Wydanie elektroniczne dostępne na www.ulubionykiosk.pl

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

EP.com.pl

● Międzynarodowy magazyn elektroników konstruktorów ● kwiecień ● 4/2023 ●

Tylko Prenumeratorzy

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

inspirujące, użyteczne projekty

• Generator-wobulator DDS na zakres częstotliwości od 1 Hz do 40 MHz • Energooszczędny zegar LED • Termometr RGB • Przetwornica do zasilania lamp NIXIE • Uniwersalny balanser aktywny 4S • Ekspander portów cyfrowych z układem XRA1201 • Wyświetlacz segmentowy LCD z interfejsem I²C na bazie układu PCF8577C • Inteligentny dzwonek do drzwi • Regulowane obciążenie warsztatowe na bazie Arduino Nano

podzespoły, sprzęt, aplikacje

• Czujniki optyczne. Sensory podczerwieni • Diabeł tkwi w szczegółach – recenzja oscyloskopu Rigol DHO4404 • Subiektywnie o Embedded World 2023 • Elektronika w uprawie roślin • AdoptSMT – We keep your production running! Kompleksowe wyposażenie stanowiska pracy elektronika • Kompaktowe zestawy lutownicze

tutoriale

• Wbudowane sieci neuronowe w STM32. Autokoder • Ochrona przed ESD na stanowisku montażu manualnego • Analiza drgań w konserwacji predykcyjnej • Jak zbudować idealne stanowisko pracy dla inżyniera • Ergonomiczne stanowisko pracy dla elektronika • Cyfrowe przetwarzanie sygnałów w praktycznych zastosowaniach • Praktyczne aplikacje scalonych układów AFE. Cyfrowe front-endy I/O do zastosowań przemysłowych

kursy

• Kurs FPGA Lattice. Parametry i ćwiczenia

18,90 zł (w tym 8% VAT) • PRICE: 8 EUR
ISSN 1230-3526 Indeks 357677
9 771230 352238 04 >

PROFESJONALNE STANOWISKO PRACY

eprasa.pl e2be9d43e0

Zaprenumeruj „Elektronikę Praktyczną", a zawsze dostaniesz najnowszy numer wprost do Twojej skrzynki!

na start do 6* wydań gratis

po 5 latach nieprzerwanej prenumeraty do 12* wydań gratis

* Cena prenumeraty rocznej **na start** wynosi 207,90 zł. Przy zamówieniu prenumeraty dwuletniej za 340,20 zł oszczędność wynosi równowartość sześciu wydań „Elektroniki Praktycznej".

Przedłużasz prenumeratę? Aby otrzymać zniżkę lojalnościową, przedłuż prenumeratę po zalogowaniu się do swojego panelu na **www.ulubionykiosk.pl**, gdzie znajdziesz atrakcyjną ofertę prenumeraty, która uwzględnia przysługujące Ci zniżki za lojalność. Po 5 latach nieprzerwanej prenumeraty otrzymasz **rabat 50%** na prenumeratę dwuletnią.

Oferta dotyczy prenumeraty drukowanej.

Wszystkie opcje prenumeraty i e-prenumeraty znajdziesz na stronie

www.UlubionyKiosk.pl

prenumerata@avt.pl

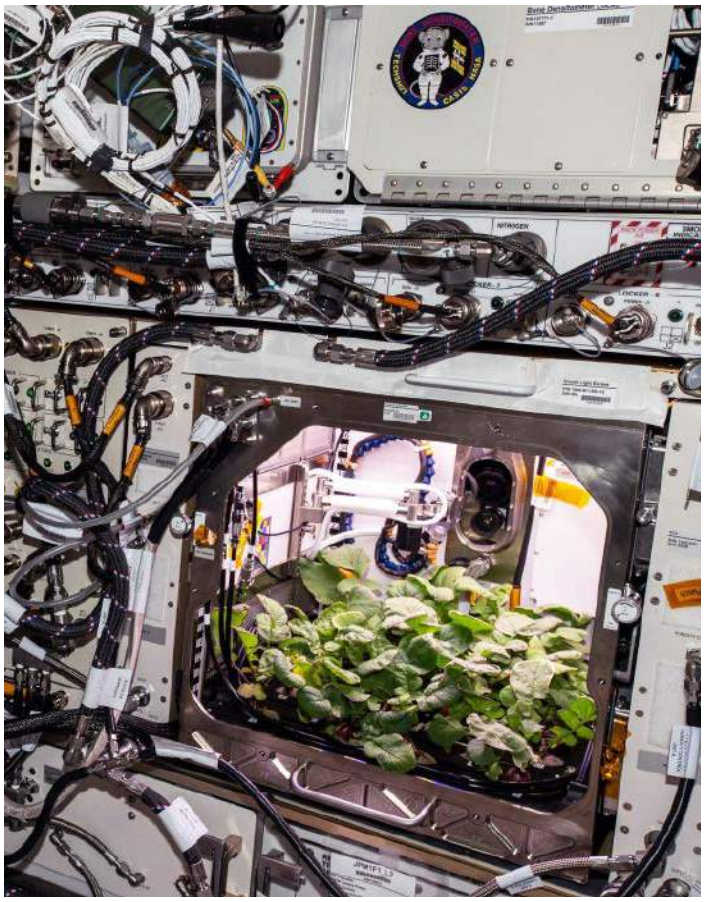
AVT-Korporacja sp. z o.o., ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa, konto 18 1050 1012 1000 0024 3173 1013

eprasa.pl e2be9d43e0

Kosmiczna technologia

Uprawa roślin w zamkniętym środowisku, bez naturalnej gleby i bez dostępu światła słonecznego, jest zagadnieniem niezwykle ważnym na Ziemi. Jednak w najbliższej przyszłości będzie to kluczowa technologia dla eksploracji przestrzeni kosmicznej.

W 2014 roku NASA rozpoczęła pierwsze eksperymenty z uprawą roślin na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej. Do specjalnej komory o nazwie Veggie włożono sześć pojemników w kształcie malutkich poduszek. Wewnątrz każdego pojemnika znajdował się odpowiedni rodzaj gliny, która zwiększała napowietrzanie gleby i pomagała we wzroście roślin, nasiona czerwonej sałaty rzymskiej oraz nawóz, którego uwalnianie można było kontrolować. Do pojemników podano po około 100 mililitrów wody, aby zainicjować wzrost roślin, a następnie oświetlano diodami LED. Po 33 dniach zebrano zdrowe rośliny sałaty z trzech pojemników. Uprawy w trzech pozostałych pojemnikach się nie powiodły – w dwóch pojemnikach rośliny zostały utracone z powodu tzw. stresu wodnego, a w jednym pojemniku rośliny nawet nie zaczęły kiełkować. Wyniki analiz próbek przesłanych na Ziemię były bardzo dobre – rośliny nadawały się do spożycia, nie były gorsze od tych, które można kupić w sklepach spożywczych. Do tej pory system Veggie pozwolił na uprawę takich roślin jak: trzy rodzaje sałat, kapusta pekińska, kapusta mizuna, czerwony jarmuż, a nawet kwiaty cynii.



Fotografia 1. Uprawa rzodkiewek w komorze Advanced Plant Habitat

Następcą Veggie jest komora Advanced Plant Habitat (APH), która również została wyposażona w oświetlenie LED i dostosowana do glinianego podłoża dla roślin. W przeciwieństwie do Veggie jest to system zamknięty i zautomatyzowany dzięki kamerom i ponad 180 czujnikom. Odpowiada za temperaturę, dystrybucję i odzysk wody, odpowiedni skład atmosfery, poziom wilgotności oraz oświetlenie w pełnym paśmie widzialnym i w podczerwieni. Pierwszy test APH przyniósł świetne wyniki – wiosną 2018 roku na stacji kosmicznej wyhodowano pszenicę karłowatą.

Następnym dużym sukcesem był eksperyment nazwany Plant Habitat-02 (PH-02), w którym wyhodowano 20 roślin rzodkiewki (**fotografia 1**). Wybrano ten gatunek, ponieważ osiąga dojrzałość w zaledwie 27 dni, a do tego jest jadalny i pożywny. W kolejnym eksperymencie – Plant Habitat-04 (PH-04) – na pokładzie Międzynarodowej Stacji Kosmicznej po raz pierwszy uprawiano papryczki chili. Papryka rosła przez ponad trzy miesiące, nim astronauci przeprowadzili zbiory w listopadzie 2021 roku. Załoga zjadła znaczną część zbiorów, a do późniejszej analizy na Ziemi zapakowano 12 papryk. Ten eksperyment jest jednym z najbardziej złożonych ze względu na długi czas kiełkowania i wzrostu.

Mimo ściśle kontrolowanego środowiska wzrostu, mikrograwitacja wpłynęła na rośliny w nieprzewidziany sposób. Komora APH miała zapylać kwiaty roślin za pomocą wentylatorów, które pulsowały podmuchami powietrza. Jednak kwiaty rosły w taki sposób, że astronauci musieli je ręcznie zapylać pędzelkiem. Mikrograwitacja jest też wyzwaniem dla podlewania. Woda w warunkach mikrograwitacji, kiedy nie może opadać ani płynąć, tworzy wodną bryłę otaczającą powierzchnię wszystkiego, do czego przylgnie. Taka „lepka" woda może udusić korzenie rośliny.

Damian Soskowski

Źródła:
https://www.nasa.gov/content/veggie-plant-growth-system-activated-on-international-space-station
https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/news/Seven-Ways-the-ISS-Helps-Study-Plant-Growth
https://www.nasa.gov/content/plant-habitat-04

eprasa.pl e2be9d43e0

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

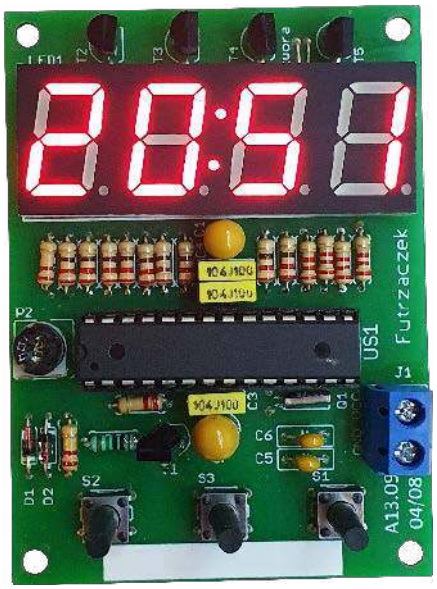
Nr 4 (363) • Kwiecień 2023

22

Nie przeocz
Nowe podzespoły ... 6
Subiektywnie o Embedded World 2023 ... 12
Dodaj do obserwowanych ... 15
Konkurs ... 21
Koktajl niusów ... 116

Projekty
Generator-wobulator DDS na zakres częstotliwości od 1 Hz do 40 MHz (1) ... 22
Energooszczędny zegar LED ... 28
Termometr RGB ... 32

28



Miniprojekty
Przetwornica do zasilania lamp NIXIE ... 39
Uniwersalny balanser aktywny 4S ... 41
Ekspander portów cyfrowych z układem XRA1201 ... 42
Wyświetlacz segmentowy LCD z interfejsem I²C na bazie układu PCF8577C ... 45

Temat numeru: Elektronika w uprawie roślin
Elektronika w uprawie roślin ... 48

Moduły w aplikacjach
Wbudowane sieci neuronowe w STM32 (4). Autokoder ... 54

Prezentacje
Analiza drgań w konserwacji predykcyjnej ... 57
Diabeł tkwi w szczegółach – recenzja oscyloskopu Rigol DHO4404 ... 60
Ochrona przed ESD na stanowisku montażu manualnego ... 70
AdoptSMT – We keep your production running!
Kompleksowe wyposażenie stanowiska pracy elektronika ... 79
Kompaktowe zestawy lutownicze ... 80
Jak zbudować idealne stanowisko pracy dla inżyniera ... 82

Elektronika w praktyce
Ergonomiczne stanowisko pracy dla elektronika ... 72

Projekty SOFT
Inteligentny dzwonek do drzwi ... 85
Regulowane obciążenie warsztatowe na bazie Arduino Nano ... 88

88

Podzespoły
Czujniki optyczne (2). Sensory podczerwieni ... 92

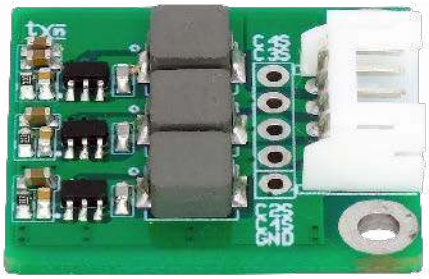
Notatnik konstruktora
Cyfrowe przetwarzanie sygnałów w praktycznych zastosowaniach (2) ... 100

Poradnik implementacji
Praktyczne aplikacje scalonych układów AFE (22).
Cyfrowe front-endy I/O do zastosowań przemysłowych ... 105

Kursy
Kurs FPGA Lattice (6). Parametry i ćwiczenia ... 112

Prenumerata ... 2
Od wydawcy ... 3
Hity następnego numeru ... 119

41



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

Szczegóły na stronie 53

eprasa.pl e2be9d43e0

pl.farnell.com/multicomp-pro

Farnell
AN AVNET COMPANY

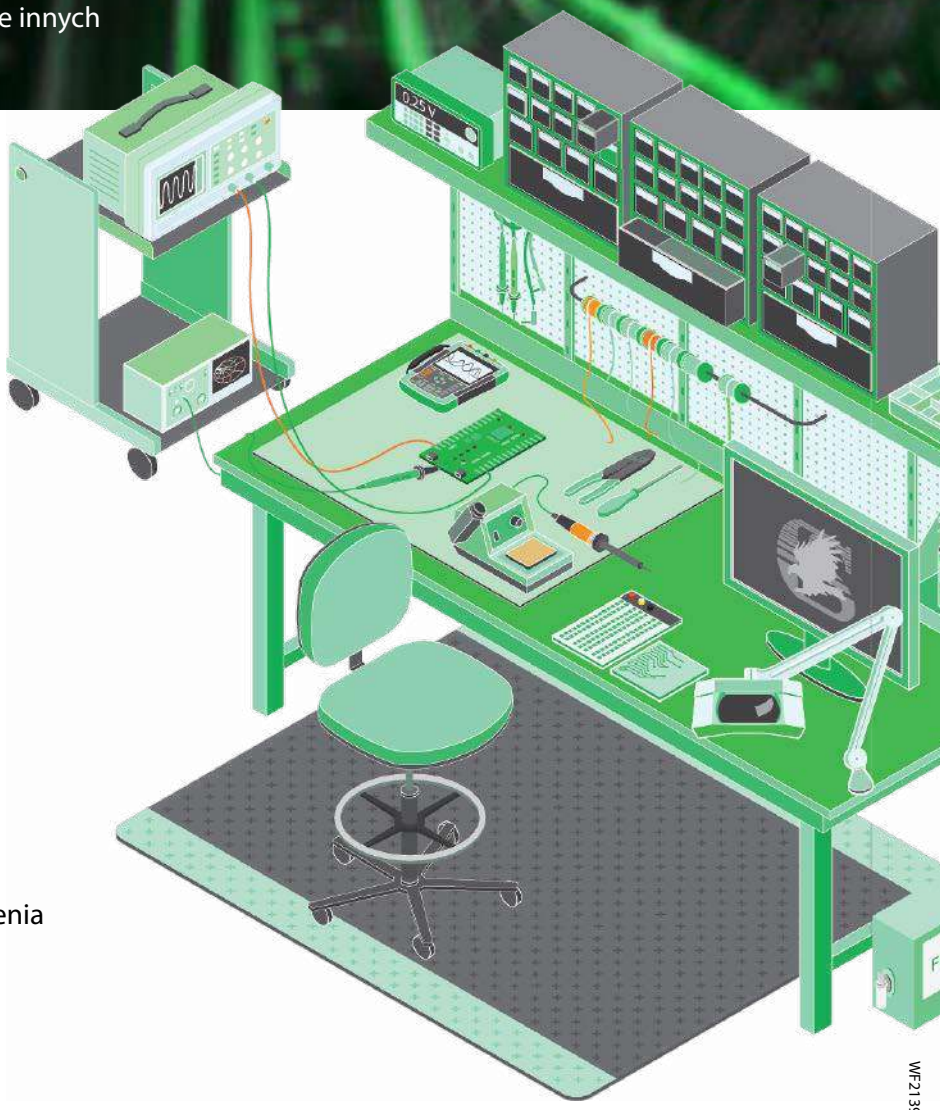
Profesjonalne stanowisko pracy Materiały i wyposażenie – w nieprawdopodobnie niskich cenach

multicomp PRO

Średnio co najmniej 30% oszczędności

Opracowane przez naszych inżynierów dla inżynierów – do wykorzystania na każdym etapie rozwoju projektu. Multicomp Pro oferuje bogatą ofertę wysokiej jakości produktów warsztatowych dla twórców, pracowników dydaktycznych i profesjonalistów. Poznaj nasz kompletny asortyment produktów w tym oscyloskopy, zasilacze stacjonarne, przewody i sondy testowe, stacje lutownicze, narzędzia, środki ochrony statycznej oraz wiele innych produktów.

- Multimetry cyfrowe
- Oscyloskopy
- Przewody i sondy pomiarowe
- Generatory sygnału
- Zasilacze
- Cyny, pasty lutownicze i akcesoria
- Kable i przewody
- Zestawy koszulek termokurczliwych
- Narzędzia ręczne i uchwyty robocze
- Przyrządy kontrolno-pomiarowe
- Zabezpieczenia antystatyczne
- Przechowywanie
- Taśmy
- Produkty do prototypowania
- Produkty chemiczne i narzędzia do czyszczenia
- Lupy i uchwyty



Więcej informacji na stronie:
pl.farnell.com/mpro-lab-supplies

WF213936O

eprasa.pl e2be9d43e0

nowe podzespoły

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

Falowodowe mnożniki częstotliwości na pasmo 26,5...110 GHz

Fairview Microwave wprowadza do oferty falowodowe mnożniki częstotliwości na pasma Ka, U, V, E i W, zrealizowane w technologii GaAs, zapewniającej małe straty konwersji. Są to elementy przeznaczone do zastosowań w komunikacji 5G i satelitarnej, aparaturze pomiarowej i radarach. Występują w 4 wersjach różniących się pasmem i rozmiarem falowodu. Są elementami aktywnymi, mogącymi pracować z napięciem zasilania od 6 do 15 VDC.

	FMFX2021	FMFX2022	FMFX2023	FMFX2024
Port wyjściowy	falowód WR-28 z kołnierzem UG-599/U	falowód WR-19 z kołnierzem UG-383/U-M	falowód WR-15 z kołnierzem UG-385/U	falowód WR-12 z kołnierzem UG-387/U
Port wejściowy	SMA female	SMA female	SMA female	SMA female
Zakres częstotliwości pracy	26,5...40 GHz	40...60 GHz	50...75 GHz	60...90 GHz
Mnożnik	2×	4×	4×	6×
Pasmo	Ka	U	V	E
Maks. moc wyjściowa	22 dBm	10 dBm	15 dBm	15 dBm
Typ. moc wejściowa	0...4 dBm	0...3 dBm	5...7 dBm	–2...–1 dBm

Mnożniki serii FMFX202x pokrywają zakres częstotliwości od 26,5 GHz do 110 GHz i pracują z maksymalną mocą wyjściową, wynoszącą od +10 dBm do +20 dBm w zależności od modelu oraz z mnożnikiem 2×, 4× lub 6×. Są zamykane w metalowych obudowach odpornych na ciężkie warunki środowiskowe, w tym na temperaturę otoczenia od –40 do +80°C, wyposażonych w gniazda wejściowe SMA i wyjścia falowodowe.

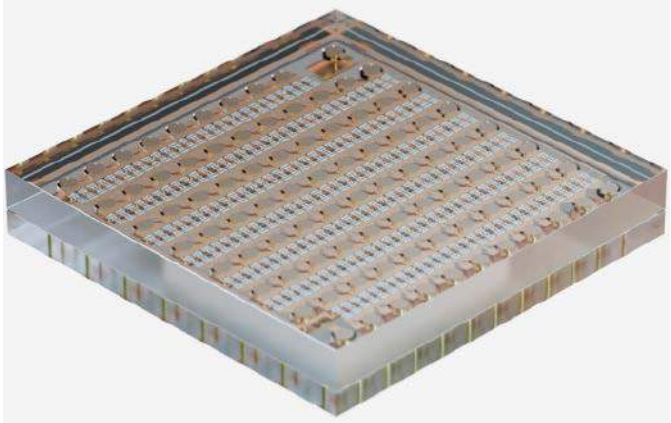
www.fairviewmicrowave.com

Wielowarstwowe cewki ceramiczne o wąskim przedziale tolerancji do obwodów w.cz.

Würth Elektronik wprowadza do oferty serię wielowarstwowych cewek ceramicznych WE-MCI z kwalifikacją samochodową AEC-Q200, wyróżniających się bardzo wąskim przedziałem tolerancji. Są one produkowane na zakres indukcyjności od 1 do 270 nH (wersje w obudowach rozmiaru SMD0402) oraz od 1 do 470 nH (wersje w obudowach rozmiaru SMD0603). Tolerancja indukcyjności wynosi ±5% lub ±0,3 nH dla wszystkich wersji poniżej 5,6 nH.

Cewki WE-MCI mogą pracować w temperaturze otoczenia od –55 do +125°C. Ich zakres zastosowań obejmuje głównie samochodowe aplikacje w.cz., w tym filtry, moduły Bluetooth oraz systemy zdalnego dostępu i informacyjno-rozrywkowe.

www.we-online.com



Przełącznik SPST MEMS o wymiarach 5×5 mm i dopuszczalnym prądzie przewodzenia 10 A

Firma Menlo Micro opracowała rewolucyjny przełącznik SPST, zrealizowany w procesie MEMS, mogący pracować z maksymalnym prądem przewodzenia 10 A przy wymiarach obudowy wynoszących zaledwie 5×5 mm. MM9200 wykazuje bardzo małą rezystancję kontaktu, równą 10 mΩ. W chili obecnej jest najbardziej zaawansowanym przełącznikiem MEMS, dostępnym na rynku, biorąc pod uwagę jego straty i dopuszczalną moc przełączaną. Nadaje się doskonale do zastosowań w automatyce przemysłowej, automatyce budynków i systemach zarządzania zasilaniem, w których krytyczne są małe gabaryty podzespołów.

MM9200 został wyprodukowany w opracowanej przez Menlo Micro technologii Ideal Switch, zapewniającej niezwykle długi czas bezawaryjnej pracy na poziomie miliardów cykli mechanicznych, ponad 1000-krotnie dłuższy niż w przypadku typowych przekaźników elektromechanicznych. Dodatkowo, nie wykazuje wyładowań łukowych, co zmniejsza ryzyko uszkodzeń, zmniejsza koszty konserwacji i poprawia poziom bezpieczeństwa instalacji w automatyce. Jego czas przełączania na poziomie 10 μs jest 1000-krotnie krótszy niż w przypadku przekaźników elektromechanicznych. Kolejną zaletą są mniejsze o 90% straty mocy niż w typowych przekaźnikach półprzewodnikowych. Najważniejsze parametry MM9200:

- rezystancja wewnętrzna: 10 mΩ,
- dopuszczalny prąd przewodzenia (AC i DC): ±10 A,
- dopuszczalne napięcie przełączane (AC i DC): ±300 V,
- czas włączania/wyłączania: 10 μs,
- żywotność mechaniczna: 1 miliard cykli,
- zakres temperatury pracy: od –40 do +85°C,
- obudowa: QFN (5×5 mm).

www.menlomicro.com

eprasa.pl e2be9d43e0

6-osiowy czujnik bezwładnościowy MEMS zgodny z wymogami normy ISO26262

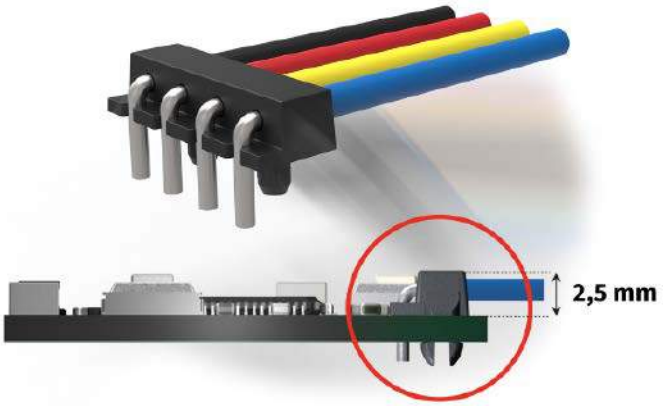
Panasonic Industry wprowadza do oferty 6-osiowy czujnik bezwładnościowy MEMS, zgodny z wymogami normy ISO26262 (ASIL-D) w zakresie bezpieczeństwa funkcjonalnego. EWTS5G został zaprojektowany do zastosowań w motoryzacji. Zawiera 3 akcelerometry, 3 żyroskopy oraz układ ASIC, zamknięte w obudowie SMD o wymiarach 4,5×4,5×1,1 mm. Zapewnia ortogonalność osi akcelerometru i żyroskopu lepszą od 0,01°. Poza motoryzacją może też znaleźć zastosowanie w dronach, robotach, e-bikach, maszynach rolniczych i budowlanych, wózkach widłowych i pojazdach autonomicznych. Jego zakres dopuszczalnej temperatury pracy rozciąga się od –40 do +125°C.

EWTS5G zawiera filtr dolnoprzepustowy o częstotliwości odcięcia 60 Hz. Oferuje zakresy pomiarowe żyroskopu od ±30 do ±300 dps i akcelerometru od ±1 do ±16 g, a całkowity błąd pomiaru obu tych czujników wynosi ±3%. Czas rozruchu układu nie przekracza 0,25 s. EWTS5G komunikuje się przez interfejs SPI. Pracuje z napięciem zasilania 3,3 V przy średnim poborze prądu <10 mA.

https://industry.panasonic.eu

Niskoprofilowe wersje połączeń WireClip o grubości 2,5 mm

System połączeń kabel-płytka WireClip firmy Provertha powiększył się o wersje niskoprofilowe, umożliwiające realizację niezawodnych połączeń o grubości zaledwie 2,5 mm. Są to tanie połączenia, zajmujące bardzo małą powierzchnię na płytce drukowanej, doskonale



sprawdzające się w zastosowaniach przemysłowych i w motoryzacji. WireClip składa się ze specjalnie zaprojektowanej plastikowej części ze zintegrowaną blokadą zatrzaskową. Poszczególne przewody z końcówkami skręconymi wcześniej i ocynowanymi w oddzielnym procesie produkcyjnym są wkładane do elementu, ustawiane pod kątem i przycinane na wymiar po umieszczeniu na płytce.

WireClip są dostępne w wersjach kątowych (90°) i prostych, 3- i 4-przewodowych. Służą do montażu przewodów plecionych o przekroju do 0,35 mm². Firma Provertha może również produkować niestandardowe połączenia WireClip z różną liczbą pinów, przeznaczone do montażu przewodów o innych przekrojach.

www.provertha.com

Optoprzekaźniki MOSFET o małej pojemności wyjściowej i małej rezystancji przewodzenia

Firma Omron wprowadza na rynek serię miniaturowych optoprzekaźników z kontaktami SPST-NO, zrealizowanych w technologii MOSFET. Są to elementy zamykane w 4-wyprowadzeniowych

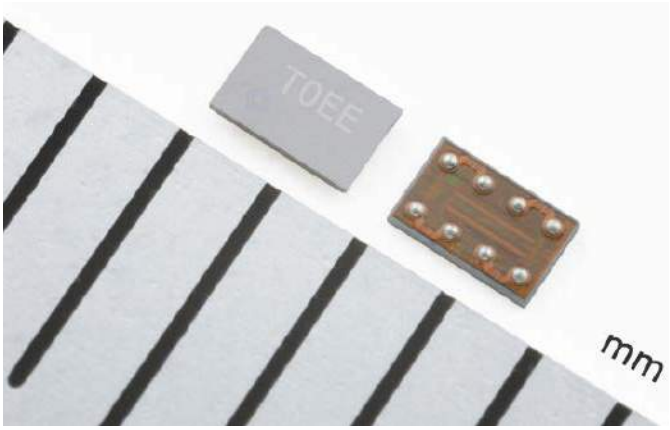
REKLAMA

eprasa.pl e2be9d43e0

	C_{OFF}	R_{ON}	Napięcie obciążenia	Prąd obciążenia
G3VM-41UR12	0,3 pF	15 Ω	40 V	100 mA
G3VM-41UR10	0,45 pF	12 Ω	40 V	120 mA
G3VM-41UR11	0,7 pF	7 Ω	40 V	140 mA
G3VM-41UR4	5 pF	2 Ω	40 V	250 mA
G3VM-51UR	12 pF	1 Ω	50 V	300 mA

obudowach VSON o wymiarach zaledwie 2,45×1,45×1,3 mm, charakteryzujące się małą pojemnością wyjściową i małą rezystancją przewodzenia. Występują w wersjach o napięciu znamionowym 40 i 50 V. Mogą pracować w szerokim zakresie temperatury otoczenia od –40 do +110°C. Obecnie w ramach serii G3VM-41UR/51UR dostępnych jest 5 wariantów o pojemności COFF od 0,3 do 12 pF i rezystancji RON od 1 do 15 Ω. Ich zakres zastosowań obejmuje testery podzespołów półprzewodnikowych, rejestratory danych i aparaturą pomiarową.

www.components.omron.com



Układy zabezpieczania ogniw litowo-jonowych z wbudowanymi funkcjami watchdog i forced reset

Nisshinbo Micro Devices wprowadza na rynek dwa nowe układy do zabezpieczania ogniw litowo-jonowych. NB7141 to pierwszy tego typu układ z wbudowaną funkcją watchdog timer, natomiast NB7140 oferuje funkcję wymuszonego resetu. Oba realizują zabezpieczenie przed przeładowaniem, nadmiernym rozładowaniem i przekroczeniem dopuszczalnego prądu rozładowania. Na tle konkurencji wyróżniają się małymi gabarytami, małym poborem mocy i dużą dokładnością, wynoszącą od ±1 mV w zależności od rodzaju zabezpieczenia.

Zintegrowana w modelu NB7141 funkcja watchdog umożliwia zewnętrzne nadzorowanie pracy mikrokontrolera i eliminuje potrzebę stosowania dodatkowych układów scalonych. W porównaniu z watchdogiem wbudowanym w mikrokontroler, może to zapewnić większe bezpieczeństwo systemu, eliminując ryzyko nieprawidłowego działania tej funkcji w mikrokontrolerze.

Funkcja Forced Reset wbudowana w NB7140 pozwala na wyłączenie wewnętrznych tranzystorów FET ładowania i rozładowania sygnałem zewnętrznym, co ułatwia sprawdzenie funkcjonowania obwodu zabezpieczającego. Dodatkowo, terminal RST umożliwia odcięcie zasilania systemu poprzez wyłączenie tranzystorów FET. Pozwala to na zresetowanie mikrokontrolera w przypadku jego nieprawidłowego działania, poprawiając stabilność systemu.

Oba układy zawierają zacisk STB, umożliwiający przełączenie w wymuszony tryb standby, bez doprowadzania akumulatorów do stanu nadmiernego rozładowania, co znacznie zmniejsza pobór prądu do momentu podłączenia ładowarki. Minimalizuje to samorozładowanie ogniwa w okresie magazynowania przed wysyłką produktu. Oba układy są produkowane w obudowach WLCSP-8-P10 o wymiarach 1,6×1,0×0,3 mm.

www.nisshinbo-microdevices.co.jp

1-watowe konwertery DC-DC do sterowania bramek tranzystorów GaN

Murata wprowadza na rynek nową serię konwerterów DC-DC, zaprojektowanych specjalnie do sterowania bramek tranzystorów GaN. Charakteryzują się one mocą znamionową 1 W i znamionowym napięciem wejściowym 5 V lub 12 V. Występują w wersjach jednowyjściowych 8 V i 12 V oraz dwuwyjściowych +6/–3 V. Wszystkie modele zapewniają bardzo małą pojemność bariery izolacyjnej (typ. 2,5 pF), co minimalizuje zniekształcenia sygnału. Ponadto, ich współczynnik CMTI, przekraczający 200 kV/Sμs, pozwala na pracę z krótkimi czasami przełączania, typowymi dla systemów z tranzystorami GaN. Sprawność wynosi w zależności od wersji 61...69%.

Konwertery serii MGN1 zapewniają izolację do 1,1 kV. Ich odstęp izolacyjny i droga upływu są równe 6,5 mm. Zakres dopuszczalnej temperatury pracy rozciąga się od –40 do +105°C. Do standardowego wyposażenia należy zabezpieczenie zwarciowe i przed odwróceniem polaryzacji. Wymiary obudów wynoszą 16×12×4,25 mm dla wersji dwuwyjściowych i 14,5×12×4,25 mm dla jednowyjściowych.

www.murata.com

Miniaturowe superkondensatory pastylkowe 5,5 V o pojemności do 1,5 F

Firma CAP-XX wprowadza na rynek miniaturowe superkondensatory pastylkowe serii GF i HF, pozwalające zastąpić baterie guzikowe w aplikacjach wymagających podtrzymania bateryjnego pamięci i zegarów RTC. Ich oferta obejmuje wersje o napięciu znamionowym 5,5 V, pojemności od 0,1 do 1,5 F i rezystancji ESR od 15 do 50 Ω, dostępne w ramach 4 serii o różnych wymiarach (od ∅ 11,7×4,5 mm do ∅ 20,9×10 mm) i sposobach montażu (pionowy lub poziomy).

Wszystkie superkondensatory pastylkowe z nowej oferty charakteryzują się 20-letnią żywotnością i niezawodnością przekraczającą 500 tys. cykli ładowania/rozładowania. Występują w wariantach GF i HF o odpowiednio standardowym (–25...+70°C) i o rozszerzonym (–25...+85°C) zakresie temperatury pracy. Dzięki niskoprofilowej konstrukcji, doskonale nadają się do zastosowań w urządzeniach o małej dostępnej przestrzeni montażowej. Do ich zalet należy też duża gęstość energii i krótki czas ładowania. Ponadto, dzięki możliwości dostarczania do obciążenia dużych impulsów energetycznych w krótkim czasie, stanowią one doskonałe uzupełnienie akumulatorów i układów energy harvest.

Do zalet układów zasilania z superkondensatorami należy możliwość stosowania mniejszych i tańszych akumulatorów, wydłużenia ich żywotności oraz korzystania z nieciągłych źródeł energii z otoczenia, np. baterii słonecznych. Superkondensatory umożliwiają również ultraszybkie ładowanie urządzeń i bezprzewodowe przesyłanie energii oraz zapewniają zasilanie niezbędne do bezpiecznego wyłączenia systemu i transmisji *last gasp* w aplikacjach o znaczeniu krytycznym.

www.cap-xx.com

eprasa.pl e2be9d43e0

Magnetyczny czujnik kąta o zakresie pomiarowym 360°

MLX90376 to absolutny magnetyczny czujnik kąta o dużej odporności na pole rozproszenia, stanowiący rozszerzenie rodziny wysokiej klasy czujników Triaxis. Jest układem projektowanym na rynek motoryzacyjny, charakteryzującym się bardzo szerokim zakresem dopuszczalnej temperatury pracy od –40 do +160°C. Występuje w dwóch wariantach: w obudowie SMD (SOIC-8 dla wersji single-die i TSSOP-16 dla wersji dual-die) oraz w postaci łatwej do integracji struktury SMP-4, niewymagającej montażu na płytce drukowanej. Spełnia wymogi bezpieczeństwa funkcjonalnego w klasie do ASIL D, co pozwala na zastosowania w najbardziej krytycznych obwodach ze względu na bezpieczeństwo, np. w układzie kierowniczym i kontroli pedału przyspieszenia.

MLX90376 oferuje odporność na zewnętrzne pole rozproszenia do 5 mT (4 kA/m), zgodnie z ISO 11452-8 w zakresie pomiarowym 360°. Może się komunikować za pośrednictwem interfejsu analogowego, PWM, SENT lub SENT Short PWM Code (SPC). SPC jest protokołem kompatybilnym z SENT, wykorzystującym komendy dwukierunkowe dla uproszczenia samochodowej infrastruktury sieciowej. 3-osiowa struktura czujnika pozwala na usytuowanie go w dowolnym położeniu względem linii sił pola magnetycznego.

www.melexis.com

Antena GNSS o wymiarach 10×8×1 mm do montażu SMT

Firma Linx Technologies, będąca obecnie częścią TE Connectivity, wprowadza na rynek nową antenę ANT-GNL1-nSP do odbiorników nawigacyjnych GNSS, umożliwiającą odbiór sygnałów z satelitów GPS, Galileo, Beidou i QZSS w pasmach L1/E1/B1. Jest to antena dookólna o polaryzacji liniowej, stanowiąca rozszerzenie serii Splatch.

Częstotliwość	Pasmo	VSWR (maks.)	Straty powrotne	Maks. wzmocnienie	Sprawność
1561 MHz	Beidou B1I	1,4	–15,6 dB	4,4 dBi	64%
1575 MHz	GPS L1C, GPS L1C/A, Galileo E1, Beidou B1C, QZSS L1	1,4	–15,6 dB	4,4 dBi	64%
1601/1602 MHz	GLONASS L1	1,3	–18,7 dB	3,6 dBi	63%

Charakteryzuje się współczynnikiem VSWR poniżej 1,4, wzmocnieniem 4,4 dBi i sprawnością >63%. Może być lutowana ręcznie lub w procesie przepływowym. Jej zakres dopuszczalnej temperatury pracy wynosi od –40 do +130°C. Antena ANT-GNL1-nSP jest dopasowana do impedancji 50 Ω i charakteryzuje się mocą znamionową 5 W.

www.linxtechnologies.com

Moduł laserowy o dużej mocy i małej średnicy wiązki

Nowy moduł laserowy MonaLIGHT B01, opracowany wspólnie przez firmy ams OSRAM i Crytur technologies, charakteryzuje się dużą jasnością przy małych wymiarach obudowy i małej średnicy wiązki. Wytwarza wiązkę światła widzialnego o dużej mocy, którą można znacznie łatwiej sprzęgnąć ze światłowodem niż w przypadku diod LED. Zawiera 5-watową niebieską diodę laserową PLPT9 450LB_E produkcji ams OSRAM, umieszczoną w metalowej obudowie TO90 za specjalnym konwerterem fosforowym, opracowanym przez firmę Crytur. W odróżnieniu od konwencjonalnych konwerterów fosforowych, które rozpraszają wiązkę laserową, konwerter opracowany przez Crytur kształtuje ją pod wąskim kątem oraz przekształca niebieskie światło diody na światło o szerokim zakresie widmowym 500...650 nm.

Moduł MonaLIGHT B01 charakteryzuje się małymi gabarytami (∅ 12×11,5 mm). Oferuje moc wyjściową do 2,3 W, szczytowe natężenie światła do 8000 cd, nieosiągalne w przypadku technologii LED, sprawność >80 lm/W i strumień 900...1200 lm. Wiązka charakteryzuje się wąskim kątem emisji, wynoszącym 8°. W porównaniu z konwencjonalnymi modułami laserowymi, MonaLIGHT B01 oferuje większą sprawność energetyczną przy niższej cenie. Obecnie występuje w wersjach o długości fali 515, 535, 541 i 555 nm. W 2023 roku na rynku ma się też pojawić wersja biała. Zakres zastosowań obejmuje przyrządy naukowe, w tym mikroskopy światła widzialnego i fluorescencyjne, przemysłowe systemy wizyjne i wyświetlacze head-up w awionice.

www.ams-osram.com

REKLAMA

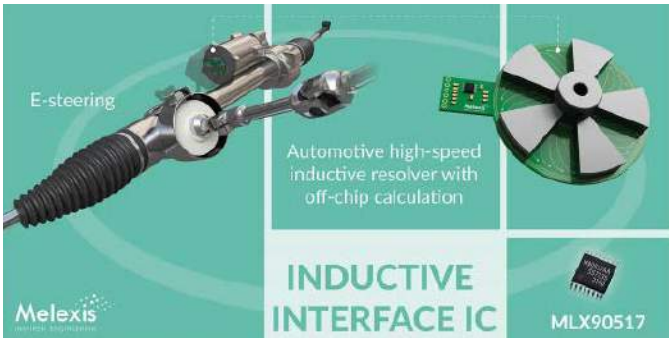
ZAJRZYJ NA TE STRONY

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

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

RACK i Eurocarta 19" Wyposażenie szaf 19"
www.obudowa.pl
Producent obudów dla elektroniki tel. 032-230-2301

eprasa.pl e2be9d43e0



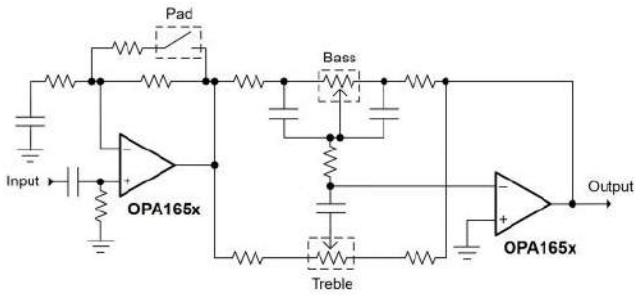
Szybki resolwer indukcyjny do silników elektrycznych

Melexis powiększa ofertę resolwerów indukcyjnych do zastosowań w motoryzacji o nowy model MLX90517 z kwalifikacją AEC-Q100, przystosowany do pracy w szerokim zakresie temperatury otoczenia od –40 do +160°C. Może on znaleźć zastosowanie w układach hamulcowych i wspomagania kierownicy oraz w silnikach trakcyjnych. Stanowi odpowiednik wcześniejszej wersji MLX90510, generujący bezpośrednio sygnały sin/cos do kompensacji w sterowniku ECU przed obliczeniem kąta (w przypadku MLX90510 kompensacja offsetu i czasu propagacji była realizowana w resolwerze).

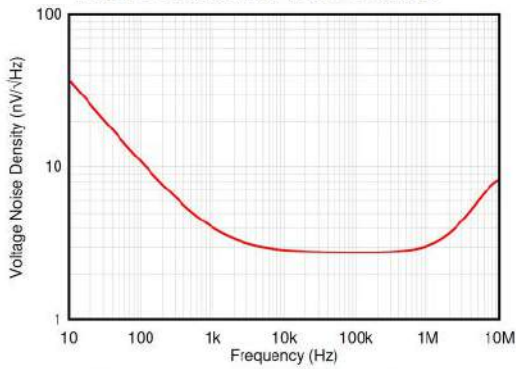
MLX90517 może pracować przy szybkości obrotowej do 660 tys. rpm. Zapewnia bardzo mały błąd pomiaru (poniżej ±0,36°) w ekstremalnych warunkach elektrycznych i środowiskowych, w tym w obecności silnych zaburzeń elektromagnetycznych. Toleruje przepięcia do ±24 V na liniach zasilania i do ±18 V na wyjściach. Charakteryzuje się czasem propagacji poniżej ±120 ns. Jego charakterystyka przejściowa może być programowana w 16 punktach.

MLX90510 jest zamykany w obudowie TSSOP-16. Obwód pomiarowy z cewkami PCB może być montowany w trzech różnych położeniach względem wałka silnika (*Through-Shaft*, *End-of-Shaft* i *Side-of-Shaft*).

www.melexis.com



Active Baxandall Tone Control



Ultra-Low Input Voltage Noise

Ultraniskoszumowe wzmacniacze operacyjne do zastosowań w systemach audio

OPA1655 i OPA1656 to ultraniskoszumowe wzmacniacze operacyjne w wersji odpowiednio jedno- i dwukanałowej, zaprojektowane do zastosowań w systemach audio, w tym w profesjonalnych mikrofonach i mikserach, wzmacniaczach gitarowych i instrumentach muzycznych. Charakteryzują się wyjątkowo małą gęstością napięcia szumu (2,9 nV/√Hz @ 10 kHz) i bardzo małymi zniekształceniami na poziomie 0,000029% (–131 dB) @ 1 kHz.

OPA1655 i OPA1656 to wzmacniacze z wejściem FET o dużym wzmocnieniu z otwartą pętlą sprzężenia zwrotnego (150 dB), zapewniające wydajność prądową 100 mA. Pracują w szerokim zakresie napięcia zasilania od ±2,25 do ±18 V, pobierając 3,9 mA prądu w stanie spoczynkowym. Ich wyjście charakteryzuje się szerokim zakresem zmienności napięcia, wynoszącym od V_+ –250 V do V– +250 mV przy obciążeniu 2 kΩ.

Pozostałe parametry:

- gęstość prądu szumu: 6 fA/√Hz @ 1 kHz,
- wejściowy prąd polaryzacji: 10 pA,
- slew rate: 24 V/Sμs,
- GBW: 53 MHz,
- zakres temperatury pracy: od –40 do +125°C.

www.ti.com

STM32 Embedded Displays – wyświetlacze 7- i 10.1-calowe od Riverdi

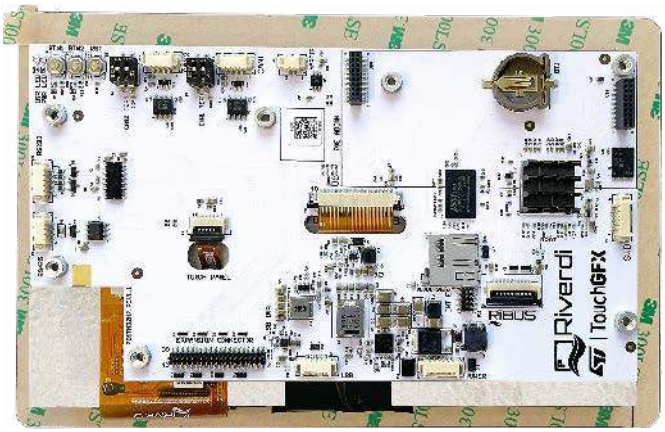
STM32 Embedded Displays to ekrany LCD-TFT przemysłowej jakości połączone z mikroprocesorem STM32H757XIH6, dostępne w rozmiarach 7 i 10,1 cala (model 5-calowy będzie dostępny wkrótce). Stanowią one całościowe rozwiązania typu all-in-one, które doskonale sprawdzają się w urządzeniach HMI. Zaprojektowane zostały w sposób umożliwiający sprostanie większości sprzętowych i programistycznych wyzwań, przed jakimi stają inżynierowie. Są to moduły łatwe w programowaniu, intuicyjne w generowaniu GUI i usprawniające prototypowanie. Dzięki otwartej architekturze są w stanie samodzielnie obsłużyć jeszcze większy wachlarz zadań stawianych przez programistów. Co więcej, wyświetlacze z serii STM32 to coś więcej niż grupa produktów – to ekosystem, który bazuje na trzech filarach:

- komponentach przemysłowej jakości,
- mocy obliczeniowej i wszechstronności dwurdzeniowego mikrokontrolera STM32H7,
- wsparciu technicznym w postaci darmowego oprogramowania i bibliotek programistycznych.

Najważniejsze atuty rozwiązań z serii STM32 Embedded Displays od Riverdi, to m.in.:

- wyświetlacz LCD-TFT z matrycą IPS o pełnych kątach obserwacji,
- wysoka rozdzielczość (1280×800/1024×600 px),
- wysoka jasność (nawet 1000 cd/m²),
- przemysłowej jakości pojemnościowy panel dotykowy ze sprawdzonym sterownikiem firmy ILITEK,
- nowoczesny design obudowy – uxTouch,
- komunikacja z zastosowaniem wszystkich interfejsów dostępnych dla STM32H7,

eprasa.pl e2be9d43e0



- wysoka wydajność mikrokontrolera STM32H7 bazujacego na architekturze ARM,
- niski poziom emisji zakłóceń elektromagnetycznych (EMI).

Celem zespołu Riverdi było zaprojektowanie serii STM32 tak, aby proces podłączania i programowania modułu był jak najbardziej przystępny. Umożliwia to szereg złącz i interfejsów: CAN FD, RS232, RS485, USB, uniwersalne złącze interfejsowe (możliwość zastosowania przejściówki do I²C, UART, USART, SPI, USB, PWM, DAC, ADC), SWD (do programowania STM32 i QSPI), DRV2605L (do zarządzania komponentami haptycznymi), a także RiBUS (umożliwia podłączenie do STM32 kolejnych wyświetlaczy Riverdi – również z serii EVE4).

Riverdi stawia na modularność swoich serii produktowych, co oznacza, że w ramach wybranych parametrów możliwe jest skonfigurowanie własnego rozwiązania. Nie trzeba dostosowywać projektu do oferowanych modeli o ograniczonych atrybutach – klient może dopasować moduł do swoich potrzeb. Dla zespołu Riverdi ważne jest także utrzymywanie designu na jak najwyższym poziomie. Przykładem jest nowoczesny projekt ramki i obudowy wyświetlacza, czyli uxTouch. To rozwiązanie, dzięki któremu można uniknąć wykonywania otworów w obudowie, co nie tylko usprawnia proces projektowania i montażu oraz redukuje narażenie całego modułu na dostawanie się brudu i pyłu do jego wnętrza, ale także świetnie się prezentuje.

STM32 to potężny 32-bitowy mikrokontroler zaprojektowany w firmie STMicroelectronics, który może samodzielnie obsłużyć całe urządzenie, w tym wysokiej rozdzielczości wyświetlacz. Wyróżnia się najlepszą wydajnością w swojej klasie, możliwością szerokiej integracji, a także efektywnością energetyczną. Dzięki zastosowaniu technologii firmy STMicroelectronics, inżynierowie, programiści i projektanci pracujący z rozwiązaniami z serii STM32 Embedded Displays od Riverdi mogą skorzystać z darmowych bibliotek i oprogramowania, np. STM32CubeMX, STM32CubeIDE, STM32CubeProgrammer, STM32CubeMonitor czy TouchGFX Designer.

TouchGFX Designer to darmowy program do tworzenia GUI. Oferuje zaawansowane ramy programowe i gotowe do użycia rozwiązania do tworzenia GUI dla mikrokontrolerów STM32 od STMicroelectronics. Zapewnia przyjazne dla użytkownika projektowanie interfejsów metodą WYSIWYG (*What You See Is What You Get*) i automatyczne generowanie gotowego do implementacji kodu. TouchGFX ułatwia tworzenie GUI od szkiców projektowych do produktów końcowych. Dzięki współpracy Riverdi i STMicroelectronics w TouchGFX dostępne są gotowe do użycia projekty demonstracyjne z ustawieniami kompatybilnymi z modułami od Riverdi.

http://bit.ly/3JrfTfP

Izolowane konwertery DC-DC formatu 50,8×25,4 mm o mocy 30 W

Izolowane 30-watowe konwertery DC-DC serii SKM30 pojawiły się na rynku już 10 lat temu. Obecnie firma Mean Well wprowadza do oferty ich zmodernizowane wersje w ramach dwóch nowych serii SKM30-N i DKM30-N, obejmujących warianty odpowiednio jedno- i dwuwyjściowe. Nowością jest tu rozszerzony zakres napięcia wejściowego z 2:1 do 4:1 (9...36 VDC lub 18...75 VDC), zwiększone z 1,5 do 3 kV napięcie izolacji, zwiększona z +75°C do +90°C dopuszczalna temperatura pracy oraz wydłużona z 2 do 3 lat gwarancja.

Konwertery SKM30-N są produkowane na te same napięcia wyjściowe, co w przypadku oryginalnej serii SKM30 (5, 12 i 15 V), natomiast warianty dwuwyjściowe DKM30-N są dostępne na napięcia ±12 V i ±15 V.

Konwertery SKM30-N i DKM30-N nie wymagają wstępnego obciążania wyjścia. Spełniają wymogi normy EN55032 Class A w zakresie kompatybilności EMC, bez konieczności stosowania komponentów zewnętrznych. Umożliwiają dostrajanie napięcia wyjściowego w zakresie ±10% wartości nominalnej. Zawierają zabezpieczenie zwarciowe, przeciążeniowe i nadnapięciowe oraz wejście Remote On/Off.

www.meanwell.com

REKLAMA

HAMMOND

1552 - Ręczne obudowy plastikowe

Dowiedz się więcej:
hammfg.com/1552

eusales@hammfg.com • + 44 1256 812812

eprasa.pl e2be9d43e0

Subiektywnie o Embedded World 2023

W dniach 14...17 marca odbyła się kolejna edycja targów skupionych wokół tematyki systemów wbudowanych – Embedded World 2023. Przygotowaliśmy krótką relację z tego wydarzenia, w której opisujemy nasze subiektywne wrażenia oraz prezentujemy wystawy, które wzbudziły nasze szczególne zainteresowanie.

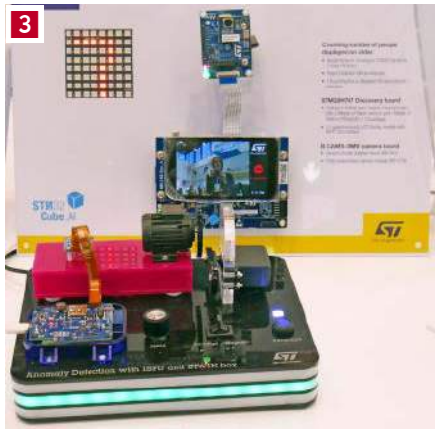
Embedded AI

Podczas targów wyraźnie widoczna była tematyka sztucznej inteligencji, która niesie ze sobą ogromny potencjał technologiczny i biznesowy i dlatego coraz bardziej wkracza w świat systemów wbudowanych. STMicroelectronic to jedna z firm oferujących rozwiązania w tym zakresie, która przygotowała wiele prezentacji zawierających jej własne biblioteki. Można było zobaczyć odkurzacz, w którym zastosowano rozwiązanie na bazie sztucznej inteligencji do wykrywania rodzaju odkurzanej podłogi (**fotografia 1**), czy też czujnik odległości umożliwiający wykrywanie gestów (**fotografia 2**). Na **fotografii 3** pokazano demo układu zliczającego liczbę osób widocznych na obrazie z kamery. Firma pokazała także swoje narzędzie STM32Cube.AI Developer Cloud, które umożliwia wczytanie wytrenowanego modelu sieci bezpośrednio z przeglądarki, przeprowadzenie kwantyzacji parametrów na tryb stałoprzecinkowy oraz przetestowanie wydajności płytek dostępnych w laboratorium ST.

Interesujące było także stoisko fundacji tinyML, która pokazała się z przestrzenią dla startupów prezentujących produkty z użyciem technologii tej firmy. Można było tu obejrzeć między innymi zegarki korzystające z uczenia maszynowego do wykrywania upadku (**fotografia 4**) czy słuchawki kontrolowane za pomocą gestów (**fotografia 5**). Ciekawym

1

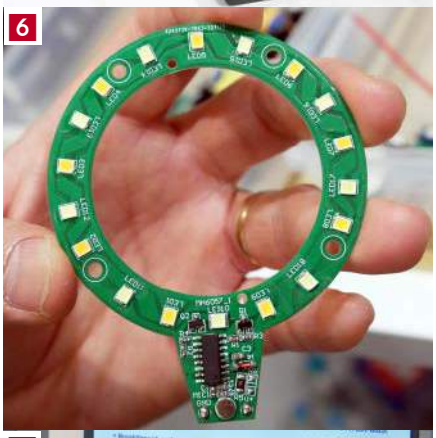
2


3

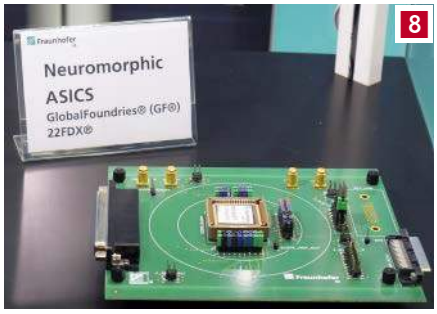
eprasa.pl e2be9d43e0

4

5


6

7



8

gadżetem jest także lampka USB sterowania komendami głosowymi (**fotografia 6**).

Wyraźnie widoczny jest trend umieszczania dodatkowych co-procesorów, które przyspieszają obliczanie sieci neuronowych i pozwalają na ograniczenie zużycia prądu w mikrokontrolerach. Firma STMicroelectronic planuje wdrożyć mikrokontrolery ze specjalistycznym, autorskim blokiem do takich zadań, a Renesas zaprezentował mikrokontroler Cortex-M85 z akceleratorem opracowanym przez ARM (**fotografia 7**). Jest to kierunek, który będzie miał duże znaczenie dla rozwoju systemów sztucznej inteligencji w systemach wbudowanych w przyszłości.

Neuromorphic

Układy scalone zawierające impulsowe sieci neuronowe (Spiking Neural Networks) są jednym z najnowszych trendów w dziedzinie sztucznej inteligencji. Taki model obliczeń jest uważany za bliższy działaniu mózgu niż klasyczne sztuczne sieci neuronowe. Neuromorphic chips powinny pozwolić na zmniejszenie zużycia energii oraz zwiększenie efektywności w porównaniu z tradycyjnymi rozwiązaniami.

Niemiecki Instytut Fraunhofer zaprezentował analogowy chip do takiego typu sieci neuronowych (**fotografia 8**). Drugą firmą prezentującą akceleratory do sieci impulsowych był Brainchip (**fotografia 9**). Jednak ten układ scalony jest w pełni cyfrowy.

Warto zwrócić uwagę, że neuromorphic chips to stosunkowo nowa technologia i na razie nie jest jeszcze tak powszechnie stosowana jak tradycyjne sztuczne sieci neuronowe. Jednak zainteresowanie nimi rośnie, a coraz więcej firm pracuje nad ich rozwijaniem i wdrażaniem w praktyce.

FPGA

Na targach systemów wbudowanych nie mogło zabraknąć producentów układów FPGA. Firma AMD (Xilinx) skupiła się głównie na zastosowaniu układów przy akceleracji sztucznej inteligencji oraz przetwarzania obrazów (**fotografie 10** i **11**). Warto też zauważyć że układy z najnowszej rodziny Versal (**fotografia 12**) mają także blok hard IP do akceleracji sieci neuronowych.

Na stoisku firmy Lattice (**fotografia 13**) można było zobaczyć kilka różnych zastosowań układów FPGA. Wśród prezentowanych

9

10

11

12

13

14

eprasa.pl e2be9d43e0

15

16

17

18

19

rozwiązań była karta pośrednicząca w dostępie do dysku w komputerze, która zapewnia ochronę przed złośliwym oprogramowaniem szyfrującym dane dla okupu oraz platforma do przetwarzania obrazu z wielu kamer jednocześnie (**fotografia 14**). Firma Gowin (**fotografia 15**) również prezentowała swoją ofertę układów FPGA.

Nie zabrakło także firm dostarczających narzędzi do symulacji i weryfikacji takich jak Cadence czy Aldec (**fotografia 16**).

Cloud

Na stoisku firmy AWS można było zapoznać się z ciekawym rozwiązaniem – ExpressLink. Cała komunikacja z chmurą Amazona została zaimplementowana w module Wi-Fi firmy Espressif, który można następnie dołączyć do własnych projektów. Dzięki temu możliwe jest zbieranie danych, reagowanie na zdarzenia, a także tworzenie cyfrowego cienia (digital shadow) układu. Na przykładzie płytek Demo Badge, które zostały zaprezentowane na **fotografii 17** (niestety niedostępne w sprzedaży), można było zobaczyć, jak działa ExpressLink w praktyce. Po obejrzeniu prezentacji, na stoisku można było skosztować napojów przygotowanych przez robobarmana AWS (**fotografia 18**).

Innym ciekawym zestawem chmurowym jest Nordic Thingy:91 pokazany na **fotografii 19**. Jest to płytka deweloperska wyposażona w łączność GSM z roamingiem pokrywającym prawie cały świat.

To nie wszystko

Technologia, która wzbudziła zainteresowanie, to drukowane ogniwa fotowoltaiczne (**fotografia 20**) oraz drukowane, giętkie wyświetlacze w technologii e-papier (**fotografia 21**). Ciekawym komponentem okazał się układ NAC1080 FIRMY Infineon, który realizuje komunikację NFC oraz ma wbudowany mostek H. Pozwala to na sterowanie silnikiem zasilanym bezpośrednio przez NFC. Działanie zaprezentowano na przykładzie kłódki, odblokowywanej przez aplikację z telefonu komórkowego.

Nie zabrakło także komputerów jednopłytkowych. Na stoisku Raspberry Pi można było oglądać wystawę większości dostępnych modeli (**fotografia 22**). Natomiast na **fotografii 23** został pokazany komputer SBC na bazie procesora w technologii RISC-V.

Wśród wystawców nie zabrakło przedstawicieli polskich przedsiębiorstw – na **fotografii 24** widzimy stanowisko firmy GRYFTEC Embedded Systems.

Norymberga

Poza samymi targami warto także znaleźć chwilę na zwiedzenie samej Norymbergi. Możemy tam zobaczyć bardzo ładnie zachowane średniowieczne miasto wraz z murami i górującym nad nimi zamkiem – **fotografia 25**.

Rafał Kozik, EP

20

21

22

23

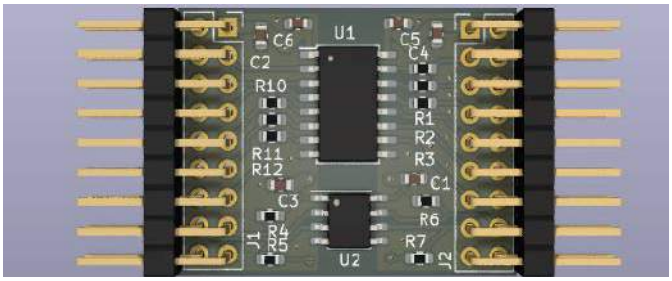
24

25

eprasa.pl e2be9d43e0

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.



Ośmiokanałowy cyfrowy izolator DIY

Ten prosty moduł pozwala dodać izolację galwaniczną do dowolnego interfejsu cyfrowego (pod warunkiem oczywiście, że wystarczy nam osiem torów). Moduł wyposażony jest w dwie linie dwukierunkowe z opornikami 1 kΩ podciągającymi je do zasilania i po trzy linie w każdym kierunku. Wyjścia z modułu wyposażone są w drivery push-pull na wyjściach. Mogą dostarczyć do 24 mA do obciążenia, dzięki czemu są w stanie wysterować niemal każdy układ.

Moduł może współdziałać z sygnałami o częstotliwości do 150 MHz i o napięciu zasilania od 2,5 V do 5,5 V. Moduł obsługuje: I²C, I²S, UART, SPI, JTAG, jak i zwykłe linie GPIO. Możliwa jest konfiguracja wyjść, jako trójstanowe, przy odpowiedniej konfiguracji.

https://hackaday.io/project/189657-digital-isolator-breakout

Cyfrowy kran do kamery

Podstawowym celem tego projektu było stworzenie zaawansowanego kranu kamerowego. Kran w żargonie filmowym to nic innego, jak statyw z wysięgnikiem, przeciwwagą itp. który pozwala na elastyczne ustawianie kamery. Zaprezentowany projekt kranu to konstrukcja przede wszystkim mechaniczna. Założeniem projektu było wykonanie tego urządzenia z użyciem technologii druku 3D. Dodatkowo, kran jest zintegrowany z cyfrowymi posuwami, co pozwala na aktywne poruszanie nim za pomocą kontrolera, bez użycia rąk.

Kran oferuje płynną, prawie bezgłośną pracę w połączeniu z szeregiem nowych ruchów kamery, które nie są łatwe do osiągnięcia za pomocą manualnego suwaka. Kran łączy się bezprzewodowo ze wszystkimi innymi częściami systemu sterowania ruchem kamery Digital Bird, oferując nieograniczone możliwości znalezienia idealnego ujęcia. Sterowanie systemem odbywa się za pomocą jednego z dwóch kontrolerów Wi-Fi Digital Bird z ekranem dotykowym. Jeśli potrzebny jest system do sterowania w czasie rzeczywistym, można zbudować dodatkowo kontroler PTZ plus.

Kran to dość duża konstrukcja z wieloma etapami budowy. Jednak gdy mamy wszystkie części wydrukowane i przygotowane pozostałe komponenty, to jak ocenia autor, można go złożyć w ciągu około jednego dnia za pomocą kilku prostych narzędzi.

Kluczowe parametry:

- wysięgnik do 550 mm przy lżejszych ładunkach,
- ruch pionowy, poziomy i ukośny,
- głowicę kamery można zamontować pionowo lub podwieszoną od spodu,
- cyfrowa głowica obrotowa może być używana jako druga oś do sterowania obrotem zespołu wysięgnika,
- testowany na obciążeniach do 4,5 kg (2,5 kg kamera plus głowica PTZ),
- baterie Sony typu NP z zewnętrznym portem zasilania 7,5 V do zasilania głowicy,
- pełen interfejs do sterowania głowicą za pomocą kompaktowego pilota Wi-Fi Digital Bird lub pilota PTZ,
- monitor baterii OLED i identyfikator urządzenia podrzędnego PTZ,
- sterowanie migawką aparatu,

REKLAMA

BORNICO | Teraz większe MOŻLIWOŚCI
bornico.com.pl
montaż kontraktowy elektroniki
projektowanie urządzeń i systemów
Zakład Elektroniczny BORNICO
ul. Małęczyńska 25
26-600 Radom
tel. +48 48 365 58 22
bornico@bornico.com.pl

eprasa.pl e2be9d43e0

- bezprzewodowa komunikacja ze wszystkimi innymi urządzeniami Digital Bird,
- cicha praca i płynny ruch.

Kran ma wiele trybów pracy, od prostego ruchu A->B, poprzez ruch jednostajny lub z kontrolą przyspieszenia oraz w trybie odbijania, czyli A->B->A. Dodatkowo, kontroler obsługuje tryb do zdjęć poklatkowych z wbudowanym interwałometrem i kontrolą migawki aparatu oraz funkcją zatrzymywania (do tworzenia w animacji). Oprócz programowanych trybów, kran można obsługiwać za pomocą sześciu klawiszy na interfejsie, które można powiązać z różnymi manewrami i można uruchamiać sekwencyjnie. Kontroler PTZ Plus pozwala na kontrolę kamery w czasie rzeczywistym.

Aby konstrukcja była możliwie najprostsza, większość elementów została wydrukowana z PLA. Wysięgnik musi wytrzymać całkowite obciążenie do 9 kg (system kamer i przeciwwagi). W tym celu wiele części wymaga druku ze 100% wypełnieniem. Cały wydruk potrzebuje około 3 kg filamentu. Projekty poszczególnych elementów są do pobrania na stronie z projektem. Części są ponumerowane w taki sposób, że pierwszy fragment to numer części, a drugi to sugerowane wypełnienie. Zatem część o nazwie 001_25 należy drukować z wypełnieniem 25%. Większość części wymaga wsparcia, ale automatycznie wygenerowane podpory są na ogół dostateczne.

Oprócz wydrukowanych w 3D elementów należy przygotować przeciwwagi dla kranu o wymiarach 20×60 mm. Każda taka przeciwwaga wazy około 1 kg przy długości 220 mm i zazwyczaj potrzebne są 3 lub ewentualnie 4 w przypadku bardzo ciężkich aparatów. System został przetestowany z całkowitym obciążeniem do 4,5 kg. Cięższe ładunki ograniczają długość kranu i mogą wymagać mocniejszego silnika krokowego ze zmodyfikowaną obudową, aby go pomieścić.

Do statywu należy zamontować odpowiednie nogi. Autor projektu skorzystał z nóg z taniego statywu Velbon DF-60. Chociaż te statywy nie są niczym specjalnym, nogi okazały się kopalnią złota i działają bardzo dobrze. Nie jest to jedyny kompatybilny statyw, na stronie z projektem autor zawarł listę sprawdzonych statywów, rozszerzoną o podobne modele, które również powinny pasować do konstrukcji.

Drugim elementem systemu jest elektronika, do kontrolowania ruchu. Sterowniki Digital Bird bazują na ESP32 i driverach silników krokowych TMC2208v3. Obsługują one również enkodery zamontowane na silnikach krokowych. Sterownik ma wyświetlacz OLED o przekątnej 0,49" i dodatkowe wyjścia do sterowania, na krańcówki oraz do wyzwalania migawki aparatu. Cały system zasilany jest z akumulatorów typu NP 7,4 V 5000 mAh, często używanych w sprzęcie fotograficznym.

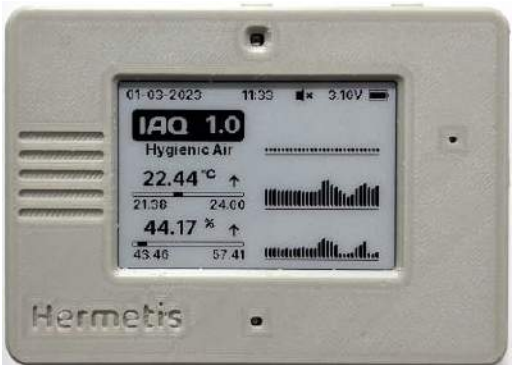
https://hackaday.io/project/189649-motorized-camera-mini-jib

WeatherFlow – wskaźnik pogody z adresowalnych diod RGB

Tempest WeatherFlow to osobista stacja pogodowa, która wyświetla dane w bardzo nietypowy sposób. System składa się z zestawu sensorów meteorologicznych, który nadaje dane na temat warunków pogodowych poprzez UDP w czasie rzeczywistym przez sieć LAN. Dane te są odbierane przez stację bazową, a następnie konwertowane i wyświetlane w czasie rzeczywistym na adresowalnym pasku LED wykonanym ma bazie macierzy (a w zasadzie pojedynczy pasek i dodatkowy okrągły moduł) diod WS2812. Taśma LED wyświetla na żywo następujące dane: kierunek wiatru, prędkość wiatru, ciśnienie barometryczne, temperaturę (najwyższą i najniższą dzienną temperaturę i wartość chwilową), ilość i intensywność opadów deszczu, wystąpienie uderzenia pioruna oraz jego odległość.

Kierunek wiatru jest pokazany na okrągłym WS2812. Prędkość wiatru jest reprezentowana przez animowany pasek poruszający się w górę i w dół wraz z prędkością wiatru, pojedyncza dioda LED oznacza maksymalny podmuch. Temperatura jest wskazywana przez zieloną diodę LED. Zakres wyświetlanych temperatur ogranicza się do 50, z uwagi na ograniczoną liczbę diod. Na górze paska LED znajduje się wskaźnik deszczu. Niebieskie światło pokazuje, ile deszczu spadło w ciągu dnia, a animacja kapania pokazuje, jaka jest aktualna intensywność deszczu, im dłużej pada, tym intensywniejszy jest deszcz. Na środku paska znajduje się również wskaźnik uderzenia pioruna. Za każdym razem, gdy zostanie wykryte uderzenie, pasek miga jak błyskawica. Im większy błysk, tym bliższe było uderzenie pioruna.

http://bit.ly/3nDN0Vv



Hermetis monitor jakości powietrza w pomieszczeniach z wyświetlaczem e-Ink oraz komunikacją LoRa oraz Wi-Fi

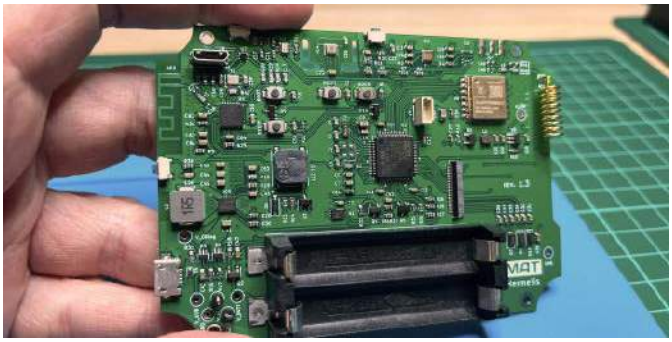
Hermetis to przenośne urządzenie do monitorowania jakości powietrza w pomieszczeniach. Ma on także możliwość pomiaru temperatury, wilgotności i ciśnienia powietrza. Jest wyposażony w wyświetlacz e-ink o przekątnej 2,71 cala, moduł komunikacyjny LoRa i może być konfigurowany przez punkt dostępowy Wi-Fi.

Głównym założeniem projektu było skonstruowanie energooszczędnego urządzenia do monitorowania jakości powietrza. Cały proces projektowania skupiony był na oszczędzaniu energii w systemie, tak część sprzętowa, jak i programowa. Projekt jest w końcowej fazie testów i wkrótce będzie dostępny do kupienia na platformach takich jak Tindie, jak zapewnia autor.

Sercem urządzenia jest mikrokontroler STM32L431 Cortex-M4 o bardzo niskim poborze mocy z energooszczędnymi urządzeniami peryferyjnymi i siedmioma różnymi trybami niskiego poboru mocy, co zapewnia dużą elastyczność. Na przykład zużywa on 1,8 µA w trybie Stop2 z włączonym zegarem czasu rzeczywistego, zachowuje zawartość pamięci SRAM i rejestrów i ma możliwość wybudzenia niektórych urządzeń peryferyjnych, takich jak LPUART, I²C lub LPTIM.

Jakość powietrza w pomieszczeniach jest monitorowana za pomocą czujnika ZMOD4410 firmy Renesas. Ten czujnik wymaga kilku niestandardowych bibliotek oprogramowania układowego w celu wykonywania algorytmów uczenia maszynowego AI. Są one potrzebne do uzyskania całkowitej zawartości lotnych związków organicznych (TVOC), szacowanego poziomu dwutlenku węgla (eCO2) i jakości powietrza w pomieszczeniach (IAQ), aby spełnić standardy jakości powietrza UBA. Obliczenia eCO2 są szczególnie dokładne w przypadku tych algorytmów, jak opisano szczegółowo w osobnych dokumentach.

eprasa.pl e2be9d43e0



W tym projekcie wybraną biblioteką jest oprogramowanie układowe IAQ 2nd Generation Ultra Low Power. Wymaga ono wykonania pomiaru z częstotliwością próbkowania 90 sekund. Daje to dużo miejsca na przełączenie MCU w tryb niskiego poboru mocy pomiędzy pomiarami.

Temperaturę i wilgotność względną system mierzy za pomocą bardzo dokładnego, w pełni skalibrowanego czujnika serii HS300x, również firmy Renesas. Integruje on logikę kalibracji i kompensacji temperatury przy bardzo niskim zużyciu energii (średnio 24,4 µA przy 14-bitowej rozdzielczości, zasilaniu 3,3 V, jednym pomiarze wilgotności względnej i temperatury na sekundę). Początkowo autor korzystał z HS3002, ale ostatecznie zdecydował się na HS3003, ponieważ zapewnia wystarczającą dokładność w warunkach domowych: ±2,5% dla pomiaru wilgotności w zakresie od 20% do 80% (±3,5% w pełnym zakresie); ±0,25°C dla pomiaru temperatury w zakresie od 0 do 70°C (±0,35°C w pełnym zakresie). Wszystkie warianty z tej rodziny mają ten sam układ wyprowadzeń i można je wymienić, aby uzyskać dokładniejsze odczyty.

Do pomiaru ciśnienia barometrycznego zastosowano czujnik SPL06-001 firmy Goertek, z nieco lepszą dokładnością niż ten oferowany przez czujnik BMP280 firmy Bosch. Urządzenie nie jest przeznaczone do użytku w celach meteorologicznych, ale śledzenie ciśnienia jest całkiem przydatne, podobnie jak pomiar światła otoczenia, za pomocą czujnika OPT3001 firmy Texas Instruments. Służy to do zwiększenia oszczędności energii – aktualizacje wyświetlacza nie są przeprowadzane, jeśli otoczenie jest zaciemnione. Ten model czujnika został wybrany ze względu na jego niski pobór mocy: 3,7 µA w trybie pełnej aktywności z włączonym przerwaniem.

Zastosowanie wyświetlacza e-papierowego w urządzeniu o bardzo niskim poborze mocy jest oczywiste. Wymaga bardzo małej mocy do aktualizacji i nie wymaga zasilania do utrzymania obrazu. Wybrany wyświetlacz to 2,71-calowy panel firmy Pervasive Displays o rozdzielczości 264×176 pikseli na obszarze aktywnym 57×38 mm (czyli 117 dpi). Zaimplementowane zostały cztery różne widoki: dwa z ogólnymi wartościami (mniej lub bardziej szczegółowymi) i dwa kolejne z wykresami, aby sprawdzić ewolucję danych. Dostępny jest również dodatkowy ekran danych zdalnych.

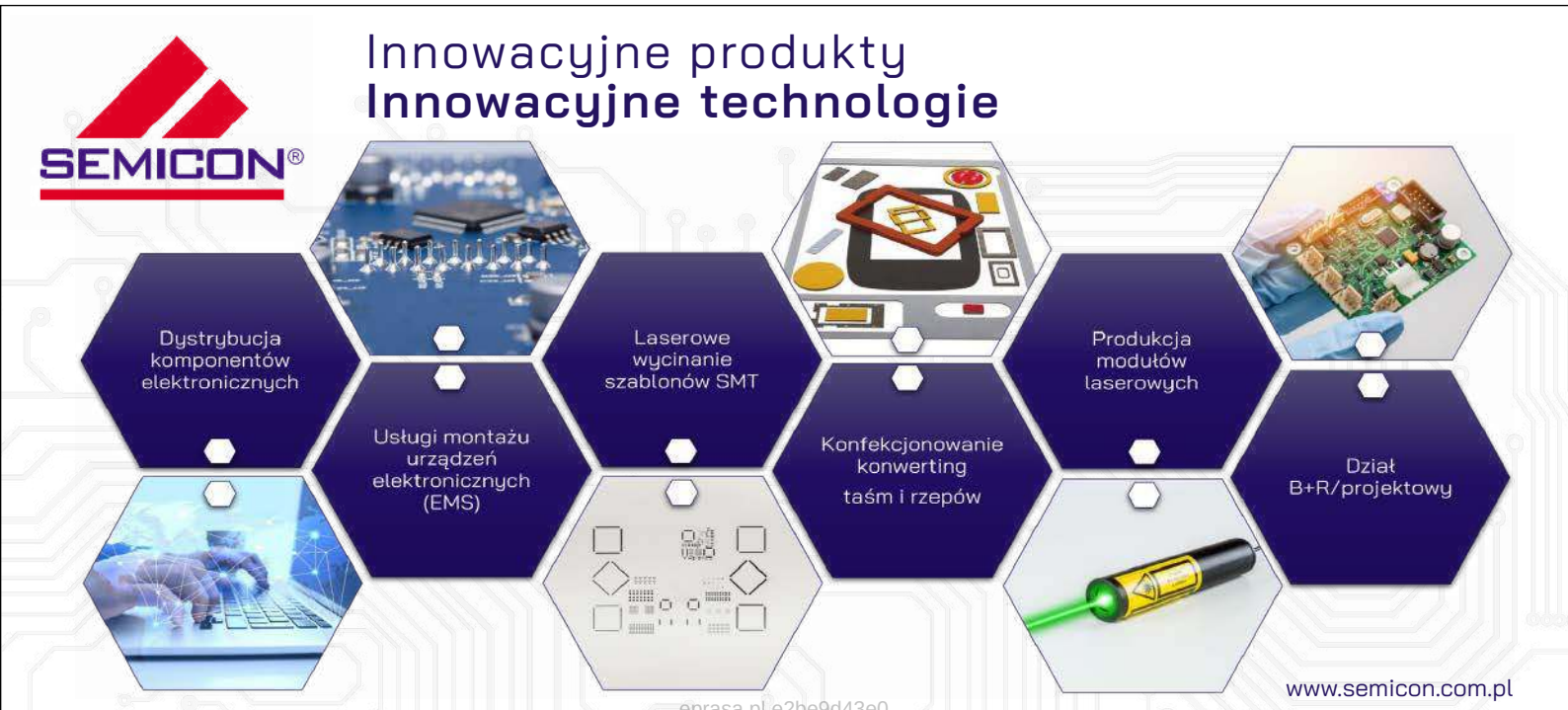
Hermetis ma podwójne zasilanie skonfigurowane w trybie redundancji, dzięki czemu można go używać podłączonego za pomocą złącza USB Micro-B do źródła zasilania lub zasilanego dwoma bateriami AAA. Oba źródła mogą być aktywne jednocześnie – zapewniają to dwie idealne diody LM66100, a dodatkowy MOSFET z kanałem P chroni baterie przed odwrotną polaryzacją. LM66100 posiada wyprowadzenie sygnału statusu, który jest podłączony do mikrokontrolera, dzięki czemu cały czas wiemy, jakie zasilanie jest używane. Na tej podstawie można włączać lub wyłączać niektóre funkcje w zależności od zasilania. Możliwa jest również wymiana baterii bez restartu urządzenia, dzięki czemu nie trzeba czekać 24...48 h niezbędnych do ustabilizowania się algorytmu czujnika gazu i zachowania danych historii.

Urządzenie jest wyposażone w moduł VGDD79S LoRa firmy Vollgo, który bazuje na bezprzewodowym układzie nadawczo-odbiorczym LLCC68 firmy Semtech. Układ ten jest specjalnie zaprojektowany do zastosowań zasilanych bateryjnie, z efektywnym prądem 4,2 mA podczas odbioru i mocą nadawania od +14 dBm do +22 dBm. LoRa pozwala sprawdzić dane wszystkich urządzeń tej rodziny z dowolnego z nich. Oczywiście można przechwytywać dane z dowolnego innego urządzenia LoRa (np. LoRa HAT dla Raspberry PI). Aby zabezpieczyć tę komunikację, wszystkie dane są szyfrowane przy użyciu algorytmu AES-128 przed ich wysłaniem. Tryb pracy modułu można skonfigurować, jako transmisja (Tx), odbiór (Rx) lub oba (Duplex). Oczywiście można ustawić inny tryb w zależności od aktualnie używanego zasilacza.

Urządzenie jest również wyposażone w diodę LED RGB i buzzer do alertów dotyczących jakości powietrza w pomieszczeniach. Wszystkie parametry, ograniczenia i funkcjonalność tego urządzenia są w pełni konfigurowalne za pomocą konfiguratora internetowego.

Wreszcie, Hermetis jest wyposażony w układ ESP32-C3 z łącznością Wi-Fi i BLE. Jest skonfigurowany do pracy, jako punkt dostępowy Wi-Fi i obsługuje głównie stronę internetową, która korzysta z usług z własnego serwera REST. W ten sposób można połączyć się z siecią Wi-Fi utworzoną przez urządzenie i uzyskać dostęp do konfiguracji urządzenia. Wszystkie konfiguracje są zarządzane przez główny

REKLAMA

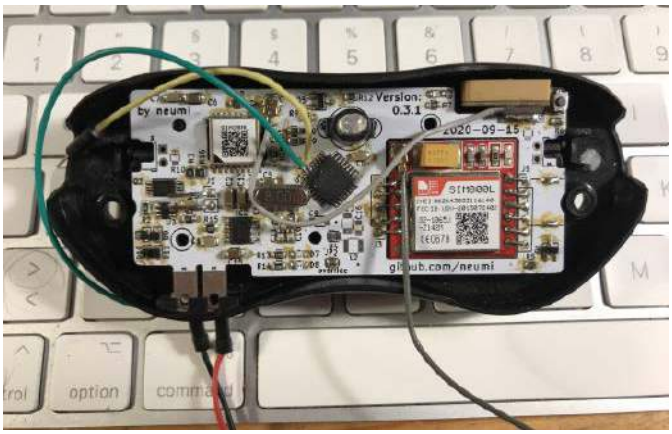


eprasa.pl e2be9d43e0

mikrokontroler i przechowywane w zewnętrznej pamięci EEPROM, więc ESP32 jest połączony z nim przez UART, aby wysyłać i odbierać wszystkie dane. Moduł ten umożliwia również aktualizację oprogramowania układowego głównego mikrokontrolera i własnego oprogramowania układowego.

Moduł ESP32-C3 obsługuje również komunikację BLE i inne funkcje Wi-Fi, takie jak sieć kratowa, połączenie Wi-Fi w trybie stacji (na przykład do wysyłania informacji bezpośrednio do serwera MQTT), przyjęcie nowych standardowych protokołów, takich jak Matter, i tak dalej. Jednak ESP32 służy tylko, jako konfigurator urządzenia, z możliwie najkrótszym czasem aktywności. Powód jest prosty: ten układ konsumuje ogromne ilości energii i produkuje sporo ciepła. System przeznaczony jest do precyzyjnych pomiarów temperatury i wilgotności, a te wartości muszą być stabilne by uzyskać precyzyjne wartości parametrów, wykorzystywanych do opisu jakości powietrza w pomieszczeniach. Jeśli pozostawimy włączony moduł ESP32-C3, temperatura PCB wzrośnie o około 2...3°C, co zaburzy pomiary.

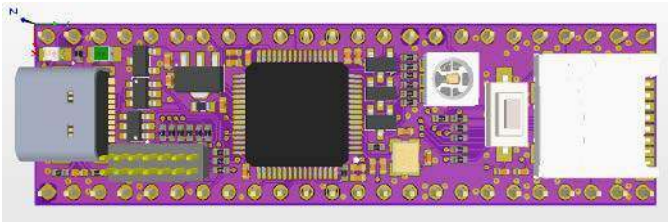
https://hackaday.io/project/189644-hermetis



Tracker do roweru z interfejsem LoRa

Motywacja do tego projektu była prosta – jak opisuje jego autor, Jan Neumann, wszystko zaczęło się, gdy w przeciągu kilku tygodni jego bratu skradziono rower. Jedyne, co mogli oni zrobić, aby odzyskać rower to go wyśledzić, a następnie pozwolić działać organom sprawiedliwości. Aby możliwe było wyśledzenie złodziei, Neumann rozpoczął pracę nad trackerem, który miałby śledzić pozycję roweru, właśnie na wypadek jego kradzieży. Projekt jest na razie na początkowym etapie rozwoju, ale póki co wiadomo, że tracker wyposażony będzie w interfejs bezprzewodowy LoRa. Pozwala on na osiąganie relatywnie dużego zasięgu, przy niewielkim zużyciu energii elektrycznej, co jest istotne w przypadku zasilanego bateryjnie urządzenia.

https://hackaday.io/project/189612-lorawan-bike-tracker



Alternatywa dla Teensy na STM32

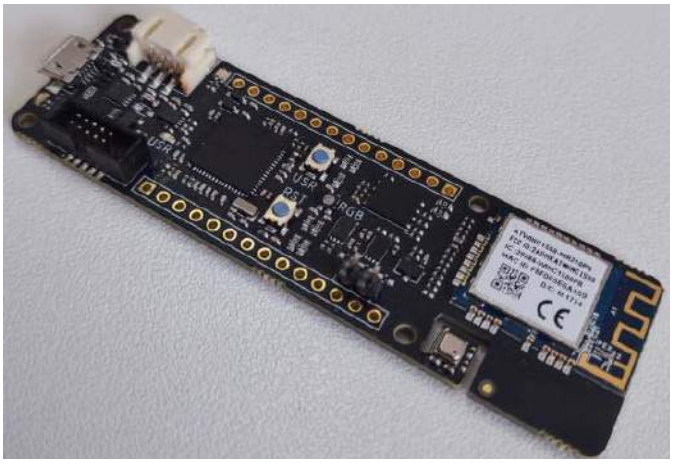
Większość hobbystów elektroników, prawdopodobnie słyszała o Teensy 4.0, popularnym module z mikrokontrolerem, znanym ze swojej wydajności i szybkości. Istnieją jednak inne moduły, które zyskują na popularności, jako alternatywa dla Teensy 4.0 i zawierają mikrokontrolery z rodziny STM32. Ten potężny, 32-bitowy mikrokontroler jest używany w innej bardzo popularnej płytce rozwojowej – Blue Pill. Autor tego projektu zainspirował się tą konstrukcją i zdecydował na stworzenie modułu, który używa Blue Pill, ale jest w formacie Teensy, a ponadto ma kilka dodatkowych funkcji.

STM32 to rodzina mikrokontrolerów produkowanych przez firmę STMicroelectronics, które szybko stają się ulubieńcami elektroników z uwagi na relatywnie niską cenę i dużą wydajność, jak i oferowane bogate peryferia. Istnieje kilka kluczowych powodów, dla których STM32 jest świetną alternatywą dla Teensy 4.0:

- **Cena** – układy STM32 są znacznie tańsze, a jednocześnie oferuje porównywalną wydajność;
- **Wszechstronność** – STM32 jest dostępny w wielu różnych modelach, z których każdy ma swój unikalny zestaw funkcji. Można wybrać model, który najlepiej pasuje do potrzeb konkretnego projektu;
- **Kompatybilność** – STM32 jest kompatybilny z popularnym środowiskiem programistycznym Arduino, co ułatwia rozpoczęcie pracy, jeśli znamy już Arduino. Układ ten da się również programować w C i C++ z innych IDE, np. Keil czy STM32CubeIDE;
- **Społeczność** – rośnie społeczność entuzjastów STM32, którzy tworzą biblioteki i udostępniają swoje projekty online. Oznacza to, że łatwo jest znaleźć wsparcie i inspirację podczas pracy nad własnymi projektami.

Zaprojektowana płytka rozwojowa jest kompatybilna z oryginalnym Teensy 4.0, dzięki czemu można jej użyć we wszystkich projektach, w których użyto Teensy, ale z ulepszonym i tańszym mikrokontrolerem. Głównym celem tego projektu było zakończenie uzależnienia od dostaw modułów Teensy, które ostatnimi czasy były dosyć ograniczone...

https://hackaday.io/project/189598-stm32-alternative-to-teensy



Martinica – inteligentna płytka sensorowa

Martinica to inteligentna płytka dla czujników MKR z Wi-Fi i ulepszonymi zabezpieczeniami. Moduł transmisyjny Martinica Ultra Low Power składa się z mikrokontrolera ATSAMD21 oraz modułu ATWINC1500 oferującego Wi-Fi (802.11 b/g/n) oraz sensorów.

Płytka zaprojektowana została w formacie Arduino MKR. Może być programowana za pomocą Arduino IDE lub Microchip Studio 7 IDE, umożliwiając szybkie tworzenie aplikacji.

Wbudowany czujnik środowiskowy BME688 ze sztuczną inteligencją firmy Bosch Sensortec umożliwia testowanie w rzeczywistych warunkach tego nowego sensora. Płytka Martinica Arduino MKR stanowi idealne rozwiązanie do ewaluacji modułu ATWINC1500 i czujnika środowiskowego Bosch Sensortec BME688.

https://hackaday.io/project/189597-martinica

Azz!Duino – moduł Arduino z mikrokontrolerem W806

Autor tego projektu był ciekawy mikrokontrolera W806 firmy Winner Micro. Dlatego postanowił zaprojektować płytkę deweloperską z tym układem, która byłaby kompatybilna swoim formatem z Arduino Mega.

Układ W806 to interesujący, niedrogi mikrokontroler firmy Winner Micro. Należy jednak pamiętać, że oficjalna dokumentacja jest

eprasa.pl e2be9d43e0

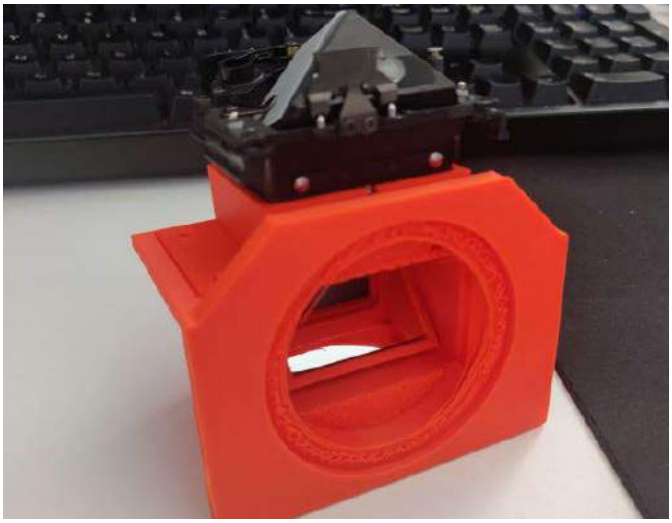
dostępna tylko w języku chińskim. Na szczęście dostępne są nieoficjalne strony z bardzo pomocną dokumentacją i innymi informacjami, dotyczącymi tego układu.

W806 to 32-bitowy procesor wykorzystujący rdzeń XT804. Taktowany jest zegarem do 240 MHz i ma wbudowany DSP, FPU i akcelerator bezpieczeństwa. Układ jest wyposażony w 1 MB pamięci Flash oraz 288 kB pamięci RAM. Ma zintegrowany interfejs PSRAM, który obsługuje do 64 MB zewnętrznej pamięci PSRAM.

Zastosowany mikrokontroler ma bogate peryferia – wiele interfejsów wejścia i wyjścia, takich jak UART (6 kanałów) SPI (do 50 MHz), I²C oraz I²S. Moduł ma także 4-kanałowy 16-bitowy przetwornik analogowo-cyfrowy (ADC) o częstotliwości próbkowania do 1 kHz, interfejs SDIO_HOST, który obsługuje SDIO2.0, SDHC, MMC4.2, a także interfejs SDIO_DEVICE, który obsługuje SDIO2.0. Maksymalna przepustowość tych interfejsów wynosi do 200 Mb/s. Dodatkowo, układ ma zintegrowany kontroler GPIO do 44 linii, 5 kanałów PWM, kontroler LCD, który obsługuje interfejs 4×32 oraz 15 linii dla czujników dotykowych (pojemnościowych).

Z uwagi na fakt, że mikrokontroler przykuł uwagę autora, zdecydował się on na zaprojektowanie Azz!Duino. Dzięki kompatybilności z formatem Arduino Mega pozwala na łatwą integrację shieldów i upraszcza prototypowanie. Dodatkowo, jak zauważa autor, z uwagi na fakt, że W806 jest w obudowie QFN-56 o rastrze 0,35 mm, jest to dobra okazja, aby poćwiczyć swoje umiejętności lutowania.

https://hackaday.io/project/189549-azzduino



OpenSLR

Istnieje kilka projektów aparatów typu open source, ale żaden z nich nie został zaprojektowany do robienia zdjęć na kliszy 35 mm, ani nie jest zaprojektowany do istniejących, wymiennych obiektywów do lustrzanek. Aby zapewnić interoperacyjność bez konieczności nadmiernego komplikowania projektu, autor w swoim projekcie otwartej lustrzanki sparametryzował ogniskową mocowania obiektywu. Wizjer z pryzmatem pentagonalnym pochodzi z aparatu F2 firmy Nikon. Możliwa jest jednak wymiana wizjera na inny.

https://hackaday.io/project/189579-openslr

Laserowy dalmierz DIY

Zaprezentowany na portalu Hackaday.io projekt to kompletne rozwiązanie dalmierza laserowego. Na stronie z projektem opublikowano schemat, projekt PCB, kod źródłowy (w postaci projektu w Keilu), projekt części optycznej (wraz z opisem dostawców soczewek optycznych i rysunkiem), instrukcję budowy, listę materiałową, typ lasera i moduł odbiorczy (APD). Rozwiązanie to bazuje na laserowym pomiarze fazy, który jest dokładniejszy niż pomiar ultradźwiękowy i mniej podatny na zakłócenia zewnętrzne, ale wymaga skomplikowanych i szybkich obliczeń, dlatego musi być wyposażony w 32-bitowy mikrokontroler z rdzeniem ARM Cortex-M0+ (STM32F030C8T6). Ponadto do zapewnienia precyzyjnego zegara potrzebny jest układ DDS. Wybrano układ Si5351, aby zapewnić odpowiednio główny sygnał oscylatora i sygnał dla lokalnego oscylatora. Przetwornik ADC w STM32 zbiera i przetwarza sygnały zwrotne z wewnętrznych i zewnętrznych ścieżek optycznych, a ostateczna obliczona odległość jest wysyłana na port szeregowy TTL lub RS485.

Generator DDS jest kontrolowany przez interfejs I²C mikrokontrolera i generuje dwa sygnały potrzebne do pomiaru różnicy faz, czyli sygnał oscylatora głównego i oscylatora lokalnego. Układ Si5351 to niedrogi i precyzyjny układ DDS, który może generować sygnał do 200 MHz. Jest to odpowiednie dla produktów wrażliwych na koszty, takich jak ręczne dalmierze.

System zawiera dwa lasery dla wewnętrznej i zewnętrznej ścieżki optycznej. Wewnętrzny laser nie musi mieć soczewki, ale zewnętrzny laser musi ją mieć, podobnie jak dioda lawinowa (APD). Dodatkowo, diody lawinowe wymagają wysokiego napięcia polaryzacji wstecznej, aby osiągnąć stan polaryzacji i wyzwolić lawinę, w momencie wykrycia fotonu. Z tego powodu konieczne jest dodanie obwodu wysokiego napięcia kontrolowanego przez mikrokontroler.

Dalmierz laserowy spełnia wysokie wymagania dotyczące dokładności i osiąga dokładność na poziomie milimetra. APD ma słabą odporność na zakłócenia i jest podatne na zmiany temperatury. Układ jest ograniczony do napięcia akwizycji STM32 – od 0 V do 3,3 V, więc

REKLAMA

eprasa.pl e2be9d43e0

kondycjonowanie sygnału wymaga dużo wysiłku. W projekcie wybrano podwójny wzmacniacz operacyjny AD8602 typu *rail-to-rail*. Połączenie niskiego offsetu, wyjątkowo niskiego wejściowego prądu polaryzacji i dużej prędkości działania pozwala lepiej osiągnąć wysoką precyzję pomiaru. Pierwszy stopień AD8602 składa się z obwodu wzmacniacza z transimpedancją (obwód konwersji I-V), który przekształca fotoprąd diody do napięcia, a drugi stopień to filtr dolnoprzepustowy. Jako diodę lawinową zastosowano AD280-8, ale niestety cena tego elementu jest dość wysoka i trudno go kupić. Na szczęście istnieją pewne alternatywy.

Obecnie projekt ma wysoki stopień zaawansowania i pozwala uzyskać dokładność pomiaru równą ±1,5 mm. Zakres pomiaru wynosi od 0,05 m do 60 m.

https://hackaday.io/project/189520-laser-range-finder

Moduły do testowania dla deweloperów systemów wbudowanych

Wiele osób, w taki czy inny sposób, używało płytek deweloperskich bazujących na mikrokontrolerach do tworzenia prototypów urządzeń i rozpoczynania debugowania oprogramowania wbudowanego na etapie, gdy pełnoprawna płytka urządzenia nie była jeszcze gotowa. Można podłączyć wszystkie niezbędne urządzenia peryferyjne do takich płyt za pomocą przewodów i rozpocząć tworzenie oprogramowania. Jednak często takie stanowiska do debugowania są strasznie niewygodne, zajmują dużo miejsca na stole, są kiepskie i nie tak łatwo je przenosić z miejsca na miejsce, gdyż połączenia między płytkami są zawodne. W tym projekcie autor podjął się próby rozwiązania tego problemu, opracowując własną, elastyczną i kompaktową modułową platformę prototypowania systemów wbudowanych na biurku.

Pierwszym założeniem projektu, była minimalizacja modułów. Autor chciał, aby były one nie większe niż 50×50 mm. Połączenia elektryczne między modułami muszą być niezawodne, a moduły muszą być solidnie ze sobą połączone, aby konstrukcja nie rozpadła się przy kolejnym nieostrożnym ruchu przy stole, a styki nie uległy uszkodzeniu. W rezultacie tych wymagań, autor doszedł do finalnego formatu płytki drukowanej modułu.

Rozbudowa układu w pionie jest oczywiście wygodna, ale ekspansja w płaszczyźnie poziomej jest nadal konieczna, w przeciwnym razie przy dużej liczbie modułów otrzymamy wąski i niestabilny stos modułów. Rozbudowa pozioma jest również możliwa przy użyciu specjalnych płytek głównych. Wystarczy w jednym miejscu umieścić płytkę, która jest wielokrotnością wymiarów modułu (na przykład 2×1, 1×2, 2×2, 3×2 itd.). Ma ona wszystkie takie same złącza międzymodułowe na górze i na dole oraz otwory montażowe jak konwencjonalne moduły. Takie koncentratory pozwalają na równoległe łączenie modułów z kilku stosów i połączenie ich mechanicznie.

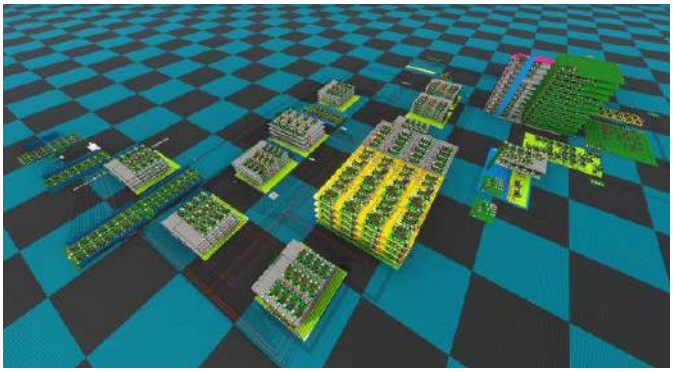
Do połączenia pomiędzy modułami stosuje się dwa złącza 2×10 pinów o rastrze 2,54 mm. Zastosowano złącza do montażu powierzchniowego. Żeńskie na górze, męskie na dole. Złącza te określają odległość między płytkami na 12 mm. Mosiężne słupki tej wysokości są powszechnie dostępne i nie są drogie. Są one jednak opcjonalne, ponieważ złącza między modułami dość dobrze utrzymują moduły razem. Rozmiar płytki to 40×40 mm. Narożniki płytek są zaokrąglone z promieniem 6 mm, co pozwala na wykonanie podobnego zaokrąglenia w np. obudowie dla modułów.

Złącza do połączeń zewnętrznych oraz sygnały sterujące i sygnalizacyjne mogą być wyprowadzone z przodu lub z tyłu (boki są osłonięte złączami międzymodułowymi). Odległość między pinami dwóch złączy międzymodułowych jest wielokrotnością rastra 2,54 mm, więc dolny moduł można włożyć do dowolnej płytki stykowej. Pozwala to wygodnie rozbudowywać system modułów za pomocą standardowych płytek stykowych.

Złącza do połączeń zewnętrznych umieszczone są z 2-milimetrowym wysunięciem poza płytkę. Jest to konieczne, aby złącza urządzenia nie były wpuszczone w obudowę i nie wystawały z niej.

Obudowę o ściance 1,6 mm można wydrukować na drukarce 3D, pozostałe 0,4 mm to szczelina między płytką a ścianką obudowy. Słupki służące do łączenia modułów ze sobą mogą służyć również do mocowania zespołu modułów w obudowie. Śruby M3 można użyć do przymocowania stojaka modułów do obudowy. Inną opcją jest użycie nakrętek lub insertów M3 wtopionych w obudowę.

https://bit.ly/3M4qq2n



Retro-komputer 16-bitowy na przekaźnikach

Zaprezentowana konstrukcja to system przekaźników, który emuluje klasyczny procesor Accu z lat 80.. System był symulowany za pomocą „Logic World", a teraz rozpoczęło się budowanie rzeczywistego układu. System jest bardzo prostym procesorem zawierającym rejestr Accu, podobnie jak procesory 40 lat temu. Procesor może adresować pamięć przy użyciu 3 różnych trybów adresowania:

- *LD X* ładuje Accu słowem danych przechowywanym w adresie po kodzie operacyjnym,
- *LD M(X)* ładuje Accu danymi przechowywanymi w adresie pamięci przechowywanym po kodzie operacyjnym,
- *LD M(M (X))* to adresowanie pośrednie. Słowo danych po kodzie operacyjnym zawiera adres, pod którym CPU znajduje adres słowa danych, które będzie przechowywane w Accu.

Czy 3 tryb adresowania jest naprawdę konieczny? Może nie. Ale wiele ułatwia. Dostępny jest również zestaw operacji CALL/RET. Nie jest realizowany żaden stos, możliwy jest tylko jeden poziom podprogramu. Adres zwrotny jest przechowywany w rejestrze SR. Procesor to klasyczna maszyna, w której wszystkie operacje matematyczne wykorzystują akumulator, także wszystkie operacje przechowywania i ładowania. A ponieważ jest to system, który do działania korzysta z przekaźników, licznik programów ma własny sumator, który jest w stanie dodać tylko 1 do licznika programów.

Aby zrozumieć konstrukcję systemu, ważny jest jeden szczegół: wszystkie rejestry, które są realizowane przez przekaźniki samozatrzaskujące się, muszą zostać wyczyszczone przed zapisaniem jakichkolwiek informacji, a także przed zmianą przechowywanych informacji. Dlatego zegar systemu nie jest zwykłym zegarem, jaki znamy z systemów cyfrowych. Zegar tego systemu składa się z 4 różnych impulsów

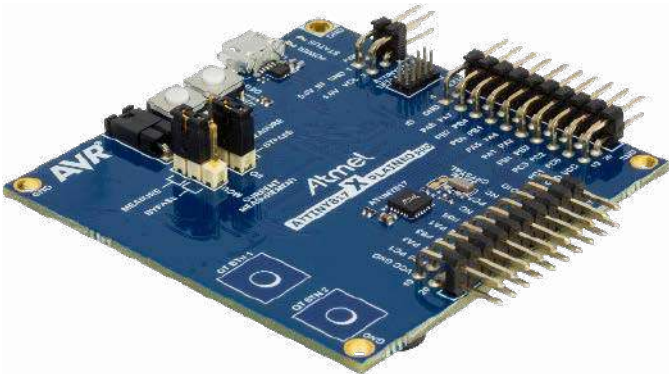
Kompletny schemat układu jest dostępny na stronie z projektem. Obecnie system został w całości zasymulowany, wraz z oprogramowaniem, co pozwala na pełne przetestowanie architektury. Opracowana symulacja wykorzystuje makra programu Excel. Za pomocą napisanego makra można przejść przez kod, obserwować rejestry i pamięć oraz iść do przodu, aż do punktu przerwania.

https://bit.ly/3U27YJq

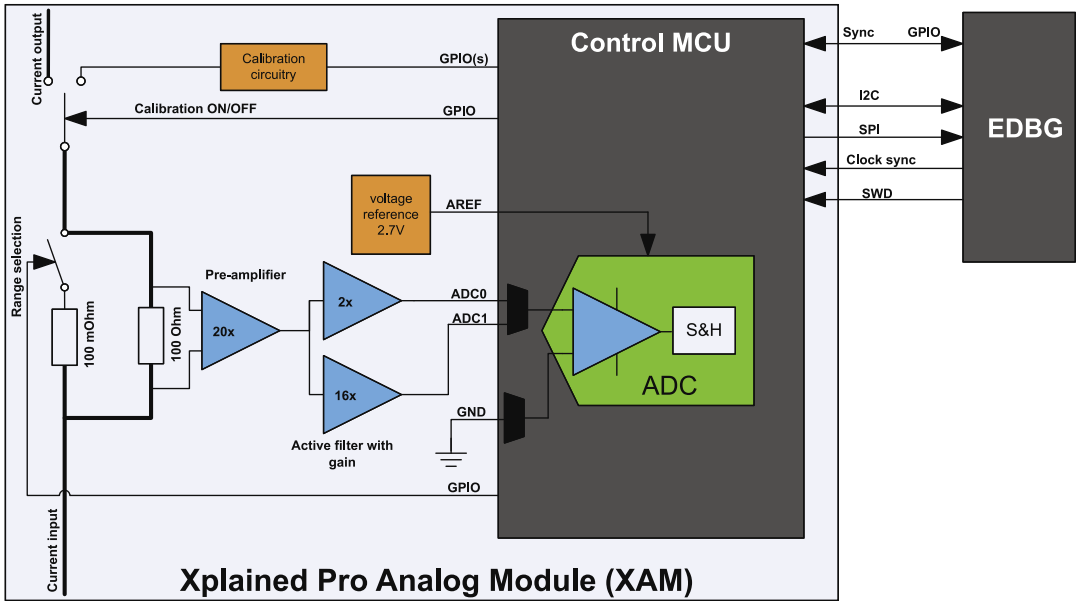
eprasa.pl e2be9d43e0

Wygraj płytkę ewaluacyjną Microchip ATtiny817 Xplained Pro

Układ ATtiny817 to nowoczesny 8-bitowy mikrokontroler AVR, który jest wyposażony w bogaty zestaw peryferiów w dużym stopniu niezależnych od rdzenia. Są to m.in. 16-bitowe timery, przetwornik ADC (10-bitowy) oraz DAC (8-bitowy), interfejsy UART/SPI/I²C, a także kontroler klawiatury dotykowej QTouch, blok logiki programowalnej CCL, zegar RTC oraz wiele innych przydatnych komponentów. Na płytce Xplained Pro mikrokontroler jest połączony ze zintegrowanym programatorem/debuggerem EDBG, który zapewnia bezproblemową integrację z Atmel Studio.



Zestaw ewaluacyjny ATtiny817 Xplained Pro to platforma sprzętowa pozwalająca na szybkie rozpoczęcie prototypowania z mikrokontrolerem ATtiny817 z rodziny tinyAVR. Pozostałe układy tej serii to ATtiny816, ATtiny814 i ATtiny417. Zestaw ewaluacyjny zawiera zintegrowany debugger EDBG, który jest kompozytowym urządzeniem USB z dodatkowym wirtualnym portem COM oraz interfejsem DGI (Data Gateway Interface). EDBG umożliwia programowanie i debugowanie mikrokontrolera poprzez środowisko Atmel Studio lub MPLAB X. Wirtualny port COM jest połączony z interfejsem UART mikrokontrolera i jest gotowym torem do przesyłania danych z aplikacji użytkownika. Natomiast DGI służy do przesyłania informacji o zdarzeniach wraz z ich znacznikiem czasowym, współpracując z aplikacją do wizualizacji danych.



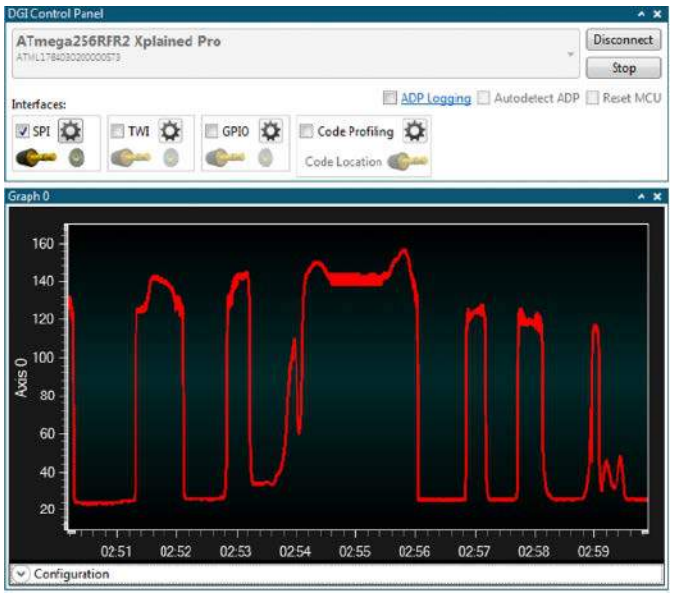
Rysunek 1. Uproszczony schemat modułu XAM – Xplained Pro Analog Module

Zestaw ewaluacyjny zawiera rozbudowany blok do pomiaru prądu pobieranego przez mikrokontroler i/lub układy peryferyjne. Jest to XAM – Xplained Pro Analog Module i składa się z: rezystorów bocznikowych z przełącznikiem wyboru zakresu, przedwzmacniacza, dwóch aktywnych filtrów ze wzmocnieniem oraz obwodów napięcia referencyjnego i kalibracji. Takie rozwiązanie umożliwia osiągnięcie czterech zakresów pomiarowych od 1 µA przy rozdzielczości 20 nA, do 400 mA przy rozdzielczości 100 µA. Pomiary z bloku XAM mogą być przesyłane poprzez interfejs DGI do aplikacji prezentującej dane na wykresie.

Aby mieć szansę na wygranie zestawu ewaluacyjnego ATtiny817 Xplained Pro lub aby otrzymać kupon rabatowy 15% i bezpłatną wysyłkę, należy wypełnić formularz zgłoszeniowy na stronie: http://bit.ly/3FhPQp7.

Szczegółowe informacje na temat płytki rozwojowej ATtiny817 Xplained Pro można znaleźć na stronie https://bit.ly/3l4q6W7.

Dokumentację zamontowanego na płytce mikrokontrolera ATtiny817 można znaleźć na stronie https://bit.ly/3ZDdHHK.



Rysunek 2. Aplikacja prezentująca dane na wykresie

eprasa.pl e2be9d43e0

AVT sklep

Podstawowe parametry:
- dwa tryby pracy: generator lub wobuloskop,
- wyjście sygnału sinusoidalnego i prostokątnego,
- regulacja częstotliwości w zakresie od 1 Hz do 40 MHz, z krokiem od 1 Hz do 1 MHz,
- regulacja poziomu wyjściowego sygnału sinusoidalnego za pomocą potencjometru,
- możliwość zastosowania jednego z dwóch dostępnych na rynku, gotowych modułów generatorów DDS z chipem AD9850.

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

AVT5961	Generator impulsów szpilkowych (EP 11/2022)
AVT5795	Generator pojedynczego impulsu (EP 8/2020)
AVT5709	Generator przebiegu prostokątnego 10 kHz...33 MHz (EP 8/2019)
AVT5684	Cyfrowy generator sygnału prostokątnego 1 Hz...499 kHz (EP 7/2019)
AVT5665	Generator cyfrowy (EP 3/2019)
AVT1993	Kieszonkowy generator funkcyjny (EP 8/2018)
AVT3111	Cyfrowy generator DDS z układem AD9850 – DDS wg SQ5RWQ (SR 9/2014)
AVT5418	Cyfrowy generator sygnału prostokątnego (EP 10/2013)

* **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**.

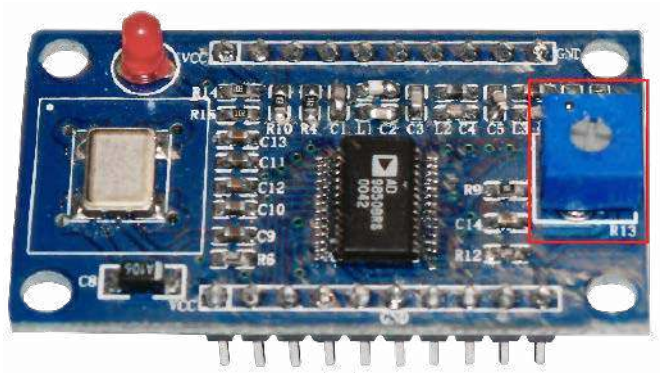
Generator-wobulator DDS na zakres częstotliwości od 1 Hz do 40 MHz (1)

Generator przestrajany, to jeden z najważniejszych przyrządów w warsztacie każdego elektronika-konstruktora. Ma szerokie zastosowanie przy prototypowaniu, uruchamianiu oraz serwisowaniu wielu urządzeń elektronicznych. Opisany generator pozwala na komfortową pracę m.in. z urządzeniami audio, przetwornicami DC-DC, mikrokontrolerami a także z urządzeniami radiokomunikacyjnymi. Jego atutami są: wbudowana funkcja wobulatora oraz możliwość zastosowania jednego z dwóch dostępnych na rynku, gotowych modułów generatorów DDS z chipem AD9850. Prezentowane urządzenie powstało w odpowiedzi na znaczne zainteresowanie Czytelników jako zmodernizowana i rozwinięta wersja projektu AVT5580 (EP 2...3/2017).

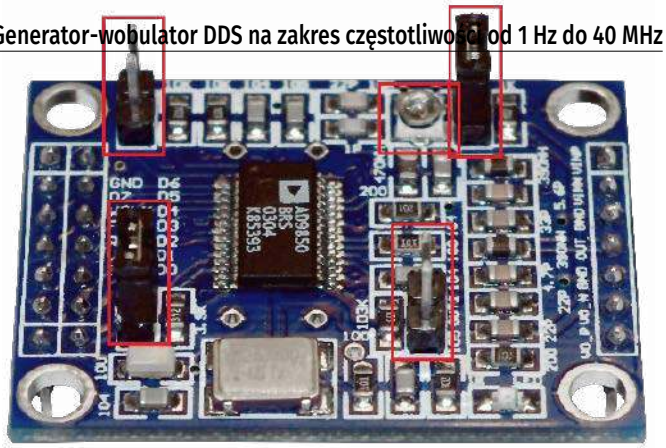
Właściwości urządzenia

Opisany projekt generatora bazuje na gotowych modułach z popularnym układem scalonego syntezera DDS typu AD9850 produkcji Analog Devices (**fotografie 1** i **2**). Moduły te są taktowane zegarem 125 MHz, pochodzącym ze stabilizowanego termicznie generatora kwarcowego OCXO, umieszczonego na module. Znaczącym atutem tego właśnie projektu jest możliwość alternatywnego zastosowania jednego z dwóch wymienionych modułów DDS.

eprasa.pl e2be9d43e0



Fotografia 1. Moduł DDS typu „A" (U5)



Fotografia 2. Moduł DDS typu „B" (U6)

Urządzenie wyposażono we wzmacniacz szerokopasmowy dla analogowego sygnału sinusoidalnego, o wzmocnieniu napięciowym Ku=12 dB w 3-decybelowym paśmie przynajmniej do 30 MHz i impedancji wyjściowej 50 Ω. Także wyprowadzenie sygnału cyfrowego o poziomach logicznych 0/5 V ma bufor o impedancji wyjściowej 50 Ω. Bufor ten można programowo wyłączyć w celu obniżenia poziomu zakłóceń tła sygnału analogowego (sinusoidalnego). Zastosowanie zestandaryzowanej impedancji wyjściowej 50 Ω jest wygodne we współpracy z innymi urządzeniami (głównie radiokomunikacyjnymi) a także umożliwia poprawne przekazywanie sygnałów na zewnątrz urządzenia z użyciem przewodów koncentrycznych o tej samej impedancji falowej.

Po przejściu przez ekrany inicjujące pracę urządzenia (**fotografia 3**) przechodzimy do wyboru jednego z dwóch trybów jego pracy. Pierwszy z nich to zwykły tryb generatora. Częstotliwość roboczą Fg synchronicznych sygnałów: sinusoidalnego i prostokątnego, można regulować w zakresie od 1 Hz do 40 MHz z minimalnym krokiem dFg=1 Hz, przy czym dostępne kroki regulacji to: 1 Hz, 2 Hz, 5 Hz, 10 Hz, 20 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 200 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 5 kHz, 10 kHz, 20 kHz, 50 kHz, 100 kHz, 200 kHz, 500 kHz oraz 1 MHz. Natomiast poziom wyjściowy sygnału sinusoidalnego można płynnie regulować za pomocą potencjometru obrotowego, umieszczonego na przednim panelu urządzenia. Jego wartość Vout (w jednostkach [Vp-p]) jest prezentowana na ekranie LCD 16×2, poniżej nastawionej częstotliwości pracy Fg.

Krok strojenia dFg można zmieniać na drugim ekranie obsługi generatora, dostępnym (cyklicznie) po naciśnięciu wbudowanego przycisku enkodera. Drugi tryb pracy urządzenia to tryb wobulatora. W tym trybie można ustawiać cztery parametry pracy:

- częstotliwość minimalną Fl,
- częstotliwość maksymalną Fh,
- krok strojenia (regulacji częstotliwości) dFg,
- szybkość (częstotliwość) wobulacji Fw,
- amplitudę sinusoidalnego napięcia wyjściowego Vout.

Częstotliwości graniczne oraz krok ich regulacji mogą przyjmować wartości analogiczne, jak w przypadku generatora, natomiast szybkość (częstotliwość) wobulacji Fw można regulować w zakresie od 4 do 10 Hz z krokiem 2 Hz. Wobulator pracuje poprzez cykliczne generowanie liniowo narastających 256 wartości częstotliwości z przedziału od Fl do Fh. Towarzyszy temu wytwarzanie narastającego liniowo, piłokształtnego sygnału odchylania poziomego dla oscyloskopu z wejściami i trybem pracy „X/Y". Sygnał ten może być używany także do wyzwalania (opadającym zboczem) procesu kreślenia przebiegu „Y" w oscyloskopach pozbawionych opcji pracy „X/Y". Częstotliwość Fw jest parametrem o tyle istotnym, że determinuje zarówno częstotliwość odświeżania kreślonej charakterystyki Y=f(X), jak i tempo pobudzania wejścia i skanowania wyjścia badanego układu. Ma to ogromne znaczenie, ponieważ czas ustalania odpowiedzi częstotliwościowej niektórych układów może być znaczny i – w związku z tym – wymagać bardzo powolnego skanowania wyjścia (podobne zagadnienie dotyczy sond analizujących poziom sygnału wyjściowego badanego układu). Sposób realizacji układowej i programowej oraz praktyczną obsługę zarówno generatora, jak i wobulatora opisano szczegółowo w dalszej części artykułu.

Fotografia 3. Ekrany inicjujące pracę przyrządu

FEATURES
125 MHz Clock Rate
On-Chip High Performance DAC and High Speed Comparator
DAC SFDR > 50 dB @ 40 MHz A_{OUT}
32-Bit Frequency Tuning Word
Simplified Control Interface: Parallel Byte or Serial Loading Format
Phase Modulation Capability
3.3 V or 5 V Single-Supply Operation
Low Power: 380 mW @ 125 MHz (5 V)
155 mW @ 110 MHz (3.3 V)
Power-Down Function
Ultrasmall 28-Lead SSOP Packaging

APPLICATIONS
Frequency/Phase—Agile Sine Wave Synthesis
Clock Recovery and Locking Circuitry for Digital Communications
Digitally Controlled ADC Encode Generator
Agile Local Oscillator Applications

Rysunek 1. Fragment dokumentacji pokazujący najważniejsze parametry układu AD9850

Syntezer DDS AD9850

Podstawowe właściwości scalonego syntezera DDS (Direct Digital Synthesis) typu AD9850 prod. firmy Analog Devices zestawiono na **rysunku 1** w formie listy zaczerpniętej z noty katalogowej tego układu. Jest on powszechnie stosowany od wielu lat m.in. w urządzeniach radiokomunikacyjnych, a swoją obecną popularność zawdzięcza głównie zastosowaniu w dwóch łatwo dostępnych modułach generatorów (fotografie 1 i 2), stosunkowo prostych do implementacji w przewlekanej technologii montażu THT.

Chip działa w oparciu o zasadę odtwarzania próbek sygnału, pobieranych z predefiniowanej tablicy wartości sygnału sinusoidalnego, przez 10-bitowy przetwornik cyfrowo-analogowy DAC (*Digital-to-Analog Converter*). Przetwornik jest taktowany ze stałą częstotliwością, wytwarzaną przez umieszczony we wspomnianych modułach stabilizowany termicznie generator kwarcowy OCXO (*Oven Controlled Crystal Oscillator*), natomiast wartości próbek są wybierane na podstawie adresu wyliczanego w cyklicznie zwiększanym rejestrze, zwanym akumulatorem fazy. Układ scalony AD9850 może pracować z napięciami zasilania Vdd od 3,3 do 5 V, przy czym maksymalne częstotliwości taktowania Fs oraz wydzielane moce strat cieplnych Ptot wynoszą wtedy odpowiednio: 155 mW przy 110 MHz oraz 380 mW przy 125 MHz (wyczuwa się wówczas lekkie grzanie pracującego układu).

Deklarowana przez producenta wartość parametru SFDR (*Spurious-Free Dynamic*

eprasa.pl e2be9d43e0

Range), oznaczającego stosunek amplitudy użytecznego sygnału wyjściowego do najsilniejszego sygnału zakłócającego (miara dokładności odwzorowania sygnału przez przetwornik DAC), przy częstotliwości generowanego sygnału sinusoidalnego równej Fc=40 MHz, jest lepsza od 50 dB, co należy uznać za wartość zadowalającą w większości zastosowań radioamatorskich. Trzeba tu jednak wyraźnie podkreślić, że przy tak małym stosunku częstotliwości generowanej Fc=40 MHz do częstotliwości próbkowania Fs=125 MHz, równym 0,32, próbkowanie odbywa się zbyt rzadko, by dokładność odwzorowania sygnału w dziedzinie czasu była wystarczająca dla większości zastosowań. W praktyce, stosując wyłącznie filtry dolnoprzepustowe LC, zaimplementowane we wspomnianych modułach DDS, jesteśmy w stanie uzyskać przebiegi sinusoidalne i prostokątne o jakości niebudzącej zastrzeżeń (przy wizualnej ocenie ich oscylogramów) oznaczającej współczynnik THD<5%, tylko w zakresie do kilkunastu MHz, czyli do około 10% częstotliwości Fs. Przy większych wymaganiach na czystość widmową generowanego przebiegu sinusoidalnego warto jest więc zastosować dodatkowe filtry dolno- lub pasmowo-przepustowe.

Zasadę działania syntezera zilustrowano schematami blokowymi na **rysunkach 2** i **3**. Częstotliwość wyjściową Fout określa formuła:

$Fout = (\Delta Phase \times Fclk)/(2^{32})$

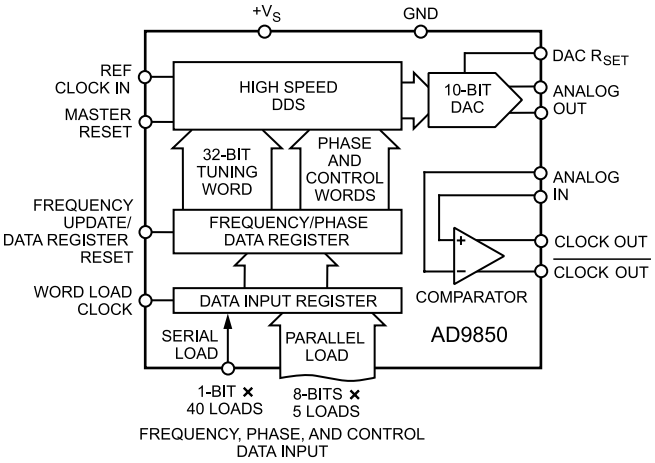
Parametr $\Delta Phase$ jest wartością 32-bitowego słowa, o które zwiększana jest wartość akumulatora fazy syntezera w każdym takcie zegara, natomiast *Fclk* jest wejściową częstotliwością referencyjną, taktującą układ (w tym wypadku jest to 125 MHz) i będącą jednocześnie częstotliwością próbkowania Fs dla przetwornika DAC. Krok fazy sygnału $\Delta Phase$ jest w każdym cyklu zegara taktującego dodawany do zawartości 32-bitowego akumulatora, z którego 10 najstarszych bitów jest podawanych na wejście adresowe tablicy LUT (*Look-Up Table*), odwzorowującej sygnał sinusoidalny, a następnie na wejście przetwornika cyfrowo-analogowego DAC.

Na wyjściu przetwornika DAC w modułach generatorów zaimplementowano eliptyczne filtry dolnoprzepustowe LC 7. rzędu, o paśmie przenoszenia ok. 42 MHz, które znacznie redukują pasożytnicze harmoniczne, pochodzące z próbkowania sygnału sinusoidalnego impulsami prostokątnymi. Należy tu zwrócić uwagę na fakt, że wraz ze wzrostem częstotliwości wyjściowej generatora DDS spada poziom podstawowego sygnału sinusoidalnego a wzrasta poziom zakłóceń harmonicznych.

Zaczerpnięty z notyki katalogowej układu AD9850 **rysunek 4** pokazuje rozkład widmowy sygnału dla przykładowego przypadku syntezy z częstotliwością próbkowania fc=Fs=100 MHz i zaprogramowaną częstotliwością wyjściową fo=Fc=20 MHz. Jak widać, widmo to jest objęte obwiednią odwzorowującą funkcję:

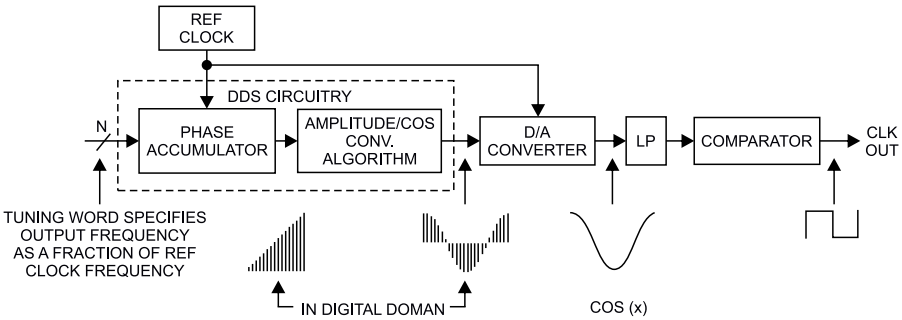
$|sinc(x)|=|sin(x)/x|$

Taki kształt ma widmo zastosowanego tu próbkującego sygnału prostokątnego i, oprócz podstawowej harmonicznej fo, zawiera także liczne sygnały pasożytnicze o częstotliwościach n*fc±fo=80, 120, 180, 220, 280… MHz (efekt tzw. zjawiska aliasingu). Z wykresu można wywnioskować, że poziom tego sygnału pasożytniczego jest tym większy, im większy jest stosunek częstotliwości fo/fc (czyli Fc/Fs według przyjętych tutaj pierwotnie oznaczeń).



Rysunek 2. Schemat blokowy układu AD9850

szeregowym do przekazania tych samych danych (40 bitów) wykorzystywane są tylko wejścia: W_CLK, FQ_UD, DATA oraz RESET. Przy zastosowaniu układu jako zwykłego generatora, stosunkowo wolno przestrajanego, w zupełności wystarczy powolniejszy transfer szeregowy, wymagający mniejszej liczby połączeń. Jakkolwiek sterowanie równoległe



Rysunek 3. Zasada działania syntezera DDS

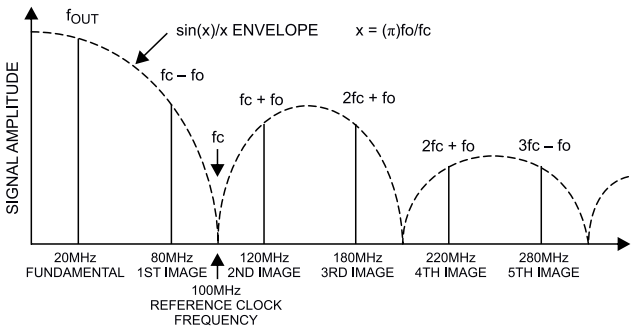
Odfiltrowany dolnoprzepustowo sygnał sinusoidalny jest podawany także na wejście wbudowanego w układ AD9850 komparatora, na którego wyjściu uzyskiwany jest sygnał prostokątny. W zastosowanych w projekcie modułach generatorów na jedno z wejść komparatora podawany jest stały sygnał referencyjny z potencjometru montażowego. Od jego wartości zależy współczynnik wypełnienia impulsów w sygnale prostokątnym.

Programowanie układu AD9850 może odbywać się metodą szeregową lub równoległą. Przy zastosowaniu szybszej metody równoległej aktywnie wykorzystywane są wyprowadzenia D0…D7 (programowanie odbywa się przez przekazanie do układu AD9850 pięciu 8-bitowych słów sterujących), natomiast przy programowaniu

z natury będzie około 8-krotnie szybsze, co może być przydatne wtedy, gdy chcielibyśmy stosować układ DDS np. jako element modemu FSK czy PSK.

Budowa i działanie

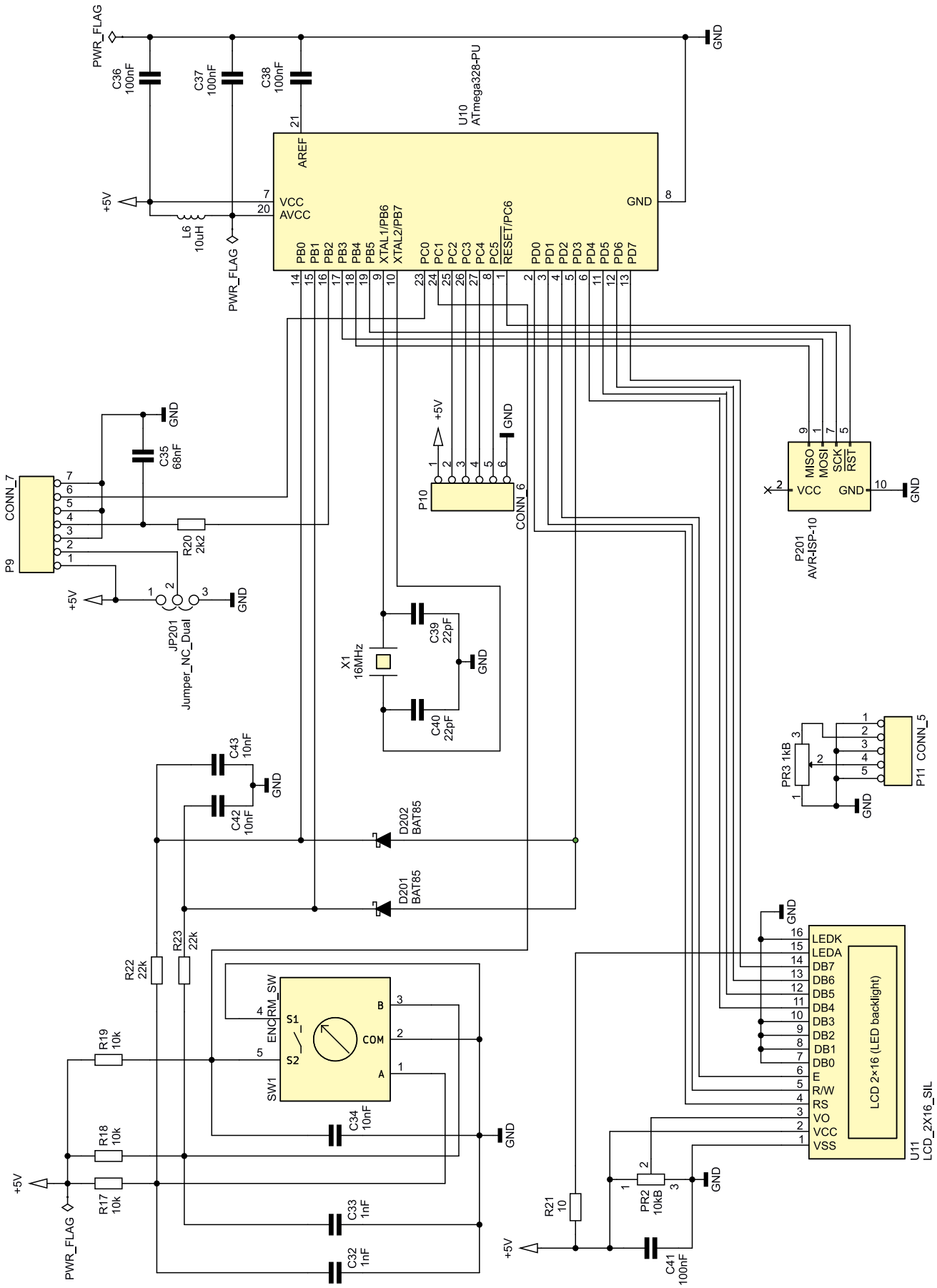
Schemat elektryczny urządzenia zaprezentowano na **rysunku 5** (blok sterowania) oraz na **rysunku 6** (płyta główna). Na płytce sterowania znajdują się m.in.: mikrokontroler AVR ATmega328-PU (U10), taktowany



Rysunek 4. Rozkład widmowy sygnału dla przykładowego przypadku syntezy z częstotliwością próbkowania fc=Fs=100 MHz i zaprogramowaną częstotliwością wyjściową fo=Fc=20 MHz

eprasa.pl e2be9d43e0

zegarem 16 MHz, ustalanym przez rezonator kwarcowy X1 z kondensatorami C39 i C40, alfanumeryczny wyświetlacz LCD 16×2 (U11), mechaniczny enkoder obrotowy (SW1) z wbudowanym przyciskiem (przeznaczony do parametryzacji przyrządu) oraz wyprowadzony na złącze P11 potencjometr obrotowy PR3, którym ustalany jest poziom wyjściowego sygnału sinusoidalnego. Rezystor R21 ogranicza prąd podświetlenia wyświetlacza LCD i może zostać zmodyfikowany lub wręcz wyeliminowany

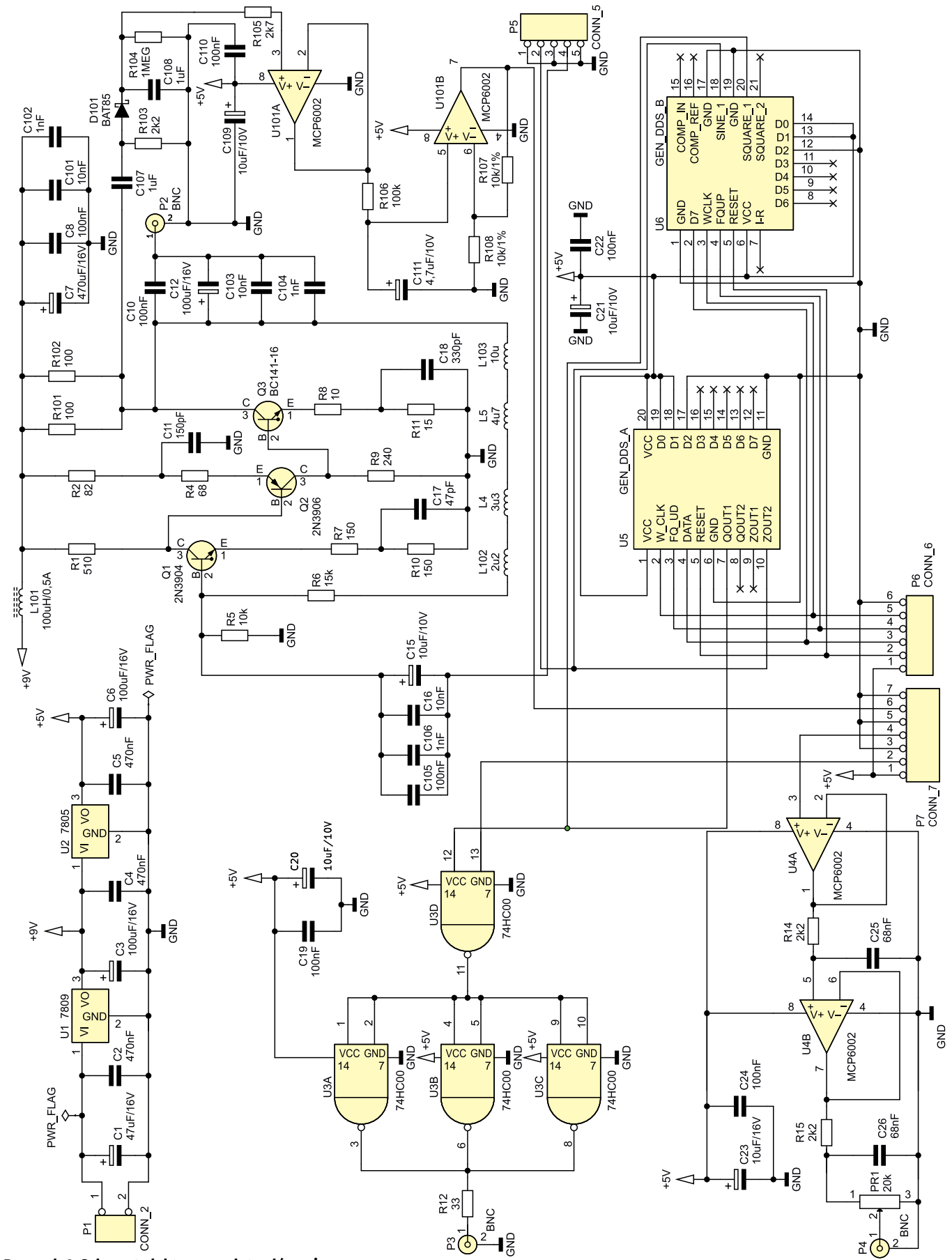


Rysunek 5. Schemat elektryczny bloku sterowania

eprasa.pl e2be9d43e0

– w zależności od typu zastosowanego ekranu. Kondensator C41 redukuje zakłócenia napięcia zasilania wyświetlacza U11 a potencjometr PR2, dla wygody zamontowany od tylnej strony PCB, służy do regulacji kontrastu wyświetlacza.

Elementy: C36, C37, C38 i L6, są odpowiedzialne za filtrację zasilania części cyfrowej i analogowej (przetwornika analogowo-cyfrowego ADC) mikrokontrolera U10. Na port P9 wyprowadzony został odfiltrowany wstępnie przez elementy R20 i C35 sygnał PWM



Rysunek 6. Schemat elektryczny płyty głównej

eprasa.pl e2be9d43e0

(z pinu 16 układu U10), który po dalszym uformowaniu na płycie głównej przyrządu jest źródłem piłokształtnego sygnału odchylania poziomego „X" w oscyloskopie (praca w trybie wobulatora). Na tym samym porcie zlokalizowano także: wyprowadzenie z jumpera JP201 sygnału kluczującego wyjście sygnału cyfrowego generatora oraz wejście przetwornika ADC0 (pin 23 MCU), przeznaczonego do pomiaru poziomu wyjściowego sygnału sinusoidalnego.

Enkoder obrotowy z przyciskiem SW1, którego styki są polaryzowane przez rezystory R17, R18 i R19, wytwarza sygnały wyjściowe, filtrowane przez kondensatory: C32, C33 i C34. Rezystory R22 i R23 z kondensatorami C42 i C43 formują dodatkowe filtry dolnoprzepustowe RC, których zadaniem jest wygładzanie przebiegów wytwarzanych przez pracujący enkoder. Z kolei sygnały sterujące pracą modułu DDS zostały wyprowadzone na port P10 (wyprowadzenia 25...28 mikrokontrolera U10), skąd dalej są kierowane do modułu wykonawczego (U5 albo U6), zlokalizowanego na głównej płycie przyrządu.

Na rysunku 6 znajduje się schemat głównej (wykonawczej) części przyrządu. W tej części układu znajduje się blok zasilania całego urządzenia z portem P1, stabilizatorami scalonymi: U1 (LM7809) i U2 (LM7805) oraz kondensatorami filtrującymi: C1...C6. Zasilanie +9 V przeznaczone jest dla wzmacniacza wyjściowego sygnału sinusoidalnego, jest też źródłem zasilania dla stabilizatora U2 w połączeniu kaskadowym.

Wzmacniacz-filtr dla sygnału odchylania poziomego oscyloskopu bazuje na podwójnym wzmacniaczu operacyjnym U4A/B (MCP6002), zasilany jest napięciem +5 V filtrowanym dodatkowo przez pojemności C23 i C24. Oba wzmacniacze operacyjne pracują w prostej topologii wtórników napięciowych, zapewniającej prawidłową realizację trójstopniowego filtru RC z elementami: R20/C35 (na omówionej wcześniej płytce sterowania) oraz R14/C25 i R15/C36.

Regulację amplitudy piłokształtnego napięcia wyjściowego, w celu wstępnego dostosowania go do czułości wejścia „X" zastosowanego oscyloskopu, można przeprowadzić za pomocą potencjometru montażowego PR1 – w zakresie od 0 do około 4,5 V. Sygnał ten jest wyprowadzony na port P4 (gniazdo BNC).

Z kolei wygenerowany sygnał sinusoidalny, regulowany i przekazywany poprzez potencjometr liniowy PR3 (montowany na płytce sterowania), po dwukrotnym przejściu przez parę portów: P5–P11 trafia do szerokopasmowego wzmacniacza wyjściowego z tranzystorami Q1...Q3. Wzmacniacz ten jest zasilany napięciem stabilizowanym +9 V poprzez czwórnik separująco-filtrujący z elementami L101, C7, C8, C101 i C102. Ma on rezystancję wyjściową zbliżoną do 50 Ω i wzmocnienie Ku=12 dB w 3-decybelowym paśmie do około 40 MHz (w zależności od jakości zastosowanych tranzystorów).

Wzmacniacz został zaprojektowany z użyciem popularnych i niedrogich tranzystorów bipolarnych (2N3904, 2N3906 i BC141-16). Jego parametry dynamiczne zostały uzyskane na drodze optymalizacji wzmocnień i pasm przenoszenia każdego ze stopni w taki sposób, by finalne pasmo przenoszenia całego układu odpowiadało oczekiwanym założeniom. Pomiędzy poszczególnymi stopniami wzmacniacza zastosowano sprzężenia stałoprądowe, ułatwiające uzyskanie równomiernej charakterystyki przenoszenia także dla niższych częstotliwości pracy. Dodatkowo eliminują one tłumienia, które wprowadzałyby rezystory ustalające punkty pracy poszczególnych tranzystorów. Stałoprądowy punkt pracy bloku wzmacniającego jest ustalany przez globalną pętlę ujemnego sprzężenia zwrotnego z rezystorami R5 i R6 oraz z dławikami L102, L4, L5 i L103.

Głównym zadaniem połączonych szeregowo dławików jest osłabienie globalnego ujemnego sprzężenia zwrotnego wzmacniacza dla wyższych częstotliwości, dla których wzmocnienie tranzystorów Q1...Q3 wyraźnie spada. Zastosowanie szeregowo aż czterech dławików o różnych wartościach indukcyjności miało na celu wyeliminowanie selektywnego przenikania przez nie sygnałów w.cz. z uwagi na równoległe pojemności pasożytnicze różnych typów dławików.

Z kolei kondensatory C11, C17 i C18 dla składowej zmiennej dzielą połączone szeregowo rezystancje R2...R4, R7...R10 oraz R8...R11 w celu kompensacji spadków wzmocnienia poszczególnych stopni tranzystorowych. Sygnał sinusoidalny podawany jest z modułu DDS do wzmacniacza przez połączone równolegle pojemności sprzęgające C15, C16, C105 i C106. Natomiast na jego wyjście (port P2 z gniazdem BNC) trafia przez połączone równolegle kondensatory sprzęgające C10, C12, C103 i C104.

Do wyjścia wzmacniacza sygnału sinusoidalnego dołączony jest także detektor szczytowy z elementami C107, R103, D101, C108 i R104. Jego zadaniem jest wytworzenie napięcia stałego, które z kilkuprocentową dokładnością pozwoli dokonać pomiaru amplitudy wzmocnionego sygnału sinusoidalnego. Zrezygnowanie z układu w topologii podwajacza napięcia pozwoliło obniżyć detekcję do poziomu około 0,1Vp-p, jednak wymusiło zastosowanie stopni wzmacniających z elementami R105 i U101A (wtórnik napięciowy), R106 i C111 (dolnoprzepustowy filtr wygładzający), U101B, R107, R108 (wzmacniacz napięcia stałego ×2) oraz C109 i C110 (filtracja zasilania U101). Finalnie, pomiar odfiltrowanego i dwukrotnie wzmocnionego napięcia szczytowego sygnału sinusoidalnego odbywa się w przetworniku analogowo-cyfrowym w mikrokontrolerze U10 poprzez jego port ADC0 (wyprowadzenie 23).

Wygenerowany w module DDS prostokątny sygnał cyfrowy jest wyprowadzany z urządzenia poprzez bufor zrealizowany na bramkach NAND układu scalonego U3A...U3D (74HC00) oraz rezystor dopasowujący impedancję R12 na port P3 (BNC). Układ U3 jest zasilany napięciem +5 V, zablokowanym do masy dla zakłóceń impulsowych kondensatorami C19 i C20. Bramka U3D, oprócz funkcji regeneratora kształtu sygnału prostokątnego, pełni także funkcję klucza, za pomocą którego można zablokować wyjście cyfrowe urządzenia poprzez odpowiednie ustawienie jumpera JP201. Takie rozwiązanie zostało podyktowane możliwą potrzebą redukcji zakłóceń impulsowych w przypadku, gdy chcemy pracować wyłącznie z sygnałem sinusoidalnym.

Ostatnie, nieomówione dotychczas bloki, to serce całego urządzenia, czyli moduły DDS: U5 albo U6 z kośćmi AD9850, taktowanymi stabilizowanymi termicznie rezonatorami OCXO. Na płytce głównej przyrządu zlokalizowane zostały gniazda dla dwóch alternatywnie stosowanych modułów U5/U6 (należy użyć tylko jednego z nich). Linie wejściowe (programujące: W_CLK, FQ_UD, DATA oraz RESET) i wyjściowe (analogowy sinus oraz cyfrowy prostokąt) gniazd obu alternatywnych modułów zostały zatem połączone ze sobą bez ryzyka uszkodzenia urządzenia.

Oprogramowanie sterujące oraz montaż urządzenia

Zagadnienia związane z budową i działaniem oprogramowania sterującego pracą urządzenia oraz kluczowe aspekty dotyczące montażu urządzenia zostaną opisane już za miesiąc w kolejnym wydaniu „Elektroniki Praktycznej".

Adam Sobczyk SQ5RWQ
sq5rwq@gmail.com

REKLAMA

Odwiedź stronę z mnóstwem doskonałych projektów

EP.com.pl

eprasa.pl e2be9d43e0

AVT sklep

Podstawowe parametry:
- wyświetlanie godzin i minut w formacie 24-godzinnym,
- czterocyfrowy, czytelny wyświetlacz LED ,
- załączanie wyświetlacza po dotknięciu odpowiedniego pola,
- regulowany czas załączenia: od 50 ms do 2 s,
- pobór prądu około 1 µA w stanie spoczynku i do 30 mA podczas wyświetlania,
- zasilanie napięciem stałym 3...5 V,
- wbudowane gniazdo baterii CR2032.

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

----	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)
----	µClock (EP 9/2020)
AVT5735	Estetyczny zegar (EP 1/2020)
AVT5677	Zegar ClockRDS (EP 6/2019)
AVT5640	Rozbudowany zegar (EP 7/2018)
AVT5522	Zegar ustawiany za pomocą GPS (EP 9/2015)
AVT3132	Prosty zegar LED (EdW 7/2015)
AVT1832	Zegar z budzikiem (EP 10/2014)
AVT5377	Megastoper – wielofunkcyjny licznik, nie tylko czasu (EP 12/2012)
AVT513	Zegar ze stuletnim kalendarzem i termometrem (EP 10–11/2011)

* **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.

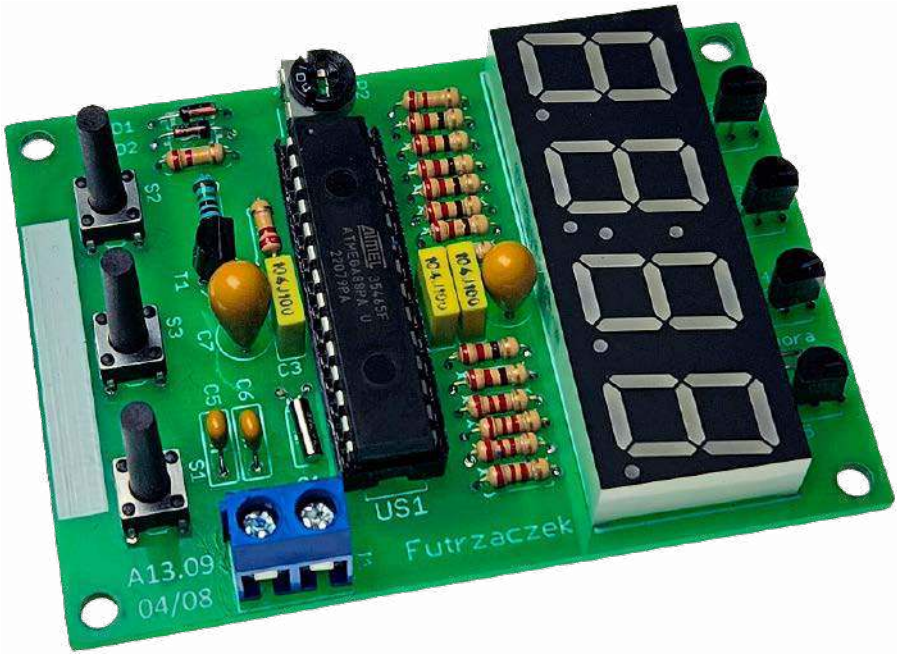
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- **wersja [A+]** – płytka drukowana **[A]** + zaprogramowany układ **[UK]** i dokumentacja,
- **wersja [UK]** – zaprogramowany układ.

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**.

Energooszczędny zegar LED

Zegary mogą być różne: analogowe, cyfrowe, małe, duże, naręczne i nie tylko. Jednak dużym problemem konstrukcyjnym w zegarach elektronicznych jest pogodzenie czytelności odczytu z niskim poborem mocy. W zaprezentowanym projekcie zastosowano nietypowe rozwiązanie, które pomimo pewnych ograniczeń nie wpływa negatywnie na wygodę użytkowania.



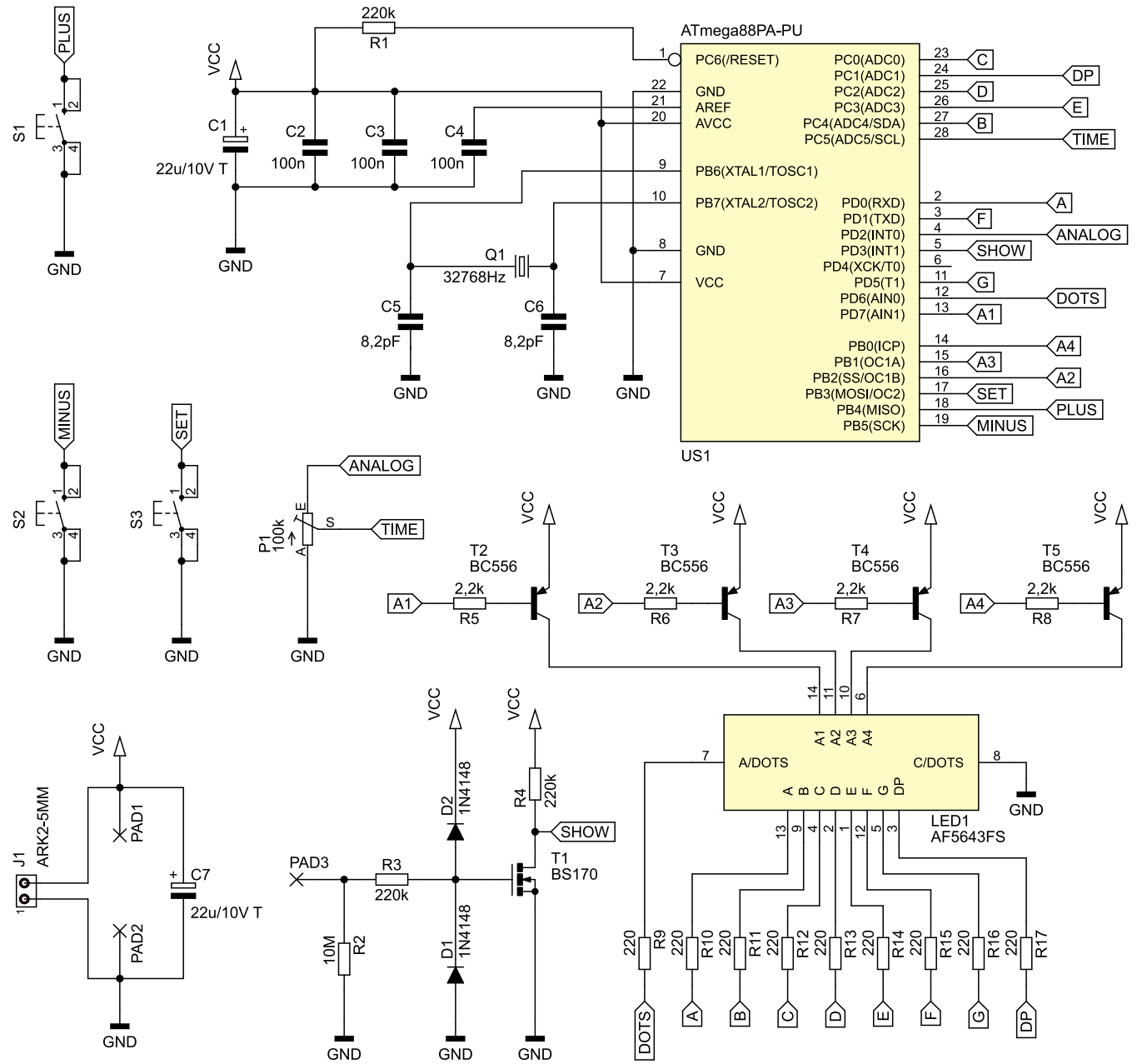
Elektroniczne układy zegarów możemy spotkać w różnych wykonaniach. Jedne z nich mają świecące ekrany (na przykład z wyświetlaczami OLED) lub diody LED imitujące tarczę zegara analogowego, inne są wyposażone w wyświetlacz LCD korzystający ze światła odbitego, które pochodzi z otoczenia. Te pierwsze pobierają sporo energii, te drugie zazwyczaj mniej, gdyż nie muszą świecić. Jednak co zrobić, kiedy chcielibyśmy pogodzić zalety obu rozwiązań? Czyli potrzebujemy zegara, który jest doskonale czytelny nawet w egipskich ciemnościach, a jednocześnie może działać zasilany małą bateryjką. Niemożliwe do zrobienia? Wcale nie. Wystarczy pewien mały trik. Przecież zegar nie musi świecić cały czas, prawda? Wystarczy, że ktoś będzie w pobliżu, a nawet jeszcze lepiej: jednoznacznie wyrazi chęć odczytu aktualnej godziny. Majstrowanie przy jakichś przełącznikach w warunkach, umówmy się, niewystarczającej ilości światła nie jest rzeczą przyjemną ani wygodną, toteż wystarczy tylko taki zegar dotknąć. A gdzie? W sumie, możliwości jest sporo. Zapraszam do lektury!

Budowa i działanie

Schemat ideowy omawianego układu znajduje się na **rysunku 1**. Głównym podzespołem, sterującym jego pracą, jest mikrokontroler typu ATmega88PA-PU z 8-bitowym rdzeniem AVR. Ma wystarczającą liczbę konfigurowalnych wyprowadzeń, więc nie ma potrzeby stosowania dodatkowych układów zwiększających tę liczbę takich, jak rejestry przesuwne. Mikrokontroler przez większość czasu znajduje się w stanie uśpienia, z którego wybudza go przerwanie od zmiany stanu na wyprowadzeniu PD3. Nie realizuje zadań krytycznych czasowo, wobec czego częstotliwość zegara jest stabilizowana przez wbudowany układ oscylatora RC. Rezystor R1 podciąga wejście zerujące do dodatniego potencjału zasilania, co zmniejsza ryzyko samoczynnego zerowania się układu spowodowane ładunkami elektrostatycznymi osiadającymi na tym wejściu.

Zegar ten nie zawiera zewnętrznego układu RTC do działania. Funkcję układu mierzącego czas spełnia sam mikrokontroler, a dokładniej – wbudowany moduł licznika – Timer2, który pracuje asynchronicznie taktowany sygnałem zegarowym wytwarzanym przy użyciu rezonatora kwarcowego Q1. Kondensatory C5

eprasa.pl e2be9d43e0



Rysunek 1. Schemat ideowy energooszczędnego zegara LED

i C6 ułatwiają jego wzbudzenie oraz stabilizują pracę. Ponieważ nominalna pojemność obciążająca ten kwarc powinna wynosić 12,5 pF, użyto kondensatorów C5 i C6 o pojemności 8,2 pF. Po doliczeniu pojemności montażowych oraz pojemności wejściowej oscylatora mikrokontrolera uzyskana wartość jest zbliżona do wymaganej przez producenta rezonatora kwarcowego.

Istotnym parametrem wejściowym dla układu jest czas załączenia wyświetlacza LED po wybudzeniu mikrokontrolera. Parametr ten ustawia się potencjometrem P1, włączonym do układu jako dzielnik napięcia zasilającego. Źródłem tego napięcia jest wyprowadzenie PD2 mikrokontrolera ustawione jako wyjście. Im wyższe napięcie między masą a ślizgaczem P1, tym dłużej będzie się świecił wyświetlacz (szczegóły w dalszej części artykułu).

W układzie można znaleźć trzy przyciski monostabilne, służące ustawianiu aktualnego czasu. Zastosowano rezystory podciągające (łączące zwierany styk z dodatnim potencjałem zasilania) wbudowane w mikrokontroler, które w tym układzie są całkowicie wystarczające.

Napięcie zasilające układ powinno zawierać się w przedziale 3…5 V. Jego źródłem może być zarówno bateria CR2032, na którą zostało przewidziane miejsce na płytce drukowanej, jak i zewnętrzny zasilacz lub komplet bardziej pojemnych baterii, na przykład

Wykaz elementów, kupuj na stronie sklep.avt.pl (Warszawa, ul. Leszczynowa 11, tel. +48222578451, e-mail: handlowy@avt.pl)

Rezystory: (THT, 0,25 W)
R1, R3, R4: 220 kΩ
R2: 10 MΩ
R5...R8: 2,2 kΩ
R9...R17: 220 Ω
P1: 100 kΩ montażowy leżący

Kondensatory:
C1, C7: 22 µF 10 V raster 2,54 mm tantalowy
C2...C4: 100 nF raster 5 mm MKT
C5, C6: 8,2 pF ceramiczny

Półprzewodniki:
D1, D2: 1N4148
DISP1: LED-AF5643FS
T1: BS170 lub 2N7000 (opis w tekście)
T2...T5: BC556
US1: ATmega88PA-PU (DIP28)

Pozostałe:
J1: ARK2/500
Q1: rezonator kwarcowy THT 32,768 kHz, 12,5 pF
S1...S3: microswich 6×6 13,5 mm
Jedna podstawka DIP28 wąska
Koszyk baterii CR2032 THT leżący (KOSZYK BAT 6)

eprasa.pl e2be9d43e0

w rozmiarze AA. W układzie zastosowano kondensatory foliowe (MKT) i tantalowe, aby zmniejszyć prąd ich upływu i jeszcze bardziej zmniejszyć natężenie pobieranego przez układ prądu. Zewnętrzny zasilacz można podłączyć do zacisków złącza J1. Pola lutownicze PAD1 i PAD2 są przewidziane na koszyk wspomnianej wcześniej baterii CR2032, o czym dalej.

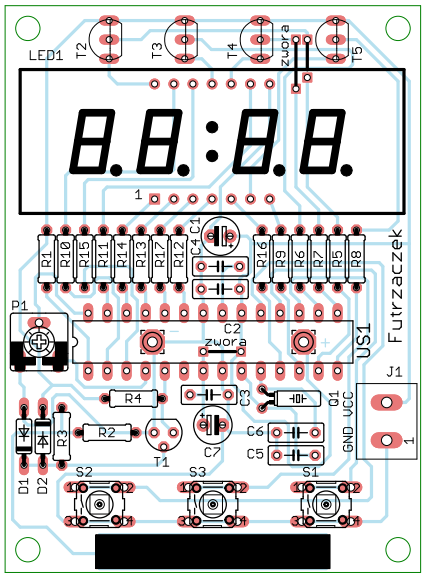
Wejście wyzwalające pomiar jest odseparowane od mikrokontrolera za pośrednictwem tranzystora unipolarnego T1. Zbliżenie palca do wyprowadzenia PAD3 powoduje nagłą zmianę jego potencjału, spowodowaną chociażby wpływem zewnętrznego pola elektromagnetycznego, jak również zgromadzonymi na powierzchni naszego ciała ładunkami elektrostatycznymi. To powoduje chwilowe podniesienie potencjału bramki T1 względem potencjału jego źródła, co otwiera kanał i powoduje pojawienie się zbocza opadającego na wejściu PD3. Aby zabezpieczyć delikatną bramkę T1 przed zniszczeniem, zostały dodane diody D1 i D2, które ograniczają dopuszczalny potencjał bramki. Rezystor R3 ogranicza prąd tych diod i spowalnia przeładowywanie pojemności wejściowej układu, dając tym diodom czas na reakcję. Rezystor R2 rozładowuje pojemność bramka-źródło po zabraniu palca. Jego rezystancja powinna być możliwie wysoka, ponieważ wprowadza obciążenie naszej anteny, czyli pola lutowniczego PAD3, zmniejszając czułość układu.

Całość jest uzupełniona przez czterocyfrowy, siedmiosegmentowy wyświetlacz LED. Anody poszczególnych cyfr są załączane przez tranzystory bipolarne typu BC556, zaś katody segmentów są zasilane wprost z wyjść mikrokontrolera. Rezystory 220 Ω, ograniczające prąd segmentów, wymuszają przepływ prądu o natężeniu około 7 mA przy zasilaniu napięciem 3 V. W ten sposób świecą one dostatecznie jasno, a pobór prądu przez układ nie jest w tym czasie zbyt wysoki. Jednocześnie, jeżeli napięcie zasilające wyniesie 5 V, układowi nie grozi zniszczenie – poszczególne segmenty będą pobierały prąd o wartości dopuszczalnej zarówno przez sam mikrokontroler, jak i znajdujące się w nich diody LED.

Montaż i uruchomienie

Układ został zmontowany na jednostronnej płytce drukowanej o wymiarach 55×75 mm, której schemat został pokazany na **rysunku 2**. W odległości 3 mm od krawędzi płytki znalazły się cztery otwory montażowe, każdy o średnicy 3,2 mm.

Montaż proponuję rozpocząć od elementów o najmniejszej wysokości obudowy, czyli rezystorów, diod i trzech zworek z cienkiego drutu. Jedna z nich znajduje się pod układem US1, zaś dwie częściowo są schowane pod wyświetlaczem LED, więc lepiej o nich nie zapomnieć. Pod mikrokontroler proponuję zastosować podstawkę, aby



Rysunek 2. Schemat płytki PCB

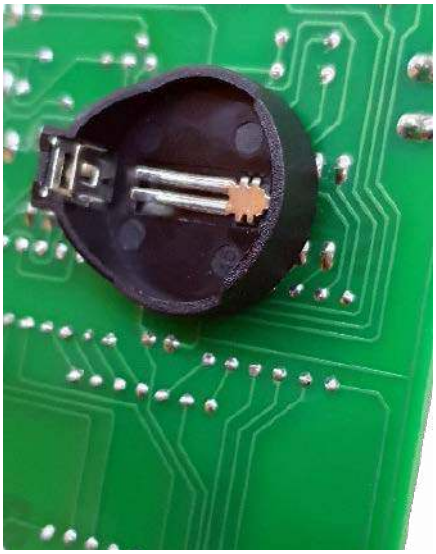
ułatwić jego programowanie oraz wymianę w razie uszkodzenia. Zmontowany układ można zobaczyć na fotografii tytułowej. Zamiast tranzystora BS170 (T1) można z powodzeniem użyć innego, równie popularnego tranzystora MOSFET w obudowie TO92, czyli 2N7000. Jego skrajne wyprowadzenia (bramki i drenu) są zamienione w stosunku do BS170, więc należy wlutować go w płytkę odwrotnie – wypukłą częścią obudowy w stronę płaskiego fragmentu obrysu na płytce.

Koszyk na baterię CR2032, jeżeli w danym zastosowaniu okazałby się przydatny, można wlutować od drugiej strony płytki, po zakończeniu montażu wszystkich innych podzespołów i upewnieniu się co do poprawności ich przylutowania. Służą do tego dwa pola lutownicze, oznaczone symbolami + i –, umieszczone pod układem US1. Koszyk należy włożyć w otwory w tych polach, po czym cienkim grotem, prowadzonym równolegle do powierzchni laminatu, przylutować jego wyprowadzenia do pól miedzi. Są one w pewnym oddaleniu od krawędzi koszyka, ale można to zrobić bez uszkodzenia tworzywa sztucznego. Można też zagiąć wyprowadzenia koszyka, które wystają z drugiej strony laminatu, pod podstawką dla mikrokontrolera, aby mocniej trzymał się płytki. Koszyk po przylutowaniu można zobaczyć na **fotografii 1**.

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

```
Low Fuse = 0xE2
High Fuse = 0xDF
```

Szczegóły są widoczne na **rysunku 3**, który zawiera widok okna konfiguracji tych bitów w programie BitBurner. W ten sposób zostanie wyłączony dzielnik częstotliwości wbudowanego generatora sygnału



Fotografia 1. Szczegóły montażu koszyka na baterię CR2032

Rysunek 3. Szczegóły ustawienia bitów zabezpieczających

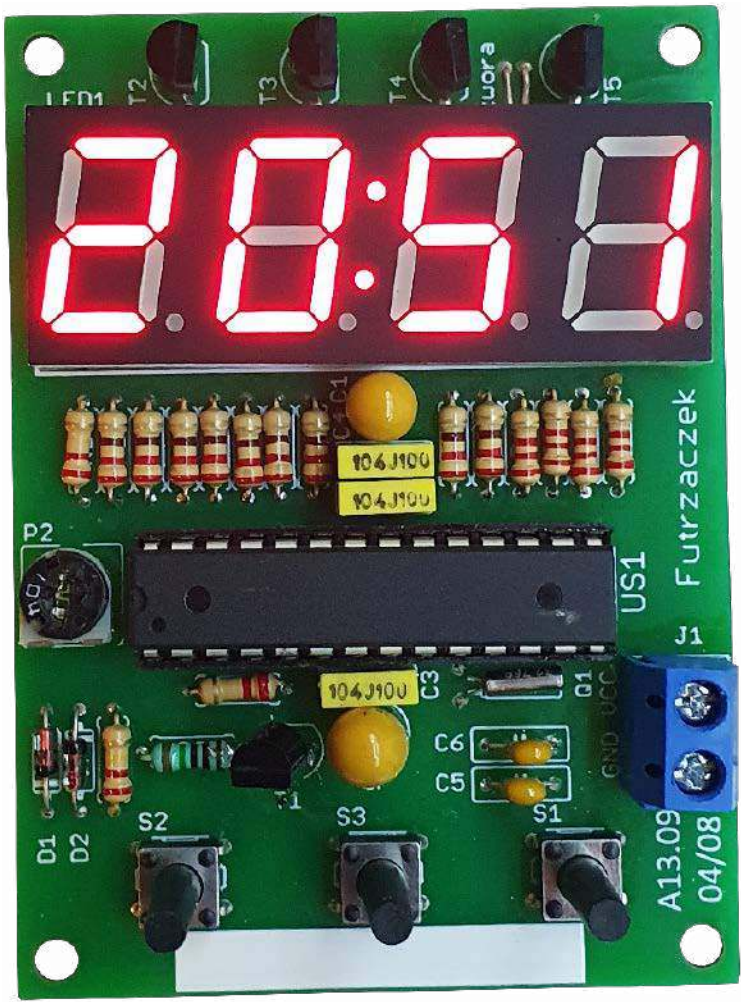
zegarowego. Nie będzie załączony obwód BOD – przy zbyt niskim napięciu zasilającym układ po prostu się wyłączy, a ciągła praca tego obwodu zużywa jakże cenną w tym układzie energię.

Poprawnie zaprogramowany układ jest gotowy do działania po podłączeniu zasilania do zacisków złącza J1 lub włożenia baterii typu CR2032 do koszyka. Napięcie zasilające, o ile będzie pochodziło z zewnętrznego zasilacza, powinno mieścić się w granicach 3…5 V. Dolna granica wynika z konieczności zapewnienia dostatecznie wysokiego prądu dla poszczególnych segmentów wyświetlacza LED, aby te świeciły dostatecznie jasno. Górna zaś granica wynika z wytrzymałości mikrokontrolera. Minimalnym napięciem zasilającym, przy którym układ jakkolwiek działa, jest 1,8 V – wynika to z dokumentacji użytego mikrokontrolera. Działający układ można zobaczyć na **fotografii 2**.

Pobór prądu przez ten układ zmienia się i to w szerokich granicach. Przy zasilaniu napięciem 3 V możemy liczyć na pobór rzędu 1 μA w uśpieniu i około 25…30 mA po wybudzeniu. Jeżeli napięcie zasilania wzrośnie do 5 V, pobór prądu również staje się większy: około 2 μA w stanie uśpienia i 60…70 mA podczas pracy wyświetlacza.

Dokładna wartość natężenia prądu pobieranego przez układ zależy od aktualnej zawartości wyświetlacza. Z kolei w stanie

eprasa.pl e2be9d43e0



Fotografia 2. Sposób wyświetlania czasu

uśpienia pobór prądu fluktuuje, ponieważ co 1 s mikrokontroler wybudza się i aktualizuje zawartości zmiennych przechowujących informacje o aktualnej liczbie godzin, minut i sekund. Niemniej jednak, zakładając typową pojemność baterii CR2032 (200 mAh) o napięciu 3 V, możemy liczyć na około… 22 lata pracy w uśpieniu! To jest jednak wynik niemożliwy do uzyskania w rzeczywistości, gdyż wybudzenia będą przyspieszały wyczerpywanie się energii z ogniwa, a ponadto jego trwałość wynosi zazwyczaj kilka lat.

Jednorazowe zbliżenie palca do pola PAD3 (oraz połączonego z nim polem miedzi) powoduje wybudzenie mikrokontrolera i wyświetlenie aktualnej wartości godziny. Potem układ sprawdza, jaki czas świecenia ekranu został ustawiony i po jego upływie wraca do stanu uśpienia. Czas świecenia może wynosić od około 50 ms do około 2 s, co ustawia się potencjometrem P1.

Na płytce znajdują się trzy przyciski S1…S3, którymi można ustawić aktualny czas, ponieważ układ – po włożeniu baterii lub załączeniu zewnętrznego zasilacza – zawsze startuje od godziny 00:00. Przycisk S1 służy do inkrementacji wartości minut i godzin, a S2 do dekrementacji. Wciśnięcie i dłuższe przytrzymanie powoduje przewijanie czasu, które przyspiesza ustawianie. Warto też zaznaczyć, że ustawiana godzina przewija się w kółko, czyli odejmując minutę od godziny 00:00, uzyskamy 23:59, zaś dodając minutę do 23:59 będziemy mieli 00:00. To może znacznie uprościć ustawianie zegara np. późnym wieczorem, ponieważ nie trzeba „przewijać" kilkunastu godzin do przodu, wystarczy kilka do tyłu. Jeszcze jedna, istotna rzecz: przy każdej zmianie wartości minut zerowany jest licznik sekund.

W jaki sposób wchodzi się do trybu edycji godziny? Do tego służy przycisk S3. Zalecana kolejność działań jest następująca:

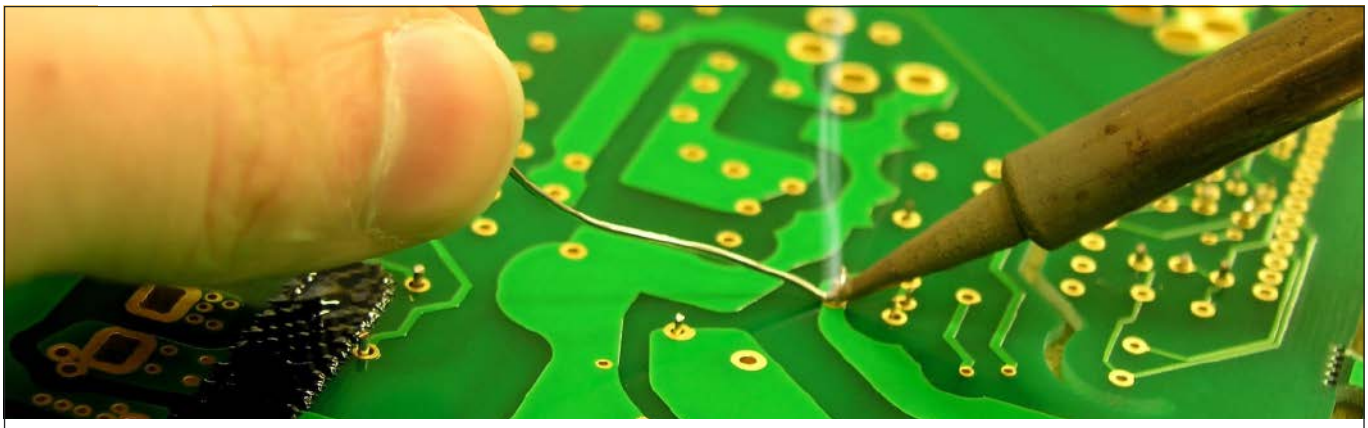
- wciśnięcie i trzymanie S3 w stanie wciśnięcia,
- uaktywnienie wyświetlacza poprzez zbliżenie ręki do pola dotykowego,
- dalsze trzymanie wciśniętego S3, kiedy wyświetlacz się załączy,
- wciskanie S1 lub S2 w celu ustawienia czasu, cały czas zwierając styki S3.

Po co taka procedura? Dla bezpieczeństwa. Gdyby nie S3, można byłoby przypadkowo zmienić ustawione wartości czasu. Nie uda się to, jeżeli trzeba trzymać wciśnięty S3. Daje to też pewien komfort regulacji, gdyż wyświetlacz będzie świecił tak długo, jak długo trzymamy wciśnięty przycisk, czas świecenia ustawiony potencjometrem P1 nie ma tutaj znaczenia.

Dokładność tego zegara jest zbliżona do podobnych tego typu konstrukcji, które zawierają zegarkowy rezonator kwarcowy. Producent tego podzespołu deklaruje tolerancję ±20 ppm, co przekłada się na dopuszczalny błąd rzędu jednej minuty w ciągu miesiąca.

Michał Kurzela, EP

REKLAMA



KITy AVT @KITyAVT http://bit.ly/2BjVMN7

eprasa.pl e2be9d43e0

Autor dziękuje Panu Jakubowi Cieślewiczowi z firmy Maritex za dostarczenie darmowych próbek diod LED typu APA-102-2C, które zostały użyte w aplikacji urządzenia.

AVT sklep

Podstawowe parametry:
- zakres mierzonych temperatur: 10...34°C,
- rozdzielczość pomiaru temperatury: 1°C,
- dokładność pomiaru temperatury: ±0,5°C,
- dwa tryby wyświetlania:
- wyświetlenie linijki LED o płynnie zmieniającym się kolorze w miarę wzrostu temperatury (wyświetlenie paska diod LED podobnego do widma światła widzialnego),
- zapalenie się linijki diod LED w jednym kolorze, którego barwa zależeć będzie od mierzonej temperatury otoczenia,
- napięcie zasilania: 9...12 VDC,
- maksymalny prąd obciążenia: 0,25 A.

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

AVT5952	eT – wielokanałowy, bezprzewodowy system pomiaru temperatury (EP 9/2022)
AVT5949	Energooszczędny termometr LED (EP 8/2022)
AVT5892	Energooszczędny termometr z kalibracją (EP 10/2021)
AVT5635	Bezprzewodowy, energooszczędny system pomiaru temperatury (EP 8–9/2018)
AVT1999	2-kanałowy termometr MIN-MAX z alarmem (EP 8/2018)
AVT5623	4-kanałowy termometr z interfejsem Wi-Fi (EP 4/2018)
AVT5566	THPStation – rozbudowany termometr z Wi-Fi (EP 1/2017)
AVT5535	Termometr 2-kanałowy z interfejsem Bluetooth (EP 4/2016)
AVT5518	Termometr bezprzewodowy (EP 11/2015)
AVT1863	Termometr z interfejsem Bluetooth (EP 8/2015)
AVT1790	Termometr XXL (EP 2/2014)
AVT5489	8-kanałowy termometr z alarmem i wyświetlaczem LCD (EP 11/2013)
AVT5420	Wielopunktowy termometr z rejestracją (EP 10/2013)

* **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.

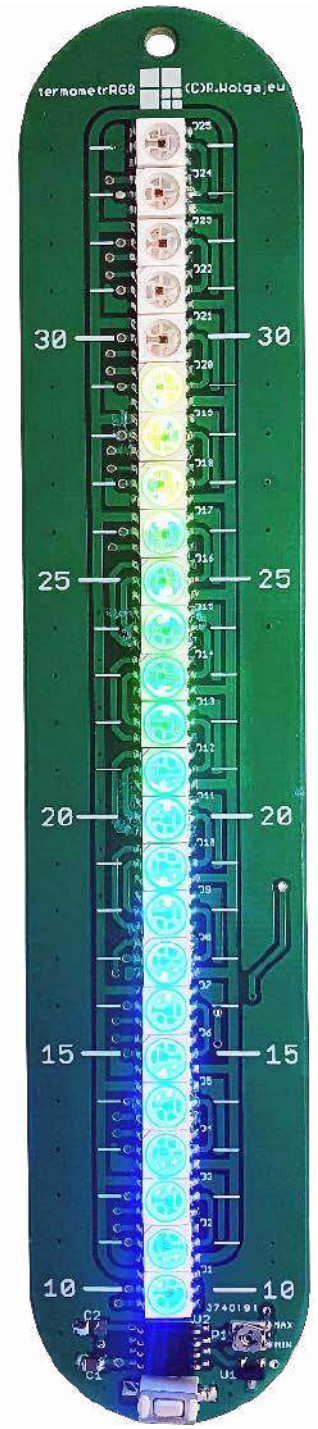
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- **wersja [A+]** – płytka drukowana **[A]** + zaprogramowany układ **[UK]** i dokumentacja,
- **wersja [UK]** – zaprogramowany układ.

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**.

Termometr RGB

Decydując się na zaprojektowanie termometru, od razu odrzuciłem pokusę użycia jakiegokolwiek wyświetlacza jako elementu interfejsu użytkownika. Nawet na łamach naszego miesięcznika widziałem dziesiątki takich projektów, więc nie byłoby tu żadnego novum. Po krótkich przemyśleniach i rozwianiu kilku wątpliwości postanowiłem, że zaprojektuję termometr pokojowy wyposażony w analogową skalę temperatury złożoną z linijki diod LED RGB, które będą zastępowały rtęć (lub inne medium) tradycyjnego termometru tego typu.



Historia powstania tego projektu jest dość interesująca, choć zapewne nie nazbyt oryginalna. Otóż był taki czas, że szukałem jakiegoś ciekawego i zarazem praktycznego gadżetu elektronicznego, który mógłbym zastosować w domowym zaciszu. Dość szybko zdałem sobie sprawę z faktu, iż mimo wielu lat praktyki w projektowaniu systemów mikroprocesorowych w zasadzie nigdy nie wykonałem projektu termometru elektronicznego jako samodzielnego urządzenia. Zwykle była to funkcjonalność zaszyta w jakimś mniej lub bardziej skomplikowanym systemie docelowym. W sumie nie powinno to dziwić, wszak na rynku dostępnych jest mnóstwo urządzeń tego typu, które same w sobie nie są ani nazbyt oryginalne a już na pewno nieszczególnie skomplikowane. Pomyślałem, że nadszedł czas na mój autorski projekt o takiej ograniczonej funkcjonalności, a że lubię robić wszystko po swojemu zdecydowałem, iż zaprojektuję urządzenie inne, niż te dostępne w handlu.

Powiecie, iż nie ma w tym nic nowego, termometry z linijką LED to żadne odkrycie, ja jednak użyję diod LED typu RGB by zmieniającej się temperaturze towarzyszyła płynna zmiana koloru linijki LED i to w dwóch wersjach użytkowych. Pierwszy tryb pozwalał będzie na wyświetlenie linijki LED o płynnie zmieniającym się kolorze w miarę wzrostu temperatury generując wyświetlenie paska diod LED podobnego do widma światła widzialnego (nazwany trybem RGB), zaś drugi tryb pozwalał będzie na zapalenie się linijki diod LED w jednym kolorze, którego barwa zależeć będzie od mierzonej temperatury otoczenia (nazwany trybem COLOR).

Co więcej, projekt płytki drukowanej podporządkuję urządzeniu źródłowemu co oznacza, iż będzie on do złudzenia przypominał tradycyjny termometr pokojowy, przy czym zawężę zakres mierzonych temperatur do przedziału 10…34°C, co odpowiada zwyczajowym temperaturom, jakie notujemy w naszych mieszkaniach. Zawężenie to wynika wyłącznie z konieczności ograniczenia liczby diod LED (do 25 sztuk) tak, by wynikowy termometr nie był zbyt wysoki, gdyż, co już podkreślałem, ma imitować swój analogowy pierwowzór.

W tym miejscu stanąłem przed wyzwaniem wyboru odpowiednich elementów wykonawczych, a więc sterownika diod LED, jak i samych diod. Jak wiemy, aby płynnie sterować kolorem diody LED typu RGB należy zastosować 3 kanałowy sterownik PWM. Wynika

eprasa.pl e2be9d43e0

z tego, że skoro przewiduję zastosowanie 25 elementów tego typu to liczba niezbędnych kanałów wzrasta nam do 75. Trudno wyobrazić sobie mikrokontroler, który sprostałby tym wymaganiom a jeszcze trudniej wyobrazić sobie projekt płytki drukowanej o niewielkiej wielkości (wszak ma przypominać termometr pokojowy), na której upakowalibyśmy tyle odrębnych ścieżek. Co oczywiste, można byłoby zastosować jakiegoś rodzaju sterowanie matrycowe by ograniczyć liczbę koniecznych połączeń, ale biorąc pod uwagę liczbę wymaganych kanałów PWM i oczekiwaną rozdzielczość takiego sygnału (8-bitów) trudno mi sobie wyobrazić efektywne sterowanie bez użycia dość dużych prądów, by uzyskać wynikową jasność na akceptowalnym poziomie. Zresztą nawet w takim przypadku nie rozwiązujemy problemu ze skomplikowaniem rysunku obwodu drukowanego.

Pat? Otóż nie. Dość szybko zdałem sobie sprawę, iż jedynym sensownym rozwiązaniem tego rodzaju problemu konstrukcyjnego będzie zastosowanie adresowalnych diod LED RGB, których konstrukcja pozwala na uniknięcie wszystkich wspomnianych problemów. Diody takie, oprócz wyprowadzeń zasilających, wyposażone są w jakiś szeregowy interfejs komunikacyjny, przy użyciu którego dokonujemy ustawień koloru jej świecenia. Interfejs, o którym mowa, zaimplementowany jest w taki sposób (zarówno w kwestii sprzętowej, jak i logicznej), że diody takie połączone w łańcuchy mogą być indywidualnie adresowane, a co za tym idzie, każda z nich ma niezależne sterowanie. Sam przebieg PWM niezbędny do regulacji koloru jej świecenia generowany jest sprzętowo dzięki sterownikowi zabudowanemu na pokładzie takiego elementu.

Przejdźmy zatem do konkretów. Pierwszą myślą, jaka przyszła mi w tym czasie do głowy było zastosowanie bardzo popularnych i tanich elementów tego typu pod postacią diod z rodziny WS2811/WS2812 (i podobnych) lecz jednoprzewodowy interfejs komunikacyjny, w jaki je wyposażono wymaga dość sztywnych restrykcji czasowych (*timingów*) oraz, co wynika poniekąd z pierwszej właściwości, udostępnia dość ograniczone prędkości transmisji. Oczywiście w tak prostym zastosowaniu, jak termometr nie ma to praktycznie żadnego znaczenia, gdyż układ nasz nie robi nic więcej poza pomiarem i wyświetlaniem temperatury, więc można byłoby zastosować najprostszą implementację tego rodzaju medium transmisyjnego bazujące na funkcjach opóźniających (typu *_delay_us*), czyli blokującą działanie programu głównego na czas transmisji danych, lecz wiecie już, że…lubię zrobić wszystko po swojemu.

Diody LED RGB typu APA102

Dość szybko zorientowałem się, iż na rynku elementów półprzewodnikowych dostępne są diody LED o identycznej funkcjonalności, zaś pozbawione wad elementów rodziny WS2811/WS2812. Mowa o diodach typu APA102, które charakteryzują się następującymi właściwościami użytkowymi:

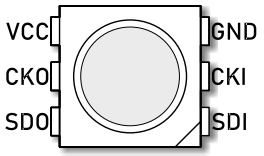
- 8-bitowa głębia składowych koloru (R, G, B),
- 5-bitowa regulacja jasności świecenia,
- 2-przewodowy, synchroniczny, szybki (15 MHz) interfejs komunikacyjny zgodny z SPI,
- duża jasność świecenia,
- dostępność gotowych łańcuchów diod LED tego rodzaju,
- niska cena (zwłaszcza na portalach aukcyjnych).

Jak widać, powyższe właściwości idealnie wpisują się w wymagania naszego systemu mikroprocesorowego, więc ich zastosowanie stało się naturalnym wyborem. Tak, jak wspomniano powyżej, dioda typu APA102 (w obudowie SMD PLCC-6 o wymiarach 5×5 mm) wyposażona jest w 6 wyprowadzeń:

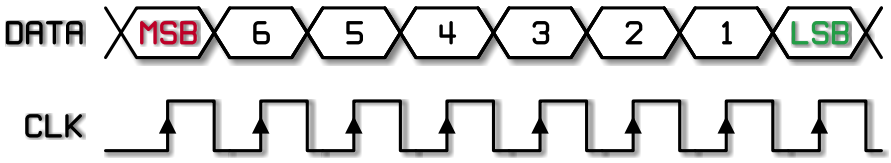
- wyprowadzenia zasilające: GND i VCC,
- wejście synchronicznego interfejsu komunikacyjnego (sygnał danych i zegar): SDI i CKI,
- wyjście synchronicznego interfejsu komunikacyjnego (sygnał danych i zegar): SDO i CKO.

Wygląd obudowy diody typu APA102 z zaznaczeniem nazw wyprowadzeń pokazano na **rysunku 1**. Jak zapewne się domyślacie, podobnie jak to ma miejsce w przypadku diod WS2811, diody typu APA102 łączy się w łańcuchy łącząc wyjścia interfejsu komunikacyjnego diody bieżącej z wejściami interfejsu komunikacyjnego diody kolejnej i tak dalej. Wejście interfejsu komunikacyjnego diody pierwszej, co oczywiste, łączy się z wyjściem tegoż interfejsu w mikrokontrolerze, zaś sama konstrukcja ramek danych i sposób działania sterownika „zabudowanego" w strukturze diody zapewnia odpowiednią synchronizację transmisji i niezbędne adresowanie.

Zacznijmy więc od podstaw. Na **rysunku 2** pokazano przebiegi sygnałów interfejsu komunikacyjnego diody APA102 (linia danych i zegar) w trakcie transmisji bajta danych. Jak widać, dane przesyłane są w kolejności od bitu najstarszego (MSB) do najmłodszego (LSB), zaś odczyt tych danych po stronie diody LED następuje na rosnącym zboczu sygnału zegarowego.



Rysunek 1. Wygląd obudowy diody typu APA102 z zaznaczeniem nazw wyprowadzeń



Rysunek 2. Przebiegi sygnałów interfejsu komunikacyjnego diody APA102 (linia danych i zegar) w trakcie transmisji bajta danych

Rysunek 3. Kompletna ramka transmisji diody APA102

Wykaz elementów, kupuj na stronie sklep.avt.pl (Warszawa, ul. Leszczynowa 11, tel. +48222578451, e-mail: handlowy@avt.pl)

Rezystory: (SMD0805)
R1: 36 kΩ 1%
R2: 35,7 kΩ 1%
R3: 10,5 kΩ 1%
R4: 2 kΩ 1%

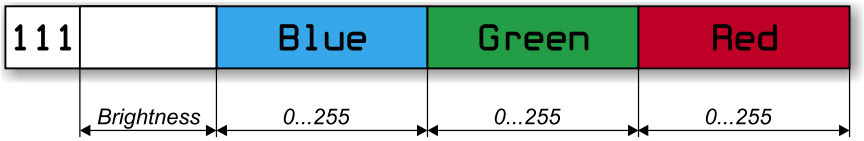
Kondensatory:
C1, C2, C4, C6: 100 nF ceramiczny X7R (SMD0805)
C3: 100 μF/16 V elektrolityczny (PANASONIC_E)
C5: 330 μF/10 V elektrolityczny LOW ESR (PANASONIC_F)
C7: 10 nF ceramiczny X7R (SMD0805)

Półprzewodniki:
U1: TC1047A (SOT-23)
U2: ATtiny25 (SOIC-8)
U3: A8498 (SOIC-8)
D1...D25: dioda LED APA-102 (PLCC-6 5050)
D26: B320A-13-F (SMA)

Pozostałe:
P1: potencjometr montażowy SMD 10 kΩ typu 3305SMD-10K SR PASSIVES (SMD)
L1: dławik mocy SMD 33 μH typu DE1207-33 (DE1207)
L2: dławik SMD 10 μH (SMD0805)
MODE: microswitch TACT SMD (DTSM-3)

eprasa.pl e2be9d43e0

Ustawienia Fuse-bitów:
CKSEL3...0: 0010
SUT1...0: 10
CKDIV8: 0
CKOUT: 1
DWEN: 1
EESAVE: 0
RSTDISBL: 1



Rysunek 4. Konstrukcja ramki transmisji danych użytecznych diody APA102

Wiemy już, jak wygląda transmisja pojedynczego bajta, więc pora na pokazanie całej ramki transmisji, której to wygląd pokazano na **rysunku 3**. Jak widać ramka transmisji diody APA102 (a właściwie łańcucha diod tego typu) rozpoczyna się od przesłania słowa o wartości 0x00000000 (4 bajtów o wartości 0x00). Wynika to z faktu, iż dioda APA102 po włączeniu zasilania oczekuje na słowo tego rodzaju by przygotować swój sterownik na odbiór użytecznych danych (przeznaczonych dla siebie) i retransmisję kolejnych sygnałów sterujących na swoje wyjścia (dla kolejnych elementów w łańcuchu). Do tego czasu sterownik każdej z diod tego typu (połączonych w łańcuch) jest niejako przeźroczysty dla nadchodzących danych, co oznacza, że dane (jak i zegar) dostępne są na ten moment dla każdej z diod w łańcuchu. Po odbiorze słowa startowego, de facto synchronizującego całą transmisję, przesyłane są użyteczne dane (4 bajty danych koloru i jasności świecenia) dla kolejnych diod w łańcuchu aż do wystąpienia ramki kończącej transmisję o wartości 0xFFFFFFFF (4 bajtów o wartości 0xFF).

W tym miejscu zapewne zadacie sobie pytanie skąd każda z diod w łańcuchu wie, które z przesyłanych danych użytecznych przeznaczone są właśnie dla niej, a nie dla innej? O tym za chwilę. Popatrzcie w tym momencie na **rysunek 4**, gdzie pokazano wygląd ramki transmisji danych użytecznych diody APA102. Jak widać, pierwszy bajt danych definiuje jasność świecenia każdej diody LED (ostatnich 5-bitów tego bajta, gdyż pierwsze zawsze powinny wynosić 0b111), zaś następujące po nim 3 bajty danych definiują udział poszczególnych składowych koloru diody LED w kolejności B, G, R i rozdzielczości 8-bitów dla każdego z nich. Transmisja, zgodnie z tym co napisano powyżej, kończy się ramką końcową złożoną z 4 bajtów o wartości 0xFF. Przynajmniej w teorii. Tak naprawdę konstrukcja ramki kończącej transmisję powinna być nieco inna, gdyż przesłanie 4 bajtów o wartości 0xFF sprawdzi się wyłącznie wtedy, gdy w łańcuchu mamy nie więcej niż 65 diod tego typu. Producent układu niezbyt dokładnie przyłożył się do wytłumaczenia tej kwestii, ale o tym później. Prawda, że proste?

Niemniej jednak, i co widać na rysunku 3, przyjęty sposób transmisji stanowiący podstawę adresowania poszczególnych diod LED w łańcuchu powoduje, iż nie da się zaadresować (czyli przesłać do niej danych) na przykład diody czwartej w łańcuchu bez przesłania wcześniejszych (i zdawałoby się niepotrzebnych w tym momencie) danych dla diody trzeciej, drugiej i pierwszej. Mimo tego ograniczenia i z uwagi na bardzo dużą, dopuszczalną prędkość zegara transmisji (15 MHz) nawet przy 1024 diodach w łańcuchu osiągniemy niebywałą, jak na liczbę diod, wartość odświeżania (*frame rate*) na poziomie 230 Hz o czym moglibyśmy pomarzyć stosując diody z rodziny WS2811/WS2812.

A teraz odpowiedź na nurtujące, jak przypuszczam, Was pytanie. Skąd każda z diod w łańcuchu wie, które z przesyłanych danych użytecznych przeznaczone są właśnie dla niej, a nie dla innej, skoro w ramkach danych nie jest zaszyty adres diody LED? Zresztą, jak na dobrą sprawę mielibyśmy ten adres ustawić każdej diodzie? Inżynierowie rozwiązali to w sposób bardzo prosty i zarazem skuteczny. Po odbiorze startowej ramki danych (dostępnej dla każdej z diod w łańcuchu) każda z diod LED w łańcuchu oczekuje na 4 bajty użytecznych danych rozpoczynające się od 3 bitów o wartości „1" (informacji o kolorze i jasności). Do tego czasu nie przekazuje ona żadnych danych ze swojego wejścia na wyjście, czyli jest niejako nieprzeźroczysta dla medium transmisyjnego. Żeby być dokładnym, to tak naprawdę retransmituje ona sygnał zegarowy (zresztą zanegowany), zaś sygnał danych pozostaje na poziomie logicznego 0. Skoro sygnał wyjściowy tejże diody pozostaje na poziomie logicznego 0 to kolejna dioda w łańcuchu nie odbiera tych danych (mimo obecności sygnału zegarowego) jako danych użytecznych, bo jak pamiętamy, dane użyteczne zaczynać się muszą sekwencją 0b111.

Po odebraniu wspomnianych 4 bajtów użytecznych danych bieżąca dioda zapamiętuje je, wyświetla i czyni swój interfejs komunikacyjny przeźroczysty dla kolejno nadchodzących danych, czyli przekazuje je z wejścia na wyjście. Biorąc pod uwagę, iż dokładnie tak zachowuje się każda dioda w łańcuchu dość szybko zdamy sobie sprawę, że kolejne dane użyteczne przesyłane przez tak skonstruowany interfejs komunikacyjny trafiają kolejno do następujących po sobie (w sensie elektrycznym) diod w łańcuchu. Skuteczne i zarazem genialne w swojej prostocie, nieprawdaż?

Ale jest pewien haczyk, o którym warto wspomnieć. Inżynierowie projektujący interfejs komunikacyjny diod APA102 musieli zmierzyć się z problemem przesyłania danych do kolejnych diod LED w łańcuchu w zakresie ich odpowiedniej synchronizacji i wykluczenia zjawiska hazardu. Wykonali to w taki sposób, iż dane dla kolejnej diody LED w łańcuchu są opóźnione o połowę czasu trwania cyklu zegara taktującego, co zrealizowano poprzez zanegowanie tegoż zegara taktującego na wyjściu każdej diody LED. Rozwiązanie proste i skuteczne, ale ma pewną wadę. Skoro dane zatrzaskiwane są przez diodę LED na rosnącym zboczu sygnału to znaczy, że kolejna dioda w łańcuchu musi otrzymać jedno zbocze zegara więcej, by zatrzasnąć dane przeznaczone dla niej a wynika to z zanegowania wyjściowego sygnału zegarowego diody poprzedzającej. Bez tego dodatkowego rosnącego zbocza sygnału każda kolejna dioda w łańcuchu nie wyświetli danych przeznaczonych dla niej a co więcej, jeśli wyślemy dane dla mniejszej ilości diod, niż rzeczywiście znajdują się w łańcuchu i zakończymy je standardową ramką 0xFFFFFFFF to któraś z diod w tymże łańcuchu zaświeci się z maksymalną wartością danych użytecznych (czyli wyświetli kolor biały z maksymalną jasnością).

Niestety producent elementów ograniczył się do enigmatycznych 4 bajtów w rodzaju 0xFF na końcu ramki transmisji nie tłumacząc szczegółowo tego zagadnienia. Reasumując, tak naprawdę końcowa ramka transmisji powinna składać się z n-1 dodatkowych, zboczy sygnału zegarowego, gdzie n oznacza liczbę diod w łańcuchu. Znaczy to ni mniej, ni więcej, że dla 2 diod w łańcuchu konieczne jest przesłanie 1 dodatkowego zbocza sygnału, dla 3 diod, 2 zboczy sygnału i tak dalej. Jako, że wspomniane zbocza sygnału przesyłamy partiami (po 8 bitów, czyli 16 zboczy), bo transmitujemy pełne bajty danych w ramach tejże ramki, to rzeczywista liczba transmitowanych bajtów 0xFF wynika z prostej zależności w rodzaju: (n+14)/16 i to jest właśnie właściwa konstrukcja końcowej ramki danych!

Szkoda, że to zagadnienie trzeba było odkrywać samemu zamiast opierać się na dokumentacji producenta. Tyle w kwestii naszych ciekawych elementów LED. Zanim pokażę niezmiernie prosty schemat termometru, kilka niezbędnych szczegółów implementacyjnych związanych z programową realizacją interfejsu tego typu.

Sterowanie diodami APA102

Na początek, na **listingu 1** pokazano niezbędne definicje z pliku nagłówkowego upraszczającego dostęp do portów oraz porządkującego późniejszy kod. Dalej, na **listingu 2** pokazano niezmiernie

eprasa.pl e2be9d43e0

Listing 1. Plik nagłówkowy modułu obsługi diod APA102

```
#define APA102_DDR DDRB
#define APA102_PORT PORTB
#define APA102_CLK PB1
#define APA102_DATA PB2
#define APA102_CLK_1 APA102_PORT |= (1<<APA102_CLK)
#define APA102_CLK_0 APA102_PORT &= ~(1<<APA102_CLK)
#define APA102_DATA_1 APA102_PORT |= (1<<APA102_DATA)
#define APA102_DATA_0 APA102_PORT &= ~(1<<APA102_DATA)
#define APA102_AS_OUTPUTS APA102_DDR |= (1<<APA102_CLK)|(1<<APA102_DATA)
```

Listing 2. Kod funkcji inicjalizacyjnej interfejsu komunikacyjnego diod APA102

```
void APA102Init(void){
    //Porty sterujące (CLK, DATA) jako wyjściowe
    //ze stanami spoczynkowymi = 0
    APA102_AS_OUTPUTS;
}
```

Listing 3. Kod funkcji odpowiedzialnej za przesłanie bajta danych przy pomocy interfejsu komunikacyjnego diody APA102

```
void APA102SendByte(uint8_t Byte){
    for(uint8_t i=0; i<8; ++i){
        if(Byte & 0x80) APA102_DATA_1;
        else APA102_DATA_0;
        APA102_CLK_1;
        Byte <<= 1;
        APA102_CLK_0;
    }
}
```

Listing 4. Kod funkcji odpowiedzialnej za przesłanie ramki startowej

```
void APA102StartTrans(void){
    //Start Frame
    APA102SendByte(0x00);
    APA102SendByte(0x00);
    APA102SendByte(0x00);
    APA102SendByte(0x00);
}
```

Listing 5. Kod funkcji odpowiedzialnej za przesłanie ramki danych użytecznych

```
void APA102SendRGBdata(uint8_t Brightness, uint8_t R, uint8_t G, uint8_t B){
    //Brightness
    APA102SendByte(0b11100000|Brightness );
    APA102SendByte(B);
    APA102SendByte(G);
    APA102SendByte(R);
}
```

Listing 6. Kod funkcji odpowiedzialnej za przesłanie ramki kończącej transmisję

```
void APA102StopTrans(uint16_t numberOfLeds){
    //End Frame
    for (uint16_t i = 0; i < (14+numberOfLeds)/16; ++i) APA102SendByte(0xFF);
}
```

prosty kod funkcji inicjalizacyjnej interfejsu komunikacyjnego, którego wyłącznym zadaniem jest ustawienie kierunku portów danych i zegara oraz ich stanów spoczynkowych (0). Na **listingu 3** pokazano z kolei kod funkcji odpowiedzialnej za przesłanie bajta danych przy pomocy interfejsu komunikacyjnego.

Jak widać, w pokazanym kodzie nie są stosowane żadne opóźnienia w rodzaju funkcji *_delay_us*, gdyż wspomniany interfejs komunikacyjny udostępnia wysokie prędkości zegara rzędu 15 MHz, przez co w przypadku naszego mikrokontrolera taktowanego zegarem o częstotliwości 1 MHz nie zachodzi możliwość przetaktowania medium transmisyjnego. Niemniej jednak w przypadku implementacji na szybkich procesorach z rodziny ARM taka ewentualność musi być brana pod uwagę. Inna sprawa, że do implementacji tego rodzaju medium transmisyjnego można użyć sprzętowy sprzęg SPI znajdujący się na pokładzie większości mikrokontrolerów, ale nawet wtedy to ograniczenie jest nadal wiążące.

Dalej, na **listingu 4** pokazano kod funkcji odpowiedzialnej za przesłanie ramki startowej, zaś na **listingu 5** pokazano z kolei kod funkcji odpowiedzialnej za przesłanie ramki danych użytecznych. I na sam koniec, na **listingu 6** pokazano kod funkcji odpowiedzialnej za przesłanie ramki kończącej transmisję, której ciało uwzględnia uwagi opisane wcześniej, więc jest niejako rozwinięciem dokumentacji producenta. Tyle w kwestiach implementacyjnych.

Budowa i działanie

Schemat ideowy naszego urządzenia pokazano na **rysunku 5**. Jak widać, zaprojektowano bardzo prosty, wręcz trywialny, system mikroprocesorowy, którego sercem jest niewielki mikrokontroler firmy Microchip (dawniej Atmel) o oznaczeniu ATtiny25 taktowany wewnętrznym oscylatorem 1 MHz. Jest odpowiedzialny za realizację całej, założonej funkcjonalności.

Jako element pomiarowy (termometr) zastosowano scalony przetwornik temperatura-napięcie pod postacią układu scalonego TC1047A produkcji Microchip cechujący się doskonałą liniowością (z nachyleniem 10 mV/°C) oraz dość dużą dokładnością. Napięcie wyjściowe z termometru scalonego, jak i napięcie z dzielnika napięciowego zbudowanego z elementów P1/R1 mierzone są poprzez wbudowany w strukturę mikrokontrolera 10-bitowy przetwornik ADC i przeliczane na odpowiednie wartości wykorzystywane w programie obsługi aplikacji.

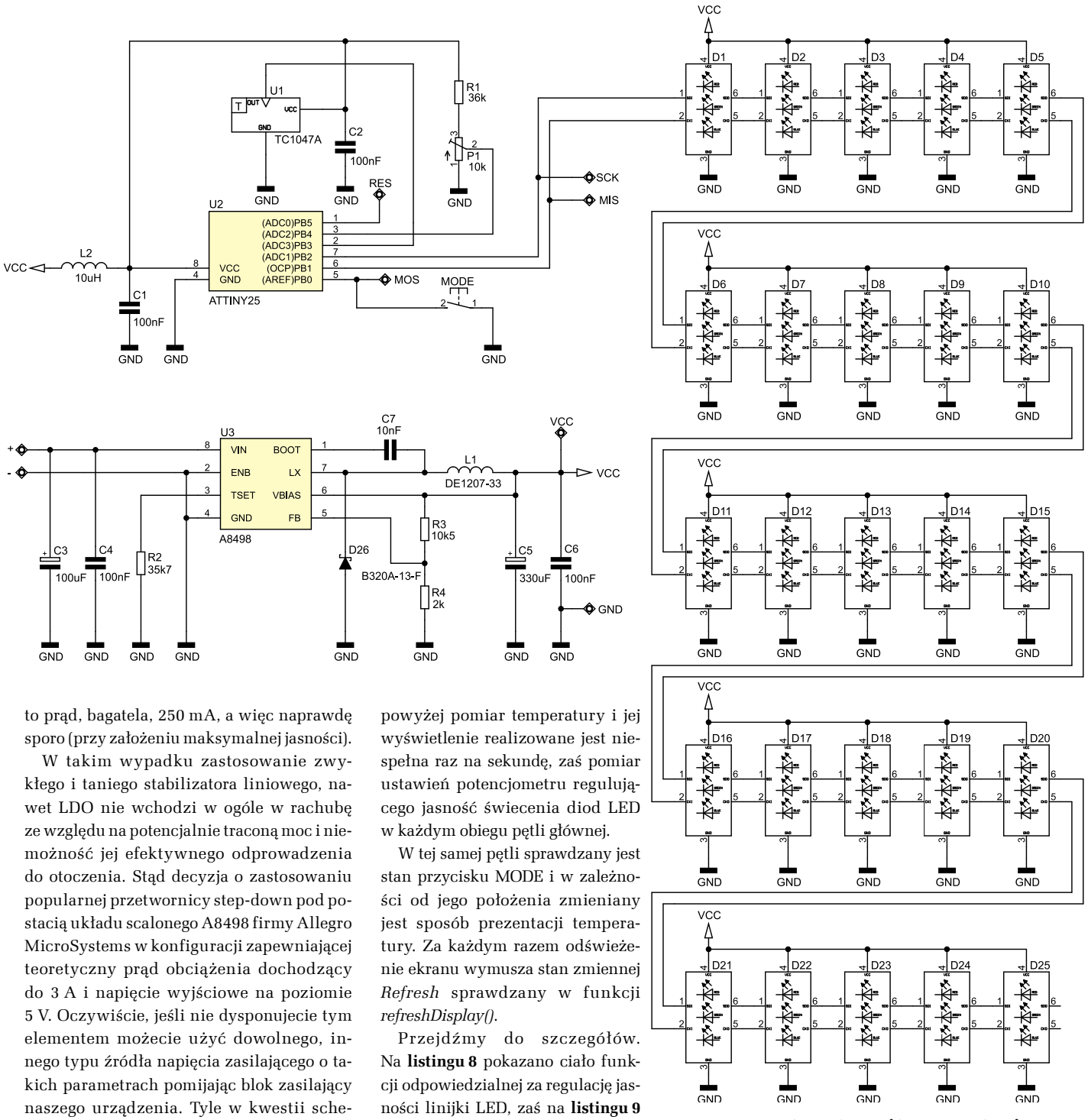
Wspomniany dzielnik napięcia zapewnia sprzętowo-programową realizację regulacji intensywności świecenia diod LED RGB, których pracą steruje nasz mikrokontroler przy udziale, pokazanej wcześniej, programowej realizacji interfejsu SPI. Ostatnim elementem obsługiwanym przez nasz mikrokontroler jest mikroprzełącznik MODE pozwalający, jak łatwo się domyślić, na zmianę sposobu prezentacji temperatury pomiędzy trybami RGB a COLOR, o czym wspomniano już wcześniej. Stosowne ustawienie zapisywane jest w nieulotnej pamięci EEPROM mikrokontrolera przez co pamiętane jest nawet po wyłączeniu zasilania.

Uważny Czytelnik dostrzeże dość rozbudowany blok zasilający. Nie bez przyczyny zdecydowałem się na wykorzystanie przetwornicy typu step-down o dużej (86%) sprawności. Otóż każda z diod LED w przypadku skonfigurowania ich do pracy z maksymalną jasnością i maksymalnym udziałem każdej ze składowych RGB (świecąca wtedy de facto na biało) pobierać będzie ze źródła zasilania prąd rzędu 60 mA. Co prawda w naszym urządzeniu żadna z diod LED nie pracuje z nastawami 100% dla każdej ze składowych koloru, lecz i tak zgrubnie można przyjąć, iż każda z nich pobierze ze źródła zasilania prąd na poziomie 10 mA. Przy 25 świecących w tym samym czasie diodach LED daje

Listing 7. Kod funkcji *main* aplikacji termometruRGB

```
int main(void){
    uint8_t Timer = 0;

    //Podciągnięcie przycisku MODE pod VCC
    MODE_PULLED_UP;
    //Inicjalizacja portów sterujących diodami LED
    APA102Init();
    //Proste demo na wstępie
    Demo();

    while(1){
        //Co około sekundę mierzymy
        //i wyświetlamy temperaturę
        if((++Timer%128) == 0) Refresh = 1;
        //Obsługa klawiatury zmieniającej sposób
        //prezentacji temperatury
        handleKeyboard();
        //Obsługa potencjometru odpowiedzialnego
        //za regulację jasności linijki LED
        readBrightness();  //Czas wykonania ok. 7 ms
        //Odświeżenie ekranu, czyli wyświetlenie
        //bieżącej temperatury według
        //bieżących kryteriów wyświetlania
        refreshDisplay();
    }
}
```


eprasa.pl e2be9d43e0



Rysunek 5. Schemat ideowy urządzenia

to prąd, bagatela, 250 mA, a więc naprawdę sporo (przy założeniu maksymalnej jasności).

W takim wypadku zastosowanie zwykłego i taniego stabilizatora liniowego, nawet LDO nie wchodzi w ogóle w rachubę ze względu na potencjalnie traconą moc i niemożność jej efektywnego odprowadzenia do otoczenia. Stąd decyzja o zastosowaniu popularnej przetwornicy step-down pod postacią układu scalonego A8498 firmy Allegro MicroSystems w konfiguracji zapewniającej teoretyczny prąd obciążenia dochodzący do 3 A i napięcie wyjściowe na poziomie 5 V. Oczywiście, jeśli nie dysponujecie tym elementem możecie użyć dowolnego, innego typu źródła napięcia zasilającego o takich parametrach pomijając blok zasilający naszego urządzenia. Tyle w kwestii schematu ideowego urządzenia.

Program sterujący

Zanim przejdę do szczegółów konstrukcyjnych kilka niezbędnych słów na temat programu głównego aplikacji, którego ciało (wraz z deklaracją niezbędnych zmiennych globalnych) pokazano na **listingu 7**. Jak widać jest on niezmiernie prosty i klarowny. Z uwagi na prostotę aplikacji nie korzystałem z timerów sprzętowych, tylko zaprzągłem zwykłą zmienną *uint8_t Timer* do generowania stosownych opóźnień programowych korzystając z faktu, że wywołanie funkcji obsługi potencjometru odpowiedzialnego za regulację jasności linijki LED zajmuje ok. 7 ms czasu mikrokontrolera. Zgodnie z kodem pokazanym powyżej pomiar temperatury i jej wyświetlenie realizowane jest niespełna raz na sekundę, zaś pomiar ustawień potencjometru regulującego jasność świecenia diod LED w każdym obiegu pętli głównej.

W tej samej pętli sprawdzany jest stan przycisku MODE i w zależności od jego położenia zmieniany jest sposób prezentacji temperatury. Za każdym razem odświeżenie ekranu wymusza stan zmiennej *Refresh* sprawdzany w funkcji *refreshDisplay()*.

Przejdźmy do szczegółów. Na **listingu 8** pokazano ciało funkcji odpowiedzialnej za regulację jasności linijki LED, zaś na **listingu 9** pokazano z kolei ciało funkcji odpowiedzialnej za odświeżanie ekranu. Jak widać, i o czym wspomniano wcześniej, wprowadzono 2 tryby wyświetlania informacji o temperaturze: RGB i COLOR. Kolor każdej z diod LED definiowany jest poprzez wartości tablic reprezentujących poszczególne składowe koloru (R, G i B) i wynika z bieżącej temperatury otoczenia. Definicje tablic kolorów pokazano na **listingu 10**, zaś na **rysunku 6** pokazano udział poszczególnych składowych koloru (R, G, B) w wynikowym kolorze diody LED w zależności od mierzonej temperatury otoczenia.

Na koniec, na **listingu 11** pokazano ciało funkcji (wraz z odpowiednimi definicjami) odpowiedzialnej za pomiary przy użyciu wbudowanego przetwornika ADC. Tyle w kwestiach implementacyjnych. Przejdźmy do zagadnień montażowych.

Montaż i uruchomienie

Schemat montażowy naszego urządzenia pokazano na **rysunku 7**. Jak widać, zaprojektowano bardzo zwarty, dwustronny obwód drukowany przeznaczony do montażu powierzchniowego (po obu stronach laminatu) wyglądem przypominający analogowy termometr pokojowy.

Muszę przyznać, iż mimo prostoty schematu ideowego, projekt tej płytki był dla mnie niezłym wyzwaniem. Z uwagi na dość duży prąd szczytowy przetwornicy zasilającej

eprasa.pl e2be9d43e0

Listing 9. Kod funkcji odpowiedzialnej za odświeżanie ekranu

```
void refreshDisplay(void){
    uint8_t Temperature;  //0...24

    if(Refresh){
        Refresh = 0;

        Temperature = readADC(TEMPERATURE);  //0...24

        //W zależności od sposobu prezentacji temperatury
        //wysyłamy odpowiednie wartości do diod APA102
        APA102StartTrans();
        if(eeprom_read_byte(&Mode) != MODE_COLOR){  //RGB
            for(uint8_t i=0; i<25; ++i)
                if(i <= Temperature) APA102SendRGBdata(Brightness, R[i], G[i], B[i]);
                else APA102SendRGBdata(0, 0, 0, 0);
        } else {  //COLOR
            for(uint8_t i=0; i<25; ++i)
                if(i <= Temperature) APA102SendRGBdata(Brightness, R[Temperature], G[Temperature], B[Temperature]);
                else APA102SendRGBdata(0, 0, 0, 0);
        }
        APA102StopTrans(25);

        //Dodane wyłącznie z uwagi na prosty sposób
        //eliminacji drgania styków w funkcji handleKeyboard()
        _delay_ms(35);
    }
}
```

Listing 8. Kod funkcji odpowiedzialnej za regulację jasności linijki LED

```
void readBrightness(void){
    static uint8_t lastBrightness;

    Brightness = readADC(BRIGHTNESS);
    if(lastBrightness != Brightness){
        lastBrightness = Brightness;
        Refresh = 1;
    }
}
```

Listing 10. Definicje tablic kolorów diod LED

```
//Stałe składowych RGB dla kolejnych wartości mierzonej temperatury (10...34 ‘C)
uint8_t B[25] = {255, 234, 213, 192, 171, 150, 129, 108, 87, 66, 45, 24, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
uint8_t G[25] = {0, 21, 42, 63, 84, 105, 126, 147, 168, 189, 210, 231, 255, 231, 210, 189, 168, 147, 126, 105, 84, 63, 42, 21, 0};
uint8_t R[25] = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 24, 45, 66, 87, 108, 129, 150, 171, 192, 213, 234, 255};
```

Listing 11. Ciało funkcji (wraz z odpowiednimi definicjami) odpowiedzialnej za pomiary przy użyciu wbudowanego przetwornika ADC

```
//Definicja kanałów ADC
#define TEMPERATURE 0x03
#define BRIGHTNESS 0x02

//Przeliczone wartości ADC dla temperatur od 10’C...34’C (ostatnia wartość dodana z uwagi na mechanizm wyszukiwania indexu w funkcji ADC)
const uint16_t tc1047TransferFunction[26] PROGMEM = {563, 572, 581, 591, 600, 609, 619, 628, 637, 646, 656, 665, 674, 684, 693, 702, 712,
721, 730, 740, 749, 758, 768, 777, 786, 1023};

uint8_t readADC(uint8_t Channel){  //6.8 ms
    uint8_t Index;
    uint16_t adcVal = 0, currVal, nextVal;


    //Konfiguracja przetwornika ADC: Referencja = 1.1V,
    //wejście specyfikowane wartością zmiennej Channel
    ADMUX = (1<<REFS1)|Channel;

    //Wykonanie 32 pomiarów ADC
    //w celu późniejszego uśrednienia wartości wynikowej
    for(uint8_t i=0; i<32; ++i){
        //Start konwersji, Prescaler= 16 (62.5 kHz)
        ADCSRA = (1<<ADEN)|(1<<ADSC)|(1<<ADPS2);
        //Czekamy na jej zakończenie – 210us
        while(ADCSRA & (1<<ADSC));
        adcVal += ADC;
    }

    //Uśrednienie wartości wynikowej
    adcVal /= 32;

    //W zależności od mierzonego kanału wartość funkcji
    //liczona jest według innego algorytmu
    if(Channel == BRIGHTNESS){
        return adcVal>>5;  //Zakres 0...31
    } else { //TEMPERATURE
        //Ograniczamy wartość od dołu
        if(adcVal < 558) adcVal = 558;

        //Wyszukujemy wartość napięcia (jego index) w tablicy TC1047
        for(Index = 0; Index < 25; ++Index){
            currVal = pgm_read_word(&tc1047TransferFunction[Index]);
            nextVal = pgm_read_word(&tc1047TransferFunction[Index+1]);
            if(adcVal >= currVal && adcVal < nextVal) break;
        }
        return Index;
    }
}
```

diody LED musiałem zadbać o odpowiednie prowadzenie sygnałów krytycznych (zwłaszcza w bloku przetwornicy step-down) oraz masy zasilania. Warto podkreślić, iż nieodpowiednie prowadzenie ścieżek zasilających diody LED mogłoby doprowadzić do powstania dość dużych indukcyjności pasożytniczych co przy sterowaniu PWM w konsekwencji prowadziłoby do powstawania przepięć mogących uszkodzić elementy półprzewodnikowe.

Montaż urządzenia rozpoczynamy od warstwy TOP, gdzie w pierwszej kolejności przylutowujemy diody RGB. Aby ułatwić sobie nieco to zadanie wspomniane elementy możemy wcześniej przykleić do obwodu drukowanego stosując kropelkę dowolnego kleju nieprzewodzącego prąd. Warto zwrócić uwagę, iż każda kolejna dioda obrócona jest w stosunku do diody ją poprzedzającej o kąt 180°.

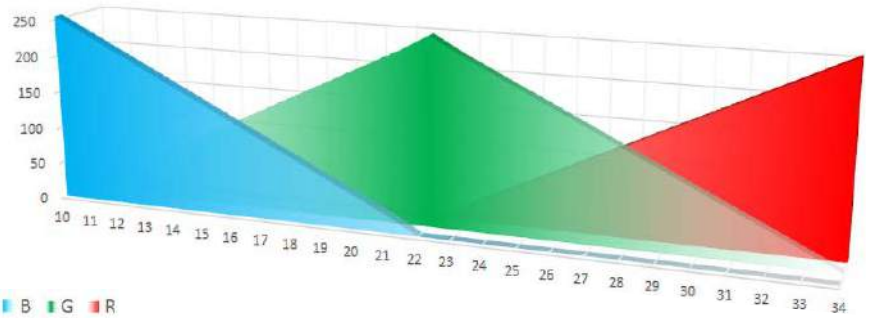
W następnej kolejności lutujemy mikrokontroler a później elementy pasywne i przycisk MODE. W tym momencie przechodzimy na warstwę BOTTOM, gdzie w pierwszej kolejności lutujemy elementy półprzewodnikowe, zaś na samym końcu elementy pasywne.

Poprawnie zmontowany układ nie wymaga jakichkolwiek regulacji i powinien działać tuż po włączeniu zasilania. Na **fotografii 1** pokazano wygląd zmontowanej płytki drukowanej urządzenia widzianej od strony TOP (w wersji prototypowej), zaś na **fotografii 2** odpowiedni

eprasa.pl e2be9d43e0

widok od strony BOTTOM (także w wersji prototypowej).

Na **rysunku 8** pokazano z kolei szablon (w skali 1:1) płyty czołowej termometru, który możemy wydrukować na papierze technicznym (o większej gramaturze) i zamocować ponad obwodem drukowanym urządzenia. Z uwagi na fakt, iż soczewki diod LED są w pełni przezroczyste, dla poprawy efektu wizualnego i w celu rozmycia składowych barw poszczególnych diod LED pod wspomnianym szablonem podkleić możemy kawałek mlecznej folii rozpraszającej światło.

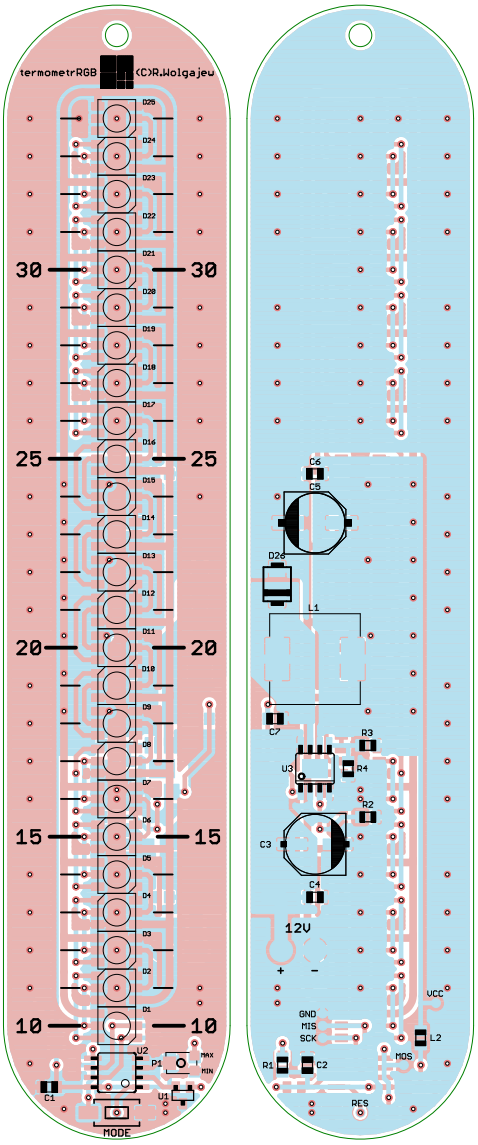


Rysunek 6. Udział poszczególnych składowych koloru (R, G, B) w wynikowym kolorze diody LED w zależności od mierzonej temperatury otoczenia

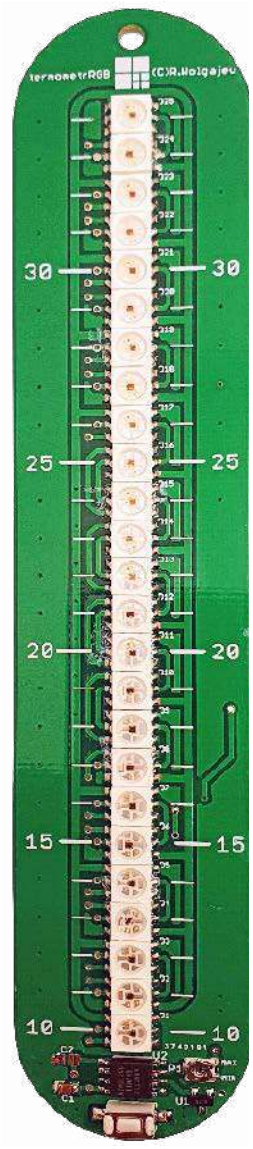
Podsumowanie

Na koniec dodam, iż po włączeniu urządzenia prezentowana jest prosta, acz efektowna animacja w postaci linijki w kolorach widma światła, która jednocześnie pełni funkcję testu diod LED. Dla osób, które we własnym zakresie będą chciały poeksperymentować z ustawieniami urządzenia czy też dopasować je do własnych wymagań, zamieszczam pełny kod aplikacji w postaci projektu (spakowanego) środowiska Eclipse. Z uwag praktycznych, w dobie problemów z dostępnością elementów półprzewodnikowych, podpowiem, iż w przypadku braku w hurtowniach podzespołów zastosowanych w niniejszym urządzeniu warto zajrzeć na strony producentów, gdzie niejednokrotnie zamówić możemy darmowe próbki elementów, z czego i ja korzystałem podczas implementacji naszego urządzenia.

Robert Wołgajew, EP

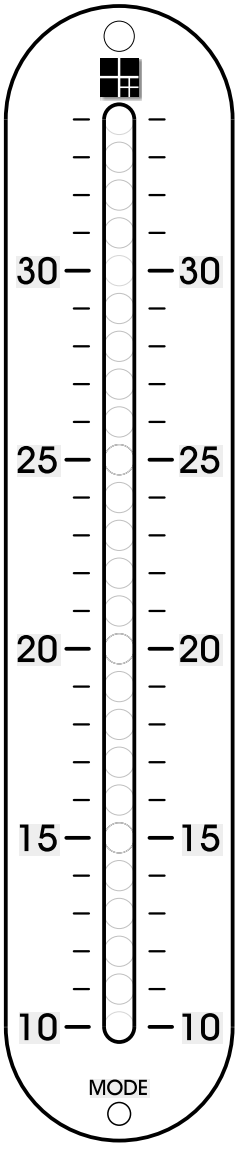


Rysunek 7. Schemat montażowy płytki PCB



Fotografia 1. Wygląd zmontowanej płytki drukowanej urządzenia widzianej od strony TOP (w wersji prototypowej)

Fotografia 2. Wygląd zmontowanej płytki drukowanej urządzenia widzianej od strony BOTTOM (w wersji prototypowej)



Rysunek 8. Szablon (w skali 1:1) płyty czołowej termometru

eprasa.pl e2be9d43e0

AVT sklep

W ofercie AVT*
AVT5976

Podstawowe parametry:
- podwyższanie napięcia stałego poprzez układ impulsowy,
- topologia typu boost,
- napięcie wyjściowe regulowane w zakresie 150...300 V,
- napięcie wejściowe 9...12 V,
- maksymalny prąd wyjściowy 5 mA.

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

AVT5812	Zegar Nixie (EP 10/2020)
AVT3226	Minizegar Nixie (EP 8/2018)
AVT5582	Androidowy zegar Nixie (EP 5 i 8/2017)
AVT3141	Zegar Nixie z sekundami (EdW 6/2016)
AVT3097	Zegar Nixie (EdW 7/2014)
Projekt 210	Termometr pokojowy z lampami Nixie (EP 10/2013)

* **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**.

Przetwornica do zasilania lamp NIXIE

Lampy NIXIE, służące do wyświetlania cyfr oraz innych znaków, mają wielu zwolenników. Ich łagodne, pomarańczowe, lekko rozmyte światło jest bardzo przyjemne dla oczu, które na co dzień oglądają kontrastowy i ostry niczym brzytwa obraz na wyświetlaczach typu LED lub OLED. Do prawidłowej pracy wymagają nie tylko odpowiedniego sterowania, lecz również zasilania. Zaprezentowany projekt to bardzo prosty zasilacz o wysokim napięciu wyjściowym.

Kolejny zasilacz impulsowy…? Przecież tyle ich już było, do czego przyda się następny? Może być bardzo przydatny, ponieważ ma bardzo cenną właściwość – jego napięcie wyjściowe sięga setek woltów przy niskiej wydajności prądowej. Dokładnie czegoś takiego potrzebują cyfrowe lampy jarzeniowe, szerzej znane jako lampy NIXIE. Chcąc stworzyć z ich pomocą zegar, termometr, wyświetlacz do piekarnika lub dowolne inne urządzenie, nie uciekniemy od konieczności wytworzenia wysokiego napięcia do zasilania tych lamp.

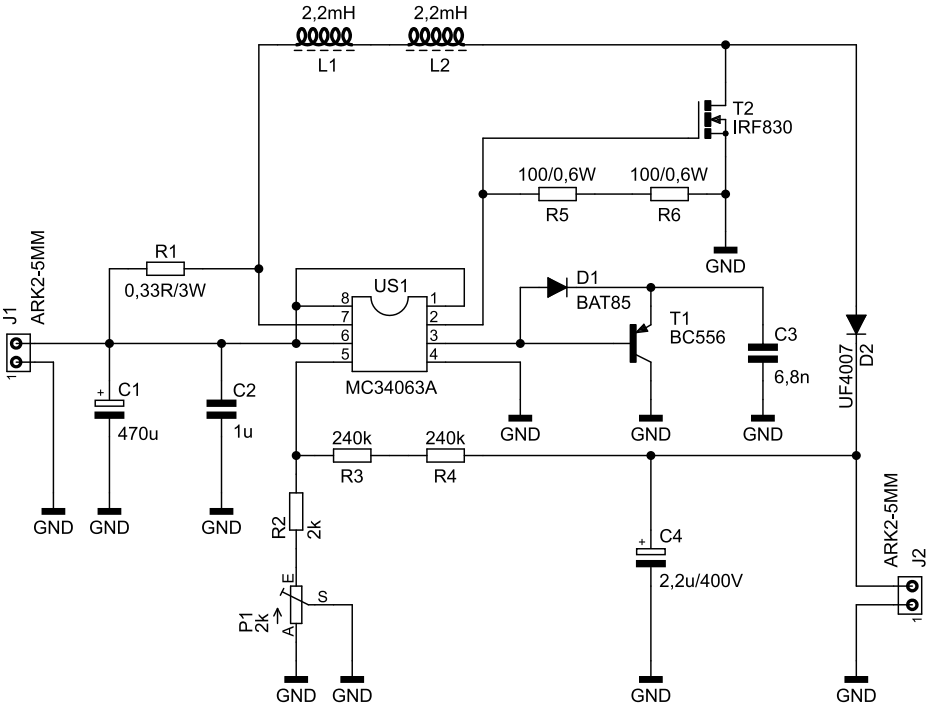
Maksymalny prąd wyjściowy rzędu 5 mA to niewiele jak na potrzeby diod LED, ale w zupełności wystarczy do zasilenia czterech (lub nawet sześciu – przy jeszcze niższym prądzie cyfr) takich lamp jarzeniowych. To wystarczająca liczba jak na potrzeby budowy klasycznego zegara. Przetwornicy można też użyć do innych celów, na przykład do formowania kondensatorów elektrolitycznych lub delikatnego podświetlania eksponatów neonówkami. Możliwości jest naprawdę wiele!

Budowa i działanie

Schemat ideowy omawianego układu znajduje się na **rysunku 1**. Kontrolerem całego zasilacza jest znany od wielu lat układ typu MC34063A. Pracuje w topologii boost, czyli podwyższającej napięcie. Choć to jedna z jego podstawowych funkcji, to znalazło się tutaj kilka modyfikacji. Prześledźmy ten prosty schemat kawałek po kawałku.

Napięcie wejściowe, które ma zostać podniesione, podaje się na zaciski złącza J1. Powinno być wyprostowane, a najlepiej gdyby było dobrze filtrowane, choć niekoniecznie stabilizowane. Kondensatory C1 i C2 zmniejszają impedancję wewnętrzną takiego źródła w szerokim zakresie częstotliwości, ponieważ przetwornica impulsowa pobiera prąd… właśnie, impulsami – na dodatek, o krótkim czasie przełączania.

Rezystor R1 ogranicza prąd ładujący cewki L1 i L2. Jest to wykonywane poprzez pomiar spadku napięcia na nim: kiedy wartość ta przekroczy ustalony próg (około 300 mV), klucz układu boost przechodzi w stan rozwarcia, by nie przekroczyć dopuszczalnego prądu cewek. Prąd narasta w cewkach mniej więcej liniowo, więc detekcja tego momentu jest stosunkowo prosta. Właśnie, czemu użyto dwóch gotowych dławików o indukcyjności 2,2 mH każdy? Odpowiedź nie jest trudna: układ wytwarza napięcie stałe o wartości nawet 300 V, co powoduje, że między zaciskami każdego z tych dławików indukuje się napięcie równe (w przybliżeniu) połowie tej wartości. Gotowy, nawijany masowo dławik o indukcyjności 4,7 mH mógłby szybko zakończyć swoją karierę z przebiciem międzyzwojowym. Użycie dwóch elementów połączonych szeregowo rozwiązuje ten problem.



Rysunek 1. Schemat ideowy przetwornicy do zasilania lamp NIXIE

eprasa.pl e2be9d43e0

Wykaz elementów, kupuj na stronie sklep.avt.pl (Warszawa, ul. Leszczynowa 11, tel. +48222578451, e-mail: handlowy@avt.pl)

Kondensatory:
C1: 470 µF 25 V raster 3,5 mm, średnica 8 mm
C2: 1 µF raster 5 mm MKT
C3: 6,8 nF raster 5 mm MKT
C4: 2,2 µF 400 V raster 3,5 mm, średnica 8 mm

Rezystory:
R1: 0,33 Ω 3 W
R2: 2 kΩ
R3, R4: 240 kΩ
R5, R6: 100 Ω 0,6 W
P1: 2 kΩ montażowy pionowy wieloobrotowy 3296W

Półprzewodniki:
D1: BAT85
D2: UF4007
T1: BC556
T2: IRF830 (TO220)
US1: MC34063A (DIP8)

Pozostałe:
J1, J2: ARK2/500 (opis w tekście)
J1, J2: 2,2 mH pionowy 9×12 mm

Układ przetwornicy podwyższającej, poza dławikiem o określonej indukcyjności, musi również zawierać klucz zwierający jeden z zacisków owego dławika do masy w celu zgromadzenia w nim energii. W tym układzie funkcję tę pełni tranzystor T2. Testy wykazały, że musi to być tranzystor polowy (dokładniej: MOSFET), bowiem bipolarny zbyt długo wychodził z nasycenia. W tym układzie klucz pracuje z wysokim wypełnieniem impulsów go sterujących, wyższym niż 90%, więc element kluczujący nie ma zbyt wiele czasu na przełączenie się nawet po obniżeniu częstotliwości kluczowania do kilku kiloherców. Pojemność bramka-źródło tego elementu jest ładowana za pośrednictwem tranzystora wbudowanego w układ US1, z kolei za jego rozładowanie są odpowiedzialne dwa połączone szeregowo rezystory R5 i R6. Dwa rezystory skuteczniej rozproszą wydzielane na nich ciepło, aniżeli uczyniłby to tylko jeden element.

Częstotliwość kluczowania w tym układzie ustalono na około 8 kHz. To wiąże się z emisją słyszalnego pisku, choć, jak pokazały testy, można jego natężenie skutecznie ograniczyć. Kondensator C3 jest odpowiedzialny za częstotliwość pracy przetwornicy, jednak w jego otoczeniu znalazła się jeszcze dioda D1 oraz kondensator T1. Ich zadaniem jest przyspieszenie przeładowywania tego elementu przy pracy z wysokim wypełnieniem impulsów sterujących, z którym przecież w tym układzie mamy do czynienia. Dokładniej rzecz ujmując, C3 jest ładowany z generatora zawartego w US1 poprzez diodę D1, natomiast T1 przyspiesza rozładowywanie go.

Impulsy wysokiego napięcia, które cyklicznie indukują się między drenem a źródłem tranzystora T2, doładowują kondensator elektrolityczny C4 za pośrednictwem szybkiej, wysokonapięciowej diody D2. Zgromadzony w nim ładunek może zostać odebrany poprzez lampy podłączone do zacisków złącza J2. Napięcie na jego zaciskach jest stale monitorowane przez pętlę ujemnego sprzężenia zwrotnego, w skład której wchodzą rezystory R2…R4 i potencjometr P1. Układ US1 pracuje tak, by napięcie na jego nóżce 5 wynosiło 1,25 V. Zadaniem wspomnianego dzielnika rezystancyjnego jest dostarczenie mu tej informacji.

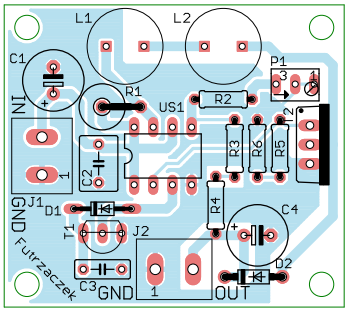
Montaż i uruchomienie

Układ został zmontowany na jednostronnej płytce drukowanej o wymiarach 45×40 mm, której schemat jest pokazany na **rysunku 2**. W odległości 3 mm od krawędzi płytki znalazły się cztery otwory montażowe, każdy o średnicy 3,2 mm.

Montaż proponuję rozpocząć od elementów o najmniejszej wysokości obudowy, czyli rezystorów i diod. Pod układ US1 proponuję nie stosować podstawki, ponieważ prąd płynący przez jego wyprowadzenia może osiągać znaczne wartości szczytowe, lepiej wlutować go bezpośrednio w laminat. Zmontowany układ można zobaczyć na fotografii tytułowej.

Zasilanie dla układu powinno się zawierać w granicach 9…12 V. Pobór prądu zależy od ustawionego napięcia wyjściowego, poboru prądu przez wyjście oraz napięcia zasilającego. W skrajnie trudnych warunkach, czyli przy napięciu wejściowym wynoszącym 9 V, wyjściowym 300 V i poborze prądu o natężeniu 5 mA, prąd wejściowy wyniósł 0,32 A. Nietrudno policzyć, że sprawność układu w tych warunkach ledwie przekroczyła 50% – nie jest to jednak strasznie zły wynik, mając na uwadze, że ten układ jest możliwie prosty oraz tani w budowie. Znacząca część tego ciepła wydzieliła się w dławikach L1 i L2 oraz w tranzystorze T2, który nie potrzebował dodatkowego elementu chłodzącego.

Przy braku obciążenia przetwornica przechodzi do pracy przerywanej z uwagi na niemożność uzyskania wypełnienia impulsów sterujących bliskiego 0%. Warto mieć na uwadze, że w tych warunkach napięcie na wyjściu skacze do wartości nawet przewyższającej 400 V, by po chwili spaść poniżej ustalonego progu. Skoro został poruszony temat obciążenia, to jeszcze jedna, istotna kwestia: nie zalecam odłączania obciążenia od zacisków złącza J2, jeżeli przetwornica jest w pełni obciążona. W dławikach może być zgromadzona tak duża porcja energii, że nagły zanik jej odbiornika spowoduje gwałtowny wzrost napięcia wyjściowego, co doprowadzi do przebicia kilku elementów. Dlatego, chcąc wyłączyć lampy NIXIE, lepiej byłoby odłączyć zasilanie tej przetwornicy.



Rysunek 2. Schemat płytki PCB

Częstotliwość kluczowania wynosząca 8 kHz plasuje ów sygnał w paśmie słyszalnym przez człowieka. I tak jest w rzeczywistości, choć natężenie odgłosów wydawanych przez tę przetwornicę zależy zarówno od jej prądu wyjściowego, jak i napięcia zasilającego. Ustalono doświadczalnie, że przy napięciu wyższym niż 280 V jej praca staje się głośniejsza niż ma to miejsce dla niższych wartości tego parametru. Warto to uwzględnić w obliczaniu rezystorów ograniczających prąd pracy lamp NIXIE, ponieważ niewielkim zmniejszeniem napięcia zasilającego te lampy można uzyskać znacznie cichszy układ.

Słowo wyjaśnienia należy się odnośnie do złącza J2. Według not katalogowych, typowa wytrzymałość napięciowa użytych złączy wynosi 250 V. W tym układzie między zaciskami J2 może pojawiać się wyższe napięcie. Jeżeli planowane jest ciągłe przekraczanie 250 V napięcia wyjściowego, można złącza J2 nie lutować, zaś przewody przylutować bezpośrednio do laminatu.

Michał Kurzela, EP

Bibliografia:
https://bit.ly/3Z6lbmi

REKLAMA

www.ep.com.pl/EPwtoku

eprasa.pl e2be9d43e0

AVT sklep

Podstawowe parametry:
- działa w sposób aktywny, nadmiar energii nie jest tracony w postaci ciepła,
- dostosowany do pracy z 4 ogniwami (opcjonalnie z 3 ogniwami),
- balansowanie jest wykonywane, jeżeli napięcia między ogniwami różnią się o więcej niż 100 mV,
- maksymalna wartość prądu balansowania to ok. 1500 mA.

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

----	Uniwersalny balanser aktywny (EP 10/2022)
AVT5714	Moduł superkondensatora z balanserem (EP 9/2019)
AVT5649	Balanser do superkondensatorów EDLC (EP 10/2018)

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

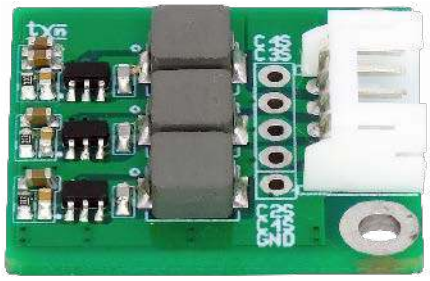
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- **wersja [A+]** – płytka drukowana **[A]** + zaprogramowany układ **[UK]** i dokumentacja,
- **wersja [UK]** – zaprogramowany układ.

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**.

Uniwersalny balanser aktywny 4S

Niewielki moduł balansera 4S będzie przydatny przy budowie pakietów akumulatorów do urządzeń przenośnych. Dzięki temu, że działa w sposób aktywny, nadmiar energii jest gromadzony w indukcyjności i przekazywany z ogniwa o wyższym napięciu do ogniwa o napięciu niższym.

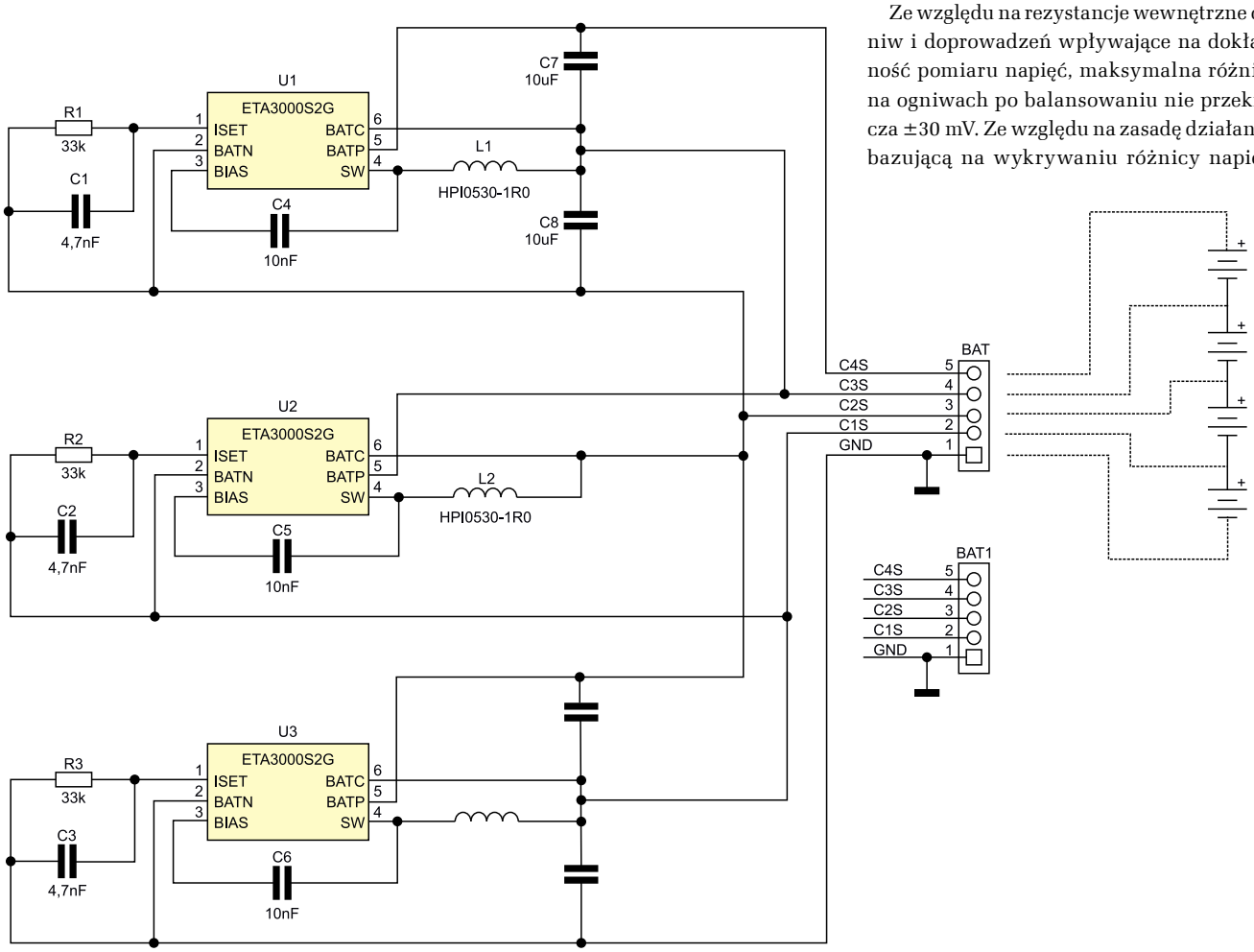


Za proces balansowania odpowiadają specjalizowane układy ETA3000 (ETA Solutions). Co 2 sekundy mierzą napięcia dwóch szeregowo połączonych ogniw pakietu (np. GND-CS1, CS1-CS2), jeżeli zmierzone napięcia różnią się o więcej niż 100 mV, a suma napięć dwóch cel jest większa od progu detektora U_{LVO}=3,75 V, rozpoczyna się proces balansowania, tj. przekazywania energii z celi o wyższym napięciu do celi o niższym napięciu.

Budowa i działanie

Schemat układu został pokazany na **rysunku 1**. Maksymalną wartość prądu balansowania ustala rezystor Rx podłączony do wyprowadzenia ISET, w modelu to ok. 1500 mA. Balansowanie zostaje zatrzymane, gdy napięcia na celach zostaną wyrównane, po czym układ przechodzi w stan SLEEP, pobierając nie więcej niż 2 μA, co zapewnia niskie samorozładowanie pakietu.

Ze względu na rezystancje wewnętrzne ogniw i doprowadzeń wpływające na dokładność pomiaru napięć, maksymalna różnica na ogniwach po balansowaniu nie przekracza ±30 mV. Ze względu na zasadę działania, bazującą na wykrywaniu różnicy napięć,



Rysunek 1. Schemat układu balansera 4S

eprasa.pl e2be9d43e0

Wykaz elementów, kupuj na stronie sklep.avt.pl (Warszawa, ul. Leszczynowa 11, tel. +48222578451, e-mail: handlowy@avt.pl)

Rezystory:
R1, R2, R3: 33 kΩ 1% (SMD0603)

Kondensatory:
C1, C2, C3: 4,7 nF ceramiczny 5 V (SMD0603)
C4, C5, C6: 10 nF ceramiczny 50 V (SMD0603)
C7, C8, C9, C10: 10 µF ceramiczny 10 V (SMD0603)

Półprzewodniki:
U1, U2, U3: ETA3000S2G (SOT-23-6)

Pozostałe:
BAT1: złącze SIP5 2,54 (opcja)
BAT: złącze JST 2 mm kątowe
L1, L2, L3: dławik 1 µH HPI0530-1R0

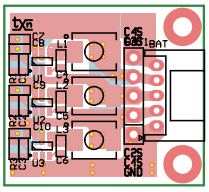
a nie ustalonego progu, układ jest uniwersalny i nadaje się do ogniw Li-FePo$_4$ i Li-Ion, o ile napięcie pakietu dwóch ogniw nie przekracza 10 V. Warunek ten spełniają nawet nowoczesne ogniwa o podwyższonym do 4,35 V napięciu.

Dla balansowania większej liczby ogniw konieczne jest szeregowe łączenie układów ETA, w którym każdy z nich indywidualnie połączony jest do dwóch ogniw, ale obejmuje też jedno ogniwo z poprzedniego balansera, co umożliwia przekazywanie ładunku w całym pakiecie. Akumulator 4S podłączony jest do jednego ze złączy BAT typu JST PH 2 mm lub BAT1 typu SIP 2,54 w zależności od preferencji. Akumulator należy podłączać, zachowując kolejność cel – czyli w pierwszej kolejności łączymy wyprowadzenie masy, następnie w kolejności poszczególne cele CS1, CS2, CS3, CS4.

Montaż i uruchomienie

Układ wykonany jest na dwustronnej płytce drukowanej, której schemat pokazano na **rysunku 2**. Montaż układu nie wymaga szczegółowego opisu, a zmontowany moduł pokazuje fotografia tytułowa.

Układ nie wymaga uruchamiania, wartość elementów należy dopasować do pojemności akumulatora i ustalonego prądu balansowania zgodnie z kartą katalogową ETA3000, która jest dostępna w materiałach dodatkowych do artykułu. Balanser można dostosować do akumulatora 3S, nie lutując elementów U1, R1, C1, C4, C7, L1 i pozostawiając wyprowadzenie C4S niepodłączone.



Rysunek 2. Schemat płytki PCB

Adam Tatuś, EP

AVT sklep

Podstawowe parametry:
- umożliwia monitorowanie stanów lub sterowanie do 16 wyjść cyfrowych,
- komunikacja poprzez magistralę I²C,
- wyjścia mogą być obciążone prądem do 8 mA,
- dodatkowa płytka przyłączeniowa zawiera złącze śrubowe i listwę goldpin,
- połączenie z płytką bazową zrealizowane jest typowym kablem FTP.

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.ulubionykiosk.pl/media
---- Eliminator drgań styków mechanicznych (EP 1/2023)
---- Moduł redundancji zasilania do komputerów SBC (EP 1/2023)
---- Sterownik mikrosilnika krokowego do Pi Pico (EP 12/2022)
---- Radiomodem ISM do Raspberry Pi Zero (EP 11/2022)
---- Moduł LoRa do RPi Pico (EP 9/2022)
---- Moduł z wyświetlaczami numitron (EP 8/2022)

* **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.

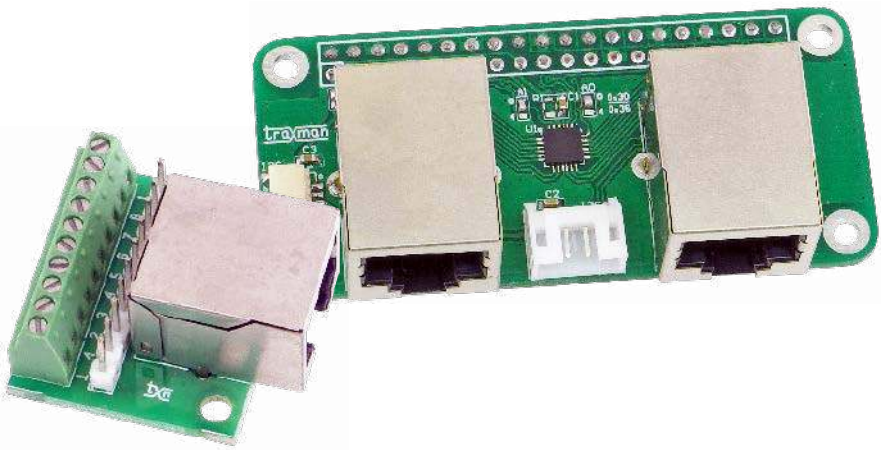
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- **wersja [A+]** – płytka drukowana **[A]** + zaprogramowany układ **[UK]** i dokumentacja,
- **wersja [UK]** – zaprogramowany układ.

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**.

Ekspander portów cyfrowych z układem XRA1201

Zaprezentowany moduł umożliwia monitorowanie stanów lub sterowanie do 16 wyjść cyfrowych przy użyciu magistrali I²C. Dwa porty pogrupowane po 8 wyprowadzeń dostępne są poprzez typowe złącze RJ45. Uzupełniająca płytka przyłączeniowa umożliwia wyprowadzenie sygnałów na złącze śrubowe lub listwę goldpin, a połączenie z płytką bazową zrealizowane jest typowym kablem FTP Cat6a.



Zastosowany w nakładce układ XRA1201 (Maxlinear) umożliwia rozbudowę dowolnej aplikacji o dwa ośmiobitowe porty cyfrowe GPIO. Układ ma możliwość definiowania kierunku każdego z wyprowadzeń IO, sterowania rezystorami podciągającymi, konfiguracji buforów wyjściowych w trybie trójstanowym oraz elastycznej konfiguracji generowanych przerwań. Schemat wewnętrzny układu XRA1201 został pokazany na **rysunku 1**. Układ dostępny jest w dwóch wersjach – XRA1201P z załączonymi oraz XRA1201 z domyślnie wyłączonymi po resecie rezystorami podciągającymi.

Budowa i działanie

Schemat ideowy modułu został pokazany na **rysunku 2**, natomiast na **rysunku 3** znajduje się schemat ideowy płytki przyłączeniowej. Blisko układu U1 typu XRA1201(P) znajdują się zworki A0, A1 umożliwiające ustalenie adresu na magistrali. Pełna adresacja U1 umożliwia zastosowanie do 32 układów na jednej magistrali, w module ustawienie adresów jest ograniczone do 4 zgodnie z **tabelą 1**.

Sygnały GPIO doprowadzone są do złączy JIOA, JIOB, sygnał przerwania podłączony

eprasa.pl e2be9d43e0

Wykaz elementów, kupuj na stronie sklep.avt.pl (Warszawa, ul. Leszczynowa 11, tel. +48222578451, e-mail: handlowy@avt.pl)

Moduł bazowy
Rezystory: (SMD0603, 1%)
R1: 330 Ω
R2, R3: 4,7 kΩ

Kondensatory: (SMD0603)
C1, C3: 0,1 μF
C2: 10 μF

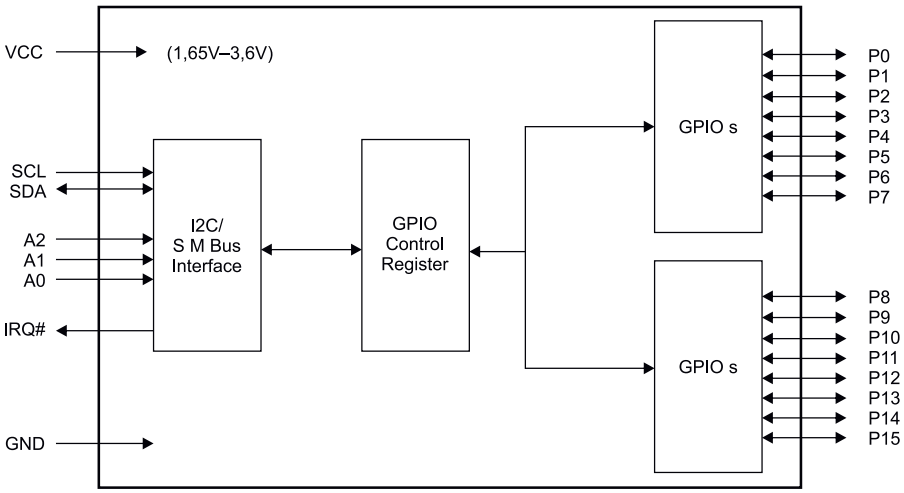
Półprzewodniki:
U1: XRA1201IL24 (QFN24)

Pozostałe:
A0, A1: zworka (SMD0603)
GPIO: złącze IDC 2×20pin żeńskie
I²C: złącze JST 4 pin 1 mm kątowe
I²CA: złącze HST 4 pin 2 mm kątowe
JIOA, JIOB: gniazdo RJ45 MTJ-88GX1-FSD

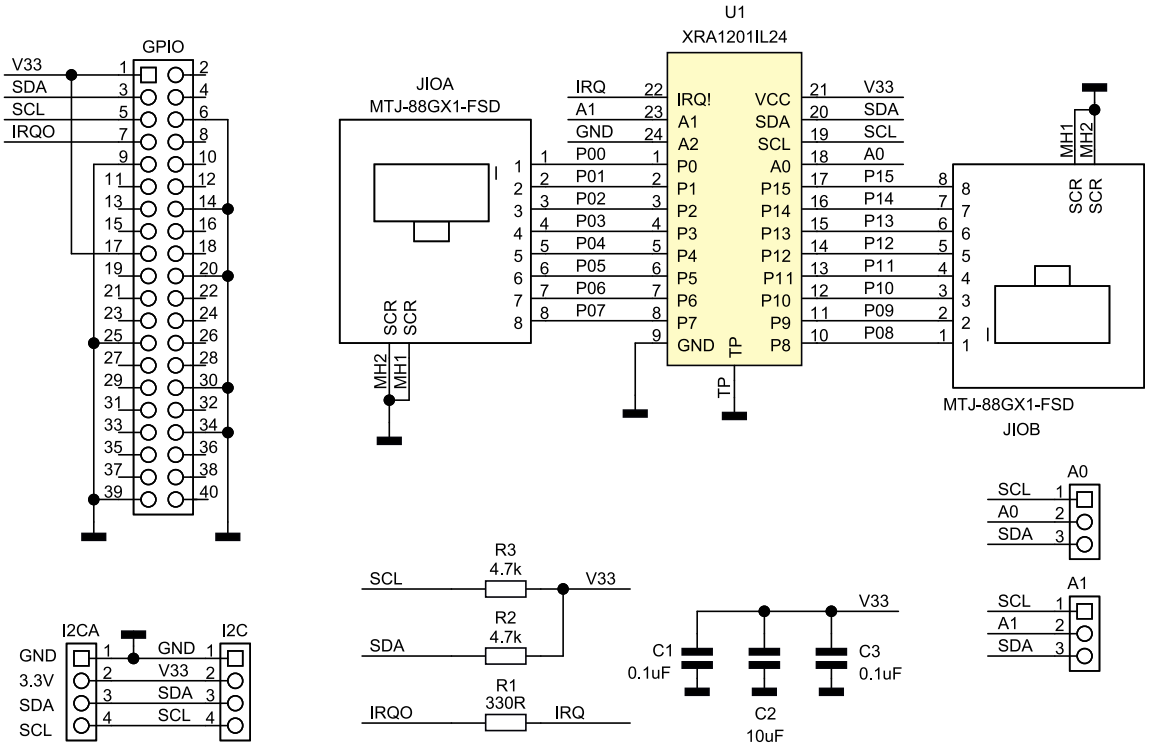
Płytka przyłączeniowa
J1: złącze śrubowe 10 pin 2,54 mm
JIO: złącze szpilkowe SIP10 2,54 mm
JIOA: gniazdo RJ45 MTJ-88GX1-FSD

jest poprzez rezystor R1 do wyprowadzenia GPIO04. Jeżeli nie korzystamy z przerwania, to pomijamy montaż R1. Wyjścia GPIO mogą być obciążone prądem do 8 mA w każdym ze stanów logicznych, co umożliwia bezpośrednie sterowanie niskoprądowych diod LED zarówno stanem niskim, jak i wysokim, pod warunkiem nieprzekraczania traconej w układzie mocy 200 mW i prądu wyprowadzeń GPIO 160 mA.

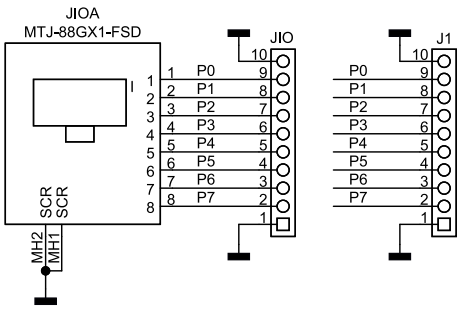
Sygnały magistrali I²C i zasilanie doprowadzone są do czterostykowych złączy JST o rozstawie 1 mm (I²C) i 2 mm (I²CA), co nie tylko wyprowadza magistralę do modułów zewnętrznych, ale umożliwia także użycie modułu z innymi systemami. Moduł może być zasilany napięciami z zakresu 1,65...3,6 V. Wyprowadzenia IO układu



Rysunek 1. Schemat wewnętrzny układu XRA1201



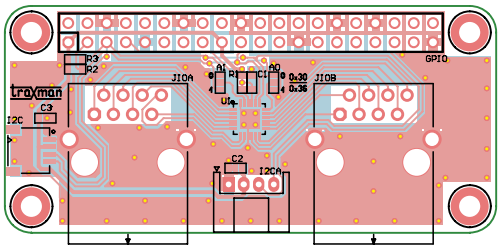
Rysunek 2. Schemat modułu



Rysunek 3. Schemat płytki przyłączeniowej

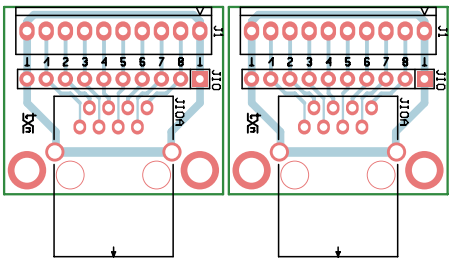
Tabela 1. Adresacja układu XRA1201(P) na magistrali I²C

A1	A0	Adres
SCL	SCL	0x30 (0011 000X)
SCL	SDA	0x32 (0011 001X)
SDA	SCL	0x34 (0011 010X)
SDA	SDA	0x36 (0011 011X)

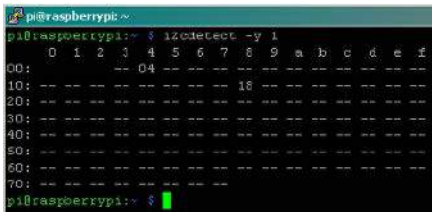


Rysunek 4. Schemat PCB modułu bazowego

eprasa.pl e2be9d43e0



Rysunek 5. Schemat PCB płytki przyłączeniowej



Rysunek 6. Detekcja układu XRA1201 na magistrali I²C za pomocą i2ctools

XRA1201 tolerują napięcie 5 V, ale należy zachować ostrożność podczas konfiguracji układu.

Montaż i uruchomienie

Moduł zmontowany jest na dwustronnej płytce drukowanej, której schemat został pokazany na **rysunku 4**, natomiast schemat płytki przyłączeniowej pokazuje **rysunek 5**. Sposób montażu jest klasyczny i nie wymaga dokładnego opisu. Po montażu należy kroplą cyny ustalić adres modułu na zworach A1, A0.

Układ XRA1201(P) ma szesnaście rejestrów ustalających tryb pracy GPIO oraz konfigurujących przerwania, skrócony opis rejestrów pokazano w **tabeli 2**, pełny opis dostępny jest w karcie katalogowej. Do szybkiego przetestowania działania modułu podłączonego do RPi użyjemy biblioteki i2ctools. Po ustawieniu adresu bazowego zworami A1, A0 moduł powinien być widoczny po odczycie magistrali poleceniem:

```
i2cdetect -y 1
```

podobnie jak pokazano na **rysunku 6** (ustawiony adres bazowy 7-bitowy 0x18).

Stan wejść GPIO (P0...P7/P8...P15) może być odczytany bez dodatkowej konfiguracji, tylko na bazie ustawień domyślnych, poleceniem:

```
i2cget -y 1 0x18 0x00
i2cget -y 1 0x18 0x01
```

Jeżeli stosujemy układ XRA1201, przed odczytem stanu należy załączyć rezystory podciągające wejście poleceniem:

```
i2cset -y 1 0x18 0x08 0xFF
i2cset -y 1 0x18 0x09 0xFF
```

lub doprowadzić do wejścia sygnał logiczny o poziomach 0/3,3 V. Wejścia mogą zostać zanegowane poleceniem:

```
i2cset -y 1 0x18 0x04 0xFF
i2cset -y 1 0x18 0x05 0xFF
```

Ustawienie GPIO jako wyjść wykonujemy poleceniem:

```
i2cset -y 1 0x18 0x06 0x00
i2cset -y 1 0x18 0x07 0x00
```

Stan wyjść zmieniamy poleceniem:

```
i2cset -y 1 0x18 0x02 0xFF
i2cset -y 1 0x18 0x03 0xFF
```

Ustawienie wyjść w stan wysokiej impedancji:

```
i2cset -y 1 0x18 0x0C 0xFF
i2cset -y 1 0x18 0x0D 0xFF
```

Odczyt stanu rejestru wyjściowego GPIO:

```
i2cget -y 1 0x18 0x00
i2cget -y 1 0x18 0x01
```

W przypadku ustawienia wyjść w tryb tri-state odczyt rejestru GSR może różnić się od fizycznego stanu wyprowadzeń, warto o tym pamiętać. Jeżeli wszystko działa poprawnie, można moduł zastosować we własnej aplikacji.

Adam Tatuś, EP

Tabela 2. Rejestry konfiguracyjne XRA1200(P)

Subadres	Nazwa rejestru	Funkcja	Typ	Ustawienia domyślne
0x00	GSR1	Stan wejść GPIO P0...P7	Odczyt	0xXX
0x01	GSR2	Stan wejść GPIO P8...P15	Odczyt	0xXX
0x02	OCR1	Rejestr kontroli wyjść P0...P7	Odczyt/Zapis	0xFF
0x03	OCR2	Rejestr kontroli wyjść P8...P15	Odczyt/Zapis	0xFF
0x04	PIR1	Rejestr polaryzacji wejść P0...P7 0 – brak negacji, 1 – negacja wejścia	Odczyt/Zapis	0x00
0x05	PIR2	Rejestr polaryzacji wejść P8...P15 0 – brak negacji, 1 – negacja wejścia	Odczyt/Zapis	0x00
0x06	GCR1	Konfiguracja typu GPIO P0...P7 0 – wyjście, 1 – wejście (domyślne)	Odczyt/Zapis	0xFF
0x07	GCR2	Konfiguracja typu GPIO P8...P15 0 – wyjście, 1 – wejście (domyślne)	Odczyt/Zapis	0xFF
0x08	PUR1	Konfiguracja rezystorów PullUp P0...P7 0 – PullUp wyłączony, 1 – PullUp załączony	Odczyt/Zapis	0x00 (XRA1200) 0xFF (XRA1200P)
0x09	PUR2	Konfiguracja rezystorów PullUp P8...P15 0 – PullUp wyłączony, 1 – PullUp załączony	Odczyt/Zapis	0x00 (XRA1200) 0xFF (XRA1200P)
0x0A	IER1	Kontrola przerwań	Odczyt/Zapis	0x00
0x0B	IER2	Kontrola przerwań	Odczyt/Zapis	0x00
0x0C	TSCR1	Kontrola wyjść TriState P0...P7 0 – wyjście bezpośrednie, 1 – wyjście trójstanowe	Odczyt/Zapis	0x00
0x0D	TSCR2	Kontrola wyjść TriState P8...P15 0 – wyjście bezpośrednie, 1 – wyjście trójstanowe	Odczyt/Zapis	0x00
0x0E/0x0F	ISR1/2	Status przerwań P0...P7/P8...P15 dokładny opis w nocie	Odczyt	0x00
0x10/0x11	REIR1/2	Konfiguracja przerwań P0...P7/P8...P15 zbocze narastające	Odczyt/Zapis	0x00
0x12/0x13	FEIR1/2	Konfiguracja przerwań P0...P7/P8...P15 zbocze opadające	Odczyt/Zapis	0x00
0x14/0x15	IFR1/2	Filtr wejściowy układu przerwań P0...P7/P8...P15	Odczyt/Zapis	0xFF

REKLAMA

eprasa.pl e2be9d43e0

AVT sklep

Podstawowe parametry:
- sterowany poprzez magistralę I²C,
- współpracuje z wyświetlaczem DE127RS20, który umożliwia wyświetlenie czterech cyfr siedmiosegmentowych o wysokości 8,9 mm wraz z przecinkami,
- opracowany dodatkowy adapter umożliwiający zastosowanie wyświetlaczy zgodnych wyprowadzeniami z cyframi o większej wysokości np.: DE119 (12,7 mm), DE120 (17,78 mm), DE158 (25,4 mm),
- pobór prądu modułu, w którym wysterowano wszystkie segmenty, wynosił mniej niż 10 µA w przypadku wyświetlacza DE127 (8,9 mm) i mniej niż 35 µA w przypadku DE158 (25,4 mm).

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

----	Dwukanałowy czujnik temperatury z interfejsem I²C (EP 2/2023)
----	Uniwersalny adapter I²C (EP 1/2023)
----	Licznik impulsów z podtrzymaniem bateryjnym (EP 12/2022)
----	Ekspander DAC z układem LTC1663 (EP 10/2022)
----	Przedłużacz magistrali I²C (EP 9/2022)
----	Mostek UART-I²C z układem SC18IM700 (EP 8/2022)
----	Megaekspander I/O (EP 8/2022)
----	Dwukanałowy multiplekser magistrali I²C (EP 2/2022)
AVT5912	Expander wyjść z interfejsem I²C (EP 1/2022)
AVT5901	Moduł z zegarem RTC i pamięcią FRAM po I²C (EP 11/2021)

* **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.

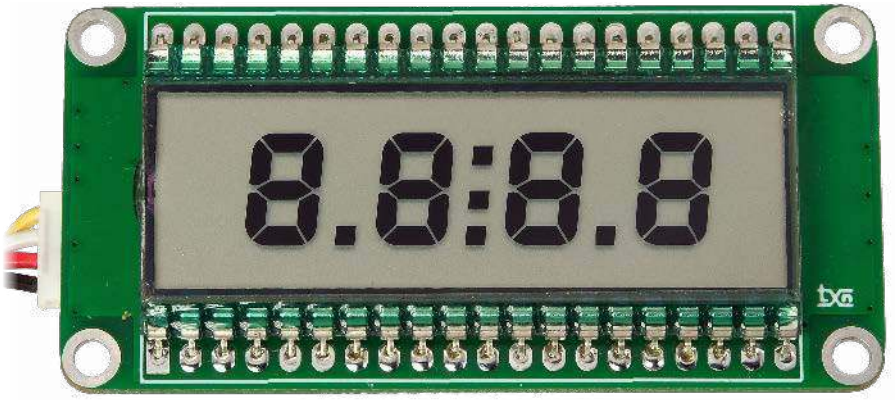
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- **wersja [A+]** – płytka drukowana **[A]** + zaprogramowany układ **[UK]** i dokumentacja,
- **wersja [UK]** – zaprogramowany układ.

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**.

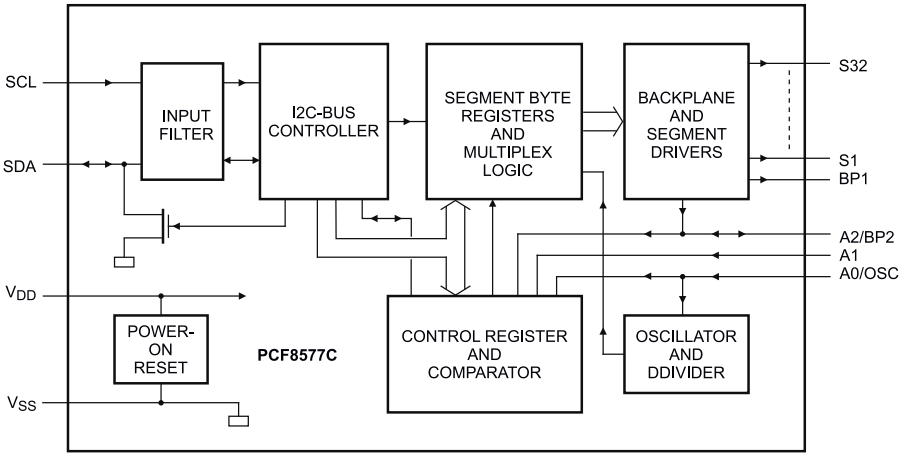
Wyświetlacz segmentowy LCD z interfejsem I²C na bazie układu PCF8577C

Minimoduł ze sterownikiem wyświetlacza segmentowego LCD sterowany poprzez magistralę I²C będzie przydatny tam, gdzie zależy nam na wyświetleniu niewielkiej ilości informacji przy maksymalnym ograniczeniu poboru mocy, a zastosowany procesor nie ma wbudowanego kontrolera LCD. Moduł może współpracować z różnymi płytkami uruchomieniowymi, takimi jak RPi Pico, STM32, Arduino i nie tylko…



Nie zawsze komunikacja z użytkownikiem musi bazować na dużych wyświetlaczach TFT, w wielu przypadkach sprawdzi się zwykły wyświetlacz siedmiosegmentowy. Cechuje się on jednak sporym poborem mocy. Gdy zależy nam na oszczędnym gospodarowaniu energią, warto przemyśleć zastosowanie znakowego wyświetlacza LCD.

Wybór mikrokontrolerów z wbudowanym interfejsem LCD jest ograniczony. Interfejs zajmuje sporą liczbę wyprowadzeń, a nie zawsze chcemy rezygnować z własnych preferencji co do wyboru mikrokontrolera. Wtedy z pomocą przychodzą zewnętrzne układy driverów LCD, takie jak zastosowany w module PCF8577C, którego strukturę wewnętrzną pokazano na **rysunku 1**. Zawiera on driver wyświetlacza LCD pracujący w trybie sterowania bezpośredniego 32 segmentami oraz w trybie multiplex 1:2 do 64 segmentami. Dodatkowo zawiera generator taktujący RC, osiem rejestrów ośmiobitowych (dwa banki 2×4 rejestry) przechowujących kształt wyświetlanego znaku oraz kontroler interfejsu I²C.



Rysunek 1. Budowa wewnętrzna układu PCF8577C (za notą NXP)

Budowa i działanie

Schemat układu został pokazany na **rysunku 2**. Oscylator układu U1 jest konfigurowany elementami R1 i C1, magistrala I²C doprowadzona jest do złączy I²Cx zgodnych z standardem Grove, QWIIC i na złącze szpilkowe, co ułatwia podłączenie do popularnych płytek uruchomieniowych. Układ wymaga zasilania 3...5 V.

Wykaz elementów, kupuj na stronie sklep.avt.pl (Warszawa, ul. Leszczynowa 11, tel. +48222578451, e-mail: handlowy@avt.pl)

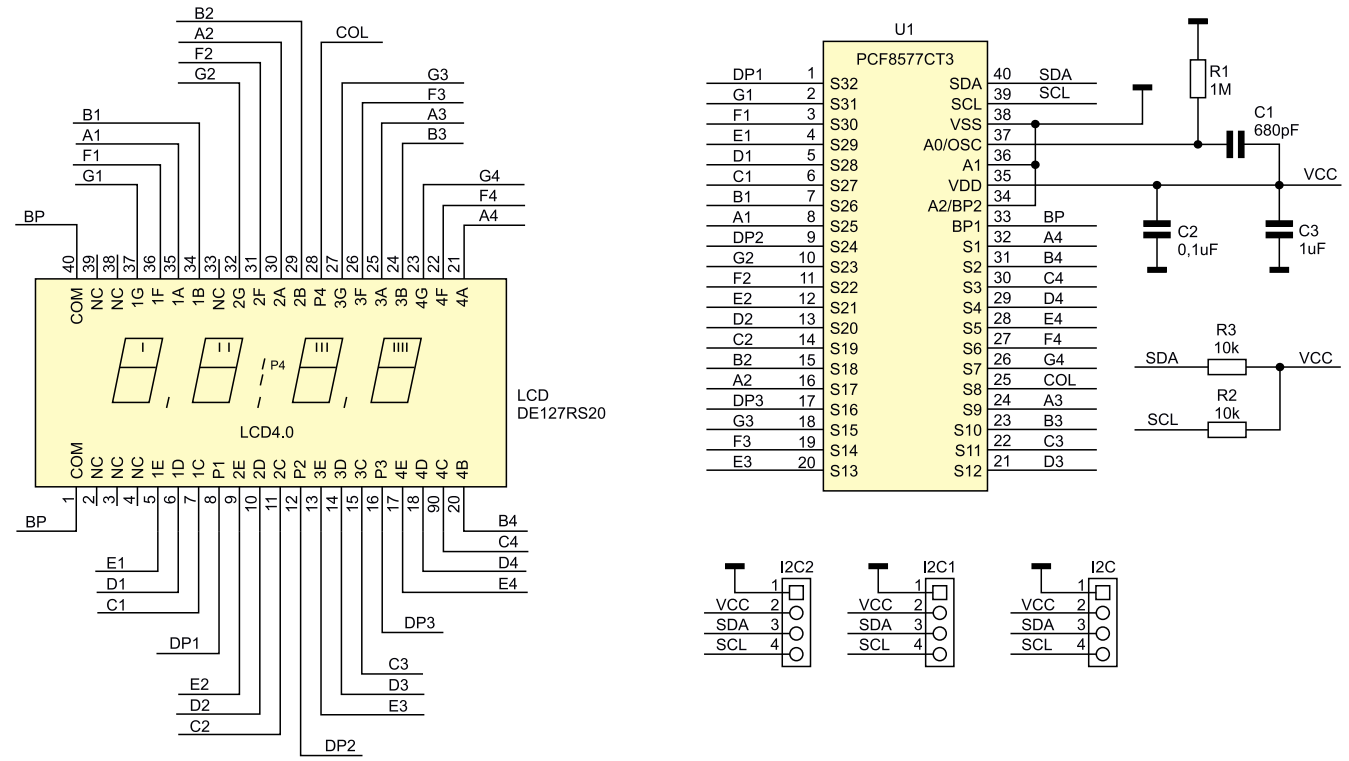
Rezystory: (SMD0603)
R1: 1 MΩ 1%
R2, R3: 10 kΩ

Kondensatory: (SMD0603)
C1: 680 pF 10 V NP0
C2: 0,1 µF 10 V
C3: 1 µF 10 V

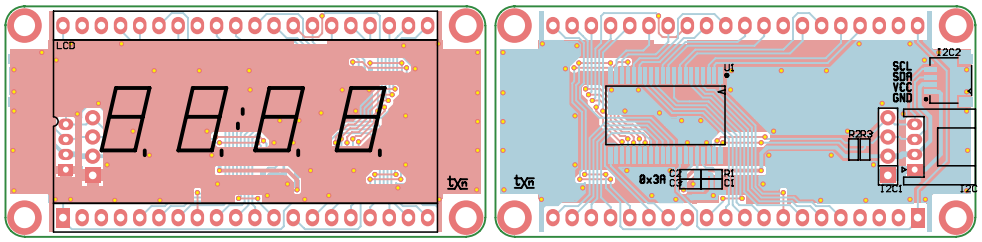
Półprzewodniki:
U1: PCF8577CT3 (SOT158-1)

Pozostałe:
I²C1: listwa SIP4 2,54
I²C2: złącze JST 1 mm
I²C: złącze Grove kątowe
LCD: wyświetlacz LCD DE127RS20

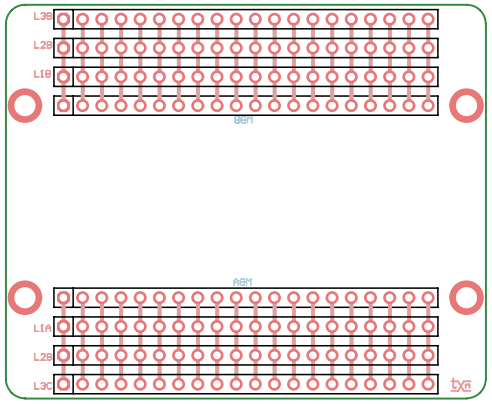
eprasa.pl e2be9d43e0



Rysunek 2. Schemat ideowy układu



Rysunek 3. Schemat płytki PCB modułu



Rysunek 4. Schemat płytki PCB adaptera

Do wyprowadzeń S1...S32 podłączone są bezpośrednio segmenty wyświetlacza LCD. Model współpracuje z wyświetlaczem DE127RS20, który umożliwia wyświetlenie czterech cyfr siedmiosegmentowych o wysokości 8,9 mm wraz z przecinkami i dwukropkiem zegarowym. Do płytki opracowany został adapter umożliwiający zastosowanie wyświetlaczy zgodnych wyprowadzeniami z cyframi o większej wysokości np.: DE119 (12,7 mm), DE120 (17,78 mm), DE158 (25,4 mm). Przypisanie segmentów pokazano w **tabeli 1**. Dla ułatwienia oprogramowania segmenty cyfr przypisane są identycznie w kolejności A...G, różnica występuje jedynie w przypadku przecinków i dwukropka, który przypisany jest do cyfry jednostek.

Tabela 1. Przypisanie segmentów LCD

Bit	0	1	2	3	4	5	6	7	Rejestr
PCF8577	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	0x00
LCD jednostki	A4	B4	C4	D4	E4	F4	G4	C:	
PCF8577	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	0x02
LCD dziesiątki	A3	B3	C3	D3	E3	F3	G3	DP3	
PCF8577	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	0x04
LCD setki	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2	DP2	
PCF8577	S25	S26	S27	S28	S29	S30	S31	S32	0x06
LCD tysiące	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	DP1	

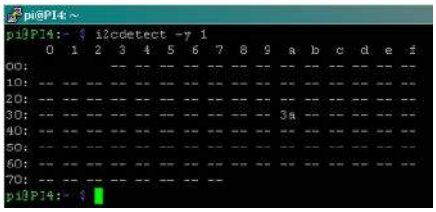
Montaż i uruchomienie

Układ zmontowany jest na niewielkiej dwustronnej płytce drukowanej, której schemat został pokazany na **rysunku 3**. Montaż jest typowy i nie wymaga opisu. Podczas montażu należy zadbać o zachowanie standardów ESD, gdyż układ PCF i wyświetlacz może zostać uszkodzony ładunkami statycznymi. Do połączenia z wyświetlaczem w zależności od upodobań można użyć listwy i gniazda precyzyjnego SIP, wtedy możliwe jest łatwe rozłączenie i wymiana współpracującego wyświetlacza. W modelu wyświetlacz jest wlutowany na stałe.

W przypadku użycia wyświetlaczy o wyższej cyfrze konieczne jest użycie płytki adaptera, której schemat został pokazany na **rysunku 4**. W przypadku adaptera od strony druku lutujemy listwę kołkową łączącą adapter bezpośrednio z płytką główną, od strony elementów lutujemy parę złączy kielichowych w rozstawie zgodnym z użytym wyświetlaczem. Oczywiście wyświetlacz może zostać wlutowany bezpośrednio w płytkę adaptera.

Moduł LCD nie wymaga uruchamiania. Dla sprawdzenia moduł można podłączyć do Raspberry Pi. Adres bazowy określony jest na 0x3A, co można sprawdzić poleceniem:

eprasa.pl e2be9d43e0



Rysunek 5. Detekcja układu PCF8577C na magistrali I²C

```
i2cdetect -y 1
```

Wynik działania polecenia pokazano na **rysunku 5**.

Sterowanie wyświetlaczem odbywa się poprzez rejestry układu PCF, mapa rejestrów znajduje się na **rysunku 6**. W rejestrze kontrolnym ustawiamy bit7=0, wybierając statyczny tryb wyświetlania, bit6=0, wybierając bank rejestrów A, bity 5...3 odpowiedzialne za subadres ustawiamy na 0. Bity V 2...0 służą do adresowania rejestru segmentów w bankach. Bank A dostępny jest pod adresami 0x00, 0x02, 0x04, 0x06. Zapisując kształty znaku w rejestrach wybranego banku (A), sterujemy świeceniem segmentów LCD.

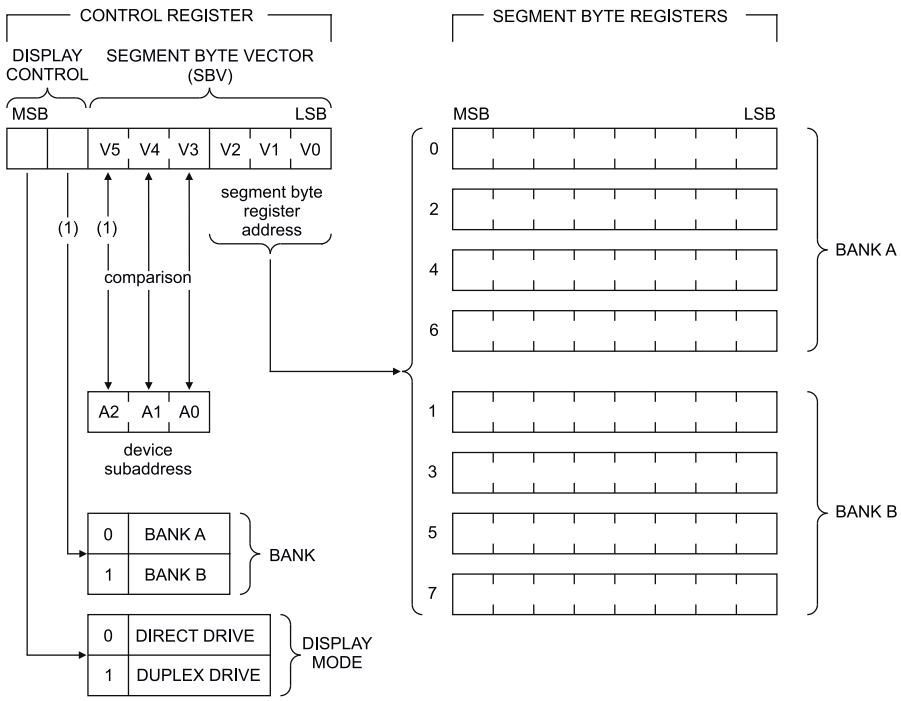
Zapis poprzez magistralę odbywa się zgodnie z sekwencją z **rysunku 5**. Przykładowa sekwencja zapisu wyświetlająca wszystkie segmenty LCD wygląda tak:

```
i2cset -y 1 0x3a 0x00 0xFF
i2cset -y 1 0x3a 0x02 0xFF
i2cset -y 1 0x3a 0x04 0xFF
i2cset -y 1 0x3a 0x06 0xFF
```

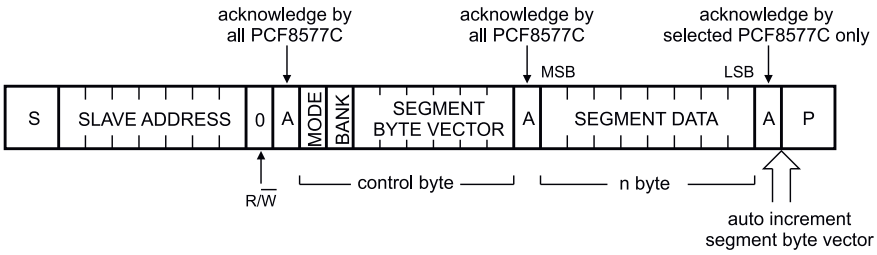
Efekt jej działania widać na fotografii tytułowej.

Podczas testów pobór prądu modułu zasilanego napięciem 3,3 V, w którym wysterowano wszystkie segmenty, wynosił mniej niż 10 µA w przypadku wyświetlacza DE127 (8,9 mm) i mniej niż 35 µA w przypadku DE158 (25,4 mm), co pozwala zasilać wyświetlacz z niewielkiej baterii przez długi czas... Jeżeli wszystko działa poprawnie, można moduł zastosować we własnej aplikacji – powodzenia.

Adam Tatuś, EP



Rysunek 6. Mapa rejestrów PCF8577C (za notą NXP)



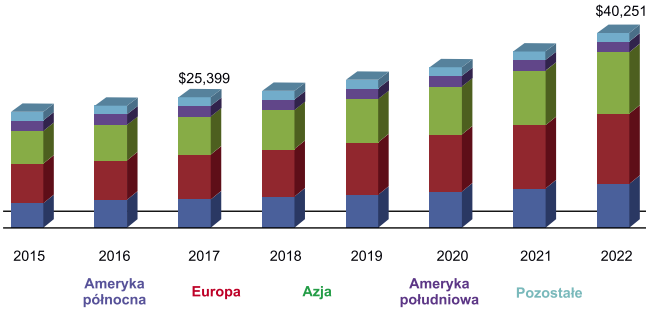
Rysunek 7. Sekwencja zapisu poprzez interfejs I²C

REKLAMA

eprasa.pl e2be9d43e0

Elektronika w uprawie roślin

Uprawa roślin na dużą skalę to dziedzina rolnictwa, która dziś stoi przed ogromnymi wyzwaniami. Niebezpieczne czynniki środowiskowe, takie jak zmieniający się klimat i nasilające się susze, łączą się z niekorzystnymi czynnikami społecznymi, do których zaliczamy zmniejszanie powierzchni żyznych gruntów uprawnych, rosnące koszty dostaw, niedobór siły roboczej, a także zmiany preferencji konsumentów. Dlatego we współczesnym rolnictwie innowacyjne technologie są ważniejsze niż kiedykolwiek wcześniej.



Rysunek 1. Wzrost inwestycji w nowoczesne rolnictwo na przestrzeni ostatnich lat

W ciągu ostatnich kilku lat nastąpił ogromny wzrost inwestycji w nowoczesne rolnictwo. Główne obszary rozwoju dotyczyły takich zagadnień, jak rolnictwo pionowe w pomieszczeniach (*Indoor vertical farming*), nowoczesne praktyki szklarniowe oraz automatyzacja w uprawie roślin (**rysunek 1**). W artykule omówimy technologie oświetleniowe, które stały się kluczowe dla tych dziedzin.

Vertical farming – korzyści i wymagania technologiczne

W uprawie roślin w pomieszczeniach istotne stało się nie tylko maksymalne wykorzystanie dostępnej powierzchni, ale też całej przestrzeni. Tak powstała idea *vertical farming* – co dosłownie znaczy pionowe rolnictwo. Stosowanie tego rozwiązania pomaga przezwyciężyć problem z ograniczonym obszarem gruntów, pozwala zwiększyć plony, a także zmniejsza wpływ rolnictwa na środowisko.

Hodowlę pionową w pomieszczeniach można zdefiniować jako praktykę uprawy produktów ułożonych jeden na drugim w zamkniętym i kontrolowanym środowisku (**fotografia 1**). Dzięki zastosowaniu regałów uprawowych, montowanych pionowo, znacznie zmniejsza się ilość powierzchni potrzebnej do uprawy roślin w porównaniu z tradycyjnymi metodami uprawy. Ten rodzaj uprawy jest często kojarzony z rolnictwem miejskim ze względu na jego zdolność do rozwoju na ograniczonej przestrzeni.

Farmy wertykalne są wyjątkowe – niektóre konfiguracje nawet nie wymagają gleby do wzrostu roślin. Większość z nich jest albo hydroponiczna – gdzie rośliny są uprawiane w pojemniku z wodą o dużej

eprasa.pl e2be9d43e0

Fotografia 1. Realizacja idei *vertical farming* – pionowe rolnictwo

zawartości składników odżywczych, albo aeroponiczna – gdzie korzenie roślin są systematycznie spryskiwane wodą i składnikami odżywczymi. Zamiast naturalnego światła słonecznego stosuje się sztuczne oświetlenie.

Zalety pionowego rolnictwa w pomieszczeniach są nieocenione. Takie farmy zużywają do 70% mniej wody niż farmy tradycyjne, maksymalizują plony przy obniżonych kosztach pracy oraz przyczyniają się do zrównoważonego rozwoju obszarów miejskich. Dzięki kontrolowaniu kluczowych czynników – światła, wody i powietrza – proces uprawy jest niezależny od pogody oraz możliwy przez cały rok. Nakład pracy jest znacznie zmniejszony dzięki automatyzacji wielu czynności i użyciu robotów do obsługi zbiorów, sadzenia i logistyki. W związku z obecnym niedoborem siły roboczej w branży rolniczej jest to niezwykle istotna cecha.

Kluczem do powodzenia w uprawie roślin jest zapewnienie odpowiednich warunków. Wymagana jest właściwa gleba lub inny sposób dostarczania wody i składników odżywczych, odpowiednia ilość wody, właściwa temperatura, ale przede wszystkim optymalne oświetlenie.

Parametry oświetlenia dla roślin

Rośliny wytwarzają substancje potrzebne do ich rozwoju w wyniku fotosyntezy. Wbrew pozorom jest to skomplikowany i wieloetapowy proces, jednak w głównej mierze zależy od 3 czynników: światła, parametrów powietrza (zwłaszcza wilgotności i temperatury) i parametrów gleby (wilgotności i zawartości substancji odżywczych). W warunkach uprawy pionowej w pomieszczeniach szczególnie istotne dla wzrostu roślin są parametry oświetlenia.

PPF i PPFD

Pierwszym parametrem określającym niejako intensywność światła, ale w ujęciu bardziej odpowiednim do uprawy roślin, jest **PPF** (*Photosynthetic Photon Flux*). PPF określa całkowitą ilość światła produkowanego przez źródło światła w lufciku każdej sekundy, czyli mówi nam, jak dużo promieniowania fotosyntetycznie czynnego jest emitowane przez źródło światła w ciągu sekundy. Parametr jest wyrażany w µmol/s (mikromolach na sekundę).

Jednak PPF nie mówi, ile energii dociera do powierzchni rośliny. Właściwą jednostką w tym wypadku jest **PPFD** (*Photosynthetic Photon Flux Density*), pomiar określający ilość światła, które dociera do rośliny. Zatem PPFD określa liczbę fotosyntetycznie aktywnych fotonów padających na określoną powierzchnię w ciągu sekundy. Parametr jest wyrażany w µmol/m²/s (mikromolach na metr kwadratowy na sekundę). Parametr PPFD jest określany poprzez pomiary na powierzchni rośliny (lub jakiejkolwiek innej powierzchni).

DLI

Kolejny parametr to miara określająca całkowitą ilość światła docierającego do rośliny w ciągu dnia – **DLI** (*Daily Light Integral*). Plantator może określać ten współczynnik jako dzienną dawkę światła dostarczonego do rośliny. Zatem DLI określa całkowitą liczbę moli fotonów na metr kwadratowy na dzień i jest wyrażany jako mol/m²/D. Naturalnie im dłużej będzie działało światło, tym więcej roślina go zaabsorbuje i tym samym system z niższym współczynnikiem PPF może dostarczyć tyle samo DLI roślinie, co system z większym współczynnikiem PPF, jeśli cykl dnia/nocy jest dłuższy. DLI jest najważniejszą jednostką określającą tempo wzrostu rośliny. Rośliny mają wyznaczone optymalne wartości DLI dla różnych etapów wzrostu oraz kwitnienia. Na ich podstawie dobiera się źródło światła – intensywność i widmo oraz czas oświetlenia.

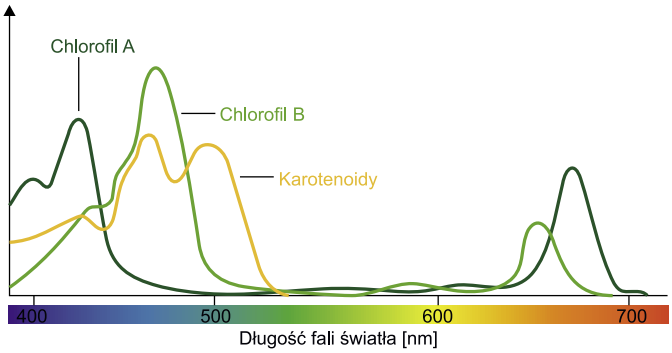
Widmo i PAR

Uprawiane rośliny wymagają dużej intensywności i szerokiego, ale zrównoważonego spektrum światła. Rośliny wykorzystują energie świetlną do procesu fotosyntezy, który w dużym skrócie polega na przekształcaniu energii świetlnej w energię chemiczną, zużywaną przez rośliny do wzrostu i owocowania. Proces ten jest możliwy dzięki dwóm typom chlorofilu obecnym w roślinach.

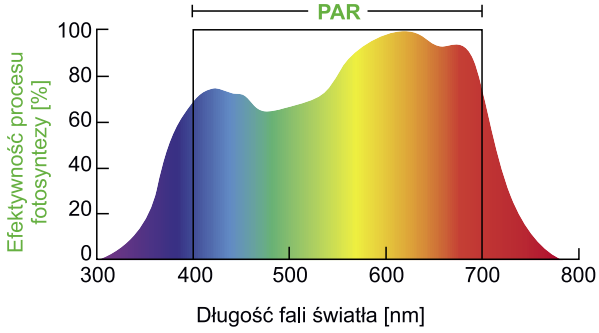
Chlorofil A jest najszerzej występującym pigmentem fotosyntetycznym i pochłania fioletowe, niebieskie i czerwone barwy w widmie widzialnym. Uczestniczy przede wszystkim w fotosyntezie tlenowej – w której tlen jest głównym produktem ubocznym procesu. Wszystkie tlenowe organizmy fotosyntetyzujące zawierają ten typ chlorofilu. Są to prawie wszystkie rośliny i większość bakterii.

Chlorofil B absorbuje przede wszystkim światło niebieskie i jest używany do uzupełnienia widma absorpcji chlorofilu A poprzez rozszerzenie zakresu długości fal światła, które organizm fotosyntetyzujący jest w stanie wchłonąć. Nie wszystkie organizmy fotosyntetyzujące mają chlorofil B.

Oba rodzaje chlorofilu działają wspólnie, aby umożliwić maksymalną absorpcję w widmie światła dziennego. Występują także pigmenty pomocnicze – karotenoidy, obecne w wielu organizmach fotosyntetyzujących, które zwiększają gównie absorpcję światła zielonego. Przybliżoną zdolność absorpcji tych 3 struktur pokazuje **rysunek 2**. Na bazie tych informacji został określony zakres widma światła, którego roślina używa do fotosyntezy, nazywa się PAR (*Photosynthetic Active Radiation*) i mieści się w zakresie długości fali od 400 do 700 nm.



Rysunek 2. Przybliżona zdolność absorpcji światła przez chlorofil obecny w roślinach



Rysunek 3. Krzywa McCree z zaznaczonym zakresem widma PAR

eprasa.pl e2be9d43e0

Krzywa McCree

Nie całe światło z zakresu PAR prowadzi do intensywnej fotosyntezy. Dla dokładnego zobrazowania całego widma pod tym względem powstała tzw. krzywa McCree (**rysunek 3**), nazywana czasami krzywą wrażliwości roślin (*Plant Sensitivity Curve*). Na wykresie widać, że chlorofil wykorzystuje zwłaszcza dwa zakresy PAR – niebieski (ok. 450 nm) oraz czerwony (ok. 640 nm). Kluczową sprawą, oprócz dobrania odpowiednich długości fali, jest odpowiednia dobrana proporcja światła czerwonego do niebieskiego. Oczywiście inne długości spektrum PAR są również potrzebne roślinom, jednak fotosynteza zachodzi najintensywniej w świetle niebieskim i czerwonym.

Specyficzny kształt krzywej doprowadził do kilku nieporozumień, m.in. do twierdzenia, że zielone światło nie jest ważne. Z wykresu wyraźnie widać, że fotosynteza w zielonej części jest nieco niższa, ale z pewnością nie zerowa. Wszystkie długości fal mają swoją funkcję, wbrew temu, co kiedyś sądzono. Rośliny wykorzystują światło do dwóch rzeczy: fotosyntezy i fotomorfogenezy (kontrola kształtu i rozwoju). Do fotosyntezy potrzeba dużo światła o barwie czerwonej i niebieskiej, natomiast do prawidłowego wzrostu i kwitnienia roślin najlepiej sprawdzają się lampy o pełnym spektrum, czyli takie, które emitują przede wszystkim światło niebieskie i czerwone oraz w minimalnym stopniu światło białe, zielone, żółte, a także podczerwone i ultrafioletowe. Zatem zakres fotomorfogenezy jest nieco szerszy i powinien zaczynać się nawet od ok. 350 nm (światło UV), a kończyć w pobliżu 750 nm (daleka czerwień). Ten rozszerzony zakres jest określany jako ePAR (*Extended Photosynthetically Active Radiation*) (**rysunek 4**).

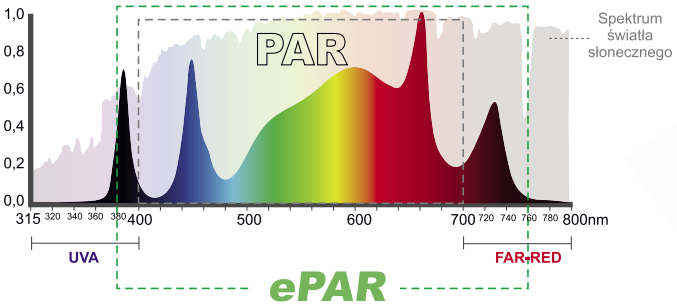
Nowe zakresy widm spowodowały zwiększenie odporności na choroby i zwiększenie biomasy roślin. Najpewniej powstaną jeszcze inne standardy, zoptymalizowane do różnych cyklów wzrostu – wegetacji i kwitnienia, które wymagają różnych widm, aby zmaksymalizować proces fotosyntezy.

Źródła światła dla roślin

W ostatnich latach na rynek oświetlenia do uprawy roślin została wprowadzona technologia LED. Ma ona wiele zalet, ale nie jest jedynym stosowanym rozwiązaniem. Często insalowanymi źródłami światła do użytku profesjonalnego są lampy HID i świetlówki. Natomiast hodowcy kwiatów i warzyw używają jeszcze wysokoprężnych lamp sodowych (HPS/SON) i metalohalogenkowych (MH). Porównamy parametry i cechy tych źródeł światła.

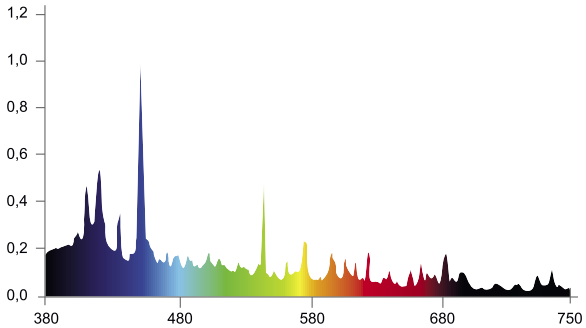
Żarówki wyładowcze dużej intensywności HID

Lampy HID to lampy wyładowcze (*High Intensity Discharge Lamp*), które charakteryzują się wysoką wydajnością w odniesieniu do pobieranej energii. Opracowano kilka typów lamp HID o różnych mocach, zwykle w zakresie od 150...1000 W. Chociaż wszystkie działają na tej samej zasadzie, różne typy żarówek mają różne wymagania dotyczące rozruchu i napięcia, a także różne właściwości operacyjne i kształt fizyczny. Z tego powodu żarówka nie będzie działać prawidłowo bez odpowiedniego statecznika. Wśród dostępnych typów lamp HID znajdują się lampy rtęciowe, metalohalogenkowe (MH), sodowe o wysokim ciśnieniu (HPS).



Rysunek 4. Rozszerzony zakres widma PAR-ePAR

Fotografia 2. Żarówka MH o mocy 400 W



Rysunek 5. Widmo światła żarówki MH

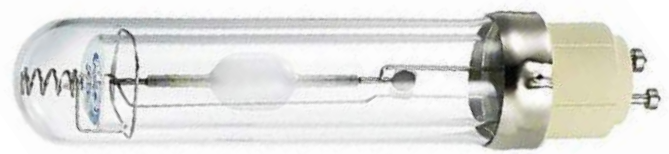
Żarówka MH

Żarówki metalohalogenkowe (*Metal Halide*) to rodzaj żarówek HID, które emitują światło intensywniejsze w niebieskiej i fioletowej części widma. Są szeroko stosowane w przemyśle ogrodniczym i doskonale nadają się do wspomagania roślin we wcześniejszych stadiach rozwojowych, ponieważ wpływają na rozrost silniejszych korzeni, lepszą odporność na choroby i bardziej zwarty wzrost. Niebieskie spektrum światła sprzyja zwartemu, liściastemu wzrostowi i jest dostosowane do uprawy roślin wegetatywnych z dużą ilością listowia. Światło naśladuje spektrum kolorów słońca i nie zniekształca kolorów. Dlatego żarówki MH stosuje się często przy roślinach ozdobnych, gdzie istotny jest ich naturalny kolor.

Żarówka metalohalogenkowa wytwarza 60...125 lumenów/wat, w zależności od mocy żarówki. Należy wymieniać je mniej więcej raz w roku. Obecnie produkowane są do stateczników cyfrowych w wersji z rozruchem impulsowym, które charakteryzują się wyższą sprawnością elektryczną (do 110 lumenów na wat) i szybszym nagrzewaniem. Żarówki metalohalogenkowe mogą mieć dowolne widmo od ciepłej bieli (3000 K) do zimnej bieli (7000 K), a nawet do intensywnego ultrafioletu (10 000 K). Przykładową żarówkę MH pokazano na **fotografii 2**, jej parametry to: moc: 400 W; PPF: 447 µmol/s; temperatura barwowa: 14000 K; żywotność 8000 godzin; rozkład widmowy został pokazany na **rysunku 5**.

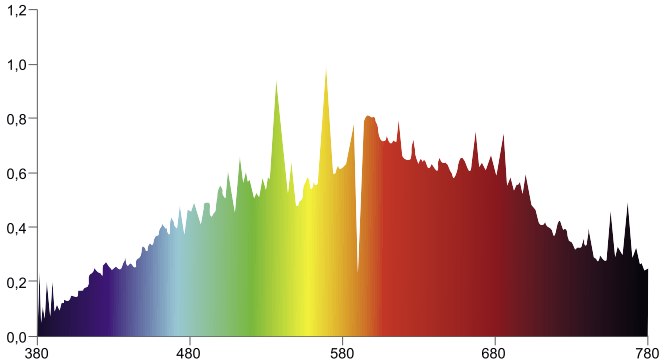
Ceramiczny halogenek metalu CMH

Lampy CMH (*Ceramic Metal Halide*) są stosunkowo nowym rodzajem oświetlenia HID, określanym także jako CDM (*Ceramic Discharge Metal Halide*). Ceramiczne lampy metalohalogenkowe są uruchamiane za pomocą rozrusznika impulsowego, podobnie jak inne MH, ale są od nich o ok. 10...20% bardziej wydajne. Zastosowanie ceramicznej rurki łukowej zamiast kwarcowej umożliwia pracę przy wyższej temperaturze, co skutkuje lepszą skutecznością, lepszym oddawaniem kolorów i długą żywotnością, na poziomie 24 000 godzin. Przykładową żarówkę CMH pokazano na **fotografii 3**, jej parametry to: moc: 315 W; PPF: 524 µmol/s; temperatura barwowa: 4000 K; żywotność 15000 godzin; rozkład widmowy został pokazany na **rysunku 6**.



Fotografia 3. Żarówka CMH o mocy 315 W

eprasa.pl e2be9d43e0



Rysunek 6. Widmo światła żarówki CMH

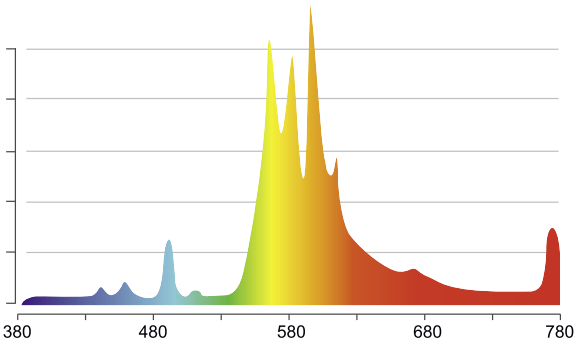
Fotografia 4. Żarówka HPS o mocy 400 W

Żarówka HPS

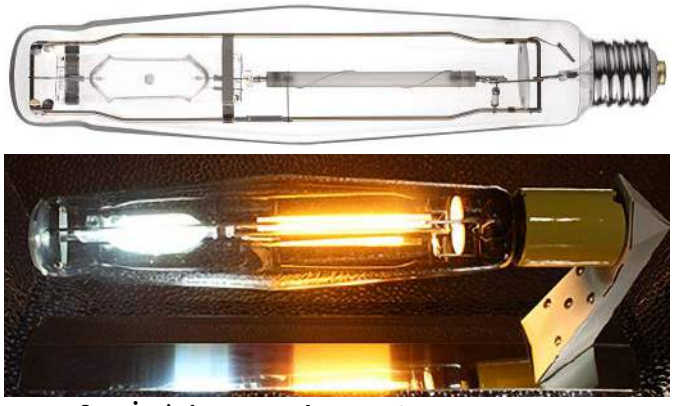
Wysokoprężne lampy sodowe HPS (*High Pressure Sodium*) są bardziej wydajnym typem oświetlenia HID niż metalohalogenki MH, wytwarzają 60...140 lumenów/wat. Emitują światło w odcieniu żółtoczerwonym, a także małe porcje wszystkich innych widzialnych świateł. Ponieważ światła HPS przeznaczone do uprawy dostarczają więcej energii w czerwonej części widma światła, mogą wpływać korzystnie na kwitnienie i owocowanie. Rośliny uprawiane pod lampami HPS mają tendencję do wydłużania się z powodu braku promieniowania niebieskiego/ultrafioletowego. Nowoczesne ogrodnicze lampy HPS mają znacznie lepiej dostosowane widmo do wzrostu roślin. Większość lamp HPS, zapewniając dobry wzrost, oferuje niski wskaźnik oddawania barw (CRI). W rezultacie żółtawe światło HPS może utrudniać monitorowanie stanu roślin w pomieszczeniach.

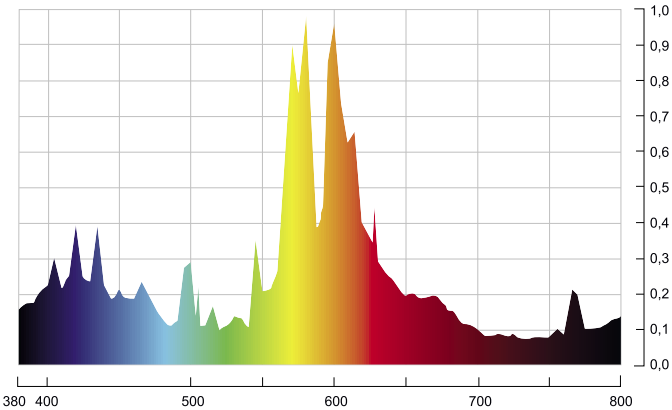
Wysokoprężne lampy sodowe charakteryzują się długą żywotnością i sześciokrotnie większą mocą świetlną na wat zużytej energii niż standardowe żarówki do uprawy. Ze względu na ich wysoką wydajność są preferowanym dodatkowym oświetleniem szklarniowym (ponieważ rośliny uprawiane w szklarniach uzyskują w naturalny sposób tyle niebieskiego światła, ile potrzebują). Jednak na wyższych szerokościach geograficznych są okresy w roku, w których światło słoneczne jest rzadkie i dla prawidłowego wzrostu wskazane są dodatkowe źródła światła.

Światła HPS mogą powodować charakterystyczne sygnatury w podczerwieni, które mogą przyciągać owady lub inne szkodniki. Wysokoprężne lampy sodowe emitują dużo ciepła, co może powodować problemy z utratą wilgotności powietrza i gleby. Często połączone są ze specjalnymi chłodzonymi powietrzem odbłyśnikami lub obudowami. Przykładową żarówkę HPS pokazano na **fotografii 4**, jej parametry to: moc: 400 W; PPF: 725 µmol/s; temperatura barwowa: 2100 K; żywotność do 30000 godzin; rozkład widmowy został pokazany na **rysunku 7**.



Rysunek 7. Widmo światła żarówki HPS


Fotografia 5. Żarówka typu Dual Arc – HPS+MH



Rysunek 8. Widmo światła żarówki typu Dual Arc – HPS+MH

Połączenie HPS+MH – Dual arc

Lampy kombinowane HPS+MH łączą dwa rozwiązania w tej samej żarówce, zapewniając zarówno czerwone, jak i niebieskie widmo światła jednocześnie. Pozwala to na stosowanie jednego źródła przez cały cykl życia rośliny, od wzrostu wegetatywnego po kwitnienie. Lampa Dual Arc jest wszechstronną lampą do uprawy, łatwą w zastosowaniu i zapewnia dobre rezultaty, dlatego jest polecana początkującym hodowcom. Przykładową żarówkę HPS+MS pokazano na **fotografii 5**, łączy ona źródło HPS o mocy 600 W HPS oraz źródło MH o mocy 400 W i pozwala uzyskać 110 000 lumenów. Rozkład widmowy został pokazany na **rysunku 8**.

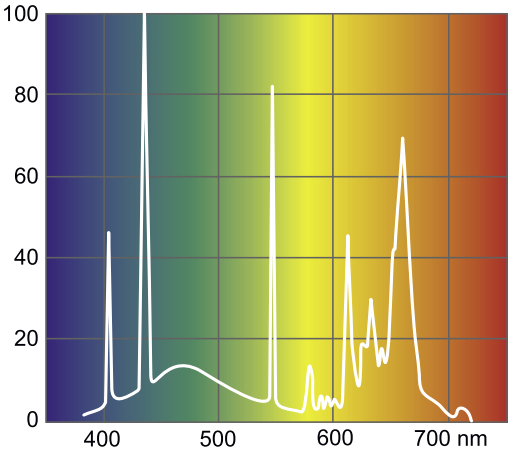
Lampy fluorescencyjne i CFL

Działanie lampy fluorescencyjnej polega na tym, że prąd elektryczny przepływający w gazie wzbudza opary rtęci, które wytwarzają krótkofalowe światło ultrafioletowe, które następnie powoduje świecenie powłoki luminoforowej po wewnętrznej stronie szkła lampy. Nowsze modele wymagają specjalnego układu zasilającego – statecznika. Typowa skuteczność świetlna wynosi 50...100 lumenów na wat. Lampy fluorescencyjne potocznie nazywane świetlówkami mają wiele cech, które kwalifikują je do zastosowań w uprawie roślin. Przede wszystkim pochłaniają dużo mniej energii elektrycznej niż np. lampy sodowe, a ich żywotność jest naprawdę długa. Istotna jest też ich niewysoka cena. Oczywiście takie rozwiązanie nie jest bez wad, gdyż oświetlenie CFL ma dość niską moc światła, a co za tym idzie, nie będzie nadawało się do wszystkich rodzajów upraw. Dwa popularne rodzaje lamp fluorescencyjnych stosowanych w roślinach domowych to lampy w kształcie rurek nazywane T5,

Fotografia 6. Lampy fluorescencyjne w kształcie rurek

eprasa.pl e2be9d43e0

Fotografia 7. Świetlówka kompaktowa do uprawy roślin



Rysunek 9. Widmo światła świetlówki o temperaturze barwowej 8500 K przeznaczonej do uprawy roślin

T8 i T12 (**fotografia 6**) oraz kompaktowe lampy fluorescencyjne (CFL), które są dostępne z gwintami do popularnych opraw E14 i E27 (**fotografia 7**).

Lampy CFL doskonale nadają się do ukorzeniania sadzonek i w początkowej fazie wzrostu. Energooszczędne i niedrogie, generują bardzo mało ciepła, co jest szczególnie korzystne w małych pomieszczeniach uprawowych. Ponadto ich żywotność jest długa – wynosi ponad 23 000 godzin.

Świetlówki kompaktowe nie emitują równomiernego spektrum. Emitują światło o określonej temperaturze barwowej, która wskazuje na odcień wytwarzanego przez nie światła. Niski poziom temperatury barwowej daje cieplejszy, żółtopomarańczowy kolor, a wysoki oznacza, że emisja ma chłodniejszy, niebieskawy odcień. Widmo świetlówki o temperaturze barwowej 8500 K przeznaczonej do uprawy roślin, zostało pokazane na **rysunku 9**.

Oświetlenie LED

Fotografia 8. Budowa panelu LED z zamontowanymi diodami o różnych barwach

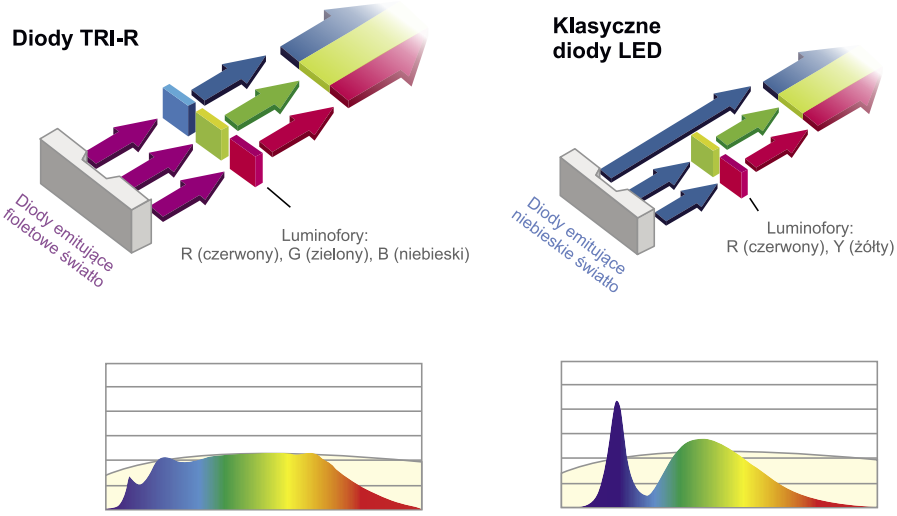
Najnowocześniejszy i najbardziej popularny sposób oświetlania roślin, zarówno w małych domowych uprawach, jak i plantacjach przemysłowych, to oświetlenie LED. Lampy LED do upraw roślin mają dużą przewagę nad innymi rozwiązaniami i można je stosować do różnych upraw. Zużywają bardzo mało prądu w stosunku do mocy emitowanego światła, mają długą żywotność i większość modeli oferuje pełne spektrum światła, które jest najbardziej zbliżone do światła naturalnego. Lampy ledowe są dostępne jako pojedyncze żarówki, taśmy ledowe, świetlówki pasujące do standardowych opraw oraz w formie podwieszanych paneli.

Nie każda dioda LED oferuje optymalne widmo światła. Większość komercyjnych diod LED wytwarza światło widzialne, które

Fotografia 9. Panel LED przeznaczony do uprawy roślin

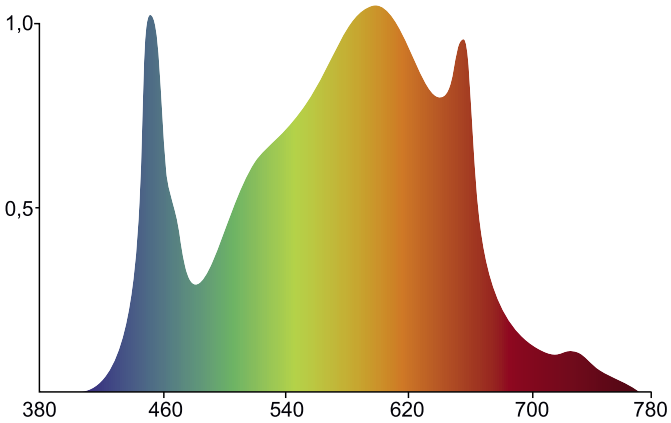
zapewnia pozytywną stymulację ludzkiego oka, zwiększa czujność i poprawia nastrój, gdy ich światło jest używane w godzinach dziennych. Bazują one na niebieskich strukturach LED, a uzupełnienie widma uzyskiwane jest dzięki zastosowaniu dodatkowych luminoforów (**rysunek 10**). Taka konstrukcja odpowiada za niebieskie przeskalowanie w widmie światła diod LED, które może powodować negatywne efekty. Gdy człowiek jest pod ich wpływem przez dłuższy czas w godzinach nocnych, zakłóca naturalny biorytm.

Zbliżenie widma sztucznego oświetlenia LED do światła naturalnego minimalizuje braki sztucznych źródeł światła. Takie naturalne widmo światła (tzw. *SunLike*) zostało uzyskane np. dzięki technologii TRI-R (rysunek 10), która zawiera fioletowe struktury



Rysunek 10. Różnice w budowie i widmie standardowej diody LED oraz diody typu *SunLike*

eprasa.pl e2be9d43e0



Rysunek 11. Widmo światła panelu LED przeznaczonego do uprawy roślin

LED w połączeniu z trzema luminoforami. Dzięki takiemu rozwiązaniu możliwe staje się wytwarzanie światła o widmie odpowiadającym zdrowemu naturalnemu światłu dziennemu.

Główną różnicą między światłami LED do uprawy a zwykłymi światłami LED jest szerokość i kształt widma światła. Oświetlenie dla roślin wymaga szerszego spektrum długości fal niż oświetlenie zapewniające komfort widzenia i samopoczucia oraz wymaga uwydatnienia pewnych barw. Gotowe panele LED zawierają najczęściej wiele diod o różnych barwach od UV do IR (**fotografia 8**), które umożliwiają precyzyjne kształtowanie widma. Przykładowy panel został pokazany na **fotografii 9**, a jego widmo zostało pokazane na **rysunku 11**.

Budując oświetlenie do uprawy roślin w pomieszczeniach za pomocą diod, można wytworzyć określone widmo światła. NASA przetestowała lampy LED do uprawy pod względem ich wysokiej skuteczności w produkcji żywności w kosmosie dla pozaziemskiej kolonizacji.

Podsumowanie

Branża uprawy roślin stoi przed ogromnymi wyzwaniami wynikającymi z szeregu czynników środowiskowych i społecznych. Zmieniający się klimat, coraz mniejsze zasoby wody i rozrastające się miasta zajmujące najlepsze grunty pod uprawę. Dodatkowo rosnąca globalna populacja wymaga wyprodukowania odpowiednich zapasów żywności. W rezultacie na całym świecie powstają innowacyjne technologie, które pozwalają uprawiać rośliny w miejscach, których można by się nie spodziewać – w zamkniętych halach, pod ziemią, na dachach miast, w pojemnikach bez ziemi. Wszystko to zbliża nas także do uprawie roślin w kosmosie!

Damian Sosnowski, EP

Bibliografia:

1. https://bit.ly/3FTwEhs
2. http://bit.ly/3LS26R3
3. http://bit.ly/3LSaf89
4. http://bit.ly/3FRvymG
5. http://bit.ly/3nkXxVj
6. http://bit.ly/3LVi64P
7. http://bit.ly/3K8iyvn
8. http://bit.ly/3FO6EEg
9. http://bit.ly/3LWXNUR
10. https://bit.ly/3z7k2zD
11. http://bit.ly/3niwvxM
12. http://bit.ly/40gSML3
13. http://bit.ly/3ZdPqHf
14. http://bit.ly/3LS5r2I

REKLAMA

eprasa.pl e2be9d43e0

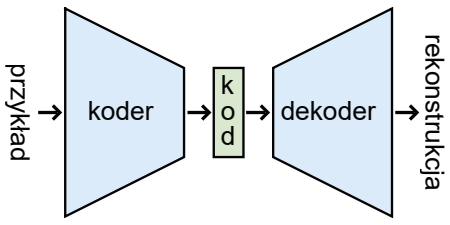
Wbudowane sieci neuronowe w STM32 (4)

Autokoder

W poprzedniej części cyklu artykułów nauczyliśmy sieć neuronową rozpoznawać gesty. Jako dane wejściowe posłużyły nam przebiegi zebrane za pomocą czujnika odległości. Teraz użyjemy tych danych przy eksperymentach z autokoderami.

Czym jest autokoder?

Autokoder (*autoencoder*) to specjalny rodzaj sieci neuronowej pozwalający na kompresję wysokowymiarowych przykładów do niskowymiarowego kodu. Jego schemat został pokazany na **rysunku 1**. Składa się z dwóch części: kodera (*encoder*) i dekodera (*decoder*). Zadaniem pierwszego jest kompresja przykładów do kodu. Następnie dekoder stara się wykonać odwrotne zadanie: na podstawie kodu musi odtworzyć przykład. Funkcją celu używaną do treningu jest minimalizacja błędu między przykładem, a rekonstrukcją. Gdyby kod miał taki sam wymiar, jak przykład, to sieć nie tworzyłaby niczego ciekawego. Jednak, gdy jest on mniejszy, w wyniku treningu otrzymamy niskowymiarową reprezentację, która powinna opisywać najważniejsze cechy przykładu. Jest to uczenie nienadzorowane – sieć nie dostaje żadnych dodatkowych informacji poza zbiorem danych. Możemy także użyć samego dekodera, do generowania nowych przykładów podobnych to tych zastosowanych do treningu.



Rysunek 1. Schemat autokodera

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

Implementacja

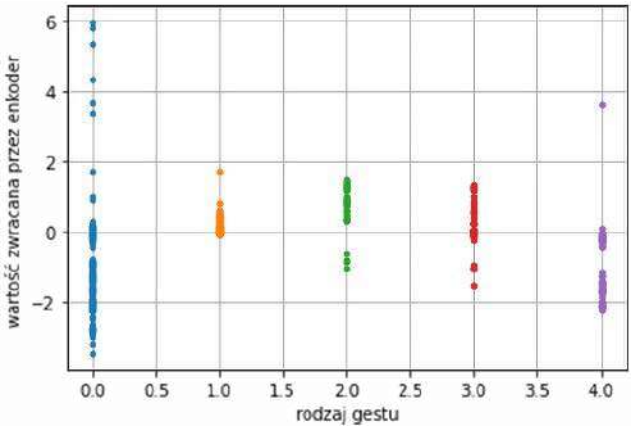
Eksperymenty wykonamy na zbiorze danych zebranych w poprzednim odcinku, dotyczących gestów. Cały kod znajdziemy w notatniku [1]. Na początku znajdują się dane. Jedyną różnicą względem poprzedniego odcinka jest znormalizowanie danych z przetwornika ADC poprzez podzielenie ich przez maksymalną możliwą wartość dla 12-bitowego przetwornika czyli 4096.

Listing 1. Implementacja autokodera

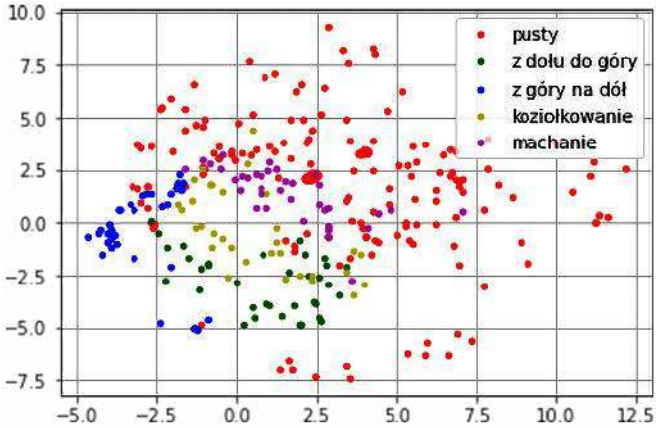
```
class Autoencoder(Model):
  def __init__(self, latent_dim, hidden):
    super(Autoencoder, self).__init__()
    self.latent_dim = latent_dim
    self.hidden = hidden
    self.encoder = tf.keras.Sequential([
      layers.Dense(hidden, activation='relu'),
      layers.Dense(latent_dim),
    ])
    self.decoder = tf.keras.Sequential([
      layers.Dense(hidden, activation='relu'),
      layers.Dense(N, activation='sigmoid'),
    ])

  def call(self, x):
    encoded = self.encoder(x)
    decoded = self.decoder(encoded)
    return decoded
```


eprasa.pl e2be9d43e0

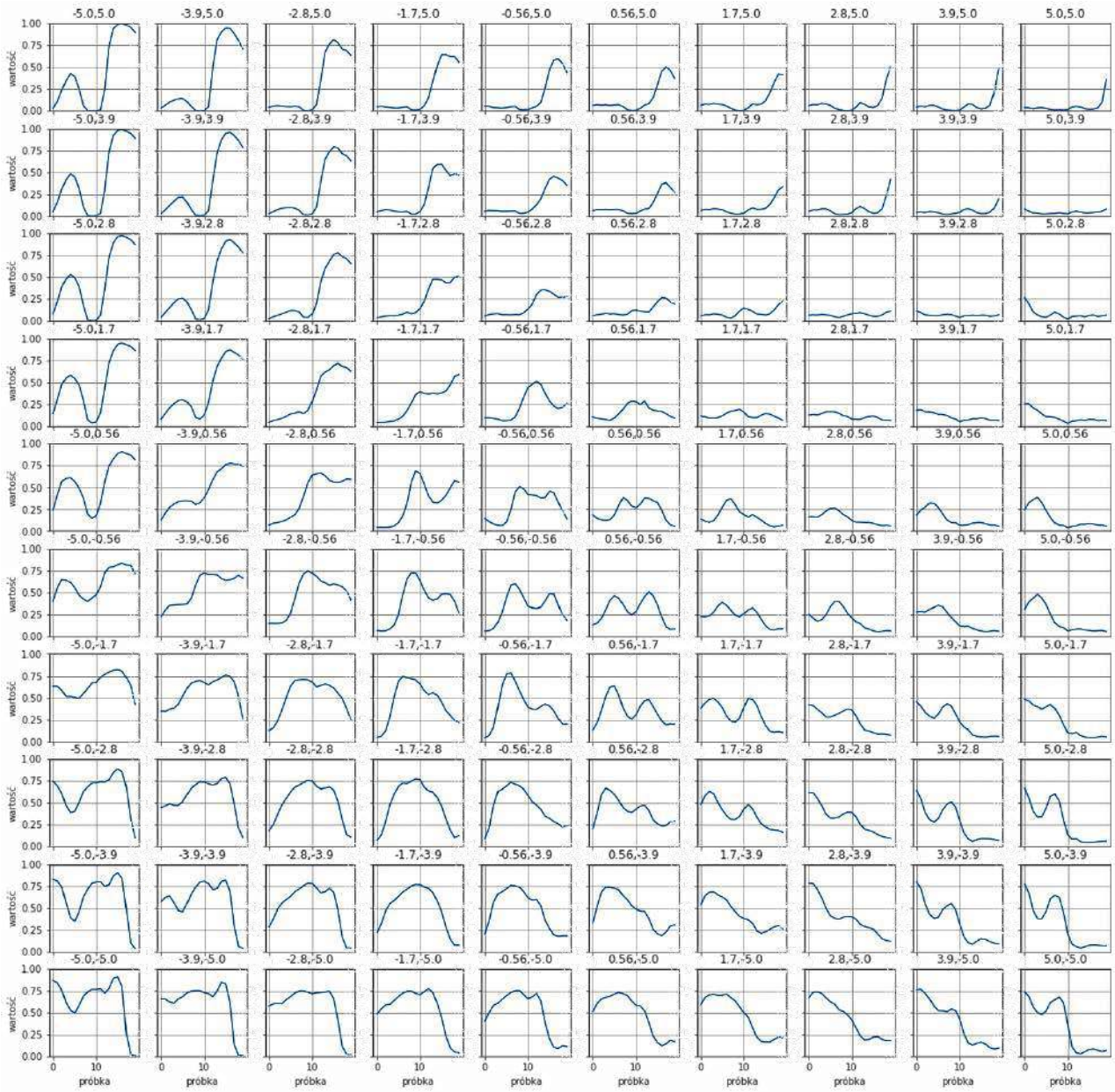
```
Listing 2. Tworzenie i trening autokodera

autoencoder_1d = Autoencoder(latent_dim, hidden)
autoencoder_1d.compile(optimizer='adam', loss=losses.MeanSquaredError())
autoencoder_1d.fit(data_t, data_t, epochs=1000, shuffle=True, validation_data=(data_v, data_v), verbose=0)
autoencoder_1d.evaluate(np.array(data_t), np.array(data_t), verbose=2)
autoencoder_1d.evaluate(np.array(data_v), np.array(data_v), verbose=2)
autoencoder_1d.save("autoencoder_1d.pb")
```



Rysunek 2. Wartości uzyskane dla różnych gestów



Rysunek 3. Kody uzyskane dla różnych gestów



Rysunek 4. „Gesty" wygenerowane przez dekoder dla różnych wartości kodu

eprasa.pl e2be9d43e0

Implementacje samego autokodera pokazuje **listing 1**. Składa się on z dwóch sieci neuronowych: encoder i decoder. Są one połączone razem w funkcji call, która będzie używana w fazie treningu. Przyjąłem, że koder składa się z jednej warstwy ukrytej *ReLU* i wyjściowej warstwy liniowej. Podobnie wygląda dekoder: najpierw warstwa ukryta *ReLu*, a później wyjściowa warstwa *sigmoidalna*. Wybór padł na nią, ponieważ jej wartość wyjściowa zawiera się pomiędzy 0, a 1 – czyli w takim samym przedziale jak wartości wejściowe. Do konfiguracji użyto dwóch parametrów – hidden to liczba neuronów w warstwach ukrytych, a latent_dim to długość wektora kodu.

Eksperymenty

W pierwszym eksperymencie wymiar kodu to 1. Oznacza to, że cały wektor z zapisanym gestem zostanie zamieniony na pojedynczą liczbę. Program realizujący trening przedstawia **listing 2**. Najpierw tworzymy instancję klasy, a następnie wywołujemy trening analogicznie jak w poprzednich odcinkach. Przydatna jest funkcja save, która pozwala na zapis parametrów modelu. Później można je załadować za pomocą polecenia:

```
autoencoder_1d = tf.keras.models.load_
model("autoencoder_1d.pb")
```

Aby sprawdzić co osiągnęliśmy, wyliczymy jakie liczby zostały przyporządkowane gęstą z różnych kategorii. Przedstawia je wykres z **rysunku 2**. Oś Y przedstawia uzyskaną wartość, a oś X oznacza rodzaj gestu:

- 0 – pusty,
- 1 – z dołu do góry,
- 2 – z góry na dół,
- 3 – koziołkowanie,
- 4 – machanie.

Widzimy, że gesty tego samego typu tworzą skupiska, ale jednak nachodzą one na siebie. Wyznaczenie granic rozdzielających poszczególne typy wydaje się tutaj trudne. Sprawdźmy więc, co się stanie, gdy zwiększymy wymiar kodu do 2, czyli pojedynczy wektor zostanie opisany parą liczb. Odpowiedni autokoder stworzymy rozkazem:

```
autoencoder_2d = Autoencoder(2, 20)
```

Trenowanie przebiega analogicznie jak dla przypadku jednowymiarowego. Tym razem możemy nanieść wyniki na płaszczyznę. Uzyskany wynik pokazuje **rysunek 3**. Tym razem możemy już wydzielić część płaszczyzny odpowiadającą różnym rodzajom gestów. Mimo, że sam koder „nie wiem nic" o znaczeniu poszczególnych wektorów, to jednak w otrzymanym kodzie są one rozdzielone. Można użyć enkodera do wstępnego rozdzielania próbek, a następnie wykorzystać prostszy algorytm do klasyfikacji.

Dekoder

Na razie używaliśmy tylko kodera, sprawdzimy więc jeszcze do czego może nam się przydać druga część, czyli dekoder. Wybrałem 100 różnych punktów, równo rozmieszczonych w kwadracie o skrajnych bokach (–5,–5) i (5,5). Jak widzimy na rysunku 3 w tym obszarze znajdziemy każdy rodzaj gestu. Gdy poszczególne punkty potraktujemy jako wejścia dla dekodera otrzymamy przebiegi takie, jak na **rysunku 4**. Wygenerowaliśmy w ten sposób nowe przebiegi, jednak podobne do tych pochodzących z danych uczących. Przeglądając je odnajdziemy wzorce wcześniej zarejestrowanych gestów.

Jednym z zastosowań tak wygenerowanych danych jest tworzenie nowych przykładów szkoleniowych dla naszej sieci. Można na przykład ręcznie przydzielić kategorię nowo powstałym przykładom i w ten sposób wypełnić miejsca przestrzeni kodu, gdzie mamy mniej punktów.

Podsumowanie

W tym odcinku nie wykonaliśmy żadnego eksperymentu na mikrokontrolerze. Poznaliśmy jednak ciekawą strukturę sieci jaką są autokodery. W dalszych częściach porównamy jak z zadaniem rozpoznawania gestów poradzi sobie sieć rekurencyjna – jaką osiągnie dokładność oraz jak dużych nakładów obliczeniowych będzie wymagała.

Rafał Kozik
rafkozik@gmail.com

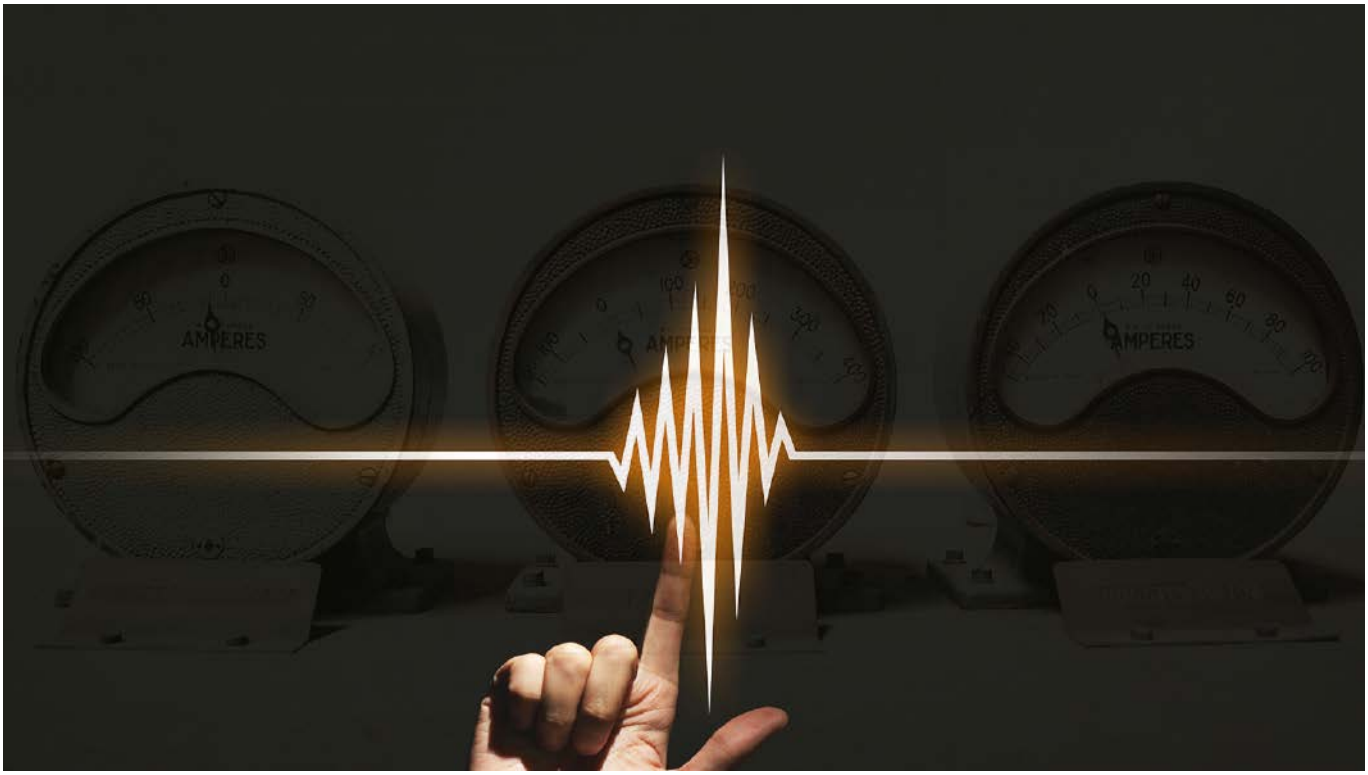
Bibliografia

[1] http://bit.ly/3FjJQfn

REKLAMA

O projektach, miniprojektach, projektach soft i na wiele innych tematów dyskutuj na forum.ep.com.pl

eprasa.pl e2be9d43e0



Analiza drgań w konserwacji predykcyjnej

Inżynierowie produkcji i utrzymania ruchu nieustannie dążą do maksymalizacji wydajności swoich maszyn i minimalizacji czasu przestoju. Konserwacja predykcyjna jest coraz częściej stosowana do osiągnięcia tych celów. Ponieważ drgania w sprzęcie mogą wskazywać na problemy, gromadzenie danych o drganiach jest kluczem do tego podejścia.

Analiza drgań pozwala inżynierom ocenić stan urządzeń, takich jak pompy i silniki. Poprzez ciągłe gromadzenie danych o drganiach inżynierowie mogą przewidzieć, kiedy sprzęt wymaga konserwacji. Dane o drganiach są łatwe do zgromadzenia i bardzo skuteczne w identyfikowaniu problemów w urządzeniach wykorzystujących silniki.

Czym jest konserwacja predykcyjna

Konserwacja predykcyjna ma na celu ocenę stanu sprzętu i określenie, kiedy należy wykonać zadania konserwacyjne. Stan sprzętu jest oceniany za pomocą okresowego lub ciągłego monitorowania stanu, w oparciu o techniki nieniszczące, takie jak analiza akustyczna, podczerwień i drgania.

Aspekt predykcyjny polega na osiągnięciu efektu przewidywania na podstawie zmian stanu urządzenia w czasie i technik statystycznych. Celem jest przeprowadzenie konserwacji środka trwałego w najbardziej opłacalnym momencie, aby zapewnić jego dalsze działanie zgodnie z wymaganiami, minimalizując jednocześnie przerwy w produkcji.

Konserwacja predykcyjna jest procesem konserwacji bazującym na rzeczywistym stanie sprzętu. To istotna różnica w odniesieniu do konserwacji zapobiegawczej, która bazuje na czasie i zakłada z góry ustalone okresy konserwacji nieuwzględniające rzeczywistego stanu maszyny. Ponieważ te zadania konserwacyjne nie muszą być zgodne z harmonogramami produkcji, mogą być uciążliwe i prowadzić do strat.

Przeprowadzanie konserwacji zapobiegawczej zgodnie z ustalonym harmonogramem wiąże się również z ryzykiem wymiany części, zanim będą one potrzebne, co prowadzi do dodatkowych kosztów. Niepotrzebna praca na maszynie może również powodować problemy ze względu na niebezpieczeństwo nieprawidłowej wymiany części lub nieprawidłowego ustawienia elementów. Chociaż konserwacja zapobiegawcza może być łatwiejsza do zaplanowania, może również prowadzić do wykorzystania większych zasobów czasu, części i pieniędzy niż jest to konieczne.

Korzyści wynikające z konserwacji predykcyjnej

Wiele branż, takich jak produkcja żywności i napojów oraz oczyszczanie wody i ścieków, polega na ciągłej pracy krytycznych aktywów, takich jak silniki i pompy. Urządzenia te muszą działać, aby klienci otrzymali wymagane przez nich produkty spożywcze lub usługi zaopatrzenia w wodę. Brak dostaw może prowadzić do tego, że firmy te będą ponosić kary finansowe lub będą podlegały sankcjom prawnym.

Program konserwacji predykcyjnej ma na celu uniknięcie tych konsekwencji poprzez wyeliminowanie niespodziewanych awarii, a tym samym nieplanowanych przestojów. Gdy przestoje nie są planowane, ludzie i zasoby pracują w trybie awaryjnym, co prowadzi do braku wydajności. Technicy utrzymania ruchu są delegowani do naprawy uszkodzonego składnika aktywów i nie są dostępni, aby przeprowadzić planowaną konserwację innych maszyn.

Jeśli nie spodziewano się, że dany składnik majątku ulegnie awarii, części zamienne mogą nie być dostępne dla danych elementów maszyny.

eprasa.pl e2be9d43e0

Chociaż istnieją dostawcy, którzy mogą szybko dostarczyć części zamienne, tacy jak Farnell, wprowadza to nieuniknione opóźnienia w przywróceniu maszyny do stanu używalności. Z kolei firma może mieć w zapasie zbyt wiele części zamiennych do niektórych maszyn, co niepotrzebnie obciąża kapitał obrotowy.

Konserwacja predykcyjna daje wgląd w to, która maszyna i który komponent maszyny może ulec awarii i kiedy. Dzięki temu pracownicy działu utrzymania ruchu mogą skuteczniej zbadać stan maszyny, zaplanować zadania konserwacyjne tak, aby były zgodne z harmonogramami produkcji i przeprowadzić wszelkie naprawy, zanim maszyna ulegnie awarii.

Prawidłowo przeprowadzony program konserwacji predykcyjnej radykalnie zmniejszy lub nawet wyeliminuje nieplanowane przestoje spowodowane awariami maszyn. Przyczyni się również do lepszego wykorzystania siły roboczej, pozwalając na bardziej racjonalne i efektywne zaplanowanie jej zadań. Główną korzyścią jest zwiększenie zdolności produkcyjnych, które można uzyskać. Na przykład, jeśli maszyna jest wyłączana z eksploatacji tylko wtedy, gdy jest to absolutnie konieczne, a nie zgodnie z dyktatem ustalonego wcześniej harmonogramu, zwiększa się dostępny czas na wykonanie użytecznej pracy.

Podobnie odejście od konserwacji zapobiegawczej na rzecz kultury konserwacji predykcyjnej może pomóc w wyeliminowaniu rutynowych zadań, które nie wnoszą żadnej wartości dodanej, zmniejszając tym samym ogólne koszty utrzymania. Mając lepszy wgląd w rzeczywisty stan maszyny, można ją serwisować w sposób, jakiego wymaga, wydłużając jej żywotność.

Korzyści mogą być dość znaczące. W książce *Plant Engineer's Handbook* (2001) r. Keith Mobley przytacza liczne korzyści wynikające z konserwacji predykcyjnej, w tym:

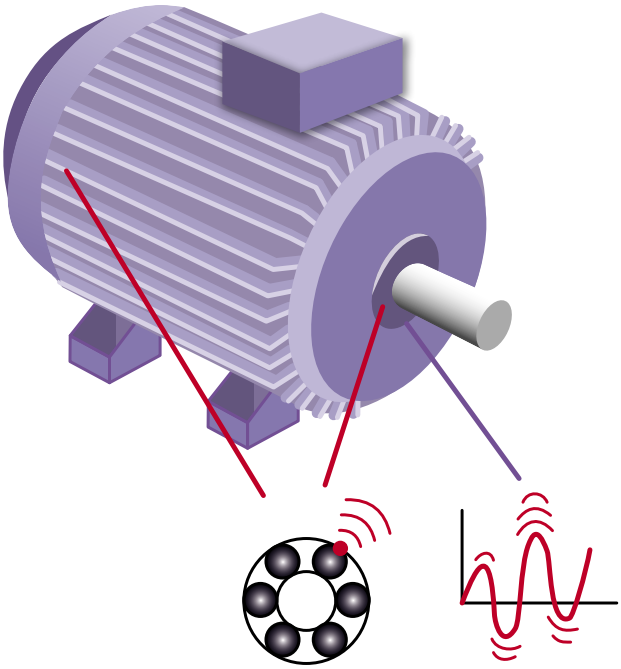
- koszty utrzymania ruchu – obniżone o 50%,
- nieoczekiwane awarie – zmniejszenie o 55%,
- czas napraw i remontów – skrócenie o 60%,
- zapasy części zamiennych – zmniejszenie o 30%,
- średni czas między awariami (*Mean Time Between Failures*, MTBF) – wzrost o 30%,
- czas sprawności – wydłużony o 30%.

W przypadku typowego zakładu produkcyjnego redukcja kosztów utrzymania ruchu o 10% może przynieść takie same korzyści finansowe jak 40% wzrost sprzedaży.

Znaczenie analizy drgań w konserwacji predykcyjnej

Analiza drgań w konserwacji predykcyjnej monitoruje drgania maszyn, takich jak silniki (**fotografia 1**). Analizując te drgania, inżynierowie mogą uzyskać wgląd w stan maszyny i przewidzieć, kiedy może ona ulec awarii. Dzięki temu mogą przeprowadzić konserwację, aby zapobiec ewentualnej awarii i wydłużyć okres pracy maszyny.

Fotografia 1. Czujnik drgań zamontowany na korpusie silnika



Rysunek 1. Zużycie łożysk jest główną przyczyną drgań i wibracji silnika

Niektóre branże są szczególnie uzależnione od maszyn obracających się i napędzanych przez nie urządzeń, takich jak pompy i sprężarki. Na przykład przemysł spożywczy i napojów wykorzystuje podczas przetwarzania wiele sprężarek, agregatów chłodniczych i pomp.

Wodociągi muszą unikać przestojów swoich pomp, aby utrzymać jakość wody i właściwe wartości ciśnienia wody dostarczanej klientom. Zakłady naftowe i gazowe wykorzystują wiele silników, które muszą być niezawodne, aby firma mogła wywiązać się ze swoich zobowiązań dotyczących dostaw.

Ponieważ elementy obrotowe mają kluczowe znaczenie w wielu rodzajach urządzeń przemysłowych i często stanowią część procesów o wąskim gardle, których nie można uniknąć, silniki są często przyczyną nieplanowanych przestojów z powodu awarii, jeśli nie są prawidłowo konserwowane.

Główną przyczyną tych awarii jest zużycie i niewspółosiowość elementów takich jak bieżnie łożysk, koła zębate i wały (**rysunek 1**). Gdy te elementy się poruszają, brak smarowania może spowodować, że będą się ścierać o siebie, a nie gładko przesuwać, powodując uszkodzenia, które prowadzą do dużych lub nietypowych drgań. Na przykład wżery w pierścieniu nośnym łożyska rolkowego mogą generować ruch za każdym razem, gdy łożysko porusza się w obrębie uszkodzonego obszaru. Takie drgania pozostawione bez kontroli mogą prowadzić do dalszych uszkodzeń i ostatecznie do awarii. Analiza i zrozumienie tych drgań oraz uzyskanie wglądu w to, co oznaczają dla wydajności i przyszłego zdrowia silnika, to podstawa konserwacji predykcyjnej.

Analiza drgań może być wykorzystywana, oprócz samych silników, do monitorowania innych części procesu, maszyny lub systemu napędowego, w tym łożysk w przenośnikach, przekładniach, wałach napędowych i wolnych kołach. Monitorowanie drgań jest również wykorzystywane do monitorowania stanu strukturalnego i bezpieczeństwa zasobów infrastruktury, takich jak mosty, rury i łopatki turbin.

Istnieje kilka innych opcji monitorowania stanu silnika oprócz analizy drgań. Jedną z bardziej znanych metod jest analiza sygnatury prądu silnika (*Motor Current Signature Analysis*, MCSA). Technika ta pozwala wykrywać sygnał elektryczny, który zawiera komponenty prądowe. Sygnały prądowe są przetwarzane w celu uzyskania widma częstotliwości dla silnika. W przypadku wystąpienia usterki widmo częstotliwości będzie się różnić od widma wykazywanego przez silnik we właściwym stanie. Analiza MCSA może być wykorzystana do diagnozowania kilku rodzajów usterek w silniku,

eprasa.pl e2be9d43e0

w tym usterek łożysk i uszkodzonych prętów wirnika, jak również niespójnych szczelin powietrznych pomiędzy wirnikiem a stojanem.

Pomimo przydatności analizy MCSA, systemy ciągłej analizy drgań wykorzystujące czujniki stałe są łatwiejsze do wdrożenia i użytkowania. Mogą być łatwo używane przez nieprzeszkolony personel, dają technikom utrzymania ruchu więcej czasu na planowanie i mogą być zintegrowane z systemami automatyki fabrycznej.

Dane z analizy drgań są istotne dla konserwacji predykcyjnej. Dane o drganiach można analizować przy użyciu różnych technik, aby uzyskać różne informacje o stanie silnika. Na przykład analiza w dziedzinie czasu analizuje takie metryki jak przyspieszenie RMS, współczynnik szczytu, prędkość RMS i przemieszczenie RMS. Przyspieszenie RMS jest popularną i użyteczną metryką monitorowania stanu drgań, podczas gdy rosnący współczynnik szczytu może wskazywać na uszkodzenie łożyska.

RMS prędkości jest główną metryką śledzoną w czasie w celu monitorowania stanu drgań i implementowania informacji w programach konserwacji predykcyjnej. Przemieszczenie RMS jest przydatne w urządzeniach obracających się, ponieważ niewyważone wały i inne elementy mogą powodować znaczne przemieszczenia.

Do analizy wielu częstotliwości drgań, jakie może wykazywać silnik lub inna maszyna, stosuje się algorytm szybkiej transformacja Fouriera (*Fast Fourier Transforms*, FFT). Technika ta rozkłada sygnał na wszystkie jego częstotliwości składowe, konwertując go z domeny czasu do domeny częstotliwości. Daje to badaczom głębsze zrozumienie profilu drgań, a tym samym więcej wskazówek na temat stanu badanego systemu – w rzeczywistości większość analiz drgań będzie przeprowadzona w dziedzinie częstotliwości.

Wykorzystywanie analizy drgań w konserwacji predykcyjnej

Przechwytywanie danych o drganiach i stosowanie technik matematycznych do ich analizy w celu uzyskania wglądu w stan silnika lub innych elementów układu to tylko pierwsze etapy. W pełni funkcjonalny i użyteczny program konserwacji predykcyjnej wymaga zintegrowania tych działań z systemem zarządzania, który może efektywnie wykorzystać te informacje.

Taką funkcję pełni komputerowy system zarządzania utrzymaniem ruchu (*Computerized Maintenance Management System*, CMMS). Ma on postać pakietu oprogramowania, który utrzymuje bazę danych śledzącą działania konserwacyjne. W ten sposób pomaga firmie

Fotografia 2. Różne typy czujników drgań dostępne w ofercie Farnella

skutecznie organizować działania związane z utrzymaniem ruchu, aby osiągnąć cele związane z maksymalną wydajnością maszyn, wydłużonym okresem eksploatacji i minimalnymi kosztami. W tym celu pomaga pracownikom odpowiedzialnym za utrzymanie ruchu śledzić, które maszyny wymagają konserwacji oraz gdzie znajdują się narzędzia, sprzęt pomiarowy i części zamienne.

Pomaga również kierownikom utrzymania ruchu obliczyć koszty naprawy maszyny po awarii, zamiast przeprowadzania konserwacji zapobiegawczej, co pozwala na najbardziej efektywne wykorzystanie zasobów. System CMMS rejestruje również dane w celu śledzenia przydzielonych i wykonanych zadań.

Przykładem systemu CMMS jest oprogramowanie eMaint firmy Fluke Reliability (**rysunek 2**). eMaint to potężna platforma niezawodności aktywów, która pomaga organizacjom zwiększyć czas sprawności dzięki łatwej integracji narzędzi i oprogramowania do konserwacji.

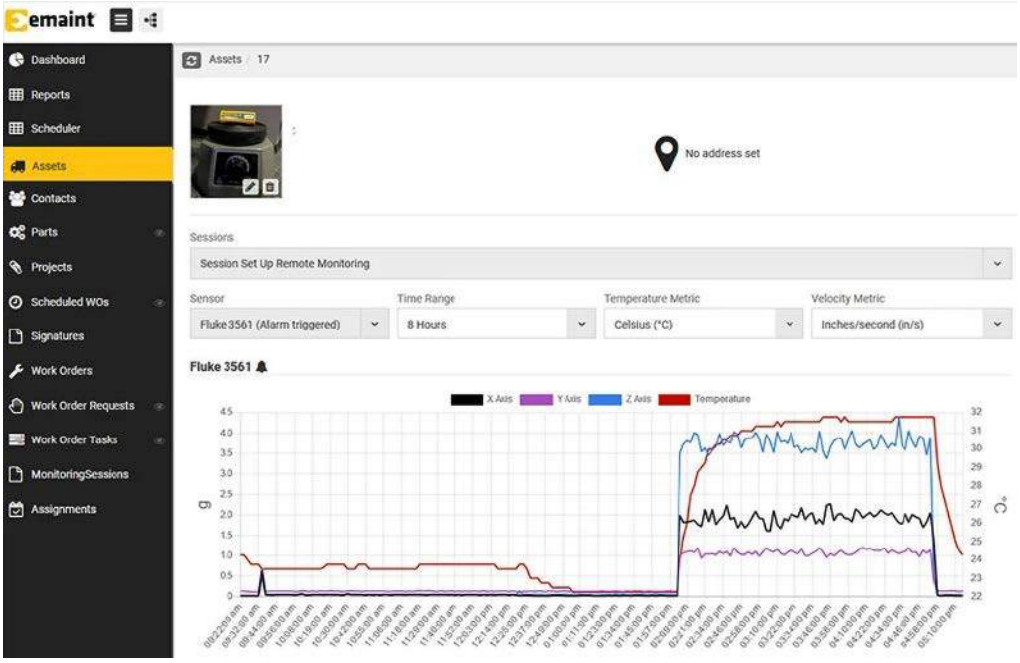
Dzięki eMaint użytkownicy mogą tworzyć hierarchie aktywów, śledzić historię konserwacji swoich aktywów i ustalać priorytety prac. Na tej podstawie rozwiązanie może być wykorzystywane do przypisywania zleceń pracy i generowania wniosków o pracę.

Integrując się z narzędziami do monitorowania stanu, takimi jak czujniki drgań, eMaint może być używany do definiowania granic działania sprzętu, importowania odczytów z przyrządów i czujników oraz wyświetlania wykresów wyników. Pulpity i raporty pozwalają inżynierom utrzymania ruchu analizować trendy i podejmować decyzje na podstawie danych. Konserwacja predykcyjna jest również możliwa dzięki możliwości łatwej wizualizacji danych dotyczących aktywów na różne sposoby, takie jak schematy lub mapa zakładu.

Zarządzanie i śledzenie części zamiennych, przypisywanie zadań konserwacji predykcyjnej, śledzenie inspekcji i umożliwienie dostępu na urządzeniach mobilnych to funkcje oferowane przez eMaint.

Czujniki drgań, takie jak ich bogata oferta dostępna w Farnellu (**fotografia 2**), oraz pakiet CMMS firmy eMaint tworzą kompletne rozwiązanie w zakresie konserwacji predykcyjnej, pomagając firmom chronić swoje aktywa, zapewniając jednocześnie maksymalną produktywność i wydajność.

Farnell



Rysunek 2. Wygląd przykładowego okna oprogramowania eMaint firmy Fluke Reliability

eprasa.pl e2be9d43e0

Oscyloskop z serii DHO4000 marki Rigol (https://t.ly/hcq-)

Diabeł tkwi w szczegółach – recenzja oscyloskopu Rigol DHO4404

Marka Rigol jest obecna na rynku oscyloskopów cyfrowych od wielu lat i niewątpliwie zasłużyła na miano jednego z czołowych producentów tego typu aparatury. Choć pod wieloma względami jej urządzenia przegrywają z propozycjami ze stajni takich potentatów, jak Keysight, Tektronix, Rohde & Schwarz czy Teledyne LeCroy, to Rigol (ramię w ramię z Siglentem) skutecznie wypełnił segment średniej i dolnej półki cenowej. Najstarsza obecna jeszcze w sprzedaży seria DS1000 – która w większości (z wyjątkiem dwóch modeli – DS1052E i DS1102E) została już wycofana – nie wyróżniała się w tym segmencie aparatury szczególnie interesującymi możliwościami. Prawdziwym szturmem wdarła się natomiast na rynek linia produktowa DS1000Z.

Urządzenia serii DS1000Z, za sprawą niezwykle obszernej pamięci, panoramicznego ekranu oraz pokaźnego zestawu funkcji pomiarowych, do dziś stanowią podstawowy wybór tych użytkowników, którzy nie chcą płacić kilkukrotnie wyższych cen za zbliżone parametry w aparaturze „wielkiej czwórki", ale jednocześnie nie ufają tanim, dalekowschodnim markom o wątpliwej rzetelności pomiarowej. W 2022 roku Rigol znów przeskoczył kolejną poprzeczkę – tym razem jednak nie pod względem szybkości czy pojemności pamięci, ale… poziomu szumów własnych i rozdzielczości ADC. Sprawdźmy zatem, jak w praktyce spisuje się najnowsza seria DHO4000.

Autor pragnie podziękować firmie NDN – Zbigniew Daniluk za udostępnienie oscyloskopu DHO4404 do testów.

Subtelnie, ale niekoniecznie szybko

Nietrudno zauważyć, że oscyloskopy z serii DHO4000 (**fotografia tytułowa**) do złudzenia przypominają przedstawicieli tańszej serii urządzeń tego samego producenta – DHO1000 (**fotografia 1**), która swoją premierę – na razie tylko na niektórych rynkach zagranicznych – miała w nieco zbliżonym czasie. Porównanie parametrów obu serii (**tabela 1**) sugeruje, że oszczędności uzyskane w modelach DHO1000 wynikają przede wszystkim z ograniczenia pasma, liczby kanałów oraz pojemności pamięci przebiegów – i faktycznie jest to po części prawda. Po części, gdyż… podobieństwa konstrukcyjne, wykazane przez Davida L. Jonesa z kultowego EEVblog po otwarciu

eprasa.pl e2be9d43e0

Tabela 1. Porównanie parametrów oscyloskopów serii DHO1000 i DHO4000

Model	Liczba kanałów	Rozdzielczość ADC	Pasmo	Próbkowanie	Pamięć próbek	Szybkość przechwytywania	Cena katalogowa
Seria DHO1000							
DHO1072	2	12 Bitów	70 MHz	2 GSa/s	50 Mpts (opcja 100M)	50,000 wfms/s	$699
DHO1074	4	12 Bitów	70 MHz	2 GSa/s	50 Mpts (opcja 100M)	50,000 wfms/s	$999
DHO1102	2	12 Bitów	100 MHz	2 GSa/s	50 Mpts (opcja 100M)	50,000 wfms/s	$999
DHO1104	4	12 Bitów	100 MHz	2 GSa/s	50 Mpts (opcja 100M)	50,000 wfms/s	$1,399
DHO1202	2	12 Bitów	200 MHz	2 GSa/s	50 Mpts (opcja 100M)	50,000 wfms/s	$1,399
DHO1204	4	12 Bitów	200 MHz	2 GSa/s	50 Mpts (opcja 100M)	50,000 wfms/s	$1,699
Seria DHO4000							
DHO4204	4	12 Bitów	200 MHz	4 GSa/s	250 Mpts (opcja 500M)	50,000 wfms/s	$2,699
DHO4404	4	12 Bitów	400 MHz	4 GSa/s	250 Mpts (opcja 500M)	50,000 wfms/s	$3,699
DHO4804	4	12 Bitów	800 MHz	4 GSa/s	250 Mpts (opcja 500M)	50,000 wfms/s	$4,699

Fotografia 1. Oscyloskop z serii DHO1000 (https://t.ly/4UeE)

obydwu oscyloskopów, jasno pokazują, iż pozostałych różnic pomiędzy DHO1000 i DHO4000 jest naprawdę niewiele.

Warto natomiast zwrócić uwagę na dwie istotne kwestie, dotyczące liczby kanałów oraz pasma pomiarowego. W przypadku „białej serii" redukcja liczby kanałów analogowych do dwóch oraz pasma do 70...200 MHz może być potraktowana jako ukłon w stronę świadomych swoich potrzeb amatorów czy też uczelni i szkół – w podstawowych zastosowaniach dydaktycznych dość rzadko zdarza się bowiem, by potrzebne były więcej niż dwa kanały czy też pasmo przekraczające 100 MHz. Nie ulega wątpliwości, że nowoczesny oscyloskop cyfrowy z 12-bitowymi przetwornikami i próbkowaniem do 2 GSps za niespełna 700 dolarów to naprawdę duże osiągnięcie. Ukłony dla inżynierów i strategów marketingowych z firmy Rigol.

W tym miejscu musimy jednak dostrzec przysłowiową łyżkę dziegciu w beczce miodu. W przypadku serii DHO4000 próbkowanie jest już dwa razy szybsze i wynosi 4 GSps, choć niestety – co jest jednak standardem w tej klasie urządzeń – podlega podziałowi podczas pracy wielokanałowej. I tutaj dzieje się rzecz dziwna – choć przy paśmie 200 MHz (najniższy model DHO4204) próbkowanie takie jest w zupełności wystarczające nawet przy pracy z czterema kanałami naraz (przypada wtedy po 1 Gsps/kanał), to w przypadku modelu najwyższego o paśmie 800 MHz ten sam stosunek próbkowania do pasma (5:1) można osiągnąć tylko przy włączonym jednym kanale. Graniczna częstotliwość pasma równa 2,5-krotności próbkowania byłaby natomiast osiągalna przy dwóch kanałach, jednak jest to zaledwie teoretyczne minimum, niezbędne do właściwego (z matematycznego punktu widzenia) odwzorowania przebiegu (de facto, taki stosunek częstotliwości próbkowania do pasma tylko nieznacznie przewyższa kryterium Nyquista). Co więcej – rozszerzenie pasma odbywa się na drodze programowej, co jasno pokazuje, że nie ma żadnych różnic sprzętowych pomiędzy poszczególnymi modelami tej serii. Czy znajdą się użytkownicy chętni do odblokowania dodatkowego pasma z 200 na 800 MHz za cenę – bagatela – 2199 dolarów bądź też do inwestowania od razu w najwyższy model, droższy o 2000 dolarów? Czas pokaże, choć niewątpliwie doświadczeni Czytelnicy popatrzą na tę część oferty z pewnym pobłażaniem, zaś internetowe fora już „huczą" od postów na temat potencjalnego hackowania ustawień sprzętu.

Trudno bowiem nie ulec wrażeniu, że – w myśl śródtytułu tej części artykułu – seria DHO4000 jest przeznaczona dla „analogowców", którym najbardziej zależy na wysokiej jakości rejestracji słabych zmian w sygnale (impulsów, zapadów, zafalowań, itd.), a w znacznie mniejszym stopniu na pracy z szybkimi sygnałami. Tym bardziej, że w cenie zaledwie o 1100 dolarów wyższej (w por. do DHO4804) można obecnie mieć topowy model z serii DS7000 (bez opcji MSO) – wprawdzie o paśmie 500 MHz, ale oferujący aż 2,5-krotnie szybsze próbkowanie (10 GSps) oraz 12× wyższą prędkość przechwytywania (600,000 wfms/s w porównaniu do 50,000 wfms/s), co w wielu aplikacjach będzie miało pierwszorzędne znaczenie dla użytkowników.

Konstrukcja urządzenia i pierwsze wrażenie

Prezentowany oscyloskop jest zaledwie o kilka centymetrów szerszy od urządzeń z popularnej serii DS1000Z (**fotografia 2**), nieznacznie różni się od nich także głębokością (**fotografia 3**), co ma spore znaczenie dla tych użytkowników, którzy zdecydują się na „upgrade" starego modelu do jednego z najnowszych urządzeń marki Rigol (a szczególnie do wersji DHO1000, z uwagi na bardzo przystępną

Fotografia 2. Porównanie rozmiarów oscyloskopów Rigol z serii DHO4000 oraz DS1000Z. Zdjęcie poglądowe – zdecydowanie nie zalecamy takiego ustawiania sprzętu na dłuższy czas

eprasa.pl e2be9d43e0

Fotografia 3 Porównanie głębokości obudowy oscyloskopów z serii DHO4000 i DS1000Z

cenę). Jak przystało na współczesny oscyloskop DSO, duży (aż 10,1-calowy) ekran dotykowy zajmuje zdecydowaną większość powierzchni panelu czołowego. Układ elementów obsługowych jest dość przejrzysty, choć można mu zarzucić zmarnowanie potencjału, jaki daje prawy pas obudowy o szerokości 10-centymetrów – zbyt luźne ułożenie przycisków i pokręteł sprawia, że użytkownicy przyzwyczajeni do osobnych kontrolerów dla poszczególnych kanałów poczują się zawiedzeni. Nietrudno bowiem wyobrazić sobie nieznaczne przesunięcie klawiszy i enkoderów w taki sposób, by w sekcji Vertical – i to bez szczególnej rewolucji w pozostałej części panelu frontowego – zmieścić sześć dodatkowych pokręteł, które niebywale ułatwiłyby sterowanie oscyloskopem.

Projektanci wzornictwa przemysłowego, zatrudnieni przez markę Rigol, postarali się w przypadku serii DHO4000 znacznie bardziej, niż w przypadku niektórych wcześniejszych urządzeń – opisy są dość uporządkowane i estetyczne, choć odbiorców bardziej wyczulonych pod względem estetyki mogą razić różnice w wielkości fontów, zastosowanych do nadruku nazw przycisków i poszczególnych sekcji. Na tle pozostałych elementów obsługowych najbardziej wyróżniają się przyciski z sekcji sterowania podstawowego (Run/Stop, Auto, Clear, Default oraz Single), choć nic nie jest w stanie przebić gigantycznych numerów, umieszczonych przy gniazdach BNC kanałów wejściowych… Tutaj twórcy grafiki puścili wodze fantazji, niestety ze szkodą dla ogólnego wyglądu urządzenia.

Oscyloskop jest dobrze wyposażony pod względem dostępnych interfejsów komunikacyjnych i trudno tutaj cokolwiek mu zarzucić. Na przednim panelu znajdziemy dwa gniazda USB, które – co warto wiedzieć – obsługują nie tylko pamięci typu pendrive, ale także mysz, znakomicie ułatwiającą nawigację po ekranie (jeżeli użytkownik

Fotografia 4. Wygląd tylnej części oscyloskopu. Fotografia pokazuje urządzenie z podłączonym akumulatorem, zajmującym większą część tylnej pokrywy obudowy (https://t.ly/Du5t)

Fotografia 5. Wygląd złącza opcjonalnego akumulatora po odsłonięciu zaślepki (https://t.ly/7mv3)

zaakceptuje wyraźne odczuwalne opóźnienia takiego sterowania). Na tylnym panelu (**fotografia 4**) mamy natomiast gniazdo wyjściowe HDMI, złącze USB Device typu B (co ważne – w przyspieszonej wersji 3.0) oraz będący już standardem port Ethernet z obsługą LXI. Po drugiej stronie obudowy znalazły się cztery gniazda BNC – wejście oraz wyjście częstotliwości odniesienia (10 MHz), gniazdo wyzwalania zewnętrznego oraz wyjście dodatkowe, pozwalające na obsługę funkcji pass/fail.

Idąc z duchem czasu, projektanci przewidzieli na tylnym panelu także (zabezpieczony tworzywowym suwakiem – **fotografia 5**) port do podłączenia zewnętrznego akumulatora, mocowanego zatrzaskami do obudowy oscyloskopu. Na razie jednak nie sposób skorzystać z tej funkcji – na rynek nie trafiło jeszcze kompatybilne źródło energii.

Konstrukcja urządzenia pod względem mechanicznym jest stabilna i przyjemna w obsłudze. Dwie stopki, umieszczone z tyłu obudowy, pozwalają na odchylenie całości od pionu, w zakresie wystarczającym do wygodnego użytkowania w typowych warunkach. Co ważne, elementy te sprawiają bardzo dobre wrażenie pod względem solidności wykonania, co przy dość znacznej wadze sprzętu (prawie 4 kg) wypada naprawdę nieźle. Wspomniana masa własna urządzenia jest w opinii autora niniejszej recenzji dodatkowym plusem, gdyż oscyloskop solidnie „trzyma się podłoża" nawet podczas nieco dynamiczniejszej obsługi.

Ekran dotykowy i fizyczny interfejs HMI

Słowa uznania należą się inżynierom Rigola za zastosowany ekran dotykowy, oferujący doskonały kontrast i szerokie kąty widzenia w obu płaszczyznach, co przekłada się na wysoką jakość prezentowanej grafiki. Matryca ma przekątną 10,1 cala i rozdzielczość 1280×800 px, a panel dotykowy obsługuje multitouch, co (teoretycznie) przydaje się podczas zmiany skali i podstawy czasu. Choć trudno powiedzieć, by było to wygodniejsze, niż użycie klasycznych pokręteł – a te w przypadku serii DHO4000 działają nieporównanie lepiej, niż owiane złą sławą enkodery, znane z niskobudżetowych modeli tej samej marki. Optyczna konstrukcja (deklarowana przez producenta nawet w oficjalnych materiałach reklamowych) wróży znacznie wyższą niezawodność impulsatorów od jej mechanicznego odpowiednika. Wszystkie są wyposażone w przycisk, używany zwykle do zerowania powiązanego z pokrętłem parametru (np. offsetu) – wyjątkiem jest tutaj rzecz jasna wyzwalanie, w przypadku którego naciśnięcie gałki spowoduje ustawienie poziomu triggera na standardowe 50% sygnału mierzonego.

Pewien niesmak pozostawia sposób działania przycisku Touch Lock, którego celem miało być zablokowanie ekranu dotykowego, np. w celu ochrony przed przed przypadkowym kliknięciem lub przesunięciem jednego z elementów interfejsu. Funkcjonalność niezwykle przydatna dla tradycjonalistów, którzy ekran dotykowy akceptują tylko w smartfonie czy też ekspresie do kawy, zaś aparaturę pomiarową wolą obsługiwać za pomocą klasycznych przycisków i pokręteł. Włączenie blokady powoduje bowiem nie tylko dezaktywację panelu dotykowego, ale także… prawie połowy pozostałego interfejsu. Wraz z ekranem przestają bowiem działać przyciski: Measure,

eprasa.pl e2be9d43e0

Rysunek 1. Podstawowy wygląd ekranu oscyloskopu DHO4404

Analyse, Trigger, Acquire, Math, Ref, Navigate, a także trzy klawisze do odtwarzania zapisanych ramek (start/stop, do przodu, do tyłu).

Czynne pozostają natomiast przyciski do obsługi zatrzymywania/wznawiania akwizycji, ustawień automatycznych, kursorów, zrzutu ekranu (Quick), wyboru zbocza triggera oraz lupy czasowej (Zoom). Jak można zauważyć, dezaktywowane są wszystkie te klawisze, które służą do uruchamiania funkcji korzystających nieodłącznie z menu ekranowego. Problem w tym, że nie mogąc nawigować po menu za pomocą pokręteł (czy to przez wzgląd na upodobania, czy też np. po awarii panelu dotykowego), tracimy tym samym większość możliwości, jakie oferuje oscyloskop. Trudno powiedzieć, czy możemy potraktować ten problem jako słynne „it's not a bug, it's a feature", ale uszczęśliwianie użytkowników na siłę za pomocą ekranu dotykowego, bez którego nie da się praktycznie używać oscyloskopu, wydaje się zabiegiem wątpliwym pod względem ergonomii. Tym bardziej, że funkcja Touch Lock dezaktywuje także obsługę myszy, podłączonej przez port USB...

Interfejs użytkownika

Interfejs graficzny (GUI) oscyloskopu jest zaprojektowany przejrzyście i ze smakiem. Dobre zagospodarowanie powierzchni wyświetlacza i odpowiednie proporcje sprawiają, że ze sprzętem pracuje się bardzo wygodnie, bez klaustrofobicznego poczucia przytłoczenia użytkownika przez zbyt obszerne menu ekranowe (**rysunek 1**). Dolny pasek służy jako miejsce na wygodne zakładki, odpowiadające poszczególnym kanałom analogowym oraz matematycznym – warto dodać, że dany kanał można włączyć lub wyłączyć poprzez kliknięcie odpowiedniego pola, a inną metodą dezaktywacji kanału jest przeciągnięcie jego zakładki w dół (poza ekran). Bardzo wygodna i przyjemna dla oka funkcjonalność.

W lewym dolnym rogu znajduje się emblemat z literą R, pod którym – co może być dość mało intuicyjne przy pierwszym kontakcie z oscyloskopem – umieszczono… całe menu systemowe (**fotografia 6**). Znajdziemy w nim ikony pozwalające przejść do sekcji:

- Measure (pomiary automatyczne),
- Cursors (kursory ekranowe),
- Windows (menu wyboru dodatkowych okien, które można włączyć obok głównego ekranu prezentującego mierzone przebiegi),
- Math (panel funkcji matematycznych),
- XY (tryb wyświetlania linii Lissajous),
- Ref (sekcja do obsługi przebiegów odniesienia),
- Counter (włączenie licznika częstotliwości lub totalizera),
- DVM („woltomierz cyfrowy" – o nim nieco więcej informacji w dalszej części artykułu),
- Decode (panel dekodowania szyn cyfrowych/równoległych na podstawie sygnałów z kanałów analogowych),
- UPA (dodatkowo płatna opcja analizy mocy),
- Pass/Fail (testy automatyczne ze standardową maską),
- Search (wyszukiwanie zdarzeń – zboczy lub impulsów o danej szerokości, z możliwością zastosowania tych samych ustawień w bloku wyzwalania oscyloskopu lub skopiowania obecnych ustawień triggera do panelu wyszukiwania),
- Record (menu pozwalające na nagrywanie ramek w trybie pamięci segmentowanej i odtwarzanie ich w postaci poklatkowej lub w formie wideo),
- Auto (automatyczne ustawienia zoptymalizowane dla danego sygnału),
- Display (funkcje związane ze sposobem wyświetlania sygnałów, siatką, jasnością, przezroczystością poszczególnych elementów graficznych, a także z metodami obrazowania statystyki przebiegów w postaci intensywności lub barwy),
- Clear (czyszczenie ekranu),
- Quick (ustawienia sposobu działania przycisku o tej samej nazwie, znajdującego się na fizycznym panelu czołowym),
- Storage (obsługa pamięci wewnętrznej oraz zewnętrznej USB),
- Help (wbudowana pomoc, wymagająca jednak połączenia z internetem do poprawnego działania),
- Upgrade (aktualizacja oprogramowania),
- Utility (informacje systemowe, ustawienia sieci LAN, itd.),
- Restart („miękki" restart systemu operacyjnego)
- Shutdown („miękkie" wyłączenie zasilania).

Sposób ułożenia elementów w głównym menu urządzenia jest niestety dość chaotyczny – podstawowe funkcje (np. czyszczenia ekranu) znajdują się gdzieś pomiędzy ikonami, prowadzącymi do rozbudowanych menu ekranowych dla poszczególnych trybów pracy. Co więcej, w niektórych przypadkach dokładnie te same opcje są dostępne aż w trzech miejscach: w opisanym powyżej menu, na panelu fizycznym oraz… w przesuwnym pasku narzędziowym, znajdującym się w prawym górnym rogu ekranu). Niestety, w tym przypadku więcej nie oznacza lepiej – interfejs kuleje nieco z uwagi na chaos i nadmiarowość. Co gorsza – ustawienia pokręteł Flex Knob są dostępne tylko w górnym pasku i... nigdzie więcej (choć ich miejsce powinno być w menu systemowym). Górny pasek informacyjny zawiera standardowe dane nt. podstawy czasu (**H**orizontal), aktualnego trybu i szybkości próbkowania (**A**cquisition), opóźnienia (**D**elay) oraz poziomu wyzwalania (**T**rigger).

Brawa należą się inżynierom Rigola za opracowanie menu ekranowych, odpowiadających za nastawy trybów akwizycji, wyzwalania

Fotografia 6. Główne menu systemowe

Fotografia 7. Menu ustawień akwizycji i podstawy czasu

eprasa.pl e2be9d43e0

Fotografia 8. Menu ustawień wyzwalania

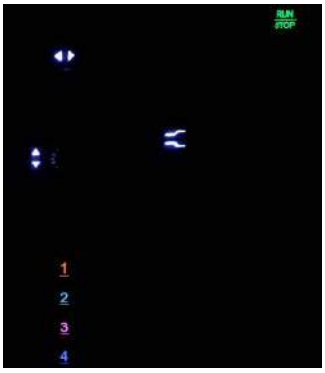
oraz kanałów analogowych. W każdej z sekcji mamy pod ręką wszystkie możliwe opcje powiązane z danym aspektem pracy oscyloskopu. Przykładowo – w menu akwizycji (**fotografia 7**) dostępne są przyciski trybu pracy, menu typu drop-down (lista rozwijana) do wyboru głębokości pamięci, informacja o aktualnym próbkowaniu, wybór sposobu przewijania ekranu (auto roll), podstawa czasu, lupa czasowa oraz przesunięcie w poziomie, zaś w menu wyzwalania (**fotografia 8**) znajdziemy opcję wyboru trybu triggera, sweep (auto/normal/single), źródło sygnału wyzwalającego i jego sprzężenie, opcje ustawiane dla danego trybu pracy (np. poziom triggera w przypadku zbocza) oraz hold off i przełącznik redukcji szumu. Bardzo dobrym pomysłem była implementacja wyświetlania przybliżonej szerokości pasma –3 dB dla trybów zwiększonej rozdzielczości (14 i 16 bitów) – takie rozwiązanie sprawia, że użytkownik nie musi zastanawiać się nad tym, jak oversampling wpływa na rzeczywistą przepustowość oscyloskopu.

Prawdziwie miłe zaskoczenie znajdziemy natomiast w menu odpowiadającym za ustawienia poszczególnych kanałów (**fotografia 9**). Centralną część okna zajmuje czytelny i intuicyjny schemat blokowy toru kondycjonowania sygnałów, na bieżąco aktualizowany podczas wyboru poszczególnych trybów pracy. Oprócz rodzaju sprzężenia (AC, DC oraz GND – choć działanie tego ostatniego jest dość wątpliwe, gdyż oscyloskop przestaje w nim prezentować rzeczywiste próbki z ADC, wyświetlając w zamian „sztywną" linię w sposób programowy), mamy do dyspozycji także przełączniki impedancji wejściowej (1 MΩ lub 50 Ω) oraz trybu pracy pokrętła wzmocnienia (normalny lub precyzyjny), aktualną nastawę wraz z możliwością jej zmiany za pomocą przycisków ekranowych lub pokrętła Flex, a także kontrolki offsetu pionowego, ogranicznika pasma, biasu oraz odwracania wyświetlanego przebiegu. Funkcją bias zajmiemy się nieco później, teraz zwróćmy natomiast uwagę na opcję ustawiania tzw. Ch-Ch Skew – czyli kompensacji opóźnień czasowych pomiędzy poszczególnymi sondami (w zakresie ±100 ns).

Fotografia 9. Menu ustawień kanałów analogowych

Ogólna kultura pracy

Oscyloskopy z serii DHO4000 nie męczą użytkownika podczas długotrwałej pracy – są zaprojektowane w sposób ergonomiczny, choć i od tej reguły znajdziemy pewne niechlubne wyjątki. Na uwagę zasługują podświetlenia przycisków – bardzo wyraźne (dwukolorowe) dla klawisza Run/Stop i znacznie słabsze, choć w umiarkowanym oświetleniu zewnętrznym wciąż dość dobrze widoczne – umieszczone pod przyciskami włączania/wyłączania kanałów (1...4). Bardzo mocne są natomiast diody podświetlające kontrolki, znajdujące się obok pokręteł Flex Knob oraz przycisku, służącego do wyboru zbocza wyzwalania (**fotografia 10**). W trybie pomiaru kursorowego, obok pokręteł (oraz nad nimi) zaświecają się białe kontrolki w formie strzałek, skierowanych w kierunku góra-dół lub prawo-lewo. Określają one sposób przesuwania danego kursora, przełączany poprzez naciśnięcie danej gałki. Obecność dwóch uniwersalnych pokręteł pozwala na bardzo wygodną pracę z kursorami, nieporównanie łatwiejszą, niż w prostszych oscyloskopach z jednym tylko pokrętłem uniwersalnym. Dodatkowa (nieco zbyt intensywna) biała dioda LED, znajdująca się pomiędzy enkoderami, ma podpis Intensity co oznacza, że zaświeca się tylko wtedy, gdy górne pokrętło nie jest przypisane do żadnej innej funkcji – umożliwia wtedy regulację intensywności wyświetlania przebiegów.



Fotografia 10. Rozmieszczenie głównych kontrolek na panelu czołowym

Warto dodać, że pokrętła spełniają także bardzo istotną rolę podczas ustawiania większości parametrów numerycznych w różnych menu ekranowych – jeżeli pole (np. do kontroli biasu) jest powiązane w danym momencie z jednym z pokręteł, to obok liczby pojawia się żółta ikonka z numerem pokrętła. Takie rozwiązanie, po jednym... dwóch dniach pracy z oscyloskopem, pozwala wyrobić sobie pewne nawyki, skutkujące znacznie płynniejszą obsługą aparatury. Jeżeli natomiast zachodzi potrzeba wpisania konkretnej liczby (wraz z jednostką) – warto do tego celu użyć doskonale opracowanej, ergonomicznej klawiatury ekranowej, wyświetlanej po kliknięciu danego pola. Oprócz sekcji numerycznej oraz klawiszy jednostek, do dyspozycji użytkownika są też klawisze Max, Min oraz Def, pozwalające na bardzo szybkie ustalenie najczęściej używanych wartości.

Interfejs dotykowy jest umiarkowanie responsywny – przesuwanie oraz skalowanie przebiegów nie zasługuje wprawdzie na miano klasy światowej, ale jeszcze nie irytuje zbyt powolną reakcją na działania

Rysunek 2. Oscyloskop dość dobrze radzi sobie z obsługą wielu okien jednocześnie, choć – paradoksalnie – największy wpływ na pogorszenie responsywności GUI mają... tabele (a nie wykresy, aktualizowane w czasie rzeczywistym)

eprasa.pl e2be9d43e0

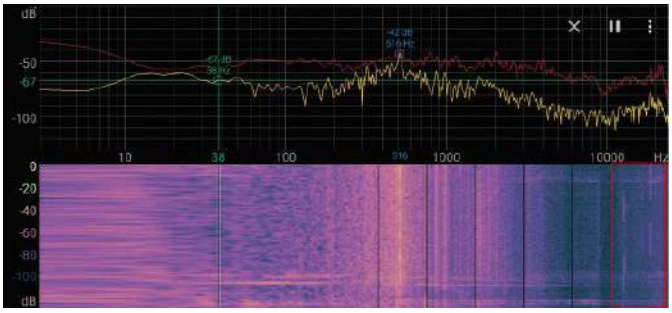
Fotografia 11. Masywny radiator, pokrywający całość front-endów oscyloskopu, pełni także funkcję efektywnego ekranu, co ma spore znaczenie w przypadku niskoszumnej, 12-bitowej konstrukcji urządzenia (https://t.ly/6Cs6)

użytkownika. Innymi słowy – po oscyloskopie z tego przedziału cenowego można byłoby się spodziewać takiej właśnie szybkości reakcji na dotyk. Przyjemne jest natomiast przesuwanie okien dialogowych, choć – nietrudno się domyślić – im więcej aplikacji (widoków) jest włączonych jednocześnie (**rysunek 2**), tym wolniej działa cały system. Nie pomaga tutaj nawet sześciordzeniowy procesor RockChip o architekturze ARM Cortex-A72, 1,8 GHz – system Android, jak wiadomo, do najlżejszych nie należy, ale w przypadku oscyloskopów DHO4000 pracuje on i tak całkiem przyzwoicie.

Nieco zaskakujący jest natomiast brak przycisku do wykonywania zrzutów ekranu – wprawdzie wspomniany wcześniej klawisz Quick jest domyślnie przypisany właśnie do tego celu, jednak umożliwia on także przestawienie na tryb uruchamiania nagrań, resetowania statystyk czy też włączania wszystkich dostępnych typów pomiarów (w postaci 33-wierszowej tabeli, zajmującej niestety pół ekranu). Co gorsza – włączenie tej ostatniej funkcji powoduje dramatyczne spowolnienie odświeżania głównego okna przebiegu, choć nieprzyzwoicie duży spadek wydajności można zauważyć nawet po włączeniu kilku funkcji pomiarowych i rozwinięciu ich okienek statystycznych.

Obecność wspomnianego już Androida sprawia także, że oscyloskop nie należy do demonów szybkości pod względem uruchamiania systemu operacyjnego – po kliknięciu przycisku zasilania musimy poczekać ponad 25 sekund, zanim będziemy w stanie cokolwiek zrobić z użyciem naszego urządzenia.

Część użytkowników krytykuje nową serię oscyloskopów Rigola za dość spory hałas, generowany przez wbudowany wentylator, służący do chłodzenia m.in. potężnego radiatora, umieszczonego nad całym front-endem i znaczną częścią szybkich układów, odpowiedzialnych za akwizycję i przetwarzanie sygnałów (**fotografia 11**). Czytelnicy obdarzeni darem (lub raczej przekleństwem) doskonałego, szerokopasmowego słuchu, zwrócą uwagę na pisk, towarzyszący zmianom obrazu na ekranie oscyloskopu – im więcej się na nim dzieje (szybkozmienne sygnały, zwłaszcza o dużej składowej szumu), tym bardziej



Rysunek 3. Widok analizatora widma (aplikacja mobilna Spectroid). Czerwoną ramką zaznaczono zaburzenia w górnej części pasma akustycznego szumu, generowanego przez oscyloskop podczas istotnych zmian w obrazie wyświetlanym na ekranie

Fotografia 12. Złącze jednej z sond oscyloskopowych RP3500A, sprzedawanych w zestawie z oscyloskopem

Fotografia 13. Sonda oscyloskopowa typu RP3500A

zwracają uwagę owe wysokie tony (około 13 kHz i 18 kHz – **rysunek 3**), wydobywające się z obudowy urządzenia – najpewniej z samego zasilacza. Bardziej uciążliwe może być natomiast samoczynne włączanie systemu operacyjnego oscyloskopu po każdorazowym wpięciu go do sieci – jeżeli korzystamy z aparatury podłączonej do wspólnej listwy zasilającej, taki efekt będzie zwykle niepożądany i… mało ekologiczny.

Sondy oscyloskopowe

Seria DHO4000, w przeciwieństwie do DHO1000, z powodzeniem obsługuje szerokie spektrum sond aktywnych, dostępnych w ofercie marki Rigol – tych samych, które współpracują także z wieloma znacznie wyższymi modelami producenta. Dołączone do oscyloskopu (przynajmniej w wersji 400-megahercowej) sondy są wyposażone w dodatkowy styk sprężynowy (**fotografia 12**), umożliwiający automatyczną identyfikację współczynnika tłumienia – po podłączeniu akcesorium do urządzenia, na ekranie pojawia się komunikat informujący o zastosowanej sondzie, co wiąże się rzecz jasna z samoczynnym przestawieniem stopnia dzielnika napięciowego w oprogramowaniu oscyloskopu.

Same sondy znajdujące się w zestawie to 500-megahercowy model pasywny o „sztywnym" dzielniku 10:1 (tj. bez możliwości przełączenia na tryb 1:1). Elementy sprawiają bardzo dobre wrażenie pod względem jakości wykonania – bez porównania lepsze od tańszych sond sprzedawanych wraz z niższymi modelami tego producenta. Kompaktowa konstrukcja korpusu, wąska przedłużka (pomiędzy igłą a bliższym stykiem masy), świetnie wyprofilowany pierścień uziemienia, dość ściśle spasowany z zatrzaskiem przewodu masowego, czy też bardzo elastyczny przewód koncentryczny sprawiają, że praca z sondą jest przyjemna i precyzyjna (**fotografia 13**).

Funkcje matematyczne i dekodowanie

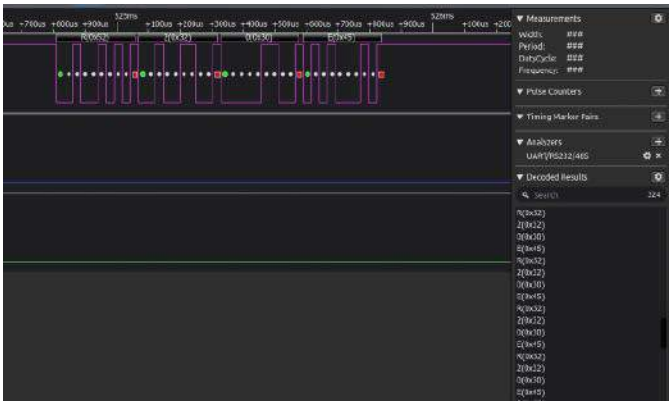
Wśród funkcji matematycznych, oferowanych przez oscyloskopy z serii DHO4000, znajdziemy rzecz jasna wszystkie podstawowe operacje arytmetyczne i logiczne, nie zabrało także całkowania, różniczkowania, modułu (funkcji bezwzględnej), czy też logarytmów. Szczególnie interesujące w tym kontekście są jednak filtry cyfrowe, umożliwiające proste ograniczenie pasma badanego sygnału na potrzeby lepszej wizualizacji ważnych składowych widma (w dziedzinie czasu). Dość rozbudowana funkcja FFT, dostępna w obecnej wersji oprogramowania, także rokuje doskonale – dość spojrzeć na przebiegi zarejestrowane dla dwóch różnych sygnałów, widoczne na **rysunku 4**.

eprasa.pl e2be9d43e0

Rysunek 4. Akwizycja sygnału o modulacji FM oraz jego widmo, wyznaczone przez wbudowaną funkcję FFT. Warto zwrócić uwagę na bardzo dobrą jakość odwzorowania piku nośnej oraz wstęg bocznych, a także duży odstęp sygnału od szumu

Istnieje jednak pewien drobny problem, utrudniający nieco korzystanie z filtrów. Częstotliwość progowa zmienia się bowiem wraz z podstawą czasu, co sprawia, że przydatność filtrów cyfrowych wydaje się być mocno ograniczona. Na szczęście, problem można dość łatwo obejść, „podłączając" kanał matematyczny pod tryb Zoom (lupę czasową), co pozwala obejrzeć szczegóły sygnału w dziedzinie czasu, wciąż mając do dyspozycji spory zakres przestrajania. Co prawda zaimplementowane w oprogramowaniu oscyloskopu charakterystyki filtrów (dolnoprzepustowy, górnoprzepustowy, pasmowoprzepustowy oraz pasmowozaporowy) nie mogą być w żaden sposób zmodyfikowane (przydałaby się funkcja wyboru rzędu filtra), to i tak jest to przyjemna niespodzianka dla użytkowników, którzy wcześniej nie mieli do wyboru takiej opcji.

Rysunek 5. Wielokrotne próby zdekodowania sygnału UART spełzły na niczym



Rysunek 6. Prawidłowo zdekodowany sygnał testowy (analizator stanów logicznych marki Kingst Electronics)

Fotografia 14 Próby dekodowania danych na szynie UART zakończyły się... całkowitym zawieszeniem głównej aplikacji (a co za tym idzie, także całego systemu operacyjnego oscyloskopu)

Niewiele dobrego można natomiast powiedzieć o opcjach dekodowania, których liczne błędy jeszcze dobitniej wskazują na słuszność wyrażonego wcześniej zdania, że seria DHO4000 szczególnie dobrze sprawdza się w aplikacjach analogowych, a niekoniecznie „lubi się z cyfrówką". Pierwsze próby zdekodowania banalnie prostej, czteroznakowej ramki UART, spełzły na niczym (**rysunek 5**) – tylko przez moment udało się uzyskać kilka poprawnych odczytów. Przebieg (zweryfikowany dla stuprocentowej pewności za pomocą zewnętrznego analizatora stanów logicznych – **rysunek 6**) uparcie nie dawał się przeanalizować pomimo poprawnych ustawień zarówno w sekcji dekodowania, jak i wyzwalania sygnałem Start szyny szeregowej. Druga seria pomiarów dość szybko zakończyła się przez… całkowite zawieszenie systemu operacyjnego (**fotografia 14**). Mało tego – „miękki" reset poprzez naciśnięcie przycisku zasilania spowodował wprawdzie wyłączenie oscyloskopu, jednak po ponownym włączeniu sprzęt znów wpadł w ten sam stan błędu. Pomogło dopiero całkowite odcięcie zasilania sieciowego na kilka sekund. Lektura 25-stronicowego wątku poświęconego seriom DHO4000 i DHO1000 na forum internautów, skupionych wokół EEVblog – wykazała, że nie był to pierwszy przypadek ciężkiego błędu systemowego. Podobny zdarzył się przynajmniej jednemu z użytkowników, wtedy jednak podczas próby zdekodowania szyny SPI.

Regulacja biasu torów wejściowych. Problemy z offsetem

Bardzo interesującą funkcją, którą zastosowali inżynierowie Rigola w urządzeniach serii DHO4000, jest osobna regulacja biasu toru wejściowego. Funkcji tej nie należy mylić z klasycznym pokrętłem przesuwu pionowego (offsetu), znanym z każdego oscyloskopu – tutaj mamy bowiem możliwość przesunięcia sygnału o daną wartość napięcia DC na wcześniejszym etapie kondycjonowania. Takie rozwiązanie zostało wprawdzie przewidziane dla zastosowania z sondami aktywnymi lub kompensacji niewielkich offsetów temperaturowych, ale okazuje się, że pozwala ono także wygodnie oglądać niewielkie zmiany, zachodzące np. „na tle" przebiegu prostokątnego o wielokrotnie wyższej amplitudzie – także wtedy, gdy źródło sygnału jest podłączone bezpośrednio do wejścia BNC. Dobrym przykładem będą tutaj aplikacje korzystające z przełączników i multiplekserów analogowych, w których chcemy obejrzeć tylko przebieg z jednego ze źródeł, podczas gdy inne (o znacznie wyższym lub niższym poziomie bazowym) nas nie interesują. Przykładowo – chcąc zobaczyć szczegóły w górnej części sygnału prostokątnego o wartości międzyszczytowej 1 Vpp i zerowej składowej stałej, należy ustawić bias na –500 mV – skalując czułość kanału możemy wtedy wygodnie przybliżać oglądane przebiegi, bez konieczności każdorazowego korygowania położenia krzywej na ekranie (za pomocą pokrętła offsetu) po zmianie nastawy V/div. Funkcja regulacji biasu wydaje się zatem fenomenalnym uzupełnieniem wysokiej rozdzielczości ADC w aplikacjach wymagających śledzenia subtelnych zmian sygnałowych, które w innych oscyloskopach po prostu zaginą na tle silniejszych składowych.

Przykładowy przebieg testowy pokazano na **rysunku 7**. Po ustawieniu biasu na –500 mV górna część przebiegu „ląduje" na osi X, pomimo braku przesunięcia za pomocą pokrętła offsetu. Teraz możemy swobodnie powiększać sygnał, ale... tylko do progu 100 mV/div (**rysunek 8**), gdyż już przy nastawie 50 mV/div sygnał nagle „ucieka" z pola widzenia (**rysunek 9**). Dokładniejsza analiza wykazała, że problem

eprasa.pl e2be9d43e0

Rysunek 7. Przebieg, który posłużył do testowania możliwości offsetu pionowego i regulacji biasu toru analogowego

Rysunek 8. Przebieg z rysunku 7 przesunięty za pomocą biasu, ustawionego na wartość równą –500 mV, a następnie powiększony do 100 mV/div

ten występuje przy przekroczeniu wzmocnienia równego dokładnie 56 mV/div (można je osiągnąć po wciśnięciu pokrętła, co powoduje przejście w tryb Fine). Być może wiąże się to z progiem, przy którym następuje zmiana zakresu regulacji offsetu – nota katalogowa oscyloskopu podaje wprawdzie wartość graniczną równą 65 mV, ale wszystko wskazuje na to, że jest to jedynie czeski błąd w dokumentacji. Co więcej, słyszalne przełączenie przekaźnika w torze wejściowym następuje właśnie w momencie „skoku" przy 56 mV/div, dlatego też najbardziej prawdopodobną przyczyną problemu jest sprzętowa niedokładność obwodów wejściowych. Tak czy inaczej, aby móc kontynuować przybliżanie wykresu, musimy najpierw znów zredukować przesunięcie za pomocą biasu, a dopiero potem – sekwencyjnie „dokręcając" pokrętła offsetu i V/div – utrzymywać przebieg na ekranie.

Rysunek 9. Obraz sygnału z rysunku 8 po zwiększeniu wzmocnienia do 50 mV/div (reszta ustawień bez zmian)

Rysunek 10. Zniekształcenie sygnału prostokątnego o amplitudzie 2 Vpp przy wzmocnieniu na poziomie 200 mV/div

Niestety, taka operacja nie uda się dla przebiegów o większej amplitudzie – już przy 2 Vpp tracimy możliwość dalszego przesuwania sygnału za pomocą regulacji biasu, a ograniczenie zakresu ustawiania offsetu powoduje, iż maksymalne wzmocnienie możliwe do uzyskania to 100 mV/div. Co ciekawe, poczciwy Rigol DS1054Z radził sobie w tej sytuacji jak należy i (przy odrobinie cierpliwości, niezbędnej do długotrwałego obracania pokrętła przesuwu pionowego) umożliwił obejrzenie szczegółów sygnału przy wzmocnieniu aż 5 mV/div! Co więcej – przy sygnale na poziomie 5 Vpp szczyt sygnału wygląda dobrze jeszcze dla nastawy 500 mV/div [ds], jednak przeskok na 200 mV/div powoduje znaczne zniekształcenie – z prostej linii „robi się" nagle dość strome zbocze (**rysunek 10**).

Podczas testów wyszło też na jaw, że w niektórych sytuacjach przekręcanie pokrętła offsetu pionowego w testowanym oscyloskopie… nic nie zmieniało, gdyż sygnał po chwili wracał niczym „na sprężynie" do poprzedniego położenia. Taki błąd występował dla bardzo szerokiego zakresu offsetu, w przybliżeniu od około –400 do –1000 mV (ustawienia: wzmocnienie 20 mV/div, sprzężenie DC, sygnał testowy to prostokąt 1,4 Vpp 1 MHz, bez offsetu DC). Co gorsza, problemowi nie był w stanie zaradzić nawet bias toru wejściowego. Problem znów pojawiał się poniżej progu czułości 100 mV/div. I – jak na złość – w DS1054Z ten problem także nie występuje, gdyż zbyt duży przesuw sygnału powodował po prostu jego zniknięcie z pola obrazowania (tak samo, jak w oscyloskopie analogowym), jednak po powrocie do właściwego przedziału krzywa przebiegu przesuwała się monotonicznie wraz z obrotami pokrętła.

Dodatkową pułapką jest brak funkcji wyświetlania aktualnej wartości biasu na ekranie – aby sprawdzić (lub ustawić) wartość napięcia, należy wejść w menu kanałowe. I w zasadzie nie byłoby w tym nic złego – można się bowiem spodziewać, że funkcja ta będzie wykorzystywana jedynie w określonych przypadkach i to przez świadomych inżynierów, dobrze znających sprzęt. Warto jednak wiedzieć, że przy niektórych zmianach wzmocnienia, oscyloskop czasem samodzielnie przestawia napięcie, np. z –1 V do –0,5 V, dlatego wykorzystując funkcję biasu w aplikacjach podobnych do opisanej powyżej, należy cały czas patrzeć urządzeniu „na ręce" (a ściślej rzecz biorąc – na ustawienia w menu).

Oscyloskop DHO4000 w rękach „analogowca"

Nie ma wątpliwości, że oscyloskopy DHO4000 zostały opracowane przede wszystkim pod kątem aplikacji analogowych. **12-bitowa rozdzielczość natywna, bardzo niski poziom szumu (nominalnie poniżej 18 µVrms) oraz szeroki zakres wzmocnienia torów analogowych sprawiają, że sprzęt dobrze sprawdza się w analizie subtelnych zmian w badanych sygnałach i to zarówno w dziedzinie czasu, jak i częstotliwości**. Choć sprzętowy zakres regulacji wzmocnienia kończy się tak naprawdę na 1 mV/div, to dodatkowe, programowe rozciągnięcie (które moglibyśmy porównać do zoomu cyfrowego w aparatach) w sekwencji 500-200-100 µV/div ma w tym przypadku spory sens praktyczny – przy 16-krotnie drobniejszej kwantyzacji (w por. do klasycznych

eprasa.pl e2be9d43e0

oscyloskopów bazujacych na 8-bitowych ADC) użytkownik nie odczuwa jeszcze zbyt wyraźnie, że doszedł do krańca możliwości front-endu analogowego. Trzeba uczciwie przyznać, że możliwości oscyloskopów z serii DHO4000 w „delikatnych" zastosowaniach analogowych robią naprawdę spore wrażenie, czego najlepszym dowodem jest zaprezentowany na **rysunku 11** zrzut ekranu, pokazujący poziomy kwantyzacji sygnału z generatora arbitralnego. W połączeniu z trybami wysokiej rozdzielczości lub uśredniania (**rysunek 12**) już samo to wystarczy, by zacząć rozważać sięgnięcie po portfel.

Do pełni szczęścia brakuje tylko innych trybów wyświetlania sygnału – jedynym dostępnym (przynajmniej jak na razie) jest tryb wektorowy, interpolowany funkcją sin(x)/x. Przy tak zaawansowanych możliwościach oglądania przebiegów na najniższym poziomie amplitudy warto byłoby jednak mieć pod ręką możliwość przełączenia np. na tryb punktowy (bez interpolacji). Z niejasnych przyczyn inżynierowie marki Rigol postanowili nie implementować takiej funkcji, pomimo iż pojedyncza opcja wyboru (sic!) znalazła swoje miejsce w menu Display. Warto natomiast dodać, że podczas analizy złożonych sygnałów analogowych (choć cyfrowych także), doskonale sprawdza się funkcja Persistence (spowalniająca zanik sygnałów w trakcie odświeżania kolejnych ramek, co powoduje efekt akumulacji kolejnych przebiegów), zaś najlepsze efekty daje w połączeniu z kolorystycznym mapowaniem częstości występowania sygnału w danym miejscu ekranu (**rysunek 13**). I nie trzeba przejmować się faktem, że korzystając z „termowizyjnej" reprezentacji tracimy możliwość łatwej identyfikacji, który sygnał odpowiada któremu z kanałów analogowych – programiści Rigola zapewnili bowiem możliwość włączenia opisów ekranowych (CH1, CH, itd.), które – oprócz koloru znacznika, znajdującego się po lewej stronie ekranu – jednoznacznie określają pochodzenie danej krzywej (**rysunek 14**).

Mieszane uczucia budzą natomiast funkcje związane z obsługą pamięci segmentowanej. Podczas gdy tryb Record – umożliwiający nagrywanie kolejnych, krótkich ramek i dowolne odtwarzanie ich w celu analizy – jest naprawdę przydatny oraz intuicyjny, to w przypadku trybu Ultra Acquire (którym Rigol chwali się bardzo intensywnie) można mieć pewne zastrzeżenia co do użyteczności niektórych trybów prezentacji przebiegów (np. Perspective – **rysunek 15**). Nie ulega jednak wątpliwości, że pozostałe rodzaje wizualizacji mogą istotnie ułatwić debugowanie urządzeń analogowych i cyfrowych – w opinii autora najbardziej przydatne okażą się tryby Waterfall (**rysunek 16**), Adjacent (**rysunek 17**), Overlay (prezentujący przebiegi w sposób

Rysunek 11. Doskonałe parametry torów analogowych oscyloskopu umożliwiają nawet bezpośrednia wizualizację poziomów kwantowania sygnału z generatora arbitralnego (akwizycja w trybie normalnym z próbkowaniem 4 GSps, podstawa czasu równa 200 ns/div)

Rysunek 12. Sygnał z rysunku 11 podczas akwizycji w trybie uśredniania

Rysunek 13. Tryb persistence w połączeniu z barwnym obrazowaniem statystyki sygnału daje ogromne możliwości podczas debuggowania sygnałów analogowych, jak i cyfrowych

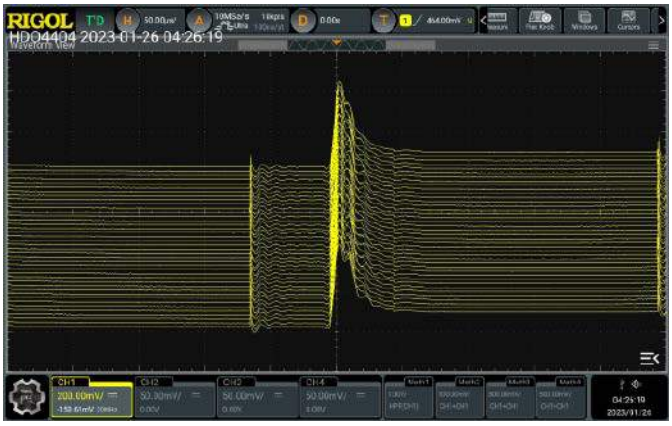
Rysunek 14. Dwa sygnały wyświetlane w trybie reprezentacji barwnej. Po lewej stronie ekranu widoczne dodatkowe znaczniki numerów kanałów

Rysunek 15. Akwizycja Ultra Acquire z prezentacją zapisów w trybie Perspective

eprasa.pl e2be9d43e0

zbliżony do funkcji persistence w trybie bez timeoutu, czyli nieskończonego nakładania kolejnych ramek na siebie) oraz Mosaic (**rysunek 18**).

Oscyloskop umożliwia automatyczne pomiary wszystkich najważniejszych parametrów amplitudowych oraz czasowych. Ukłonem w stronę analogowców jest niezwykle przydatna funkcja pomiaru slew rate, zwalniająca użytkownika z samodzielnego przeliczania czasu narastania lub opadania sygnału w skali określonego przedziału napięcia (choć rzecz jasna i takie pomiary można znaleźć w menu). Wszystkie funkcje pomiarowe zostały bardzo solidnie opisane za pomocą intuicyjnych, jednoznacznych piktogramów, a tam, gdzie to konieczne – także wzorów matematycznych. Niektóre funkcje radzą sobie lepiej ze słabymi sygnałami (słabymi w sensie stosunku amplitudy do nastawy V/div), inne nieco gorzej. Przykładowo – pomiar napięcia międzyszczytowego (Vpp) zachowuje dosyć dobrą



Rysunek 16. Akwizycja Ultra Acquire z prezentacją zapisów w trybie Waterfall

Rysunek 17. Akwizycja Ultra Acquire z prezentacją zapisów w trybie Adjacent

Rysunek 18. Akwizycja Ultra Acquire z prezentacją zapisów w trybie Mosaic

dokładność dla sygnałów „zajmujących" co najmniej jedną działkę pionową, zaś pomiar AC RMS radzi sobie nawet w przypadku przebiegów, których obwiednia mieści się w około 1/4 działki pionowej.

Wbudowana funkcja woltomierza w zasadzie powtarza to samo, co można uzyskać za pomocą odpowiednich pomiarów automatycznych (np. AC RMS). Jedyną dodatkową funkcją, która w pewnych sytuacjach (np. podczas pierwszego uruchamiania prototypu nowego układu) może być przydatna, jest alarm dźwiękowy, włączany po przekroczeniu przez sygnał jednego z określonych progów napięcia (minimalnego lub maksymalnego).

Do zakochania jeden krok...

Większość błędów wykrytych przez autora podczas testów (prawdopodobnie z wyjątkiem części problemów związanych z offsetem i biasem) wynika z niedociągnięć programowych. A jak wiadomo, te można poprawić najłatwiej, czy też – wyrażając się nieco precyzyjniej – znacznie łatwiej, niż błędy sprzętowe (których usunięcie w urządzeniach obecnych już na rynku wiązałoby się z dramatycznymi kosztami, ponoszonymi przez producenta). Nie sposób przewidzieć, jakie miejsce na rynku zajmą serie DHO4000 oraz DHO1000, trudno jednak nie zgodzić się ze stwierdzeniem, że błędy programowe zdają się wynikać z pośpiechu i braku wystarczających testów przed rynkową premierą. Najprawdopodobniej jest to skutek oddechu konkurencji, który Rigol czuje na plecach (firma Siglent jest wszak największym i w zasadzie jedynym liczącym się konkurentem w środkowym segmencie rynku oscyloskopów, zarówno pod względem cen, jak i poziomu dopracowania urządzeń) – niemal w tym samym czasie, co Rigol (czyli w połowie roku 2022), Siglent także zaprezentował bowiem swoje pierwsze 12-bitowe rozwiazanie.

Oscyloskopy z serii DHO4000 to niewątpliwie sprzęt dla tych użytkowników, którzy doskonale wiedzą, czego szukają w nowoczesnym urządzeniu pomiarowym i… nie liczą na produkt do wszystkiego. Dość przeciętna częstotliwość próbkowania (i to przy podziale pomiędzy wszystkie cztery kanały), obecność dość licznych bugów programowych czy też pewnie niedociągnięcia pod względem użyteczności – w opinii autora – nie są jednak w stanie przekreślić ogromnych zalet i potencjału, jakie daje dobrze zaprojektowany hardware urządzenia. Brakuje jedynie dopracowania firmware'u i ewentualnie delikatnej optymalizacji pod względem responsywności GUI.

Dlatego też z pewnością wielkim błędem byłoby skreślenie linii DHO4000 (czy też DHO1000) już na starcie. A takie właśnie nastroje można wyczuć wśród niektórych wyznawców Siglenta, którzy za wszelką cenę próbują udowodnić wyższość tej marki nad Rigolem w każdym możliwym aspekcie. Tymczasem rzetelnie podchodzący do tematu użytkownicy dobrze wiedzą, że podczas wyboru sprzętu nie liczy się tylko i wyłącznie logo widoczne na panelu czołowym, a często nawet katalogowe parametry, różniące się nieznacznie na korzyść którejś ze stron. Każda firma zalicza wzloty i upadki, które w ogólnym rozrachunku wspólnie budują postęp technologiczny i stymulują konkurencję do przekraczania kolejnych granic możliwości pomiarowych, zaś Rigol od lat bardzo dobrze radzi sobie z podnoszeniem poprzeczki w tym trudnym (bo budżetowym) segmencie rynku. Ponadto, w rzeczywistości w grę wchodzą także inne aspekty – liczba i rodzaj funkcji pomiarów automatycznych (a także ich rzetelność), wygoda codziennej pracy, czy nawet niuanse pomiarowe, ujawniające się w pewnych specyficznych przypadkach. I właśnie świadomi tego wszystkiego odbiorcy zdecydują się na wybór rozwiązania, które naprawdę spełni ich potrzeby – bez obrażania się na jedną markę czy faworyzowania innej. Warto też dodać, że kampania reklamowa Rigola mocno promuje najnowsze oscyloskopy, dlatego możemy mieć nadzieję, że niebawem pojawią się kolejne, ulepszone wersje firmware'u.

Jak to mówią – jeśli kocha, to poczeka. Zdaniem autora, na sprzęt o takim potencjale i w tak atrakcyjnej cenie zdecydowanie warto nieco poczekać. I z pewnością można (a nawet warto) się w nim zakochać – o ile tylko inżynierowie Rigola sumiennie odrobią swoje zadanie domowe.

inż. Przemysław Musz, EP

eprasa.pl e2be9d43e0

Ochrona przed ESD na stanowisku montażu manualnego

Dynamiczny rozwój branży elektronicznej w ostatnich dekadach sprawił, że elektryczność statyczna stała się istotnym czynnikiem mającym negatywny wpływ na jakość oferowanych produktów i usług. Ponieważ nowoczesne komponenty półprzewodnikowe są coraz bardziej podatne na uszkodzenia na skutek wyładowań elektrostatycznych, stanowisko do pracy z elektroniką musimy wyposażyć w odpowiednio dobrane środki ochrony przed ESD (Electrostatic Discharge).

Bez względu na to, czy chcemy przygotować pojedyncze stanowisko, czy też organizujemy większy obszar zwany strefą EPA (*Electrostatic Protected Area*), bazujemy na tych samych podstawach. Wymogi dotyczące wyposażenia ESD zawarto w normie PN-EN 61340-5-1: Ochrona przyrządów elektronicznych przed elektrycznością statyczną – Wymagania ogólne.

Elementy stanowiska

Powierzchnia robocza do pracy z elektroniką wrażliwą na ESD musi zapewniać łagodny upływ ładunków do uziemienia. Choć stoły do strefy EPA mają specjalne blaty o właściwościach elektrostatycznie rozpraszających, powszechnie stosuje się miękkie maty stołowe uziemiane przewodem do bolca w gniazdku. Zgodnie z normą rezystancja do uziemienia powinna mieć wartość poniżej 1 GΩ. Wymóg ten dotyczy również półek i szuflad stosowanych do przechowywania komponentów elektronicznych.

Niezwykle **ważnym elementem stanowiska objętego ochroną przed ESD jest system podłogowy** zdolny do odprowadzania ładunków elektrostatycznych z personelu wyposażonego w obuwie ESD. Eliminuje się w ten sposób zagrożenia związane z wyładowaniami od ciała ludzkiego (tzw. model HBM). W przypadku stanowiska wyspowego najprostszym rozwiązaniem jest zastosowanie maty podłogowej, którą uziemia się w podobny sposób, jak matę stołową. Wielkość maty podłogowej powinna umożliwić odprowadzanie ładunków również z wyposażenia mobilnego, które może znaleźć się przy stanowisku. Przykładem

eprasa.pl e2be9d43e0

może być wózek z kołami przewodzącymi, który służy do transportu pojemników z elementami czy magazynków na płytki PCB.

Przy pracy siedzącej obuwie ESD traci kontakt z podłogą, więc **konieczne jest stosowanie uziemienia poprzez opaskę na nadgarstek** i przewód spiralny, który podłącza się do specjalnej skrzynki uziemiającej instalowanej z reguły przy krawędzi stołu. Jeżeli chodzi o sprzęt do siedzenia, zwykłe krzesło będące źródłem pola elektrostatycznego powinno się zastąpić krzesłem ESD. Jest ono wykonane z materiałów elektrostatycznie rozpraszających, więc ładunki powstające na skutek elektryzacji przez tarcie zostają natychmiast odprowadzone poprzez przewodzące kółka do uziemionej maty podłogowej.

Rysunek 1. Przykład oznaczenia dla stanowiska ESD

Narzędzia i wyposażenie

Praca z elektroniką wrażliwą na ESD wymaga stosowania specjalistycznych narzędzi, co ma zapobiegać wyładowaniom według tzw. modelu izolowanego przewodnika. W przypadku profesjonalnych lutownic zadbano o uziemienie grotów, a narzędzia ręczne, takie jak pęsety, ucinaczki czy wkrętaki, mają rękojeści z materiałów przewodzących lub elektrostatycznie rozpraszających, więc są uziemione przez dłoń pracownika. Ramki lutownicze i uchwyty montażowe powinny być również wykonane z materiałów umożliwiających odprowadzanie ładunków.

Jeżeli w pobliżu elektroniki będą znajdowały się detale z tworzyw sztucznych, **warto na stanowisku zainstalować jonizator**. Urządzenie to eliminuje pola elektrostatyczne generowane przez izolatory oraz neutralizuje potencjały na elementach, których nie można uziemić. W ochronie przed ESD musimy przeciwdziałać indukowaniu się ładunków, dlatego w zasadzie każdy element standardowego wyposażenia ma swój antyelektrostatyczny odpowiednik. Bezpieczną inspekcję wizualną płytek PCB umożliwi lupa ESD z soczewką mającą powłokę elektrostatycznie rozpraszającą. Niezbędną na stanowisku dokumentację możemy natomiast przechowywać w specjalnych segregatorach wypełnionych koszulkami z nieelektryzującej się folii.

Optymalnie wyposażone stanowisko ESD powinno być oczywiście czytelnie oznakowane (**rysunek 1**). **Skuteczność wdrożonych środków ochrony należy regularnie weryfikować** odpowiednimi pomiarami.

Dariusz Basiński
LAFOT elektronik

REKLAMA

eprasa.pl e2be9d43e0

Ergonomiczne stanowisko pracy dla elektronika

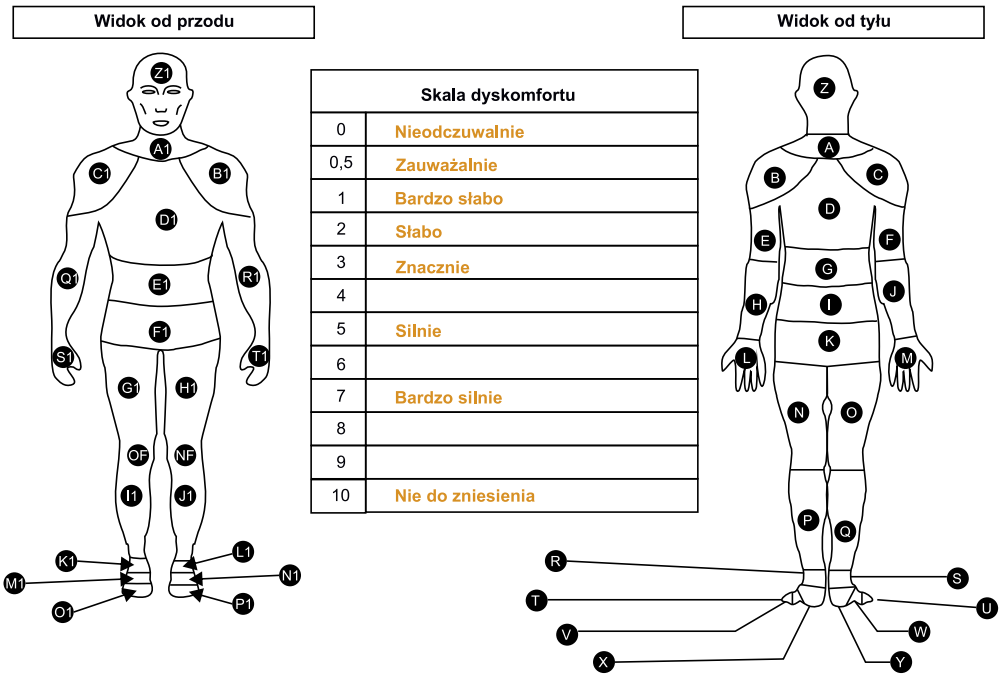
Elektronik nie może wykonywać swojej pracy bez odpowiednio przygotowanego oraz wygodnego stanowiska pracy. Stwierdzenie to jest oczywistością, jednak ergonomia miejsca pracy często jest spychana na dalszy plan. Zadbanie o bezpieczeństwo i wygodę stanowisk, na których spędzamy często większość dnia, to nie tylko metoda zadbania o siebie samego, ale także sposób na zwiększenie wydajności i skuteczności pracy.

Ergonomia to w dużym uproszczeniu nauka o dostosowywaniu miejsca i narzędzi pracy do anatomicznych i psychofizycznych możliwości i potrzeb człowieka. Dużo mówi się o ergonomii stanowisk do pracy z komputerem, jednak już mniej materiałów poświęconych jest np. warsztatowi elektronicznemu, na którym skupimy się w tym artykule.

Mówiąc o stanowisku pracy dla elektronika, na myśli możemy mieć szereg różnych miejsc pracy, od stanowiska montażowego na linii produkcyjnej, gdzie instalowane i lutowane są elementy elektroniczne lub łączone są moduły i urządzenia, przez stanowisko testera czy serwisanta urządzeń elektronicznych, po stanowisko projektanta, który uruchamia i bada prototypy urządzeń elektronicznych. Każde z tych stanowisk ma nieco inne wymagania dotyczące ergonomii, a w szczególności tego, co musi się na takim stanowisku znaleźć. Z uwagi na doświadczenia autora, poniższy tekst skupia się raczej na stanowiskach serwisowych i uruchomieniowych, aczkolwiek duża część zawartych w artykule rekomendacji dotyczy również stanowisk produkcyjnych (np. ochrona ESD czy oczyszczanie stanowiska z oparów powstających przy lutowaniu).

Ergonomia i bezpieczeństwo

Produkcja elektroniki często wymaga małych partii i dużej różnorodności produktów, które szybko się zmieniają w czasie, dlatego wysoce zautomatyzowane systemy produkcyjne nie są często używane do wytwarzania takich produktów. Procesy produkcji często wymagają ręcznego montażu, co może potencjalnie prowadzić do zaburzeń układu mięśniowo-szkieletowego związanych z pracą u personelu montażowego. W dalszej części omówiono aspekty, istotne przy wdrażaniu programów zapewniania ergonomicznego miejsca pracy w celu zapobiegania zaburzeń pracy układu mięśniowo-szkieletowego.



Skala dyskomfortu	
0	Nieodczuwalnie
0,5	Zauważalnie
1	Bardzo słabo
2	Słabo
3	Znacznie
4	
5	Silnie
6	
7	Bardzo silnie
8	
9	
10	Nie do zniesienia

Rysunek 1. Skala Corletta i Bishopa stosowana do oceny fizycznego dyskomfortu poszczególnych części ciała

eprasa.pl e2be9d43e0

Obejmuje to ocenę stanowisk pracy w zakresie ergonomii, wytyczne dotyczące projektowania rzeczonych stanowisk oraz szkolenia.

Przemysł produkcji elektroniki zwykle obejmuje procesy małych partii i różnych produktów, które szybko się zmieniają w czasie. Ta zmienność produktów wynika ze stale rosnących wymagań klientów. W konsekwencji producenci są zmuszeni do regularnego szkolenia operatorów, którzy wykonują wiele zadań i mają wiele obowiązków. Duża zmienność produktów sprawia, że koszty automatyzacji są wysokie. Główne powody takiego stanu są następujące:

- zautomatyzowana technologia wiąże się z dużą ilością programowania, co jest czasochłonne i wymaga specjalistycznych umiejętności;
- ludzie są elastyczni, wszechstronni i w naturalny sposób zdolni do wymiany informacji między sobą;
- ludzie mogą ręcznie podnosić i umieszczać komponenty o niemal dowolnej konstrukcji i wielkości. Maszyny nie mają tak dużej elastyczności, wymagają odpowiedniego przygotowania;
- ludzie i tak ostatecznie będą pełnili funkcję rezerwową dla maszyn;
- ludzie są zdolni do szybkiego uczenia się i dostosowywania istniejącej wiedzy do nowych sytuacji.

Przewiduje się, że wolumen produkcji sprzętu elektrycznego i komputerowego będzie sukcesywnie rósł w najbliższych latach. To stwarza potrzebę szczególnego przywiązywania wagi do wpływu miejsca pracy na ludzi zatrudnionych w sektorze elektronicznym. Potencjalnymi czynnikami ryzyka związanymi z ręcznym montażem elementów elektronicznych są: jego powtarzalność, miejscowe naprężenia mechaniczne, forsowny wysiłek i niewłaściwa postawa podczas pracy. Wszystkie te elementy prowadzą do dyskomfortu przede wszystkim dla dłoni, nadgarstków, barków, szyi i górnej części pleców i potencjalnie prowadzą do zaburzeń mięśniowo-szkieletowych związanych z pracą, głównie tych obszarów. Odpowiednia organizacja i projektowanie miejsca pracy pozwala ustrzec się przed tymi problemami.

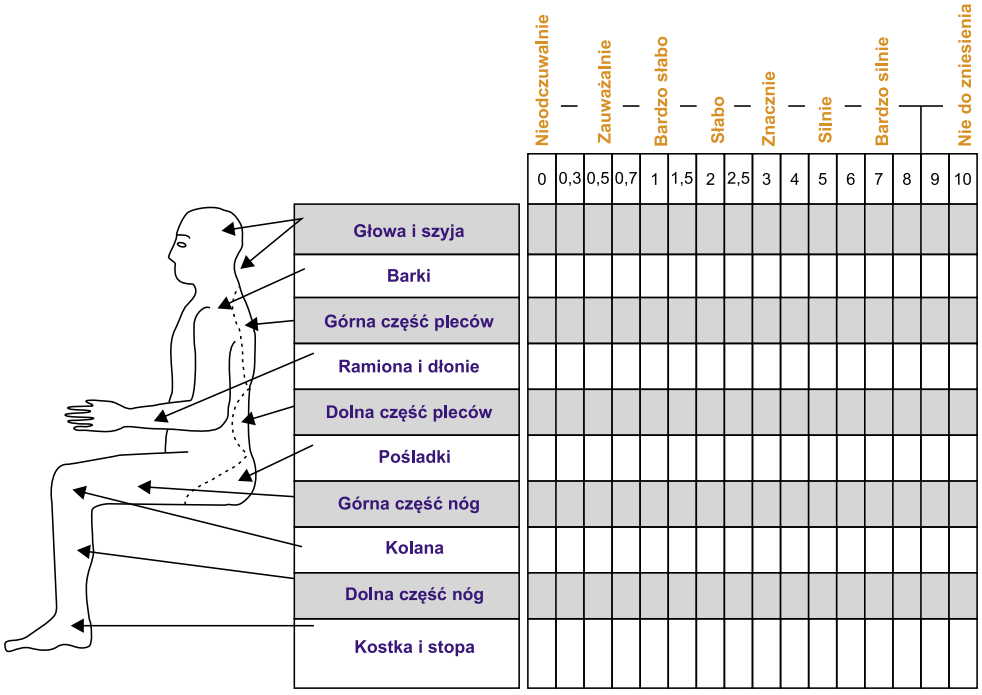
Osobną kwestią w zakresie konstrukcji stanowiska pracy jest zapewnienie bezpieczeństwa pracownikom, którzy na stanowisku mogą być narażeni m.in. na opary powstające podczas lutowania, pozostałości topnika czy inną chemię używaną w procesie (rozpuszczalniki, kleje, lakiery, żywice itp.). Projektując stanowisko robocze dla elektronika, koniecznie trzeba zadbać o zapewnienie odpowiedniego wyciągu i wentylacji, najlepiej w sposób, który nie będzie utrudniał pracy na takim stanowisku. W dalszej części artykułu omówiono ogólnie metody i narzędzia, które można zastosować we wdrażaniu ergonomicznych i bezpiecznych stanowisk pracy oraz które pozwolą pracownikom nie tylko na wydajną pracę, ale także ochronią ich przed schorzeniami wynikającymi z narażenia na niebezpieczne czynniki czy też niezdrową pozycją podczas pracy.

Na co zwrócić uwagę w zakresie ergonomii

W zakresie ergonomicznej organizacji stanowiska pracy kluczowe są dwa aspekty: dopasowanie stanowiska do pracownika/pracowników oraz iteracyjne podejście do optymalizacji ergonomii. W tym pierwszym aspekcie pomocne są dane statystyczne, szczególnie jeśli mamy do czynienia z większą grupą osób. Stanowisko pracy, jeśli chodzi o wymiary fizyczne (np. wysokość siedziska, wielkość blatu itp.), musi być dopasowane do średniej populacyjnej i zapewniać zakres regulacji pokrywający odpowiednią część danej populacji. O wiele prościej jest w sytuacji, w której stanowisko dostosowujemy do jednej, konkretnej osoby – siebie. W takim wypadku wystarczy tylko dopasować pozycje elementów do siebie, popracować na takim stanowisku i następnie powtórzyć operację…

Rysunek 2. Skala Borga CR-10

Iteracyjny charakter procesu optymalizacji polega na monitorowaniu wpływu stanowiska pracy na samopoczucie pracowników. Pierwszymi objawami urazów narządu ruchu są zmęczenie, ból lub dyskomfort w kończynach czy rejonach ciała. Do oceny dyskomfortu ciała przed i po optymalizacji ergonomii stanowiska stosuje się typowo tzw. skalę dyskomfortu ciała Corletta i Bishopa (**rysunek 1**) lub skalę Borga CR-10 (**rysunek 2**). Wypełniane są ankiety, które składają się z mapy ciała i 10-punktowej skali numerycznej (**rysunek 3**). Dyskomfort ocenia się na początku i na końcu zmiany, tak aby można było obliczyć poziom przyrostu dyskomfortu podczas pracy. Na przykład, jeśli montażyści zgłosili ból szyi na poziomie 7 na koniec zmiany roboczej i wynik 2



Rysunek 3. Przykładowa ankieta do oceny dyskomfortu pracy

eprasa.pl e2be9d43e0

na początku zmiany roboczej, to wynik zmiany dyskomfortu podczas pracy był równy 5 w tym obszarze. Obliczenie całkowitego wpływu stanowiska na ciało uzyskuje się poprzez zsumowanie różnych obszarów nasilenia dyskomfortu.

Po zidentyfikowaniu kluczowych dolegliwości, korzystając z odpowiednich ankiet, można wprowadzić działania naprawcze. Takie działania mogą się rozciągać na wielu płaszczyznach – od wprowadzenia rotacji zadań w czasie pracy (co zmienia obciążenie powtarzalnymi ruchami i monotonią) przez zastosowanie dodatkowych powiększalników czy lup, jak pokazano na **fotografii 1,** lub zupełną zmianę organizacji przedmiotów na stanowisku pracy. Nie ma prostego poradnika, który pozwala na automatyczne działanie – na zasadzie „jeśli dyskomfort karku jest większy niż X, zrób Y" itd. Trzeba się zdać na zdrowy rozsądek lub, w trudniejszych przypadkach, specjalistów (fizjologów, ortopedów, rehabilitantów itp.), ale przede wszystkim ważne jest monitorowanie zmian dyskomfortu. Po wdrożeniu zmian należy ponowić badanie dyskomfortu różnych obszarów ciała, aby sprawdzić, czy wdrożona zmiana poskutkowała poprawą ergonomii.

Organizacja warsztatu

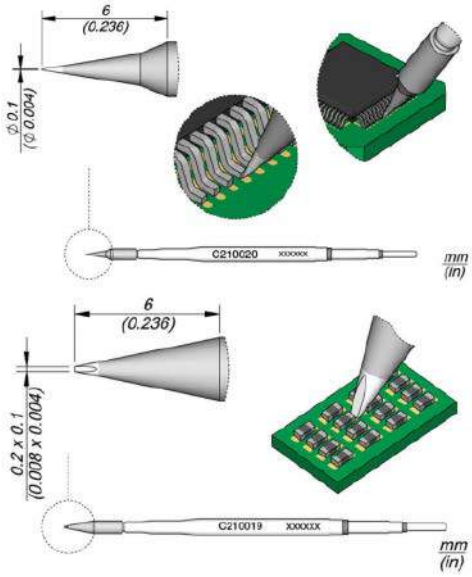
Jeśli chodzi o ogólną budowę warsztatu, to stanowisko elektronika nie różni się zbytnio od stanowisk biurowych. W związku z tym nie będziemy skupiać się na optymalnym doborze mebli, krzeseł itd., gdyż temat ten jest szeroko poruszany w literaturze dotyczącej higieny pracy itp. (a ponadto tematyka ta została ogólnie poruszona w artykule dotyczącym doboru elementów stanowiska komputerowego). W budowie warsztatu elektronicznego występuje jednak kilka czynników, które rzadko spotyka się w innych miejscach pracy, dlatego warto przyjrzeć się bliżej kilku aspektom.

Stanowisko do lutowania

W temacie specjalistycznego stanowiska do lutowania trzeba omówić dwa aspekty – organizację komfortowego stanowiska, które nie będzie męczące czy niewygodne dla użytkownika oraz zadbanie o zapewnienie użytkownikowi bezpieczeństwa. Zagadnienia te poniekąd się przenikają – komfortowe stanowisko jest także elementem bezpieczeństwa, gdyż nie naraża użytkownika na urazy, spowodowane np. wymuszoną pozycją.

Centralnym punktem stanowiska do lutowania jest, oczywiście, lutownica/stacja lutownicza. Obecnie najczęściej jest to stacja z lutownicą kolbową. Aby posługiwanie się lutownicą było wygodne, należy umieścić stojak do lutownicy mniej więcej w zasięgu wyprostowanej ręki (na pewno nie dalej), a samą stację tak, by łączący ją z kolbą przewód nie zaczepiał o nic na biurku. Jeśli chodzi o samą lutownicę, kluczowym aspektem jest dobranie wielkości i kształtu grota do lutowanych

Fotografia 1. Przykładem optymalizacji ergonomii na stanowisku pracy jest zastosowanie lupy powiększającej na wygodnym w użyciu ramieniu

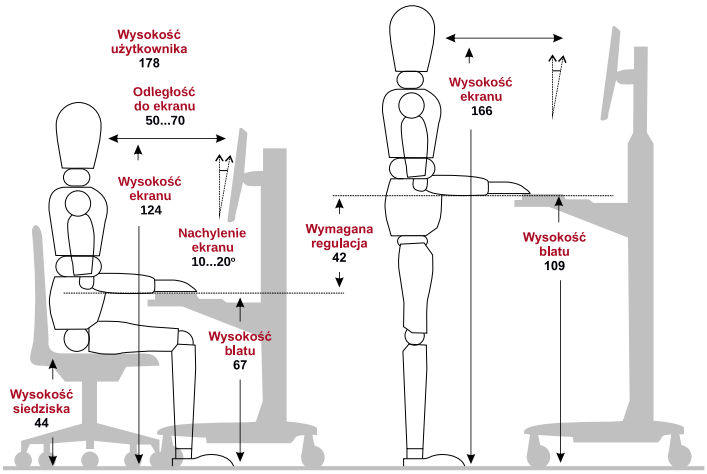


Rysunek 4. Różne rozmiary grotów do lutownic kolbowych

elementów. Ogólna zasada mówi, że im drobniejsze są elementy i ich wyprowadzenia, tym drobniejszy musi być grot (**rysunek 4**). Dodatkowo istnieje szereg specjalizowanych końcówek grotów (np. minifala i inne, pokazane na **fotografii 2**). Zapewni to precyzyjne i szybkie lutowanie, co z kolei pozwoli przyspieszyć pracę i zmniejszyć ilość czasu spędzanego w wymuszonej pozycji podczas lutowania.

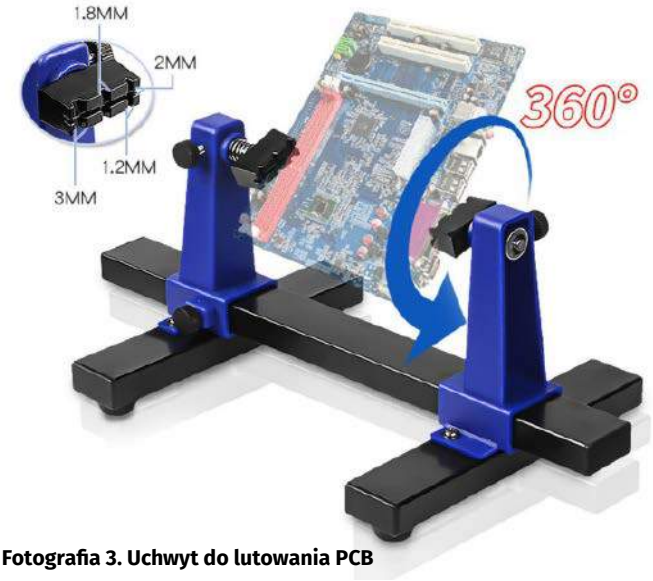
Aby dodatkowo zredukować powstawanie zaburzeń mięśniowo-szkieletowych powodowanych pracą, należy ograniczyć czas przebywania w wymuszonych pozycjach, jak i zoptymalizować samą pozycję pracy. Dokonać można tego za pomocą wielu środków. W pierwszej kolejności istotne jest dobranie biurka i krzesła/fotela o wysokości odpowiedniej

Fotografia 2. Groty o wyspecjalizowanych kształtach

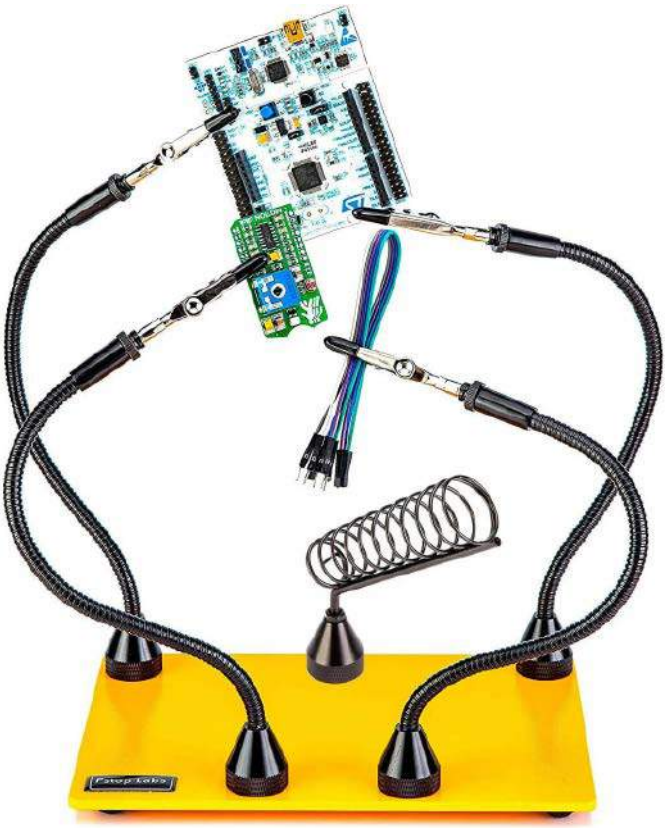


Rysunek 5. Dobranie biurka i fotela do wysokości pracownika

eprasa.pl e2be9d43e0



Fotografia 3. Uchwyt do lutowania PCB



Fotografia 4. Uchwyt uniwersalny z krokodylkami i gęsimi szyjkami

Fotografia 5. Prosty system do wyciągu oparów lutowniczych

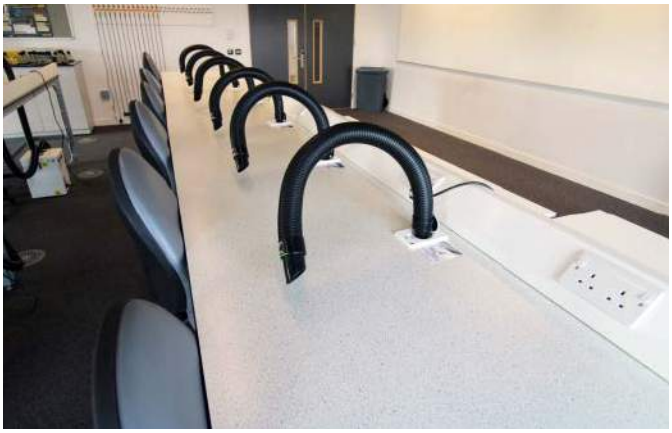
do wysokości pracownika (**rysunek 5**). Zbyt wysoki fotel/za niskie biurko powodują pracę ze zgiętym karkiem czy też nienaturalną pozycję ramion i łokci.

Dodatkowo, oprócz doboru odpowiednich mebli, w przypadku lutowania dobrze jest sięgnąć po poprawiające ergonomię elementy do chwytania lutowanych płytek drukowanych. W najprostszym przypadku lutowana płytka drukowana leży po prostu na biurku, a najlepiej na macie elektrostatycznej (o czym za chwilę). Nie jest to jednak najbardziej ergonomiczne rozwiązanie. Wiele mogą znaczyć tutaj osobiste preferencje użytkownika stanowiska, ale autor artykułu preferuje uchwyty takie, jak pokazany na **fotografii 3**. Pozwala on na pochylenie płytki podczas lutowania, przekręcanie jej i przemieszczanie przy niemalże zerowym wysiłku. W takim uchwycie można zamontować niemal każdą płytkę drukowaną, niezależnie od grubości itp. a jedynym problemem, jaki może się pojawić, są elementy, umieszczone blisko krawędzi PCB. Alternatywnym systemem trzymania PCB podczas pracy są różne uchwyty, montowane na gęsich szyjkach, jak pokazano na **fotografii 4**. O ile rozwiązanie to sprawdza się nieźle do trzymania mniejszych PCB, to z uwagi na ograniczoną sztywność gęsich szyjek utrudnione jest utrzymanie cięższej płytki drukowanej czy jakiekolwiek czynności, wymagane przyłożenia siły do laminatu. Z drugiej strony tego rodzaju uchwyty doskonale sprawdzają się przy utrzymywaniu sond pomiarowych itp. podłączonych do testowanego prototypu.

Na bezpieczne stanowisko do lutowania składa się również wyciąg, którego zadaniem jest usuwanie oparów powstających podczas tej czynności. Chodzi tutaj głównie o opary topnika, ale także inne zanieczyszczenia, jakie uwalniają się podczas podgrzewania PCB itp. Na rynku dostępnych jest wiele różnych rozwiązań, od prostych wentylatorów, które rozpraszają opary (**fotografia 5**), czasami filtrując je przez proste filtry, poprzez bardziej skomplikowane odciągi oparów, które wyposażone są w elastyczny przewód, który ustawia się nad polem roboczym (**fotografia 6**) i zestawy filtrów (HEPA, węgiel aktywny itp.), aż po profesjonalne systemy wyciągów, które usuwają zanieczyszczone powietrze z pomieszczenia (**fotografia 7**) i obsługiwać

Fotografia 6. Prosty system do wyciągu i filtrowania oparów lutowniczych

eprasa.pl e2be9d43e0



Fotografia 7. Wielostanowiskowy system do wyciągu i filtrowania oparów lutowniczych

Fotografia 8. Okulary powiększające pozwalają na zachowanie widzenia głębi

mogą jednocześnie wiele stanowisk pracy. W przypadku dobierania tego rodzaju urządzeń do naszego warsztatu, dobrze jest monitorować wpływ wybranego systemu na jakość powietrza. Najprościej można to zrobić mierząc dwa parametry powietrza: ilość zawieszonych pyłów (PM10, PM2,5) oraz lotnych związków organicznych (VOC).

Ostatnim elementem jaki składa się na stanowisko do lutowania jest optyka powiększająca. W zależności, od wielkości montowanych typowo układów, może to być lupa na statywie, okulary powiększające lub mikroskop stereoskopowy). W przypadku korzystania z okularów i mikroskopu, konieczne jest użycie urządzeń zapewniających widzenie stereoskopowe (**fotografia 8**) – bez tego utracimy możliwość widzenia głębi, która jest w zasadzie niezbędna przy lutowaniu. Koniecznie trzeba też dobrać układy, szczególnie mikroskopy, o odpowiednio dużej odległości pracy, które pozwolą na umieszczenie grota lutownicy pomiędzy obiektywem a PCB i zachowanie ostrości obrazu. Przy stosowaniu elementów powiększających, konieczne jest instalowanie ich na odpowiednich statywach. Z jednej strony, nie mogą one przeszkadzać w pracy, co na ogół oznacza, że punkt zaczepienia musi znajdować się dosyć daleko od samego mikroskopu. Z drugiej strony, tak długie ramie wysięgnika jest skłonne do drgań, a to jest problemem w układach o dużym powiększeniu – jeśli głębia ostrości naszego obiektywu wynosi < 1 mm, to chybotanie się statywu nawet o ułamek milimetra uczyni cały system niemalże nieużywalnym – każde dotknięcie mikroskopu powodować będzie, że obraz będzie wymagał ponownego wyostrzenia.

Urządzenia pomiarowe

Drugą, po lutowaniu, najczęściej realizowaną w warsztacie elektronika czynnością, jest prowadzenie pomiarów. Niezależnie, czy to pomiar prostym multimetrem, czy skomplikowana analiza z pomocą wielu urządzeń (analizatorów logicznych, spektrometrów, generatorów itp.) odpowiednia aranżacja stanowiska pracy pozwala na szybsze prowadzenie tych pomiarów. Głównym problemem w tym przypadku jest, na ogół, elastyczność stanowiska pracy (jak łatwo zmienić podłączenie urządzeń do badanej płytki) i czytelność wyników. Najwygodniej i najprościej jest umieścić urządzenia warsztatowe – układy pomiarowe, zasilacze, generatory itp. na nadstawkach na biurku lub półkach. Ma to dwie zalety – po pierwsze, urządzenia te zajmują znacznie mniej miejsca na biurku. Są one ułożone jedne nad drugimi, a w dodatku, w optymalnej sytuacji, są podniesione nad biurkiem, zwalniając miejsce do umiejscowienia uruchamianej elektroniki.

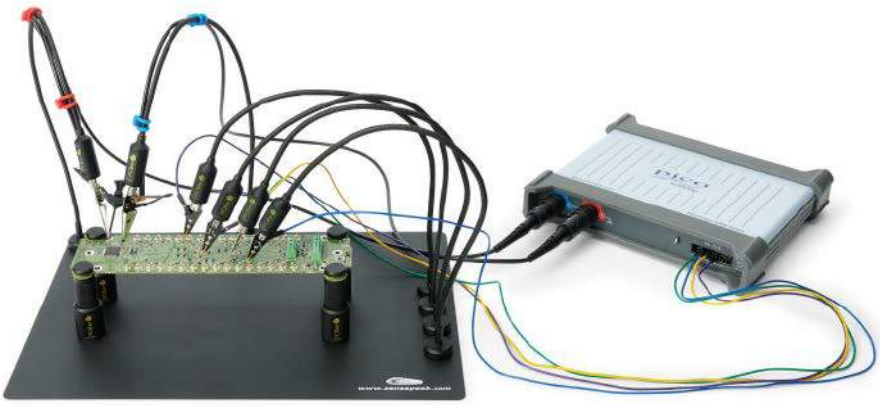
Drugą zaletą, jest umieszczenie wyświetlaczy na wysokości wzroku. Pozwala to na wygodne oglądanie wskazań mierników, czy konfigurowanie poszczególnych systemów. To gdzie, które urządzenia należy umieścić, jest wypadkową ergonomii i możliwości technicznych. Urządzenia najczęściej używane powinny znajdować się najbardziej użytkownika, w zakresie jego wzroku lub rąk. Dowolność pozycjonowania systemu ograniczona jest jednak maksymalną długością przewodów dla poszczególnych urządzeń – o ile zasilacz na ogół może znaleźć się kawałek dalej, to sondy oscyloskopowe, czy inne przewody, muszą być możliwie krótkie, lub nie mogą przekroczyć pewnej określonej, maksymalnej długości.

W przypadku bardziej rozbudowanych pomiarów, wymagających podłączenia do testowanego układu warto jest zaopatrzyć się w specjalne uchwyty do sond pomiarowych. W przypadku większości układów pomiarowych, istnieje możliwość podłączenia sond, wyposażonych w krokodylki, haczyki czy inne elementy mechaniczne, pozwalające dołączyć się do PCB czy urządzenia. Jeśli jednak musimy wykorzystać typowe, ostro zakończone sondy pomiarowe (np. w przypadku oscyloskopów czy pomiarów sygnałów o wysokiej częstotliwości) uchwyt, taki jak pokazany na **fotografii 9** jest bardzo pomocny i zwalnia nasze ręce do innych czynności.

Dodatkowym aspektem, wpływającym na ergonomię prowadzenia pomiarów w labie, jest przechowywanie nieużywanych elementów wyposażenia, kabli pomiarowych itd. Oprócz gwarantowania bezpiecznego przechowywania tych elementów, muszą one być łatwo dostępne. Typowo, w tym celu rekomenduje się np. użycie wieszaków do kabli, takich jak pokazany na **fotografii 10**. Ogromną zaletą takich wieszaków jest, oprócz wygody, fakt, ze przechowywane przewody nie są zwinięte, co przedłuża ich żywotność.

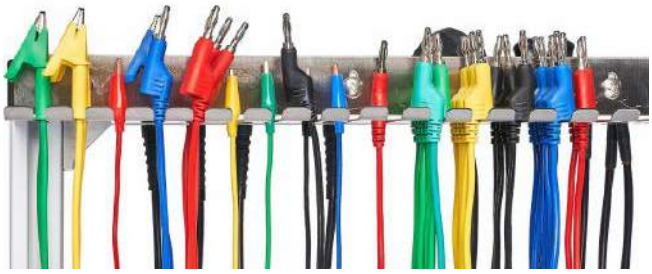
Prowadzenie przewodów

Z uwagi na to, że na biurku elektronika znajduje się dużo więcej urządzeń elektronicznych, niż na typowym biurku, znajduje się tam także o wiele więcej przewodów. Kable zasilające, przewody sieciowe, USB, GPIB oraz przewody pomiarowe… bardzo



Fotografia 9. Uchwyt do sond pomiarowych

eprasa.pl e2be9d43e0



Fotografia 10. Wieszak do kabli pomiarowych, do montażu na ścianie

Fotografia 11. Profesjonalne rozwiązanie do prowadzenia kabli na stanowisku pracy

łatwo taka instalacja może zamienić się w trudny do rozplątania makaron na biurku, szczególnie w przypadku przewodów, którymi często manipulujemy. Na rynku dostępnych jest wiele rozwiązań do zarządzania okablowaniem, większość z nich jest przeznaczona do komputerów, jednak nic nie stoi na przeszkodzie, by użyć ich do ułożenia przewodów w warsztacie elektronicznym, szczególnie tych zainstalowanych na stałe. Zależnie od uwarunkowań naszego warsztatu przewody możemy po prostu schować za urządzeniami, ułożyć w trasach kablowych czy wykorzystać specjalistyczne systemy (**fotografia 11**), jakie często są dostarczane wraz z meblami (lub można je do nich dokupić, jako opcje). Najprostszym rozwiązaniem jest spięcie przewodów za pomocą spinek/opasek kablowych lub trytytek. Dzięki temu wiązki kabli zajmują mniej miejsca i się tak nie plączą.

Ochrona przed ESD

Zabezpieczenie urządzeń, nad którymi pracujemy, przed wyładowaniami elektrostatycznymi, jest niemniej ważne, niż ochrona naszego zdrowia w warsztacie elektronicznym. Co więcej, porównanie do ochrony zdrowia nie jest nie na miejscu – wyładowania elektrostatyczne są w stanie uszkodzić czy wręcz zniszczyć delikatne układy elektroniczne, z którymi pracujemy

Fotografia 12. Mata i opaska ESD

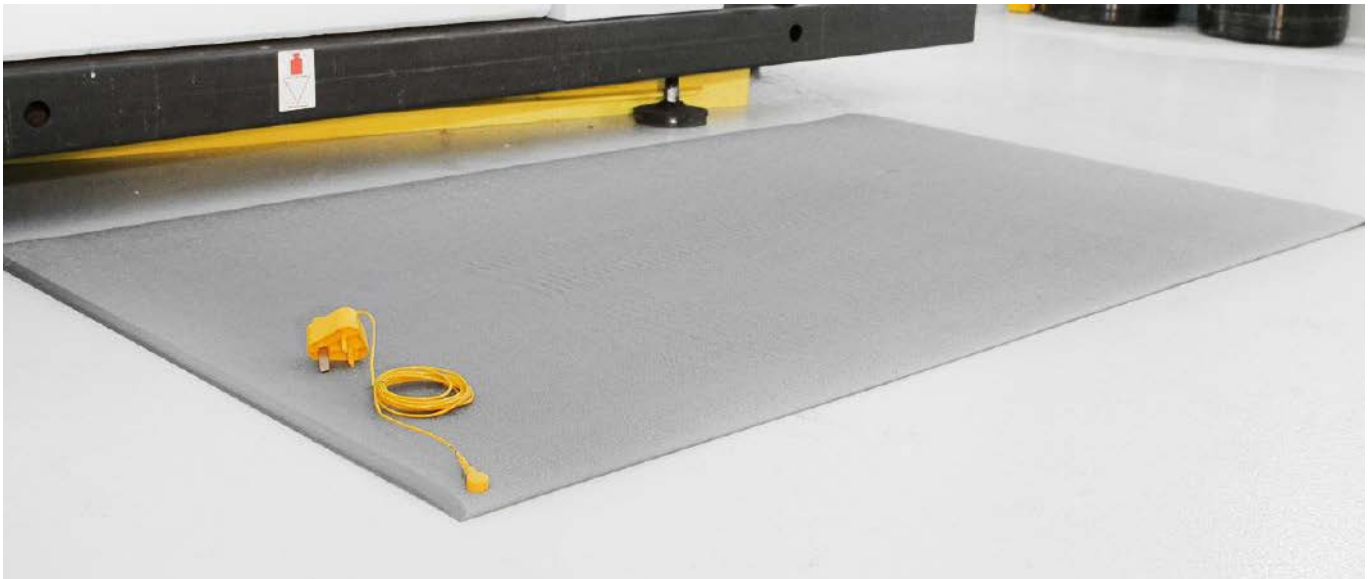
na takim stanowisku. Z tego też powodu, by zagwarantować sobie bezstresową pracę, zadbajmy również o odpowiednie zabezpieczenie naszego stanowiska pracy przed wyładowaniami elektrostatycznymi i bezpieczne odprowadzanie zbierających się ładunków do masy, z daleka od naszego układu – to nic trudnego.

Elektryczność statyczna to, patrząc ściśle, nierównomierne nagromadzenie ładunków elektrycznych na jakimś obiekcie, typowo na jego powierzchni. Taki ładunek gromadzić może się np. na powierzchni naszych dłoni. Najczęściej pochodzi on z elementów odzieży – ocierających się o siebie warstw, ale także innych elementów, z którymi wchodzimy czasami w kontakt. Ładunek, który się gromadzi w końcu musi się gdzieś uwolnić – dochodzi do wyładowania. Każdy z nas zna to z praktyki, gdy dotykając metalowej klamki czy podając komuś dłoń, czujemy wyładowanie elektryczne. Dla człowieka takie wyładowanie – mimo wysokiego napięcia (ok. 2 kV) – nie jest groźne. Co innego dla delikatnych struktur półprzewodnikowych. Takie wyładowanie, jeśli znajdzie ścieżkę rozładowania do ziemi przez wyprowadzenie układu scalonego może go uszkodzić.

Aby zabezpieczyć się przed skutkami wyładowań elektrostatycznych (ESD) w warsztacie elektronicznym stosuje się kilka prostych zabiegów. Po pierwsze należy wyprowadzić potencjał ziemi o niskiej impedancji – najprościej w postaci wyprowadzonego punktu podłączonego do przewodu ochronnego w gniazdku. Do tego punktu odprowadzać będziemy ładunki statyczne, które mogłyby uszkodzić układy, nad którymi pracujemy. Do odprowadzania ładunków konieczna jest przewodząca mata leżąca na biurku (która zapobiega zbieraniu się ładunków ma biurku i w otoczeniu układu) oraz opaska na dłoni operatora, która z kolei rozładowuje w bezpieczny sposób wszystkie ładunki, gromadzące się na człowieku. Oczywiście, oba te elementu podłączone muszą być do np. wyprowadzonego przewodu ochronnego (**fotografia 12**). Opcjonalnie, możemy rozłożyć

REKLAMA

eprasa.pl e2be9d43e0



Fotografia 13. Mata podłogowa ESD

przed stanowiskiem pracy matę przewodzącą na ziemi i ją również podłączyć do punktu uziemiającego (**fotografia 13**). Aby miało to sens, w takiej sytuacji, zaopatrzyć musimy się dodatkowo w specjalne buty zapewniające ścieżkę do przewodzenia pomiędzy naszym ciałem, a podłożem, gdzie znajduje się mata. Takie rozwiązanie jest wygodne szczególnie w środowiskach, gdzie zachować trzeba większą mobilność i np. przemieszczać się pomiędzy stanowiskami, co uniemożliwia noszenie opaski podłączonej przewodem do uziemienia.

Powyższe elementy oczywiście rozplanować trzeba w warsztacie w taki sposób, aby nie utrudniały one pracy. Mata przewodząca, która znajduje się na biurku musi być odpowiednio duża, aby pomieścić całe PCB czy urządzenie, nad jakim w danym momencie pracujemy. Opaska, która cały czas musi znajdować się na nadgarstku operatora, musi być podłączona odpowiednio długim i elastycznym przewodem z punktem uziemiającym, inaczej będzie ona ograniczała ruchy podczas pracy, co sprawi, że albo zmniejszy się komfort pracy na takim stanowisku, albo po prostu w pewnym momencie się jej pozbędziemy…

Fotografia 14. Stanowisko pracy o dużych możliwościach konfiguracji i dostosowania do aktualnych potrzeb

Podsumowanie

Budowa ergonomicznego stanowiska pracy dla elektronika, niezależnie czy ma być to uniwersalne stanowisko montażowe na linii produkcyjnej, domowy warsztat hobbysty czy stanowisko w serwisie sprzętu RTV, kieruje się podobnymi zasadami. Duża część optymalizacji stanowiska pracy polega na jego obserwowaniu i wprowadzaniu drobnych poprawek, aż osiągnięty zostanie optymalny poziom lub konieczne będzie wprowadzenie jakichś innych, większych zmian w stanowisku i cały cykl, iteracyjnego poprawiania ergonomii rozpocznie się od początku. Dlatego warto wybierać komponenty wyposażenia zaprojektowane w taki sposób, że pozwalają na konfigurację i dostrojenie do aktualnych potrzeb stanowiska, tak jak zestaw pokazany na **fotografii 14**.

Nikodem Czechowski, EP

Bibliografia:

1. Mahiyar F Nasarwanji, Victor L Paquet „*Ergonomics for electronics manufacturing*", 2006 IIE Annual Conference and Exhibition.
2. Mashallah Aghilinejada, Neda Soleimanvandy Azarb, Mohammad Sadegh Ghasemic, Naser Dehghana, Elahe Kabir Mokamelkhaha, „*An ergonomic intervention to reduce musculoskeletal discomfort among semiconductor assembly workers*", Work 54 (2016)
3. Karmegam Karuppiah, Mohd S. Salit, Mohd Y. Ismail, Napsiah Ismail, Shamsul B. M. Tamrin, „*Evaluation of Motorcyclist's Discomfort during Prolonged Riding Process with and without Lumbar Support*", Anais da Academia Brasileira de Ciências 84 (2012).
4. Andrew F. J. Abercromby, Michael L. Gernhardt, Harry Litaker, „*Desert Research and Technology Studies (DRATS) 2009: A 14-Day Evaluation of the Space Exploration Vehicle Prototype in a Lunar Analog Environment*" NASA Technical Publication NASA/TP-2012-217360 (2012).
5. Alireza Choobineh, Sayed Hamidreza Tabatabaei, Marzieh Tozihian, Fatemeh Ghadami „*Musculoskeletal problems among workers of an Iranian communication company*", Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine 11 (2007).
6. https://sensepeek.com/
7. https://www.thingiverse.com/thing:2678854

eprasa.pl e2be9d43e0

AdoptSMT – We keep your production running!

Kompleksowe wyposażenie stanowiska pracy elektronika

AdoptSMT jest jedną z najbardziej znanych w Europie firm w zakresie kupna/sprzedaży oraz wynajmu używanych systemów produkcyjnych: maszyn i kompletnych linii dla technologii SMT. Celem firmy na kolejne lata jest zdobycie wiodącej pozycji w Europie w sprzedaży materiałów eksploatacyjnych, części zamiennych i narzędzi do montażu powierzchniowego na płytkach drukowanych.

Grupa firm AdoptSMT istnieje od ponad 30 lat. Centrala firmy, zlokalizowana w Grödig koło Salzburga, wspierana jest logistycznie oraz technologicznie przez powiązane podmioty: AdoptSMT Germany w Paderborn, AdoptSMT Polska w Bąkowie koło Gdańska i w Krakowie, AdoptSMT UK, AdoptSMT Swiss oraz AdoptSMT France, w których pracuje łącznie 70 osób wyspecjalizowanej kadry.

W bogatej ofercie firmy, oprócz urządzeń do produkcji elektronicznej SMT, znaleźć można również części do maszyn renomowanych producentów: Siemens (Siplace), Fuji, Assembleon, Panasonic, Juki, Mydata, Hitachi, DEK, Ersa, Ekra, Soltec oraz różnorodną paletę podajników wraz z profesjonalnym serwisem. Od kilku lat grupa AdoptSMT jest autoryzowanym dystrybutorem marek: Hover-Davis, Count on Tools oraz Permalex. Ponadto AdoptSMT jest wyłącznym dystrybutorem maszyn i urządzeń DEDIPROG w Europie.

Stanowisko pracy

Jednym z ważniejszych elementów w procesie kompleksowego przygotowania produkcji jest stanowisko pracy. W szerokiej ofercie firmy AdoptSMT dostępne są profesjonalne rozwiązania, takie jak:

- niezawodne systemy lutownicze renomowanych marek,
- CCL – systemy znakowania, maskowania oraz etykietowania,
- AdoptSMT – materiały eksploatacyjne oraz narzędzia do łączenia taśm w najwyższej jakości,
- AdoptSMT – rolki czyszczące do sitodrukarek,
- AdoptSMT Splice CART – do wydajniejszego i wygodniejszego łączenia taśm,
- Nice Label – oprogramowanie oraz drukarki do etykiet,
- wózki do magazynowania podajników oraz magazynki płytek drukowanych.

Wyspecjalizowana kadra inżynierska udzieli wsparcia również w zakresie programowania i przepakowywania komponentów elektronicznych.

Stanowisko pracy elektronika wyposażone przez AdoptSMT stanie się profesjonalne, ergonomiczne oraz w pełni wspierające procesy technologiczne w każdej firmie.

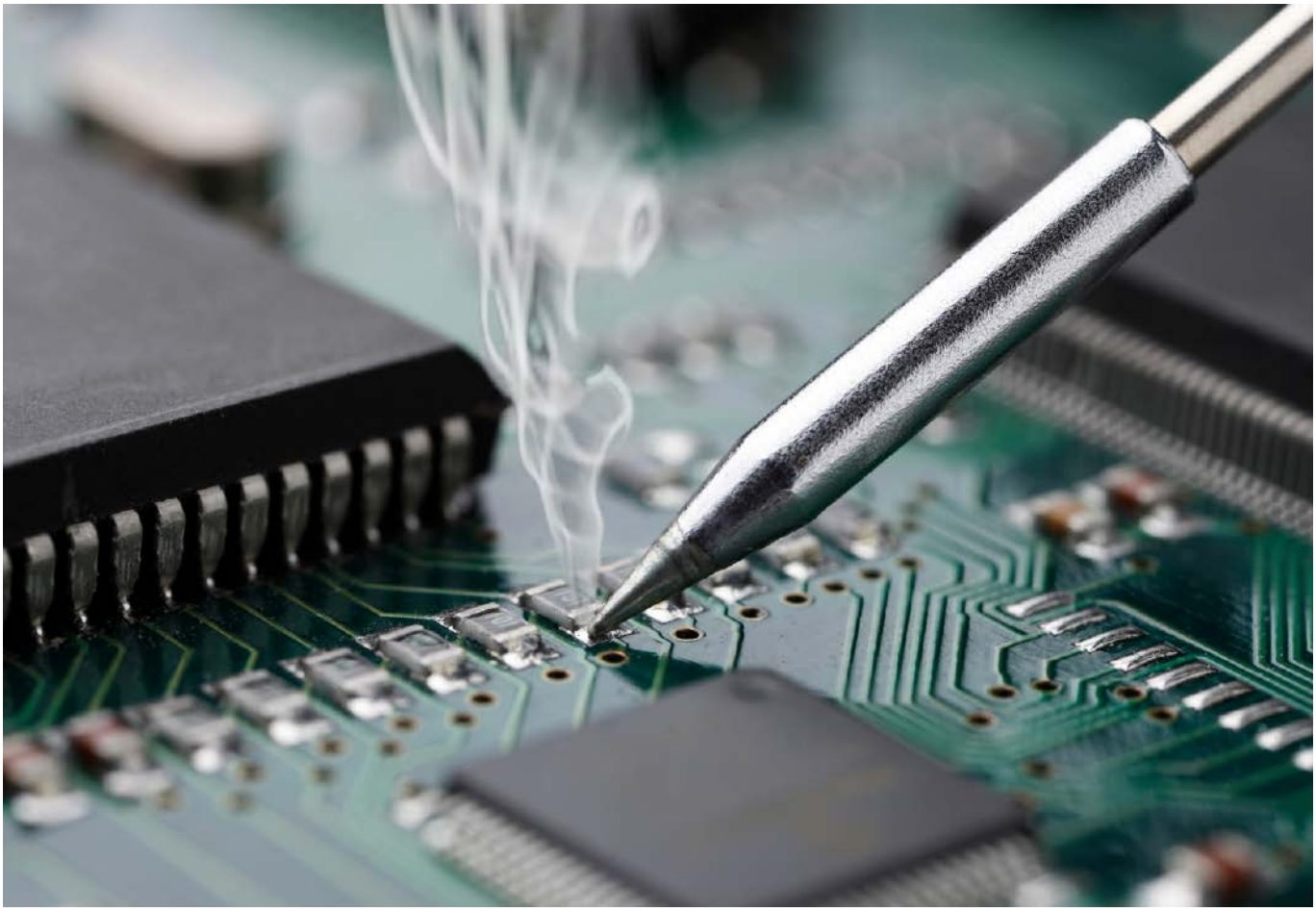
www.adoptsmt.com

The evolution of AdoptSMT

ADOPT SMT

www.adoptsmt.com / poland@adoptsmt.com

eprasa.pl e2be9d43e0



Kompaktowe zestawy lutownicze

Stacja lutownicza to podstawowe narzędzie pracy elektronika i dla większości użytkowników zakup na całe lata. Dobry sprzęt lutowniczy umożliwia montaż i demontaż układów o gęstym rastrze wyprowadzeń i pozwala wykonywać skomplikowane naprawy. Jednak sama lutownica to tylko połowa sukcesu. Aby w pełni wykorzystać jej możliwości, potrzeba kilku dodatkowych narzędzi i akcesoriów. Spośród wielu gotowych zestawów dostępnych na diolut.pl prezentujemy dwa, które zawierają stację lutowniczą wraz z niezbędnym osprzętem.

Fotografia 1. Zestaw ze stacją lutowniczą Yihua 937D (http://bit.ly/3nmPFCE)

Zestaw ze stacją lutowniczą Yihua 937D

Stacja lutownicza wyposażona jest w kolbę o dużej mocy, która może osiągać do 100 W, dzięki czemu szybko nagrzewa grot oraz potrafi skompensować straty ciepła podczas lutowania dużych komponentów. Zakres regulacji temperatury zawiera się w przedziale 200...480°C, więc jest odpowiedni niemal do wszystkich rodzajów spoiwa lutowniczego. Regulacji dokonujemy pokrętłem, a czytelny wyświetlacz LED pokazuje nastawioną lub aktualną temperaturę.

eprasa.pl e2be9d43e0

Fotografia 2. Zestaw ze stacją lutowniczą Yihua 853D (http://bit.ly/3M2v4xA)

Rączka stacji jest niewielka, lekka oraz wygodna w użyciu i kompatybilna z popularnym rodzajem grotów, które dostępne są w około 30 różnych kształtach. Konstrukcja zawiera zabezpieczenie ESD SAFE, które chroni elementy elektroniczne przed uszkodzeniem.

Nie bez znaczenia są kompaktowe wymiary urządzenia – na stole roboczym nie zajmie dużo miejsca, a w razie potrzeby jest łatwa w transporcie. W zestawie znajduje się oddzielna podstawka pod lutownicę, dzięki czemu możemy ustawić ją w wygodnym miejscu nawet z dala od samej stacji. Cały zestaw pokazano na **fotografii 1**, w jego skład wchodzą następujące komponenty:

- zestaw grotów: T-3C ścięty, T-I stożkowy ostry, T-B stożkowy, T-K ostrze, T-2.4D dłuto,
- pęseta ESD-15 VETUS zagięta, ostra, metalowa z uchwytem pokrytym specjalną powłoką poprawiającą jakość chwytu,
- odsysacz lutowniczy wspomagający proces rozlutowywania oraz lutowania,
- cyna 0,8 mm z topnikiem na szpuli,
- topnik w postaci żelu Flux RMA-223-UV 10 ml,
- poradnik lutowania w formacie PDF.

Zestaw ze stacją lutowniczą Yihua 853D

Stacja lutownicza Yihua 853D 5 A 30 V to urządzenie 3 w 1 – lutownica grotowa, lutownica hotair oraz zasilacz laboratoryjny. Jest to kompletny zestaw urządzeń do napraw sprzętu elektronicznego w profesjonalnym serwisie. Lutownica hotair została wyposażona w mocny element grzejny o mocy 800 W, gwarantujący szybkie nagrzewanie oraz trwałość grzałki. Umożliwia płynną regulację nawiewu oraz temperatury w zakresie 100...480°C. Została zaprojektowana do prac lutowniczych z takimi komponentami jak układy SOIC, QFP, PLCC, BGA, SMD.

Dodatkowa lutownica kolbowa o dużej mocy nagrzewa się bardzo szybko i płynnie kompensuje straty ciepła podczas lutowania, utrzymując stałą temperaturę grota. Jest wyposażona w zabezpieczenie ESD SAFE chroniące elementy elektroniczne przed uszkodzeniem i można w niej zastosować jeden z ponad 30 modeli grotów.

Obie lutownice mają wspólny, podwójny wyświetlacz LED, który podczas ustawiania pokazuje zadaną wartość temperatury, a po kilku sekundach obraz zamienia się na wskazanie aktualnej temperatury. Wbudowany zasilacz laboratoryjny oferuje regulację napięcia w zakresie 0...30 V i regulację prądu w zakresie do 5 A.

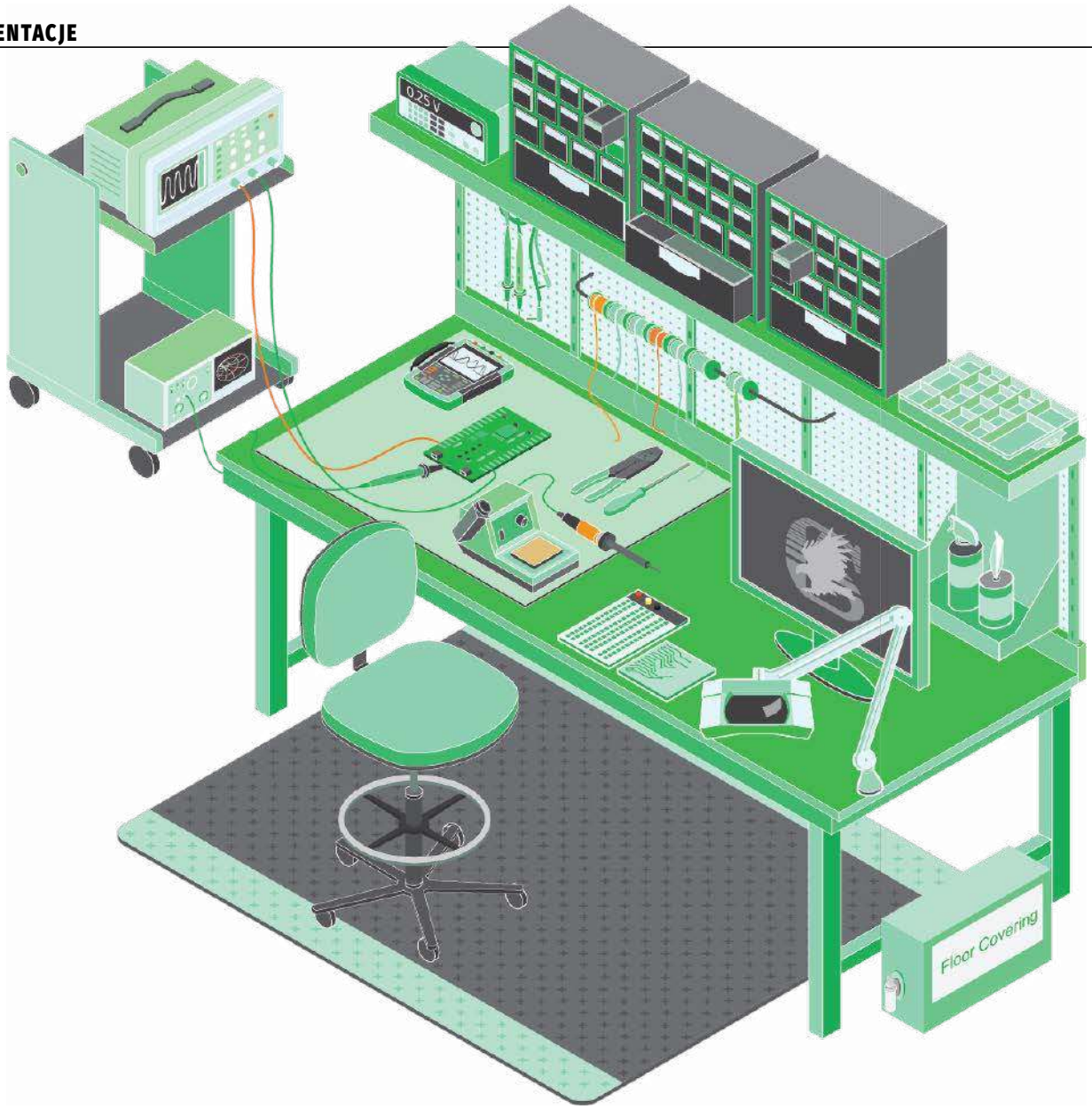
Cały zestaw pokazano na **fotografii 2**, w jego skład wchodzą następujące komponenty:

- zestaw 10 grotów 900M-T w wersji *Black* o podwyższonej żywotności (modele: 1C, 1,2D, 2C, 2,4D, 3C, 3,2D, 4C, B, I, K),
- zestaw 9 pęset VETUS ESD wykonanych z antymagnetycznej stali nierdzewnej klasy zegarmistrzowskiej. Dzięki gumowej powłoce pęsety pewnie trzymają się w dłoni,
- opaska uziemiająca zabezpieczająca przed wyładowaniami ESD (opaskę należy mieć zawsze założoną podczas kontaktu z elektroniką, a jej drugi koniec należy podłączyć do uziomu),
- mata ESD o wymiarach 45×30 cm, silikonowa, odporna na wysoką temperaturę do 500°C, z wyprofilowanymi przegródkami poprawiająca komfort pracy,
- uchwyt 4-ramienny do lutowania (trzecia ręka) z lupą i klipsem imadełkiem do blatu. Cztery elastyczne plastikowe ramiona można ustawić pod dogodnym kątem, dodatkowo w zestawie znajduje się lupa (3× powiększenie), która zagwarantuje komfortową pracę z drobnymi elementami,
- odsysacz lutowniczy elektryczny 40W ZD-211, sam podgrzewa cynę, przez co odsysanie jest łatwiejsze i efektywniejsze,
- cążki boczne (obcinaczki szczypce) PLATO 170,
- cyna 0,8 mm z topnikiem na szpuli,
- topnik w postaci żelu Flux RMA-223-UV 10 ml,
- WICK – specjalny miedziany splot (tzw. plecionka) ułatwiający wchłanianie cyny i czyszczenie padów lutowniczych,
- preparat na bazie alkoholu izopropylowego Kontakt IPA PLUS 100 ml, który doskonale usuwa wszelkie zanieczyszczenia po lutowaniu i nie pozostawia śladów ani plam,
- poradnik lutowania w formacie PDF.

DIOLUT
www.diolut.pl

REKLAMA

eprasa.pl e2be9d43e0



Jak zbudować idealne stanowisko pracy dla inżyniera

Skonfigurowanie optymalnego warsztatu elektronicznego wymaga przemyślanych działań niemal od samego początku. Nie jest to łatwe – nawet jeśli wyraźnie określimy wymagania i parametry, których oczekujemy, to zawsze istotnym ograniczeniem będzie budżet. W takiej sytuacji warto skorzystać z doświadczenia innych inżynierów i konstruktorów.

Istnieje kilkanaście typowych elementów wyposażenia, które można znaleźć na każdym stole warsztatowym przeznaczonym do elektroniki. Wiele z tych produktów oferują marki własne firmy Farnell – Multicomp PRO. Wśród nich dostępny jest duży wybór narzędzi warsztatowych odpowiednich dla twórców, nauczycieli i profesjonalnych inżynierów oraz szeroka gama akcesoriów w konkurencyjnych cenach. Dobór optymalnego zestawu ułatwia specjalna strona internetowa, która w przejrzysty i uporządkowany sposób pozwala zobaczyć pełną kolekcję. W artykule wskażemy kilka cennych wskazówek, które pomogą w wyborze oraz zaprezentujemy wybrane, najciekawsze komponenty.

Stół warsztatowy

Stół warsztatowy będzie bazą i podstawą stanowiska, przy którym zamierzamy pracować i przy którym spędzimy wiele godzin. Nie

eprasa.pl e2be9d43e0

Fotografia 1. Zestaw pojemników do montażu na ścianie, 6 dużych, 6 średnich i 12 małych pojemników (https://bit.ly/3LZ1MAh)

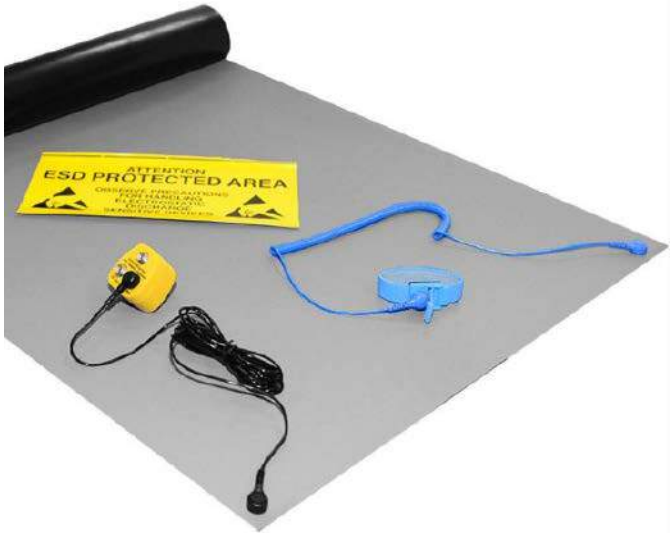
warto ograniczać się już na samym początku małym obszarem roboczym. Warto zdobyć biurko o szerokości 1,8 m i głębokości co najmniej 0,6 m. Umieszczenie więcej niż jednego projektu nie będzie okazjonalną koniecznością, ale nieuniknioną rzeczywistością.

Sam blat to dopiero początek, zawsze warto zamontować nad nim **zestaw pojemników** (**fotografia 1**), które pozwolą zachować porządek w zasobach elementów i zapewnią wygodny dostęp do nich. Doskonałym uzupełnieniem przestrzeni nad biurkiem jest wygodny, magnetyczny **uchwyt narzędziowy** (**fotografia 2**). Dzięki takiemu rozwiązaniu nie musimy nawet odrywać wzroku, aby pobrać lub odłożyć narzędzia.

Podczas pracy z układami elektrycznymi i przy użyciu narzędzi z zasilaniem elektrycznym nie można zapomnieć o umieszczeniu listwy zasilającej, a nawet dwóch, koniecznie w różnych miejscach stanowiska. Najlepszym wyborem będzie listwa z możliwością przykręcenia oraz wyposażona w wyłącznik zasilania, bezpiecznik przeciążeniowy oraz sygnalizator obecności napięcia, taka jak pokazano na **fotografii 3**.

Fotografia 2. Magnetyczny uchwyt na narzędzia (https://bit.ly/3TLOvg8)

Fotografia 3. Listwa zasilająca (https://bit.ly/3TNOYOW)



Fotografia 4. Zestaw zabezpieczający przed wyładowaniami elektrostatycznymi ESD (https://bit.ly/3TJobmR)

Ochrona przed wyładowaniami elektrostatycznymi (ESD)

Wiele układów scalonych i urządzeń półprzewodnikowych jest wyjątkowo wrażliwych na wyładowania elektrostatyczne. Wrażliwe elementy można ochronić przed uszkodzeniem za pomocą mat antystatycznych na stole warsztatowym i na ziemi przed nim (**fotografia 4**). Takie maty zapewniają względnie wysoką rezystancję do uziemienia, ale wystarczającą, aby uwolnić ładunek elektrostatyczny z naszego ciała, ubrań i elementów bez ich uszkodzenia. Ważne jest, aby nie zapomnieć założyć opaski uziemiającej oraz aby podłączyć przewód uziemiający z maty do gniazdka elektrycznego z uziemieniem.

Oprzyrządowanie

Przyrządy pomiarowe to kamień węgielny każdego stanowiska dla elektronika. Pozwalają na wyszukiwanie i rozwiązywanie problemów, dostrajanie parametrów oraz badanie działania układów.

Multimetr

Miernik uniwersalny jest absolutnym minimum oprzyrządowania, a jednocześnie będzie używany najczęściej i najintensywniej. Pozwoli zmierzyć wszystkie ważne parametry, takie jak napięcie, prąd, rezystancję czy ciągłość obwodu. Można go również użyć do identyfikacji wyprowadzeń w niektórych urządzeniach półprzewodnikowych. Bez multimetru nie uda się sprawdzić, co dzieje się w badanym obwodzie. Nie jest wymagany najdroższy przyrząd, wiele zadań można wykonać za pomocą nieskomplikowanego miernika. Jednak warto zainwestować w model z automatyczną zmianą zakresów, np. TENMA 72-13430 (**fotografia 5**).

Fotografia 5. Przenośny multimetr cyfrowy z automatyczną zmianą zakresów (https://bit.ly/3JF7mF2)

Zasilacz regulowany

Zasilacz jest odpowiedzialny za dostarczenie napięć o odpowiednich, stabilnych parametrach do różnych projektów. Bardzo przydatną funkcją jest ograniczenie prądowe, które znacznie ułatwi

eprasa.pl e2be9d43e0

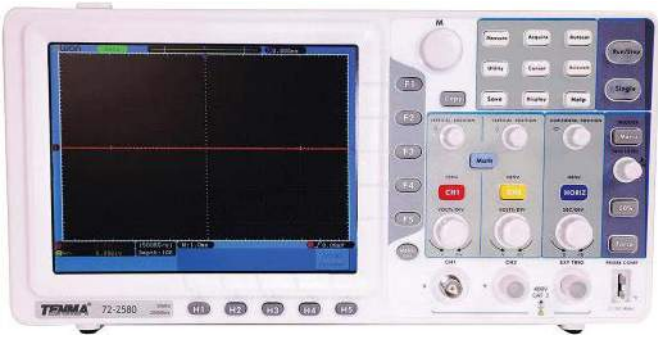
Fotografia 6. Zasilacz laboratoryjny programowalny, 1 wyjście 0...30 V, 0...5 A (https://bit.ly/3KdcRMQ)

eksperymentowanie. Kolejną funkcją, która ułatwia pracę a jednocześnie ogranicza prawdopodobieństwo pomyłki, jest możliwość zapamiętania kilku różnych napięć i ich przywracanie za pomocą wyznaczonych do tego przycisków. Takimi możliwościami dysponuje model TENMA 72-2540 (**fotografia 6**).

Fotografia 7. Generator funkcyjny, arbitralny, 2-kanałowy, o paśmie 25 MHz (https://bit.ly/3K8olRE)

Generator funkcyjny

Generator funkcyjny wytwarza przebiegi elektryczne o ustalonej amplitudzie, częstotliwości i kształcie. Nie jest to niezbędny element zestawu, w wielu sytuacjach można zbudować prosty oscylator lub zaprogramować mikrokontroler. Jednak, podobnie jak w przypadku zasilacza, wygodne regulowanie parametrów poprzez dotknięcie przycisku lub przekręcenie pokrętła oszczędza mnóstwo czasu. Doskonałe parametry oferuje model TENMA 72-3555 (**fotografia 7**). To dwukanałowy generator arbitralny z wyświetlaczem 4,3 cala, o paśmie do 25 MHz.



Fotografia 8. Oscyloskop 2-kanałowy o paśmie 30 MHz (https://bit.ly/3JN0JRc)

Oscyloskop

Oscyloskopy pozwalają przyjrzeć się temu, co dzieje się w badanym obwodzie. Nawet model o niewygórowanych parametrach pozwoli zobaczyć kształt, amplitudę i częstotliwość przebiegu oraz zapamiętać dany ekran w celu późniejszej analizy. Ogólna zasada dotycząca wyboru oscyloskopów mówi, że szerokość pasma powinna być 10 razy większa niż częstotliwość fal sinusoidalnych o największej prędkości, jakie można zaobserwować. Jeden z prostszych modeli to TENMA 72-2580 – 2-kanałowy o paśmie 30 MHz (**fotografia 8**).

Podsumowanie

Stanowisko pracy elektronika oraz przyrządy i narzędzia, które się na nim znajdują, odzwierciedlają determinację i kompetencje jego użytkownika. Jednocześnie określają też możliwości i zakres działań, które można za ich pomocą wykonać. Dlatego zawsze warto zadbać o wyposażenie stanowiska, które wyprzedza nasze aktualne potrzeby – będzie to doskonała platforma do poszerzania wiedzy i rozwijania umiejętności.

Farnell
www.pl.farnell.com

REKLAMA

Sięgnij po archiwalne wydania
ELEKTRONIKI PRAKTYCZNEJ

Przesyłka GRATIS

Zamów wygodnie na **www.UlubionyKiosk.pl**

eprasa.pl e2be9d43e0

Inteligentny dzwonek do drzwi

Dzwonek do drzwi wydaje się ekstremalnie prostym urządzeniem – naciskamy przycisk, który zamyka obwód i przez dzwonek (lub inne źródło dźwięku) płynie prąd. Na drugim końcu skali znajdują się wideodomofony i inne systemy korzystające z technologii Internetu Rzeczy, które można zamontować przed drzwiami. Pomiędzy tymi ekstremami nie ma zbyt wielu urządzeń… Zaprezentowany projekt ma to zmienić i w prosty sposób połączyć zwykły dzwonek do drzwi z usługami w chmurze i systemem automatyzacji domu.

W artykule zobaczmy, jak można zamienić zwykły dzwonek do drzwi w inteligentny dzwonek, czyli taki, który jest podłączony do sieci naszego inteligentnego domu i do smartfona. Pomysł wziął się z prostego problemu autora konstrukcji: „W moim domu dzwonek do drzwi jest w rozdzielni elektrycznej z wyłącznikiem głównym itd. Rozdzielnia ta ma własne drzwi i sama dodatkowo znajduje się w szafce. Więc jeśli ktoś dzwoni do drzwi, słychać go bardzo słabo. Moim pomysłem było otrzymywanie powiadomień na telefonie, gdy ktoś zadzwoni do drzwi. Ten system jest dla mnie bardzo przydatny również, dlatego, że często buduję swoje projekty w garażu, więc dzięki powiadomieniu na telefonie wiem, czy ktoś zadzwonił do drzwi, gdy jestem w garażu" opowiada autor konstrukcji.

Więcej szczegółów tej konstrukcji można zobaczyć na filmie, umieszczonym przez konstruktora na jego kanale YouTube (jest po włosku, ale ma angielskie napisy). Link do filmu znajduje się na końcu artykułu, w bibliografii.

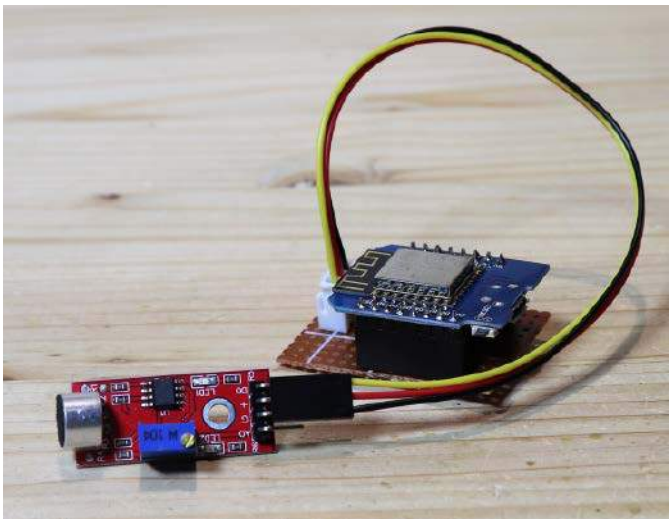
Potrzebne elementy

Do zestawienia omawianego urządzenia potrzebne będzie zaledwie kilka komponentów:

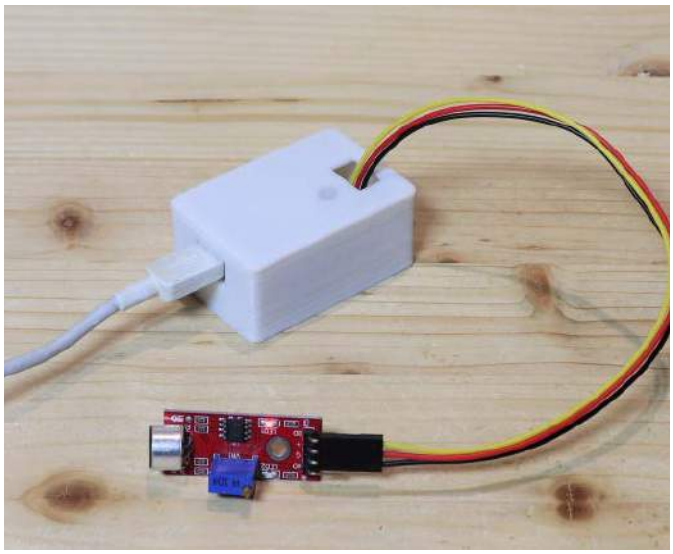
- moduł Wemos D1 z układem ESP8266 lub dowolny inny moduł z tym układem,
- moduł z mikrofonem przeznaczony do Arduino,
- przewody połączeniowe, złącze JST, płytka uniwersalna itp.,
- zasilacz.

Prototyp zmontowany z tych komponentów został pokazany na **fotografii 1**. Opcjonalnie potrzebna będzie nam drukarka 3D lub dostęp do niej, aby wykonać z jej pomocą obudowę. Jeśli chodzi o inne narzędzia, to projekt ma naprawdę minimalistyczne wymagania

eprasa.pl e2be9d43e0



Fotografia 1. Cała konstrukcja bez obudowy – widoczne są wszystkie zastosowane podzespoły



Fotografia 2. Moduł umieszczony w obudowie

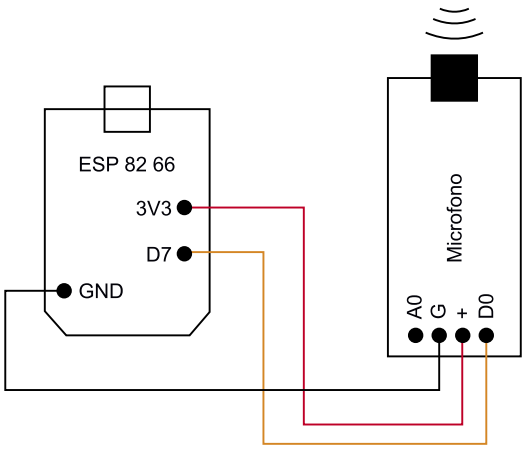
i w zasadzie oprócz podstawowych przyrządów do lutowania żadne inne narzędzie nie będą nam potrzebne.

Budowa urządzenia

Układ, omawiany w tym artykule, bazuje na płytce z układem ESP8266. Płytki tego rodzaju obsługiwane są przez ekosystem Arduino, ale charakteryzują się znacznie mocniejszym mikrokontrolerem, który dodatkowo wyposażony jest w moduł umożliwiający połączenie z Wi-Fi. Aby ESP8266 słyszał, gdy ktoś dzwoni do drzwi, do układu dołączono płytkę z mikrofonem wykonanym specjalnie dla Arduino. Na pewno są inne sposoby na wykrycie dzwonka do drzwi, ale użycie mikrofonu ma tę wielką zaletę, że nie trzeba dokonywać żadnych zmian w instalacji elektrycznej, wystarczy umieścić moduł z mikrofonem w pobliżu dzwonka do drzwi.

Płytka z mikrofonem ma mikrofon na górze, a styki połączeniowe na dole. Zawiera wyjście cyfrowe, jak i analogowe. Wyjście cyfrowe jest aktywowane, gdy natężenie dźwięku mierzone przez mikrofon przekroczy określony próg. Aby wyregulować ten próg należy ustawić go na małym potencjometrze wieloobrotowym na płytce tego modułu.

Płytkę mikrofonu podłączamy do modułu z ESP8266 zgodnie ze schematem pokazanym na **rysunku 1**. Zasilanie i masę z modułu z ESP8266 podłączamy do zasilania modułu z mikrofonem. Wyjście cyfrowe mikrofonu podłączone jest do wyprowadzenia D7 modułu ESP8266. Finalne strojenie mikrofonu musimy zrealizować po zainstalowaniu oprogramowania na mikrokontrolerze. Poziom wyzwalania mikrofonu ustawiamy tak, aby był on każdorazowo wyzwalany dźwiękiem mikrofonu, ale aby żadne inne dźwięki w mieszkaniu nie wyzwalały fałszywych detekcji.



Rysunek 1. Schemat ideowy urządzenia

Aby przekształcić moduły w gotowe urządzenie, w coś, co bardziej przypomina gotowy produkt, autor zamontował moduł z ESP8266 na płytce uniwersalnej, która została docięta do wymiarów modułu. Do płytki dolutowano gniazdko JST, do którego podłączony jest przewód do modułu z mikrofonem. Aby podłączyć mikrofon trzeba dobrać przewód, który ma zwykłe gniazdka na goldpiny na jednym końcu i złącze JST na drugim.

Obudowa

Autor zaprojektował również obudowę do tego urządzenia. Wykonana jest ona w technologii druku 3D i mieści w sobie moduł Wemos D1 na płytce uniwersalnej. W pokrywie obudowy przygotowane jest miejsce do wykonania otworu dla przewodów biegnących do mikrofonu. Przewidziano także miejsce na port USB.

W miejscu, gdzie moduł z ESP8266 ma diodę LED ścianka obudowy ma zaledwie jedną warstwę. Przy takiej grubości, jeśli zastosujemy biały PLA lub podobny materiał, to światło diody będzie dostatecznie widoczne z zewnątrz. Na **fotografii 2** widoczne jest zdjęcie gotowego modułu w obudowie. Pliki STL z elementami przygotowanymi do druku można pobrać ze strony z projektem (link znajduje się na końcu artykułu).

Instalacja

Gdy konstrukcja jest ukończona, system możemy zamontować obok dzwonka do drzwi, aby wysyłać powiadomienie, gdy dzwonek dzwoni. W przypadku autora dzwonek znajduje się w skrzynce rozdzielczej, więc obudowa z ESP8266 umieszczona jest w skrzynce – przyklejona za pomocą taśmy dwustronnej. Następnie płytka z mikrofonem umieszczona jest obok dzwonka i zabezpieczona kolejnym kawałkiem taśmy dwustronnej.

Do zasilania modułu z ESP8266 zastosowano zwykły zasilacz USB. Można zamiast niego zastosować np. zasilacz 5 V na szynę DIN i zabudować go w rozdzielni elektrycznej.

Po zainstalowaniu i wgraniu oprogramowania (patrz dalsza część artykułu) ostatnim krokiem instalacji modułu jest regulacja czułości tak, aby mikrofon wykrywał dzwonek do drzwi.

Oprogramowanie

Oprogramowanie modułu w tym projekcie zapewnia integrację z Home Assistantem. Aby połączyć ESP8266 z naszym systemem inteligentnego domu i telefonem komórkowym, użyjemy Home Assistant i ESPhome.

Home Assistant to system, który działa lokalnie i pozwala łączyć ze sobą urządzenia automatyki domowej, takie jak żarówki, inteligentne gniazdka. Do uruchomienia Home Assistant autor używa

eprasa.pl e2be9d43e0

```
Listing 1. Nadanie płytce stałego adresu IP

Wi-Fi:
  ssid: yourssid
  password: yourwifipassword
  manual_ip:
    # Set this to the IP of the ESP
    static_ip: 192.168.1.61
    # Set this to the IP address of the router. Often ends with .1
    gateway: 192.168.1.1
    # The subnet of the network. 255.255.255.0 works for most home networks.
    subnet: 255.255.255.0
```

```
Listing 2. Konfiguracja wejścia modułu

binary_sensor:
  - platform: gpio
    pin: GPIO13
    name: "Drzwi wejsciowe"
    device_class: sound
    filters:
      - delayed_off: 2000ms
    on_press:
      then:
        - light.turn_on: led
        - delay: 4s
        - light.turn_off: led

light:
  - platform: status_led
    name: "Led status drzwi wejsciowych"
    id: "led"
    pin:
      number: GPIO2
      inverted: true
```

starego komputera PC z Windowsem i maszyną wirtualną, ale zamiast tego można użyć np. komputera jednopłytkowego Raspberry pi, który zużywa o wiele mniej prądu. Aby zobaczyć dane z poziomu smartfona, można pobrać aplikację Home Assistant na telefon komórkowy. Do łączenia się spoza sieci lokalnej do Home Assistanta można użyć Nabu Casa Cloud, który jest najprostszym rozwiązaniem, ale niestety nie jest to rozwiązanie darmowe. Istnieją inne rozwiązania, ale nie zawsze są one całkowicie bezpieczne.

ESPhome to dodatek do Home Assistant, który umożliwia podłączenie modułu z układem ESP do Home Assistant poprzez Wi-Fi. Aby podłączyć płytkę ESP8266 do ESPhome, należy wykonać następujące kroki:

- należy zainstalować plugin ESPhome w Home Assistancie;
- w menu ESPhome Wybieramy *New device* i kontynuujemy;
- nazywamy nowe urządzenie;
- wybieramy ESP8266 lub płytkę, której używamy (jeśli jest dostępna);
- kopiujemy klucz szyfrowania, będziemy później go potrzebować;
- naciskamy *EDIT*, aby zobaczyć konfigurację dla urządzenia;
- pod nazwą, jaką wcześniej wybraliśmy dla tego modułu musimy wpisać typ płytki, jeśli skorzystaliśmy z Wemos D1 Mini powinno znaleźć się tam:

```
esp8266:
  board: d1_mini
```

- w sekcji Wi-Fi musimy wpisać SSID I hasło do naszej sieci bezprzewodowej;
- aby poprawić stabilność działania systemu możemy płytce nadać stały adres IP, jak pokazano na **listingu 1;**
- na koniec sekcji kodu dodajemy konfigurację wejścia modułu, jak pokazano na **listingu 2**;

Jeśli w projekcie użyjemy tej samej płytki, co autor, prawdopodobnie wyprowadzenia wpisane w kodzie będą w porządku i nie będzie trzeba nic zmieniać. Jeśli jednak zastosujemy inny moduł, albo inaczej podłączymy sensory konieczna może być zmiana konfiguracji. Po zakończeniu wpisywania konfiguracji można kliknąć *Install*, podłączyć ESP8266 do komputera i postępować zgodnie z kolejnymi instrukcjami wyświetlanymi na ekranie, aby przesłać kod programu do modułu.

Gdy ESP8266 jest podłączony do sieci Wi-Fi można przejść do ustawień Home Assistanta, gdzie prawdopodobnie zobaczymy, że Home Assistant wykrył nowe urządzenie. Należy kliknąć konfiguruj i wkleić tam klucz szyfrowania, jaki zapisaliśmy wcześniej.

Jeśli nie dysponujemy Home Assistantem do podłączenia ESP8266 do sieci, można skorzystać z platformy Blynk, która jest częściowo darmowa i nie wymaga do działania komputera. Jednak wtedy opisany kod nie działa, a ESP8266 wymaga innej konfiguracji.

Konfiguracja automatyzacji

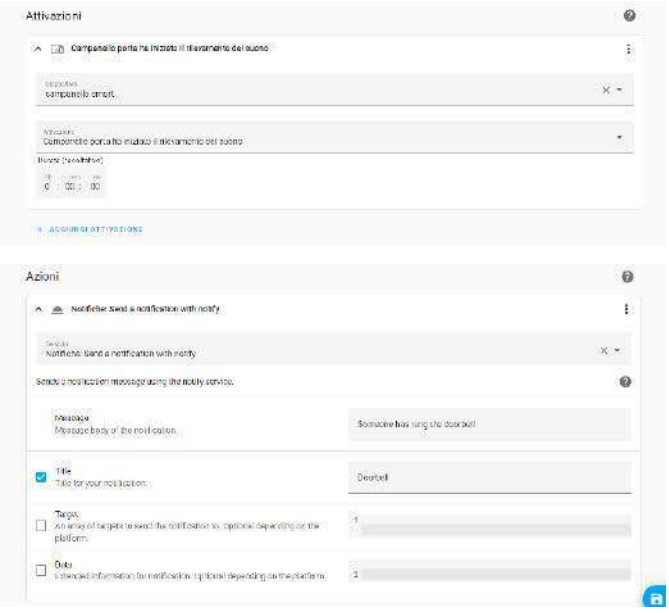
Aby otrzymać powiadomienie na telefon, gdy ktoś zadzwoni do drzwi, co jest celem tego projektu, można utworzyć bardzo prostą automatyzację w Home Assistant. Można ją zobaczyć na zrzucie ekranu na **rysunku 2**. W celu aktywacji automatyki nie musimy nic robić. Po ustawieniu wszystkiego można sprawdzić działanie systemu, uruchamiając dzwonek do drzwi. Jeśli wszystkie elementy zostały prawidłowo skonfigurowane, na ekranie smartfona zobaczymy powiadomienie, takie jak pokazano na **fotografii 3**.

Podsumowanie

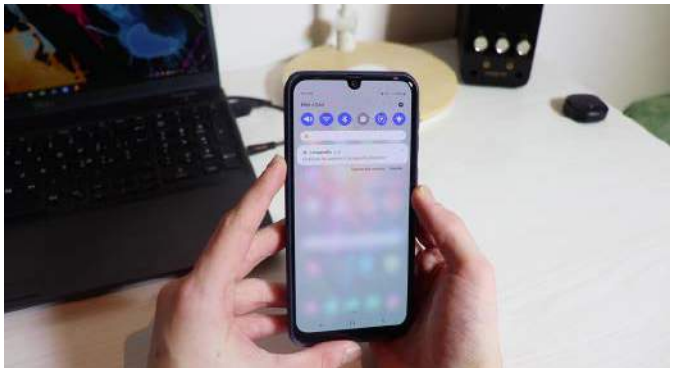
Projekt działa świetnie i zawsze przesyła powiadomienie, gdy ktoś dzwoni do drzwi. Jedynym problemem, jaki zauważył autor, jest to, że czasami mikrofon wychwytuje inne dźwięki, więc trzeba ostrożnie ustawiać potencjometr czułości na płytce mikrofonu, aby otrzymywać powiadomienia tylko dla dźwięku dzwonka do drzwi.

Nikodem Czechowski, EP

Bibliografia:
1. http://bit.ly/40rczaN
2. https://bit.ly/40sJueO



Rysunek 2. Utworzenie bardzo prostej automatyzacji w Home Assistant



Fotografia 3. Efekt działania urządzenia

eprasa.pl e2be9d43e0

Regulowane obciążenie warsztatowe na bazie Arduino Nano

Regulowane obciążenie jest jednym z bardzo przydatnych urządzeń warsztatowych, zwłaszcza wtedy, gdy zachodzi potrzeba testowania zasilaczy, przetwornic, sterowników silników itp. Dzięki niemu możemy obciążyć wyjście testowanego układu w sposób kontrolowany, nie ryzykując, że coś zostanie uszkodzone, jeśli w projekcie jest błąd.

Celem zaprezentowanego projektu było skonstruowanie regulowanego obciążenia prądu stałego, które będzie kontrolowane przez moduł Arduino Nano z podłączonym wyświetlaczem LCD i enkoderem obrotowym. Finalne rozwiązanie oferuje tryby pracy przy stałym prądzie i stałej mocy, może współpracować ze źródłami o napięciu do 30 V i z prądem do 20 A, jeśli zastosowany radiator będzie w stanie rozproszyć taką ilość mocy.

W artykule zaprezentowano, krok po kroku, jak zbudować urządzenie tego rodzaju. Na stronie źródłowej jest dostępny film obrazujący działanie i budowę układu, który warto obejrzeć, jeśli opis i zamieszczone tu schematy nie będą wystarczająco jasno opisywały wszystkich etapów konstrukcji urządzenia.

Potrzebne elementy

Do budowy układu potrzebne będą następujące elementy:

- moduł Arduino Nano,
- wyświetlacz LCD 16×2 z interfejsem I²C,
- enkoder obrotowy,
- sterownik MOSFET TC4420,
- tranzystor MOSFET IRFZ44N,
- sensor prądu ACS712,
- uchwyt bezpiecznika,
- bezpiecznik 20 A,
- złącza do podłączania obciążenia, np. gniazda bananowe.

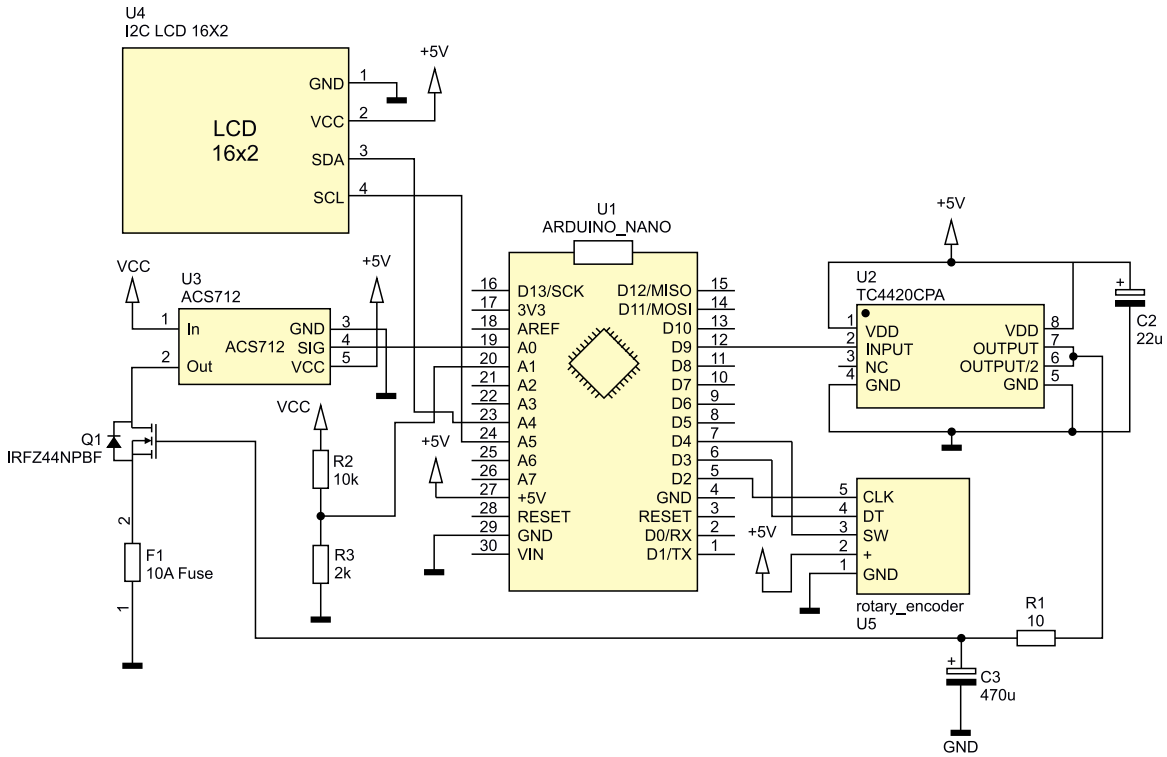
Schemat układu

Konstrukcja elektroniczna układu jest bardzo prosta. Schemat ideowy urządzenia pokazano na **rysunku 1**. Centralnym elementem układu jest, oczywiście, moduł Arduino, który steruje wszystkimi podzespołami. Do Arduino podłączone są elementy interfejsu użytkownika – wyświetlacz LCD (U4) oraz enkoder obrotowy (U5).

Wyświetlacz podłączony jest za pomocą interfejsu I²C, co pozwala zaoszczędzić liczbę potrzebnych pinów mikrokontrolera. Wymagane są tylko dwie linie sygnałowe – SDA (danych) oraz SCL (zegara). Jeśli nie będziemy w stanie pozyskać takiego wyświetlacza, to moduł Arduino, zastosowany w tym projekcie ma dostateczną liczbę linii GPIO, aby wysterować interfejs LCD z klasycznym interfejsem równoległym i sterownikiem HD44780 z interfejsem 4- lub 8-bitowym. Do kontrolowania urządzenia służy pojedynczy enkoder obrotowy, który jest podłączony do mikrokontrolera. W enkoderze znajduje się również przycisk, który został podłączony osobną linią do Arduino.

W torze sygnałowym obciążenia znajdują się trzy elementy, umieszczone pomiędzy linią VCC, a masą układu. Rozpoczynając od dodatniego bieguna zasilania, prąd przechodzi przez układ ACS712 (U3 na schemacie na rysunku 1), a następnie przez tranzystor Q1

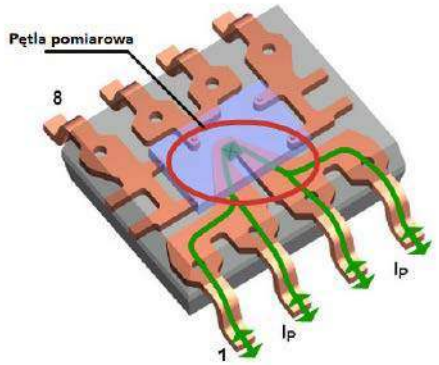
eprasa.pl e2be9d43e0



Rysunek 1. Schemat ideowy obciążenia warsztatowego

i bezpiecznik F1. Sensor ACS712 firmy Allegro to w pełni zintegrowany sensor do pomiaru prądu, który bazuje na czujniku Halla. Układ ten mierzy płynący prąd poprzez pomiar pola magnetycznego wokół przewodnika (znajdującego się we wnętrzu obudowy scalonego sensora – **rysunek 2**), co gwarantuje niską rezystancję elementu pomiarowego (niski spadek napięcia, a co za tym idzie niewielkie straty mocy) oraz izolację galwaniczną pomiędzy układem pomiarowym, a torem prądu. Układ ten ma wyjście analogowe, które podłączone jest do wejścia przetwornika analogowo-cyfrowego modułu Arduino.

Znajdujący się dalej tranzystor Q3 pełni kluczową rolę w pracy urządzenia. Jest on sterowany przez driver bramki TC4420 (U2),



Rysunek 2. Budowa wewnętrzna sensora prądu ACS712

Listing 1. Szkic Arduino dla obciążenia warsztatowego (fragmenty)

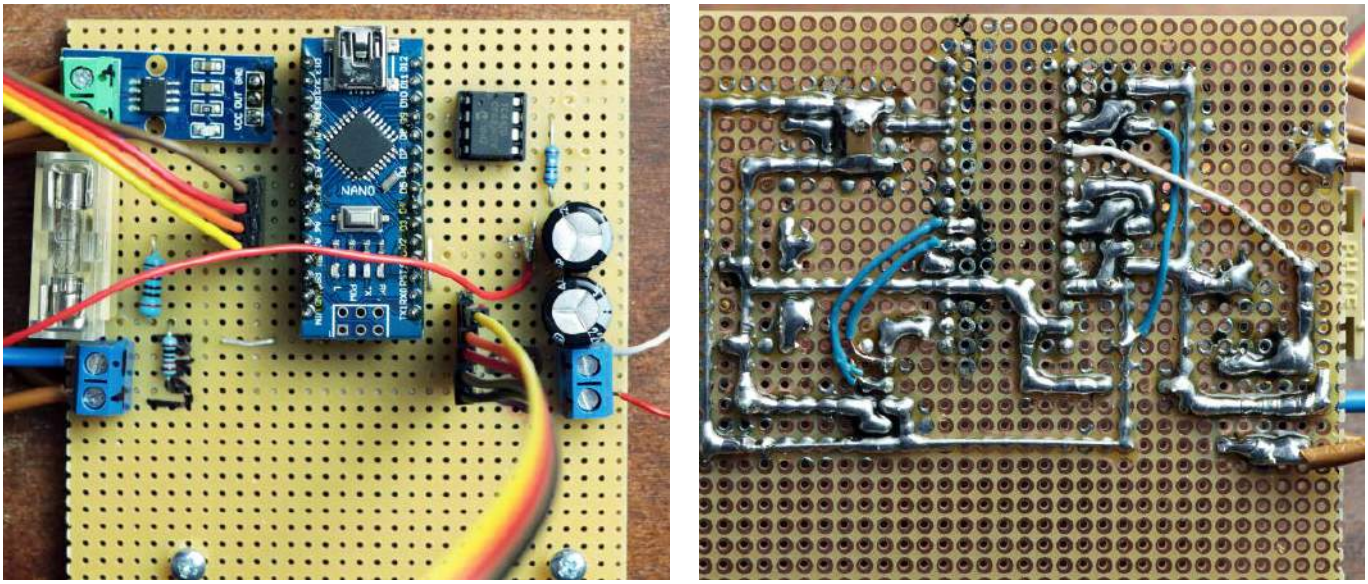
```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I²C.h>

ISR(PCINT2_vect) {
  if (digitalRead(sw) == LOW) {
    button = true;
  }
}

void isr0 ()  {
  TurnDetected = true;
  up = (digitalRead(clk) == digitalRead(dt));
}

void setup() {
  // Inicjalizacja portu szeregowego
  Serial.begin(115200);
  // Inicjalizacja LCD
  lcd.begin();
  // Konfiguracja pinów
  pinMode(sw, INPUT_PULLUP);
  pinMode(clk, INPUT);
  pinMode(dt, INPUT);
  pinMode(pwm, OUTPUT);
  pinMode(currentsense, INPUT);
  digitalWrite(pwm, LOW);
  // Konfiguracja ADC
  ADCSRA &= ~PS_128;
  ADCSRA |= (1 << ADPS1) | (1 << ADPS0);
  PCICR |= 0b00000100;
  PCMSK2 |= 0b00010000;
  // Konfiguracja przerwania
  attachInterrupt(0, isr0, RISING);
  // Konfiguracja timerów i PWM
  TCCR1A = 0;
  TCCR1A = (1 << COM1A1) | (1 << WGM11);
  TCCR1B = 0;
  TCCR1B = (1 << WGM13) | (1 << WGM12) | (1 << CS10);
  ICR1 = 2047;
  OCR1A = 0;
  // Inicjalizacja znaków użytkownika
  lcd.createChar(0, customChar1);
  lcd.createChar(1, customChar2);
  lcd.clear();
  lcd.print(" ADJ CONST LOAD");
  delay(2000);
  screen0();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.write((uint8_t)0);
}

void loop() {
  if (currentmode) {
    curcurrentraw = analogRead(currentsense);
    // Obliczenie aktualnego prądu
    curcurrent = ((curcurrentraw - zerocurrent)
    * (5000.00 / 1023.00) / 100.00);
    // Aktualizacja wyświetlacza
    if (counter == 5000) {
      lcd.setCursor(4, 1);
      lcd.print(curcurrent);
      lcd.print("A ");
      counter = 0;
    }
    if (curcurrent < current) {
      OCR1A++;
    } else {
      OCR1A = OCR1A - 1;
    }
    counter++;
    delayMicroseconds(100);
  }
  if (powermode) {
    curcurrentraw = analogRead(currentsense);
    curcurrent = ((curcurrentraw - zerocurrent)
    * (5000.00 / 1023.00) / 100.00);
    curvoltraw = analogRead(voltagesense);
    curvoltage = curvoltraw
    * (5000.00 / 1023.00)
    * 7.20 /1000.00;
    curpower = curvoltage * curcurrent;
    if (counter == 5000) {
```


eprasa.pl e2be9d43e0

Listing 1. cd.

```
      lcd.setCursor(4, 1);
      lcd.print(curpower);
      lcd.print("W ");
      counter = 0;
    }
    if (curpower < power) {
      OCR1A++;
    } else {
      OCR1A = OCR1A - 1;
    }
    counter++;
    delayMicroseconds(100);
  }
  if (TurnDetected) {
    delay(200);
    switch (screen) {
      case 0:
        switch (arrowpos) {
          case 0:
            if (!up) {
              screen0();
              lcd.setCursor(0, 1);
              lcd.write((uint8_t)0);
              arrowpos = 1;
            } break;
          case 1:
            if (up) {
              screen0();
              lcd.setCursor(0, 0);
              lcd.write((uint8_t)0);
              arrowpos = 0;
            } break;
        }
        break;
      case 1:
        switch (arrowpos) {
          case 0:
            if (!up) {
              screen1();
              lcd.setCursor(0, 1);
              lcd.write((uint8_t)0);
              arrowpos = 1;
            } break;
          case 1:
            if (up) {
              screen1();
              lcd.setCursor(0, 0);
              lcd.write((uint8_t)0);
              arrowpos = 0;
            } else {
              screen1();
              lcd.setCursor(7, 1);
              lcd.write((uint8_t)0);
              arrowpos = 2;
            } break;
          case 2:
            if (up) {
              screen1();
              lcd.setCursor(0, 1);
              lcd.write((uint8_t)0);
              arrowpos = 1;
            } break;
        } break;
      case 2:
        if (up) {
          power = power + 0.1;
          lcd.setCursor(7, 0);
          lcd.print(power);
          lcd.print("W");
          lcd.write((uint8_t)1);
          lcd.print("  ");
        } else {
          power = power - 0.1;
          if (power < 0) {
            power = 0;
          }
          lcd.setCursor(7, 0);
          lcd.print(power);
          lcd.print("W");
          lcd.write((uint8_t)1);
          lcd.print("  ");
        } break;
      case 4:
        switch (arrowpos) {
          case 0:
            if (!up) {
              screen4();
              lcd.setCursor(0, 1);
              lcd.write((uint8_t)0);
              arrowpos = 1;
            } break;
          case 1:
            if (up) {
              screen4();
              lcd.setCursor(0, 0);
              lcd.write((uint8_t)0);
              arrowpos = 0;
            } else {
              screen4();
              lcd.setCursor(7, 1);
              lcd.write((uint8_t)0);
              arrowpos = 2;
            } break;
          case 2:
            if (up) {
              screen4();
              lcd.setCursor(0, 1);
              lcd.write((uint8_t)0);
              arrowpos = 1;
            } break;
        } break;
      case 5:
        if (up) {
          current = current + 0.1;
          lcd.setCursor(9, 0);
          lcd.print(current);
          lcd.print("A");
          lcd.write((uint8_t)1);
          lcd.print(" ");
        } else {
          current = current - 0.1;
          if (current < 0) {
            current = 0;
          }
          lcd.setCursor(9, 0);
          lcd.print(current);
          lcd.print("A");
          lcd.write((uint8_t)1);
          lcd.print(" ");
        } break;
    }
    TurnDetected = false;
  }
  if (button) {
    delay(200);
    switch (screen) {
      case 0:
        if (arrowpos == 0) {
          screen = 1;
          screen1();
          lcd.setCursor(0, 0);
          lcd.write((uint8_t)0);
        } else {
          screen = 4;
          screen4();
          lcd.setCursor(0, 0);
          lcd.write((uint8_t)0);
        } break;
      case 1:
        switch (arrowpos) {
          case 0:
            screen = 2;
            screen2();
            break;
          case 1:
            powermode = true;
            screen = 3;
            screen3();
            break;
          case 2:
            screen = 0;
            screen0();
            lcd.setCursor(0, 0);
            lcd.write((uint8_t)0);
            break;
        } break;
      case 2:
        screen = 1;
        screen1();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.write((uint8_t)0);
        break;
      case 3:
        powermode = false;
        OCR1A = 0;
        counter = 0;
        screen = 1;
        screen1();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.write((uint8_t)0);
        break;
      case 4:
        switch (arrowpos) {
          case 0:
            screen = 5;
            screen5();
            break;
          case 1:
            screen = 6;
            screen6();
            currentmode = true;
            counter = 0;
            break;
          case 2:
            screen = 0;
            screen0();
            lcd.setCursor(0, 0);
            lcd.write((uint8_t)0);
            break;
        } break;
      case 5:
        screen = 4;
        screen4();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.write((uint8_t)0);
        break;
      case 6:
        screen = 4;
        screen4();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.write((uint8_t)0);
        currentmode = false;
        OCR1A = 0;
        break;
    }
    arrowpos = 0;
    button = false;
  }
}
```


eprasa.pl e2be9d43e0



Fotografia 1. Gotowa elektronika urządzenia zmontowana na płytce uniwersalnej

który jest kontrolowany przez mikrokontroler. Arduino steruje układem za pomocą przebiegu PWM tak, aby prąd (mierzony za pomocą układu ACS712) lub moc (obliczana z płynącego prądu i napięcia VCC mierzonego za pomocą dzielnika R2/R3 i wejścia analogowego A1) była zgodna z zadaną.

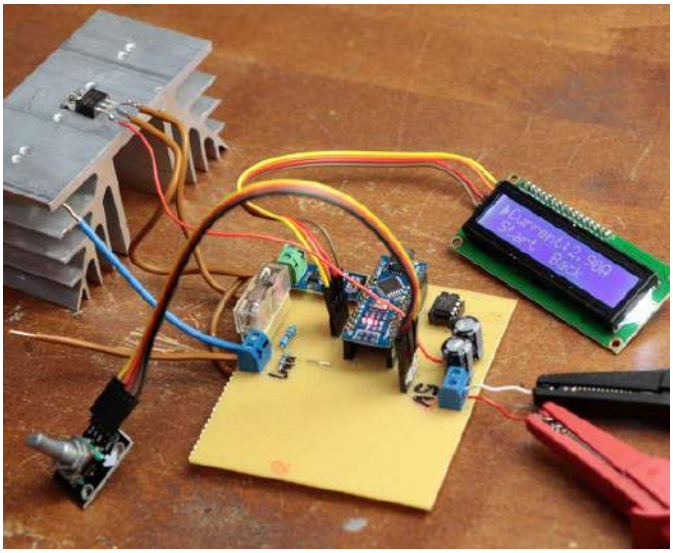
W torze obciążenia ostatnim elementem jest bezpiecznik F1 (na schemacie na rysunku 1 pokazano bezpiecznik 10 A), który pełni rolę zabezpieczenia układu. Wartość tego bezpiecznika należy dobrać w zależności od innych elementów układu i wydajności chłodzenia tranzystora Q1.

Autor zmontował układ na płytce uniwersalnej, korzystając z gotowych modułów, które wystarczyło tylko połączyć. Gotową, polutowaną płytkę z modułami pokazano na **fotografii 1**.

Oprogramowanie

Wybrane, najistotniejsze fragmenty oprogramowania modułu pokazano na **listingu 1** (pominięto funkcje *screen0...screen6*, odpowiedzialne za wyświetlanie poszczególnych ekranów menu, inicjalizację zmiennych oraz blok *#define* dla poszczególnych wyprowadzeń itp).

Oprogramowanie podzielone jest na dwie główne funkcje – *setup()* oraz *loop()*. Pierwsza z nich konfiguruje i inicjalizuje wszystkie potrzebne peryferia mikrokontrolera. Druga to nieskończona pętla, w której realizowana jest zasadnicza funkcjonalność programu. Układ może znajdować się w jednym z dwóch trybów pracy – w trybie stabilizacji prądu (*currentmode*) lub stabilizacji mocy (*powermode*). W zależności od tego, jaki tryb jest aktywny, w pętli *loop()* aktywowana jest odpowiednia sekcja. Ich struktura jest podobna – poleceniem *analogRead(currentsense)* dokonywany jest pomiar prądu, poprzez pomiar napięcia z sensora prądu, a następnie obliczana jest poprawka dla sygnału PWM sterującego tranzystorem obciążenia. W przypadku stabilizacji mocy, poleceniem *analogRead(voltagesense)* mierzone jest dodatkowo napięcie VCC, które jest potrzebne do obliczenia mocy.



Fotografia 2. Wszystkie elementy urządzenia gotowe do zamontowania w obudowie

Enkoder obsługiwany jest za pomocą systemu przerwań mikrokontrolera, jednak żeby obsługa przerwania nie trwała zbyt długo, w samym callbacku ISR ustawiana jest tylko odpowiednia flaga, a obsługa menu realizowana jest w pętli głównej *loop()* programu. W zależności od tego, czy enkoder obrócił się, czy naciśnięty został przycisk, aktywowana jest odpowiednia sekcja firmware – odpowiednio *TurnDetected* lub *button*. W ramach tych sekcji wyświetlane są odpowiednie dane na ekranie i konfigurowane poszczególne ustawienia. Odpowiadają za to funkcje *screen_()*, które zostały pominięte na listingu 1.

Podsumowanie

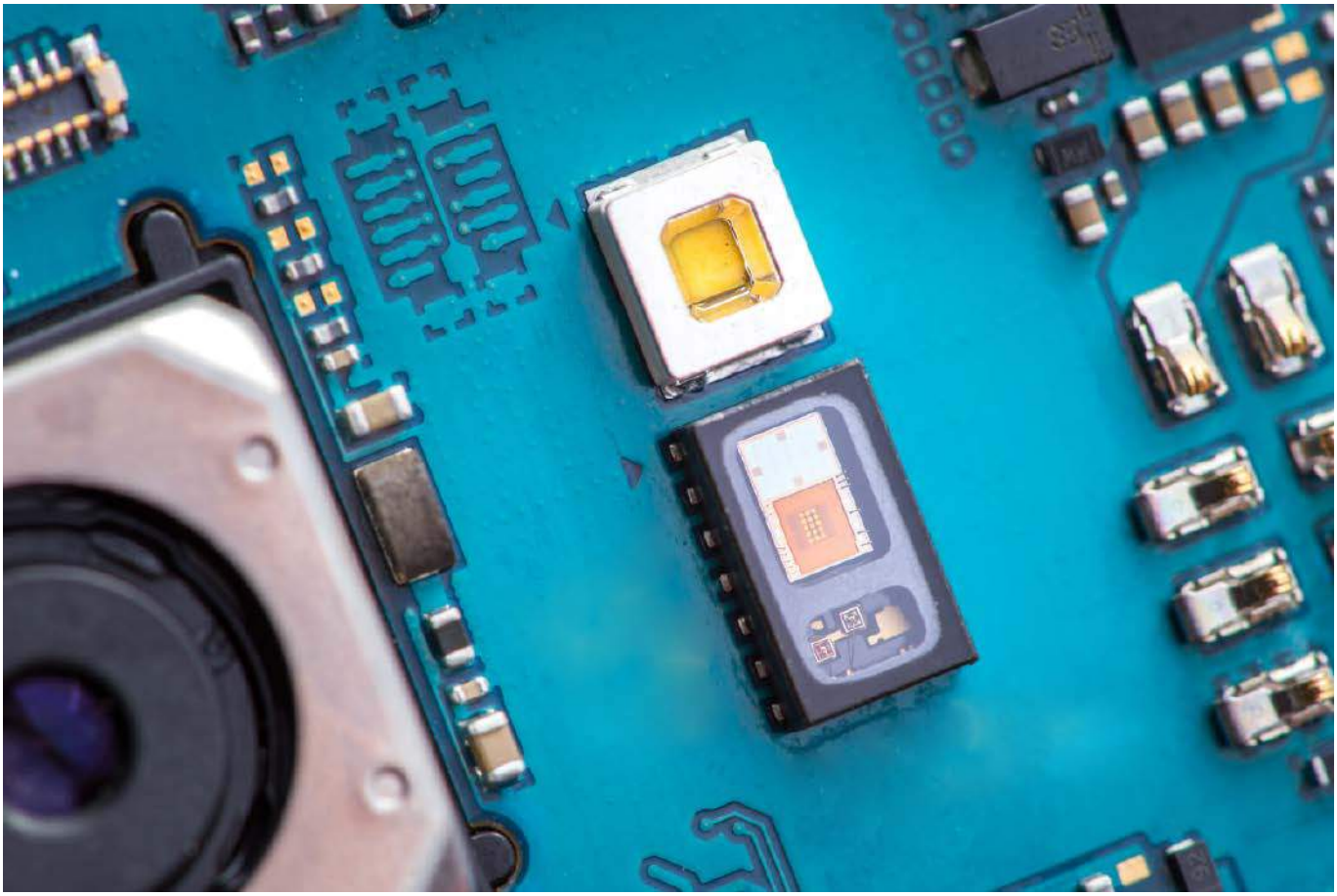
Po zaprogramowaniu modułu Arduino za pomocą opisanego firmware pozostaje tylko umieścić wszystkie pokazane na **fotografii 2** elementy wewnątrz obudowy. Po podłączeniu portów wyjściowych obciążenia układ jest gotowy do działania. Podczas finalnego montażu należy zadbać o odpowiednie chłodzenie tranzystora obciążającego – od niego zależą maksymalne parametry układu.

Oczywiście układ można rozbudować i udoskonalać. Menu, o ile w pełni funkcjonalne, jest dosyć skomplikowane w korzystaniu i oprogramowaniu. Można zmienić je na klasyczną klawiaturę bądź w inny sposób sterować mikrokontrolerem. Z uwagi na dużą liczbę pozostałych wyprowadzeń Arduino, system można rozbudować o np. termistor lub inny sensor temperatury do monitorowana temperatury tranzystora MOSFET, co pozwoli chronić go przed przegrzaniem podczas pracy. Można też dodać sterowanie wentylatorem chłodzącym, jeśli taki zastosowano, aby dobierać jego obroty do obciążenia układu lub temperatury tranzystora.

Nikodem Czechowski, EP

Bibliografia:
1. http://bit.ly/3JBhbVA
2. http://bit.ly/3YNRs0q
3. https://www.youtube.com/user/greatscottlab
4. https://www.facebook.com/greatscottlab

eprasa.pl e2be9d43e0



Czujniki optyczne (2)

Sensory podczerwieni

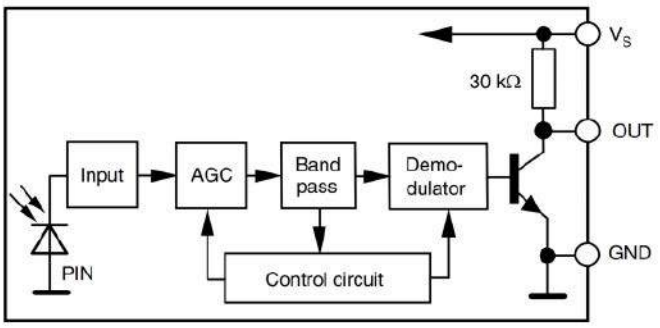
Pierwsza część artykułu znajduje się pod adresem: **https://ulubionykiosk.pl/media**

Współczesne czujniki optyczne są w stanie niebywale dobrze „widzieć" to, czego w żaden sposób nie moglibyśmy zobaczyć ludzkim okiem. Zakres zastosowań komercyjnie dostępnych elementów rozciąga się od twardego promieniowania jonizującego aż po daleką podczerwień, a najczulsze detektory z powodzeniem radzą sobie ze zliczaniem pojedynczych fotonów. Mimo tak szerokiego zakresu detekcji, szczególnie dużo komponentów optoelektronicznych pracuje w paśmie promieniowania podczerwonego. W tej części naszego cyklu przyjrzymy się wybranym grupom tych elementów.

Zanim jednak przejdziemy do opisu konkretnych grup specjalistycznych elementów, musimy nieco przybliżyć zastosowany podział materiału. Uważni Czytelnicy zwrócą wszak uwagę, że większość czujników opisanych w poprzedniej części cyklu także wykorzystywała oświetlacze w postaci struktur LED lub laserów VCSEL, pracujących w paśmie IR. Za wyborem tej właśnie części spektrum fal elektromagnetycznych przemawia szereg czynników – z jednej strony jest ono całkowicie niewidoczne dla człowieka (a zatem sprawdza się w zastosowaniach wymagających dyskretnej pracy), z drugiej – znacznie bezpieczniejsze od nadfioletu przy porównywalnej mocy. Diody LED IR mają ponadto najniższe napięcie przewodzenia spośród wszystkich rodzajów tego typu elementów (co drastycznie obniża pobór mocy sensorów aktywnych), a dodatkowo świetnie radzą sobie z impulsami prądowymi wielokrotnie przekraczającymi typową wartość prądu przewodzenia. Produkcja diod bliskiej podczerwieni i kompatybilnych z nimi fotoelementów (fotodiod oraz fototranzystorów) jest także tania i doskonale dopracowana pod względem technologicznym, a możliwość łatwej integracji części światłoczułej ze strukturą półprzewodnikową front-endu pozwala na tworzenie subminiaturowych czujników zbliżeniowych.

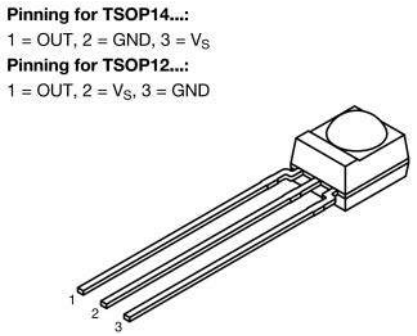
Wspomniane powyżej zalety determinują szeroki wachlarz zastosowań elementów IR w różnego rodzaju czujnikach, które – przynajmniej teoretycznie – mogłyby także bazować na diodach i laserach półprzewodnikowych, pracujących np. w paśmie światła czerwonego. Nie można jednak zapominać, że właśnie w paśmie podczerwieni odbywa się szereg niezwykle ważnych zjawisk fizycznych – dość wspomnieć chociażby o promieniowaniu termicznym, umiejętnie wykorzystywanym do bezdotykowego pomiaru temperatury punktowej lub jej rozkładu na większej powierzchni (termowizja). Z tego też względu istnieje wiele zastosowań, w których podczerwieni po prostu nie da się zastąpić jakimkolwiek innym promieniowaniem – w artykule zajmiemy się przede wszystkim takimi właśnie obszarami aplikacyjnymi. Zanim przejdziemy do omówienia pirometrów, sensorów PIR czy też specjalistycznych fotodetektorów średniej i dalekiej podczerwieni, poświęcimy nieco uwagi pewnej szczególnej grupie podzespołów,

eprasa.pl e2be9d43e0



Rysunek 1. Schemat blokowy odbiornika podczerwieni z serii TSOP121/123/125/141/143/145 (https://t.ly/qCIE)

Fotografia 1. Odbiornik podczerwieni z serii TSOP121/123/125/141/143/145 (https://t.ly/qCIE)

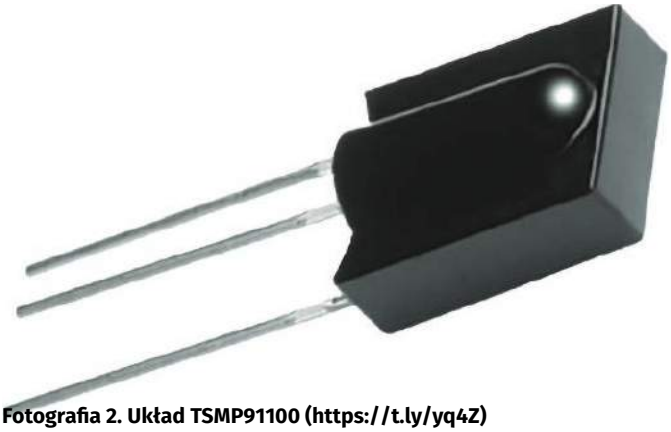


Rysunek 2. Dwie wersje rozkładu wyprowadzeń czujników z serii TSOP121/123/125/141/143/145 (https://t.ly/qCIE)

które należą do najpopularniejszych elementów IR w urządzeniach codziennego użytku.

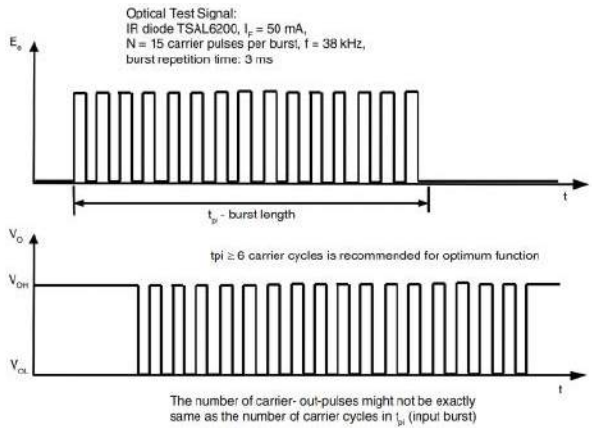
Odbiorniki i moduły nadawczo-odbiorcze do systemów zdalnego sterowania

Systemy zdalnego sterowania (RC – *Remote Control*) oparte na podczerwieni stosowane są z powodzeniem od kilkudziesięciu lat i to zarówno w sprzęcie RTV, jak i projektorach multimedialnych, systemach HVAC czy też niewielkich zabawkach. W przypadku komunikacji jednokierunkowej z powodzeniem wystarczające okazują się proste odbiorniki, wyposażone we wbudowaną fotodiodę PIN z obwodami automatycznej regulacji wzmocnienia (AGC) oraz filtrem pasmowoprzepustowym (o stosunkowo wąskiej charakterystyce częstotliwościowej) i demodulatorem (**rysunek 1**). Szczególnie szeroką ofertę tego typu podzespołów wdrożyła firma Vishay – przykładowo, odbiorniki z serii TSOP (**fotografia 1**) są dostępne w wersjach czułych na częstotliwość modulacji równą 30 kHz, 33 kHz, 36 kHz, 38 kHz, 40 kHz oraz 56 kHz, a dodatkowo występują w trzech grupach (AGC1, AGC3 oraz AGC5) – poszczególne z nich różnią się poziomem tłumienia zakłóceń. Jakby tego było mało, producent oferuje każdy z odbiorników w dwóch wersjach, różniących się rozkładem wyprowadzeń, czyli potocznie rzecz ujmując – pinologią (**rysunek 2**).

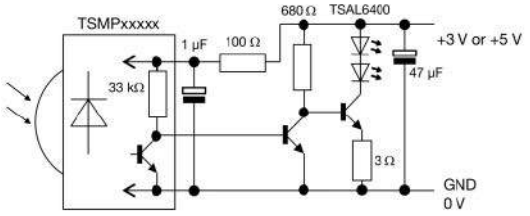


Fotografia 2. Układ TSMP91100 (https://t.ly/yq4Z)

W poprzednim odcinku naszego cyklu omówiliśmy różnice w sposobie pracy wyjścia odbiorników IR przeznaczonych do systemów RC oraz czujników zbliżeniowych. Zwróciliśmy wtedy uwagę na fakt, iż te pierwsze generują sygnał będący zdigitalizowaną obwiednią odebranej paczki impulsów, zaś odbiorniki do sensorów zbliżeniowych wytwarzają impuls o długości zależnej od intensywności przebiegu z fotodiody. W tym miejscu warto dodać, że istnieje jeszcze trzecia grupa podzespołów, które – pomimo iż należą do tej samej kategorii co odbiorniki IR RC – zachowują się jeszcze inaczej. Mowa o elementach przeznaczonych do repeaterów sygnału podczerwieni – przykładem może być tutaj czujnik TSMP91100. Choć ma on postać identyczną, jak konwencjonalne odbiorniki z popularnych serii TSOP (oraz TFMS, którą zapewne pamiętają jeszcze nieco starsi Czytelnicy – patrz **fotografia 2**), to jego przebieg wyjściowy jest de facto… powtórzeniem (wzmocnionego i odfiltrowanego) sygnału wejściowego (**rysunek 3**). Nic nie stoi zatem na przeszkodzie, by zastosować układy z tej grupy do budowy bardzo prostych wzmacniaczy sygnału pilota RC – przykładowy schemat aplikacyjny, obejmujący (oprócz samego czujnika) jedynie kilka elementów pasywnych oraz nieskomplikowany stopień wyjściowy z dwoma tranzystorami dyskretnymi, można zobaczyć



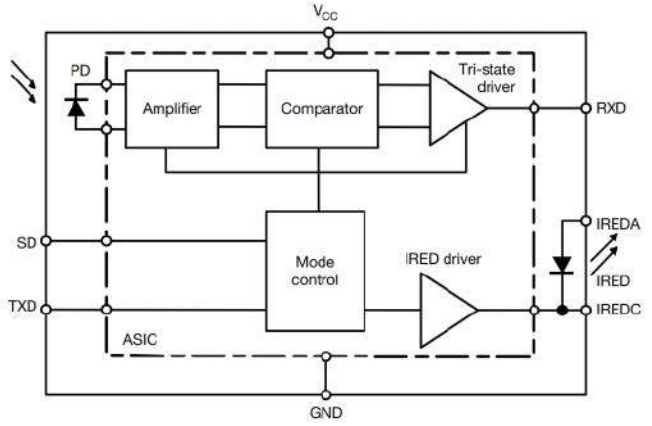
Rysunek 3. Zmodulowany sygnał podczerwieni padający na fotodiodę odbiornika TSMP91100 oraz odpowiadający mu sygnał wyjściowy (https://t.ly/yq4Z)



Rysunek 4. Schemat podłączenia odbiornika TSMP91100 w aplikacji prostego repeatera sygnału zdalnego sterowania z pilotów IR (https://t.ly/yq4Z)

eprasa.pl e2be9d43e0

Fotografia 3. Transceiver IR typu TFBS4650 marki Vishay (https://t.ly/fekX)



Rysunek 5. Schemat blokowy transceivera IR typu TFBS4650 (https://t.ly/fekX)

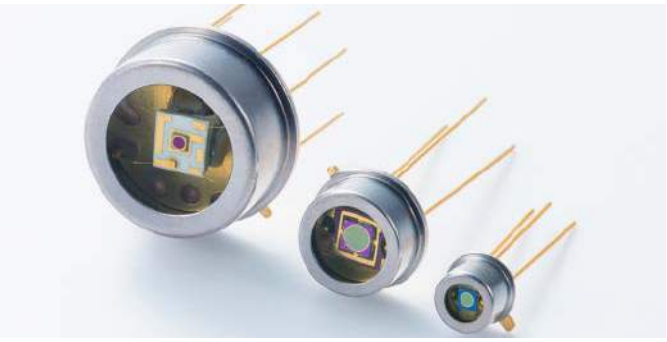
na **rysunku 4**. Warto dodać, że układy z tej serii pracują w szerokim zakresie częstotliwości modulacji sygnału IR (od 30 do 60 kHz), nie „faworyzują" zatem żadnej z nich, jak ma to miejsce w przypadku odbiorników fabrycznie strojonych na bardzo wąski zakres częstotliwości.

W przypadku dwukierunkowych łączy bezprzewodowych dobrym wyjściem jest zastosowanie zintegrowanych transceiverów, szczególnie spopularyzowanych dzięki aplikacjom interfejsu IrDA w telefonach komórkowych, palmtopach czy też czytnikach USB. Pomimo że ten standard komunikacji krótkozasięgowej został skutecznie (żeby nie powiedzieć – brutalnie) wyparty przez Bluetooth, to w ofertach producentów optoelektroniki nadal można znaleźć odpowiednie transceivery, co ciekawe – w znacznie unowocześnionych i zminiaturyzowanych wersjach. Przykładem może być ultrakompaktowy moduł TFBS4650 marki Vishay – niewielka obudowa o wymiarach zaledwie 1,6×6,8×2,8 mm (**fotografia 3**) mieści wszystko, co niezbędne do uruchomienia komunikacji – czułą fotodiodę wraz ze wzmacniaczem i komparatorem, a także trójstanowy bufor wyjściowy oraz driver wbudowanej diody LED IR (**rysunek 5**). Do aplikacji tego typu układów można zaliczyć m.in. niektóre modele liczników energii elektrycznej, wyposażone w łącze danych bazujące właśnie na podczerwieni.

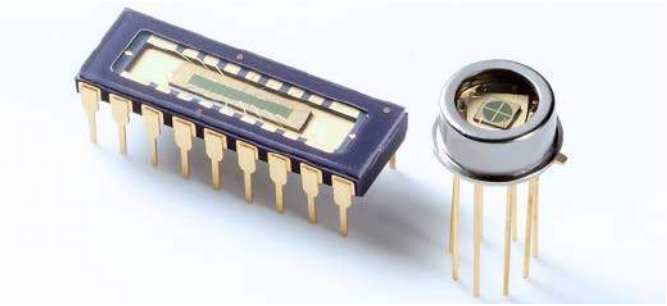
Fotodiody i detektory kwantowe dla podczerwieni bliskiej i średniej

Rejestracja promieniowania w zakresie bliskiej podczerwieni może być z powodzeniem dokonana za pomocą fotodiody bądź fototranzystora i z takim właśnie podejściem mamy najczęściej do czynienia w praktyce. Co ciekawe, o ile pomiar podczerwieni o większych długościach fali bywa trudniejszy z technologicznego punktu widzenia, to – paradoksalnie – arsenał dostępnych technik jest tutaj znacznie szerszy.

Podczerwień z zakresu NIR (*Near InfraRed*, tj. obejmującego fale o długości od około 750...800 nm do 1,4...3 μm – zależnie od przyjętej konwencji nazewniczej) może być z powodzeniem wykrywana za pomocą fotodiod InGaAs (rzecz jasna, oprócz popularnych fotodiod krzemowych, pracujących zwykle w dolnej części tego zakresu). Firma



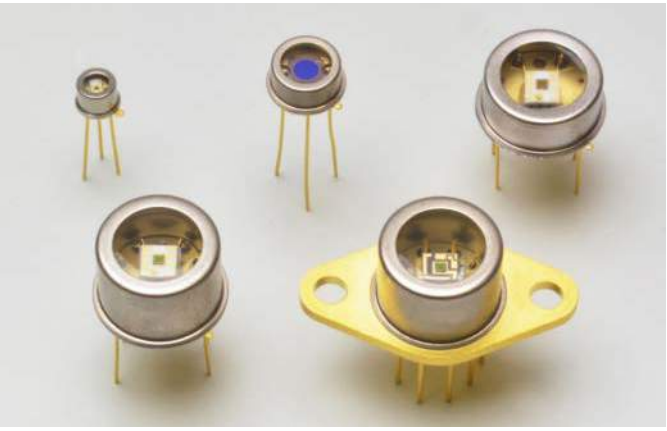
Fotografia 4. Pojedyncze fotodiody InGaAs marki Hamamatsu (https://t.ly/hESB)



Fotografia 5. Macierze fotodiod InGaAs marki Hamamatsu (https://t.ly/hESB)

Fotografia 6. Fotodiody APD InGaAs, czułe na pasmo podczerwieni (produkty z oferty firmy Hamamatsu). Źródło: https://t.ly/hESB

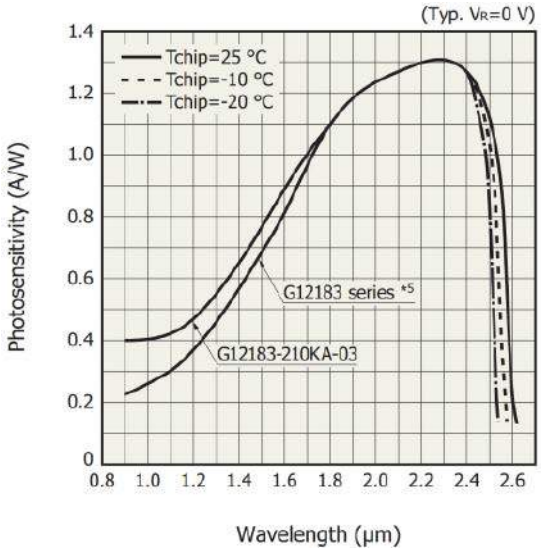
Hamamatsu oferuje szeroką gamę wysokiej klasy fotodiod pojedynczych (**fotografia 4**), macierzy fotodiod w postaci linijki lub czteropolowego sensora pozycyjnego (**fotografia 5**), a także superczułych fotodiod lawinowych (**fotografia 6**). Przykładowo, fotodiody z serii G12183 (**fotografia 7**) osiągają pik czułości spektralnej w rejonie 2,3 μm, ale zakres spektralny jest znacznie szerszy i obejmuje długość fali już od 900 nm (przy progu odcięcia rzędu około 0,2 A/W) oraz rozciąga się do 2,6 μm (zależnie od wersji – patrz **rysunek 6**).



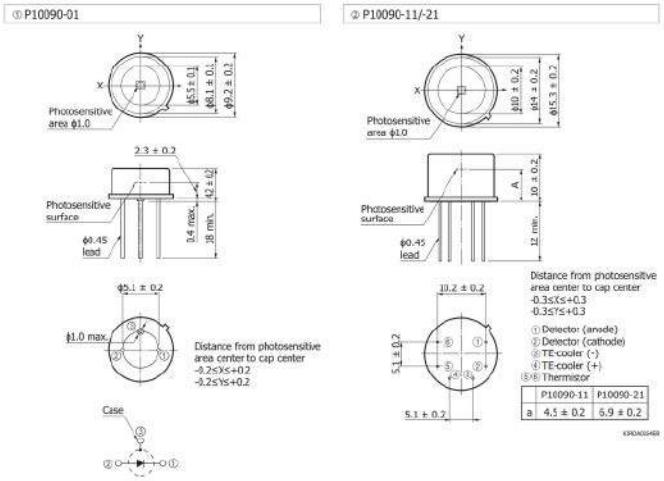
Fotografia 7. Fotodiody z serii G12183 marki Hamamatsu (https://t.ly/rpYt)

eprasa.pl e2be9d43e0

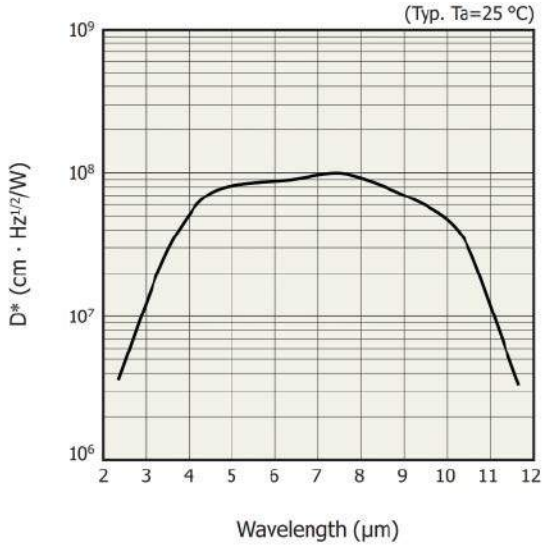
Nieco dalej (pod względem widmowym) sięgają możliwości detektorów fotowoltaicznych opartych na arsenku indu (InAs). Tutaj mamy już do czynienia z przedziałem spektrum do niecałych 4 µm,



Rysunek 6. Charakterystyki spektralne fotodiod z serii G12183 marki Hamamatsu (https://t.ly/rpYt)



Rysunek 7. Porównanie wymiarów obudowy prostej fotodiody InAs (po lewej) oraz fotodetektora z wbudowanym, termoelektrycznym modułem chłodzącym (https://t.ly/dqBuh)



Rysunek 8. Charakterystyka widmowa wykrywalności znormalizowanej D* dla fotodetektorów P16614-011CN (https://t.ly/MChS)

a dostępne fotoelementy (**fotografia 8**) mogą pracować albo bez chłodzenia, albo (przy niewiele większych rozmiarach obudowy) z wymuszonym odprowadzaniem ciepła za pomocą wbudowanego ogniwa Peltiera (**rysunek 7**) bądź nawet… obiegu ciekłego azotu (czyli przy temperaturze rzędu –196°C!). Zastosowanie chłodzenia pozwala drastycznie obniżyć poziom szumów i poprawić jakość detekcji słabych sygnałów optycznych, choć należy pamiętać, że powoduje także przesunięcie charakterystyki spektralnej w stronę fal krótszych. W handlu dostępne są także detektory oparte na antymonku indu (InSb), pracujące w paśmie rzędu 5,5 µm oraz fotoelementy InAsSb, których zakres widmowy dochodzi do 11 µm (**fotografia 9**, **rysunek 8**). Do najbardziej zaawansowanych detektorów promieniowania podczerwonego należą moduły wykonane na bazie tzw. supersieci II rodzaju (*type II superlattice*) oraz kaskadowe detektory kwantowe (QCD – *Quantum cascade detectors*) – te ostatnie oferują zawrotną szybkość odpowiedzi, umożliwiają bowiem detekcję sygnałów zmodulowanych częstotliwością dochodzącą nawet do 20 GHz (**fotografia 10**).

Fotografia 8. Fotodiody InAs na pasmo do 3 µm (oferta firmy Hamamatsu). Od lewej: prosta fotodioda, fotodioda z wbudowaną chłodnicą termoelektryczną oraz moduł z obiegiem kriogenicznego czynnika chłodniczego (LN2). Źródło: https://t.ly/MGXXs

Fotografia 9. Fotodetektor InAsSb typu P16614-011CN marki Hamamatsu (https://t.ly/MChS)

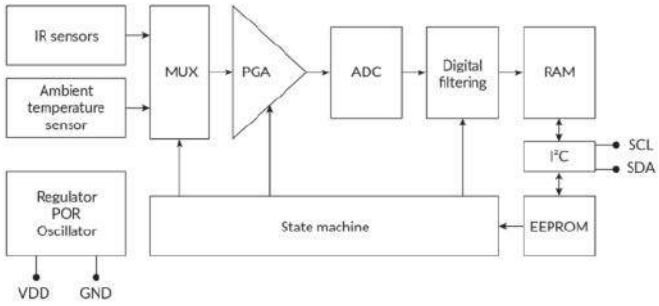
Fotografia 10. Kaskadowy detektor kwantowy P16309--01, mogący pracować z podczerwienią w zakresie MIR (pik czułości równy 4,65 µm) i oferujący pasmo dochodzące do 20 GHz (https://t.ly/Z4dI)

Czujniki pirometryczne

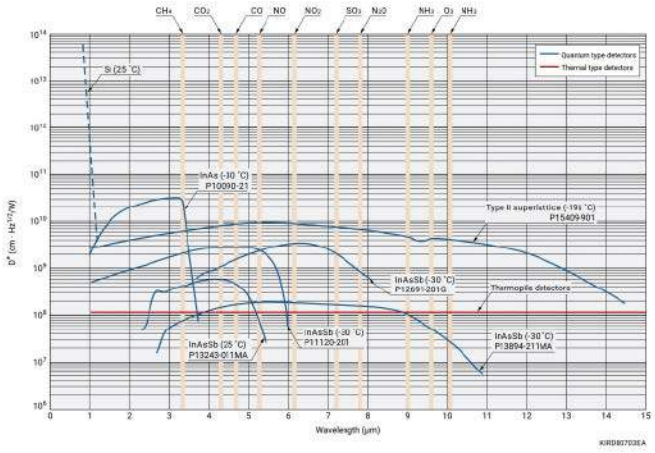
Podstawa działania czujników określanych mianem termostosu (*thermopile detector*) opiera się na szeregowo połączonych, mikroskopijnych termoparach, umieszczonych w układzie tworzącym wydzielony obszar detekcji – czuły na zdalne promieniowanie, odsłonięty dla okna optycznego znajdującego się w obudowie i zawierający „gorące" końce poszczególnych termopar – oraz obszar okalający, możliwie najlepiej odizolowany od pola detekcji i obejmujący zimne końce termoelementów. Nowoczesne czujniki tego typu są coraz częściej produkowane w krzemowej technologii MEMS (**rysunek 9**), umożliwiającej drastyczną redukcję wymiarów całości, a przy okazji także integrację układu elektronicznego, odpowiedzialnego za wzmacnianie i przetwarzanie sygnału z termopar (kompensacja temperatury otoczenia, kalibracja, obsługa przerwań z „watchdoga termicznego" itp.), a wreszcie – komunikację z zewnętrznymi urządzeniami (zwykle za pośrednictwem I²C, choć rzecz jasna nie musi to być regułą) – patrz **rysunek 10**. Warto dodać, że ultracienka membrana osłaniająca gorące końce termopar (widoczna na środkowej części rysunku 9) ma znikomą pojemność cieplną, podobnie zresztą jak same termopary

eprasa.pl e2be9d43e0

Rysunek 9. Schematyczne przedstawienie budowy czujnika pirometrycznego na bazie termostosu, wykonanego w technologii MEMS. Po prawej – rzeczywisty wygląd struktury (https://t.ly/vyw8)



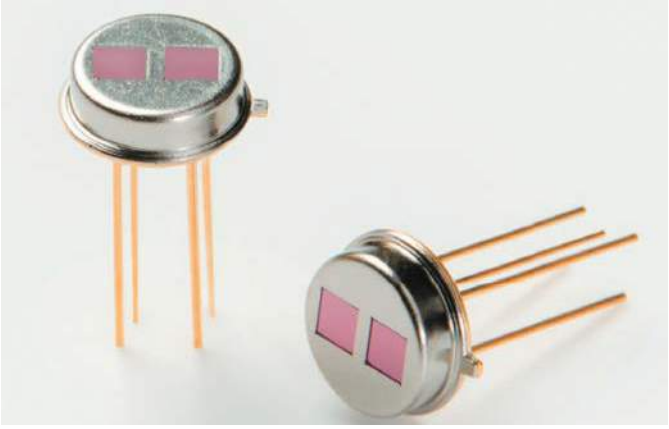
Rysunek 10. Schemat blokowy scalonego pirometru MLX90632 (https://t.ly/vyw8)



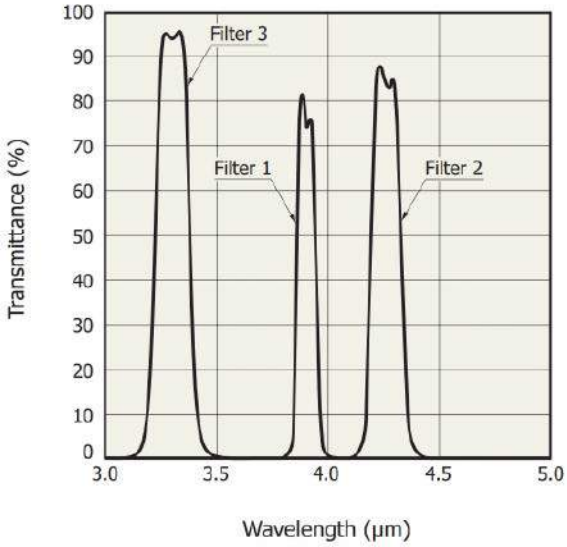
Rysunek 11. Porównanie charakterystyk spektralnych różnych detektorów podczerwieni wraz z naniesionymi oznaczeniami pasm absorpcji dla najczęściej wykrywanych gazów (https://t.ly/N_i_)

– to zaś pozwala bardzo szybko (praktycznie w czasie rzeczywistym) reagować na zmiany rejestrowanego promieniowania termicznego.

Wykorzystanie termostosu (szeregowo połączonych termopar) ma zresztą szereg zalet – sygnał podawany na wbudowany front-end czujnika jest już wstępnie wzmocniony (poprzez proste sumowanie napięć generowanych przez poszczególne termopary), co upraszcza konstrukcję układu i poprawia stosunek sygnał-szum. Co również ważne, przestrzenne rozłożenie gorących końców termopar pozwala uzyskać efekt uśredniania promieniowania, padającego na całą powierzchnię aktywną detektora. Warto też dodać, iż omawiany rodzaj detektorów oferuje niezwykle szeroki zakres wykrywanego widma, obejmujący promieniowanie o długości fali od około 1 μm aż do 25 μm – zostawia zatem daleko w tyle wszystkie omówione wcześniej rodzaje detektorów podczerwieni. Mało tego – sama konstrukcja czujnika pirometrycznego na bazie termostosu, w przeciwieństwie do innych typów czujników (np. detektorów fotowoltaicznych), nie wykazuje zależności czułości od długości fali padającego promieniowania (innymi słowy – ma płaską charakterystykę czułości widmowej – patrz **rysunek 11**). W praktyce okazuje się zatem, że odpowiedź spektralna pirometrów zależy od… charakterystyki szkła osłonowego (a także zastosowanego filtra optycznego). Ta cecha doczekała się zresztą szeregu praktycznych aplikacji – na rynku dostępne są bowiem sensory podwójne, przy czym każdy z obszarów detekcji jest



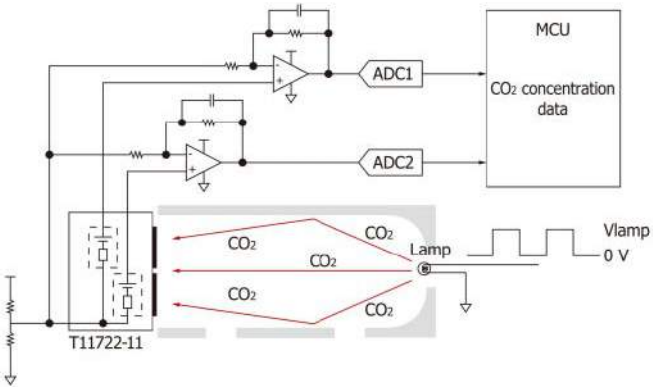
Fotografia 11. „Dwukolorowe" czujniki pirometryczne (termostosowe) z serii T11722 do pomiaru stężeń gazów (https://t.ly/fP4r)



Rysunek 12. Charakterystyki transmitancji filtrów optycznych, stosowanych w dwukanałowych detektorach z serii T11722 (https://t.ly/VaU4b)

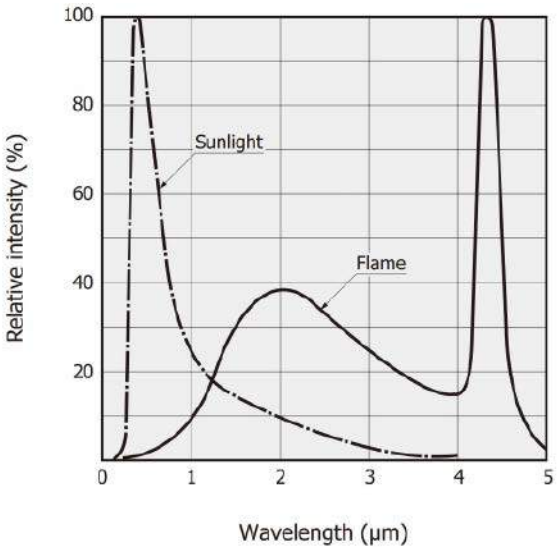
ukryty za oknem wyposażonym w filtr optyczny o innej długości fali (**fotografia 11**, **rysunek 12**). Tego typu elementy są stosowane m.in. w urządzeniach do pomiaru stężenia gazów, korzystają bowiem ze specyficznych właściwości ich widm absorpcyjnych – uproszczoną konstrukcję takiego urządzenia przedstawiono schematycznie na **rysunku 13**. Przykładowo, sensor czuły na fale o długości 3,9 μm wytwarza sygnał odniesienia dla właściwego sygnału pomiarowego o długości 4,26 μm, efektywnie tłumionego przez dwutlenek węgla obecny w badanej mieszaninie.

Znajomość widm emisji oraz absorpcji poszczególnych zjawisk lub obiektów pozwala zresztą na stosowanie czujników termostosowych



Rysunek 13. Uproszczony schemat czujnika stężenia gazu (CO_2) na bazie technologii NDIR (https://t.ly/twjI)

eprasa.pl e2be9d43e0



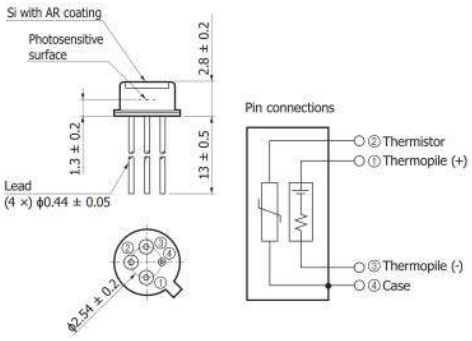
Rysunek 14. Porównanie widm emisyjnych Słońca i płomieni w zakresie światła widzialnego oraz bliskiej i średniej podczerwieni (https://t.ly/DDlv)

także w wielu innych aplikacjach. Przykładowo – termiczne detektory płomieni korzystają z faktu, iż ogień wiąże się z emisją fal szczególnie silnych w zakresie piku 4,45 µm (**rysunek 14**). Spory problem pojawia się natomiast w najpopularniejszym zastosowaniu sensorów pirometrycznych – bezdotykowych pomiarach temperatury.

Czujniki temperatury IR – zagadnienia techniczne

Opracowanie stosunkowo niedrogich i kompaktowych czujników pirometrycznych zrewolucjonizowało pomiary temperatury – technologia, która jeszcze nie tak dawno była zarezerwowana tylko do zastosowań profesjonalnych, dziś okazuje się dostępna za zaskakująco niewielkie pieniądze, co więcej – w postaci niezwykle łatwej do wykorzystania w dowolnym urządzeniu elektronicznym. Wspomnieliśmy już wcześniej o automatycznej kompensacji temperaturowej, mającej kluczowe znaczenie dla działania scalonych czujników pirometrycznych (określanych, potocznie, „czujnikami temperatury na podczerwień"), przyjrzyjmy się jednak temu zagadnieniu nieco bliżej.

Różnicowy charakter pomiarów dokonywanych za pomocą termopary wymusza dokładne określenie temperatury zimnych końców (utożsamianej z temperaturą otoczenia czujnika). Z tego też względu zdecydowana większość sensorów pirometrycznych ma już fabrycznie wbudowane termistory (**rysunek 15**), umożliwiające pomiar warunków panujących wewnątrz obudowy pirometru, a co za tym idzie – określenie bezwzględnej temperatury zdalnie mierzonego obiektu. Okazuje się jednak, że problem istnieje nadal i nawet w przypadku nowoczesnych czujników termostosowych szybka zmiana temperatury

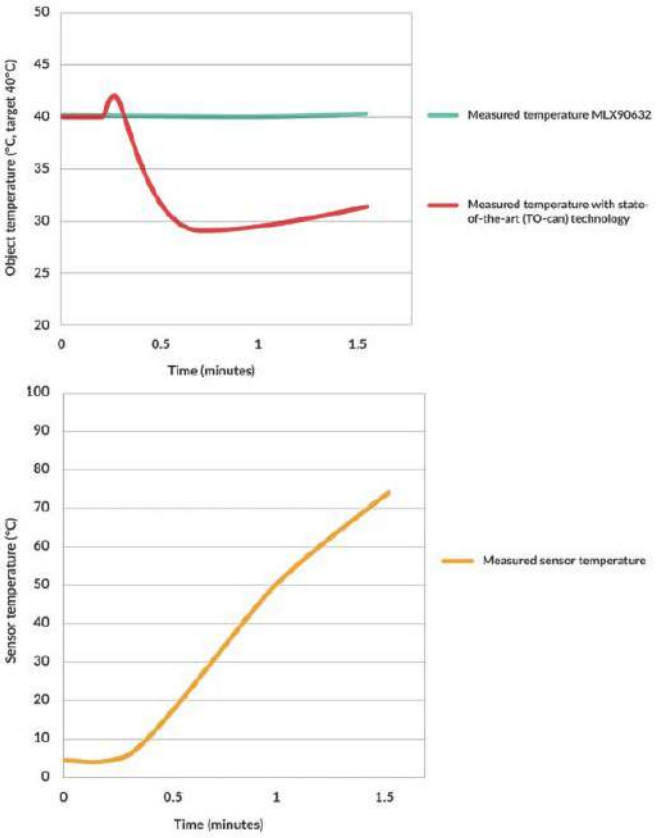


Rysunek 15. Rysunek przykładowego czujnika termostosowego (T11361-01 firmy Hamamatsu) oraz układ jego wyprowadzeń. Widoczny wbudowany termistor, podłączony do końcówek o numerach 2 i 4 (obudowa). Źródło: https://t.ly/FUwFq

Fotografia 12. Cyfrowy czujnik termostosowy typu MLX90632 marki Melexis (https://t.ly/sE2w)

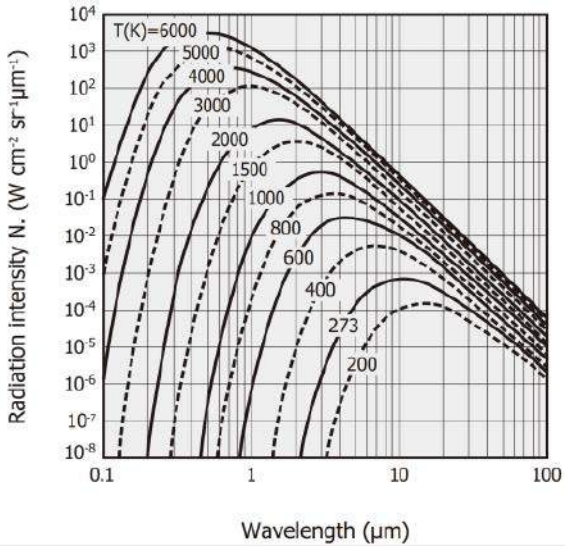
w pobliżu czujnika powoduje spore zaburzenie wyników pomiaru. Remedium na tego typu artefakty może być aktywna (elektroniczna) kompensacja temperatury – inżynierowie z firmy Melexis przeprowadzili nawet stosowny eksperyment, który wykazał, że flagowy produkt marki (pirometr cyfrowy MLX90632 – **fotografia 12**) nieporównanie lepiej radzi sobie z redukcją wpływu temperatury otoczenia na wynik pomiaru (**rysunek 16**). Na przedstawionym wykresie widać wartości pomiaru temperatury stabilnego źródła o rzeczywistej temperaturze powierzchni równej 40°C, uzyskane za pomocą nowoczesnego, „analogowego" czujnika pirometrycznego w obudowie typu TO-5 oraz wspomnianego już MLX90632 – jak widać, zbliżenie do czujników szybko nagrzewającego się obiektu (prędkość zmian temperatury na poziomie 60°C/min) powoduje potężne (tj. o ponad 10°C) przekłamanie sygnału ze „zwykłego" pirometru, a praktycznie nie wpływa na wynik uzyskany za pomocą sensora cyfrowego (odchyłka rzędu 0,25°C).

Podatność pirometrów na wahania temperatury otoczenia to niestety niejedyna przypadłość tych niezwykle użytecznych czujników. Znacznie trudniej jest bowiem mierzyć się z problemem wpływu



Rysunek 16. Przebieg eksperymentu, przeprowadzonego przez firmę Melexis w celu porównania podatności sensora MLX90632 oraz klasycznego czujnika termostosowego w obudowie typu TO-5 na artefakty dynamiczne, będące wynikiem szybkozmiennej temperatury otoczenia czujników. Górny wykres: porównanie odpowiedzi obu sensorów, dolny: przebieg temperatury źródła ciepła, zbliżonego do czujników. Źródło: https://t.ly/3k9r

eprasa.pl e2be9d43e0



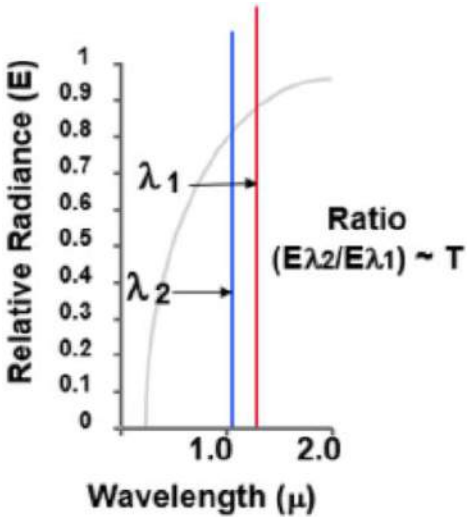
Rysunek 17. Ilustracja prawa Plancka – intensywność promieniowania termicznego ciała doskonale czarnego w funkcji długości fali (parametr – temperatura źródła w kelwinach) Źródło: https://t.ly/p8Qp

Fotografia 13. Pirometr z funkcją manualnego ustawiania emisyjności badanej powierzchni (https://t.ly/JOE0)

emisyjności powierzchni na wynik pomiaru. Zgodnie z prawem Plancka ciało doskonale czarne emituje promieniowanie o intensywności zależnej nie tylko od temperatury, ale także od rozpatrywanej długości fali (**rysunek 17**). W praktyce jednak niezwykle rzadko zdarza się, by mierzony obiekt mógł choć w przybliżeniu być potraktowany jako ciało doskonale czarne – w rzeczywistości emisyjność różnych powierzchni jest znacznie niższa. W najprostszych termometrach na podczerwień emisyjność jest ustawiona fabrycznie na wartość domyślną równą 0.95, zaś w modelach nieco bardziej zaawansowanych (**fotografia 13**) producenci umożliwiają użytkownikowi ręczne ustawienie poziomu emisyjności, co pozwala na wprowadzenie programowej korekty wyniku pomiaru temperatury.

Profesjonalne termometry bezdotykowe mogą korzystać z dwóch czujników o zróżnicowanych pikach czułości widmowej. Takie rozwiązanie (określane mianem *ratio pyrometer*) opiera się już nie na pomiarze intensywności promieniowania (jako takiej) w danym paśmie, ale na stosunku odczytów wykonanych dla dwóch różnych długości fali – nie jest zatem podatne na rozmaite zakłócenia, w tym parę, dym czy też większe zanieczyszczenia stałe, obecne w przestrzeni pomiędzy mierzoną powierzchnią a optyką czujnika. Dodatkowo, pirometry pracujące w trybie *ratio* oferują pewien stopień automatycznej kompensacji emisyjności, nieosiągalny dla prostszych termometrów. Na rynku dostępne są kompaktowe moduły oparte na tej technologii (przykład można zobaczyć na **fotografii 14**). Należy dodać, że w ramach pirometrów ratiometrycznych istnieje dalszy podział pod względem sposobu technicznej realizacji pomiaru. Urządzenia typu *dual*

Fotografia 14. Pirometr typu dual wavelength (https://t.ly/jG0J)



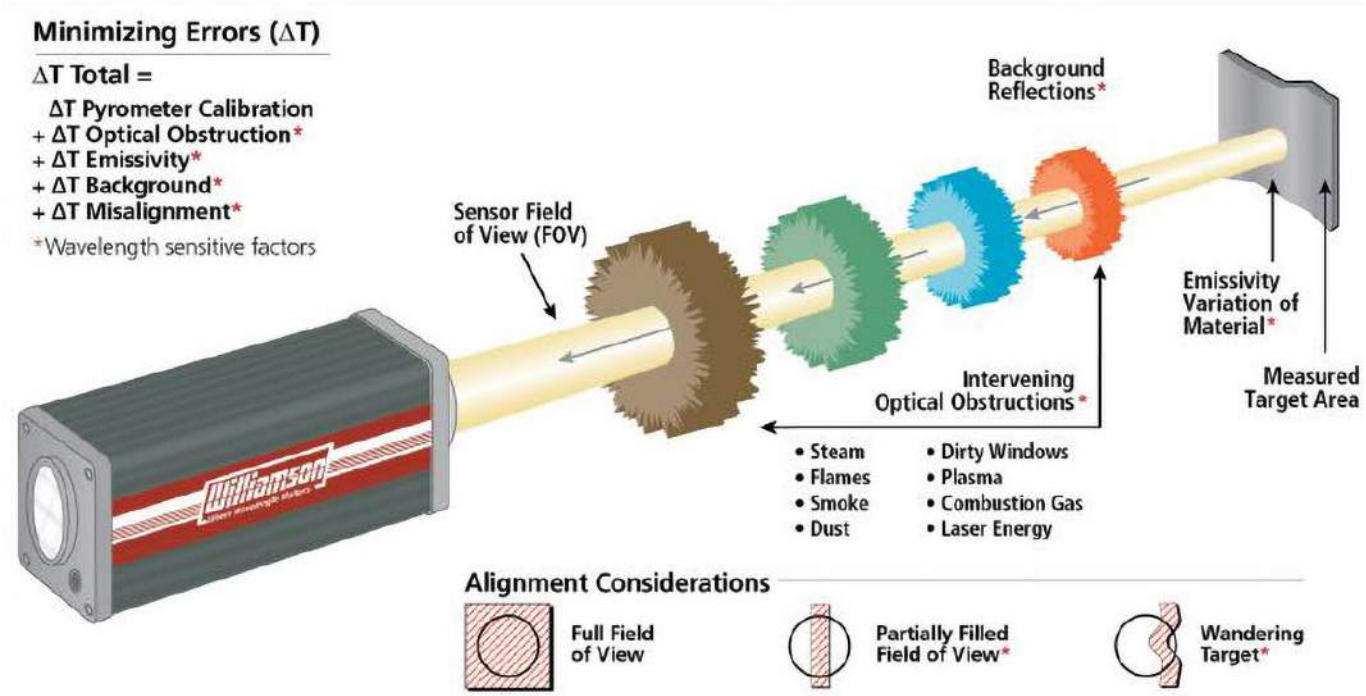
Rysunek 18. Zasada działania pirometrów pracujących w trybie ratiometrycznym. Źródło: https://t.ly/jG0J

Fotografia 15. Profesjonalne pirometry w wersji podstawowej (po lewej) oraz z sondą światłowodową (po prawej) – seria MW/MWF marki Williamson (https://t.ly/XX2V)

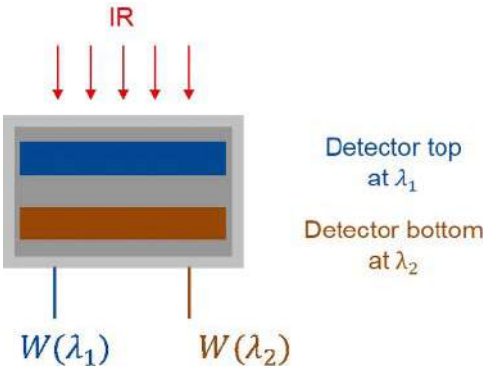
wavelength pyrometer wykorzystują czujniki zbliżone do tych, które opisaliśmy wcześniej przy okazji omawiania tematu sensorów gazowych. Ich wadą jest brak odporności na zaburzenia natury geometrycznej w polu detekcji (np. ruch obiektu lub niekompletne wypełnienie obszaru obrazowania przez mierzony obiekt – patrz **rysunek 19**). Czujniki oparte na technologii *two-color* pozwalają zredukować wpływ tego typu błędów – w tym przypadku promieniowanie przechodzi bowiem przez jedną ze struktur i pada na drugą, umieszczoną pod poprzednią w formie tzw. kanapki (**rysunek 20**).

Jeszcze dalej poszli twórcy pirometrów typu *multi-wavelength*. W tym przypadku pomiar jest jednocześnie dokonywany w kilku wąskich pasmach podczerwieni, co umożliwia bardzo efektywną redukcję wpływu zmian emisyjności i to – co niezwykle ważne – nawet dla tych materiałów, w których parametr ten nie jest jednakowy, ale zmienia się w zależności od długości fali wykorzystywanej do pomiaru. Innymi słowy, pirometry „wielospektralne" doskonale radzą sobie z tzw. ciałami nieszarymi, np. rozmaitymi metalami kolorowymi.

eprasa.pl e2be9d43e0



Rysunek 19. Ilustracja źródeł artefaktów, wpływających na dokładność pomiaru za pomocą pirometrów pracujących w trybie ratiometrycznym (https://t.ly/1R8y)



Rysunek 20. Schemat budowy struktury czujnika podczerwieni typu *two-color* (https://t.ly/_xhX)

Przykładowo – pirometry z serii MW/MWF marki Williamson (**fotografia 15**) umożliwiają pomiar temperatur w zakresie od 95°C do 2475°C i oferują powtarzalność lepszą niż 1°C, a przy tym mogą pracować w temperaturach otoczenia od –17°C do +65°C.

Podsumowanie

W artykule zaprezentowaliśmy pierwszą część materiału poświęconego nowoczesnym czujnikom pracującym w paśmie podczerwieni. Warto mieć na uwadze, że – o ile czujniki termostosowe, w swojej podstawowej formie, stanowią niezwykle ważną grupę elementów (szczególnie w aplikacjach profesjonalnych), to stawiane przez nie wymagania dotyczące implementacji układowej (czuły, precyzyjny wzmacniacz niskoszumowy, przetwornik ADC o wysokiej rozdzielczości, itd.) sprawiają, że w wielu przypadkach znacznie wygodniejszym rozwiązaniem okaże się zastosowanie gotowego, scalonego czujnika temperatury. Omówieniem takich właśnie elementów rozpoczniemy trzecią część naszego cyklu, w ramach której opiszemy ponadto detektory piroelektryczne oraz kamery termowizyjne.

inż. Przemysław Musz, EP

REKLAMA

Świat projektantów i programistów dla elektroniki w nowej odsłonie. Odwiedź wiecznie młody

ELPORTAL.pl

eprasa.pl e2be9d43e0

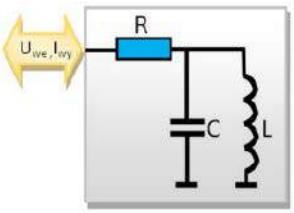
Pierwsza część artykułu znajduje się pod adresem: **https://ulubionykiosk.pl/media**

Cyfrowe przetwarzanie sygnałów w praktycznych zastosowaniach (2)

W poprzednim artykule opisałem podstawowe sposoby realizacji algorytmów DSP. Zaprezentowałem przykłady układów elektronicznych oraz podstawowe rozwiązania programowe, na których bazują procedury przetwarzania dźwięku. Ponadto podałem sposoby projektowania prostych filtrów. W tym odcinku kontynuuję tematykę filtrów oraz wskażę inne komponenty, które również można stosować w technice AUDIO. Omówię też sposoby projektowania filtrów za pomocą S- i Z-transformaty oraz sposoby przeliczania transmitancji wyrażonej w dziedzinie S na jej odpowiednik w dziedzinie Z.

Filtr pasmowo-zaporowy

Filtry tego typu mają szerokie zastosowanie, oprócz specjalizowanych aplikacji, w układach redukcji zakłóceń. Na przykład można go zastosować do usuwania przydźwięku sieci w urządzeniach audio. Wtedy filtr ten pracuje z częstotliwością rezonansową 50 Hz. Podobnie jak poprzednie filtry jest zaprojektowany na zasadzie przekształcenia zwykłego układu elektronicznego RLC na postać cyfrową. Ponieważ chodzi nam o to, aby w stanie rezonansu wzmocnienie układu wynosiło 1, w naszym przypadku mamy do czynienia z obwodem szeregowo-równoległym RLC, pokazanym na **rysunku 1**.



Rysunek 1. Schemat obwodu RLC

Wartością wejściową naszego układu jest napięcie wejściowe, natomiast wyjściową natężenie prądu płynącego przez rezystor. Oto równania dla tego obwodu:

$$u_C = \int \frac{i_C(t)}{C} dt$$

$$i_L = \int \frac{u_{L(t)}}{L} dt$$

$$i_{wy} = i_l + i_c$$

$$u_{we} = u_c + u_r$$

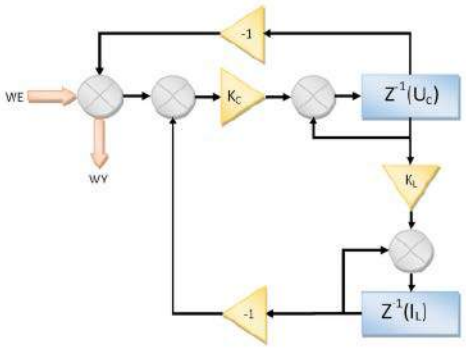
Najwygodniej jest przyjąć *R=1*, czyli:

$$i_r = u_{we} - u_c$$

Zatem nasze równania w postaci rekurencyjnej mają następującą postać:

$$Uc_{n+1} = Uc_n + \left(U_{we} - Uc_n - IL\right) \cdot K_c$$

$$IL_{n+1} = IL_n + Uc_n \cdot K_L$$



Rysunek 2. Schemat blokowy algorytmu filtru pasmowo-zaporowego

eprasa.pl e2be9d43e0

Listing 1. Kod realizujący działanie filtra pasmowo-zaporowego

```
#define STALA_PI 3.141592
#define FP    96000
#define Q 30

#define K_C   (2*STALA_PI*100/Q/FP)
#define K_L   ((2*STALA_PI*100*Q)/FP)
double Filtr(double w){
volatile double register wy;
static double U_C = 0, U_L=0;

    wy = w - U_C;
    U_C += (wy-I_L) * K_C;
    I_L += U_C * K_L;
    return wy;
}
```

Realizacja cyfrowa powyższych równań została pokazana na diagramie na **rysunku 2**. Przykład programu implementującego powyższy filtr znajduje się na **listingu 1**, natomiast na **rysunku 3** pokazany jest przebieg sygnału wyjściowego w funkcji czasu po przyłożeniu na wejście fali prostokątnej o częstotliwości równej częstotliwości rezonansowej. Współczynniki K_C i K_L możemy wyznaczyć, posługując się wzorami na dobroć równoległego obwodu rezonansowego:

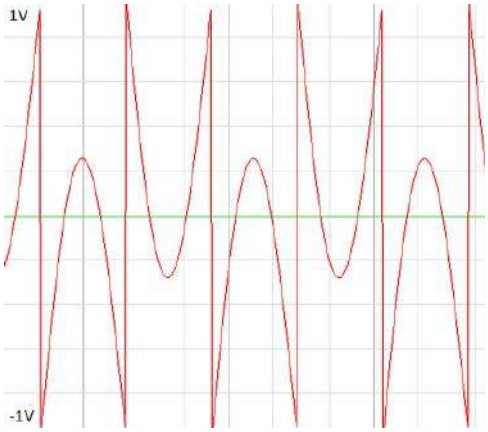
$$Q = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot f_o \cdot L} = 2 \cdot \pi \cdot f_o \cdot C \cdot R$$

czyli:

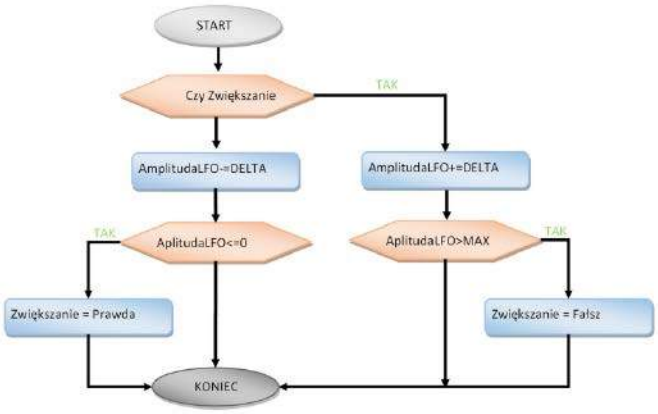
$$K_L = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_o \cdot Q}{fp}$$

$$K_C = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_o}{fp \cdot Q}$$

gdzie f_p – częstotliwość próbkowania.



Rysunek 3. Odpowiedź filtru środkowozaporowego na pobudzenie falą prostokątną o częstotliwości równej częstotliwości rezonansowej filtru $f=f_o$=100 Hz, częstotliwość próbkowania f_p=10 kHz, U_{we}=1 V, Q=10



Rysunek 4. Algorytm generatora wytwarzającego sygnał prostokątny

Pozostałe układy DSP

Teraz przeanalizujemy pozostałe algorytmy DSP, które generalnie nie służą do filtrowania sygnałów, ale znajdą wiele praktycznych zastosowań.

Generatory

Stosując technikę cyfrowego przetwarzania sygnału, można w bardzo prosty sposób tworzyć układy wytwarzające przebiegi przemienne w czasie. