Wydanie elektroniczne dostępne na www.ulubionykiosk.pl

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

EP.com.pl

● Międzynarodowy magazyn elektroników konstruktorów ● listopad ● 11/2024 ●

Tylko Prenumeratorzy

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



inspirujące, użyteczne projekty

• retroWatch – zegarek naręczny w stylu retro • Wyzwalacz zasilaczy/ładowarek USB-C • Zasilacz awaryjny SuperCap UPS 5 V • Moduł klucza High Side dużej mocy 5...30 V DC/10 A • ZW-C1: Zegar w kształcie robota • Filtr częstotliwości podakustycznych „subsonic”

podzespoły, sprzęt, aplikacje

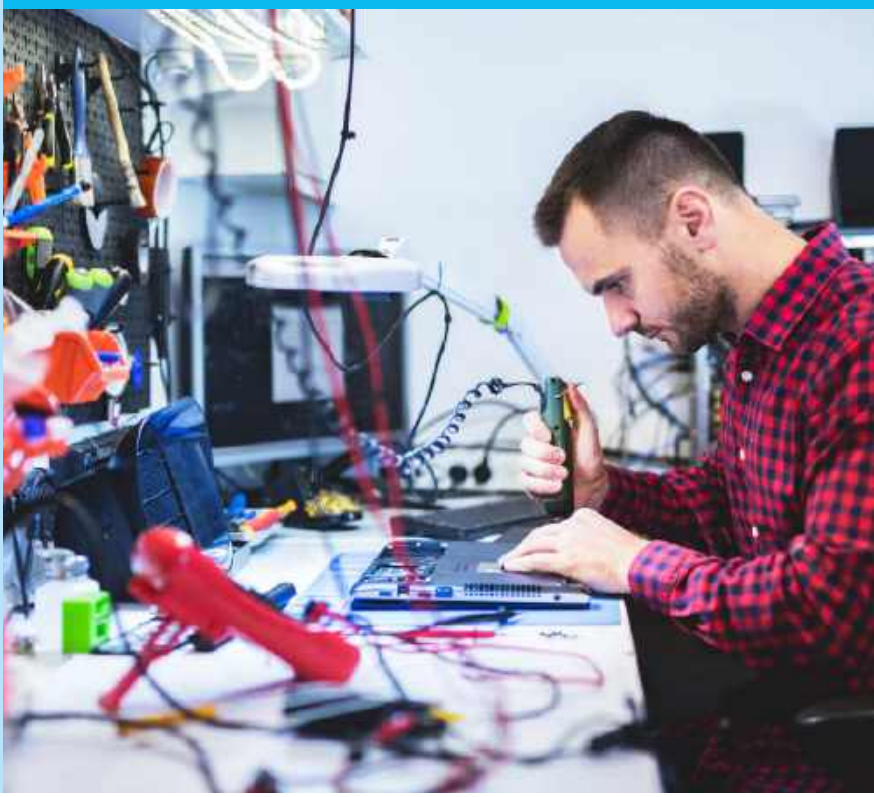
• Oscyloskopy holenderskiej firmy TiePie engineering • Nordic Semiconductor – specjaliści od elektroniki ubieralnej • Nowoczesne obwody drukowane motorem technologii ubieralnej • Nowe funkcje Arm Keil MDK v6, w tym FuSa w wersji Professional • dsPIC33A: zoptymalizowane sterowanie napędami z użyciem zintegrowanego sterownika i wydajnego rdzenia DSC • Wyposażenie pracowni elektronika • Istotny element wyposażenia pracowni elektronicznej • Kompaktowa aparatura pomiarowa do każdej pracowni

tutoriale

• Internet Rzeczy w pomiarach środowiskowych. Dołączanie czujnika CO oraz pyłów do modułu Enviro Weather • ESD w pracowni elektronicznej • Druk 3D w służbie elektroniki • Amatorskie pomiary wzmacniaczy audio

kursy

• Kurs Nordic nRF z BT. Bluetooth LE – bezpieczeństwo • Programowanie modułów ESP32 w środowisku ESP-IDF. Interfejs SPI • Kurs FPGA Lattice. Direct Digital Synthesis



ISSN 1230-3526 Indeks 357677

9 771230 352245 11 >

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

WYPOSAŻENIE PRACOWNI

eprasa.pl 0914c66f57

prenumerata

–20%
NA START
181,40 zł

–30%
po pierwszym roku prenumeraty
158,80 zł

–40%
po drugim roku prenumeraty
136,10 zł

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Zyskaj nieograniczony dostęp do zasobów dla pasjonatów elektroniki!

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

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

Zacznij korzystać z pełnych zasobów już dziś!

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

Nie szata zdobi człowieka...



...ale urządzenia już mogą. Elektronika ubieralna, która przez wiele lat stanowiła symbol nowoczesności (intensywnie eksploatowany chociażby w niezliczonych filmach z pogranicza kina akcji i science fiction), dziś jest elementem naszej codzienności, z którego istnienia coraz rzadziej zdajemy sobie sprawę. Inteligentne zegarki (smartwatche), opaski sportowe (smartbandy), pierścienie (smartringi), słuchawki bezprzewodowe, pulsometry czy wreszcie profesjonalne urządzenia medyczne, gogle AR/VR/FPV… wymieniać można by w nieskończoność. Dla zdecydowanej większości z nas noszone na ciele gadżety to użyteczne dodatki do ubrania, ale w niektórych przypadkach elektronika ubieralna to znacznie więcej niż tylko nowoczesne „zabawki", kupowane dla wygody lub szpanu. Tysiące pacjentów na całym świecie dzień w dzień korzysta z urządzeń medycznych, których zadaniem jest bieżąca diagnostyka i monitorowanie istotnych parametrów fizjologicznych (np. rytmu serca czy stężenia glukozy we krwi), a jeszcze inni powierzają elektronice ubieralnej odpowiedzialność za swoje życie i to w dosłownym znaczeniu – nawet polscy chorzy mają już dostęp do kamizelek zdolnych do ratowania życia w wypadku nagłego wystąpienia śmiertelnie groźnych zaburzeń rytmu serca.

Z punktu widzenia konstruktora elektroniki ubieralnej projektowanie tego typu urządzeń stanowi nie lada wyzwanie i to praktycznie pod każdym możliwym względem. Zastanówmy się, jakie aspekty trzeba solidnie przemyśleć, przystępując do opracowania takiego sprzętu. Po pierwsze: miniaturyzacja. To, co będzie noszone na ciele (na nadgarstku, kostce, klatce piersiowej, głowie, palcu, a może w kanale słuchowym?), musi być możliwie jak najlżejsze i najmniejsze, gdyż w przeciwnym wypadku użytkownicy szybko zaniechają korzystania z naszego produktu, o ile w ogóle zdecydują się na jego zakup. Miniaturyzacja dotyczy więc zarówno samej elektroniki (bez obwodów sztywno-giętkich i FPC na pewno się nie obejdzie!), jak i obudowy (musi być możliwie jak najcieńsza, ale zarazem maksymalnie wytrzymała pod względem mechanicznym i... szczelna) oraz – co chyba najgorsze – samego akumulatora. Choć na rynku istnieją maleńkie akumulatorki litowo-polimerowe i litowo-jonowe do tego typu aplikacji, to jednak zawsze źródło energii będzie zajmowało znaczną część (jeżeli nie większość) przestrzeni dostępnej w ciasnej obudowie.

A co z poborem energii? Tutaj znów mamy konflikt interesów: mały akumulator to ograniczona pojemność, ale fakt noszenia urządzenia na ciele w oczywisty sposób wymusza konieczność maksymalnego wydłużenia czasu pracy pomiędzy kolejnymi ładowaniami lub (w rzadszych przypadkach) wymianą baterii. Trzeba zatem zoptymalizować zużycie energii, dobrać wszystkie kluczowe komponenty (mikrokontroler, czujniki, obwody zasilania, transceiver radiowy…) pod kątem możliwie jak najmniejszego poboru prądu. Pomocną dłoń wyciągają do nas producenci półprzewodników, którzy takich oszczędności szukają na każdym polu: począwszy od odpowiedniego doboru technologii produkcji struktur krzemowych (ograniczanie wewnętrznych prądów upływu), poprzez elastyczne zarządzanie trybami pracy (skalowanie napięcia rdzenia mikrokontrolera, sprzętowe bloki peryferyjne pracujące niezależnie od CPU, zastosowanie kontrolerów DMA, dynamiczne przestrajanie częstotliwości taktowania itp.), aż po przesuwanie rozmaitych funkcji pomiędzy poszczególnymi układami (np. integracja FIFO i implementacja algorytmów DSP w czujnikach IMU, dzięki czemu można zmniejszyć częstość odczytów i – co za tym idzie – wybudzania procesora z trybu uśpienia). W ślad za ulepszeniami na poziomie sprzętu muszą oczywiście iść działania programistyczne – nie jest tajemnicą, że właściwa konstrukcja oprogramowania wbudowanego może w ogromnym stopniu wpłynąć na średni pobór mocy. Czytelników zainteresowanych tymi zagadnieniami zapraszamy do lektury naszego cyklu pt. „Oszczędzanie energii w teorii i w praktyce".

A co z komunikacją bezprzewodową? Przecież prawie wszystkie współczesne urządzenia ubieralne są wyposażone w Bluetooth lub (rzadziej) inny rodzaj połączenia radiowego. Istotnie, tutaj także konstruktorzy mają szerokie pole do popisu. Opracowanie standardów Bluetooth Low Energy (BLE) oraz ANT/ANT+, które odbywało się w ścisłej kooperacji z czołowymi producentami półprzewodników, sprawiło, że dziś nie stanowi już problemu przesyłanie relatywnie niewielkich (bo po co więcej?) ilości danych pomiędzy urządzeniami mobilnymi czy komputerami a niezliczonymi urządzeniami ubieralnymi. Taka transmisja jest wysoce zoptymalizowana pod względem energetycznym i ustandaryzowana, przez co użytkownicy zyskują szereg udogodnień: urządzenia pracują dłużej (a więc też bardziej ekologicznie) i są kompatybilne w stopniu pozwalającym na łatwą wymianę poszczególnych „klocków" tej radiowej układanki. Szczególne zasługi na polu urządzeń ubieralnych oraz IoT (zwłaszcza że obydwa te obszary zazębiają się w dużym zakresie) mają transceivery firmy Nordic Semiconductor – warto o tym wspomnieć, gdyż na łamach „Elektroniki Praktycznej" od kilku miesięcy prowadzimy – prawdopodobnie pierwszy w Polsce – kurs programowania układów nRF w oryginalnym środowisku dostarczanym przez producenta, czyli nRF Connect SDK. Materiał ten cieszy się sporą popularnością, co jasno pokazuje, że właśnie na takie tutoriale jest zapotrzebowanie wśród naszych Czytelników.

W listopadowym numerze EP nie zabrakło oczywiście także innych interesujących i przydatnych materiałów. Oprócz sześciu projektów i dwóch poradników w ramach rubryki Notatnik Konstruktora, kontynuujemy cykle artykułów poświęcone czujnikom w aplikacjach IoT, drukowi 3D oraz programowaniu macierzy FPGA. Dla naszych Czytelników przygotowaliśmy także – wyczekiwany przez wielu z Was – piąty odcinek kursu programowania modułów ESP32 w środowisku ESP-IDF. Na marginesie dodam, że tematyka praktycznych zastosowań IoT (w tym także samych układów ESP32) będzie pojawiała się na łamach EP coraz częściej – warto zatem śledzić kolejne wydania.

Zapraszam do lektury!

Przemysław Musz

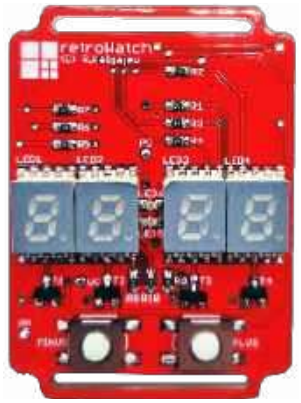
eprasa.pl 0914c66f57

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

Nr 11 (382) • Listopad 2024













Nie przeocz

Nowe podzespoły 5
Dodaj do obserwowanych 10
Konkurs 17
Koktajl niusów 92

Projekty

retroWatch – zegarek naręczny w stylu retro 12
Zasilacz awaryjny SuperCap UPS 5 V 20
ZW-C1: Zegar w kształcie robota 26

Miniprojekty

Wyzwalacz zasilaczy/ładowarek USB-C 18
Moduł klucza High Side dużej mocy 5...30 V DC/10 A 24
Filtr częstotliwości podakustycznych „subsonic” 31

Temat numeru: Elektronika ubieralna

Elektronika ubieralna 38

Prezentacje

dsPIC33A: zoptymalizowane sterowanie napędami
z użyciem zintegrowanego sterownika i wydajnego rdzenia DSC 33
Nordic Semiconductor – specjaliści od elektroniki ubieralnej 36
Nowoczesne obwody drukowane motorem technologii ubieralnej 46
Nowe funkcje Arm Keil MDK v6, w tym FuSa w wersji Professional 48
Oscyloskopy holenderskiej firmy TiePie engineering 52
Istotny element wyposażenia pracowni elektronicznej 59

Elektronika w praktyce

Kompaktowa aparatura pomiarowa do każdej pracowni 50
Wyposażenie pracowni elektronika 54

Moduły w aplikacjach

Internet Rzeczy w pomiarach środowiskowych (11).
Dołączanie czujnika CO oraz pyłów do modułu Enviro Weather 60

Notatnik konstruktora

ESD w pracowni elektronicznej 64
Amatorskie pomiary wzmacniaczy audio (5) 73

Technologie wokół elektroniki

Druk 3D w służbie elektroniki (4) 66

Kursy

Kurs Nordic nRF z BT (5). Bluetooth LE – bezpieczeństwo 78
Kurs FPGA Lattice (25). Direct Digital Synthesis 81
Programowanie modułów ESP32 w środowisku ESP-IDF (5). Interfejs SPI 90

Prenumerata 2
Od wydawcy 3
Hity następnego numeru 95

Dodatkowe materiały do artykułów znajdziesz na https://ulubionykiosk.pl/media
Szczegóły na stronie 19
eprasa.pl 0914c66f57

nowe podzespoły

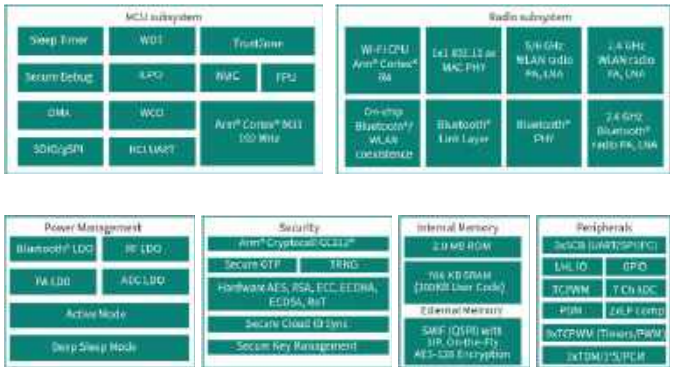
Z kilkuset nowości wybraliśmy te, których nie wolno przeoczyć. Bieżące nowości można śledzić na www.elektronikaB2B.pl



80-watowe przekaźniki kontaktronowe SIL do testerów ATE, aparatury medycznej i fotowoltaiki

Na konferencji Korea Test Conference 2024 w Seulu firma Pickering Electronics zaprezentowała najnowsze wersje przekaźników kontaktronowych o dużej mocy znamionowej, mogących znaleźć zastosowanie m.in. w testerach ATE, aparaturze medycznej, systemach ładowania czy fotowoltaice. Przekaźniki z serii 144 występują w wariantach o konfiguracjach: 1 Form A, 1 Form B i 2 Form A SPST N.O. Są produkowane w obudowach SIL o wymiarach od 6,22×24,1×8,1 mm do 6,22×29×12,5 mm (D×W×H). Podczas gdy większość odpowiedników pracuje z prądem przełączania do 0,5 A @ 10 W, przekaźniki z serii 144 mogą sterować obciążeniami do 2 A @ 60 W lub do 1 A @ 80 W. Maksymalne napięcie robocze wynosi 1000 VDC w zakresie do 10 W. Dodatkowo przekaźniki z serii 144 charakteryzują się bardzo dobrymi parametrami elektrycznymi, również podczas przełączania sygnałów małej mocy, co w połączeniu z izolacją do 3 kV czyni je idealnymi zamiennikami przekaźników kontaktronowych ze stykami zwilżanymi rtęcią oraz miniaturowych przekaźników elektromechanicznych.

www.pickeringrelay.com



Nowa rodzina mikrokontrolerów z modułem bezprzewodowym Wi-Fi 6/6E i Bluetooth LE 5

Infineon poszerza ofertę mikrokontrolerów AIROC z wbudowanym modułem komunikacji bezprzewodowej. Układy z rodziny CYW5591x obsługują standardy Wi-Fi 6/6E, Bluetooth Low Energy 5.4 i Matter over Wi-Fi oraz oferują wbudowane funkcje zabezpieczające. Mogą być stosowane w energooszczędnych urządzeniach z sektora przemysłowego, smart home, IoT/IIoT, kamerach, czujnikach, inteligentnych zamkach do drzwi itp. Dzięki dostarczanemu przez producenta oprogramowaniu ModusToolbox, systemowi operacyjnemu RTOS, sterownikom Linux, stosowi protokołów Bluetooth i przykładowym aplikacjom, pozwalają skrócić czas wprowadzania nowych produktów na rynek. Występują w trzech wariantach, różniących się obsługiwanymi pasmami: CYW55913 (2,4/5/6 GHz), CYW55912 (2,4/5 GHz) i CYW55911 (2,4 GHz).

Pozostałe cechy:

- jednostka obliczeniowa ARM Cortex-M33 (192 MHz) z technologią TrustZone CC312 i 768 kB SRAM,
- interfejs Quad-SPI z obsługą XIP oraz szyfrowaniem/deszyfrowaniem „w locie” pamięci FLASH i PSRAM,

REKLAMA

HAMMOND®

1550ZF odlewana obudowa aluminiowa z kołnierzem IP68

Dowiedz się więcej:
hammondmfg.com/1550zf

eusales@hammondmfg.com • + 44 1256 812812



eprasa.pl 0914c66f57

- obsługa standardów Matter-over-Wi-Fi oraz BLE 5.4 2 Mbps z usługami LE Long Range, Advertising Extensions i Advertising code selection,
- moc nadajnika Wi-Fi: do +24 dBm,
- czułość odbiornika Wi-Fi: –101,5 dBm,
- moc nadajnika BLE: +19 dBm,
- czułość odbiornika BLE w trybie Longe Range: –111,5 dBm,
- interfejsy SDIO, I²C, SPI, UART, TCPWM, TDM/I²S, TCM (I²S/PCM) oraz 7-kanałowy, 12-bitowy przetwornik ADC,
- obsługa mikrofonu cyfrowego,
- sprzętowy akcelerator kryptograficzny (AES, RSA, ECC, ECDHA, ECDSA, Root-of-Trust),
- wielowarstwowy mechanizm bezpieczeństwa (secure boot z autoryzacją i szyfrowaniem oprogramowania firmware, anti-roll-back, crypto key establishment),
- certyfikat PSA Level 2.

www.infineon.com



Wzmacniacze MMIC do terminali satelitarnych pracujących w paśmie Ku

Firma Qorvo wprowadziła na rynek trzy mikrofalowe, monolityczne wzmacniacze mocy, zaprojektowane do terminali satelitarnych pracujących w paśmie Ku. Pozwalają one poprawić parametry pracy – w tym sprawność energetyczną systemów uplink – między innymi w aplikacjach z sektora wojskowego i lotniczego. Są produkowane w wersjach pokrywających zakres mocy wyjściowej od 8 do 55 W.

QPA1314 to wzmacniacz zrealizowany w procesie GaN-on-SiC 0,15 µm (QGaN15). Pracuje w paśmie od 13,75 do 14,5 GHz. Charakteryzuje się wyjściową mocą nasycenia 55 W, sprawnością 30% (PAE) i wzmocnieniem 22,5 dB. Zawiera obwody dopasowujące 50 Ω na wejściu i wyjściu, co ułatwia implementację. Układ jest produkowany w obudowie o powierzchni 15×15 mm z miedzianą podstawą, zapewniającą bardzo dobre parametry termiczne. Dwa pozostałe układy z nowej oferty to QPA0016 (15 W) i QPA0015 (8 W), dostępne w obudowach o wymiarach – odpowiednio – 7,5×5 mm i 7×4,5 mm.

www.qorvo.com

Nowa rodzina czujników obrazu global-shutter o rozdzielczości 0,38...1,5 megapiksela

STMicroelectronics wprowadza na rynek zestaw narzędzi projektowych, ułatwiających realizację systemów wizyjnych, które korzystają z czujników obrazu global-shutter, należących do rodziny BrightSense. Obejmują one czujnik, zestaw soczewek i złączy oraz niezbędne oprogramowanie, m.in. interfejs GUI do komputerów PC oraz sterowniki Linux. W odróżnieniu od wariantów rolling shutter, nowe modele zapewniają równoczesne próbkowanie wszystkich



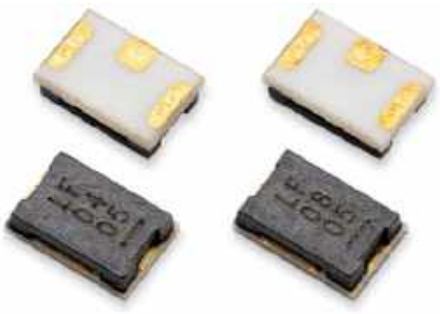
	VD55G0	VD55G1	VD56G3	VD66GY
Rozdzielczość	640×600	800×700	1124×1364	1124×1364
Rozmiary piksela	2,61×2,61 µm	2,16×2,16 µm	2,61×2,61 µm	2,61×2,61 µm
Powierzchnia aktywna	1,67×1,57 mm	1,74×1,52 mm	2,93×3,56 mm	2,93×3,56 mm
Szybkość rejestracji	210 fps (maks. rozdzielczość) 260 fps (VGA)	194 fps (maks. rozdzielczość) 271 fps (VGA)	88 fps (maks. rozdzielczość), 237 fps (VGA)	88 fps (maks. rozdzielczość), 237 fps (VGA)
Typ czujnika	mono	mono	mono	kolor
Pobór mocy	55 mW (60 fps)	35 mW (60 fps), 1...2 mW (auto wake up), 0,5 mW (standby)	120 mW (typ.), 4 mW (standby)	120 mW (typ.), 4 mW (standby)
Temperatura pracy	–30...+85°C	–30...+85°C	–30...+85°C	–30...+85°C

pikseli, co pozwala uchwycić obrazy szybko poruszających się obiektów bez zniekształceń.

Rodzina BrightSense obejmuje czujniki produkowane w technologii CMOS z podświetleniem BSI (backside illumination), charakteryzujące się dużą czułością w warunkach słabego oświetlenia zewnętrznego. Mogą znaleźć zastosowanie m.in. do rozpoznawania twarzy w smartfonach oraz w systemach unikania przeszkód w robotach mobilnych. Zawierają wbudowane funkcje przetwarzania obrazu (automatyczna ekspozycja, korekcja i kalibracja). Komunikują się za pośrednictwem interfejsu MIPI-CSI-2. Oferta obejmuje obecnie warianty monochromatyczne VD55G0, VD55G1 i VD56G3 o rozdzielczości od 0,38 do 1,5 megapiksela oraz wersję kolorową VD66GY o rozdzielczości 1,5 megapiksela.

www.st.com

5-amperowe układy zabezpieczające do akumulatorów litowo-jonowych



Littelfuse wprowadza do sprzedaży serię 5-amperowych układów zabezpieczających ITV2718 do akumulatorów litowo-jonowych. Nowe ochronniki mogą znaleźć zastosowanie w smartfonach, laptopach, konsolach do gier i innych urządzeniach konsumenckich. Są to miniaturowe układy w 3-pinowych obudowach SMD o wymiarach 2,7×1,8 mm, realizujące zabezpieczenie nadprądowe podczas normalnej pracy oraz w trybie ładowania. Charakteryzują się krótkim czasem odpowiedzi i małą rezystancją wewnętrzną, nieprzekraczającą 10 mΩ. Ich struktura obejmuje bezpiecznik i element podgrzewający, zapewniający szybkie przerwanie obwodu po przekroczeniu dopuszczalnego natężenia lub dopuszczalnej temperatury.

W ramach nowej serii dostępne są dwa typy układów: ITV2718L0405 do zabezpieczania pojedynczego ogniwa i ITV2718L0805 do zabezpieczania dwóch ogniw połączonych szeregowo. Ich zakres napięcia roboczego wynosi odpowiednio 2,5...5,5 V i 4,0...10 V. Zakres temperatury roboczej rozciąga się od –10 do +65°C.

www.littelfuse.com

eprasa.pl 0914c66f57



Magnetyczne czujniki prądu do aplikacji przemysłowych i motoryzacyjnych

Allegro MicroSystems wprowadza na rynek dwa małogabarytowe, magnetyczne czujniki natężenia prądu do aplikacji przemysłowych i motoryzacyjnych, oznaczone symbolami ACS37220 i ACS37041. Są to łatwe do integracji sensory oparte na efekcie Halla, umożliwiające prowadzenie pomiaru w zakresie do odpowiednio 200 A i 30 A. Zapewniają izolację galwaniczną do 100 V między obwodem pomiarowym i wyjściowym.

ACS37220 to czujnik dostępny w wersjach o zakresach pomiarowych ±100 A, ±150 A i ±200 A, charakteryzujący się rezystancją wewnętrzną 100 µΩ i pasmem 150 kHz. Jest produkowany w 7-wyprowadzeniowej obudowie EZ QFN o wymiarach 4×4 mm. Może zastąpić rezystor bocznikowy dużej mocy w aplikacjach wymagających niskiej wartości rezystancji szeregowej i małej liczby komponentów. Jest odporny na duże impulsy prądowe w fazie rozruchowej. Zawiera dwa elementy Halla (zapewniające tłumienie sumacyjnego pola magnetycznego), wyjście napięciowe oraz dodatkowe wyjście binarne, sygnalizujące przekroczenie zaprogramowanej wartości progowej prądu. Uzyskał kwalifikację AEC-Q100 Grade 0, pozwalającą na zastosowania w motoryzacji.

ACS37041 to czujnik Halla o paśmie 125 kHz, rezystancji wewnętrznej około 1 mΩ i zakresie pomiarowym 30 A, oferowany w 5-wyprowadzeniowej obudowie SOT23-W o maksymalnych wymiarach 3,2×3,0×1,3 mm. Generuje napięcie wyjściowe proporcjonalne do natężenia prądu w obwodzie wejściowym, zapewniając dużą dokładność pomiaru w całym zakresie dopuszczalnej temperatury pracy. Podobnie jak ACS37220, zawiera dwa elementy Halla, zapewniające tłumienie sumacyjnego pola magnetycznego. Może znaleźć zastosowanie w przemysłowych układach napędowych o napięciu poniżej 100 V, falownikach oraz rowerach i skuterach elektrycznych.

www.allegromicro.com

Nowe układy MCM (multi-chip module) do aplikacji radarowych na pasma X, S i L

Qorvo powiększa ofertę wielochipowych modułów MCM (multi-chip module) o trzy nowe modele, zaprojektowane do zaawansowanych aplikacji radarowych, m.in. szyków fazowanych i wielofunkcyjnych systemów radarowych na pasma X, S i L.

QPF5001 to układ FEM (front-end module) na zakres częstotliwości 8...12 GHz, którego struktura wewnętrzna obejmuje ogranicznik, wzmacniacz niskoszumowy i wzmacniacz mocy. Jest produkowany w obudowie QFN o powierzchni 6×5 mm – dwukrotnie mniejszej od równoważnego obwodu opartego na podzespołach dyskretnych. Charakteryzuje się mocą nasycenia 41 dBm i współczynnikiem szumów 1,5 dB.

QPM2101 to układ nadawczo-odbiorczy na zakres częstotliwości 2,5...4,0 GHz, zrealizowany w procesie GaAs 0,25 µm. Obejmuje

REKLAMA



eprasa.pl 0914c66f57



przełącznik Tx/Rx, sekcję nadawczą o maksymalnej mocy 13,8 dBm, współczynniku P1dB równym 32 dBm i stratach wtrąconych 1,2 dB oraz sekcję odbiorczą ze wzmacniaczem niskoszumowym, tłumikiem cyfrowym i wzmacniaczem wyjściowym. Sekcja odbiorcza charakteryzuje się wzmocnieniem 30 dB i współczynnikiem szumów równym 1,0 dB. Wewnętrzny tłumik cyfrowy oferuje 6-bitową rozdzielczość i zakres regulacji tłumienia 31,5 dB. Poszczególne bloki funkcjonalne układu mogą być niezależnie od siebie włączane/wyłączane zewnętrznym sygnałem CMOS. Czas reakcji na sygnały sterujące wynosi typowo 43 ns.

QPM2101 jest produkowany w obudowie QFN o powierzchni 7×7 mm. Pozwala ograniczyć powierzchnię płytki drukowanej o 40% w porównaniu z równoważnym obwodem na elementach dyskretnych.

QPB1029 to zespół 8 przełączalnych filtrów z przełącznikami po stronie wejściowej i wyjściowej oraz dodatkowym torem bypass, produkowany w obudowie SMD o wymiarach 10×10×1,44 mm. Może znaleźć zastosowanie w aplikacjach radarowych, pracujących w zakresie częstotliwości od 1,2 do 1,4 GHz. Charakteryzuje się stratami wtrąconymi <3 dB, tłumieniem sygnałów spoza pasma użytecznego >15 dB, czasem przełączania 3 µs, bardzo dobrą stabilnością w funkcji temperatury oraz małym rozrzutem parametrów produkcyjnych pomiędzy poszczególnymi egzemplarzami.

www.qorvo.com

Diody LED SMD o wysokim współczynniku CRI odporne na wodę i siły skręcające



Diody LED z nowej serii DURIS E 2835 firmy ams OSRAM oferują wiele innowacji, zarówno jeśli chodzi o sam chip, jak i konstrukcję obudowy. Specjalnie zaprojektowana ramka usztywniająca zapewnia dużą odporność na siły skręcające, co pozwala na montaż zarówno na klasycznych płytkach drukowanych, jak i na elastycznych taśmach LED. Wartość CCT (Correlated Color Temperature) równa 2400 K kompensuje efekty wprowadzane przez ochronne pokrycie silikonowe, co pozwala na zastosowania w łazienkach, kuchniach, basenach, stawach ogrodowych oraz wszędzie tam, gdzie dioda pracuje w zanurzeniu lub jest narażona na dużą wilgotność.

Diody serii DURIS E 2835 charakteryzują się współczynnikiem CRI wynoszącym minimum 97, zapewniając wierne odwzorowanie barw. Ma to znaczenie m.in. w przypadku podświetlania wystaw sklepowych i eksponatów w muzeach oraz w oświetleniu architektonicznym. Elementy są produkowane w obudowach SMD o rozmiarze 2835 (2,8×3,5 mm). Występują w wariantach True Green (strumień 67,7 lm, sprawność typ. 153 lm/W) i Red (strumień 24,1 lm, sprawność typ. 74,4 lm/W). Są odporne na wyładowania ESD do 2 kV, a ich żywotność sięga 36 tys. godzin (strumień do 90% wartości nominalnej).

www.ams-osram.com



Pierwsze pamięci Flash QLC firmy Kioxia o pojemności 2 Tb

Kioxia Europe ogłasza rozpoczęcie dostaw pierwszych pamięci QLC (Quad Level Cell) o rekordowej pojemności 2 Tb, wyposażonych w układy BiCS Flash 3D ósmej generacji. Są to układy mogące znaleźć zastosowanie m.in. w sektorze AI i pamięciach masowych, zapewniające 2,3-krotnie większą gęstość bitową i wyższą o 70% szybkość zapisu w porównaniu do układów QLC wcześniejszej generacji.

W najnowszych pamięciach BiCS Flash firma Kioxia wykorzystała innowacyjną architekturę, zapewniającą skalowanie pamięci w pionie i w poziomie. Technologia CBA (CMOS direct bonded to Array) umożliwia produkcję pamięci dużej gęstości, oferujących prędkość interfejsu na poziomie 3,6 Gbps. Umieszczenie 16 chipów w jednym module umożliwia realizację pamięci o pojemności 4 TB, produkowanych w obudowach o wymiarach 13,5×11,5×1,5 mm.

www.kioxia.com



Miniaturowy, 50-woltowy tranzystor GaN FET do ładowarek USB-C i konwerterów DC-DC

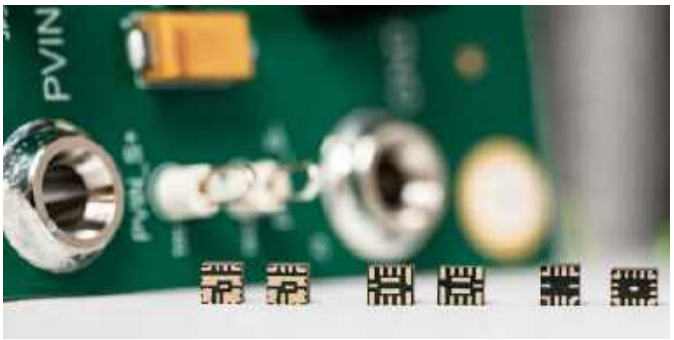
Firma EPC zaprojektowała nowy, miniaturowy tranzystor GaN FET do ładowarek USB-C, konwerterów DC-DC i systemów oświetleniowych opartych na diodach LED, dostarczany w postaci nieobudowanej struktury półprzewodnikowej o wymiarach zaledwie 1,5×1,2 mm. Dzięki rezystancji RDS(ON), obniżonej do 8,5 mΩ, model EPC2057 wykazuje bardzo małe straty przewodzenia i może pracować z maksymalnym prądem ciągłym 9,6 A (maks. 66 A w impulsie). Dodatkowo małe pojemności wewnętrzne umożliwiają pracę z wysoką częstotliwością przełączania przy zachowaniu małych wymiarów współpracujących elementów pasywnych.

eprasa.pl 0914c66f57

W ofercie EPC dostępna jest też płytka ewaluacyjna EPC90155 o wymiarach 50,8×50,8 mm, ułatwiająca ocenę parametrów tranzystora i mogąca skrócić czas wprowadzania nowych produktów na rynek. Zawiera ona półmostkowy stopień wyjściowy, zrealizowany na dwóch tranzystorach EPC2057, sterownik bramek uP1966E z oferty uPI Semiconductor oraz niezbędne komponenty pasywne. Topologia połączeń została zoptymalizowana pod kątem zapewnienia jak najlepszych parametrów dynamicznych.

Cena hurtowa EPC2057 wynosi 0,67 USD przy zamówieniach 2500 sztuk. Płytka ewaluacyjna jest dostępna w cenie 200 USD.

www.epc-co.com



Najmniejsze na rynku 6-amperowe konwertery DC-DC o małej emisji elektromagnetycznej

Do oferty Texas Instruments wchodzi seria miniaturowych konwerterów DC-DC MagPack z wbudowaną cewką indukcyjną, dostępnych w wersjach Buck i Boost. W porównaniu z wcześniejszymi odpowiednikami charakteryzują się one mniejszą nawet o 50% powierzchnią montażową (od 6,5 mm²), mniejszą o 8 dB emisją elektromagnetyczną i wyższą sprawnością. Trzy spośród nich (TPSM82866A, TPSM82866C i TPSM82816) to najmniejsze obecnie na rynku konwertery o wydajności prądowej 6 A.

	Zakres V_{IN}	Funkcja	Powierzchnia obudowy
TPSM82866A	2,40...5,5 V	Konwerter DC-DC step-down 6 A z wbudowaną cewką, dostępny w 13 wersjach o ustalonych fabrycznie napięciach wyjściowych	2,3×3,0 mm
TPSM82866C	2,40...5,5 V	Konwerter DC-DC step-down 6 A z wbudowaną cewką i interfejsem I²C	2,3×3,0 mm
TPSM828303	2,25...5,5 V	Konwerter DC-DC step-down 3 A z wbudowaną cewką i kondensatorami filtrującymi szumy	2,5×2,6 mm
TPSM82816	2,70...6,0 V	Konwerter DC-DC step-down 6 A z możliwością synchronizacji częstotliwości przełączania	2,5×3,0 mm
TPSM82813	2,75...6,0 V	Konwerter DC-DC step-down 3 A z możliwością synchronizacji częstotliwości przełączania	2,5×3,0 mm
TPSM81033	1,80...5,5 V	Konwerter DC-DC boost 5,5 V/5,5 A z ogranicznikiem prądowym, wyjściem Power Good, funkcją Output Discharge i sterowaniem PWM	2,5×2,6 mm

Konwertery MagPack są przystosowane do pracy w szerokim zakresie temperatury otoczenia od –40 do +125°C. Zapewniają sprawność sięgającą 96% i dokładność napięcia wyjściowego około 1%. W zależności od wersji pobierają 4...20 µA prądu w stanie spoczynkowym i 0,1...0,24 µA w trybie shutdown. Producent oferuje do nich moduły ewaluacyjne w cenie od 49 USD.

www.ti.com

Nakładka HAT do Raspberry Pi 5 z dwoma portami 2.5GbE Ethernet i modułem M.2 NVMe SSD

Nowa nakładka HAT (Hardware Attached on Top) do minikomputerów Raspberry Pi 5, oznaczona symbolem U2500, umożliwia rozbudowę systemu o dwa porty 2.5GbE Ethernet i moduł pamięci SSD M.2 NVMe (M-key) w rozmiarze 2230/2242. Została zaprojektowana do realizacji m.in. web serwerów i projektów IoT na bazie Raspberry Pi 5. Porty Ethernet oparto na chipsecie Realtek RTL8156BG. W celu zapewnienia krótkiego czasu dostępu moduł



SSD M.2 jest podłączony bezpośrednio do portu PCIe minikomputera, obsługującego standardy Gen2 i Gen3.

Moduł jest montowany bezpośrednio do Raspberry Pi 5 za pomocą 4 otworów, co pozostawia do dowolnego wykorzystania 40-pinowe gniazdo GPIO. Nakładka pobiera zasilanie z portu USB. Produkt jest dostarczany w komplecie ze śrubkami i słupkami montażowymi, kablami PCIe, śrubką montażową do dysku SSD i śrubokrętem. Cena zestawu wynosi 49,99 USD.

www.52pi.com



Magnetyczny czujnik przemieszczenia 3D z interfejsami PWM i SENT

HAL/HAR 3936 to magnetyczny czujnik przemieszczenia 3D, pracujący w oparciu na efekcie Halla i umożliwiający odczyt zewnętrznych sygnałów cyfrowych (PWM, przełączających) oraz ich transmisję przez interfejs SENT wraz z danymi pomiarowymi. Może być stosowany w przemyśle i motoryzacji, np. do wykrywania położenia dźwigni zmiany biegów, pedału hamulca czy kolumny kierowniczej. Spełnia wymogi normy ISO 26262 w zakresie bezpieczeństwa funkcjonalnego w pojazdach. Dodatkowym atutem tego modelu jest wbudowany tryb oszczędnościowy, pozwalający ograniczyć pobór mocy przy braku aktywności.

HAL/HAR 3936 charakteryzuje się zakresem pomiarowym od 10 mT do 200 mT i błędem kątowym ±0,6°@10 mT. Jest dostępny w wersji redundantnej (dual-die) o podwyższonym poziomie bezpieczeństwa, oznaczonej symbolem the HAR 3936-4100 – w tym przypadku dwie wewnętrzne struktury mierzą natężenie pola magnetycznego niezależnie od siebie. Układ może wyprowadzać sygnał wyjściowy za pomocą interfejsu PWM lub SENT oraz zawiera wyjście przełączające z otwartym drenem, co zwiększa elastyczność aplikacyjną. W trybie SENT zapewnia zgodność ze standardami SAE J2716 rev. 4. Sensor może być stosowany do pomiaru przemieszczenia liniowego w zakresie 35 mm i kąta obrotu w zakresie 360° oraz zapewnia odporność na zewnętrzne pola zakłócające, generowane przez silniki elektryczne i linie zasilające. Układ jest przystosowany do pracy w szerokim zakresie temperatury otoczenia (od –40 do +150°C) i występuje w obudowach SOIC-8 (wariant single-die) oraz SSOP16 (wariant dual-die).

www.micronas.tdk.com

eprasa.pl 0914c66f57

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.

Wizytówka kopiująca karty NFC



System zaprojektowano do szybkiego kopiowania kart NFC. Nie jest to unikatowa zdolność – podobne rozwiązania oczywiście istnieją, ale są dosyć duże – z pewnością nie da się ich umieścić w kieszeni i łatwo przenosić. Natomiast ten niewielki projekt ma formę wizytówki i jest na tyle kompaktowy, że mieści się w portfelu.

Urządzenie bazuje na układzie PN7160 firmy NXP do odczytu, zapisu i emulacji chipów NFC, a moduł ESP32-S3 kontroluje wszystko przez I²C. Jak podaje autor, kod programu do obsługi urządzenia jest jeszcze na etapie tworzenia. Jako że obecnie twórca wizytówki kopiującej pisze pracę magisterską i nie ma zbyt wiele czasu na pracę nad swoim dziełem, warto dodać projekt do obserwowanych, aby śledzić dalsze postępy.

W obecnym projekcie antena NFC może nie być idealnie dostrojona, ponieważ w momencie jej konstruowania autor nie dysponował jeszcze doświadczeniem w pracach nad systemami RF.

Na interfejs użytkownika składają się trzy przyciski i trzy diody LED. Twórca planuje jednak rozszerzyć go w przyszłych wersjach o monochromatyczny wyświetlacz i większą liczbę przycisków. W miarę rozwoju projektu prawdopodobnie dodana zostanie również karta microSD do przechowywania danych skopiowanych z kart NFC.

W tej chwili programowanie modułu odbywa się poprzez port USB-C przy użyciu interfejsu USB wbudowanego w ESP32-S3. W przyszłych wersjach port USB-C ma zostać usunięty, a moduł będzie programowany i ładowany przez pady na spodniej stronie płytki.

Cała karta (z portem USB-C, ale bez akumulatora) ma grubość 4,2 mm. Bez portu USB-C zmniejsza się do 3,35 mm, a zmiana przycisków na cieńsze (które autor początkowo planował wykorzystać, ale nie były one wtedy dostępne) pozwoli zredukować grubość „wizytówki" do 1,9 mm. Wtedy, nawet razem z cienką baterią, grubość całego urządzenia nie przekroczy 3 mm.

https://tiny.pl/xxbkt0f0

Urządzenie do ataku retransmisyjnego (i nie tylko) w paśmie Sub-GHz



Zaprezentowany tutaj projekt Daeva to najnowsze dzieło jego autora. Jest to wszechstronne urządzenie przeznaczone do skanowania, kopiowania i odtwarzania sygnałów w zakresach częstotliwości 315, 433, 868 oraz 915 MHz. Na stronie projektu, dostępnej na portalu Hackaday, autor prezentuje, w jaki sposób zbudował on Daeva i opisuje jego możliwości, w tym skanowanie pasma RF i realizację ataków retransmisyjnych.

Daeva to uniwersalne narzędzie do weryfikacji zabezpieczeń, o wielu zastosowaniach: od testów bezpieczeństwa po analizę sygnałów radiowych. Urządzenie zbudowane zostało w oparciu na wydajnym mikrokontrolerze ESP32 i zawiera kilka zaawansowanych funkcji, które zwiększają jego funkcjonalność, a także ułatwiają obsługę.

Sercem Daevy jest mikrokontroler ESP32 zawarty w module WROOM-32U. W przeciwieństwie do poprzednich projektów, w których autor korzystał ze standardowych modułów ESP32, kompaktowy WROOM-32U zajmuje mniej miejsca na PCB.

W module zintegrowano gniazdo kart microSD, aby ułatwić aktualizacje oprogramowania i przechowywanie danych, co otwiera przed urządzenie na aktualizacje i dodawanie funkcji w przyszłości.

Układ ma wbudowany wyświetlacz OLED. Został on zintegrowany z płytką, dzięki czemu udało się zaoszczędzić miejsce na niej, a jednocześnie zapewnić czystszy i wygodniejszy interfejs użytkownika.

W celu zarządzania systemem, monitorowania go i programowania, moduł wyposażono w interfejs szeregowy i chip CP2102, umożliwiający podłączenie go do portu USB. Dostarczanie stabilnego zasilania ma szczególne znaczenie dla parametrów systemu RF w Daeva. Do przetwarzania napięcia wejściowego (5 V) na niezbędne napięcie 3,3 V dla ESP32 i innych komponentów autor użył stabilizatora LF33. Dodatkowo, aby umożliwić ładowanie wbudowanego akumulatora litowego, w systemie zaimplementowano moduł ładowarki oparty na kontrolerze TP4056.

Do nawigacji w menu Daeva używa pięciu mikroprzełączników SMD i enkodera obrotowego. Serce funkcjonalności urządzenia stanowi niedrogi transceiver CC1101 przeznaczony do komunikacji w paśmie poniżej 1 GHz. Jest on idealny do zastosowań bezprzewodowych o małej mocy.

Jednym z głównych wyróżników Daeva jest zdolność skanowania sygnałów RF i wyświetlania ich częstotliwości na ekranie OLED. Ta funkcja okazuje się niezwykle przydatna w różnych zastosowaniach, takich jak testowanie bezpieczeństwa czy analiza sygnałów. Urządzenie oferuje dwa rodzaje reprezentacji graficznych, pozostawiając użytkownikom wybór pomiędzy szczegółowym widmem częstotliwości a prostszym wykresem – w zależności od tego, który format wyświetlania najlepiej odpowiada ich potrzebom.

Drugą ważną cechą Daeva okazuje się możliwość wykonania ataku retransmisyjnego. Ta funkcja jest szczególnie przydatna do testowania bezpieczeństwa systemów bezprzewodowych, takich jak bramy garażowe i inne zdalnie sterowane urządzenia. Daeva może przechwycić sygnał o zadanej częstotliwości i zapisać go do późniejszego wykorzystania. Po zainicjowaniu ataku Daeva retransmituje przechwycony sygnał, skutecznie odtwarzając pierwotną akcję wywołaną nim. Możliwość ta jest niezbędna do zrozumienia potencjalnych luk w zabezpieczeniach systemów bezprzewodowych i opracowania bezpieczniejszych projektów.

https://tiny.pl/30-4qmnw

eprasa.pl 0914c66f57

PCBWay

POZNAJ NOWE MOŻLIWOŚCI PCB



Możliwości PCB:



HDI PCB
Od 349,68 USD

- Nawet do 60 warstw
- Materiały: standardowy FR-4, high Tg, bezhalogenowy, teflon (PTFE)
- Bezpłatny raport z inspekcji PCB



Flex, Rigid-Flex PCB
Od 46,74 USD

- Obwody giętkie nawet do 16 warstw
- Elastyczny poliamid, PET, laminaty RF
- Grubość FPC 0,025-≥0,4 mm

Cena specjalna!



Prototypy PCB
Od 5 USD za 10 sztuk

- Min. zamówienie: 5 sztuk
- 24-godzinny czas produkcji
- Wiele opcji kolorystycznych

www.pcbway.com

service@pcbway.com

eprasa.pl 0914c66f57

W ofercie AVT*
AVT6059

Najważniejsze parametry:
- źródło napięcia zasilania: bateria CR2032,
- teoretyczny czas pracy na jednej baterii zasilającej: 14 miesięcy*,
- zakres pomiarowy opcjonalnego termometru: 0...55°C,
- dokładność pomiaru temperatury: 0,5°C,
- rozdzielczość pomiaru temperatury: 0,1°C.

* szczegóły w tekście artykułu

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.ulubionykiosk.pl/media

AVT6043	matrixClock – efektowny zegar stołowy (EP 6–7/2024)
----	Energooszczędny zegar LED (EP 4/2023)
----	Ogromny zegar LCD bez procesora (EP 7/2022)
AVT5920	Licznik czasu pracy z wyświetlaczem LCD (EP 1/2022)
AVT5906	Clock (EP 12/2021)
----	Zegar na rękę (EP 12/2020)

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

- **wersja [C]** – zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw **[B]** (elementy wlutowane w płytkę PCB),
- **wersja [A]** – płytka drukowana bez elementów i dokumentacji.

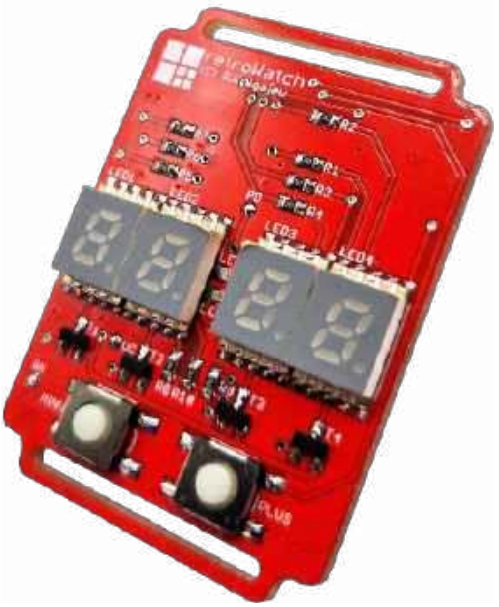
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- **wersja [A+]** – płytka drukowana **[A]** + zaprogramowany układ **[UK]** i dokumentacja,
- **wersja [UK]** – zaprogramowany układ.

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

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

retroWatch
– zegarek naręczny w stylu retro

W dzisiejszych czasach, gdy postęp w dziedzinie elektroniki użytkowej nabiera rozpędu w sposób co najmniej geometryczny, u wielbicieli klasycznej techniki coraz częściej dochodzą do głosu nuty nostalgii. Materializują się one w postaci urządzeń nawiązujących do stylu retro. I co ciekawe, mimo oczywistej prostoty, jak i nieprzystawania do dzisiejszych możliwości (a zapewne również do części oczekiwań), konstrukcje te z powodzeniem zdobywają coraz większą rzeszę zwolenników.



Przypomina mi to sytuację z branży modowej, w której można zauważyć pewne cykliczne powroty popularności danego stylu – i nikt nie zgłasza żadnych wątpliwości co do takiego zjawiska. Pamiętać wszak należy, iż rynkiem rządzi popyt, a on – jak widać – polubił się na dobre ze stylem retro. Dokładnie w te oczywiste oczywistości (jak by powiedział klasyk) wpisuje się mój najnowszy projekt: naręczny zegarek LED, którego pierwowzorem był czasomierz firmy Unitra Warel o oznaczeniu DW-2005, wprowadzony na rynek w latach 80. Owego czasu stał się on bardzo popularny, a to za sprawą generała Mirosława Hermaszewskiego, który właśnie z tym modelem odbył swój pierwszy (i jedyny) lot w kosmos. Dzisiaj urządzenia tego typu, zwłaszcza w stanie kolekcjonerskim, potrafią osiągać na portalach sprzedażowych cenę kilku tysięcy złotych – i nic nie wskazuje, by miało się to zmienić, wszak tych egzemplarzy jest coraz mniej. Właśnie dlatego – na bazie wspomnień i nostalgii – powstał niniejszy projekt, którego schemat ideowy pokazano na **rysunku 1**.

Sercem układu jest mikrokontroler ATtiny416, taktowany wewnętrznym oscylatorem o częstotliwości 1 MHz. Jak nietrudno się domyślić, głównym wyzwaniem przy projektowaniu zegarka była chęć minimalizacji zużycia energii, a co za tym idzie – wydłużenia czasu pracy na jednym ogniwie zasilającym. Mikrokontroler nasz realizuje obsługę 7-segmentowego wyświetlacza LED o organizacji 4 znaków w konfiguracji wspólnej anody (wyprowadzenia PC3…PC0 mikrokontrolera). Korzysta w tym celu z wbudowanego układu czasowo-licznikowego TCA0, który – pracując w trybie NORMAL – wywołuje stosowne przerwanie systemowe (od przepełnienia → TCA0_OVF_vect) 240 razy na sekundę (czyli 60 razy dla każdej wspólnej anody), obsługując właściwy mechanizm multipleksowania. Ponadto mikrokontroler obsługuje prostą klawiaturę złożoną z przycisków PLUS i MINUS, korzystając z wbudowanego układu czasowo-licznikowego TCB0, który pracując w trybie PERIODIC_INTERRUPT, wywołuje przerwanie od przepełnienia (TCB0_INT_vect) 100 razy na sekundę (co 10 ms), przez co – po pierwsze – zapewniona została nieblokująca obsługa klawiatury systemowej z eliminacją zjawiska drgania styków, a po drugie – możliwa stała się obsługa krótkiego i długiego naciśnięcia przycisków. Ostatnią i zarazem fundamentalną funkcjonalnością naszego mikrokontrolera jest zegar czasu rzeczywistego RTC. Zwykle funkcjonalność taką realizuje się, implementując jakiś sprzętowy zegar czasu rzeczywistego (na przykład DS1307 lub MCP79410), lecz w naszym systemie stawiamy na minimalizację zużycia energii, w związku z czym zrealizujemy ją z użyciem wbudowanego w strukturę mikrokontrolera układu RTC. Pracując w trybie PERIODIC_INTERRUPT, wywołuje on przerwanie od przepełnienia (RTC_PIT_vect) raz na sekundę, a tym samym realizuje funkcjonalność zegara RTC. Co więcej, oscylator wspomnianego zegara RTC, taktowany zewnętrznym rezonatorem kwarcowym o częstotliwości 32,768 kHz, pracować może podczas trybu Power Down mikrokontrolera, przez co możliwa stała się realizacja zegara RTC w każdym trybie jego pracy. Tak naprawdę

Ustawienia Fuse-bitów
FREQSEL[1:0]: 01
RSTPINCFG[1:0]: 01*
SUT[2:0]: 111*
EESAVE: 0*
* – ustawienie domyślne producenta

Wykaz elementów:

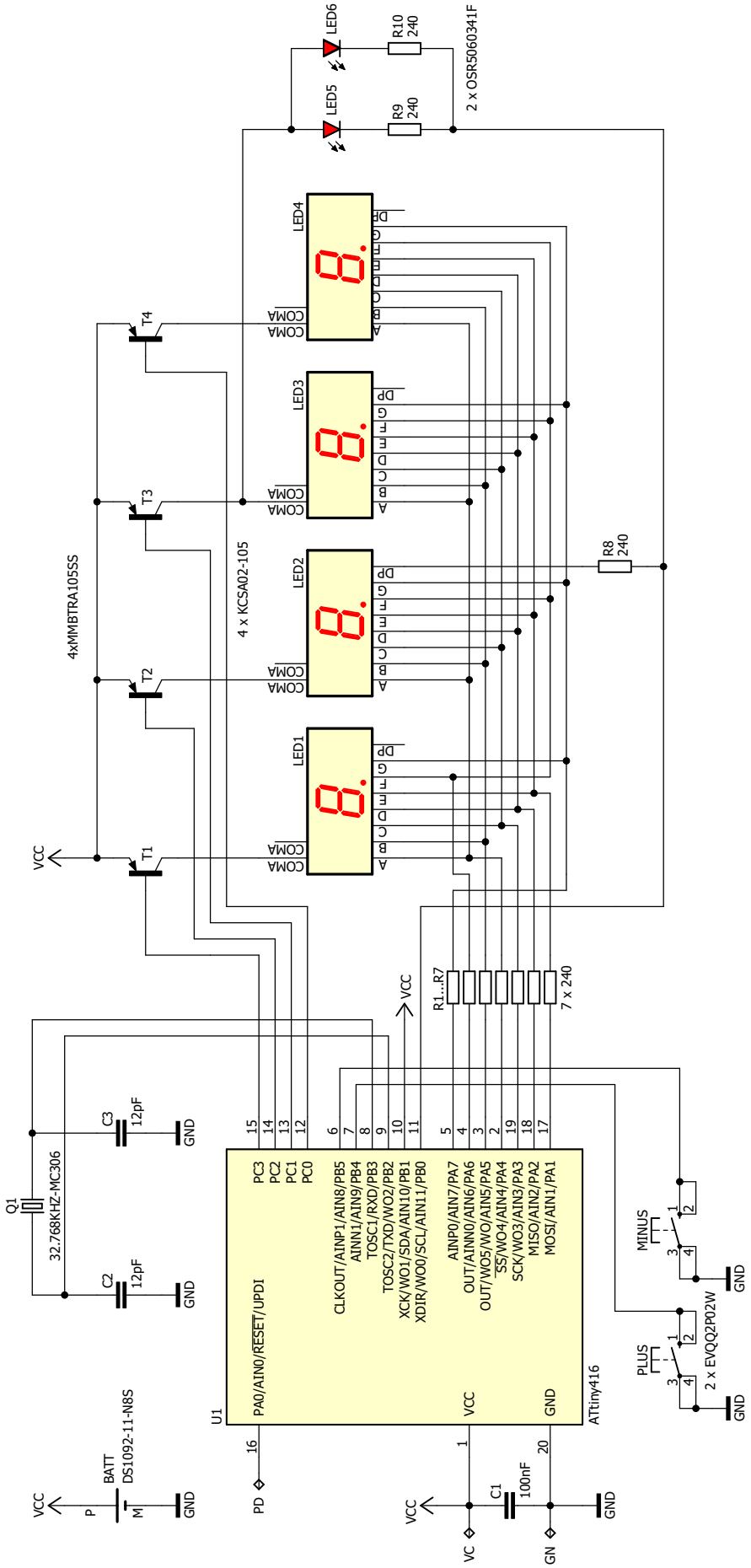
Rezystory: (SMD 0603)
R1...R10: 240 Ω

Półprzewodniki:
U1: ATtiny416 (SO20)
T1...T4: MMBTRA105SS (SOT23)
LED1...LED4: wyświetlacz 7-segmentowy 0,2", wspólna anoda (typ KCSA02-105)
LED5, LED6: dioda LED SMD czerwona typu OSR5060341F (SMD 0603)

Kondensatory: (SMD 0603)
C1: 100 nF (X7R)
C2, C3: 12 pF (X7R)

Pozostałe:
Q1: rezonator kwarcowy zegarkowy SMD 32768 Hz (typ 32.768KHZ-MC306)
PLUS, MINUS: mikroprzełącznik TACT SMD (typ EVQQ2P02W)
BATT: koszyczek baterii CR2032 SMD (typ DS1092-11-N8S)
VCC: bateria CR2032

eprasa.pl 0914c66f57



Rysunek 1. Schemat ideowy urządzenia

skrajnie niski prąd trybu Power Down rzędu 300 nA (przy taktowaniu mikrokontrolera równym 1 MHz) sprawia, iż opisane rozwiązanie jest dużo korzystniejsze energetycznie, niż stosowanie zewnętrznego zegara RTC (na przykład sterowanego magistralą I²C). Oczywiście wymusza to na nas drobiazgowe przemyślenie stosownych funkcji sterujących, lecz gra warta jest świeczki. Jako że jest to temat ciekawy, poniżej zaprezentuję moduł obsługi zegara RTC nowoczesnych mikrokontrolerów ATtiny 1-series. Na początek plik nagłówkowy, który pokazano na **listingu 1**, a dzięki któremu porządkujemy późniejszy kod źródłowy, czyniąc go bardzo czytelnym – i jednocześnie upraszczamy proces wprowadzania ewentualnych zmian. Plik ten definiuje główne ustawienia sprzętowe oraz wprowadza niezbędne zmienne.

Jak widać, wprowadzono nowy typ danych o nazwie clockType, który integruje w sobie ustawienia zegara czasu rzeczywistego RTC. Dalej, na **listingu 2**, pokazano ciało funkcji, która zwraca wartość maksymalnego indeksu dnia miesiąca dla miesiąca i roku, które są argumentami jej wywołania. Funkcja ta znajduje zastosowanie podczas ustawiania daty zegara RTC.

W tym momencie warto podkreślić, iż konfiguracja RTC wymaga zapisu wartości rejestrów konfiguracyjnych mikrokontrolera, które chronione są przed przypadkową modyfikacją za pomocą rejestru CCP (Configuration Change Protection). Zapis taki musi być poprzedzony wpisem odpowiedniej sygnatury (zezwolenia) do rejestru CCP, po czym, w ciągu 4 taktów zegara mikrokontrolera, musi nastąpić wpisanie wartości modyfikowanego rejestru. Do realizacji takiego zapisu przewidziano funkcję pokazaną na **listingu 3**. Z kolei na **listingu 4** pokazano ciało funkcji konfigurującej układ RTC jako zegar wywołujący przerwanie PIT co 1 sekundę. I na sam koniec, na **listingu 5**, pokazano ciało funkcji realizującej mechanizm zegara RTC.

Tak jak to zostało powiedziane na wstępie, procedura obsługi przerwania zegara RTC wywoływana jest również w trybie Power Down mikrokontrolera (wybudzając go), dzięki czemu możliwa stała się realizacja energooszczędnego zegara RTC wyłącznie przy użyciu zasobów naszego układu, bez udziału peryferiów zewnętrznych.

Schemat montażowy urządzenia pokazano na **rysunku 2**. Przyznać muszę, że w kwestii obwodu drukowanego nie miałem wiele do powiedzenia – jeśli wziąć pod uwagę konieczność jego minimalizacji, a także chęć nawiązania do pierwowzoru. Wszystko to spowodowało, że projekt wymagał sporo uwagi podczas implementacji i nie był tak łatwy do opracowania, jak mogłoby się wydawać. Finalnie powstał obwód drukowany pokazany na rysunku 2,

eprasa.pl 0914c66f57

```
typedef struct
{
    volatile uint8_t Year;  //0..99
    volatile uint8_t Month;  //0..11
    volatile uint8_t Day;  //0..30
    volatile uint8_t Hour;  //0..23
    volatile uint8_t Minute;  //0..59
    volatile uint8_t Second;  //0..59
} clockType;


//Zmienne globalne modułu
extern clockType Clock;

//Wartości maksymalnych indeksów dni poszczególnych miesięcy roku
extern const uint8_t maxDayIndex[];


//Prototypy funkcji
void writeCCP(volatile uint8_t *Register, uint8_t Value);
uint8_t getDayLimit(uint8_t Year, uint8_t Month);
void RTCinit(void);
```

Listing 1. Plik nagłówkowy zegara RTC mikrokontrolerów ATtiny 1-series

który w zamierzeniach miał odwzorowywać kształtem typowy zegarek naręczny, umożliwiając montaż paska o szerokości 22 mm (poprzez jego przełożenie przez przygotowane „uszy”). Montaż urządzenia rozpoczynamy od warstwy TOP, na której w pierwszej kolejności przylutowujemy diody LED (LED5 i LED6), następnie montujemy wyświetlacze 7-segmentowe LED typu SMD (LED1...LED4), tranzystory sterujące (T1…T4), a na samym końcu elementy bierne oraz przyciski SMD PLUS i MINUS. W tym momencie przechodzimy na warstwę BOTTOM, gdzie w pierwszej kolejności montujemy mikrokontroler o dość

```
uint8_t getDayLimit(uint8_t Year, uint8_t Month)  //Year: 0...99, Month: 0..11
{
    uint8_t dayLimit;

    //Ustalamy maksymalny index dni dla miesiąca i roku będących argumentem funkcji
    dayLimit = pgm_read_byte(&maxDayIndex[Month]);

    //Dla Lutego wyznaczamy wspomniany index w zależności od tego czy rok jest przestępny czy też nie
    if(Month == 1)
    {
        if(((Year+2000)%4 == 0 && (Year+2000)%100 != 0) || (Year+2000)%400 == 0) dayLimit = 28; else dayLimit = 27;
    }

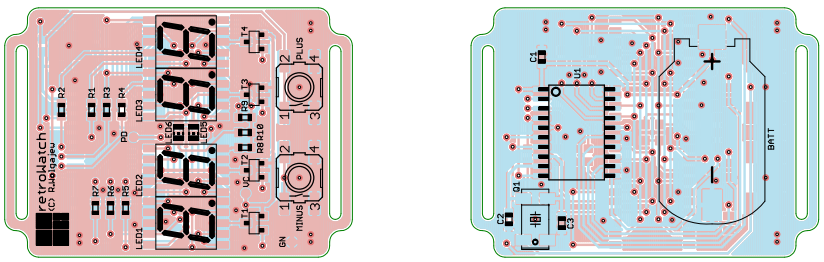
    return dayLimit;
}
```

Listing 2. Funkcja zwracająca wartość maksymalnego indeksu dnia miesiąca dla miesiąca i roku, które są argumentami jej wywołania

```
void writeCCP(volatile uint8_t *Register, uint8_t Value)
{
    ATOMIC_BLOCK(ATOMIC_RESTORESTATE)
    {
        CCP = CCP_IOREG_gc;  //Zezwolenie na zapis do CCP
        *Register = Value;  //Zapis do chronionego rejestru
    }
}
```

Listing 3. Funkcja realizująca zapis rejestrów mikrokontrolera chronionych przed modyfikacją

gęstym rastrze wyprowadzeń. Proces ten najłatwiej przeprowadzić przy użyciu stacji lutowniczej na gorące powietrze, jeśli jednak nie dysponujemy tego rodzaju sprzętem, można również zastosować metodę z użyciem typowej stacji lutowniczej, dobrej jakości cyny z odpowiednią ilością topnika oraz dość cienkiej plecionki rozlutowniczej, która umożliwi usunięcie nadmiaru cyny spomiędzy wyprowadzeń układów. Dalej lutujemy elementy bierne, rezonator i – na samym końcu – koszyczek baterii CR2032 (element BATT). Poprawnie zmontowane urządzenie nie wymaga żadnych procedur uruchomieniowych i powinno działać po włączeniu zasilania. Na **fogotrafii 1** pokazano zmontowane urządzenie retroWatch od strony warstwy



Rysunek 2. Schemat montażowy (a – strona TOP, b – strona BOTTOM)

```
void RTCinit(void)
{
    uint8_t regValue;

    //Inicjalizujemy oscylator 32.768 Hz. Na początek wyłączamy go, by przeprowadzić niezbędne konfiguracje
    regValue = CLKCTRL.XOSC32KCTRLA;
    regValue &= ~CLKCTRL_ENABLE_bm;
    writeCCP(&CLKCTRL.XOSC32KCTRLA, regValue);
    //Czekamy, aż bit XOSC32KS przyjmie wartość 0 potwierdzając wykonanie zapisu
    while(CLKCTRL.MCLKSTATUS & CLKCTRL_XOSC32KS_bm);


    //Uruchamiamy oscylator 32768 Hz
    regValue = CLKCTRL.XOSC32KCTRLA;
    regValue |= CLKCTRL_ENABLE_bm;
    writeCCP(&CLKCTRL.XOSC32KCTRLA, regValue);

    //Zanim dokonamy jakichkolwiek modyfikacji ustawień zegara RTC czekamy na synchronizację jego rejestrów
    while(RTC.STATUS > 0);
    //Wybieramy rezonator kwarcowy 32.768 Hz, jako źródło taktowania zegara RTC
    RTC.CLKSEL = RTC_CLKSEL_TOSC32K_gc;
    //Czekamy na synchronizację rejestru RTC.PITCTRLA zanim dokonamy jego modyfikacji
    while(RTC.PITSTATUS > 0);
    //Wybieramy preskaler dla zegara RTC powodując, że przerwanie będzie zachodzić co 1s oraz uruchamiamy go
    RTC.PITCTRLA = RTC_PERIOD_CYC32768_gc|RTC_PITEN_bm;
    //Zezwalamy na przerwanie PIT zegara RTC (Periodic Interrupt)
    RTC.PITINTCTRL = RTC_PI_bm;
}
```

Listing 4. Ciało funkcji konfigurującej układ RTC jako zegar wywołujący przerwanie PIT co 1 sekundę

eprasa.pl 0914c66f57

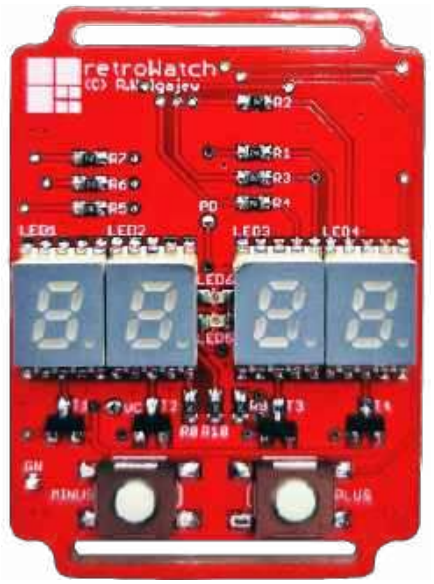
```
ISR(RTC_PIT_vect)
{
    uint8_t dayLimit;

    //Czyścimy flagę przerwania, gdyż nie jest kasowana sprzętowo
    RTC.PITINTFLAGS = RTC_PI_bm;

    //Realizujemy mechanizm zegara RTC
    if(++Clock.Second == 60)
    {
        Clock.Second = 0;
        if(++Clock.Minute == 60)
        {
            Clock.Minute = 0;
            if(++Clock.Hour == 24)
            {
                Clock.Hour = 0;
                //W tym momencie ustalamy maksymalny index dnia dla bieżącego roku i miesiąca
                dayLimit = getDayLimit(Clock.Year, Clock.Month);

                if(++Clock.Day > dayLimit)  //To był ostatni dzień bieżącego miesiąca
                {
                    Clock.Day = 0;
                    if(++Clock.Month == 12)
                    {
                        Clock.Month = 0;
                        if(++Clock.Year == 100) Clock.Year = 0;
                    }
                }
            }
        }
    }
}
```

Listing 5. Ciało funkcji realizującej mechanizm zegara RTC



Fotografia 1. Zmontowane urządzenie retroWatch od strony warstwy TOP



Fotografia 2. Zmontowane urządzenie retroWatch od strony warstwy BOTTOM

TOP, zaś na **fotografii 2** – od strony warstwy BOTTOM.

Obsługa

Przejdźmy zatem do tematu obsługi naszego urządzenia. Tu sprawa jest niezmiernie prosta. Standardowo zegarek większość czasu przebywa w stanie uśpienia, oszczędzając energię baterii zasilającej. Wybudzenie go następuje w dwóch przypadkach:

1. Na skutek wystąpienia przerwania zegara RTC wywoływanego co 1 sekundę, podczas którego mikrokontroler realizuje programową implementację zegara czasu rzeczywistego i po zakończeniu którego ponownie przechodzi do trybu uśpienia.
2. Na skutek naciśnięcia któregokolwiek z przycisków funkcyjnych (PLUS lub MINUS), po którym to mikrokontroler zaczyna prezentować na wyświetlaczu LED informacje stosowne do bieżącego ustawienia menu.

Wybudzenie urządzenia powoduje przejście do funkcji jego obsługi. Jako że chciałem, by urządzenie retroWatch naśladowało funkcjonalność pierwowzoru produkcji Unitry Warel, nie zdecydowałem się (mimo dostępnej, wolnej pamięci Flash) na wzbogacenie jego funkcjonalności – w związku z czym dostępne są wyłącznie 3 podstawowe tryby pracy zegarka, pokazujące na wyświetlaczu LED następujące informacje:

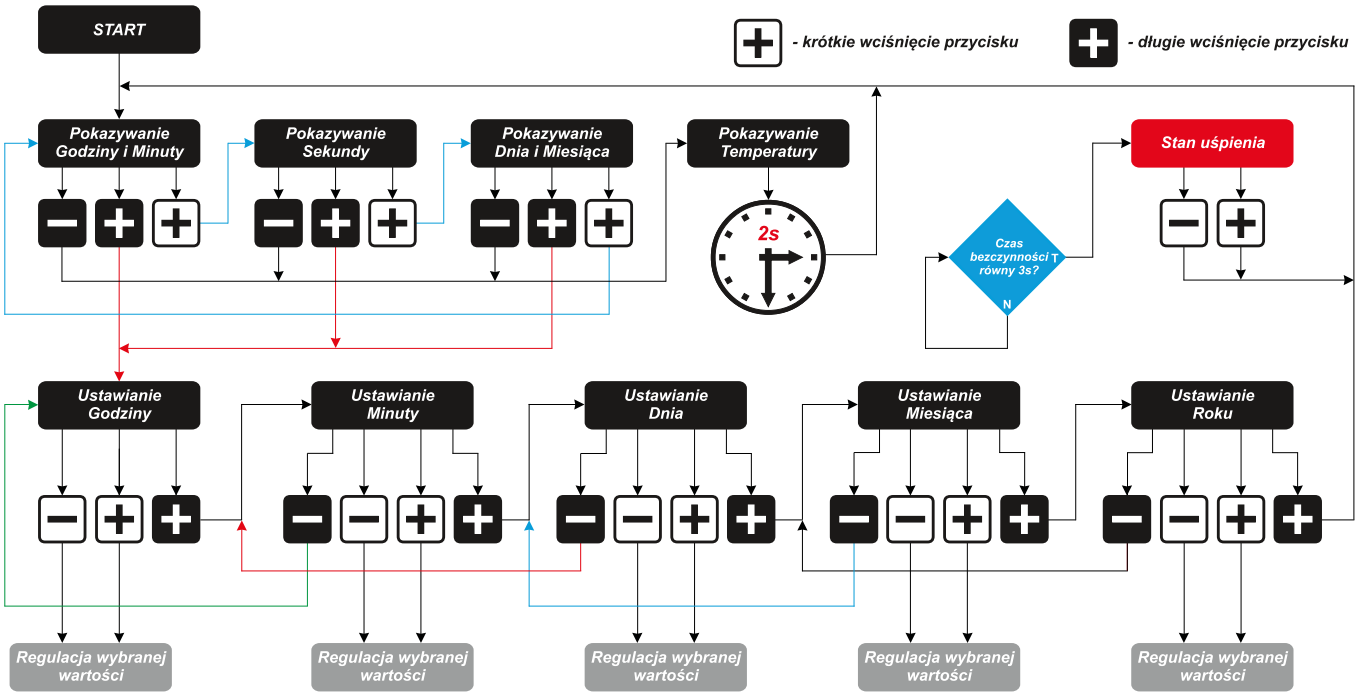
1. Godzinę i minutę,
2. Sekundę,
3. Dzień i miesiąc roku.

