wykorzystywane jest zjawisko fluorescencji, czyli świecenia substancji zwanych luminoforami. Substancje te pochłaniają wytworzone w lampie promieniowanie UV i oddają potem część energii w postaci światła w zakresie widzialnym. Zjawisko fluorescencji wielu substancji, w tym organicznych,

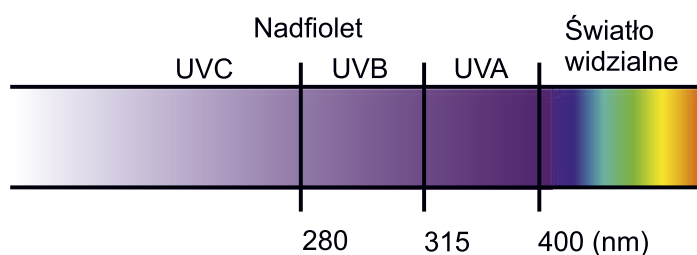


wykorzystywane jest w kryminalistyce do ujawniania śladów niewidocznych w normalnym oświetleniu. Także banknoty i dokumenty zabezpieczane są dyskretnymi nadrukami świecącymi w ultrafiolecie. Naświetlanie silnym światłem UV stosowane jest podczas utwardzania niektórych lakierów. Własności bakteriobójcze promieniowania UVC wykorzystywane są do sterylizacji narzędzi i powierzchni. Ze względu na krótszą niż światło widzialne długość fali używa

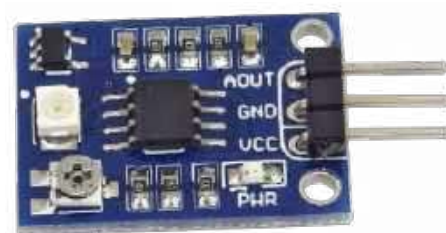
się ultrafioletu w fotolitografii podczas produkcji układów scalonych.

Budowa sensora

Na **fotografii 1** został pokazany moduł czujnika, w którym jako detektor promieniowania ultrafioletowego pracuje fotodioda GUA-S12SD. Na **rysunku 2** została pokazana charakterystyka tego elementu. Fotodioda GUA-S12SD reaguje na promieniowanie z przedziału od 370 nm do 240 nm,



Rysunek 1. Zakresy promieniowania UV



Fotografia 1. Moduł sensora UV

czyli jest wrażliwa na promieniowanie ultrafioletowe z zakresu UVA, UVB i częściowo UVC. Brak wrażliwości na światło widzialne eliminuje konieczność stosowania dodatkowych filtrów.

Niewielki prąd wytwarzany przez oświetlaną ultrafioletem fotodiode jest zamieniany na proporcjonalny poziom napięcia przez wzmacniacz operacyjny SGM8521. Dodatkowe wzmocnienie zapewnia drugi wzmacniacz operacyjny LM358. Odwrócenie fazy wnoszone przez drugi układ sprawia, że napięcie wyjściowe rośnie proporcjonalnie do natężenia promieniowania padającego na fotodetektor.

Napięcie zasilania modułu mieści się w przedziale od 3 V do 5,5 V, przy prądzie rzędu miliamperów. Napięcie na wyjściu analogowym modułu jest proporcjonalne do intensywności promieniowania ultrafioletowego padającego na fotodiode.

Pomiar indeksu UV

Naturalnym źródłem promieniowania ultrafioletowego jest Słońce. Ziemska atmosfera, w tym warstwa ozonowa, filtruje groźne promieniowanie z zakresu UVC i większość UVB. Jednak nawet ta część, która dociera do powierzchni Ziemi, szczególnie latem i podczas bezchmurnych dni, może być niebezpieczna dla zdrowia. Dla informacji o poziomie promieniowania i zalecanych środkach ostrożności opracowano indeks UV. Tak jak w przypadku prognoz meteo jest podawany dla określonego dnia i miejsca. Indeks wyrażany jest wartością liczbową z przedziału 1...11, gdzie:

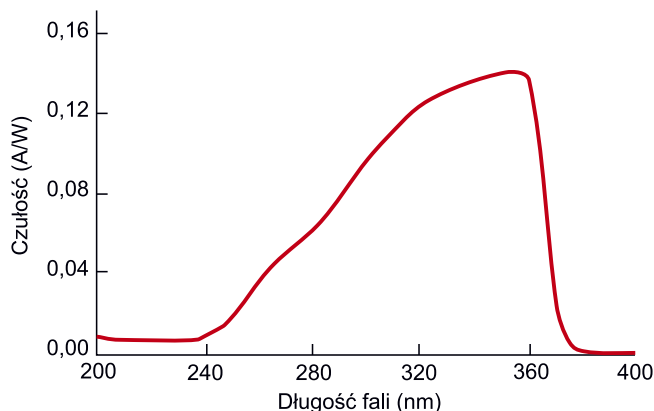
- 1...2 – niski poziom promieniowania,

- 3...5 – średni poziom promieniowania, zalecane okulary i chronienie odkrytych części ciała,
- 6...7 – poziom wysoki, dodatkowo zaleca się stosowanie kremów ochronnych,
- 8...10 – bardzo wysoki poziom promieniowania, dodatkowo zaleca się przebywanie w cieniu,
- 11 – skrajnie wysoki poziom promieniowania UV, należy ograniczyć czas przebywania poza pomieszczeniami.

Mierząc poziom napięcia wyjściowego modułu czujnika, można samemu określić aktualną wartość indeksu UV. Na stronie <https://bit.ly/3oaorKP> autor podaje dla modułu z czujnikiem GUVAS12SD poziomy napięcie wyjściowych odpowiadające poziomom indeksu UV.

Budowa urządzenia

Na fotografii tytułowej został pokazany moduł sensora UV i wyświetlacz. Obydwa elementy podłączone są do płytki NUCLEO-F091. Wyjście modułu przyłączono do portu PA0, który pracuje jako wejście przetwornika ADC. Po konwersji wyniku na wartość napięcia odczytany poziom jest wyświetlany na, sterowanym magistralą I2C1, wyświetlaczu OLED. Moduł UV



Rysunek 2. Wykres czułości fotodiody GUVAS12SD

Tabela 1. Poziomy napięcie wyjściowych modułu i odpowiadające im wartości indeksu UV

Wyjście [mV]	Index UV	Wyjście [mV]	Index UV
<50	0	696	6
227	1	795	7
318	2	881	8
408	3	976	9
503	4	1079	10
606	5	>1170	11

zasilany jest napięciem 3,3 V pobieranym ze złącza NUCLEO. Dla testu fotodiody modułu oświetlana była diodą LED małej mocy, emitującą promieniowanie UV. W pogodny dzień sprawdzono zgodność pomiaru indeksu UV do wartości 3.

Ryszard Szymaniak
biuro@ars.info.pl

REKLAMA

K L U B
AVT
ELEKTRONIKA

Wstąp do
Klubu AVT Elektronika

będziesz miał prawo do korzystania z szeregu przywilejów:

- do 50% zniżki w Sklepie AVT
- darmowe prenumeraty Wydawnictwa AVT
- do 50% zniżki w Ulubionym Kiosku
- Zapraszamy do zapoznania się z zasadami Klubu!



[HTTP://BIT.LY/2GADWTO](http://bit.ly/2GADWTO)

Moduł audio DAC z układem CS4344

Miniaturowy moduł DAC zawiera odbiornik SPDIF WM8804 i przetwornik D/A typu CS4344. Znajdzie zastosowanie jako samodzielne urządzenie lub moduł wbudowany we wzmacniacz audio, rozszerzający jego funkcje o bezpośrednie wejście sygnału cyfrowego SPDIF.

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

W ofercie AVT* AVT-5828

Podstawowe parametry:

- wejście SPDIF,
- przetwornik audio o parametrach: 192 kHz/24 bity,
- niewielkie wymiary płytki,
- zasilanie 4,5-6 V/100 mA.

Wykaz elementów:

Rezystory: (SMD0805 1%)

R1, R2: 1 kΩ
R3, R7, R8: 10 kΩ
R4: 75 Ω
R5, R6: 470 Ω

Kondensatory:

C1: 1 μF SMD0805
C2, C3: 18 pF SMD0805
C4, C5, C8, C9, C12: 0,1 μF SMD0805
C6, C7: 2,2 nF SMD0805
C10, C11: 4,7 μF SMD1206
CE1, CE4, CE5: 10 μFT/10 V SMA tantalowy
CE2, CE3: 10 μF/10 V elektrolityczny
CE6 100 μF/10 V elektrolityczny

Półprzewodniki:

LD1: LED SMD0805
D1: 1N4001 SMD
U1: ADM1815-5ART (SOT-23)
U2: WM8804 (SSOP20)
U3: CS4344CZZ (TSSOP10)
U4: ADP7104ARDZ-3.3 (S08TP)

Pozostałe:

FB1, FB2: dławik ferrytowy 600 R/100 mA SMD0805
XT: rezonator kwarcowy 12 MHz 3,2x2,5 mm
OUT: gniazdo mini jack 3,5 mm stereo
PWR: złącze śrubowe 3,5 mm 2 pin
SPDIF: gniazdo RCA do druku

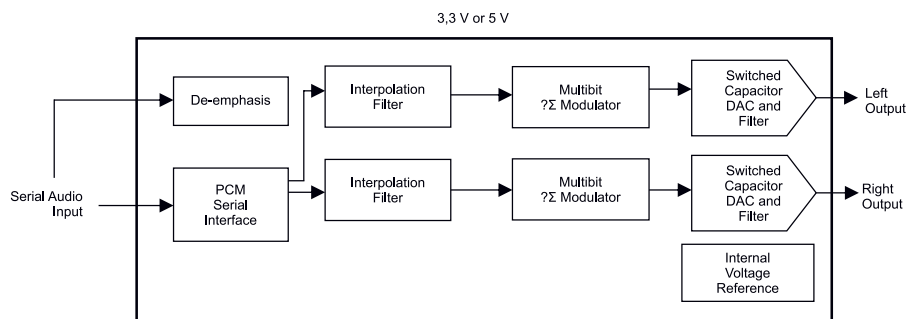
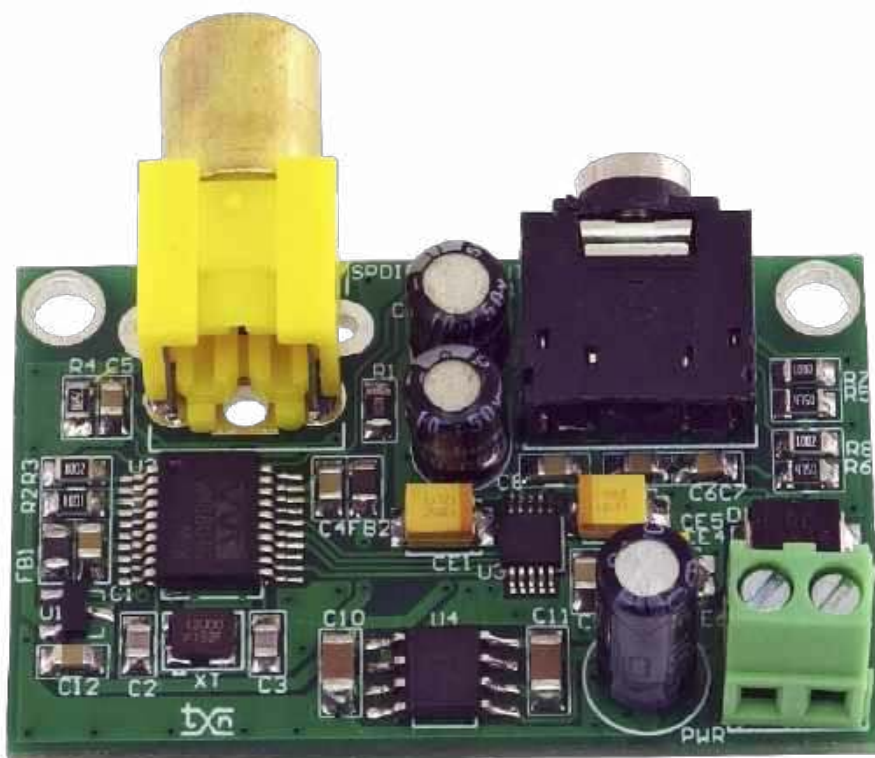
Uwaga! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu. Wymagana umiejętność lutowania! Podstawową wersją zestawu jest wersja [B] nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji [B] zawiera elementy elektroniczne (w tym [UK] – jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wlutować 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] – płytkę drukowaną bez elementów i dokumentacji Kity w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [A*] – płytkę drukowaną [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
- wersja [UK] – zaprogramowany układ

Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja na załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz! <http://sklep.avt.pl>. W przypadku braku dostępności na <http://sklep.avt.pl>, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.

W module zastosowano układ odbiornika/dekodera sygnału SPDIF do standardu I²S typu WM8804 oraz układ CS4344 firmy Cirrus Logic, który jest kompletnym rozwiązaniem przetwornika D/A audio 192 kHz/24 bity. Przetwornik pochodzi z linii produktów znajdujących zastosowanie w sprzęcie przenośnym powszechnego użytku.

Schemat wewnętrzny CS4344 został pokazany na **rysunku 1**. Układ zawiera wszystkie



Rysunek 1. Schemat wewnętrzny CS4344

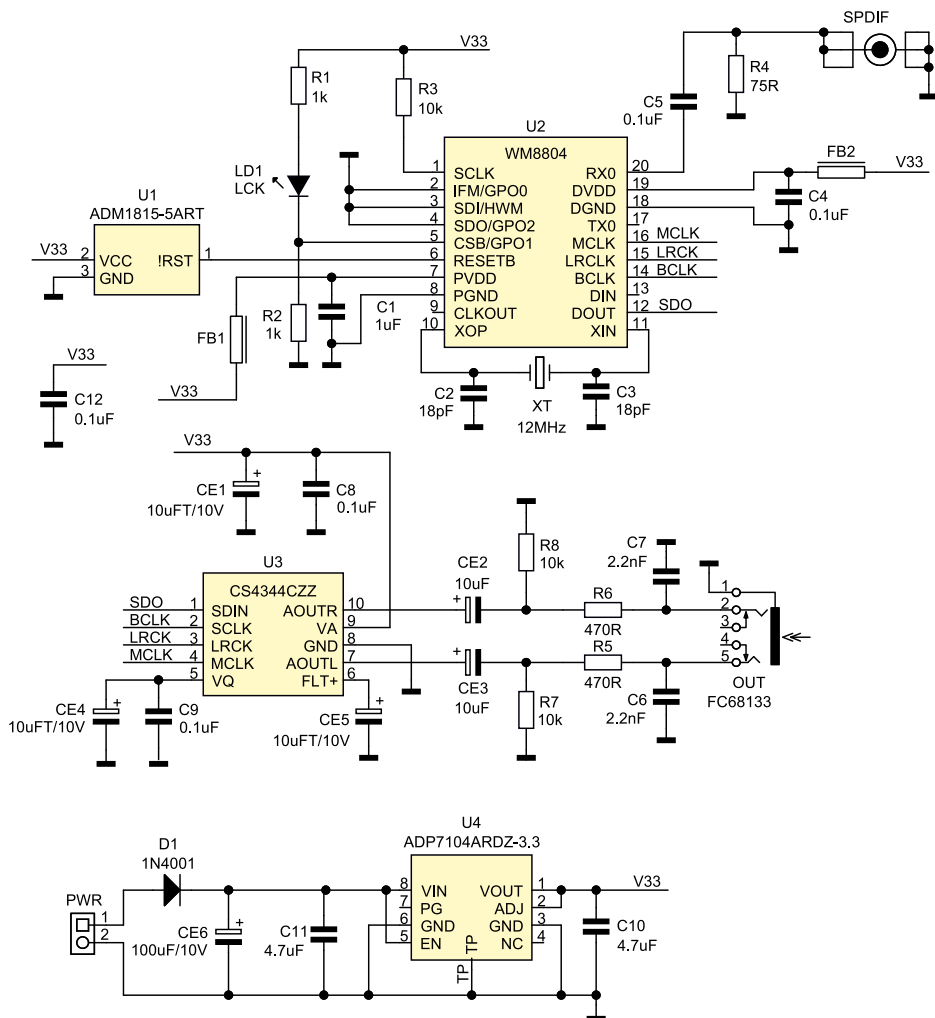
elementy konieczne do odbioru sygnału I²S i przetwarzania D/A. Do poprawnej pracy wymaga kilku elementów zewnętrznych tj. kondensatorów odprężających zasilanie i prostego filtra wyjściowego RC. Sygnał I²S poddany zostaje cyfrowej interpolacji i filtrowaniu w bloku filtrów cyfrowych (takowanych sygnałem MCLK), stąd poprzez modulatory delta-sigma trafia na przetwornik z przełączanymi pojemnościami, konwertujący sygnał do postaci analogowej, który filtrowany jest w dolnoprzepustowym filtrze analogowym RC.

Przetwornik CS4344 został wybrany ze względu na przyzwoite parametry, prostotę aplikacji, łatwą w montażu obudowę MSOP10 oraz niski koszt aplikacji. W tej samej obudowie dostępne są też przetworniki ze standardem LJ (CS4345) i RJ (CS4334).

Budowa i działanie

Schemat modułu został pokazany na **rysunku 2**. Sygnał cyfrowy audio z wejścia SPDIF typu RCA jest doprowadzony do odbiornika SPDIF U2 typu WM8804. Odbiornik pracuje z konfiguracją ustalaną sprzętowo za pomocą wyprowadzeń SCLK, HWM, GPO0, GPO1, GPO2. Po zdekodowaniu sygnału SPDIF wyjście w standardzie I²S jest doprowadzone do przetwornika D/A U3 typu CS4344.

Układ WM8804 pracuje w trybie master, generując sygnały taktujące magistrali I²S: LRCK, BCLK oraz sygnał zegarowy MCLK. Układ resetu U1 ADM1815 zapewnia poprawny start U2 po załączeniu zasilania. Napięcie zasilające odbiornik dodatkowo filtrowane jest poprzez FB1/C1 dla obwodu wbudowanego PLL i FB2/C4 dla części cyfrowej. Układ U2 jest taktowany kwarcem XT o częstotliwości 12 MHz. Dioda LD1

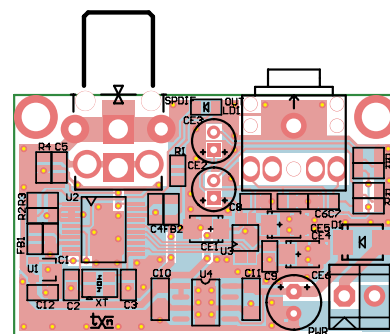


Rysunek 2. Schemat modułu przetwornika CS4344

sygnalizuje poprawne dekodowanie sygnału SPDIF.

Sygnał wyjściowy z przetwornika D/A poprzez kondensatory separujące składową stałą

CE2, CE3 jest doprowadzony do prostego filtra dolnoprzepustowego z elementami R6, C7 i R5, C6 eliminującego pozostałości przetwarzania D/A. Układ odbiornika



Rysunek 3. Rozmieszczenie elementów

U2 i przetwornika U3 zasilany jest napięciem 3,3 V pochodzącym z niskoszumowego stabilizatora U4 typu ADP7104. Moduł wymaga zasilania napięciem stałym o wartości 4,5...6 V/100 mA poprzez złącze PWR. Dioda D1 zabezpiecza przed uszkodzeniem w przypadku odwrotnego podłączenia zasilania, kondensatory C10, C11, CE6 odsprężają zasilanie.

Montaż i uruchomienie

Układ jest zmontowany na niewielkiej płytce drukowanej pokazanej na **rysunku 3**.

Sposób montażu jest klasyczny i nie wymaga szczegółowego opisu. Układ nie wymaga uruchomienia, po poprawnym zmontowaniu i sprawdzeniu poprawności można podłączyć źródło SPDIF, zasilanie i cieszyć się muzyką.

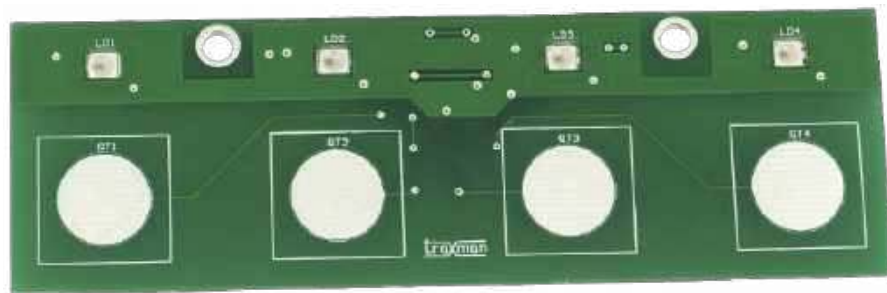
Ze względu na niewielki rozmiar i pobór mocy możliwe jest zastosowanie „mobilne” przetwornika i zasilanie go z pakietu 4 akumulatorów Ni-MH połączonych szeregowo.

Adam Tatus
adam.tatus@ep.com.pl

Analogowa klawiatura dotykowa

Zaprezentowana czteroprzyciskowa klawiatura przyda się tam, gdzie trudne warunki pracy eliminują zastosowanie przycisków mechanicznych. Dzięki analogowemu interfejsowi wykorzystuje tylko jeden pin procesora, a sygnalizacja stanu klawiszy na inteligentnych diodach RGB dodatkowo poszerza zakres zastosowań klawiatury.

Stan klawiatury określa sygnał analogowy KEY. Pomiar napięcia na tym wyjściu pozwala na określenie wciśniętego przycisku. Progi dzielnika dobrane są następująco: klawiatura nieaktywna KEY=4 V, aktywne kolejno: Q1=3 V, Q2=2 V, Q3=1 V,

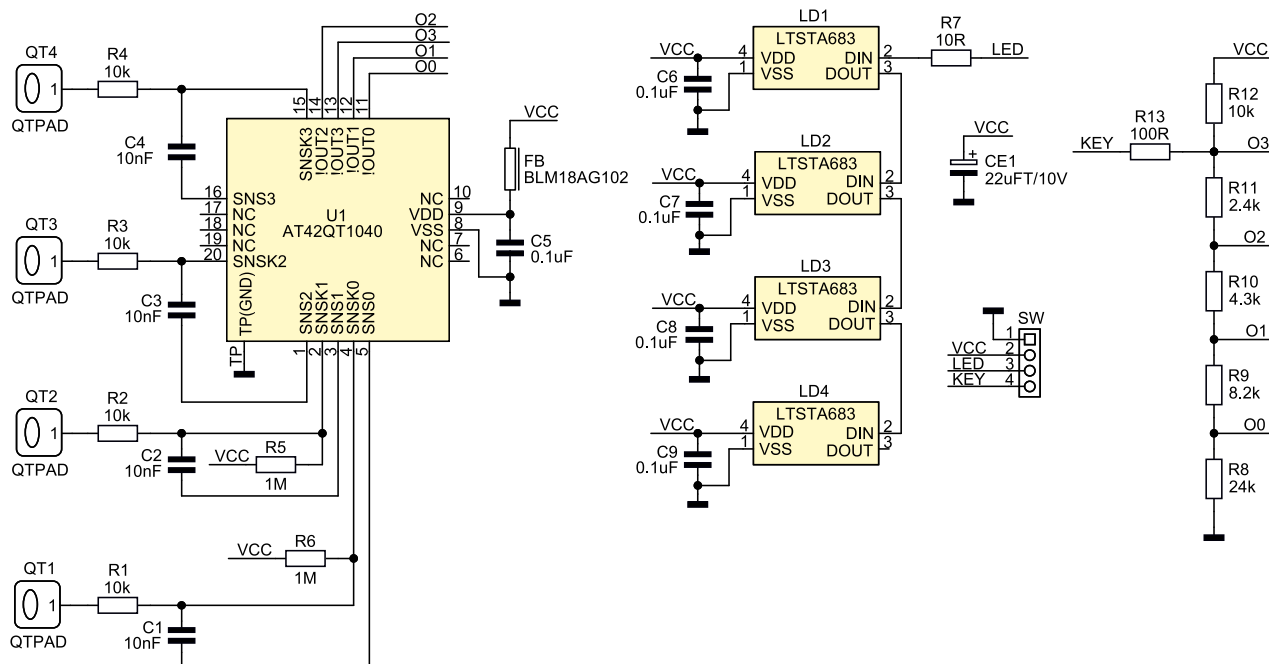


Q4=0 V. Do sygnalizacji stanu klawiatury zastosowano diody LD1...LD4 typu LTST-A683CEGBW. Diody umieszczone są nad każdym polem dotykowym. Dzięki wbudowanemu sterownikowi, zgodnemu z WS2812, do sterowania diodami LED wystarczy tylko jeden pin procesora połączony z pierwszą diodą łańcucha (LD1), kolejne

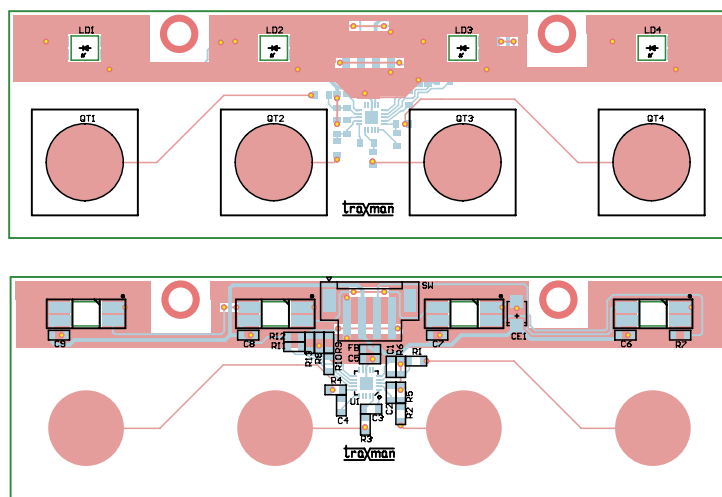
diody połączone są kaskadowo. Możliwe jest sterowanie ich jasnością i kolorem świecenia.

Budowa i działanie

Schemat układu został pokazany na **rysunku 1**. Bazuje na specjalizowanym kontrolerze AT42QT1040, który obsługuje cztery pola dotykowe z funkcją przycisku



Rysunek 1. Schemat układu



Rysunek 2. Schemat płytki PCB wraz z rozmieszczeniem elementów

chwilowego. Jako sensory służą pola QT1...QT4 o średnicy 10 mm, wykonane bezpośrednio na płytce drukowanej. Kondensatory C1...C4 odpowiadają za czułość przycisków – dla mniejszych wartości (np. 2,2 nF) czułość jest niższa, ale również odporność na zakłócenia i szybkość detekcji. Użyteczny zakres pojemności wynosi 2,2...22 nF i należy je dobrać doświadczalnie, po zamontowaniu klawiatury w obudowie.

Wyprowadzenie SNSK0 określa tryb pracy klawiatury, w modelu jest to tryb AKS, w którym układ sygnalizuje dotknięcie tylko jednego pola. Tryb aktywowany jest rezystorem R6 podciągającym linię SNSK0 do VCC. Wyprowadzenie SNSK1 określa szybkość reakcji na dotyk, w modelu ustawiono szybką detekcję poprzez podciągnięcie linii SNSK1 do VCC rezystorem R5. Układ AT42QT1040 ma wyjścia typu otwarty dren, które sterują dzielnikiem zbudowanym z rezystorów R8...R13.

Układ zasilany jest napięciem 5 V $\pm 10\%$ poprzez złącze SW (JST PH 2.00 mm). Do złącza doprowadzone są sygnały KEY z U1 i LED z LD1...LD4. Układ pracuje poprawnie także przy zasilaniu 3,3 V, ograniczeniem jest jednak

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

W ofercie AVT* AVT-5831

Podstawowe parametry:

- cztery pola dotykowe jako obszary miedzi na płytce PCB,
- wyjście analogowe – każdy przycisk odpowiada innej wartości napięcia na tym wyjściu,
- przy każdym polu dotykowym znajduje się dioda RGB zgodna z WS2812.

Wykaz elementów:

Rezystory: (SMD0603 1%)

R1, R2, R3, R4, R12: 10 kΩ
R5, R6: 1 MΩ
R7: 10 Ω
R8: 24 kΩ
R9: 8,2 kΩ
R10: 4,3 kΩ
R11: 2,4 kΩ
R13: 100 Ω

Kondensatory:

C1...C4: 10 nF SMD0603
C5...C9: 0,1 μF SMD0603
CE1: 22 μF/10 V tantalowy SMDA

Półprzewodniki:

LD1...LD4: dioda LED RGB ze sterownikiem LTST-A683CE6BW
U1: AT42QT1040 (VQFN20)

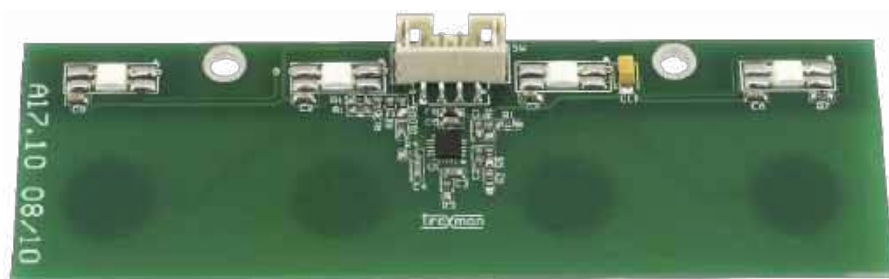
Pozostałe:

FB: dławik ferrytowy SMD0603 BLM18AG102
SW: złącze JST 2 mm

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

- wersja [C] – zamontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw [B] (elementy wzlutowane w płytkę PCB)
- wersja [A] – płytkę drukowaną bez elementów i dokumentacji. Kity w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [A+] – płytkę drukowaną [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
- wersja [UK] – zaprogramowany układ

Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz! <http://sklep.avt.pl>. W przypadku braku dostępności na <http://sklep.avt.pl>, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.



Fotografia 1. Zmontowana płytki

Listing 1. Kod szkicu testowego dla Arduino

```

#include <Adafruit_NeoPixel.h>
#ifdef __AVR__
#include <avr/power.h>
#endif

#define AKEY_PIN A0 //KEY pin
#define PIXEL_PIN 6 //LED pin
#define PIXEL_COUNT 4 //LED count

Adafruit_NeoPixel strip(
  PIXEL_COUNT, PIXEL_PIN, NEO_GRB + NEO_KHZ800);

boolean oldState = LOW;
int mode = 0;
int brightness = 10;
int wait = 1;
int akeyvalue = 1023;

void setup() {
  strip.begin(); // NeoPixel strip
  strip.setBrightness(brightness);
  strip.show(); // Initialize all pixels to 'off'
  //SerialUSB.begin(9600);
  //SerialUSB.println("LTST-A683+QT1040");
}

void loop() {
  akeyvalue = analogRead(AKEY_PIN);
  //QT1
  if (akeyvalue >= 550 && akeyvalue <= 650) {
    strip.setPixelColor(0, 255, 0, 0);
    strip.show();
    delay(wait);
  }
  //QT2
  if (akeyvalue >= 350 && akeyvalue <= 450) {
    strip.setPixelColor(1, 0, 255, 0);
    strip.show();
    delay(wait);
  }
  //QT3
  if (akeyvalue >= 150 && akeyvalue <= 250) {
    strip.setPixelColor(2, 0, 0, 255);
    strip.show();
    delay(wait);
  }
  //QT4
  if (akeyvalue >= 0 && akeyvalue <= 50) {
    strip.setPixelColor(0, 0, 0, 0);
    strip.setPixelColor(1, 0, 0, 0);
    strip.setPixelColor(2, 0, 0, 0);
    strip.setPixelColor(3, 255, 255, 255);
    strip.show();
    delay(wait);
    strip.setPixelColor(3, 0, 0, 0);
    strip.show();
    delay(wait);
  }
}

```

specyfikacja zasilania diod LTST-A683CEGBW. Z testów praktycznych, przy zasilaniu 3,3 V, należy ograniczyć jasność LED i najlepiej korzystać tylko z jednego z kolorów RGB.

Montaż i uruchomienie

Układ zmontowany jest na niewielkiej dwustronnej płytce drukowanej, której schemat został pokazany na **rysunku 2**. Diody LD1...4 są elementami z wyprowadzeniami przystosowanymi do montażu odwróconego, należy je wypozyjonować od strony bottom i od tej strony przylutować (**fotografia 1**).

Płytką została przetestowana ze szkłem hartowanym i pleksi o grubości ok. 2 mm, z C1=10 nF, detekcja naciśnięcia odbywała się niezawodnie. Podczas eksperymentów z materiałem i jego grubością należy wyłączyć zasilanie klawiatury, aby po ponownym jego włączeniu procedury autokalibracji mogły zoptymalizować działanie detekcji. Płytką nie ma ekranu na warstwie bottom, powoduje to także zmniejszoną czułość na dotyk od tej strony, należy to uwzględnić podczas montażu.

Dla sprawdzenia działania klawiatury wystarczy prosty szkic dla Arduino

z użyciem biblioteki Adafruit Neopixel (**listing 1**). Program symuluje klawiaturę z trzema przyciskami ustawiającymi Q1, Q2, Q3 i kasującym Q4. Dotyk pierwszego pola potwierdzony jest LD1 świecącą na zielono, drugie pole sygnalizowane jest LD2 na czerwono, trzecie LD3 na niebiesko, kasowanie potwierdzone jest chwilowym świeceniem LD4 na białą.

Adam Tatus

adam.tatus@ep.com.pl

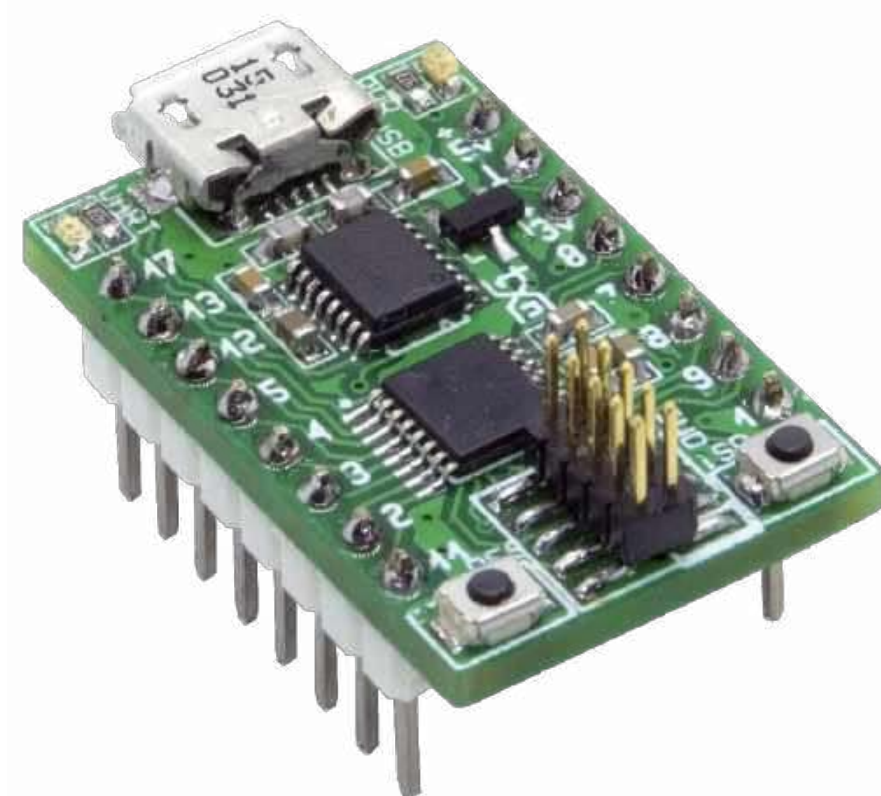
Minimoduł z mikroprocesorem LPC802

Moduł z procesorem NXP typu LPC802M001JHD16 może być ciekawą alternatywą dla popularnych płytek z procesorami AVR (ArduinoEvery), STM (Nucleo), szczególnie gdy nie mamy zbyt wiele miejsca, a nie chcemy rezygnować z wydajności.

Struktura wewnętrzna mikrokontrolera LPC802 została pokazana na **rysunku 1**. Jest to najmniejszy przedstawiciel rodziny LPC80x z rdzeniem Cortex-M0+, i został wyposażony w 16 kB pamięci Flash, 2 kB pamięci RAM i elastycznie konfigurowanych 13 wyprowadzeń GPIO, obsługujących m.in.: USART, I²C, SPI, ADC. Bootloader korzystający z portu szeregowego UART pozwala programować procesor w systemie. Program bootloadera jest umieszczony w wydzielonej części pamięci, nie ma więc też ryzyka jego omyłkowego skasowania.

Budowa i działanie

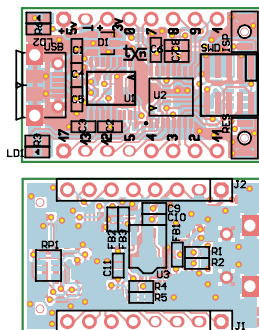
Schemat minimodułu został pokazany na **rysunku 2**. Na niewielkiej płytce drukowanej



The schematic diagram illustrates the internal components and connections of the LPC1114 evaluation board. Key components include:

- FT230XS (U1):** A UART-to-UART bridge chip that interfaces the board's UART pins (P0RXD, P4TXD) with the USB-to-UART bridge.
- USB-to-UART Bridge:** A bridge chip that connects the USB interface (VUSB, VBUS, ID, GND) to the FT230XS.
- MCP1700T33MB (U3):** A 3.3V voltage regulator that provides power to the board from a 5V USB source.
- Power Management:** Includes a 3.3V regulator (U3), a 3.3V voltage divider (R6), and various decoupling capacitors (C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11).
- Connectors:** The board features a USB connector (J2), a UART connector (J1), and a power connector (J3).
- LEDs:** Two LEDs, LD1 and LD2, are connected to the board's power and ground pins.

51



Rysunek 3. Schemat płytki PCB z rozmieszczeniem elementów

zgodnym z płytkami stykowymi i prototypowymi. Wbudowane złącze SWD umożliwia programowanie i debugowanie, także poprzez zewnętrzny programator np. ZL-33PRG. Płytke uzupełniają dwa przyciski RES, do restartu procesora i ISP do wprowadzenia U2 w tryb programowania.

Montaż i uruchomienie

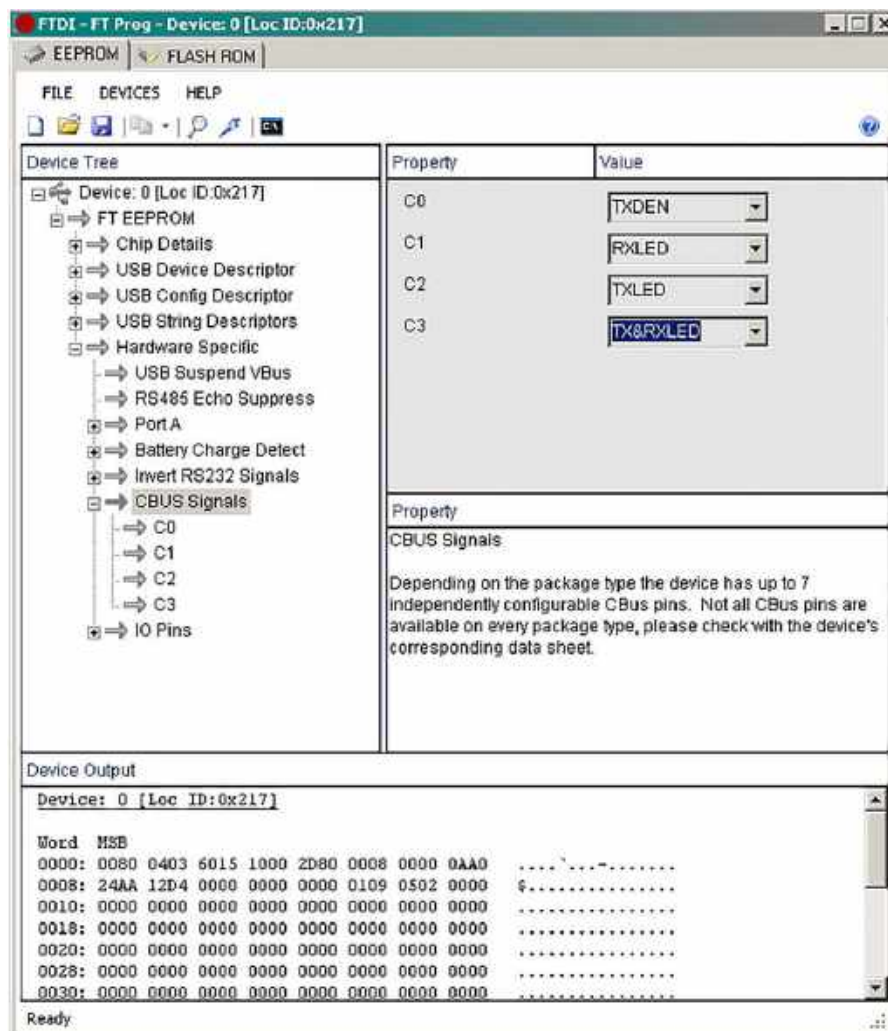
Moduł zmontowany jest na dwustronnej płycie drukowanej pokazanej na **rysunku 3**. Aby zachować możliwie małe wymiary, elementy montowane są dwustronnie. Montaż nie jest skomplikowany i nie wymaga szczegółowego opisu. Rozstaw złączy umożliwił zamontowanie modułu na płytkach prototypowych lub stykowych o rozstawie 100 mils. Zmontowany moduł został pokazany na fotografii tytułowej.

Moduł zmontowany ze sprawnych elementów nie wymaga uruchamiania. Za pomocą oprogramowania FT_Prog należy skonfigurować GPIO FT230XS zgodnie z **rysunkiem 4**, ustawiając pin C3 na sygnalizację sumy sygnałów RXLED+TXLED. Przykładowa konfiguracja dołączona jest do materiałów dodatkowych. Po restarcie układu FT230XS można używać modułu we własnej aplikacji.

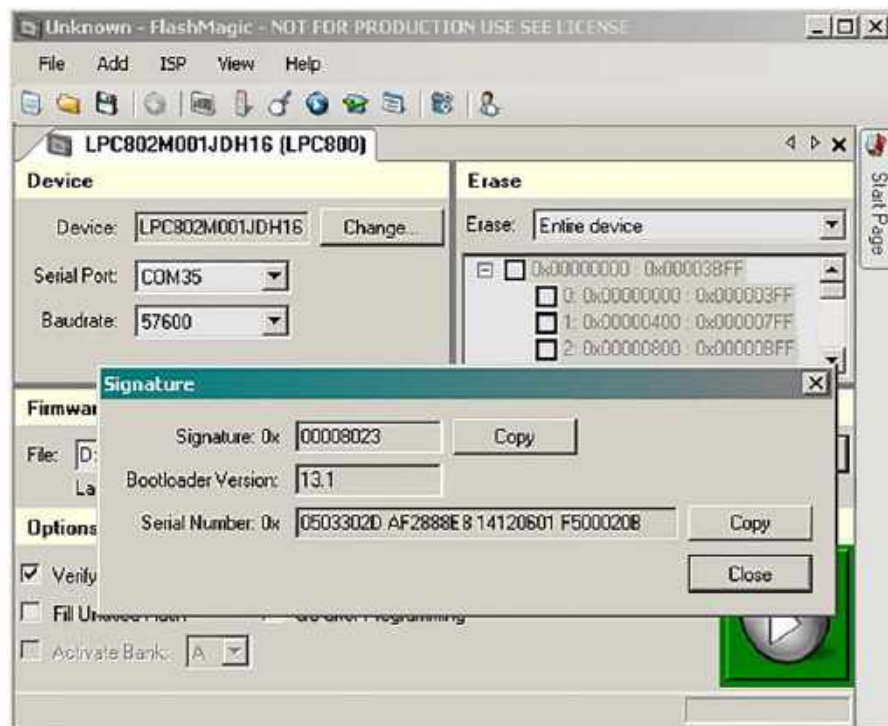
Wprowadzenie modułu w tryb programowania odbywa się poprzez przytrzymanie przycisku ISP w trakcie restartu procesora przyciskiem RES. Po uruchomieniu programu FlashMagic i wyborze typu procesora oraz portu szeregowego sprawdzamy odczyt sygnatury układu (ISP\Read Signature). Jeżeli odczyt działa, to można przejść do programowania układu. W przypadku problemów należy ponownie wprowadzenie układu w tryb ISP.

Do szybkiego startu z modulem można użyć darmowego środowiska MCUXpresso i przykładów przygotowanych dla procesora LPC802 z pakietu LPC802-EX-CODE-MCUXPRESSO.zip. Należy tylko zmodyfikować obudowę układu na JDH16 (SSOP16) i sprawdzić, czy używane piny są dostępne w tej wersji obudowy.

Adam Tatus
adam.tatus@ep.com.pl



Rysunek 4. Konfiguracja układu FTDI230XS



Rysunek 5. Oprogramowanie FlashMagic

<http://forum.ep.com.pl> – tu pomogą rozwiązać problem

Detektor przejścia prądu przez zero

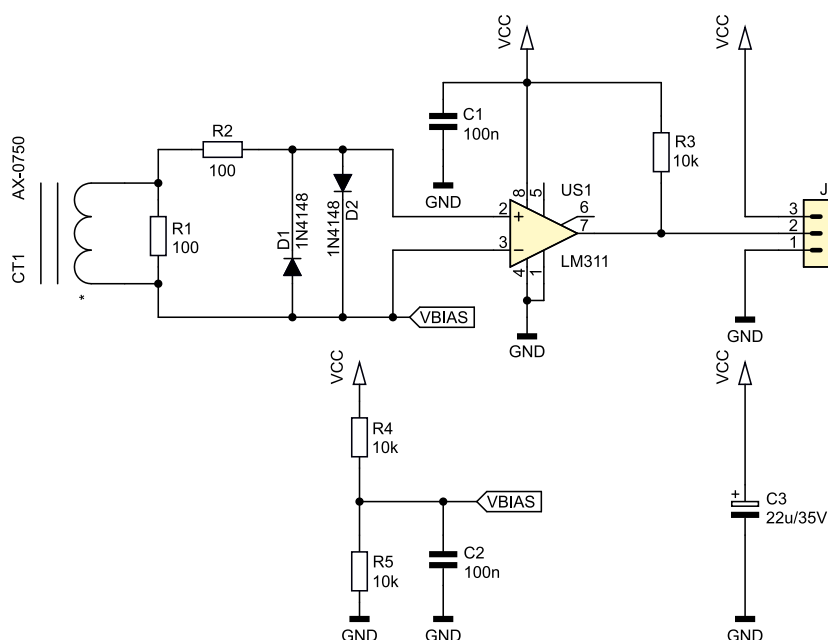
Wykrycie momentu przejścia napięcia przez zero w układach sprzęgniętych z siecią 50/60 Hz jest zadaniem stosunkowo łatwym. Jednak prawidłowe sterowanie obciążeniami reaktancyjnymi triakami lub tyrystorami wymaga znajomości momentu przejścia przez zero prądu, co jest zadaniem trudniejszym. Zaprezentowany układ pozwala to zrealizować, zachowując przy tym izolację galwaniczną od sieci.

Zrealizowanie sterowania fazowego obciążenia innego niż rezystancyjne wymaga informacji o przesunięciu fazowym między prądem i napięciem, jakie dane obciążenie wprowadza. Sytuacja komplikuje się, kiedy dane obciążenie zmienia kąt przesunięcia fazowego wskutek np. zmian obciążenia wału silnika. Jeszcze trudniejsza sytuacja ma miejsce, kiedy nie wiadomo, co będzie sterowane danym triakiem lub parą tyrystorów, gdyż budowany moduł ma być uniwersalną częścią składową dla innych urządzeń.

Jedynym rozwiązaniem jest wykrywanie przejścia przez zero prądu, a nie napięcia i sterowanie triakiem w odniesieniu do tego sygnału. Metoda polegająca na pomiarze spadku napięcia na rezystorze nie zapewnia izolacji galwanicznej i wprowadza dodatkowy element wydzielający ciepło, które trzeba rozproszyć. Dlatego w tym projekcie został użyty przekładnik prądowy – element niedrogi i dobrze spełniający swoje zadanie.



Dodatkowy układ elektroniczny przekładnika prądowego przekształca pobrany sygnał analogowy na postać cyfrową. Zbocza tego sygnału (narastające i opadające) odpowiadają momentom zmiany znaku przez prąd płynący w nadzorowanym obwodzie, co ułatwia realizację sterownika na mikrokontrolerze. Wystarczy w tym celu obsługiwać przerwania od zmiany stanu logicznego na wybranym porcie.



Rysunek 1. Schemat ideowy układu

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

W ofercie AVT* AVT-5830

Podstawowe parametry:

- współpraca z sieciami prądu sinusoidalnie zmiennego o częstotliwości 50 lub 60 Hz,
- poprawna praca z prądem o wartości skutecznej 0,3...20 A,
- wyjście typu „otwarty kolektor” z wbudowanym rezystorem podciągającym,
- zasilanie napięciem 9...30 V.

Wykaz elementów:

Rezystory: (SMD1206)

R1, R2: 100 Ω

R3...R5: 10 kΩ

Kondensatory:

C1, C2: 100 nF SMD1206

C3: 22 μF/35 V

Półprzewodniki:

D1, D2: 1N4148 MiniMELF

US1: LM311 S08

Pozostałe:

CT1: AX-0750 (opis w tekście)

J1: goldpin 3 pin 2,54 mm THT męski

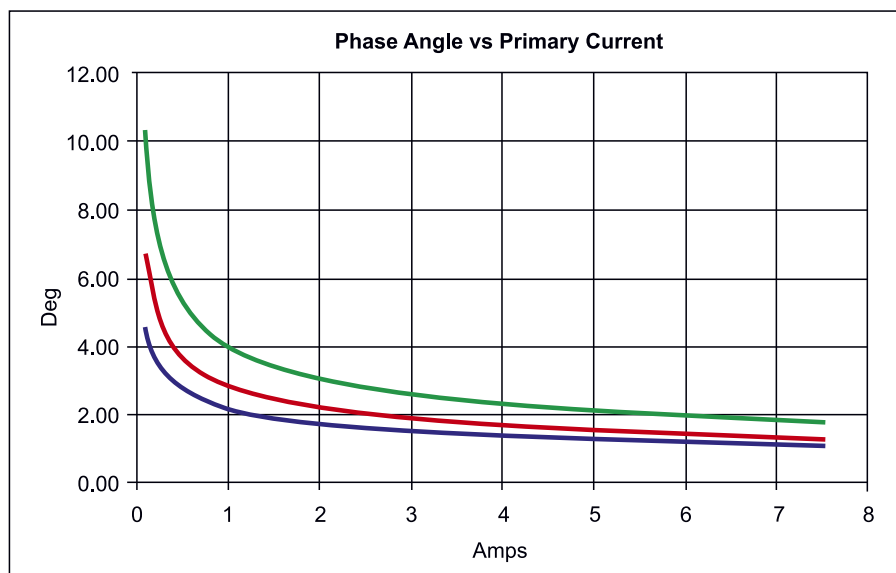
*** Uwaga!** Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu.

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 wzlutować 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 wzlutowane w płytkę PCB)
- wersja [A] – płytką drukowaną bez elementów i dokumentacji Kity w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [A+] – płytką drukowaną [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
- wersja [UK] – zaprogramowany układ

Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz! <http://sklep.avt.pl>. W przypadku braku dostępności na <http://sklep.avt.pl>, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.



Rysunek 2. Przesunięcie fazowe wprowadzane przez przekładnik AX-0750

Budowa i działanie

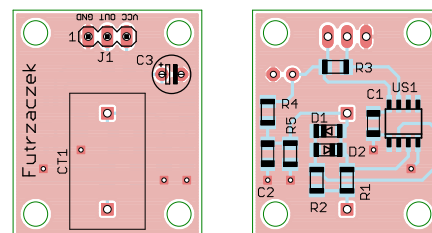
Schemat ideowy został pokazany na **rysunku 1**. Prąd indukujący się w uzwojeniu przekładnika prądowego CT1 powoduje powstawanie napięcia na zaciskach rezystora R1. Owe napięcie będzie w fazie z prądem, ponieważ rezystor SMD można uznać za element bezindukcyjny dla prądu o częstotliwości rzędu dziesiątek herców. Wynika z tego, że informacja o aktualnym natężeniu prądu płynącego przez przewód przewleczony w przekładniku jest zamieniana na napięcie odkładające się na R1. Przekładnik jednak nie jest elementem idealnym i sam wprowadza niewielkie przesunięcie fazowe, co można odczytać z wykresu na **rysunku 2**. Wybranie rezystora 100 Ω jest kompromisem pomiędzy czułością układu (czyli poprawnym działaniem detekcji przy niskich prądach) a wprowadzonym przesunięciem fazowym.

Minimalna wartość skuteczna prądu określana na 0,3 A wynika z konieczności dostatecznie silnegoysterowania układu różnicowego, który znajduje się na wejściu komparatora US1. Amplituda napięcia na jego wejściu wyniesie wtedy 56 mV,

co można już uznać za wielkosygnałową pracę układu różnicowego o nieposzerzonej strefie przejściowej. Wtedy przełączanie się zawartych w jego strukturze tranzystorów jest najszybsze z możliwych, co zmniejsza wprowadzane opóźnienie.

Wartość maksymalna natężenia prądu, którą określiłem na 20 A, wynika z ciepła wydzielającego się w elementach. Jest to też prąd na tyle duży, że z powodzeniem może służyć do zasilania wielu jednofazowych urządzeń, takich jak silniki czy transformatory.

Maksymalną wartość międzyszczytową napięcia, jakie może zostać przyłożone do wejścia komparatora US1, ograniczają diody D1 i D2. Utrata informacji o amplitudzie nie stanowi problemu, ponieważ najistotniejszy i tak jest moment zmiany znaku napięcia, kiedy to obie diody są zatkane. Rezystor R2 ogranicza prąd przez nie płynący, co ma znaczenie szczególnie przy ochronie wejścia komparatora przed silnymi zakłóceniami typu szpilkowego, które powstać mogą np. w momencie zwarcia w nadzorowanym obciążeniu. Jednocześnie mała rezystancja R2 wprowadza pomijalnie małe opóźnienie w przeładowywaniu pojemności diod.



Rysunek 3. Schemat płytki PCB z rozmieszczeniem elementów

Wyjście komparatora jest podciągnięte przez rezystor R3 do dodatniej linii zasilania, dzięki czemu na wyjściu obserwujemy dwustanowy sygnał cyfrowy. Sygnał ten można przyłożyć bezpośrednio do wejścia mikrokontrolera (zasilanego niskim napięciem) mającego wbudowane diody zabezpieczające na wejściu, gdyż ograniczą one napięcie stanu wysokiego do bezpiecznej wartości.

Prawidłowa praca układu różnicowego, który znajduje się na wejściu komparatora, nie byłaby możliwa bez prawidłowego spolaryzowania baz jego tranzystorów składową wspólną o odpowiedniej wartości. Dlatego jeden z zacisków przekładnika prądowego został połączony z dzielnikiem napięcia zasilającego, który ustala potencjał równy połowie tego napięcia.

Montaż i uruchomienie

Układ został zmontowany na dwustronnej płytce drukowanej o wymiarach 25×30 mm, a jej schemat wraz z rozmieszczeniem elementów został pokazany na **rysunku 3**.

Montaż należy przeprowadzić w typowy sposób, zaczynając od elementów SMD i na THT kończąc. Prawidłowo zmontowany układ nie wymaga jakichkolwiek czynności uruchomieniowych i jest od razu gotowy do działania. Średni pobór prądu zależy od napięcia zasilającego i wynosi zaledwie kilka miliamperów.

W razie konieczności nadzorowania prądu zasilającego, przez który płynie prąd o większym natężeniu, można użyć przekładnika o innej przekładni, np. AX-1500.

Michał Kurzela, EP



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

Raspberry Pi Compute Module 4

Komputerki Raspberry Pi ma swój odpowiednik przeznaczony do systemów profesjonalnych – Compute Module. Po wprowadzeniu Raspberry Pi 4, naturalne wydawało się udostępnienie SoC, także w formie modułu SoM. Można stwierdzić, że pełnowymiarowe Pi, po eliminacji problemów ze wstępnej fazy projektu i uwzględnieniu uwag użytkowników, przyjmuje formę Compute Module. Tak też stało się w przypadku Compute Module 4, który ujrzał światło dzienne nieco ponad rok po premierze RPi4.

Na rynku aplikacji profesjonalnych sporą popularnością cieszą się moduły oparte na procesorach i.MX6, Sitara i coraz częściej podsystemach z FPGA. Czy CM4 to krok w dobrym kierunku? Na odpowiedź musimy poczekać nawet dłuższą chwilę, bo pomimo pojawienia się CM4 w ofertach dystrybutorów, brakuje ich na stanie. Co gorsza, trudno nawet otrzymać wiarygodną informację o przewidywanym terminie dostępności. Prognozy mówią o dostawie na luty/marzec 2021 roku. Jest to sytuacja dosyć kuriozalna, szczególnie na rynku, w którym kilka miesięcy oznacza znaczne opóźnienie technologiczne. W tej sytuacji nie pozostaje nic innego, jak teoretyczne zapoznanie się z możliwościami CM4 oraz skróty przeglad dokumentacji z analizą, czy moduł sprosta naszym wymaganiom. Może sytuacja ulegnie poprawie, ponieważ organizacja odpowiedzialna za Raspberry już nieraz wszystkich zaskoczyła.

Specyfikacja CM4 wygląda bardzo zachęcająco:

- SoC Broadcom BCM2711 z czterordzeniowym procesorem Cortex-A72 (64 bity), 1,5 GHz,
- 1 GB, 2 GB, 4 GB, 8 GB LPDDR4 RAM,
- interfejs karty SD lub wbudowane eMMC o pojemności 8, 16, 32 GB,
- podwójny interfejs HDMI, H.265 4 Kp60, H.264 1 Kp60/30,
- interfejsy 2/4 lane MIPI DSI,
- interfejsy 2/4 lane MIPI CSI,
- wbudowany PHY Gigabit Ethernet IEE1588 (BCM54210PE),
- Wi-Fi 802.11b/g/n/ac, 2,4 GHz/5 GHz (w zależności od wersji modułu),
- Bluetooth 5.0, BLE, w zależności od wersji modułu,
- wbudowany multiplekser anten, wyprowadzone gniazdo UFL dla anteny zewnętrznej,
- 1×PCIe Gen 2,
- 1×USB 2.0,
- 28×GPIO, domena zasilania 1,8 V lub 3,3 V,
- pojedyncze zasilanie 5 V, wbudowany PMIC,
- wbudowana przetwornica zasilania GPIO, 1,8/3,3 V o obciążalności do 600 mA,
- temperatura pracy 0...80°C,
- dwa złącza interfejsów GPIO, zgodne z Hirose DF40C-100DS-0,4 V,
- cena 25...90 \$ w zależności od wyposażenia.

Specyfikacja jest podobna do Pi4, z pominięciem mostka USB3.0/PCIe VL805-06, na który prawdopodobnie zabrakło miejsca na zmniejszonej płytce. W zasadzie nie jest to wada, gdyż dostępny PCIe otwiera spore możliwości do adaptacji standardów szybkich interfejsów, stosowanych w komputerach stacjonarnych,



Tabela 1. Dostępne modele modułów CM4

Symbol	Wi-Fi/BT	RAM	eMMC	MOQ	Cena
CM4001000	–	1 GB	Lite	1+/Bulk	\$ 25.00
CM4001008	–	1 GB	8 GB	1+/Bulk	\$ 30.00
CM4001016	–	1 GB	16 GB	1+/Bulk	\$ 35.00
CM4001032	–	1 GB	32 GB	1+/Bulk	\$ 40.00
CM4101000	Yes	1 GB	Lite	Bulk	\$ 30.00
CM4101008	Yes	1 GB	8 GB	Bulk	\$ 35.00
CM4101016	Yes	1 GB	16 GB	Bulk	\$ 40.00
CM4101032	Yes	1 GB	32 GB	Bulk	\$ 45.00
CM4002000	–	2 GB	Lite	1+/Bulk	\$ 30.00
CM4002008	–	2 GB	8 GB	1+/Bulk	\$ 35.00
CM4002016	–	2 GB	16 GB	1+/Bulk	\$ 40.00
CM4002032	–	2 GB	32 GB	1+/Bulk	\$ 45.00
CM4102000	Yes	2 GB	Lite	1+/Bulk	\$ 35.00
CM4102008	Yes	2 GB	8 GB	1+/Bulk	\$ 40.00
CM4102016	Yes	2 GB	16 GB	1+/Bulk	\$ 45.00
CM4102032	Yes	2 GB	32 GB	1+/Bulk	\$ 50.00
CM4004000	–	4 GB	Lite	Bulk	\$ 45.00
CM4004008	–	4 GB	8 GB	Bulk	\$ 50.00
CM4004016	–	4 GB	16 GB	Bulk	\$ 55.00
CM4004032	–	4 GB	32 GB	Bulk	\$ 60.00
CM4104000	Yes	4 GB	Lite	1+/Bulk	\$ 50.00
CM4104008	Yes	4 GB	8 GB	1+/Bulk	\$ 55.00
CM4104016	Yes	4 GB	16 GB	1+/Bulk	\$ 60.00
CM4104032	Yes	4 GB	32 GB	1+/Bulk	\$ 65.00
CM4008000	–	8 GB	Lite	Bulk	\$ 70.00
CM4008008	–	8 GB	8 GB	Bulk	\$ 75.00
CM4008016	–	8 GB	16 GB	Bulk	\$ 80.00
CM4008032	–	8 GB	32 GB	Bulk	\$ 85.00
CM4108000	Yes	8 GB	Lite	Bulk	\$ 75.00
CM4108008	Yes	8 GB	8 GB	Bulk	\$ 80.00
CM4108016	Yes	8 GB	16 GB	Bulk	\$ 85.00
CM4108032	Yes	8 GB	32 GB	Bulk	\$ 90.00



Fotografia 1. Moduł CM4 pokazany od strony złączy (z materiałów raspberrypi.org)

nie ograniczając się tylko do USB3.0 (o ile system operacyjny udostępni ich obsługę programową).

W przeciwieństwie do CM3, dostępnego tylko z wariantowym rozmiarem eMMC (brak, 8/16/32 GB), CM4 oferowany jest aż w 32 wersjach. Na szczęście różnorodność dotyczy „tylko” dostępności komunikacji bezprzewodowej, wielkości pamięci RAM, eMMC, pozostawiając niezmiennie jeden typ SoC oraz pozostałe peryferia. Dostępne wersje i oznaczenia typów zebrano w tabeli 1. Niepokojące są jedynie minimalne ilości zamówień MOQ dla niektórych modeli. Z przeglądu ofert dystrybutorów wynika, że minimalne ilości określono na 200 sztuk, co jest szczególnie dotkliwe dla modułu o największej pojemności – 8 GB RAM. Prawdopodobnie wraz z upowszechnieniem CM4 sytuacja ulegnie zmianie i wersje 8 GB pojawią się także bez MOQ. Tymczasowo jednak odcina to projektantów systemów niskowych od najlepiej wyposażonych modułów, zapewniając dostępność tylko dużym integratorom.

Diametralnie zmieniała się konstrukcja mechaniczna Compute Module 4, co ilustruje fotografia tytułowa. Z dotychczasowej formy modułu SODIMM, CM4 przekształcił się w płytkę o rozmiarach 55×40 mm z wyprowadzeniami w formie złączy o dużej gęstości (fotografia 1). Dla potencjalnych nowych użytkowników nie ma to znaczenia, ale dla wszystkich, którzy mieli zamiar zwiększyć wydajność istniejących projektów z CM3, jest to zła wiadomość, ponieważ całkowicie zerwano kompatybilność wsteczną i raczej nie umożliwi jej prosta przejściówka.

Zaletą zmiany konstrukcji mechanicznej jest większa stabilność mocowania, gwarantowana przez 4 otwory mocujące M2.5 oraz lepsze

wyposażenie modułu przy zmniejszonych rozmiarach. Dokładne wymiary modułu pokazuje rysunek 1.

Zmodyfikowany został sposób wyprowadzenia sygnałów z płytki, które w CM4 podzielone są na dwa złącza 100 pin, umieszczone po przeciwnych stronach modułu. Pierwsze złącze (numeracja sygnałów 1...100) wyprowadza interfejs Ethernet, SD, GPIO, sygnały statusu/sterujące, zapewnia zasilanie modułu +5 V oraz wyprowadza napięcia 1,8/3,3 V wbudowanej przetwornicy do zasilania urządzeń podłączonych do GPIO. Drugie złącze (numeracja sygnałów 101...200) wyprowadza interfejsy HDMI, DSI, CSI, USB, PCIe. W przypadku CM4 z wbudowanym Wi-Fi/BT dodano złącze antenowe UFL dla anteny zewnętrznej, co upraszcza aplikację modułu w metalowych obudowach, gdzie osiągi wbudowanej anteny nie wystarczają do zapewnienia stabilnej transmisji. W module zrezygnowano z wbudowania mostka PCIe/USB3.0, co daje większą elastyczność w przypadku bezpośredniej współpracy z dyskami SSD, interfejsami AI, dodatkowymi interfejsami sieciowymi lub komunikacyjnymi, przy zastosowaniu odpowiednich konwerterów itp. Niestety, pomimo współpracy PCIe z dyskami NVM, aktualna wersja bootloadera nie wspiera możliwości uruchomienia systemu z dysku. Pozostaje uruchamianie systemu z eMMC/SD, ale duże ilości danych mogą być przechowane na dysku SSD, przy użyciu zwykłej pasywnej przejściówki.

Pomimo profesjonalnych aspiracji, w dalszym ciągu CM4 nie działa w pełnym zakresie temperatur przemysłowych –40/+85°C, a jedynie 0/+80°C. Do tej deklaracji także należy podejść nieufnie, mając na uwadze problemy z temperaturą SoC Pi4. Z czasem pewnie pojawią się zaawansowane systemy chłodzenia, w postaci radiatorów dopasowanych mechanicznie do CM4 i z bardziej przemysłowym systemem mocowania niż klej. Przyjmijmy więc, że CM4 jest dla aplikacji profesjonalnych, ale w konsumenckim zakresie temperatury.

Płyta bazowa Compute Module 4 IO Board

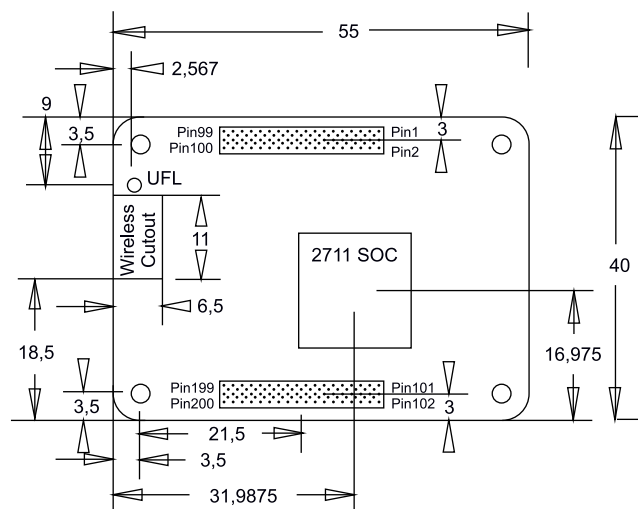
Dla ułatwienia szybkiego startu z modulem CM4, opracowano płytkę bazową Compute Module 4 IO Board (fotografia 2) oraz zewnętrzną antenę Wi-Fi w wtykiem UFL, z którą moduł jest certyfikowany. Wymiary CM4 IO Board to 160×90 mm. Płytkę zapewnia zasilanie dla elementów składowych i udostępnia wszystkie interfejsy modułu CM4, w tym dwa „pełnowymiarowe” złącza HDMI, uwalniając od konieczności stosowania uciążliwych przejściówek. W przypadku modułów CM4 w wersji Lite, czyli bez wbudowanej eMMC, na płytce umieszczono niezbędne gniazdo karty SD w formacie mikro. IO Board CM4 ma złącze IDC40 nakładki w standardzie HAT, co zdecydowanie przyspiesza prototypowanie.

Z wbudowanych peryferiów można wymienić:

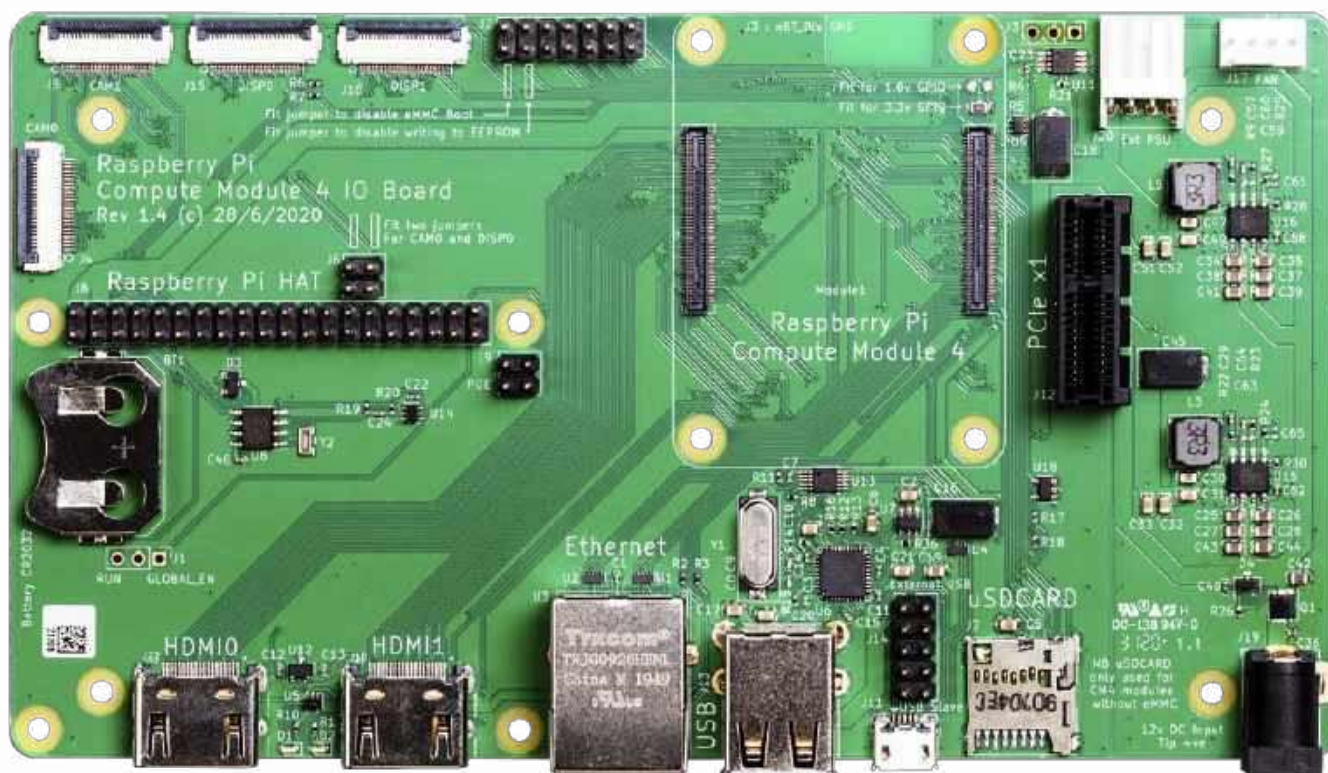
- RTC typu PCF85063 (I²C) z podtrzymaniem, baterią CR2032 oraz możliwością generowania przerwania wybudzającego lub resetującego system CM4;
- sterowany przez I²C kontroler wentylatora EMC2301, z wejściem monitorowania wbudowanego impulsatora i regulacją PWM, poprzez typowe złącze 4 pin;
- czteroportowy hub USB2.0, oparty na układzie USB2514. Dwa porty USB dostępne są przez typowe podwójne gniazdo USB-A, pozostałe dwa wyprowadzono na złącze szpilkowe IDC10, z przypisaniem sygnałów zgodnym ze standardowymi gniazdami rozszerzeń, montowanymi na „śledziu” w komputerach PC.

Kilka zastosowanych zwór zapewnia konfigurację napięć zasilania GPIO, PoE oraz wybór trybu bootowania.

Płytkę CM4 IO Board może być zasilana napięciem 7,5...26 V (wtyk DC 2,1 mm), tylko jeżeli nie używamy złączy PCIe oraz wentylatora. W przeciwnym wypadku napięcie zasilania musi wynosić 12 V, aby nie uszkodzić kart PCIe lub wentylatora, podłączonych bezpośrednio do złączy zasilania. Napięcie 3,3 V dla PCIe jest niezależne od systemu zasilania CM4 i dostarczane przez osobną przetwornicę, o wydajności do 3,3 A. Do dyspozycji użytkownika dodano złącze z zasilaniem +5 V/+12 V, o standardzie wyprowadzeń stacji dyskiety



Rysunek 1. Wymiary CM4 (z materiałów raspberrypi.org)



Fotografia 2. Płytki bazowa Compute Module 4 IO Board (z materiałów raspberrypi.org)

z PC – przydatne do zasilania peryferiów współpracujących z PCIe, np. dysku SSD. Przetwornica +5 V ma wydajność do 3 A, z czego ok. 2 A (9 W) warto zarezerwować dla samego CM4. Złącza USB i Ethernet mają dodatkowe zabezpieczenia ESD.

Warto wspomnieć o względnie niskiej cenie CM4 IO Board ustalonej na 35 \$, co jest kwotą znacznie przystępniejszą niż w przypadku wersji CM1...3. Zgodnie z zapowiedziami, najtańsze zestawy CM4+IO Board byłyby dostępne już od 60 \$.

Zarówno dla CM4, jak i IO Board, udostępniona została dokumentacja, na podstawie której, w oczekiwaniu na dostawę modułów, można rozpocząć projektowanie części sprzętowej aplikacji. Do jakości dokumentacji nie można mieć zastrzeżeń.

Podsumowanie

Chociaż całkowita zmiana formatu modułu i ograniczony zakres temperatur zawęży zakres zastosowań, to w pozostałych przypadkach lepsze wyposażenie, wbudowany układ PMIC, dodatkowy interfejs PCIe, dostępna komunikacja Wi-Fi lub PHY Ethernet (wymagający w aplikacji zastosowania jedynie gniazda ze zintegrowanym transformatorem), są znaczącym ułatwieniem w tworzeniu nowych urządzeń opartych na systemie Pi – nawet dla osób z podstawowym doświadczeniem w konstruowaniu części sprzętowej systemów wbudowanych. Nie pozostaje nic innego niż uzbrojenie się w cierpliwość i oczekiwanie, aż CM4 w końcu będzie dostępny.

Adam Tatus

adam.tatus@ep.com.pl

REKLAMA

m.technik
Ciekawi świata są zawsze młodzi

w prezencie na każdą okazję

przejrzyj i kupisz na
www.ulubionykiosk.pl

<http://bit.ly/2DKgsBJ>

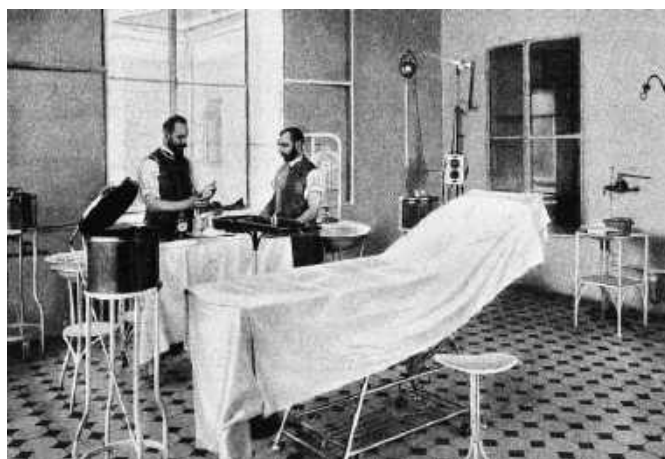


Elektronika w medycynie

Medycyna jest tą dyscypliną nauki, która nierozdzielnie kojarzy się ze specjalistycznym instrumentarium. Bez wspomagania przyrządami, jakiekolwiek by one były, nie byłoby możliwe wykonanie nawet najprostszych zabiegów i operacji medycznych. Zanim pojawiła się elektronika, radzono sobie różnymi, mniej lub bardziej wymyślnymi, instrumentami mechanicznymi. O ile ułatwiały one pracę lekarzom, o tyle nie przyczyniały się do rozwoju medycyny jako nauki. Stało się to możliwe dopiero po wprowadzeniu elektroniki.

Medycyna na przestrzeni wieków zmieniała się nie do poznania. Wystarczy odwiedzić skanseny, w których zachowały się gabinety lekarskie końca XIX wieku, aby naocznie się o tym przekonać. Zmieniło się wszystko: wiedza medyczna, podejście do pacjenta, metody leczenia, diagnostyka, medykamenty, wyposażenie gabinetu w instrumenty używane podczas zabiegów i operacji. Współczesny lekarz czułby się chyba nieco zagubiony i bezsilny, gdyby w tamtych czasach miał wykonać nawet względnie prostą z dzisiejszego punktu widzenia operację. Na salach operacyjnych, nie mówiąc już o zwykłych gabinetach lekarskich, nie było nawet najprostszych instrumentów diagnostycznych czy monitorujących stan pacjenta. Do najbardziej skomplikowanych urządzeń znajdujących się na sali operacyjnej należały sterylizatory i podgrzewacze elektryczne.

W Nowym Szpitalu Starozakonnym w Warszawie na sali operacyjnej znajdował się (cyt. z książki „Nowy Szpital Starozakonnym w Warszawie, Księga Pamiątkowa, Sprawozdanie Komitetu Budowy”): „...trepan elektryczny na kółkach, przeznaczony szczególnie



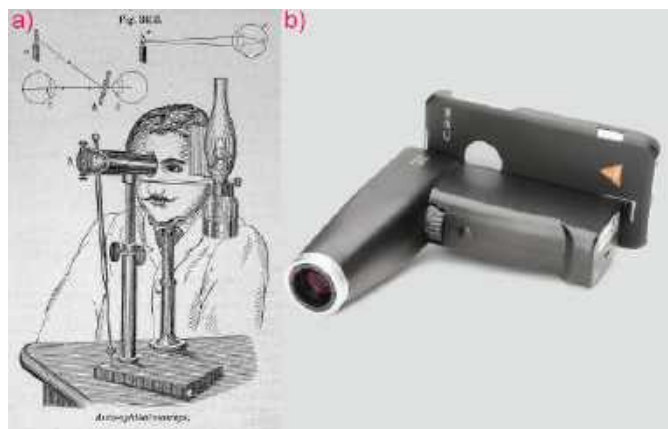
Fotografia 1. Sala operacyjna mała w Szpitalu Starozakonnym w Warszawie (źródło: <https://bit.ly/3ncF9sn>)

do trepanacji czaszki; maszyna ta wprowadzona zostaje w ruch przez połączenie z ogólnym prądem elektrycznym” (**fotografia 1**). Można tylko współczuć ówczesnym pacjentom. Ale w szpitalach były również pracownie specjalistyczne, wyposażone w bardzo wyszukaną aparaturę medyczną. Przykładem niech będzie lampa Kromayera (**rysunek 1**), która służyła do leczenia światłem, a dokładniej mówiąc promieniowaniem nadfioletowym. Lampa zawierała przezroczystą, hermetycznie zamkniętą rurkę wykonaną z kryształu górskiego zawierającą rtęć w stanie lotnym. Pod wpływem doprowadzonego prądu elektrycznego opary rtęci zaczynają emitować silne promieniowanie nadfioletowe, które jak już wówczas zauważono, ma działanie lecznicze. Choć brzmi to dość groźnie, metody leczenia ultrafioletem

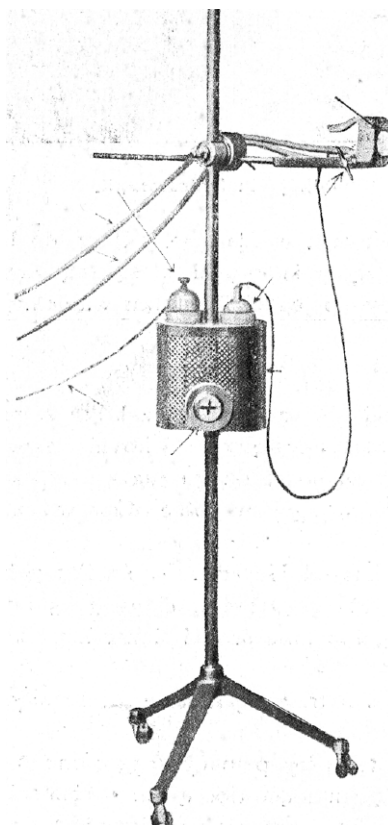
i nadfioletem są stosowane do dziś. Współczesna aparatura służąca do tego typu terapii wygląda już jednak zgoła odmiennie. A jeśli już jesteśmy przy leczeniu światłem, to przecież niezwykle popularne obecnie zabiegi laserowe są niczym innym, jak leczeniem światłem. W XIX wieku, a tym bardziej do połowy XX wiedza z dziedziny fizyki światła była już wystarczająca do tego, aby myśleć o laserach w medycynie. Niestety, jeszcze nie pozwalała na to technologia. Dziś trudno byłoby sobie wyobrazić pracę lekarzy bez laserów, które znalazły zastosowanie na salach operacyjnych jako sprzęt chirurgiczny w gabinetach medycyny estetycznej.

Medycyna bez choćby najprostszego oprzyrządowania nie mogłaby istnieć. W czasach, gdy nie było jeszcze elektroniki, radzono sobie, konstruując bardzo prymitywne z dzisiejszego punktu widzenia, ale wówczas jednak bardzo pomocne przyrządy elektryczne i mechaniczne. Znajdowały one zastosowanie w tych dziedzinach, które wymagają dużej precyzji. Do takiej grupy zaliczana jest niewątpliwie okulistyka. Sporą grupę stanowiły więc instrumenty dla okulistów. Prymitywne oftalmoskopy (**fotografia 2**) służące do wziernikowania dna oka po gruntownych modernizacjach technicznych są stosowane do dziś.

Do najbardziej skomplikowanych urządzeń medycznych minionej epoki należała aparatura rentgenowska. Na **fotografii 3** pokazano urządzenie pracujące od roku 1921 aż do połowy lat 90. XX wieku. Ciekawe, czy współczesne urządzenia też będą działały 70 lat? Dziś aparatura rentgenowska zapewnia dużo większą precyzję kierowania wiązki promieniowania X i optymalnego sterowania jej natężeniem. Są to urządzenia bezpieczniejsze dla personelu obsługującego



Fotografia 2. Oftalmoskop: a) wersja dziewiętnastowieczna (źródło: <https://bit.ly/3pnLRgQ>), b) wersja współczesna (źródło: <https://bit.ly/38AZ93B>)



Rysunek 1. Dziewiętnastowieczna lampa Kromayera do naświetlania w nadfiolecie (źródło: <https://bit.ly/3ncF9sn>)



Fotografia 3. Aparatura rentgenowska z roku 1921 (źródło: <https://bit.ly/2GR5dCt>)

i samych pacjentów. Lekarz dostaje niemal natychmiast cyfrowy obraz prześwietlenia, może go łatwo archiwizować i przekazywać innym lekarzom.

Elektronika w gabinetach lekarskich

Elektroniczny sprzęt spotykany w gabinetach medycznych to najczęściej względnie proste przyrządy służące do pomiaru podstawowych parametrów, takich jak temperatura, tętno, ciśnienie krwi. Należy też wspomnieć, że coraz częściej parametry te są kontrolowane na bieżąco przez użytkowników zegarków naręcznych (smartwatchy i zegarków sportowych). Rewolucja w pomiarach temperatury i ciśnienia krwi nastąpiła w chwili ogłoszenia zakazu używania instrumentów zawierających rtęć, a więc termometrów rtęciowych i klasycznych ciśnieniomierzy. Bardzo szybko pojawiły się przyrządy elektroniczne, które oprócz wyeliminowania szkodliwej substancji uprościły pomiar i na ogół zwiększyły dokładność. Coraz większą popularnością cieszą się termometry bezdotykowe (**fotografia 4**), jednak jak to zwykle bywa w przypadku nowości, mają one zarówno szerokie grono entuzjastów, jak i przeciwników. Przeciwnicy zarzucają im przede wszystkim małą powtarzalność pomiarów, często kwestionując też



Fotografia 4. Termometr bezdotykowy



Fotografia 5. Pulsoksymetr

dokładność. Tymczasem większość problemów wiąże się, jak zwykle, z nieprzeczytaniem instrukcji obsługi lub niedoczytaniem zawartych w niej informacji. Okazuje się, że do zapewnienia deklarowanych parametrów przyrządu wymagane jest dość ściśle przestrzeganie warunków opisanych w dokumentacji. Na przykład, jeśli producent zadeklarował konieczność kierowania pomiarowej wiązki podczerwonej na skroń, to nie powinno się mierzyć temperatury na czole albo pod pachą. Mierzac temperaturę na czole, należy bezwzględnie pamiętać o odsłonięciu włosów, gdyż stanowią one bardzo dobrą warstwę izolacyjną mogącą zakłócić wynik nawet o kilka stopni. Konieczne jest też utrzymywanie termometru w stabilnych warunkach temperatury przed i w trakcie wykonywania pomiaru. Nawet niewielki przeciąg w pomieszczeniu może niekorzystnie wpłynąć na wyniki pomiaru. Nie mniej istotne jest utrzymanie określonej w przepisach odległości termometru od ciała w trakcie pomiaru. Nie wypada już nawet wspominać o zachowaniu dbałości o czystość przyrządu i o dobry stan baterii zasilających.

Obecnie, w dobie pandemii COVID-19, pomiar temperatury ciała jest pierwszym, jaki wykonuje się w celach diagnostycznych. Od prawidłowości wyniku mogą zależeć dalsze metody postępowania. Drugim objawem charakterystycznym dla tej choroby są problemy oddechowe, z czym związane jest obniżone nasycenie krwi tlenem – saturacja. Zanim osoba chora zacznie je wyraźnie odczuwać, może je zdiagnozować nawet we własnym zakresie przez nieinwazyjny pomiar saturacji krwi. Służą do tego miniaturowe pulsoksymetry (fotografia 5), które stają się już tak popularne, jak termometry elektroniczne i można je nawet kupić w aptece. Do pomiaru saturacji krwi wykorzystywane są dwie wiązki: czerwona i podczerwona. Pierwsza z nich jest stała, druga natomiast jest pulsująca. Światło jest pochłaniane przez hemoglobinę wykazującą zdolność pochłaniania zależną od stopnia wysycenia krwi tlenem. Na podstawie pomiarów natężenia obu wiązek docierających do detektorów znajdujących się po drugiej stronie klipsa zakładanego na palec, obliczany jest procentowy stopień saturacji. Prawidłowe wartości powinny zawierać się w przedziale 95...99%. Dodatkową korzyścią pomiaru saturacji jest informacja o tętnie.

W gabinecie lekarskim nie brakuje zwykle również miernika ciśnienia krwi. Czy są to takie same przyrządy, jak te, które użytkują indywidualnie pacjenci w domach? Tu ocieramy się o zagadnienie dużo poważniejsze, niż można by sądzić. Okazuje się, że dość dużym problemem jest tzw. nadciśnienie „białego fartucha”. Każdy, kto choć raz miał mierzone ciśnienie przez lekarza w gabinecie, wie, o co chodzi. Taki pomiar jest dość stresujący, gdyż zwykle zdajemy sobie sprawę z konsekwencji niekorzystnego wyniku. Już sama myśl o tym, jaki on będzie, podnosi w sposób niekontrolowany ciśnienie u pacjenta, i to w stopniu zauważalnym. Pomiar w gabinecie lekarskim jest dokonywany w przypadkowej porze dnia, często bez zachowania odpowiednich warunków (zapewnienie kilkuminutowej



Fotografia 6. Całodobowy monitor ciśnienia krwi (źródło: <https://bit.ly/32xGMj1>)

ciszy i spokoju przed badaniem). Nie uwzględnia dobowych wahań ciśnienia. Stosując tylko taką metodykę bez innych kroków, dość trudne może być diagnozowanie chorób związanych z nadciśnieniem tętniczym. Szacuje się, że nadciśnienie „białego fartucha” obejmuje ok. 20 procent pacjentów, u których pomiary gabinetowe wykazały przekroczenie prawidłowych wartości. Nowym podejściem w badaniu ciśnienia krwi jest ABMP (*ambulatory blood pressure monitoring*) oznaczający automatyczny pomiar ciśnienia bez kontaktu z lekarzem. Mimo to, pomiar ABMP nie likwiduje w pełni stresu u pacjenta i nadal uzyskany wynik, chociaż lepszy niż uzyskany metodą tradycyjną (z udziałem lekarza), może nie być w pełni wiarygodny. Jeszcze lepsza metoda polega na całodobowym monitorowaniu ciśnienia. Wymaga to jednak zupełnie innego rodzaju oprzyrządowania. Przykład takiego miernika pokazano na fotografii 6. Miernik ten odznacza się wieloma zaletami. Jak widać, pomiar odbywa się bez użycia fartucha, co umożliwia rejestrację parametrów bez nadmiernego ograniczania ruchowego pacjenta. Oprócz pomiaru skurczowego i rozkurczowego ciśnienia krwi dodatkową korzyścią jest 3-kanalowe badanie holterowskie, aktygrafia, badanie bezdechów sennych i oznaczanie PWV – wskaźnika sztywności naczyń.

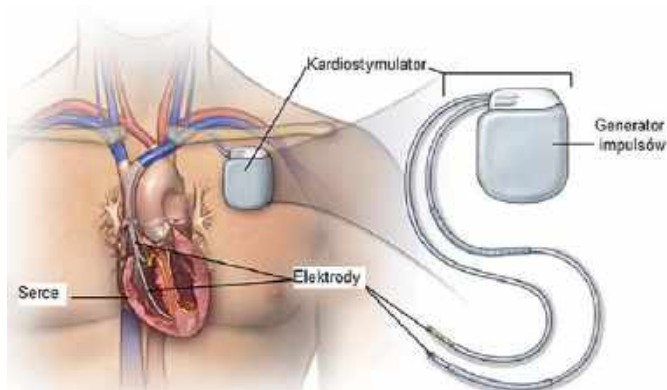
Elektronika paramedyczna u każdego

Jak już było wspomniane, duża część opisanych wyżej pomiarów jest możliwa do wykonania bez konieczności odbywania wizyty w gabinecie lekarskim. Niezwykłą popularność zdobywają w ostatnim czasie smartwatche i zegarki sportowe z funkcją pulsometru, za pomocą których indywidualny użytkownik może mierzyć takie parametry jak tętno. Spotykane są również zegarki z funkcją pomiaru ciśnienia krwi. Należy jednak traktować te urządzenia raczej jako wskaźniki niż wiarygodne przyrządy pomiarowe. Odczytywane z nich, powtarzające się wyniki przekraczające normy powinny natomiast stanowić pretekst do poddania się dokładniejszemu badaniu.

Większość urządzeń tego typu działa na zasadzie pomiaru światła kierowanego np. na nadgarstek. Nadajnik oraz detektor jest więc umieszczany w spodniej części koperty (fotografia 7). Detektor wykrywa zmiany parametrów optycznych krwi przepływającej przez naczynia krwionośne, które wynikają z pracy serca, i na tej podstawie wyznaczany jest puls, a nawet ciśnienie krwi. Biorąc pod uwagę fakt, że praca serca zależy od wysiłku, na podstawie takich pomiarów można wyciągać również wnioski dotyczące wysiłku. Smartwatche mają możliwość komunikowania się ze smartfonami lub



Fotografia 7. Smartwatch z pomiarem tętna: a) wyświetlacz, b) czujniki pomiaru tętna (źródło: <https://bit.ly/38AzeUX>)



Rysunek 2. Stymulator serca (źródło: <https://bit.ly/36rs87B>)

komputerami, na których za pomocą zainstalowanego zwykle oprogramowania możliwe jest prowadzenie bardziej skomplikowanych analiz. Aplikacje zliczają np. wysiłek dzienny, oceniają jakość i głębokość snu, mierzą przebyte dystansy itd.

Metody nadgarstkowego pomiaru tętna są stale rozwijane i udoskonalane. Nadal nie są jednak tak dokładne, jak pomiary wykonywane z użyciem pasów napiersiowych. Nie nadają się też do wszystkich zastosowań sportowych. Na przykład u osób wykonujących intensywne ruchy ręką (tenisiści) należy liczyć się ze sporymi błędami. W pasach napiersiowych stosowana jest inna metoda pomiarowa niż w smartwatchach. Czujnik wykrywa sygnały aktywności elektrycznej serca (EKG).

Profesjonalna elektronika osobista i szpitalna

Rozpoczynamy wątek, który ma początek i nie ma końca. Elektronika znajduje zastosowanie dosłownie w każdej dziedzinie medycyny, nie sposób więc omówić dokładnie wszystkiego, co jest związane z tą tematyką. Siłą rzeczy zostaną tu zaprezentowane tylko przykłady medycznych przyrządów elektronicznych.

Zaczynamy od urządzeń osobistych. Do tej grupy są zaliczane m.in. **stymulatory serca**, popularnie zwane rozrusznikami (rysunek 2). Wspomagają one pracę węzła zatokowo-przedsionkowego odpowiedzialnego za generowanie impulsów elektrycznych wywołujących skurcze. Konieczność wszycia stymulatora powstaje wtedy, gdy naturalna częstota tych impulsów staje się zbyt mała. Konsekwencją tego mogłaby być zbyt mała ilość krwi przepompowywanej przez serce. Kardiostrymulator to urządzenie względnie proste. Jest to generator impulsów o napięciu od 0,5 V do 5 V i czasie trwania ok. 1 ms. Największym wyzwaniem technicznym dla konstruktorów i producentów jest zapewnienie bardzo długiego czasu pracy. Obecnie urządzenia te mogą działać prawidłowo na baterii wszywanej razem ze stymulatorem od 5 do 15 lat. Na szczęście operacja wszycia i ewentualnej wymiany baterii nie jest bardzo skomplikowana, trwa ok. godziny. Osoba z wszytym rozrusznikiem musi unikać pól magnetycznych i radiowych, nie może też poddawać się badaniu rezonansem magnetycznym.

Innym urządzeniem elektronicznym osobistego użytku jest **aparat słuchowy**. Trudno uwierzyć, że pierwsze urządzenie tego typu powstało już w roku 1901. Oczywiście nie miało ono nic wspólnego z konstrukcjami współczesnymi, a nawet tymi, które pamiętamy. Jeśli ktoś kojarzy te urządzenia z topornymi tranzystorowymi rozwiązaniami sprzed kilkunastu, kilkudziesięciu lat, to może być nieźle zaskoczony, gdy pozna możliwości współczesnych aparatów słuchowych. Obecnie są to urządzenia cyfrowe, często z wbudowanym interfejsem Bluetooth, pozwalającym przekierowywać dźwięk z telewizora czy smartfonu bezpośrednio do ucha. A nie jest to jeszcze koniec możliwości. Istnieją na przykład aparaty, które mogą być podpinane do pętli indukcyjnych w salach konferencyjnych, przez co możliwe staje się kierowanie głosu prelegenta bezpośrednio do słuchacza. Bardzo wygodną funkcją dla użytkownika jest automatyczna regulacja głośności, znacznie zwiększająca komfort odsłuchu.



Fotografia 8. Respirator (źródło: <https://bit.ly/2Ip0I9Y>)

Ciężkie czasy, jakie przeżywają ludzie na całej kuli ziemskiej związane z pandemią COVID-19, powodują, że wszystkim dobrze jest już znany termin **respirator** (fotografia 8). Rzeczywiście, jest to urządzenie ratujące życie wielu chorym. I w tym przypadku różnica między pierwszym egzemplarzem użytym w 1928 roku a urządzeniami współczesnymi jest kolosalna. Zmieniła się też zasada działania. Generalnie, zadaniem respiratora jest wspomaganie układu oddechowego człowieka. W pierwszym urządzeniu pacjent był zamykany w metalowej, szczelnej obudowie tak, że tylko wystawała mu głowa. Dwie pompy dołączone do komory wytwarzały w niej podciśnienie wymuszające pogłębiony oddech chorego. Respirator był wielki, ciężki i pewnie dość głośno pracował. Obecne konstrukcje działają na zupełnie innej zasadzie. Pacjent nie jest zamykany w żadnej komorze, a działanie respiratora ogranicza się do kontrolowanego wtłaczania odpowiednio nagranego i nawilżonego powietrza do płuc przez rurkę intubacyjną lub tracheotomię. Sterowanie odbywa się mikroprocesorowo z zapewnieniem dużej precyzji. W każdym przypadku leczenie do przyjemnych nie należy, ale bywa ostatnią metodą utrzymania człowieka przy życiu. Gabaryty współczesnych respiratorów są na tyle małe, że mogą być używane nawet w warunkach domowych. Czynnikiem zaporowym jest jednak zwykle cena kształtująca się w okolicach 20...30 tysięcy złotych.



Fotografia 9. Urządzenia do resuscytacji: a) stanowisko stacjonarne, b) defibrylator przenośny

Kolejnym instrumentem ratującym życie jest **stacjonarne stanowisko do resuscytacji (fotografia 9a)** instalowane w warunkach szpitalnych. Resuscytacja polega na prowadzeniu masażu serca i sztucznego oddychania z zachowaniem odpowiedniego tempa tych czynności (30 uciśnień/2 oddechy). Akcja może być wspomagana dodatkowymi impulsami generowanymi przez **defibrylator (fotografia 9b)**. Oba urządzenia są używane do ratowania osób, u których wystąpiło nagłe zatrzymanie krążenia. Dostępne są modele defibrylatorów w pełni automatyczne lub półautomatyczne. Urządzenia przenośne są instalowane w wielu obiektach użyteczności publicznej. Szczegółowa instrukcja głosowa umożliwia obsługiwanie ich nawet przez osoby nieprzeszkolone, które znalazły się przypadkowo w pobliżu zdarzenia. Każda minuta opóźnienia użycia tego instrumentu znacząco zmniejsza szanse przeżycia osoby z zatrzymaną akcją serca.

Podczas leczenia szpitalnego bardzo często zachodzi konieczność podawania precyzyjnych dawek leków rozłożonego w czasie. Lek w postaci płynnej jest w takich przypadkach umieszczany w specjalnej strzykawce zakładanej do **pompy infuzyjnej (fotografia 10)**. Znajdujący się w niej siłownik bardzo powoli i precyzyjnie naciska na tłok strzykawki, dawkując odpowiednio lek. Urządzenia te znajdują się w salach intensywnej terapii w każdym szpitalu, a nawet w karetkach reanimacyjnych.

Była już mowa o badaniu światłem, przyszła kolej na badanie dźwiękiem. Termin USG jest zapewne dobrze znany każdemu, nawet temu kto nie interesuje się medycyną czy nawet ogólnie techniką. USG to **ultrasonograf (fotografia 11)**, czyli urządzenie wykorzystujące fale dźwiękowe o dużej częstotliwości do „prześwietlania” wnętrza ciała. Ciało prześwietlaliśmy już promieniami rentgenowskimi, ale wszyscy dobrze wiedzą, że jest to metoda pozostawiająca pewien ślad w organizmie człowieka w postaci szkodliwych dawek promieniotwórczych. Liczba przyjętych w całym życiu takich dawek jest ograniczona, pracowano więc intensywnie nad metodami pozwalającymi zajrzeć do wnętrza organizmu przy użyciu metod nieinwazyjnych. Od kilkudziesięciu już lat w powszechnym użyciu znalazły się ultrasonografy. Urządzenia te emitują za pomocą odpowiedniej sondy fale ultradźwiękowe, które po odbiciu od organów wewnętrznych trafiają z powrotem do sondy zawierającej również detektor piezoelektryczny. Zasada działania ultrasonografu opiera się na wyznaczonej i stałej prędkości rozchodzenia się fali ultradźwiękowej w tkance ludzkiej. Dzięki temu, mierząc czas powrotu, echa można określić odległość od danego fragmentu tkanki do detektora, i na tej podstawie sporządzić obraz wnętrza. Należy jednak pamiętać o tym, że ultradźwięków nie przepuszcza tkanka kostna ani powietrze w przewodach pokarmowych. Do ich badania technika USG, nie nadaje się.

Ostatnim urządzeniem tej grupy opisanym w artykule jest bilirubinometr (**fotografia 12**). Jest to urządzenie do bezinwazyjnego oznaczania poziomu bilirubiny u noworodków. Pomiar jest związany z naturalnie występującą żółtaczką u większości noworodków w drugiej dobie po urodzeniu. Tradycyjna metoda pomiaru wymaga wielokrotnego nakłuwania, co nie jest ani przyjemne, ani bezpieczne, gdyż może powodować powikłania, np. zakażenia. Choroba najczęściej ustępuje sama, ale zdarzają się przypadki wymagające ingerencji lekarskiej, dlatego oznaczanie bilirubiny jest tak ważne. Elektroniczny bilirubinometr wykonuje ten pomiar przez skórę, bezboleśnie i szybko. Oznaczenie poziomu bilirubiny polega na skierowaniu wiązki białego światła na skórę niemowlaka i pomiarze natężenia odbitych promieni o określonej długości. Metoda tradycyjna wymaga pobrania próbki krwi, a następnie laboratoryjnego jej badania po uprzednim odwirowaniu.

Sprzęt do rehabilitacji

Na podstawie wcześniejszych opisów medycznej aparatury pomiarowej można wyciągnąć wniosek, że nierzadko są to przyrządy o bardzo złożonej budowie. Wiele z nich składa się z bloków mechanicznych uzupełnianych o skomplikowane sterowniki elektroniczne, systemy akwizycji danych, elektroniczne rejestratory i elementy zobrażenia wyników. Urządzenia te muszą spełniać najwyższe standardy jakości



Fotografia 10. Pompa infuzyjna (źródło: <https://bit.ly/2GY5bjG>)

i bezpieczeństwa użytkowania. To między innymi dlatego ceny tych przyrządów są tak wysokie.

Do grupy urządzeń medycznych można zaliczyć również systemy używane w rehabilitacji. Są to zwykle bardzo złożone pod względem mechanicznym stanowiska, w których elektronika pełni jedynie funkcję pomocniczą. Bardzo często obsługę wielkiego na pół sali zestawu zapewnia urządzenie elektroniczne mieszczące się na dłoni.

Rehabilitacja zajmuje się badaniem zespołów mięśniowych i kostnych, a także przywracaniem ich sprawności po odniesionych kontuzjach i urazach. Ćwiczenia

i pomiary przebiegają na stanowiskach pomiarowych o specjalnych konstrukcjach wynikających z rodzaju pomiaru. Na przykład do pomiaru charakterystyki mechanicznej kończyn dolnych w wyskoku pionowym jest stosowana tensometryczna 4-podporowa platforma wyskokowa, współpracująca z 4-kanalowym wzmacniaczem tensometrycznym i komputerem (**fotografia 13**). Dane są przesyłane ze wzmacniacza umieszczonego w ramie platformy do oddalonego od niej komputera, na którym realizowane jest opracowanie i zobrażowanie wyników. Parametry siłowe rozwijane przez osobę badaną są mierzone na zasadzie badania reakcji podłoża. Zastosowanie czterech tensometrów umożliwia obliczenie nie tylko siły całkowitej, ale też rozkładu sił na powierzchni platformy. Cecha ta jest



Fotografia 11. Ultrasonograf



Fotografia 12. Bilirubinometr (źródło: <https://bit.ly/3nkvG1Z>)



Fotografia 13. Tensometryczna platforma wyskokowa

wykorzystywana w pomiarach stabilograficznych, w których osoba badana staje na środku platformy i ma obowiązek utrzymania nieruchomej pozycji w określonym czasie. Specjalne oprogramowanie oblicza mimowolne ruchy środka masy i wyznacza jego trajektorię. Istnieją też rozwiązania pozwalające mierzyć zdolność do zachowania równowagi w warunkach niestabilnego podłoża, a to z kolei pozwala oceniać sprawność mięśni. Wykrywane tą metodą nieprawidłowości służą do oceny postępów rehabilitacji, ale mogą też wykrywać różnego rodzaju kontuzje.

Znacznie bardziej jest rozbudowane stanowisko służące do pomiarów momentów sił zginaczy i prostowników rozwijanych w stawie łokciowym i ramieniowym (fotografia 14). Konstrukcja zapewnia prawidłową stabilizację obręczy barkowej i łokcia. Istotne elementy są regulowane tak, aby zapewnić optymalne dopasowanie do osoby badanej. Najważniejszym elementem stanowiska jest tensometryczna głowica momentomierza.

O czym nie powiedziano

W artykule nawet nie wspomniano o wielu instrumentach medycznych, których istotną część stanowi elektronika. Dla porządku należy choćby wymienić te najważniejsze.

Rezonans magnetyczny – to jedno z najbardziej skomplikowanych urządzeń medycznych. Jest to kolejny przyrząd służący do nieinwazyjnego badania narządów wewnętrznych we wszystkich płaszczyznach. Pacjent jest wprowadzany do olbrzymiej cewki generującej



Fotografia 14. Stanowisko do badania momentów sił zginaczy i prostowników kończyn górnych

silne pole magnetyczne, a także fale radiowe. Specjalne detektory badają to pole po przejściu przez ciało pacjenta i na tej podstawie jest sporządzany obraz. Bardzo ważne jest zachowanie pełnej izolacji od obcych pól elektromagnetycznych. Tą metodą są badane takie części ciała, jak: głowa, kręgosłup, kolana, nadgarstki, barki i stawy biodrowe i skokowe oraz stopy.

Tomografia komputerowa, (CT, TK). Urządzenie wykonuje serię prześwietleń (najczęściej mózgu) wykonując jednocześnie ruch posuwisty i obrotowy. W ten sposób powstaje seria obrazów przedstawiających wnętrze mózgu tak, jakby był krojony na plasterki. Obraz nie jest tworzony wprost z sygnałów odbieranych przez detektory promieniowania X, musi być obliczony komputerowo. Współczesne tomografy wykonują do 2 milionów projekcji w czasie jednego pomiaru, dzięki czemu uzyskiwana jest niewyobrażalna rozdzielczość rzędu dziesiątek mikrometrów.

Elektroencefalograf (EEG). Aparatura służąca do badania tzw. fal mózgowych. Są to sygnały elektryczne o bardzo małych częstotliwościach rzędu 0,5...35 Hz odczytywane za pośrednictwem zespołu składającego się z 24 sond umieszczanych na głowie pacjenta. Elektroencefalografia jest użyteczna w diagnozowaniu chorób ośrodkowego układu nerwowego, jak również w diagnozowaniu zaburzeń snu. W wyniku badania powstaje kolekcja zapisów uzyskiwanych z każdej sondy. Na ich podstawie lekarz specjalista wyciąga wnioski o stanie osoby badanej i podejmuje ewentualne środki lecznicze. Badanie trwa około 20 minut i musi przebiegać w spokojnym, cichym pomieszczeniu, tak aby nic nie rozpraszało pacjenta. EEG jest jednym z podstawowych badań w leczeniu padaczki.

Specyficzną odmianą EEG jest zapoczątkowany w latach 60. XX wieku **biofeedback**. W tym przypadku nie można jednak mówić o diagnostyce i leczeniu, a raczej o treningu mózgu. Termin ten w dosłownym tłumaczeniu oznacza biologiczne sprzężenie zwrotne. Rzeczywiście jest to specjalne urządzenie elektroniczne, które w czasie rzeczywistym bada aktywność mózgu i sygnalizuje ją osobie badanej z rozróżnieniem na poszczególne fale mózgowie. W ten sposób osoba ta uczy się własnych reakcji na określone bodźce i stara się odpowiednio zmieniać reakcje swojego mózgu. Trening biofeedback ułatwia wychodzenie ze stanów depresji.

Do badania schorzeń układu nerwowego oprócz EEG stosowana jest też metoda **EMG**, czyli **elektromiografia**. Obiektem badań nie jest jednak mózg, lecz mięśnie i nerwy. Jest to metoda elektrofizjologiczna, badania takiego powinny więc unikać osoby z wszczepionym rozrusznikiem serca. Metodą EMG są diagnozowane liczne schorzenia układu mięśniowo-nerwowego, takie jak: dystrofia mięśniowa, stwardnienie boczne zanikowe, rdzeniowy zanik mięśni, jak również zespół cieśni nadgarstka, zespół cieśni kanału ściepu oraz chorób złączy nerwowo-mięśniowego, np. miastenii. Badanie jest dość złożone, składa się z czterech, w zasadzie niezależnych badań, jak: elektroneurografia (badanie przewodnictwa w nerwach obwodowych), badanie mięśni, badanie transmisji nerwowo-mięśniowej i badanie nad pobudliwości nerwowo-mięśniowej.

Robot chirurgiczny Da Vinci. Jedno z najbardziej spektakularnych urządzeń medycznych, jakie są w dyspozycji polskich chirurgów. Użytkowany od 2017 roku robot umożliwia wykonywanie bardzo skomplikowanych operacji chirurgicznych przede wszystkim w leczeniu raka prostaty. Robot korzysta z kamery dającej 10-krotne powiększenie 3-wymiarowego obrazu. 7 stopni swobody ramion robota zapewnia precyzję ruchów nieosiągalną w operacjach prowadzonych metodami klasycznymi. Wyeliminowano naturalne drżenie rąk człowieka. Precyzja wykonywania czynności może w przypadku leczenia raka prostaty decydować o sukcesie lub porażce operacji ze względu na położone bardzo blisko siebie zwieracz cewki moczowej i pęczki naczyniowo-nerwowe. Ich przypadkowe uszkodzenie prowadzi do bardzo przykrych dla pacjenta konsekwencji. Jest tylko jeden problem – całkowity koszt operacji to ok. 35000 zł.

Jarostaw Doliński, EP



Modułowe zasilacze impulsowe

dla przemysłu firmy Relpol

Zapraszamy do zapoznania się z przeglądem nowych rozwiązań zasilaczy przemysłowych, które pojawiły się w ostatnim okresie w ofercie firmy Relpol.

Więcej informacji:

Relpol
tel. 68 479 08 22, www.repol.pl



Zasilacze w obudowach modułowych serii RZI...M

Zasilacze w obudowach modułowych serii RZI...M przeznaczone są głównie do zastosowań w automatyce przemysłowej, zasilania urządzeń gospodarstwa domowego i automatyki budynkowej. Charakteryzuje je szeroki zakres temperatury pracy od -25 do $+71^{\circ}\text{C}$, a zastosowane w zasilaczach kondensatory elektrolityczne cechują się wyjątkowo długim okresem trwałości, nawet do 10 lat. Lekka konstrukcja z wytrzymałego tworzywa zapewnia skuteczną wentylację i pozwala na pracę zasilacza w trudnych warunkach środowiskowych. Komplet zabezpieczeń: nadnapięciowe, przeciążeniowe, zwarciove, temperaturowe, gwarantuje niezawodną pracę w każdych warunkach.

Zasilacze w obudowach przemysłowych serii RZI...P

Zasilacze w obudowach przemysłowych serii RZI...P kierowane są do odbiorców z obszaru automatyki przemysłowej, przeznaczone do zasilania maszyn pakujących, budowlanych, tkackich itp. Mogą pracować w szerokim zakresie temperatury od -20 do $+80^{\circ}\text{C}$ i producent gwarantuje ich zimny start nawet przy -40°C , co pozwala na sprawne uruchomienie instalacji nawet przy silnym mrozie. Zastosowane w zasilaczach kondensatory elektrolityczne cechują się wyjątkowo długim okresem trwałości nawet do 10 lat, a lekka aluminiowa konstrukcja odporna na wibracje i wstrząsy jest w stanie wytrzymać ciężkie warunki przemysłowe.

W tym modelu zasilacza zastosowano dodatkową powłokę konformalną PCBA (conformal coating), która zabezpiecza elektronikę zasilacza przed przepięciami oraz powstawaniem korozji i zwarć podczas pracy w zakurzonej i wilgotnym środowisku oraz chroni elektronikę przed negatywnym oddziaływaniem wibracji. Poza

kompletem zabezpieczeń (nadmapięciowe, przeciążeniowe, zwarciove, temperaturowe), zasilacz pozwala na chwilowe przeciążenie do 150% mocy znamionowej dla gwarancji uruchamiania obciążeń z dużym prądem rozruchowym (np. silniki).

Zasilacze RZI typu P są odporne na uszkodzenia i awarie w dużo większym stopniu niż standardowe produkty tego typu dostępne na rynku. Konstrukcja z wytrzymałego tworzywa zapewniająca skuteczną wentylację pozwala na pracę zasilacza w trudnych warunkach.





Moduły redundantne serii RZI...R

Moduły redundantne w lekkiej aluminiowej obudowie przeznaczone są do zastosowań w automatyce przemysłowej, do zapewnienia niezawodnego zasilania w obszarach dużej wydajności, w technice procesowej oraz energetyce. Współpracują z zasilaczami RZI...P, umożliwiają równoległe łączenie zasilaczy w celu zwiększenia mocy, rozprzegają połączone równoległe zasilacze i zapewniają ciągłość zasilania w przypadku awarii lub zwarcia jednego z zasilaczy. Zapewniają redundancję w trybie „1+1” (każdy z połączonych równoległe zasilaczy przejmuje 100% obciążenia). Pracują w zakresie temperatury od -40 do +80°C, mają powłokę ochronną na PCBA, a przekaźnik alarmowy zapewnia stały monitoring redundancji i informuje o nieprawidłowych poziomach napięć w połączonych równoległe zasilaczach.

Moduły buforowe serii RZI...B

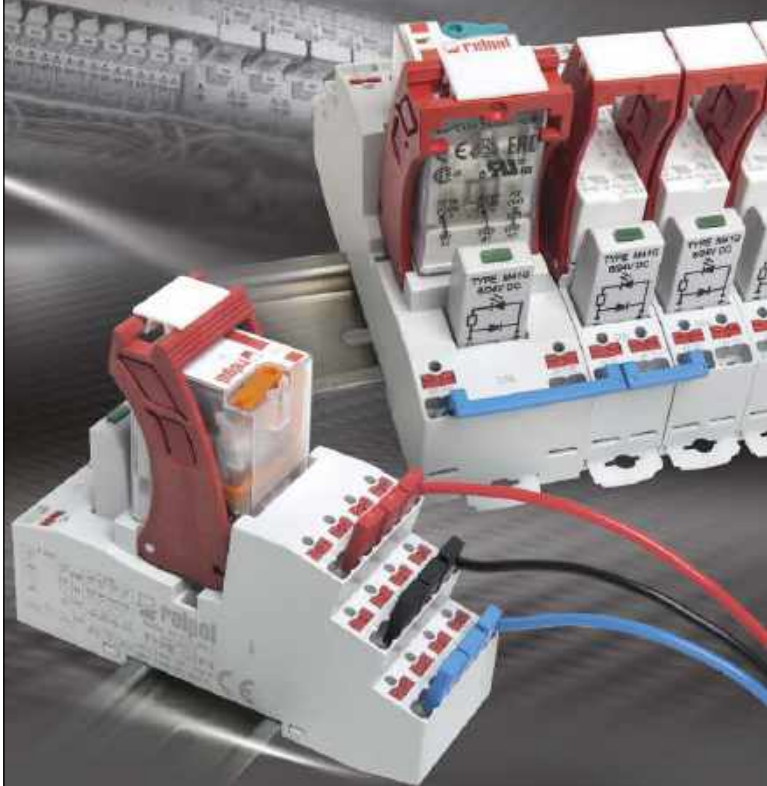
Moduły buforowe serii RZI...B w lekkiej aluminiowej obudowie przeznaczone są do zastosowań w automatyce przemysłowej, współpracują z zasilaczami RZI...P w celach podtrzymania napięcia w czasie chwilowych zaników zasilania, mogą być łączone równoległe w celu wydłużenia czasu podtrzymania napięcia oraz tworzyć systemy wraz z modułem UPS i modułami redundantnymi. Mają wyjścia sygnałowe i zapewniają pełny monitoring pracy układu w trybach ładowania, czuwania, podtrzymywania napięcia (buforowania). Minimalny czas buforowania dla najwyższych prądów to 250 ms przy obciążeniu 20 A/24 VDC (RZI-20B) oraz 200 ms przy obciążeniu 40 A/24 VDC (RZI-40B).

Ich cechą jest szeroki zakres temperatury pracy (od -25 do +75°C), powłoka ochronna na PCBA, zabezpieczenia: nadnapięciowe, przeciążeniowe, zwarciovowe, właściwej polaryzacji. Dodatkowe funkcje to trzy wyjścia sygnałowe: maks. 35 V/10 mA (ładowanie, czuwanie, buforowanie) oraz możliwość sterowania pracą modułu poprzez wyjście sterujące: maks. 35 V/10 mA (włącz/wyłącz moduł buforowy).

Moduł RZI...UPS

Moduł RZI...UPS przystosowany jest do pracy w układach o napięciu 24 VDC i prądach obciążenia do 40 A, zapewniając moc wyjściową do 960 W. Urządzenie umieszczone zostało w aluminiowej solidnej obudowie zapewniającej odporność na korozję i wibracje. Trzy wyjścia przekaźnikowe zapewniają pełny monitoring pracy układu, nawet z dala od urządzenia, informując o trybach pracy (DC OK, tryb rozładowania, brak baterii). Jest też sygnalizacja trybu pracy wskaźnikami LED: DC OK, ładowanie, rozładowywanie, niewłaściwy akumulator lub brak akumulatora. Zabezpieczenia: nadnapięciowe, temperaturowe, zwarciovowe, właściwej polaryzacji zasilania, właściwej polaryzacji i napięcia akumulatora. Moduł można łączyć w układy z zasilaczami RZI...P oraz modułami buforowymi i redundantnymi Relpolu.

Przekaźniki interfejsowe w technologii Push-in



Swobodne mostkowanie
w każdej aplikacji
(2-polowe złącza i zworki)



Łączenie wejść
nawet 8 przekaźników
(8-polowe złącza grzebieniowe)



Łatwy i szybki montaż
(zaciski pod kątem, w kierunku koryt kablowych)

Bezpieczeństwo i niezawodność
(szybka obsługa w zarządzaniu okablowaniem,
montaż bez użycia narzędzi)

Biuro Obsługi Klienta: tel. 68 47 90 822, 850
sprzedaz@relpol.com.pl, www.relpol.com.pl

Dziękujemy firmie Farnell, która jako partner-producent Raspberry Pi dostarczyła nam przedprodukcyjną wersję Raspberry Pi 400, na podstawie której powstał niniejszy artykuł.

Raspberry Pi 400 okiem elektronika

Raspberry Pi cieszy się ogromnym powodzeniem w branży elektronicznej. Komputer został gorąco przyjęty przez hobbystów, a z czasem stał się profesjonalną platformą, stosowaną nawet w instalacjach przemysłowych. Nowy model, który pojawił się właśnie na rynku, wydaje się zmieniać kierunek rozwoju platformy i może stanowić dla elektroników duże zaskoczenie. Jak zostanie odebrany? Czy zyska popularność? I czy inżynier-elektronik powinien się zainteresować Raspberry Pi 400?

Pierwszy model Raspberry Pi został zaprojektowany z myślą o edukacji. Już od początku był wdrażany globalnie we wszelkiego rodzaju projektach edukacyjnych, na różnych poziomach nauczania. Jednak najwięcej emocji przynosił w środowisku tzw. twórców (*makers*). Hobbyści, a nawet różni artyści, widząc możliwość szybkiego poznania nowej platformy i łatwość wykorzystania jej zaawansowanych funkcji, przygotowywali szereg, często niezmiernie innowacyjnych, projektów, z których wiele publikowaliśmy na łamach EP. RPi spodobał się też elektronikom, którzy mogli małym kosztem, nawet bez posiadania zaawansowanej wiedzy, konstruować urządzenia realizujące złożone zadania, czy choćby prototypować pomysły. Te trzy grupy użytkowników: młodzież szkolna, hobbysci i inżynierowie, stanowią niezwykle kreatywne środowisko, zdolne do opracowania mnóstwa bibliotek i urządzeń, rozbudowujących system – i to bez wielkich nakładów ze strony producenta.

Dobra, długofalowa strategia

Dotarcie do najbardziej kreatywnych grup użytkowników oraz przekonanie ich do prac z Raspberry Pi udało się bardzo dobrze. Są firmy, które zdając sobie sprawę z korzyści, jakie płyną z zaangażowania studentów i zapoznania ich z oferowanymi technologiami, dużo inwestują w opiekę nad młodymi inżynierami. Przynosi to profity, ale

odłożone w czasie, co nie zawsze odpowiada inwestorom poszukującym szybkiego zysku. Fundacja Raspberry Pi i jej partnerzy planowali bardzo długoterminowo i dzięki temu uzyskali rewelacyjne rezultaty. Gdy wprowadzano warianty RPi w postaci modułów obliczeniowych, a więc pozbawione gniazd, producent liczył na wejście na rynek komercyjny, ale okazało się, że cała platforma przyjęła się tak dobrze, że obecnie nawet klasyczne Raspberry Pi 4 jest stosowane w aplikacjach komercyjnych i przemysłowych.

Raspberry Pi pojawiło się w odpowiednim czasie – wtedy, gdy rozpoczął się rozwój Internetu Rzeczy i komunikacji bezprzewodowej, a całości dopomógł szybki rozwój układów procesorowych z rdzeniami ARM. Bardzo istotny wpływ na sukces ma też stopniowe przechodzenie punktu koncentracji prac w elektronice od hardware'u do software'u, co wynika zarówno z większej złożoności produkowanych urządzeń, jak i ze względnej łatwości programowania, w porównaniu do trudności pracy ze sprzętów elektroniką. W czasach gdy zdolnych inżynierów cały czas brakuje, możliwość zastąpienia kilku elektroników programistami, jakich łatwiej da się znaleźć na rynku, miewa niekiedy kluczowe znaczenie dla powodzenia projektu.



Fotografia 1. Kompletny zestaw Raspberry Pi 400



Fotografia 2. Raspberry Pi 400 widziane z boku

Jak się do tego wszystkiego ma Raspberry Pi 400, skoro z wyglądu przypomina klawiaturę, a na pierwszy rzut oka, z użytkowego punktu widzenia, to nowoczesna wersja ZX Spectrum albo Commodore 64? W moim przekonaniu wprowadzony właśnie sprzęt to krok w stronę wejścia na nowy rynek, a zarazem konsekwentne trzymanie się pierwotnej strategii Fundacji.

Raspberry Pi 400 w edukacji

Raspberry Pi 400 to komputer edukacyjny. Widać to chociażby po zawartości zestawu, w jakim jest dostarczany. My otrzymaliśmy wersję przedprodukcyjną, która nieco różni się składem od wersji finalnej, ale i tak zestaw zawiera niemałą książeczkę w postaci papierowej. Jest to 250-stronicowa publikacja i stanowi swoisty podręcznik użytkownika, ale przygotowany właśnie z myślą o dzieciach i młodzieży. Nasz dotyczył jeszcze Raspberry Pi 4, ale wersja produkcyjna została zaktualizowana, by prezentować RPi 400.

Nowy komputer jest jeszcze bardziej przystępny niż model wypuszczony na początku istnienia Fundacji. Nie straszy zielonym PCB, mnóstwem pinów i gołych komponentów. Widzimy klawiaturę i trochę złącz, a więc coś, co bez problemu możemy dać nawet dziecku bez obawy, że porazi je prąd. Można by zarzucić, że Raspberry Pi 400, pozbawione ekranu dotykowego, nie przystaje do obecnych czasów. Ale z drugiej strony, z używaniem klawiatury wiąże się inne podejście do urządzenia, z którym mamy do czynienia. Ekran dotykowy jest w sprzęcie konsumenckim i urządzeniach multimedialnych, gdzie służy ułatwieniu obsługi oraz poprawieniu wrażeń z rozrywki. Klawiatura wydaje się bardziej profesjonalna i wymaga od użytkownika innego podejścia, w którym to użytkownik bardziej musi postarać się zrozumieć maszynę niż maszyna użytkownika. Oczywiście, jeśli chcemy zrobić wygodny interfejs graficzny niedużym kosztem, ekran dotykowy będzie świetnym wyborem. Jeśli jednak chcemy zaangażować młodą osobę i wzbudzić w niej określone nawyki, klawiatura może być niezwykle trafnym rozwiązaniem.

Raspberry Pi 400 jako komputer stacjonarny

Czy poza walorami edukacyjnymi, RPi 400 ma jeszcze jakieś inne zastosowania? Tak, dwojakie. Na pewno należy wymienić możliwość użycia platformy jako zamiennika komputera stacjonarnego. Nie jest to jednak rozwiązanie idealne, ale za to ekonomiczne. Zestaw RPi 400 kosztuje 100 USD, przy czym za 70 dolarów można nabyć sam komputer, bez zasilacza, kabla do telewizora, myszki, instrukcji i karty pamięci z przejściówką. Czy warto kupić cały zestaw? Na prezent – tak. Dla siebie – niekoniecznie. Doświadczony użytkownik nie potrzebuje książeczki, a pewnie będzie miał też swoją własną kartę pamięci i myszkę, co nie zmienia faktu, że zestaw po prostu jest naprawdę estetyczny, robi dobre wrażenie i jest kompletny. W wersji najbardziej ekonomicznej można na czas włączania komputera zabierać ładowarkę od telefonu – dostarczany w zestawie zasilacz



Fotografia 3. Wszystkie złącza Raspberry Pi 400 znajdują się w tylnej części obudowy

Podstawowe parametry Raspberry Pi 400:

- Czerdordzeniowy procesor Broadcom BCM2711 oparty na 64-bitowym rdzeniu Cortex-A72, taktowany zegarem 1,8 GHz;
- 4 GB pamięci RAM LPDDR4-3200;
- Dwuzakresowy (2,4 GHz i 5,0 GHz) bezprzewodowy interfejs ethernetowy IEEE 802.11b/g/n/ac;
- Bluetooth 5.0 z obsługą BLE;
- Gigabitowy Ethernet;
- 2 złącza USB 3.0 i jeden port USB 2.0;
- 40-pinowe gniazdo wyprowadzeń GPIO, zgodne z dotychczasowymi wyprowadzeniami Raspberry Pi;
- 2 porty microHDMI, obsługujące rozdzielczość do 4K przy odświeżaniu 60 Hz;
- Sprzętowe wsparcie dla dekodowania H.265 (do 4K@60p) oraz dla H.264 (dekodowanie do 1080@60p, kodowanie do 1080@30p; wsparcie dla OpenGL ES 3.0);
- Gniazdo kart MicroSD na system operacyjny i do przechowywania danych;
- Klawiatura wyposażona w 78 lub 79 klawiszy, zależnie od wariantu regionalnego; dostępne warianty: amerykański, brytyjski, niemiecki, francuski, hiszpański, włoski i europejski;
- Zasilanie napięciem 5 VDC poprzez złącze USB;
- Dopuszczalna temperatura otoczenia pracy: od 0°C do +50°C;
- Wymiary: 286×122×23 mm.

ma 1,5-metrowy kabel ze złączem USB-C i jest w stanie zapewnić 15,3 W mocy; trzeba by było znaleźć odpowiednio mocny zamiennik.

Największą wadą zestawu jest kabel microHDMI, który jest po prostu za krótki do wielu zastosowań. Ma to tym większe znaczenie, im większa przekątna ekranu, do którego chcemy podłączyć sprzęt. A trzeba pamiętać, że już z idei RPi 400 podłączamy raczej do posiadanego już telewizora, szczególnie jeśli nabywamy ten model po to, by zaoszczędzić na pełnoprawnym, biurkowym PC. Oznacza to, że bardzo często urządzenie będzie wykorzystywane z domowym telewizorem, którego statystyczna przekątna wciąż rośnie. Tegoroczne dane rynkowe mówią, że najczęściej nabywane są modele 55- i 65-calowe, a należy się spodziewać, że w przyszłym roku na popularności zyskają modele 75". Bardzo często więc osoba, podłączająca minikomputer do telewizora, dostarczonemu w zestawie, kablem o długości około 1 metra, będzie musiała obsługiwać urządzenie siedząc przy samym wyświetlaczu, w którymś jego rogu i niedowidzi drugiego końca ekranu. Warto więc zaopatrzyć się w odpowiedni przedłużacz lub po prostu dłuższy przewód. Zakup dodatkowego, używanego, w pełni sprawnego monitora o rozdzielczości Full HD i wyposażonego w gniazdo HDMI to koszt rzędu 200 zł, a więc ponad połowa wartości samego komputera.

Wydajność w praktyce

Raspberry Pi 400 jest przygotowany tak, by błyskawicznie zacząć pracę. Po pierwszym uruchomieniu użytkownik pytany jest o kilka ustawień i aktualizację. Wbudowany system operacyjny jest prosty i został sprawdzony na przestrzeni lat. Domyślnie nie zawiera gier, więc wymaga inwencji od użytkownika, by jakieś gry doinstalować. Z powodzeniem da się na nim przeglądać strony internetowe, i to nawet całkiem rozbudowane. Nieco gorzej jest z serwisem YouTube, który już przy rozdzielczości 480p potrafi gubić klatki, przy czym warto zaznaczyć, że faktycznie zaczyna to przeszkadzać dopiero powyżej 1080p. Materiały wideo z sieci lokalnej lub zapisane na dysku odtwarzają się całkiem płynnie – lepiej niż YouTube, choć oczywiście wszystko zależy od ich przepływności. Jest to zawsze

Najnowszą wersję podręcznika Raspberry Pi (fotografia 4), dostarczanego w zestawie z RPi 400 można przejrzeć i nabyć pod adresem <https://bit.ly/390StMp>

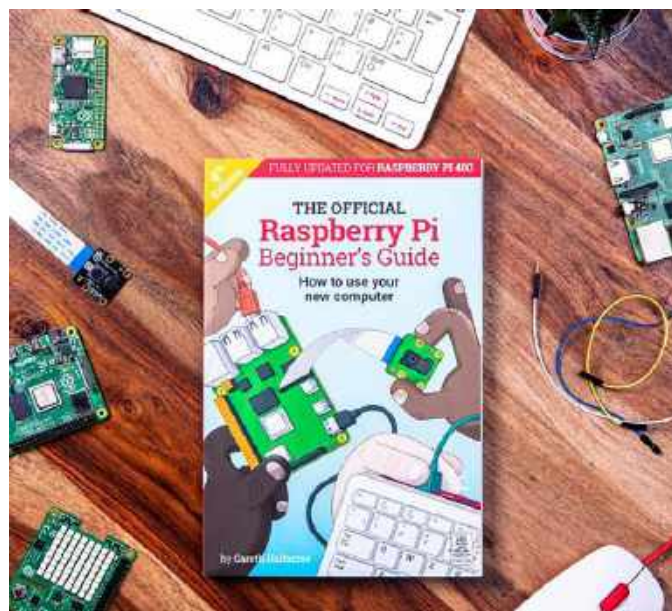
zastanawiające, dlaczego pomimo sprzętowego wsparcia dekodowania, urządzenia tego typu jednak nie radzą sobie w pełni sprawnie z dekodowaniem wideo. A warto zauważyć, że akurat pod względem procesora, RPi 400 jest najmocniejszym wariantem z dotąd produkowanych. Jego procesor jest taktowany rdzeniem 1800 MHz (dla porównania, Raspberry Pi 4 Model B jest taktowany zegarem 1500 MHz) i pracuje z 4 GB pamięci RAM (RPi 4 Model B jest dostępny w wariantach z 2 GB, 4 GB lub 8 GB RAM).

Co bardzo ważne, sprzęt względnie nadaje się do e-lekcji i bardzo możliwe, że to właśnie spopularyzowanie tej formy edukacji zdecydowało o wdrożeniu produkcji nowego komputera. Na Linuksie da się zainstalować zarówno Google Hangouts, jak i Microsoft Teams czy komunikator Zoom. RPi 400 nie zawsze zapewni odpowiednią płynność działania, ale wobec doniesień o problemach wielodzietnych rodzin, gdzie kilka osób jednocześnie powinno uczestniczyć w różnych lekcjach i brakuje do tego komputerów, RPi 400 może stanowić świetnie dopasowane rozwiązanie, również na polskim rynku.

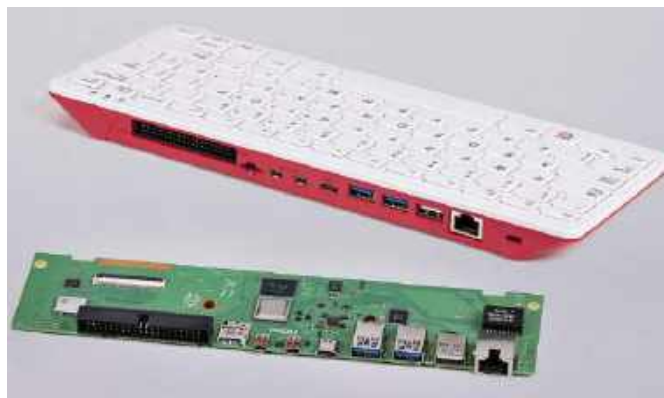
RPI 400 dla elektronika

Wiemy już, że Raspberry Pi 400 sprawdzi się w edukacji i w pewnym zakresie może zastąpić komputer domowy, ale jaki pożytek z niego może mieć profesjonalny elektronik? Moim zdaniem RPi 400 otwiera nowy rynek, na który możemy bardzo szybko wejść. Jest to zestandaryzowana platforma, która najpewniej zyska dużą popularność. Co więcej, opiera się na znanym systemie, a więc z łatwością można przygotować dla niej nawet rozbudowane rozwiązania. Jakież? Tę kwestię należy pozostawić pomysłowości czytelników. Niemniej, standardowe 40-pinowe złącze, wyprowadzone na zewnątrz obudowy, zachęca do kombinowania. Jest całkiem duża szansa, że tak jak dla klasycznego RPi powstały setki, jeśli nie tysiące modułów HAT, tak i dla RPi 400 trzeba będzie przygotować wiele nowych modułów. W końcu lokalizacja złącza sprawia, że dotychczasowe płytki rozszerzeń fizycznie nie będą pasowały do obudowy Raspberry Pi 400, choć będą zgodne pod względem wyprowadzeń. Brakuje tylko możliwości jakiejś formy wyprowadzenia złącza kamery, które w klasycznym Raspberry Pi jest standardem.

Drugim obszarem zastosowań komputera będzie rola atrakcyjnego interfejsu użytkownika. Niewielkie rozmiary, schludny wygląd, wysoka jakość wykonania i duża liczba przycisków – to cechy, dzięki którym mała klawiatura może okazać się świetnym sposobem komunikacji z użytkownikiem. Zamiast wielopoziomowego menu, zbudowanego na niewielkim ekranie dotykowym, możemy użyć 78/79 przyjemnych w dotyku klawiszy. To prawda – bez jakiegokolwiek



Fotografia 4. Podręcznik użytkownika Raspberry Pi 400



Fotografia 5. Płytkę PCB Raspberry Pi 400 ma zupełnie inny format niż w pozostałych wariantach minikomputera. Sprzęt chłodzony jest pasywnie, z użyciem dość dużego radiatora



Rysunek 1. Rozkład złączy Raspberry Pi 400

wyświetlacza obsługa sprzętu na ślepo raczej nie będzie wygodna, ale i w tym zakresie chyba można liczyć na kreatywność inżynierów. 40-pinowe złącze, porty HDMI i interfejsy radiowe mogą posłużyć do prezentowania w jakiś sposób reakcji na działania użytkownika.

Podsumowanie

Czy warto kupić Raspberry Pi 400? W kilku sytuacjach tak. Sprzęt jest wart rozważenia przede wszystkim, jeśli chcemy zainteresować młodą osobą elektroniką. Czytelnikom poszukującym prezentu na święta dla dzieci lub młodzieży, by podzielić się z młodszym pokoleniem własnymi zainteresowaniami, śmiało można polecić ten produkt. Duża szansa, że w dłuższej perspektywie zapewnimy tym samym obdarowanej osobie dochodowy zawód na resztę życia. Jak pokazuje przykład Fundacji Raspberry Pi, długoterminowe planowanie przynosi rezultaty.

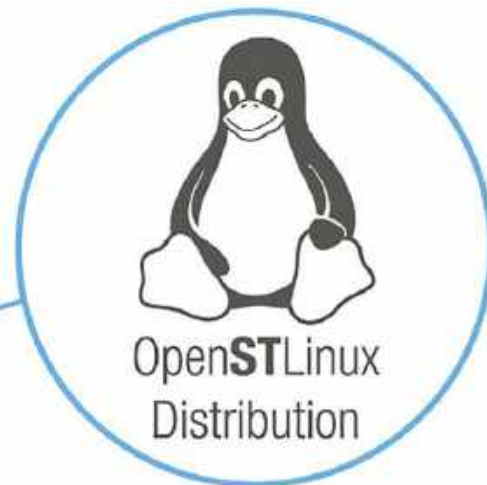
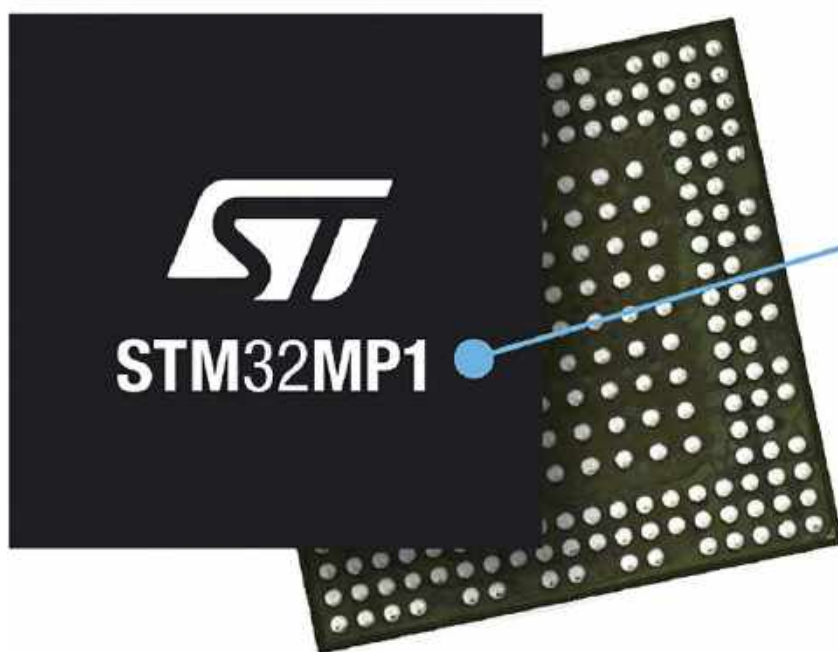
RPi 400 może też być rozwiązaniem problemu niedoboru komputerów w wielodzietnych rodzinach. Natomiast z profesjonalnego punktu widzenia – może stanowić nowy, niezdominowany jeszcze przez nikogo obszar rynkowy lub posłużyć jako ergonomiczny komponent, sterujący pracą większych systemów.

Jeśli już zdecydujecie się na zakup, bierzcie model z klawiaturą amerykańską lub wersję EU, bo to one odpowiadają układem klawiatury stosowanym w Polsce. Warto jednak mieć na uwadze, że dostarczany z amerykańską wersją zasilacz, choć może pracować z europejskimi napięciami, ma niekompatybilną wtyczkę i będzie wymagał prostej przejściówki. Wersja EU nie powoduje tego problemu. Niestety RPi 400 nie zostało w całości przystosowane do polskiego rynku, a więc trzeba się liczyć z obsługą systemu w obcym języku.

Marcin Karbowniczek, EP



Rysunek 2. Widok konstrukcji wewnętrznej



OpenSTLinux

dla procesorów z rodziny STM32MP1 (1)

Artykuł otwiera serię dotyczącą pracy z procesorami STM32MP1 i przeznaczonym dla nich systemem operacyjnym OpenSTLinux. Opiszę między innymi przygotowanie oraz modyfikację systemu, konfigurację sprzętu oraz tworzenie aplikacji z graficznym interfejsem użytkownika. Wszystkie przykłady będą uruchamiane na modułach VisionSOM-STM32MP1 z płytą bazową VisionCB-STM32MP1-STD i dołączonym wyświetlaczem SL-TFT-7-TP-800-480-P. Tematem pierwszej części cyklu będzie przygotowanie i uruchomienie systemu OpenSTLinux oraz SDK do kompilacji przykładowego programu w C.

Budowanie systemu OpenSTLinux

Dystrybucja systemu OpenSTLinux została udostępniona przez firmę STMicroelectronics dla procesorów z rodziny STM32MP1. System ten, zbudowany na bazie projektu Yocto, dostępny jest w trzech wariantach:

- Starter package – obraz systemu do uruchomienia na wybranych zestawach deweloperskich;
- Developer package – obraz systemu zawierający SDK (Software Development Kit) do kompilacji własnego oprogramowania;
- Distribution package – zestaw receptur umożliwiający zbudowanie własnej dystrybucji.

W naszym przykładzie zastosujemy ostatni z wariantów, czyli zestaw receptur, które można zmodyfikować na potrzeby modułu VisionSOM-STM32MP1. Wszystkie przykłady będziemy wykonywali na systemie Linux Ubuntu 18.04.4 LTS. W chwili pisania artykułu OpenSTLinux był dostępny w wersji openstlinux-20-02-19. Informacje o najnowszych zmianach można znaleźć na stronie Wiki: <https://bit.ly/2JhMbxE>.

Więcej informacji:

Opisane w artykule procedury budowania obrazu systemu i SDK są czasochłonne. Mogą wymagać nawet kilkudziesięciu godzin – zależnie od dostępnych zasobów sprzętowych. Z tego względu, na stronie ftp.somlabs.com dostępne są skompilowane wersje, gotowe do instalacji:

- OpenSTLinux: <https://bit.ly/2Jl92Zd>,
- SDK: <https://bit.ly/3o3tj4a>.

Informacje dotyczące instalacji znajdują się w artykule.



Pierwszym krokiem jest utworzenie katalogu roboczego i pobranie niezbędnego oprogramowania z repozytoriów ST oraz projektu *openembedded*:

```
cd <working directory path>/Distribution-Package
mkdir openstlinux-4.19-thud-mp1-20-02-19
cd openstlinux-4.19-thud-mp1-20-02-19
repo init -u https://github.com/STMicroelectronics/oe-manifest.git -b refs/tags/openstlinux-20-02-19
repo sync
```

Powyższe instrukcje pobierają receptury potrzebne do przygotowania podstawowej wersji systemu OpenSTLinux, ze wsparciem dla wybranych zestawów ewaluacyjnych.

W celu uruchomienia systemu na urządzeniu VisionSOM-STM32MP1 musimy pobrać receptury z repozytorium SoMLabs, zawierające konfigurację sprzętu dla tego modułu oraz płytki bazowej VisionCB-STM32MP1-STD:

```
cd layers/meta-st
```

```
git clone https://github.com/SoMLabs/openst-meta-somlabs.git meta-somlabs -b thud
```

Po ściągnięciu repozytorium `openst-meta-somlabs` mamy już wszystkie komponenty niezbędne do zbudowania obrazu systemu. Przechodzimy więc z powrotem do katalogu `openstlinux-4.19-thud-mp1-20-02-19` i konfigurujemy środowisko:

```
cd ../../
DISTRO=openstlinux-weston MACHINE=stm32mp157a-visionsom-mx source layers/meta-st/scripts/envsetup.sh
```

Drugie z powyższych poleceń konfiguruje aktywny terminal. Natomiast proces budowania obrazu systemu rozpoczynamy, wywołując:

```
bitbake st-image-weston

Cała operacja może potrwać kilka godzin – zależnie od dostępnych zasobów sprzętowych. Po jej zakończeniu musimy jeszcze przygotować obraz karty SD, składający się z odpowiedniej konfiguracji partycji, używając przeznaczonego do tego skryptu:
```

```
cd tmp-glibc/deploy/images/stm32mp157a-visionsom-mx/scripts/
./create_sdcard_from_flashlayout.sh ../flashlayout_st-image-weston/FlashLayout_sdcard_stm32mp157a-visionsom-mx-basic.tsv
```

Gotowy obraz karty SD znajduje się w pliku `flashlayout_st-image-weston_FlashLayout_sdcard_stm32mp157a-visionsom-mx-basic.raw` w katalogu `tmp-glibc/deploy/images/stm32mp157a-visionsom-mx`. Możemy go skopiować na kartę poleceniem:

```
sudo dd if=flashlayout_st-image-weston_FlashLayout_sdcard_stm32mp157a-visionsom-mx-basic.raw of=/dev/sdX bs=1M
```



Fotografia 1. Uruchomiony system z aplikacją demo na VisionSOM-STM32MP1

Ścieżkę `/dev/sdX` należy zmienić zgodnie z nazwą, jaką ma zamontowana w naszym systemie karta SD.

Po zainstalowaniu obrazu na karcie możemy uruchomić przygotowany system na module VisionSOM-STM32MP1, podłączonym do płytki bazowej VisionCB-STM32MP1-STD. Jeżeli podłączony jest również wyświetlacz SL-TFT7-TP-800-480-P, to po uruchomieniu systemu zobaczymy aplikację demo, odtwarzającą plik wideo oraz zawierającą przycisk do włączania diody podłączonej do pinu PA11, a także suwak umożliwiający zmianę jej jasności (fotografia 1).

Budowanie SDK

Pakiet SDK (*Software Development Kit*) jest niezbędny do kompilacji na systemie hosta programów, przeznaczonych dla systemu OpenSTLinux. Zawiera on kompilator wraz z niezbędnymi bibliotekami i nagłówkami systemu, na którym będziemy uruchamiali aplikacje (tzw. *sysroot*). Podobnie jak sam obraz, SDK możemy zbudować po wcześniejszym skonfigurowaniu terminalu:

```
DISTRO=openstlinux-weston MACHINE=stm32mp157a-visionsom-mx source layers/meta-st/scripts/envsetup.sh
```

i wywołaniu polecenia:

```
bitbake st-image-weston -c populate_sdk
```

Po zakończeniu procesu budowania będziemy mieli dostęp do instalatora, dzięki czemu możemy używać SDK na wielu komputerach, na których chcemy przeprowadzać kompilację naszych aplikacji. Instalator `st-image-weston-openstlinux-weston-stm32mp157a-visionsom-mx-x86_64-toolchain-2.6-snapshot.sh` znajduje się w katalogu `tmp-glibc/deploy/sdk`. Po zainstalowaniu go w swoim systemie musimy odpowiednio skonfigurować terminal, w którym będziemy przeprowadzali kompilację:

```
./opt/st/stm32mp157a-visionsom-mx/2.6-snapshot/environment-setup-cortexa7t2hf-neon-vfpv4-ostl-linux-gnueabi
```

Konfigurację możemy zweryfikować, sprawdzając wartość zmiennej środowiskowej `CC`, zawierającej wywołanie kompilatora C:

```
echo $CC
```

W terminalu powinniśmy zobaczyć następujący wynik:

```
arm-ostl-linux-gnueabi-gcc -march=armv7ve -mthumb -mfpu=neon-vfpv4 -mfloat-abi=hard -mcpu=cortex-a7 --sysroot=/opt/st/stm32mp157a-visionsom-mx/2.6-snapshot /sysroots/cortexa7t2hf-neon-vfpv4-ostl-linux-gnueabi
```

Mając gotowe narzędzia, możemy zbudować przykładową aplikację, która będzie zmieniała stan diody na płycie VisionCB-STD-STM32MP1.

Sterowanie diodą LED

Nasza pierwsza aplikacja będzie okresowo zmieniała stan jednej z diod, znajdujących się na płycie bazowej. W domyślnym obrazie systemu skonfigurowane są trzy diody, przypisane do następujących pinów:

- PA12 – wyjście GPIO używane przez systemową funkcję „heartbeat”;
- PA11 – wyjście licznika generującego sygnał PWM, wykorzystywane w dostępnej w systemie aplikacji demonstracyjnej;
- PG12 – wyjście GPIO;

W naszym przykładzie użyjemy ostatniego z pinów, który jest w systemie przypisany do diody „led3”. Możemy nią sterować za pomocą pliku `/sys/class/leds/led3/brightness`. Dioda ta nie jest sterowana sygnałem PWM, więc wpisanie dowolnej wartości różnej od zera spowoduje ustawienie pinu PG12 w stan wysoki, natomiast wpisanie zera – w stan niski. Możemy się o tym przekonać, podłączając się do systemu za pośrednictwem portu szeregowego (port micro-USB ST-LINK) oraz np. programu `screen`: `sudo screen /dev/ttyACM0 115200` (wirtualny port szeregowy programatora ST-LINK jest w systemach Linux rozpoznawany jako urządzenie `/dev/ttyACMX`) i wywołując polecenia:

Listing 1. Kod przykładowego programu

```
#include <fcntl.h>
#include <unistd.h>
#define LED_PATH "/sys/class/leds/led3/brightness"
#define LED_BLINKS 2
int main(void) {
    int fd;
    fd = open(LED_PATH, O_WRONLY);
    for(int i=0; i<LED_BLINKS; i++) {
        write(fd, "1", 1);
        sleep(1);
        write(fd, "0", 1);
        sleep(1);
    }
    close(fd);
    return 0;
}
```

```
echo 1 > /sys/class/leds/led3/brightness
echo 0 > /sys/class/leds/led3/brightness
```

Spowodują one odpowiednio zapalenie i zgaszenie diody.

Przykładowa aplikacja w C

Na koniec napiszemy i skompilujemy program w C, który będzie w stanie modyfikować stan diody led3, podłączonej do pinu PG12. Uproszczony kod, niezawierający obsługi możliwych błędów, zwracanych przez funkcje *open*, *write* i *close*, znajduje się na listingu 1.

Program otwiera plik zdefiniowany jako *LED_PATH* (ścieżka do pliku *brightness*), wykonuje określoną liczbę zmian stanów diody, a na koniec zamyka plik. Możemy go skompilować w terminalu, w którym zostało skonfigurowane SDK:

```
$CC hello.c -o hello
```

W efekcie powinniśmy otrzymać plik wykonywalny *hello* dla architektury ARM, o czym możemy się przekonać, wywołując polecenie *file hello* i otrzymując w odpowiedzi:

```
hello: ELF 32-bit LSB executable, ARM, EABI5
version 1 (SYSV), dynamically linked, interpreter
/lib/ld-, for GNU/Linux 3.2.0, BuildID[sha1]=
7326911247aebb2361a8a2c94946453b02ac1402, with
debug_info, not stripped
```

Plik ten możemy skopiować bezpośrednio na kartę pamięci lub poleceniem *scp*, jeżeli wcześniej podłączyliśmy nasze urządzenie do sieci, za pomocą kabla Ethernet lub modemu Wi-Fi:

```
scp hello root@<Adres IP>:
```

Adres IP uzyskamy, wywołując polecenie *ip -a* w terminalu portu szeregowego. Plik zostanie skopiowany do katalogu domowego użytkownika root, czyli */home/root*. Możemy go uruchomić, przechodząc do wspomnianego katalogu i wywołując polecenie *./hello*.

Krzysztof Chojnowski

REKLAMA

Nie przegap!

interesujących materiałów w siostrzanym czasopiśmie



www.elportal.pl

A może masz pomysł na ciekawy artykuł lub projekt? Skonstruowałeś urządzenie, które jest godne zaprezentowania szerszej publiczności? Możesz napisać artykuł edukacyjny? Chcesz podzielić się doświadczeniem? W takim razie zapraszamy do współpracy na łamach „Elektroniki dla Wszystkich”.

Kontakt: edw@elportal.pl

EdW możesz zamówić na stronie www.ulubionykiosk.pl

Do kupienia również w Empikach i wszystkich większych kioskach z prasą.

W listopadowym wydaniu **Elektroniki dla Wszystkich** między innymi:

Akwarystyczny mikroUPS z baterią Li-Ion

Projekt przedstawia budowę i działanie zasilacza awaryjnego UPS, przeznaczonego do podtrzymania pracy osprzętu akwarystycznego, ale może także znaleźć szereg innych interesujących zastosowań.

MPPT. Istotne zalety oraz poważne wady regulatorów histerezowych

Dla wielu współczesnych elektroników realizacja regulatorów histerezowych wydaje się „oczywistą oczywistością”. Niestety!

Kurs Arduino

Skuteczna polonizacja dowolnych fontów GFX

Zadanie nie jest trywialne, ale dzięki wykorzystaniu odpowiednich narzędzi każdy może je z powodzeniem i zaskakująco sprawnie zrealizować.

Konwerter oraz miernik siły sygnału w.cz.

Opisany układ umożliwia pomiar siły sygnałów radiowych z zakresu 48–861 MHz oraz ich odbiór na odbiornikach pracujących w zakresie 33–39 MHz.

Z potrzeby chwili...

TZTMK – Transmisja sygnałów myszki i klawiatury

Przykład, jak użyć Arduino do rozwiązania uciążliwego problemu, który daje się we znaki wielu z nas.

Ponadto w numerze:

- Sekwencyjny przełącznik o regulowanej długości
- Piloty, piloty
- Odkrywamy schematy. Zasilacze komputerowe
- Droga do RRIO, czyli wzmacniacze operacyjne (nie tylko) dla początkujących
- Szkoła Konstruktorów:
 - Układ elektroniczny, pomocny w przypadku braku napięcia sieci energetycznej 230 V
 - Zaproponuj układ elektroniczny, przydatny w domowym akwarium lub terrarium

Symulacja i pomiar, czyli LTspice i Analog Discovery 2 w rękach konstruktora (17)

Generowanie przebiegu sinusoidalnego – suplement



W ostatniej części cyklu artykułów generowaliśmy przebieg sinusoidalny z użyciem diodowego układu kształtującego. Zastosowaliśmy więc technikę w pełni analogową. Temat generowania sinusoidy nie został wyczerpany, w tym odcinku będziemy go kontynuować. Tym razem jednak wykorzystamy technikę cyfrową.

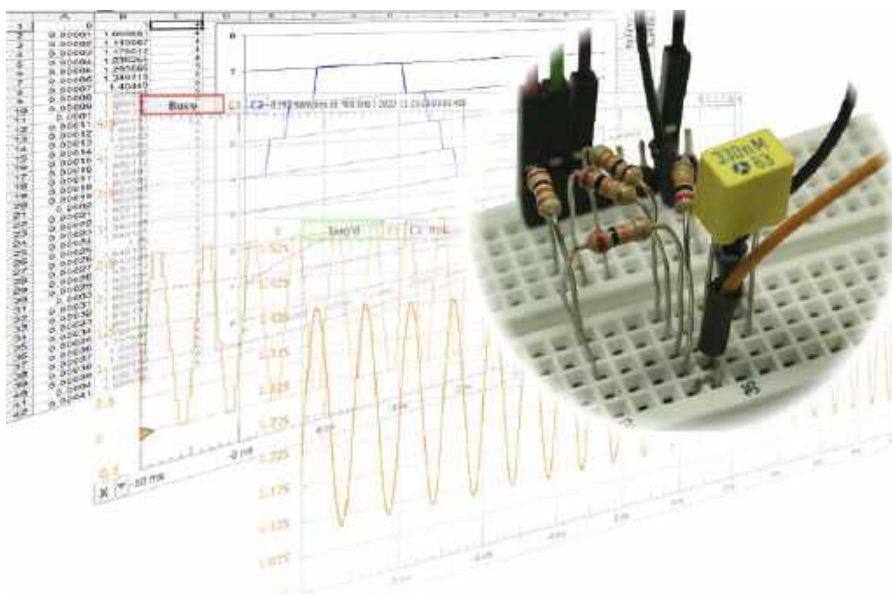
Technika cyfrowa zdominowała współczesną elektronikę, jest więc powszechnie stosowana również w aparaturze pomiarowej, do której zaliczamy m.in. generatory. Niezwykle popularne od lat 80. XX w. generatory funkcyjne działały na zasadzie podobnej do tej, którą prezentowaliśmy ostatnio. Jako pierwotny budowaliśmy generator przebiegu piłokształtnego. Jest to zadanie stosunkowo proste. Idea opiera się na ładowaniu i rozładowywaniu kondensatora prądem stałym, a budowa źródła prądowego nie sprawia większego problemu technicznego. Mając przebieg piłokształtny, łatwo przerobić go na przebieg prostokątny, dodając równie prosty w wykonaniu przerzutnik Schmitta, a za pomocą diodowego układu kształtującego ostatecznie można otrzymać sinusoidę. Uzyskiwana tą nieskomplikowaną metodą zawartość harmonicznych na poziomie 1, 2 procent należy uznać za dobrą.

Tym razem do wygenerowania sinusoidy zastosujemy wyłącznie technikę cyfrową. Oznacza to, że kształt przebiegu, który notabene może być dowolny, nie tylko sinusoidalny, będzie odtworzony z cyfrowej postaci zapisanej w jakiś sposób w układzie elektronicznym. Eksperyment, który teraz zrobimy, nie jest jednak czystą techniką DDS.

Obliczenia

Jak zwykle zaczynamy od obliczeń w Excelu. Wygenerujemy w nim przebieg sinusoidalny, a następnie utworzymy wg pewnego algorytmu jego postać cyfrową. Aby arkusz miał cechy uniwersalności, parametry przebiegu ustalimy parametrycznie. Będą to:

- częstotliwość sygnału **fs** – komórka \$R\$1, przyjmujemy $f_s = 1 \text{ kHz}$,



- częstotliwość kroku obliczeniowego **fp** – \$R\$2, przyjmujemy 100 kHz,
- okres kroku obliczeniowego **Tp** – \$R\$3 ($R_3 = 1/f_p$), $T_p = 0,00001 \text{ s}$,
- amplituda sygnału **Um** – \$R\$4 (przyjmujemy, że jest ona równa 0,95 umownej jednostki),
- liczba poziomów **lp** – \$R\$5 (parametr ten określa liczbę poziomów cyfrowej postaci przebiegu), przyjmujemy $l_p = 8$,
- skok napięcia dla jednego poziomu **du** – \$R\$6 ($R_6 = 1/l_p$), $du = 0,125$.

W kolumnie A umieszczamy kolejne wartości czasu, które następują od zera do pełnego okresu przebiegu, czyli w naszym przypadku do 1 ms. Krok przyrostu czasu jest równy T_p .

Kolumna B zawiera definicję przebiegu. Przykładowa formuła wpisana do komórki B1 jest następująca:

= \$R\$4 * SIN(2 * PI() * \$R\$1 * \$A1) + 1

Jedynka dopisana na końcu jest potrzebna, gdyż nasz układ fizyczny, który zbudujemy później, będzie generował tylko napięcia dodatnie.

Kolejnym krokiem obliczeń jest ucyfrowienie przebiegu. Jest to operacja, którą w układach rzeczywistych nazywa się kwantyzacją. Kwantyzacja zostanie zrealizowana przez formułę zapisaną w kolumnie C. Przykładowa formuła z komórki C1 jest następująca:

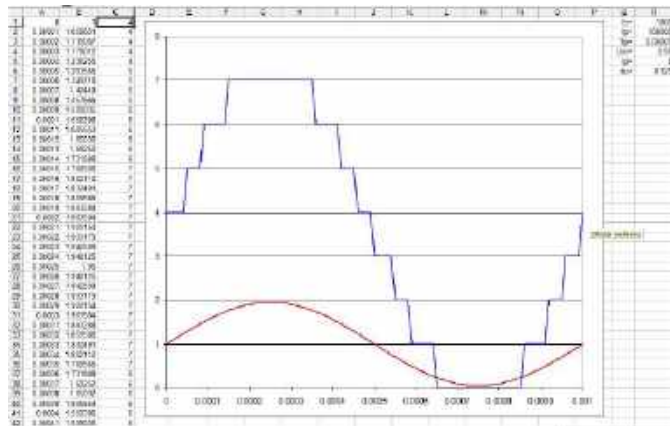
= LICZBA.CAŁK(B1 / (2 / \$R\$5))

Wartość chwilową przebiegu dzielimy przez dwa dzielone przez liczbę poziomów i z całości jest obliczana liczba całkowita. Liczba 2 określa maksymalny zakres przetwarzania (od 0 do 2). W tym przedziale musi zmieścić się cały przebieg. Ponieważ matematyczna sinusoida ma amplitudę 1, to aby zmieściły się obie połówki przebiegu – dodatnia i ujemna, przyjęliśmy całkowity zakres przetwarzania równy 2 i zastosowaliśmy przesunięcie sinusoidy o 1. Ponadto pozostawiliśmy pewien margines między szczytem sinusoidy a zakresem przetwarzania, ustalając amplitudę generowanego przebiegu równą 0,95. Formułę z komórki C1 powielamy w dół do końca danych.

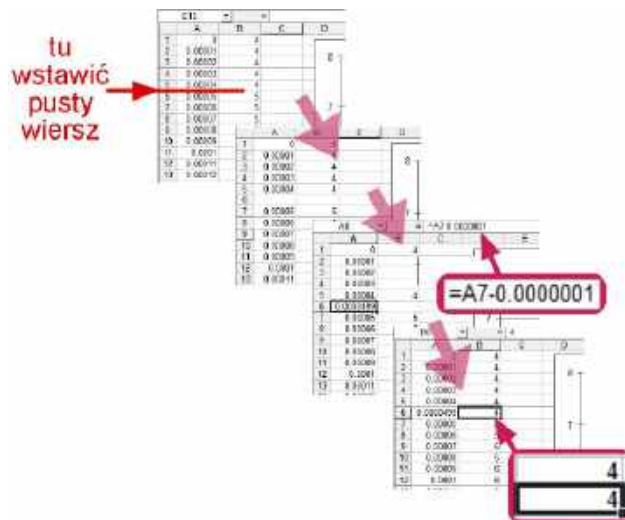
Dla sprawdzenia poprawności obliczeń możemy sporządzić wykresy przebiegu teoretycznego (czerwony wykres na rysunku 1) i wygenerowanego cyfrowo (wykres niebieski). Wygląda na to, że obliczenia są prawidłowe. Przyjęliśmy 8 poziomów i jak widać na rysunku, są one kodowane liczbami od 0 do 7.

Jest jeszcze tylko pewien szczegół, który różni tak uzyskany przebieg od tego, który zostanie wygenerowany w układzie fizycznym. Chodzi o szybkość przeskoku z jednego stanu do drugiego. W układzie fizycznym czas przełączenia jest uzależniony od czasu propagacji zastosowanego elementu cyfrowego i wynosi kilka, kilkanaście nanosekund. To niestety jest zła wiadomość, gdyż tak nagle zmiany przebiegu będą generowały sporo harmonicznych, które niekorzystnie wpłyną na parametry cyfrowej sinusoidy. Warto to sprawdzić w symulacji, ale konieczne jest utworzenie przebiegu zbliżonego do rzeczywistego. W tym celu, aby nie utracić danych, kopiujemy arkusz, na którym pracujemy do tej pory i w nowym arkuszu zaznaczamy całą kolumnę C, którą następnie kopiujemy i wklejamy „specjalnie” na kolumnę B z opcją „tylko wartości”. Dane z całej kolumny C można już usunąć. Teraz nad wierszem, w którym występuje zmiana wartości, w kolumnie B, należy wstawić pusty wiersz i wstawić w nim w kolumnie A wartość z kolumny A z następnego wiersza pomniejszoną np. o 0,0000001. W kolumnie B natomiast wstawiamy wartość z kolumny B wiersza poprzedzającego. Przykład działań przedstawiono na rysunku 2. Czynność tę powtarzamy dla każdej zmiany wartości w kolumnie B. W efekcie uzyskujemy prawidłowy cyfrowy przebieg, z jakim będziemy mieć do czynienia w układzie fizycznym (rysunek 3).

To już właściwie wszystko. Uzyskaliśmy cyfrową postać sinusoidy. W oryginalnym, surowym kształcie, przy założonej liczbie poziomów, sinusoida wygląda dość kiepsko, ale założenie było bardzo słabe. 8 poziomów odpowiada rozdzielczości 3 bitów. Założenie takie było przyjęte z premiedytacją, aby sprawdzić, czy tak proste rozwiązanie może sprawdzić się w przypadkach, gdy nie jest wymagana superduża czystość przebiegu. W jednym z poprzednich odcinków był przytaczany przykład turystycznych przetworników napięciowych, w których przebieg sinusoidalny imitujący napięcie sieci 230 V jest zastępowany przebiegiem trapezoidalnym. W tym eksperymencie przebieg bardziej przypomina sinusoidę, a przecież musi on zostać



Rysunek 1. Sinusoida matematyczna (przebieg czerwony) i skwantowana z 8 poziomami (przebieg niebieski)

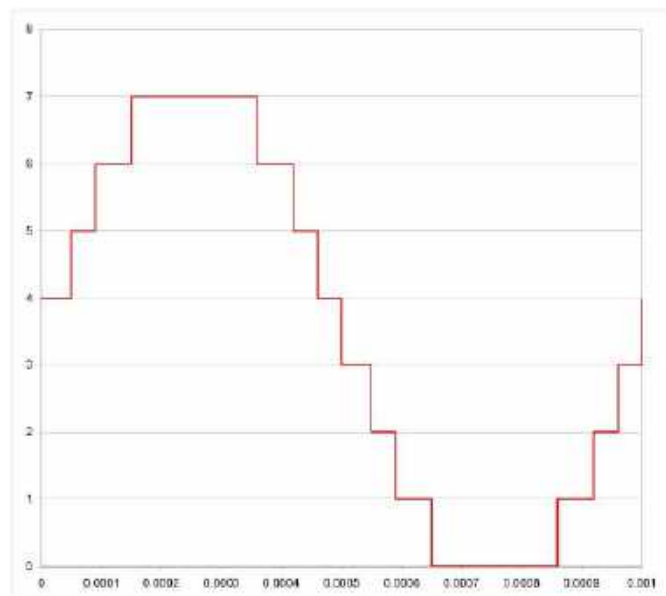


Rysunek 2. Ilustracja zasady poprawiania wykresu skwantowanej sinusoidy

poddany filtracji, tak jak każdy przebieg tworzony cyfrowo. O tym, jaki będzie tego skutek, przekonamy się już w symulacji i pomiarach.

Przygotowanie do symulacji

Dalej właściwie nie wiemy, jak obliczona sinusoida ma być generowana w układzie. Na razie wiemy tylko, w których momentach czasowych występują zmiany poziomów. Poszczególne poziomy muszą być tworzone w jakimś przetworniku cyfrowo-analogowym. Będzie nim rezystorowa drabinka wagowa. Jej konstrukcję pokazano na rysunku 4. Źródła V1...V3 reprezentują wyjścia układu cyfrowego. Generowane przez nie przebiegi utworzymy za chwilę. Każde wyjście ma swoją binarną wagę. Źródło V1 ma wagę 1. Jeśli jest ono aktywne (jako jedyne), na wyjściu występuje napięcie u ; analogicznie, jeśli jest aktywne tylko źródło V2 (waga 2), na wyjściu wystąpi napięcie $2u$, dla źródła V3 (waga 4) będzie to $4u$. Napięcia są sumowane na rezystorze R1. Jeśli w danym momencie aktywnych jest kilka źródeł, na wyjściu występuje ich sumowanie. Na przykład aktywne są źródła V1 i V3, na wyjściu wystąpi napięcie o umownej wartości $u+4u=5u$. W rzeczywistości, jeśli użyjemy układów cyfrowych działających w logice 3,3 V, w powyższym przykładzie na wyjściu wystąpi napięcie 458,333 mV (jest to napięcie u), co wynika z zasady superpozycji. Obliczenia pozostawiam do samodzielnego wykonania. Dla aktywnych wyjść V1 i V3 na wyjściu wystąpi napięcie $u+4u=2,2917$ V.



Rysunek 3. Końcowa postać sinusoidy po operacji kwantowania

Wracamy do definiowania napięć poszczególnych źródeł. Musimy ponownie sięgnąć do Excela. Napięcia wyjściowe są zakodowane w kolumnie B w zapisie dziesiętnym (**rysunek 5**). Musimy je przekodować na wartości binarne i rozpisać każdą cyfrę zapisu binarnego w oddzielnej kolumnie. W tym celu w wierszu 1 w kolumnach od D do F zapisujemy przedstawione niżej formuły, które kopiujemy w dół do końca danych:

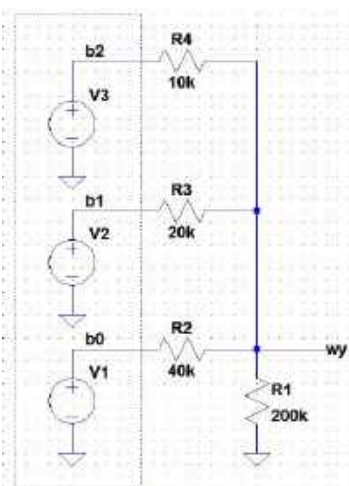
D1: =ZAOKR.DO.CAŁK(\$B1/4)

E1: =ZAOKR.DO.CALK((\$B1-4*\$D1)/2)

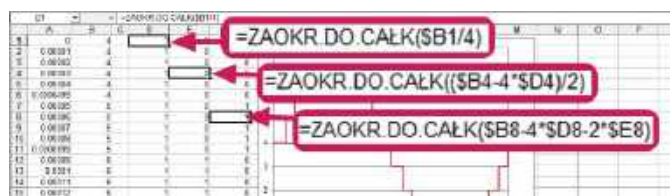
F1: =ZAOKR.DO.CALK(\$B1-4*\$D1-2*\$E1)

Dane z tych kolumn w połączeniu z kolumną A, w której jest zapisany czas, stanowią definicje źródeł V1...V3 użytych w symulatorze LTspice. We właściwościach tych źródeł wybieramy opcję PWL FILE. Konieczne jest zatem utworzenie trzech plików tekstowych zawierających czas i odpowiadające mu napięcie. Zakładamy zastosowanie układów działających w logice 3,3 V, więc wszystkie jedynki w omówionym wyżej arkuszu muszą być zastąpione wartością 3,3. Można to zrobić najlepiej na kolejnej kopii arkusza. Najpierw zaznaczamy całe kolumny D,E i F, a następnie kopiujemy je „specjalnie” w wolne miejsce z opcją „tylko wartości”. Następnie, w kolejnej wolnej kolumnie wpisujemy wartości 3,3, kolumnę tę w całości kopiujemy do pamięci podręcznej (*Ctrl-C*), zaznaczamy kolumny utworzone w poprzednim kroku i wybieramy komendę „Wklej specjalnie” z opcją „przemnoż”. W efekcie powinniśmy uzyskać arkusz, którego fragment pokazano na **rysunku 6**. W tym momencie kolumny B...G nie są już potrzebne, można je usunąć.

Ostatni etap przygotowaliśmy do utworzenie plików tekstowych zawierających definicje źródeł symulatora. Można to robić tak. Kopiujemy wszystkie dane z kolumn A i B do pamięci podręcznej i wklejamy je do notatnika, a z niego zapisujemy w postaci tekstowej np. do pliku *bit2.txt* umieszczonego w tym samym folderze, w którym będzie zapisywana symulacja LTspice. Usuwamy kolumnę B. Teraz jej pozycję zajęły dane dla drugiego źródła. Postępujemy podobnie: kopiujemy kolumny A i B do clipboardu, wklejamy do czystego notatnika i zapisujemy w pliku *bit1.txt*. Została do wykonania



Rysunek 4. Rezystorowa drabinka wagowa 4-2-1



Rysunek 5. Kodowanie poziomów



Rysunek 6. Pośredni etap przygotowywania definicji źródeł V1...V3

analogiczna operacja dla ostatniego źródła, które będzie zdefiniowane danymi z pliku *bit0.txt*. Ufff. Koniec. Przechodzimy do symulacji.

Symulacja

Schemat ideowy układu symulowanego pokazano na **rysunku 7**. Trzy źródła napięciowe działają w trybie PWL FILE, odtwarzając przebiegi zapisane w plikach *bit0.txt*, *bit1.txt* i *bit2.txt*. Wygenerowane z arkusza excelowego dane są nadmiarowe, ponieważ występują w nich wielokrotnie następujące po sobie chwile czasowe, w których napięcie nie ulega zmianie. LTspice wymaga jedynie podawania tych chwil, w których zmienia się napięcie źródła. Nie stanowi to jednak problemu dla symulacji, ponieważ program wykrywa takie przypadki i automatycznie usuwa z danych wejściowych branych do obliczeń. Dane z plików tekstowych obejmują tylko jeden okres przebiegu, aby zapewnić ich ciągłość, konieczne jest dopisanie opcji repeat – endrepeat. Trzeba to zrobić ręcznie, edytując opis parametrów każdego źródła. Poprawione formuły wyglądają następująco:

```
źródło V1: PWL repeat forever(file=bit0.txt)endrepeat
```

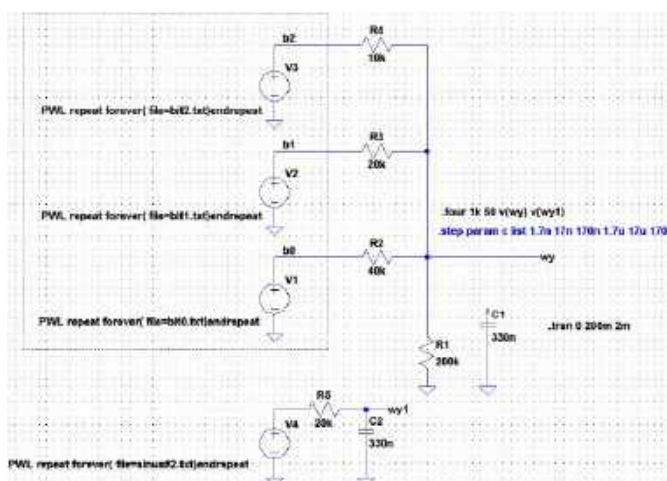
```
źródło V2: PWL repeat forever(file=bit1.txt)endrepeat
```

```
źródło V3: PWL repeat forever(file=bit2.txt)endrepeat
```

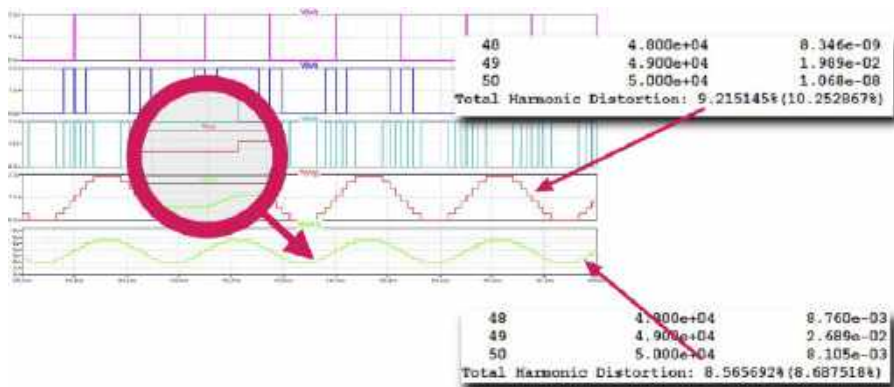
Przeprowadzimy symulację czasową tak, aby można było przyrzeć się przebiegom z każdego źródła i oczywiście zobaczyć, czy na wyjściu uzyskamy przebieg taki sam, jak to obliczył Excel. Najpierw zajmiemy się surową sinusoidą, bez żadnej filtracji wyjściowej. Oszacujemy współczynnik zawartości harmoniczných. Częstotliwość generowanej sinusoidy jest równa 1 kHz, ale ponieważ w przebiegu występują skoki napięcia, można spodziewać się dużej liczby harmoniczných. W obliczeniach THD uwzględnimy ich 50. Polecenie obliczania harmoniczných i współczynnika THD jest następujące:

Przy okazji porównamy zniekształcenia naszego układu z sinusoidą generowaną w układzie bez wyostrzonych przejść między stanami (tak jak na rysunku 1). Taki przebieg występuje na wyjściu „wy1”.

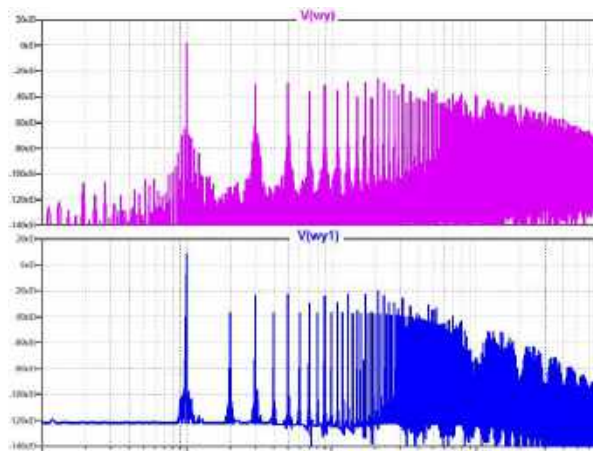
Po uruchomieniu symulacji poleceniem `.tran 0 200m 2m`, w pustym oknie wykresu wprowadzamy 5 paneli (prawy przycisk myszki → „Add Plot Pane” i tak 5 razy). Następnie klikamy lewym przyciskiem na pierwszy panel od góry i wskazujemy węzeł b2, klikając na niego lewym przyciskiem. Powtarzamy tę czynność dla każdego źródła, umieszczając jego przebieg w kolejnych panelach. W czwartym od góry panelu umieszczamy przebieg wyjściowy (z węzła „wy”), a w ostatnim przebieg z węzła „wy1”. Ponieważ czas symulacji jest wielokrotnie dłuższy od okresu przebiegu, konieczne będzie rozciągnięcie wykresu. Robimy to, obrysowując wąski jego wycinek, trzymając naciśnięty lewy przycisk myszki i na końcu zwalniając go. Na ekranie powinien ukazać się powiększony fragment przebiegów, na przykład taki jak na **rysunku 8**.



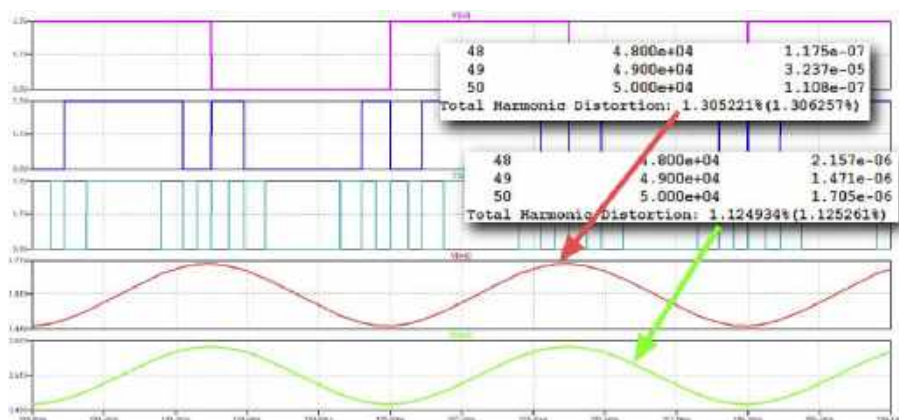
Rysunek 7. Schemat symulowanego generatora przebiegu sinusoidalnego, w którym zastosowano drabinkę wagowa



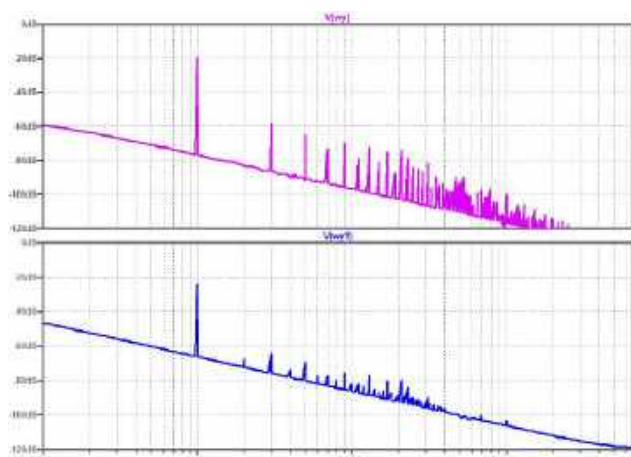
Rysunek 8. Przebiegi obserwowane w symulowanym generatorze sinusoidalnym



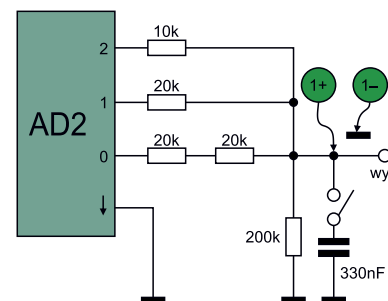
Rysunek 9. Widmo niefiltrowanych przebiegów wyjściowych



Rysunek 10. Przebiegi wyjściowe po zastosowaniu filtracji



Rysunek 11. Widmo przebiegów wyjściowych po zastosowaniu filtracji



Rysunek 12. Schemat rzeczywistego układu generatora

Jak widać, surowa sinusoida słabo przypomina prawdziwą sinusoidę. Przebieg jest bardziej podobny do trapezu niż do sinusoidy. Pomiar zniekształceń harmoniczných THD też potwierdza słabą jakość przebiegu. Sinusoida uzyskana z drabinki ma THD=9,22%, a dla teoretycznego przebiegu z Excela współczynnik THD jest równy 8,57% – niewiele lepiej. Tylko... tak się nie robi.

Utworzony cyfrowo sygnał zawsze będzie charakteryzował się dużą zawartością produktów obróbki cyfrowej. Widmo obu sygnałów pokazano na **rysunku 9**. Teraz już wiadomo, dlaczego do obliczenia zawartości harmoniczných pod uwagę wzięto ich aż 50. Zobaczymy, jak na jakość sygnału wpłynie choćby najprostsze filtrowanie. Dołączamy do wyjścia kondensator 330 nF, w układzie referencyjnym zastosujemy filtr RC z elementami $R=20\text{ k}\Omega$ i $C=330\text{ nF}$. Wyniki czasowe pokazano na **rysunku 10**, a na **rysunku 11** widmo. Konsekwencją takiego działania jest jednak zmniejszenie amplitudy sygnału wyjściowego. Harmoniczne na poziomie 1,3% są już do przyjęcia. Pora na weryfikację praktyczną.

Pomiary

Najpierw musimy zbudować jakiś układ cyfrowy, który będzie generował sekwencję cyfrową obliczoną w Excelu. Zastosujemy do tego generator przebiegów wzorcowych – narzędzie Patterns zestawu Analog Discovery 2, do którego dołączymy zewnętrzne rezystory tworzące drabinkę wagową. Schemat połączeń pokazano na **rysunku 12**. Pojawia się jednak problem, jak wpisać sekwencję cyfrową do generatora? Można to oczywiście zrobić ręcznie, tak bardzo dużo danych nie ma, żeby nie było to możliwe. My jednak zastosujemy metodę bardziej uniwersalną.

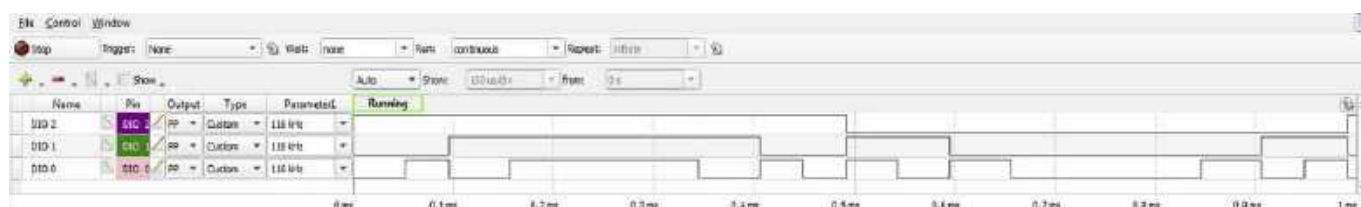
W tym celu musimy jeszcze raz wrócić do Excela. Komórki z obliczonymi zerami i jedynkami trzeba skopiować jako wartości (bez formuł) do nowego arkusza, a następnie zapisać ten arkusz w formacie CSV (np. w pliku *sin_def_V.csv* w folderze roboczym LTspice). Teraz można już otworzyć narzędzie Patterns i dodać w nim 3 nowe kanały (kliknąć na przycisk „Click to Add channels”). Kanały muszą być typu „Signal”. Z listy wybieramy kanały DIO0, DIO1 i DIO2. Każdy kanał musi być typu „Custom”. Trzeba to zmienić, jeśli domyślny typ będzie inny. Kolejnym krokiem konfiguracji jest ustalenie rodzaju wyjścia – w każdym kanale w kolumnie „Output” wybieramy pozycję „PP” (push-pull). Pozostała najważniejsza operacja, czyli wpisanie odpowiednich sekwencji w odpowiednie miejsca. Robimy to kolejno dla każdego kanału. W tym celu należy kliknąć na przycisk z długopisem znajdujący się z prawej strony nazwy kanału (**rysunek 13**), nacisnąć przycisk „Import”, wskazać folder i odpowiedni plik CSV. Do kanału 0 wpisujemy dane z kolumny 3. Analogicznie: kanał 1 – kolumna 2, kanał 2 – kolumna 1. Ważne jest, aby wyłączyć opcję nagłówek kolumny i ustawić jako separator znak średnika. Jest to możliwe po naciśnięciu trybika znajdującego

się obok przycisku „Browse”. Pełny cykl naszej sinusoidy składa się ze 116 taktów, więc ustawienie częstotliwości 116 kHz w kolumnie „Parameter1” każdego kanału spowoduje wygenerowanie sinusoidy o częstotliwości 1 kHz. Wszystko gotowe.

Uruchamiamy generator (rysunek 14) i oscyloskop, którego 1. kanał dołączamy do wyjścia drabinki. Najpierw bez kondensatora (rysunek 15). W oknie oscyloskopu włączamy funkcję „Zoom” i „FFT”. Okazuje się, że uzyskana na razie pseudosinusoidea dokładnie odpowiada tej z obliczeń i symulacji. Widmo również wykazuje bardzo dużą zawartość harmoniczných. Pomiar współczynnika THD zmierzony narzędziem



Rysunek 13. Kolejne kroki wprowadzania sekwencji generowanej przez generator przebiegów wzorcowych



Rysunek 14. Przebieg z generatora przebiegów wzorcowych

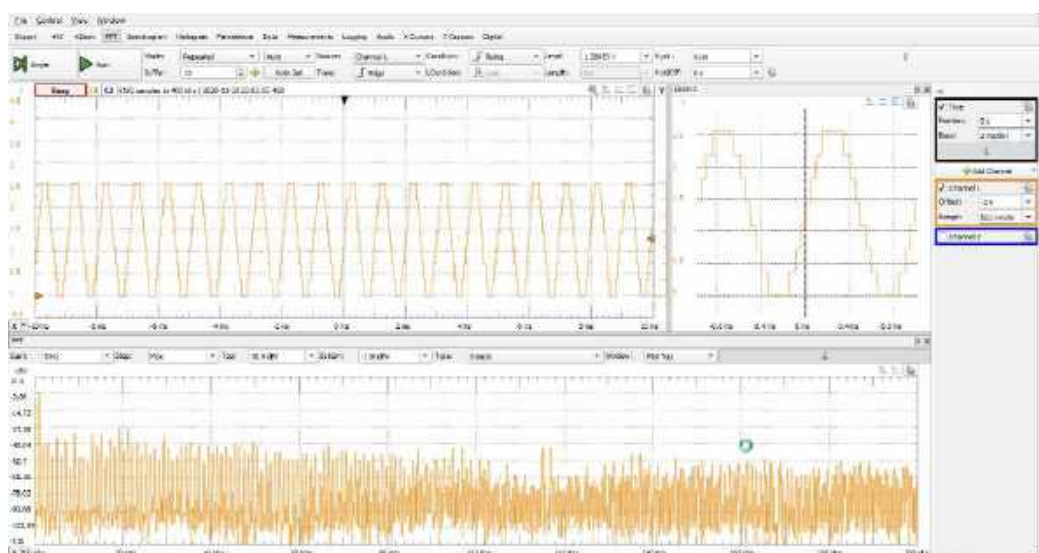
Spectrum Analyzer dał wynik $-20,41$ dBc, czyli 9,54%. Niemal dokładnie zgadza się to z symulacją.

Wykonaliśmy pomiar w pośredniej fazie realizacji projektu. Wiemy, że taki generator bez kondensatora wyjściowego nie ma prawa działać prawidłowo. Dołączamy więc do wyjścia kondensator 330 nF i ponawiamy pomiary.

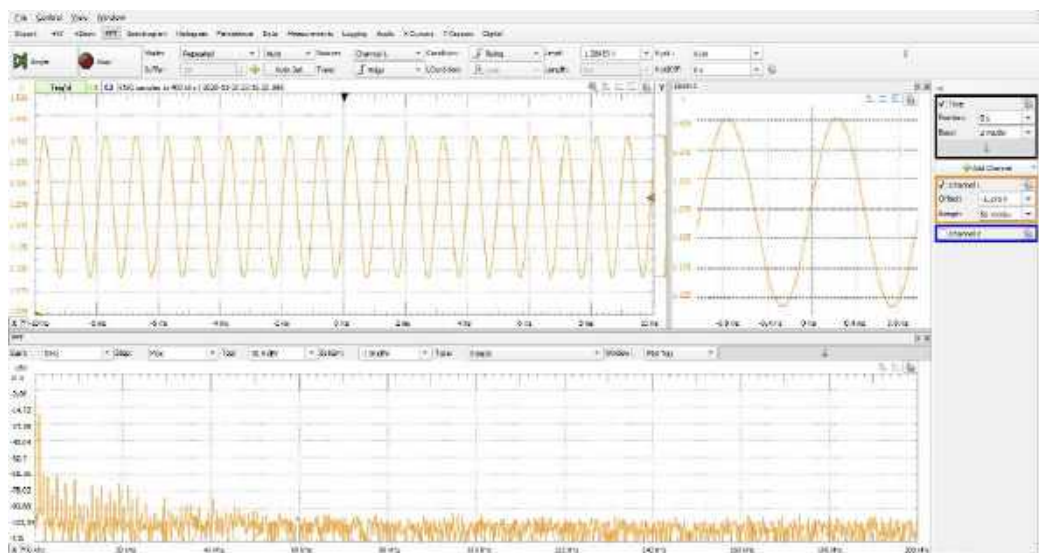
Teraz sinusoida przypomina już bardziej matematyczny ideał (rysunek 16), ale trzeba sprawdzić, jak bardzo zbliżyliśmy się do ideału. Pomiar THD tym razem dał wynik $-38,82$ dBc, czyli 1,15%. Jest to znowu niemal dokładne powtórzenie wyniku z symulacji, a z technicznego punktu widzenia wynik 1,15%, choć nie jest rewelacyjny, to w wielu amatorskich pomiarach akceptowalny. Jeśli weźmiemy pod uwagę, że taki rezultat został osiągnięty przy zastosowaniu 3-bitowego przetwarzania, to na pewno należy go uznać za bardzo dobry.

Nie omówiliśmy jeszcze wszystkich zagadnień związanych z generowaniem przebiegów elektrycznych, ale żeby nie męczyć za bardzo materiału na razie temat kończymy.

Jarostaw Doliński, EP



Rysunek 15. Niefiltrowany przebieg z generatora rzeczywistego



Rysunek 16. Filtrowany przebieg z generatora rzeczywistego



Implementacja funkcji Screen Mirroring

na platformach SoMLabs VisionSOM-6ULL oraz Raspberry Pi

W ostatnich miesiącach miałem przyjemność wziąć udział w nietechnicznym szkoleniu, gdzie prowadzący zdecydował się użyć Raspberry Pi jako niewielkiego i energooszczędnego zamiennika typowego komputera PC. Podczas prezentacji pojawiła się potrzeba przeniesienia na rzutnik informacji z telefonu prowadzącego – czy problem ten można rozwiązać w sposób czysto programowy, bez użycia dodatkowych konwerterów sprzętowych? Spróbujemy znaleźć odpowiedź na to pytanie.

Kiedy 8 lat temu zaczęły pojawiać się pierwsze informacje prasowe, dotyczące komputera jednopłytkowego Raspberry Pi, został on okrzyknięty pogromcą typowych komputerów PC w zastosowaniach

biurowych i edukacyjnych. Pomimo, że szumnie ogłaszana rewolucja nie nastąpiła, to komputer Raspberry Pi mocno wpisał się w najnowszą historię informatyki i jest obecnie coraz częściej spotykany w standardowym użyciu, nawet przez osoby niezwiązane zawodowo z systemami wbudowanymi.

W artykule omówię dwa proste sposoby realizacji funkcjonalności Screen Mirroring, czyli przesłania i wyświetlenia zawartości ekranu urządzenia mobilnego na zewnętrzny ekran stacjonarny. Do realizacji zadania użyję telefonu z systemem Android oraz dwóch komputerów jednopłytkowych – wydajny pod kątem aplikacji multimedialnych Raspberry Pi 4, oraz przystosowany głównie do zadań kontrolnopomiarowych, zestaw SoMLabs VisionSOM6ULL [1], z energooszczędnym procesorem NXP i.MX6ULL. Wybór dwóch różnych platform sprzętowych pozwoli na dobór różnych rozwiązań programowych, dopasowanych pod kątem możliwości oferowanych przez sprzęt

– od prostych wywołań z pakietu funkcji dostarczanych przez projekt *GStreamer* [2], aż do kompilacji otwartoźródłowego i funkcjonalnego projektu *scrcpy* [3].

VisionSOM6ULL i GStreamer

Proces implementacji funkcji realizującej *Screen Mirroring* rozpoczniemy od platformy *VisionSOM6ULL*, z przeznaczonym dla niej wyświetlaczem LCD oraz modulem wyposażonym w gniazdo karty pamięci SD. Pomimo, że procesory i.MX6ULL nie mają wyspecjalizowanych układów sprzętowych do dekodowania strumieni wideo i wsparcia dla grafiki 2D/3D (co przekłada się na znacznie niższy koszt procesora w porównaniu do lepiej wyposażonych układów z rodziny i.MX), nie uniemożliwia to jednocześnie implementacji wydajnej obsługi przesyłania i dekodowania obrazu – operacja ta wymaga jednak od użytkownika systemu nieco więcej zabiegów programowych w procesie przygotowania systemu.

Prace nad projektem rozpoczynamy od przygotowania karty z systemem operacyjnym Linux. Producent komputera – firma SoMLabs – na stronach Wiki swojego produktu dostarcza użytkownikowi wsparcia w postaci gotowych obrazów z dystrybucją *Debian* oraz opisem budowy obrazów, z użyciem takich narzędzi jak *Buildroot* oraz *Yocto*. Zastosuję gotowe obrazy systemu, z dystrybucją *Debian* w wersji *Stretch* (na stronie producenta udostępniono również nowszą wersję dystrybucji – *Debian Buster* – z wbudowaną obsługą przeznaczanego wyświetlacza LCD).

Przygotowanie karty SD rozpoczynamy od pobrania obrazu systemu. W środowisku Linux operację tę można zrealizować poleceniem: `wget http://ftp.somlabs.com/debian-stretch-visionsom-6ull.img.xz`

Po pobraniu pliku rozpakujemy jego zawartość za pomocą narzędzia `unxz`:

```
unxz debian-stretch-visionsom-6ull.img.xz
```

Po rozpakowaniu pliku możemy przystąpić do wgrania obrazu systemu na kartę microSD. Jedną najprostszych metod zapisania obrazu z pliku jest wykorzystanie linuksowego narzędzia `dd`.

```
sudo dd if=.debian-stretch-visionsom-6ull.img of=/dev/sdX bs=4M oflag=dsync
```

Po wgraniu obrazu na kartę do konsoli systemu możemy się zalogować, wykorzystując wbudowany w płytę bazową *VisionCBSTD* konwerter UARTUSB oraz dowolny program emulatora terminalu: `picocom -b 115200 /dev/ttyUSBX`

Po otwarciu połączenia należy zalogować się na konto użytkownika root (bez hasła):

```
Debian GNU/Linux 9 localhost.localdomain ttymx0
localhost login: root
root@localhost:~#
```

Wraz z obrazem systemu *Debian Stretch* firma SoMLabs dostarcza użytkownikowi wygodne środowisko konfiguracji i kompilacji jądra systemu oraz plików *Device Tree*. Środowisko to zostało zbudowane w oparciu na narzędziach *Qemu* oraz *chroot*, co pozwala na uruchomienie na komputerze PC (np. x86) nienatycznych plików wykonywalnych (np. dla architektury ARM) w standardowy dla plików natywnych sposób, tj. `./program`. Do poprawnego działania środowiska w dystrybucji *Ubuntu* niezbędna jest uprzednia instalacja pakietów *qemu*, *binfmt-support* oraz *qemu-user-static*:

```
apt-get install qemu binfmt-support qemu-user-static
```

Pobranie, rozpakowanie i uruchomienie (w tym wykonanie operacji *chroot*, zmieniającej katalog główny) kompletnego środowiska:

```
wget http://ftp.somlabs.com/somlabs-visionsom-6ull-debian-rootfs-qemu.tar.xz
sudo tar xf somlabs-visionsom-6ull-debian-rootfs-qemu.tar.xz
sudo ./somlabs-debian/chtoolchain
```

Po uruchomieniu skryptu *chtoolchain* źródła systemu Linux są dostępne w katalogu `/home/developer/source/`

`kernel/linux-rel_imx_4.1.15_2.1.0_ga`. Dla uproszczenia dalszego opisu przejdźmy do katalogu z kodem źródłowym:

```
cd /home/developer/source/kernel/
linux-rel_imx_4.1.15_2.1.0_ga
```

W kolejnym kroku, do katalogu `arch/arm/configs` należy skopiować domyślną konfigurację jądra (plik `visionsom-6ull-linux_defconfig`), udostępnioną przez producenta płytki:

```
cp ../../somlabs-dts-1.0/visionsom-6ull-linux_defconfig arch/arm/configs/
```

W odróżnieniu od najnowszej wersji obrazu systemu *Debian (Buster)* dla płytki *VisionSOM*, opis *Device Tree* (w postaci pliku `arch/arm/boot/dts/somlabs-visionsom-6ull.dts`) w obrazie *Debian Stretch* nie zawierał pełnego wsparcia dla przeznaczonego dla niego ekranu LCD. Aby poprawnie uruchomić wyświetlacz, niezbędne jest zatem pobranie i zaaplikowanie dodatkowej łatki:

```
wget http://wiki.somlabs.com/images/c/cd/Enable-tft-lcd.zip
unzip Enable-tft-lcd.zip
patch arch/arm/boot/dts/somlabs-visionsom-6ull.dts ./enable-tft-lcd.patch
```

W tak przygotowanym środowisku konfiguracja i kompilacja jądra oraz opisu *Device Tree* może zostać zrealizowana za pomocą następujących poleceń:

```
make ARCH=arm visionsom-6ull-linux_defconfig
make ARCH=arm menuconfig
make -j4 ARCH=arm zImage
make ARCH=arm somlabs-visionsom-6ull.dtb
```

Pliki wynikowe powyższych kompilacji:

```
arch/arm/boot/zImage
arch/arm/boot/dts/somlabs-visionsom-6ull.dtb
```

powinny zostać skopiowane do katalogu `/boot` na karcie SD z obrazem systemu. Po podłączeniu wyświetlacza oraz kabla Ethernet (połączenie z siecią Internet będzie niezbędne do instalacji i konfiguracji kolejnych pakietów oprogramowania – operacje te zostaną przeprowadzone bezpośrednio na systemie docelowym) płytka jest gotowa do dalszych działań.

Zanim przejdziemy do działań związanych bezpośrednio z dekodowaniem i wyświetlaniem obrazu z urządzenia mobilnego, należy rozwiązać problem „przechwycenia” takiego obrazu. Pierwszą z opcji jest wykorzystanie gotowych rozwiązań, np. w postaci standardu *Miracast*, wspieranego przez największych producentów urządzeń mobilnych. Niestety implementacja takich rozwiązań może być niezwykle czasochłonna i/lub wymagać odpowiednich certyfikatów. Alternatywnym rozwiązaniem jest przygotowanie własnej aplikacji dla systemu Android, która wykorzystując udostępnione dla programistów *MediaProjection API* [4] – umożliwiające przechwytywanie zawartości ekranu – odpowiednio skompresuje i wyśle dane do komputera jednopłytkowego. Takie rozwiązanie, choć zapewniające pełną swobodę w wyborze kompresji obrazu czy protokołu komunikacji, wymaga od programisty pewnego doświadczenia z systemem Android oraz językami Java lub Kotlin. Czy można ten problem rozwiązać znacznie prościej? Można, wykorzystując do tego celu narzędzie *ADB (Android Debug Bridge)* [5], przeznaczone do komunikacji i zarządzania urządzeniami Android z poziomu komputera PC. Program *ADB* został udostępniony dla wszystkich najpopularniejszych systemów operacyjnych (*Windows*, *Linux*, *macOS*), jednak ze względu na swój konsolowy interfejs nie znajduje on zastosowania w powszechnym użytku. Oprócz szeregu funkcji związanych z kopiowaniem plików, instalacją pakietów *APK* czy odczytem logów systemowych, program *ADB* udostępnia również możliwość wykonania zrzutów oraz przechwycenia zawartości ekranu urządzenia mobilnego – i właśnie ta opcja zostanie wykorzystana do realizacji postawionego zadania.

Instalacja pakietu *ADB* na module *VisionSOM6ULL* z systemem *Debian* sprowadza się wyłącznie do jednego wywołania narzędzia `apt`:

```
sudo apt install adb
```



Rysunek 1. Odblokowanie „Opcji programisty” na urządzeniu mobilnym

Aby nawiązać komunikację z telefonem Android, niezbędne jest uprzednie odblokowanie na urządzeniu „Opcji programisty” oraz włączenie „Debugowania USB”. Włączenie opcji programisty realizowane jest poprzez siedmiokrotne kliknięcie opcji „Numer wersji” (lub „Numer kompilacji”) w ustawieniach telefonu – **rysunek 1**.

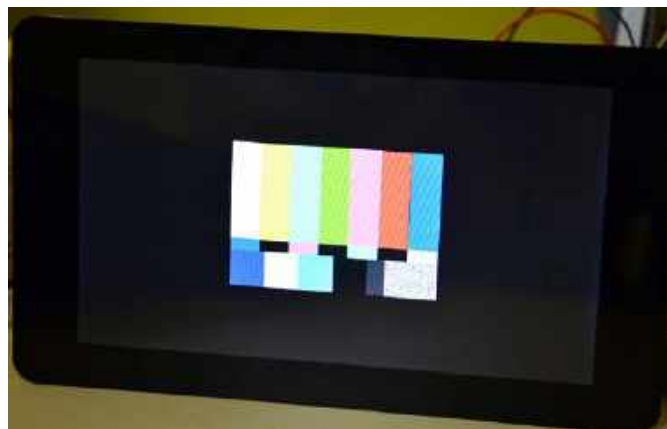
Po odblokowaniu opcji programisty, włączenia trybu debugowania oraz połączeniu telefonu z modulem VisionSOM6ULL za pomocą kabla USB, możemy podjąć próbę sprawdzenia statusu połączenia pomiędzy urządzeniami. W tym celu, w konsoli użytkownika wpisujemy polecenie `adb devices`, które wyświetli identyfikatory wszystkich urządzeń z systemem Android podłączonych do komputera.

```
root@somlabs:~# adb devices
List of devices attached
ce091719631fe12f01 device
```

W przypadku wystąpienia problemów z nawiązaniem połączenia warto sprawdzić komunikaty wyświetlane na ekranie telefonu, które mogą wymagać potwierdzenia podpisu cyfrowego urządzenia lub udzielenia stosownych zezwoleń.

Do przechwycenia zawartości ekranu wykorzystamy polecenie `adb shell screenrecord` w postaci:
`adb shell screenrecord --output-format=h264 --bit-rate 2M --size 800x480 -`

Tym samym strumień wyjściowy zostanie poddany kompresji w formacie H264, przepływność danych jest ustawiona na wartość 2 Mbit/s (domyślna wartość 20 Mbit/s znacznie przekracza możliwości płynnej dekompresji obrazu), a rozdzielczość obrazu dopasowana



Fotografia 1. Wyświetlenie wzoru testowego z wykorzystaniem funkcji Gstreamer

do podłączonego wyświetlacza. Ostatnim z argumentów polecenia jest nazwa pliku wyjściowego, do którego na bieżąco będzie zapisywany przechwytywany obraz. Ostatni argument ma wartość „-”, co oznacza, że strumień wyjściowy będzie bezpośrednio zapisywany na standardowe wyjście. Próba uruchomienia tak zdefiniowanego polecenia zakończy się wyłącznie wyświetleniem szeregu nieczytelnych znaków – uzyskane dane muszą zostać przekazane do odpowiedniego dekodera.

Do zdekodowania strumienia wyjściowego wykorzystany zostanie pakiet *GStreamer*, którego kompleksowa instalacja w systemie może zostać zrealizowana za pomocą poleceń:

```
root@somlabs:~# apt-get install gstreamer1.0-x
gstreamer1.0-tools
root@somlabs:~# apt-get install
gstreamer1.0-plugins-good
root@somlabs:~# apt-get install
gstreamer1.0-plugins-bad
root@somlabs:~# apt-get install gstreamer1.0-libav
Poprawność instalacji pakietów
weryfikujemy komendą:
root@somlabs:~# gst-launch-1.0 videotestsrc !
fbdevsink
```

Listing 1. Przebieg procesu konfiguracji i kompilacji projektu *gstreamer-imx*

```
root@somlabs:~# cd gstreamer-imx
root@somlabs:~/gstreamer-imx# ln -s /usr/lib/arm-linux-gnueabi/hf/gstreamer-1.0/ /usr/lib/gstreamer-1.0
root@somlabs:~/gstreamer-imx# ./waf configure --prefix=/usr --kernel-headers=/usr/src/linux-headers-4.1.15/include
Setting top to : /root/gstreamer-imx
Setting out to : /root/gstreamer-imx/build
Checking for 'gcc' (C compiler) : /usr/bin/gcc
Checking for compiler switch -O2 : yes
...
checking for linux/pxp_device.h : yes
PxP elements will be built
checking for linux/fb.h and the IPU header linux/ipu.h : yes
IPU elements will be built
Checking for 'libimxvpupapi >= 0.10.3' : not found
could not find installed imxvpupapi library - VPU elements will not be built
...
'configure' finished successfully (25.634s)
root@somlabs:~/gstreamer-imx# ./waf
Waf: Entering directory '/root/gstreamer-imx/build'
[ 1/35] Compiling src/common/canvas.c
[ 2/35] Compiling src/common/fd_object.c
[ 3/35] Compiling src/common/phys_mem_allocator.c
...
[34/35] Symlinking build/src/compositor/libgstmxcompositor.so
[35/35] Symlinking build/src/common/libgstmxcommon.so
Waf: Leaving directory '/root/gstreamer-imx/build'
'build' finished successfully (1m45.921s)
root@somlabs:~/gstreamer-imx# ./waf install
Waf: Entering directory '/root/gstreamer-imx/build'
+ install /usr/lib/libgstmxcommon.so.0.13.0
+ symlink /usr/lib/libgstmxcommon.so (to libgstmxcommon.so.0.13.0)
+ symlink /usr/lib/libgstmxcommon.so.0 (to libgstmxcommon.so.0.13.0)
+ install /usr/lib/pkgconfig/gstmxcommon.pc
...
Waf: Leaving directory '/root/gstreamer-imx/build'
'install' finished successfully (0.584s)
```

Listing 2. Sprawdzenie wttyczki `imxpxpvideosink` projektu `GStreamer`

```

root@somlabs:~/gstreamer-imx# gst-inspect-1.0 imxpxpvideosink
Factory Details:
  Rank         primary + 1 (257)
  Long-name     Freescale PXP video sink
  Klass         Sink/Video
  Description   Video output using the Freescale PXP API
  Author        Carlos Rafael Giani <dv@pseudoterminal.org>
...
Element Properties:
  name         : The name of the object
                flags: readable, writable
                String. Default: "imxpxpvideosink0"
  parent       : The parent of the object
                flags: readable, writable
                Object of type "GstObject"

```

która wyświetli na dołączonym ekranie prosty wzór testowy – **fotografia 1**.

Aby wspomóc procesor i.MX6ULL w operacjach związanych z grafiką i multimediami (wyświetlanie ekranu testowego, jak na fotografii 1, realizowane jest w pełni programowo), niezbędne będzie zainstalowanie dodatkowych wttyczek dla pakietu `GStreamer`, dostarczanych i rozwijanych przez NXP. Zestaw wttyczek rozwijanych w ramach projektu `gstreamer-imx` [6] zawiera między innymi wsparcie dla sprzętowego modułu PXP (*Pixel Processing Unit*), wspomagającego operacje związane z przetwarzaniem obrazów 2D, konwersją przestrzeni kolorów, skalowaniem, itd. Zainstalujemy zatem w systemie pakiety i zależności niezbędne do poprawnej kompilacji projektu `gstreamer-imx`:

```

root@somlabs:~# apt-get install build-essential
autoconf libtool
root@somlabs:~# apt-get install wget python
pkg-config
root@somlabs:~# apt-get install libgstreamer1.0-dev
root@somlabs:~# apt-get install
libgstreamer-plugins-base1.0-dev

```

Kolejny krok stanowi pobranie źródeł projektu:

```

root@somlabs:~# git clone git://github.com/Freescale/
gstreamer-imx.git
Cloning into 'gstreamer-imx'...
remote: Counting objects: 4349, done.
remote: Total 4349 (delta 0), reused 0 (delta 0),
pack-reused 4349
Receiving objects: 100% (4349/4349), 1.91 MiB | 1.35
MiB/s, done.
Resolving deltas: 100% (3129/3129), done.

```

Do kompilacji `gstreamer-imx` niezbędne jest zainstalowanie w systemie plików nagłówkowych jądra Linux, które dla obrazu Debian Stretch są udostępnione w postaci pakietu DEB wraz z opisanym na wstępie artykułu plikiem `somlabs-vision-som-6ull-debian-roots-qemu.tar.xz`:



Fotografia 2. Wyświetlenie filmu testowego z wykorzystaniem wttyczki `imxpxpvideosink`

```

root@somlabs:~# dpkg -i linux-
headers-4.1.15_4.1.15-1_armhf.deb

```

Projekt `gstreamer-imx` wykorzystuje do procesu konfiguracji i kompilacji narzędzie `Waf` – pełny przebieg tego procesu pokazano na **listingu 1**. Po zakończonym procesie instalacji lista wttyczek dla projektu `GStreamer`, powinna zostać poszerzona m.in. o wttyczkę `imxpxpvideosink` (**listing 2**).

System jest już wyposażony w komplet narzędzi programowych. Poprawność działania wttyczek pakietu `gstreamer-imx` możemy w prosty sposób przetestować, wyświetlając na ekranie fragment dowolnego filmu testowego (**fotografia 2**):

```

wget http://craftymind.com/factory/html5video/
BigBuckBunny_640x360.mp4
gst-launch-1.0 filesrc
location=BigBuckBunny_640x360.mp4 ! decodebin !
imxpxpvideosink use-vsync=true

```

Aby zdekodować i wyświetlić na ekranie obraz generowany przez polecenie `adb shell screenrecord`, połączymy polecenia `adb` oraz `gst-launch` za pomocą operacji potoku „|”, a jako źródło strumienia wejściowego dla `GStreamer` wskażemy standardowe wejście (`fdsrc fd=0`):

```

adb shell screenrecord --output-format=h264 --bit-
rate 4M --size 800x480 - | gst-launch-1.0 fdsrc fd=0
! decodebin ! imxpxpvideosink

```

Efekt działania powyższego polecenia pokazuje **fotografia 3**.

Zaprezentowana metoda nie jest pozbawiona wad, a jakość przesyłanego obrazu musiała zostać obniżona ze względu na ograniczenia, wynikające z dostępnych zasobów sprzętowych. Niemniej jednak pozwala ona na szybkie przesłanie zawartości ekranu telefonu do komputera z systemem Linux. Nie wymaga instalacji żadnego dodatkowego oprogramowania po stronie urządzenia mobilnego, a całość operacji jest realizowana za pomocą jednego polecenia. W przypadku większości dystrybucji systemu Linux nie jest również wymagane instalowanie żadnego dodatkowego oprogramowania po stronie komputera. Wspierany sprzętowo pakiet `GStreamer` jest instalowany domyślnie w większości dystrybucji, a zaprezentowana metoda może zostać również z powodzeniem wykorzystana na standardowych komputerach klasy PC z procesorami x86/x64.

Raspberry Pi i projekt `scrcpy`

Świat miłośników oprogramowania otwartoźródłowego nie znosi pustki, więc kwestią czasu było pojawienie się alternatywnych rozwiązań dla komercyjnego projektu `Miracast` czy niskopoziomowych rozwiązań, jakim jest przedstawione wcześniej. Jednym



Fotografia 3. Funkcja `Screen Mirroring` zbudowana z wykorzystaniem pakietów `ADB` oraz `Gstreamer`

z takich otwartych projektów jest program *scrcpy*, który do realizacji zadania wykorzystuje narzędzie ADB (przesyłanie danych i zdarzeń) oraz natywną aplikację dla systemu Android do przechwytywania i kompresji obrazu. Projekt dość intensywnie wykorzystuje funkcje dostarczane poprzez interfejs ADB, oferując tym samym nie tylko proste przesyłanie obrazu, ale i obsługę wejścia (sterowanie telefonem z poziomu myszki i klawiatury na lustrzanej projekcji) czy instalację pakietów APK poprzez system *Drag&Drop*.

Aplikacja jest dostępna dla systemów Windows, Linux oraz macOS, jednak nie jest dostarczana w postaci gotowych pakietów dla platformy ARM – użytkownik musi samodzielnie wykonać kompilację kodu źródłowego. Ponieważ projekt *scrcpy* do dekodowania strumienia danych wykorzystuje biblioteki z projektu *ffmpeg* (*libav*), które na platformie i.MX6ULL nie mają sprzętowego wsparcia (całość obliczeń realizowania jest w sposób programowy i nie pozwala to uzyskać satysfakcjonujących wyników), do kompilacji i uruchomienia projektu zostanie wykorzystany komputer *Raspberry Pi 4*, którego moc obliczeniowa jest w zupełności wystarczająca do wygodnego korzystania z funkcji oferowanych przez *scrcpy*.

Po pobraniu i wgraniu na kartę SD obrazu systemu *Raspberry Pi OS* (wcześniej znanego pod nazwą *Raspbian*), proces przygotowania platformy rozpoczynamy od aktualizacji oprogramowania:

```
sudo apt-get update
sudo apt-get upgrade
```

Przypominam, że projekt *scrcpy* wykorzystuje funkcje oferowane przez narzędzie ADB, zatem kolejny krok stanowi zainstalowanie brakujących pakietów oraz zależności niezbędnych do kompilacji programu:

```
sudo apt install adb meson libavformat-dev
libsdl2-dev
```

Pobranie kodu źródłowego *scrcpy* za pomocą narzędzia *git*:

```
git clone https://github.com/Genymobile/scrcpy.git
```

Wraz z kodem źródłowym aplikacji dla systemów Windows i Linux udostępniany został kod aplikacji dla systemu Android, której zadaniem jest przechwycenie i przesłanie obrazu. Ponieważ aplikacja jest niezależna od architektury, na jaką wykonujemy kompilację programu klienta, deweloperzy umożliwili uproszczenie etapu konfiguracji i kompilacji projektu poprzez udostępnienie gotowych plików APK:

```
cd scrcpy
wget https://github.com/Genymobile/scrcpy/releases/download/v1.14/scrcpy-server-v1.14
```

Aby wykorzystać gotowe pliki APK w procesie konfiguracji kodu, za pomocą argumentu *prebuilt_server* wskazujemy pobrany w poprzednim kroku plik dla systemu Android:



Rysunek 2. Funkcja *Screen Mirroring* realizowana przez projekt *scrcpy* na platformie *Raspberry Pi*

```
meson x --buildtype release --strip -Db_lto=true
-Dprebuilt_server=scrcpy-server-v1.14
```

Kompilacja źródeł umieszczonych w folderze „x”:

```
ninja -Cx
```

Zakończony proces kompilacji umożliwia nam bezpośrednie uruchomienie programu – bez potrzeby instalacji plików wynikowych:

```
./run x
```

Efekt uruchomienia aplikacji *scrcpy* pokazuje **rysunek 2**. Dodatkowo, program dostarcza również szeregu opcji konfiguracyjnych, związanych z ustawieniami rozdzielczości, przepływności, konfiguracją okna oraz umożliwia wygaszenie ekranu urządzenia mobilnego. Pełną listę opcji konfiguracyjnych uzyskamy po wydaniu polecenia:

```
./run x --help
```

Wykorzystując platformę *Raspberry Pi*, warto również przetestować alternatywne rozwiązania – będące modyfikacją metody wykorzystanej dla płytki *VisionSOM6ULL* – podmieniając pakiet *Gstreamer* na wspierany sprzętowo odtwarzacz multimedialny *omxplayer*:

```
adb shell screenrecord --output-format=h264 --bit-rate 2M --size 800x480 - | omxplayer --no-keys -r
pipe:0 -o hdmi
```

Łukasz Skalski

contact@lukasz-skalski.com

Przypisy:

- [1] <https://bit.ly/3oD7OIG>
- [2] <https://bit.ly/3jzbU0y>
- [3] <https://bit.ly/2ToBquH>
- [4] <https://bit.ly/3dYXCp1>
- [5] <https://bit.ly/3ku9zFq>
- [6] <https://bit.ly/3kyULFB>

Chcesz czytać nasze najnowsze artykuły jeszcze przed wydrukowaniem w EP?

Zajrzyj na

www.ep.com.pl/EPwtoku

Narzędzia dla pracowni i serwisu

Profesjonalna działalność związana z elektroniką wymaga, oprócz wyposażenia w sprzęt i narzędzia, również odpowiedniej infrastruktury, a więc pomieszczeń produkcyjnych z niezbędnymi do prowadzenia działalności instalacjami, powierzchniami magazynowymi, biurowymi itp. Do zgromadzenia wszystkich środków konieczny jest bardzo solidny biznesplan, dysponowanie funduszami i oczywiście czas. Nie będziemy analizować wszystkich zagadnień, ale skupimy na tych bezpośrednio związanych z elektroniką.

W artykule dokonamy próby skompletowania minimalnego wyposażenia pracowni, w której prowadzone są czynności związane z produkcją lub serwisowaniem sprzętu elektronicznego. Nie ograniczymy się jednak wyłącznie do działalności profesjonalnej. Duża część podanych informacji będzie dotyczyła również elektroników-amatorów, którzy często na tyle intensywnie oddają się swojemu hobby, że muszą zadbać o kompleksowe wyposażenie swoich stanowisk. Temat jest bardzo szeroki i na tyle zależny od indywidualnych uwarunkowań, że nie da się zaprezentować jednolitej, uniwersalnej porady dla wszystkich.

Czasami własne przyzwyczajenia i nawyki są tak silne, że trudno się ich pozbyć, a co najmniej je zmienić. Z pewnością wielu Czytelników złapało się kiedyś na tym, że nie potrafiło wykonać nawet względnie prostej czynności z użyciem udanego narzędzia. Ot, choćby ręczne lutowanie elementów SMD, którego nie można wykonać bez pęsety. Ale pęseta może być różnej wielkości, może mieć prostą lub zakrzywioną końcówkę, która w dodatku może być spłaszczona lub wyostrożona. Każda pęseta będzie miała swoją sprężystość. Jednym będzie ona odpowiadała, innym nie. Jak widać, z pozoru proste narzędzie, a problemów co niemiara. Rozpoczynamy więc próbę zorganizowania i wyposażenia stanowiska pracy elektronika – konstruktora, praktyka.

Stanowisko pracy

Pomijamy pomieszczenie, ponieważ jest to zagadnienie wykraczające poza tematykę artykułu. Warto natomiast napisać kilka słów o umeblowaniu. Skoncentrujemy się przy tym na wyposażeniu profesjonalisty, amator będzie musiał zwykle zadowolić się tym, na co może sobie pozwolić w warunkach domowych.

Przygotowując stanowiska pracy w pracowni elektronicznej, należy wziąć pod uwagę różnorodność wykonywanych tu czynności. Większość zadań projektanta ogranicza się do pracy koncepcyjnej, do której wystarczy biurko lub prosty stół, na którym można postawić komputer i dobry monitor. Warto rozważyć miejsce dla dwóch monitorów, gdyż profesjonalne programy często umożliwiają taką pracę, co zdecydowanie zwiększa jej komfort. Konstruktor



nie zawsze jednak jest pewny rozwiązań układowych, które zamierza zastosować w swoich projektach, musi więc mieć możliwość eksperymentowania. Jeśli nie będzie to wymagało rozbudowanego oprzyrządowania, powierzchnia biurka lub stołu, na którym pracuje codziennie (rysunek 1a, b), może okazać się wystarczająca. Jeśli jednak do prób będzie wymagane bardziej złożone oprzyrządowanie, konieczne będzie zagwarantowanie odpowiedniej ilości miejsca. Dobrym rozwiązaniem do takich celów są stoły z wbudowanymi, np. w podporach, gniazdami sieci 230 V, a nawet 3-fazowej (rysunek 1c, d), często również z zainstalowanymi autotransformatarami umieszczanymi w zamykanych na klucz komorach.



Fotografia 1. Różne typy biurek i stanowisk do pracy z elektroniką

Jeszcze lepszym, wygodniejszym rozwiązaniem jest umiejscowienie gniazd na blacie stołu (rysunek 1c). Przy okazji można zadbać o instalację wbudowanych zasilaczy najlepiej o regulowanych napięciach, a przynajmniej o kilku napięciach standardowych. Łatwy staje się przy tym dostęp do gniazda uziemienia, co przy pracy z elementami wrażliwymi na pole elektrostatyczne jest niezwykle ważne. Stosowanymi środkami zabezpieczającymi przed ich uszkodzeniem są bransolety uziemiające oraz maty i dywaniki antystatyczne (**fotografia 2**). Wszystkie te elementy powinny być uziemiane, dzięki czemu minimalizowane jest prawdopodobieństwo doprowadzenia niszczącego ładunku elektrostatycznego do elementów elektronicznych.

Stoły dla pracowników wykonujących precyzyjne czynności montażowe powinny dodatkowo zapewniać wymagane normami oświetlenie. Występują w nich cztery kategorie prac: prace montażowe zgrubne (natężenie oświetlenia 200 lx), prace montażowe średnie (300 lx), prace montażowe dokładne (500 lx) i prace montażowe precyzyjne (750 lx). Stanowisko do ręcznego montażu SMD, a takie czynności wykonują zarówno pracownicy produkcji, jak i serwisanci, należy zakwalifikować do montażu precyzyjnego. A jeśli już mówimy o precyzji, to z pewnością mamy na myśli elementy o bardzo małych rozmiarach. Współczesne elementy przeznaczone do montażu powierzchniowego, nawet te najprostsze, jak oporniki, kondensatory, tranzystory, są na tyle małe, że nawet osoby o bardzo dobrym wzroku muszą wspomagać się w pracy jakimiś przyrządami optycznymi. Można zatem uznać, że obowiązkowym elementem wyposażenia ich stanowiska pracy będzie lupa, najlepiej osadzona w obudowie zapewniającej jednocześnie podświetlenie. Najczęściej będą to lupy o zdolności zbierającej 5 dioptrii, z podświetleniem ledowym o mocy 60...80 W. Taka lupa ma w górnej części odchylaną pokrywę (**fotografia 3**), która po zamknięciu zamienia ją w lampę biurkową. Można wówczas użyć jej do lokalnego podświetlenia stanowiska pracy. Lupa jest przykręcana do blatu stołu, a łamane, obrotowe ramie umożliwia umieszczenie lupy niemal nad dowolnym punktem na stole, oczywiście znajdującym się w zasięgu.

Stanowiska produkcyjne i serwisowe, na których wykonywane są pomiary, wymagają ustawienia wielu przyrządów i aparatury pomocniczej. Ich konfiguracja może przy tym ulegać częstym modyfikacjom w zależności od etapu prac. Większość oferowanych stołów warsztatowych (np. rysunek 1 e...f) ma budowę modułową, co pozwala bardzo elastycznie konfigurować stanowisko pracy. W ten sposób dobieramy niezbędną liczbę kontenerów, w których są umieszczane szuflady o indywidualnie wybieranych wymiarach. Perforowana ścianka służy do niemal dowolnego mocowania na niej dodatkowych elementów wyposażenia. Oprócz półek elektroniki z pewnością będą umieszczać na niej uchwyty do licznych kabli zasilających i pomiarowych.

Stanowisko montażowe/serwisowe

Mamy już gdzie i na czym pracować, teraz musimy wybrać czym. Zastanówmy się, jakie czynności wykonuje elektronik na swoim stanowisku pracy? Pomijamy ewentualną pracę twórczą. Do tego wystarczy jakiś komputer z odpowiednim oprogramowaniem, ale ten – można zaryzykować takie twierdzenie – znajduje się już na każdym stanowisku, od technika do prezesa firmy.

Często nawet nie zdajemy sobie sprawy z tego, ile drobnych akcesoriów elektroniki używa w codziennej pracy. Z pewnością nie



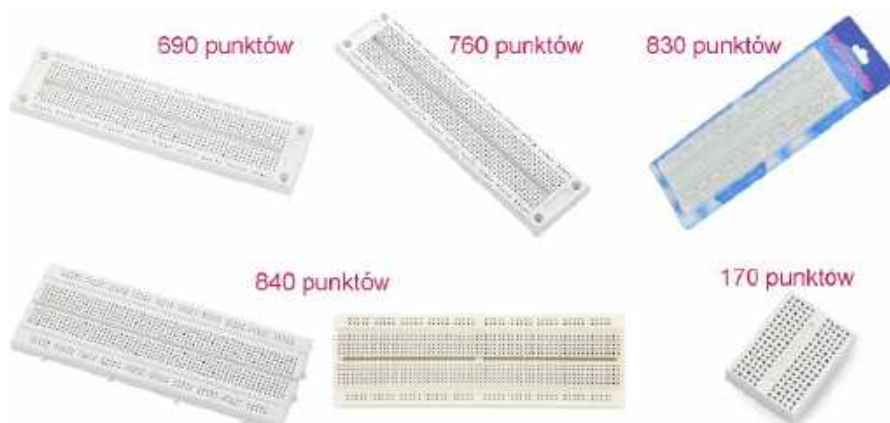
Fotografia 2. Akcesoria do ochrony ESD



Fotografia 3. Lupa z podświetleniem

wymienimy tu ich wszystkich. Postaramy się usystematyzować je według kolejności używania na stanowisku podczas całego cyklu wykonania kompletnego urządzenia elektronicznego.

Zaczynamy od etapu projektu. Była już mowa o tym, że konstruktor nie zawsze jest pewny działania jakiegoś fragmentu projektowanego układu elektronicznego. Oprócz czysto programowych metod weryfikacji z zastosowaniem na przykład popularnego, a przy tym darmowego symulatora LTSpice niezbędnym narzędziem będzie płytka stykowa (*bread-board*) – **fotografia 4**. Płytki te umożliwiają szybki montaż testowanych układów elektronicznych bez użycia lutownicy. Połączenia mogą być wykonywane za pomocą fabrycznych zestawów drucików o różnej długości, ale można też robić je własnymi drucikami. Istnieje wiele wariantów płytek o różnej liczbie punktów połączeniowych, z szynami zasilającymi lub bez. Płytki mogą być łączone w większe zestawy, do czego służą zaczepy i pasujące do nich wpusty rozmieszczone na bocznych ściankach.



Fotografia 4. Płytki stykowe do szybkiego łączenia elementów elektronicznych

Inna metoda montażu układów prototypowych wymaga połączeń lutowanych, do czego są stosowane płytki prototypowe. Zaletą ich jest jednak to, że w odróżnieniu od układów „na pająku” mogą być traktowane jako w pełni sprawne moduły, które można montować w urządzeniach. Unika się w ten sposób dość złożonego, kosztownego i wymagającego czasu procesu opracowania i wykonania obwodów drukowanych. Oferta płytek prototypowych jest bardzo szeroka. Występują one z różnorodnymi układami punktów i ścieżek połączeniowych. Są przeznaczone do montażu elementów przewlekanych oraz SMD. Przykłady pokazano na **fotografii 5**. Do połączeń najlepiej nadaje się przewód drutowy w izolacji teflonowej o średnicy 0,24 mm, tzw. kynar. Występuje on w różnych kolorach, co może ułatwić montaż bardziej złożonych układów. Niestety, przewód ten nie jest tani, ale w zasadzie nie ma on żadnej konkurencji.

Połączenia na płytkach uniwersalnych są lutowane. W skład zestawu zapewniającego względnie dobry komfort pracy wchodzi:

1. Lutownica

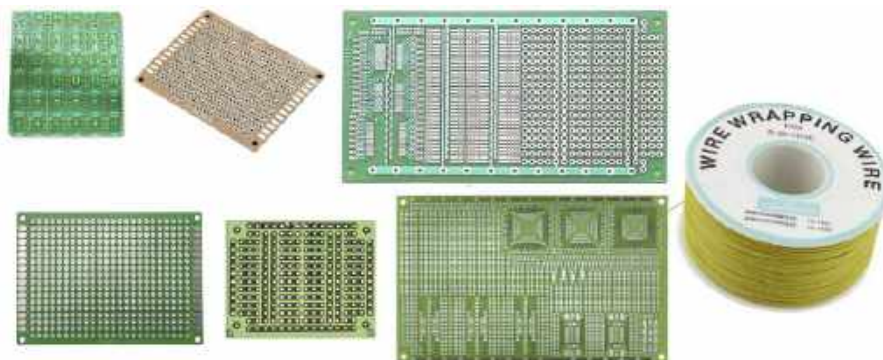
W zasadzie mówimy o stacji lutowniczej (**fotografia 6**), czyli zestawie składającym się z precyzyjnego sterownika, lutownicy i podstawki. Sterowniki są to obecnie najczęściej urządzenia zapewniające cyfrową regulację i stabilizację temperatury grotu lutownicy, mogące pracować z kilkoma (zwykle 3) zaprogramowanymi temperaturami, wykrywające bezczynność lutownicy powodującą przejście do trybu spoczynkowego z obniżoną mocą i temperaturą grotu. Takie działanie powoduje zauważalne wydłużenie jego żywotności. Programy są często zabezpieczone hasłem uniemożliwiającym nieautoryzowaną zmianę parametrów lutowania.

Podstawka, oprócz samego uchwytu dla lutownicy, stanowi całość wraz z pojemnikiem dla czyścika grotu. Są do tego celu stosowane specjalne gąbki odporne na temperaturę lub wiórki mosiężne. Producenci grotów zalecają stosowanie czyścików wiórkowych, nie gąbek, gdyż grot lutownicy w kontakcie ze zwilżoną gąbką doznaje szoku termicznego skracającego jego żywotność. Warto pamiętać, aby lutownica pozostawiana na dłuższy czas bezczynności miała grot zwilżony cyną.

W pomieszczeniach przystosowanych do profesjonalnych prac związanych z lutowaniem najczęściej znajduje się instalacja wyciągowa, zapewniająca usuwanie szkodliwych wyziewów powstających podczas lutowania. Amatorzy takiej instalacji raczej nie posiadają, zwykle nie ma jej też w pomieszczeniach serwisowych. Samo otwieranie okien nie jest wystarczające i nie zawsze możliwe, warto więc zainwestować w pochłaniacz oparów z wymiennym filtrem węglowym (**fotografia 6b**).

2. Stacja lutowniczo-rozlutownicza hot air

Ceny tych urządzeń są już na tyle niskie, że coraz częściej na zakup decydują się nawet amatorzy, natomiast jako wyposażenie pracowni



Fotografia 5. Płytki prototypowe (uniwersalne) dostępne są w wielu odmianach



Fotografia 6. Lutownice różnych producentów



Fotografia 7. Stacja lutowniczo-rozlutownicza

profesjonalnych oraz serwisów stacja taka powinna być elementem obowiązkowym. Wszechobecna już technologia SMD i związana z nią miniaturyzacja elementów powodują, że trudno wyobrazić sobie lutowanie zwykłą lutownicą. Jest to niemożliwe nie tylko z powodu

niezwykle małych wymiarów elementów, ale też dlatego, że w dużej części elementów SMD wyprowadzenia nie wychodzą poza obrys obudowy. Nie ma więc możliwości przyłożenia grota do punktu lutowniczego, a jedyną metodą przylutowania lub wylutowania elementu jest rozgrzanie padów gorącym powietrzem. Stacje hot air są sprzedawane z zestawem dysz o różnych średnicach, mają regulację temperatury powietrza, ustawiany jest także jego przepływ. Opcjonalnie można zamówić dysze o kształcie dopasowanym do standardowych obudów układów scalonych.

W pracowni, w której prowadzi się intensywne prace z elementami SMD, lepszym rozwiązaniem od ręcznej stacji hot air jest stacja pół-automatyczna zawierająca podstawę z podgrzewaczem i statyw dla nagrzewnicy (fotografia 7). Stacje takie umożliwiają lutowanie według zaprogramowanych profili temperaturowych, co jest szczególnie ważne dla technologii bezołowiowych.

W pracach serwisowych prowadzonych u klienta niemożliwe jest zwykle instalowanie dużej stacji lutowniczej, jedynym rozwiązaniem pozostaje w takich przypadkach przenośna lutownica gazowa (fotografia 8). W zestawie znajduje się kilka rodzajów grotów, a nawet nożyk termiczny i dyszka otwartego płomienia, pojemnik na gąbkę czyszczącą i zapalarka do gazu. Lutownica jest napełniana propanem-butanem takim, jakiego używa się do zapalniczek.

3. Spoiwo lutownicze

Spoiwo lutownicze, drut lutowniczy lub potocznie mówiąc cyna, to najważniejszy element procesu lutowania. To właśnie spoiwo pod wpływem temperatury przechodzi z fazy stałej do ciekłej, rozplływa się na łączonych elementach i po schłodzeniu ponownie przechodzi do fazy stałej, tworząc trwałe połączenie. W skład spoiwa wchodzi nie tylko cyna, ale też ołów. Od proporcji tych składników zależy temperatura topnienia. Typowo jest to 60% cyny, 40% ołowiu. Obowiązujące obecnie normy wprowadzone w kontekście ochrony środowiska nakazują jednak stosowanie spoiw bezołowiowych, w których ołów zastąpiono srebrem, miedzią lub bizmutem. Mają one jednak wyższą temperaturę topnienia i łatwiej ulegają utlenianiu. Spoiwa tradycyjne są dopuszczane w pracach prototypowych, urządzeniach medycznych i wojskowych. Oba rodzaje spoiw są dostępne w handlu. Można je nabyć w postaci drutu nawiniętego na szpulę (fotografia 9a, b) lub zwiniętego w fiolce (fotografia 9c). Spoiwo w fiolce jest wygodne w terenowych pracach serwisowych, zajmuje mniej miejsca i jest lżejsze. W zależności od precyzji lutowania mogą być konieczne druty o różnych grubościach od 0,25 mm nawet do 4 mm.

4. Topnik

Jest to substancja stosowana podczas lutowania. Użycie topnika ma na celu zwilżenie i oczyszczenie spajanych powierzchni. Topnik zapobiega ponadto utlenianiu lutowanych powierzchni. W handlu występuje pod różnymi postaciami. Najczęściej jest stosowany w postaci kalafonii sprzedawanej w blaszanych pudełkach zawierających 20 g produktu (fotografia 10a). Do montażu SMD lepiej nadaje się topnik w postaci żelu konfekcjonowanego w pojemnikach stanowiących jednocześnie dozownik (fotografia 10b). Może być również наносzony za pomocą wygodnego pisaka (fotografia 10c). Inną metodą przygotowania płytki do lutowania jest rozprowadzenie na płytce topnika płynnego lub występującego w postaci pasty (fotografia 10d, e).

5. Odsysacz cyny i taśma rozlutownicza

Podczas prac montażowych i serwisowych często zachodzi konieczność wylutowania jakiegoś elementu z pytki. Do tego celu są stosowane odsysacze cyny i taśmy rozlutownicze (fotografia 11). Odsysacz ma teflonową końcówkę niewrażliwą na temperaturę. Przykłada się ją do punktu lutowniczego, z którego ma być usunięta cyna, a następnie zwalnia naciągnięty sprężyną tłok wysysający cynę na zasadzie podciśnienia. Odsysacz z dobrym tłokiem, po obfitym zwilżeniu punktu lutowniczego topnikiem może wyssać cynę z otworów nawet



Fotografia 8. Przenośna lutownica gazowa



Fotografia 9. Popularne spoiwa do lutowania



Fotografia 10. Topniki niezbędne do prawidłowego lutowania



Fotografia 11. Odsysacze cyny i plectonka do rozlutowywania

w wielowarstwowej płytce. Ma to duże znaczenie, gdyż uszkodzenie metalizacji otworów zapewniających wewnętrzne połączenia warstw obwodu drukowanego może spowodować trudne do wykrycia dalsze uszkodzenia płytki podczas prowadzenia prac serwisowych. Jeśli nie ma potrzeby usuwania cyny z otworów, dobrze sprawdza się taśma rozlutownicza, którą przykładamy do punktu lutowniczego dobrze zwilżonego topnikiem, a następnie podgrzewamy. Cyna osadza się wówczas na taśmie, tym samym jest usuwana z punktu lutowniczego. Tak wyczyszczony punkt lutowniczy jest gotowy do ponownego przylutowania wymienianego elementu.

6. Płyn do czyszczenia PCB

Po zakończonym lutowaniu na płytce pozostają resztki topnika i innych zanieczyszczeń. Płytkę wygląda bardzo nieestetycznie i wymaga dokładnego czyszczenia. Jest więc poddawana kąpielom czyszczącym w płynie na bazie alkoholu (fotografia 12), na przykład „Cleanser druk”. Samo zanurzenie stanowi jednak proces o stosunkowo małej efektywności. Dla jej zwiększenia można użyć specjalnych twardych pędzelków, którymi przecierana jest powierzchnia płytki, wymaga to jednak zaangażowania pracownika. Niemal bezobsługowo czyszczenie można przeprowadzić w myjce ultradźwiękowej. Dla tego rodzaju procesów przeznaczone są inne rodzaje płynów, np. „Termosonik PCB”.

7. Ściągacz izolacji

Gdy montuje się jakiś układ na płytce prototypowej z użyciem krynaru, jedną z najczęściej wykonywanych czynności jest ściąganie izolacji. Z uwagi na fakt, że jest to pojedynczy drut, w dodatku bardzo cienki, możliwość przecięcia go albo znacznego nacięcia podczas zdejmowania izolacji, jest dość częsta. Ta z pozoru łatwa czynność wymaga pewnej wprawy i delikatności. Izolację można ściągać, używając szczypiec bocznych lub prostych, nożyka, skalpela lub innych narzędzi z ostrą krawędzią, jednak najbardziej odpowiednie będzie użycie specjalnego ściągacza izolacji. Na fotografii 13 pokazano kilka jego wersji. Prawdopodobnie jest to narzędzie z grupy tych, które dobrze leżą w ręku albo zupełnie nie da się nimi pracować. Wszystko zależy od indywidualnych upodobań i czasami trzeba wypróbować kilka typów, zanim wybierze się ten odpowiedni. Jak widać na fotografii 13, spotykane są ściągacze izolacji z kilkoma okienkami dostosowanymi do typowych grubości przewodów albo ze śrubką, którą dopasowuje się narzędzie do dowolnego przewodu.

8. Pęseta

Narzędzie, bez którego lutowanie elementów jest praktycznie niemożliwe. O ile jako tako można sobie bez niej poradzić przy lutowaniu elementów przewlekanych, o tyle ręczny montaż elementów SMD jest bez pęsety niewykonalny. Pęseta powinna dobrze leżeć w ręku, mieć optymalną sprężystość i wielkość. Pęsety metalowe mają dość istotną wadę – magnesują się dość znacznie. Praca z takim narzędziem staje się bardzo uciążliwa, więc albo trzeba ją okresowo demagnetyzować, albo zaopatrzyć się w pęsetę z niemagnetyczną końcówką. Równie ważną cechą pęset jest ich antystatyczność. Niektóre czynności wymagają używania pęset z ostrymi zakończeniami, do innych zaś lepsze są pęsety z płaskimi końcówkami. Spotykane są również pęsety ze specjalnie wyprofilowanymi końcówkami do lutowania elementów SMD, takich jak rezystory czy kondensatory (fotografia 14).

9. Szczypce boczne

Potocznie nazywane również obcinaczkami, gdyż takie jest właśnie ich przeznaczenie (fotografia 15). Służą do obcinania przewodów połączeniowych i końcówek elementów przewlekanych montowanych na płytkach obwodów drukowanych. Grubość ciętych drutów zależy od wielkości i materiału, z którego szczypce są wykonane. Najczęściej jest to stal wysokowęglowa o dużej twardości. Szczypce boczne nadają się do cięcia pojedynczych drutów i przewodów skręconych (linek).



Fotografia 12. Preparaty do mycia płytek PCB



Fotografia 13. Różne typy przyrządów do ściągania izolacji

Szczypcami przedstawionymi na fotografii 15 można na przykład ciąć drut miedziany o średnicy do 1,3 mm. Większość tych narzędzi ma antypoślizgową i antystatyczną ochronę rękojeści.

10. Szczypce płaskie

Jest to kolejne narzędzie warsztatowe należące do obowiązkowego wyposażenia (fotografia 16). Występują w wielu różnych odmianach.



Fotografia 14. Pęsety do lutowania precyzyjnego



Fotografia 15. Precyzyjne szczypce boczne

Mają krótkie lub wydłużone końcówki, są mniej lub bardziej maszynowe. Szczypce płaskie są używane w różnych pracach mechanicznych związanych z konstruowaniem urządzeń elektronicznych. Z doświadczeń praktycznych wynika, że w warsztacie warto mieć kilka odmian tych szczypiec z tzw. kombinerkami włącznie.

11. Uchwyt do laminatu

Są takie czynności montażowe, dla których wygodnie jest ustawiać płytkę pod dowolnym kątem, a nawet obracać ją wokół własnej osi, zapewniając jednocześnie należyłą stabilność. Problem można rozwiązać za pomocą uchwytu do płytek drukowanych. Ma on rozsuwane ramiona, które dostosowuje się do rozmiarów płytki. Podstawa jest dość ciężka, co korzystnie wpływa na utrzymywanie stabilności poprawianej dodatkowo gumowymi, antypoślizgowymi podnóżkami (fotografia 17).

12. Uchwyt „trzecia ręka”

Zapewne każdy praktykujący elektronik znalazł się kiedyś w sytuacji, w której brakowało mu ręki do przytrzymania jakiegoś elementu podczas prac montażowych. Można sobie w takich sytuacjach radzić, używając uchwytu nazywanego potocznie „trzecią ręką” (fotografia 18). Oprócz dwóch ramion, których pozycja jest ustalana dowolnie i blokowana śrubą, użytkownik ma do dyspozycji lupę o powiększeniu $\times 2$. Są też wersje z dwiema lupami i podświetlaniem. Druga lupa jest mniejsza i ma powiększenie $\times 6$. „Trzecia ręka” jest przydatna do lutowania przewodów do gniazd, wtyczek, przełączników itp.

13. Mikroskop cyfrowy USB

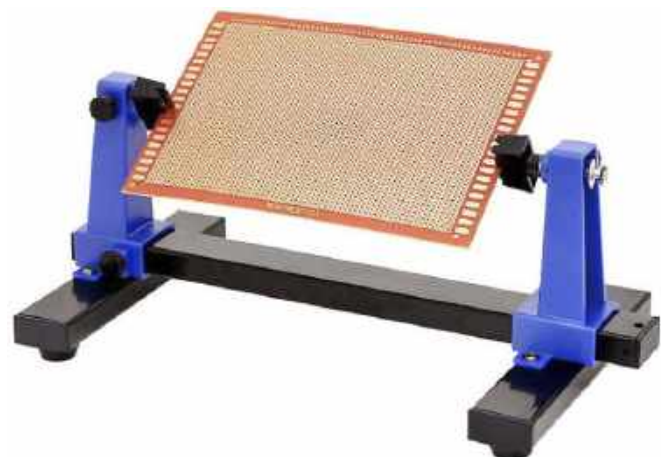
Jedną z operacji wykonywanych po zakończeniu montażu PCB jest wzrokowa kontrola jakości. Ocenę jakości lutów wykonują często również serwisanci, gdyż tzw. zimne luty są typową przyczyną nieprawidłowego działania urządzenia. Miejsca szczególnie „podejrzane” muszą być oglądane w dużym powiększeniu. Nie zawsze lupa $\times 6$ jest wystarczająca, płytkę trzeba wziąć pod mikroskop. Możliwości jest bardzo dużo. Oferta na mikroskopy cyfrowe jest tak obszerna, że może być problem z wyborem najlepszej. Obejmuje urządzenia od bardzo prostych, przeznaczonych dla amatorów, małych pracowni i serwisów w cenie kilkudziesięciu złotych do bardzo profesjonalnych mikroskopów produkcyjnych, który cena sięga kilkudziesięciu tysięcy złotych. Wydaje się, że zajmując się montażem SMD, wcześniej czy później każdy stanie przed koniecznością zakupu takiego urządzenia. Najprostsze mikroskopy USB w cenie do 100 zł zapewniają powiększenie do 500 razy (fotografia 19). Obraz jest wyświetlany na monitorze komputera. Mały statyw pozwala stabilnie ustawić mikroskop nad obserwowaną powierzchnią, co przy takich powiększeniach jest niezbędne. W pracach serwisowych u klienta można również rozpatrzyć zakup mikroskopu ręcznego o powiększeniu rzędu 50 razy. Inną alternatywą jest przystawka mikroskopowa do smartfonów.

14. Inne drobne elementy wyposażenia pracowni

Okazuje się, że w codziennej pracy elektronik, czy to konstruktor, czy serwisant, korzysta z wielu bardzo różnych większych lub mniejszych narzędzi, których nawet nie sposób wymienić. Zwykle są one gromadzone na przestrzeni lat i czasami sami właściciele zastanawiają się, jak oni to wszystko upychają w swojej pracowni. Może więc dziwić, że w całym bałaganie, który ich otacza, doskonale orientują się, gdzie



Fotografia 16. Szczypce płaskie o różnych zastosowaniach



Fotografia 17. Uchwyt do laminatu



Fotografia 18. Uchwyty typu „trzecia ręka”



Fotografia 19. Mikroskopy cyfrowe

co leży. Bez dokładniejszego zaglębianie się w szczegóły wymienimy przynajmniej część tych akcesoriów, które są przydatne w codziennej pracy. Są to: kable połączeniowe i pomiarowe zakończone różnego rodzaju wtykami i chwytakami, kabelki do połączeń na płytkach stykowych ze wszystkimi kombinacjami zakończeń (męsko-męskie, żeńsko-żeńskie, męsko-żeńskie), pistolet do kleju na gorąco, laminat jedno- i dwustronny do szybkiego wykonywania własnych PCB wraz z niezbędnymi do tego odczynnikami i kuwetami, komplet wkrętaków i kluczy zwykłych i imbusowych różnych rozmiarów. Wygodne w użyciu są tzw. bity, czyli końcówki nasadzone na uniwersalne uchwyty, którymi po szybkiej wymianie można wkręcać lub wykręcać różne śruby i nakrętki. Komplet wkrętaków precyzyjnych, w tym ceramicznych do strojenia filtrów z rdzeniem ferrytowym, zestaw nożyków z uniwersalną rękojeścią, szafki, półki i różnego rodzaju organizery pozwalające na uporządkowane magazynowanie wielu



Fotografia 20. Suwmiarka zabudowana w długopisie

różnych, często bardzo małych elementów elektronicznych i mechanicznych, chwytaki magnetyczne przydatne podczas wydobywania wkrętów i nakrętek wpuszczanych w głębokie kanały, szczoteczki ESD o twardym włosiu służące do czyszczenia zabrudzeń na płytach drukowanych. Użycie chwytaków magnetycznych grozi trwałemu namagnesowaniu elementów, które nie powinny być temu poddawane. Przez nieostrożność można na przykład namagnesować pęsetę lub wkrętak. Jedynym rozwiązaniem problemu jest więc magnetyzer/demagnetyzer. Jest to bardzo proste i tanie narzędzie, nie powinno go więc zabraknąć w warsztacie elektronika.

Kolejne elementy wyposażenia to plastikowe i metalowe otwieraki do obudów przydatne w pracach serwisowych. Służą one do podważania wieczka obudowy urządzenia elektronicznego podczas jej otwierania bez groźby zarysowania. Narzędzia do wymiarowania: linijki, kątomierze, suwmiarki. Ciekawym gadżetem przydatnym szczególnie w pracach serwisowych może być suwmiarka w długopisie, którą można mierzyć wymiary przedmiotów do ok. 10 cm (fotografia 20). Dokładność takiego pomiaru jest wprawdzie dość ograniczona, ale w wielu przypadkach wystarczająca. Przydatnym usprawnieniem prac serwisowych, szczególnie tam, gdzie trzeba sięgać ręką do trudno dostępnych, zaciemnionych miejsc, jest bezpalcowa, wodoodporna i antypoślizgowa rękawiczka z latarką LED. Przy bezpośrednim kontakcie z elementami CMOS ochronę przed ładunkiem elektrostatycznym mogą zapewnić rękawiczki antystatyczne. Ochronę przed bezpośrednim kontaktem z elementem zapewnia także chwytak podciśnieniowy, za pomocą którego łatwo można nałożyć np. montowany element na pola lutownicze.

Ręczna wiertarka z kompletem wiertel i frezów, za pomocą której można wiercić otwory w PCB, rozwierzać otwory w serwisowanych urządzeniach, wyrównywać technologiczne nierówności na krawędziach ciętego laminatu. Do takich wiertarek można zakładać bawełniane i kaszmirowe końcówki do polerowania, a także szczotki druciane do usuwania zasklepionych zabrudzeń. Podczas prac z takimi narzędziami jak wiertarki lub szlifierki warto zadbać o własne bezpieczeństwo, zawsze zakładając okulary ochronne.

Jeśli w pracowni są często wykonywane we własnym zakresie obwody drukowane, w wyposażeniu powinna się znaleźć gilotyna do cięcia laminatu.

Trudno sobie wyobrazić, aby serwisanci wykonujący naprawy zasilaczy, wzmacniaczy mocy, płyt komputerowych itp. nie korzystali z past termoprzewodzących i klejów przewodzących. Do nakładania ich na powierzchnie pod elementy mocy służą opakowania fabryczne lub dozowniki i strzykawki z igłami dozującymi. Serwisantom sprzętu informatycznego z pewnością przyda się tester portu USB. Za jego pomocą można bez dodatkowego oprzyrządowania mierzyć napięcie i prąd pobierany z portu USB np. przez ładowarki do telefonów.

Aparatura pomiarowa

Każdy elektronik niezależnie o tego, czy jest amatorem, czy profesjonalistą, powinien mieć dostęp co najmniej do podstawowych przyrządów pomiarowych. Ich liczba, marki, parametry techniczne w dużym stopniu zależą od środków finansowych, wielkości i rodzaju produkcji, stosowanych technologii itp. Podstawowe wyposażenie w aparaturę można podzielić na:

1. Zasilacze

W praktyce elektronika można się obyć bez oscyloskopu, bez generatora, nawet nie mając miernika, można coś zaradzić, ale bez zasilacza pracować się nie da (fotografia 21). To powinien być jeden z pierwszych zakupów do pracowni. Problem polega na bardzo zróżnicowanych cenach tych urządzeń, co na ogół jest związane z parametrami technicznymi, cechami funkcjonalnymi, często z marką. Jeśli w planach są prace z wieloma różnymi urządzeniami, warto dobrze przemyśleć kwestię zakupu dobrego zasilacza. Nieuzasadnione oszczędności będą wcześniej czy później się mściły. Pierwszym parametrem wyboru jest liczba sekcji. Zasilacze więcej niż 2-sekcyjne są dość drogie i niezbędne raczej rzadko, czasami bardziej opłacalne może okazać się kupienie dwóch zasilaczy 2-sekcyjnych niż jednego 4-sekcyjnego. Dwa napięcia zasilające można uznać za opcję najlepszą, gdyż często urządzenia wymagają dodatniego i ujemnego napięcia zasilającego. Najlepiej, jeśli obie sekcje są od siebie całkowicie odseparowane, a połączenie mas ustawia odpowiednimi zworami sam użytkownik. Jest to jednak wymaganie postawione dość mocno, zwykle obie sekcje mają fabrycznie połączoną wspólną masę. Drugim parametrem jest zakres regulacji napięć i prądu. Tu po cichu przyjmujemy, że zasilacz powinien mieć regulowane ograniczenie prądowe, które po pierwsze zabezpieczy układ przed ewentualnym uszkodzeniem, po drugie pozwoli na korzystanie z zasilacza jako źródła prądowego. Kolejnym czynnikiem wpływającym na wybór jest metoda regulacji: analogowa czy cyfrowa. Analogowa wydaje się przyjemniejsza w obsłudze, ale to kwestia bardzo indywidualna. Jeśli decydujemy się na regulację analogową, warto upewnić się, czy istnieje regulacja



Fotografia 21. Bogata oferta zasilaczy warsztatowych

zgrubna i dokładna. Inne ważne parametry zasilacza to: stabilność, tętnienia, moc itp.

2. Miernik uniwersalny

Mierniki analogowe zostały całkowicie zdominowane przez przyrządy cyfrowe (fotografia 22). Powrotu do mierników wskaźkowych w zasadzie już nie ma, może poza bardzo specyficznymi sytuacjami i użytkownikami hobbystami, którzy są tacy jak najbardziej ortodoksyjni fotograficy nieuznający aparatów cyfrowych. W pamięci jednak zawsze pozostanie legendarny V-640 rodzimej produkcji, niegdyś duma i sława naszej elektroniki. Wielofunkcyjne mierniki cyfrowe – multimetry, bo taka nazwa się utarła, można nabyć w cenie od kilkunastu złotych do kilkuset, a nawet jeszcze drożej. Cena jest często decydującym czynnikiem zakupu. Profesjonaliści będą oczywiście szczegółowo analizować parametry, takie jak dokładność, funkcje pomiarowe, zakresy itp. Funkcje dodatkowe, takie jak pamięć pomiarów, uśrednianie, wyznaczanie minimum i maksimum serii pomiarów, ręczne przełączanie zakresów, są w praktyce tak rzadko używane, że właściciele po jakimś czasie nawet o nich zapominają. Jeśli multimetr nie ma funkcji pomiaru parametrów tranzystorów czy pojemności kondensatorów, która wbrew pozorom przydaje się dość często, to należałoby pomyśleć o zakupie choćby najprostszych **testerów kondensatorów i cewek oraz testerów tranzystorów**. Nie mówimy tu o mostkach RLC, które są drogie, a w większości pracowni będą wykorzystywane rzadko. Na pewno serwisanci sprzętu audio tester kondensatorów powinni mieć, ba... będzie to jeden z podstawowych ich przyrządów, gdyż do rutynowych działań przy serwisie sprzętu audio należy co najmniej przegląd kondensatorów, a zwykle też ich wymiana. Testery takie powinny mierzyć nie tylko pojemność, ale też upływność i rezystancję szeregową kondensatów.

3. Generator

Tu sprawa jest bardzo indywidualna. Parametry tego urządzenia zależą od profilu działalności. Bardzo często amatorzy decydują się na budowę tych przyrządów we własnym zakresie. Ma to swoje uzasadnienie, gdyż profesjonalne przyrządy są dużo droższe od takich konstrukcji, a parametry generatorów *home-made* mogą okazać się w zupełności wystarczające. Technika DDS stała się na tyle powszechna, że chętnie po nią sięgają domorośli konstruktorzy, uzyskując przy tym efekty, o których nawet nie marzyli niektórzy zawodowi elektronicy jeszcze 15, 20 lat temu. Wydaje się, że sensownym minimum jest generator przebiegu sinusoidalnego co najmniej do 10 MHz (a jeszcze lepiej 30 MHz). Jako minimum dla przebiegów cyfrowych można przyjąć 100 MHz. Wszystko jednak zależy od indywidualnych potrzeb. Należy też mieć na uwadze, że klasyczne generatory funkcyjne stały się już przeżytkiem. Obecnie generator inny niż arbitralny raczej nie wchodzi w grę. Chyba że odznacza się doskonałą relacją ceny do możliwości.

4. Oscyloskop

To temat najtrudniejszy, gdyż przyrządy te do tanich nie należą. Z drugiej strony mają tak zróżnicowane parametry, a zatem i cenę, że trudno dać jakąś ogólną poradę. Można zalecić zakup oscyloskopu mieszczącego się w maksymalnym budżecie, jakim się dysponuje. Tu nie ma na czym oszczędzać. Każda zaoszczędzona złotówka odbije się później irytacją podczas pracy. A to okaże się, że jakaś funkcja nie działa tak jak powinna, a to że obsługa jest mało intuicyjna i niewygodna, i trudno się do niej przyzwyczaić, a to że pasmo, które na początku



Fotografia 22. Multimetry przeznaczone do różnych zastosowań

wydawało się wystarczające, nagle staje się za małe. To samo z szybkością próbkowania, długością rekordu czy innymi parametrami. Renomowani producenci umożliwiają programowe podwyższanie parametrów. Dotykamy tu jednak kwestii uczciwości użytkowników i nie będziemy rozwijać tematu.

Do decyzji pozostaje jeszcze wybór rodzaju oscyloskopu. Czy ma to być przyrząd stacjonarny, czy ręczny, a może przystawka USB do komputera? Dostępne są też miniaturowe ręczne oscyloskopy mieszczące się na dłoni z ekranem w postaci wyświetlacza LCD. Oczywiście parametry takich przyrządów będą nieporównywalne z profesjonalną aparaturą stacjonarną, ale do serwisu mogą być wystarczające. I tylko do serwisu.

Do bardzo poważnego rozważenia można zalecić przyrząd, który jako jedyny w tym artykule zostanie wymieniony z nazwy. Jest to Analog Discovery 2 firmy Digilent, który integruje wszystkie wymienione wyżej funkcje, zachowując przy tym bardzo rozsądne parametry, łatwość obsługi dzięki bardzo czytelnemu i intuicyjnemu interfejsowi użytkownika. Nie jest to przyrząd do wszystkich profesjonalnych zastosowań. Nie można na nim opierać wszystkich pomiarów, ale w wielu z nich, wykonywanych przy realizacji nawet poważnych projektów, będzie bardzo pomocny.

5. Inne przyrządy pomiarowe

Do nich należy zaliczyć przede wszystkim **analizator widma**. Jest to urządzenie, które coraz częściej kupują nawet niewielkie firmy zajmujące się konstruowaniem i produkcją urządzeń elektronicznych. Powodem tego są dwa czynniki: ceny analizatorów spadły na tyle, że stały się one dostępne dla ogółu użytkowników, nie tylko dla bogatych biur konstrukcyjnych wielkich korporacji; decydują się na nie producenci elektroniki, nawet uszczuplając chwilowo swoje zyski, aby zmniejszać koszty badań EMC wynikających z drastycznie zastrzonych kilka lat temu przepisów i norm. Nadal tylko ci najwięksi mają własne laboratoria EMC, ale małe firmy mogą dziś lepiej przygotowywać się do badań certyfikacyjnych, wykonując wstępne pomiary we własnym zakresie.

Jarostaw Doliński, EP



Profesjonalne wyposażenie serwisu elektronicznego

Zbudowanie sprawnie działającego serwisu pakietów elektronicznych nie jest procesem łatwym. Wiąże się z wyborem wielu odpowiednich narzędzi i urządzeń. Złe decyzje to stracony czas, rozgoryczenie i nieefektywność. W tym opracowaniu przyjrzymy się sprawdzonym produktom, używanym przez specjalistów od wielu lat, które udowodniły swoją wysoką jakość i niezawodność.

Najważniejszym elementem, od którego należy rozpocząć omawianie tematu, jest stanowisko. Stanowi ono bazę, na której opiera się cała organizacja pracy elektronika. Od niego zależy, czy narzędzia będą zawsze pod ręką, czy też pracy będzie towarzyszył nieefektywny chaos.

Stanowisko

Polskie meble antystatyczne REECO są tu doskonałym przykładem jakości i być może narodowej dumy, bo w ostatnim czasie podbijają kolejne zagraniczne rynki. Duża elastyczność, wynikająca z zastosowania modułowej budowy, pozwala nie tylko optymalnie dobrać i zestawić blaty, półki, uchwyty, pojemniki itp., ale także zmieniać ich położenie (wysokość zamocowania, kąty nachylenia) w zależności od bieżących potrzeb. Pozwala to na skonfigurowanie stanowiska ergonomicznego, co przekłada się na zmniejszenie ryzyka schorzeń zawodowych i zwiększenie wydajności. Wysokość blatu może być regulowana elektrycznie bądź ręcznie, co również poprawia całościową ergonomię pracy. Co ważne, są to meble wykonane z myślą o pracy elektronika – ich materiały i konstrukcja zabezpieczają przed skutkami wyładowań elektrostatycznych, a ich parametry, np. w zakresie właściwego oświetlenia pola roboczego, idealnie wpisują się w standardy IPC. Jak pokazują opinie użytkowników są to materiały i konstrukcje, które bez problemów służą nawet przez ponad dwadzieścia lat codziennego użytkowania.



Fotografia 1. Duża elastyczność mebli REECO, wynikająca z modułowej budowy, pozwala optymalnie dobrać konfigurację każdego stanowiska

Możliwości organizacji przestrzeni pracy nie kończą się na stanowisku roboczym. Stosownie do potrzeb, system można rozwijać na całe otoczenie stanowiska, np. w zakresie przepływu serwisowanych urządzeń, komponentów, zespołów z magazynu i pomiędzy stanowiskami. Ofertę mebli uzupełniają stacjonarne oraz mobilne szafki przemysłowe, a także szafy i regały magazynowe o konstrukcji zapewniającej bezpieczne przechowywanie części, narzędzi, akcesoriów, dokumentów, odzieży ochronnej itd. Stoły, a później stanowiska mogą być



Więcej informacji:

Renex
al. Kazimierza Wielkiego 6E, 87-800 Włocławek
tel. +48 54 231 10 05, faks +48 54 411 25 56
office@renex.pl, www.renex.pl



rozszerzane i modyfikowane wraz z rozwojem działalności i zmieniającymi się potrzebami.

Odzież specjalistyczna

W ofercie REECO znajduje się również szeroki wybór odzieży antystatycznej przeznaczonej zarówno dla branży produkcji, jak i serwisu urządzeń elektronicznych. Odzież tego typu, uzupełniona o opaski antystatyczne i maty, stanowi niezbędny element zabezpieczający przed uszkodzeniami komponentów elektronicznych w wyniku wyładowań elektrostatycznych, jednocześnie zapewniając komfort pracy.

Sprzęt lutowniczy

Drugim podstawowym elementem stanowiska pracy elektronika jest stacja lutownicza. Uznane, najwyższej klasy urządzenia w tym zakresie od lat dostarczają międzynarodowe koncerny JBC i PACE. Doskonałym przykładem niezawodnego urządzenia jest **DDPE Precision**

CYFROWE STACJE LUTOWNICZE

JBC



DOSTĘPNOŚĆ
OD RĘKI



SZEROKA
GAMA GROTÓW



CZĘŚCI
ZAMIENNE



SERWIS GWARANCYJNY
I POGWARANCYJNY

LINIE
PRODUKCYJNE

ROBOTY
PRZEMYSŁOWE

SZKOLENIA
DLA ELEKTRONIKÓW

ROBOTY
PRZEMYSŁOWE

SYSTEMY
INSPEKCJI X-RAY

STREFY CZYSTE
CLEAN ROOM

KOMPLEKSOWE WSPARCIE PRZEMYSŁU ELEKTRONICZNEGO

eprasa.pl 6e384983f7

 **renex**.PL



Fotografia 2. Stacja lutownicza marki PACE

– cyfrowa stacja dwunarzędziowa do napraw precyzyjnych. Jest to urządzenie przeznaczone do szybkiej i precyzyjnej pracy z komponentami SMD. Jednostka sterująca **JBC DDPE** zarządza jednocześnie maksymalnie 2 narzędziami i jest w pełni kompatybilna z 10 różnymi narzędziami JBC, w tym z precyzyjną rączką **T210** i regulowanymi mikropęsetami **AM120**.

Przyglądając się ofercie JBC, warto zwrócić uwagę na unikatowe na rynku urządzenie – stację gorącego powietrza **JBC JNASE**, zaprojektowaną specjalnie do pracy z małymi elementami o wielkości 0201, 01005 oraz mniejszymi, nawet na bardzo gęsto zapelnionych płytach. Urządzenie zawiera aktywowany pedałem pick & place do usuwania i pozycjonowania elementów z dużą dokładnością. Specjalne dysze (dostępne średnice: 0,8; 1,0; 1,2 mm), precyzyjna regulacja temperatury i przepływu powietrza w czasie pozwalają skupić działania na wybranym elemencie.

Kolejnym urządzeniem, którego nie może zabraknąć w dobrze wyposażonym serwisie, jest rozlutownica typu **Den-On SC7000Z**. Jej niezawodność udowadnia fakt, że funkcjonuje na rynku od ponad 30 lat, w niemalże niezmienionej formie. Jest to poręczny i mobilny przyrząd do demontażu komponentów THT, wyposażony w zintegrowany kompresor służący równie dobrze do odsysania spoiwa, jak i do wydmuchu gorącego powietrza. Urządzenie pozwala na sprawny demontaż elementów przewlekanych THT (także z płyt wielowarstwowych z metalizacją otworów) oraz elementów i układów SMD, zarówno za pomocą głowic, jak i dysz.

Kompleksowa oferta

Wymienione wyżej przykłady to oczywiście jedynie wycinek potrzeb sprzętowych i materiałowych dobrze wyposażonego serwisu urządzeń elektronicznych. Każda osoba prowadząca przedsiębiorstwo tego typu wie, jak wymagające jest to zadanie. Warto więc wspomnieć się wiedzą doświadczanego partnera biznesowego.



Fotografia 3. Oferta JBC zawiera wiele specjalistycznych stacji lutowniczych



Fotografia 4. Rozlutownica typu Den-On SC7000Z

RENEX od ponad 30. lat wspiera rozwój polskiej branży elektronicznej, realizując misję dostarczania w jednym miejscu kompleksowej oferty – wszystkich potrzebnych produktów i niezbędnych usług jej partnerom. W obecnych strukturach Grupy RENEX są dziś wyspecjalizowane podmioty doradcze, szkoleniowe, badawczo-rozwojowe i dystrybucyjne. Mimo ogromnego rozwoju Grupy, jej głównym kierunkiem działania pozostaje zapewnienie wsparcia dla branży elektronicznej, w szczególności dla serwisów elektronicznych, w tym w jednostkach budżetowych, policji i wojska.

Kluczowym celem dla Grupy RENEX jest również wspieranie działalności edukacyjnej na kierunkach technicznych. Dzięki dostarczaniu takiego samego wyposażenia do pracowni uczelni wyższych i średnich, jak do przedsiębiorstw, uczniowie mają możliwość zaznajomienia się z profesjonalnymi narzędziami pracy i doskonalenia umiejętności.

Grupa dostarcza ponadto pełny zakres usług doradczych i konsultacyjnych. W ramach działalności szkoleniowej prowadzi największe **Autoryzowane Centrum Szkoleniowe IPC** w Europie Środkowo-Wschodniej, które oferuje kursy m.in. w zakresie ochrony antystatycznej i standardów IPC, oraz **Autoryzowane Centrum Szkoleniowe YAMAHA**, które prowadzi kursy z zakresu robotyki i automatyki.

Grupa RENEX ma w ofercie ponad dwadzieścia tysięcy produktów, w tym urządzenia, narzędzia, odzież, meble i materiały zużywalne niezbędne w działalności serwisowej. Grupa jest partnerem światowych marek, dostarczając m.in. urządzenia JBC i PACE, narzędzia ręczne Piergiacomi, pasty lutownicze Indium, preparaty czyszczące Solderstar czy też mikroskopy cyfrowe Tagarno.

Dzięki pełnym stanom magazynowym w Polsce, Grupa dostarcza niemal wszystkie własne i dystrybuowane produkty od ręki, pozwalając jej partnerom szybko reagować na nieprzewidziane sytuacje. Dostarczane wsparcie logistyczno-produktowe jest uzupełnione o profesjonalny serwis gwarancyjny i pogwarancyjny.

Grupa stworzyła również **CENTRUM TECHNOLOGICZNO-SZKOLENIOWE RENEX** oraz **DEMO-ROOM** we Wrocławku, gdzie klienci i partnerzy RENEX mogą zobaczyć i sprawdzić w działaniu urządzenia z oferty. Pracujący w Centrum specjaliści służą również wsparciem szkoleniowym i doradczym.

Zainteresowanych zapraszamy do kontaktu z doradcami techniczno-handlowymi RENEX – dth@renex.pl.



Fotografia 5. Specjalistyczne narzędzia są obowiązkowym uzupełnieniem wyposażenia stanowiska



Projektowanie prostego, energooszczędnego sensora toksycznych gazów

Wiele procesów przemysłowych wymaga stosowania toksycznych związków chemicznych, w tym chloru (do produkcji tworzyw sztucznych, produktów agrochemicznych i farmaceutycznych); fosfinę i arsen (do produkcji półprzewodników) czy cyjanowodor (uwalniany podczas spalania śmieci). Niezwykle ważne jest, aby wiedzieć, kiedy w powietrzu występują niebezpieczne stężenia takich substancji.

W przemyśle stosowane są różne związki chemiczne, które są niebezpieczne dla człowieka. O tym, na ile są niebezpieczne, decyduje ich stężenie. Dlatego zdefiniowano różne poziomy stężeń np. gazów czy innych substancji w powietrzu. W Polsce za definicję tych progów odpowiedzialne jest Ministerstwo Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej, a np. w Stanach Zjednoczonych National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) oraz American Conference of Government

Industrial Hygienists (ACGIH). Instytucje te ustalają krótko- i długoterminowe limity ekspozycji na wiele toksycznych gazów przemysłowych. Istnieją trzy zasadnicze progi, jakie wyróżniane są w normach:

1. Najwyższe dopuszczalne stężenie (NDS) to stężenie, na które większość osób może być wielokrotnie narażona w ciągu 8-godzinnego dnia pracy bez negatywnych skutków dla zdrowia.
2. Najwyższe dopuszczalne stężenie chwilowe (NDSch) to stężenie, na które większość osób może być narażona w sposób ciągły przez krótki czas bez podrażnienia, uszkodzenia lub osłabienia zdrowia.
3. Najwyższe dopuszczalne stężenie pułapowe (NDSP) to stężenie bezpośrednio zagrażające życiu lub zdrowiu. Jest to graniczne stężenie, którego przekroczenie stanowi bezpośrednie lub pośrednie zagrożenie życia lub zdrowia, czyli powoduje nieodwracalne niekorzystne skutki zdrowotne lub zakłóca zdolność osoby do samodzielnej ucieczki.

W tabeli 1 zestawiono wartości graniczne dla kilku powszechnych gazów wg definicji NIOSH i ACGIH.



Rysunek 1. Czujnik tlenku węgla CO-AX

Właściwości czujników

Czujniki elektrochemiczne mają szereg zalet w zastosowaniu w przyrządach wykrywających lub mierzących stężenie toksycznych gazów. Większość czujników to sensory przeznaczone dla konkretnych gazów, z rozdzielczością użytkową poniżej jednej części na milion (ppm) stężenia gazu i działające przy bardzo małym poborze prądu, dzięki czemu doskonale nadają się do przenośnych przyrządów zasilanych bateriami. Jedną z wad czujników elektrochemicznych jest ich powolne działanie – po włączeniu czujnik może potrzebować nawet kilku minut, aby osiągnąć katalogową czułość i ustabilizować mierzoną wartość, a następnie, po wystawieniu na zwiększone stężenie gazu, czujnik może wymagać od 25 do 40 sekund, aby osiągnąć poziom 90% swojej końcowej wartości wyjściowej. Stabilizacja na poziomie finalnego pomiaru może trwać jeszcze dłużej.

W poniższym artykule opisano przenośny detektor tlenku węgla (CO) zawierający czujnik elektrochemiczny. Sposób postępowania, podczas projektowania takiego systemu, jest podobny dla wszystkich sensorów elektrochemicznych, więc zaprezentowana metodyka sprawdzi się także dla czujników innych związków.

Poziom NDSP tlenku węgla jest znacznie wyższy niż w przypadku większości innych toksycznych gazów, co czyni go stosunkowo bezpiecznym w użyciu. Niemniej jednak należy pamiętać, że gaz ten jest nadal śmiertelnie niebezpieczny, dlatego podczas testowania opisanego obwodu należy zachować szczególną ostrożność i zapewnić odpowiednią wentylację pomieszczenia.

Budowa układu

Na rysunku 1 został pokazany czujnik CO-AX firmy Alphasense, natomiast w tabeli 2 znajduje się zestawienie jego najważniejszych parametrów. Osiągnięcie jak najdłuższej żywotności baterii jest najważniejszym celem projektowym w przypadku

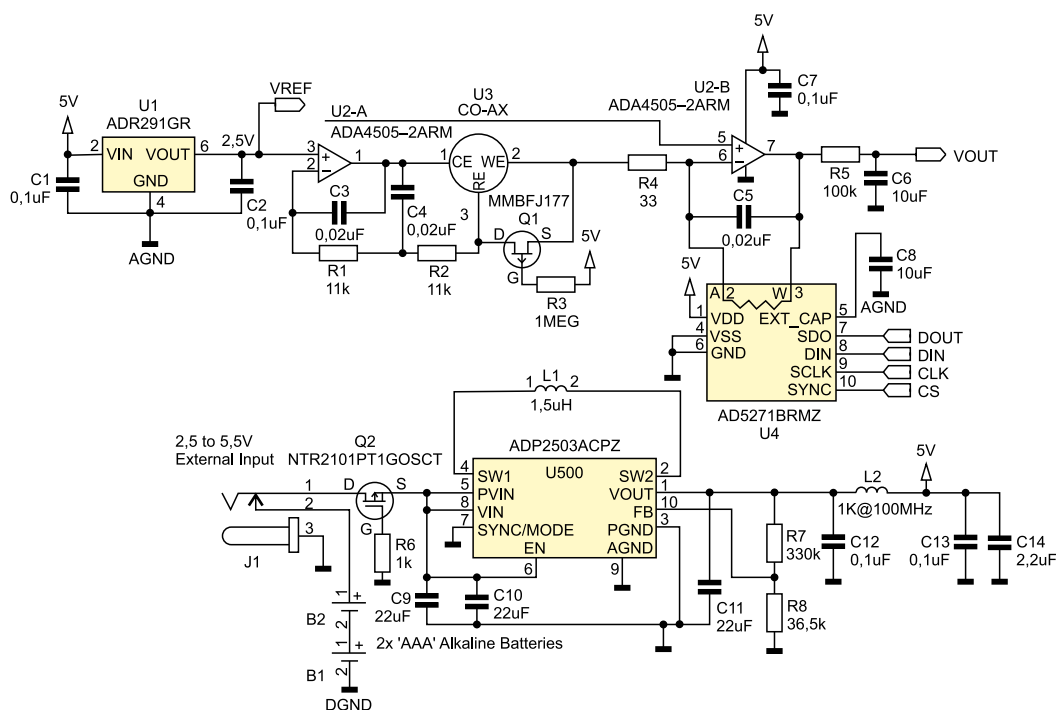
Tabela 1. Limity stężeń niektórych toksycznych gazów, stosowanych w przemyśle

Substancja	NDS (ppm)	NDSch (ppm)	NDSP (ppm)
Tlenek węgla (CO)	50	200	1 200
Dwutlenek węgla (CO ₂)	5000	30000	40000
Chlor (Cl)	0,5	1	10
Siarkowódór (H ₂ S)	10	20	100

przyrządów przenośnych, dlatego kluczowe znaczenie ma utrzymanie zużycia energii na minimalnym poziomie. W typowych systemach małej mocy obwód pomiarowy włącza się, aby wykonać pomiar, a następnie zostaje wyłączony na długi okres czuwania. Jednak w opisywanym zastosowaniu obwód pomiarowy musi być zasilany w sposób ciągły ze względu na długie stałe czasowe czujnika elektrochemicznego. Na szczęście powolna reakcja pozwala na użycie scalonych wzmacniaczy, rezystorów o dużej wartości i filtrów niskiej częstotliwości granicznej, które minimalizują szum Johnsona i szum 1/f. Ponadto praca z pojedynczym zasilaniem znacznie upraszcza obwód w stosunku do układów z zasilaniem symetrycznym.

Na rysunku 2 został pokazany schemat przenośnego detektora gazu. Podwójny wzmacniacz mocy ADA4505-2 jest używany w konfiguracji z potencjostatem (U2-A) i konfiguracji transimpedancyjnej (U2-B). Wzmacniacz ten jest dobrym wyborem zarówno dla sekcji potencjostatu, jak i konwersji prąd-napięcie (transimpedancji), ponieważ charakteryzuje się niskim poziomem rozpraszanego mocy, jak i bardzo małym prądem polaryzacji wejścia. Pobierając tylko 10 µA na wzmacniacz, zapewnia bardzo długą żywotność baterii.

W 3-elektrodowych czujnikach elektrochemicznych gaz docelowo dyfunduje do czujnika przez membranę, zanim wejdzie w interakcję z elektrodą roboczą (WE). Obwód potencjostatu wykrywa napięcie na elektrodzie odniesienia (RE) i dostarcza do przeciwelektrody (CE) prąd wymagany do utrzymania stałego napięcia między zaciskami RE i WE. Żaden prąd nie wpływa ani nie wypływa z terminalu RE, więc prąd wypływający z CE wpływa do WE. Ten prąd jest wprost proporcjonalny do mierzonego stężenia gazu. Prąd płynący przez pin WE może być dodatni lub ujemny, w zależności od tego, czy w czujniku zachodzi redukcja, czy utlenianie. W przypadku tlenku węgla dochodzi do utleniania, co powoduje, że na pinie CE płynie prąd ujemny



Rysunek 2. Schemat przenośnego detektora gazu, zawierającego czujnik elektrochemiczny

– prąd płynie do wejścia wzmacniacza operacyjnego potencjostatu. Rezystor R4 ma typowo bardzo mały opór, więc napięcie występujące na WE jest w przybliżeniu równe VREF. Prąd przepływający do WE powoduje powstanie ujemnego napięcia na wyjściu U2-A w stosunku do WE. To napięcie wynosi zwykle kilkaset miliwoltów dla typowego czujnika tlenku węgla, ale może wynosić nawet 1 V dla innych typów czujników. Przy zasilaniu systemu asymetrycznie, tj. z jednego napięcia zasilającego, cały obwód sygnałowy spolaryzowany jest na stałym poziomie 2,5 V, wygenerowanym przez scalony stabilizator napięcia odniesienia typu ADR291, dzięki czemu układ pomimo pojedynczego zasilania może pracować z napięciami ujemnymi i dodatnimi. Układ ADR291 pobiera tylko 12 μ A, więc nie obciąża nadmiernie baterii. Może również zapewnić napięcie odniesienia dla przetwornika analogowo-cyfrowego, stosowanego do digitalizacji wyjścia z obwodu pomiarowego.

Wyjście wzmacniacza transimpedancyjnego V_o przyjmuje napięcie opisane **równaniem 1**.

$$V_o = 2,5V + I_{WE} \cdot R_F \quad (1)$$

gdzie I_{WE} to prąd płynący do wejścia WE, a R_F to rezystor w układzie konwersji prąd-napięcie (oznaczony na schemacie jako U4).

Maksymalna czułość sensora wynosi 90 nA/ppm, jak pokazano w **tabeli 2**, a maksymalny zakres pomiarowy wynosi 2000 ppm, co oznacza, że maksymalny prąd, jaki będzie płynął w systemie wynosi 180 μ A. Maksymalne napięcie będzie zatem opisane **równaniem 2**:

$$V_o = 2,5V + 2000 \text{ ppm} \cdot 90 \frac{\text{nA}}{\text{ppm}} \cdot R_F = 2,5V + 180 \mu\text{A} \cdot R_F \quad (2)$$

Napięcie będzie zależne głównie od rezystancji opornika R_F . Czujniki do różnych gazów lub od różnych producentów mogą mieć różne zakresy prądu wyjściowego. Użycie programowalnego potencjometru AD5271, jako rezystora R_F zamiast stałego rezystora umożliwia wykorzystanie jednego projektu i zestawu elementów dla różnych czujników gazu. Ponadto pozwala to na stosowanie wymiennych czujników, ponieważ mikrokontroler może konfigurować AD5271 na odpowiednią wartość rezystancji dla każdego podłączonego czujnika gazu. Współczynnik temperaturowy równy 5 ppm/°C dla modułu AD5271 jest lepszy niż w przypadku większości dyskretnych rezystorów, a jego prąd zasilania na poziomie 1 μ A ma bardzo mały udział w całkowitym zużyciu energii przez system.

Podczas pracy z pojedynczym zasilaniem 5 V, na wyjściu wzmacniacza transimpedancyjnego U2-B dostępny jest zakres dynamiki równy 2,5 V, zgodnie z **równaniem 1**. Ustawienie AD5271 na 12,5 k Ω wykorzystuje dostępny zakres dla najwyższej czułości czujnika i pozwala na zachowanie około 10% zapasu dynamiki na wypadek przekroczenia zakresu pomiarowego. Używając typowej odpowiedzi czujnika równej 65 nA/ppm, napięcie wyjściowe V_o można powiązać ze stężeniem (w ppm) tlenku węgla w sposób określony **równaniem 3**:

$$V_o = 2,5V + 813 \frac{\mu\text{V}}{\text{ppm}} \quad (3)$$

Jeśli wykorzystamy przetwornik ADC z wejściem różnicowym, wystarczy podłączyć wyjście stabilizatora odniesienia 2,5 V do wejścia AIN– przetwornika ADC, eliminując składnik 2,5 V w **równaniu 3**.

Rezystor R4 utrzymuje wzmocnienie szumów wzmacniacza transimpedancyjnego na rozsądnym poziomie. Wartość R4 jest kompromisem pomiędzy wielkością wzmocnienia szumu a błędem czasu ustalania czujnika po wystawieniu na duże stężenie gazu. Dla tego obwodu $R4=33 \Omega$, co skutkuje wzrostem szumów o 380 V/V, jak pokazano na **równaniu 4**:

Tabela 2. Specyfikacja sensora CO-AX

Czułość	55...90 nA/ppm (typowo 65 nA/ppm)
Czas odpowiedzi (T90% od 0 ppm do 400 ppm CO)	<30 s
Zakres pomiarowy (gwarantowany)	od 0 ppm do 2000 ppm
Maksymalny zakres pomiarowy	4000 ppm

$$NG = 1 + \frac{12,5k\Omega}{33k\Omega} = 380 \quad (4)$$

Szum wejściowy wzmacniacza transimpedancyjnego jest mnożony przez wzmocnienie układu. Dla ADA4505-2 w zakresie od 0,1 Hz to 10 Hz wejściowy szum napięciowy wynosi 2,95 μV_{p-p} , więc szum, obserwowany na wyjściu, określa **równanie 5**:

$$V_{szum} = 2,95 \mu\text{V} \cdot NG = 1,1 \text{ mV}_{p-p} \quad (5)$$

Szum wyjściowy odpowiada stężeniu gazu na poziomie ponad 1,3 ppm. Jest to szum o niskiej częstotliwości i jest niezwykle trudny do odfiltrowania. Na szczęście odpowiedź czujnika jest bardzo powolna, więc filtr dolnoprzepustowy utworzony przez R5 i C6 może mieć częstotliwość odcięcia na poziomie zaledwie 0,16 Hz. Filtr ten ma stałą czasową wynoszącą jedną sekundę, która jest pomijalna w porównaniu z 30-sekundowym czasem reakcji samego czujnika.

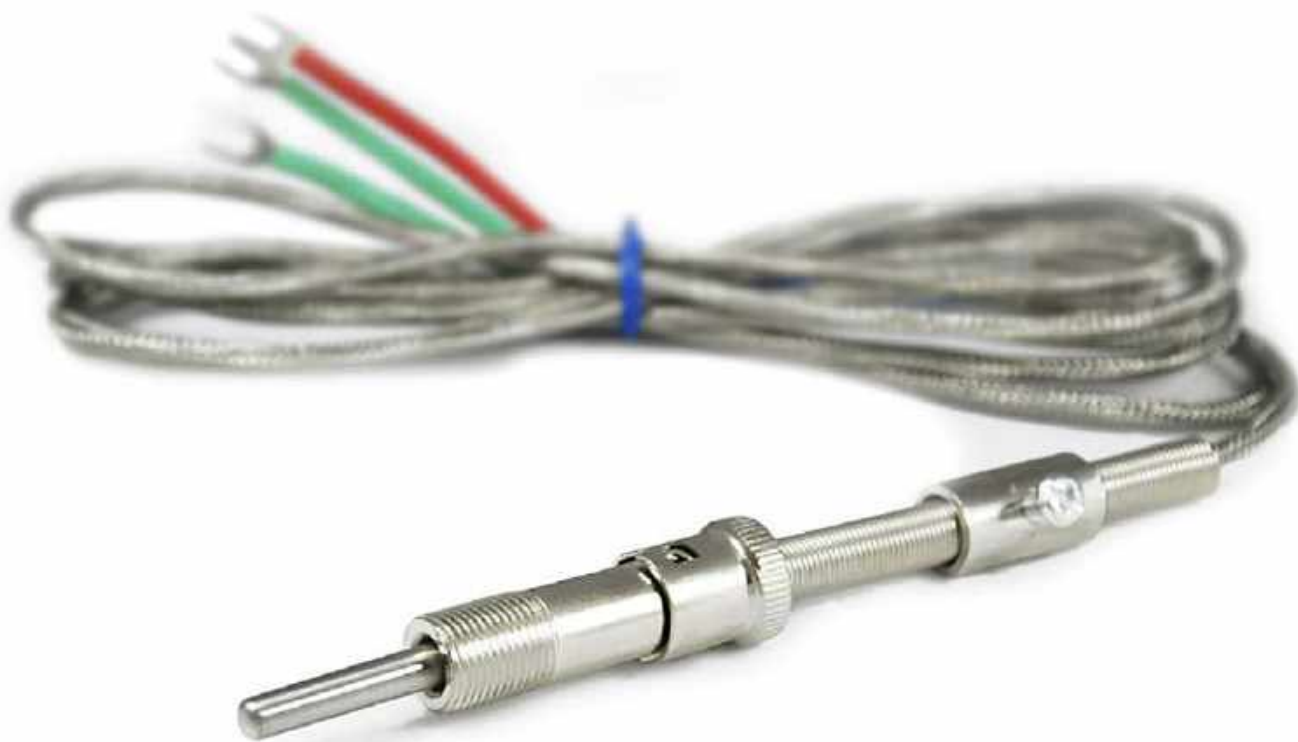
Tranzystor Q1 to JFET z kanałem typu P. Kiedy obwód się włącza, bramka jest na poziomie VCC, a tranzystor jest wyłączony. Gdy system się wyłącza, napięcie bramki spada do 0 V, a JFET włącza się, aby utrzymać te same potencjały pinów RE i WE sensora. To znacznie poprawia czas stabilizacji czujnika po włączeniu obwodu.

Obwód zasilają dwie baterie AAA. Używanie diody do ochrony przed odwrotnym podłączeniem baterii marnowałoby cenną energię, więc obwód ten wykorzystuje zamiast tego tranzystor MOSFET z kanałem typu P (Q2). MOSFET chroni obwód poprzez blokowanie napięć wstecznych i włącza się po przyłożeniu napięcia dodatniego. Rezystancja włączonego tranzystora MOSFET jest mniejsza niż 100 m Ω , co powoduje znacznie mniejszy spadek napięcia niż dioda krzemowa. Regulator typu buck-boost (ADP2503) pozwala na użycie zewnętrznego zasilania o napięciu do 5,5 V oprócz baterii AAA. Podczas pracy w trybie oszczędzania energii ADP2503 zużywa tylko 38 μ A. Filtr utworzony przez L2, C12 i C13 usuwa wszelkie szumy przełączania z linii zasilania układów analogowych. Zamiast używać obwodu do odłączania akumulatorów, gdy podłączone jest zewnętrzne źródło zasilania, gniazdo, które mechanicznie rozłącza akumulatory podczas podłączania zewnętrznego złącza zasilania, zapobiega marnowaniu energii.

Całkowity prąd pobierany z baterii AAA podczas pracy wynosi około 100 μ A w normalnych warunkach (nie wykryto gazu) i 428 μ A w najgorszych warunkach (wykryto 2000 ppm CO). Gdy przyrząd jest podłączony do mikrokontrolera, który może wejść w tryb czuwania o niskim poborze mocy, gdy nie wykonuje pomiarów, żywotność baterii może wydłużyć się do ponad roku. Do wybudzenia mikrokontrolera można wykorzystać np. wbudowany w wiele mikrokontrolerów komparator, który będzie wybudzał układ po przekroczeniu pewnego progowego stężenia gazu lub timer, który okresowo wybudza mikrokontroler celem dokonania pomiaru.

Nikodem Czechowski, EP

Źródło: <https://bit.ly/2Uq42UY>



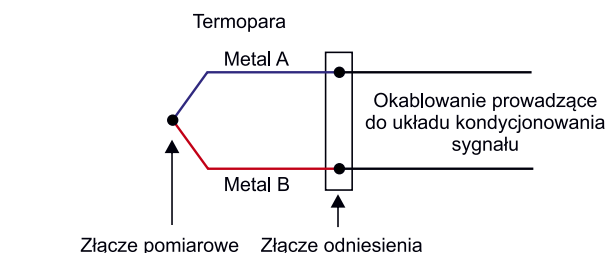
Dwa podejścia do pomiaru temperatury za pomocą termopary

Spośród wielu sensorów pozwalających na pomiar temperatury żaden nie jest tak wszechstronny, elastyczny i precyzyjny, jak termopara. Jednak jej zastosowanie w systemie może sprawić kłopot. Tor pomiarowy dla termopary można zbudować w wersji ekonomicznej, o prostej konstrukcji, albo w wersji precyzyjnej, ale skomplikowanej. Wybór rozwiązania zależy tylko od wymagań danego projektu.

Termopara to nieskomplikowany i szeroko stosowany element do pomiaru temperatury, jednak jego aplikacja nie należy do najprostszych. W artykule wyjaśnimy zasadę działania tych sensorów, scharakteryzujemy ich podstawowe typy oraz opiszemy wyzwania napotykane podczas projektowania układów współpracujących z nimi i wybrane rozwiązania układowe. Pierwsze rozwiązanie łączy kompensację złącza odniesienia i kondycjonowanie sygnału w jednym analogowym układzie scalonym, co zapewnia wygodę i łatwość użycia. Drugie rozwiązanie z kolei oddziela kompensację złącza odniesienia od bloku kondycjonowania sygnału, aby zaoferować elastyczniejszy pomiar temperatury i jego większą dokładność w różnych warunkach.

Zasada działania termopary

Termopara to element obwodu elektronicznego składający się z dwóch, połączonych ze sobą na jednym końcu metalowych drutów. Punkt



Rysunek 1. Schematyczny rysunek termopary

ich połączenia jest złączem pomiarowym, nazywanym czasami złączem gorącym. Drugie końce drutów są podłączone do układu pomiarowego. Ten punkt nazywany jest złączem odniesienia lub złączem zimnym. Schematyczną budowę termopary pokazano na **rysunku 1**. W artykule będziemy używać terminów złącze pomiarowe i złącze odniesienia. Drugi, tradycyjny system nazewnictwa może być mylący, ponieważ w wielu zastosowaniach złącze pomiarowe może być zimniejsze niż złącze odniesienia.

Termopara, zwana czasami termoogniwem, działa dzięki zjawisku Seebecka. Jest to zjawisko termoelektryczne, w którym powstaje siła elektromotoryczna w obwodzie składającym się z dwóch, lub więcej, różnych przewodników, których złącza znajdują się w różnych temperaturach. Wynika ono z wystąpienia gradientu temperatury na przewodnikach, który zmienia ich potencjał elektryczny. Dla dwóch różnych przewodników występuje różnica potencjałów,

która może być zmierzona. Zależność tego napięcia od temperatury opisana jest tzw. współczynnikami Seebecka. Wynikowy współczynnik Seebecka dla termopary jest różnicą pomiędzy współczynnikami, dla szczególnych materiałów, z których jest ona złożona. Napięcie V_T mierzone na termoparze opisane jest zależnością:

$$V_T = (S_B - S_A) \cdot (T_2 - T_1) \quad (1)$$

gdzie S_A i S_B to współczynniki Seebecka materiałów termopary, a T_1 oraz T_2 to temperatury obu złączy.

Napięcie wytwarzane na złączu odniesienia zależy od temperatur zarówno na złączu pomiarowym, jak i na złączu odniesienia. Ponieważ termopara jest urządzeniem różnicowym, a nie urządzeniem do pomiaru temperatury bezwzględnej, musi być znana temperatura złącza odniesienia, aby uzyskać dokładny odczyt bezwzględnej temperatury złącza pomiarowego. Ten proces jest znany jako kompensacja złącza odniesienia. W ogólności sprowadza się do pomiaru temperatury złącza odniesienia, co umożliwia wyliczenie temperatury złącza pomiarowego.

Termopary stały się obecnie standardowym sensorem temperatury, chętnie używanym w wielu branżach z uwagi na szeroki zakres temperatur i rozsądną dokładność. Stosowane są przy temperaturach do około 2500°C w kotłach, podgrzewaczach wody, piekarnikach i silnikach lotniczych – by wymienić tylko kilka zastosowań. Najpopularniejszą termoparą jest termopara typu K o zakresie pomiarowym od -200°C do 1250°C, składająca się z chromelu i alumelu (opatentowanych stopów niklu zawierających odpowiednio chrom oraz aluminium, mangan i krzem).

Dlaczego warto używać termopar?

Rozważając zastosowanie termopary w projektowanym systemie, należy znać jej wady i zalety. Jest to sensor bardzo elastyczny i uniwersalny, ale w pewnych rozwiązaniach nie sprawdza się, zwłaszcza, jeśli priorytetem jest uproszczenie systemu i maksymalna optymalizacja jego kosztów.

Zalety:

- **Zakres temperatur** – termopary mają najszerszy zakres zastosowań, od kriogeniki po wydech silnika odrzutowego. W zależności od zastosowanych materiałów termopara może mierzyć temperaturę w zakresie od -200°C do 2500°C;
- **Niezawodność** – termopary to bardzo wytrzymałe komponenty. Są odporne na wstrząsy i wibracje, a także nadają się do użytku w wielu niebezpiecznych środowiskach;
- **Szybka reakcja** – termopary są małe i mają bardzo małą pojemność cieplną, dlatego szybko reagują na zmiany temperatury, zwłaszcza jeśli złącze czujnikowe jest odsłonięte. Mogą reagować na szybko zmieniające się temperatury w ciągu nawet kilkuset milisekund;
- **Brak samonagrzewania** – ponieważ termopary nie wymagają sygnału wzbudzającego, jak na przykład termistory, nie są podatne na zjawisko samoogrzewania. Jest to istotne np. w systemach kriogenicznych. Dodatkowo, dzięki temu, że nie są zasilane, mogą być stosowane w urządzeniach pracujących z substancjami łatwopalnymi bądź wybuchowymi.

Wady:

- **Złożone kondycjonowanie sygnału** – przy zastosowaniu termopary niezbędne jest dość złożone kondycjonowanie sygnału, aby przekształcić napięcie z termopary na użyteczny odczyt temperatury. Przetwarzanie tego sygnału wymaga skomplikowanych układów, aby uniknąć wprowadzania błędów, które obniżają dokładność pomiaru;
- **Dokładność** – oprócz pewnych niedokładności termopar, wynikających z ich właściwości metalurgicznych, pomiar za pomocą termopary jest tak dokładny, jak dokładnie można zmierzyć temperaturę złącza odniesienia; typowo uzyskuje się dokładność rzędu 1...2°C;
- **Podatność na korozję** – ponieważ termopary składają się z dwóch różnych metali, w niektórych środowiskach z czasem korozja

może spowodować pogorszenie jakości spoiny obu materiałów, a co za tym idzie, pogorszyć jakość pomiaru. Dlatego też elementy te mogą wymagać dodatkowej ochrony w przypadku pracy w agresywnym środowisku. Natomiast standardowa pielęgnacja i konserwacja jest zawsze niezbędna;

- **Podatność na szum** – podczas pomiaru zmian sygnału na poziomie mikrowoltów problemem może być szum pochodzący z rozproszonych pól elektrycznych i magnetycznych. Skręcenie pary przewodów termopary może znacznie zmniejszyć podatność na wpływ pól magnetycznych. Użycie ekranowanego kabla lub prowadzenie przewodów w metalowych kanałach i osłonach może zmniejszyć z kolei wpływ pola elektrycznego. Urządzenie pomiarowe powinno zapewniać filtrowanie sygnału – sprzętowo lub programowo – z silnym odrzuceniem częstotliwości sieci energetycznej (50 Hz lub 60 Hz, zależnie od miejsca na świecie) i jej harmonicznych.

Problemy przy pomiarach z zastosowaniem termopary

Przekształcenie napięcia generowanego przez termoparę na dokładny odczyt temperatury nie jest łatwe z wielu powodów: napięcia są niewielkie i nieliniowe, wymagane są układy kompensacji temperatury złącza odniesienia, a termopary mogą powodować różne problemy związane z prowadzeniem uziemienia w systemie. W dalszej części rozważymy wszystkie te problemy, a także sposoby radzenia sobie z nimi w systemach elektronicznych.

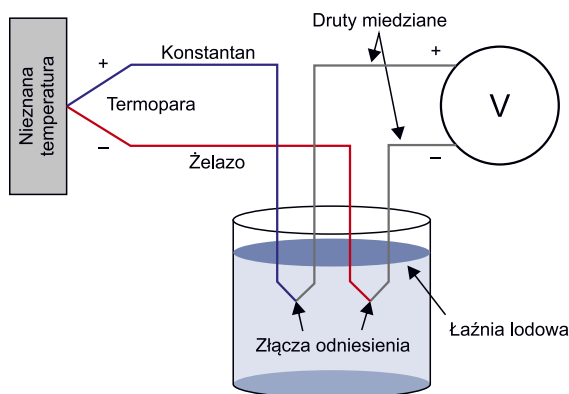
Mała amplituda sygnału

Najpopularniejsze typy termopar to J, K i T. W temperaturze pokojowej ich napięcie zmienia się z nachyleniem równym, odpowiednio, 52 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$, 41 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ i 41 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Inne, mniej popularne typy termopar, charakteryzują się jeszcze mniejszą zmianą napięcia wraz z temperaturą. Tak niewielki sygnał wymaga dużego wzmocnienia przed konwersją sygnału w przetworniku analogowo-cyfrowym (ADC). W tabeli 1 porównano nachylenia krzywych (współczynniki Seebecka) dla różnych typów termopar. Ponieważ sygnał napięciowy jest tak mały, obwód kondycjonujący sygnał zwykle wymaga około 100-krotnego wzmocnienia sygnału. Trudniejsze może być odróżnienie rzeczywistego sygnału od szumu wychwytywanego przez przewody termopary. Często są one długie i biegną w środowiskach z dużym poziomem zakłóceń elektromagnetycznych. Szum, zaindukowany na przewodach termopary, może z łatwością przekroczyć amplitudę sygnału pomiarowego termopary.

Zwykle, aby rozwiązać ten problem, stosuje się dwa podejścia, które pozwalają wyodrębnić sygnał z szumu. Pierwszym jest użycie wzmacniacza różnicowego na wejściu, np. w postaci wzmacniacza pomiarowego. Pozwala to usunąć dużą część szumu, ponieważ jest ona obecna w obu przewodach termopary i zostaje usunięta jako sygnał współbieżny. Drugie rozwiązanie to filtr dolnoprzepustowy, który usuwa szum pozapasmowy. Filtr dolnoprzepustowy powinien usuwać zarówno zakłócenia o częstotliwości radiowej (powyżej 1 MHz), jak i przydźwięk sieciowy (50 Hz/60 Hz). Ważne jest, aby umieścić filtr

Tabela 1. Współczynniki Seebecka określające czułość różnego typu termopar

Typ termopary	Współczynnik Seebecka [$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$]
E	61
J	52
K	41
N	27
R	9
S	6
T	41



Rysunek 2. Podstawowy obwód termopary żelazowo-konstantanowej stosowany historycznie (z złączem odniesienia w łaźni lodowej dla stabilizacji jego znanej temperatury)

przeciwzakłócenia, odcinający częstotliwości RF, przed wzmacniaczem, by uniknąć jego wysycenia. Lokalizacja filtra częstotliwości sieci nie jest tak krytyczna – można go połączyć z filtrem RFI, umieścić między wzmacniaczem a przetwornikiem ADC, włączyć jako część przetwornika sigma-delta w ADC lub zrealizować programowo jako filtr uśredniający.

Kompensacja złącza odniesienia

Temperatura złącza odniesienia termopary musi być znana, aby uzyskać dokładny odczyt temperatury bezwzględnej złącza pomiarowego. Kiedy historycznie stosowano pierwsze termopary, odbywało się to poprzez utrzymywanie złącza odniesienia w łaźni lodowej.

Rysunek 2 pokazuje klasyczny obwód termopary z jednym końcem w nieznaną temperaturę, a drugim w łaźni lodowej (która zachowuje stałą temperaturę 0°C). Metodę zastosowano do wyczerpującego scharakteryzowania różnych typów termopar, dlatego prawie wszystkie tabele termopar zawierają 0°C jako temperaturę złącza odniesienia.

Utrzymywanie złącza odniesienia w łaźni lodowej (czy dowolnej innej stałej temperaturze) nie jest praktycznym rozwiązaniem w przypadku większości systemów pomiarowych. Zamiast tego stosuje się technikę zwaną kompensacją złącza odniesienia (znaną również jako kompensacja zimnego złącza). Temperatura złącza odniesienia jest mierzona za pomocą innego urządzenia wrażliwego na temperaturę – zazwyczaj układu scalonego, termistora, diody itp. Odczyt napięcia z termopary jest następnie kompensowany, aby odzwierciedlić temperaturę złącza odniesienia. Ważne jest, aby temperatura złącza odniesienia była odczytywana tak dokładnie, jak to możliwe – z dokładnym czujnikiem temperatury utrzymywanym w tej samej temperaturze, co złącze odniesienia. Każdy błąd odczytu temperatury złącza odniesienia przeniesie się bezpośrednio na końcowy odczyt temperatury złącza pomiarowego.

Dostępnych jest wiele czujników do pomiaru temperatury odniesienia. Najczęściej stosuje się:

- 1. Termistory** – mają one krótki czas reakcji i niewielkie obudowy, ale wymagają linearyzacji i mają ograniczoną dokładność, szczególnie jeśli chcemy mierzyć w szerokim zakresie temperatur. Wymagają również prądu wzbudzenia, co może powodować samonagrzewanie się, prowadzące do dryfu. Dokładność termistora jest raczej mała;
- 2. Diody (złącze PN)** – złącze półprzewodnikowe służy często do pomiaru temperatury w pobliżu złącza odniesienia termopary. Układ kondycjonujący przetwarza napięcie diody, które jest proporcjonalne do temperatury, na sygnał analogowy lub cyfrowy. Dokładność tego pomiaru jest ograniczona do około $\pm 1^\circ\text{C}$;
- 3. Scalone czujniki temperatury** – zintegrowany czujnik temperatury w postaci samodzielnego układu scalonego, który lokalnie mierzy temperaturę i przesyła dalej w postaci np. sygnału cyfrowego. Powinien być ostrożnie umieszczony w pobliżu złącza

odniesienia i może łączyć w sobie kompensację temperatury złącza odniesienia i kondycjonowanie sygnału z termopary. Możliwa do uzyskania dokładność wynosi $0,1^\circ\text{C}$.

Nieliniowy sygnał napięciowy

Nachylenie krzywej odpowiedzi termopary zmienia się w zależności od temperatury. Na przykład przy 0°C wyjście termopary typu T zmienia się z nachyleniem $39 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$, ale przy 100°C współczynnik ten wzrasta już do $47 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Istnieją trzy typowe sposoby kompensacji nieliniowości termopary.

1. Można wybrać część krzywej, która jest stosunkowo liniowa i przyjąć odpowiadające jej nachylenie. Takie podejście sprawdza się szczególnie dobrze w przypadku pomiarów w ograniczonym zakresie temperatur. Nie są potrzebne żadne skomplikowane obliczenia. Jednym z powodów, dla których termopary typu K i J są popularne, jest to, że obie mają duże zakresy temperatur, dla których współczynnik Seebecka pozostaje dość stały (**rysunek 3**);
2. Innym rozwiązaniem jest przechowywanie w pamięci mikrokontrolera tabeli, która dopasowuje każdy zestaw napięć termopary do jego odpowiedniej temperatury. Wartości wypadające pomiędzy punktami danych są liniowo interpolowane, aby uzyskać wartości temperatury pomiędzy nimi;
3. Trzecie podejście polega na zastosowaniu równań (wielomianów) wyższego rzędu, które modelują zachowanie termopary. Chociaż ta metoda jest najdokładniejsza, jest również najbardziej wymagająca obliczeniowo. Dla każdej termopary istnieją dwa zestawy równań. Jeden zestaw konwertuje temperaturę na napięcie termopary (przydatne do kompensacji złącza odniesienia). Drugi zestaw przetwarza napięcie termopary na temperaturę.

Dwa zestawy równań są potrzebne, aby najpierw obliczyć różnicę napięć ΔV :

$$\Delta V = V_{J1} - V_{J2} \quad (2)$$

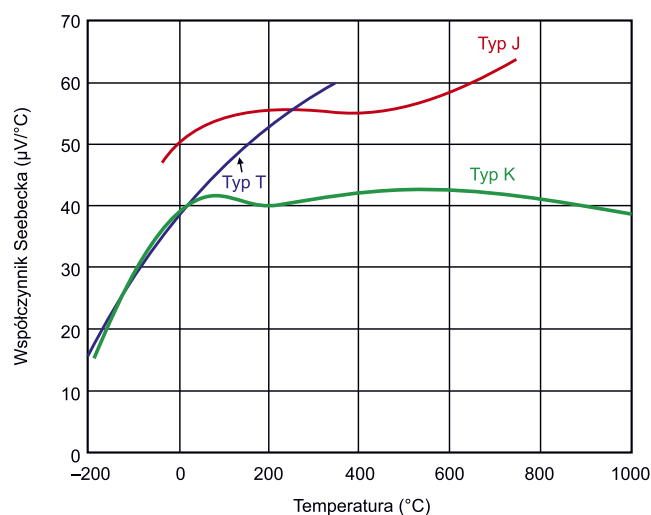
gdzie V_{J1} to napięcie zmierzone na złączu pomiarowym termopary, a V_{J2} to napięcie, odpowiadające temperaturze złącza odniesienia.

Konwersję pomiędzy temperaturą a napięciem V_{J2} , a następnie pomiędzy napięciem ΔV a bezwzględną temperaturą złącza pomiarowego realizuje się na ogół za pomocą wielomianów wyższych rzędów. Wielomian n-tego rzędu ma postać sumy, pokazanej na **równaniu 3**.

$$E = a_0 + a_1T + a_2T^2 + a_3T^3 + \dots + a_nT^n \quad (3)$$

gdzie $a_0, a_1, \dots, a_n$ to współczynniki poszczególnych rzędów, a n to rząd wielomianu.

Tabele termopar i równania termopar wyższego rzędu można znaleźć w normach lub np. na stronie amerykańskiego Narodowego



Rysunek 3. Zmiana czułości termopary w zależności od temperatury. Należy zauważyć, że współczynnik Seebecka termopary typu K jest mniej więcej stały i wynosi około $41 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ w zakresie od 0°C do 1000°C

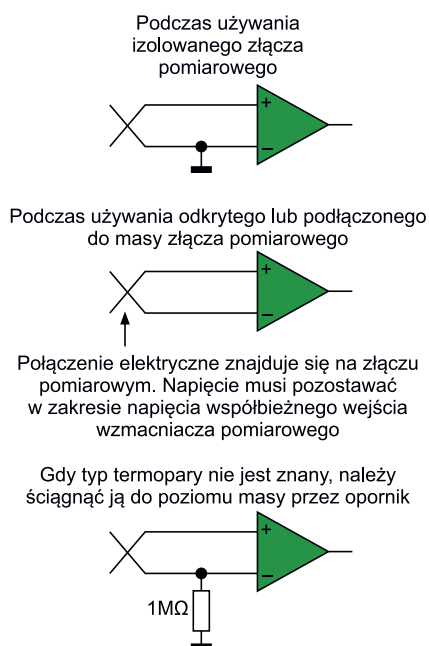
Instytutu Standaryzacji i Technologii NIST (<https://bit.ly/3ltWWL7>). Wszystkie podawane tabele i równania są oparte na temperaturze złącza odniesienia wynoszącej 0°C.

Wymagania dotyczące uziemienia

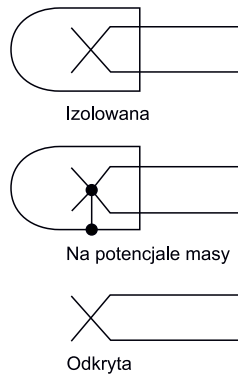
Producenci termopar wytwarzają termopary z izolowanymi lub uziemionymi końcówkami złącza pomiarowego (rysunek 4). Układ kondycjonujący sygnał z termopary powinien być zaprojektowany tak, aby uniknąć powstawania pętli masy podczas pomiaru uziemionej termopary. Jednocześnie musi istnieć ścieżka dla prądów polaryzacji wejściowej wzmacniacza podczas pomiaru izolowaną termoparą. Ponadto, jeśli końcówka termopary jest uziemiona, zakres wejściowy wzmacniacza powinien być tak dobrany, aby współpracował ze wszystkimi różnicami potencjałów, jakie mogą wystąpić pomiędzy złączem pomiarowym termopary a masą układu (rysunek 5).

W przypadku systemów nieizolowanych, tor oparty na elementach z zasilaniem symetrycznym będzie zazwyczaj odporniejszy w przypadku złączy uziemionych i odsoniętych. Ze względu na szeroki zakres wejściowy dla napięć współbieżnych, wzmacniacz pomiarowy z zasilaniem symetrycznym może obsługiwać dużą różnicę napięcia między masą modułu a masą na końcówce termopary.

Systemy z asymetrycznym układem zasilaniem (pojedyncze napięcie) mogą działać zadowalająco we wszystkich trzech przypadkach pokazanych na rysunku 5, jeśli zakres napięcia współbieżnego danego wzmacniacza ma możliwość pomiaru poniżej poziomu masy w konfiguracji z pojedynczym zasilaniem. Aby poradzić sobie z ograniczeniem napięć współbieżnych, w niektórych systemach z pojedynczym zasilaniem polaryzuje się termopary do połowy napięcia zasilania. Działa to dobrze w przypadku izolowanych końcówek termopar lub w przypadku izolacji całego układu pomiarowego. Jednak nie jest to zalecane w przypadku systemów nieizolowanych, które są przeznaczone do pomiaru temperatury z uziemionych lub odsoniętych termopar.



Rysunek 5. Różne konfiguracje masy w przypadku używania różnych typów końcówek pomiarowych termopary



Rysunek 4. Typy złączy pomiarowych termopar

Praktyczne rozwiązania układów pomiarowych z termoparami

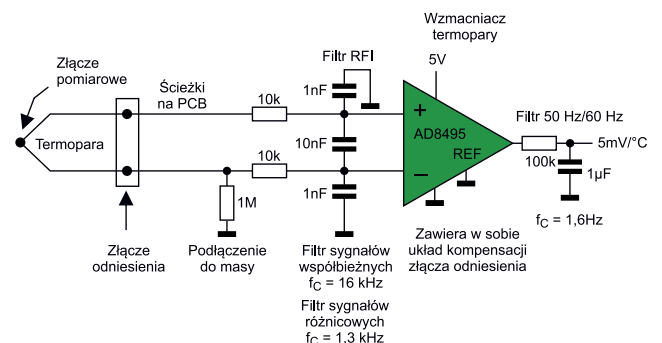
Kondycjonowanie sygnału termopary jest bardziej złożone niż w przypadku innych systemów do pomiaru temperatury. Czas wymagany do zaprojektowania i uruchomienia odpowiedniego toru sygnałowego może przesunąć wprowadzenie nowego produktu na rynek. Błędy w projektowaniu tego toru, zwłaszcza w sekcji kompensacji złącza odniesienia, mogą prowadzić do redukcji dokładności pomiarowej systemu. Poniższe rozwiązania usuwają wiele podstawowych problemów. Pierwsze z nich zawiera opis prostego, analogowego rozwiązania sprzętowego opartego na wysoko zintegrowanym, pojedynczym układzie. Łączy on w sobie bezpośredni pomiar termopary z kompensacją złącza odniesienia w jednej obudowie. Drugie rozwiązanie to bardziej złożony system, realizujący linearyzację i konwersję w oprogramowaniu, wykorzystując kompensację złącza odniesienia z użyciem, dodatkowego układu do pomiaru jego temperatury.

Rozwiązanie 1. Zoptymalizowane pod kątem małej złożoności układu

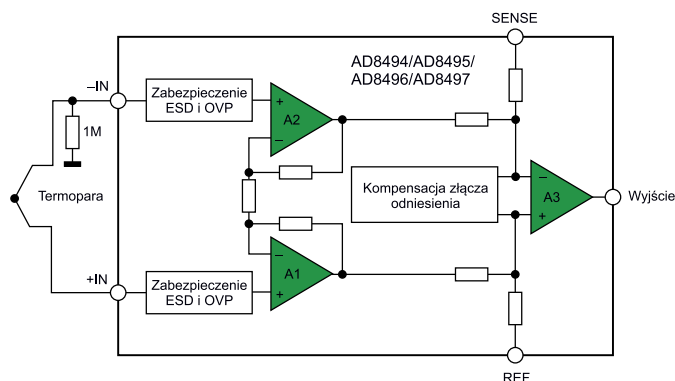
Na rysunku 6 został pokazany schemat układu do pomiaru temperatury z zastosowaniem termopary typu K. Bazuje na wzmacniaczu pomiarowym typu AD8495, który został zaprojektowany specjalnie do tego rodzaju układów. Jest to w pełni analogowe rozwiązanie zoptymalizowane pod kątem minimalnego czasu projektowania z nieskomplikowanym torem sygnałowym, który nie wymaga żadnych dodatkowych aplikacji czy kalibracji etc.

W jaki sposób tak prosty tor sygnałowy spełnia wymagania kondycjonowania sygnału dla termopar typu K? Oto jego najważniejsze cechy:

- **Wzmocnienie i skalowanie** – mały sygnał z termopary jest wzmacniany dzięki układowi AD8495, 122-krotnie, co daje czułość sygnału wyjściowego 5 mV/°C (200°C/V);
- **Redukcja szumów** – szum współbieżny o dużej częstotliwości i szum różnicowy są usuwane przez zewnętrzny filtr RFI. Szum współbieżny o małej częstotliwości jest odrzucany przez wzmacniacz pomiarowy AD8495. Wszelkie pozostałe szumy są usuwane przez zewnętrzny filtr końcowy, za układem;
- **Kompensacja złącza odniesienia** – układ AD8495 zawiera czujnik temperatury do kompensacji zmian temperatury otoczenia. Musi on być umieszczony w pobliżu tego złącza, aby uzyskać tę samą temperaturę, co złącze odniesienia;
- **Korekcja nieliniowości** – układ AD8495 jest skalibrowany tak, aby pracując na liniowej części charakterystyki termopary typu K, generować napięcie proporcjonalne do temperatury (5 mV/°C), z błędem liniowości mniejszym niż $\pm 2^\circ\text{C}$. Pracuje w zakresie temperatur złącza pomiarowego od -25°C do 400°C . Jeśli potrzebne są temperatury poza tym zakresem, nota aplikacyjna AN-1087 opisuje, w jaki sposób można wykorzystać tabelę danych w zewnętrznym mikrokontrolerze do rozszerzenia zakresu temperatur;
- **Izolowane, uziemione i odsonięte termopary** – na rysunku 5 znajduje się rezystor 1 MΩ podłączony do masy, co pozwala



Rysunek 6. Schemat układu zoptymalizowanego pod kątem małej złożoności



Rysunek 7. Schemat blokowy układu AD8495

na stosowanie wszystkich rodzajów uziemienia termopary. Układ AD8495 został zaprojektowany tak, aby móc zmierzyć kilkaset miliwoltów poniżej poziomu masy, gdy jest używany z asymetrycznym zasilaniem. Jeśli w układzie mogą wystąpić większe różnice potencjałów masy, AD8495 może być również zasilany symetrycznie.

Na rysunku 7 został pokazany schemat blokowy układu AD8495. Wzmacniacze A1, A2 oraz A3 tworzą wzmacniacz pomiarowy, który wzmacnia sygnał termopary typu K ze wzmocnieniem odpowiednim do wytworzenia napięcia wyjściowego 5 mV/°C. W bloku oznaczonym „Kompensacja złącza odniesienia” znajduje się czujnik temperatury otoczenia układu. Przy utrzymywaniu stałej temperatury złącza pomiarowego napięcie różnicowe z termopary zmniejszy się, jeśli temperatura złącza odniesienia wzrośnie z jakiegokolwiek powodu. Układ ten jest bardzo mały (3,2×3,2×1,2 mm) i bez problemu można umieścić go blisko złącza odniesienia. Dzięki temu będzie miał on taką samą temperaturę i zapewni precyzyjną kompensację złącza odniesienia. W tabeli 2 zestawiono podstawowe parametry tego układu.

Rozwiązanie 2. Zoptymalizowane pod kątem precyzji

Na rysunku 8 został pokazany schemat układu pomiaru temperatury z zastosowaniem termopary typu J, K lub T z wysokim stopniem dokładności. Obwód ten zawiera precyzyjny przetwornik ADC do pomiaru napięcia termopary oraz czujnik temperatury o dużej dokładności do pomiaru temperatury złącza odniesienia. Oba urządzenia są sterowane za pomocą interfejsu SPI z zewnętrznego mikrokontrolera.

W jaki sposób ta konfiguracja spełnia wspomniane wcześniej wymagania dotyczące kondycjonowania sygnału? Oto jej najważniejsze cechy:

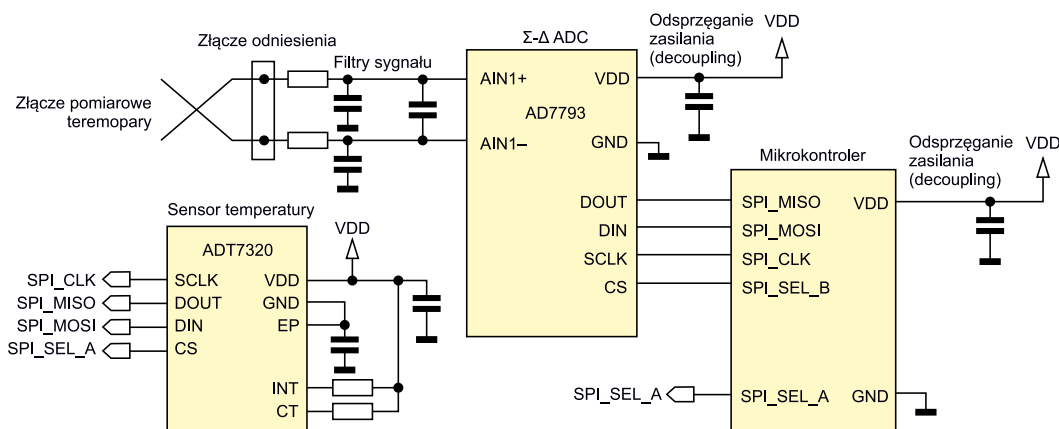
- **Filtracja szumu o wzmocnieniu napięcia** – układ AD7793, pokazany szczegółowo na rysunku 9, zawiera precyzyjny tor analogowy małej mocy. Służy

Tabela 2. Podsumowanie parametrów zintegrowanego rozwiązania wykorzystującego AD8495

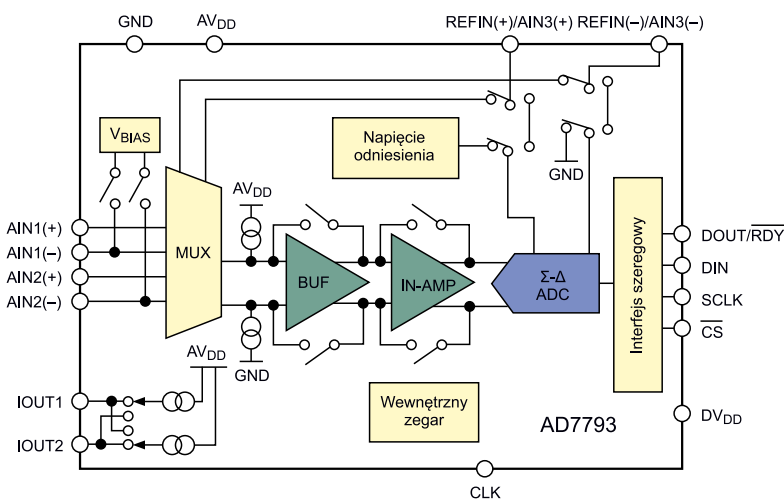
Typ termopary	Zakres temperatur złącza pomiarowego	Zakres temperatur złącza odniesienia	Dokładność przy 25°C	Pobór mocy
K	od -25°C do 400°C	od 0°C do 50°C	±3°C (klasa A) ±1°C (klasa C)	1,25 mW

do pomiaru napięcia z termopary. Wyjście termopary jest filtrowane zewnętrznie i podłączone do wejść różnicowych AIN1(+) i AIN1(-). Następnie sygnał jest kierowany przez multiplexer, bufor i wzmacniacz pomiarowy do przetwornika ADC, który przekształca sygnał na postać cyfrową, dostępną poprzez interfejs SPI;

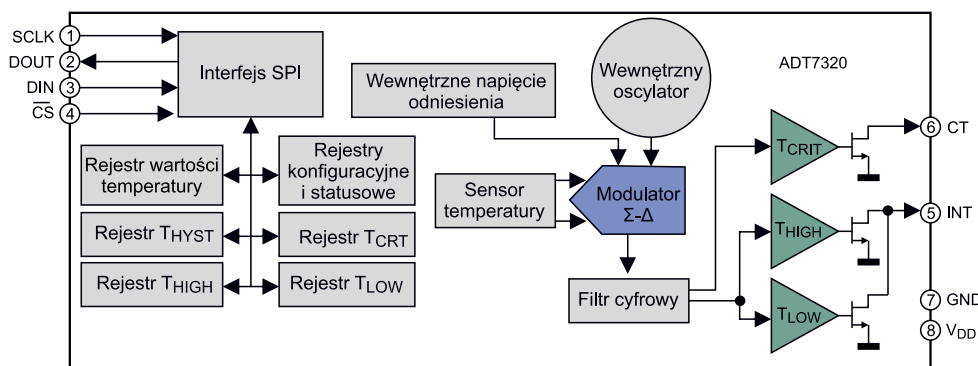
- **Kompensacja złącza odniesienia** – układ ADT7320 (szczegółowo pokazany na rysunku 10), jeśli zostanie umieszczony



Rysunek 8. Schemat układu zoptymalizowanego pod kątem dokładności i elastyczności



Rysunek 9. Schemat blokowy układu AD7793



Rysunek 10. Schemat blokowy układu ADT7320

Tabela 3. Podsumowanie parametrów zintegrowanego rozwiązania wykorzystującego ADT7320 i AD7793

Typ termopary	Zakres temperatur złącza pomiarowego	Zakres temperatur złącza odniesienia	Dokładność przy 25°C	Pobór mocy
J, K, T	Pełny zakres pracy sensora	od -10°C do 85°C, od -20°C do 105°C	$\pm 0,2^\circ\text{C}$ $\pm 0,25^\circ\text{C}$	3 mW

wystarczająco blisko złącza odniesienia, może dokładnie zmierzyć jego temperaturę, uzyskując precyzję do $\pm 0,2^\circ\text{C}$ i działając w zakresie od -10°C do 85°C . Wbudowany czujnik temperatury generuje napięcie proporcjonalne do temperatury bezwzględnej, które jest porównywane z wewnętrznym napięciem odniesienia i podawane na precyzyjny modulator cyfrowy. Zdigitalizowany wynik z modulatora aktualizuje 16-bitowy rejestr wartości temperatury w układzie. Rejestr wartości temperatury można następnie odczytać z mikrokontrolera za pomocą interfejsu SPI i połączyć z odczytem temperatury z przetwornika ADC, aby dokonać kompensacji w sposób programowy;

- **Kompensacja nieliniowości** – układ ADT7320 zapewnia doskonałą liniowość w całym zakresie temperatur pracy tego układu (od -40°C do 125°C), nie wymagając żadnej korekty ani kalibracji przez użytkownika. Jego wyjście cyfrowe można uznać za dokładne odwzorowanie stanu złącza odniesienia. Aby określić rzeczywistą temperaturę złącza pomiarowego, referencyjny pomiar temperatury należy przekształcić w równoważne napięcie termoelektryczne przy użyciu równań dostarczonych przez NIST. To napięcie jest następnie dodawane do napięcia termopary mierzonego przez AD7793. Z niego obliczana jest finalnie temperatura złącza pomiarowego, zgodnie z równaniami wielomianowymi i współczynnikami dostarczonymi przez NIST;
- **Izolacja termopary** – na rysunku 8 pokazano termoparę z odizolowanym złączem. Rozwiązanie takie zapewnia najkrótszy czas odpowiedzi, ale ta sama konfiguracja może być również używana z termoparą z izolowaną końcówką.

W tabeli 3 podsumowano działanie opartego na oprogramowaniu rozwiązania do pomiaru temperatury (przy użyciu danych kalibracyjnych NIST).

Podsumowanie

Termopary oferują niezawodny pomiar temperatury w bardzo szerokim zakresie temperatur, ale często nie są pierwszym wyborem inżynierów, projektujących system do pomiaru temperatury. Wynika to między innymi z konieczności przyjęcia kompromisu podczas projektowania – koszty i czas projektowania a dokładność i precyzja pomiaru. Zaprezentowaliśmy dwa rozwiązania – jedno zorientowane na maksymalne uproszczenie układu, a drugie oferujące wysokiej klasy system pomiarowy.

Pierwsze rozwiązanie osiąga zmniejszenie złożoności pomiaru poprzez zastosowanie sprzętowej techniki kompensacji analogowego złącza odniesienia. Upraszcza to analogową część toru pomiarowego, ponieważ uwalnia z konieczności dodawania w oprogramowaniu odpowiednich funkcji przeliczających wynik pomiaru na temperaturę. Zaproponowany układ AD8495 generuje sygnał wyjściowy o nachyleniu $5\text{ mV}/^\circ\text{C}$, który może być podany bezpośrednio np. na wejście dowolnego mikrokontrolera wyposażonego w ADC.

Drugie rozwiązanie oferuje o wiele wyższą dokładność pomiaru, a także umożliwia stosowanie różnych typów termopar. Oparta na oprogramowaniu technika kompensacji złącza odniesienia, która korzysta z cyfrowego czujnika temperatury ADT7320 umieszczonego w pobliżu złącza, zapewnia znacznie dokładniejszy pomiar temperatury złącza odniesienia niezbędny do kompensacji. Zastosowany termometr typu ADT7320 jest w pełni skalibrowany do pracy w szerokim zakresie temperatur (od -40°C do $+125^\circ\text{C}$). Dzięki temu, w przeciwieństwie do tradycyjnego pomiaru z wykorzystaniem np. termistora, nie wymaga kalibracji gotowego urządzenia oraz nie wymaga zużywania przestrzeni w pamięci mikrokontrolera na współczynniki kalibracyjne czy procedury linearyzacji. Upraszcza to uruchamianie układu.

Nikodem Czechowski, EP

Źródło: Matthew Duff, Joseph Towey *Two Ways to Measure Temperature Using Thermocouples Feature Simplicity, Accuracy, and Flexibility*, Analog Dialogue 44, październik 2010.

REKLAMA

AVT sklep

KITY AVT
@KITYAVT · Elektronika

Wykaz elementów

1. Złącze standard 19P
2. D15 - 1N4148 (diody przelotowe, 1N4148)
3. D16 - 1N4148 (diody przelotowe, 1N4148)
4. R1 - 10k (rezystor, 10k)
5. R2 - 10k (rezystor, 10k)
6. R3 - 10k (rezystor, 10k)
7. R4 - 10k (rezystor, 10k)
8. R5 - 10k (rezystor, 10k)
9. R6 - 10k (rezystor, 10k)
10. R7 - 10k (rezystor, 10k)
11. R8 - 10k (rezystor, 10k)
12. R9 - 10k (rezystor, 10k)
13. R10 - 10k (rezystor, 10k)
14. R11 - 10k (rezystor, 10k)
15. R12 - 10k (rezystor, 10k)
16. R13 - 10k (rezystor, 10k)
17. R14 - 10k (rezystor, 10k)
18. R15 - 10k (rezystor, 10k)
19. R16 - 10k (rezystor, 10k)
20. R17 - 10k (rezystor, 10k)
21. R18 - 10k (rezystor, 10k)
22. R19 - 10k (rezystor, 10k)
23. R20 - 10k (rezystor, 10k)
24. R21 - 10k (rezystor, 10k)
25. R22 - 10k (rezystor, 10k)
26. R23 - 10k (rezystor, 10k)
27. R24 - 10k (rezystor, 10k)
28. R25 - 10k (rezystor, 10k)
29. R26 - 10k (rezystor, 10k)
30. R27 - 10k (rezystor, 10k)
31. R28 - 10k (rezystor, 10k)
32. R29 - 10k (rezystor, 10k)
33. R30 - 10k (rezystor, 10k)
34. R31 - 10k (rezystor, 10k)
35. R32 - 10k (rezystor, 10k)
36. R33 - 10k (rezystor, 10k)
37. R34 - 10k (rezystor, 10k)
38. R35 - 10k (rezystor, 10k)
39. R36 - 10k (rezystor, 10k)
40. R37 - 10k (rezystor, 10k)
41. R38 - 10k (rezystor, 10k)
42. R39 - 10k (rezystor, 10k)
43. R40 - 10k (rezystor, 10k)
44. R41 - 10k (rezystor, 10k)
45. R42 - 10k (rezystor, 10k)
46. R43 - 10k (rezystor, 10k)
47. R44 - 10k (rezystor, 10k)
48. R45 - 10k (rezystor, 10k)
49. R46 - 10k (rezystor, 10k)
50. R47 - 10k (rezystor, 10k)
51. R48 - 10k (rezystor, 10k)
52. R49 - 10k (rezystor, 10k)
53. R50 - 10k (rezystor, 10k)
54. R51 - 10k (rezystor, 10k)
55. R52 - 10k (rezystor, 10k)
56. R53 - 10k (rezystor, 10k)
57. R54 - 10k (rezystor, 10k)
58. R55 - 10k (rezystor, 10k)
59. R56 - 10k (rezystor, 10k)
60. R57 - 10k (rezystor, 10k)
61. R58 - 10k (rezystor, 10k)
62. R59 - 10k (rezystor, 10k)
63. R60 - 10k (rezystor, 10k)
64. R61 - 10k (rezystor, 10k)
65. R62 - 10k (rezystor, 10k)
66. R63 - 10k (rezystor, 10k)
67. R64 - 10k (rezystor, 10k)
68. R65 - 10k (rezystor, 10k)
69. R66 - 10k (rezystor, 10k)
70. R67 - 10k (rezystor, 10k)
71. R68 - 10k (rezystor, 10k)
72. R69 - 10k (rezystor, 10k)
73. R70 - 10k (rezystor, 10k)
74. R71 - 10k (rezystor, 10k)
75. R72 - 10k (rezystor, 10k)
76. R73 - 10k (rezystor, 10k)
77. R74 - 10k (rezystor, 10k)
78. R75 - 10k (rezystor, 10k)
79. R76 - 10k (rezystor, 10k)
80. R77 - 10k (rezystor, 10k)
81. R78 - 10k (rezystor, 10k)
82. R79 - 10k (rezystor, 10k)
83. R80 - 10k (rezystor, 10k)
84. R81 - 10k (rezystor, 10k)
85. R82 - 10k (rezystor, 10k)
86. R83 - 10k (rezystor, 10k)
87. R84 - 10k (rezystor, 10k)
88. R85 - 10k (rezystor, 10k)
89. R86 - 10k (rezystor, 10k)
90. R87 - 10k (rezystor, 10k)
91. R88 - 10k (rezystor, 10k)
92. R89 - 10k (rezystor, 10k)
93. R90 - 10k (rezystor, 10k)
94. R91 - 10k (rezystor, 10k)
95. R92 - 10k (rezystor, 10k)
96. R93 - 10k (rezystor, 10k)
97. R94 - 10k (rezystor, 10k)
98. R95 - 10k (rezystor, 10k)
99. R96 - 10k (rezystor, 10k)
100. R97 - 10k (rezystor, 10k)
101. R98 - 10k (rezystor, 10k)
102. R99 - 10k (rezystor, 10k)
103. R100 - 10k (rezystor, 10k)

Montaż i uruchomienie

<http://bit.ly/2BjVMN7>

Ogłoszenia i reklamy hurtowni, sklepów, importerów, producentów, dealerów, itp. są płatne. Cena podstawowego modułu (35x20 mm) wynosi 66 zł + VAT. Koszt minimalnej ramki dla ogłoszeń o wielkości 3 modułów wynosi 198 zł + VAT. Moduły można łączyć zarówno w pionie jak i w poziomie. Maksymalna szerokość ogłoszenia to 5 modułów, wysokość 12 modułów. Rabaty stosujemy wyłącznie dla reklam powyżej 8 modułów: 4-6 emisji 10%, 7-11 emisji 15% i od 12 emisji 25%.

Oferta specjalna:

- publikacja fragmentów cennika w ramce o wielkości: 8 modułów w pionie cena 264 zł + VAT, 9 modułów w poziomie 305 zł + VAT
- rabat specjalny dla firm poszukujących pracowników wynosi 25% (wyłącznie dla dużych reklam).

Wszelkich informacji udziela **Grzegorz Krzykawski**, tel. 22 257 84 60, e-mail: grzegorz.krzykawski@ep.com.pl.

Reklamy do tej rubryki mogą być przygotowane przez Zamawiającego w CMYK, w formacie CDR (wersja do 2018), AI, EPS (tekst zmieniony na krzywe), PSD, PDF (programy Adobe w wersji do CC 2021 włącznie PC/Mac) z próbnym wydrukiem. Małe reklamy mogą być przygotowane w redakcji (gratis) na podstawie odręcznego szkicu. Opracowania te nie będą jednak wówczas uzgadniane z Zamawiającym przed oddaniem do druku.



Redakcja nie odpowiada za treść reklam i ogłoszeń zamieszczonych w Elektronice Praktycznej

OBWODY Drukowane

Produkcja, Projektowanie, Montaż

Certyfikat Underwriters Laboratories
UL 94V-0 E480148 TYPE 1

Zakład produkcyjny:
05-260 Marki
ul. Duża 1
tel. 22 781 63 95
22 761 95 60
fax. 22 781 63 95 w.23
www.elmax.waw.pl
elmax@elmax.waw.pl

Płytki jednostronne Płytki dwustronne Płytki na podłożu aluminium Płytki czelowe FR4	Serie dowolne Prototypy Maksymalny wymiar płytek 8w 836 mm
Dokumentacja technologiczna Dokumentacja konstrukcyjna Trawione szablony SMD	Montaż elektroniki Krótkie terminy Wykonania super expresowe
Aktywny kalkulator prototypów na stronie internetowej	Pokrycie Sn lub SnPb inne na życzenie Maski, opisy montażowe w różnych kolorach

Hurtownia elementów elektronicznych "AKSOTRONIK" zaprasza do swojego sklepu internetowego. Zaloguj się i kupuj ON-LINE na naszej stronie:

WWW.AKSOTRONIK.COM.PL

Aksotronik
ELEMENTY ELEKTRONICZNE

Magnesy neodymowe oraz ferrytowe Ceny od 0.10zł Kontakty elektryczne Ceny od 0.32zł Szczotki węglowe do elektronarzędzi Ceny od 2.60zł Przełączniki Ceny od 0.95zł	Przełączniki klawiszowe wielozadaniowe Ceny od 2.40zł Druty oporowe od 0.18 do 0.85mm Ceny od 5.70zł Przełączniki do elektronarzędzi zwojele i elektromagnetyczne Ceny od 7.00zł Zestawy mikro M2, M3 z nakrętkami i podkładkami Ceny od 2.50zł	Przewodniki do przewodów Ceny od 11.00zł Złaczki hermetyczne Superseal Ceny od 1.50zł
--	---	---

Uwaga!! Powyższe ceny dotyczą zakupów minimalnych ilości hurtowych, poprzez nasz sklep internetowy. W swojej ofercie posiadamy m.in.: półprzewodniki (diody, układy scalone, tranzystory, triaki, elementy optoelektroniczne), elementy dystansowe, łączniki, przełączniki, elementy akustyczne, rezystory, kondensatory, diody, diody LED, podkładki, moduły Arduino. Zapraszamy do kontaktu: INFO@aksotronik.com.pl, tel: (22) 783-20-51

www.delta.poznan.pl

Wielkość matrycy: 5 Mpx (Sony Starvis)
Obiektyw: 2.8 - 12 mm (kął widzenia 86° - 24°)
Rozdzielczość: 2592 x 1944 (5 Mpx)
Zasięg oświetlania IR: 40 m
Protokoły sieciowe: TCP/IP, DDNS, NTP, ONVIF 2.4
PoE 802.3af, Klasa szczelności IP66
3D-DNR, WDR, DEFOG, H265+, ROI, ...
Aplikacje dla: Android, iOS

► **APTI-54C4-2812WP** Bardzo dobra jakość w jeszcze lepszej cenie

Wielkość matrycy: 8,3 Mpx (przetwornik 1/1.8")
Obiektyw: 3.6 - 11 mm (kął widzenia 90° - 36°)
Rozdzielczość: 3840 x 2160 (4K UHD)
Przepływność (bitrate): 64 ... 12000 kbit/s
Protokoły sieciowe: TCP/IP, NTP, DNS, ONVIF 2.4
PoE 802.3af, Klasa szczelności IP66
3D-DNR, WDR, DEFOG, ROI, H265+, ...
Aplikacje dla: Android, iOS

► **APTI-84C6-3611WP-Z** Wysoka rozdzielczość dostępna w atrakcyjnej cenie

Wielkość matrycy: 5 Mpx (przetwornik 1/2.8")
Obiektyw: 2.8 - 12 mm (kął widzenia 86° - 24°)
Rozdzielczość: 2592 x 1944
Obsługa audio - mikrofon zewnętrzny
Protokoły sieciowe: TCP/IP, NTP, DDNS, FTP
PoE 802.3af, Klasa szczelności IP66, H.265+
3D-DNR, DEFOG, D-WDR, ROI, detekcja ruchu, ...
Aplikacje dla: Android, iOS

► **APTI-54VA3-2812P** Bardzo dobry stosunek jakości do ceny

Największy wybór w Polsce

www.ep.com.pl

RACK i Eurocarta 19" Wyposażenie szaf 19"

www.obudowa.pl

Producent obudów dla elektroniki tel. 032-230-2301

KITY AVT

HTTPS://BIT.LY/3MBCBZJ

Systemy dla Internetu Rzeczy (43)



Układy bardzo małej mocy do przyspieszania sztucznej inteligencji

Przyspieszanie działania aplikacji sztucznej inteligencji (AI, Artificial Intelligence), uczenia maszynowego (ML, Machine Learning) i głębokiego uczenia (DL, Deep Learning) jest wciąż stosunkowo nową dziedziną. Mimo to powstaje wiele procesorów, które przyspieszają prawie każde zastosowanie sieci neuronowej. Szczególne znaczenie mają układy bardzo małej mocy.

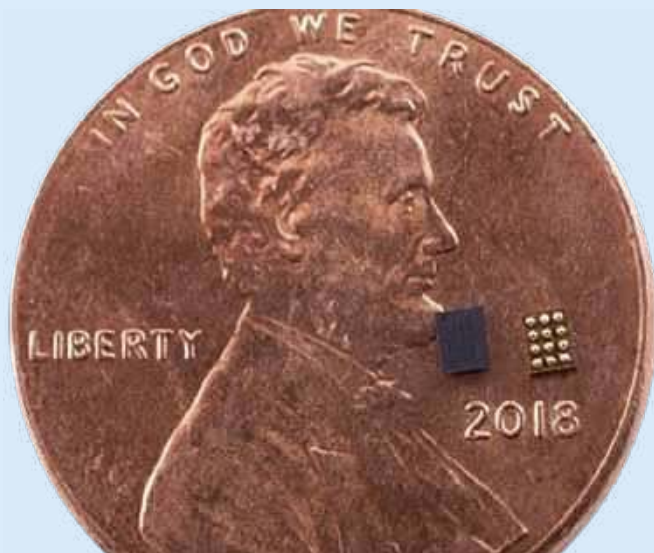
Procesor w pamięci (PIM)

Przemysł półprzewodników przez długi czas osobno projektował i konfigurował pamięć oraz procesor. Tak zwany procesor w pamięci (PIM, *Processor In Memory*), procesor w pobliżu pamięci (PNM, *Processor Near Memory*) albo obliczenia w pamięci (IMC, *In-Memory Compute*) znajduje się na chipie. Najpierw projektowany jest obwód pamięci przechowującej tablicę, a następnie obwód wykonawczy – dodawany, aby uczynić obwody przechowywania i obliczeń niemal zintegrowanymi (rysunek 1).

Technologię PIM zapoczątkowano w latach 90., ale nie zyskała popularności. Wraz z rozwojem sztucznej inteligencji, uczenia maszynowego i głębokiego uczenia przemysł docenił i rozwinął technologię oraz chipy PIM. Stoi za tym fakt, że obecna technologia głównego nurtu napotkała wiele wąskich gardeł w poprawie wydajności obliczeniowej. Liczba obliczeń wymaganych do głębokiego uczenia stale rośnie, szczególnie w przypadku obsługi aplikacji do autonomicznej pracy (*self-driving*).

Ze względu na rosnące zapotrzebowanie na proces głębokiego uczenia, w rozwój technologii PIM zainwestowało w ostatnich latach kilka organizacji i przedsiębiorstw, takich jak: ISAAC, Tetris, NeuroCube, Mythic, Syntiant, IBM, PRIME i PipeLayer. Wśród nich jest firma Mythic, która powstała w 2012 roku, i Syntiant, która powstała w roku 2017 [1]. Układy zarówno firmy Mythic, jak i Syntiant, oparte są na wbudowanych obwodach NOR Flash.

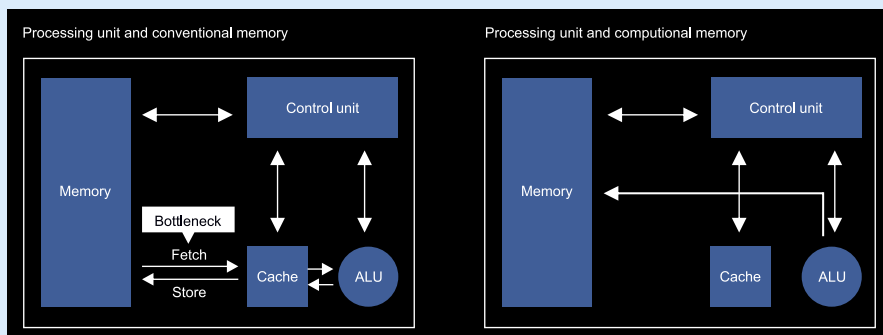
PIM nie ogranicza wyboru rodzaju pamięci: ulotnej (RAM) lub nieulotnej (NVM). Obwód pamięci jest odpowiedzialny za przechowywanie wartości wagi węzłów sieci neuronowej oraz wykonywanie obliczeń sztucznej inteligencji w procesie wnioskowania. Wartość wagi obliczana jest wcześniej, więc nie jest już zmieniana po załadowaniu systemu do pamięci RAM, w procesie bootowania (uruchamiania). Dla tych, którzy muszą często trenować model lub aktualizować model sieci neuronowej, pamięć RAM jest odpowiednia (np. NeuroCube korzysta z pamięci RAM). Obecnie technologia NOR Flash, używana przez Mythic, pochodzi z 40-nanometrowego procesu Fujitsu (obecnie UMC). Syntiant i IBM nie ujawniły informacji związanych z procesami technologicznymi [2].



Obliczenia analogowe z większą wydajnością wykonania

Operacja sieci neuronowej, zorientowana na wnioskowanie, nie wymaga dużej precyzji. Oryginalna operacja oparta na uczeniu wymaga 32- i 16-bitowych liczb zmiennoprzecinkowych. Jednak wnioski są reprezentowane przez 8- lub 4-bitowe liczby całkowite z małą precyzją. Układ przetwarzania liczb całkowitych jest znacznie łatwiejszy do implementacji niż dla liczb zmiennoprzecinkowych. Operację mnożenia z dodawaniem można zaimplementować zarówno w tradycyjnych cyfrowych układach logicznych, jak i w obwodach analogowych. Ten ostatni sposób ma większą szybkość wykonania i lepszą wydajność TOPS/Watt (*Tera-Operations per Second*).

Użycie technologii analogowej nie oznacza, że używany jest taki sam analogowy obwód implementacyjny. Przykładowo, technologia Mythic wykorzystuje przetwornik analogowo-cyfrowy (ADC),



Rysunek 1. Architektura Procesora konwencjonalnego oraz procesora PIM [2]

cyfrową symulację i przetwornik cyfrowo-analogowy (DAC), ale technologia IBM nie wymaga przetworników.

Z powodu nadmiernego przewrażliwienia firmy Intel na używanie nazwy CPU (*Central Processing Unit*), wielu dostawców chipów jest skłonnych do stosowania dla własnych układów słów związanych z PU (*Processing Unit*) i P (*Processor*). Układ PIM firmy Mythic nazywa się *Intelligent Processing Unit* (IPU), firmy IBM – *Resonator Processing Unit* (RPU), a firmy Syntiant – *Neural Decision Processor* (NDP).

Obwody analogowe i cyfrowe nadal muszą ze sobą współpracować

Układ wnioskowania PIM nie jest w całości układem analogowym. Nadal wymaga konwersji analogowo-cyfrowej i współpracy poprzez cyfrowy układ główny, w systemie interfejsu cyfrowego. Dlatego głównym modulem układu jest analogowy obwód wnioskowania, ale otaczające bloki obwodów peryferyjnych są nadal cyfrowe. Wymaga to cyfrowej jednostki sterującej (rdzeń MCU) i cyfrowej pamięci, do wspomagania jej działania.

Analogowe obwody wnioskowania mają różne metody implementacji. W zależności od różnych struktur pamięci wyrażają wartości wag na różne sposoby i implementują mnożenie, dodawanie i działanie z różnymi projektami obwodów arytmetycznych.

Oprócz wydajności, oszczędność energii jest kolejną dużą zaletą procesorów PIM. Wydajność energetyczna układów firmy Mythic wynosi obecnie około 4 TOPS/W. Z kolei firma Syntiant twierdzi, że posiada wydajność energetyczną na poziomie 20 TOPS/W. Przykładowo, dla procesora graficznego NVIDIA Volta V100 (używanego do przyspieszania) szacuje się wydajność na poziomie 0,4 TOPS/W. Firma Syntiant uważa, że jej technologia może zaoszczędzić 50 razy więcej energii niż GPU, przy tych samych wymaganiach wydajnościowych.

Istotna jest również współpraca technologiczna. Firma Lockheed Martin zamierza wdrożyć analogowy chip wnioskowania obrazu firmy Mythic na swoich dronach. Technologia wnioskowania audio firmy Syntiant uzupełnia technologię Alexa firmy Amazon. Syntiant współpracuje z firmą Infineon w zakresie rozwoju technologii wnioskowania audio. Układ NDP jest połączony z mikrofonem MEMS firmy Infineon. Nie wymaga chmury sieciowej ani cyfrowego procesora sygnałowego (DSP) do pełnej korelacji głosu.

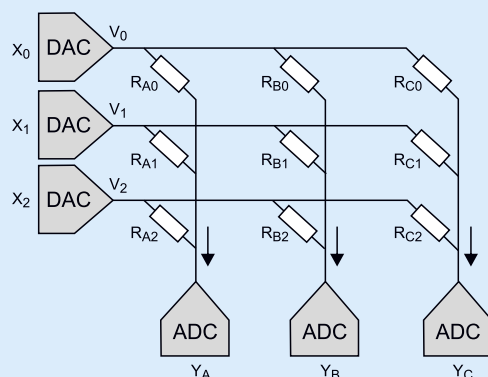
Chociaż stosowanie architektury PIM ma zalety w postaci dobrej wydajności i niskiego zużycia energii, ma obecnie swoje ograniczenia i wady. Dla przykładu: liczba warstw sieci i liczba węzłów nie jest łatwa do rozszerzenia przy dużej skali implementacji obwodów. Skończona dokładność obwodów analogowych (4-bitowy lub 8-bitowy) jest najczęściej używana do wnioskowania, a obsługa operacji uczenia sieci jest nadal ograniczona.

Układ firmy Mythic

Z powodu elastyczności i braku opłat licencyjnych firma Mythic używa rdzenia RISC-V do obsługi dedykowanego zbioru instrukcji SIMD.

Firma Mythic używa 256-rzędowych wartości analogowych rezystancji do reprezentowania 8-bitowych liczb całkowitych, które z kolei reprezentują wagi węzłów, a następnie implementuje mnożenie przez prawo Ohma (**rysunek 2**). Wartości wejściowe są wyrażane jako napięcia, wagi jako przewodnictwo (odwrotność rezystancji), a wyjście jest reprezentowane jako prąd ($I=V \times G$). Dokładność wynosi 4 bity. Zarówno układy PIM firmy Mythic, jak i Syntiant, koncentrują się na wnioskowaniu. Liczba wag jest punktem odniesienia pomiaru wnioskowania symulacji PIM. Większa liczba wag zwykle oznacza również większą i szybszą moc obliczeniową pracy.

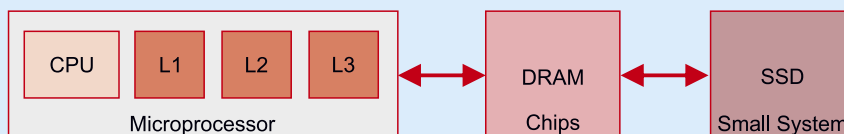
Obecnie najpopularniejsze architektury komputerowe zbudowane są na założeniach dotyczących dostępu do pamięci i jej



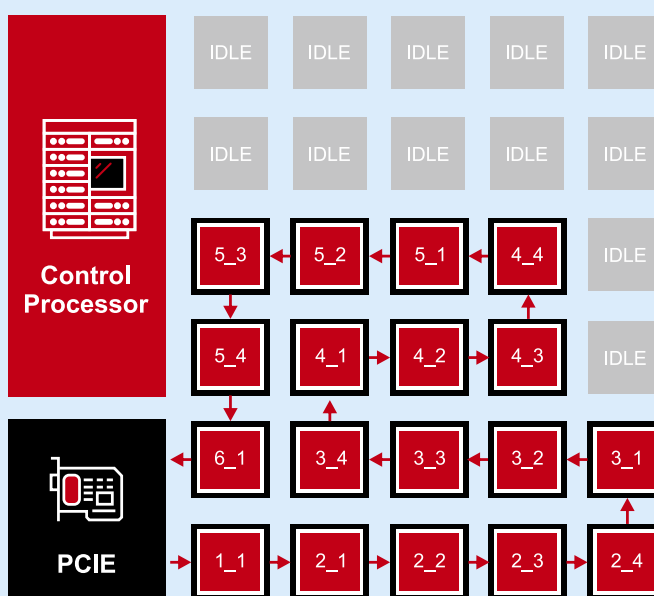
Rysunek 2. Uproszczony układ analogowy wnioskowania [2]

wykorzystania. Systemy te zakładają, że pełna przestrzeń pamięci jest zbyt duża, aby zmieścić się w chipie w pobliżu procesora i że nie wiemy, jaka pamięć będzie potrzebna w jakim czasie. Aby rozwiązać te problemy architektury, te tworzą hierarchię pamięci. Pamięć w pobliżu procesora jest mała i szybka, dlatego może obsługiwać wysoką częstotliwość użytkowania, podczas gdy DRAM i SSD są wystarczająco duże, aby przechowywać większe, mniej wrażliwe czasowo dane (**rysunek 3**).

Obliczenia w pamięci budowane są przy innych założeniach: mamy dużą ilość danych, potrzebujemy do nich dostępu i wiemy, kiedy dokładnie będziemy ich potrzebować. Te założenia są możliwe dla aplikacji wnioskowania AI, ponieważ przepływ wykonywania sieci neuronowej jest deterministyczny – nie jest zależny od danych wejściowych, jak w wielu innych aplikacjach. Korzystając z tej wiedzy, możemy strategicznie kontrolować lokalizację danych w pamięci, zamiast budować hierarchię pamięci podręcznej. Taka organizacja dodaje również lokalne obliczenia do każdej tablicy pamięci, umożliwiając przetwarzanie danych bezpośrednio obok każdej pamięci (**rysunek 4**). Mając obliczenia obok każdej tablicy pamięci, możemy mieć ogromną pamięć, która ma taką samą wydajność jak pamięć podręczna L1 (lub nawet plik rejestrów).



Rysunek 3. Standardowa architektura obliczeniowa [3]



Rysunek 4. Architektura przepływu danych [3]

Wnioskowanie AI nie jest typową aplikacją sekwencyjną. Jest to aplikacja oparta na grafach, w której wyjście z jednego węzła grafu przepływa do wejścia innych węzłów grafu. Aplikacje z użyciem grafów zapewniają możliwości wyodrębnienia równoległości poprzez przypisanie innego elementu obliczeniowego do każdego węzła wykresu. Kiedy wyniki z jednego węzła wykresu są gotowe, przechodzą do następnego węzła wykresu, aby rozpocząć następną operację, co jest idealne dla architektury przepływu danych. W architekturze przepływu danych przypisujemy węzeł wykresu do każdej tablicy obliczeniowej w pamięci i umieszczamy dane wagi dla tego węzła wykresu, w tej tablicy pamięci. Kiedy dane wejściowe dla tego węzła wykresu są gotowe, przesyłane są następnie do właściwej lokalizacji, sąsiadującej z tablicą pamięci, a następnie wykonywane są lokalne obliczenia. Wiele aplikacji do wnioskowania wykorzystuje operacje takie jak splot, która przetwarza bity ramki obrazu naraz, zamiast całej ramki naraz.

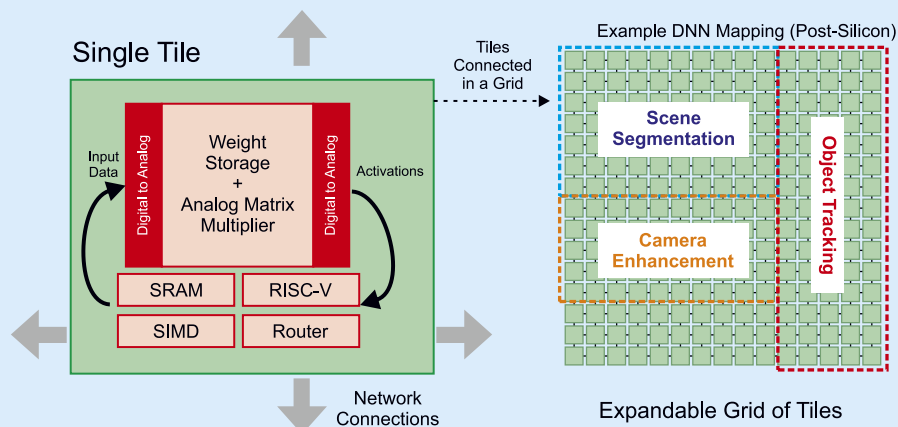
Architektura przepływu danych maksymalizuje również wydajność wnioskowania, ponieważ wiele elementów obliczeniowych w pamięci działa równolegle, potokowo, przetwarzając obraz poprzez przetwarzanie węzłów sieci neuronowych (lub „warstw”) równolegle w różnych częściach ramki. Architektura układów Mythic, budowana od podstaw jako architektura przepływu danych, minimalizuje ilość pamięci i obciążenie obliczeniowe, wymagane do zarządzania zależnościami, potrzebnymi do przetwarzania przepływu danych, a także zapewnia maksymalną wydajność aplikacji.

Architektura układu scalonego jest oparta na kafelkach (blokach), gdzie każdy kafelek zawiera wiele jednostek: akcelerator macierzy mnożenia (MMA), procesor RISC-V, silnik SIMD, pamięć SRAM i router Network-on-Chip (NoC) (**rysunek 5**). W zależności od produktu, będą dziesiątki do setek kafelek połączonych ze sobą w siatkę 2D i wiele chipów połączonych przez PCIe. MMA zapewnia przewagę wydajności, dzięki zastosowaniu przetwarzania analogowego, w połączeniu z wbudowaną pamięcią Flash – każda z nich zapewnia ogromną wydajność, około 250 miliardów operacji wielokrotnej akumulacji na sekundę, przy bardzo niskim koszcie energii. Jednostka SIMD zapewnia operacje cyfrowe, których MMA nie może wykonać, takie jak MaxPool lub AvgPool. SRAM przechowuje kod programu i bufor danych. RISC-V zarządza płytka.

Mało informacji jest dostępnych o układzie Mythic [4]: pamięć SRAM 5 MB, liczba wag 50 M, precyzja 1...8 i pobór mocy 1...5 W, wydajność >4 TOPS/W; 0,5 pJ/MAC, interfejs PCIe 2.1.

Układ Mythic to akcelerator wnioskowania sztucznej inteligencji ze statycznie skonfigurowaną pamięcią wagi. To znaczy, że:

1. Jest to układ znajdujący się na karcie PCIe wewnątrz stacji roboczej lub serwera albo układ znajdujący się obok mikrokontrolera, w systemie takim jak inteligentna kamera;
2. Używany jest już wyszkolony algorytm, taki jak sieci neuronowe (tylko wnioskowanie);
3. Układ jest skonfigurowany do uruchamiania jednego zestawu aplikacji naraz, a aplikacje te zmieniają się rzadko. Sporadyczne zmiany są częstym przypadkiem użycia w większości systemów,



Rysunek 5. Struktura układu Mythic [4]

np. system bezpieczeństwa domowego, który obserwuje intruzów, nie będzie nagle musiał grać w Go.

Układy NDP100 i NDP101 firmy Syntiant

Procesory NDP100 oraz NDP101 firmy Syntiant są przeznaczone do wnioskowania uczenia maszynowego w poleceniach głosowych, w aplikacjach niewielkiej mocy. Układ oparty na architekturze PIM zużywa mniej niż 140 μ W mocy czynnej i może uruchamiać modele do wykrywania słów kluczowych, wykrywania słowa budzącego, identyfikacji mówiącego lub klasyfikacji zdarzeń.

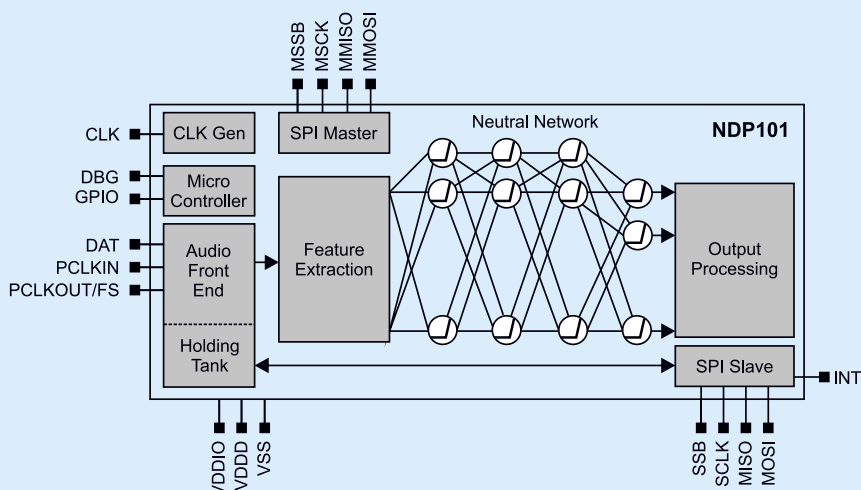
NDP10x jest przeznaczony do przetwarzania głosu w aplikacjach o bardzo niskim poborze mocy. Produkt będzie używany do obsługi urządzeń konsumenckich, takich jak słuchawki douszne, aparaty słuchowe, smartwatche i piloty zdalnego sterowania bez użycia rąk. Widok układu NDP100 pokazuje zdjęcie tytułowe.

Zgodnie z oficjalnymi wiadomościami opublikowanymi przez Syntiant, jego analogowy układ PIM może jednocześnie przechowywać 500 000 współczynników wagowych.

NDP101 osiąga przełomową wydajność, dzięki wysoce zintegrowanym obliczeniom i pamięci, wykorzystując rozległy nieodłączny paralelizm głębokiego uczenia i obliczeń, przy wymaganej precyzji numerycznej. Urządzenia łączą te elementy, aby osiągnąć około 100-krotną poprawę wydajności w porównaniu z architekturami programów przechowywanych w pamięci, takich jak mikroprocesory i procesory DSP.

Kluczowe cechy układu NDP1001 firmy Syntiant (**rysunek 6**) [5]:

- SoC w obudowie QFN32,
- nadaje się do zastosowań wymagających MCU do sterowania oraz silnika neuronowego do podejmowania decyzji,
- interfejs stereo/mono I²S, zmultiplexowany z PDM,



Rysunek 6. Schemat blokowy układu NDP101 firmy Syntiant [5]

- bezpośredni dostęp do sieci neuronowej przez SPI dla aplikacji sensorowych,
- modele wejściowe częstotliwościowe, czasowe i wsadowe,
- uniwersalny procesor Arm Cortex-M0 112 kB SRAM,
- osiem pinów GPIO, z programowalnym kierunkiem,
- obsługa zewnętrznego bootowania szeregowego z pamięci Flash,
- zintegrowany mnożnik i dzielniki zegara obsługują źródło zegara o niskiej częstotliwości lub taktowanie zewnętrzne,
- główny interfejs SPI do obsługi czujników,
- wbudowane zabezpieczenia i uwierzytelnianie oprogramowania układowego,
- English Speech Service do treningu słów kluczowych,
- Software Development Kit (SDK) integruje się z dowolnym środowiskiem oprogramowania,
- Training Development Kit (TDK) umożliwiający użytkownikowi korzystanie ze standardowych struktur, takich jak TensorFlow, do aplikacji programowanych przez klienta,
- obsługa 64 klasyfikacji wnioskowania,
- pobór mocy czynnej <140 μ W podczas rozpoznawania słów.

Platforma uruchomieniowa NDP9101B0 łączy w sobie wydajny cyfrowy mikrofon XENSIV IM69D120 MEMS firmy Infineon z procesorem decyzji neuronowej Syntiant NDP101 do prototypowych zastosowań, takich jak wykrywanie słów kluczowych, przetwarzanie słów budzika i identyfikacja mówcy, które zużywają tylko 140 μ W. Inne możliwości rozwoju obejmują klasyfikację zdarzeń audio i środowiska oraz analizę czujników.

Zapewniając 20-krotnie większą przepustowość niż typowe rozwiązanie MCU o niskim poborze mocy, Syntiant NDP może obsługiwać do 63 lokalnych poleceń głosowych. Procesor jest również wyposażony w model słów kluczowych Amazon Alexa Voice Service. Mikrofon Infineon XENSIV IM69D120 MEMS jest przeznaczony do zastosowań, które wymagają niskiego poziomu szumów własnych, ma szeroki zakres dynamiczny, niskie zniekształcenia i wysoką odporność na przesterowanie.

Platforma NDP9101B0 jest zaimplementowana jako rozszerzenie Raspberry Pi 3B+, z łatwo konfigurowalnymi zworkami do podłączenia wielu różnych mikrofonów i czujników. Inne kluczowe funkcje obejmują 500 kB pamięci Flash, dwa wbudowane mikrofony IM69D120 Infineon o wysokim zakresie dynamiki, wstępnie skonfigurowaną kartę micro SD, programowalny układ scalony zegara Si5351A i cztery diody LED do wyświetlania IO.

Wtyczka USB NDP101B0, przydatna do zastosowań zasilanych z baterii, z funkcjami budzenia poleceniami głosowymi, jest połączona z 32-bitowym mikrokontrolerem (Atmel MCU AT-SAMD21G18, kompatybilnym z Arduino) i baterią litowo-jonową (z układem ładowania). Ma zamontowany mikrofon cyfrowy o wysokim zakresie dynamiki (Infineon IM69D130) oraz 8 MB Flash, do przechowywania modeli sieci neuronowych. Została zastosowana sieć neuronowa 4-warstwowa mająca 560 K połączeń, wstępnie zaprogramowana ze słowem budzenia Alexa.

Układy ECM3531 oraz ECM3532 firmy Eta Compute

Platforma czujników neuronowych TENSAT Platform firmy Eta Compute przenosi sztuczną inteligencję do urządzeń brzegowych i przekształca dane z czujników w przydatne informacje, dotyczące między innymi głosu, aktywności, gestów, dźwięku, obrazu, temperatury, ciśnienia i biometrii. Platforma zapewnia trzy korzyści w obliczeniach brzegowych: krótszy czas odpowiedzi, większe bezpieczeństwo i wyższą dokładność [6].

Unikalna dwurdzeniowa architektura hybrydowa układów rodziny ECM353X Eta Compute zapewnia najwyższą wydajność aplikacji uczenia maszynowego. Kontroler Arm Cortex-M3 zarządza równoległymi obciążeniami, umożliwiając optymalizację

algorytmów, z wykorzystaniem zalet architektury DSP, w tym podwójnego układu MAC, dwóch banków pamięci, sprzętowej obsługi pętli i generowania adresów. Potężne oprogramowanie firmy Eta tworzy grafy zależności wykonania, uruchamia programy na dowolnym rdzeniu, który jest wolny, podczas gdy menedżer mocy automatycznie obniża napięcie zasilania niewykorzystanych zasobów.

Układy mają ciągle dynamiczne dostrajanie skalowania napięcia i częstotliwości (CVFS, Continuous Voltage Frequency Scaling). Technologia ta umożliwia, w sposób ciągły, zmianę napięcia i częstotliwości, podczas gdy w konwencjonalnej logice synchronicznej można przełączać się tylko między kilkoma dyskretnymi opcjami napięcia i częstotliwości.

Testy porównawcze Eta Compute pokazują, że MCU Cortex działa z 10-krotnie mniejszą mocą niż konkurencyjne rozwiązania, w szerokim zakresie temperatur. Co ważniejsze, został przeprowadzony szereg testów porównawczych sieci neuronowych: rozpoznawanie obrazu, rozpoznawanie dźwięku (np. tłuczenie szkła), wykrywanie ruchu, zawsze włączone rozpoznawanie słów kluczowych i zawsze aktywne rozpoznawanie poleceń. We wszystkich przypadkach układy pracują z mocą w zakresie kilkuset mikroamperów i wykonują wielokrotne wnioskowania na sekundę (do 50 w przypadku wykrywania ruchu).

Układ ECM3531 firmy Eta Compute

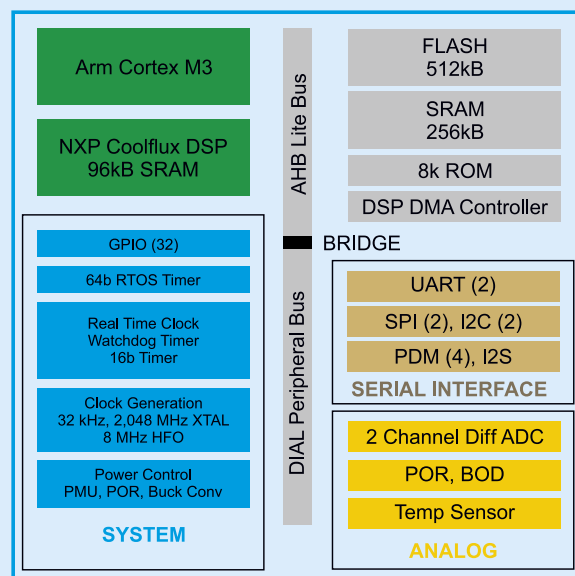
Układ ASIC oparty na rdzeniu ARM Cortex-M3. Zawiera procesor Dual MAC DSP 16 b, wysokiej wydajności interfejs czujnika przetwornika analogowo-cyfrowego (ADC) oraz wysocy wydajne obwody PMIC. Zawiera również I²C, I²S, GPIO, RTC, PWM, POR, BOD, 128 kB SRAM, 64 kB SRAM przeznaczone dla DSP i 512 kB Flash.

Układ ECM3532 firmy Eta Compute

Pierwszy układ produkcyjny ECM3532 typu SoC został zaprojektowany z myślą o akceleracji AI w projektach zasilanych z baterii lub wykorzystujących energię dla IoT. Stałe aplikacje w przetwarzaniu obrazu i fuzji czujników można osiągnąć przy budżecie mocy zaledwie 100 μ W.

Układ ma dwa rdzenie: Arm Cortex-M3 i rdzeń DSP CoolFlux firmy NXP. Firma wykorzystuje zastrzeżoną technikę skalowania napięcia i częstotliwości, która dostosowuje każdy cykl zegara. Uczenie maszynowe może być przetwarzane przez dowolny rdzeń (na przykład niektóre obciążenia związane z głosem są lepiej dostosowane do procesora DSP).

Oto niektóre parametry układu ECM3532 firmy Eta Compute (rysunek 7) [6]:



Rysunek 7. Schemat blokowy układu ECM3532 firmy Eta Compute [6]

- rdzeń Arm Cortex-M3 do 100 MHz max., <5 $\mu\text{A}/\text{MHz}$, <1 μA uśpienie z pracą RTC,
- rdzeń DSP: CoolFlux DSP16 firmy NXP, dp 100 MHz, 32 kB SRAM program, 64 kB SRAM dane,
- pamięć systemowa: Flash 512 kB, SRAM 256 kB,
- wydajność 1,3 wnioskowania/s; 4,6 mW/5,6 mW z kamerą (średnio), obraz 96×96.

Układy GAP8 i GAP9 firmy GreenWaves z klastrem rdzeni RISC-V

Firma GreenWaves została założona pod koniec 2014 roku, z misją zrewolucjonizowania rynku inteligentnych czujników i urządzeń z ultraenergooszczędnymi i ekonomicznymi rozwiązaniami [7]. GAP8 firmy GreenWaves to pierwszy w branży procesor o bardzo niskim poborze mocy, który umożliwia zasilaną bateryjnie sztuczną inteligencję w aplikacjach Internetu Rzeczy. GAP8 i GAP9 zasilają nowe typy urządzeń, które łączą bardzo niskie zużycie energii z wyrafinowanym przetwarzaniem sygnału i algorytmami sieci neuronowej.

GreenWaves jest kluczowym współtwórcą platformy Open Source, opartej na równoległej platformie przetwarzania ultra niskiego poboru mocy RISC-V (PULP), która stanowi podstawę dla procesorów GAP8 i GAP9.

Procesory GAP zawierają dynamiczne skalowanie napięcia i częstotliwości oraz automatyczne bramkowanie zegara, utrzymujące w stanie czuwania tylko te elementy komponentu, które są niezbędne do obsługi bieżącego obciążenia. Niski pobór mocy w trybie czuwania oraz ultraszybkie wybudzanie i przejścia między stanami zasilania minimalizują zużycie energii w stanach uśpienia, akwizycji, przetwarzania i komunikacji.

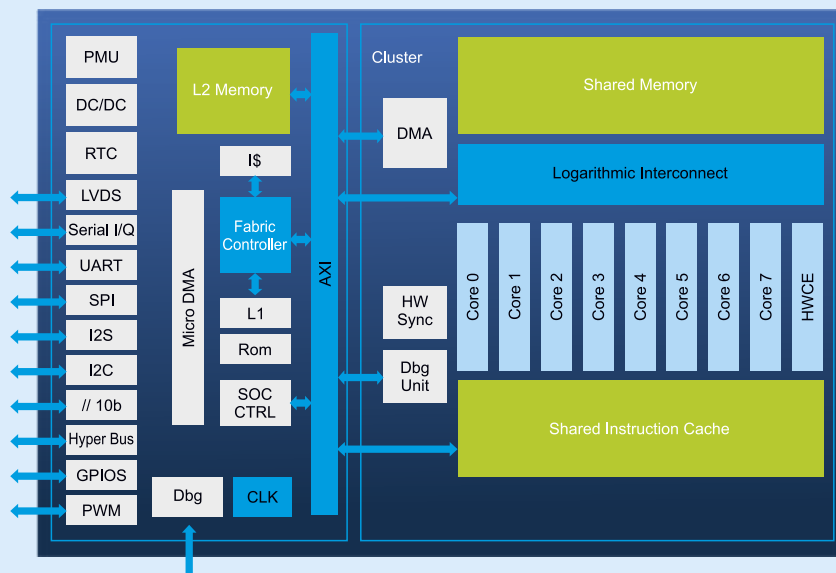
Wielordzeniowy klasterek obliczeniowy z architekturą pamięci współużytkowanej i sprzętową synchronizacją wątków umożliwia wysoce wydajną, równoległą implementację algorytmów, dając niemal optymalne przyspieszenie liniowe.

Procesory oparte na GAP RISC-V są w pełni programowalne w C/C++, co daje możliwość optymalizacji najnowszych algorytmów. Pakiet GAP SDK zawiera wszystkie narzędzia niezbędne do przyspieszenia tworzenia aplikacji, w tym w pełni zautomatyzowany łańcuch narzędzi sieci neuronowej firmy Google Tensorflow. Unikalny generator kodu GAP AutoTiler automatycznie optymalizuje przepływ danych przez chip.

Układ GAP8 zbudowano z zastosowaniem klastra ośmiu rdzeni aplikacyjnych RISC-V (175 MHz), ze współdzieloną pamięcią danych 64 kB i instrukcji 4 kB oraz akceleratorem sieci neuronowych (HWCE) (rysunek 8) [7]. Układ dostarcza mocy obliczeniowej 22,65 GOPS, z wydajnością 4,24 mW/GOP. Układem zarządza rdzeń RISC-V „Fabric Controller (FC)” (250 MHz), z pamięcią danych 16 kB i instrukcji 1 kB.

FC dostarcza 200 MOPS, przy 10 mW dla 1,2 V/250 MHz lub 4 mW dla 1,0 V/150 MHz. Wszystkie rdzenie i moduły układu mają kluczowanie zasilania i skalowanie częstotliwości pracy. W trybie głębokiego uśpienia układ pobiera 2 μA , a przy podtrzymaniu zawartości pamięci L2 512 kB – tylko 8 μA . Zimny start trwa 0,5 ms, start klastra 200 μs , a stop klastra 10 μs . Klasterek procesorów i HWCE współdzieli dostęp do pamięci L2 RAM 512 kB oraz pamięci instrukcji. Klasterek układów DMA umożliwia autonomiczny transfer danych pomiędzy obszarami pamięci, równoległe z obliczeniami i przy niskim poborze mocy.

Układ GAP9 jest znaczącym ulepszeniem poprzedniego modelu. Został wykonany w technologii 22 nm, przy zwiększeniu



Rysunek 8. Architektura układu GAP8 firmy GreenWaves z rdzeniem RISC-V [7]

przepustowości pamięci, zastosowaniu kompresji danych i obliczeń zmiennoprzecinkowych [7]. Moc układu GAP9 została zmniejszona 5 razy, przy 10 razy większym rozmiarze sieci neuronowej, którą może przetwarzać. Układ GAP9 jest zbudowany z zastosowaniem klastra dziewięciu rdzeni aplikacyjnych RISC-V (400 MHz), ze współdzieloną pamięcią danych i instrukcji 128 kB oraz pamięcią nieulotną 2 MB. Zestaw instrukcji został mocno dostosowany do optymalizacji zużywanej energii. Układ dostarcza mocy obliczeniowej 150,8 GOPS, z wydajnością 0,22 mW/GOP i wydajnością przetwarzania 806 $\mu\text{W}/\text{ramkę}/\text{sekundę}$ (na obrazach 160×160). Układem zarządza rdzeń RISC-V „Fabric Controller (FC)” (400 MHz).

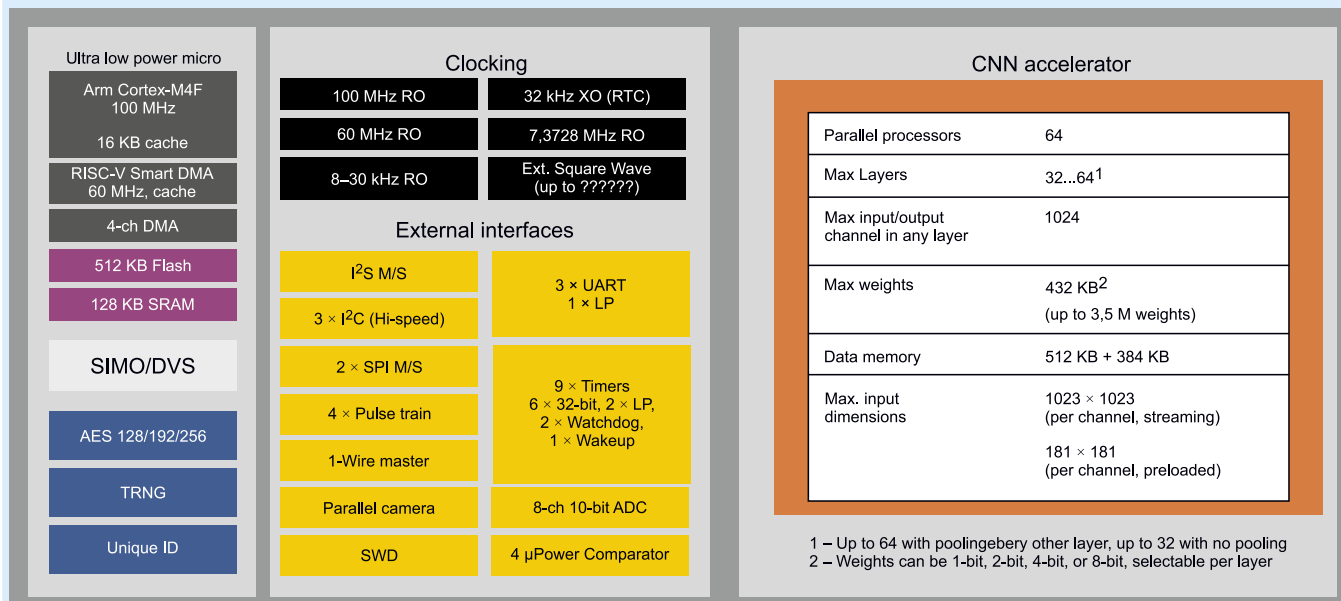
Układ MAX78000 firmy Maxim Integrated

Maxim Integrated jest znanym dostawcą elektroniki, dostarczającym wszystko, od układów mikroelektroniki, po rozwiązania do zarządzania energią. Sztuczna inteligencja (AI) i uczenie maszynowe (ML) nie były częścią tej oferty aż do teraz.

Najnowszy układ MAX78000 ma dwa rdzenie o bardzo niskim poborze mocy oraz dodany akcelerator uczenia maszynowego CNN (Convolutional Neural Network) [9]. Cortex-M4F jest głównym procesorem, podczas gdy RISC-V obsługuje we/wy strumień danych do/z akceleratora CNN. Oba rdzenie mają dostęp do wszystkich urządzeń peryferyjnych. Dzięki temu programiści mogą wybrać platformę, która może najlepiej odpowiadać ich wymaganiom obliczeniowym lub użycia układu peryferyjnego. Większość programistów będzie pracować w C lub C++, więc wybór rdzenia przetwarzania zwykle nie będzie problemem. Tworzy to interesujące środowisko do kompilacji.

Akcelerator CNN jest zoptymalizowany pod kątem wysokiej wydajności i niskiego poboru mocy. Modele ML mogą obsługiwać aplikacje głosowe i wideo w czasie rzeczywistym. Chodzi o to, aby świadczyć tego typu usługi bez konieczności przechodzenia do chmury.

Akcelerator CNN wykorzystuje 64 procesory. Każdy zawiera układ z dedykowaną pamięcią, przeznaczony do łączenia (pooling) oraz splotu. CNN może obsługiwać obraz wejściowy do 1023×1023 pikseli na kanał, w trybie przesyłania strumieniowego lub 181×181 na kanał, gdy dane są wstępnie załadowane. Obsługuje wagi 1-, 2-, 4- i 8-bitowe, z pamięcią 432 kB zarezerwowaną do tego użytku, co oznacza obsługę 3,5 miliona wag. Poza tym obsługuje do 64 warstw w modelu, jeśli łączenie jest zastosowane na co drugie warstwie, w przeciwnym razie limit wynosi 32 warstwy. Akcelerator CNN zaprojektowano w celu dostarczania rozwiązań o małym opóźnieniu, przy jednoczesnym zmniejszeniu zużycia energii, szczególnie w porównaniu z algorytmami działającymi tylko na rdzeniu Cortex-M4F lub RISC-V.



Rysunek 9. Architektura układu MAX78000 firmy Maxim Integrated z rdzeniem Cortex-M4F, RISC-V CPU oraz akceleratorem CNN [9]

Zastaw rdzeni i urządzeń peryferyjnych jest podobny jak w innych mikrokontrolerach firmy Maxim. Układ zawiera interfejs kamery, cztery komparatory o bardzo małej mocy i ośmiokanałowy, 10-bitowy przetwornik analogowo-cyfrowy (ADC). Chip może obsługiwać aparat cyfrowy, a także działać jako master 1-Wire.

Układ jest przeznaczony do zastosowań, takich jak środowiska zasilane bateryjnie, gdzie wymagana jest niska moc.

MAX78000 ma wiele niezwykłych cech [9] (rysunek 9):

- rdzeń aplikacyjny Cortex-M4F 100 MHz, 22,2 μA/MHz,
- rdzeń pomocniczy RISC-V 60 MHz,
- współdzielona pamięć 512 kB Flash i 128 kB SRAM,
- akcelerator sieci neuronowej CNN: 64 rdzenie 50 MHz, 512 kB SRAM, do 64 warstw, obliczanie splotu 1- i 2-wymiarowego, obsługa innych typów sieci (MP, Recurrent NN),
- akcelerator sprzętowy AES 128/192/256, TGNG, bezpieczny rozruch,
- zasilanie: 2,0 do 3,6 V, 11,3 μA (tryb oczekiwania).

Zestaw uruchomieniowy MAX78000EVKit za 168 USD, z układem MAX78000, obsługuje przetwarzanie dźwięku i obrazu. Dostępny jest również niedrogi moduł ewaluacyjny. Akceleratory CNN obsługują biblioteki TensorFlow i PyTorch.

Podsumowanie

Na początku tego roku firma ARM zapowiedziała nowy rdzeń ARM Cortex-M55, przeznaczony dla aplikacji sztucznej inteligencji w systemach Internetu Rzeczy. Cortex-M55 umożliwia 15 razy szybsze obliczenia w algorytmach uczenia maszynowego oraz 5 razy szybsze obliczenia DSP, w stosunku do rdzeni Cortex-M poprzedniej generacji. Dodatkowo można do niego dołączyć nowy koprocesor z NPU (Neural Processing Unit) Ethos-U55, który daje kolejną 32-krotną

poprawę przetwarzania uczenia maszynowego. Jednak jego dostępność jest zapowiadana na początek roku 2021.

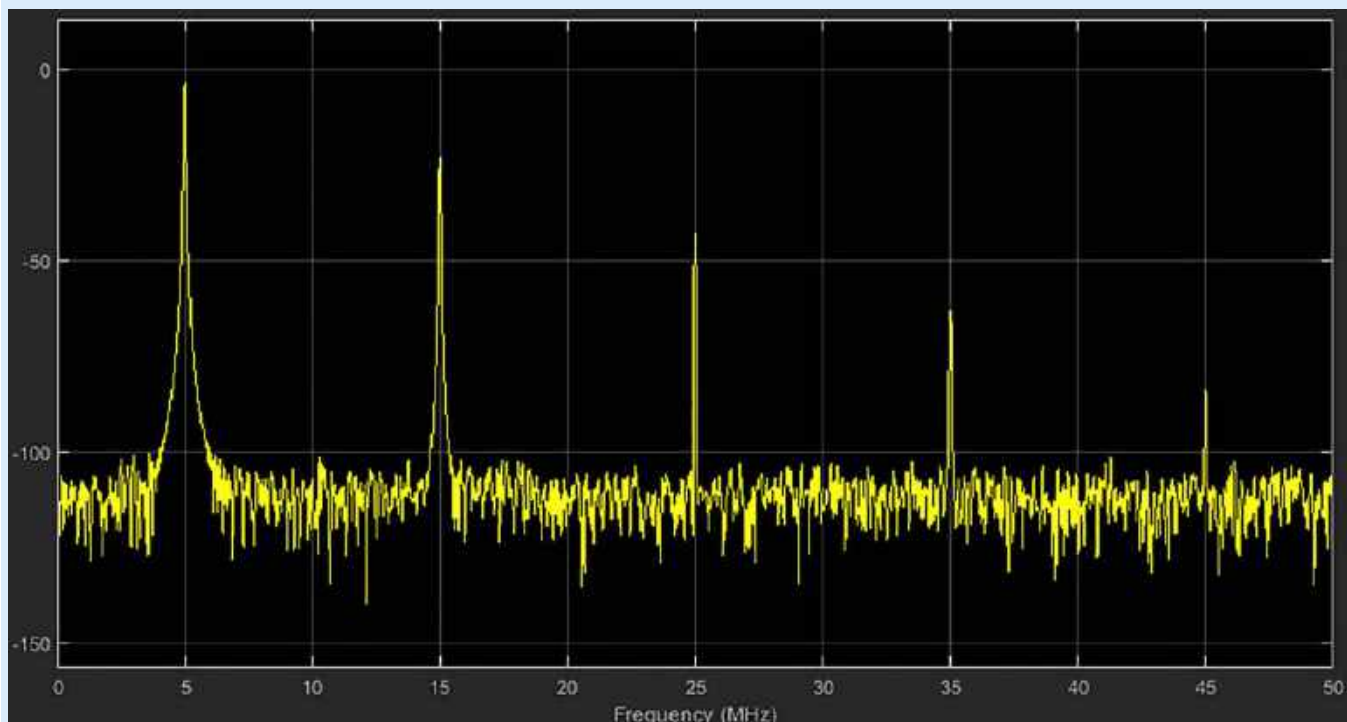
Na podstawie informacji z raportu Farnell IoT Trends Report 2020 [8], uzyskanym z ankiet w 2015 od inżynierów IoT, okazuje się, że 49% ankietowanych korzysta już ze sztucznej inteligencji (AI) we wdrażaniu Internetu Rzeczy. Uczenie maszynowe (ML) jest najczęściej używanym typem AI z 28% popularnością, a następnie AI oparte na chmurze (19%). Jednak 51% respondentów waha się przed użyciem AI, ponieważ są nowicjuszami w tej technologii lub szukają specjalistycznej wiedzy na temat wdrażania AI.

Henryk A. Kowalski
Instytut Informatyki
Politechnika Warszawska

Literatura

- [1] Top 10 Processors for AI Acceleration at the Endpoint, Sally Ward-Foxton, EETimes, April 20 2020, <https://bit.ly/33pOUMv>
- [2] The demand for AI chips will drive the revival of this „old” architecture, Jotrin Electronics, 2019-12-20, <https://bit.ly/2USH9cY>
- [3] Accelerating AI that works for everyone, Technology, Mythics, <https://bit.ly/393XJiw>
- [4] A Peek Into Software Engineering at Mythic, Dave Fick, Nov 5, 2018, <https://bit.ly/35WBKZ0>
- [5] Always-On Voice powered by custom AI Silicon, Syntiant, <https://bit.ly/3pRN54d>
- [6] A New Era in Edge Computing with 1000X More Energy Efficient Neural Networks, <https://bit.ly/3kUjRy0>
- [7] The fundamentals of GAP, the IoT application processors, Green Waves, <https://bit.ly/393svlp>
- [8] IoT Trends Report 2020, Farnell Global IoT Survey, September–December 2019, Farnell, <https://bit.ly/3nR9Ovj>
- [9] MAX78000, Maxim Integrated, <https://bit.ly/3fvS2ew>

<https://www.ep.com.pl>



Eksperymenty z FPGA (13)

Dyskretna transformata Fouriera

Kontynuujemy nasze zmagania z FFT. W poprzedniej części cyklu rozpoczęliśmy analizę teoretycznych podstaw dyskretnej transformaty Fouriera. Jest to skomplikowane, ale konieczne dla dobrego zrozumienia tego trudnego zagadnienia. W tej części kursu ukończymy algorytm i zajmiemy się dostosowaniem go do implementacji w układzie FPGA.

Rozpiliśmy transformatę Fouriera o długości N na dwie transformaty o połowę mniejszej długości. Teraz musimy wykonać pewne działania na współczynnikach, a następnie policzyć jedną transformatę dla współczynników parzystych, a drugą dla nieparzystych. W pierwszej współczynniki wejściowe są po prostu sumą, lecz przygotowanie danych dla drugiej jest bardziej skomplikowane – najpierw liczymy różnice, a następnie musimy pomnożyć przez współczynnik, co w języku angielskim nosi nazwę „twiddle factor”. Schematycznie pokazuje to **rysunek 7**. Po lewej stronie, w pionie, widzimy wszystkie osiem współczynników, zebranych w dziedzinie czasu. Górne cztery wiersze pokazują przygotowanie współczynników do transformaty „nieparzystej”. Widzimy tu cztery sumy postaci

$$x_n + x_{n+\frac{N}{2}}$$

Dolna część to przygotowanie współczynników do transformaty „parzystej”. Najpierw przygotowujemy różnicę, a następnie mnożymy ją przez odpowiednie współczynniki. Taką strukturę zwyczajowo określa się „motylkiem”.

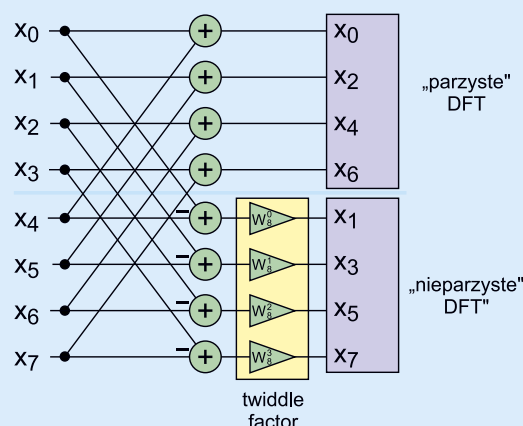
Podzieliśmy nasze zadanie na dwa mniejsze. Musimy teraz policzyć dwie kolejne transformaty. Możemy użyć tu dowolnej metody, na przykład policzyć ze wzoru. My jednak użyjemy jeszcze raz (a w zasadzie to dwa razy) naszego podziału. Uzyskany wynik pokazuje rysunek 8, gdzie zobaczymy dwa analogiczne podziały. Zamiast jednej transformaty 8-punktowej, mamy do policzenia cztery, ale za

to każda z nich ma rozmiar 2. Musimy więc przejść do kolejnego, trzeciego kroku. Tym razem będzie to koniec naszego rekurencyjnego podejścia: dotarliśmy do warunku końcowego. Transformata dwuelementowa jest na tyle łatwa, że rozpiszemy ją po prostu z definicji:

$$X_0 = x_0 + x_1$$

$$X_1 = x_0 - x_1 \quad (21)$$

Kiedy przyjrzymy się definicji, zauważymy, że jest to taki sam motylek jak poprzednie, ale tym razem „twiddle factor” jest równy 1.



Rysunek 7. Pierwszy krok 8-punktowej transformaty FFT

Możemy więc dorysować ostatni etap obliczeń. Całość znajduje się na **rysunku 9**. Spróbujmy policzyć, czy takie podejście ma sens. Każdy podział, niezależnie od rzędu, wymaga wykonania $N/2$ mnożeń zespolonych. Jak łatwo sprawdzić dla N próbek, algorytm będzie wymagał $\log_2 N$ etapów. Aby uzyskać wynik, niezbędnych było $N/2 \log_2 N$ mnożeń. Widzimy więc, że FFT pozwala na zredukowanie złożoności algorytmu z N^2 na znacznie wydajniejszy $N \log_2 N$.

Pozostała jeszcze jedna kwestia – widzimy, że kolejność wyników na wyjściu została dość mocno przemieszana. Wyjaśni się to, gdy zapiszemy numery współczynników w systemie binarnym. W pierwszych dwóch kolumnach widzimy kolejność współczynników na wejściu: najpierw w systemie dziesiętnym, a później binarnym. W każdym kroku dokonujemy podziału na dwie transformaty: parzystą i nieparzystą. Parzystość rozróżniamy po najmłodszym bicie liczby (kolor czerwony w kolumnie 2). W *Kroku1* najpierw pojawiają się liczby parzyste – pierwsza transformata, a później nieparzyste – druga transformata. Ten sam proces ma miejsce w kolejnym kroku, jednak tym razem w pierwszej transformacie mamy po kolei liczby 0, 2, 4 i 6. Do transformaty „parzystej” pójdą te wartości, gdzie kolejny bit będzie zerem (w *Kroku1* zaznaczone na czerwono). Analogiczna sytuacja zachodzi w *Kroku2*, ale tym razem mamy już tylko dwie wartości, więc kolejność już się nie zmienia. Kiedy przjrzymy się kolumnie *Koniec*, zauważymy, że bity w niej zawarte są lustrzanym odbiciem tych z kolumny *Start* (kolejność ta po angielsku nosi nazwę *bit reversal*). Rozumowanie to można przeprowadzić dla dowolnego N .

Opisany sposób obliczeń jest jedną z wielu metod szybkiego obliczania DFT. Nosi on nazwę algorytm Cooleya–Tukeya, z decymacją w dziedzinie częstotliwości.

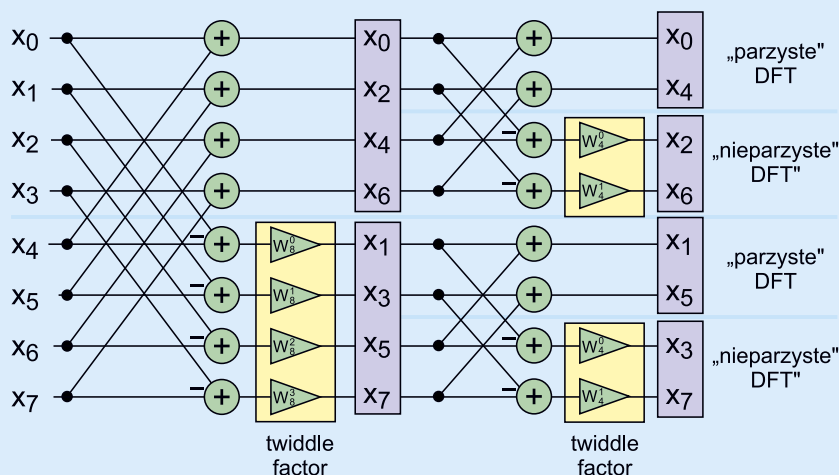
Sprzęt

Znamy już algorytm, ale musimy go dostosować do implementacji w układzie FPGA. **Rysunek 10** pokazuje projekt pojedynczego „motylka”, który widzieliśmy już na rysunku 7, lecz tym razem nasze dane wejściowe to ciąg próbek (zespolonych) z sygnałem poprawności (*valid*).

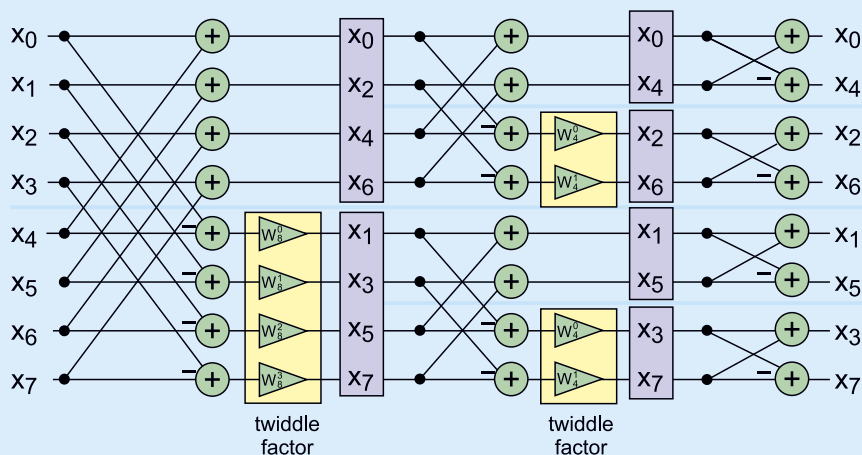
Na **rysunku 11** pokazano przepływ danych dla przypadku $N=4$. Numery odpowiadają przebiegom zaznaczonym na schemacie. Najpierw dane wejściowe trafiają na linię opóźniającą o długości $N/2$, gdzie N jest długością FFT. Jej wyjście widoczne jest w wierszu (1). Zapisywane są tylko „poprawne” sygnały, co uzyskujemy, sterując wejściem CE za pomocą sygnału *valid*. Następnie odbywa się obliczenie sumy i różnicy pomiędzy sygnałem (1), a danymi wejściowymi. Ich wyniki znajdziemy w (2) i (3). Kiedy wczytywana jest pierwsza połowa danych, na wyjściu linii opóźniającej są śmieci albo wartości z poprzedniego cyklu obliczeń. Wtedy sygnały z punktów (2) i (3) nie mają sensu. Na tym etapie następuje wczytywanie danych. Kiedy zostanie wczytana połowa próbek, wtedy w punkcie (1) znajduje się próbka i , natomiast w danych wejściowych przychodzi próbka $i+N/2$. Przez kolejnych $N/2$ próbek wejściowych nastąpi wykonywanie obliczeń.

Równocześnie każda kolejna próbka powoduje inkrementację licznika modulo N . Jego najstarszy bit (5) posłuży nam do sterowania wyjściem, pozostałe – do wygenerowania odpowiednich współczynników (znanych nam już „tweedle factor”). Są one generowane przez osobny moduł i pojawiają się w punkcie (6). Po przemnożeniu przez różnicę wynik pojawia się w punkcie (7).

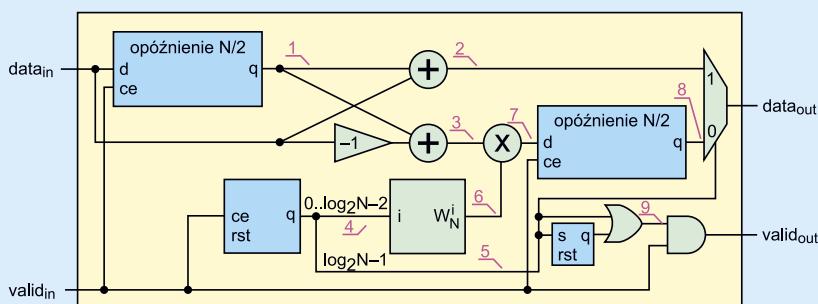
Najpierw następuje wczytywanie pierwszej połowy danych, a podczas wczytywania drugiej połowy otrzymujemy po dwie próbki wyjściowe naraz. Dlatego na wyjściu pojawia się kolejna linia opóźniająca, także o długości $N/2$ (przechowa ona połowę wyników). Sygnał (5) decyduje, czy na wyjściu pojawi się sygnał (2) lub (8). Kiedy rozpoczynamy obliczanie kolejnego „motylka”, sygnał (5) ma wartość 0, a gdy dostępne są pierwsze wyniki, licznnik osiągnie wartość $N/2$ i sygnał (5) będzie miał wartość 1. Dlatego z początku na wyjściu przekazane zostaną próbki z (2). Jeżeli wczytane zostaną wszystkie dane wejściowe, wypełniona zostanie wyjściowa linia opóźniająca, a licznnik próbek przekreśli się i będzie miał wartość 0. Druga część



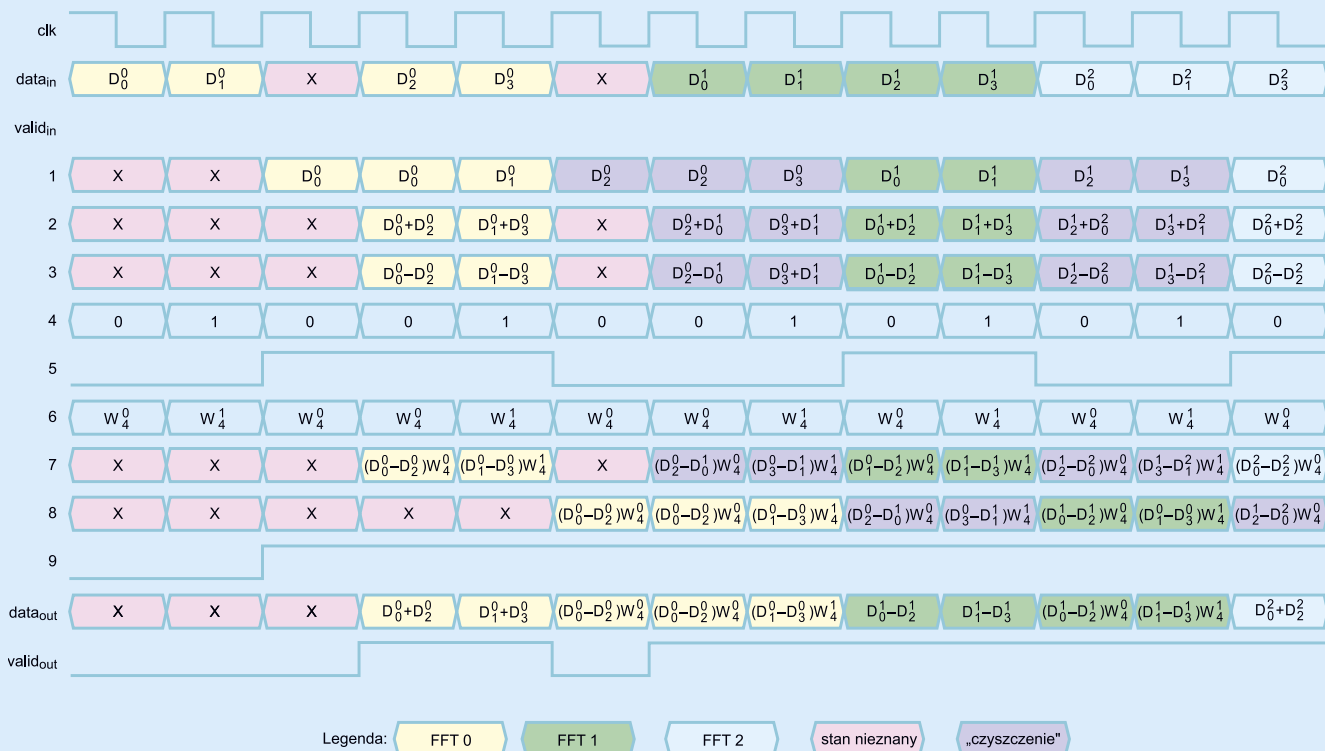
Rysunek 8. Drugi krok 8-punktowej transformaty FFT



Rysunek 9. Cały algorytm 8-punktowej FFT



Rysunek 10. „Motylek FFT” w układzie FPGA

Rysunek 11. Kolejne kroki dla modułu z rysunku 10 dla $N=4$

wyniku jest następnie „wypychana” przez pierwszą połowę próbek z następnej iteracji.

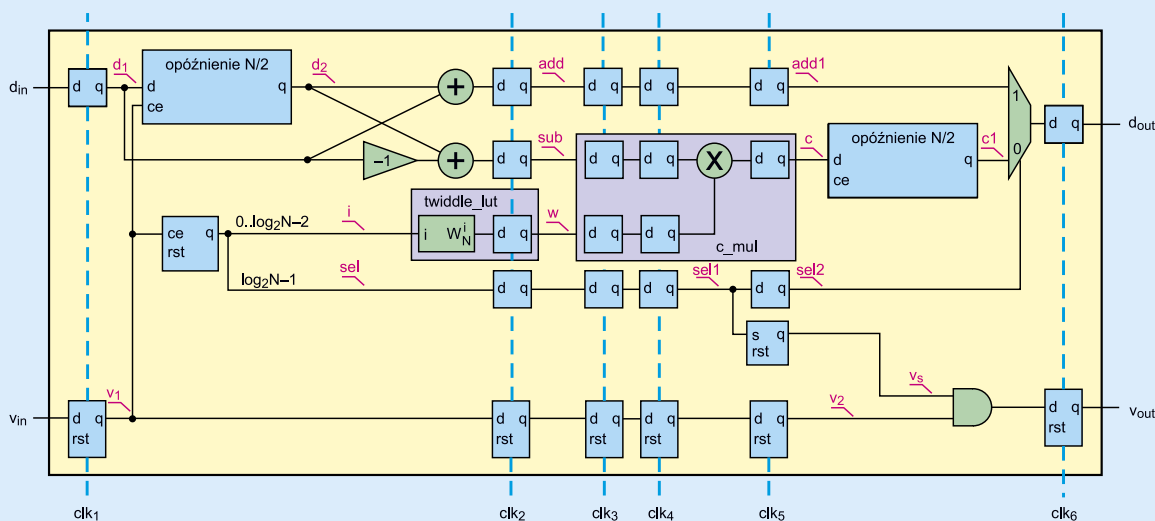
Wejściowy sygnał *valid* jest niemal dokładnym odwzorowaniem sygnału wejściowego. Musimy go jednak wygasić przez $N/2$ próbek z pierwszej iteracji. Wtedy w linii opóźniającej znajdują się śmieci. Służy do tego przerzutnik i bramka OR. Sygnał w punkcie (9) przyjmuje stan wysoki, gdy pierwsze poprawne dane dostaną się na wyjście, i pozostaje taki aż do resetu.

Na rysunku 11 pokazano przebieg obliczeń dla dwóch kolejnych iteracji, nazwanych FFT0 i FFT1, i oznaczonych odpowiednio kolorem żółtym i zielonym. Na końcu pojawiają się także próbki z trzeciej iteracji (kolor niebieski), które „wypychają” wyniki drugiej iteracji. X (kolor czerwony) oznacza stan nieustalony. Kolor fioletowy pokazuje moment, gdy następuje wczytywanie danych dla kolejnej iteracji, z równoczesnym wysyłaniem końcówki wyniku z poprzedniej. Obliczenia mieszają dane z dwóch cykli. Nie jest to jednak problem, gdyż wyjściowy multiplexer nigdy nie wypuści tych sygnałów na zewnątrz modułu.

Tabela 1. Kolejność współczynników na wyjściu FFT

Start	Start	Krok1	Krok2	Koniec	Koniec
0	000	000	000	000	0
1	001	010	100	100	4
2	010	100	010	010	2
3	011	110	110	110	6
4	100	001	001	001	1
5	101	011	101	101	5
6	110	101	011	011	3
7	111	111	111	111	7

Schemat z rysunku 10 jest uproszczony. Zawiera jedynie „logikę”, natomiast pominięte są opóźnienia „techniczne”, wymagane do implementacji w układzie FPGA. Uzupełniony schemat pokazuje **rysunek 12**. Widzimy, że przepłynięcie danych przez moduł zajmuje sześć cykli zegara. Najpierw mamy rejestry wejściowe. Drugi takt pozwala



Rysunek 12. „Motyle FFT” z dodaniem przerzutników

Listing 1. Generowanie współczynników „tweedle factor” (13_fft/twiddle_lut sv)

```

10 parameter real pi = 3.14159265358979323846;
11
12 module twiddle_lut #(
13     parameter N = 2,
14     parameter LOG_N = $clog2(N/2),
15     parameter K = 9,
16     parameter file_name = N
17 ) (
18     input wire clk,
19     input wire [LOG_N-1:0] i,
20     output logic signed [K-1:0] W_re,
21     output logic signed [K-1:0] W_im
22 );
23 logic [2*K-1:0] W[N/2-1:0];
24
25 always_ff @(posedge clk)
26 {W_re, W_im} <= W[i];
27
28 initial begin
29 //synthesis translate_off
30 real MAX = (2**(K-1)-1.0);
31 for (int i = 0; i < N/2; i++) begin
32     real angle, rW_re, rW_im;
33     logic signed [K-1:0] W_re;
34     logic signed [K-1:0] W_im;
35     angle = -2*pi*i/N;
36     rW_re = 2**(K-1)*$cos(angle);
37     rW_im = 2**(K-1)*$sin(angle);
38     W_re = (rW_re > MAX) ? MAX : rW_re;
39     W_im = (rW_im > MAX) ? MAX : rW_im;
40     W[i] = {W_re, W_im};
41 end
42 case (N)
43     4 : $writememb("04.mem", W);
44     8 : $writememb("08.mem", W);
45     16 : $writememb("16.mem", W);
46     32 : $writememb("32.mem", W);
47 endcase
48 // synthesis translate_on
49 case (N)
50     4 : $readmemb("04.mem", W);
51     8 : $readmemb("08.mem", W);
52     16 : $readmemb("16.mem", W);
53     32 : $readmemb("32.mem", W);
54 endcase
55 end
56
57 endmodule

```

-2 ⁰	2 ⁻¹	2 ⁻²	2 ⁻³	2 ⁻⁴	2 ⁻⁵	2 ⁻⁶	2 ⁻⁷	2 ⁻⁸
8	7	6	5	4	3	2	1	0

Rysunek 13. Waga poszczególnych bitów

na „zatrzaśnięcie” wyników dodawania i odejmowania. Także odczytanie współczynników „tweedle factor” z pamięci RAM zajmuje jeden cykl. Następnie widzimy moduł mnożenia zespolonego **c_mul**, który zaprojektowaliśmy w poprzednim odcinku. Jego wykonanie zajmuje trzy kolejne takty. Na samym końcu mamy rejestr wyjściowy z modułu. Aby wszystkie sygnały „płynęły razem” na wszystkich liniach, zostały dodane przerzutniki. Uproszczeniu uległ sposób generowania wyjściowego sygnału *valid*. Zamiast bramki *LUB* wykorzystujemy sygnał z jednego cyklu zegara wcześniej.

Generowanie „tweedle factor”

Implementację zaczniemy od generatora współczynników (listing 1). Zastosujemy najprostszą metodę, czyli tablicowanie. Wartości kolejnych współczynników obliczymy wcześniej i zapiszemy w pamięci.

Na początku deklarujemy stałą *pi*, której użyjemy do obliczeń. Sam moduł zaczyna się w wierszu 12. Najpierw deklarujemy cztery

Listing 2. Definicja modułu butterfly (13_fft/butterfly sv)

```

10 module butterfly #(
11     parameter K = 8,
12     parameter N = 2,
13     parameter LOG_N = $clog2(N)
14 ) (
15     input wire clk,
16     input wire rst,
17     input wire signed [K-1:0] d_in_re,
18     input wire signed [K-1:0] d_in_im,
19     input wire valid_in,
20     output logic signed [K-1:0] d_out_re,
21     output logic signed [K-1:0] d_out_im,
22     output logic valid_out
23 );

```

parametry, ale tylko dwa z nich konfigurujemy. *N* oznacza długość, natomiast *K* liczbę bitów przypadających na jedną liczbę. Sam blok ma dwa wejścia: zegarowe *clk* i oznaczające wartość wykładnika; oraz dwa wyjścia: część rzeczywista i urojona współczynnika.

Sama pamięć jest zdefiniowana w linii 23. Mamy tu *N/2* słów o długości *2K* bitów: po *K* dla części rzeczywistej i urojonej. Odczytywanie z ROM ma miejsce w bloku *always_ff*. Na końcu, w bloku *initial*, znajduje się generowanie współczynników. Niestety, funkcje trygonometryczne są niesyntezowalne, więc użyty tu jest taki sam trik jak wcześniej przy tablicowaniu funkcji sinus. Wartości są generowane w symulacji i zapisywane do pliku, który potem jest wczytywany przy syntezie. Nie znalazłem sposobu na stworzenie nazwy pliku na podstawie parametru *N*, która działałaby zarówno w środowisku Quartus 18, jak i ModelSim, więc w tym celu użyłem bloku *case* (linie 42...54). Chcąc wykorzystać kod dla *N* większych od 32, trzeba go rozszerzyć.

Samo wyliczanie współczynników odbywa się w pętli *for* (wiersze 31...41). Najpierw w zmiennej *angle* zapisywana jest aktualna wartość wykładnika. Później obliczane są wartości sinusa i cosinusa, które zostały pomnożone przez 2^{K-1} , ponieważ współczynniki zapisane są w formacie stałoprzecinkowym ze znakiem. Znaczenie kolejnych bitów w tej reprezentacji pokazuje **rysunek 13**. Najstarszy bit znaku ma wagę -1 , natomiast pozostałe odpowiadają kolejnym ułamkom: 0,5, 0,25, aż do 2^{-8} . Łatwo policzyć, że możemy zapisać liczby od -1 do około 0,996 ($255/256$). Dlatego, aby uniknąć przepełnienia w liniach 38 i 39, wartości większe są „przycinane”.

Testbench dla modułu znajdziemy w *13_fft/twiddle_lut_tb sv*. Sprawdzana jest w nim instancja dla *N=32*. Aby uruchomić symulację w programie ModelSim, wywołujemy:

```
do twiddle_lut_sim.do
```

Uzyskany wynik jest podobny do tego z **rysunku 14**, gdzie widzimy połowę funkcji trygonometrycznych. Dla części rzeczywistej jest to cosinus, a dla urojonych – sinus.

Motyłek

Czas na implementację „motylka” z rysunku 12. Nazwy poszczególnych sygnałów użytych w kodzie są takie same, jak te naniesione na rysunku. Zachęcam do otworzenia pełnego kodu źródłowego i porównania go ze schematem. Sam moduł zdefiniowany jest na **listingu 2** i przyjmuje dwa parametry. Tak jak poprzednio *N* to długość transformaty, a *K* to liczba bitów dla danych wejściowych.

Dalej znajdziemy sygnały wejściowe. Są to po kolei zegar *clk*, reset *rst*, sygnał *valid_in* oraz dane wejściowe: rzeczywiste *d_in_re*



Rysunek 14. Wynik symulacji modułu twiddle_lut

Listing 3. Tor wejścia danych (13_fft/butterfly.sv)

```

51 delay #(.N(N/2), .L(2*K)) d_d1 (
52   .clk(clk),
53   .rst(1'b1),
54   .ce(v1),
55   .in({d1_re, d1_im}),
56   .out({d2_re, d2_im}));
57
58 always_ff @(posedge clk) begin
59   add_re <= d2_re + d1_re;
60   add_im <= d2_im + d1_im;
61   sub_re <= d2_re - d1_re;
62   sub_im <= d2_im - d1_im;
63 end

```

Listing 4. Mnożenie przez „tweedle factor” (13_fft/butterfly.sv)

```

079 generate
080   if (N > 2) begin
081     twiddle_lut #(.N(N), .K(K+1)) twiddle (
082       .clk(clk),
083       .i(i[LOG_N-2:0]),
084       .W_re(W_re),
085       .W_im(W_im));
086   end else begin
087     assign W_re = 2**K-1;
088     assign W_im = '0;
089   end
090 endgenerate

093 c_mul #(.K(K+1)) mul (
094   .clk(clk),
095   .rst(rst),
096   .a_re(sub_re),
097   .a_im(sub_im),
098   .b_re(W_re),
099   .b_im(W_im),
100   .c_re(c_re),
101   .c_im(c_im));

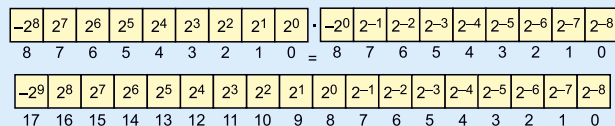
133 always_ff @(posedge clk)
134   {d_out_re, d_out_im} <= sel2 ?
135   {add1_re[K:1], add1_im[K:1]} :
136   {c1_re[K:1], c1_im[K:1]};

```

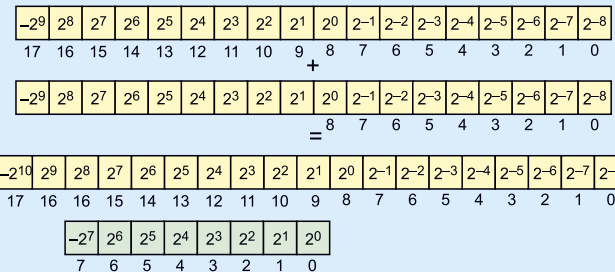
i urojone `d_in_im`. Sygnały wyjściowe są trzy: część rzeczywista (`d_out_re`) i urojona (`d_out_im`) danych oraz sygnał `valid_out`.

Część odpowiedzialną za wczytywanie danych pokazuje listing 3. Linia opóźniająca została zrealizowana za pomocą modułu `delay`. Ponieważ ścieżka danych nie wymaga resetu, jej wejście `rst` zostało na stałe przypisane do stanu 1 (reset aktywowany jest stanem niskim). Definicję modułu znajdziemy w pliku `13_fft/delay.sv`. Przyjmuje on dwa parametry: `N` jest długością, a `L` liczbą bitów w słowie. Dodawanie i odejmowanie zespolone zostało zrealizowane w liniach 58...63. Osobno obliczamy część rzeczywistą i urojoną. Wszystkie czynniki zapisane są na `K` bitach, co oznacza, że do przedstawienia zarówno sumy, jak i różnicy potrzebujemy `K+1` bitów i taką właśnie długość mają przechowujące je wektory.

Ostatni fragment, któremu przyjrzymy się dokładniej, to mnożenie przez „tweedle factor” (listing 4). Moduł pamięci ze współczynnikami



Rysunek 15. Wynik mnożenia dwóch liczb stałoprzecinkowych



Rysunek 16. Dodawanie liczb stałoprzecinkowych (kolorem zielonym zaznaczono bity, które trafią na wyjście)

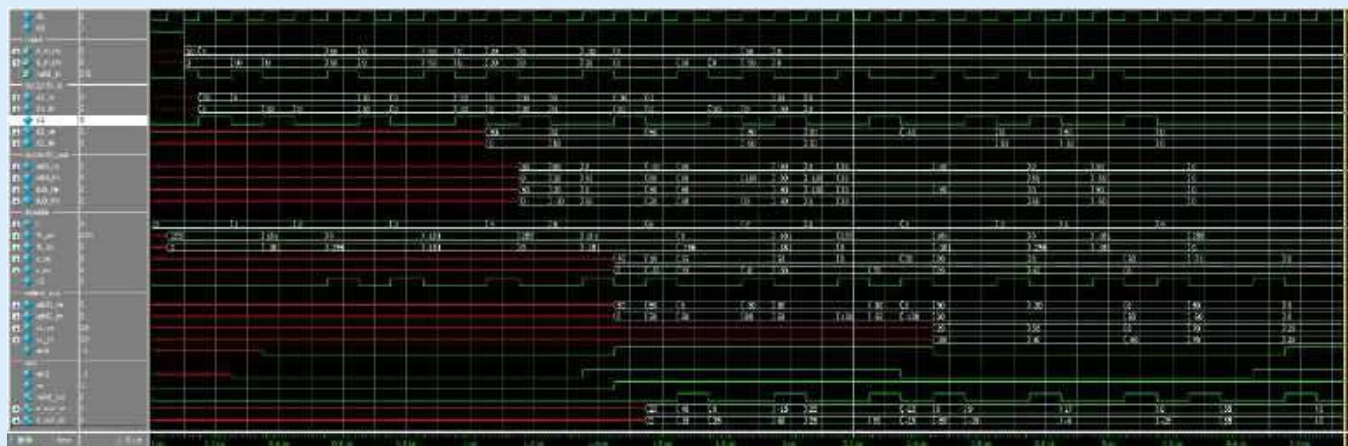
umieszczony jest wewnątrz bloku `generate` (linie 79...90). Dzięki temu możemy zastosować instrukcję `if`. LUT zostanie umieszczony jedynie dla `N` większych o 2, natomiast dla najmniejszego przypadku przypiszemy na stałe liczbę 1+0j (dokładniej 255/256+0j, ponieważ liczba 1 jest poza zakresem naszej zmiennej).

Dalej znajduje się blok `c_mul`, realizujący mnożenie zespolone. Rysunek 15 pokazuje czynniki w mnożeniach rzeczywistych. Dane są pokazane jako liczba całkowita ze znakiem, a współczynniki `W` jako liczba stałoprzecinkowa. W wyniku mnożenia tych dwóch liczb otrzymujemy 18-bitową liczbę stałoprzecinkową. Jej najmłodszy bit, tak jak poprzednio, ma wagę 1/256.

Kolejnym krokiem w mnożeniu zespolonym jest dodawanie (rysunek 16). W wyniku zsumowania otrzymaliśmy liczbę 19-bitową. Jednak na wejściu nasz „motylek” spodziewa się liczby 8-bitowej. Na wyjście przekazane są bity od 9 do 16 (zaznaczone kolorem zielonym). Wybór dokonywany jest wewnątrz modułu `c_mul` oraz w linii 135. W wyniku tego „wycięcia” następuje podzielenie wyniku przez dwa. Obcięte są także dwa najstarsze bity. Dla sygnałów wejściowych o dużej amplitudzie może to spowodować przepełnienie. W takim przypadku można dodać saturację.

Sam testbench naszego modułu pokazuje listing 5. W bloku `initial` (linie 55...74) następuje wprowadzenie danych wejściowych. Najpierw przesyłanych jest `N` próbek sygnału, a później dodatkowe `N/2`, które „przepychają” wyniki obliczeń na wyjście. Następnie, w wierszach 76...84, znajdziemy instancję testowanego modułu.

Najciekawsza jest ostatnia część, gdzie zbieramy dane wejściowe i jeszcze raz obliczamy wynik. Tym razem jednak używamy rozkazów niesyntezowalnych. Samo zbieranie danych ma miejsce w liniach 87...91. Rachunki odbywają się dopiero po zakończeniu symulacji. Wykorzystane



Rysunek 17. Wynik symulacji modułu „motylka”

Listing 5. Testbench (13_fft/butterfly_tb.sv)

```

055 initial begin
056     valid_in = 1'b0;
057     rst = 1'b0;
058     #100ns @(negedge clk);
059     rst <= 1'b1;
060     for (int i = 0; i < 3*N/2; i++) begin
061         valid_in = 1'b1;
062         if (i < N) begin
063             d_in_re = in_re[i];
064             d_in_im = in_im[i];
065         end
066         @(posedge clk);
067         valid_in = 1'b0;
068         d_in_re = '0;
069         d_in_im = '0;
070         @(posedge clk);
071         if (i % 3) @(posedge clk);
072     end
073     valid_in = 1'b0;
074 end
075
076 butterfly #(K(K), N(N)) dut (
077     .clk(clk),
078     .rst(rst),
079     .d_in_re(d_in_re),
080     .d_in_im(d_in_im),
081     .valid_in(valid_in),
082     .d_out_re(d_out_re),
083     .d_out_im(d_out_im),
084     .valid_out(valid_out));
085
086 always_ff @(posedge clk) begin
087     if (valid_out) begin
088         out_re[i] <= d_out_re;
089         out_im[i] <= d_out_im;
090         i <= i + 1;
091     end
092     if (i == N) begin
093         rms = 0;
094         for (int i = 0; i < N; i++) begin
095             if (i < N/2) begin
096                 out_sim_re = in_re[i] + in_re[i + N/2];
097                 out_sim_im = in_im[i] + in_im[i + N/2];
098             end else begin
099                 out_sim_re = in_re[i-N/2] - in_re[i];
100                 out_sim_im = in_im[i-N/2] - in_im[i];
101                 W_re = $cos(-2*pi*(i-N/2)/N);
102                 W_im = $sin(-2*pi*(i-N/2)/N);
103                 out_sim_re = out_sim_re*W_re - out_sim_im*W_im;
104                 out_sim_im = out_sim_re*W_im + out_sim_im*W_re;
105             end
106             out_sim_re = out_sim_re / 2;
107             out_sim_im = out_sim_im / 2;
108             $display("s: %.2f+%.2fj h: %.2f+%.2fj",
109                 out_sim_re, out_sim_im,
110                 out_re[i], out_im[i]);
111             rms += (out_sim_re-out_re[i])**2 + (out_sim_im-out_im[i])**2;
112         end
113         rms = $sqrt(rms/N);
114         $display("RMS of error is %.1f", rms);
115         $stop;
116     end
117 end

```

Listing 6. Wynik symulacji „motylka”

```

# s: 40.00+15.00j h: 40.00+15.00j
# s: -15.00+40.00j h: -15.00+40.00j
# s: 25.00+50.00j h: 25.00+50.00j
# s: 0.00+-50.00j h: 0.00+-50.00j
# s: 10.00+-15.00j h: 9.00+-15.00j
# s: 17.68+-3.54j h: 17.00+-4.00j
# s: 0.00+-25.00j h: 0.00+-25.00j
# s: 35.36+35.36j h: 35.00+35.00j
# RMS of error is 0.5

```

są operacje na liczbach zmiennoprzecinkowych, które zapewniają dużo większą precyzję. Oba wyniki są wyświetlane w linii 108. Na końcu (linia 111) jest liczony błąd średniokwadratowy pomiędzy nimi (czasami oznaczany jako RMS, od angielskiego *Root Mean Square*), obliczany jako:

$$x_{RMS} = \sqrt{(x_0^a - x_0^b)^2 + (x_1^a - x_1^b)^2 + \dots + (x_{N-1}^a - x_{N-1}^b)^2} \quad (22)$$

gdzie x^a to wynik symulacji, a x^b obliczeń zmiennoprzecinkowych.

Symulację uruchamiamy skryptem:

do butterfly_sim.do

Rezultat pokazuje listing 6. Widzimy, że różnice w wyniku dotyczą jedynie części ułamkowej. Dlatego że wybraną metodą zaokrąglania jest „obcięcie”, uzyskany wynik nie jest najbliższy temu dokładnemu – jest to spodziewany efekt, wynikający z uproszczenia implementacji. Dla użytego wektora wejściowego RMS błędu wynosi 0,5. Rysunek 17 pokazuje uzyskane przebiegi. Warto je porównać z uproszczonym diagramem z rysunku 11.

Podsumowanie

Jesteśmy coraz bliżej zbudowania analizatora widma dźwięku. Następnym etapem będzie połączenie kolejnych „motylków” w pełne FFT – zajmiemy się tym w kolejnej części cyklu.

Rafał Kozik

rafkozik@gmail.com

Przypisy :

- [1] Repozytorium z przykładami, <http://bit.ly/33uYPxs>
- [2] Lyons R.G., *Wprowadzenie do cyfrowego przetwarzania sygnałów*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2010
- [3] Film prezentujący działanie FFT, <https://bit.ly/35H0yTp>

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. Leszczyńska 11
tel. 22 257 84 99, faks 22 257 84 00

Wydawca:
Wiesław Marciniak

Adres redakcji:
03-197 Warszawa, ul. Leszczyńska 11
tel. 22 257 84 60
faks 22 257 84 00
e-mail: redakcja@ep.com.pl
www.ep.com.pl

Redaktor Naczelny:
Damian Sosnowski

**Redaktor Programowy,
Przewodniczący Rady Programowej:**
Piotr Zbyskiński

**Zastępca Redaktora Naczelnego,
Menedżer Magazynu:**
Katarzyna Gugala

Szef Pracowni Konstrukcyjnej:
Grzegorz Becker

Redakcja strony internetowej www.ep.com.pl
MAD Sp. z o.o.

Zespół marketingu i reklamy:
Katarzyna Gugala, tel. 22 257 84 64
Bożena Krzykawska, tel. 22 257 84 42
Grzegorz Krzykowski, tel. 22 257 84 60

Sekretarz Redakcji:
Grzegorz Krzykowski, tel. 22 257 84 60

DTP i okładka:
MAD Sp. z o.o.

Stali Współpracownicy:
Nikodem Czechowski, Jakub Tyburski, Lucjan Bryndza, Jarosław Doliński, Andrzej Gawryluk, Krzysztof Górski, Tomasz Jabłoński, Michał Kurzela, Szymon Panecki, Sławomir Skrzyński, Ryszard Szymaniak, Adam Tatuś, Robert Wołgajew

Uwaga!
Kontakt z wymienionymi osobami jest możliwy via e-mail, według schematu: imię.nazwisko@ep.com.pl

Prenumerata w Wydawnictwie AVT
www.avt.pl/prenumerata
lub tel. 22 257 84 22
e-mail: prenumerata@avt.pl
www.sklep.avt.pl, tel. 22 257 84 66



Prenumerata w RUCH S.A.
www.prenumerata.ruch.com.pl
lub tel. 801 800 803, 22 717 59 59
e-mail: prenumerata@ruch.com.pl



Wydawnictwo
AVT-Korporacja Sp. z o.o.
należy do Izby Wydawców Prasy

Copyright AVT-Korporacja Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczyńska 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”.





Wykaz firm ogłaszających się w tym numerze „Elektroniki Praktycznej”

AKSOTRONIK.....	102
ARMEL	102
BORNICO.....	6
COMPUTER CONTROLS	9
CONTRANS TI	11
DELTA-OPTI.....	102
ELMAX.....	102
FALDRUK	10
GAMMA	8
PIEKARZ	8
RELPOL	64, 65
RENEX.....	8, 90, 91
RUTRONIK.....	21
ST MICROELECTRONICS.....	
.....	5, 25, 27, 35, 37

Cyfrowy wzmacniacz mocy stereo z interfejsem I²S

Jest to kompletny cyfrowy wzmacniacz audio średniej mocy pracujący w klasie D. Pozwala osiągnąć do 2×15 W/4 Ω przy zasilaniu 12 V. Może posłużyć do realizacji mobilnych systemów nagłośnieniowych, układów transmisji sygnału audio poprzez sieć Ethernet, wielokanałowych głośników aktywnych. Dzięki temu modułowi można w prosty sposób poszerzyć funkcjonalność zestawu AudioDSP, Raspberry Pi lub płytek uruchomieniowych SoC/FPGA ze złączem Pmod.

Sekwencyjny włącznik oświetlenia

Mając w pomieszczeniu kilka punktów świetlnych, warto zachować możliwość niezależnego sterowania nimi. Jednak mnożenie liczby przełączników na ścianie powoduje, że korzystanie z nich będzie niewygodne. Opracowane urządzenie pozwala na załączanie czterech wyjść w różnych kombinacjach, przy użyciu tylko jednego przycisku.

Ekspander I²C z układem pomiaru prądu i napięcia

Moduł umożliwiający pomiar napięcia i prądu stałego komunikujący się poprzez interfejs I²C. Bazuje na układzie LTC4151, który jest specjalizowanym trzykanałowym 12-bitowym przetwornikiem ADC współpracującym z wbudowanymi obwodami pomiaru napięcia oraz prądu. Przeznaczony jest do kontroli parametrów zasilania lub obciążenia w górnej szynie zasilania. Zakres pomiaru napięcia wynosi 7...80 V, a prądu zależy od zewnętrznego bocznika pomiarowego.

Zasilacz buforowy 12 V z akumulatorem

Rolą zasilaczy buforowych jest nieprzerwane dostarczanie energii elektrycznej do określonego urządzenia. Najpopularniejszym rodzajem takiego zasilacza jest zasilacz awaryjny UPS, ale nie zawsze istnieje konieczność stosowania tak rozbudowanych rozwiązań. Dla takich urządzeń, jak routery, centrale alarmowe, systemy inteligentnego budynku, które są zasilane napięciem stałym o wartości 12 V, wystarczy zasilanie wprost z akumulatora żelowego. Wystarczy tylko zadbać o samoczynne przełączenie między zasilaczem a akumulatorem oraz o prawidłową konserwację samego akumulatora. Te zadania zrealizuje prezentowany układ.

a ponadto tematy wiodące EP 1/2021:

ELEKTRONIKA W WALCE Z PANDEMIĄ ZASILANIE I ZASILACZE

AVT PSE - Pakiet Startowy Elektronika



Elementy pakietu:

- Wysokiej jakości lutownica elektryczna kolbowa 25W/230V
- Podstawa pod lutownicę z gąbką czyszczącą
- Kalafonia aktywna ułatwiająca lutowanie
- Cyna 1mm we fiolet
- Szczypce tnące boczne ze stali narzędziowej nierdzewnej
- 3 zestawy do samodzielnego montażu:
 - AVT720 Błękitno biały mrygacz
 - AVT721 Klaskacz - akustyczne zdalne sterowanie
 - AVT793 Generator dźwięków alarmowych
- Pudełko zbiorcze

Pomysł
na prezent!



kod handlowy: AVTPSE
80 zł



sklep.avt.pl

AVT-Korporacja Sp. z o.o., 03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
Dział Handlowy tel.: (22) 257 84 50 e-mail: handlowy@avt.pl