Przechodzenie pomiędzy wspomnianymi trybami (w pętli) następuje na skutek krótkiego naciśnięcia przycisku PLUS. Długie naciśnięcie przycisku PLUS powoduje z kolei przejście urządzenia w tryb ustawień, w którym konfiguracji podlegają następujące dane: godzina, minuta, dzień, miesiąc i rok. W tym trybie pracy urządzenia bieżąca funkcjonalność wspomnianych przycisków funkcyjnych zależy w dużej mierze od miejsca w systemie menu, w jakim się ono znajduje. Biorąc pod uwagę, że rozpoznawane jest zarówno krótkie, jak i długie naciśnięcie każdego z nich, nie sposób skrótowo opisać tego zagadnienia – w związku z czym na **rysunku 5** pokazano diagram obrazujący sposób obsługi zegarka retroWatch oraz dostępne opcje menu.

Warto również podkreślić, że zegarek wyposażono dodatkowo w mechanizm wykrywania bezczynności po stronie użytkownika (co ważne, nieaktywny w trybie konfiguracji), który powoduje przejście do stanu uśpienia po 3 sekundach braku obsługi. Poza tym, odchodząc niejako od funkcjonalności pierwowzoru (i tu przepraszam konserwatywnych użytkowników), wyposażyłem układ w opcjonalną możliwość pomiaru temperatury za pomocą zewnętrznego termometru scalonego typu LM35, podłączonego do portu UPDI/RESET (PA0) mikrokontrolera w sposób pokazany na **rysunku 6**.

Celowo nie przewidziałem na płytce urządzenia miejsca na tego rodzaju termometr scalony, gdyż chciałem zachować minimalistyczny i zgodny z oryginałem charakter czasomierza. Uważny Czytelnik dostrzeże jednak w tym momencie pewną sprzeczność, jeśli chodzi o wybór wyprowadzenia UPDI/RESET jako realizującego obsługę opcjonalnego termometru. I słusznie. Wyprowadzenie, o którym mowa, standardowo skonfigurowane jest do obsługi programowania mikrokontrolera (dzięki stosownemu ustawieniu fuse-bitu FUSE.SYSCFG0.RSTPINCFG[1:0]) i w takim wypadku nie nadaje się do realizacji jakiejkolwiek funkcjonalności czy też magistrali danych. Co prawda nawet w takiej (domyślnej) konfiguracji możliwe jest odczytywanie zarówno stanu tegoż wyprowadzenia, jak i napięcia na współdzielonym kanale AIN0 przetwornika ADC (mając w pamięci, że pin podciągnięty jest do VCC), lecz już niemożliwe byłoby manipulowanie kierunkiem tego pinu bądź występującym na nim stanem logicznym. W takim wypadku, aby możliwa stała się realizacja obsługi termometru LM35, konieczne jest przestawienie (za pomocą zaprogramowania fuse-bitu FUSE.SYSCFG0.RSTPINCFG[1:0]) funkcji wyprowadzenia UPDI/RESET jako normalnego portu I/O. Jednak należy mieć na uwadze, że po wykonaniu takiej operacji wejście w tryb programowania wymagać będzie programatora HV (wysokonapięciowego), w związku z czym w pierwszej kolejności należy wgrać wsad do pamięci Flash mikrokontrolera, a dopiero w drugim

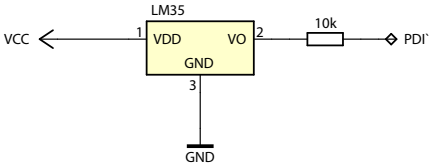
eprasa.pl 0914c66f57



Rysunek 3. Diagram obrazujący sposób obsługi układu oraz dostępne opcje menu

kroku przestawić fuse-bit FUSE.SYSCFG0. RSTPINCFG[1:0]. Tyle w kwestii obsługi. Na koniec kilka słów komentarza należy się tematyce energooszczędności urządzenia i czasu pracy na jednej baterii CR2032 o typowej pojemności w granicach 240 mAh. Aby ocenić, jak długo urządzenie retroWatch pracować będzie na pojedynczej baterii CR2032, należy zastanowić się, z jakich etapów składa się cykl jego pracy i jakiej wielkości prądy pobiera wtedy ze źródła napięcia zasilającego. Przystępując do obliczeń, przyjąłem następujący podział cyklu pracy urządzenia:

- czas trybu Power Down (uśpienia), który trwa z dużym przybliżeniem 24 h/dobę i podczas którego pobierany jest prąd rzędu 0,8 µA,
- czas obsługi przerwania od zegara RTC, który trwa średnio około 40 µs i podczas



Rysunek 4. Sposób podłączenia czujnika temperatury do portu UPDI mikrokontrolera

którego pobierany jest prąd rzędu 500 µA (prąd mikrokontrolera w trybie Active Mode),

- czas aktywnej pracy urządzenia (załączenia wyświetlacza LED), który trwa 3 s i podczas którego pobierany jest prąd rzędu 22 mA.

Założyłem ponadto, że wybudzanie urządzenia (za pomocą klawiatury) i następująca po nim aktywność wyświetlacza LED zachodzi 30 razy na dobę. Przy założeniach jak wyżej otrzymałem teoretyczny, ponad 14-miesięczny czas pracy na pojedynczej baterii CR2032, co wydaje się wartością rewelacyjną (i – w gruncie rzeczy – podobną do pierwowzoru firmy Unitra Warel). Aby zorientować się, w jaki sposób dokonałem stosownych obliczeń, które pozwoliły mi oszacować czas pracy na baterii CR2032, należy spojrzeć do **tabeli 1**, w której zgromadzono wszystkie niezbędne dane.

I na koniec, wyłącznie dla porządku dodam, że mikrokontroler monitoruje na bieżąco poziom napięcia zasilania układu (w czasie jego aktywności), a w przypadku jego nieodpowiedniej wartości (czyli poniżej 1,8 V) wyświetla komunikat „BATT”, po czym usypia urządzenie.

Robert Wołgajew, EP

Tabela 1. Dane wejściowe niezbędne do oceny czasu pracy urządzenia na jednej baterii CR2032

Tryb pracy	Czas [s]	Prąd [mA]	Zużyta energia [mAh]	Liczba cykli pracy na dobę	Sumaryczna zużyta energia [mAh]	Uwagi
Uśpienie (Power Down)	86400	0,0008	0,0192	1	0,0192	24 h/dobę
Wyświetlacz LED załączony	3	22	0,018	30	0,55	
Obsługa zegara RTC (przerwania)	0,00004	0,5	$5{,}5 \cdot 10^{-9}$	86400	0,0005	86400 cykli (co 1 sekundę) po 40 µs (średni czas obsługi)
				SUMA na dobę [mAh]	**0,57**	

REKLAMA

Mnóstwo doskonałych projektów, tylko na: **www.ep.com.pl**

eprasa.pl 0914c66f57



Wygraj zestaw startowy dsPIC33C Digital Power Starter Kit

W najnowszym konkursie organizowanym przez firmę Microchip pod patronatem miesięcznika „Elektronika Praktyczna" możesz wygrać zestaw startowy dsPIC33C Digital Power (DM330017-3) – a jeśli szczęście tym razem Ci nie dopisze, otrzymasz nagrodę pocieszenia: 15% kupon rabatowy oraz bezpłatną wysyłkę jednego z tych zestawów.

Zestaw startowy dsPIC33C Digital Power demonstruje możliwości oraz funkcje rodziny układów Microchip przeznaczonych do aplikacji w zasilaczach impulsowych (SMPS).

Nowoczesne zasilacze stają się mniejsze, wydajniejsze, bardziej elastyczne i tańsze. Ulepszenia te pojawiły się wraz z wprowadzeniem cyfrowych kontrolerów sygnału (DSC) do projektów zasilaczy impulsowych (SMPS). Płytka wchodząca w skład zestawu ma na celu demonstrację możliwości rodziny układów SMPS firmy Microchip. Zestaw startowy dsPIC33C Digital Power zawiera wbudowany procesor sygnałowy (DSC) typu dsPIC33CK256MP505, końcówki mocy SMPS, obciążenia rezystancyjne, wyświetlacz LCD oraz mostek USB/UART. Konstrukcja obejmuje ponadto programator/debugger, który eliminuje potrzebę stosowania dodatkowego interfejsu sprzętowego.

Jednordzeniowe układy DSC dsPIC33CK przyspieszają działanie procesora sygnałowego (DSP) w zastosowaniach wymagających dużej szybkości obliczeń. Omawiana grupa układów oferuje dużą wydajność i deterministyczne wykonywanie kodu, co pozwala sprostać rzeczywistym wymaganiom projektowym. Ponadto – w ramach uzupełnienia dwurdzeniowych układów DSC dsPIC33CH – rodzina dsPIC33CK oferuje ekonomiczną opcję jednordzeniową z tym samym, wysoko wydajnym rdzeniem i blokiem obwodów peryferyjnych.

Nowe układy DSC zawierają rdzeń dsPIC33 „C" z silnikiem DSP, rozszerzone rejestry wybierane kontekstowo w celu zmniejszenia opóźnienia obsługi przerwań, nowe instrukcje przyspieszające działanie DSP oraz ściśle sprzężone funkcjonalnie bloki peryferyjne, zaś sprawne wykonywanie programu umożliwia złożoną implementację szybkich pętli sterowania. Rodzina dsPIC33CK podtrzymuje przy tym prostotę aplikacyjną mikrokontrolera i otwiera przed użytkownikami dsPIC33E i dsPIC33F drogę do dalszego zwiększania wydajności.

Aby zyskać szansę na wygranie zestawu startowego Microchip dsPIC33C Digital Power Starter Kit lub otrzymać kupon o wartości 15%, obejmujący również bezpłatną wysyłkę zamówionych zestawów, odwiedź stronę https://page.microchip.com/E-Prak-33C.html i wprowadź swoje dane w formularzu zgłoszeniowym online.

eprasa.pl 0914c66f57

Najważniejsze parametry:
- Zasilanie: ładowarka, zasilacz lub powerbank z portem USB-C PD
- Regulacja mocy wyjściowej: 15 W/27 W (wybierana dip-switchem) lub 12...100 W (ustalana rezystorem)
- Regulacja napięcia wyjściowego (tryb PSU): 5 V/9 V/15 V/20 V
- Regulacja napięcia wyjściowego (tryb CHG): 4,3 V/8,6 V/12,9 V/17,2 V
- Wbudowane zabezpieczenie OVP

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.ulubionykiosk.pl/media

----	Uniwersalna ładowarka akumulatorów litowych (EP 3/2022)
AVT5877	Ładowarka bezprzewodowa z układem LTC4124 (EP 8/2021)
AVT5694	Ładowarka akumulatorów 18650 z USB (EP 8/2019)
AVT5655	Uniwersalny, rowerowy zasilacz/ładowarka USB (EP 12/2018)
AVT1943	Miniaturowa ładowarka akumulatorów $LiFePO_4$ zasilana z USB (EP 1/2017)
AVT1942	Uniwersalna ładowarka akumulatorów $LiFePO_4$ (EP 1/2017)
AVT1929	Miniaturowa ładowarka akumulatorów Li-Po typu 18650 (EP 8/2016)
AVT1911	Litowa dziewiątka (EP 7/2016)
AVT1866	Zabezpieczenie akumulatora Li-Ion lub Li-Po (EP 8/2015)

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

- **wersja [C]** – zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw **[B]** (elementy wlutowane w płytkę PCB),
- **wersja [A]** – płytka drukowana bez elementów i dokumentacji.

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

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

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

Wyzwalacz zasilaczy/ładowarek USB-C

Opisany układ jest prostym, konfigurowalnym wyzwalaczem ładowarek lub zasilaczy USBC PD. Układ może zostać użyty do zasilania projektowanych urządzeń z tanich i szeroko dostępnych źródeł zgodnych z USBC-PD. Wyzwalacz – bez dodatkowych modyfikacji – umożliwia uzyskanie typowych napięć 5 V, 9 V, 15 V, 20 V, przy dostępnej mocy 15 W i 27 W. Moduł po dodatkowej konfiguracji może zostać dostosowany do napięć odpowiednich do ładowania akumulatorów litowych oraz negocjacji mocy w zakresie 12...100 W.

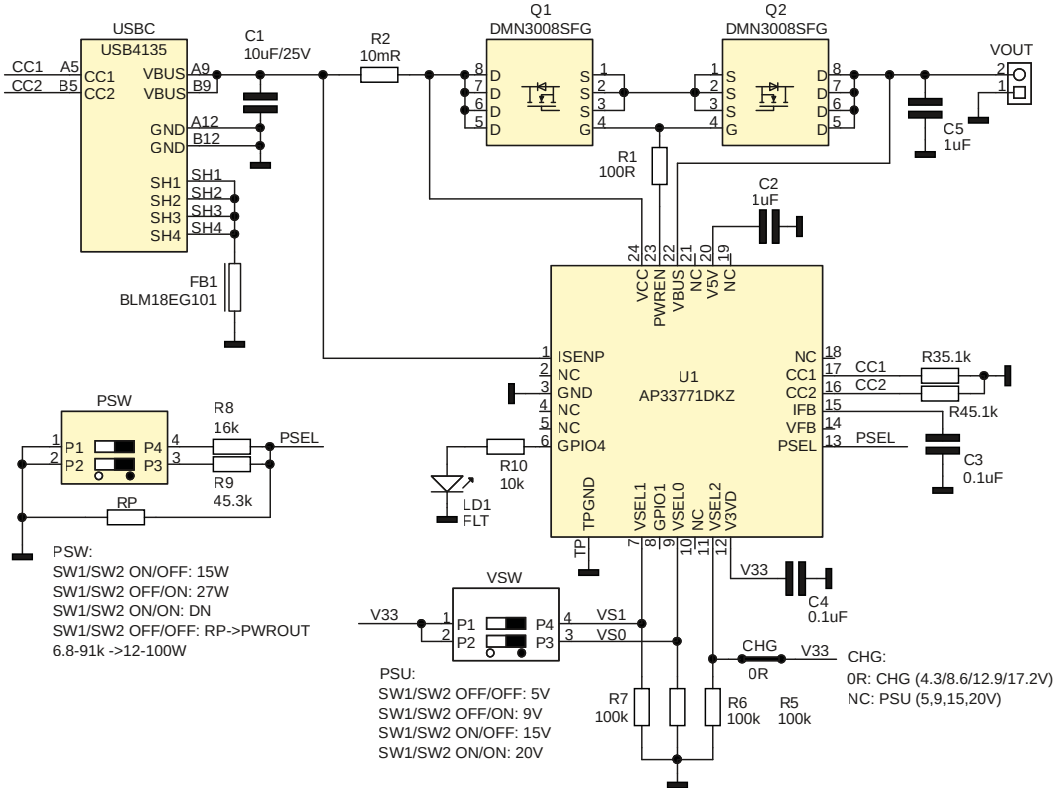


Schemat modułu wyzwalacza pokazano na **rysunku 1**. Układ korzysta ze specjalizowanego kontrolera U1 typu AP33771 (Diodes Inc), który odpowiada za negocjację profilu zasilania określającego napięcie i moc dostępną ze źródła USBC zgodnego ze standardem PD3.0 (zasilacza, ładowarki, powerbanka).

W odróżnieniu od tanich układów producentów dalekowschodnich, AP33771 jest dostępny u dystrybutorów nawet w ilościach jednostkowych, zaś jego szczegółowa dokumentacja techniczna ułatwia praktyczną aplikację.

Zewnętrzne źródło zasilania zgodne z PD podłączone jest do złącza USBC. Układ U1 poprzez linie CC1/2 (dla obu możliwych orientacji wtyku) uzgadnia profil zasilania, niezależnie od komunikacji USB. Wybór napięcia wyjściowego VOUT określony jest stanem logicznym wyprowadzeń VSEL0..2. Wyprowadzenie VSEL2, po zwarciu zwory CHG, umożliwia uzyskanie napięć typowych dla ładowarek akumulatorów litowych: 4,3 V, 8,6 V, 12,9 V lub 17,2 V, ale źródło musi obsługiwać tryb regulowanego napięcia (PPS APDO). Do wyboru napięcia wyjściowego VOUT służy przełącznik VSW, który – w zależności od położenia – umożliwia uzyskanie napięć: 5 V, 9 V, 15 V, 20 V (zgodnie z **tabelą 1**). Położenia przełączników VSW, a co za tym idzie – związane z nimi stany wejść VSELx, odczytywane są podczas podłączenia źródła oraz cyklicznie podczas pracy, można więc zmieniać ich położenie bez konieczności odłączania USBC. Należy tylko zwrócić uwagę, by nie uszkodzić zasilanego układu.

Jeżeli źródło nie obsługuje wybranego trybu lub jest niezgodne z PD, błąd



Rysunek 1. Schemat ideowy wyzwalacza

eprasa.pl 0914c66f57

Wykaz elementów:

Rezystory:
R1: 100 Ω (SMD 0603 1%)
R2: 10 mΩ (SMD 1206, 1%)
R3, R4: 5,1 kΩ (SMD 0603, 1%)
R5, R6, R7: 100 kΩ (SMD 0603, 1%)
R8: 16 kΩ (SMD 0603, 1%)
R9: 45,3 kΩ (SMD 0603, 1%)
R10: 10 kΩ (SMD 0603, 1%)
RP: patrz opis (SMD 0603, 1%)

Półprzewodniki:
LD1: dioda LED czerwona (SMD 0603)
Q1, Q2: tranzystor MOSFET DMN3008SFG (PowerDI3333-8)
U1: AP33771DKZ (WQFN4040-24)

Kondensatory:
C1: 10 µF/25 V (SMD 0805, X5R)
C2, C5: 1 µF/25 V (SMD 0603, X5R)
C3, C4: 100 nF/50 V (SMD 0603, X5R)

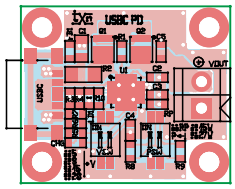
Pozostałe:
CHG: zwora 0 Ω 0603 (patrz opis)
FB1: dławik ferrytowy BLM18EG101 (SMD 0603)
PSW, VSW: dip switch 1,27 mm (typ A6H-2101)
USBC: złącze USBC SMD GCT (USB4135)
VOUT: złącze DG 3 pin 3,5 mm (DG381-3.5-2)

Tabela 1. Wybór napięcia wyjściowego VOUT

VSW1	VSW2	CHG	VSEL1	VSEL0	VOUT
OFF	OFF	NMT/NC	0	0	5 V
OFF	ON	NMT/NC	0	1	9 V
ON	OFF	NMT/NC	1	0	15 V
ON	ON	NMT/NC	1	1	20 V
OFF	OFF	0R	0	0	4,3 V
OFF	ON	0R	0	1	8,6 V
ON	OFF	0R	1	0	12,9 V
ON	ON	0R	1	1	17,2 V

negocjacji zasygnalizowany zostanie miganiem diody FLT. W takim przypadku napięcie na wyjściu wynosi 5 V (w celu zachowania zgodności z klasycznym portem USB). Układ AP33771 ma wbudowane zabezpieczenie nadnapięciowe OVP. Jeżeli napięcie wyjściowe przekroczy to ustawione przełącznikami, wówczas AP33771 wysyła do źródła sygnał resetu i obciąża źródło prądem ok. 200 mA (5 V), aby zminimalizować skutki przekroczenia napięcia. Próg zadziałania przy napięciu 5 V to OVP=7 V, a przy 20 V wynosi on OVP=22 V.

Wartość maksymalnej mocy, która może być pobierana ze źródła, określana jest rezystorem podłączonym do wyprowadzenia PSEL. Dla ułatwienia na płytce zastosowano przełącznik DIP – PSW umożliwiający wybór dwóch progów 12 W (przy zwartej pozycji 1) i 27 W (przy zwartej pozycji 2). Rozwarcie obu przełączników umożliwia wybór mocy 12...100 W (po dobraniu wartości i wlutowaniu rezystora RP z zakresu 6,8...91 kΩ – zgodnie z **tabelą 2**).



Rysunek 2. Rozmieszczenie elementów

Po poprawnej negocjacji profilu zasilania klucze Q1, 2 podają napięcie ze źródła na zaciski złącza VOUT.

Układ zmontowano na dwustronnej płytce drukowanej, rozmieszczenie elementów pokazano na **rysunku 2**. Montaż jest typowy i nie wymaga opisu.

Poprawnie zlutowany układ nie wymaga uruchamiania. Należy sprawdzić jedynie poprawność lutowania i wyczyścić płytkę z resztek topnika. Po podłączeniu zasilania ze źródła USBC-PD wystarczy skontrolować wartości napięcia wyjściowego.

Adam Tatuś, EP

Tabela 2. Wybór mocy maksymalnej źródła

Pout	12 W	15 W	18 W	20 W	27 W	36 W	45 W	60 W	90 W	100 W
RP	6,8 kΩ	16 kΩ	27 kΩ	36 kΩ	45,3 kΩ	56 kΩ	64,9 kΩ	75 kΩ	82 kΩ	91 kΩ
		PSW1=ON			PSW2=ON					

REKLAMA

Pobierz bezpłatnie multimedialne dodatki do tego wydania „Elektroniki Praktycznej”

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

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

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

Szczegóły na UlubionyKiosk.pl/media

Najważniejsze parametry:
- podtrzymywanie napięcia 5 V po jego zaniku z zewnętrznego źródła,
- superkondensatory o bardzo długiej żywotności jako magazyn energii,
- sygnalizacja stanu pracy diodami LED: ładowanie, pełne naładowanie, podtrzymanie zasilania, niski poziom energii,
- wbudowane złącza USB oraz listwy zaciskowe,
- maksymalny prąd wyjściowy: 300 mA,
- czas podtrzymania przy obciążeniu 250 mA: około 90 s,
- czas podtrzymania przy obciążeniu 50 mA: około 6 min,
- możliwość dwukrotnego zwiększenia łącznej pojemności kondensatorów,
- pobór prądu w stanie spoczynku: około 5 mA.

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.ulubionykiosk.pl/media

----	Minizasilacz buforowy 5 V (EP 9/2024)
----	Moduł redundancji zasilania dla Raspberry Pi Zero (EP 5/2023)
----	Moduł redundancji zasilania do komputerów SBC (EP 1/2023)
----	Zasilacz buforowy 5 V z uniwersalną ładowarką (EP 11/2022)
AVT5931	Akumulator z ogniwami $LiFePO_4$ (EP 5/2022)
----	Zasilacz bezprzerwowy z akumulatorem litowym dla Raspberry Pi Pico (EP 2/2022)
AVT5914	Zasilacz buforowy dla RPi Zero (EP 1/2022)
AVT5834	Zasilacz buforowy 12 V z akumulatorem (EP 2/2021)
AVT5739	Zasilacz buforowy z superkondensatorami dla Raspberry Pi (EP 1/2020)
AVT1947	„Przenośny" zasilacz dla Raspberry Pi Zero (EP 2/2017)
AVT5568	Power Bank 14,4 V – nowoczesny moduł zasilania bezprzerwowego z superkondensatorami (EP 1/2017)

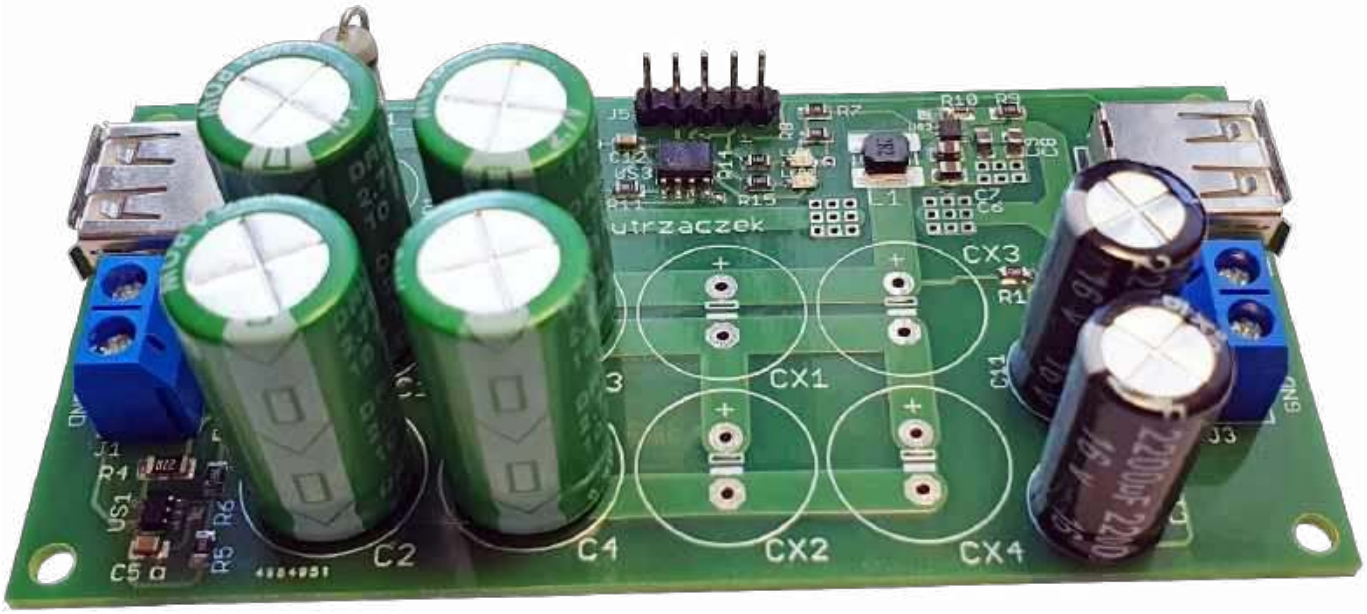
W ofercie AVT*
AVT6058

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

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

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

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



Zasilacz awaryjny SuperCap UPS 5 V

Zasilacze awaryjne, znane szerzej pod skrótem UPS, umożliwiają nieprzerwaną pracę urządzeń w momencie krótkotrwałego zaniku głównego napięcia zasilającego. Takie rozwiązania są znane od lat i stosowane w przypadku maszyn zasilanych z sieci. A co z tymi skromniejszymi, które zadowalają się energią dostarczaną z niewielkiego zasilacza? Właśnie do takich celów powstał ten projekt!

Krótkotrwałe zaniki napięcia zasilającego, zwane fachowo zapadami napięcia, potrafią być brzemienne w skutkach dla naszych routerów, modemów, dysków i... kto wie, czego jeszcze? Pół biedy, jeżeli cały system można podłączyć do dużego zasilacza UPS i na niego zrzucić całą odpowiedzialność za podtrzymanie zasilania w chwilach, kiedy sieć energetyczna „robi sobie wolne". Problem pojawia się, kiedy takiej możliwości nie ma.

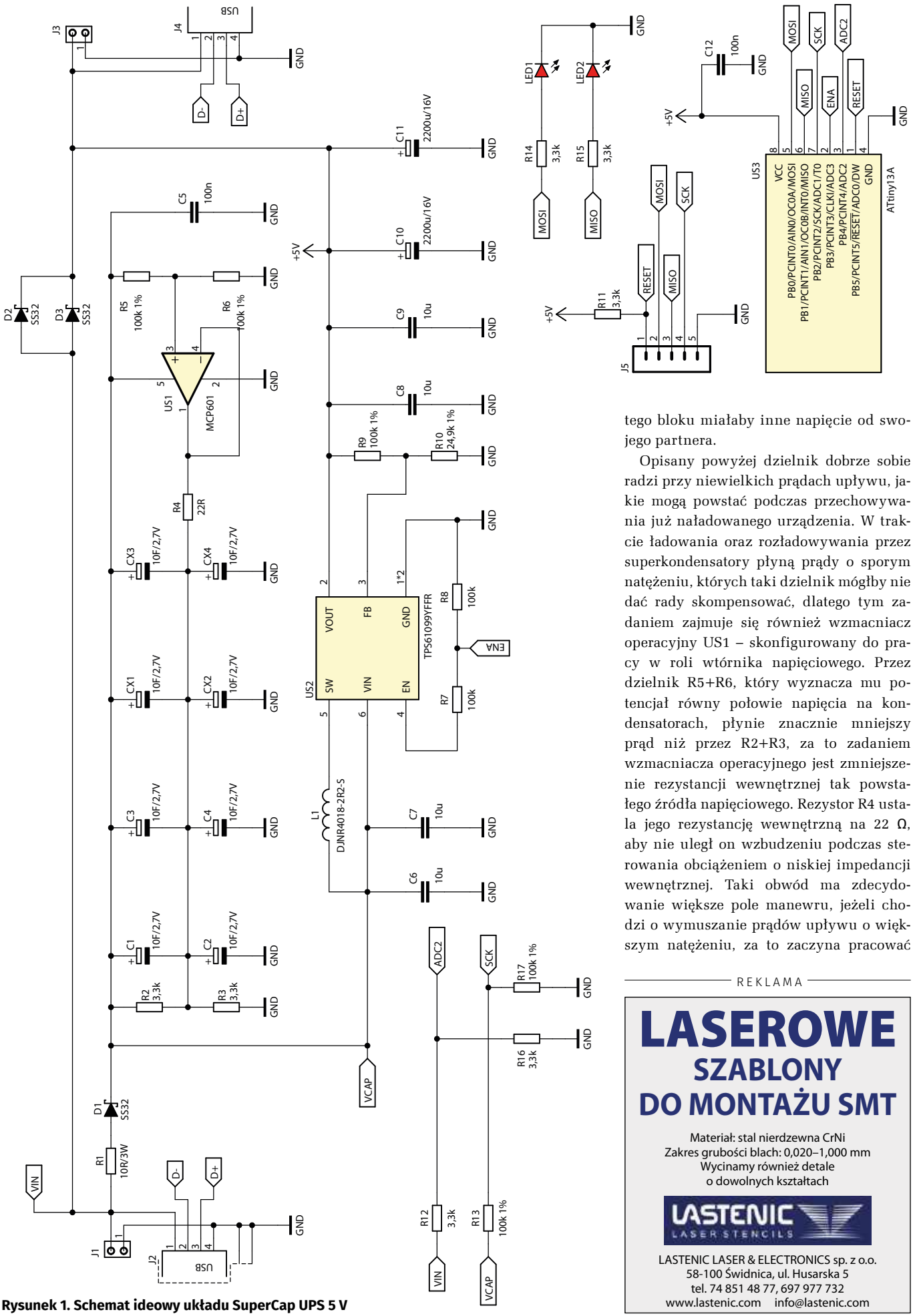
Jako przykład weźmy prosty rejestrator, który po wyłączeniu musi się bardzo długo uruchamiać lub nawet wymaga jakiejś konfiguracji ręcznej, zanim powróci do pracy. Zasilany z ładowarki USB, wciśnięty gdzieś na ciasną półkę. Albo modem LTE, któremu nie w smak, kiedy się go na chwilę odłącza, bo przywrócenie go potem do pełnej sprawności trwa nawet kilka cennych minut. Stawianie dużych i ciężkich zasilaczy przy takich „maluchach" można byłoby uznać za nonsens, zwłaszcza kiedy brak na to miejsca. Wtedy można sięgnąć po opisany niżej układ.

Budowa

Schemat ideowy omawianego urządzenia znajduje się na **rysunku 1**. Magazynem energii elektrycznej są superkondensatory C1...C4 oraz CX1...CX4 o pojemności 10 F. Niestety, ich dopuszczalne napięcie pracy wynosi jedynie 2,7 V, dlatego trzeba je łączyć po dwa szeregowo, by mogły pracować przy napięciu 5 V (lub zbliżonym), jakie dostarcza magistrala USB. Wypadkowa pojemność każdej gałęzi wynosi wtedy 5 F, choć zgromadzona w nich energia pozostaje bez zmian – po prostu ładunek dzieli się między dwa kondensatory.

Dwa obwody pilnują tego, aby rozkładał się on możliwie po równo. Pierwszym jest dzielnik rezystancyjny, który składa się z rezystorów R2 i R3. Płynie przez niego prąd o natężeniu mniejszym niż 1 mA. Ów dzielnik działa jak źródło napięcia o SEM równej połowie napięcia przyłożonego do bloku kondensatorów, z ustaloną rezystancją wewnętrzną, przez którą będzie płynął prąd wyrównujący potencjały, jeżeli dolna lub górna część

eprasa.pl 0914c66f57



Rysunek 1. Schemat ideowy układu SuperCap UPS 5 V

tego bloku miałaby inne napięcie od swojego partnera.

Opisany powyżej dzielnik dobrze sobie radzi przy niewielkich prądach upływu, jakie mogą powstać podczas przechowywania już naładowanego urządzenia. W trakcie ładowania oraz rozładowywania przez superkondensatory płyną prądy o sporym natężeniu, których taki dzielnik mógłby nie dać rady skompensować, dlatego tym zadaniem zajmuje się również wzmacniacz operacyjny US1 – skonfigurowany do pracy w roli wtórnika napięciowego. Przez dzielnik R5+R6, który wyznacza mu potencjał równy połowie napięcia na kondensatorach, płynie znacznie mniejszy prąd niż przez R2+R3, za to zadaniem wzmacniacza operacyjnego jest zmniejszenie rezystancji wewnętrznej tak powstałego źródła napięciowego. Rezystor R4 ustala jego rezystancję wewnętrzną na 22 Ω, aby nie uległ on wzbudzeniu podczas sterowania obciążeniem o niskiej impedancji wewnętrznej. Taki obwód ma zdecydowanie większe pole manewru, jeżeli chodzi o wymuszanie prądów upływu o większym natężeniu, za to zaczyna pracować

REKLAMA

LASEROWE
SZABLONY
DO MONTAŻU SMT

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

LASTENIC
LASER STENCILS

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

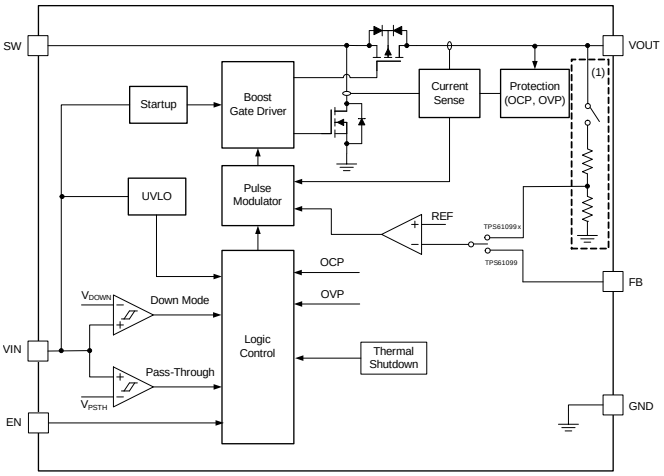
eprasa.pl 0914c66f57

dopiero wtedy, kiedy napięcie na kondensatorach wyniesie co najmniej 2,7 V. Ta wartość to również dopuszczalne napięcie pracy superkondensatorów, więc wzmacniacz operacyjny zajmie się wyrównywaniem napięć między nimi, zanim zostanie przekroczona bezpieczna wartość napięcia na równoległym połączeniu górnych lub dolnych superkondensatorów.

Ładowaniem pojemnościowego magazynu energii zajmuje się zwykły rezystor przewlekany o rezystancji 10 Ω i dopuszczalnej mocy 3 W. Ogranicza on ich prąd ładowania do około 0,4 A w przypadku, gdy superkondensatory są w pełni rozładowane. Szeregowo z nim znajduje się dioda D1, która pełni dwie funkcje. Nie dość, że zabezpiecza baterię superkondensatorów przed wybuchem w razie odwrotnego podłączenia zasilania, to jeszcze separuje wejście zasilania od tejże baterii. Dzięki temu można rozpoznać moment zaniku napięcia zasilającego z zewnętrznego zasilacza – potencjał katody tej diody pozostaje wtedy na wysokim poziomie (utrzymywanym przez kondensatory), zaś potencjał jej anody spada do niskiego poziomu.

Ten spadek wykrywa mikrokontroler z rodziny ATtiny, a to za pomocą dwóch dzielników napięcia. Pierwszy z nich, złożony z rezystorów R12+R16, służy do detekcji obecności napięcia wejściowego. Jego wypadkowa rezystancja, widziana od strony wejścia, jest niewielka (6,6 kΩ), dzięki czemu prąd upływu diody D1 nie może odłożyć na nim napięcia o wartości wystarczającej do fałszywej detekcji. Drugi dzielnik R13+R17 służy do monitorowania stanu naładowania superkondensatorów. Teoretycznie można byłoby się posłużyć potencjałem pochodzącym z dzielnika R5+R6, ale istnieje ryzyko, że sygnał programujący mikrokontroler mógłby zakłócić działanie wtórnika napięciowego, szkodząc tym samym superkondensatorom. Użycie tego wyprowadzenia mikrokontrolera do pomiaru napięcia wejściowego (a nie napięcia na kondensatorach) spowodowałoby natomiast, że ów pin MCU byłby sterowany przez stosunkowo niską rezystancję, co mogłoby zaburzać proces programowania układu. Lepiej zatem było wprowadzić kolejny dzielnik, czyniąc ten pomiar niezależnym od innych czynników.

Napięcie wyjściowe jest z kolei odseparowane od wejściowego dwiema połączonymi równolegle diodami typu SS32. Charakteryzują się one bardzo niskim spadkiem napięcia w kierunku przewodzenia, do czego przyczynia się również połączenie dwóch takich diod szeregowo – zmniejsza to prąd płynący przez każdą z nich, jak również spadek napięcia na ich rezystancjach szeregowych. Z napięcia wyjściowego jest zasilany wspomniany już mikrokontroler i to tłumaczy, dlaczego potrzebne były dzielniki napięciowe do pomiaru napięcia wejściowego oraz potencjału baterii superkondensatorów. Mikrokontroler używa napięcia zasilającego jako odniesienia dla przetwornika analogowo-cyfrowego. W wyniku spadku napięcia na D2 i D3 jego napięcie zasilające może być niższe niż to, które trzeba zmierzyć. Dlatego bezpieczniej było podzielić je w niewielkim stopniu, aby mieć pewność, że potencjały mierzone przez przetwornik nie będą wyższe od napięcia referencyjnego.



Rysunek 2. Schemat blokowy układu przetwornicy TPS61099

W otoczeniu mikrokontrolera US3 znajduje się złącze J5, poprzez które można zaprogramować jego pamięć Flash oraz ustawić bity zabezpieczające. Ma on również do dyspozycji dwie diody LED, którymi sygnalizuje stan pracy układu. Oprócz tego, w momencie odłączenia zasilania mikrokontroler może załączyć przetwornicę step-up, która podtrzyma napięcie 5 V na wyjściu przy użyciu ładunku zgromadzonego w superkondensatorach. Na wyjściu układu można znaleźć dwa kondensatory C10 i C11, których łączna pojemność 4400 µF daje chwilowy rezerwuar energii dla podtrzymywanego urządzenia w momencie, kiedy główne napięcie zasilające już zanikło, a przetwornica dopiero zaczyna startować.

W układzie użyto przetwornicy typu TPS61099 w jej typowej aplikacji. Sterownik ma ciekawą budowę wewnętrzną – patrz **rysunek 2**. Oprócz tego, że ma wbudowane zabezpieczenie termiczne (co jest już dzisiaj standardem), to zawiera w swojej strukturze również tranzystory MOSFET realizujące synchroniczną przetwornicę typu boost – jeden jest kluczem, a drugi pełni funkcję diody, co ma pozytywny wpływ na sprawność całego układu. Poza tym przetwornica realizuje powolny rozruch, przez co nie są generowane niepotrzebne zakłócenia w momencie jej uruchamiania. Niestety, ten podzespół jest dostępny tylko w niewielkiej obudowie SMD.

Kondensatory C6 i C7 są umieszczone blisko wyprowadzeń US2, ponieważ przetwornica pracuje na stosunkowo wysokiej częstotliwości, wynoszącej nawet kilkaset kiloherców, choć zależy to od aktualnego napięcia wejściowego i pobieranego prądu. Impedancja wewnętrzna superkondensatorów byłaby zdecydowanie za wysoka, dlatego użyto dodatkowych kondensatorów ceramicznych – i to dwóch, w celu dodatkowej redukcji wielkości pasożytniczych. Podobnie sprawa ma się na wyjściu, gdzie zdecydowana większość składowej zmiennej prądu zamyka się w kondensatorach C8 i C9. Rezystory R9 i R10 ustalają napięcie wyjściowe – ich wartości dobrano stosownie do napięcia referencyjnego przetwornicy, wynoszącego 1 V. Zadaniem rezystora R7 jest ograniczenie natężenia ewentualnego prądu, płynącego między wyprowadzeniem mikrokontrolera a wejściem EN przetwornicy, do niewielkiej wartości. Rezystor R8 polaryzuje natomiast to wejście potencjałem masy, utrzymując przetwornicę w stanie wyłączenia, gdyby mikrokontroler przebywał np. w stanie zerowania.

Nasuwa się jedno pytanie: czemu w tym układzie nie pokusiłem się o zmaksymalizowanie energooszczędności? Dałoby się tutaj uciąć jakieś miliampery,

Wykaz elementów:

Rezystory:
R1: 10 Ω 3 W (THT)
R2, R3, R11, R12, R14...R16: 3,3 kΩ (SMD 0805)
R4: 22 Ω (SMD 1206)
R5, R6, R9, R13, R17: 100 kΩ 1% (SMD 0805)
R7, R8: 100 kΩ (SMD 0805)
R10: 24,9 kΩ 1% (SMD 0805)

Kondensatory:
C1...C4: 10 F / 2,7 V np. KE10/2.7VDRL (raster 5 mm THT)
C5, C12: 100 nF (SMD 0805)
C6...C9: 10 µF (SMD 0805)
C10, C11: 2200 µF / 16 V (raster 5 mm)
CX1...CX4: 10 F / 2,7 V raster 5 mm THT np. KE10/2.7VDRL (opis w tekście)

Półprzewodniki:
D1...D3: SS32 (SMC)
LED1, LED2: dioda LED czerwona, np. LED SMD R (SMD 0805)
US1: MCP601 (SOT23-5)
US2: TPS61099YFFR (WSON6)
US3: ATtiny13A-SSU (SO8)

Pozostałe:
J1, J3: ARK2/500
J2: USB męskie kątowe typu A, np. WTYK USB A KĄT DRUK
J4: USB żeńskie kątowe typu A, np. USB A KĄT BIAŁE
J5: goldpin 5 pin 2,54 mm męski THT
L1: DJNR4018-2R2-S

eprasa.pl 0914c66f57

czyniąc podtrzymanie jeszcze dłuższym. Odpowiedź jest prosta: zasilany układ pobiera kilkadziesiąt miliamperów lub więcej. Nie ma więc sensu szczypać się o każdy możliwy do zaoszczędzenia mikroamper, ponieważ nie przełoży się to w zauważalny sposób na wydłużenie czasu pracy na superkondensatorach. Większy wpływ będzie miała temperatura otoczenia lub zużycie kondensatorów wynikające z czasu eksploatacji.

Montaż i uruchomienie

Układ został zmontowany na dwustronnej płytce drukowanej o wymiarach 100 mm × 50 mm. Jej wzór ścieżek oraz schemat montażowy przedstawia **rysunek 3**. W odległości 3 mm od krawędzi płytki znalazły się cztery otwory montażowe, każdy o średnicy 3,2 mm.

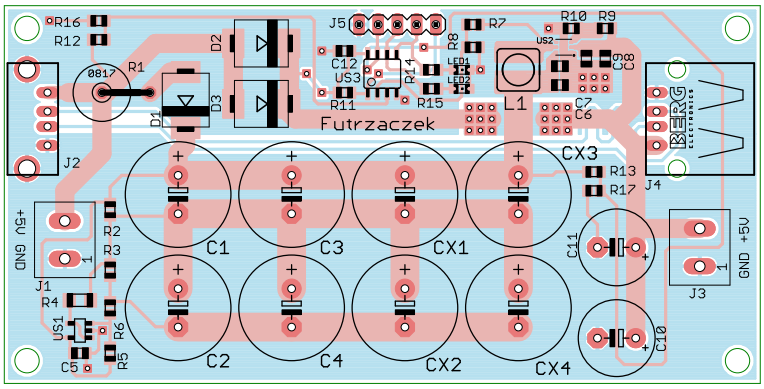
Większość elementów na płytce montowana jest powierzchniowo i to od nich proponuję rozpocząć lutowanie. Szczególną uwagę należy zwrócić na kierunek przylutowania układu US2 – na jego obudowie znajduje się mała, aczkolwiek bardzo istotna kropka. Kiedy wszystkie podzespoły SMD znajdą się już na swoich miejscach, można przejść do elementów lutowanych metodą przewlekaną, najlepiej według wysokości ich obudów.

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

```
Low Fuse = 0x6A
High Fuse = 0xFD
```

Szczegóły są widoczne na **rysunku 4**, który zawiera widok okna konfiguracji tychże bitów z programu BitBurner. Dzięki takiemu ustawieniu załączony pozostanie preskaler sygnału zegarowego (rdzeń będzie taktowany sygnałem o częstotliwości 1,2 MHz, co sprzyja energooszczędności) oraz włączy się Brown-Out Detector, który wprowadzi mikrokontroler w stan zerowania, jeżeli jego napięcie zasilające spadnie poniżej 1,8 V (co znacznie zmniejsza ryzyko zawieszenia się układu podczas uruchamiania).

Napięcie zasilające należy podłączyć do zacisków złącza J1 lub J2. Powinno ono wynosić około 5 V, lecz nie więcej niż 5,5 V, z uwagi na dopuszczalne napięcie pracy superkondensatorów. Na wyjściu (złącze J3 lub J4) panuje napięcie o około 0,2 V niższe od wejściowego (w trakcie pracy z zasilacza) lub 5 V przy pracy z przetwornicy. Dopuszczalny prąd wyjściowy wynosi 300 mA i jest ograniczony przez układ DC/DC. Pobór prądu w trakcie ładowania superkondensatorów wynosi około 0,4 A i spada



Rysunek 3. Schemat montażowy i wzór ścieżek płytki drukowanej



Rysunek 4. Szczegóły ustawienia bitów zabezpieczających

do około 4 mA, kiedy są one już w pełni naładowane.

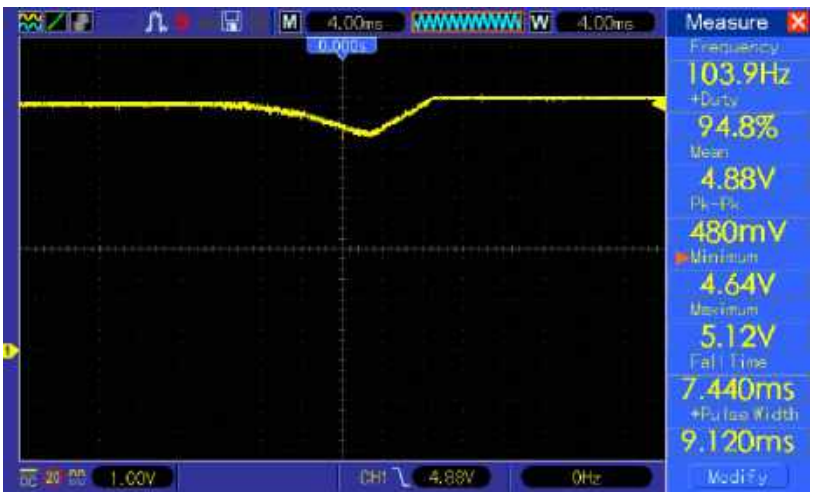
Złącza USB typu A, znajdujące się na płytce, mają połączone wyprowadzenia sygnałowe, lecz nie są one przewidziane do prowadzenia transmisji o dużej szybkości z racji braku dokładnej kontroli impedancji charakterystycznej tych połączeń. W takich wypadkach lepiej byłoby użyć listew zaciskowych do zasilania, a sygnały poprowadzić oddzielnie, poza płytką tego układu.

Po włączeniu zasilania będą migały dwie diody jednocześnie – to znak, że układ jest w trakcie ładowania superkondensatorów. Kiedy będą one bliskie naładowania lub już w pełni naładowane, diody zaczną świecić światłem ciągłym. Po zaniku napięcia zasilającego układ przejdzie w tryb podtrzymywania napięcia, co zasygnalizuje ciągłym świeceniem tylko diody LED1. Kiedy energia w superkondensatorach zacznie się kończyć (napięcie spadnie poniżej 1,5 V), ta dioda zacznie migać, sygnalizując rychły koniec działania. Potem zgaśnie i układ się wyłączy.

Na jak długo wystarcza takie podtrzymanie? Przy czterech superkondensatorach C1…C4 układ jest w stanie zasilać odbiornik pobierający 250 mA przez około 90 s w temperaturze pokojowej. Kiedy pobór prądu wynosi 50 mA, czas ten wydłuża się do jakichś sześciu minut. Wlutowując dodatkowe pary superkondensatorów CX1+CX2 oraz CX3+CX4, można wydłużyć ten czas. Pełne naładowanie superkondensatory osiągają po 10 minutach pracy z zasilaczem – przy liczniejszym ich gronie, czas ten wydłuży się proporcjonalnie.

Rysunek 5 zawiera oscylogram napięcia wyjściowego w momencie, kiedy obciążenie pobiera prąd o natężeniu 250 mA i zanika napięcie wejściowe. Widać wyraźnie, że potencjał na dodatniej szynie zasilania nie spada o więcej niż 0,5 V, zanim nie załączy się przetwornica, a cały proces trwa jakieś 15 ms. Na koniec uwaga eksploatacyjna: napięcie wejściowe musi zanikać możliwie szybko, aby mikrokontroler zdążył wykryć jego brak, zanim skończy się energia w kondensatorach C10 i C11.

Michał Kurzela, EP



Rysunek 5. Oscylogram napięcia wyjściowego w chwili odłączenia zasilania głównego

eprasa.pl 0914c66f57

W ofercie AVT*
AVT6061

Najważniejsze parametry:
- napięcie zasilania: 5...30 V (DC),
- maksymalne obciążenie: 10 A,
- rezystancja w stanie otwarcia: 20 mΩ,
- poziom napięcia logiki sterującej: 3,3...5 V,
- tryby sterowania: manualny oraz AUTO (sterowanie sygnałem z wejścia binarnego).

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.ulubionykiosk.pl/media

----	Moduł czterech wyjść HighSide dla RPi Pico (EP 11/2023)
AVT5882	Podwójny klucz zasilania High Side (EP 8/2021)

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

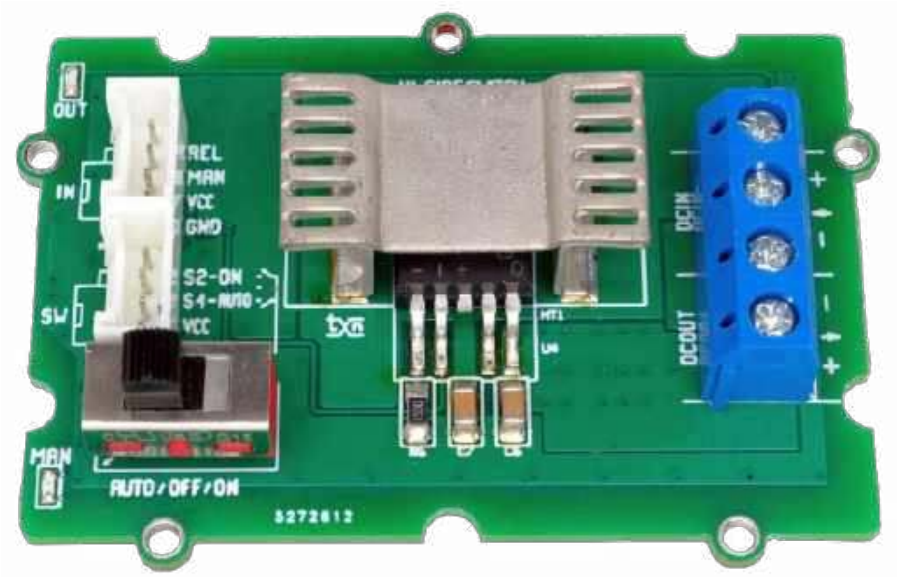
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- **wersja [A+]** – płytka drukowana **[A]** + zaprogramowany układ **[UK]** i dokumentacja,
- **wersja [UK]** – zaprogramowany układ.

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

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

Moduł klucza High Side dużej mocy 5...30 V DC/10 A

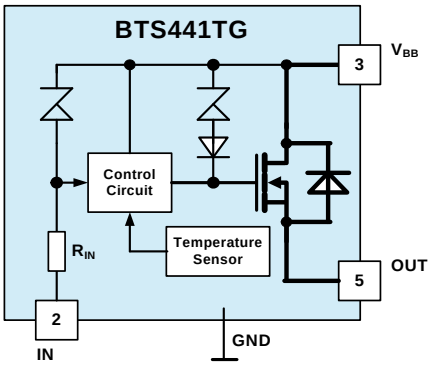
Prezentowany projekt to minimoduł klucza High-Side dużej mocy 5...30 V DC/10 A – zgodnego ze standardem Grove i umożliwiającego sterowanie obciążeniami prądu stałego z poziomu AVTDuino, Raspberry Pi itp.



Moduł znajdzie zastosowanie w bardziej wymagających aplikacjach, w których może zastąpić przekaźnik elektromagnetyczny, eliminując część jego wad. Zbudowany został w oparciu na driverze High-Side typu BTS441TG o niskich stratach mocy podczas przełączania (R_{dson}=20 mΩ), zawierającym wbudowane układy zabezpieczeń termicznych, przepięciowych i zwarciowych oraz umożliwiający sterowanie obciążeń także o charakterze indukcyjnym. W celu zwiększenia funkcjonalności oraz zachowania zgodności z modułem przekaźnika dużej mocy (opublikowanym w EP02/24) układ wyposażono w możliwość sterowania ręcznego w trybie Auto/Off/On oraz sygnalizację przełączenia sterowania na tryb ręczny.

Schemat wewnętrzny układu BTS441TG pokazano na **rysunku 1**, zaś schemat ideowy modułu widnieje na **rysunku 2**. Klucz U4 BTS441TG sterowany jest sygnałem REL ze złącza IN, doprowadzonym do multipleksera U2 typu LVC1G157. Zadanie multipleksera polega na wyborze pomiędzy trybami pracy przekaźnika: AUTO (gdy sterowany jest poziomem logicznym sygnału REL) – lub pracą ze sterowaniem ręcznym ON/OFF (gdy sterowany jest za pomocą przełącznika SW1). Wybór trybu określa sygnał MSL: jeżeli przełącznik SW1 znajduje się w położeniu AUTO, stan sygnału MSL jest wysoki, co wybiera wejście I1 i sterowanie sygnałem REL. W przypadku gdy przełącznik SW1 znajduje się w położeniu ON lub OFF, sygnał MSL jest w stanie niskim, wybrane jest wejście I0 multipleksera U2 i przekaźnikiem steruje sygnał MON zależny od pozycji ON/OFF przełącznika SW1.

Przełącznik SW1 umieszczony został na płytce drukowanej – jeżeli zależy nam na wyprowadzeniu sterowania np. na obudowę, można użyć złącza SW i do niego doprowadzić styki trójpozycyjnego przełącznika AUTO/ON/OFF. Zewnętrzny przełącznik należy okablować tak, aby sygnał w położeniu AUTO zwierał sygnały GND i S1(AUTO), w położeniu ON zwierał sygnały GND



Rysunek 1. Schemat wewnętrzny układu BTS441TG (za notą Infineon)

Wykaz elementów:

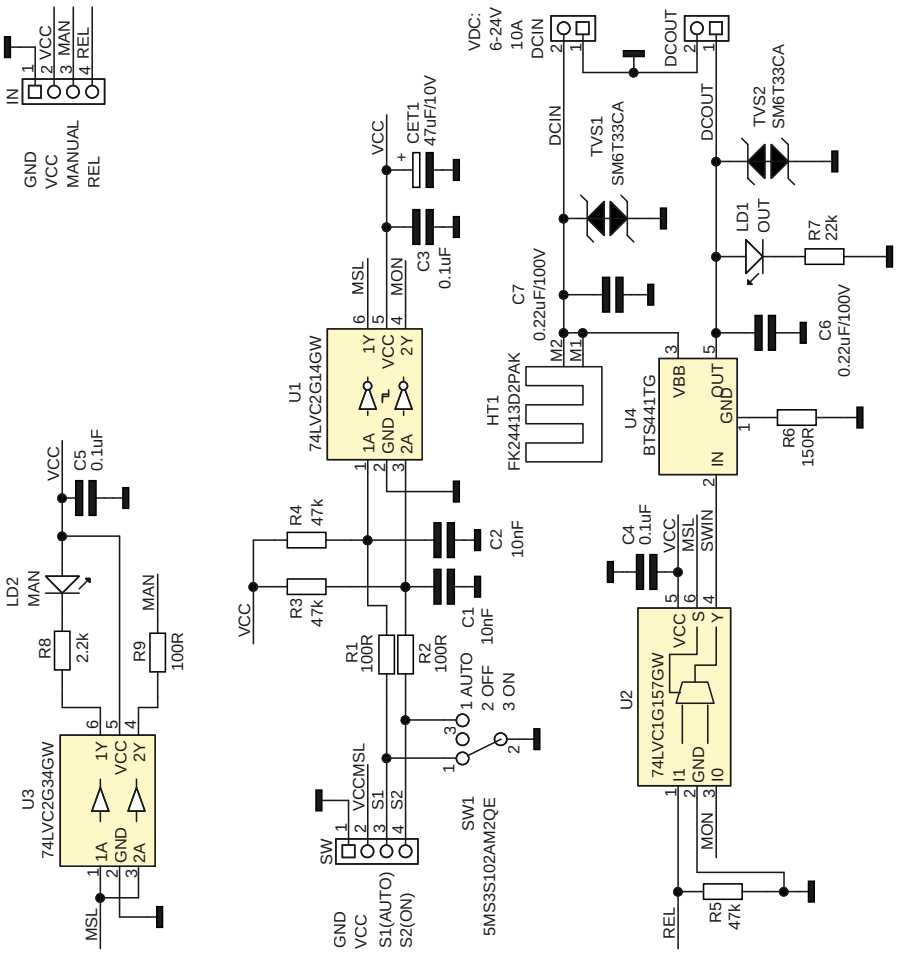
Rezystory:
R1, R2, R9: 100 Ω (SMD 0603, 1%)
R3, R4, R5: 47 kΩ (SMD 0603, 1%)
R6: 150 Ω (SMD 1206, 1%)
R7: 22 kΩ (SMD 0603, 1%)
R8: 2,2 kΩ (SMD 0603, 1%)

Kondensatory:
C1, C2: 10 nF (SMD 0603, X7R, 50 V)
C3, C4, C5: 100 nF (SMD 0603, X7R, 50 V)
C6, C7: 0,22 µF/100 V (SMD 1206, X7R, 100 V)
CET1: 47 µF/10 V (SMD 3528, tantal)

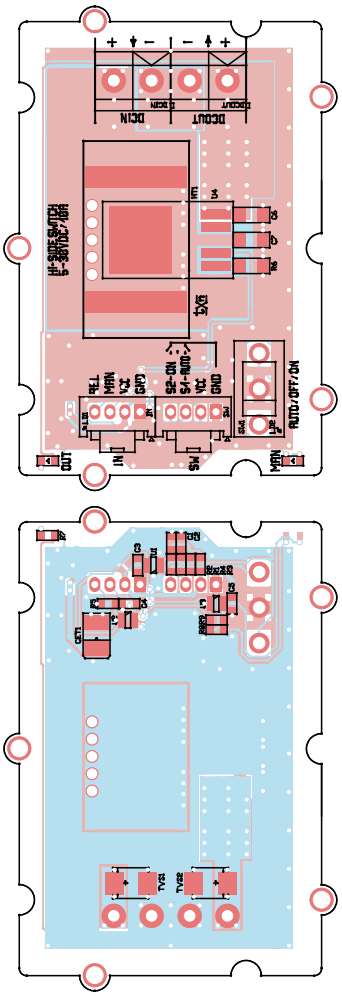
Półprzewodniki:
U1: 74LVC2G14GW.125 (SC88)
U2: 74LVC157GW (SC88)
U3: 74LVC2G34GW.125 (SC88)
U4: BTS441TG (TO-263-5)

Pozostałe:
DCIN, DCOUT: złącze śrubowe 5 mm 2 pin (typ DG126-5.0-2)
HT1: FK24413D2PAK (radiator TO263)
IN, SW: złącze Grove proste
LD1, LD1: dioda LED (SMD 0603)
SW1: przełącznik trójpozycyjny (typ 5MS3S102AM2QE)
TVS1, TVS2: transil SM6T33CA (SMB)

eprasa.pl 0914c66f57



Rysunek 2. Schemat ideowy modułu



Rysunek 3. Rozmieszczenie elementów

i S2(ON), a w położeniu OFF – oba sygnały AUTO/OFF były rozwarte. Wymóg spełnia każdy przełącznik trójpołożeniowy z „martwą" pozycją środkową. W przypadku zastosowania zewnętrznego przełącznika trybu możliwe jest pominięcie montażu SW1 na płytce; można też pozostawić wlutowany SW1, który należy ustawić w pozycji OFF i sterować pracą przekaźnika przełącznikiem zewnętrznym. Układ inwerterów Schmitta U1 – oprócz negacji sygnałów potrzebnych do sterowania multiplekserem – wraz z filtrami R3/4, C1/2 eliminuje skutki drgań styków przełączników. Klucz U4 sterowany jest bezpośrednio z wyjścia multipleksera U2. Dioda LD1 sygnalizuje obecność napięcia na obciążeniu (czyli podanie napięcia zasilania ze złącza DCIN na wyjście DCOUT), natomiast dioda MAN wskazuje na aktywne sterowanie ręczne klucza U4. Dodatkowo na wyjście MAN złącza IN doprowadzono sygnał sygnalizujący tryb ręcznego sterowania wyjściem, aktywowany stanem niskim.

Układ zmontowany został na dwustronnej płytce drukowanej. Rozmieszczenie elementów pokazano na **rysunku 3**. Sposób montażu ma charakter klasyczny i nie wymaga opisu, należy zwrócić tylko uwagę na prawidłowe przylutowanie pada termicznego U4 oraz zastosowanie radiatora HT1, gdy klucz będzie pracował w wysokiej temperaturze otoczenia lub z maksymalnym prądem obciążenia. Klucz zabezpieczony jest przed skutkami odwrócenia polaryzacji zasilania rezystorem R6. Napięcie zasilania oraz obciążenie zabezpieczono dodatkowo przed skutkami przepięć transilami TVS1,2. Moduł działa poprawnie w zakresie napięć zasilających logikę 3,3...5 V i przy napięciu zasilania klucza 5...30 V. Zmontowany moduł zaprezentowano na **fotografii tytułowej**.

Po podłączeniu obciążenia i zasilania, przełącznikiem SW1 sprawdzamy poprawność sterowania oraz sygnalizacji. Jeżeli wszystko działa poprawnie, układ można zastosować we własnej aplikacji, pamiętając o dobraniu odpowiednich przekrojów przewodów połączeniowych zasilania i obciążenia.

Adam Tatuś, EP

REKLAMA



eprasa.pl 0914c66f57

Najważniejsze parametry:
- wyświetlanie daty, czasu oraz temperatury otoczenia,
- funkcja budzika,
- funkcja alarmu z detekcją ruchu,
- odtwarzanie komunikatów głosowych,
- wbudowane oświetlenie LED.

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.ulubionykiosk.pl/media

AVT6043	matrixClock – efektowny zegar stołowy (EP 6–7/2024)
----	Energooszczędny zegar LED (EP 4/2023)
----	Ogromny zegar LCD bez procesora (EP 7/2022)
AVT5920	Licznik czasu pracy z wyświetlaczem LCD (EP 1/2022)
AVT5906	Clock (EP 12/2021)

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

- **wersja [C]** – zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw **[B]** (elementy wlutowane w płytkę PCB),
- **wersja [A]** – płytka drukowana bez elementów i dokumentacji.

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

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

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

ZW-C1: Zegar w kształcie robota

Zegar to ważne wyposażenie każdego domu. Różnego rodzaju zegary można kupić praktycznie w każdym supermarkecie, jednak wiele satysfakcji sprawia samodzielne zbudowanie takiego urządzenia. Zaprezentowany zegar ma obudowę stylizowaną na kształt robota i nazywa się ZW-C1. Dysponuje on następującymi funkcjami: wyświetla aktualną datę, czas oraz temperaturę otoczenia, ma funkcję budzika, odtwarza komunikaty głosowe, wykrywa ruch w swoim otoczeniu, sygnalizuje zdarzenia za pomocą syreny alarmowej oraz oświetla otoczenie za pomocą diody LED R/B. Dzięki tym funkcjom zegar ZW-C1 jest atrakcyjniejszy niż komercyjne rozwiązania.



Budowa i działanie

Układ elektroniczny zegara ZW-C1 składa się z bardzo popularnych elementów elektronicznych, umieszczonych na płytce drukowanej oraz obudowy, wykonanej z białego oraz czarnego szkła akrylowego. Schemat ideowy znajduje się na **rysunku 1**.

Głównym źródłem zasilania urządzenia jest zasilacz o napięciu wyjściowym 12 V i wydajności prądowej 1 A, który należy podłączyć do złącza Z1 za pośrednictwem gniazda, znajdującego się w tylnej części obudowy. Złącze Z2 służy do podłączenia zasilania awaryjnego w postaci sześciu baterii typu AA. Diody D1 oraz D2 zapewniają odpowiednie przełączanie obydwu źródeł energii. Włącznikiem zasilania jest stacyjka umieszczona w górnej części zegara i podłączona do złącza Z3. Układ scalony U1 to stabilizator napięcia typu LDO, który – współpracując z kondensatorami – dostarcza do układu stabilizowane napięcie o wartości 5 V. Zegar jest sterowany za pomocą mikrokontrolera ATmega16A (U2), któremu towarzyszą komponenty niezbędne do jego działania. Jedynym niestandardowym rozwiązaniem jest zastosowanie drugiego rezonatora kwarcowego, oznaczonego jako X2, o częstotliwości 32,768 kHz, dzięki któremu jest realizowany programowy zegar RTC. Złącze Z4 służy do programowania mikrokontrolera. Układ scalony ISD17240PY (U3) oraz współpracujące z nim komponenty umożliwiają nagrywanie oraz odtwarzanie komunikatów głosowych. Złącze Z5 dostarcza do układu zewnętrzny sygnał audio, natomiast do złącza Z6 jest podłączony głośnik. Złącze Z7 służy do podłączenia trzech przycisków sterujących, które znajdują się na przedniej części obudowy. Zegar oświetla otoczenie za pomocą diody LED R/B, którą należy podłączyć do złącza Z8. Zegar ma wbudowane dwa czujniki: temperatury (podłączony do złącza Z9) oraz ruchu (dla którego jest przydzielone złącze Z10). Wszystkie najważniejsze informacje są prezentowane na wyświetlaczu LCD, do podłączenia którego służy złącze Z11. Podświetlenie wyświetlacza jest sterowane za pomocą tranzystora T1. Ostatnim złączem na płytce drukowanej jest złącze Z12, dzięki któremu możliwe jest podłączenie syreny alarmowej. W tym przypadku także zastosowano tranzystor przełączający, aby syrenę alarmową zasilić napięciem 12 V pochodzącym z zasilacza.

Montaż

Ponieważ część elementów elektronicznych zegara ZW-C1 znajduje się na obudowie, montaż urządzenia należy rozpocząć od złożenia obudowy. Plik o nazwie ZW-C1_obudowa.dwg z elementami do wycięcia znajduje się na stronie [1] oraz w materiałach dodatkowych do tego artykułu, zamieszczonych na serwerze ep.com.pl. Poszczególne części obudowy należy zestawić ze sobą za pomocą odpowiednich elementów łączących. Jeden taki element składa się z czterech części, wykonanych również ze szkła akrylowego. Powinny one zostać sklejone według kolejności pokazanej na **fotografii 1**. Po wykonaniu we

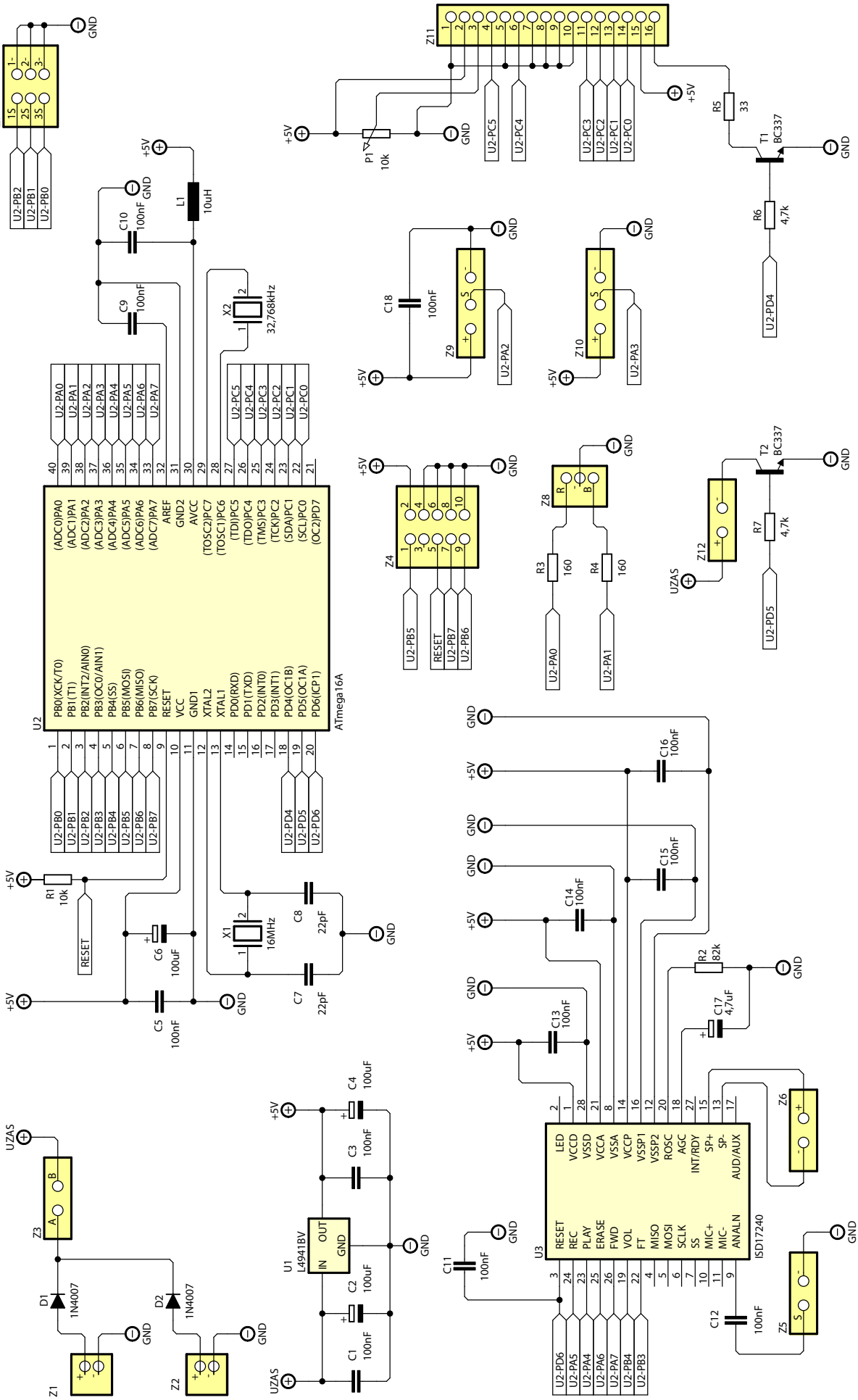


Fotografia 1. Kolejność klejenia elementu połączeniowego



Fotografia 2. Szablon do wklejenia oznaczeń funkcyjnych oraz rzepu samoprzylepnego

eprasa.pl 0914c66f57



Rysunek 1. Schemat ideowy układu elektronicznego

eprasa.pl 0914c66f57



Fotografia 3. Przykręcenie „rąk" z białego szkła akrylowego

wszystkich otworach gwintów M3, jeden z szesnastu potrzebnych elementów połączeniowych jest gotowy do montażu.

Aby ułatwić wklejenie białych oznaczeń funkcyjnych nad przyciskami sterującymi wyświetlacza LCD zastosowano tuleje dystansowe M3×6 mm o gwincie obustronnie wewnętrznym. Na **fotografiach 5** i **6** można zobaczyć więcej szczegółów dotyczących montażu obudowy zegara.



Fotografia 4. Przykręcenie gumowych stopek do dolnej części obudowy



Fotografia 5. Montaż dolnej części obudowy



Fotografia 6. Montaż górnej części obudowy

oraz rzepu samoprzylepnego do przymocowania koszyka na sześć baterii typu AA, zaprojektowano specjalny szablon pokazany na **fotografii 2**.

W celu przykręcenia „rąk" robota z białego szkła akrylowego, pokazanych na **fotografii 3**, w odpowiednich otworach należy również wykonać gwint M3.

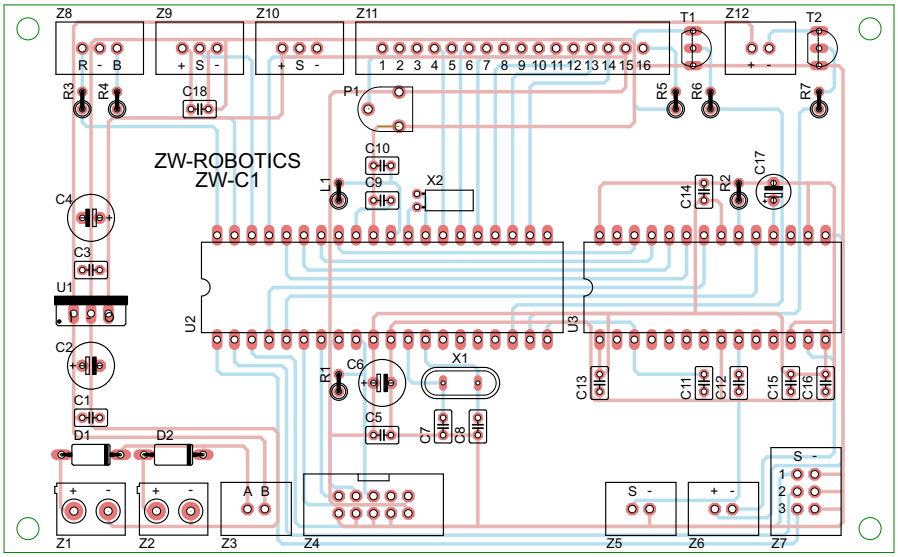
Do dolnej części obudowy należy przykręcić gumowe stopki o średnicy 14 mm, zaprezentowane na **fotografii 4**. Dzięki nim zegar stabilnie stoi na podłożu.

Do przymocowania płytki drukowanej, głośnika, syreny alarmowej oraz czujnika temperatury trzeba wykorzystać specjalne uchwyty pokazane na **fotografii 8**.

Schemat płytki drukowanej znajduje się na **rysunku 2**, a jej wygląd pokazuje **fotografia 7**. Na stronie [1] jest dostępne archiwum ZW-C1_płytka_drukowana.rar, które zawiera wszystkie niezbędne pliki do produkcji płytki drukowanej, zapisane w formacie Gerber-RS274X. Dzięki zastosowaniu elementów THT wykonanie płytki drukowanej nie powinno sprawić żadnych trudności nawet początkującym elektronikom.

Po przymocowaniu płytki drukowanej oraz pozostałych części elektronicznych do obudowy zegara należy wykonać pomiędzy nimi połączenia. Do określenia długości przewodów oraz sposobu ich zakończenia pomocna będzie **tabela 1**. Wszystkie przewody zostały zabezpieczone oplotem ochronnym.

Na **fotografiach 9** i **10** można zobaczyć szczegóły wykonania wszystkich połączeń.



Rysunek 2. Schemat płytki drukowanej



Fotografia 7. Wygląd zmontowanej płytki drukowanej

eprasa.pl 0914c66f57

Tabela 1. Długości przewodów oraz sposób ich zakończenia

Lokalizacja A	Typ połączenia A	Lokalizacja B	Typ połączenia B	Długość przewodów
Z1	Tulejka izolowana 0,35 mm²	Gniazdo DC 5,5×2,5 mm	Połączenie lutowane	303 mm
Z2	Tulejka izolowana 0,35 mm²	Koszyk na 6 baterii typu AA	Połączenie fabryczne	140 mm
Z3	Gniazdo BLS 2 pin	Stacyjka S-1091B-2	Połączenie lutowane	547 mm
Z5	Gniazdo BLS 2 pin	Gniazdo jack 3,5 mm	Połączenie lutowane	86 mm
Z6	Gniazdo BLS 2 pin	Głośnik	Połączenie lutowane	115 mm
Z7	Gniazdo BLS 2 pin	Przycisk sterujący lewy	Połączenie lutowane	218 mm
	Gniazdo BLS 2 pin	Przycisk sterujący środkowy	Połączenie lutowane	188 mm
	Gniazdo BLS 2 pin	Przycisk sterujący prawy	Połączenie lutowane	158 mm
Z8	Gniazdo BLS 3 pin	Dioda LED 5 mm R/B	Połączenie lutowane	319 mm
Z9	Gniazdo BLS 3 pin	Czujnik temperatury LM35DZ	Połączenie lutowane	309 mm
Z10	Gniazdo BLS 3 pin	Czujnik ruchu PIR HC-SR501	Gniazdo BLS 3 pin	283 mm
Z11	Gniazdo BLS 16 pin	Wyświetlacz LCD 4×20	Gniazdo BLS 16 pin	308 mm (środkowe połączenia)
Z12	Gniazdo BLS 2 pin	Syrena alarmowa KPS19	Połączenie fabryczne	104 mm



Fotografia 8. Uchwyty do przymocowania głośnika oraz czujnika temperatury

Oprogramowanie

Do zaprogramowania zegara ZW-C1 niezbędny jest programator USBasp. Podłącza się go do złącza Z4 na płytce drukowanej. Kod źródłowy mikrokontrolera sterującego został napisany w środowisku programistycznym BASCOM AVR. Pliki o nazwie ZW-C1.bas (kod źródłowy) oraz ZW-C1.hex (gotowy wsad binarny do pamięci procesora) są dostępne na stronie [1] oraz w materiałach dodatkowych do tego artykułu. Plik hex można wgrać do mikrokontrolera za pomocą dostępnego na stronie [1], darmowego programu AVRDUDE – pobrane archiwum należy rozpakować na dysku C. Ponieważ program AVRDUDE działa z poziomu wiersza poleceń, warto doinstalować do niego graficzną nakładkę AVR8 Burn-O-Mat, która jest dostępna do pobrania na stronie [2]. Instalacja jest intuicyjna, więc nie wymaga dodatkowego opisu, natomiast sam program AVR8 Burn-O-Mat wymaga konfiguracji. Jak pokazano na **rysunku 3**, w rozwijanej liście AVR type trzeba wybrać mikrokontroler ATmega16 oraz wskazać lokalizację pliku ZW-C1.hex.

W menu Settings > AVRDUDE, zgodnie z **rysunkiem 4**, należy także wprowadzić lokalizację programu AVRDUDE oraz wybrać programator USBasp. Po powrocie do okna głównego programu wystarczy nacisnąć przycisk Write, aby zaprogramować mikrokontroler.



Rysunek 3. Wybranie mikrokontrolera ATmega16 oraz wskazanie lokalizacji pliku ZW-C1.hex

Uruchomienie

Po włączeniu napięcia zasilania zegara ZW-C1 uruchomi się jego standardowy tryb pracy. Na wyświetlaczu LCD wyświetlą się otwarte oczy. Po kilku sekundach na wyświetlaczu pokazane zostaną: data, czas oraz temperatura otoczenia. Sposób wyświetlania danych pokazuje **fotografia 11**.

Informacje te będą wyświetlane, dopóki zegar będzie wykrywał ruch w swoim



Fotografia 9. Wykonanie połączeń w dolnej części obudowy



Fotografia 10. Wykonanie połączeń w górnej części obudowy

eprasa.pl 0914c66f57

Tabela 2. Kolejność nagrywania komunikatów głosowych

Numer komunikatu głosowego	Treść komunikatu głosowego
1	Witaj
2	Proszę opuścić pomieszczenie, za 20 sekund zostanie uzbrojony alarm
3	Została naruszona prywatna strefa, proszę o podanie kodu dostępu, w przeciwnym razie zostanie uruchomiony alarm
4	...



Rysunek 4. Wskazanie lokalizacji programu AVRDUDE oraz wybranie programatora USBasp

otoczeniu, w przeciwnym razie ponownie pojawią się otwarte oczy, które co kilkanaście sekund będą się na chwilę zamykać. Po naciśnięciu lewego przycisku uruchomi się tryb ustawień. Ponowne naciśnięcie lewego przycisku umożliwia wskazanie jednej z opcji: DATA, CZAS, BUDZIK, KOMUNIKATY GŁOSOWE lub KOD DOSTĘPU. Prawym przyciskiem wybiera się wskazaną opcję, a środkowym – wychodzi z trybu ustawień. Po ustawieniu daty, czasu oraz budzika następnym krokiem jest nagranie komunikatów głosowych. W pierwszej kolejności należy



Fotografia 11. Wyświetlenie daty, czasu oraz temperatury otoczenia

za pomocą kabla stereo jack 3,5 mm połączyć ze sobą wyjście słuchawkowe smartfona oraz złącze wejściowe audio w zegarze.

Następnie trzeba wybrać opcję NAGRAJ i przytrzymując prawy przycisk, odtworzyć na smartfonie przygotowany wcześniej komunikat głosowy. Po zwolnieniu przycisku nagrywanie zostanie wstrzymane. Komunikaty głosowe muszą zostać nagrane według kolejności wskazanej w **tabeli 2**.

Jako pozycję numer cztery należy nagrać komunikat głosowy budzika. Treść komunikatów głosowych można modyfikować według własnego uznania, ale ich łączna długość nie może przekroczyć czterech minut. Dzięki opcji ODTWÓRZ można odsłuchać wszystkie nagrane komunikaty głosowe, zaczynając od ostatniego. Wystarczy przytrzymać prawy przycisk. Chwilowe uruchomienie opcji KASUJ usuwa ostatni komunikat. Przytrzymanie przycisku powyżej 4 sekund spowoduje skasowanie wszystkich komunikatów. Można także zresetować układ komunikatów głosowych, uruchamiając opcję RESET. Aby zegar był w pełni funkcjonalny, należy jeszcze ustawić czterocyfrowy kod dostępu. Umożliwia to opcja KOD DOSTĘPU. Po jego ustawieniu, gdy chcemy ponownie uruchomić tryb ustawień, zegar poprosi o podanie zapisanego wcześniej „hasła". Po dokonaniu wszystkich ustawień można zacząć korzystać z zegara. Po uruchomieniu się budzika na wyświetlaczu LCD wyświetlą się otwarte oczy, zaświeci się niebieska dioda LED oraz odtworzony zostanie komunikat głosowy budzika. Alarm wyłączy się po upływie 1 minuty. Można również przyśpieszyć tę operację, naciskając prawy przycisk. Po naciśnięciu środkowego klawisza uruchomiony zostanie tryb uśpienia: wyłączy się podświetlenie wyświetlacza LCD oraz wyświetlą się na nim zamknięte oczy. Ponowne naciśnięcie środkowego przycisku spowoduje wyjście z trybu uśpienia. Zegar wychodzi z trybu uśpienia również po uruchomieniu się budzika. Naciskając prawy przełącznik, możemy uruchomić tryb dozorcy. Warunkiem jego włączenia jest wcześniejsze ustawienie kodu dostępu – jeżeli został on wcześniej zapisany, na wyświetlaczu LCD wyświetlą się otwarte oczy oraz odtworzy się komunikat głosowy „Proszę opuścić pomieszczenie, za 20 sekund zostanie uzbrojony alarm". Jeżeli po 20 sekundach zegar wykryje ruch w swoim otoczeniu, odtworzy się komunikat głosowy „Została naruszona prywatna strefa, proszę o podanie kodu dostępu, w przeciwnym razie zostanie uruchomiony alarm". Na podanie kodu dostępu oraz jego akceptację użytkownik ma 10 sekund. Jeżeli po upływie tego czasu nie zostanie podany prawidłowy kod dostępu, zaświeci się czerwona dioda LED oraz uruchomi się alarm. Zegar przerwie działanie alarmu po upływie 1 minuty, a następnie ponownie go uzbroi. Więcej informacji na temat zegara ZW-C1 oraz filmy prezentujące jego możliwości znajdują się na stronie internetowej [3].

Zygmunt Wypich
zygmunt.wypich@zw-robotics.pl

[1] https://github.com/ZW-Robotics/Zegar-w-ksztalcie-robota
[2] http://avr8-burn-o-mat.aaabbb.de/avr8_burn_o_mat_avrdude_gui_en.php
[3] www.zw-robotics.pl

Wykaz elementów:

Rezystory:
R1: 10 kΩ
R2: 82 kΩ
R3, R4: 160 Ω
R5: 33 Ω
R6, R7: 4,7 kΩ
P1: potencjometr montażowy 10 kΩ

Kondensatory:
C1, C3, C5, C9...C16, C18: 100 nF
C7, C8: 22 pF
C2, C4, C6: 100 µF
C17: 4,7 µF

Półprzewodniki:
D1, D2: 1N4007
T1, T2: BC337
U1: L4941BV
U2: ATmega16A-PU
U3: ISD17240PY
Czujnik temperatury LM35DZ
Dioda LED 5 mm R/B ze wspólną katodą

Pozostałe:
L1: dławik 10 µH
Z1, Z2: złącze ARK 2 pin o rastrze 5 mm
Z3, Z5, Z6, Z12: złącze goldpin 1×2 pin
Z4: wtyk IDC 10 pin prosty
Z7: złącze goldpin 2×3 pin
Z8...Z10: złącze goldpin 1×3 pin
Z11: złącze goldpin 1×16 pin
X1: rezonator kwarcowy 16 MHz
X2: rezonator kwarcowy 32,768 kHz
Koszyk na 6 baterii typu AA
Bateria typu AA 6 szt.
Czujnik ruchu PIR HC-SR501
Gniazdo DC 5,5×2,5 mm
Gniazdo jack 3,5 mm
Głośnik 1 W 8 Ω o średnicy 50 mm
Osłona do czujnika temperatury LM35DZ
6×30 mm
Podstawka DIP 40 pin
Podstawka DIP 28 pin
Przycisk PBS26B 3 szt.
Radiator TO220
Stacyjka S-1091B-2
Syrena alarmowa KPS19
Wyświetlacz LCD 4×20 zgodny z HD44780
Zasilacz 12 V 1 A z wtykiem DC 5,5×2,5 mm

Elementy mechaniczne i połączeniowe:
Śruba walcowa M2×10 mm 4 szt.
Śruba walcowa M3×5 mm 24 szt.
Śruba walcowa M3×8 mm 48 szt.
Śruba walcowa M3×10 mm 4 szt.
Śruba stożkowa M3×8 mm 1 szt.
Nakrętka M2 4 szt.
Nakrętka M3 1 szt.
Tuleja dystansowa M3×6 mm o gwincie obustronnie wewnętrznym 12 szt.
Stopka do obudowy o średnicy 14 mm 4 szt.
Rzep samoprzylepny 50×30 mm
Uchwyt na diodę LED RTC51
Przewód 0,35 mm² biały 4,5 m
Przewód 0,35 mm² czarny 4 m
Przewód 0,35 mm² czerwony 3 m
Oplot ochronny o średnicy 4 mm 2,5 m
Oplot ochronny o średnicy 8 mm 0,5 m
Osłona termokurczliwa 2,5 mm 0,1 m
Osłona termokurczliwa 4 mm 0,3 m
Osłona termokurczliwa 6 mm 0,1 m
Osłona termokurczliwa 9 mm 0,1 m
Kabel stereo jack 3,5 mm 1 m
Pin żeński BLS 58 szt.
Gniazdo BLS 2 pin 7 szt.
Gniazdo BLS 3 pin 4 szt.
Gniazdo BLS 16 pin 2 szt.
Tulejka izolowana 0,35 mm² 4 szt.
Opaska zaciskowa 80×3 mm 4 szt.

eprasa.pl 0914c66f57

W ofercie AVT*
AVT6062

Najważniejsze parametry:
- możliwość pracy jako filtr stereo lub dwa niezależne filtry mono,
- zasilanie: ±15 V (DC)/100 mA,
- topologia Sallen-Key'a,
- charakterystyka: 2× Butterworth 2-go rzędu w każdym kanale,
- zalecane częstotliwości odcięcia: 5...20 Hz (w zależności od doboru rezystorów).

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.ulubionykiosk.pl/media

----	Wzmacniacz transkonduktancyjny do subwoofera (EP 7/2023)
AVT5827	Przedwzmacniacz lampowy do gramofonu (EP 12/2020)
AVT5634	Lampowy przedwzmacniacz gramofonowy (EP 8/2018)
AVT5514	DSP1701_SUB cyfrowy filtr do subwoofera aktywnego (EP 10/2015)
AVT1693	Przedwzmacniacz gramofonowy MM RIAA (EP 8/2012)
AVT1687	Filtr do subwoofera (EP 8/2012)

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

- **wersja [C]** – zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw **[B]** (elementy wlutowane w płytkę PCB),
- **wersja [A]** – płytka drukowana bez elementów i dokumentacji.

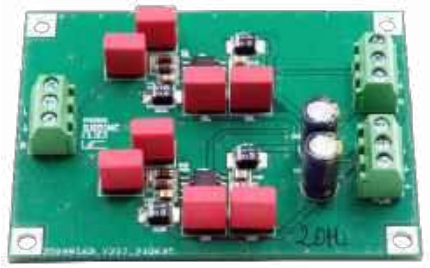
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- **wersja [A+]** – płytka drukowana **[A]** + zaprogramowany układ **[UK]** i dokumentacja,
- **wersja [UK]** – zaprogramowany układ.

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

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

Filtr częstotliwości podakustycznych „subsonic"

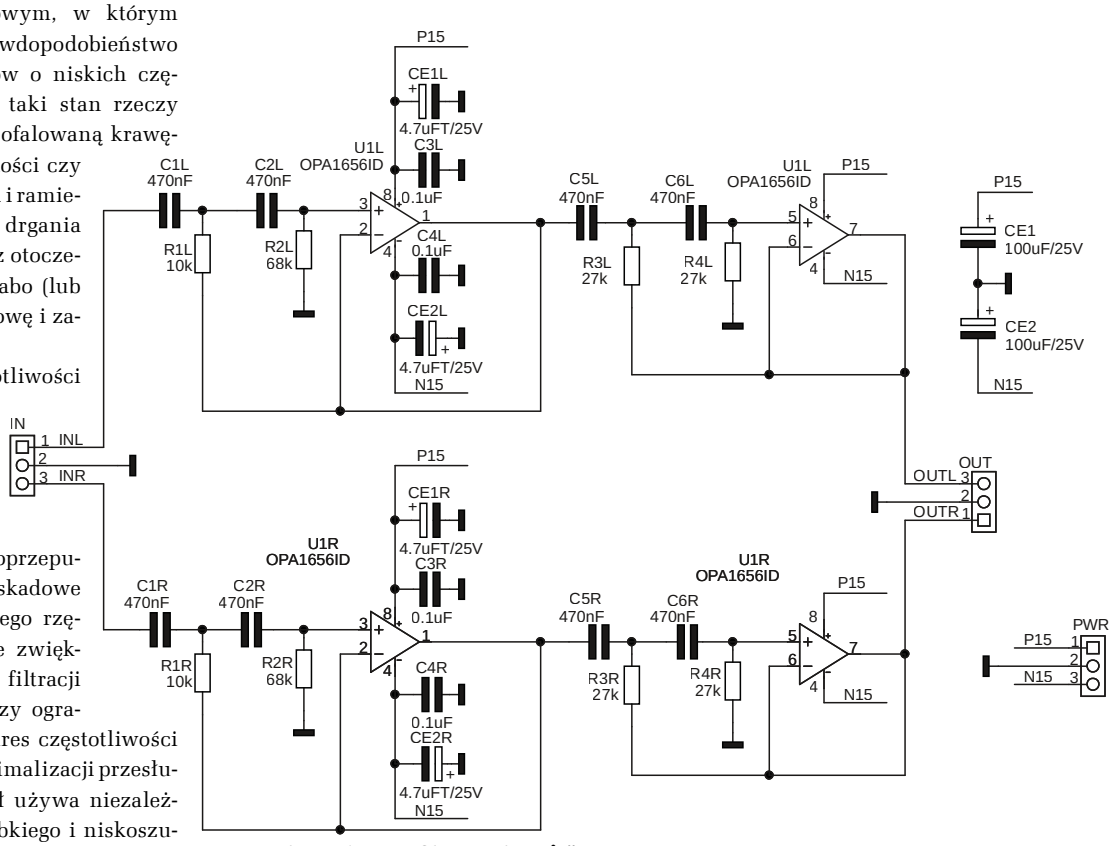
Filtr częstotliwości podakustycznych, zazwyczaj określany mianem „subsonic", znajduje zastosowanie w torze przedwzmacniacza gramofonowego lub subwoofera. Jego zadaniem jest eliminacja częstotliwości poniżej 10...20 Hz, których przetwarzanie nie tylko wpływa na jakość odtwarzanego dźwięku, ale może wręcz doprowadzić do uszkodzenia elementów toru audio (w tym m.in. głośników niskotonowych).



Filtr ma szczególne znaczenie zwłaszcza w torze gramofonowym, w którym istnieje wysokie prawdopodobieństwo pojawienia się przebiegów o niskich częstotliwościach. Winę za taki stan rzeczy może ponosić nośnik z pofalowaną krawędzią i brakiem centryczności czy rezonujący układ wkładki i ramienia gramofonu, a nawet drgania zewnętrzne pochodzące z otoczenia, które tłumione są słabo (lub wręcz wcale) przez obudowę i zawieszenie gramofonu.

Schemat filtra częstotliwości podakustycznych pokazano na **rysunku 1**.

Sygnał wejściowy z gniazda IN doprowadzony zostaje do dwustopniowego filtra górnoprzepustowego Butterwortha. Kaskadowe połączenie filtrów drugiego rzędu pozwala na znaczące zwiększenie skuteczności filtracji (do 2×12 dB/oktawę), przy ograniczeniu wpływu na zakres częstotliwości użytecznych. W celu minimalizacji przesłuchów stereo każdy kanał używa niezależnego, nowoczesnego, szybkiego i niskoszumowego wzmacniacza operacyjnego U1L/R



Rysunek 1. Schemat filtra „subsonic"

Wykaz elementów:

Rezystory: (Minimelf 0204, Vishay – opis w tekście)
R1L, R1R: 10 kΩ
R2L, R2R: 68 kΩ
R3L, R3R, R4L, R4R: 27 kΩ

Kondensatory:
C1L, C1R, C2L, C2R, C5L, C5R, C6L, C6R: 470 nF (foliowy Wima, R=5 mm)
C3L, C3R, C4L, C4R: 100 nF (SMD 0805, X7R, 50 V)
CE1, CE2: 100 µF/25 V (elektrolityczny, low ESR, R=2,5 mm)
CE1L, CE1R, CE2L, CE2R: 4,7 µF/25 V (tantalowy, SMB)

Półprzewodniki:
U1L, U1R: OPA1656ID (SO8)

Pozostałe:
IN, OUT, PWR: złącze śrubowe DG381 3 pin (DG381-3.5-3)

eprasa.pl 0914c66f57

Tabela 1. Wartości elementów dla wybranych częstotliwości filtracji

Częstotliwość [Hz]	R1 [kΩ]	R2 [kΩ]	R3 [kΩ]	R4 [kΩ]
5	39	270	100	120
8	27	180	68	68
10	22	150	47	56
12	18	120	39	47
16	12	82	33	39
20	10	68	27	27

typu OPA1656. Filtry górnoprzepustowe korzystają z topologii Sallena-Keya ze wzmocnieniem jednostkowym. Dobór elementów – zamiast drogą żmudnych obliczeń – został przeprowadzony za pomocą symulatora filtrów Analog Filter Wizard (https://tools.analog.com/en/filterwizard/). W materiałach dodatkowych załączono przykładowe projekty dla częstotliwości 5...20 Hz, które można zoptymalizować na potrzeby własnego zastosowania. W układzie filtra założono stałą, typową i łatwo dostępną wartość pojemności kondensatorów C1/2LR, C5/6LR=470 nF i zmienianą w zależności od częstotliwości wartość rezystorów R1/2LR, R3/4LR. Wartości rezystorów stanowią kompromis pomiędzy impedancją wejściową filtra a poziomem szumów. Minimalna impedancja wejściowa filtra wynosi ok. 20 kΩ, co nie stanowi problemu dla dzisiejszych przedwzmacniaczy gramofonowych lub wyjść sygnału audio. Problematyczne mogą być tylko przedwzmacniacze lampowe o wyższych wartościach impedancji wyjściowej, w takim przypadku warto zastosować dodatkowy bufor.

W zależności od doboru elementów można uzyskać różne częstotliwości odcięcia. Przykładowe wartości elementów dla kilku typowych częstotliwości filtracji zebrano w **tabeli 1**.

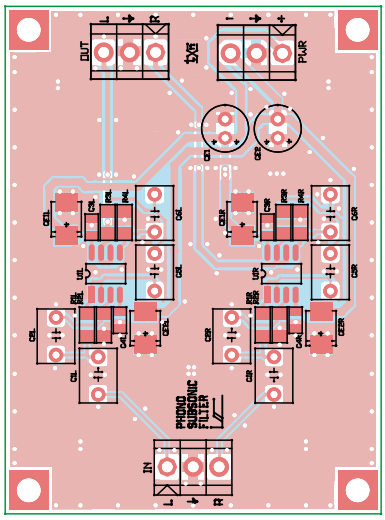
Sygnał po filtracji wyprowadzony jest na gniazdo OUT. Filtr wymaga symetrycznego, niskoszumowego zasilania ±15 V/100 mA doprowadzonego do gniazda PWR.

Układ zmontowany jest na dwustronnej płytce drukowanej, rozmieszczenie elementów pokazano na **rysunku 2**.

Sposób montażu jest klasyczny i nie wymaga opisu. Przed wlutowaniem kondensatorów należy dobrać (przy użyciu miernika pojemności) elementy o wartości możliwie najbardziej zbliżonej do 470 nF oraz zapewnić minimalny rozrzut wartości pomiędzy kanałami. W modelu dokładne wartości wybrano spośród kondensatorów o tolerancji 5%, niestety konieczny był zakup ich większej liczby. Dodatkowo – by uzyskać możliwie najniższy poziom szumów – zastosowano metalizowane rezystory niskoszumowe o tolerancji 1% SMA/MMA0204.

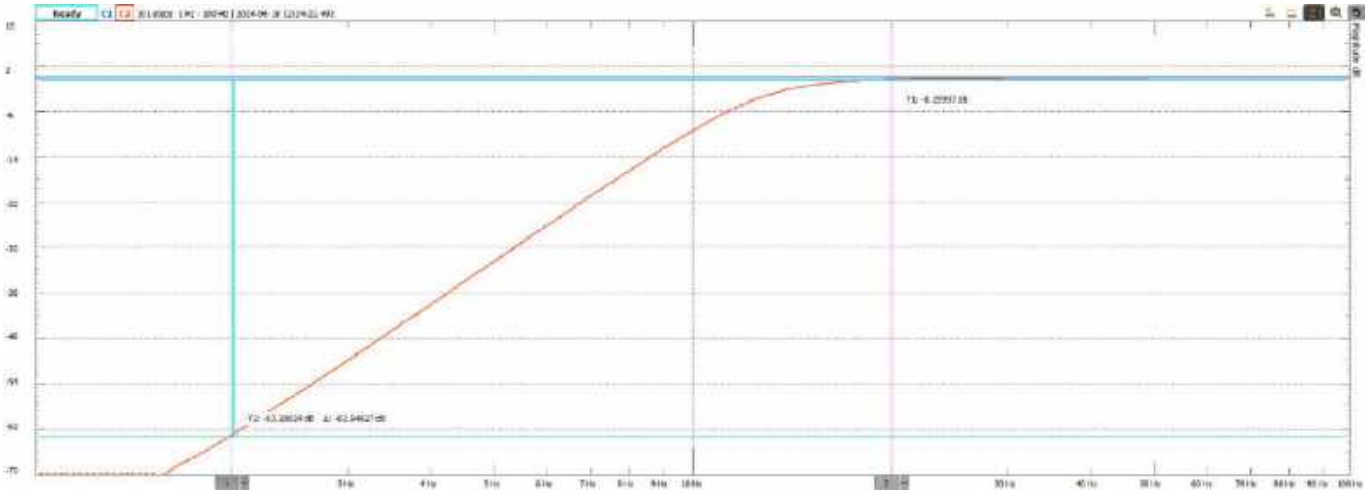
Zmontowany moduł zaprezentowano na **fotografii tytułowej**.

Układ nie wymaga uruchamiania, działa natychmiast po zlutowaniu (przy założeniu, że wszystkie elementy są sprawne) i włączeniu zasilania. W zależności od zastosowania, filtr umieszczamy po przedwzmacniaczu gramofonowym lub na wejściu subwoofera. Istnieją różne podejścia do kwestii wyłączania filtra; ja jestem zwolennikiem włączenia go w tor audio na stałe, bez dodatkowych przełączników by-pass. Wprowadzony uszczerbek w jakości dźwięku okazuje się znacznie mniej dokuczliwy niż modulacja membran głośników niskimi częstotliwościami lub uszkodzenie przeciążonego mechanicznie głośnika drogiego subwoofera. Filtr można też zmontować w wersji monofonicznej, ale z elementami dobranymi dla różnych częstotliwości filtracji, np. 5/12 Hz i przełączać je w zależności od potrzeb. Przykładowy pomiar charakterystyki filtru wykonany za pomocą urządzenia Analog Discovery3 ukazano na **rysunku 3**.



Rysunek 2. Rozmieszczenie elementów

Adam Tatuś, EP



Rysunek 3. Przykładowa zmierzona charakterystyka filtru

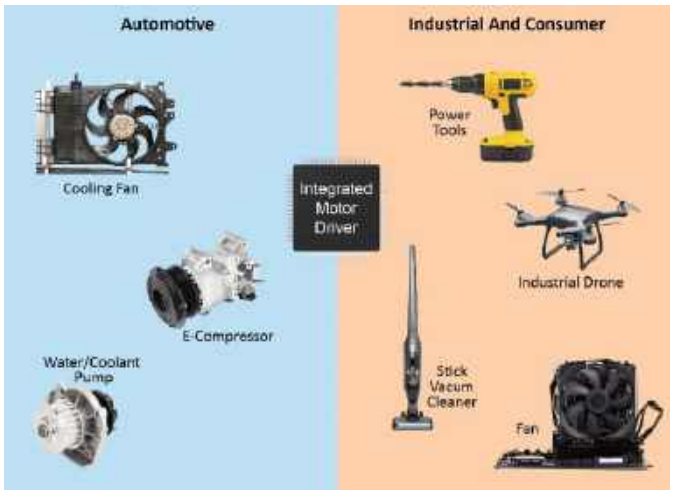
REKLAMA

www.facebook.com/ElektronikaPraktyczna

eprasa.pl 0914c66f57

dsPIC33A: zoptymalizowane sterowanie napędami z użyciem zintegrowanego sterownika i wydajnego rdzenia DSC

Silniki elektryczne – pracujące w niezliczonych aplikacjach konsumenckich i profesjonalnych – odpowiadają za prawie połowę ogólnoświatowego zużycia energii elektrycznej. Tak wysoki odsetek doprowadził do wprowadzenia wobec producentów silników rygorystycznych zasad dotyczących efektywności energetycznej i zrównoważonego rozwoju. Obecnie nacisk kładzie się na opracowywanie energooszczędnych napędów przy użyciu przyjaznych dla środowiska materiałów i zrównoważonych procesów produkcyjnych.



Nowe trendy w obszarze sterowników silników

Wzrost liczby pojazdów elektrycznych (EV) i zapotrzebowanie na energooszczędne systemy rozszerzyły zastosowanie silników elektrycznych poza tradycyjne aplikacje. Nowoczesne systemy mechatroniczne integrują technologie Internetu Rzeczy (IoT) i sztucznej inteligencji (AI), umożliwiając konserwację predykcyjną, nadzór w czasie rzeczywistym i zwiększoną wydajność napędów. Wysokowydajne silniki, produkowane na bazie innowacyjnych projektów i oparte na skrupulatnie wybranych materiałach, zmniejszają zużycie energii, a co za tym idzie – także emisję dwutlenku węgla.

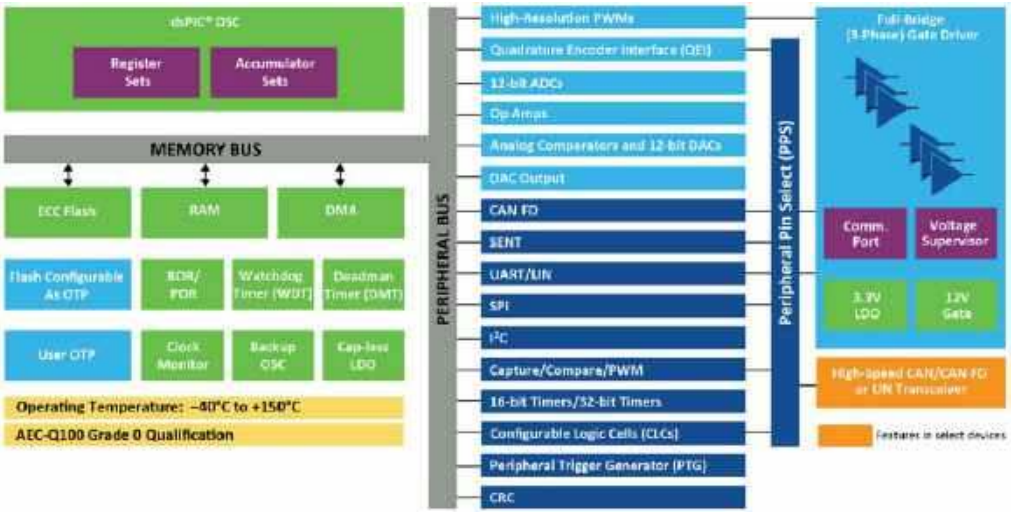
Kompaktowe i lekkie silniki są kluczowe w sektorach takich jak motoryzacja, lotnictwo czy automatyka przemysłowa, w których oszczędność miejsca i masy ma znaczenie zasadnicze. Postęp w algorytmach sterowania silnikami (w tym oparte na modelach sterowanie predykcyjne czy zaawansowane sterowanie bezczujnikowe) poprawiają wydajność energetyczną, dokładność sterowania oraz dynamikę napędów.

Zintegrowane sterowniki silników: skok technologiczny

Zintegrowane sterowniki silników znajdują się na czele postępu technologicznego, łącząc w sobie wszystkie niezbędne funkcje sterowania i interfejsu analogowego oraz obejmując m.in.: zaawansowany mikrokontroler (MCU) zdolny do obsługi bezczujnikowego sterowania polowozorientowanego (FOC), 3-fazowy sterownik bramek, a nawet transceiver do komunikacji z urządzeniem nadrzędnym. Popyt na zintegrowane sterowniki silników wynika z zalet, jakie przynoszą one konstruktorom: umożliwiają one bowiem nie tylko redukcję kosztów implementacji, ale także zwiększenie wydajności i niezawodności, oszczędność miejsca oraz bezproblemową integrację z innymi systemami.

Zastosowania zintegrowanych sterowników silników

Sterowniki zintegrowane są szeroko stosowane w aplikacjach motoryzacyjnych (w tym EV) oraz przemysłowych. W sektorze motoryzacyjnym odpowiadają za elektryczne wspomaganie układu kierowniczego (EPS), systemy hamowania, HVAC i układy chłodzenia silnika. W środowiskach przemysłowych umożliwiają natomiast precyzyjną kontrolę w robotyce, pompach zasilanych akumulatorowo, sprężarkach i obrabiarkach. W pojazdach elektrycznych nowoczesne mikrokontrolery optymalizują sterowanie silnikiem, obsługę akumulatora, hamowanie regeneracyjne i zarządzanie temperaturą, a ponadto realizują rozmaite funkcje diagnostyczne i nadzorują pracę systemów bezpieczeństwa.



eprasa.pl 0914c66f57





Rozwiązanie Microchip Technology

Microchip Technology wprowadziła nową serię zintegrowanych sterowników silników opartych na kontrolerze sygnałowym (DSC) o architekturze dsPIC. Układy te usprawniają wdrażanie wydajnych, wbudowanych systemów sterowania silnikiem w czasie rzeczywistym, także w zastosowaniach o istotnych ograniczeniach pod względem dostępnej przestrzeni na PCB. Sterowniki silników zawierają kontroler dsPIC33, 3-fazowy sterownik bramek MOSFET i opcjonalny transceiver LIN lub CAN FD, co znakomicie przyspiesza proces projektowania systemu poprzez uproszczenie układu elektronicznego, zmniejszenie liczby niezbędnych komponentów, a co za tym idzie – także rozmiarów płytki drukowanej.

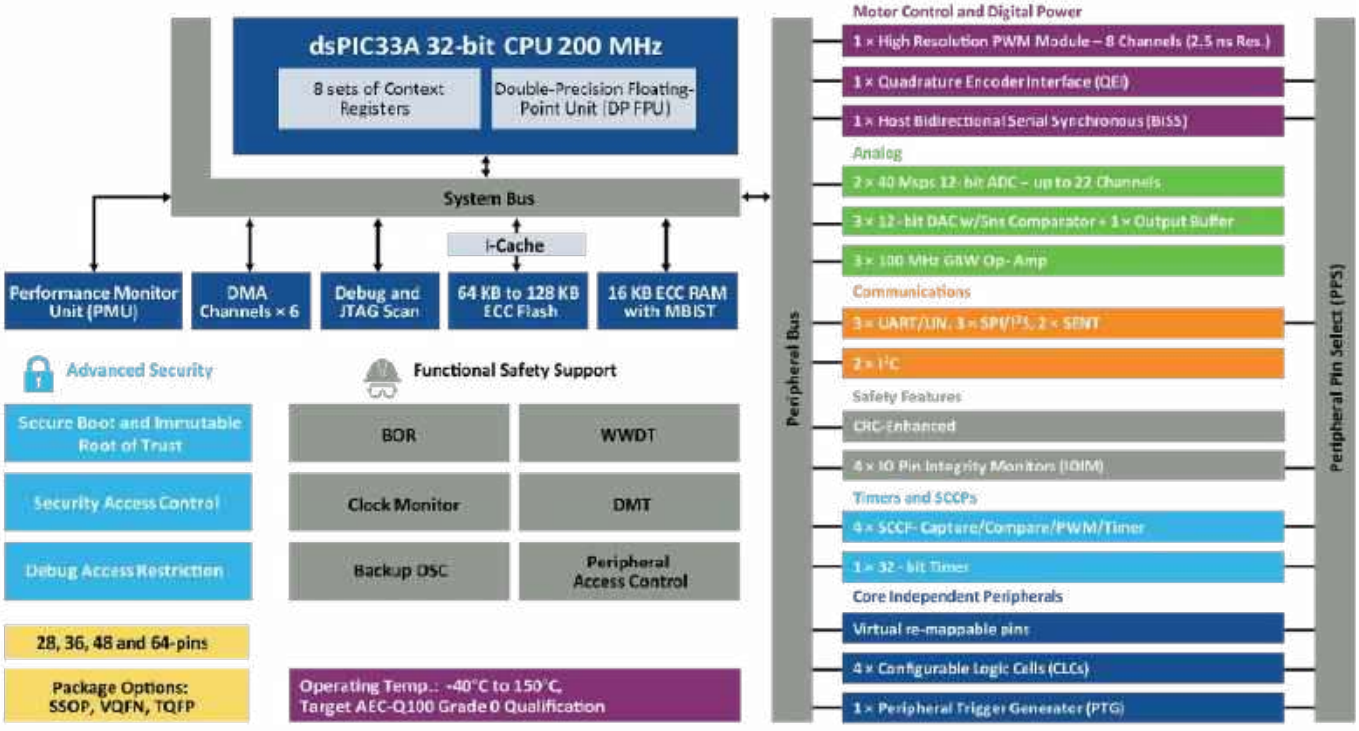
Sterowniki zintegrowane z omawianej rodziny działają na pojedynczym zasilaniu do 29 V (praca ciągła)/40 V (stany przejściowe) i zapewniają wysoką wydajność obliczeniową dzięki taktowaniu do 70...100 MHz. Ułatwiają wydajną implementację FOC i innych zaawansowanych algorytmów sterowania silnikiem. Wbudowany stabilizator LDO 3,3 V zasila rdzeń dsPIC, eliminując potrzebę stosowania zewnętrznego regulatora liniowego bądź DC/DC.

Kluczowe trendy w technologii mikrokontrolerów

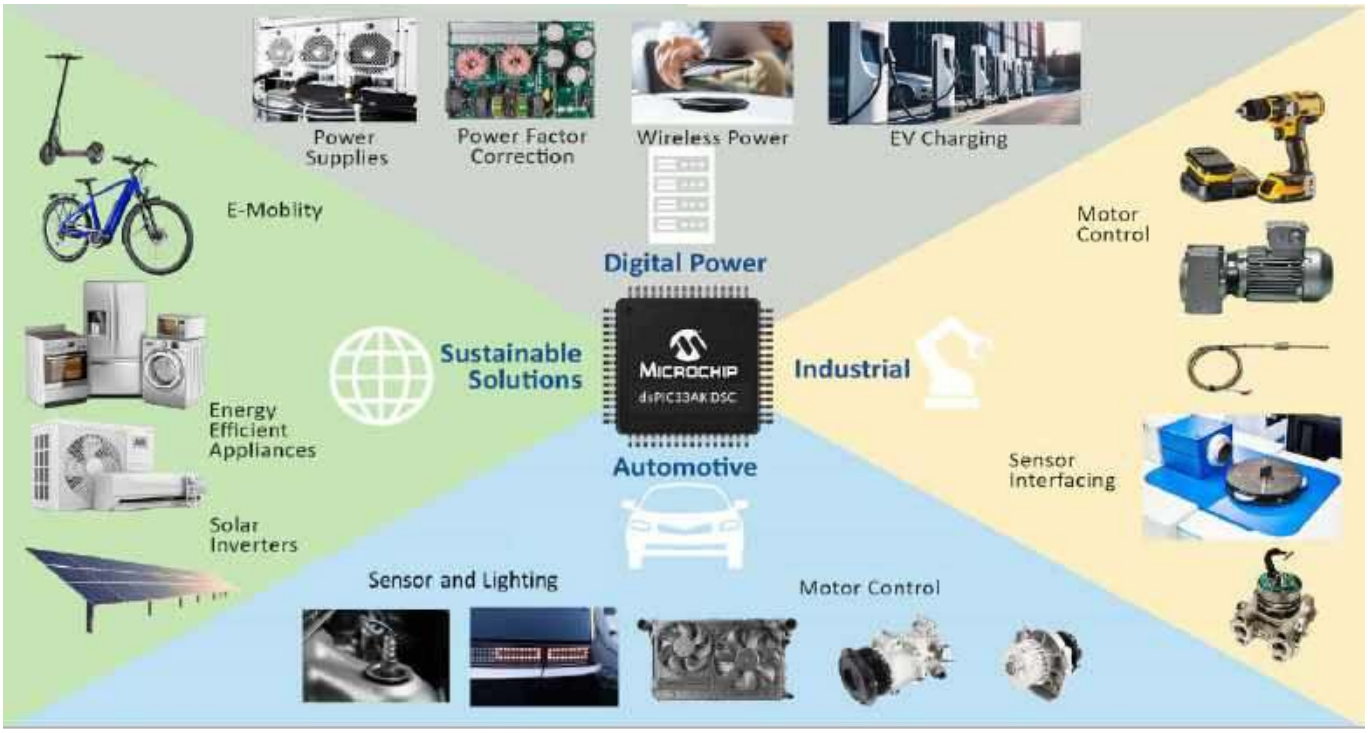
Nowoczesne mikrokontrolery rozwiązują szereg problemów, z jakimi zmaga się elektronika XXI wieku. Rosnąca złożoność oprogramowania, potrzeba ciągłego podnoszenia efektywności energetycznej czy też konieczność spełnienia surowych standardów bezpieczeństwa – właściwie dobrane mikrokontrolery pomagają konstruktorom poradzić sobie ze wszystkimi tymi zagadnieniami, a dodatkowo zapewniają zintegrowane, wielofunkcyjne bloki peryferyjne, pozwalające na realizowanie zaawansowanych operacji w zakresie obsługi sygnałów mieszanych czy też komunikacji z zewnętrznymi systemami.

Większa złożoność oprogramowania i rosnące wymagania dotyczące bezpieczeństwa

Integracja projektów oparta na modelach ułatwia szybkie prototypowanie i generowanie kodu, przyspieszając proces rozwoju złożonego oprogramowania. Nowoczesne mikrokontrolery oferują ponadto zoptymalizowaną architekturę odporną na błędy, co ułatwia zapewnienie integralności systemu, zwłaszcza w zastosowaniach o podwyższonych wymogach bezpieczeństwa – ma to niebywale istotne znaczenie, jeżeli docelowa aplikacja wymaga spełnienia wyśrubowanych norm bezpieczeństwa funkcjonalnego, przede wszystkim ISO 26262, IEC 61508 czy też IEC 60730. Akceleratory kryptograficzne, mechanizmy bezpiecznego rozruchu czy też kontroli dostępu w celu ochrony danych i własności intelektualnej odpowiadają za podwyższenie poziomu cyberbezpieczeństwa, zaś większa pamięć i moc obliczeniowa umożliwiają tworzenie wielozadaniowych aplikacji.



eprasa.pl 0914c66f57



Wysokowydajne, cyfrowe kontrolery sygnałowe (DSC) firmy Microchip

Kontrolery DSC firmy Microchip odpowiadają na złożone potrzeby sterowania w czasie rzeczywistym z wysoką precyzją i niezawodnością. Nowa seria dsPIC33A oznacza istotny skok technologiczny w zakresie mikrokontrolerów, oferując solidną i wydajną platformę, która wyróżnia się na tle konkurencji pod względem zarządzania pamięcią, optymalizacji wykonywania kodu czy też wsparcia w zakresie bezpieczeństwa funkcjonalnego.

Główne cechy serii dsPIC33A

1. **32-bitowy procesor**: 200-megahercowy procesor z FPU o podwójnej precyzji zwiększa wydajność obliczeniową w aplikacjach z obszaru cyfrowego zarządzania mocą czy też zaawansowanego sterowania silnikami.
2. **Jednostka zmiennoprzecinkowa** podwójnej precyzji (DP-FPU) jest zgodna z normą IEEE 754-2019, obsługuje pojedynczą i podwójną precyzję z dedykowanym potokiem, zwiększając szybkość pętli sterowania i redukując błędy oprogramowania związane ze skalowaniem zmiennych. Obejmuje sprzętowe wsparcie obliczeń trygonometrycznych (funkcje sinusoidalne i cosinusoidalne) dla jeszcze wydajniejszego sterowania napędami elektrycznymi.
3. **Ulepszony silnik DSP i procesor** zawierają dwa 72-bitowe akumulatory, minimalizując ryzyko przepełnienia lub niedopełnienia.
4. **Zaawansowane, szybkie bloki peryferyjne** obejmują m.in. 12-bitowy przetwornik ADC (40 MSps), wzmacniacze operacyjne (GBW do 100 MHz) i szybkie komparatory o czasie reakcji 5 ns.
5. **Ulepszone funkcje bezpieczeństwa i architektura pamięci** obejmują technologię Root of Trust, bezpieczne debugowanie i ograniczenie dostępu do segmentów pamięci Flash.

Pierwszy produkt w rodzinie dsPIC33A

Pierwsza wprowadzona na rynek rodzina dsPIC33AK128MC1xx będzie zawierać 128 kB pamięci Flash i rozbudowany zestaw peryferiów. Układy udostępnione zostaną w obudowach SSOP, VQFN i TQFP (od 28 do 64 pinów), przy wymiarach obudowy zredukowanych nawet do 4×4 mm. Kolejne podgrupy układów dsPIC33A z dodatkową pamięcią, peryferiami i większą liczbą pinów uzupełnią portfolio firmy Microchip w zakresie zintegrowanych kontrolerów napędów elektrycznych.

Ekosystem i wsparcie

Aby przyspieszyć proces projektowania urządzeń, Microchip oferuje kompleksowy ekosystem oprogramowania do sterowania silnikiem i sprzętowe narzędzia deweloperskie, w tym zestaw startowy dsPIC33CK (MCSK) oraz płytkę rozwojową MCLV-48V-300W. MPLAB motorBench Development Suite, bezpłatne narzędzie oparte na GUI do sterowania silnikami, pozwala na pomiar parametrów napędu, dostrajanie wzmocnienia pętli sprzężenia zwrotnego oraz generowanie kodu źródłowego. Wersja 2.45 wprowadza ponadto rozwiązania Zero-Speed/Maximum Torque (ZS/MT), maksymalizując moment obrotowy w systemach bezczujnikowych.

Microchip zapewnia również bezpłatne bloki urządzeń MPLAB do środowiska MATLAB Simulink, umożliwiając zoptymalizowane generowanie kodu na procesory dsPIC i inne mikrokontrolery Microchipa. Wciąż rozszerzane portfolio obejmuje gotowe do użycia projekty referencyjne, przeznaczone do sterowania silnikami w aplikacjach motoryzacyjnych, przemysłowych i konsumenckich.

Nowa seria dsPIC33A usprawnia rozwój systemów wbudowanych dzięki projektowaniu opartemu na modelach i architekturze zestawu instrukcji (ISA) zgodnej z istniejącymi układami dsPIC33 DSC. Integruje się z kompilatorem MPLAB XC-DSC i konfiguratorem kodu MPLAB, kompatybilnymi z zestawem ogólnego przeznaczenia dsPIC33A Curiosity Development Board (EV74H48A) i modułem dsPIC33AK128MC106 Motor Control DIM (EV68M17A).

Podsumowanie

Synergia nowoczesnych silników elektrycznych i wysokowydajnych mikrokontrolerów wyznacza nowe trendy rozwoju technologii napędowych. Microchip Technology Inc. jest na czele wyścigu, oferując innowacyjne rozwiązania zwiększające wydajność i promujące zrównoważony rozwój. Udoskonalenia w obszarze technologii półprzewodnikowej, algorytmów sterowania i integracji systemów zapowiadają nową erę precyzji i niezawodności w aplikacjach wymagających m.in. kontroli w czasie rzeczywistym czy cyfrowej konwersji energii.

Opracowano na podstawie: „Optimized Motor Control with Integrated Motor Driver and Real-Time Computing Power of dsPIC33A DSCs" (Pramit Nandy, Product Marketing Manager, Microchip Technology).

eprasa.pl 0914c66f57



Nordic Semiconductor – specjaliści od elektroniki ubieralnej

Czy elektronika ubieralna jest czymś nowym? Na pewno wiele osób stwierdzi, że przecież od zarania „elektronicznych dziejów" żołnierz nosił na plecach radiostację! No zgadza się, z tej perspektywy faktycznie elektronika na ciele to nic nowego. Choć ja uważam, że była to raczej elektronika nie ubieralna, a... dźwigana, jak baterie w walizkach do radzieckiego zegarka ze starego dowcipu. Dopiero rozwój techniki w ostatnich kilkunastu latach umożliwił stworzenie urządzeń ubieralnych z prawdziwego zdarzenia – lekkich na tyle, by nie czuć ich wagi na ciele, tak małych, że trudno je dostrzec i pracujących na baterii na tyle długo, że łatwo o nich zapomnieć. Ostatnie lata to prawdziwy boom na elektroniczne urządzenia ubieralne. Urządzenia naprawdę przenośne, a nie „przenośne typu wojskowego".

Połączenia bezprzewodowe

Firma Nordic Semiconductor uczestniczyła w rozwoju branży cywilnej elektroniki ubieralnej od samego początku. A gdzie na osi czasu należy szukać początków? Przełom nastąpił wtedy, gdy możliwe stało się pozbycie się „kabelków" i bezprzewodowe podłączenie do telefonu niewielkich urządzeń zasilanych za pomocą baterii (np. CR2032). Umożliwiły to dwie technologie bezprzewodowe: Bluetooth Low Energy oraz ANT.



Technologia Bluetooth istniała od 1998 roku, ale służyła głównie do transferu dźwięku i danych na niewielkie odległości. Nie była też tania w zastosowaniu i pobierała sporo energii. Inżynierowie firmy Nokia pracowali nad standardem, który mógłby bazować na radiu Bluetooth zintegrowanym w telefonie, ale jednocześnie umożliwiłby podłączanym czujnikom pracę z małym poborem energii. Tak narodziła się bezprzewodowa technologia Wibree, pokazana przez Nokię w 2006 roku. W tym samym roku do inicjatywy dołączył Nordic Semiconductor, zapowiadając stworzenie niewielkich układów radiowych wspierających tę technologię. Dalej sprawy potoczyły się znanym torem – jeszcze w 2007 roku podjęto decyzję, że technologia Wibree stanie się częścią specyfikacji Bluetooth i tak się stało w roku 2010, wraz z opublikowaniem standardu Bluetooth 4.0. Pierwszym telefonem obsługującym ten protokół był iPhone 4S z 2011 roku. Nordic Semiconductor miał już wtedy wieloletnie doświadczenie w tej technologii, dzięki wcześniejszemu zaangażowaniu w pracę nad układami radiowymi na potrzeby Wibree. Od tego czasu firma jest na bieżąco z każdą kolejną wersją standardu Bluetooth – najnowszy wariant Bluetooth 6 będzie obsługiwany przez kolejną rodzinę SoC: Nordic nRF54.

eprasa.pl 0914c66f57



Standard ANT powstawał równolegle w firmie Dynastream Innovations – jego głównym przeznaczeniem był sport. W 2006 firma ta została wykupiona przez Garmin i od tego czasu implementacja ANT trafia do urządzeń sportowych, takich jak zegarki, liczniki i nawigacje rowerowe, pulsometry, sensory mocy pedałowania oraz wiele innych. ANT ma przygotowane profile do różnych rodzajów urządzeń sportowych i cały czas powstają nowe projekty stosujące ten protokół – zazwyczaj na układach Nordic Semiconductor, gdyż oferują one deweloperom łatwy start, zarówno za sprawą dostępnych układów, jak i SDK.

Ostatnie lata to także rozwój komunikacji LTE, umożliwiającej łączność przez sieć komórkową przy użyciu technik niskiego poboru energii. Najbardziej popularne standardy to Cat-M1 oraz NB-IoT. Umożliwiają one wysyłanie niewielkiej ilości danych do chmury przez sieć komórkową, zapewniając jednocześnie długi czas pracy przy zasilaniu bateryjnym. Nordic Semiconductor ma w swojej ofercie moduły z rodziny nRF91, które dzięki małemu rozmiarowi i niskiemu zużyciu energii można wbudować nawet w zegarek.

Integracja w małym chipie

Bezprzewodowe protokoły komunikacyjne wymagają układu radiowego do uruchomienia łączności (modulacji, przełączania toru antenowego, filtracji itd.), a także układu cyfrowego do obsługi stosu komunikacyjnego. W zdecydowanej większości przypadków przydaje się ponadto dodatkowa moc obliczeniowa i pamięć dostępna do aplikacji użytkownika, która realizuje główne zadanie urządzenia ubieralnego (np. pomiar tętna). W Nordic Semiconductor stawiamy na integrację jak największej funkcjonalności, oferując inżynierom układy typu SoC – System on Chip – czyli umieszczając na jednym chipie (w jednym płatku krzemu) nie tylko układ radiowy i obsługujący go procesor (w układach Nordic jest to znany z mikrokontrolerów ARM Cortex-M), ale także między innymi: pamięć wewnętrzną – zarówno RAM, jak i nieulotną (pamięć programu), podsystemy bezpieczeństwa danych, układy peryferyjne cyfrowe i cyfrowo-analogowe, interfejsy szeregowe, obwody zasilania czy liczniki czasu. Wiele układów jest dostępnych w obudowie typu CSP (Chip-Scale Package), która odwzorowuje wielkość chipu krzemowego, na którym zbudowany jest układ. Dzięki temu niemal cała funkcjonalność urządzenia może być zintegrowana w układzie scalonym wielkości nawet 2,5×2,5 mm – do realizacji gotowego produktu wystarczy zatem podłączyć zewnętrzne czujniki, baterię, antenę i elementy pasywne. Integracja wielu podsystemów cyfrowych w jednym układzie scalonym – poza zmniejszeniem rozmiaru aplikacji – redukuje także zużycie energii oraz poprawia bezpieczeństwo systemu: między innymi dzięki temu, że program wykonywany jest z wewnętrznej pamięci mikrokontrolera. Oprogramowanie uruchamiane na układach SoC tworzone jest w środowisku nRF Connect SDK – wspólnym dla wszystkich rodzin SoC marki Nordic, poczynając od nRF52. Pakiet bazuje na Zephyr RTOS, dzięki czemu tworzone aplikacje mogą być łatwo konfigurowalne i przenoszone pomiędzy różnymi wersjami sprzętu (opartymi nawet na różnych mikrokontrolerach), zapewniając jednocześnie niski pobór prądu.

Wydajne zasilanie z akumulatora

Ekspansja elektroniki ubieralnej to także skutek rozwoju nowoczesnych źródeł energii – akumulatorów i baterii. Na tyle pojemnych, by mogły zasilić cały system wraz z odczytem czujników, przetwarzaniem danych i przede wszystkim wysyłaniem ich drogą radiową, ale także na tyle małych i lekkich, by nie przeszkadzały w codziennym użyciu. Wykorzystanie SoC produkcji Nordica w urządzeniach ubieralnych od zawsze szło w parze z użyciem jakiegoś magazynu energii. W wielu przypadkach SoC można zasilić bezpośrednio z baterii (zwracając uwagę na zakres dopuszczalnych napięć zasilających) ale w przypadku gdy używamy akumulatora, pojawia się kilka dodatkowych zagadnień: trzeba go sprawnie i bezpiecznie naładować, dobrze by było znać ilość zgromadzonej energii pozostałej do wykorzystania, nie zaszkodziłoby także zredukowanie zużycia prądu w czasie od produkcji do pierwszego uruchomienia przez klienta. Aby usprawnić realizacje projektów z wbudowanym akumulatorem, Nordic wprowadził do oferty układ zarządzana zasilaniem (PMIC) o oznaczeniu nPM1300 – trzeci w rodzinie nPM układów PMIC od Nordic Semiconductor. Jest on idealnym kompanem dla SoC z Bluetooth Low Energy lub modułów komunikacyjnych LTE nRF91. Poza ładowarką akumulatorów (o wydajności do 800 mA) oferuje on funkcję precyzyjnego pomiaru stanu naładowania, udostępnia efektywne przetwornice typu buck oraz kilka funkcji przydatnych w zarządzaniu systemem, m.in.: tryb wysyłki, twardy reset, dodatkowy watchdog czy też funkcję hibernacji. nPM1300 pozwala na dalsze wydłużenie czasu pracy na jednym naładowaniu, dodatkowo informując system i użytkownika o procencie energii pozostałej do użycia oraz dbając o reset systemu w razie „twardego" zawieszenia się głównego procesora.

Nordic Semiconductor pomaga inżynierom w tworzeniu urządzeń ubieralnych na każdym etapie projektowania sprzętu, a także w tworzeniu aplikacji na telefon (dzięki kodom źródłowym aplikacji referencyjnych na Android i iOS). Gama dostępnych niskoenergetycznych układów typu SoC, wraz z odpowiednim oprogramowaniem – zarówno stosami komunikacyjnymi, jak i przykładami prostych aplikacji – umożliwia dopasowanie odpowiedniego rozwiązania do tworzonego urządzenia. Dodatkowo układy PMIC rodziny nPM wspierają projektantów w uproszczeniu układu zasilania, zwiększając jednocześnie jego funkcjonalność. Kolejnym, widocznym już wyraźnie trendem jest wykorzystywanie uczenia maszynowego (ML – Machine Learning) do analizowania danych zebranych z wielu czujników podłączonych do jednostki centralnej, które monitorują np. parametry zdrowotne użytkownika. Do tego typu zadań stworzony został SoC nRF54H20 o wielu rdzeniach obliczeniowych i bardzo małym zużyciu energii podczas przetwarzania danych, wyposażony w wydajne radio Bluetooth. Układ już wkrótce będzie miał swoją rynkową premierę. Wygląda na to, że rozwój elektroniki ubieralnej cały czas trwa i wkrótce możemy spodziewać się w sprzedaży kolejnych, supernowoczesnych urządzeń.

Maciej Michna
Nordic Semiconductor



eprasa.pl 0914c66f57

Elektronika ubieralna

Urządzenia ubieralne (wearables) nie tak dawno były jeszcze przedmiotem zainteresowania technologicznych futurystów i autorów filmów science fiction. Miniaturyzacja układów scalonych, upowszechnienie energooszczędnych, ale wydajnych mikrokontrolerów i układów radiowych oraz postępy w dziedzinie produkcji bezpiecznych akumulatorów o zaskakująco małych wymiarach – wszystko to umożliwiło rozkwit branży elektroniki noszonej na ciele. I choć ten niezwykle interesujący obszar technologii jest zdominowany przede wszystkim przez różnego rodzaju gadżety sportowe (smartwatche, inteligentne opaski czy pulsometry), to coraz częściej spotykamy się ze znacznie poważniejszymi przykładami aplikacji. Dzisiejsze urządzenia medyczne, w wielu przypadkach mające postać ubieralną, odgrywają nieocenioną rolę w monitorowaniu funkcji życiowych, zarządzaniu farmakoterapią cukrzycy czy też długookresowej diagnostyce i terapii rzadko występujących zaburzeń rytmu serca. W listopadowym Temacie Numeru przyglądamy się najciekawszym aspektom aplikacyjnym aktualnego rynku urządzeń wearable.

Definicja urządzeń ubieralnych

Urządzenia ubieralne, nazywane także elektroniką noszoną (ang. wearable devices lub body-worn devices) to niezwykle szeroka kategoria relatywnie niewielkich, lekkich urządzeń, które – jak sama nazwa wskazuje – mogą być zakładane (bezpośrednio lub pośrednio) na ciało użytkownika. Internetowy portal dictionary.com określa znaczenie hasła wearable technology jako „mały komputer lub zaawansowane urządzenie elektroniczne zakładane na ciało lub noszone na nim" [1]. Warto w tym miejscu podkreślić, że rozróżnienie pomiędzy urządzeniami mobilnymi (mobile devices) oraz – w ogólności – przenośnymi (portable devices), a elektroniką ubieralną, polega nie tyle na rzeczywistym sposobie użytkowania, co na pewnych specyficznych rozwiązaniach konstrukcyjnych. O ile bowiem każdy smartfon może być założony np. na ramię biegacza przy użyciu specjalnego etui, to nie czyni to jeszcze owego telefonu członkiem obszernej rodziny urządzeń noszonych. Te ostatnie są bowiem fabrycznie przystosowane do tego, by w jakiś sposób zakładać je na ciało użytkownika, najczęściej na dość długi czas (choć wielu z nas nosi np. inteligentną opaskę czy zegarek przez całą dobę, pomijając oczywiście przerwy niezbędne do naładowania wewnętrznego akumulatora).

Aplikacje elektroniki noszonej

Jednoznaczny podział wszystkich obecnych na rynku urządzeń ubieralnych na całkowicie rozłączne kategorie jest trudny do ustalenia, zwłaszcza w przypadku produktów z segmentu konsumenckiego. Wynika to z bardzo prostego faktu – zdecydowana większość wyrobów znajdujących się w sprzedaży pełni jednocześnie szereg różnych funkcji, przez co trudno je jednoznacznie zaklasyfikować do określonej grupy. Przykładowa klasyfikacja – uwzględniająca ten fakt – mogłaby zatem wyglądać następująco.

Wielofunkcyjne urządzenia konsumenckie stanowią zdecydowanie najszerszą i najłatwiej dostępną (obok słuchawek bezprzewodowych) grupę wyrobów z sektora wearable. Miniaturyzacja wydajnych mikrokontrolerów i procesorów aplikacyjnych o dopracowanych trybach oszczędzania energii, a także upowszechnienie (i – co za tym idzie – spadek cen) doskonałej jakości wyświetlaczy OLED i AMOLED spowodowało, że czołowi producenci smartfonów podjęli próbę przeniesienia części funkcjonalności tychże urządzeń mobilnych na znacznie mniejszą platformę, której rozmiary umożliwiłyby noszenie jej dokładnie tak, jak klasycznego zegarka naręcznego. Swego rodzaju podgrupą smartwatchy (**fotografia 1**) są tzw. opaski sportowe (ang. smartbands – **fotografia 2**), których funkcjonalność w rzeczywistości pokrywa się w przeważającej części z możliwościami smartwatchy, a rozróżnienie pomiędzy nimi opiera się dziś głównie na proporcjach obudowy oraz ukierunkowaniu na funkcje stricte sportowe (w przypadku opasek). Standardową funkcjonalnością praktycznie wszystkich współczesnych smartwatchy i smartbandów jest pomiar tętna metodą optyczną (fotopletyzmograficzną – **fotografia 3**), w przypadku bardziej zaawansowanych zegarków często rozszerzony o SpO_2 (pulsoksymetr), a nawet proste, jednoodprowadzeniowe EKG, korzystające z metalowych elementów obudowy jako elektrod (**fotografia 4**).

Co ciekawe, do tej samej grupy należą też ultra-nowoczesne smart ringi (inteligentne pierścienie – **fotografia 5**). Te kompaktowe urządzenia stanowią popis współczesnej miniaturyzacji, gdyż w formie stosunkowo cienkiego pierścienia integrują kompletne urządzenie pełniące szereg rozmaitych funkcji – w tym przede wszystkim pomiary podstawowych parametrów biomedycznych (częstości tętna oraz saturacji krwi tętniczej), liczby kroków czy rodzaju aktywności (te dwa ostatnie pomiary



Fotografia 1. Przykładowe smartwatche firmy Xiaomi (https://t.ly/VYEF6)



Fotografia 2. Przykładowa opaska sportowa (https://t.ly/ewjC0)



Fotografia 3. Czujnik fotopletyzmograficzny zamontowany w spodniej części obudowy opaski sportowej (https://t.ly/57RbG)

eprasa.pl 0914c66f57



Fotografia 4. Pomiar EKG za pomocą smartwatcha (https://t.ly/RS030)

są dokonywane za pomocą akcelerometru MEMS). Część smart ringów oferuje także pomiar temperatury skóry, który jednak stanowi bardziej dodatkowy gadżet, niż jakąkolwiek rzeczywistą wartość z medycznego czy użytkowego punktu widzenia.

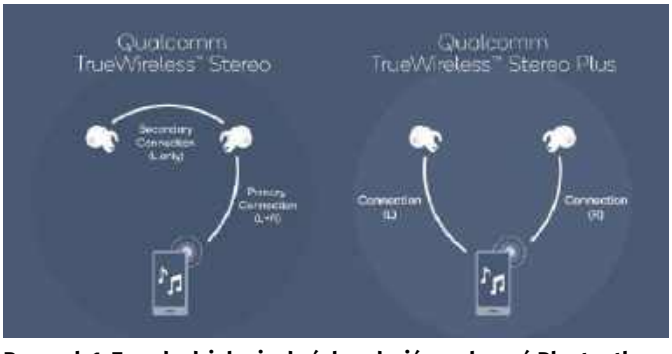
Urządzenia audio obejmują różnego rodzaju słuchawki bezprzewodowe – zarówno te nauszne (**fotografia 6**), jak i douszne oraz dokanałowe. Standardem komunikacji obowiązującym w tym obszarze jest oczywiście łącze Bluetooth, choć dostępne są też



Fotografia 5. Inteligentny pierścień (https://t.ly/dSoX0)



Fotografia 6. Wysokiej klasy słuchawki bezprzewodowe z funkcją ANC (https://t.ly/YXjAF)



Rysunek 1. Zasada działania dwóch rodzajów połączeń Bluetooth pomiędzy smartfonem, a słuchawkami typu true wireless (https://t.ly/06E4S)

nieliczne modele słuchawek odbierających sygnał audio za pośrednictwem innych rodzajów transmisji radiowej i sprzedawane zwykle jako akcesoria przeznaczone do użytku domowego (np. do telewizora). Szczególną grupę stanowią słuchawki określane jako true wireless, czyli popularne „pchełki", niepołączone ze sobą żadnym pałąkiem ani przewodem (**fotografia 7**) – dane audio są przesyłane z urządzenia nadrzędnego (smartfona) albo do obydwu słuchawek jednocześnie, albo w całości tylko do jednej z nich, pełniącej jednocześnie rolę przekaźnika strumienia przeciwległego kanału do drugiej słuchawki (**rysunek 1**).



Fotografia 7. Słuchawki typu true wireless wraz z etui pełniącym rolę ładowarki (https://t.ly/WCkMX)

Urządzenia sportowe – ta grupa, oprócz produktów wymienionych w punkcie pierwszym, obejmuje także jednofunkcyjne czujniki parametrów życiowych (w tym pulsometry w postaci pasów piersiowych – **fotografia 8**), a także rozmaite produkty pozwalające na śledzenie postępu treningów bądź diagnozowanie problemów, wynikających np. z powtarzalnych, niewłaściwych wzorców ruchowych, charakterystycznych dla danego sportowca (lub pracownika – w obszarze badań nad ergonomią i BHP). Na rynku dostępne są m.in. systemy śledzenia ruchu (motion tracking) oparte na zestawie bezprzewodowych czujników IMU (**fotografia 9**), zakładanych na poszczególne segmenty kończyn, tułowia a nawet głowę i przesyłające dane w sposób synchroniczny do centralnego urządzenia odpowiedzialnego za ich agregację.



Fotografia 8. Przykładowy pulsometr z pasem piersiowym marki Polar. Widoczne zatrzaski pełniące rolę mechanicznego mocowania urządzenia oraz podłączenia do elektrod EKG (https://t.ly/PSLfr)

REKLAMA



eprasa.pl 0914c66f57

Urządzenia medyczne to obecnie najbardziej zróżnicowana funkcjonalnie część sektora elektroniki ubieralnej. Większość komercyjnie dostępnych i – co ważne – naprawdę stosowanych w praktyce urządzeń pełni jedną, określoną funkcję. Praktycznie co roku w mediach branżowych pojawiają się doniesienia o kolejnych planowanych lub dokonanych wdrożeniach. W naszym artykule skupimy się jednak na krótkim scharakteryzowaniu tylko wybranych podgrup medycznych urządzeń ubieralnych, ze szczególnym uwzględnieniem tych rozwiązań, które już teraz realnie wpływają na obraz współczesnej medycyny – nie sposób bowiem wskazać wszystkich możliwych zastosowań urządzeń z segmentu wearables we opiece zdrowotnej w 3. dekadzie XXI wieku.



Fotografia 9. Zestaw ubieralnych czujników IMU do zastosowań w aplikacjach śledzenia ruchu i pozycji użytkownika (https://t.ly/n6pcd)

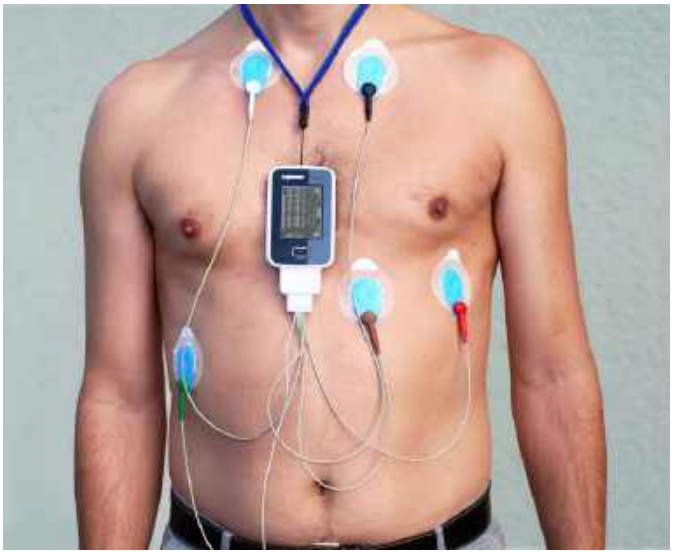
Rejestratory holterowskie to zdecydowanie jedne z najstarszych, elektronicznych urządzeń ubieralnych, stosowanych w praktyce medycznej. Choć pierwszy w historii rejestrator ambulatoryjny EKG zdecydowanie nie należał do urządzeń najwygodniejszych w użytkowaniu (opracowany w 1947 roku sprzęt miał postać sporego plecaka o wadze „zaledwie" 38 kg – **fotografia 10**), to okazał się on wynalazkiem na wskroś wizjonerskim – nie tylko bowiem umożliwiał sam zapis sygnału EKG u pacjenta nieuwiązanego do stacjonarnej aparatury, ale jednocześnie stanowił pierwsze, w pełni mobilne urządzenie telemedyczne: sprzęt był bowiem wyposażony w nadajnik radiowy, odpowiedzialny za transmisję sygnału elektrokardiograficznego na odległość.



Fotografia 10. Pacjent w trakcie badania z użyciem pierwszego w historii rejestratora holterowskiego (https://t.ly/eGXZs)

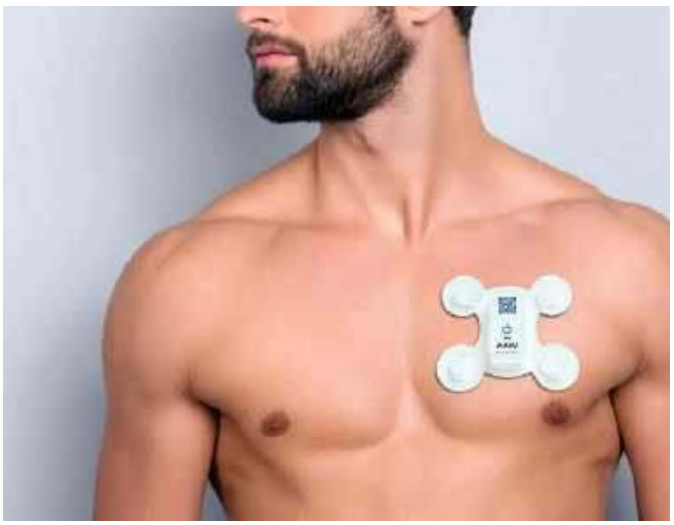


Fotografia 11. Rejestrator holterowski z taśmową pamięcią magnetyczną starego typu (https://t.ly/w6RMB)



Fotografia 12. Pacjent z założonym holterem EKG nowej generacji (https://t.ly/Dya2r)

Przez lata intensywnego rozwoju rejestratory holterowskie ulegały postępującej miniaturyzacji, przechodząc przez różne stadia zaawansowania: od całkiem pokaźnych urządzeń, do złudzenia przypominających magnetofony szpulowe (**fotografia 11**), poprzez



Fotografia 13. Holter EKG najnowszej generacji, montowany bezpośrednio na ciele pacjenta (bez użycia kabli) – https://t.ly/jv95a



Fotografia 14. Koszulka z wbudowanymi elektrodami EKG (https://t.ly/lx7dJ)

eprasa.pl 0914c66f57



Fotografia 15. Holter ciśnieniowy (https://t.ly/BVSwu)

znacznie nowocześniejsze sprzęty oparte na kasetach magnetofonowych, aż po kompaktowe i lekkie rejestratory wyposażone we wbudowaną lub wymienną pamięć półprzewodnikową (**fotografia 12**). Dopiero jednak wdrożenie scalonych front-endów analogowych, realizujących niemal cały tor pomiarowy do rejestracji sygnału elektrokardiograficznego (premiery pierwszych takich układów miały miejsce zaledwie kilkanaście lat temu), pozwoliło jeszcze bardziej zminiaturyzować rejestratory EKG. Tak powstały urządzenia określane mianem ECG patch, czyli niewielkie „łatki" przyklejane na ciało pacjenta i zdolne do długoterminowego monitorowania rytmu serca (**fotografia 13**). Ciekawą odmianą klasycznych rejestratorów holterowskich są kamizelki lub koszulki EKG – ich rozciągliwa, elastyczna struktura zawiera wbudowane elektrody, umożliwiające wykonywanie pełnych, 12-odprowadzeniowych (lub jeszcze obszerniejszych) zapisów elektrokardiograficznych, zaś predefiniowane ułożenie poszczególnych elektrod (narzucone przez geometrię takiej e-odzieży) znakomicie ułatwia samodzielne zakładanie i zdejmowanie urządzenia przez samego pacjenta lub jego opiekuna (**fotografia 14**). Należy bowiem pamiętać, że właściwe pozycjonowanie poszczególnych elektrod, a przede wszystkim tych przedsercowych (umieszczonych na przedniej i bocznej ścianie klatki piersiowej) ma fundamentalne znaczenie dla prawidłowego odwzorowania znormalizowanych odprowadzeń elektrokardiograficznych.

Dla jasności należy wspomnieć, że oprócz holterów EKG istnieją także ambulatoryjne rejestratory ciśnienia krwi – od strony konstrukcyjnej stanowią one rozszerzenie klasycznego ciśnieniomierza sfigmomanometrycznego (działającego w oparciu o metodę oscylometryczną) o wbudowaną pamięć, umożliwiającą zapis wyników pomiaru zbieranych przez całą dobę (**fotografia 15**).

Pompy insulinowe i sensory CGM stanowią jedne z najważniejszych i najszerzej stosowanych medycznych urządzeń ubieralnych (**fotografia 16**). Zadaniem pompy insulinowej jest automatyczne lub półautomatyczne dostarczanie precyzyjnie dawkowanej insuliny pacjentom z cukrzycą typu 1. Urządzenia pracujące w otwartej pętli sprzężenia zwrotnego ułatwiają podawanie leku, jednak nie zdejmują z barków pacjenta odpowiedzialności za dokonywanie okresowych pomiarów poziomu glukozy we krwi.



Fotografia 16. Pacjentka z założoną pompą insulinową (https://t.ly/t6UTr)

Prawdziwą rewolucję przyniosło połączenie pomp insulinowych z czujnikami CGM (ang. continuous glucose measurement), które w sposób ciągły monitorują glikemię i odpowiednio dostrajają szybkość podawania insuliny, komunikując się z pompą drogą radiową (**fotografia 17**). Same sensory CGM bazują natomiast najczęściej na elektrochemicznej metodzie enzymatycznej, co pozwala na wykonywanie pomiarów w relatywnie prosty (pod względem elektronicznym) sposób, korzystając z jednorazowych czujników przyklejanych do skóry pacjenta. W spodniej części sensora znajduje się cienka i krótka igła, która – po zagłębieniu w tkankę podskórną – uzyskuje kontakt z płynem śródmiąższowym (**fotografia 18**). To właśnie w nim mierzone jest stężenie glukozy. Najnowocześniejsze czujniki CGM dokonują pomiaru co minutę nawet przez 14 dni od zamocowania, co w oczywisty sposób podnosi komfort życia diabetyków, zwalniając ich z konieczności częstego i bolesnego nakłuwania skóry palców w celu pobrania kropli krwi, nanoszonej następnie na pasek współpracujący z klasycznym glukometrem. Niektóre sensory CGM umożliwiają odczyt danych za pośrednictwem



Fotografia 17. Skanowanie czujnika CGM za pomocą telefonu z funkcją NFC (https://t.ly/JuCmj)



Fotografia 18. Budowa czujnika CGM marki Abott (https://t.ly/W0W66)

REKLAMA



eprasa.pl 0914c66f57

łącza NFC, inne zaś mają wbudowany transceiver Bluetooth LE – to ostatnie rozwiązanie pozwala na prawdziwie ciągłe monitorowanie, wyznaczanie trendu zmian stężenia glukozy i automatyczne powiadamianie pacjenta (w czasie rzeczywistym!) o spodziewanych zaostrzeniach choroby.

Aparaty słuchowe – początki historii elektrycznych wzmacniaczy słuchu datuje się wprawdzie na koniec XIX wieku, jednak dopiero wynalezienie tranzystora pozwoliło realnie zminiaturyzować stosowane na początku XX w., nieporęczne i dość ciężkie konstrukcje lampowe – gwoli ścisłości należy dodać, że konstruktorzy pracujący w erze lampowej dwoili się i troili, by uczynić ówczesne aparaty możliwie najmniejszymi, jak to tylko możliwe (**fotografia 19**). Przełom nastąpił w roku 1952, kiedy to na rynek trafił Sonotone 1010 (**fotografia 20**) – pierwszy komercyjny aparat słuchowy, w którym do budowy końcówki mocy zastosowano tranzystor (co ciekawe, przedwzmacniacz nadal bazował jeszcze na lampach elektronowych). Należy jednak pamiętać, że w pełni ubieralne urządzenia tego rodzaju (tj. pozbawione wzmacniacza noszonego na pasku i połączonego przewodem ze słuchawką) pojawiły się sporo później. W 1970 roku do konstrukcji aparatów słuchowych trafiły pierwsze mikroprocesory, co zapoczątkowało erę cyfrowej protetyki słuchu. Dziś nowoczesne aparaty (**fotografia 21**) są wyposażone w zaawansowane procesory audio do realizacji adaptacyjnych algorytmów przetwarzania dźwięku, wspierają połączenia z urządzeniami mobilnymi, obsługują funkcje asystenta głosowego, pełnią funkcję inteligentnego tłumacza symultanicznego, a nawet… monitorują aktywność użytkownika i wykrywają upadek (!). Oprócz aparatów zausznych dostępne są także konstrukcje wewnątrzuszne oraz – niewidoczne dla osób postronnych – urządzenia całkowicie wewnątrzkanałowe (**fotografia 22**).



Fotografia 19. „Miniaturowy", lampowy aparat słuchowy z końca lat 40. XX w. (https://t.ly/Zqz9i)



Fotografia 20. Sonotone 1010 – pierwszy komercyjny aparat słuchowy oparty częściowo na tranzystorach (https://t.ly/rUB7J)



Fotografia 21. Ultra-nowoczesny aparat słuchowy STARKEY EVOLV AI 2400 BTE (https://t.ly/CJ8kn)

Neurostymulatory i stymulatory mięśni – stymulacja elektryczna jest stosowana od wielu dekad, przede wszystkim w obszarach neurologii, psychiatrii, a także medycyny sportowej i estetycznej. Do najpopularniejszych okołomedycznych oraz terapeutycznych urządzeń należą rozmaite stymulatory mięśni (TENS – **fotografia 23**) – te przeznaczone do użytku domowego są łatwo dostępne w aptekach czy na internetowych portalach sprzedażowych. Stałoprądowa stymulacja przezczaszkowa mózgu (tDCS – **fotografia 24**) stanowi wg licznych badań skuteczne remedium na niektóre zaburzenia i choroby z pogranicza neurologii i psychiatrii, m.in. depresję. Z kolei neuromodulacja nerwu błędnego (**fotografia 25**) okazuje się przydatna w leczeniu klasterowych bólów głowy czy migren, a niektóre prace wskazują na przydatność tej techniki w łagodzeniu późnych skutków infekcji COVID-19, w tym zaburzeń snu czy tzw. mgły mózgowej. Część spośród omawianych urządzeń ma postać niewielkich aparatów noszonych np. na pasku biodrowym i podłączonych do elektrod za pomocą przewodów, podczas gdy inne stanowią konstrukcje samonośne, tzn. jednostka główna jest zintegrowana z zaczepami współpracującymi z wymiennymi elektrodami samoprzylepnymi.



Fotografia 22. Odmiany wewnątrzusznych aparatów słuchowych (https://t.ly/vMQk2)

Ubieralne defibrylatory stanowią rewolucyjne podejście do krótkotrwałego zabezpieczania pacjentów zagrożonych wystąpieniem



Fotografia 23. Ubieralny stymulator TENS (https://t.ly/iUxCS)



Fotografia 24. Ubieralny stymulator przezczaszkowy tDCS (https://t.ly/CSczJ)

eprasa.pl 0914c66f57

nagłych zaburzeń rytmu serca, które mogłyby ze sporym prawdopodobieństwem doprowadzić do śmierci pacjenta. O ile osoby cierpiące na przewlekłe, poważne zaburzenia rytmu serca często wymagają wszczepienia implantowalnych kardiowerterów-defibrylatorów (ICD), to już np. pacjenci po niektórych rodzajach operacji kardiochirurgicznych niekoniecznie będą potrzebowali dożywotniej ochrony. W takich właśnie przypadkach zastosowanie znajdują ubieralne (nieinwazyjne) defibrylatory, mające postać noszonej przez pacjenta jednostki głównej, połączonej ze specjalną kamizelką, wyposażoną w płaskie elektrody defibrylacyjne – przykład takiego systemu można zobaczyć na **fotografii 26**.



Fotografia 25. Kompaktowy elektrostymulator nerwu błędnego (https://t.ly/gEuAI)



Fotografia 26. Ubieralny defibrylator z elektrodami w postaci kamizelki (https://t.ly/LJX2f)

Sztuczne narządy – w przypadku schyłkowej niewydolności nerek pacjenci muszą być poddawani terapii nerkozastępczej, w skrócie określanej dializą. Konieczność częstego wykonywania takich zabiegów powoduje istotne upośledzenie jakości życia pacjentów, którzy są niejako „uwiązani" do stacji dializ i każdorazowo spędzają w takim ośrodku kilka godzin (co gorsza – kilka razy tygodniowo). Nic więc dziwnego, że od lat trwają intensywne prace badawczo-rozwojowe nad sztucznymi narządami, które byłyby w stanie na stałe zastąpić chore nerki albo przynajmniej ułatwić pacjentowi życie w oczekiwaniu na przeszczep naturalnego organu. Sztuczne nerki mają niestety wciąż postać obszernych „instalacji" (**fotografia 27**), które pacjent jest zmuszony dźwigać na swoich biodrach, ale ich „ubieralność" i tak stanowi spory krok do przodu. Wciąż prowadzone są projekty mające na celu maksymalizację ergonomii i komfortu pacjenta korzystającego z noszonego dializatora – przykład interesującej koncepcji można zobaczyć na **fotografii 28**.



Fotografia 27. Sztuczna nerka w postaci systemu ubieralnego (https://t.ly/oqJhq)



Fotografia 28. Nowoczesny design sztucznej nerki (https://t.ly/ldOTh)



Fotografia 29. Wielofunkcyjne, ubieralne monitory pacjenta (https://t.ly/g8liA)

Telemedyczne monitory wielofunkcyjne, przeznaczone przeważnie do ambulatoryjnego, długookresowego monitorowania pacjentów (przykład można zobaczyć na **fotografii 29**), są opracowywane i wdrażane przez dziesiątki firm (w dużej mierze także start-upów) już od kilkunastu lat. I tutaj warto wspomnieć o niezwykle ciekawym zjawisku. Możliwość zdalnej diagnostyki i nadzoru fizjologicznego za pomocą silnie zminiaturyzowanych urządzeń ubieralnych, z łatwością rozpala wyobraźnię konstruktorów – pomimo to niemal żadne z nich nie osiągnęło jak dotąd sukcesu rynkowego w takim stopniu, by choć trochę „podgryźć" część komercyjnego tortu, zdominowanego przez urządzenia pełniące zaledwie jedną funkcję – chociażby zwykłe, stosowanym od dekad, rejestratory holterowskie. Przyczyn tego faktu, leżących zarówno w obszarze technologii, jak i całkowicie poza nim, jest wiele i nie będziemy się nimi zajmować na łamach tego artykułu. Warto natomiast wspomnieć, że worek z tego typu pomysłami rozwiązał się w dużej mierze za sprawą coraz mniejszych, bogatszych i bardziej energooszczędnych front-endów analogowych, integrujących w sobie często kilka funkcji pomiarowych (np. rejestrację sygnału EKG, pomiary bioimpedancyjne czy fotopletyzmografię, a nawet jej rozszerzoną wersję, czyli pulsoksymetrię). Przykład takiego układu można zobaczyć na **fotografii 30** – front-end MAX86176 integruje w sobie kompletne tory sygnałowe do pomiaru EKG oraz akwizycji danych fotopletyzmograficznych, a jego wymiary to zaledwie 2,73 mm×2,71 mm – to, co dawniej wymagało rozbudowanej płyty drukowanej z kilkudziesięcioma układami scalonymi, dziś mieści się w na jednym płatku krzemu! Więcej szczegółowych informacji na temat front-endów medycznych (i nie tylko) można znaleźć w obszernym cyklu artykułów pt. „Praktyczne aplikacje scalonych układów AFE", który publikowany był na łamach „Elektroniki Praktycznej" w latach 2021...2023.

Urządzenia „prospołeczne" to kolejna, choć znacznie węższa grupa produktów, którą można wydzielić w ramach naszego przeglądu. Do tej kategorii postanowiliśmy „wrzucić" wszystkie wyroby przeznaczone do rozwiązywania konkretnych problemów natury społecznej,



Fotografia 30. Scalony front-end EKG+PPG – układ MAX86176 marki Maxim (https://t.ly/iuFZl)

eprasa.pl 0914c66f57

z którymi boryka się współczesna cywilizacja w krajach wysoko rozwiniętych. Pierwszą podgrupę stanowią opaski dla seniorów – ich celem jest automatyczna detekcja i powiadamianie rodziny o upadku samotnie mieszkającej osoby starszej, który nierzadko mógłby się skończyć dla niej tragicznie. Tego typu urządzenia są zwykle wyposażone w przycisk SOS (**fotografia 31**) umożliwiający łatwe i szybkie wezwanie pomocy przez samego użytkownika, zaś – zwłaszcza w przypadku osób z demencją – bardzo potrzebna może okazać się także funkcja geolokalizacji na podstawie wbudowanego odbiornika GPS.



Fotografia 31. Lokalizator z funkcją alarmową i możliwością prowadzenia połączeń głosowych, przeznaczony dla seniorów (https://t.ly/F2pb1)

Do drugiej grupy trafiły urządzenia, które wprawdzie także mają na celu zdalny nadzór, jednak dotyczą już zgoła innej grupy docelowej. Mowa o trackerach stosowanych do tzw. dozoru elektronicznego, czyli opaskach montowanych najczęściej nad kostką lub (rzadziej) na ramieniu osoby skazanej na karę pozbawienia wolności (**fotografia 32**). W przypadku osób, które otrzymały karę maksymalnie roku więzienia, polskie prawo dopuszcza odbywanie jej w środowisku domowym, co pozwala w przypadku „lżejszych" przewinień na uniknięcie pobytu w zakładzie karnym i ma fundamentalne znaczenie dla podtrzymania dotychczasowej aktywności zawodowej i rodzinnej czy też kontynuowania terapii. Opaski tego typu są oczywiście wyposażone nie tylko w system geolokalizacji, ale także w zabezpieczenia telemetryczne, umożliwiające wykrywanie prób nielegalnego usunięcia urządzenia przez skazanego – takie działanie jest zresztą surowo karane.

Okulary VR, AR i FPV znalazły szereg zastosowań konsumenckich – pozwalają na obsługę nowoczesnych gier komputerowych, wygodne sterowanie amatorskimi dronami w trybie first person view (czyli z perspektywy pierwszej osoby) itp. Przykład gogli FPV można zobaczyć na **fotografii 33**. Aplikacji profesjonalnych można jednak wskazać jeszcze więcej – zaawansowane planowanie operacji chirurgicznych, śródoperacyjna fuzja danych obrazowych z użyciem rozszerzonej rzeczywistości (AR – **fotografia 34**), symulacje medyczne wykonywane w celach dydaktycznych z zastosowaniem wirtualnej rzeczywistości (VR), czy też zdalne wsparcie serwisantów infrastruktury przemysłowej przez ekspertów znajdujących się nawet tysiące kilometrów od naprawianej maszyny – to zaledwie kilka spośród niezliczonych przykładów zastosowań nowoczesnych



Fotografia 32. Lokalizator do prowadzenia dozoru elektronicznego skazanych (https://t.ly/iK3LC)



Fotografia 33. Gogle FPV do obsługi drona (https://t.ly/C2FCf)



Fotografia 34. Okulary AR używane przez chirurga w czasie operacji (https://t.ly/qiUuz)

okularów VR/AR. Zaletą stosowania tego typu urządzeń jest możliwość pełnego „zanurzenia się" w obserwowane sceny, co nie tylko skupia uwagę operatora na najważniejszych aspektach, ale także – w przypadku zastosowań rozrywkowych, np. podczas pilotowania amatorskich dronów – przenosi obsługę systemu na zupełnie inny poziom wrażeń.

Podsumowanie

W artykule zebraliśmy przegląd rozmaitych aplikacji elektroniki ubieralnej – znalazły się w nim zarówno te najpopularniejsze, bliskie niemal każdemu z nas (np. smartwatche, opaski sportowe czy słuchawki bezprzewodowe), jak i wysoce specjalistyczne, zaawansowane urządzenia medyczne. Powyższa lista nie jest rzecz jasna kompletna, a wynika to z dwóch przyczyn. Po pierwsze rynek urządzeń wearable stale dynamicznie się rozwija, co wiąże się z wdrażaniem kolejnych rodzajów urządzeń, które wcześniej w ogóle nie istniały (nawet w uproszczonej formie), a nierzadko wręcz wymykają się sztywnym klasyfikacjom. Po drugie ilość współczesnych zastosowań urządzeń noszonych jest tak duża, że nie sposób zebrać w ramach jednego artykułu wszystkich możliwych aplikacji. Przegląd utrudnia w pewnym stopniu także specyfika rynku produktów ubieralnych – okazuje się bowiem, że wiele firm (zwłaszcza start-upów) udostępnia na swoich stronach internetowych oraz w doniesieniach prasowych informacje na temat wyrobów, które albo są jeszcze w trakcie projektowania, albo zostały opracowane, ale nigdy nie doczekały się konkretnego wdrożenia na szerszą skalę. Dlaczego tak się dzieje? Przyczyn można byłoby znów wskazać kilka, ale oprócz trudności technologicznych pod uwagę trzeba wziąć także samych odbiorców – nie zawsze bowiem to, co „kręci" samych konstruktorów lub producentów, okazuje się trafiać w gust lub realne potrzeby końcowych użytkowników. A przecież to właśnie jest warunek niezbędny sukcesu w branży technologicznej.

inż. Przemysław Musz, EP

[1] https://www.dictionary.com/browse/wearable-technology

eprasa.pl 0914c66f57

Sięgnij po wydania

archiwalne magazynu Elektronika Praktyczna













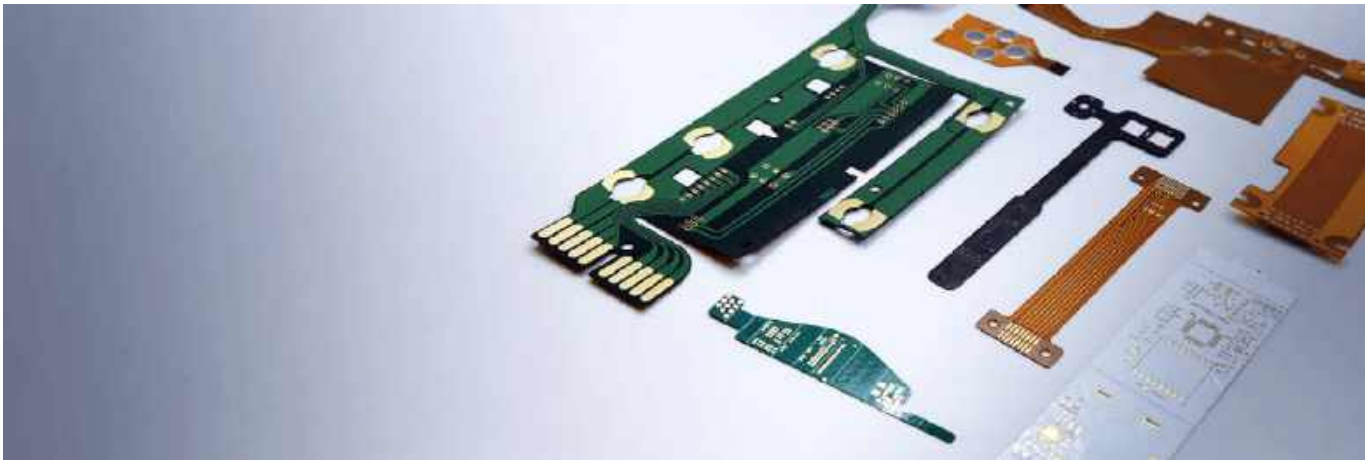






Zamów na **UlubionyKiosk.pl**

eprasa.pl 0914c66f57



Nowoczesne obwody drukowane motorem technologii ubieralnej

Elektronika ubieralna na dobre zadomowiła się w naszym codziennym życiu. W ramach tej niezwykle interesującej, choć także bardzo wymagającej i zaawansowanej technologicznie branży powstają już nie tylko kompaktowe słuchawki bezprzewodowe czy noszone na ciele gadżety dla sportowców, ale także liczne urządzenia medyczne oraz niewielkie sensory czuwające nad bezpieczeństwem osób starszych. Wspólnym mianownikiem wszystkich wymienionych (oraz wielu innych) konstrukcji, określanych mianem wearable, są zaawansowane obwody drukowane, których gęstość połączeń, nietypowa geometria oraz wysoka elastyczność pozwalają tworzyć coraz bardziej rozbudowane, funkcjonalne oraz niezawodne produkty. PCBWay oferuje szeroką gamę usług produkcyjnych, zarówno w zakresie wytwarzania ultranowoczesnych płytek drukowanych (w tym HDI, flex oraz rigid-flex), jak i kompletnego montażu kontraktowego (EMS).

Płytki drukowane flex i rigid-flex – elastyczność (nie tylko) aplikacyjna

Elektronika ubieralna jest jedną z najbardziej dynamicznie rozwijających się dziedzin współczesnej elektroniki. Innowacje w tym obszarze wymagają specjalistycznych rozwiązań konstrukcyjnych, a jednym z głównych wyzwań jest tu potrzeba zastosowania obwodów o wysokiej elastyczności oraz niezawodności połączeń, przy zachowaniu małej masy własnej i możliwie kompaktowych gabarytów. Dlatego obwody drukowane elastyczne (FPC) i sztywno-giętkie (rigid-flex) stanowią podstawową technologię stosowaną w projektach z zakresu elektroniki ubieralnej.

Elastyczne obwody drukowane wykonane są z cienkich warstw polimerowych, takich jak poliamid (pełniących funkcję podłoża dielektrycznego) oraz folii miedzianej o odpowiednio dobranej grubości. Giętkość tych materiałów umożliwia swobodne zginanie oraz (w ograniczonym zakresie) skręcanie obwodów, co jest istotne zarówno w czasie montażu (integracji produktu), jak i wszelkich działań serwisowych. W niektórych przypadkach – choć obecnie jest to jeszcze rzadkość w obszarze *wearables* – obwody

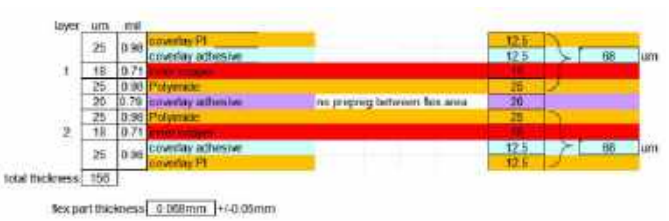


Fotografia 1. Przykładowy obwód FPC

elastyczne pracują w aplikacjach narażonych na bardzo częste zginanie także w trakcie właściwej eksploatacji.

Elastyczne PCB oferują projektantom szereg niezwykle ważnych korzyści. Po pierwsze, materiały użyte w elastycznych PCB są bardzo cienkie, co pozwala na tworzenie konstrukcji o mniejszych wymiarach, zaś możliwość niemal dowolnego dopasowania obwodu do nieregularnych powierzchni czy kształtów wnętrza obudowy produktu znacząco upraszcza projektowanie całości. Istotna jest też poprawa niezawodności mechanicznej – dzięki swojej elastyczności obwody FPC lepiej radzą sobie z dynamicznymi odkształceniami czy licznymi wstrząsami i drganiami, co zmniejsza ryzyko uszkodzenia mechanicznego w porównaniu do tradycyjnych, sztywnych PCB wykonanych w całości z laminatu szklano-epoksydowego.

Obwody drukowane sztywno-giętkie, jak sama nazwa wskazuje, stanowią połączenie cech płytek elastycznych i sztywnych. Składają się one z segmentów sztywnych, wykonanych przeważnie



Rysunek 1. Przykładowy stos warstw obwodu FPC z przerwą powietrzną

eprasa.pl 0914c66f57



Fotografia 2. Rozbudowany obwód drukowany w technologii rigid-flex

na bazie FR4 (na których instalowana jest większość układów scalonych, dyskretnych elementów półprzewodnikowych i komponentów biernych, a także złącza, mikroprzyciski itp.), połączonych elastycznymi taśmami, które przejmują funkcję klasycznych wiązek okablowania wewnętrznego, znanych z większych konstrukcji. Tego rodzaju obwody znajdują zastosowanie w urządzeniach, w których wymagana jest zwarta konstrukcja i wysoka niezawodność, a jednocześnie istnieje potrzeba zapewnienia elastyczności połączeń. Wykonanie całości lub przeważającej części elektroniki urządzenia w postaci pojedynczego systemu sztywno-giętkiego znacząco redukuje także liczbę złączy obecnych pomiędzy poszczególnymi modułami, co z kolei pozwala zmniejszyć rozmiary (zwłaszcza grubość całego pakietu, np. w przypadku inteligentnych zegarków) oraz dodatkowo poprawia niezawodność, ułatwia integrację i… obniża koszty BOM projektu.

Parametry obwodów giętkich i sztywno-giętkich

PCBWay oferuje szerokie możliwości w zakresie produkcji obwodów na podłożach elastycznych:

- Liczba warstw: 1...16
- Grubość całkowita (bez usztywnienia): 0,1...1,0 mm
- Minimalne rozmiary PCB: 2 mm × 4 mm (bez mostka) lub 8 mm × 8 mm (z mostkiem)
- Maksymalne wymiary PCB: 220 mm × 698,5 mm
- Tolerancja impedancji w obwodach RF: ±4 Ω (≤ 50 Ω), ±7% (> 50 Ω)
- Minimalny promień gięcia: 3...6 grubości PCB (jednowarstwowe), 7...10 grubości PCB (dwuwarstwowe), 10...15 grubości PCB (wielowarstwowe)
- Minimalna średnica otworu: 0,1 mm
- Minimalne odstępy i szerokości ścieżek: 0,05 mm
- Dostępne wykończenia powierzchni: HASL, ENIG, ENEPIG, elektrolityczne Ni-Au, miękkie złoto, twarde złoto, srebro imersyjne z OSP, cyna imersyjna

W przypadku obwodów sztywno-giętkich dostępne są następujące możliwości technologiczne:

- Liczba warstw: do 26
- Grubość całkowita: 0,25...6,0 mm
- Maksymalne wymiary: 620 × 500 mm
- Maksymalna grubość miedzi: 4 uncje
- Minimalna średnica otworu: 4 milsy
- Minimalne odstępy i szerokości ścieżek: 0,065 mm
- Dostępne wykończenia powierzchni: ENIG, złocenie elektryczne, IM-Ag, srebrzenie elektryczne, HASL, HASL-LF, IM-Sn, cynowanie elektryczne OSP, grafit, Pt, NI-Pd-Au

Nowości w zakresie materiałów i procesów produkcji

Oferta usług PCBWay nieustannie się powiększa, a rozbudowa parku maszynowego i rozszerzanie współpracy z kolejnymi dostawcami zaawansowanych materiałów do produkcji PCB (w tym 3M, Tesa, DuPont czy Taiflex) sprawiają, że odbiorcy mogą liczyć na coraz bardziej wyśrubowane parametry zamawianych obwodów. Tylko w tym roku w PCBWay wprowadzone zostały następujące zmiany:

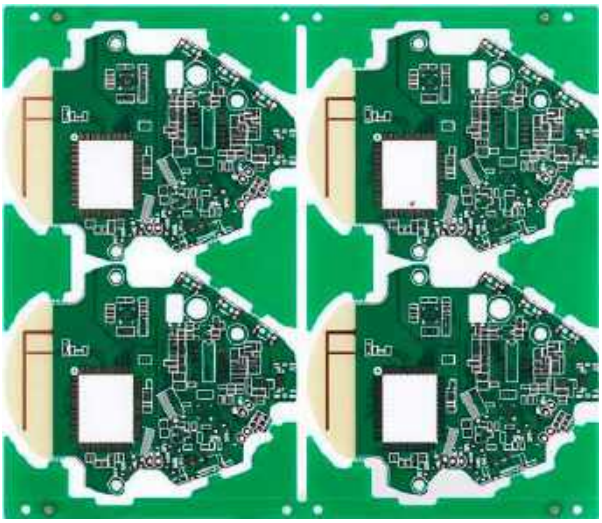
- Maksymalna liczba warstw obwodów FPC wzrosła do 16.
- W przypadku obwodów na podłożach poliimidowych dodano opcję folii o dużej wartości stałej dielektrycznej (DK >= 3,6), co ma znaczenie zwłaszcza w przypadku obwodów RF oraz szybkich systemów cyfrowych.
- Do grupy materiałów podłożowych dołączyły transparentne folie PET.
- Grubość obwodów FPC może być wybierana w szerszym zakresie (dodano opcje 0,025/0,05 mm w przypadku płytek jednowarstwowych oraz 0,08 mm w przypadku dwuwarstwowych).
- Do menu wyboru rodzaju usztywnienia obwodów FPC doszła opcja czarnego laminatu FR4 w szerokim zakresie grubości.
- W przypadku obwodów wyposażonych w dwustronną taśmę przewodzącą klienci mają do wyboru dwie opcje materiałowe: HT-A1134 oraz HDF-600.
- Maksymalna liczba egzemplarzy w zamówieniu obwodów elastycznych wzrosła do 3000.
- Do dyspozycji klientów oddano nowe opcje specjalne, w tym: usztywnienia pomiędzy dwustronnie montowanymi złączami krawędziowymi, zrywalną soldermaskę, przelotki termiczne (ang. thermal vias) wypełnione pastą na bazie miedzi czy też metalizację krawędzi.

Najwyższe standardy jakości na wyciągnięcie ręki

Nie sposób skorzystać z pełni możliwości oferowanych przez współczesne obwody elastyczne i sztywno giętkie bez zachowania niezbędnej dbałości o szczegóły podczas całego procesu produkcji PCB. Dlatego też firma PCBWay wdrożyła szereg certyfikatów stanowiących gwarancję najwyższych standardów jakościowych: **ISO 9001**, **ISO 13485**, **REACH**, **UL**, **IATF 16949**, **RoHS**, **CE**.

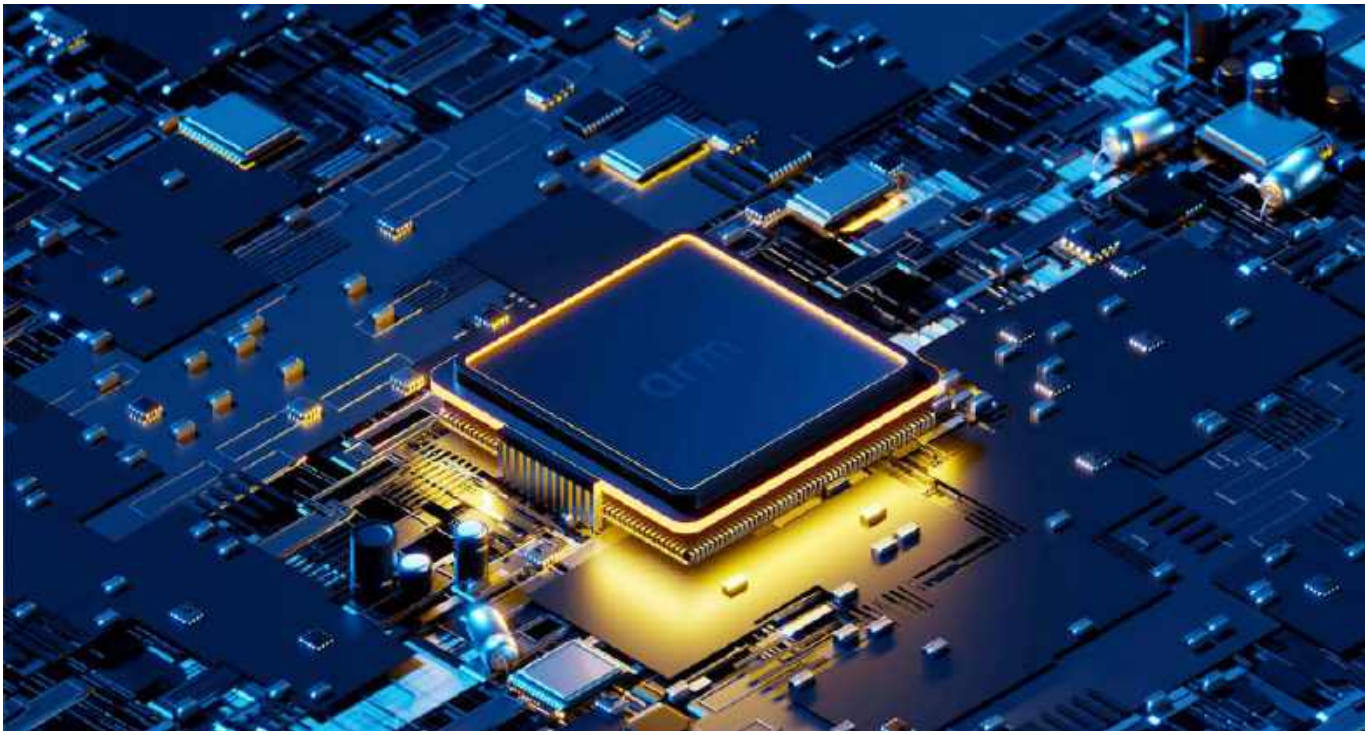
Obwody produkowane i montowane przez PCBWay mogą zatem być stosowane w najbardziej wymagających branżach techniki, w tym w aparaturze medycznej (ISO 13485) czy też przemyśle motoryzacyjnym (IATF 16949).

www.pcbway.com



Fotografia 3. Obwody drukowane do przenośnego urządzenia medycznego z transceiverem radiowym i anteną mikropaskową

eprasa.pl 0914c66f57



Nowe funkcje Arm Keil MDK v6, w tym FuSa w wersji Professional

Arm Keil Microcontroller Development Kit (Keil MDK) to najbardziej kompleksowe rozwiązanie programistyczne umożliwiające tworzenie aplikacji systemów wbudowanych, IoT oraz uczenia maszynowego (ML), opartych na architekturze Arm Cortex-M. Obecnie środowisko MDK obsługuje ponad 10 000 różnych mikrokontrolerów od 38 dostawców układów krzemowych. Narzędzie to od dawna cieszy się dużym (i w pełni zasłużonym) uznaniem wśród deweloperów, stanowiąc niezbędne wyposażenie programistów pracujących w wielu obszarach aplikacyjnych współczesnej technologii.

Aby sprostać rosnącym wymaganiom, po latach rynkowej obecności Keil MDK 5 nadszedł czas na zmiany. Arm opracował środowisko MDK w wersji 6, które zostało zoptymalizowane pod kątem wsparcia pełnego portfolio procesorów Arm Cortex-M i Ethos-U. W ten sposób powstało oprogramowanie korzystające z najważniejszych cech poprzedniego IDE oraz wprowadzające wiele nowych rozwiązań.

Licencje UBL (ang. User-based License)

Podstawową zaletą ekosystemu MDK v6 jest możliwość pracy w chmurze oraz zmieniony sposób licencjonowania. Nowością jest licencja UBL, która umożliwia pracę użytkownikom z dowolnego miejsca na świecie, bez ograniczeń sprzętowych, jakie występowały w przypadku korzystania z wcześniejszych wersji narzędzia.

Środowisko Keil Studio

Najważniejszą zmianą w wersji 6 jest wprowadzenie środowiska Keil Studio IDE. Programiści mogą wybierać pomiędzy sprawdzonym µVision a Keil Studio, które obsługuje nowoczesne technologie CMSIS oraz wspiera innowacyjne przepływy pracy w projektowaniu systemów wbudowanych.

MDK v6 umożliwia bezproblemowe przełączanie się między wymienionymi powyżej środowiskami. Keil Studio rozszerza również wsparcie o systemy Linux i macOS, co stanowi istotne ulepszenie w porównaniu do µVision, dostępnego jedynie na system Windows. Dzięki integracji z Visual Studio wszystkie popularne systemy operacyjne są teraz obsługiwane, a to otwiera drogę do stosowania tego wydajnego środowiska deweloperskiego także tym programistom, którzy w ciągu wielu lat pracy zawodowej silnie przywiązali się do systemów linuksowych bądź macOS.

Nowe funkcje w MDK v6

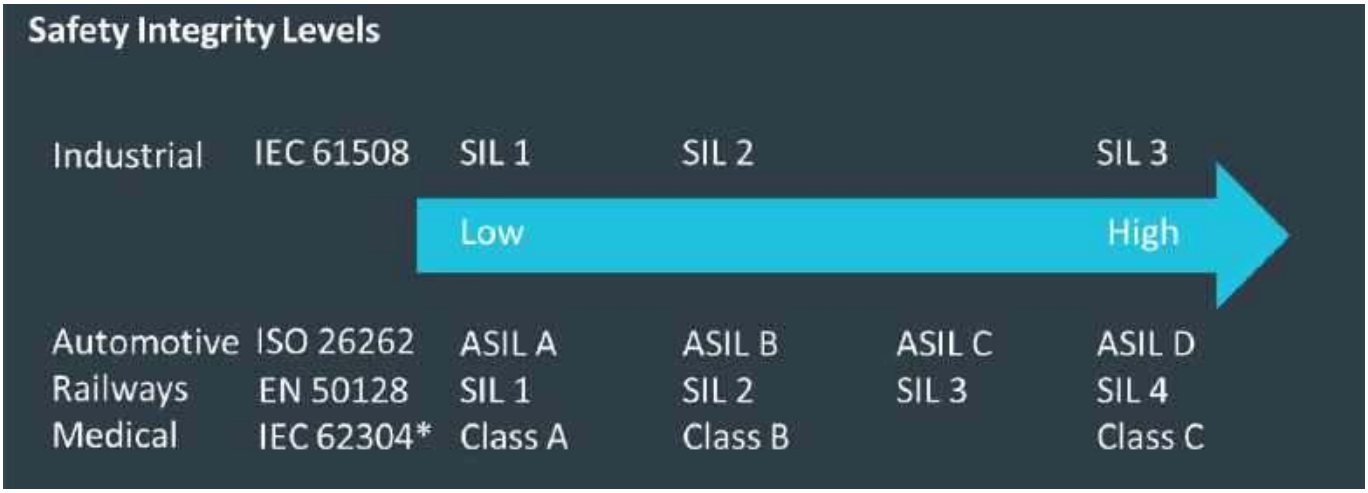
Więcej niż toolchain

Obsługując wszystkie główne systemy operacyjne, Keil MDK oferuje wszechstronne Keil Studio i łączy się z Arm Virtual Hardware w celu programowania opartego na testach z zastosowaniem symulacji. Dzięki systemowi operacyjnemu czasu rzeczywistego Keil RTX5 i bezpłatnemu oprogramowaniu pośredniczącemu (middleware) systemy wbudowane można teraz tworzyć w krótszym czasie, zwiększając efektywność działań. Ekosystem od firmy Arm to nie tylko doskonały toolchain (łańcuch narzędzi), ale także kompletne „otoczenie" narzędziowe pozwalające na stosowanie najnowocześniejszych metod pracy o wydajności nieporównanie większej niż klasyczne debugowanie kodu bezpośrednio na docelowej platformie sprzętowej.

Wszechstronne generowanie kodu

Keil MDK obsługuje różne zestawy narzędzi, w tym Arm Compiler for Embedded, GCC lub LLVM. Umożliwia łatwe przełączanie między kompilatorami, co umożliwia programiście wybór narzędzia o najlepszej wydajności do danego zastosowania.

eprasa.pl 0914c66f57



Opcje, które wcześniej były dostępne jedynie w drogich rozwiązaniach z najwyższej półki, teraz są oferowane w wersjach korzystniejszych ekonomicznie. Przykładem jest Middleware, przeniesione już do wersji Community oraz FuSa, której licencjonowanie jest teraz wspólne z edycją Professional.

FuSa w cenie – wersja Professional MDK v6

Arm FuSa Run-Time System (RTS) to certyfikowane środowisko uruchomieniowe, zaprojektowane z myślą o aplikacjach bazujących na mikrokontrolerach i spełniające wymogi norm bezpieczeństwa funkcjonalnego (między innymi ISO 26262 i IEC 61508). System jest zintegrowany z platformą Keil MDK i wspiera rozwój systemów wbudowanych dla kluczowych sektorów, w tym motoryzacji, medycyny oraz przemysłu. FuSa RTS oferuje szereg zaawansowanych funkcji, w tym ochronę pamięci, obsługę błędów oraz wsparcie architektur bezpieczeństwa.

Awaria systemów o krytycznym znaczeniu może wiązać się z zagrożeniem życia i zdrowia, a także wysokimi kosztami, związanymi m.in. z usuwaniem skutków awarii drogiej infrastruktury. Bezpieczeństwo funkcjonalne zatem odgrywa kluczową rolę w różnych sektorach i branżach współczesnej techniki. Wraz z rosnącą złożonością oprogramowania i zwiększaniem się wymogów dotyczących łączności, szczególnie w zakresie chmury, rośnie także liczba wyzwań związanych z zapewnieniem bezpiecznych metod funkcjonowania systemów. Aby zapobiegać awariom, niezbędne jest podjęcie trzech kroków:

- korzystanie z oprogramowania zakwalifikowanego do systemów krytycznych,
- używanie zweryfikowanego kompilatora

oraz

- przestrzeganie rygorystycznych wytycznych dotyczących kodowania.

Wymogi te określane są przez standardy bezpieczeństwa, opisane między innymi w międzynarodowej normie IEC 61508. Dokumenty te definiują tzw. poziomy integralności bezpieczeństwa (SIL) – im wyższy poziom, tym większa jest oczekiwana niezawodność działania systemu.

Arm dostarcza najważniejsze komponenty systemów wbudowanych, które ze względu na docelowe zastosowanie wymagają zgodności z zasadami bezpieczeństwa funkcjonalnego, w tym:

- kompilator Arm dla systemów o podwyższonym bezpieczeństwie,
- bibliotekę FuSa C,
- system uruchomieniowy bezpieczeństwa funkcjonalnego (FuSa RTS).

Edycje Keil MDK v6

Pakiet MDK v6 dostępny jest w trzech edycjach:

- Community (bezpłatna do użytku niekomercyjnego),
- Essential (obsługująca wszystkie rdzenie Cortex-M, do użytku komercyjnego),
- Professional (z narzędziami AVH i FuSa, do użytku komercyjnego).

Każda z edycji oferuje różne funkcje oraz wsparcie dla narzędzi do debugowania i symulacji sprzętu.

Podsumowanie

Najnowsza wersja Arm Keil MDK v6 z czasem zastąpi wersję 5, która wyznaczyła kierunki rozwoju współczesnego oprogramowania wbudowanego. Nowy model licencjonowania eliminuje bariery sprzętowe, a licencje są przypisane do użytkowników, co zwiększa elastyczność ich pracy. Dodatkowo funkcje takie jak praca w chmurze i wsparcie dla systemów Linux i macOS czynią tę wersję wyjątkowo wszechstronną.

Mało tego, oprogramowanie FuSa, które wcześniej było dostępne tylko za wysoką opłatą, teraz stanowi część wersji Professional. Dzięki temu zaawansowane narzędzia deweloperskie są obecnie dostępne dla szerszej grupy użytkowników i to bez konieczności ponoszenia przez nich dodatkowych kosztów.

Grzegorz Cuber
Technical Manager Arm Keil
Computer Controls Sp. z o. o.



eprasa.pl 0914c66f57

Kompaktowa aparatura pomiarowa do każdej pracowni

Aparatura pomiarowa to fundament pracowni elektronika – co do tego chyba nikt nie ma wątpliwości. Ale czy sprzęty pomiarowe zawsze muszą zajmować tak dużo cennego miejsca na stole? Zdecydowanie nie – o ile tylko odpowiednio zabierzemy się do organizacji naszego warsztatu.

Wśród urządzeń najchętniej używanych przez elektroników wymienić należy tradycyjne oscyloskopy, generatory funkcyjne czy zasilacze. Sprzęt wyposażony we własny interfejs: wyświetlacz i zestaw pokręteł oraz przycisków sterujących to wygoda sama w sobie. Co jednak zrobić, jeśli nie dysponujemy wystarczająco dużym biurkiem ani półkami zawieszonymi nad blatem? Dobrym wyjściem będzie zastosowanie kompaktowych urządzeń wielofunkcyjnych, systemów modułowych lub przystawek do PC.

Małe urządzenia – spore możliwości

Zadanie wyposażenia pracowni elektronika okazuje się przeważnie znacznie łatwiejsze, jeżeli nie planujemy zajmować się projektami z zakresu urządzeń radiowych (zwłaszcza mikrofalowych), a nasze potrzeby w zakresie „analogówki" także są ograniczone. Te kryteria spełniają przede wszystkim warsztaty osób projektujących i uruchamiających układy bazujące na mikrokontrolerach. Do szczęścia – przynajmniej na start – w wielu przypadkach wystarczy przeciętny oscyloskop, jakiś niewielki analizator stanów logicznych na USB oraz multimetr z niższej lub średniej półki. Czasem przydatny okaże się prosty generator funkcyjny. A jeśli dodatkowo połączymy dwa lub trzy z tych urządzeń w jedno?



Fotografia 1. Tester komponentów marki Fnirsi [1]

Dziś to już żaden problem. Ostatnimi czasy ogromną popularność zdobywa marka Fnirsi, w której ofercie znajdują się zarówno proste testery komponentów (na przykład takie, jak pokazane na **fotografii 1**), jak i całkiem rozbudowane oscyloskopy oraz skopometry. Niektóre spośród tych ostatnich mają wbudowany generator. Dzięki temu jednym, kompaktowym przyrządem możemy np. wykonać pomiary charakterystyki filtrów analogowych. Ciekawie prezentują się modele takie jak oscyloskop typu tabletowego (patrz **fotografia 2**), czy „mały, ale wariat" – kieszonkowy oscyloskop obsługujący wyświetlanie w trybie DPO (doskonale widać to na **fotografii 3**). Co ważne, cena wszystkich tych urządzeń stanowi zaledwie ułamek kosztu najtańszych oscyloskopów bardziej popularnych marek, a ich możliwości okazują się naprawdę przyzwoite (może brakuje tylko niektórych pomiarów automatycznych, ale zapewne jest to tylko kwestia czasu – wszak to, co programowe, zaktualizować można najłatwiej, nieprawdaż?).



Fotografia 3. Oscyloskop kieszonkowy z funkcją DPO marki Fnirsi [1]



Fotografia 4. Urządzenie wielofunkcyjne Analog Discovery 2 marki Digilent [2]

Niezwykle ciekawie prezentują się elektroniczne „mini-laby" – jak choćby słynny Analog Discovery 2 marki Digilent, widoczny na **fotografii 4**. Maleńkie urządzenie ma imponujące możliwości. Oferuje 5-woltowy zasilacz symetryczny (programowalny!), generator funkcyjny 2×14 bit/100 MS/s, woltomierz o zakresie do 25 V, 2-kanałowy oscyloskop 100 MS/s/14 bit (!), 16-kanałowy analizator logiczny (z dekodowaniem UART, SPI, I²C, CAN w standardzie) i – również 16-kanałowy – generator sygnałów cyfrowych. Niepozorne urządzonko może nawet pełnić rolę analizatora



Fotografia 2. Oscyloskop typu „tablet" marki Fnirsi [1]



Fotografia 5. Analizator stanów logicznych LA5032 marki KingstVis [2]

eprasa.pl 0914c66f57



Fotografia 6. Ośmiokanałowy oscyloskop w formie przystawki USB marki Hantek [1]

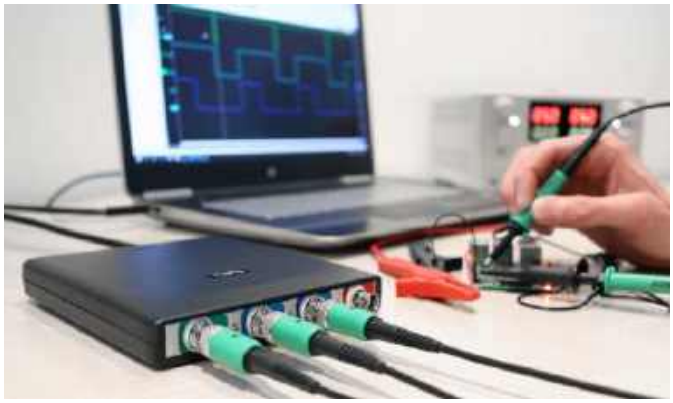
sieci (do 10 MHz) czy miernika impedancji (do 1 MHz). Czy trzeba czegoś więcej do uruchamiania i testowania prostszych systemów wbudowanych?

Oczywiście dla bardziej wymagających/wybrednych użytkowników też znajdzie się ciekawa propozycja. Przykład? 32-kanałowy analizator stanów logicznych LA5032 – z dużą pamięcią wewnętrzną (4 Gb) i szybkim próbkowaniem (0,5 GHz). Lista dekodowanych protokołów jest imponująca i obejmuje nawet rzadziej spotykane, niezbyt często poddawane analizie lub bardziej specjalistyczne łącza, jak DMX512, HDMI CEC, JTAG czy PS/2. Analizator radzi sobie nawet z dekodowaniem „gołych" sygnałów USB1.1. Urządzenie można obejrzeć na **fotografii 5**.

Przystawki do PC

Oscyloskopy na PC (lub – jak kto woli – przystawki oscyloskopowe) zaczęły zdobywać popularność w czasach (z punktu widzenia młodszych Czytelników) dość zamierzchłych, czyli jakieś 15...20 lat temu, gdy posiadanie własnego „cyfraka" było marzeniem realizowanym tylko przez szczęśliwców. Wtedy to bowiem na rynku zaczęły się pojawiać niewielkie urządzenia o raczej marnych parametrach, ale umożliwiające już podglądanie przebiegów okresowych (i nie tylko) za pomocą komputera. Wprawdzie szybkość próbkowania była mierzona w setkach kiloherców lub megahercach (tylko nieliczne modele osiągały dzisiejszą, standardową wartość 1 GS/s), ale nawet najsłabsze przystawki pozwalały pracować z przebiegami w zakresie zbliżonym do pasma audio. Dziś oscyloskopy „komputerowe" to już zupełnie inna bajka. Nawet wśród tańszych modeli (np. z oferty firmy Hantek) można znaleźć przyrządy przydatne w wielu różnych zastosowaniach – przykład takiej przystawki, w postaci 8-kanałowego oscyloskopu do diagnostyki samochodowej (i nie tylko), widać na **fotografii 6**.

Zaawansowani elektronicy mają do dyspozycji profesjonalne oscyloskopy umożliwiające tworzenie systemów wielokanałowych i oferujące nie tylko szerokie pasmo, ale także sporą pamięć (długi rekord danych). Niezaprzeczalną zaletą oscyloskopów USB jest też możliwość pracy w całkowitym odcięciu od sieci energetycznej – często wystarcza bowiem zasilanie z portu USB laptopa. W aplikacjach energetycznych, badaniu sterowników napędów EV czy serwisie falowników przydatne mogą być natomiast przystawki zdolne do pomiarów w trybie różnicowym. Firma TiePie wprowadziła na rynek interesujące oscyloskopy o dużych możliwościach, szybkim taktowaniu i sporej pamięci wbudowanej – przykładowe urządzenie można zobaczyć na **fotografii 7**.



Fotografia 7. Profesjonalny oscyloskop USB marki TiePie [3]

Podsumowanie

Niniejszy artykuł miał na celu pokazanie Czytelnikom, że w niektórych przypadkach warto nieco zmienić sposób myślenia o organizacji warsztatu elektronika. Choć urządzenia w formie przystawek USB na pierwszy rzut oka są dość niepozorne, to w praktyce mogą okazać się w pełni użyteczną konkurencją dla konwencjonalnych oscyloskopów czy generatorów. Co więcej, pod niektórymi względami takie przyrządy okazują się bardziej elastyczne w zakresie sposobu obsługi i dają możliwości nieosiągalne dla stacjonarnej aparatury. Warto też mieć z tyłu głowy, że na internetowych portalach można nierzadko zdobyć (za dość niewielkie pieniądze) bardzo przyzwoite urządzenia, których od lat nie ma już w produkcji. Jako przykład przywołamy sprzęt, na widok którego niektórym Czytelnikom zapewne łezka zakręci się w oku... Mowa o modułowym systemie laboratoryjnym marki Hameg (**fotografia 8**), który zapewne wielu elektroników pamięta z zajęć w laboratoriach studenckich. To oczywiście tylko jeden z niezliczonych przykładów. Na polskich oraz zagranicznych portalach zakupowych można znaleźć nierzadko wspaniałe przykłady aparatury, która z pewnością mogłaby wzbogacić niejeden współczesny warsztat.

Jakub Nowicki, EP

[1] https://sklep.avt.pl
[2] https://kamami.pl
[3] http://egmont.com.pl
[4] http://soselectronic.hu



Fotografia 8. System modułowy HM800 marki Hameg [4]

eprasa.pl 0914c66f57

Oscyloskopy holenderskiej firmy TiePie engineering

Firma TiePie engineering – założona w 1987 r. w Sneek na północy Holandii – od samego początku zajmuje się projektowaniem, produkcją i sprzedażą komputerowych przyrządów pomiarowych – w jej ofercie są m.in. oscyloskopy LAN, Wi-Fi i USB, analizatory widma, rejestratory danych, multimetry i generatory w jednej obudowie. Obecnie TiePie engineering sprzedaje swoje urządzenia do ponad 80 krajów na całym świecie.

Więcej informacji:
Pełne informacje o wyrobach TiePie engineering dostępne są na stronach producenta:
www.tiepie.com
W Polsce dystrybutorem wyrobów firmy TiePie engineering jest:
Egmont Instruments – Przemysław Derwojed
ul. Marszałkowska 136/31, 00-004 Warszawa
tiepie@egmont.com.pl, www.egmont.com.pl

Główne cechy przyrządów pomiarowych firmy TiePie engineering to łatwość instalacji i użytkowania, kompaktowość, funkcjonalność oraz niski koszt. W artykule zaprezentujemy kilka wybranych urządzeń łączonych z PC przez USB – oscyloskopy Handyscope HS6, HS6 DIFF i HS5 oraz analizator zasilania Handyscope TP450.

Bliźniacze oscyloskopy Handyscope HS6 i Handyscope HS6 DIFF

Podstawowa specyfikacja:

- HS6 – 4 wejścia pojedyncze, HS6 DIFF – 4 wejścia różnicowe.
- Rozdzielczość: 8/12/14 bitów (natywna), 16 bitów (oversampling).
- Dokładność pionowa (DC): 0,25%, typowo 0,1%.
- Próbkowanie: do 1 GSa/s, pasmo do 250 MHz.
- Ciągłe przesyłanie strumieniowe: do 200 MSa/s.
- Pamięć: do 256 MSa na kanał.
- Dokładność podstawy czasu: 1 ppm.

Oscyloskop Handyscope HS5 z generatorem AWG

Podstawowa specyfikacja

– **Oscyloskop:**
  - 2 wejścia pojedyncze.
  - Próbkowanie: do 500 MSa/s.
  - Ciągłe przesyłanie strumieniowe do 40 MSa/s.
  - Pamięć: do 64 MSa na kanał.
  - Rozdzielczość, dokładność amplitudy i podstawy czasu oraz pasmo – jak w HS6.

– **Generator:**
  - Zakres częstotliwości sinusoidy: 1 µHz … 40 MHz.
  - Generowane przebiegi: sinusoida, prostokąt, trójkąt, impuls, szum, DC, arbitralny.
  - Wyjście: maks. –12 V…+12 V (24 Vpp).
  - Przebiegi arbitralne: do 64 MSa, 240 MSa/s, 14-bitowe.
  - Nieharmoniczne: < –85 dB.
  - Czas narastania i opadania: < 8 ns.

Właściwości oscyloskopów Handyscope HS6, HS6 DIFF i HS5

Wysoka dokładność pomiarów (HS6, HS6 DIFF i HS5). 16-bitowe urządzenia marki TiePie pozostawiają w tyle standardowe oscyloskopy 8-bitowe i pozwalają na pomiar sygnałów z większą dokładnością (błąd kwantyzacji jest znacznie mniejszy).

Duża pamięć (HS6, HS6 DIFF i HS5). Podczas pomiaru z dużą częstotliwością próbkowania do zarejestrowania całego sygnału w buforze akwizycji konieczna jest obszerna pamięć. Podczas gdy większość tanich oscyloskopów ma niewielką pamięć wbudowaną, Handyscope HS6 i HS6 DIFF oferują do 256 MSa pamięci na kanał, a HS5 – do 64 MSa na kanał, w zależności od wybranej rozdzielczości i liczby aktywnych kanałów. Zaletą dużej pamięci jest możliwość uchwycenia pojedynczych zaburzeń oraz łatwość akwizycji sygnałów komunikacji szeregowej. Można na przykład zapisać wszystkie ramki na magistrali CAN, w jednym zapisie, aby je później przejrzeć i przeanalizować.



Fotografia 1. Oscyloskopy z serii Handyscope

Synchronizacja wielu oscyloskopów (HS6, HS6 DIFF i HS5). Handyscope wyposażone zostały w zaawansowaną magistralę synchronizacji CMI, umożliwiającą połączenie ze sobą wielu oscyloskopów i używanie ich jako jednego systemu. Wszystkie urządzenia mierzą wtedy z tą samą częstotliwością próbkowania (odchylenie 0 ppm!). Maksymalną liczbę Handyscope ogranicza w praktyce jedynie liczba dostępnych portów USB. Oscyloskopy rozmieszczone w większej odległości od siebie (do 400 m) mogą być synchronizowane za pomocą bezprzewodowego modułu WCMI.

SureConnect (HS6, HS6 DIFF i HS5). Funkcja SureConnect w czasie rzeczywistym informuje, czy sonda testowa lub zacisk faktycznie mają kontakt elektryczny z testowanym obiektem, a dodatkowo umożliwia pomiary rezystancji na każdym kanale.

Testowanie wstępnej zgodności EMI (HS6 i HS6 DIFF). Opcją dostępną tylko w modelach z próbkowaniem 1 GSa/s jest analizator EMI pozwalający użytkownikowi szybko wykonać wstępny test zgodności EMI, unikając dodatkowych wizyt w drogich laboratoriach EMC. Dostarczony zestaw sond EMI TP-EMI-HS6 zawiera trzy sondy pola magnetycznego (pole H) i jedną sondę pola elektrycznego (pole E), natomiast statyw zapewnia ich prawidłowe ustawienie na testowanym obiekcie.


Fotografia 2. Moduł WCMI

eprasa.pl 0914c66f57

Ograniczenie pasma (HS6 i HS6 DIFF). Szerokie pasmo zawsze wiąże się z dość znacznym poziomem szumu. Aby go zmniejszyć, można włączyć ogranicznik pasma niezależnie w każdym kanale Handyscope.

SafeGround (HS6 DIFF). SafeGround pozwala na używanie wejść oscyloskopu zarówno jako pojedynczych, jak i różnicowych. Gdy SafeGround jest aktywny i przypadkowo utworzy się nieprawidłowe połączenie powodujące zwarcie, urządzenie rozłączy uziemienie kanału wejściowego bez uszkodzenia oscyloskopu lub komputera.

Generator przebiegów arbitralnych o niskich zniekształceniach (HS5). Handyscope HS5 ma wbudowany generator funkcji do 40 MHz o niskich zniekształceniach. Wbudowany generator przebiegów arbitralnych korzysta z technologii syntezy sygnału CDS opracowanej przez TiePie, przez co zapewnia najlepszą wierność odwzorowania sygnałów w swojej klasie. Dzięki nieharmonicznym tak niskim, jak –85 dB przy częstotliwości sygnału 100 kHz, bardzo płaskiemu widmu amplitudy i czasowi narastania 8 ns generator tworzy sygnały, które zbliżają się do perfekcji.

Synchronizacja oscyloskopu i generatora (HS5). Oscyloskop i generator przebiegów arbitralnych w Handyscope HS5 można łatwo zsynchronizować, ustawiając źródło wyzwalania oscyloskopu na jedno lub więcej zdarzeń generatora: start, stop i nowy okres.

Analizator jakości zasilania Handyscope TP450 z galwanicznie izolowanym wejściem

- Galwanicznie izolowane wejście różnicowe do ±450 V.
- Izolacja galwaniczna między wejściem a portem USB: 5000 Vrms (@ 1 min.).
- Rozdzielczość: 16 bitów.
- Dokładność pionowa (DC): 0,5%.
- Próbkowanie: do 250 kSa/s
- Szerokość: pasma do 200 kHz.
- Ciągłe przesyłanie strumieniowe: do 250 kSa/s, 16-bitowe.
- Pamięć: do 1 MSa.

Podłączenie bezpośrednio do sieci zasilającej. Handyscope TP450 to analizator jakości zasilania podłączany przez USB do komputera. Zakres wejściowy do ±450 V pozwala podłączyć go bezpośrednio do gniazdka ściennego (110 V AC/230 V AC) w celu pomiaru napięcia sieciowego. Nie jest wymagany żaden dodatkowy tłumik.

Rejestracja z dużą prędkością i wysoką rozdzielczością. Rejestracja napięcia sieciowego odbywa się z szybkością do 250 kS/s i rozdzielczością 16 bitów, co odpowiada woltomierzowi 5½ cyfry. Nawet przy bardzo dużej szybkości pomiaru napięcie sieciowe można mierzyć nieprzerwanie przez tygodnie, a następnie każdy okres przebiegu można dokładnie przeanalizować. Dzięki takiemu rozwiązaniu nie pomija się żadnego szczytu ani spadku napięcia, nawet jeśli trwa on tylko milisekundę. Logi pomiaru trwającego tydzień zajmują około 0,69 GB miejsca na dysku. Podczas pomiaru rejestrowane są również wartości RMS i częstotliwość, można też mierzyć minimum, maksimum, wartość międzyszczytową i średnią, wariancję czy odchylenie standardowe.

Niskoszumowy, różnicowy przewód pomiarowy. Handyscope TP450 może również mierzyć niższe napięcia, co ułatwia rejestrowanie sygnałów w systemach 24 V lub przechwytywanie wzorców przełączania systemów sterowania. Z myślą o umożliwieniu użytkownikom wykonania tych pomiarów, producent dołącza do zestawu specjalny przewód, do którego można podpiąć sondy testowe i przeprowadzać standardowe pomiary sygnałów elektrycznych. Handyscope TP450 oferuje tryby analizatora widma, woltomierza, analizatora protokołu oraz oscyloskopu.



Fotografia 3. Analizator Handyscope TP450



Fotografia 4. Zastosowanie analizatora Handyscope TP450 do pomiarów zasilacza ATX

Pomiar trzech faz. Gdy maszyny produkcyjne podczas pracy wykazują nietypowe problemy i podejrzewa się, że przyczyna leży w nieprawidłowym napięciu sieciowym, można łatwo przeprowadzić analizę zasilania trójfazowego za pomocą trzech urządzeń Handyscope TP450. Dzięki zastosowaniu trójfazowego rozdzielacza prądu z opcją przejścia trzy urządzenia TP450 są w stanie mierzyć napięcie każdej fazy. Po sesji pomiarowej trwającej np. tydzień wystarczy przeanalizować napięcie sieciowe, nawet każdy okres indywidualnie.

Oprogramowanie

Do współpracy ze wszystkimi przyrządami pomiarowymi firmy TiePie przeznaczone jest oprogramowanie oscyloskopowe Multi Channel, dostępne w polskiej wersji językowej. Oprogramowanie Multi Channel może być używane jako:

- oscyloskop,
- analizator widma,
- rejestrator danych,
- multimetr,
- generator przebiegów arbitralnych,
- analizator protokołów.

Jedna instalacja oprogramowania pozwala na jednoczesną obsługę wielu urządzeń podłączonych do tego samego komputera. Mogą one pracować jako przyrządy niezależne od siebie lub być widziane przez program jako jeden system wielokanałowy. W celu uproszczenia konfiguracji pomiarów, oprogramowanie Multi Channel wyposażone zostało w dużą liczbę predefiniowanych ustawień.

Dla oscyloskopów firmy TiePie można tworzyć własne oprogramowanie, korzystając z pakietu programistycznego libtiepie-hw Software Development Kit – wieloplatformowej biblioteki w C, C++, Visual C++, GNU C++, Cygwin, C#, Python 3, dostępnej na systemy Windows 64 bit oraz Linux amd64, armhf i arm64.



Fotografia 5. Zastosowanie analizatora Handyscope TP450 do pomiarów napięcia sieciowego

eprasa.pl 0914c66f57

Wyposażenie pracowni elektronika

Pracownia elektroniczna to nie tylko lutownica i urządzenia pomiarowe, to również – a może przede wszystkim – odpowiednie biurko i jego wyposażenie. W artykule przyjrzymy się temu, co wyróżnia meble do pracowni elektronicznej na tle innych mebli warsztatowych. Przy tej okazji oczywiście nie sposób nie wspomnieć o zagadnieniach związanych z elektrycznością statyczną i metodach unikania wyładowań ESD, stanowiących spore zagrożenie dla elektroniki.

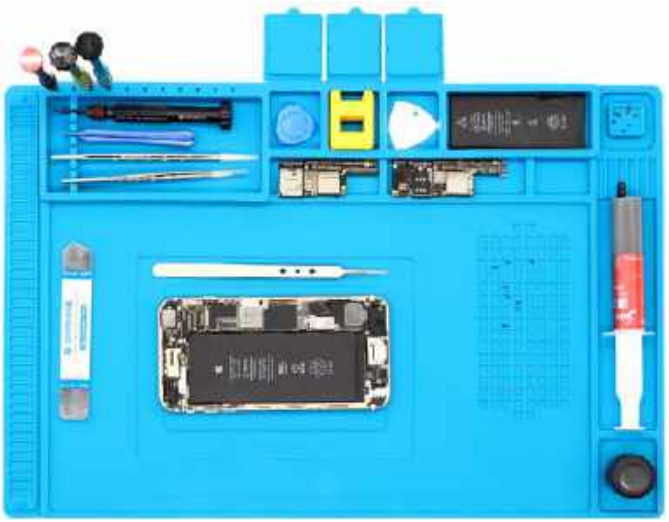


Fotografia 1. Stół warsztatowy autora artykułu – wykonany ze sklejki pokrytej odporną chemicznie warstwą

Wyposażając pracownię elektroniczną, dokonujemy wielu wyborów, które będą miały ogromny wpływ na ergonomię i bezpieczeństwo jej użytkowników. Ergonomia w odniesieniu do elektroniki nie różni się od tej obowiązującej w innych gałęziach przemysłu, więc należy się kierować pewnymi ogólnymi zasadami. Jeśli chodzi natomiast o bezpieczeństwo, to pod hasłem tym kryje się więcej, niż można by przypuszczać. Nie chodzi tutaj bowiem tylko o to, by zminimalizować wpływ miejsca pracy na użytkownika, ale również o to, aby zabezpieczyć się przed negatywnym wpływem pracownika na montowane lub serwisowane układy, na przykład na skutek wyładowań elektrostatycznych.

Meble warsztatowe

Podstawowy wybór do warsztatu to biurko bądź stół. Powinna to być solidna, stabilna konstrukcja, wykonana najczęściej z trwałych materiałów, takich jak stal czy laminaty odporne na chemikalia (drewno nie jest dobrym materiałem do stołu dla elektronika, między innymi ze względu na palność). Oczywiście w przypadku domowych pracowni czy mniejszych warsztatów zakup drewnianego biurka może być jedynym wyborem. W takim przypadku pamiętajmy o odpowiednim doborze powierzchni, może to być sklejka pokryta wzmacniającą, odporną na wodę i niektóre związki chemiczne warstwą, jak pokazano na **fotografii 1** lub silikonowa nakładka na biurko (**fotografia 2**).



Fotografia 2. Silikonowa mata dla elektroników – niedrogie rozwiązanie odporne na wysoką temperaturę i niektóre związki chemiczne (źródło: AliExpress)

Powierzchnia robocza powinna być gładka i odporna na uszkodzenia, co ułatwi prace montażowe i serwisowe. Stoły mogą być wyposażone w różne dodatkowe akcesoria, takie jak szuflady, pojemniki, podstawki na dodatkowy sprzęt pomiarowy czy uchwyty na narzędzia lub dokumentację. Warto również zwrócić uwagę na możliwość doboru odpowiedniej wysokości, co zwiększa komfort pracy.

Stół lub zwykłe biurko to jedynie półśrodek. Idealnym rozwiązaniem do warsztatów elektronicznych są stanowiska modułowe. Przykład takiego mebla pokazano na **fotografii 3**. To bardziej zaawansowana opcja, pozwalająca na dostosowanie przestrzeni roboczej do specyficznych zadań. W zależności od potrzeb można je wyposażyć w dodatkowe moduły, takie jak regały, panele na narzędzia czy oświetlenie punktowe. Takie stanowiska pozwalają na lepsze zagospodarowanie przestrzeni oraz zwiększenie elastyczności pracy, co jest istotne w przypadku warsztatów, gdzie realizuje się różnorodne projekty elektroniczne. Modułowa konstrukcja sprawia, że możliwa jest szybka (nawet w ciągu kilku minut) zmiana konfiguracji stanowiska, co przydaje się przy zmieniających się wymaganiach produkcyjnych lub serwisowych.



Fotografia 3. Modułowe stanowisko robocze dla elektroników (źródło: Renex.com)

Kluczowe cele mebli modułowych to zapewnienie maksymalnej funkcjonalności i ergonomii w miejscu pracy, a także wsparcie organizacji stanowiska w sposób sprzyjający efektywności i bezpieczeństwu. Dzięki możliwościom personalizacji użytkownicy mogą dostosować wysokość, rozmieszczenie komponentów oraz dodatkowe

eprasa.pl 0914c66f57



Fotografia 4. Modułowy stół warsztatowy z szeregiem akcesoriów (źródło: rocketcdn.me)

akcesoria, co przekłada się na komfort pracy i ogranicza ryzyko urazów wynikających z niewłaściwej pozycji ciała. Meble modułowe nie tylko rosną wraz z rozwojem firmy, ale też pozwalają na szybką reorganizację przestrzeni, kiedy zachodzi potrzeba wykonywania innych zadań na tym samym stanowisku.

Stoły modułowe oferują na ogół również szeroki zakres regulacji, umożliwiając użytkownikom dopasowanie wysokości blatu do swojego wzrostu i specyfiki wykonywanej pracy. To szczególnie istotne na stanowiskach, gdzie ludzie spędzają wiele godzin przy często bardzo powtarzalnych czynnościach.

Modułowość to nie tylko regulacja wymiarów. To przede wszystkim szeroki ekosystem modułów i dodatków, z których komponować można swoje miejsce pracy. Na **rysunku 4** pokazano kolejny stół modułowy, istotnie różniący się od pokazanego wcześniej modelu.

Na pierwszy rzut oka wybór biurka lub stanowiska pracy dla elektroników może wydawać się prostym zadaniem. Jednak, aby mieć pewność, że wybrane biurko spełni wszystkie oczekiwania, warto zwrócić uwagę na kilka istotnych aspektów. Pierwszym krokiem jest dokładne określenie rodzaju pracy, jaka będzie wykonywana przy biurku. Rodzaj pracy wpływa na wszystko – od rozmiaru biurka, przez materiał powierzchni roboczej, aż po potrzeby związane z przechowywaniem i ergonomią. Przykładowo, jeśli zajmujesz się naprawą drobnej elektroniki, jak telefony komórkowe, biurko nie musi być duże, ale powinno zapewniać możliwość regulacji wysokości, aby ułatwić wykonywanie precyzyjnych prac. W takim przypadku przydatne będą także akcesoria, takie jak odpowiednie oświetlenie, pojemniki na drobne części i uchwyt na dokumentację papierową. Przydatne może być także mocowanie monitora do przeglądania dokumentacji cyfrowej.

W zależności od pracy z różnymi substancjami może być konieczne zastosowanie na powierzchnię biurka stali nierdzewnej lub żywicy epoksydowej, które są odporne na działanie większości chemikaliów. W przypadku laboratorium elektronicznego najczęściej wymagana będzie powierzchnia o odpowiednich parametrach ESD, która chronić będzie przed wyładowaniami elektrostatycznymi. W przypadku środowisk czystych dodatkowo biurko powinno spełniać określone standardy higieny (na przykład przy produkcji elektroniki do implantów medycznych lub też podzespołów systemów kosmicznych).

Rozmiar biurka powinien być dostosowany zarówno do dostępnej przestrzeni, jak i do specyficznych potrzeb użytkownika. Biurka modułowe pozwalają na maksymalne wykorzystanie otoczenia miejsca pracy, więc większe stanowisko może nie być konieczne – ograniczenie rozmiaru pojedynczego stołu pozwala zaoszczędzić sporo przestrzeni w firmie, szczególnie jeśli takich biurek (np. w hali montażowej) ma znaleźć się wiele. Ważna jest także powierzchnia robocza i jej kształt – cały obszar musi znajdować się w zasięgu ramion technika, chociaż czasami będą wykorzystywane większe elementy wymagające dużej powierzchni blatu. Należy również uwzględnić nośność biurka, jeśli przewidujemy pracę z cięższymi komponentami (np. całymi urządzeniami przemysłowymi, które mają być serwisowane).

Biurko powinno być również dobrze dopasowane do przebiegu pracy. Jeśli w firmie stosuje się przepływ progresywny, biurka można ustawić w układzie produkcyjnym, aby przyspieszyć przepływ materiałów. W przypadku pracy zespołowej sprawdzają się konfiguracje w kształcie litery T, U, X czy Y, które sprzyjają komunikacji między pracownikami. Mobilność biurka, uzyskana dzięki

REKLAMA

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

Egmont

WiFiScope WS4, WS5, WS6, WS6 DIFF

przystawki oscyloskopowe DSO + generator AWG + tester EMI

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



eprasa.pl 0914c66f57



Fotografia 5. Uchwyt pozwalający na zamontowanie oscyloskopu do uchwytu VESA (źródło: thingiverse.com)

dodatkowym akcesoriom, takim jak na przykład kółka, pozwala na łatwe przemieszczanie stanowisk w firmie i dostosowanie ich do potrzeb. To także bardzo dobre rozwiązanie dla amatorów, gdyż dodanie kółek (koniecznie z blokadą!) do biurka czy szafek pozwala na zaoszczędzenie sporej przestrzeni w ciasnym warsztacie hobbysty. W niektórych sytuacjach warto rozważyć także powierzchnię roboczą z funkcją transportową, która przyspieszy przemieszczanie materiałów i ułatwi pracę. Tego rodzaju podajniki pozwalają na przenoszenie montowanych elementów pomiędzy poszczególnymi stanowiskami.

Kolejnym kluczowym aspektem są potrzeby związane z przechowywaniem. Wybór odpowiednich rozwiązań do przechowywania nad i pod powierzchnią roboczą pozwala zoptymalizować projekt mebla. Istnieje wiele opcji – od pojemników na drobne części, przez różnorodne półki, aż po szuflady w różnych konfiguracjach. Planowanie przechowywania uwzględniające rozmiar, wagę, kształt oraz dostępność przedmiotów może zwiększyć efektywność pracy. Wyznaczenie konkretnego miejsca na każdy przedmio jest szczególnie przydatne, gdy stanowisko pracy dzielą różne osoby. W przypadku amatorskiego warsztatu dodanie dużej ilości przestrzeni do przechowywania pozwala na zgromadzenie wszystkich potrzebnych elementów w jednym miejscu.

Oświetlenie biurka to kolejny istotny element. Czy każde stanowisko wymaga osobnego źródła światła? A może jedno biurko wymaga kilku różnych lamp? Jeśli warunki oświetleniowe w pomieszczeniu są niewystarczające, warto zainwestować w odpowiednie akcesoria oświetleniowe, takie jak lampy fluorescencyjne montowane nad blatem lub ruchome ramię, które można dostosować do aktualnych potrzeb. Dobrze dobrane oświetlenie pozwala zredukować odblaski i zmniejszyć zmęczenie wzroku.



Fotografia 6. Biurko z profili aluminiowych. Na wstawce pokazano przekrój przykładowego profilu (źródło: wellste.com)

Następnie należy uwzględnić zapotrzebowanie na energię. Niezależnie od tego, czy pracujemy w laboratorium badawczym, czy w dziale kontroli jakości, wygodne źródło zasilania przy każdym biurku to podstawa ergonomii. Można rozważyć różne rozwiązania, takie jak listwy zasilające, uchwyty na przewody czy systemy zarządzania kablami, aby estetycznie i bezpiecznie rozprowadzić przewody. Warto również rozważyć obecność gniazdek z wyłącznikami różnicowymi (GFCI) chroniącymi przed ryzykiem porażenia. Ten aspekt jest równie istotny w warsztacie amatora-hobbysty, jak i na profesjonalnym stanowisku w fabryce. Dobór odpowiednich zabezpieczeń i instalacji elektrycznej stanowiska to kwestia nie tylko ergonomii, ale przede wszystkim bezpieczeństwa.

Dobór akcesoriów, takich jak półki na dokumenty, uchwyty na narzędzia, podstawki na monitory czy szyny na pojemniki, jest równie ważny. Poprawne wykorzystanie przestrzeni nad powierzchnią roboczą pozwala stworzyć wydajne centrum pracy. Dzięki akcesoriom łatwo dostosować biurko do specyficznych potrzeb danego zadania, co znacząco podnosi komfort pracy. Na rynku dostępna jest ogromna ilość dodatków do biurek, a specyficzne, niszowe potrzeby można spełniać, zamawiając własne, dedykowane dodatki. Amatorzy także mogą sobie na to pozwolić, na przykład korzystając z druku 3D, który pozwala na wytworzenie ciekawych akcesoriów, takich jak pokazany na **rysunku 5** uchwyt na oscyloskop, pozwalający na montaż go na niedrogim ramieniu ze standardowym montażem VESA (stosowanym do monitorów komputerowych).

Ergonomia jest istotna zarówno z punktu widzenia bezpieczeństwa, jak i efektywności. Optymalna wysokość blatu, wynosząca około 78 cm, będzie wygodna dla większości pracowników. Jeśli z jednego stanowiska korzystają osoby o różnym wzroście lub wykonujące różne zadania, warto rozważyć biurko z regulowaną wysokością, które umożliwia dostosowanie poziomu blatu w zakresie od około 63 do 104 cm.

Standaryzacja biurek w całym zakładzie, niezależnie od działu, przynosi wiele korzyści, takich jak lepsze zarządzanie inwentarzem, łatwiejsza reorganizacja i jednolity wygląd. Wspólne komponenty i akcesoria mogą być przenoszone między działami, a estetyczny, spójny wygląd zwiększa komfort pracy.

Wybór dostawcy biurek, który oferuje wsparcie w projektowaniu stanowisk pracy, może znacznie uprościć proces planowania. Usługi takie jak projekty CAD i indywidualne konsultacje pozwalają zoptymalizować przestrzeń roboczą i upewnić się, że wybrane rozwiązania będą najlepsze dla danej firmy. Współpracując z doświadczonym dostawcą, mamy pewność, że każde stanowisko będzie idealnie dopasowane do swoich zadań, a firma zrobi krok ku zwiększeniu wydajności i ergonomii pracy.

Meble modułowe DIY

Oprócz gotowych, modułowych mebli warsztatowych, które są raczej niedostępne dla amatorów z uwagi na wysoką cenę, istnieje zawsze możliwość wykonania ich samodzielnie w cenie znacznie niższej.

Istnieje wiele możliwości wykonania tego rodzaju mebla, a poniższe sugestie wynikają raczej z doświadczenia autora artykułu i nie są „prawdami absolutnymi". Każdy może chcieć rozwiązać swój warsztat w inny sposób, jednakże garść poniższych porad może pozwolić na niepowtórzenie pewnych błędów i stworzenie wygodnego środowiska pracy dla elektronika.

Na ogół biurko w domowym warsztacie wykorzystywane jest tylko przez jedną osobę, co oznacza, że jego wysokość nie musi być regulowana. Chyba że zależy nam np. na biurku o zmiennej wysokości, aby móc pracować przy nim w pozycji zarówno siedzącej, jak i stojącej – wtedy nie uciekniemy przed wykorzystaniem mechanizmu z regulacją wysokości. Tego rodzaju mechanizmy można nabyć w popularnych, sieciowych sklepach meblowych. Blat do takiego biurka wykonać można np. ze sklejki szalunkowej – jest ona pokryta warstwą tworzywa sztucznego, co nadaje jej pewien

eprasa.pl 0914c66f57



Fotografia 7. Akcesoria do profili aluminiowych (źródło: wellste.com)

poziom odporności na czynniki środowiskowe (a dodatkowo taka sklejka jest niedroga).

Bardzo dobrym materiałem do konstrukcji modułowego warsztatu są systemy przechowywania do domu, dostępne w ofertach różnych producentów. Tego rodzaju systemy składają się z pionowych szyn, które montujemy np. na ścianie, a następnie możemy na nich zamontować półki, pojemniki itp. Przy odrobinie kreatywności można do nich montować także drobny osprzęt laboratoryjny itp.

Alternatywą dla standardowych nóg biurka, jak i dla systemów montażu półek, są aluminiowe profile konstrukcyjne (patrz **rysunek 6**, na którym pokazano przykład biurka zbudowanego z takich profili). Tego rodzaju elementy produkowane są przez wiele firm. Nie są to najtańsze materiały do budowy biurka, ale zapewniają ogromną modułowość, a dzięki różnym akcesoriom (**rysunek 7**) można zbudować z nich niemalże dowolną konstrukcję.

I wreszcie ostatnia porada – kółka. Wszystko, co możliwe, powinno być montowane na kółkach. Wyposażenie w nie szafek, podstawek itp. pozwala niesamowicie zaoszczędzić przestrzeń w warsztacie. Na niewielkich biurowych kontenerkach z kółkami, które często dostępne są na wyprzedażach z zamykanych biur, można stawiać sprzęt pomiarowy, tworząc mobilne stanowiska – jeśli w danym momencie nie potrzebujemy danego urządzenia, może ono pojechać sobie w dalszy kąt pracowni, gdzie nie będzie nam przeszkadzać. Dodatkowo szafka, która znajduje się w takim kontenerku, pomieści wszystkie elementy i akcesoria potrzebne do pracy z danym urządzeniem. Takie stanowisko pokazano na **rysunku 8**.

ESD w warsztacie elektronika

Jak wspomniano we wstępie do niniejszego artykułu, sam elektronik może stanowić spore zagrożenie dla dotykanych urządzeń i układów. Przyczyną są wyładowania elektrostatyczne, które z łatwością uszkadzają układy scalone wysokim napięciem.

Co to są wyładowania elektrostatyczne?

Wyładowanie elektrostatyczne (ESD) to nagły przepływ ładunku elektrycznego pomiędzy dwoma obiektami o różnym potencjale. Ładunki elektrostatyczne mogą gromadzić się na powierzchni materiałów izolujących, np. na ubraniach, narzędziach lub na samych komponentach. Wytwarzane są przez różne procesy, na ogół poprzez tarcie lub rozdzielanie materiałów. Przykładowo kiedy



Fotografia 8. Przykład mobilnego stanowiska pomiarowego

chodzimy po dywanie, nasze ciało może naładować się do tego stopnia, że po dotknięciu uziemionego przedmiotu nastąpi wyładowanie o napięciu kilku tysięcy woltów lub więcej – nie ma się co dziwić, że wyładowania takie mogą uszkodzić delikatne układy scalone.

W warsztacie elektronicznym skutki wyładowań elektrostatycznych mogą obejmować trwałe uszkodzenie komponentów lub – co gorsza – niewidoczne, ale znaczące pogorszenie parametrów, które skraca żywotność urządzeń. Nawet niewielkie wyładowanie może zniszczyć delikatne struktury układów scalonych, prowadząc do nieprzewidywalnego zachowania lub całkowitej

REKLAMA



eprasa.pl 0914c66f57

awarii. Dlatego tak ważne jest stosowanie odpowiednich środków ochronnych w warsztatach elektronicznych, aby zminimalizować ryzyko ESD.

Ochrona przed ESD w warsztacie elektronicznym obejmuje stosowanie specjalnych materiałów i urządzeń, takich jak opaski uziemiające na nadgarstek, maty ESD, torby antystatyczne czy meble (w tym stoły) wykonane z materiałów zapobiegających gromadzeniu ładunków elektrostatycznych. W większych zakładach pracy działania mitygacyjne obejmują również stosowanie specjalnych ubrań wykonanych z materiałów, w których strukturę wprowadzane są przewodzące włókna, zapobiegające zbieraniu się ładunków elektrostatycznych. To właśnie jest kluczowe rozwiązanie, zapewniające ochronę przed ESD – konieczne są rozwiązania, które umożliwiają bezpieczne odprowadzanie nadmiaru ładunków do ziemi, co uchroni najbardziej wrażliwe urządzenia i komponenty.

Opaski na nadgarstek, połączone z uziemieniem, zapewniają ciągły kontakt z ziemią, co zapobiega gromadzeniu się ładunków na ciele pracownika. Dzięki tym środkom warsztat elektronika może bezpiecznie operować wrażliwymi elementami, minimalizując ryzyko kosztownych uszkodzeń spowodowanych wyładowaniami elektrostatycznymi. Jeśli konieczne jest poruszanie się pracownika po większym terenie, to opaski mogą być niepraktyczne – dlatego często spotykanym rozwiązaniem jest przewodząca podłoga i specjalne obuwie, zapewniające przepływ ładunków między ciałem pracownika a podeszwą.

ESD w dużych zakładach

W zakładach pracy, szczególnie w miejscach, gdzie praca odbywa się z wrażliwymi na ESD komponentami, stosuje się materiały ochronne, które pomagają kontrolować gromadzenie i rozpraszanie ładunków elektrostatycznych, jak opisano powyżej. Ochrona przed ESD obejmuje różne rodzaje materiałów – przewodzące, dyssypatywne (rozpraszające ładunki) oraz dielektryczne – a każda z tych klas materiałów odgrywa swoją krytyczną rolę w zakresie ochrony przed ESD.

Materiały przewodzące mają za zadanie szybko odprowadzać zgromadzone ładunki do ziemi, zapobiegając ich nagromadzeniu – niska rezystancja powierzchniowa, zwykle poniżej 10^5 Ω, pozwala na łatwe przejście ładunku. W praktyce materiały te stosuje się do pokrycia podłóg, mat i blatów roboczych, na których pracują elektronicy lub na których umieszczone są wrażliwe urządzenia elektroniczne. Przewodzące podłogi, które stosuje się w takich zakładach, muszą spełniać wymagania normy PN-EN 61340-5-1, aby zapewnić odpowiedni poziom ochrony. Typowe wartości rezystancji w przypadku podłóg chroniących przed ESD wynoszą od 10^4 Ω do 10^6 Ω, co pozwala na odprowadzenie ładunku w sposób kontrolowany, nie generując jednocześnie wyładowań, które mogłyby zaszkodzić pracownikom lub sprzętowi.

Podstawowe materiały ochronne w warsztacie elektronicznym to, oprócz podłóg czy antyelektrostatycznych butów, maty ESD oraz odzież ochronna. Maty ESD, szczególnie te na stanowiskach pracy, muszą mieć odpowiedni zakres rezystancji – zazwyczaj od 10^6 Ω do 10^9 Ω – co zapewnia kontrolowane rozpraszanie ładunków, zmniejszając ryzyko wyładowań i potencjalnych uszkodzeń komponentów.

Materiały dyssypatywne mają nieco wyższą rezystancję powierzchniową, zazwyczaj w zakresie 10^5 Ω do 10^{11} Ω, co umożliwia jeszcze łagodniejsze rozpraszanie ładunków ESD. Dzięki temu rozpraszają się one bez ryzyka nagłego wyładowania, co jest szczególnie ważne w otoczeniu, gdzie nadmierne przewodnictwo mogłoby wprowadzić zakłócenia w pracy urządzeń lub doprowadzić np. do wybuchu, co opisane jest m.in. w normie PN-EN 1149 traktującej o odzieży rozpraszającej ładunki ESD do pracy w środowiskach zagrożonych wybuchem. Dyssypatywne powierzchnie są często stosowane jako powłoki blatów roboczych i mat podłogowych, co pozwala na delikatniejsze rozproszenie ładunku zgromadzonego na operatorze czy na sprzęcie. Tego rodzaju materiały często wykonuje się z tworzyw sztucznych czy ceramiki, w objętości których dodano materiały przewodzące, np. włókna metaliczne.

Z kolei materiały dielektryczne (czyli izolatory), które charakteryzują się bardzo wysoką rezystywnością powierzchniową, stosowane są w miejscach, gdzie kwestia ESD jest mniej istotna niż np. ochrona przeciwporażeniowa. Materiały te praktycznie nie przewodzą ładunków. W środowisku przemysłowym stosuje się je w połączeniu z materiałami dyssypatywnymi lub przewodzącymi, tam gdzie izolacja dielektryczna jest równie ważna, jak ochrona przed ESD, na przykład w osłonach przewodzących elementów urządzeń lub izolacyjnych obudowach maszyn, gdzie kontakt z wrażliwymi na ESD elementami jest zminimalizowany.

Podsumowanie

Dobrze dobrane meble warsztatowe pozwalają na zapewnienie wygodnego i bezpiecznego miejsca pracy. Dobór biurek i ich otoczenia pozwala na stworzenie ergonomicznego stanowiska, które nie tylko zapewnia pracującym przy nich ludziom komfort pracy, ale także minimalizuje ryzyko wypadków czy problemów np. z przeciążeniem pleców. Odpowiednie meble zwiększają też ergonomię pracy, co przekłada się na zwiększenie ogólnej wydajności użytkowników.

Projektując warsztat, należy zwrócić także uwagę na ochronę przed wyładowaniami elektrostatycznymi. Dobrze dobrane materiały ochronne i zrozumienie właściwości przewodnictwa powierzchniowego różnych materiałów pozwalają stworzyć środowisko pracy, w którym ryzyko wyładowania ESD uszkadzającego elektronikę, nad którą pracujemy, jest zminimalizowane. Właściwa ochrona zapewni natomiast bezpieczne i stabilne warunki do produkcji i serwisowania wrażliwego sprzętu elektronicznego.

Nikodem Czechowski, EP

REKLAMA

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

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

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

KLUB AVT ELEKTRONIKA

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

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

eprasa.pl 0914c66f57

Istotny element wyposażenia pracowni elektronicznej

Trudno sobie dziś wyobrazić wyposażenie pracowni elektronicznej bez programatora układów. Mikrokontrolery są wszędzie, a ich współczesne zastosowania wymagają coraz większych pojemności pamięci. I choć programatory nie są obecnie na czele postępu technicznego, to są niezbędnym narzędziem, żeby pochodnię tego postępu nieść.

Kupując programator, nie warto kierować się tylko kryterium ceny. Chwilowa oszczędność może wkrótce skutkować barierą nie do przejścia, gdy będziemy chcieli programować układy, które dopiero pojawią się na rynku. Możemy się przed tym zabezpieczyć, wybierając UNIWERSALNY PROGRAMATOR o architekturze, która może być programowo adaptowana do nowych algorytmów programowania. Istotna jest RENOMA PRODUCENTA, aby miał DOSTĘP DO ALGORYTMÓW, które już dawno przestały być powszechnie publikowane przez dostawców układów programowalnych.

Kluczowe pytanie to: Jaką pracownię chcemy wyposażyć? Stanowisko inżynierskie do tworzenia prototypów czy serwisowe do napraw/modyfikacji firmware'u? A może stanowisko produkcyjne np. zintegrowane z testowaniem? Musimy wybrać technikę programowania układów – „off-line", czyli poza układem docelowym w gnieździe programatora, czy też ISP (In System Programming), czyli układu już zamontowanego na płytce PCB? Trzeba określić planowany wolumen, gdyż czas programowania, w masowej skali, może decydować o wydajności linii produkcyjnej.

WG Electronics (www.wg.com.pl) – już od 35 lat jest na rynku – najpierw z własnymi produktami, a później z markowymi programatorami światowych producentów. Aktualnych partnerów wyselekcjonował na przestrzeni lat na podstawie ich gwarantowanej jakości, nowoczesności rozwiązań i renomy. Wnoszone doświadczenie zapewnia klientom wsparcie techniczne na odpowiednim poziomie, tzn. analizę potrzeb i adekwatne rozwiązania.

Pełne spektrum urządzeń programujących będące w naszej ofercie zapewniają…

ELNEC – słowacki producent programatorów „off-line". Szlagierowy BeeProg2 to dziś prawie 135 tys. obsługiwanych układów, darmowe update'y oprogramowania przez cały okres życia programatora oraz funkcja programowania ISP. To warianty wielopodstawkowe i do integracji jako „site'y" w automatycznych systemach programowania. A przy tym świetne wsparcie m.in. przy implementacji nowych algorytmów na życzenie klienta oraz najlepszy stosunek jakości do ceny. Oferta ELNEC jest adresowana do projektantów oraz firm z małym i średnim wolumenem produkcji.

SMH/ALGOCRAFT – włoski dostawca rozwiązań ISP – jeden z dwóch wiodących na świecie. Ich technologia FlashRunner jest przeznaczona przede wszystkim do pracy w ramach automatycznych stacji testowo-programujących. Rodzina obejmuje rozwiązania wielokanałowe, warianty High-Speed dla najszybszych układów, ale również jednokanałowe do zastosowań inżynierskich. FlashRunnery to znakomite narzędzia dla firm ze średnią lub dużą produkcją chcących programować układy w linii produkcyjnej lub integrować programowanie z procesem automatycznego testowania swoich produktów.

BPM Microsystem – amerykański producent automatycznych stacji programujących APS. Samoczynnie pobierają one układy z taśm, tacek bądź tub i odpowiednio pakują je po zaprogramowaniu. Zapewniają przy tym serializację układu, znakowanie laserowe, inspekcję optyczną. APS są przeznaczone dla masowych producentów, którym programowanie ISP w linii produkcyjnej (np. pamięci wielkiej pojemności) spowolniłoby proces wytwarzania. Automaty programujące, obsługując równolegle do 48 układów, umożliwiają wcześniejsze przygotowanie zaprogramowanych elementów przed ich montażem na płytach PCB.

Portfolio uzupełnia...

JTAG Technologies – holenderski dostawca sprzętu i oprogramowania do testowania płyt PCB techniką „boundary scan". Implementacja interfejsu JTAG oraz zastosowanie układów zgodnych z normą IEEE 1149.1 pozwala bowiem nie tylko strukturalnie i funkcjonalnie testować urządzenie, ale również zaprogramować techniką ISP już zamontowane układy.

Tak, w największym skrócie, wygląda nasza oferta w obszarze programowania układów. Zapraszamy do współpracy.

WG ELECTRONICS Sp. z o.o.
www.wg.com.pl

REKLAMA



eprasa.pl 0914c66f57

Internet Rzeczy w pomiarach środowiskowych (11)

Dołączanie czujnika CO oraz pyłów do modułu Enviro Weather

Płytka Enviro Weather udostępnia czujniki do pomiaru parametrów środowiska: ciśnienia, temperatury i wilgotności (BME280) oraz poziomu oświetlenia (LTR-559). Czujnik SEN55 firmy Sensirion dostarcza szczegółowych i wiarygodnych danych na temat kluczowych parametrów środowiskowych, takich jak wilgotność, temperatura, cząstki stałe (PM1,0, PM2,5, PM10), lotne związki organiczne (VOC) i tlenki azotu (NOx). Można go łatwo dołączyć – razem z czujnikiem tlenku węgla (CO) – do płytki Enviro Weather. Po uzupełnieniu modułu o wyświetlacz e-paper, całość tworzy atrakcyjny zestaw pomiarowy z możliwością zasilania bateryjnego.



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



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

Tlenek węgla (CO) powstaje między innymi podczas niecałkowitego spalania substancji węglowych. Głównymi źródłami tlenku węgla w pomieszczeniach zamkniętych są nieszczelne piece, palenie wyrobów tytoniowych, a także inne procesy spalania. Symptomy łagodnego zatrucia obejmują bóle i zawroty głowy oraz objawy grypopodobne. Wyższe dawki mają bardzo toksyczny wpływ na centralny układ nerwowy i serce, a w skrajnych przypadkach stanowią śmiertelne zagrożenie dla przebywających w pomieszczeniach osób i zwierząt.

VOC (lotne związki organiczne) to zbiorcze określenie substancji zawierających węgiel, które odparowują w temperaturze pokojowej lub wyższej. VOC mogą być emitowane przez istoty żywe, źródła naturalne, chemikalia lub procesy spalania. Krótkotrwałe narażenie może powodować podrażnienie oczu, nosa i gardła, bóle i zawroty głowy lub nasilenie astmy. Długotrwała ekspozycja prowadzi do raka płuc, uszkodzenia wątroby, nerek lub centralnego układu nerwowego. Lotne związki organiczne są najczęstszymi substancjami w fazie gazowej, które powodują zanieczyszczanie powietrza w pomieszczeniach zamkniętych.

Tlenki azotu (NOx) powstają w wyniku spalania paliw kopalnych i przyczyniają się do powstawania zanieczyszczeń cząstkami stałymi. Gotowanie na kuchenkach gazowych lub zanieczyszczone powietrze zewnętrzne, dostające się do wnętrza z ruchliwych dróg, wpływa na jakość powietrza w pomieszczeniach. Jednakże tlenki azotu powstają również w wyniku naturalnych procesów atmosferycznych. Substancje z grupy NOx – zwłaszcza dwutlenek azotu – podrażniają i uszkadzają układ oddechowy.

Cząstki stałe, w skrócie PM (Particulate Matter), nazywane też pyłem zawieszonym, obejmują drobiny o wielkości od 0,1 do 10 µm. Wartości PM są mierzone w µg/m³ jako „stężenie masowe". Pył zawieszony to głównie mieszanina kurzu, roztoczy, pleśni lub pyłków, które mogą prowadzić do reakcji alergicznych i chorób układu oddechowego.

Moduł ULPSM z analogowym czujnikiem CO

Firma SPEC Sensors udostępnia analogowy moduł pomiarowy ULPSM (Ultra-Low Power Sensor Module), umożliwiający dołączenie dowolnego firmowego czujnika gazu w obudowie z wyprowadzeniami goldpin 2,54 mm. ULPSM przekształca liniowy sygnał prądowy z czujnika tlenku węgla na liniowy sygnał napięciowy, utrzymując przy tym sensor w optymalnych warunkach pracy. Moduł ULPSM z analogowym czujnikiem CO o bardzo małej mocy [8] pracuje z zasilaniem nominalnym (V+) równym 3 V (2,7…3,3 V) i dostarcza napięcie wyjściowe 0…3 V. Dokładny opis czujnika i modułu pomiarowego został zamieszczony w artykule „Moduł ULPSM-CO z czujnikiem tlenku węgla firmy SPEC Sensors" [4].

Wyprowadzenia V+, Vgas, Vref oraz Vtemp modułu zostały dołączone do wejścia przetwornika ADS1115 o impedancji wejściowej 6 MΩ (w zakresie 2…4 V). Poszczególne kanały są pojedynczo dołączane do wejść ADC. Warto dodać, że podpięcie ADC do wyprowadzenia Vref powodowało skok napięcia na wyjściu Vgas o amplitudzie pełnego zasilania. Dlatego pomiędzy V+, Vref oraz GND został dołączony zewnętrzny dzielnik 2×10 kΩ z rezystorami 0,1%, co zlikwidowało zakłócenia dynamiczne.

Pozostał natomiast dosyć wysoki poziom zakłóceń Vgas spowodowanych sygnałem sieci energetycznej 50 Hz. Próby prowizorycznego ekranowania płytki modułu nie poprawiły sytuacji.

eprasa.pl 0914c66f57

Dlatego został zastosowany najdłuższy okres próbkowania przetwornika ADC (8 Sps) oraz uśrednianie 10 kolejnych odczytów.

Czujnik SEN5x

Czujnik SEN55 mierzy stężenie cząstek stałych, VOC, wilgotności, temperatury oraz NOx. Został on dokładnie opisany w artykule „Moduł czujników środowiska SEN5x firmy Sensirion" [1]. Układ dostarcza w pełni skalibrowane dane za pośrednictwem interfejsu cyfrowego. Sygnały i zasilanie są dostępne na dosyć nietypowym złączu komunikacyjnym (6-pinowym z rozstawem 1,25 mm). Razem z modułem SEN5x w zestawie dostarczany jest kabel z wtyczką do gniazdka złącza komunikacyjnego, zakończony z drugiej strony wtyczkami typu goldpin.

Napięcie zasilania czujnika SEN55 wynosi 5 V (4,5...5,5 V). Przy zasilaniu bateryjnym modułu Enviro Weather dostępne napięcie zasilania z akumulatora wynosi od ok. 3,7 V do 4,2 V, czyli plasuje się poniżej wymaganego zakresu pracy SEN55. Dodatkowo wymagane jest zasilanie o niskim poziomie zakłóceń. Dlatego została zastosowana płytka EVL3424A-G-00A z przetwornicą podwyższająca MP3424A firmy Monolithic Power Systems. Układ może pracować z napięciem wejściowym 2,0...5,5 V i daje napięcie wyjściowe 3,0…5,5 V (@ 3,1 A).Wartości rezystorów płytki zostały tak zmodyfikowane, aby ustawić napięcie wyjściowe 5,5 V. Układ pracował bardzo stabilnie, lecz na wyjściu występowały zakłócenia w postaci szpilek. Dlatego do wyjścia została dołączona płytka SCP-LT3045-1-EVALZ z układem LT3045 firmy Analog Devices. Jest to układ LDO o bardzo niskim poziomie szumów (0,8 µV RMS) oraz bardzo wysokim PSRR: 76 dB dla 1 MHz. Wyjściowe napięcie 5 V całego toru zasilania jest dzięki temu pozbawione zakłóceń w bardzo szerokim pasmie.

Czujnik SEN55 udostępnia wyniki pomiaru VOC w postaci indeksu VOC w zakresie od 1 do 500. Powietrze w każdym pomieszczeniu zamkniętym zawiera określone tło VOC pochodzące ze źródeł stale wydzielających się gazów. Na skali indeksu VOC to przesunięcie jest odwzorowywane na wartość 100. Indeks VOC powyżej 100 oznacza, że jest więcej VOC w porównaniu ze średnią (np. w wyniku gotowania, sprzątania, oddychania itp.), natomiast wskaźnik VOC poniżej 100 oznacza, że jest mniej VOC w porównaniu do średniej (np. co może być spowodowane świeżym powietrzem z otwartego okna, użyciem oczyszczacza powietrza itp.).

Analogicznie do pomiaru VOC moduł SEN55 udostępnia wyniki pomiaru NOx w postaci indeksu NOx w zakresie od 1 do 500. Indeks NOx powyżej 1 oznacza, że istnieje więcej związków NOx w porównaniu do średniej (np. powstałych podczas gotowania na gazie). Wskaźnik NOx bliski 1 oznacza, że nie ma (prawie) żadnych gazów NOx, co ma miejsce w większości przypadków. Gdy indeks NOx przekracza 20, należy otworzyć okno lub uruchomić oczyszczacz powietrza.

Zmodyfikowany moduł DFRobot I²C ADS1115

Moduł DFR0553 firmy DFRobot [6] zawiera układ przetwornika analogowo-cyfrowego typu ADS1115 z interfejsem I²C, zasilanego za pomocą stabilizatora LDO typu LP5907MFX-3.3. Oryginalny moduł został trochę zmodyfikowany, a jego dokładny opis został zamieszczony w artykule „Czujnik UV z fotodiodą GUVA-S12SD" [5]. Do pracy z układem ADS115 została zastosowana biblioteka języka MicroPython [7] opracowana przez Wolfganga (Wolle) Ewalda w języku Python na ESP32.

Dołączanie czujników do modułu Enviro Weather

Sposób połączenia Raspberry Pi Pico W, modułu Enviro Weather [2], wyświetlacza Pico Inky Pack Pack (PIM634) firmy Pimoroni oraz ekspandera i pozostałych czujników środowiskowych opisano szczegółowo we wcześniejszych odcinkach niniejszego cyklu. Moduł ULPSM został dołączony do zmodyfikowanego modułu DFRobot I²C ADS1115 [5]. Napięcie 3,3 V do zasilania modułu jest pobierane z płytki przetwornika.

Na płytce Enviro Weather zostały praktycznie zrealizowane zalecenia dotyczące ograniczania poboru mocy procesora RP2040.

Płytka została zaprojektowana tak, aby działała dobrze przy zasilaniu bateryjnym. Na płytce Enviro Weather został zastosowany scalony układ zegara czasu rzeczywistego (RTC) o bardzo niskim poborze mocy, dzięki czemu można okresowo budzić mikrokontroler, odczytywać dane z czujników, a następnie ponownie wyłączyć procesor i zasilanie układów na płytce.

Jeśli jest obecne zasilanie na szynie VBUS, to jest ono podawane na szynę VSYS i przetwornica RT6150A płytki Pico W zasila procesor RP2024. W przeciwnym wypadku napięcie z gniazdka BATT jest – poprzez tranzystor MOS – przekazywane na szynę VSYS, do której dołączone są też układy zasilania czujnika SEN55 oraz modułu I²C ADS1115.

Układ RTC jest zasilany cały czas (pobór prądu 18 µA) przez osobną przetwornicę AP2138N (prąd upływu 1,0 µA) dołączoną do gniazdka BATT (lub VSYS w przypadku zasilania z USB). Dokładny opis organizacji zasilania płytki Raspberry Pi Pico W oraz Enviro Waether został omówiony w artykule „Optymalizacja poboru mocy urządzenia IoT z płytką Raspberry Pi Pico W" [3].

Wszystkie układy scalone zostały dołączone do tej samej szyny I²C (piny 4 i 5).

Praca czujników z modułem Enviro Weather

Wpisywanie oprogramowania firmowego do pamięci procesora znajdującego się na płytce Enviro Weather zostało dokładnie omówione w artykule „Stacja pogodowa Enviro Weather firmy Pimoroni" [2].

Najprostsza wersja wpisania oprogramowania firmowego:

1. Pobierz ze strony *Enviro MicroPython firmware* [12] najnowszą wersję firmowego pliku obrazu (uf2) zawierającą jednocześnie Enviro i MicroPythona. Obecnie jest to plik *pimoroni-enviro-v1.22.2-micropython-enviro-v0.2.0.uf2*.
2. Trzymaj wciśnięty przycisk BOOTSEL płytki Rasperry Pi Pico W (pod spodem płytki Enviro) i podłącz ją kablem USB do komputera. Spowoduje to przejście oprogramowania płytki Pico W do trybu DFU, a na komputerze zostanie otwarte okno RPI-RP2, pokazujące zawartość dysku udostępnianego przez Pico W.
3. Przeciągnij pobrany plik uf2 do okna dysku RPI-RP2.

Płytka Pico W uruchomi się ponownie z najnowszą wersją MicroPythona. Nie będzie już udostępniała dysku oraz przejdzie bezpośrednio do trybu konfiguracji.

Uwaga! Nastąpi skasowanie poprzedniej zawartości pamięci Flash.

Teraz trzeba do Rasperry Pi Pico W wpisać pliki aplikacyjne *main.py* oraz *ADS1115.py* (plus *config.py* i *data.txt*) z pobranego pliku *enviro_CO_SEN55.zip* (https://tiny.pl/s5gtqj0w). Podmieniane są pliki *main.py* i *config.py*.

Podczas pomiaru cała aplikacja (w pliku main.py) wykonywana jest tylko raz. Dlatego każdorazowo musi być realizowana inicjalizacja układu ADS1115 i czujników, a potem odczyt danych pomiarowych. Na końcu kodu w pliku *main.py* płytka Enviro Weather jest wprowadzana na pewien czas (np. 2 min) w uśpienie z aktywnym zewnętrznym zegarem RTC. Podczas zasilania z akumulatora wyłączane jest zasilanie całej płytki Enviro Weather oraz wszystkich dołączonych czujników i modułu ADS1115, z wyjątkiem układu RTC. Sygnał alarmu z RTC wymusza reset procesora.

Wyjście CLKOUT układu RTC jest dołączone do czerwonej diody LED (WARNING). Układ zegara RTC po włączeniu zasilania wystawia na wyjściu CLKOUT przebieg o częstotliwości 32768 Hz. Powoduje on delikatne migotanie czerwonej diody LED. Przy konfigurowaniu układu RTC przez aplikację Enviro wyjście CLKOUT jest ustawiane na poziom niski. Po uruchomieniu pomiarów czujników, na płytce Enviro Weather błyska biała dioda LED (ACTIVITY) z częstotliwością 1 Hz. Czas jej błyskania praktycznie określa czas wykonywania pomiarów przez wszystkie czujniki. Ta dioda jest

eprasa.pl 0914c66f57

dołączona do wyprowadzenia procesora skonfigurowanego jako wyjście modułu peryferyjnego PWM. Funkcjonalnie oznacza to zdefiniowanie autonomicznego wątku sprzętowego. Jeśli podczas migania diody nastąpi zatrzymanie działania aplikacji z powodu błędu, to dioda nadal będzie migać.

Układ RTC wymaga ustawienia początkowej daty i czasu. Gdy płytka Enviro Weather jest dołączona do sieci Internet, to aplikacja Enviro synchronizuje RTC z czasem sieci. W naszym przypadku data i czas są wczytywane na początku aplikacji z pliku data.txt. Zegar RTC jest inicjalizowany pobranymi wartościami. Zapisane są tam także inne dane: znacznik ustawienia czasu, godzina, minuta, sekunda, dzień, miesiąc, rok, licznik niepełnych pomiarów, licznik okresu czyszczenia wiatraczka oraz wartości poziomu pyłów z ostatniego pełnego pomiaru. Wewnętrzny układ RTC procesora RP2040 nie jest używany w projekcie.

```
2024-09-18 18:08:26 [info     / 127kB] > performing startup
2024-09-18 18:08:26 [debug    / 125kB]   - running Enviro 0.0.10, MicroPython v1.21.2, enviro v1.22.2 on 2024-08-04
2024-09-18 18:08:26 [info     / 131kB]   - wake reason: usb_powered
2024-09-18 18:08:26 [debug    / 129kB]   - turn on activity led
data.txt file:  ['0', '18', '11', '90', '16', '09', '2024', '3', '540', '-0.1', '-0.1', '-0.1']
LTR-559ALS-01 0x23, PCF85063A 0x51, BME280 0x77, AD81118 0x18/0x49, SEN55 0x69
Detected devices at I2C1-addresses:
['0x23', '0x48', '0x51', '0x69', '0x77']
Decimal address:  [35, 72, 81, 105, 119]
Rpi RTC date/time:  (2024, 9, 18, 18, 11, 0, 0)
PCF85063A RTC date/time:  (2024, 9, 18, 18, 11, 0, 0)
SEN55 status b'\x80\x00\x61\x00' 0  Maxx counter: 3  Fan counter: 540
SEN55 status OK
SEN55 measurent started
Vgas   1.656319
Vref   1.624031
Vtemp  1.46647
Vcc  3.311226  Vcc/2 1.655613
C  73.97231
SEN55 data reading all. Wait 40 sec
cnt: 0 flag 1  pm1p0 16.5 pm2p5 17.5 pm10p0 17.9
cnt: 1 flag 1  pm1p0 33.0 pm2p5 36.6 pm10p0 36.6
cnt: 2 flag 1  pm1p0 69.5 pm2p5 81.9 pm10p0 81.9
cnt: 3 flag 1  pm1p0 66.0 pm2p5 69.2 pm10p0 69.2
cnt: 4 flag 1  pm1p0 52.6 pm2p5 56.6 pm10p0 56.6
cnt: 5 flag 1  pm1p0 99.2 pm2p5 104.0 pm10p0 104.0
cnt: 6 flag 1  pm1p0 115.8 pm2p5 121.4 pm10p0 121.4
cnt: 7 flag 1  pm1p0 132.5 pm2p5 138.9 pm10p0 138.9
cnt: 8 flag 1  pm1p0 149.3 pm2p5 156.8 pm10p0 156.8
cnt: 9 flag 1  pm1p0 166.2 pm2p5 174.3 pm10p0 174.2
avg:    flag 1  pm1p0 16.62 pm2p5 17.42 pm10p0 17.42 tmp 27.95 hx 42.1  VOC 16.0  NOx 1.0
Stop SEN55 Measurement
Printing data to display
RTC date/time (2024, 9, 18, 18, 12, 15, 0)
Writing to the data.txt file
Going to sleep
2024-09-18 18:12:17 [info     / 104kB] > going to sleep for 2 minute(s)
2024-09-18 18:12:17 [debug    / 101kB]   - clearing and disabling previous alarm
2024-09-18 18:12:17 [info     /  99kB]   - setting alarm to wake at 18:14pm
2024-09-18 18:12:17 [info     /  97kB]   - shutting down
2024-09-18 18:12:17 [debug    /  95kB]   - on usb power (so can't shutdown). Halt and wait for alarm or user reset instead
2024-09-18 18:14:00 [debug    / 120kB]   - reset
```

Listing 1. Informacje widoczne po uruchomieniu aplikacji

Następnie wykonywane jest wykrywanie obecności wszystkich układów na szynie I²C. Obsługiwane są tylko aktywne czujniki.

Kolejny krok to sprawdzenie stanu czujnika SEN55. Co tydzień pracy należy wykonać procedurę czyszczenia wiatraczka czujnika. Potem wysyłane jest polecenie wystartowania pomiarów przez czujnik SEN55. Pomiary wykonywane są co 1 s. Odczyt danych z czujnika SEN55 realizowany jest na dwa sposoby. W przypadku pomiaru częściowego wykonywany jest tylko pojedynczy odczyt danych RTC/VOC/Nox, zaś w trybie pomiaru pełnego wykonywany jest dodatkowo wielokrotny odczyt danych pomiaru pyłów z uśrednianiem. Zwiększa to dokładność pomiaru przy niskich poziomach stężenia pyłu. Po odczytaniu danych wysyłana jest do modułu SEN55 komenda „Stop measurement". Powoduje to przejście czujnika do trybu uśpienia i zatrzymanie pracy wiatraczka (jeśli był wykonywany pomiar pełny). Pomiar pełny, z dodatkowym pomiarem pyłów, wykonywany jest co kilka pomiarów częściowych (np. co 4).

Gdy czujnik pyłów znajduje się w trybie pomiarowym, średni prąd zasilania sensora wynosi 63 mA (max. 70 mA). W trybie pomiaru RHT/ Gas-Only pobór prądu jest zmniejszony do 6,8 mA [1]. Przy niskich poziomach mierzonych parametrów zanieczyszczeń powietrza, czas pomiaru przez czujnik SEN55 (czyli czas jego zasilania) musi wynosić co najmniej 60 sekund.

Z czujnika CO odczytywane są napięcia w trzech kanałach przetwornika ADC: napięcie pomiarowe i napięcie referencyjne (dziesięć odczytów uśrednianych) oraz napięcie pomiaru temperatury. Na tej podstawie liczony jest poziom stężenia tlenku węgla (CO) [4].

Odczyt pomiarów czujników płytki Enviro Wether jest wykonywany za pomocą funkcji *get_sensor_readings* z aplikacji firmowej Enviro. W trakcie odczytu miga biała dioda LED co 1 sekundę.

Dane pomiarowe z czujnika SEN55 są stabilne dopiero po dosyć długim okresie po rozpoczęciu pomiarów.

Pobrane dane są wyświetlane na wyświetlaczu INKY [11]. Przykład pomiaru parametrów środowiska został pokazany na fotografii tytułowej. Najpierw następuje konfiguracja wyświetlacza polegająca na zdefiniowaniu jego modelu i wymiarów, szybkości aktualizowania obrazu oraz rodzaju czcionki. Następnie czyszczony jest ekran. Po lewej stronie panelu wyświetlane są wyniki pomiaru z czujników płytki Enviro Weather. Na dole znajduje się wynik pomiaru CO. Po prawej widoczne są wyniki z czujnika SEN55, natomiast na dole wyświetlany jest czas i data ostatniego pomiaru. Jeśli ostatni pomiar był pełny (z odczytem poziomu pyłów), to sygnalizowane jest to gwiazdką po polu czasu. Dla pomiarów częściowych pokazywane są (powtarzane) poziomy pyłów z ostatniego pomiaru pełnego.

Następnie data i czas pomiaru są pobierane z RTC i zapisywane w pliku data.txt.

Na koniec wywoływana jest firmowa funkcja *enviro.sleep*, programująca RTC na wybudzenie procesora oraz wprowadzająca płytkę Enviro Weather w stan wyłączenia zasilania (w przypadku zasilania z wejścia BATT).

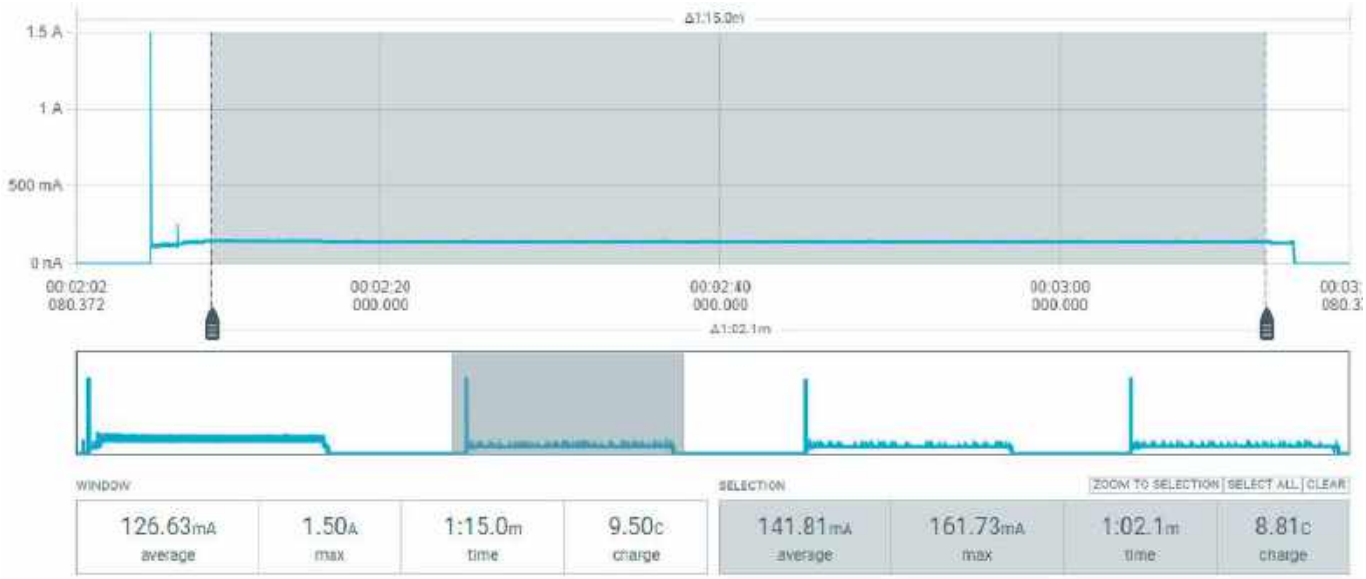
Oprogramowanie było uruchamiane w środowisku Thonny. Na **listingu 1** pokazano okno Shell po wystartowaniu aplikacji pomiarowej – poszczególne informacje są wyprowadzane albo przez nią, albo przez firmową aplikację Enviro (poprzedzone znacznikiem czasu). Pozwalają one na dosyć dokładne zorientowanie się w postępach pracy oprogramowania.

Dokładne dane pomiaru napięcia z modułu CO pozwalają na zweryfikowanie poprawności jego pracy. Doświadczenia pokazują, że jego praca stabilizuje się dopiero po dłuższym czasie zasilania modułu.

Do dynamicznego pomiaru prądu zasilania bardzo dobrze nadaje się zestaw Power Profiler Kit II (PPK2) firmy Nordic Semiconductor. Jest to samodzielny układ, który bez zewnętrznego sprzętu może mierzyć i dostarczać prądy od poniżej µA do 1 A. Praktyka pokazuje, że zakres pracy rozciąga się do ok. 2 A. Wymaga to jednak dołączenia dodatkowego zasilania kablem USB do drugiego gniazdka PPK2. Dokładny opis PPK2 jest zamieszczony w artykule „Profilowanie mocy z zastosowaniem Power Profiler Kit II" [13].

Na **rysunku 1** został pokazany pomiar poboru prądu płytki Enviro Weather po podaniu zasilania na wejście BATT (4,2 V) z zestawu Power Profiler Kit II (PPK2). Po włączeniu zasilania układu pomiarowego zawsze wykonywany jest pomiar pełny, a następnie kilka (np. trzy) pomiary częściowe. Dla wygody uruchamiania pomiary wykonywane są co ok. 2 min. Płytka Enviro Weather, po podaniu zasilaniu na wejście BATT, pobiera impuls prądu 250 mA (ok. 200 µs) i startuje tylko układ RTC, migając słabo czerwoną diodą LED (ok. 0,6 mA). Dopiero przyciśnięcie przycisku POKE powoduje impulsowy pobór prądu ok. 1,4 A (ok. 600 µs) i start aplikacji. W następnych cyklach pomiarowych nie jest potrzebne dalsze przyciskanie POKE. Jednak po resecie występuje taki sam pik prądu rozruchowego. Drastycznie zwiększa to wymagania dotyczące zasilania układu. Płytka Enviro Weather w stanie wyłączenia zasilania (uśpienia) pobiera ok. 30 µA prądu (zasilane jest tylko RTC). Średni pobór prądu podczas pełnego pomiaru wynosi ok. 320 mA, a podczas pomiaru częściowego ok. 140 mA. Średni pobór prądu za okres jednego pomiaru pełnego i trzech pomiarów częściowych wynosi

eprasa.pl 0914c66f57



Rysunek 1. Profil poboru prądu płytki Enviro Weather podczas kilku cykli pomiarowych

ok. 132 mA. Ten pobór drastycznie maleje po zwiększeniu odstępów czasowych pomiędzy pomiarami.

Podczas zasilania płytki Enviro Weather z gniazdka USB funkcja *enviro.sleep*, umieszczona na końcu pracy aplikacji, programuje RTC na zgłoszenie przerwania po odpowiednim czasie, lecz nie wprowadza płytki Enviro Weather w stan wyłączenia zasilania. Zamiast tego odczytuje w pętli znacznik przerwania układu RTC. I dopiero po jego ustawieniu wymusza reset procesora. Średni pobór prądu płytki (5 V) wynosi: pomiar pełny ok. 286 mA, pomiar częściowy ok. 124 mA oraz w trakcie oczekiwania na przerwanie ok. 120 mA.

Podsumowanie

Bardzo dobrze zaprojektowana płytka Enviro Weather, udostępniająca wiele czujników środowiska, może zostać uzupełniona poprzez dołączenie czujników mierzących kolejne parametry otoczenia. Przy efektywnym zarządzaniu przez płytkę Enviro Weather poborem prądu z baterii, zrealizowany zestaw stanowi dobrą platformę do prototypowania własnych urządzeń IoT.

W artykule zostało pokazane dołączenie analogowego czujnika tlenku węgla oraz zespolonego modułu czujników SEN55, wykonującego pomiar wilgotności, temperatury, cząstek stałych (PM1,0, PM2,5, PM10), lotnych związków organicznych (VOC) i tlenków azotu (NOx). Zastosowano także wyświetlacz Pico Inky Pack Pack typu e-paper.

Przykład pomiaru parametrów środowiska, pokazany na fotografii tytułowej, uwidacznia typowe parametry atmosferyczne w pomieszczeniu w trakcie lata. Dosyć wysoka temperatura, obniżona wilgotność, niski poziom VOC (średni to indeks 100) oraz raczej niski poziom pyłów i CO. Indeks NOx równy 1 to sytuacja normalna, każdy poziom wyżej to już zagrożenie. Dla lepszej oceny jakości powietrza przydałby się jeszcze pomiar poziomu CO_2.

Zastosowana aplikacja pomiarowa może zostać rozbudowana o kompensację pomiarów czujnika SEN55 (np. z uwzględnieniem zmian temperatury i wilgotności) oraz jego okresową kalibrację.

Długi czas stabilizacji pracy modułu ULPSM z analogowym czujnikiem, przy jego bardzo małym poborze prądu 15 µA, sugeruje możliwość zasilania go w sposób ciągły – tak, jak ma to miejsce w przypadku układu RTC. Wymaga to jednak wyprowadzenia wewnętrznego napięcia szyny V+_A0 płytki Enviro Weather. Pomiary CO z zastosowaniem modułu ULPSM z analogowym czujnikiem CO wymagają przeprowadzenia kalibracji.

Wiatraczek czujnika SEN55 pracuje bezgłośnie. W trakcie badań zdarzało się zawieszenie obracania wiatraczka bez sygnalizacji w rejestrze stanu. Mechaniczne popchnięcie przy wyłączonym zasilaniu przywracało funkcjonalność.

Zastosowanie środowiska uruchomieniowego Thonny ułatwia rozpoczęcie pracy z procesorem RP20240 w języku MicroPython i daje możliwość wykorzystania wielu przykładowych projektów. Wadą jest praktycznie brak wspomagania procesu debugowania. Już po pierwszym wykonaniu aplikacji następuje reset procesora i utrata komunikacji środowiska Thonny z płytką Enviro Weather. Oznacza to brak możliwości podglądu informacji wysyłanych przez aplikację. Nie pomaga ponowne dołączenie środowiska do działającej płytki, ponieważ powoduje to zatrzymanie działania aplikacji. Również wystąpienie błędu podczas pracy aplikacji powoduje zatrzymanie jej działania bez możliwości zasygnalizowania problemu. Jeśli wystąpi to podczas pracy modułu PWM, to biała dioda LED będzie błyskała bez końca.

Występuje rozdźwięk pomiędzy wymaganym odstępem czasu pomiaru poziomu pyłów, który narasta raczej powoli, a wymaganiami pod względem pomiaru poziomu tlenku węgla, który może pojawić się dosyć szybko, a jego rezultaty mogą być katastrofalne. Komercyjne czujniki tlenku węgla wykonują pomiary co ok. 15 s.

Realizacja oprogramowania bazuje na projekcie „Pomiar parametrów powietrza w pomieszczeniach”, wykonanego w ramach przedmiotu „Systemy wbudowane i oprogramowanie” na Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej przez zespół w składzie: Krzysztof Kosmalski, Stanisław Obszarski, Jan Zakrzewski i Mateusz Zengiel.

Henryk A. Kowalski
Instytut Informatyki
Politechnika Warszawska

Literatura:
[1] „Moduł czujników środowiska SEN5x firmy Sensirion”, Henryk A. Kowalski, EP 3/2024, https://tiny.pl/d0fyfcy5
[2] „Stacja pogodowa Enviro Weather firmy Pimoroni”, EP 4/2024 https://tiny.pl/d93r1
[3] „Optymalizacja poboru mocy urządzenia IoT z płytką Raspberry Pi Pico W”, EP 5/2024, https://tiny.pl/d59hg
[4] „Moduł ULPSM-CO z czujnikiem tlenku węgla firmy SPEC Sensors”, EP 7/2024, https://tiny.pl/mz4qvx9b
[5] Czujnik UV z fotodiodą GUVA-S12SD, EP 10/2024
[6] Gravity: I²C ADS1115 16-Bit ADC Module, DFR0553, DFRobot, https://tiny.pl/n6qfj60b
[7] ADS1115_mpy, A MicroPython module for the ADS1115 ADC. Wolfgang (Wolle) Ewald, https://tiny.pl/twv9zkq9
[8] ULPSM-CO 968-001, Ultra-Low Power Analog Sensor Module for Carbon Monoxide, October 2016, https://tiny.pl/djzww
[9] ULPSM Public Arduino Library for ULPSM (ultra-low power sensor module) or SDK (sensor development kit), Nov 15, 2021, https://github.com/SPEC-Sensors/ULPSM
[10] Pico Decker (Quad Expander) PIM555, Pimoroni, https://tiny.pl/mwp5n68n
[11] Pico Inky Pack PIM634, Pimoroni, https://tiny.pl/94b0pv9f
[12] Enviro MicroPython firmware, Pimoroni, https://tiny.pl/dt49f
[13] „Profilowanie mocy z zastosowaniem Power Profiler Kit II”, EP 5/2022, https://tiny.pl/d93rd

eprasa.pl 0914c66f57



Fotografia 1. Biodegradowalne przyrządy do utrzymywania pożądanej wilgotności powietrza w pracowni

ESD w pracowni elektronicznej

O wyposażeniu pracowni elektronika napisano już niejeden artykuł, w dawniejszych czasach nawet kilka książek. Internet wskazuje nam mnóstwo elementów wyposażenia, które można kupić. Są one mniej lub bardziej przydatne w pracy na co dzień. Ze swojej strony podpowiem kilka rozwiązań, które dawno temu wdrożyłem, a które z powodzeniem sprawdzają się u mnie każdego dnia w zakresie ochrony ESD.

Ochrona ESD. Matko i córko, ileż się o tym mówi! Jakież to straszne kilowolty czyhają na nasze biedne układy, które trzeba przed nimi (owymi kilowoltami) chronić na wiele różnych sposobów. Nie chcę w tym miejscu zaprzeczać – elektryczność statyczna to faktycznie wredna gadzina, która potrafi „ubić" niezabezpieczone wejście układu dyskretnie, acz skutecznie.

Pamiętam, jak pewien czas temu odwiedził mnie w pracowni znajomy serwisant GSM. Chciał, abym naprawił mu jeden moduł sterujący (bodajże) zmywarką. Usterka okazuje się widoczna gołym okiem, odpowiedni podzespół mam na miejscu, więc odpalam lutownicę oraz hotaira i biorę się do pracy. Wypakowuję ze szczelnie zamkniętego woreczka nowy element (jakiś układ logiczny CMOS), po czym swobodnie – trzymając go palcami – układam na stole. Kumpel pełen przerażenia: czyś ty zwariował, przecież ESD go zabije! Właśnie że nic nie zabije, bo wdrożyłem u siebie kilka rozwiązań, które minimalizują to ryzyko niemal do zera. On obstawia się opaskami, matami, wykładzinami – a i tak ma z tym problem.

U mnie tego typu kłopoty skończyły się już wiele lat temu. Choć, przyznaję, też miałem problemy z niedziałającymi układami scalonymi, zwłaszcza wysokiej skali integracji, które zawierają tranzystory unipolarne z izolowaną bramką. Nic dziwnego, skoro chodziłem cały czas „naładowany" i to bynajmniej nie pozytywną energią. Przeanalizujmy po kolei: co konkretnie zadziałało w moim przypadku?

Po pierwsze: płyny do płukania tkanin. Zaskakująco niewielu ludzi ich używa – nie wiem dlaczego. Poza tym, że nadają fajny zapach (i efekt ten pozwalają uzyskać nawet te tańsze produkty), to zdecydowana większość z nich ma właściwości antyelektrostatyczne. Wystarczy poczytać etykietę, z reguły ta informacja jest gdzieś schowana. Od kiedy regularnie wlewam płyn do pralki, problem przypadkowego iskrzenia zanikł niemal do zera. Jego działanie jest proste: zwiększa upływność, wobec czego ładunek elektrostatyczny ma szanse, że zostanie gdzieś odprowadzony – najlepiej do podłoża. Na co dzień chodzę w dresowych spodniach (najczęściej z poliestru) i bawełnianych lub sztucznych koszulkach. Kiedy robi się chłodniej, przywdziewam dodatkowo dresową (też poliestrową), bawełnianą lub polarową bluzę, chodzę nawet w butach sportowych z tworzyw sztucznych, bo tak lubię. To po prostu raj dla elektryczności statycznej. Ale, kurczę, nic nie strzela! Moja mała uwaga: jednorazowe wypranie może nie przynieść oczekiwanego efektu, dopiero po 2...3 praniach nowy ciuch przestaje kopać. Buty też piorę z użyciem płynu do płukania: jeżeli mają tendencję do kopania, to również pomaga. Przy czym podeszwa z gumy węglowej ma zdecydowanie mniejsze skłonności do zaskakiwania nieoczekiwanym trzaskiem – chyba chodzi tu o jej zwiększoną przewodność.

Po drugie: kiedy kwestię ubrań już załatwimy, pora przyjrzeć się powietrzu. O tym, jakie powinny być jego parametry, wiadomo od dawna. Warto jednak wiedzieć, że zalecany przedział wilgotności względnej powietrza to 40...60%. Tymczasem, jak wynika z moich doświadczeń jako elektronika i alergika w jednym, okolice 60% są korzystniejsze. Przy tej wartości zdecydowanie rzadziej dochodzi u mnie do przesuszenia zatok i nadwrażliwości gałek ocznych, szczególnie w okresie pylenia wszystkiego, czytaj: wiosną. Choć miewam z tym zjawiskiem problem i zimą (czego powodem z reguły jest smog), i latem oraz jesienią (kurz). Co więcej: wilgotne powietrze łatwiej rozprowadza naładowane statycznie cząstki, zapobiegając ich osiadaniu w jednym miejscu. Inaczej mówiąc, wszystkie przedmioty same się rozładowują, skoro istnieje między nimi upływność. O to, by wilgotność była prawidłowa, najlepiej dbają zwykłe kwiaty na parapecie. My zaś, jako ludzie, dbamy o wilgotność podłoża, na którym rosną – i gotowe. U mnie stoi rządek widoczny na **fotografii 1** – jako że jest to jedyne okno od strony południowej w domu, żona prowadzi na nim rozmaite eksperymenty z ukorzenianiem i ratowaniem usychających roślinek,

eprasa.pl 0914c66f57



Fotografia 2. Kawałek odsłoniętego metalu skutecznie odprowadza ładunek do ziemi

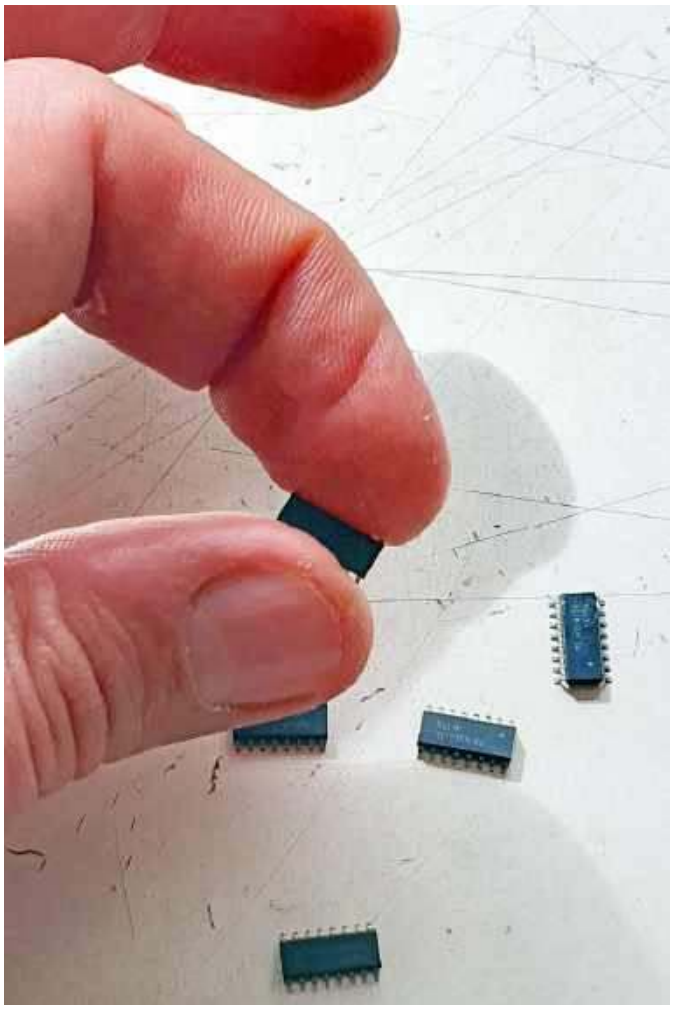
których w całym domu jest kilkadziesiąt. Rośliny są o tyle dobrym nawilżaczem powietrza, że oddają wilgoć, kiedy jest ono suche oraz pochłaniają, kiedy wody w powietrzu jest za dużo – to niemal doskonała samoregulacja. Przy okazji zielone akcenty cieszą zmęczony niekiedy wzrok. Zauważyłem, że również trzymanie uchylonego okna (poza okresami skrajnie suchymi na zewnątrz) pozytywnie wpływa na rozładowywanie atmosfery, oczywiście z elektryczności statycznej.

Kiedy jednak mam wziąć do ręki układ, który kosztował niemały plik zielonych banknotów i był z trudem sprowadzany, stosuję dodatkowe rozładowanie przed pracą. Czasem też po prostu zdarzają się dni, kiedy czuję (zwłaszcza po swoich włosach), że jakiś ładunek może mi siedzieć na skórze. Wtedy – i to trzecie z rozwiązań, które chcę zarekomendować – przegarniam dłońmi włosy, ramiona, korpus i nogi, po czym dotykam zaworu w grzejniku (**fotografia 2**). Nie jest on idealnie uziemiony, ale metalowe uchwyty trzymające kaloryfer w ścianie, jak i znajdująca się w nim woda oraz rury PEX przewodzą na tyle skutecznie, że potencjalne zagrożenie zostaje odprowadzone do ziemi. Po „wymizianiu" kaloryfera można działać. Mój znajomy, który zainstalował u siebie ogrzewanie podłogowe, chodzi w tym celu do balustrady przy schodach.

I tutaj pora na kolejny patent. Staram się wykonywać prace lutownicze na metalowej płycie: u mnie to kawałek obudowy jednego ze starych urządzeń – **fotografia 3**. Wprawdzie jest ona aluminiowa, a aluminium ulega pasywacji, czyli pokrywa się nieprzewodzącym tlenkiem glinu, ale u siebie nie zauważyłem z tego powodu problemów. Na prezentowanej płycie lutuję, a potem łatwo zmywam resztki topnika i inne śmieci przy użyciu papieru nasączonego rozpuszczalnikiem. Na tej samej płycie układam również elementy podgrzewane hotairem (przez co nie niszczy mi się blat stołu), choć podkładam pod nie dystanse z odłamanych boków formatek laminatów szklano-epoksydowych (FR4) – umieszczenie ich bezpośrednio na płycie bardzo utrudnia podgrzanie (ze względu odprowadzanie ciepła), a taki niewielki dystans okazuje się wystarczający. Wreszcie: również na tej płycie tnę nożem złącza goldpin i wydrapuję swoje błędy



Fotografia 3. Blacha, na której wszystko lutuję



Fotografia 4. Wyrównywanie potencjałów między wyprowadzeniami układów scalonych

popełnione w projektach płytek. Nóż jej niestraszny, choć widać, że jest mocno poraniona. Taka jej rola.

Ostatnia rzecz, która mocno zadziwia innych, to chwytanie przeze mnie układów w palce – przy czym staram się dotknąć jednocześnie jak największej liczny nóżek, o ile one w ogóle wystają poza obrys obudowy. Wysypuję z szufladki kilkanaście scalaków, po czym odwracam je w pożądaną stronę, po prostu biorąc je w dłonie, jak na **fotografii 4**. Dlaczego? Przewodząca płyta, na której się znalazły, rozprowadza ładunek elektryczny, więc nie nagromadzi się on np. na jednym wyprowadzeniu. To samo dotyczy dotykania układu palcami – mają one relatywnie niską rezystancję, więc chwytając w nie nóżki układu scalonego, de facto wyrównuję potencjał między nimi. A skoro potencjały są takie same, to nie ma między nimi napięcia, co wynika z fizycznej definicji napięcia – czyli nie ma warunków do przebicia izolatora podbramkowego. Proste i od wielu lat skuteczne.

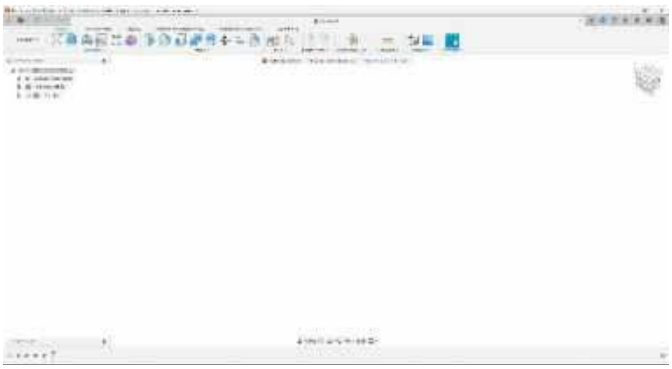
Michał Kurzela, EP

eprasa.pl 0914c66f57

Druk 3D w służbie elektroniki (4)

W poprzedniej części zapoznaliśmy się dokładniej z budową drukarki 3D typu filamentowego oraz omówiliśmy proces kalibracji maszyny. W tej części zajmiemy się projektowaniem i drukiem prostej obudowy do gotowego projektu. By zadanie nieco sobie utrudnić, nie posłużymy się plikami oryginalnego projektu, lecz użyjemy fizycznego urządzenia, by pozyskać istotne wymiary.

Na rynku istnieje wiele programów CAD (Computer Aided Design), ceny większości wykraczają jednak daleko poza budżet hobbystów, a nawet małych firm. Dostępne są też narzędzia darmowe, jak FreeCAD, Ondsel czy SolveSpace. Niestety, programy te bywają niestabilne, niekompletne i problematyczne w użyciu. Oczywiście, ta sytuacja powoli się zmienia i z czasem wymienione programy będą zapewne pełnoprawnymi alternatywami dla komercyjnych produktów, ale nie ma sensu czekanie na tę odległą przyszłość. Rekomendowanym programem, którego użyjemy w tej serii artykułów, będzie Autodesk Fusion 360. Program ten oferuje darmowe licencje dla hobbystów oraz małych firm i start-upów (po weryfikacji danych), a także rozsądnie wycenioną licencję komercyjną. Środowisko zapewnia bogaty zestaw narzędzi do projektowania elementów i urządzeń, przygotowywania plików produkcyjnych, czy nawet testowania i generowania części z użyciem metody elementów skończonych i uczenia maszynowego. Wersja darmowa ma kilka ograniczeń, z których najbardziej przeszkadza limit dziesięciu aktywnych plików. Nieużywane projekty trzeba archiwizować, ale można je przywrócić za pomocą menedżera plików na stronie Autodesk.



Rysunek 1. Główne okno programu Autodesk Fusion 360

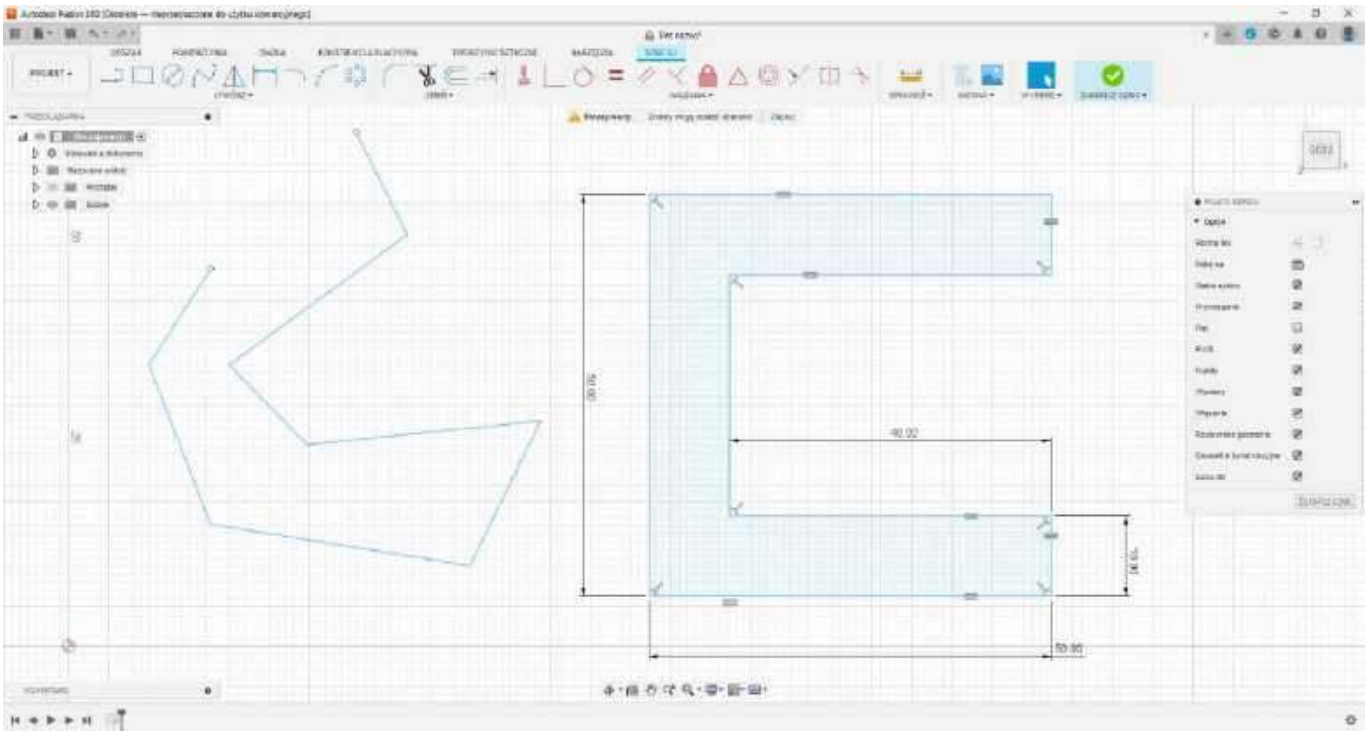




Poprzednie odcinki znajdują się pod adresem:
https://ulubionykiosk.pl/media

Poznajemy Autodesk Fusion 360 i podstawy projektowania parametrycznego

Proces rejestracji i instalacji programu Autodesk Fusion 360 nie będzie omawiany. Zamiast tego położony zostanie nacisk na zapoznanie się z interfejsem użytkownika i zasadami projektowania parametrycznego. **Rysunek 1** pokazuje główne okno programu. Górną część okna zajmuje paleta narzędzi, podzielona na zakładki.



Rysunek 2. Szkic kształtu: przed dodaniem parametrów i wiązań (po lewej) i po ich dodaniu (po prawej)

eprasa.pl 0914c66f57

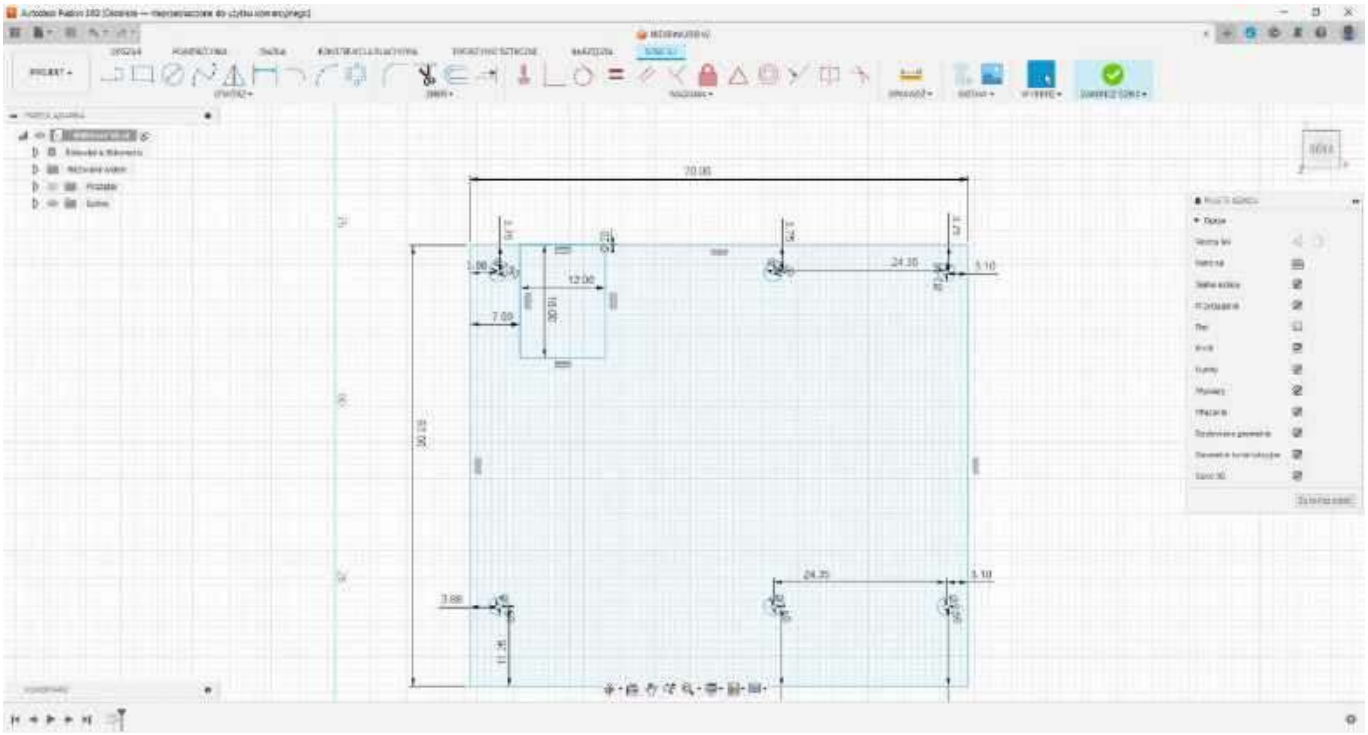
Po lewej stronie można wybrać, jakim aspektem projektu się zajmujemy. Domyślnie wybrana jest paleta projektowania. Poniżej tego menu znajduje się przeglądarka elementów projektu: szkiców, brył i części. Prawy górny róg okna głównego zajmuje kostka, która pozwala manipulować widokiem 3D i wrócić do widoku domyślnego. Na samym dole okna znajduje się zaś „linia czasu" pozwalająca na przeglądanie kolejnych operacji i edytowanie ich. Na zrzucie ekranu widać też ostrzeżenie o osiągnięciu limitu dokumentów. Z pozostałymi elementami interfejsu będziemy się zapoznawać w miarę potrzeb.

Ideą projektowania parametrycznego jest tworzenie szkicu bądź szkiców pożądanego elementu, definiowanie ich wymiarów oraz zależności, a następnie przekształcanie dwuwymiarowych szkiców w trójwymiarowe bryły. Następnie bryły te można modyfikować za pomocą innych szkiców lub modyfikatorów. Co więcej, w każdej chwili można cofnąć się do wcześniejszej operacji lub szkicu i wprowadzić zmiany. Choć idea wydaje się dość prosta, w praktyce proces jest bardziej skomplikowany. Samo tworzenie szkicu wymaga na początku wyboru płaszczyzny, na jakiej ów szkic będzie tworzony. Pierwszy szkic może być tworzony w trzech podstawowych płaszczyznach standardowego dla programów do modelowania układu współrzędnych, ale kolejne szkice mogą być tworzone na powierzchniach trójwymiarowej bryły albo na płaszczyznach konstrukcyjnych lub stycznych do powierzchni bryły. Tworzenie samego rysunku technicznego, opisującego kształt bryły, też jest rozbudowanym procesem. Dla przykładu można, używając linii, narysować zgrubny kształt bryły, a następnie dodać wymiary i wiązania, które ten zgrubny kształt przekształcą w dobrze zdefiniowany profil. Ów obrys można następnie przekształcić w trójwymiarową bryłę. Na **rysunku 2** pokazano zgrubny, niedomknięty profil (po lewej) oraz kopię tego profilu, zamkniętą wiązaniami i mającą zdefiniowane parametry (po prawej).

Gotowy profil można „wyciągnąć" do trójwymiarowej bryły poprzez zaznaczanie całości lub wybranych fragmentów i dodawanie im „grubości" – jest to wyciąganie proste, i z tego narzędzia będziemy korzystać najwięcej. Szkic może zawierać wiele kształtów, niczym tradycyjny rysunek techniczny, a każdy z tych kształtów można przekształcić w trójwymiarową bryłę. Gdy jedna bryła styka się z drugą bryłą lub ją przecina, można wybrać, czy te bryły zostaną scalone, czy później stworzona bryła usunie fragment z pierwszej bryły, czy też rezultatem procesu będzie tylko część wspólna obu brył. Poza wyciąganiem brył można też je obrócić wokół wybranej linii lub osi układu współrzędnych albo przeciągnąć kształt narysowany w jednej płaszczyźnie wzdłuż linii narysowanej w innej, prostopadłej płaszczyźnie. Poza tworzeniem brył ze szkiców można też stworzyć kilka podstawowych kształtów, jak sześciany czy walce.

Kolejnym elementem projektowania parametrycznego są narzędzia modyfikujące bryły, jak zaokrąglanie czy fazowanie krawędzi, przesuwanie płaszczyzn bryły, dzielenie bryły wzdłuż płaszczyzny cięcia czy też zmiana litej bryły na skorupę. Każde z narzędzi modyfikacji ma szereg parametrów, które można precyzyjnie określić, podobnie jak parametry narzędzi tworzących bryły ze szkiców czy wymiary w samych szkicach. Warto też wspomnieć o modyfikatorze pozwalającym na wykonywanie operacji logicznych na bryłach i komponentach. Praktycznym zastosowaniem jest tworzenie złożonego kształtu, z dodanymi kanałami odlewniczymi, a następnie otoczenie go litą bryłą, od której ten kształt zostanie odjęty za pomocą operatora logicznego. W efekcie powstanie lita forma, którą można dalej podzielić na dwie części. W ten sposób po wydrukowaniu uzyskamy formę do odlewania elementu z, na przykład, medycznego silikonu. Jedną z zaawansowanych technik projektowych jest użycie narzędzi do fotogrametrii w celu wygenerowania modelu trójwymiarowego części ciała, a następnie stworzenie dopasowanego do tegoż modelu komplementarnego kształtu, by w końcu kształt ten wydrukować lub użyć do wykonania formy odlewniczej. Końcowym rezultatem tego złożonego procesu (którym być może zajmiemy się w przyszłości) będzie element nośny dla elektroniki noszonej na ciele.

Ostatnią rzeczą, o której warto wspomnieć, jest fakt, że każdy wymiar elementu, profilu, bryły czy modyfikatora może być zdefiniowany za pomocą równania albo może być powiązany z innym parametrem. Dla przykładu: da się zdefiniować średnicę trzpienia w jednym elemencie i przypisać jej wartość do średnicy otworu w innej części. W ten sposób – gdy zmienimy średnicę trzpienia – średnica otworu też ulegnie zmianie. Programy CAD do projektowania parametrycznego oferują możliwość stworzenia tabeli kluczowych wymiarów, które



Rysunek 3. Gotowy szkic płytki urządzenia

eprasa.pl 0914c66f57

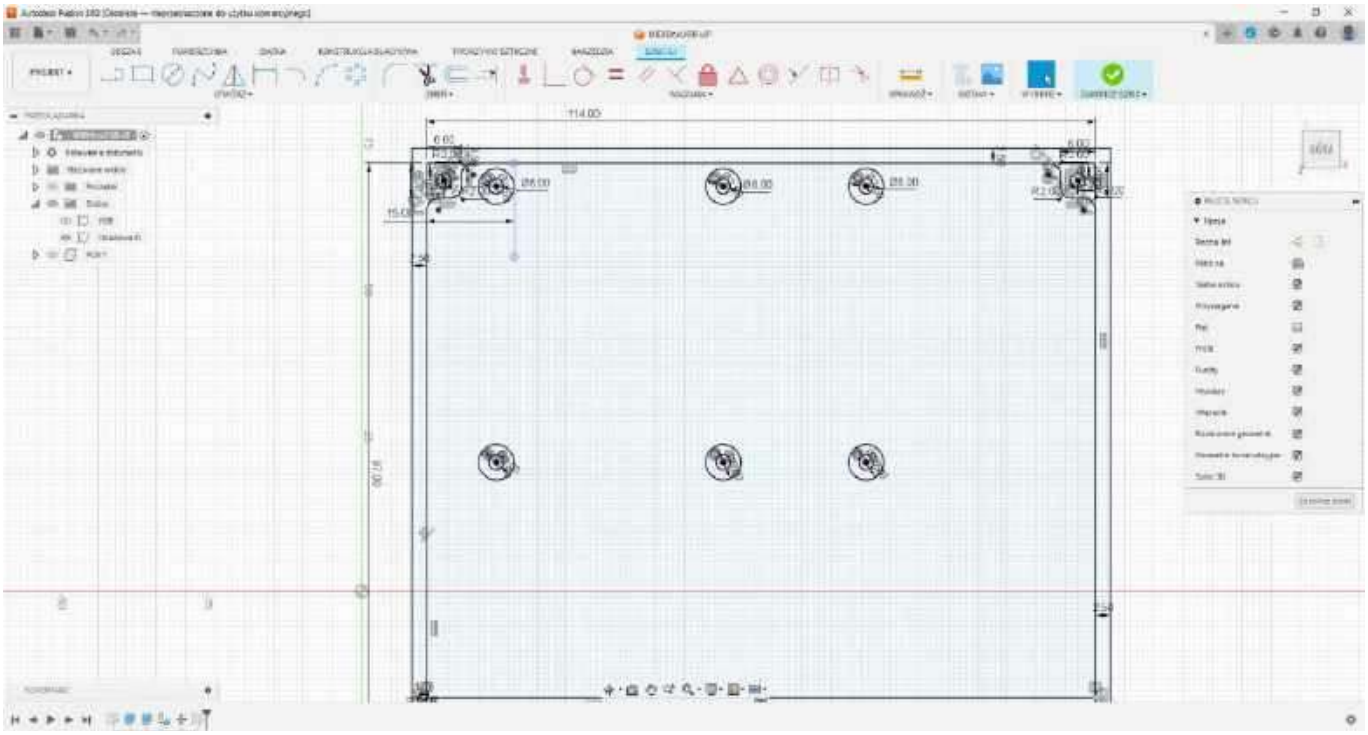
projektant może potem modyfikować wedle potrzeby. Przykładowym zastosowaniem tej funkcjonalności jest tworzenie modeli pojemników o specyficznej konstrukcji, ale o łatwo edytowalnych wymiarach. Ponieważ dozwolone jest też użycie formuł, edycja pojedynczego parametru może mieć wpływ na wiele elementów modelu. Parametr opisujący średnicę otworu montażowego może przykładowo nie tylko zmieniać tę średnicę, ale też średnicę wgłębienia na wkręt lub wypustu, w którym jest on mocowany.

Modelowanie prostej obudowy

Spróbujmy zatem zaprojektować prostą obudowę w programie Autodesk Fusion 360. Obudowa będzie przeznaczona do płytki interfejsu USB-MIDI (stanowiącego część projektu MIDIBox) i wykonana na drukarce 3D, co narzuca pewne ograniczenia. W obudowie muszą się znaleźć otwory pod gniazda USB i DIN oraz trzy diody LED, a także elementy pozwalające umocować płytkę i zamknąć obudowę. Druk 3D narzuca jednak pewne ograniczenia. Po pierwsze, wytrzymałość w osi Z jest z grubsza dwa razy mniejsza niż w osiach X i Y. Ma to szczególne znaczenie w przypadku rozciągania wzdłuż osi Z oraz występowania sił ścinających prostopadłych do tej osi. Drugim ograniczeniem są wszelkie nawisy i mostki – w większości przypadków brak podpór dodanych w slicerze sprawi, że te elementy wyjdą źle. Dla estetów znaczenie ma też fakt, iż tylko powierzchnia przylegająca do blatu będzie relatywnie ładna. Boki będą miały mniej lub bardziej widoczne linie druku, a i góra także może nie wyglądać najlepiej. Niektóre filamenty są podatne na obróbkę mechaniczną, a inne na wygładzanie oparami acetonu. Najpopularniejszy materiał – PLA – jest pod tymi względami problematyczny.

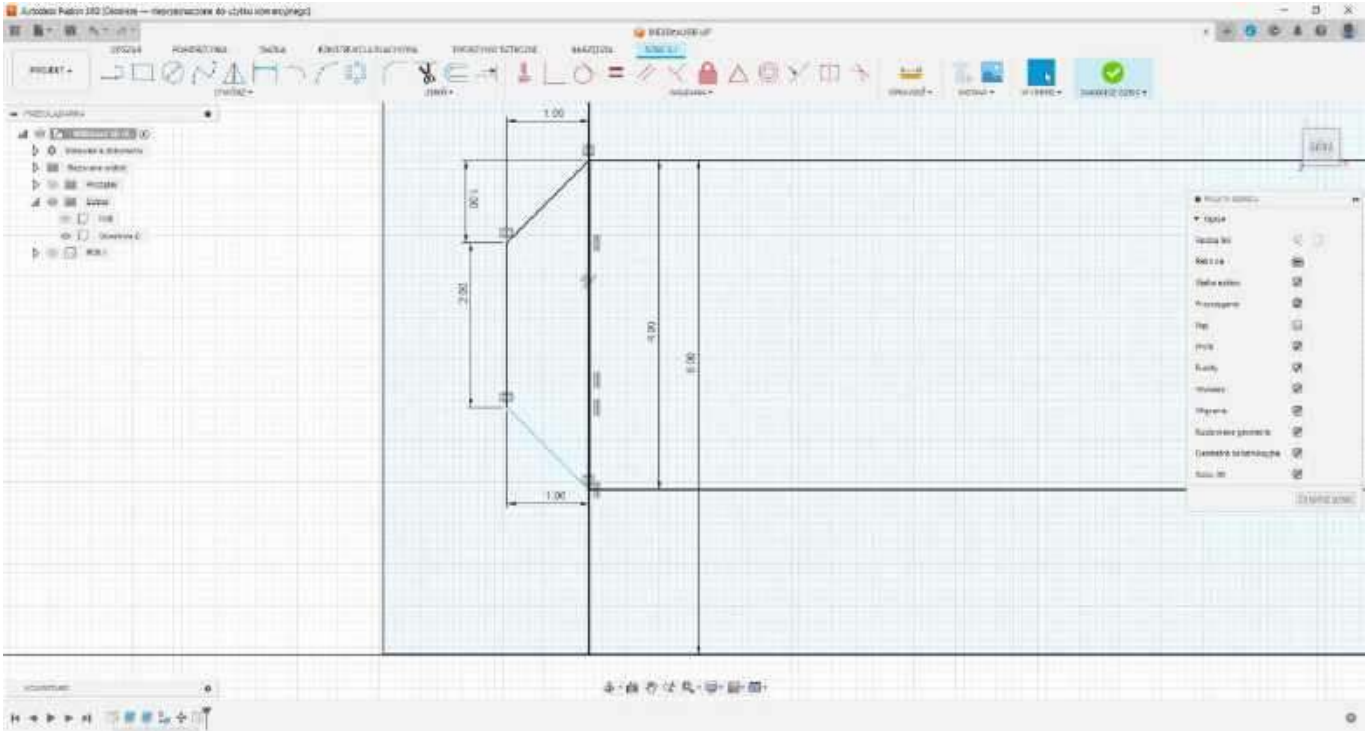
Najlepszym rozwiązaniem byłoby zatem wykonanie każdej ścianki obudowy jako oddzielnego elementu. Jeśli zewnętrzne powierzchnie będą leżeć na blacie drukarki, cała obudowa będzie się dobrze prezentować. Problemem tego rozwiązania jest konieczność opracowania dobrej metody łączenia paneli obudowy w jednolitą całość. Są na to sposoby, jak klipsy, wpusty, klejenie lub montaż na wkręty. Ba, taką obudowę można wręcz „zlutować”, jeśli ktoś ma do tego cierpliwość i zdolności manualne. Drugą opcją jest zaprojektowanie obudowy dwuczęściowej: jedna część łączy podstawę z panelami przednim i tylnym, druga zaś – górę z boczkami. Trzecia możliwość to obudowa, w której przynajmniej jeden panel jest oddzielną częścią, a góra i dół reszty obudowy są rozdzielone na środku. Gotowe obudowy uniwersalne tego typu są bardzo popularne wśród hobbystów. W tym konkretnym wypadku zastosujemy konstrukcję trzyczęściową: panel przedni zostanie wydrukowany oddzielnie (dla większej wytrzymałości), a górna pokrywa będzie wsuwana na miejsce przed skręceniem. Linie warstw zostaną zaś wykorzystane w celach ozdobnych dzięki zastosowaniu jednej z zaawansowanych opcji slicera.

Na początek wykonamy szkic reprezentujący płytkę drukowaną i jej najistotniejszy element – gniazdo USB typ B. Istnieją trzy metody pozwalające przenieść informację o wymiarach ze świata rzeczywistego do programu Fusion 360. Można zastosować wspomnianą fotogrametrię, czyli użycie zestawu fotografii lub skanera 3D, by stworzyć model obiektu. Model taki często wymaga poprawek w programie do modelowania trójwymiarowego. Czasami też trzeba zdefiniować przynajmniej jeden wymiar, by model został poprawnie przeskalowany. Druga metoda to wykonanie pojedynczego zdjęcia, zaimportowanie go do programu, a następnie zdefiniowanie jednego wymiaru na nim, by całość została odpowiednio przeskalowana. Używając zdjęcia jako tła, można stworzyć szkic, a wymiary elementów na nim zostaną zdefiniowane względem tego zdjęcia. Zaletą tej metody jest fakt, że relatywnie łatwo można odtworzyć bardziej skomplikowane, organiczne kształty używając splajnów. Są to krzywe opisane matematycznie, przechodzące przez wybrane punkty, a dźwignie przy tych punktach pozwalają regulować zakrzywienie i kąt danego fragmentu. Użycie zdjęcia wymaga jednak, by sama fotografia była odpowiednio wykonana: płaszczyzna obiektu, na której nam zależy, musi być wyśrodkowana w kadrze i absolutnie prostopadła do osi obiektywu, inaczej pojawią się błędy perspektywy. Dodatkowym problemem, który pojawi się, jeśli fotografowany obiekt ma elementy różnych wysokości, jest fakt, że te elementy będą zasłaniać inne fragmenty, zwłaszcza jeżeli zdjęcie robione jest z bliska obiektywem szerokokątnym. Ponieważ jednak obiektem do odwzorowania jest płytka drukowana z jednym gniazdem, którą można opisać jako kolekcję prostokątów i okręgów (otworów montażowych), zastosujemy metodę najprostszą i po prostu przeniesiemy wymiary do szkicu za pomocą suwmiarki.



Rysunek 4. Szkic dolnej części obudowy

eprasa.pl 0914c66f57



Rysunek 5. Detal szkicu z rysunku 4

Rysunek 3 pokazuje szkic płytki. Szkic jest wykonany na płaszczyźnie X-Y w tej samej orientacji, w jakiej będzie wykonana obudowa. Otwory montażowe na płytce mają średnicę 2,5 mm, co jest istotne, gdyż mierząc odległość krawędzi otworu do krawędzi płytki, trzeba doliczyć połowę średnicy, bo program wyznacza odległość od środka koła, a nie od jego krawędzi. Tak samo mierząc odległość między dwoma otworami, trzeba doliczyć sumę promieni obu okręgów. Czytelnik zauważy, że prostokąt symbolizujący gniazdo USB wystaje nieco poza krawędź płytki – jest to zgodne z rzeczywistością i istotne dla projektu obudowy, by ta nie napierała na gniazdo – naprężenia bowiem mogą uszkodzić zarówno samo złącze, jak i płytkę lub obudowę. Oczywiście z tego szkicu stworzono trójwymiarową bryłę, barwiąc ją na stosowne kolory (klawisz [A]), a potem przekształcono na komponent. Za pomocą narzędzia przesuwania [M] podnieśmy ten komponent o 6 mm.

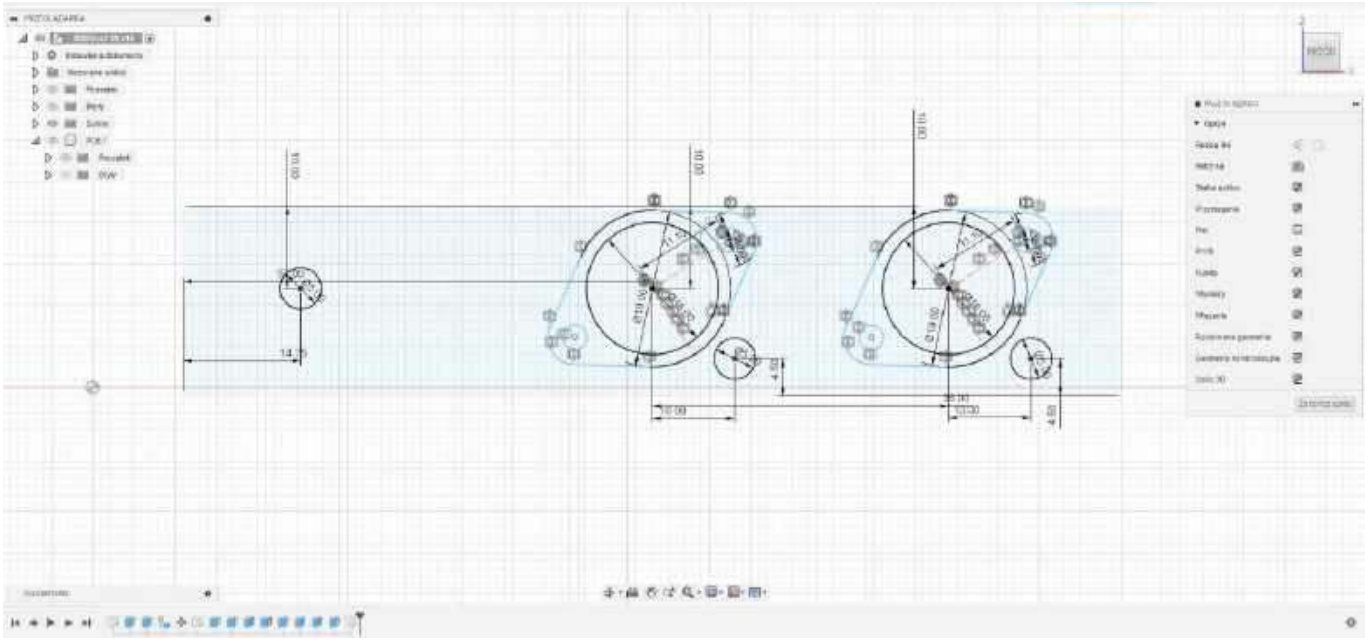
W tym miejscu początkujący użytkownik aplikacji wróciłby do szkicu płytki drukowanej i uzupełniłby go o resztę elementów obudowy. Nie jest to właściwa metoda pracy, gdyż prowadzi do nie tylko niepotrzebnej komplikacji szkicu, ale też utrudnia edytowanie obudowy w przyszłości. Przed rozpoczęciem nowego szkicu należy uczynić poprzedni szkic widocznym, ale ukryć komponent. Nowy szkic powinien być na tej samej płaszczyźnie. Następnie trzeba dodać sześć okręgów, które będą otworami pod wkręty i każdy z nich powiązać z otworem w płytce za pomocą wiązania „współosiowość". Reszta obudowy składa się z prostokąta o wymiarach 114×97 mm. Następnym krokiem jest użycie odsunięcia [O], odznaczenie wyboru łańcuchowego i wybranie trzech krawędzi prostokąta. Odległość to 3 mm na zewnątrz. Dzięki temu obudowa będzie miała wymiary 120×100 mm. Wewnętrzny prostokąt obudowy został odsunięty na 4 mm od otworu w płytce i o 15 mm od boku gniazda, od lewej strony. Zostawi to dość luzu dla złącza. Następnie należy dodać kolejne koła o średnicy 6 mm, współosiowe z kołami 2,5 mm. To będą kołki nośne płytki. By zamknąć ścianki obudowy, należy użyć narzędzia „rozwijaj", które wydłuża każdą linię. W górnych narożnikach dodać można dwa kwadraty 6×6 mm, a w każdym z nich wycentrowany otwór 2,5 mm. Elementy te zostały zaokrąglone, co je nieco wzmacnia, ale też pomaga w procesie drukowana. Ostatnim elementem do wykonania jest front. Najpierw rysujemy prostokąt bez wymiarów. Grubość jest następnie zdefiniowana na 4 mm, a odległość jego górnej krawędzi od dolnej krawędzi obudowy to 6 mm. Z jednej strony prostokąta dodane są trzy linie tworzące trapez. Istotne jest, by kąt boków trapezu względem bocznej krawędzi tego prostokąta wynosił maksymalnie 45° – gdy front będzie drukowany, te krawędzie będą „wisieć" w powietrzu nad blatem. Maksymalny kąt tego nawisu wynosi zazwyczaj właśnie 45° w przypadku wielu starszych modeli drukarek 3D, ale w nowszych maszynach, dobrze skalibrowanych dla danego filamentu, może wynieść nawet 55°. Na środku prostokąta dodana jest linia pionowa, przy czym należy wybrać punkt oznaczony trójkątem środka linii poziomej. Linia ta zmieniana jest na linię konstrukcyjną [X], a następnie należy użyć narzędzia „odbicie", z tą linią w roli osi odbicia, co spowoduje odbicie lustrzane trapezu. Wiązanie współliniowości pozwoli nam umieścić boczną krawędź prostokąta obudowy równo z wewnętrzną ścianką obudowy, dzięki czemu potem trapezy staną się wcięciami w ściankach. Poziomą część prostokąta należy powiązać równością z szerokością wnętrza obudowy. **Rysunek 4** pokazuje gotową obudowę, a **rysunek 5** detal frontu.

Czas na wyciąganie proste. Najpierw całość wyciągamy w dół na 3 mm, potem kołki w górę na 5 mm. Elementy frontu zagłębić trzeba na 1 mm w obudowę, ścianki wyciągnąć na 27 mm, narożniki na 22 mm, wnętrza otworów w narożnikach na 17 mm. Na koniec ukrywamy obudowę i wyciągamy elementy frontu na 1 mm w dół, a potem na 22 mm w górę. Na razie nie będziemy przekształcać powstałych brył na komponenty – będą jeszcze modyfikowane.

Front obudowy powinien mieć otwory pod dwa gniazda DIN i trzy diody LED. W przypadku diod wystarczy dodać otwory 5 mm w wybranych miejscach, gniazda jednak są nieco bardziej skomplikowane. Nie musimy jednak samodzielnie ich mierzyć, bo producent zrobił to już wcześniej – wystarczy znaleźć notę katalogową zawierającą wszystkie niezbędne wymiary. Ba, gniazda DIN mają wymiary standardowe, więc nie trzeba nawet szukać konkretnego modelu danego producenta.

Stwórzmy więc nowy szkic, ale tym razem zamiast płaszczyzny układu współrzędnych użyjemy frontu obudowy. Rysujemy dwa okręgi: 16 mm i 19 mm (powinny być koncentryczne). Od środka rysujemy poziomą linię o długości 11,1 mm i przekształcamy

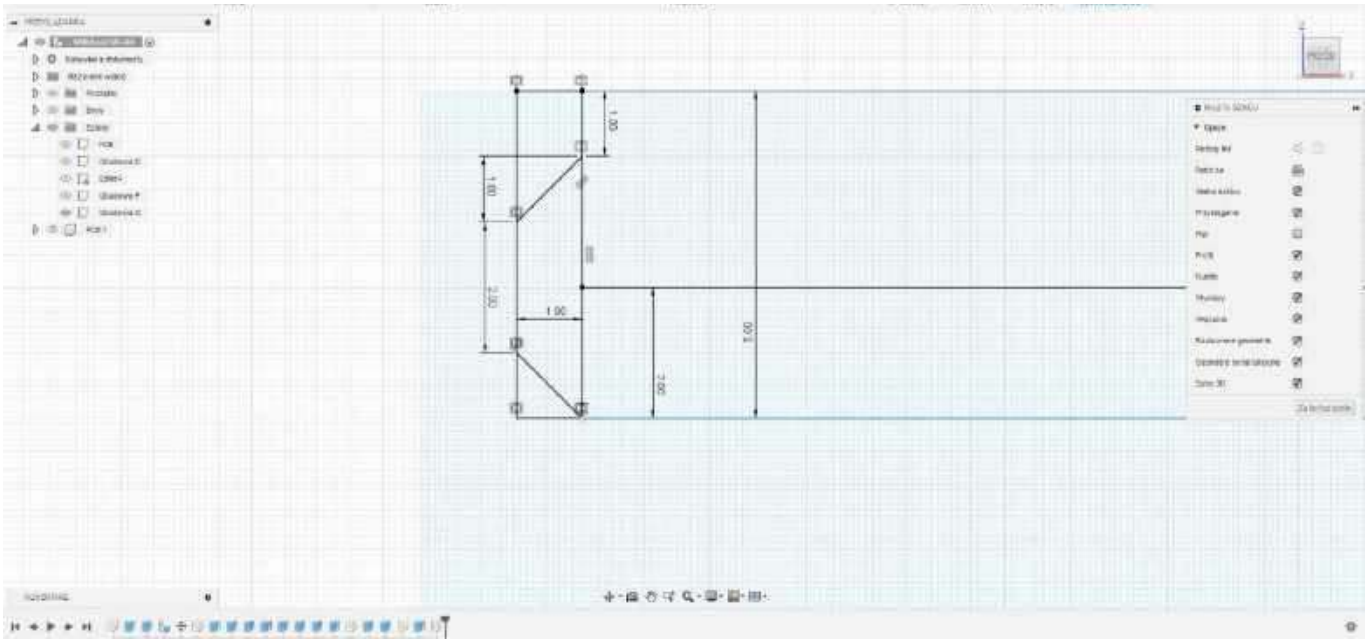
eprasa.pl 0914c66f57



Rysunek 6. Szkic frontu

ją na linię konstrukcyjną. Od razu można dodać drugą linię konstrukcyjną, pionową. Na końcu linii poziomej umieszczamy dwa koncentryczne okręgi: 3 mm i 6,6 mm. Kolejnym krokiem jest narysowanie linii bez konkretnej długości, poniżej naszych okręgów. Wybieramy wiązanie „styczny" i klikamy najpierw na linię, potem na okrąg 6,6 mm. Potem ponownie na linię i na okrąg 19 mm. Końce linii wystające poza okręgi przycinamy [T]. Teraz klikamy narzędzie „odbicie", wybieramy tę linię, a jako oś wskazujemy poziomą linię konstrukcyjną. Powtarzamy operację, tym razem wybierając obie linie i okręgi 3 mm oraz 6,6 mm, a jako oś odbicia wybieramy pionową linię konstrukcyjną. Na koniec przycinamy zbędne fragmenty okręgów 6,6 mm i 19 mm. Jeśli któraś z linii konstrukcyjnych ma wiązanie „poziomo/pionowo", to warto zmienić je na „prostopadły". Ostatni krok to obrócenie naszego gniazdka, by ładniej prezentowało się w obudowie – narzędzie przesuwania i obrotu kryje się pod skrótem klawiszowym [M]. Wybieramy obrót, jako obiekty do obrotu wybieramy wszystkie linie gniazdka, łącznie z konstrukcyjnymi. Jako oś obrotu wybrać należy środkowy okrąg. Przesuwamy chwytem do obrotu w lewo, a następnie wpisujemy dokładną wartość 33,956 – o tyle stopni trzeba obrócić gniazdko, by jego boczna krawędź była równoległa do podstawy obudowy. Kolejny krok to ustawienie gniazdka. Na początek użyjmy definiowania wymiarów [D], by ustawić środek gniazdka w odległości (60–3=57) mm od lewej krawędzi. Odległość od górnej krawędzi powinna wynosić 10 mm. Ponownie wybieramy narzędzie przesuwania i zaznaczamy całe gniazdko, tym razem jednak należy zaznaczyć opcję „utwórz kopię" i przesunąć nowe gniazdko w prawo poza obrys pierwszego gniazdka. Ponownie definiujemy odległość od górnej krawędzi na 10 mm, druga definicja odległości powinna być między gniazdkami i mieć wartość 36 mm.

Czas na dodanie diod LED. Pierwsza będzie po lewej stronie gniazd, w odległości (57/4=14,25 mm) od lewej krawędzi i 10 mm od górnej. Druga i trzecia będą po prawej od każdego z gniazd, w odległości 10 mm od środka gniazd i 4,5 mm od dolnej krawędzi frontu. **Rysunek 6** prezentuje skończony szkic. Czas na pokazanie brył obudowy i wyciąganie proste. Na początek wybieramy otwory



Rysunek 7. Fragment szkicu górnej pokrywki obudowy. Druga strona jest lustrzanym odbiciem tego fragmentu

eprasa.pl 0914c66f57

5 mm, 3 mm i 16 mm, te zagłębiamy na –5 mm, by wyciąć otwory. Zagłębmy też kontury gniazd na –1 mm. Przy okazji zróbmy też otwór na wtyczkę USB. W tym celu włączamy widoczność komponentu, ale ukrywamy bryły. Obracamy widok tak, by ukazać tył płytki, a następnie tworzymy nowy szkic na powierzchni tylnej gniazdka. Natychmiast wybieramy całą powierzchnię, a potem wyciągnięcie proste skrótem [E]. Wpisujemy odległość 10 mm i włączamy widoczność brył. Po potwierdzeniu powstanie otwór na wtyk.

Ostatni element do wykonania to górna część obudowy. Zaczniemy od nowego szkicu, tym razem wybierzemy frontową powierzchnię głównej części obudowy. Na początek tworzymy prostokąt o wysokości 5 mm, którego górne narożniki wiążemy z wewnętrznymi narożnikami ścianek obudowy za pomocą „zgodności". Dodajemy odsunięcie 2 mm od dolnej krawędzi w górę. Dodajmy też od razu linię konstrukcyjną na środku prostokąta, by móc lewą i prawą stronę odbić później z użyciem lustra szkicu. Z jednej strony tworzymy znany już kształt trapezu, zaczynając od dolnego narożnika prostokąta. Pionowa linia trapezu powinna być równoległa do boku prostokąta. Po jego skończeniu linię wydłużamy do górnej krawędzi ścianki, wydłużamy też górną linię prostokąta. Czynność powtarzamy także w dolnej części trapezu. Całość odbijamy, używając linii konstrukcyjnej jako osi. Fragment szkicu na tym etapie pokazuje **rysunek 7**.

Czas na wyciąganie. Zaczniemy od zrobienia wcięć w obudowie, więc ta musi być widoczna. Trapezy wcinamy na 97 mm, bo taka będzie długość pokrywy. Następnie wcinamy części zmieniające trapezy w prostokąty, na 6 mm. Jest to konieczne, by można było wsunąć front w kanał, a potem ten kanał ukryć. Ukrywamy teraz dół i front obudowy oraz wyciągamy front z trapezami na 97 mm. Uzupełniamy prostokątne części na 6 mm, a potem dolny pasek prostokąta wcinamy na 2 mm. Teraz „dziwne" wymiary frontu nabiorą sensu. Ukrywamy bieżący szkic i wyświetlamy szkic głównej części obudowy – trzeba dodać otwory pod wkręty. Zostały jeszcze tylko drobne dodatki estetyczne.

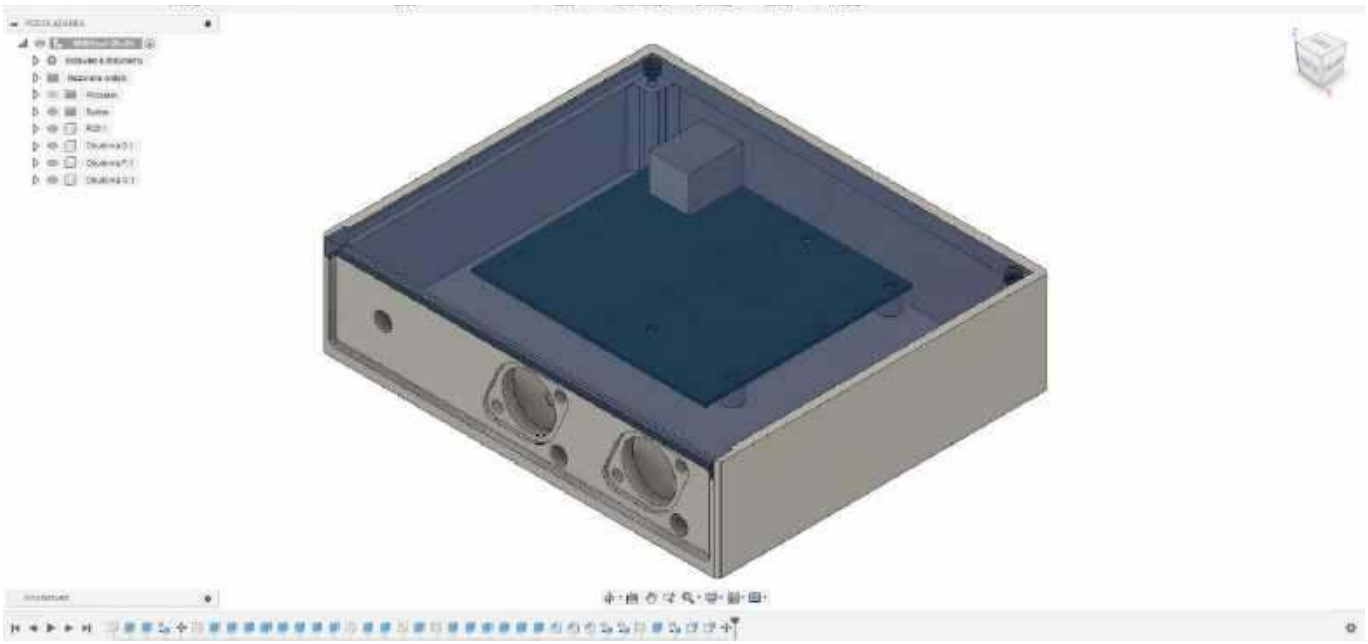
Użyjemy modyfikatora „faza", by ściąć pionowe krawędzie obudowy na 1 mm, a także wewnętrzne rogi wgłębienia we froncie. Dodajmy jeszcze jeden, już ostatni szkic, na górnej powierzchni obudowy. Na tym szkicu znajdą się dwa okręgi 4 mm, koncentrycznie, z otworami. Wgłębiamy te okręgi na 2 mm w obudowę, by w nich ukryły się wkręty. Gotowa obudowa wraz z płytką drukowaną pokazana jest na rysunku 8, pokrywkę ukazano jako częściowo przezroczystą. Ostatni krok to zapisanie komponentów jako siatek STL dla slicera.

W tym miejscu pragnę przyznać się Czytelnikowi do popełnienia dwóch błędów: otwory pod wkręty powinny mieć średnicę 2 mm, a nie 2,5 mm, jak podałem w opisie tworzenia dołu obudowy. Podobnie otwory montażowe dla gniazd DIN mają wpisaną średnicę 3 mm, podczas gdy powinno być 2,5 mm. Ale tu właśnie objawia się potęga współczesnego programu CAD. Wystarczy bowiem otworzyć szkic do edycji i zmienić średnice okręgów. Dla szkicu dołu obudowy wszystkie okręgi 2,5 mm trzeba zamienić na 2 mm, po prostu klikając na wartość oraz ją wyedytować. W szkicu frontu obudowy, przy każdym gnieździe DIN, edytujemy tylko jeden okrąg 3 mm na 2,5 mm. Drugi jest bowiem lustrzanym jego odbiciem i jego wymiar także zostanie zmieniony. Po zamknięciu szkicu komponenty zostaną automatycznie zaktualizowane, użytkownik nie musi nic więcej robić, poza ponownym zapisaniem komponentów jako siatek STL.

Wydruk i montaż

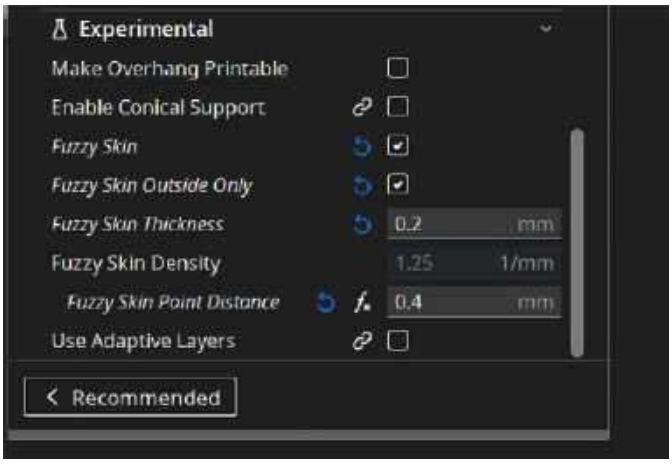
Obudowa będzie wykonana z czarnego PLA. Jako slicera użyjemy Ultimaker Cura. Grubość warstw 0,2 mm, wypełnienie 25%, grubość ścianek 1,8 mm. Ważna uwaga: panel frontowy należy obrócić „frontem" do dołu, górną część zaś trzeba będzie obrócić o 180 stopni. Dla dolnej obudowy wybieramy podpory typu „Tree support" z opcją „Touch bulid plate only". Wybieramy też w sekcji „Experimental" opcję „Fuzzy skin", z parametrami jak na **rysunku 9**. Front i góra powinny być drukowane bez tej opcji i z normalnymi podporami. Co więcej, front może mieć wypełnienie 100%, podczas gdy w przypadku reszty wystarczy 25%.

Czytelnikowi należy się wyjaśnienie, co robi opcja „Fuzzy skin". Mówiąc w uproszczeniu: slicer, planując ruch ekstrudera przy układaniu zewnętrznych warstw ścianek, dodaje do normalnego ruchu także niewielkie przesunięcie prostopadłe do kierunku układania filamentu. Ruch ten jest losowy, a parametry na rysunku 9 pozwalają zdefiniować maksymalne jego limity. W efekcie ścianki wydruku nie będą gładkie, lecz będą zawierać szereg trójkątnych wypukłości i wklęsłości, które tworzą teksturowane ścianki, co też ukrywa linie warstw. Użycie tej opcji spowalnia wydruk, ale efekt końcowy jest wart tych dodatkowych kilku minut. Sugerowane wartości dają dobre efekty, ale Czytelnik powinien poeksperymentować z ich wartościami, drukując proste kształty, np. kostkę kalibracyjną.



Rysunek 8. Tak powinna wyglądać gotowa obudowa przed ostatecznymi poprawkami

eprasa.pl 0914c66f57



Rysunek 9. Ustawienia parametrów „Fuzzy skin" w Ultimaker Cura

Po wydrukowaniu elementy obudowy zostały obrobione. Podpory usunięto za pomocą grubej igły do szycia skór i ciężkich tkanin oraz za pomocą nożyka z ostrzem jednorazowym. Naddatki zostały oderwane ręcznie, a krawędzie obrobione pilnikiem. Złożone elementy obudowy można zobaczyć na **fotografii 1**. Warto zwrócić uwagę na teksturę obudowy. Blat ma delikatne teksturowanie, które oddane jest na górnej i przedniej ściance (oraz na spodzie). Boki natomiast mają własną teksturę uzyskaną dzięki funkcji „Fuzzy skin". Natychmiast rzucą się w oczy dwa drobne problemy. Po pierwsze, wieczko mimo obróbki odstaje – boczne ścianki nie są dość sztywne, by krawędzie wieczka były wystarczająco dobrze ściśnięte. Po drugie, wąskie paski materiału nad gniazdami nie zostały wcale wydrukowane. Te detale były zbyt drobne dla slicera w przypadku druku z szerokością filamentu 0,6 mm i grubością ścianki 1,8 mm. Trzecim, nieoczywistym problemem, jest wysokość obudowy. Wewnątrz jest za mało miejsca na złącza do listw kołkowych goldpin. Co zatem można zrobić? Oczywistą odpowiedzią jest edytowanie projektu – już to raz robiliśmy. Do szkicu dolnej części obudowy dodamy dwa okręgi i kwadraty, tylko tym razem w odległości 1 mm od miejsca, gdzie znajduje się tylna strona frontu. Po zapisaniu zmian na osi czasu trzeba odnaleźć operację, która posłużyła do wyciągania ścianek obudowy i ją edytować. Zmienia się tylko wysokość wyciągnięcia, z 27 mm na 32 mm. Następnie edytujemy wyciągnięcia elementów, które posłużą do skręcenia obudowy



Fotografia 1. Prototypowa obudowa

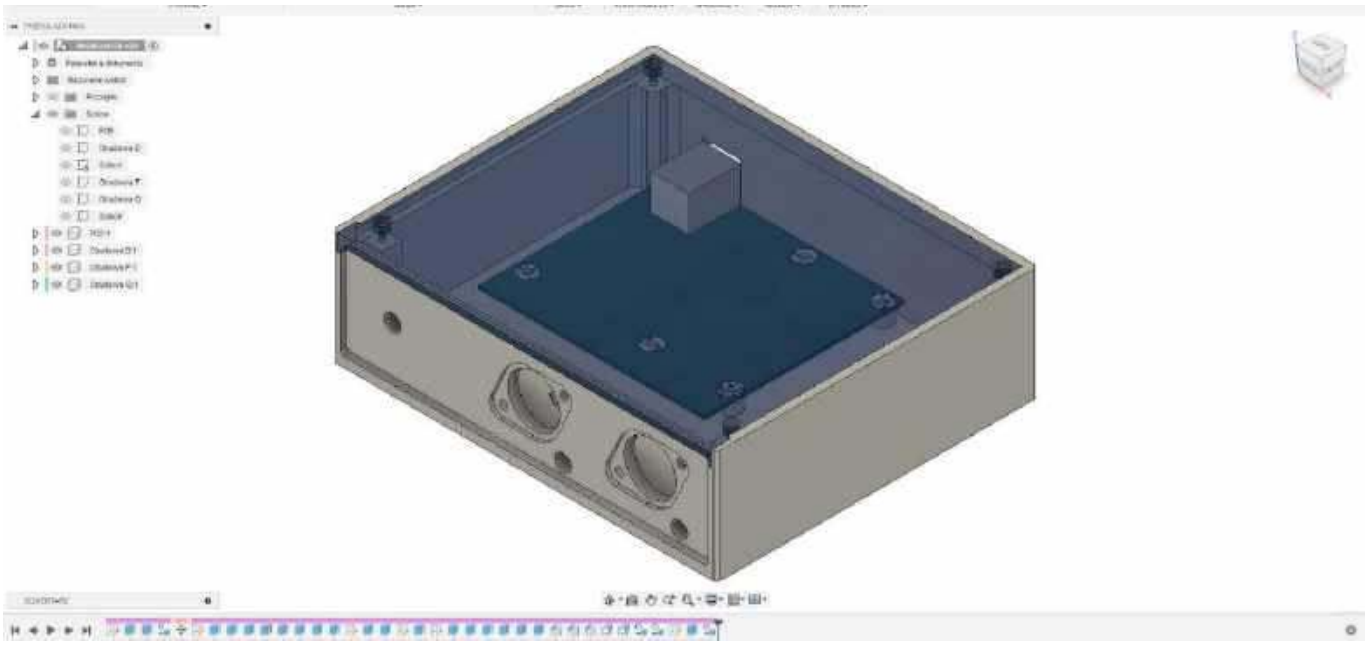
– do zaznaczeń dodajemy dwa nowe elementy, a wysokość podnosimy z 17 i 22 mm na – odpowiednio – 22 i 27 mm. O tyle samo podnosimy wysokość wyciągnięcia frontu. Na koniec musimy dodać nowe otwory do górnej części obudowy, najpierw edytując stosowne wyciągnięcie, a potem szkic i wyciągnięcie, które dodało wgłębienie. Na koniec edytujemy szkic panelu przedniego, by przesunąć otwór diody zasilania i oba gniazdka o 12,5 mm w dół (zamiast o 10 mm). **Rysunek 10** pokazuje wygląd uaktualnionego projektu, a fotografia tytułowa prezentuje gotowe urządzenie.

Zakończenie

Jak widać, druk 3D znacznie upraszcza proces prototypowania i testowania rozwiązań. Osoba projektująca obudowy do produkcji metodą wtryskową musi być dużo bardziej ostrożna i pewna swego projektu, gdyż każdy błąd może kosztować tyle, co nowa forma wtryskowa, czyli przynajmniej 20...40 tysięcy złotych w przypadku form stalowych. Koszty powyższych błędów zamknęły się natomiast w kilku godzinach pracy drukarki i kilkudziesięciu gramach tworzywa sztucznego. Ale nie tylko w prototypowaniu druk 3D może wspierać hobbystę lub małą firmę – sprawdzi się też przy produkcji małoseryjnej czy do produkcji na żądanie, czyli gdy klient zechce nabyć jakiś produkt wymagający nietypowej obudowy.

W następnej części przyjrzymy się nieco bardziej zaawansowanym technikom, jak używanie wtapianych wkładek gwintowanych, ukrytych nakrętek czy właściwe projektowanie paneli z przyciskami i ekranami LCD.

Paweł Kowalczyk, EP



Rysunek 10. Obudowa z rysunku 8 po wprowadzeniu poprawek

eprasa.pl 0914c66f57

Amatorskie pomiary wzmacniaczy audio (5)

Nasz pięcioodcinkowy cykl, poświęcony pomiarom parametrów wzmacniaczy audio w warunkach domowych, dobiega właśnie końca. W tej części zajmiemy się kolejnymi, niezwykle ważnymi zagadnieniami, jakimi są pomiary pasma przenoszenia i zniekształceń fazowych. Na sam koniec pozostawiliśmy także krótki słowniczek pojęć, które wielokrotnie przewijały się już na łamach tej serii.



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

Pomiar pasma przenoszenia

Do podstawowego pomiaru pasma przenoszenia wzmacniacza będziemy potrzebowali przestrajanego generatora częstotliwości – w zakresie od 10 Hz do przynajmniej 200 kHz – i oscyloskopu. Wyjście wzmacniacza łączymy ze sztucznym obciążeniem, a na wejście podajemy sygnał z generatora – tak, by na wyjściu była wydzielana moc równa na przykład 1 W. Jeżeli chcemy zrobić to dokładnie, to zmieniamy częstotliwość generatora w zakresie od 10 Hz do 100 Hz – co 10 Hz, w zakresie od 100 Hz do 1 kHz – co 100 Hz i w zakresie od 1 kHz do 20kHz – co 1 kHz. Można oczywiście wykonywać więcej pomiarów. Po osiągnięciu 20 kHz mierzymy nadal, z krokiem co kilka kHz. W celu uzyskania dokładnego pomiaru być może trzeba będzie kontrolować napięcie wyjściowe z generatora przy zmianie częstotliwości. Szczególnie w starych analogowych generatorach konieczna może okazać się korekta amplitudy sygnału wyjściowego wraz ze zmianą częstotliwości. W moim leciwym generatorze takie wahania są niezbyt duże – ale jeżeli chcę rzetelnie zmierzyć pasmo, kontroluję napięcie wejściowe oraz wyjściowe za pomocą dwukanałowego oscyloskopu i ewentualnie koryguję sygnał z generatora.

Pasmo przenoszenia wzmacniacza jest graficznie prezentowane na wykresie. Na osi X widzimy częstotliwość w skali logarytmicznej, a na osi Y – wzmocnienie w skali liniowej.

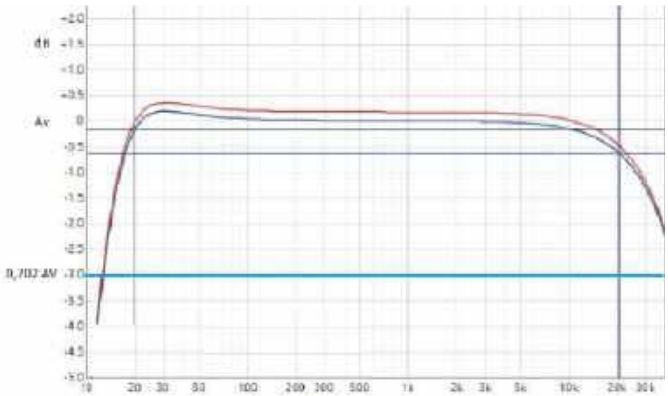
Pasmo przenoszenia dobrych wzmacniaczy powinno mieć płaską charakterystykę w zakresie od 20 Hz do 20 kHz. Wyższej klasy wzmacniacz ma dużo szersze pasmo, sięgające przynajmniej do 100 kHz. Dobrze – ale jak określić, kiedy pasmo przenoszenia zaczyna się „od dołu” (czyli w obszarze niskich częstotliwości), a kiedy się kończy (dla wysokich częstotliwości)? Określa się to na wykresie, gdy wzmocnienie spada z 0 dB do –3 dB. Oznacza to, że wzmocnienie na krańcach pasma osiąga 0,707 maksymalnej wartości wzmocnienia.

Na **rysunku 47** pokazano przykładową charakterystykę częstotliwościową wzmacniacza NAD3020. Pasmo przenoszenia rozciąga się od ok. 15 Hz do ok. 40 kHz, czyli niezbyt szeroko. Być może jest to pasmo całego toru łącznie z przedwzmacniaczem, a nie samej tylko końcówki mocy.

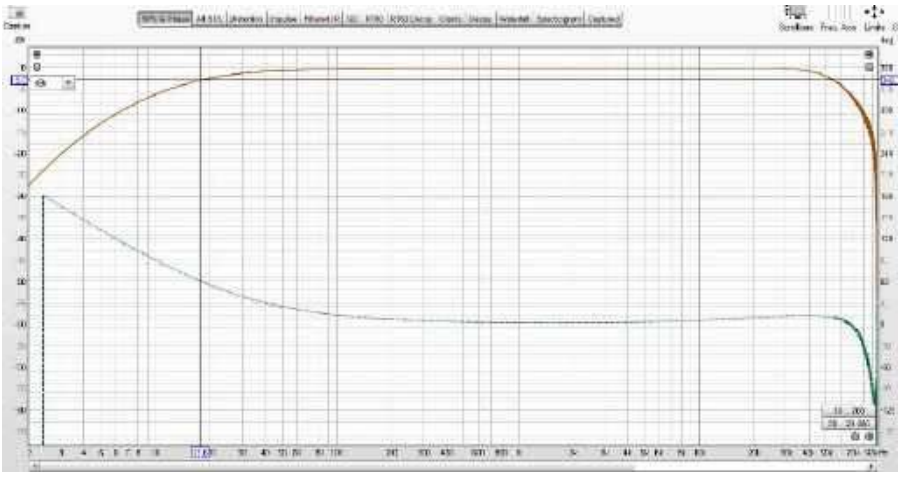
Wyznaczanie charakterystyki, takiej jak na rysunku 47, metodą punktową okazuje się pracochłonne. W praktyce tą metodą szuka się punktów spadku o 3 dB dla niskich i dla wysokich częstotliwości – optymistycznie zakładając, że pomiędzy nimi charakterystyka będzie płaska. Do dokładnego wyznaczania charakterystyki częstotliwościowej stosuje się metody programowe z przemiataniem częstotliwości. Odchyłki od idealnej charakterystyki częstotliwościowej nazywane są też zniekształceniami liniowymi wzmacniacza.

W naszym układzie pomiarowym możemy zmierzyć pasmo przenoszenia wzmacniacza, a także zniekształcenia fazowe. Program REW ma narzędzia, które mierzą pasmo przenoszenia układu głośnik-mikrofon, ale tak naprawdę mierzony jest sygnał elektryczny reprezentujący przebieg z mikrofonu. Możemy zatem wysterować nasz wzmacniacz sygnałem pomiarowym o częstotliwości przemiatanej w zakresie odpowiadającym częstotliwości próbkowania – i interpretować sygnał z wyjścia wzmacniacza, jakby to był sygnał z mikrofonu.

Taką metodą teoretycznie będziemy w stanie zmierzyć (przy próbkowaniu z częstotliwością 192 kHz) pasmo do 96 kHz – i w przypadku dobrych wzmacniaczy jest to najprawdopodobniej zbyt mało. Jednak przy obecnych pomiarach bardziej interesuje nas jakość charakterystyki w paśmie akustycznym 20 Hz….20 kHz. Maksymalne pasmo przenoszenia wzmacniacza wyznaczymy za pomocą generatora i oscyloskopu. Jedna z metod pomiaru pasma wzmacniacza prowadzi trochę „naokoło”. Na rysunku 17 została pokazana charakterystyka amplitudowo-fazowa zapętlonej karty, zmierzona w procesie kalibracji. Nic nie stoi na przeszkodzie, żeby w układzie pomiarowym włączyć nasz wzmacniacz tak jak przy pomiarze zniekształceń i w tej konfiguracji wykonać procedurę kalibracji karty. W wyniku



Rysunek 47. Przykładowy wykres charakterystyki przenoszenia wzmacniacza mocy NAD3020 (dwa kanały)



Rysunek 48. Charakterystyka amplitudowa i fazowa mierzonego wzmacniacza

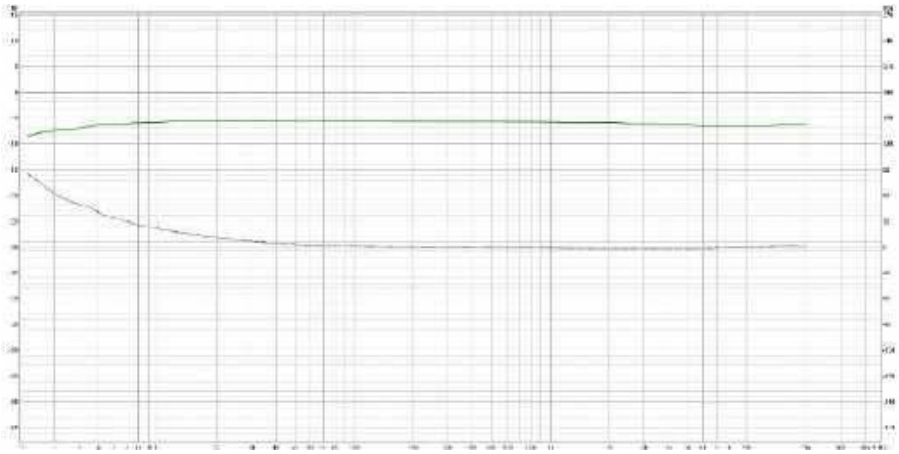
eprasa.pl 0914c66f57

tej operacji REW zmierzy potrzebną charakterystykę układu: wyjście karty – wejście wzmacniacza – wyjście wzmacniacza – wejście karty. Oczywiście trzeba ustawić odpowiednie poziomy sygnału w procedurze kalibracji, a jej wynik nie powinien być używany do pomiarów zniekształceń. Na **rysunku 48** pokazano pomiar pasma przenoszenia oraz charakterystykę fazową naszego wzmacniacza. Pomiar był wykonywany w paśmie 0….96 kHz (próbkowanie 192 kHz).

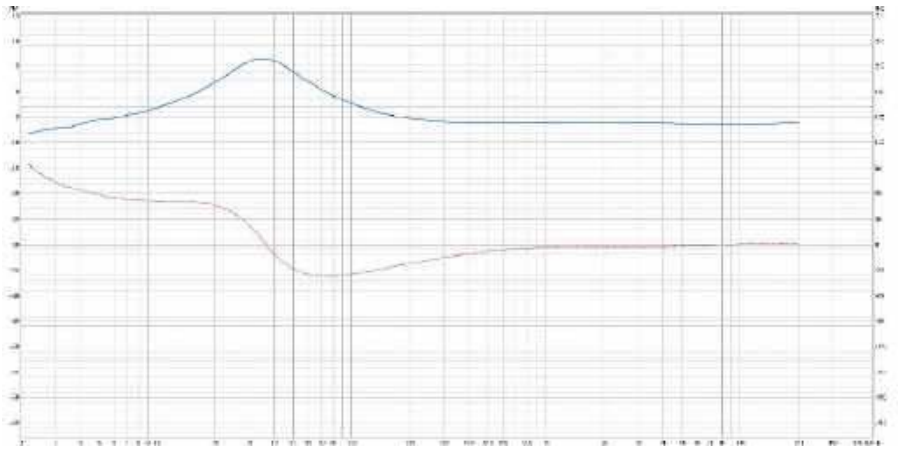
Widać tu, że pasmo od dołu zaczyna się od ok. 18 Hz ze spadkiem 3 dB. Na wejściu wzmacniacza znajduje się kondensator sprzęgający 1 µF i to on powoduje spadek pasma poniżej 18 Hz. Potem krzywa charakterystyki jest bardzo płaska aż do ok. 55 kHz – także ze spadkiem 3 dB. Ograniczenie pasma od dołu sprawdziłem za pomocą generatora oraz oscyloskopu – i wszystko się zgadzało. Natomiast pasmo od góry było znacznie szersze, gdyż sięgało ponad 200 kHz. Ograniczenie do 55 kHz na rysunku 48 wynika z limitów metody pomiarowej. Jak wspomniałem jednak wcześniej, nas interesuje tutaj pasmo akustyczne i w tym paśmie charakterystyka jest płaska, tak jak powinna być.

Istnieje też druga metoda. Podstawowy pomiar realizowany przez REW to pomiar ciśnienia akustycznego SPL (Sound Pressure Level) w funkcji częstotliwości, wykonywany po naciśnięciu przycisku Measure w głównym oknie programu. Wynik pomiaru okazuje się identyczny, jak przy kalibracji karty, ale procedura pomiaru wymaga przeprowadzenia wcześniejszej kalibracji mikrofonu. Wyniki badań, przeprowadzonych obiema metodami, pozostają identyczne. Pomiaru charakterystyki częstotliwościowej i fazowej można dokonać w innych punktach toru. Ciekawe doświadczenie stanowią pomiary charakterystyk regulatorów barwy. Takie regulatory mają niezbyt dobrą opinię w środowisku audiofilskim, moim zdaniem zupełnie niezasłużoną. Odpowiednio wykonany (i zastosowany) regulator może pomóc w dostosowaniu barwy słuchanego materiału muzycznego. Zazwyczaj używana jest korekcja w krańcach pasma, dla niskich i wysokich tonów. Dobry regulator powinien wpływać tylko na częstotliwości niskie oraz wysokie, nie ingerując przy tym w pasmo środkowe. Poza tym – w neutralnym położeniu regulatorów – pasmo powinno być płaskie. Cennym dodatkiem okazuje się możliwość całkowitego ominięcia regulatorów (funkcja direct). Mamy wtedy wybór i możemy na przykład przy cichym słuchaniu włączać regulator, a przy głośniejszym – wyłączać. Ja używam bardzo dobrego (w mojej opinii) regulatora dostrajającego tony niskie w zakresie ±12 dB, a tony wysokie w zakresie ±7 dB. Na **rysunku 49** pokazana została zmierzona charakterystyka amplitudowa i fazowa regulatora z potencjometrami w położeniu środkowym.

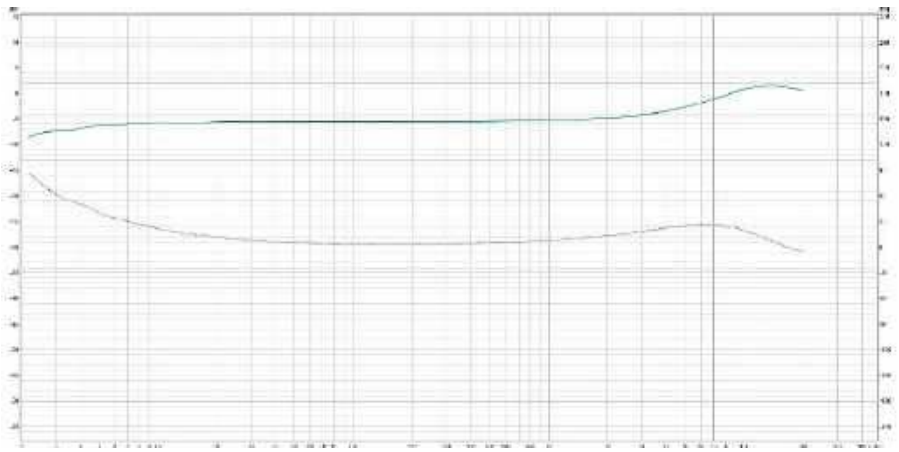
Jak widać, przebieg jest płaski od 10 Hz do 20 kHz. Przesunięcie fazowe w pasmie akustycznym 20 Hz…20 kHz okazuje się niemal zerowe. W praktyce nie ma zatem konieczności używania funkcji obejścia regulatora (chociaż jest wbudowana).



Rysunek 49. Charakterystyka regulatora barwy w położeniu neutralnym



Rysunek 50. Charakterystyka regulatora barwy przy maksymalnym podbiciu basów



Rysunek 51. Charakterystyka regulatora barwy przy maksymalnym podbiciu sopranów

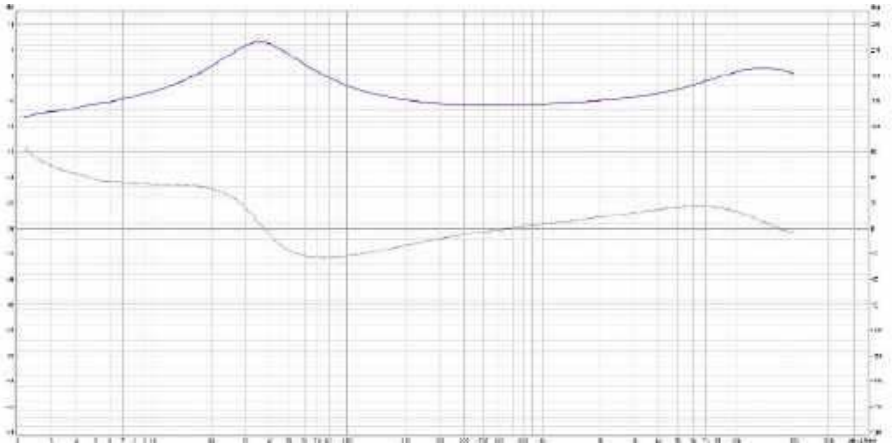
Na kolejnym **rysunku 50** widnieje zmierzona charakterystyka przy maksymalnym podbiciu basów. Szczyt podbicia +12 dB (poziom odniesienia –6 dB) występuje przy częstotliwości ok. 35 Hz i spada prawie symetrycznie przy malejących i rosnących częstotliwościach. Korekcja zanika całkowicie przy ok. 250 Hz i nie ma zupełnie wpływu na częstotliwości powyżej tej wartości. Również przesunięcie fazowe nie jest duże.

Zobaczymy teraz, jak wygląda charakterystyka przy maksymalnym podbiciu sopranów – **rysunek 51**. Niewielki wpływ korekcji zaczyna się od 5 kHz, a maksimum (+7 dB) osiąga przy ok. 15 kHz. Przesunięcie fazowe nie przekracza 30°.

I ostatnia charakterystyka, wykreślona dla maksymalnego podbicia basów i sopranów – **rysunek 52**. Pasmo od 200 Hz do prawie 5 kHz jest praktycznie płaskie, z minimalnym przesunięciem

eprasa.pl 0914c66f57

fazowym. To wyjątkowo pożądana właściwość tego regulatora, skutkująca bardzo małymi zniekształceniami odtwarzanej muzyki. Ja używam go z podbiciem basów ok. +5…7 dB i sopranów ok. +2…3 dB.



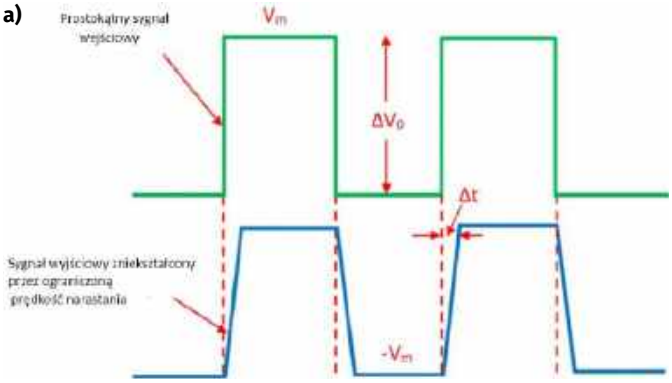
Rysunek 52. Charakterystyka regulatora barwy przy jednoczesnym, maksymalnym podbiciu basów i sopranów

Czas narastania (slew rate)

Wydaje się, że pomiar czasu narastania jest dość prosty. Na wejście wzmacniacza podajemy sygnał prostokątny o amplitudzie na przykład 1 V z generatora sygnałowego. Jeden kanał oscyloskopu podłączamy do wyjścia generatora, a drugi – do wyjścia obciążonego wzmacniacza. Za pomocą oscyloskopu o odpowiednio szerokim paśmie, na przykład 100 MHz, możemy zmierzyć, jaki jest czas narastania sygnału wyjściowego od 10% do 90% jego amplitudy. Jednak żeby zrobić to prawidłowo, musimy mieć pewność, że sygnał wejściowy ma odpowiednio krótki czas narastania (powinny to być pojedyncze nanosekundy). Jeżeli chcemy mierzyć ten parametr, musimy dysponować odpowiednim generatorem. W nocie katalogowej układu LM1876 podano wartość czasu narastania równą 18 V/µs, zmierzoną wejściowym sygnałem prostokątnym o amplitudzie 1,414 V i czasie narastania 2 ns. Sygnał jest podawany bezpośrednio na wejście wzmacniacza – bez kondensatora sprzęgającego. Kondensator wraz z impedancją wejściową tworzą filtr dolnoprzepustowy mogący zniekształcić sygnał wejściowy i tym samym cały pomiar. Na **rysunku 53** pokazano, jak zmienia się sygnał wyjściowy z powodu ograniczonej prędkości narastania sygnału.

Im wyższa wartość slew rate, tym lepiej, ale zbyt szybkie zbocza mogą powodować problemy ze stabilnością wzmacniacza.

a)



b)

$$Slew\,Rate(S) = \frac{dV_0}{dt} = \frac{V_{0(90\%)} - V_{0(10\%)}}{t_{(90\%)} - t_{(10\%)}}$$

Rysunek 53. Zniekształcenia sygnału z ograniczoną prędkością narastania sygnału (slew rate) (a – ilustracja powstawania zjawiska, b – wzór pozwalający na obliczenie wartości SR)

Testowanie wzmacniacza sygnałem prostokątnym

Jedną z metod zgrubnego testowania wzmacniacza jest podanie na jego wejście sygnału prostokątnego. Idealny sygnał prostokątny miałby nieskończoną liczbę częstotliwości harmonicznych, ale... taki perfekcyjny przebieg nie istnieje, bo nie można fizycznie zrealizować idealnego zbocza, czyli zmiany napięcia od zera do określonej wartości w czasie równym zero. Dlatego rzeczywisty sygnał prostokątny narasta w określonym czasie i z tego powodu ma ograniczone pasmo, które i tak jest całkiem szerokie. Na **rysunku 54** pokazany został przebieg prostokątny z mojego generatora, z analizą FFT wykonaną w oscyloskopie. Taka realizacja FFT jest wprawdzie mało dokładna, ale tu oddaje jako tako rozkład harmonicznych.

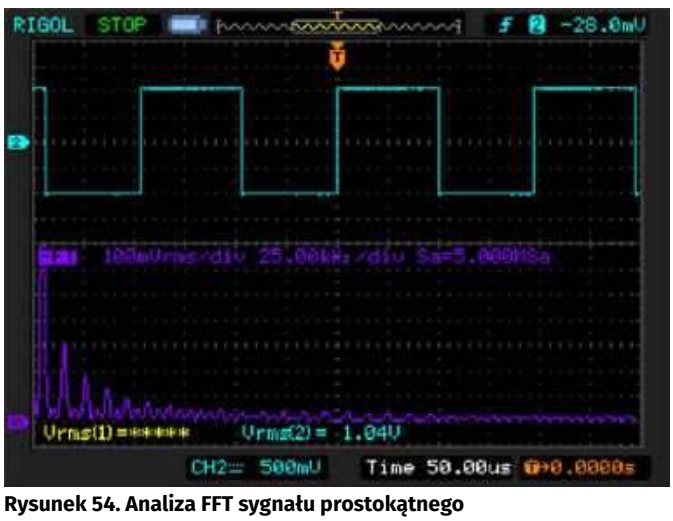
Nasz wzmacniacz ma szerokie pasmo i powinien przenosić sygnał prostokątny o częstotliwości 1 kHz bez widocznych zniekształceń. Zrobiłem trzy testy: przy częstotliwości 1 kHz, 10 kHz i 50 kHz. Tylko w ostatnim przypadku można było zauważyć drobne zniekształcenia sygnału wyjściowego – **rysunki 55** i **56**.

Jak wiemy, dobry wzmacniacz ma pasmo dużo szersze niż pasmo akustyczne. Podanie na wejście sygnału prostokątnego o częstotliwości 1 kHz nie powinno powodować widocznych zniekształceń sygnału spowodowanych obcięciem znaczących harmonicznych. Przy szerokim paśmie wzmacniacza nawet sygnał o częstotliwości 50 kHz nie ulegnie mocnemu zniekształceniu.

Widać, że górne pasmo jest bardzo szerokie. Teraz sprawdzimy, jak dzieje się w przypadku niskich częstotliwości. Wiemy z pomiarów spektralnych, że nasz wzmacniacz wprowadza ograniczenie przenoszenia składowych widma od dołu: do 18 Hz, ze spadkiem –3 dB. Na **rysunku 57** zauważamy, że wpływ tego spadku jest dość widoczny.

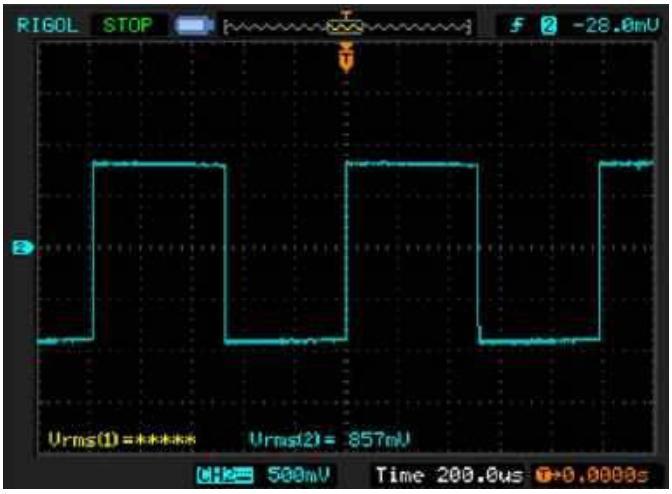
Żeby zaobserwować, jak pasmo przenoszenia wpływa na kształt sygnału prostokątnego, podawałem go na wejście opisywanego powyżej przedwzmacniacza z regulacją barwy (**rysunek 58**).

To nie wszystkie możliwe zniekształcenia sygnału wyjściowego. Niewykluczone jest pojawienie się również dzwonienia i oscylacji nakładanych na przebieg wyjściowy. Może to zwiastować wzbudzanie na wysokich częstotliwościach lub inne problemy ze wzmacniaczem.



Rysunek 54. Analiza FFT sygnału prostokątnego

eprasa.pl 0914c66f57



Rysunek 55. Sygnał na wyjściu wzmacniacza przy f = 1 kHz



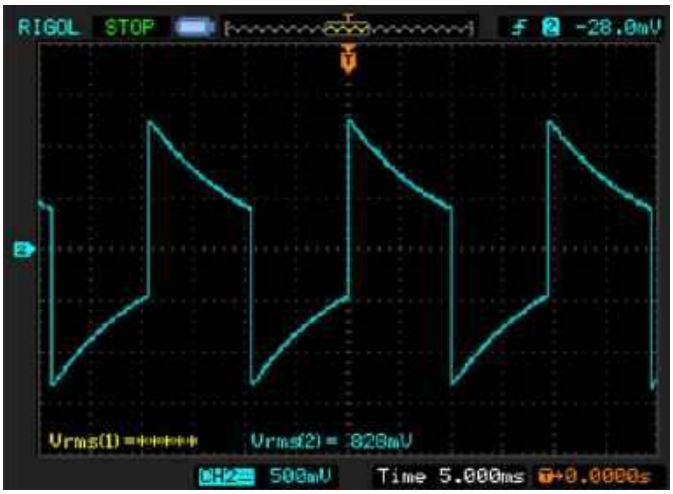
Rysunek 56. Sygnał na wyjściu wzmacniacza przy f = 50 kHz

Pomiary innych elementów toru audio

Opisanych metod można użyć do pomiaru zniekształceń przetworników cyfrowo-analogowych oraz przedwzmacniaczy. Jeżeli przetwornik ma interfejs USB, to da się go w prosty sposób włączyć w układ pomiarowy, tak jak pokazałem powyżej. Dobre przetworniki będą miały parametry porównywalne z kartą Scarlett 2i2. A na pewno w pomiarach nie mogą wyjść korzystniej niż karta – nawet gdyby ich parametry były lepsze. Jednak wiele przetworników nie ma wejścia USB, tylko S/PDIF. Ja do ich mierzenia używam modułu USB połączonego przez interfejs I²S z nadajnikiem S/PDIF, a bazującego na układzie WM8805. Moduł ma izolację galwaniczną sygnału S/PDIF wykonaną na transformatorze sygnałowym – fotografia tytułowa.

Pomiar przedwzmacniaczy nie wymaga komentarza. Dobre konstrukcje powinny mieć zniekształcenia podobne do samej karty. Układem, w którym wejście karty jest symetryczne, możemy mierzyć również wzmacniacze o topologii mostka. Wtedy żadne z wyprowadzeń wzmacniacza nie ma potencjału masy.

Osobny problem stanowi mierzenie zniekształceń wzmacniaczy klasy D. Na wyjściu takiego urządzenia znajduje się filtr dolnoprzepustowy pracujący w połączeniu z układem głośników. Jeżeli obciążymy go tylko rezystancją, wówczas na wyjściu pojawiają się zakłócenia wynikające z normalnej pracy wzmacniacza, czyli z kluczowania tranzystorów końcowych przebiegiem wysokiej częstotliwości. Pomiar takiego sygnału będzie obarczony błędem. Żeby poprawnie zmierzyć zniekształcenia wzmacniaczy klasy D, potrzebny jest dodatkowy filtr dolnoprzepustowy, włączany pomiędzy obciążenie rezystancyjne a wejście karty. Profesjonalne mierniki zniekształceń mogą być wyposażane w takie filtry. Jeżeli natomiast

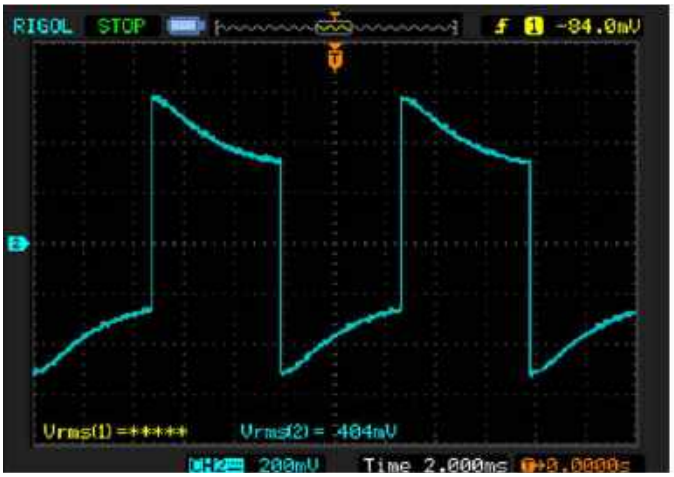


Rysunek 57. Sygnał na wyjściu wzmacniacza przy f = 50 Hz

chcemy samodzielnie mierzyć tego typu wzmacniacze, musimy próbować wykonać filtry samodzielnie. W Internecie natrafimy na opisy projektowania i wykonywania tego rodzaju układów.

Podsumowanie

W naszym cyklu pokazałem, w jaki sposób mierzyć kilka podstawowych parametrów wzmacniacza: moc wyjściową, pasmo przenoszenia, a także zniekształcenia. Skupiłem się na zniekształceniach THD, THD+N oraz IMD. Mierzyliśmy je przy stałej częstotliwości 1 kHz oraz w funkcji częstotliwości i poziomu sygnału. Dobrze byłoby



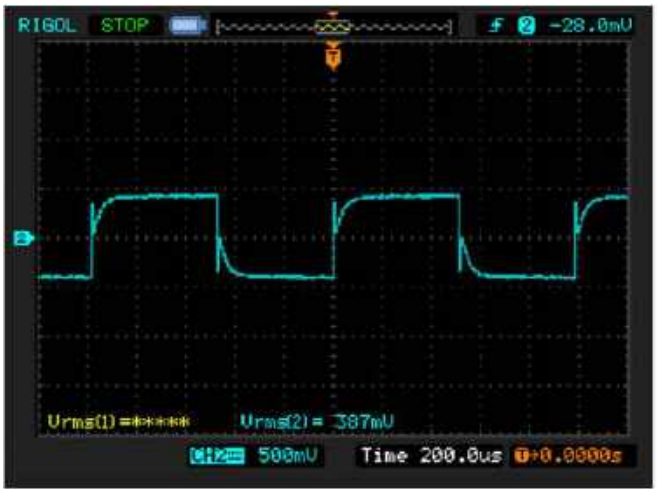
niskie tony tłumione



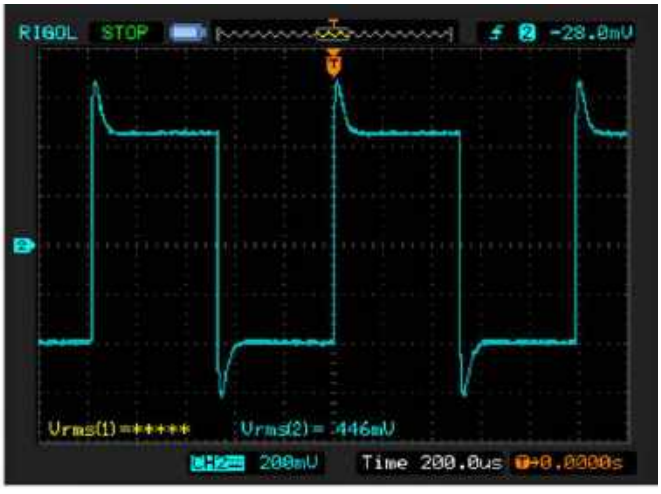
niskie tony podbite

Rysunek 58a. Wpływ pasma przenoszenia niskich tonów na kształt sygnału wyjściowego

eprasa.pl 0914c66f57



wysokie tony tłumione



wysokie tony podbite

Rysunek 58b. Wpływ pasma przenoszenia wysokich tonów na kształt sygnału wyjściowego

jeszcze wykonać pomiary w konfiguracji stereo: równomierności pasma przenoszenia obu kanałów oraz poziomu przesłuchów międzykanałowych. Użyte przeze mnie oprogramowanie podobnych funkcji nie oferuje, ale można do tego celu zastosować popularny program RMAA, o którym już wspominałem wcześniej. Karta Scarlett 2i2 współpracuje z RMAA, a zasady pomiaru są bardzo podobne.

Jeżeli chcemy uzyskać w miarę dokładne wyniki, musimy zadbać o odpowiednią konfigurację sprzętową. Karta dźwiękowa Focusrite Scarlett 2i2 3 gen ma parametry wystarczające do zmierzenia bardzo małych zniekształceń, a procedura kalibracji karty na pewno w realizacji tego zadania bardzo pomaga. Jednak mogą się pojawić problemy: testowany wzmacniacz z wejściem asymetrycznym SE, sterowany symetrycznym sygnałem z wyjścia karty, miał tendencję do generowania silnych harmonicznych częstotliwości 50 Hz, co najprawdopodobniej sugeruje problem z pętlą masy. To zjawisko było mocno ograniczone przy sterowaniu z wyjścia słuchawkowego SE karty dźwiękowej. Jednak sygnał z tego wyjścia wykazywał większe zniekształcenia przy niskich częstotliwościach.

Jak już wspomniałem, niemało elektroników nie wykonuje większości lub części pomiarów wzmacniacza, ograniczając się do oceny odsłuchowej. Można spotkać opisy, jak zmieniło się brzmienie, kiedy zastosuje się taki albo inny wzmacniacz operacyjny, tranzystor czy lampę. Jednak w przypadku zniekształceń nie jesteśmy w stanie usłyszeć czy mają one wartość w jednym kanale 0,001%, a w drugim 0,1%. Takie różnice w kanałach świadczą o błędach montażowych, wadliwych elementach, źle dobranych czy zużytych lampach. Podobnie jest z innymi zniekształceniami, pasmem przenoszenia, czy równomiernością charakterystyki częstotliwościowej i fazowej. Wprawnemu elektronikowi nawet proste „przegwizdanie" sygnałem prostokątnym powie wiele o kondycji wzmacniacza. Podstawowe przyrządy, generator i oscyloskop, uzupełnione o sztuczne obciążenie dają już możliwość wykonania kilku ważnych pomiarów. Natomiast karta muzyczna z odpowiednim oprogramowaniem oferuje zdecydowanie największe możliwości diagnostyki.

Jednostki i headroom

W układach pomiarowych używa się różnych jednostek. Ważne, aby zrozumieć ich znaczenie oraz różnice między niektórymi popularnymi „odmianami" decybeli: dB, dBu, dBV, dBFS.

Decybel (dB) to logarytmiczny stosunek dwóch wartości. Decybel jest wartością bezwymiarową, czyli samą tylko liczbą pozbawioną jednostki. Chociaż decybele najczęściej kojarzą się z sygnałami audio, niekoniecznie muszą być stosowane tylko w tej branży. W odniesieniu do poziomów sygnału audio, jednostka ta jest często używana do porównywania amplitudy dwóch sygnałów audio. Jeśli te dwa sygnały mają taką samą amplitudę, mówi się, że są oddalone od siebie o 0 dB. Decybele okazują się przydatne, ponieważ ludzie postrzegają poziomy dźwięku logarytmicznie, a skala logarytmiczna nie jest liniowa. Jeśli zwiększysz amplitudę sygnału o 6 dB, będzie ona w istocie dwukrotnie większa niż pierwotna amplituda. Jeśli podkręcisz go o kolejne 6 dB, będzie miał czterokrotnie większą amplitudę niż pierwotna. Kolejne 6 dB dałoby mu ośmiokrotność pierwotnej amplitudy. Liczby rosną bardzo szybko: jeśli zwiększymy sygnał o 60 dB, jego amplituda będzie 1000 razy większa niż pierwotna. Podobnie jest z tłumieniem.

dBu i dBV to odmiany decybeli przeznaczone do pomiaru napięcia. W przeciwieństwie do „czystych" decybeli (dB), są one w rzeczywistości jednostkami, ponieważ można je przeliczyć na konkretną wartość napięcia. Jednostka dBu opisuje liczbę decybeli dB w stosunku do poziomu 0,775 V, więc 0 dBu=0,775 V. Z kolei dBV to liczba decybeli dB w stosunku do 1,0 V, a zatem 0 dBV=1,0 V. Aby szybko przeliczyć dBu i dBV, należy pamiętać, że dBu jest zawsze równe dBV plus 2,21. Oznaczenie V w dBV jest pisane wielką literą, aby zapewnić dobre rozróżnienie między literami V i u.

dBFS, czyli decybele w stosunku do pełnej skali, służą do pomiaru poziomów cyfrowego sygnału audio. dBFS jest kolejną wielkością bezwymiarową, ponieważ stanowi tylko stosunek liczbowy i nie można go przeliczyć na inną jednostkę. W cyfrowym systemie audio 0 dBFS odnosi się do maksymalnego możliwego poziomu sygnału, znanego również jako punkt przesterowania. W związku z tym wartości dBFS są zawsze mniejsze lub równe zeru. Przykładowo: –10 dBFS odpowiada sygnałowi, który jest o 10 dB niższy niż punkt przesterowania.

Headroom

Headroom to bardzo ważne pojęcie w systemach audio – do utrzymania odpowiedniego headroomu niezbędny jest odpowiedni zapas sygnału, pozostający powyżej sygnału RMS (aby mógł on pomieścić szczyty bez przesterowania). Przesterowanie to deformacja kształtu oryginalnej fali dźwiękowej w wyniku nasycenia lub przesterowania systemu.

System analogowy przesteruje się, gdy nie ma już dostępnego zapasu napięcia do przeniesienia głośniejszego sygnału. Przebieg osiąga wtedy maksymalny poziom napięcia, jaki system może odtworzyć – natomiast jeśli spróbuje się zwiększyć amplitudę (głośność), to najgłośniejsze części zostaną „odcięte". Jeżeli badamy sygnał sinusoidalny, wówczas przesterowanie objawia się spłaszczaniem górnych i dolnych szczytów krzywej. W systemie cyfrowym przesterowanie występuje, gdy nie ma dostępnych dalszych bitów danych do zakodowania sygnału – powoduje to powstawanie szumu cyfrowego.

Tomasz Jabłoński, EP

eprasa.pl 0914c66f57

Kurs Nordic nRF z BT (5)

Bluetooth LE – bezpieczeństwo

W poprzedniej części kursu zaczęliśmy sterować diodami LED naszej płytki deweloperskiej z poziomu smartfona poprzez Bluetooth. Dziś zajmiemy się bezpieczeństwem tego połączenia.

Bezpieczeństwo BLE

Komunikacja bezprzewodowa, jakkolwiek wygodna by była, niesie ze sobą ryzyko podsłuchu. Każdy w zasięgu transmisji może się dowiedzieć, jakie parametry wysyłamy do płytki. Ten problem możemy rozwiązać, szyfrując transmitowane dane. Komunikację radiową wciąż będzie można przechwycić, ale zarejestrowane dane będą miały sens jedynie dla naszego urządzenia i smartfona.

Poza szyfrowaniem istotne jest także uwierzytelnianie, które potwierdza tożsamość urządzeń. Chroni ono przed atakami typu man-in-the-middle (MITM), w których ktoś próbuje podszyć się pod urządzenie, z którym się komunikujemy.

Całe szczęście standard BLE sam w sobie oferuje już mechanizmy zapewniające ochronę danych, a stos BLE w Zephyrze całkowicie je implementuje. Nasza rola ograniczy się więc jedynie do odpowiedniej konfiguracji i użycia tych mechanizmów.

Z punktu widzenia kodu projektu w BLE mamy 4 poziomy bezpieczeństwa połączenia:

- **Level 1 (BT_SECURITY_L1):** Brak szyfrowania i uwierzytelnienia.
- **Level 2 (BT_SECURITY_L2):** Jedynie szyfrowanie, brak uwierzytelnienia.
- **Level 3 (BT_SECURITY_L3):** Szyfrowanie i uwierzytelnienie.
- **Level 4 (BT_SECURITY_L4):** Zaawansowane bezpieczeństwo, w tym LE Secure Connections i bezpieczna wymiana kluczy przy użyciu algorytmu ECDH.

Można się spotkać jeszcze z poziomem 0, ale jest on używany w tradycyjnym Bluetooth, więc nas nie dotyczy.

Oto jak, w przybliżeniu, wygląda proces łączenia dwóch urządzeń:

1. Po włączeniu nasza płytka rozpoczyna rozgłaszanie. Odbywa się to bez szyfrowania.
2. Smartfon wykrywa płytkę podczas skanowania.
3. Na życzenie użytkownika rozpoczyna się łączenie.
4. W procesie parowania następuje wymiana kluczy, po uprzednim uwierzytelnieniu, jeśli jest ono wymagane.

Nasze urządzenie dotychczas zezwalało od razu na połączenie, ale w przypadku bezpieczniejszego podejścia wymagany jest proces parowania. W jego trakcie obie strony wymienią klucze szyfrujące, pozwalające na kodowanie i dekodowanie wiadomości.

Testowanie bezpieczeństwa BLE w projekcie

Dodajmy wyświetlenie poziomu bezpieczeństwa połączenia z telefonem zaraz po wysłaniu nowej wartości z aplikacji **nRF Connect**. Zmieniony początek funkcji przedstawia **listing 1**.

Warto zauważyć, że wyświetlenie tej informacji odbywa się poprzez makro `LOG_DBG` a nie `LOG_INF` ponieważ nie jest ona dla nas jakoś specjalnie istotna. W przyszłości, aby nie zaśmiecać loga, będziemy mogli przestawić poziom logowania z `LOG_LEVEL_DBG` na `LOG_LEVEL_INF` i odfiltrować mniej istotne wiadomości. Polecamy zrobić to już w pliku main.c – zmienić ustawienia logowania w linijce 8 z `LOG_MODULE_REGISTER(main, LOG_LEVEL_INF)` na `LOG_MODULE_REGISTER(main, LOG_LEVEL_WRN)`. Pozbędziemy się w ten sposób z loga niepotrzebnych już wiadomości „Tick”.

```
static ssize_t write_chr_cb(struct bt_conn *conn,
                            const struct bt_gatt_attr *attr,
                            const void *buf, uint16_t len,
                            uint16_t offset, uint8_t flags) {

    LOG_HEXDUMP_INF(buf, len, „Received buffer:”);
    LOG_DBG(„BT_SECURITY_L%d”, bt_conn_get_security(conn));
```

Listing 1. Zmiana w pliku bt_led_svc.c



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

```
// Define the GATT service and characteristics
BT_GATT_SERVICE_DEFINE(led_service,
        BT_GATT_PRIMARY_SERVICE(BT_UUID_LED_SERVICE),

        BT_GATT_CHARACTERISTIC(BT_UUID_LED_STATE_CHR,
                    BT_GATT_CHRC_WRITE, BT_GATT_PERM_WRITE,
                    NULL, write_chr_cb, NULL),

        BT_GATT_CHARACTERISTIC(BT_UUID_LED_BLINK_CHR,
                    BT_GATT_CHRC_WRITE, BT_GATT_PERM_WRITE_ENCRYPT,
                    NULL, write_chr_cb, NULL)
                    );
```

Listing 2. Podniesiony poziom bezpieczeństwa drugiej charakterystyki – plik bt_led_svc.c

Ustalanie stopnia zabezpieczenia danych odbywa się na poziomie definicji charakterystyki. Zmieniając `BT_GATT_PERM_WRITE` na `BT_GATT_PERM_WRITE_ENCRYPT`, zablokujemy możliwość zapisu charakterystyki, jeśli połączenie BLE ma poziom bezpieczeństwa bez szyfrowania (Level 1), czyli taki, jaki mamy obecnie.

Sprawdźmy zatem, czy zabezpieczenia BLE działają. **Listing 2** zawiera definicje serwisu, w którym podniesiono wymagany poziom zabezpieczeń charakterystyki odpowiedzialnej za częstotliwość migania diody.

Po wgraniu nowego programu na płytkę kontynuujemy eksperyment. Tak jak w poprzedniej części kursu, podłączmy się do płytki za pomocą aplikacji **nRF Connect**, a następnie wyślijmy wartość „0” charakterystyce odpowiedzialnej za stan diody. Dioda zgaśnie, w logu zobaczymy potwierdzenie odebrania danych.

Jednak po wpisaniu jakiejkolwiek wartości do charakterystyki sterującej częstotliwością migania w logu stan diody się nie zmienia. Połączenie BLE może nawet zostać zakończone, co można zauważyć na **listingu 3**. Oczywiście to nasza wina. Zapis tej charakterystyki ustawiliśmy na poziom 2, a poziom połączenia to 1 (mamy o tym informację w logu: „BT_SECURITY_L1”).

Zauważmy, że przy zapisie drugiej charakterystyki nawet nie doszło do wywołania funkcji obsługującej zapis, a jedyne, co zrobiliśmy, to zaznaczenie, że te dane mogą być wymieniane tylko w ramach szyfrowanego połączenia. Całą resztą zajął się stos **BLE**.

Security Manager Protocol (SMP)

Bezpieczeństwem w BLE zajmuje się **Security Manager Protocol**. Jest odpowiedzialny za zarządzanie szyfrowaniem i parowaniem urządzeń BLE. Umożliwia ustalanie kluczy szyfrujących oraz zapewnia mechanizmy i procedury zabezpieczające.

W Zephyrze **SMP** włącza się poprzez Kconfig, w pliku prj.conf, poprzez dodanie linii `CONFIG_BT_SMP=y`, co też uczynimy. I to w zasadzie wszystko, co jest wymagane. SMP zajmie się parowaniem. Dodajmy jednak powiadomienie o zmianie poziomu bezpieczeństwa. Zrobimy

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

eprasa.pl 0914c66f57



Rysunek 1. Parowanie z płytką

```
[00:00:01.254,974] <dbg> bt_control: bt_control_init: BLE init...
[00:00:01.270,263] <dbg> bt_control: bt_ready_cb: BLE MAC: FD:96:31:72:1E:81 (random)
[00:00:01.272,033] <dbg> bt_control: bt_ready_cb: BLE advertisement started
[00:00:22.031,250] <inf> bt_control: connected_cb: Connected to: 52:D2:CE:FF:97:6B (random)

[00:00:48.432,342] <inf> bt_led_svc: write_chr_cb: Received buffer:
                                     00 00 00 00                                        |....
[00:00:48.432,373] <dbg> bt_led_svc: write_chr_cb: BT_SECURITY_L1
[00:00:48.432,373] <inf> bt_led_svc: write_chr_cb: Led state update: 0
[00:00:48.432,495] <inf> led_control: led_worker: LED_STATE 0 received

[00:01:08.457,580] <inf> bt_control: disconnected_cb: Disconnected. Reason: 19
```

Listing 3. Log procesu zapisu do obu charakterystyk sterowania diodą

```
static void security_changed_cb(struct bt_conn *conn, bt_security_t level, enum bt_security_err err)
{
   if (!err) {
      LOG_INF(„Security changed to BT_SECURITY_L%d”, level);
   } else {
      LOG_ERR(„Security change failed.”);
   }
}

static struct bt_conn_cb conn_callbacks = {
   .connected = connected_cb,
   .disconnected = disconnected_cb,
   .security_changed = security_changed_cb
};
```

Listing 4. Plik bt_control.c. Dodanie informacji o zmianie poziomu bezpieczeństwa

```
[00:00:01.456,665] <dbg> bt_control: bt_control_init: BLE init...
[00:00:01.472,167] <dbg> bt_control: bt_ready_cb: BLE MAC: FD:96:31:72:1E:81 (random)
[00:00:01.474,060] <dbg> bt_control: bt_ready_cb: BLE advertisement started
[00:00:06.109,527] <inf> bt_control: connected_cb: Connected to: 58:F0:DE:60:60:0F (random)
[00:00:22.680,541] <inf> bt_led_svc: write_chr_cb: Received buffer:
                                     00 00 00 00

[00:00:22.680,572] <dbg> bt_led_svc: write_chr_cb: BT_SECURITY_L1
[00:00:22.680,572] <inf> bt_led_svc: write_chr_cb: Led state update: 0
[00:00:22.680,694] <inf> led_control: led_worker: LED_STATE 0 received
[00:00:41.543,212] <inf> bt_control: security_changed_cb: Security changed to BT_SECURITY_L2
[00:00:42.143,280] <inf> bt_led_svc: write_chr_cb: Received buffer:
                                     f4 01 00 00

[00:00:42.143,310] <dbg> bt_led_svc: write_chr_cb: BT_SECURITY_L2
[00:00:42.143,341] <inf> bt_led_svc: write_chr_cb: Led blink update: 500
[00:00:42.143,432] <inf> led_control: led_worker: LED_BLINK 500ms received
```

Listing 5. Log procesu zapisu do obu charakterystyk sterowania diodą

```
// Define the GATT service and characteristics
BT_GATT_SERVICE_DEFINE(led_service,
       BT_GATT_PRIMARY_SERVICE(BT_UUID_LED_SERVICE),

       BT_GATT_CHARACTERISTIC(BT_UUID_LED_STATE_CHR,
                   BT_GATT_CHRC_WRITE, BT_GATT_PERM_WRITE_AUTHEN,
                   NULL, write_chr_cb, NULL),

       BT_GATT_CHARACTERISTIC(BT_UUID_LED_BLINK_CHR,
                   BT_GATT_CHRC_WRITE, BT_GATT_PERM_WRITE_ENCRYPT,
                   NULL, write_chr_cb, NULL)
                   );
```

Listing 6. Podniesiony poziom bezpieczeństwa pierwszej charakterystyki – plik bt_led_svc.c

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

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

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

Listing 7. Konfiguracja zdarzeń uwierzytelniania. Plik bt_control.c

to za pomocą znanej nam już struktury `conn_callbacks` i nowej funkcji zwrotnej (**listing 4**).

Po kompilacji przeprowadźmy jeszcze raz nasz test. Log nowego testu pokazuje **listing 5**.

Teraz podczas zapisywania drugiej charakterystyki SMP przeprowadzi proces parowania. Na telefonie powinno pojawić się okienko pytające o naszą zgodę (podobne jak na **rysunku 1**). Potem poziom bezpieczeństwa zostanie podniesiony do `BT_SECURITY_L2` i odbędzie się zapis charakterystyki.

Wyższy poziom bezpieczeństwa

Aby osiągnąć jeszcze wyższy poziom bezpieczeństwa, musimy aktywnie uczestniczyć w procesie parowania. Ponieważ płytka deweloperska nie ma wbudowanej klawiatury, nie możemy na niej wprowadzić kodu PIN (Passkey). Zamiast tego możemy wyświetlić kod na konsoli płytki i ręcznie przepisać go na telefonie.

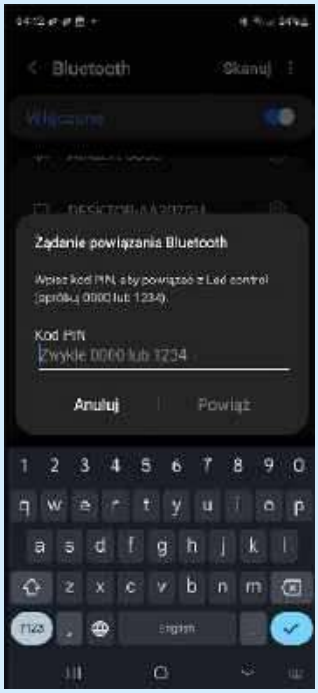
Zaczynamy od ustawienia wyższego poziomu zabezpieczeń dla pierwszej charakterystyki LED. Ustawimy poziom wymagający uwierzytelnienia (`BT_GATT_PERM_WRITE_AUTHEN`) tak, jak pokazano na **listingu 6**. Jeśli oba urządzenia obsługują co najmniej Bluetooth 4.2, proces parowania automatycznie osiągnie poziom 4 zabezpieczeń (LE Secure Connections), co zapewni najwyższy poziom ochrony.

Zephyr umożliwia sprawne przeprowadzenie parowania, wymagając jedynie dodania kilku funkcji do obsługi tego procesu. Konfiguracja opiera się na rejestrowaniu odpowiednich callbacków, bardzo podobnie jak w przypadku zdarzeń połączenia i rozłączenia, które omawialiśmy w poprzednim odcinku (**listing 7**). Rejestracja callbacków też następuje w funkcji `bt_ready_cb` (**listing 8**).

Sposób przeprowadzenia uwierzytelnienia zależy od zawartości struktury `conn_auth_callbacks`. Przykładowo – gdyby to do pola `.passkey_entry` przypisany był odpowiedni callback,

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

eprasa.pl 0914c66f57



Rysunek 2. Nowe okienko parowania

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

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

Listing 8. Rejestracja zdarzeń uwierzytelniania. Część funkcji bt_ready_cb() w pliku bt_control.c

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

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

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

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

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

Listing 9. Konfiguracja zdarzeń parowania. Plik bt_control.c

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

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

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

Listing 10. Rejestracja zdarzeń parowania. Część funkcji bt_ready_cb() w pliku bt_control.c

to na telefonie wyświetliłby się kod PIN, a na płytce musielibyśmy go wprowadzić ręcznie.

W ten sam sposób dodajmy jeszcze callbacki informujące o zakończeniu parowania wraz z ich rejestracją (**listing 9** i **listing 10**).

Została nam jeszcze jedna sztuczka. Zamiast przepisywać losowy kod PIN z konsoli do telefonu, przy każdym parowaniu ustawimy go sobie na stałe. Ale uwaga! Takie rozwiązanie nie jest do końca bezpieczne. Ponieważ wpisywanie pinu odbywa się, zanim nawiążemy bezpieczne połączenie, nic nie chroni pinu przed pasywnym podsłuchem. Ustawianie **Passkey** dodamy do funkcji inicjalizującej Bluetooth (**listing 11**). Ponadto należy włączyć tę opcję w konfiguracji projektu (prj.conf) poprzez dodanie linii `CONFIG_BT_FIXED_PASSKEY=y`. Jeśli tę opcję usuniemy lub zakomentujemy, PIN znowu będzie losowy.

```
int bt_control_init(void) {

    LOG_DBG(„BLE init...”);

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

Listing 11. Ustawianie stałego PIN

Po skompilowaniu i wgraniu nowego firmware'u możemy łatwo sprawdzić proces parowania, używając standardowego menu Bluetooth smartfona. Po wybraniu naszego urządzenia **Led control** pojawi się nowe okienko parowania (**rysunek 2**). Log nowego procesu parowania pokazano na **listingu 12**. Od tego momentu możemy bezpiecznie sterować naszą diodą LED z aplikacji **nRF Connect**.

Podsumowanie

W tej części kursu wprowadziliśmy mechanizmy zabezpieczeń w Bluetooth LE, skonfigurowaliśmy protokół SMP do parowania i szyfrowania oraz przetestowaliśmy różne poziomy bezpieczeństwa.

W następnej części będziemy kontynuować pracę z **BLE**, ale tym razem nasza płytka wystąpi w roli centralnego urządzenia (**central**), które będzie zarządzać połączeniami z innymi urządzeniami **BLE**. Do testów może być potrzebne peryferyjne urządzenie obsługujące Bluetooth 4.0 lub nowszy, np. inna płytka deweloperska, pilot Bluetooth (często nazywany „przyciskiem Bluetooth” na popularnych portalach aukcyjnych) albo klawiatura Bluetooth.

Krzysztof Kierys
Paweł Jachimowski

```
[00:00:02.382,720] <dbg> bt_control: bt_control_init: BLE init...
[00:00:02.398,071] <dbg> bt_control: bt_ready_cb: BLE MAC: FD:96:31:72:1E:81 (random)
[00:00:02.399,963] <dbg> bt_control: bt_ready_cb: BLE advertisement started
[00:00:13.197,326] <inf> bt_control: connected_cb: Connected to: 55:D6:15:20:F5:D6 (random)
[00:00:13.714,904] <inf> bt_control: auth_passkey_display_cb: Passkey for 55:D6:15:20:F5:D6 (random): 777777
[00:00:26.885,406] <inf> bt_control: security_changed_cb: Security changed to BT_SECURITY_L4
[00:00:26.961,486] <inf> bt_control: pairing_complete_cb: Pairing completed: D0:1B:49:08:8B:21 (public), bonded: 1
uart:~$
```

Listing 12. Log parowania

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

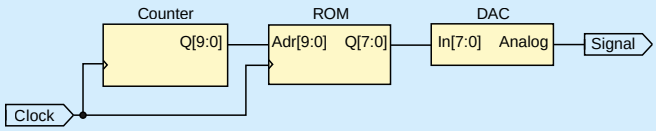
eprasa.pl 0914c66f57

Kurs FPGA Lattice (25)

Direct Digital Synthesis

Direct Digital Synthesis (DDS), czyli bezpośrednia synteza cyfrowa, jest prostą metodą pozwalającą uzyskać sygnał analogowy o dowolnym kształcie. Cały proces generowania sygnału odbywa się przy użyciu elementów cyfrowych, a jedynymi układami analogowymi są przetwornik cyfrowo-analogowy i – opcjonalnie – filtr na wyjściu przetwornika.

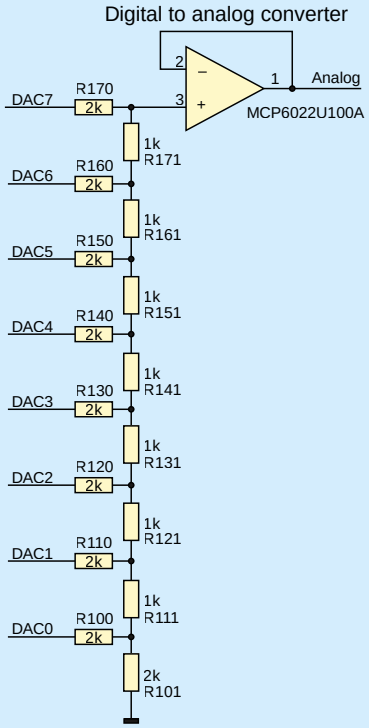
Celem ćwiczenia z dzisiejszego odcinka kursu będzie opracowanie generatora DDS, zdolnego do wytworzenia sygnału o dowolnym kształcie, z regulowaną częstotliwością i amplitudą sygnału. Zanim zaczniemy analizować kody w języku Verilog, musimy zapoznać się z teorią funkcjonowania układów DDS. Schemat najprostszego takiego rozwiązania pokazano na **rysunku 1**. Składa się on z zaledwie trzech podzespołów: licznika i pamięci ROM – które można umieścić wewnątrz struktury FPGA – oraz przetwornika cyfrowo-analogowego (DAC), umieszczanego najczęściej poza FPGA (układy FPGA, w przeciwieństwie do mikrokontrolerów, na ogół nie mają wbudowanych żadnych peryferiów analogowych).



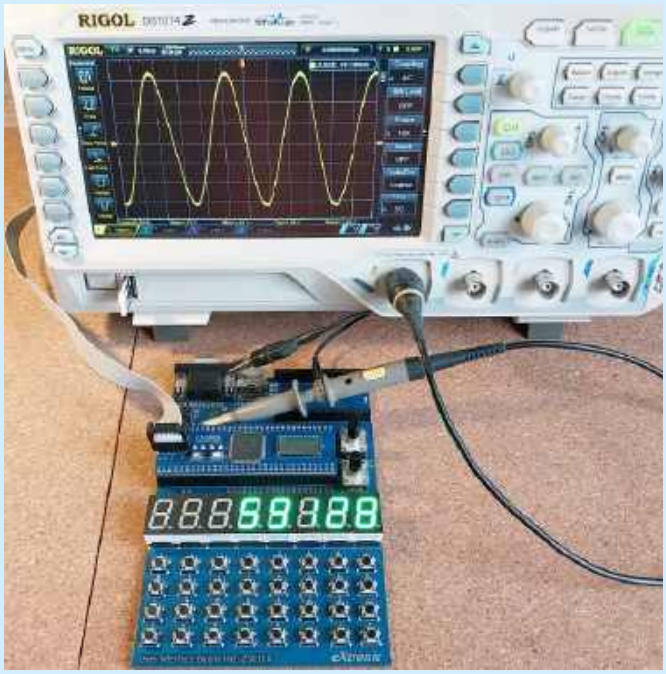
Rysunek 1. Najprostszy generator DDS

Przetwornik cyfrowo-analogowy

Zacznijmy od końca, czyli od przetwornika cyfrowo-analogowego. Jest to układ, który przetwarza wielobitowy sygnał cyfrowy na sygnał analogowy, czyli najczęściej napięcie elektryczne. Istnieje wiele różnych metod takiej konwersji, lecz skupimy się tylko na przetworniku R-2R, ponieważ taki znajduje się na płytce User Interface Board (została ona zaprezentowana w EP 09/2023).



Rysunek 2. Schemat przetwornika cyfrowo-analogowego typu R-2R



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

Schemat opisanego przetwornika pokazano na **rysunku 2**. Jest on bardzo prosty: składa się z drabinki rezystorów „poziomych" i „pionowych". Elementy poziome podłączone zostają do wyjść poszczególnych bitów sygnału cyfrowego i mają dwa razy większą rezystancję niż rezystory pionowe. Wyjątek stanowi ostatni element pionowy, który ma dwukrotnie większą rezystancję od pozostałych oporników o tej samej „orientacji". Na płytce User Interface Board zastosowano rezystory 1 kΩ i 2 kΩ. Napięcie wyjściowe z drabinki rezystorowej przechodzi następnie poprzez wzmacniacz operacyjny, pracujący jako wtórnik napięciowy, aby zwiększyć obciążalność prądową przetwornika. Ważne jest, by zastosować wzmacniacz typu rail-to-rail (czyli aby napięcie na jego wejściu i wyjściu mogło zmieniać się w całym zakresie od masy do napięcia zasilającego) – popularny LM358 nie nadaje się do tego zastosowania.

Jak działa taki przetwornik? Jest on sterowany wyjściami cyfrowymi typu push-pull. To znaczy, że wyjście w stanie niskim de facto oznacza połączenie z masą, a stan wysoki – połączenie z szyną zasilającą. Zatem rezystory poziome z jednej strony połączone są z łańcuszkiem innych rezystorów, a z drugiej – połączone są z masą lub zasilaniem. W taki sposób tworzy się dość zagmatwany dzielnik napięcia, jednak obliczenie napięcia wyjściowego pozostaje bardzo proste. Wystarczy zastosować wzór:

$$V_{OUT} = \frac{V_{CC} \cdot INPUT}{2^{BITS}}$$

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

eprasa.pl 0914c66f57

gdzie

- V_{CC} – napięcie zasilające,
- INPUT – wartość cyfrowa na wejściu przetwornika,
- BITS – liczba bitów przetwornika.

W naszym przypadku mamy przetwornik 8-bitowy. Maksymalna liczba, jaką jesteśmy w stanie zapisać na 8 bitach, to 255, a mianownik tego ułamka wynosić będzie 256. Przykładowo: jeżeli napięcie zasilania wynosi 3,3 V, wówczas maksymalne napięcie, jakie możemy uzyskać z 8-bitowego przetwornika typu R-2R, wynosić będzie 3,3·255/256=3,287 V.

Zaletą drabinki R-2R jest prostota, a także czas reakcji. Jedyne opóźnienie wynika tylko z czasu reakcji wzmacniacza operacyjnego oraz pojemności pasożytniczej elementów i ścieżek. Natomiast wadę stanowi jego dokładność – wynika ona z tolerancji rezystorów. Nie ma możliwości, aby zastosować jakieś precyzyjne źródło napięcia odniesienia. Tutaj odniesieniem jest napięcie zasilania, które bywa mocno zaszumione, a to negatywnie wpływa na wynik konwersji.

Pamięć z próbkami

Skoro mamy już przetwornik cyfrowo-analogowy, musimy skądś wziąć dane cyfrowe, które będzie on przetwarzał. W przypadku sygnału sinusoidalnego najczęściej stosowane są dwa rozwiązania:

- **CORDIC** – algorytm umożliwiający wykonanie różnych funkcji matematycznych, w tym trygonometrycznych. Algorytm ten może być zaimplementowany w sprzęcie, przez co znajduje zastosowanie w układach FPGA, a także w różnych procesorach jako akcelerator obliczeń.
- **Lookup table** – próbki sygnału zapisane są w pamięci ROM. Wystarczy co pewien czas odczytywać kolejne próbki z pamięci i przekazywać je do przetwornika DAC.

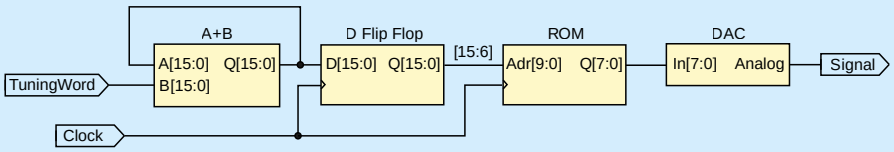
Podczas realizacji zadań z kursu użyjemy metody z pamięcią. Gdybyś chciał poeksperymentować z algorytmem CORDIC, znajdziesz gotowe moduły w bibliotece IP Express (która została omówiona w 5 odcinku kursu, opublikowanym w EP 03/2023).

Bloki pamięci EBR już potrafimy zastosować. Poznaliśmy je w 15 odcinku kursu (EP 01/2024) i opracowaliśmy wówczas moduł, który można konfigurować w bardzo szerokim zakresie. Teraz musimy tylko ustalić, jak ten moduł skonfigurować i skąd wziąć zawartość pamięci.

Załóżmy, że na próbki sygnału chcemy przeznaczyć jeden blok pamięci EBR. Wyjście pamięci powinno być 8-bitowe, ponieważ tyle bitów ma przetwornik R-2R na płytce User Interface Board. Jeden blok EBR z wyjściem 8-bitowym może pomieścić 1024 słowa, czyli w tym przypadku 1024 bajty. Tyle można zaadresować za pomocą wejścia adresowego o szerokości 10 bitów.

Potrzebujemy sposobu na wygenerowanie pliku z wsadem do pamięci, który zostanie zaimportowany za pomocą instrukcji $readmemh(). Plik ma zawierać 1024 8-bitowych wpisów, oddzielonych spacjami lub enterami. Musimy zatem wygenerować tyle wartości funkcji sinus, lecz powinniśmy trochę je poprzekształcać. Interesuje nas fragment funkcji od 0 do 2π, czyli cały jeden okres sinusa. Nasze zadanie polega na przeskalowaniu tego fragmentu na zakres od 0 do 1023, bo takie mamy adresy w pamięci. Ponadto funkcja sinus zwraca wartości od –1 do +1, a nam potrzebne są wartości od 0 do 255, ponieważ wyniki chcemy zapisać w zmiennych 8-bitowych (koniecznie używając do tego celu formatu szesnastkowego).

Plik z wsadem do pamięci możemy wygenerować w dowolny sposób. Ja do tego celu użyłem Excela. Arkusz obliczeniowy oraz gotowy plik z wsadem do pamięci znajdziesz w materiałach dołączonych do niniejszego odcinka.



Rysunek 3. Generator DDS z dodanym akumulatorem fazy

Licznik z akumulatorem fazy

Przypatrzmy się jeszcze raz schematowi z rysunku 1. Adres pamięci jest wyznaczany przez 10-bitowy licznik inkrementowany z każdym taktem zegara. Taki sposób pracy umożliwia odczytanie wszystkich danych z pamięci i przekazanie ich do przetwornika cyfrowo-analogowego. Jednak nie mamy możliwości regulowania częstotliwości wygenerowanego sygnału.

Aby rozwiązać ten problem, moglibyśmy zastosować rozwiązanie podobne do tego, którego użyliśmy w odtwarzaczu melodyjek, do ustalania długości odtwarzanych nut melodii (odcinek 17 opublikowany w EP 03/2024), ale lepiej będzie poznać coś nowego – licznik z akumulatorem fazy.

Zobacz schemat na **rysunku 3**. Prosty licznik został zastąpiony przez rejestr 16 przerzutników D (który nazywać będziemy akumulatorem) oraz 16-bitowy sumator bez przeniesienia, który sumuje aktualną wartość rejestru akumulatora z wartością wejścia TuningWord. Wynik z sumatora w każdym cyklu zegarowym jest przepisywany do rejestru i proces ten powtarza się w nieskończoność. Jeżeli wynik dodawania nie mieści się w 16-bitowym rejestrze, to licznik „przekręca się" i zaczyna liczyć od początku.

Normalny licznik w FPGA zbudowany jest dokładnie tak samo, lecz zamiast zmiennej TuningWord do sumatora na stałe doprowadzona jest liczba 1. Dodawanie zmiennej TuningWord sprawi, że z każdym cyklem zegara licznik będzie przeskakiwał o jakąś liczbę jednostek. W pierwszej chwili może wydawać się, że chodzi tutaj o przeskakiwanie próbek z pamięci, aby zwiększyć częstotliwość sygnału. Jednak jest w tym jeszcze inny sens.

Zwróć uwagę, że akumulator jest 16-bitowy, a wejście adresowe pamięci jest 10-bitowe. Oznacza to, iż korzystamy z 10 najstarszych bitów licznika, a 6 najmłodszych zostaje odrzuconych.

Częstotliwość sygnału, uzyskanego przez generator DDS, możemy obliczyć za pomocą wzoru:

$$f_{SIG} = \frac{f_{CLOCK} \cdot TuningWord}{2^{UsedBits} \cdot 2^{DiscardedBits}}$$

gdzie:

- f_{SIG} – częstotliwość sygnału na wyjściu,
- f_{CLOCK} – częstotliwość sygnału zegarowego,
- **TuningWord** – wartość z wejścia regulującego częstotliwość,
- **UsedBits** – ile bitów licznika jest używanych przez przetwornik,
- **DiscardedBits** – ile bitów licznika jest odrzucanych.

W naszym przypadku, kiedy częstotliwość zegara wynosi 25 MHz, korzystamy z 10 bitów, a odrzucamy 6 bitów, wzór przyjmuje postać:

$$f_{SIG} = \frac{25000000 \cdot TuningWord}{2^{10} \cdot 2^{6}} = 381,47 \cdot TuningWord$$

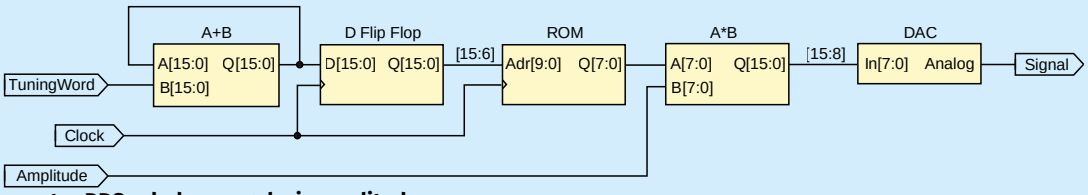
Okazuje się, że częstotliwość sygnału sinus, uzyskanego z generatora DDS, będzie wprost proporcjonalna do zmiennej na wejściu TuningWord i będzie ona zawsze wielokrotnością 381,47 Hz. Jeśli chcielibyśmy precyzyjniej ustawiać częstotliwości, powinniśmy zwiększyć liczbę odrzucanych bitów.

Regulacja amplitudy

Zobaczmy schemat na **rysunku 4**. Pomiędzy pamięcią ROM i przetwornikiem DAC pojawił się układ mnożący. Jego zadaniem jest mnożenie próbki sygnału, odczytanej z pamięci, przez wartość, która zostaje doprowadzona do wejścia Amplitude.

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

eprasa.pl 0914c66f57



Rysunek 4. Generator DDS z dodaną regulacją amplitudy

Ogólnie, jeżeli mnożymy liczbę A-bitową przez B-bitową, to wynik musimy zapisać w zmiennej A+B-bitowej. Oba wejścia układu mnożącego są 8-bitowe, lecz wynik mnożenia takich liczb jest 16-bitowy. Nasz przetwornik DAC jest 8-bitowy, zatem musimy użyć 8 najstarszych bitów, czyli [15:8], a 8 najmłodszych odrzucamy. Można powiedzieć, że jest to równoznaczne z podzieleniem wyniku mnożarki przez 256.

W przypadku normalnych języków programowania operacja mnożenia jest czymś oczywistym. Jednak w świecie FPGA mnożenie da się zrealizować na wiele różnych sposobów. Może to być układ kombinacyjny, składający się z sieci różnych bramek i sumatorów. Da się także tę sieć przerobić na układ sekwencyjny, można do niego dodać również pipelining. W grę wchodzi też sięgnięcie po gotowe układy mnożące DSP, jednak FPGA MachXO2 takich nie mają.

```
// Plik dds.v

`default_nettype none

module DDS (
    input wire Clock,
    input wire Reset,
    input wire [7:0] TuningWord_i,
    input wire [7:0] Amplitude_i,
    output wire [7:0] Signal_o,
    output wire Overflow_o
);

    // Akumulator fazy
    reg [15:0] Accumulator;                                  // 1

    always @(posedge Clock, negedge Reset) begin
        if(!Reset)
            Accumulator <= 0;
        else
            Accumulator <= Accumulator + TuningWord_i;       // 2
    end

    // Pamięć ROM z próbkami sygnału sinusoidalnego
    wire [7:0] DataFromROM;                                  // 3

    ROM #(                                                   // 4
        .ADDRESS_WIDTH(10),
        .DATA_WIDTH(8),
        .MEMORY_DEPTH(1024),
        .MEMORY_FILE("sin.mem")
    ) ROM_inst(
        .Clock(Clock),
        .Reset(Reset),
        .ReadEnable_i(1'b1),
        .Address_i(Accumulator[15:6]),                       // 5
        .Data_o(DataFromROM)                                 // 6
    );

    // Regulacja amplitudy
    reg [15:0] Temp;                                         // 7

    always @(posedge Clock, negedge Reset) begin
        if(!Reset)
            Temp <= 0;
        else
            Temp <= DataFromROM * Amplitude_i;               // 8
    end

    // Przypisanie wyjścia
    assign Signal_o = Temp[15:8];                            // 9

    // Wykrywanie przepełnienie licznika
    reg [9:0] Previous;                                      // 10

    always @(posedge Clock, negedge Reset) begin
        if(!Reset)
            Previous <= 0;
        else
            Previous <= Accumulator[15:6];                   // 11
    end

    assign Overflow_o = (Previous > Accumulator[15:6]);      // 12

endmodule

`default_nettype wire
```

Listing 1. Kod pliku dds.v

Moduł DDS

Znamy już teorię funkcjonowania generatora DDS – czas na praktykę! Przeanalizujmy kod pokazany na **listingu 1**. Zadaniem tego modułu jest odwzorowanie schematu z **rysunku 4** – na podstawie dwóch 8-bitowych wejść **TuningWord_i** oraz **Amplitude_i** moduł będzie generował próbki sygnału sinusoidalnego, które dostępne będą na 8-bitowym wyjściu **Signal_o**. Dodatkowo moduł wyposażony będzie także w wyjście **Overflow_o**, które ma informować o przepełnieniu licznika. Informacja o tym zdarzeniu będzie przekazywana poprzez ustawienie wspomnianego wyjścia w stan wysoki na jeden takt zegarowy.

W linii 1 tworzymy 16-bitowy rejestr akumulatora. Następnie mamy blok always, w którym w każdym takcie zegarowym inkrementujemy akumulator o wartość, jaka znajduje się na wejściu **TuningWord_i** (linia 2).

W linii 4 tworzymy instancję pamięci ROM, zawierającej 1024 dane 8-bitowe, której zawartość inicjalizujemy plikiem **sin.mem** z próbkami sygnału sinusoidalnego. W roli adresu używamy 10 najstarszych bitów akumulatora (linia 5). Wyjście z pamięci łączymy do zmiennej **DataFromROM** typu wire (linia 6), która została utworzona w linii 3.

Przejdźmy teraz do regulacji amplitudy. W linii 7 tworzymy 16-bitową zmienną **Temp** typu reg, która ma służyć do przechowywania wyniku mnożenia. Aby pomnożyć dwie liczby, zastosujemy kolejny sekwencyjny blok always. Właściwe mnożenie odbywa się w linii 8, gdzie mnożymy wyjście z pamięci **DataFromROM** przez wejście **Amplitude_i** i wynik zapisujemy do **Temp**. Przetwornik DAC na płytce User Interface Board jest 8-bitowy, zatem skorzystamy tylko z 8 najbardziej istotnych bitów wyniku mnożenia. Aby to uczynić, do 8-bitowego wyjścia **Signal_o** przypisujemy fragment zmiennej **Temp**, wybierając z niej bity od 15 do 8 (linia 9).

Ostatnia funkcjonalność, którą zamierzamy dodać, jest opcjonalna. Mowa o module mierzącym i wyświetlającym częstotliwość sygnału. Opracowaliśmy go w poprzednim odcinku (EP 10/2024). Pomiar częstotliwości polega na zliczaniu, ile razy jakieś zjawisko wystąpi w ciągu sekundy. W tym przypadku zjawiskiem będzie „przekręcenie się" licznika akumulatora – właściwie interesuje nas tylko jego 10 najstarszych bitów, które doprowadzone są do wejścia adresowego pamięci ROM.

Musimy zbadać, czy w poprzednim cyklu zegarowym wartość akumulatora była większa niż w obecnym cyklu. Dlaczego tak dziwnie? Dlaczego nie możemy np. wykrywać zera albo wartości maksymalnej? W zależności od wartości **TuningWord_i**, licznik akumulatora w każdym cyklu zegarowym może inkrementować się o jakąś liczbę jednostek. Na przykład, jeżeli w 16-bitowym akumulatorze mamy wartość 65530, a **TuningWord_i** jest równe 10, to w kolejnym cyklu zegarowym akumulator przepełni się i będzie miał wartość 4. Z tego powodu porównywanie stanu akumulatora do jakiejś konkretnej wartości nie będzie zdawać egzaminu, bo ta wartość może zostać przeskoczona, kiedy TuningWord jest większe od 64.

W linii 10 tworzymy 10-bitowy rejestr **Previous**. Poniżej niego mamy kolejny sekwencyjny blok always, w którym do wspomnianego rejestru kopiujemy aktualną wartość 10 najstarszych bitów akumulatora (linia 11). Porównanie poprzedniej i aktualnej wartości zostało zrealizowane jako logika kombinacyjna za pomocą instrukcji **assign** (linia 12).

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

eprasa.pl 0914c66f57

Testbench modułu DDS

Omówimy teraz moduł testujący generatora DDS. Kod tego modułu pokazano na **listingu 2**. Zadanie testbencha jest bardzo proste – tworzymy w nim instancję testowanego modułu generatora DDS, uruchamiamy go zgodnie z oczekiwaną konfiguracją i odczekujemy pewien czas, obserwując jego pracę.

Konfigurację ustawiamy na początku testbencha. Oczywiście, oprócz częstotliwości sygnału zegarowego, ustawić musimy wartość wejścia **TuningWord** (linia 1). Przez cały czas symulacji ta wartość będzie pozostawać stała. Na kolejnych liniach mamy elementy typowe dla wszystkich dotychczasowych testbenchy – generator sygnału zegarowego, deklarację zmiennych i eksport wyników symulacji do pliku.

Przejdźmy do linii 2, w której znajduje się instancja testowanego modułu generatora DDS. Zmienną **TuningWord**, którą utworzyliśmy w linii 1, doprowadzamy do wejścia **TuningWord_i** (linia 3), a do wejścia **Amplitude_i** przypisujemy na stałe wartość 8'hFF, co pozwoli uzyskać maksymalną możliwą amplitudę sygnału (linia 4).

Sekwencja testowa jest bardzo prosta. Po zwolnieniu sygnału **Reset** (linia 12) moduł rozpoczyna pracę, a my czekamy, aż 10 razy wystąpi zbocze rosnące na wyjściu **Overflow_o** (linia 13), sygnalizujące rozpoczęcie kolejnego cyklu ładowania próbek sygnału z pamięci ROM do przetwornika DAC.

Kolejnym zadaniem testbencha będzie zmierzenie częstotliwości wygenerowanego sygnału. Najprościej byłoby użyć modułu **FrequencyMeter**, który opracowaliśmy w poprzednim odcinku kursu. Wszak zamierzamy go umieścić w module **top** i w ten sposób mierzyć częstotliwość w rzeczywistym układzie FPGA. Metoda pomiaru zastosowana w tym module polega na zliczaniu impulsów w ciągu jednej sekundy. Oznacza to, że cała symulacja musiałaby trwać przez taki czas. Wykonanie tego typu symulacji jest możliwe, ale jednocześnie bardzo czasochłonne, a plik wynikowy zawierałby wiele gigabajtów danych. Musimy wymyślić coś innego.

Skorzystamy z innej metody pomiaru. Będziemy zapisywać, kiedy wystąpiły zbocza rosnące sygnału **Overflow_o**. Mając tę wiedzę, obliczymy okres sygnału – wszak jego częstotliwość to nic innego, jak odwrotność okresu.

```
// Plik dds_tb.v

`timescale 1ns/1ps

`default_nettype none
module DDS_tb();

    // Konfiguracja
    parameter CLOCK_HZ    = 25_000_000;
    reg [7:0] TuningWord = 100;                                    // 1

    // Generator sygnału zegarowego
    reg Clock = 1'b1;

    always begin
        #(1_000_000_000.0 / (2 * CLOCK_HZ));
        Clock = !Clock;
    end

    // Zmienne
    reg Reset = 0;

    // Eksport wyników symulacji
    initial begin
        $dumpfile("dds.vcd");
        $dumpvars(0, DDS_tb);
    end

    // Instancja testowanego modułu
    DDS DUT(                                                       // 2
        .Clock(Clock),
        .Reset(Reset),
        .TuningWord_i(TuningWord),                                 // 3
        .Amplitude_i(8'hFF),                                       // 4
        .Signal_o(),
        .Overflow_o()
    );

    // Pomiar częstotliwości sygnału
    always @(posedge DUT.Overflow_o) begin: MeasureFreq            // 5
        real TimePrevious;                                         // 6
        real Freq;                                                 // 7

        if(TimePrevious == 0) begin                                // 8
            TimePrevious = $realtime;
        end else begin
            Freq = 1_000_000_000.0 / ($realtime - TimePrevious);   // 9
            $display("%t %10.3f Hz", $realtime, Freq);             // 10
            TimePrevious = $realtime;                              // 11
        end
    end

    // Sekwencja testowa
    initial begin
        $timeformat(-3, 3, "ms", 10);
        $display("===== START =====");

        @(posedge Clock);
        Reset <= 1'b1;                                             // 12

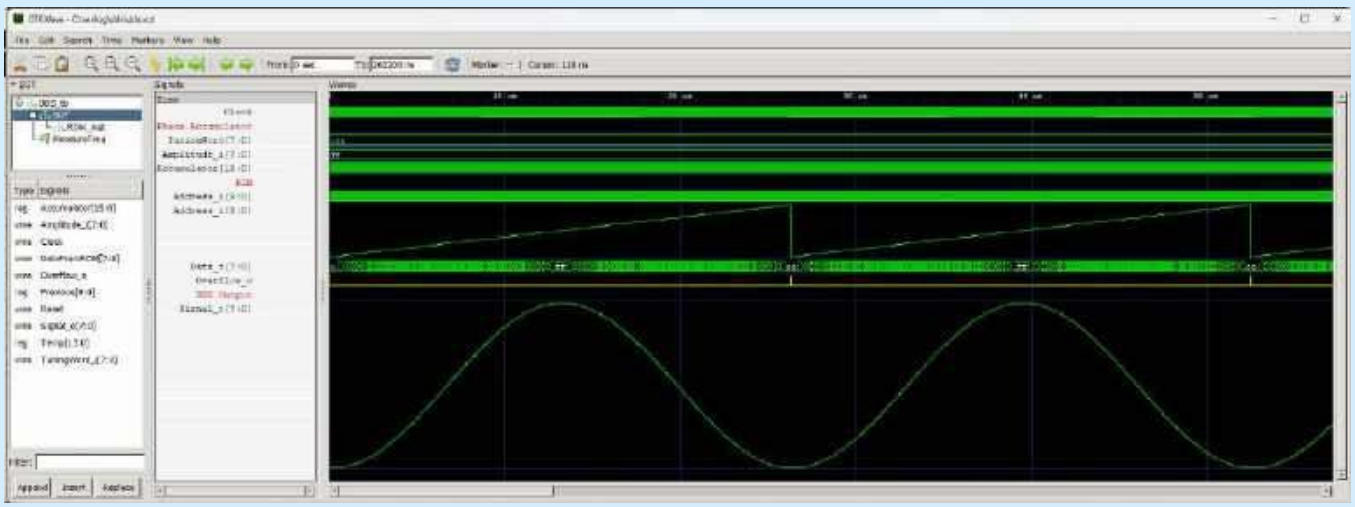
        repeat(10) @(posedge DUT.Overflow_o);                      // 13

        $display("====== END ======");
        $finish;
    end

endmodule
```

Listing 2. Kod pliku dds_tb.v

W linii 5 rozpoczynamy blok always, który reagować ma tylko na zbocze rosnące sygnału **Overflow_o**, pochodzącego z modułu **DUT**. Wewnątrz tego bloku tworzymy zmienne, a więc blok begin-end nie może być anonimowy i musimy go jakoś nazwać. Nazwa nie ma większego znaczenia, bo nigdzie nie będziemy jej stosować, ale jakąś trzeba wymyślić. W naszym przykładzie zdecydowaliśmy się na **MeasureFreq**.



Rysunek 5. Symulacja generatora DDS

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

eprasa.pl 0914c66f57

```
@echo off
iverilog -o dds.o ^
    dds.v         ^
    dds_tb.v      ^
    rom.v
vvp dds.o
del dds.o
```

Listing. 3. Kod pliku dds.bat

```
VCD info: dumpfile dds.vcd opened for output.
===== START =====
   0.052ms  38167.939 Hz
   0.079ms  38109.756 Hz
   0.105ms  38167.939 Hz
   0.131ms  38167.939 Hz
   0.157ms  38109.756 Hz
   0.184ms  38167.939 Hz
   0.210ms  38167.939 Hz
   0.236ms  38109.756 Hz
====== END ======
dds_tb.v:63: $finish called at 262200000 (1ps)
```

Listing 4. Log z symulacji

W linii 6 tworzymy zmienną **TimePrevious** typu real – jest to zatem liczba zmiennoprzecinkowa. Ta zmienna będzie przechowywać informację o tym, kiedy wystąpiło poprzednie zbocze **Overflow_o**. Następnie tworzymy zmienną **Freq**, również zmiennoprzecinkową, w której będzie zapisywany wynik obliczenia częstotliwości (linia 7). Tak utworzone zmienne domyślnie są inicjalizowane zerami.

Korzystamy z tego faktu w linii 8, aby zarejestrować czas wystąpienia pierwszego takiego zbocza w naszej symulacji. Wtedy do zmiennej **TimePrevious** wpisujemy timestamp pobrany za pomocą instrukcji **$realtime**. Instrukcja ta zwraca nam aktualny czas jako liczbę nanosekund, które upłynęły od startu symulacji (uwaga! na początku kodu, stosując instrukcję **$timescale**, ustawiliśmy podstawową jednostkę czasu symulacji jako jedną nanosekundę).

W przypadku wystąpienia kolejnych zboczy, zmienna **TimePrevious** jest różna od zera, zatem wykonuje się linia 9. Od aktualnego czasu odejmujemy czas zarejestrowania poprzedniego zbocza. Otrzymujemy tym sposobem okres sygnału wyrażony w nanosekundach. Aby przeliczyć go na częstotliwość w hercach, musimy 1_000_000_000 podzielić przez okres. Skąd taka liczba? Dokładnie tyle nanosekund jest w jednej sekundzie. Następnie wyświetlamy wynik na konsoli za pomocą funkcji **$display** i aktualizujemy zmienną **TimePrevious** o aktualny czas symulacji, aby powtórzyć cały ten proces przy wykryciu kolejnego zbocza.

W celu przeprowadzenia symulacji w Icarus Verilog uruchom skrypt, którego kod pokazano na **listingu 3**. Powinieneś zobaczyć komunikaty podobne do zaprezentowanych na **listingu 4**.

Otwórz plik dds.vcd w przeglądarce GTKWave i skonfiguruj ją tak, by uzyskać efekt widoczny na **rysunku 5**. Wejście adresowe pamięci ROM zostało zaprezentowane w postaci analogowej, aby łatwiej było zaobserwować, w jaki sposób się ono zmienia – przypomina to sygnał piłokształtny. Adres rośnie od zera do maksimum w sposób liniowy, a następnie licznik akumulatora przepełnia się i zaczyna zliczanie od początku (choć wcale nie od zera – zależy to od TuningWord).

W momencie przekręcenia się licznika widzimy krótką szpilkę sygnału **Overflow_o**, dla większej czytelności zaznaczonego kolorem żółtym.

Na wyjściu **Signal_o** widzimy piękny 8-bitowy sygnał sinusoidalny. Wystarczy doprowadzić go do przetwornika DAC.

Moduł top

Moduł top będzie pełnił funkcję interfejsu użytkownika i umożliwi zmianę ustawień generatora DDS oraz obserwację jego pracy. Za pomocą dwóch enkoderów obrotowych będziemy regulować częstotliwość oraz amplitudę generowanego sygnału. Film demonstrujący działanie projektu można obejrzeć pod adresem [3].

```
// Plik top.v

`default_nettype none

module top #(
    parameter CLOCK_HZ = 25_000_000
)(
    input wire Clock,               // Pin 20
    input wire Reset,               // Pin 17
    input wire EncoderFreqA_i,      // Pin 68
    input wire EncoderFreqB_i,      // Pin 67
    input wire EncoderAmplA_i,      // Pin 71
    input wire EncoderAmplB_i,      // Pin 70
    output wire [7:0] Signal_o,     // Pin  2  3  4  7 82 81 77 76
    output wire [7:0] Cathodes_o,   // Pin 40 41 42 43 45 47 51 25
    output wire [7:0] Segments_o    // Pin 39 38 37 36 35 34 30 29
);

    // Enkoder do regulacji częstotliwości
    wire IncrementFreq;                                         // 1
    wire DecrementFreq;                                         // 2

    Encoder EncoderFreq_inst(                                   // 3
        .Clock(Clock),
        .Reset(Reset),
        .AsyncA_i(EncoderFreqA_i),                              // 4
        .AsyncB_i(EncoderFreqB_i),                              // 5
        .AsyncS_i(1'b1),
        .Increment_o(IncrementFreq),                            // 6
        .Decrement_o(DecrementFreq),                            // 7
        .ButtonPress_o(),
        .ButtonRelease_o(),
        .ButtonState_o()
    );

    // Ustawianie rejestru TuningWord
    reg [7:0] TuningWord;                                       // 8

    always @(posedge Clock, negedge Reset) begin
        if(!Reset)
            TuningWord <= 0;
        else if(IncrementFreq)                                  // 9
            TuningWord <= TuningWord + 1'b1;
        else if(DecrementFreq)                                  // 10
            TuningWord <= TuningWord - 1'b1;
    end

    // Enkoder do regulacji amplitudy
    wire IncrementAmpl;
    wire DecrementAmpl;

    Encoder EncoderAmpl_inst(
        .Clock(Clock),
        .Reset(Reset),
        .AsyncA_i(EncoderAmplA_i),
        .AsyncB_i(EncoderAmplB_i),
        .AsyncS_i(1'b1),
        .Increment_o(IncrementAmpl),
        .Decrement_o(DecrementAmpl),
        .ButtonPress_o(),
        .ButtonRelease_o(),
        .ButtonState_o()
    );

    // Ustawianie mnożnika amplitudy
    reg [7:0] Amplitude;

    always @(posedge Clock, negedge Reset) begin
        if(!Reset)
            Amplitude <= 8'hFF;
        else if(IncrementAmpl)
            Amplitude <= Amplitude + 1'b1;
        else if(DecrementAmpl)
            Amplitude <= Amplitude - 1'b1;
    end

    // Instancja modułu generatora DDS
    wire Overflow;                                              // 11

    DDS DDS_inst(                                               // 12
        .Clock(Clock),
        .Reset(Reset),
        .TuningWord_i(TuningWord),
        .Amplitude_i(Amplitude),
        .Signal_o(Signal_o),
        .Overflow_o(Overflow)
    );

    // Instancja miernika częstotliwości
    FrequencyMeter #(                                           // 13
        .CLOCK_HZ(CLOCK_HZ)
    ) FrequencyMeter_inst(
        .Clock(Clock),
        .Reset(Reset),
        .SignalAsync_i(Overflow),
        .Cathodes_o(Cathodes_o),
        .Segments_o(Segments_o)
    );

endmodule

`default_nettype wire
```

Listing 5. Kod pliku top.v

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

eprasa.pl 0914c66f57

```
// Plik top_tb.v

`timescale 1ns/1ps

`default_nettype none
module top_tb();

    // Konfiguracja
    parameter CLOCK_HZ = 25_000_000;
    parameter TuningWordRequested = 20;

    // Generator sygnału zegarowego
    reg Clock = 1'b1;
    always begin
        #(1_000_000_000.0 / (2 * CLOCK_HZ));
        Clock = !Clock;
    end

    // Zmienne
    reg Reset = 0;
    reg AsyncFreqA = 1;
    reg AsyncFreqB = 1;
    reg AsyncAmplA = 1;
    reg AsyncAmplB = 1;

    // Eksport wyników symulacji
    initial begin
        $dumpfile("top.vcd");
        $dumpvars(0, top_tb);
    end

    // Instancja testowanego modułu
    top DUT(
        .Clock(Clock),
        .Reset(Reset),
        .Encoder Freq A_i(AsyncFreqA),
        .EncoderFreqB_i(AsyncFreqB),
        .EncoderAmplA_i(AsyncAmplA),
        .EncoderAmplB_i(AsyncAmplB),
        .Signal_o(),
        .Cathodes_o(),
        .Segments_o()
    );

    // Sekwencja testowa
    initial begin
        $timeformat(-9, 3, "ns", 10);
        $display("===== START =====");

        @(posedge Clock);
        Reset = 1'b1;

        repeat(5000)
            @(posedge Clock);

        // Zwiększanie TuningWord
        repeat(TuningWordRequested) begin
            #10000 AsyncFreqA = 1'b0;
            #10000 AsyncFreqB = 1'b0;
            #10000 AsyncFreqA = 1'b1;
            #10000 AsyncFreqB = 1'b1;
            #20000;
        end

        // Zmniejszanie amplitudy od maksimum do zera
        repeat(255) begin
            #2000 AsyncAmplB = 1'b0;
            #2000 AsyncAmplA = 1'b0;
            #2000 AsyncAmplB = 1'b1;
            #2000 AsyncAmplA = 1'b1;
            #5000;
        end

        // Zwiększanie amplitudy od zera do maksimum
        repeat(255) begin
            #2000 AsyncAmplA = 1'b0;
            #2000 AsyncAmplB = 1'b0;
            #2000 AsyncAmplA = 1'b1;
            #2000 AsyncAmplB = 1'b1;
            #5000;
        end

        // Zmniejszanie TuningWord
        repeat(TuningWordRequested) begin
            #10000 AsyncFreqB = 1'b0;
            #10000 AsyncFreqA = 1'b0;
            #10000 AsyncFreqB = 1'b1;
            #10000 AsyncFreqA = 1'b1;
            #20000;
        end

        repeat(5000)
            @(posedge Clock);

        $display("====== END ======");
        $finish;
    end

endmodule
```

Listing 6. Kod pliku top_tb.v

Kod pliku top.v przedstawiono na **listingu 5**. Na liście portów modułu znajdziemy wejścia A i B (sterowane przez dwa enkodery obrotowe), 8-bitowe wyjście sygnału oraz dwa 8-bitowe wyjścia sterujące segmentami i katodami wyświetlacza LED.

Omówimy tylko sposób obsługi enkodera regulującego częstotliwość, a ustawianie amplitudy pominiemy, ponieważ działa bardzo podobnie. Do obsługi enkodera wykorzystamy moduł **Encoder** (linia 3), który opracowaliśmy w 14 odcinku kursu (opublikowanym w EP 12/2023). Do jego wejść doprowadzimy sygnały **EncoderFreqA_i** oraz **EncoderFreqB_i**, pochodzące z wejścia modułu **top** (linie 4 i 5). Wyjścia enkodera, które informują o wykryciu obrotu w prawo lub w lewo (linie 6 i 7), łączymy ze zmiennymi **IncrementFreq** oraz **DecrementFreq**, które zostały utworzone w liniach 1 i 2.

W linii 8 tworzymy 8-bitowy rejestr **TuningWord**, którego zawartość jest modyfikowana w bloku always poniżej. Po zresetowaniu układu ma on wartość zerową. Kiedy sygnał **IncrementFreq** jest w stanie wysokim, rejestr zwiększamy o jeden (linia 9), a kiedy **DecrementFreq** jest w stanie wysokim – zmniejszamy o jeden (linia 10). Regulacja amplitudy zrealizowana jest w analogiczny sposób, więc nie będziemy jej szerzej omawiać.

Instancję generatora DDS tworzymy w linii 12. Do jego wejść doprowadzamy utworzone wcześniej rejestry **TunungWord** oraz **Amplitude**, a wyjście łączymy z portem wyjściowym **Signal_o**.

Na potrzeby pomiaru częstotliwości tworzymy instancję modułu **FrequencyMeter** (linia 13). Jest on połączony z modułem generatora DDS za pośrednictwem zmiennej wire **Overflow**, zadeklarowanej w linii 11.

Testbench modułu top

W dotychczasowych odcinkach nie robiliśmy testbencha modułu top, lecz tym razem go zbudujemy. Celem testbencha będzie symulowanie obrotu enkoderów obrotowych w taki sposób, aby:

1. Zwiększać TuningWord od 0 do 20 (czyli aż TuningWord osiągnie wartość równą parametrowi **TuningWordRequested**, który definiujemy na początku testbencha), co powinno skutkować zwiększeniem częstotliwości generowanego sygnału sinusoidalnego.
2. Zmniejszać amplitudę od maksymalnej do zera.
3. Zwiększać amplitudę od zera do maksymalnej.
4. Zmniejszać TuningWord do zera, co w rezultacie obniży częstotliwość sygnału, aż ostatecznie przestanie się on zmieniać.

Kod testbenacha modułu top pokazano na **listingu 6**, a skrypt uruchamiający symulator znajduje się na **listingu 7**. Nie będziemy go szczegółowo omawiać. Metody symulacji enkoderów obrotowych oraz rola ich sygnałów A i B była już omówiona w 14 odcinku kursu, opublikowanym w EP 12/2023. Przejdziemy od razu do omówienia wyników symulacji.

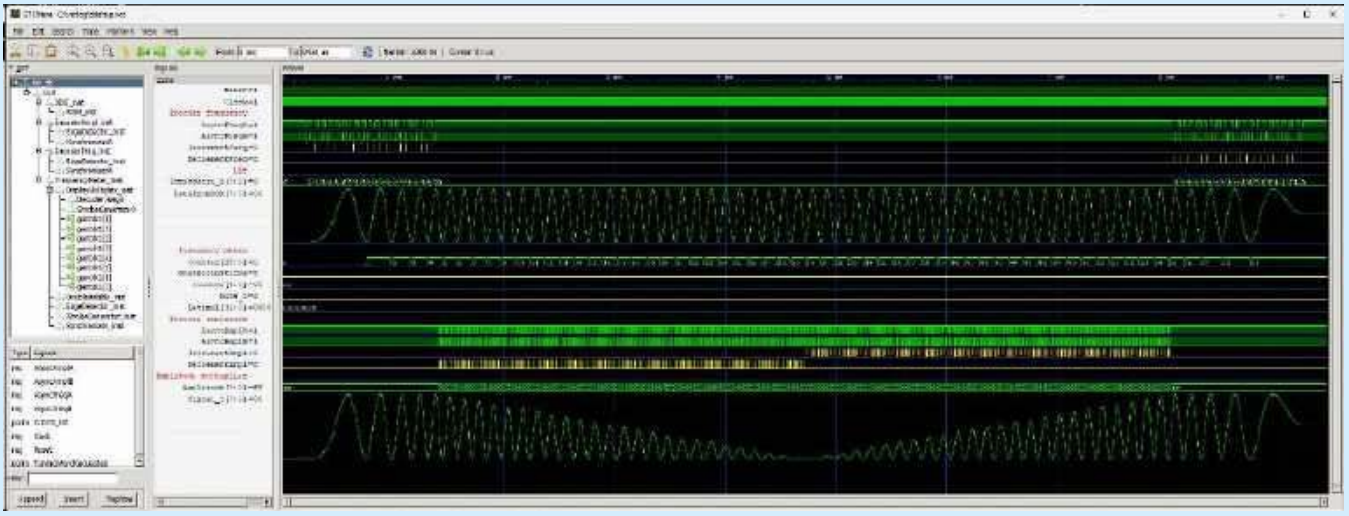
Otwórzmy plik VCD w przeglądarce GTKWave i skonfigurujmy ją tak, by uzyskać efekt pokazany na **rysunku 6**. Sygnały z modułów kontrolujących enkodery, tzn. **IncrementFreq**,

```
@echo off
iverilog -o top.o       ^
    top.v               ^
    top_tb.v            ^
    dds.v               ^
    decoder_7seg.v      ^
    display_multiplex.v ^
    double_dabble.v     ^
    edge_detector.v     ^
    frequency_meter.v   ^
    rom.v               ^
    encoder.v           ^
    strobe_generator.v  ^
    synchronizer.v
vvp top.o
del top.o
```

Listing 7. Kod pliku top.bat

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

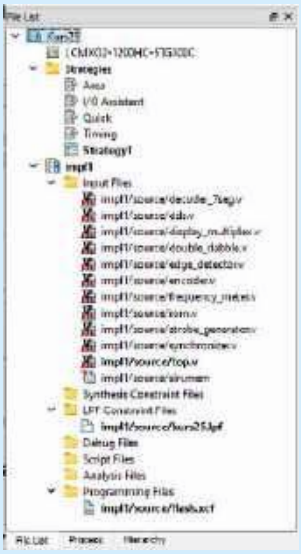
eprasa.pl 0914c66f57



Rysunek 6. Symulacja modułu top

DecrementFreq, **IncrementAmpl** oraz **DecrementAmpl** zaznaczyłem na żółto w celu zwiększenia czytelności. Sygnał DataFromROM pochodzi bezpośrednio z wyjścia pamięci. Widzimy, że w pierwszej fazie symulacji częstotliwość tego sygnału zwiększa się, kiedy występują szpilki na **IncrementFreq**. Podobnie w końcowej części symulacji występują impulsy na sygnale DecrementFreq, a częstotliwość przebiegu sinusoidalnego zmniejsza się, aż finalnie sygnał ten przyjmuje wartość stałą.

Przebieg na wyjściu **Signal_o** jest mierzony po przejściu sygnału przez mnożnik amplitudy. Widzimy, że gdy pojawiają się impulsy sygnału **DecrementAmpl**, to amplituda zmniejsza się, ale kształt i częstotliwość sygnału pozostają zachowane. Obecność szpilek na IncrementAmpl powoduje efekt odwrotny – amplituda rośnie do pierwotnego poziomu.



Rysunek 7. Drzewo projektu w Diamond

Testy na żywo

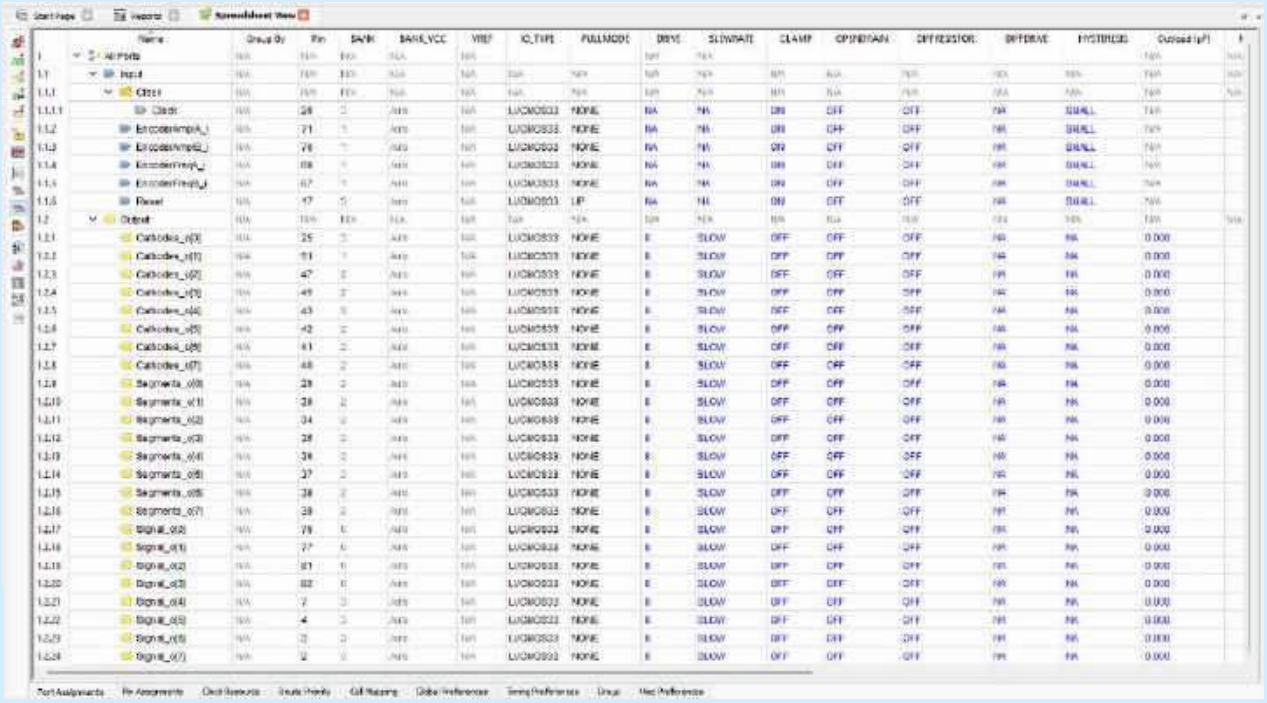
Wiemy już, że moduł **top** działa w symulatorze. Czas na test w prawdziwym FPGA. Utwórz nowy projekt w Lattice Diamond i dodaj do niego pliki widoczne na **rysunku 7**.

Przeprowadź syntezę, a następnie otwórz Spreadsheet i skonfiguruj piny wejścia-wyjścia w taki sposób, jak to zaprezentowano na **rysunku 8**.

Wygeneruj bitstream i wgraj go do FPGA. Podłącz sondę oscyloskopu do pinu Analog na płytce User Interface Board i obracaj enkoderami, aby zobaczyć efekt. Film z demonstracją działania układu możesz zobaczyć pod adresem [3].

Statyczna analiza czasowa

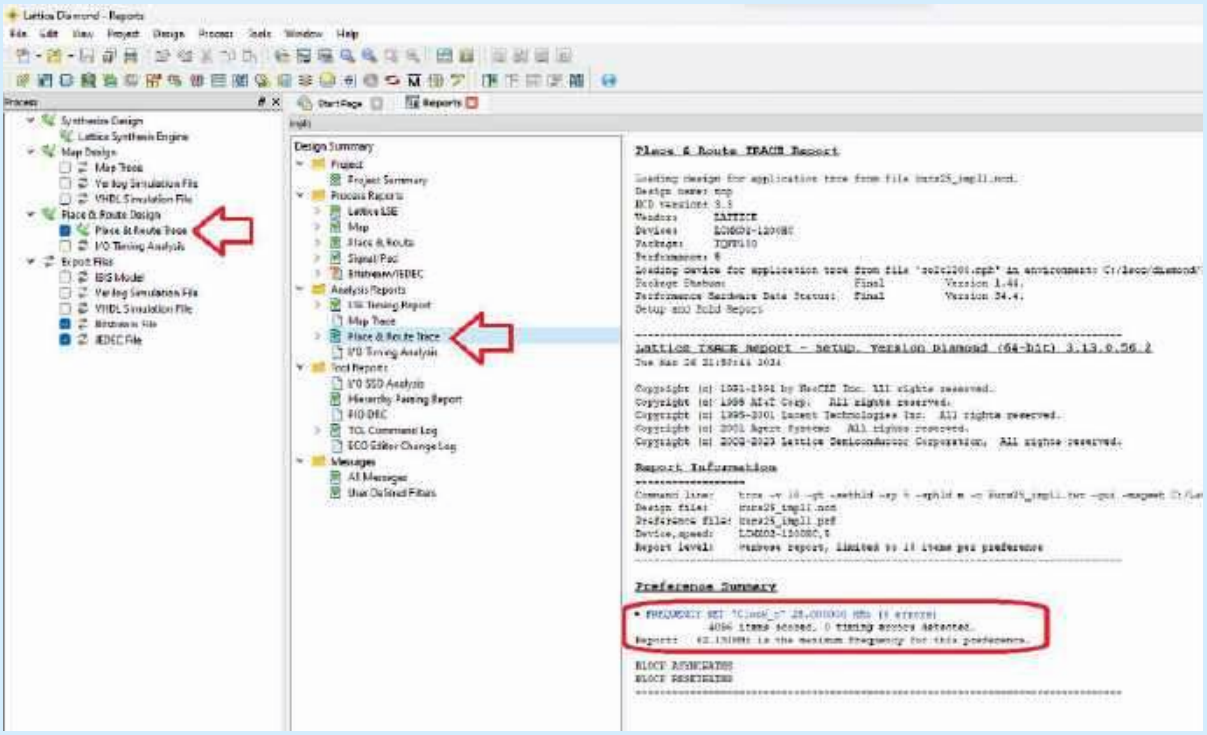
Normalnie zakończylibyśmy odcinek kursu po wgraniu bitstreamu do FPGA. Tym razem jednak zastanowimy się nad pewną



Rysunek 8. Konfiguracja pinów w Spreadsheet

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

eprasa.pl 0914c66f57



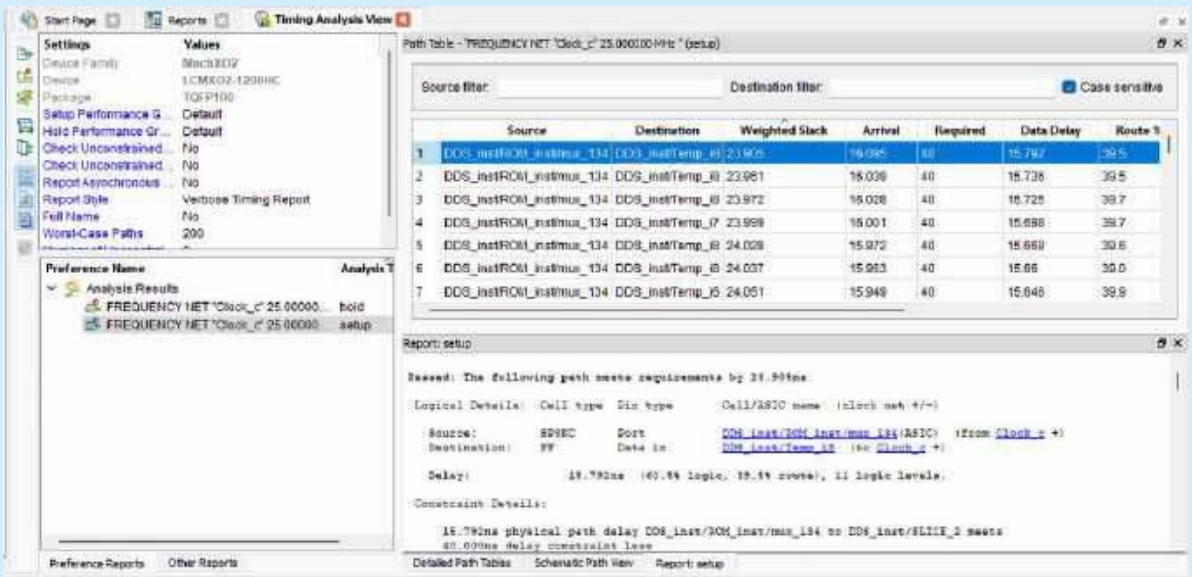
Rysunek 9. Timing report

kwestią: jaka jest maksymalna częstotliwość sygnału zegarowego? Aby się dowiedzieć, należy przeprowadzić statyczną analizę czasową. W okienku procesów klikamy Place & Route Trace, a następnie w oknie raportów wybieramy pozycję o tej samej nazwie. Na **rysunku 9** zaznaczono je czerwonymi strzałkami (temat statycznej analizy czasowej został dokładnie omówiony w 11 odcinku kursu, opublikowanym w EP 09/2023).

Okazuje się, że największa częstotliwość zegara, jakiej możemy użyć, to 62,131 MHz. Nie jest to mało, ale mogłoby być więcej. Aby ustalić, co jest wąskim gardłem w naszym projekcie, musimy wybrać menu **Tools**, a następnie **Timing Analysis View**. Pozycję **Worst case paths** (lewa górna część okna) zmieniamy z 10 na 200, aby program pokazał więcej przeanalizowanych ścieżek. Z okienka poniżej wybieramy pozycję **FREQUENCY NET "Clock" 25.000000 MHz – setup**.

W okienku po prawej, górnej stronie pokazały się najdłuższe ścieżki. W uproszczeniu: program obliczył czas propagacji elementów kombinacyjnych. Jest to czas, jaki mija od ustalenia się stanu wyjścia przerzutnika D nadającego (source) do ustalenia sygnału na wejściu przerzutnika D odbierającego (destination) – pomiędzy nimi znajdują się różne bramki, multipleksery, sumatory i inne elementy kombinacyjne. Wszystkie przerzutniki D taktowane są sygnałem zegarowym o tej samej częstotliwości, która nie może być zbyt wysoka, ponieważ wtedy przerzutnik odbierający odczytywałby dane na swoim wejściu wcześniej, niż sygnał zdążyłby do niego dotrzeć. Czas propagacji poszczególnych ścieżek kombinacyjnych jest wykazany w kolumnie **Arrival** i wyrażony w nanosekundach. W przykładzie na **rysunku 10** najwolniejsza ścieżka ma czas propagacji równy 16,095 ns – jeżeli obliczymy odwrotność tej liczby, to dostaniemy maksymalną częstotliwość zegara, czyli 62,131 MHz.

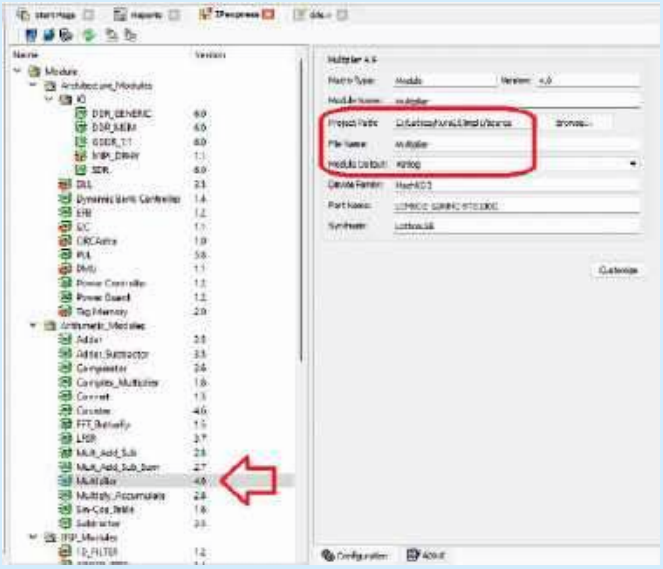
Narzędzie do statycznej analizy czasowej niestety nie wskaże nam fragmentu kodu, który trzeba poprawić. Jednak w tym przypadku jest to dość łatwe. Wystarczy tylko przewinąć listę ścieżek, by



Rysunek 10. Statyczna analiza czasowa

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

eprasa.pl 0914c66f57



Rysunek 11. Wybór kreatora modułu w IP Express

stwierdzić, że wszystkie bez wyjątku wychodzą z pamięci ROM wewnątrz instancji **DDS_inst** i wszystkie idą do rejestru **Temp**, znajdującego się również wewnątrz **DDS_inst**. Trzeba teraz prześledzić kod modułu DDS, pokazany na listingu 1. Winną okazuje się operacja mnożenia (linia 8). Dane z wyjścia pamięci ROM są mnożone przez dane na wejściu **Amplitude_i**, a następnie wynik zapisywany jest do rejestru Temp. Operacja mnożenia, wykonywana w jednym takcie zegarowym, wymaga dość rozbudowanej gmatwaniny różnych sumatorów i multiplekserów, co w rezultacie prowadzi do relatywnie długiego czasu propagacji, a to w rezultacie powoduje, że częstotliwość sygnału zegarowego musi być odpowiednio niska.

Jak to naprawić? Często w FPGA umieszczane są bloki DSP, czyli peryferia, które można zastosować podobnie jak bloki pamięci EBR, dzielniki częstotliwości CLKDIV, generatory OSCH czy PLL. Bloki DSP potrafią bardzo szybko wykonywać operacje dodawania i mnożenia. Niestety w FPGA MachXO2 nie ma takich peryferiów.

Możemy skorzystać z dodatku IP Express, w którym firma Lattice Semiconductor udostępnia różne, bardzo dobrze zoptymalizowane moduły. Z menu **Tools** wybieramy **IP Express**, a następnie **Arithmetic Modules** i **Multiplier** (zaznaczone czerwoną strzałką na **rysunku 11**). Pozostałe pola konfigurujemy tak, jak to pokazano na rysunku 11, po czym klikamy **Customize**. Otwiera się kreator modułu mnożącego, widoczny na **rysunku 12**. Nas interesuje, by stworzyć moduł mnożący dwie zmienne 8-bitowe bez znaku.

Bardzo ciekawą funkcjonalność możemy skonfigurować za pomocą opcji **Specify the Number of Pipeline Stages**. W odcinku o statycznej analizie czasowej pisaliśmy, że jedną z metod zwiększania częstotliwości sygnału zegarowego jest podzielenie dużych bloków kombinacyjnych na mniejsze sekwencyjne i umieszczenie przerzutników D pomiędzy tymi blokami. W ten sposób wykonanie jakiejś operacji będzie trwało kilka taktów zegarowych, ale zegar może mieć wyższą częstotliwość. Ponadto do takiego układu z każdym cyklem zegarowym możemy podawać kolejne dane, a wynik ich pracy otrzymamy kilka taktów zegarowych później. Takie rozwiązanie to właśnie pipeling, czyli przetwarzanie potokowe. W przypadku mnożenia liczb 8-bitowych możemy zastosować pipelining 8-stopniowy.

Nie zapomnij zaznaczyć opcji **Import IPX to Diamond project** – bez tego program wygeneruje plik modułu, ale nie doda go do projektu. Następnie kliknij **Generate** i zamknij kreator.

Teraz musimy odrobinę zmodyfikować plik dds.v. Blok always, w którym wykonywaliśmy mnożenie, należy usunąć lub zakomentować i zastąpić go kodem znajdującym się na **listingu 8**. Moduł

```
    // Regulacja amplitudy
    wire [15:0] Temp;

    Multiplier multiplier_inst(
        .Clock(Clock),
        .ClkEn(1'b1),
        .Aclr(1'b0),
        .DataA(DataFromROM),
        .DataB(Amplitude_i),
        .Result(Temp)
    );

    // Przypisanie wyjścia
    assign Signal_o = Temp[15:8];
```

Listing 8. Instancja modułu mnożącego, wygenerowanego przez IP Express

```
FREQUENCY NET "Clock_c" 25.000000 MHz (0 errors)
            3665 items scored, 0 timing errors detected.
Report:  133.923MHz is the maximum frequency for this preference.
```

Listing 9. Fragment raportu Place & Route Trace

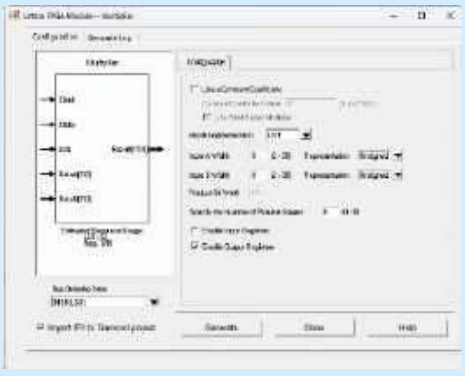
mnożarki ma dwa wejścia, których znaczenie nie jest oczywiste. Wejście **ClkEn** uaktywnia moduł (to skrót od *Clock Enable*). Stan niski powoduje uśpienie modułu, a stan wysoki zezwala na pracę. Wejście Aclr służy do zerowania przerzutników D na wszystkich stopniach pipeliningu.

Ponownie przeprowadźmy syntezę i statyczną analizę czasową. Po otwarciu raportu Place & Route Trace (**listing 9**) widzimy, że maksymalna częstotliwość sygnału zegarowego wzrosła aż do 133,923 MHz! Dzięki zastosowaniu pipeliningu uzyskaliśmy ponad dwukrotne przyspieszenie. Kosztem tego rozwiązania jest większe zapotrzebowanie na zasoby logiczne w FPGA, ale nie jest to dla nas problemem, bo i tak wykorzystujemy zaledwie 30% zasobów dostępnych w MachXO2-1200. Jeżeli ponownie otworzymy **Timing Analysis View**, to okaże się, że wąskim gardłem stał się moduł mierzący i wyświetlający częstotliwość.

Podsumowanie

W tym odcinku przygotowaliśmy generator sygnału sinusoidalnego. Nic nie stoi na przeszkodzie, by generować nim jakikolwiek inny sygnał – wystarczy zmienić plik z próbkami, który zapisany jest w pamięci ROM. W następnym odcinku poznamy, w jaki sposób działa interfejs SPI – będzie to bardzo przydatne, aby sterować układem FPGA z poziomu mikrokontrolera.

Dominik Bieczyński
leonow32@gmail.com



Rysunek 12. Konfiguracja modułu mnożarki w IP Express

Zobacz więcej:
- Repozytorium modułów używanych w kursie: https://github.com/leonow32/verilog-fpga
- Projekt w programie Diamond: https://ep.com.pl/files/bto/13694-kurs25.zip
- Film prezentujący działanie układu: https://youtu.be/2HSDtUnhSiw

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

eprasa.pl 0914c66f57

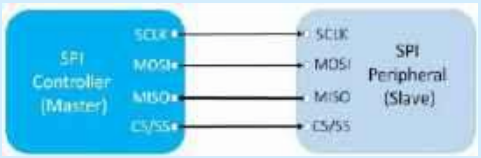
Programowanie modułów ESP32 w środowisku ESP-IDF (5)

Interfejs SPI

Moduły ESP32 wyposażone zostały w kilka różnych rodzajów interfejsów szeregowych do wymiany danych. Jednym z nich jest SPI. Ten szybki blok komunikacyjny pozwala na transmisję danych do/z takich układów jak pamięci, przetworniki czy moduły wykonawcze, za pośrednictwem 4-przewodowej magistrali.

Przypomnienie podstawowych informacji o SPI

SPI to skrót od Serial Peripheral Interface. Do magistrali dołączane są równolegle układy z interfejsem SPI, z których jeden zawsze pełni funkcję nadrzędną (master) a pozostałe – podrzędną (slave). Magistrala składa się z czterech linii. Linią MOSI przesyłane są szeregowo dane od mastera do slave'a, a linią MISO – od slave'a do mastera. Na linię SCL podawane są impulsy zegara, który synchronizuje transmisję danych. Linia Slave Select (SS) służy do wybierania aktywnego urządzenia podrzędnego (slave). Połączenia pomiędzy urządzeniem nadrzędnym i podrzędnym oraz kierunki przepływu sygnałów pokazane zostały na **rysunku 1**. Przesył danych zawsze inicjuje master, wystawiając na linii SCL impulsy zegara i wybierając poziomem napięcia na wyprowadzeniu SS odpowiednie urządzenie podrzędne. Po zakończeniu przesyłania wszystkich bitów transmisji master dezaktywuje linię SS. Może potem przeprowadzić nowy cykl wymiany danych z tym samym urządzeniem lub aktywować inną linię SS, jeżeli do magistrali podłączone są jeszcze inne slave'y.



Rysunek 1.

Moduły ESP32 mają 4 niezależne sterowniki SPI, przy czym dwa pierwsze (SPI0 i SPI1) używane są przez system do dostępu do wewnętrznej pamięci podręcznej FLASH i nie powinny być wykorzystywane przez oprogramowanie użytkownika. Natomiast dwa pozostałe sterowniki HSPI (SPI2) i VSPI (SPI3) mogą być używane i konfigurowane do pracy w trybie nadrzędnym (master) lub podrzędnym (slave). Stabilna szybkość transmisji sięga 10 MB/s.

Interfejsy API sterowników SPI

ESP-IDF dostarcza biblioteki, które sterują urządzeniami peryferyjnymi SPI modułu ESP32. W przypadku trybu slave jest to biblioteka driver/spi_slave.h, której najistotniejsze procedury to:

`spi_slave_initialize()` – inicjalizcja sterownika SPI jako urządzenia podrzędnego. Funkcja ma cztery parametry:

- `host` – wybór bloku SPI; parametr może przyjąć wartość `SPI2_HOST` lub `SPI3_HOST`,
- `bus_config` – wskaźnik na strukturę `spi_bus_config_t` która służy między innymi do przypisania funkcji linii magistrali SPI do portów GPIO,
- `slave_config` – wskaźnik na strukturę `spi_slave_interface_config_t`, zawierającą szczegóły interfejsu podrzędnego,
- `dma_chan` – wybór kanału DMA; dopuszczalne wartości to `SPI_DMA_DISABLED` i `SPI_DMA_CH_AUTO`.

`spi_slave_transmit()` wykonuje transakcję przez urządzenie podrzędne. Funkcja ma trzy parametry:



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

- `host` – numer sterownika SPI,
- `trans_desc` – wskaźnik na zmienną typu `spi_slave_transaction_t`, która zawiera opis wykonywanej transakcji, między innymi rozmiar danych (liczbę bitów) i wskaźniki na bufory, odbiorczy i nadawczy,
- `ticks_to_wait` – limit czasu oczekiwania na zakończenie transakcji.

Do obsługi trybu master przeznaczona jest biblioteka driver/spi_master.h, której najistotniejsze procedury to:

`spi_bus_initialize()` inicjalizacja sterownika w trybie master. Funkcja ma trzy parametry:

- `host_id` – parametr może przyjąć wartość `SPI2_HOST` lub `SPI3_HOST`,
- `bus_config` – wskaźnik na strukturę typu `spi_bus_config_t`. Zmienne struktury konfigurują wyprowadzenia GPIO jako line MISO, MOSI, CLK. Przypisanie wartości `-1` oznacza, że dana linia magistrali nie będzie używana. Zmienna `max_transfer_sz` określa maksymalny rozmiar transmisji w bajtach. Na **listingu 1** pokazano przykładową inicjalizację struktury `spi_bus_config_t`.
- `dma_chan` – jest to zmienna wskazująca, który kanał DMA ma być używany podczas transmisji. DMA (Direct Memory Access) to mechanizm umożliwiający instancji SPI bezpośredni dostęp do pamięci RAM jako bufora transferu. Można wybrać pomiędzy `SPI_DMA_DISABLED`, `SPI_DMA_CH1`, `SPI_DMA_CH2`, `SPI_DMA_CH_AUTO`.

`spi_bus_add_device()` – rejestracja urządzenia podrzędnego. Funkcja ma 3 parametry:

- `host_id` – taka sama wartość, jaką podano w `spi_bus_initialize()`,
- `dev_config` – wskaźnik na stałą strukturę typu spi_`device_interface_config_t`. Struktura podaje informacje o urządzeniu podrzędnym, takie jak tryb SPI, w którym pracuje, prędkość zegara urządzenia podrzędnego, numer portu GPIO, który ma być wykorzystywany do sterowania wyprowadzeniem SS urządzenia podrzędnego itd. Na **listingu 2** pokazano przykładową inicjalizację struktury `spi_device_interface_config_t`.

```
spi_bus_config_t buscfg={
  .miso_io_num = -1,
  .mosi_io_num = 32,
  .sclk_io_num = 33,
  .quadwp_io_num = -1,
  .quadhd_io_num = -1,
  .max_transfer_sz = 32,
};
```

Listing 1.

```
spi_device_interface_config_t devcfg={
  .clock_speed_hz = 1000000, // 1 MHz
  .mode = 0,                 //SPI mode 0
  .spics_io_num = 25,        // CS Pin
  .queue_size = 1,
  .flags = SPI_DEVICE_HALFDUPLEX,
  .pre_cb = NULL,
  .post_cb = NULL,
};
```

Listing 2.

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

eprasa.pl 0914c66f57

- handle – wskaźnik do zmiennej typu spi_device_handle_t. Po wywołaniu spi_bus_add_device zwrócony zostanie uchwyt pozwalający użyć zmiennej do odwołania się do bieżącego urządzenia podrzędnego.

spi_device_polling_transmit() – przesyłanie danych do urządzenia podrzędnego SPI metodą odpytywania (pollingu). Funkcja ma 2 parametry:

- handle – wartość typu spi_device_handle_t, odnosząca się do urządzenia podrzędnego i uzyskana po wcześniejszym wywołaniu funkcji spi_bus_add_device(),
- trans_desc – wskaźnik do zmiennej typu spi_transaction_t zawierającej parametry danych do przesłania. **Listing 3** to przykład wpisu do struktury spi_transaction_t, ustawianej przed wysłaniem do urządzenia podrzędnego 2 bajtów danych.

W przypadku programów wielowątkowych procedura spi_device_polling_transmit() nie jest bezpieczna i może prowadzić do zakłócenia transmisji SPI. Korzystając z trybu odpytywania, lepiej w takim przypadku posłużyć się procedurami spi_device_polling_start() i spi_device_polling_end().

```
uint8_t data[2] = { 0x01, 0x02 };
spi_transaction_t t = {
 .tx_buffer = data,
 .length = 2 * 8
};
```

Listing 3.

```
#include <stdio.h>
#include „esp_log.h”
#include „freertos/FreeRTOS.h”
#include „freertos/task.h”
#include „driver/spi_master.h”

#define CLK_PIN     33
#define MOSI_PIN    32
#define CS_PIN      25

#define DECODE_MODE_REG     0x09
#define INTENSITY_REG       0x0A
#define SCAN_LIMIT_REG      0x0B
#define SHUTDOWN_REG        0x0C
#define DISPLAY_TEST_REG    0x0F

spi_device_handle_t spi2;
```

Listing 4.

Przykład programu transmisji SPI do urządzenia podrzędnego

W katalogach przykładów firmowych dostępnych w ramach środowiska IDF:

esp-idf/esp-idf-v4.4/examples/peripherals/spi_master

esp-idf/esp-idf-v4.4/examples/peripherals/spi_slave

znaleźć można przykłady oprogramowania korzystającego z bibliotek sterowników SPI pracujących zarówno w trybie nadrzędnym, jak i podrzędnym. Jest tam m.in. przykład komunikacji pomiędzy pamięcią EEPROM a modułem ESP32 czy też sterowania wyświetlaczem graficznym LCD wyposażonym w interfejs SPI. Nie zabrakło także klasycznego przykładu komunikacji dwóch modułów ESP32 poprzez magistralę SPI. Niestety, są to jednak przykłady rozbudowane i wymagające sporej uwagi do zrozumienia ich działania.

Dlatego też jako przykład transmisji z modułu ESP32 do urządzenia podrzędnego wybrałem kod znaleziony w Internecie [1]. Jest

```
static void spi_init() {
    esp_err_t ret;

    spi_bus_config_t buscfg={
        .miso_io_num = -1,
        .mosi_io_num = MOSI_PIN,
        .sclk_io_num = CLK_PIN,
        .quadwp_io_num = -1,
        .quadhd_io_num = -1,
        .max_transfer_sz = 32,
    };

    ret = spi_bus_initialize(SPI2_HOST, &buscfg, SPI_DMA_CH_AUTO);
    ESP_ERROR_CHECK(ret);

    spi_device_interface_config_t devcfg={
        .clock_speed_hz = 1000000,                  // 1 MHz
        .mode = 0,                                  //SPI mode 0
        .spics_io_num = CS_PIN,
        .queue_size = 1,
        .flags = SPI_DEVICE_HALFDUPLEX,
        .pre_cb = NULL,
        .post_cb = NULL,
    };

    ESP_ERROR_CHECK(spi_bus_add_device(SPI2_HOST, &devcfg, &spi2));
};
```

Listing 5.

```
static void write_reg(uint8_t reg, uint8_t value) {
    uint8_t tx_data[2] = { reg, value };

    spi_transaction_t t = {
        .tx_buffer = tx_data,
        .length = 2 * 8
    };

    ESP_ERROR_CHECK(spi_device_polling_transmit(spi2, &t));
}

static void set_row(uint8_t row_index) {
  write_reg(row_index + 1, 0xFF);
}

static void set_col(uint8_t col_index) {
  for (int i = 0; i < 8; i++) {
    write_reg(i + 1, 0x01 << col_index);
  }
}

static void clear(void) {
  for (int i = 0; i < 8; i++) {
    write_reg(i + 1, 0x00);
  }
}

static void max7219_init() {
    write_reg(DISPLAY_TEST_REG, 0);
    write_reg(SCAN_LIMIT_REG, 7);
    write_reg(DECODE_MODE_REG, 0);
    write_reg(SHUTDOWN_REG, 1);
    clear();
}
```

Listing 6.

```
void app_main(void)
{
    spi_init();
    max7219_init();

    while (1) {
        for (int i = 0; i < 8; i++) {
            clear();
            set_row(i);
            vTaskDelay(1000/portTICK_PERIOD_MS);
        }

        for (int i = 0; i < 8; i++) {
            clear();
            set_col(i);
            vTaskDelay(1000/portTICK_PERIOD_MS);
        }
    }
}
```

Listing 7.

to proste oprogramowanie do komunikacji z układem MAX7219, użytym do sterowania matrycą diod LED 8×8. **Listing 4** zawiera pliki nagłówkowe wszystkich niezbędnych bibliotek użytych w omawianym przykładzie. Oprócz tego zdefiniowane są porty GPIO używane do współpracy z magistralą SPI (CS_PIN to port sterowania linią wyboru urządzenia podrzędnego, odpowiadający w ramach przyjętej wcześniej nomenklatury skrótowi SS). Zdefiniowano także spi2, czyli HSPI jako używany w programie sterownik sprzętowy SPI.

Listing 5 zawiera procedurę inicjalizacji sterownika w trybie master. Zwróćmy uwagę, że linia magistrali MISO nie jest inicjalizowana, ponieważ żadne dane nie będą odczytywane z urządzenia podrzędnego, czyli układu MAX7219. Szybkość zegara magistrali SPI jest ustawiona na „bezpieczną” wartość 1 MHz, dzięki czemu całość będzie działała poprawnie nawet przy połączeniach o przeciętnej jakości pod względem integralności sygnałów (np. na płytce stykowej).

Listing 6 zawiera procedury związane z obsługą układu MAX7219. Za pośrednictwem funkcji write_reg wysyłane są do rejestrów MAX7219 dane sterujące. Do tego celu używamy procedury transmisji do urządzenia podrzędnego spi_device_polling_transmit, przesyłającej magistralą SPI bajt adresu rejestru i bajt danych. Pozostałe funkcje zawarte na listingu 6 związane są już stricte ze sterowaniem MAX7219.

Ostatni **listing 7** zawiera główną procedurę main, odpowiedzialną za inicjalizację sterownika SPI i układu MAX7219, a następnie – w nieskończonej pętli – odświeżającą stan matrycy LED.

Ryszard Szymaniak, EP

[1] https://embeddedexplorer.com/esp32-spi-master/

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

eprasa.pl 0914c66f57

koktajl niusów



Utrzymanie ciągłości działania stacji bazowej T-Mobile w Brzegu – relacja powodziowa

W czasie niedawnej, wrześniowej powodzi znajdująca się w Brzegu stacja bazowa firmy T-Mobile przeszła na bateryjne podtrzymanie zasilania. Za pomocą tego rodzaju źródła energii z łatwością można zapewnić niezakłóconą pracę stacji bazowej (BTS) przez kilka godzin – w zależności od obsługiwanych technologii i liczby połączonych urządzeń. Jednak z całą pewnością jest to zdecydowanie za mało w tak ekstremalnej sytuacji jak powódź – a przecież niezawodna łączność bezprzewodowa musi być zapewniona i szanujący się operatorzy sieci telekomunikacyjnych – w tym T-Mobile – wiedzą o tym doskonale. W celu wydłużenia czasu pracy na baterii przez jak najdłuższy czas podjęta została trudna decyzja o wyłączeniu emisji sygnału 4G i 5G w należącej do T-Mobile stacji bazowej w Brzegu. Za sprawą komunikacji 2G zagwarantowany został dostęp do połączeń głosowych, żeby móc w szczególności korzystać z numeru alarmowego 112, co jest nieodzowne w sytuacji zagrożenia. Natychmiast po otrzymaniu informacji o przejściu stacji bazowej na bateryjne podtrzymanie zasilania w teren wyruszyła ekipa techników, wyposażona w agregat prądotwórczy w celu zabezpieczenia pracy stacji. Po dotarciu na miejsce okazało się, że wysoki poziom wody skutecznie blokował dojazd do stacji, jak również nie pozwolił na przeniesienie agregatu prądotwórczego w rękach techników. W tej sytuacji konieczne stało się skorzystanie z pontonu, który zdołał unieść agregat. I choć ostatecznie udało się go dowieźć i uruchomić, to jednak już w ciągu pierwszej doby trzeba było go podnieść przynajmniej dwukrotnie, by uniknąć zalania. Dowieziony na miejsce agregat postawiono odpowiednio wysoko na rampie, a niedługo potem dostawiono do niego drugi agregat – zapasowy, na wypadek gdyby pierwszy uległ awarii.

https://tiny.pl/ddvkd_rg

PoE12-3PD firmy Zyxel Networks – prosty w obsłudze przedłużacz PoE

Zarządzany za pośrednictwem chmury przedłużacz PoE12-3PD rozszerza elastyczność sieci zarówno w zastosowaniach wewnętrznych, jak i zewnętrznych. Za jego sprawą możliwe jest zapewnienie rozszerzonej łączności sieciowej – szczególnie na długich dystansach, gdzie nie występuje dostateczna liczba gniazdek elektrycznych. Przedłużacz PoE12-3PD z łatwością zwiększa zasięg każdej sieci, przesyłając wszystkie dane i zasilanie do urządzeń z nią związanych. Dzięki wykorzystaniu 3 wydajnych portów PoE+, PoE12-3PD gwarantuje optymalną obsługę m.in. kamer IP czy



sensorów mocowanych na zewnątrz budynków lub w trudno dostępnych miejscach. Każdemu urządzeniu końcowemu przydzielana jest właściwa moc, przy czym sumaryczny budżet mocy wynosi 45 W. W połączeniu z solidną obudową o stopniu ochrony IP55, przedłużacz skutecznie zwiększa niezawodność infrastruktury, chroniąc przed występowaniem nieplanowanych, trwających zbyt długo przestojów w pracy urządzeń sieciowych. Sprzęt umożliwia podłączanie wielu klientów PoE, szczególnie w środowiskach przemysłowych. Zakres temperatur pracy tego ekonomicznego i stabilnego przedłużacza wynosi –20...+50°C. Wbudowana ochrona przeciwprzepięciowa 6 kV, kabel uziemiający oraz funkcja ciągłego zasilania (nawet podczas aktualizacji oprogramowania układowego podłączonych do PoE12-3PD urządzeń) dodatkowo zwiększają niezawodność opisywanego rozwiązania.

https://tiny.pl/c3mmy8s7



Rozszerzona rzeczywistość serwisu w wykonaniu ABB

Firma ABB dysponuje nowym rozwiązaniem o nazwie RAISE (ang. Remote Assistance for Electrical System), które za jednym kliknięciem umożliwia kontakt z ekspertami, będącymi w stanie zapewnić wsparcie poprzez połączenie audio i wideo. Mówisz wyłącznie w języku polskim? System potrafi przetłumaczyć rozmowę na ponad 60 języków – a wszystko to w ramach jednych i tych samych gogli AR. System RAISE stanowi nowoczesne rozwiązanie, które oprócz gogli AR korzysta też z kamer i infrastruktury łączeniowej, lecz to człowiek gra w tym systemie przysłowiowe pierwsze skrzypce. Za sprawą dostępnej w goglach kamery od odbiorcy transmitowany jest obraz tego, co ma przed sobą serwisant, mogący znajdować się nawet tysiące kilometrów od eksperta. Z transmitowanego obrazu

eprasa.pl 0914c66f57

korzystają specjaliści, którzy mogą np. wskazać serwisantowi elementy naprawianego urządzenia wymagające wymiany. Połączenie głosowe zapewnia natomiast serwisantowi wolne ręce przez cały czas użytkowania systemu, co obydwu stronom daje dużą oszczędność czasu. Zdalny asystent oznacza także zwiększenie kompetencji i nowe spojrzenie na kwestie bezpieczeństwa, co – przy szybko zmieniającej się technologii – ma nieocenione znaczenie, biorąc pod uwagę fakt, że niektóre firmy miewają problemy z budową kompetentnych, wszechstronnych zespołów serwisowych, a zdalni asystenci i wykorzystanie rozszerzonej rzeczywistości mogą faktycznie pomóc w przeniesieniu akcji naprawczych czy konserwacyjnych na nowy poziom.

https://tiny.pl/f_y6kg6p



Przełączniki wciskane ONPOW – niezawodne rozwiązania dla potrzeb motoryzacji i przemysłu

Produkowane przez ONPOW przełączniki wciskane są szeroko stosowane w przemyśle motoryzacyjnym ze względu na swoją dużą niezawodność i trwałość. Każdy z tych elementów dobrze znosi trudne warunki pracy dzięki wykonaniu z wodoodpornych materiałów najwyższej jakości. Jedną z istotnych cech przełączników wciskanych ONPOW jest możliwość ich personalizacji i dostosowywania do potrzeb użytkownika. Warto tutaj wspomnieć chociażby o symbolach, które są grawerowane na przełącznikach i w razie potrzeby można je podświetlić w ciemności, co zapewnia skuteczną identyfikację nawet w całkowitej ciemności. Dobrym przykładem może być symbol świateł drogowych, z reguły aktywowanych właśnie podczas jazdy w nocy. Przełączniki wciskane znajdują zastosowania nie tylko w branży motoryzacyjnej, ale także w automatyce przemysłowej czy aparaturze medycznej.

http://pl.onpowbutton.com/news/3674/



Rekordowo małe zużycie paliwa Toyoty Prius trafiło do Księgi Rekordów Guinnessa

Toyota Prius 5. generacji imponuje wydajnością układu hybrydowego. W USA auto przejechało trasę z Los Angeles do Nowego Jorku, uzyskując rekordowo małe średnie zużycie paliwa rzędu 2,52 l/100 km, co zdecydowanie przebija dotychczasowy najlepszy rezultat. Wynik ten uhonorowano wpisem do Księgi Rekordów Guinnessa. Kierowcą „rekordowej" Toyoty Prius był Wayne Gerdes, specjalizujący się w długodystansowych wyprawach i od lat wykazujący z łatwością, że do tego typu eskapad wystarcza jazda „na rezerwie" (co z pewnością jednak wcale nie musi być dobre dla silnika). Jego podróż miała swój początek pod Los Angeles City Hall, a wspomniany na początku samochód pokonał łączny dystans 5168,7 km, zanim dojechał do celu pod New York City Hall. Była to niezwykle wyczerpująca jazda – szczególnie, że trzeba było mierzyć się ze zróżnicowanymi warunkami pogodowymi, m.in. uporać się z ponad 40-stopniowymi upałami na pustyni Mojave czy też z silnymi podmuchami wiatru nad Zatoką Meksykańską (nie wspominając o wspinaczce na wysokość niemal 2133 m, która od niejednego silnika wymaga niezwykle wytężonej pracy). Cała wyprawa zajęła Gerdesowi w sumie tydzień. Ten wyczyn został z łatwością wpisany do Księgi Rekordów Guinnesa, tym bardziej że pobił on wcześniejszy rekord zużycia paliwa o ok. 0,6 l/100 km. Jest to także wynik znacznie lepszy nawet od tzw. homologowanego średniego zużycia paliwa, które w przypadku Toyoty Prius wynosi 4,1 l/100 km.

https://tiny.pl/kms3ttzp



990 EVO Plus – najszybszy w swojej klasie dysk SSD firmy Samsung z interfejsem PCIe 4.0

Dzięki interfejsowi PCIe 4.0 i najnowszej technologii NAND, dysk 990 EVO Plus stanowi rozwiązanie dla użytkowników oczekujących wysokiej wydajności, idącej w parze z energooszczędnością. Zoptymalizowany pod kątem gier dysk 990 EVO Plus sprawdza się doskonale m.in. w aplikacjach biznesowych czy pracy kreatywnej. Wysokiej jakości dysk 990 EVO Plus gwarantuje prędkości sekwencyjnego odczytu danych do niemal 7250 MB/s i zapisu do 6300 MB/s. Zastosowanie najnowszej, oryginalnej technologii V-NAND i kontrolera wykonanego w technologii 5 nm przekłada się na przyrost wydajności, a innowacyjna osłona termiczna – pokryta niklem – minimalizuje ryzyko przegrzania dysku. W szczególności interesujący jest wariant 990 EVO Plus o pojemności 4 TB, który cechuje się prędkością losowego odczytu równą 1,05 miliona operacji wejścia/wyjścia w czasie sekundy (IOPS), a także 1,4 miliona operacji IOPS w trybie zapisu. Jest to wydajność niemal dorównująca dyskom SSD z pamięcią podręczną DRAM, choć 990 EVO Plus jej nie zawiera. Nowe rozwiązanie marki Samsung nadaje się doskonale do zadań powiązanych z grami czy sztuczną inteligencją, wymagających wyśrubowanych parametrów użytkowych.

https://tiny.pl/ypdw5jpd



Od elektroodpadów do katalizatorów przemysłowych

Mowa tutaj o autorskim projekcie Politechniki Warszawskiej (PW), który polegać ma przede wszystkim na przygotowaniu nowej, zielonej technologii katalizatora do zastosowań m.in. w zrównoważonej

eprasa.pl 0914c66f57

produkcji nawozów mineralnych lub przy opłacalnej energetycznie, efektywnej syntezie amoniaku jako ekonomicznego nośnika wodoru. Opracowane rozwiązanie ma wspierać wysiłki na rzecz zrównoważonej gospodarki zeroemisyjnej i propagowania energetyki rozproszonej na obszarze całego świata. Rozpoczęty na Politechnice Warszawskiej (PW) projekt zakłada m.in. użycie opatentowanej, oryginalnej metody elektrochemicznego rozkładu odpadowych magnesów neodymowych NdFeB na pojedyncze pierwiastki – w celu ich ponownego wykorzystania m.in. do produkcji polimerów bądź komponentów farmaceutycznych. Planowane jest przede wszystkim użycie żelaza i neodymu. W ten sposób zapewniana jest „zielona wartość dodana", a skład opracowywanych katalizatorów i metody syntezy będą dobierane tak, ażeby uzyskać założone przez badaczy parametry. Na dalszych etapach projektu podjęta zostanie współpraca z firmami przemysłowymi w celu sprawdzenia nowych, dopiero co opracowanych w projekcie rozwiązań i ustalenia, jak radzą sobie one w rzeczywistych warunkach. Wszystko to ma służyć optymalnej eliminacji elektroodpadów, których ilość wzrasta z roku na rok.

https://tiny.pl/t_bv0ygr



Usprawniona praca mikroinstalacji za sprawą nowatorskiego systemu regulatorów napięcia, na który zdecydowała się Energa

Podjęte przez operatora Energa działania doprowadziły do silnego zmniejszenia liczby wyłączeń mikroinstalacji. Chodzi tu w szczególności o oryginalny system regulatorów napięcia, który w chwili obecnej składa się z ponad 30 tego typu urządzeń. W dalszym kroku planowany jest montaż następnych regulatorów napięcia – tam, gdzie liczba źródeł fotowoltaicznych jest największa. Pierwszy z przytoczonych na wstępie regulatorów został ulokowany – w ramach pilotażu – w miejscowości Chrusty (woj. wielkopolskie) w 2022 roku, po czym nastąpiło jego przeniesienie, w celu prowadzenia dalszych testów, do miejscowości Białobrzegi. Zarówno w Chrustach, jak i w Białobrzegach parametry pracy sieci uległy zdecydowanej poprawie, a liczba wyłączeń mikroinstalacji zmalała. Praktycznie wyeliminowane zostały wyłączenia z przyczyn typowo napięciowych, co skłoniło operatora Energa do montażu wielu kolejnych regulatorów napięcia – szczególnie na obszarach z dużą liczbą mikroinstalacji. Aktualnie w sieci operatora Energa pracuje 30 tego rodzaju urządzeń. Każde z nich ma za zadanie dokonywać automatycznej regulacji i symetryzacji napięcia w sieci energetycznej, w dodatku niskiego napięcia (NN), zgodnie z przyjętym algorytmem. Urządzenia zapewniają stosunkowo prosty montaż na słupie energetycznym, a na wolnym powietrzu mogą pracować w zakresie temperatur otoczenia od –20 do +40°C.

https://tiny.pl/3qg6dwcp

Gdzie Lublin, a gdzie Panama, czyli o dziwnym przypadku sygnalizatora radiowego

Odkryta zupełnym przypadkiem informacja alarmowa w Lublinie była wysyłana przez sygnalizator radiowy, zwany radiopławą, który określa tzw. pozycję awaryjną ERIPB (ang. Emergency



Position Indicating Radio Beacon). Tego typu sygnalizatory stanowią obowiązkowe wyposażenie wybranych jednostek pływających i służą do znajdowania miejsc katastrofy oraz lokalizowania rozbitków na morzu. Natychmiast po uzyskaniu informacji o sygnale alarmowym specjaliści Delegatury UKE w Lublinie zabrali ze sobą sprzęt i wyruszyli w teren. Z łatwością ustalili – na podstawie zyskanych z sygnału danych identyfikacyjnych, że źródłem jego emisji jest radiopława ze statku, który dopływał właśnie do portu w… Panamie. Namierzone urządzenie znajdowało się na terenie jednej z podlubelskich sortowni elektrośmieci. Jakież zaskoczenie przeżył przedstawiciel sortowni po tym, jak wskazano halę, a następnie kontener i miejsce w kontenerze, w którym miała być radiopława. Po wyjęciu urządzenia z kontenera w błyskawiczny sposób dokonano jego dezaktywacji. Oczywiście nikt przy tym nie ucierpiał, a z ustaleń Delegatury UKE w Lublinie wynika, że radiopława być może – na co nie ma jednak pełnych, jednoznacznych dowodów – została uruchomiona przypadkiem podczas procesu utylizacji, co z pewnością nigdy nie miałoby miejsca, gdyby pomyślano wcześniej o usunięciu z niej baterii. A przecież można było to zrobić, zwłaszcza że używanie urządzeń radiowych nadawczych albo nadawczo-odbiorczych może wymagać odpowiednich uprawnień lub zgód na stosowanie, a sama możliwość zakupu takich urządzeń nie jest jednoznaczna z możliwością ich używania – i to w dodatku bez ograniczeń. Sprawca zamieszania najwyraźniej nie wziął sobie do serca odpowiedzialności karnej za tego typu występek.

https://tiny.pl/2hvwfdwg



Imagen 3 – najnowszy model AI firmy Google do twórczego generowania obrazów

Wystarczy zaledwie kilka słów, aby przy użyciu Imagen 3 powstały wyjątkowe obrazy. Można poprosić nowy model AI o utworzenie obrazów w różnych stylach – w tym fotorealistycznego krajobrazu, teksturowanego obrazu olejnego albo fantazyjnej sceny w stylu animacji plastelinowej. Za sprawą wbudowanych w model „środków ochronnych" nie ma żadnej możliwości, aby kreować fotorealistyczne twarze znanych osób, obrazy przedstawiające osoby małoletnie i sceny, które powszechnie uznaje się za brutalne – szczególnie na tle seksualnym i pornograficznym. Wszystkie generowane obrazy cechuje znakowanie wodne, tworzone przez SynthID – narzędzie napisane przez Google. Jeżeli pierwszy obraz, który powstał, nie spełnia oczekiwań, wystarczyć napisać, co trzeba zmienić, żeby model Imagen 3 uwzględnił to już na nowym obrazie. W różnych testach porównawczych Imagen 3 wypada bardzo korzystnie na tle konkurencyjnych narzędzi generatywnej AI. Oczywiście nie każdy obraz utworzony przez Imagen 3 będzie doskonały – stąd też model jest nieustannie i konsekwentnie rozwijany. Jednak i tak już teraz – zdaniem specjalistów z Google – zapewnia doskonałe wrażenia wizualne.

https://tiny.pl/2s5ykx7w

Jakub Tyburski
jakub.tyburski@elportal.pl

eprasa.pl 0914c66f57

Hity następnego numeru • „Elektronika Praktyczna” 12/2024

Temat numeru: elementy indukcyjne



Zróżnicowanie funkcjonalne i konstrukcyjne współczesnych elementów indukcyjnych jest nieporównanie większe, niż w przypadku innych rodzajów elementów pasywnych. Choć integracja niemal całych torów radiowych w ramach pojedynczych układów scalonych doprowadziła do daleko idącego ograniczenia liczby dławików w urządzeniach bezprzewodowych, to elementy indukcyjne były, są i będą stosowane w znakomitej większości urządzeń. Dopasowanie impedancji w obwodach antenowych, filtracja zakłóceń RFI, przetwarzanie energii w konwerterach DC/DC czy też separacja galwaniczna obwodów wtórnych zasilaczy sieciowych – to tylko kilka „pierwszych z brzegu” aplikacji cewek i transformatorów. W grudniowym Temacie Numeru przyglądamy się najnowszym trendom na rynku tych niezwykle przydatnych i uniwersalnych komponentów biernych.

Elektronika w Praktyce: chemia dla elektroniki

Preparaty chemiczne odgrywają szczególną rolę w procesach produkcji i montażu urządzeń elektronicznych. W artykule przyjrzymy się różnorodnym substancjom chemicznym stosowanym zarówno w skali przemysłowej, jak i drobnych pracach warsztatowych. Omówimy m.in. nowoczesne topniki, wytrawiacze, kleje do montażu dwustronnego komponentów SMD, materiały termoprzewodzące, pokrycia konformalne i lakiery do płytek drukowanych, a także rozmaite środki do czyszczenia PCB. Przy okazji wskażemy też najważniejsze rodzaje materiałów samoprzylepnych, które wprawdzie z samą elektroniką pozornie nie mają większego połączenia, ale w rzeczywistości stanowią w wielu aplikacjach podstawowy materiał stosowany w procesie integracji produktów, zwłaszcza elektroniki ubieralnej i urządzeń mobilnych.

Elektroniczny tester refleksu

Od kilku lat można zaobserwować rosnący trend popularności gier planszowych, które urozmaicają spotkania towarzyskie. Również rozmaite gry zręcznościowe pozostają niezmiennie popularne zarówno wśród młodszych, jak i starszych. Wszystko to przez potrzebę spotykania się z innymi na żywo, bez pośrednictwa Internetu, jak i przy minimalnym jego udziale już na miejscu rozgrywki. Prezentowany układ pozwoli na świetną zabawę oraz integrację w połączeniu z trenowaniem istotnego dla nas wszystkich parametru – czasu reakcji.

CurrentProbeHSTS – sonda prądowa do oscyloskopu

Opisywany projekt to niewielki moduł umożliwiający zastosowanie przetwornika prądowego Halla HSTS016L w funkcji prostej sondy oscyloskopowej. Przetwornik ma zakres pomiarowy ±10 A i użyteczne pasmo przenoszenia powyżej 10 kHz. Układ nie ma ambicji zastąpienia koszmarnie drogich, fabrycznych sond prądowych, ale pozwala na wygodne wykonywanie technicznych pomiarów prądu, przy zachowaniu izolacji galwanicznej, prostoty pomiaru związanej z otwieraną konstrukcją przetwornika oraz – co najistotniejsze – rozsądnych kosztów, a to bardzo ważne przy konieczności prowadzenia pomiarów prądu w kilku kanałach jednocześnie.

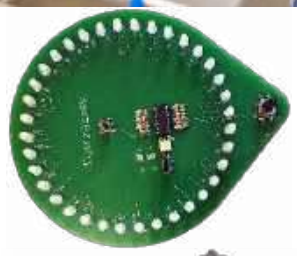
NOWY KURS: Implementacja systemu Linux na platformie STM32MP

Wszyscy doskonale znamy komputery jednopłytkowe Raspberry Pi, często używane w wielu różnych projektach. A gdyby tak skorzystać z modułu bazującego na wydajnym i nowoczesnym procesorze aplikacyjnym z rodziny STM32? Jakie nowe możliwości daje nam seria mikroprocesorów STM32MP1? W pierwszym odcinku nowego kursu przygotujemy do pracy platformę sprzętową, opartą o zestaw ewaluacyjny STM32MP157F-DK2.

Wykaz firm ogłaszających się w tym numerze „Elektroniki Praktycznej”

AKSOTRONIK.....25
BORNICO.....57
COMPUTER CONTROLS.....7, 48
EGMONT INSTRUMENTS.....52, 55
ELMAX.....41
FERYSTER.....39
HAMMOND.....5
LASTENIC LASER.....21
MICROCHIP.....17, 33, 96
NORDIC SEMICONDUCTOR.....36
PCBWAY.....11, 46
WG ELECTRONICS.....59









Miesięcznik **„Elektronika Praktyczna”** (12 numerów w roku) jest wydawany przez AVT Korporacja Sp. z o.o. we współpracy z wieloma redakcjami zagranicznymi.

Wydawnictwo:
AVT Korporacja Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
tel. 22 257 84 99, e-mail: avt@avt.pl

Wydawca:
Wiesław Marciniak

Adres redakcji:
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
e-mail: redakcja@ep.com.pl, www.ep.com.pl

Redaktor Naczelny:
Przemysław Musz

Redaktor Programowy, Przewodniczący Rady Programowej:
Piotr Zbysiński

Menedżer Magazynu:
Katarzyna Gugała, tel. 22 257 84 64

Szef Pracowni Konstrukcyjnej:
Jakub Sobański

Zespół marketingu i reklamy:
Katarzyna Gugała, Bożena Krzykawska, Grzegorz Krzykawski, Grzegorz Lalak

Stali współpracownicy:
Lucjan Bryndza, Nikodem Czechowski, Jarosław Doliński, Andrzej Gawryluk, Krzysztof Górski, Tomasz Jabłoński, Paweł Kowalczyk, Henryk Kowalski, Rafał Kozik, Michał Kurzela, Jakub Nowicki, Szymon Panecki, Adam Sobczyk, Damian Sosnowski, Ryszard Szymaniak, Adam Tatuś, Jakub Tyburski, Robert Wołgajew

Uwaga!
Kontakt z wymienionymi osobami jest możliwy via e-mail, według schematu: imię.nazwisko@ep.com.pl

DTP, okładka, redakcja strony internetowej www.ep.com.pl:
MAD Sp. z o.o.

Prenumerata w Wydawnictwie AVT
www.ulubionykiosk.pl lub tel. 22 257 84 22 (godz. 10.00–14.00)
e-mail: prenumerata@avt.pl

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

Copyright AVTKorporacja Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11

Projekty publikowane w „Elektronice Praktycznej”. mogą być wykorzystywane wyłącznie do własnych potrzeb. Korzystanie z tych projektów do innych celów, zwłaszcza do działalności zarobkowej, wymaga zgody redakcji „Elektroniki Praktycznej”. Przedruk oraz umieszczanie na stronach internetowych całości lub fragmentów publikacji zamieszczanych w „Elektronice Praktycznej”. jest dozwolone wyłącznie po uzyskaniu zgody redakcji. Redakcja nie odpowiada za treść reklam i ogłoszeń zamieszczanych w „Elektronice Praktycznej”.

eprasa.pl 0914c66f57



PIC64GX MPU

64-bitowy Quad-procesor RISC-V® z asymetrycznym przetwarzaniem wieloprocesorowym (AMP)

Przedstawiamy mikroprocesor PIC64GX (MPU) firmy Microchip, zaprojektowany tak, aby sprostać wymaganiom nowoczesnych inteligentnych aplikacji brzegowych w takich branżach jak przemysł, motoryzacja, komunikacja, IoT, lotnictwo i wojsko. Rodzina PIC64GX oferuje niezrównaną moc obliczeniową i skalowalną wydajność, umożliwiając inżynierom innowacje.

Dzięki naszemu solidnemu ekosystemowi programistycznemu MPLAB® i rozbudowanemu zestawowi bibliotek przyspieszysz procesy projektowania, debugowania i weryfikacji, znacznie skracając czas wprowadzania produktów na rynek. Odkryj moc serii PIC64GX do tworzenia wydajnych systemów AMP w czasie rzeczywistym, które za każdym razem działają bezbłędnie.

Główne cechy:

- 64-bitowy czterordzeniowy procesor RISC-V z asymetrycznym przetwarzaniem wieloprocesorowym (AMP) i deterministycznymi opóźnieniami
- Zaawansowane funkcje bezpieczeństwa, w tym zintegrowana pamięć nieulotna (NVM) do implementacji bezpiecznego rozruchu i zarządzania kluczami bezpieczeństwa
- Szeroka gama interfejsów łączności, w tym Ethernet Time Sensitive Networking (TSN), USB, PCIe®, SPI i I2C
- MIPI CSI-2®, HDMI® 2.0 i kanał wideo do aplikacji obrazowania
- Obsługa systemów operacyjnych Linux®, RTOS i komercyjnych





MICROCHIP

microchip.com/pic64gx

Nazwa i logo Microchip oraz logo Microchip są zarejestrowanymi znakami towarowymi Microchip Technology Incorporated w Stanach Zjednoczonych i innych krajach. Wszystkie inne znaki towarowe są własnością ich zarejestrowanych właścicieli. © 2024 Microchip Technology Inc. Wszelkie prawa zastrzeżone. MEC2586A-POL-10-24

eprasa.pl 0914c66f57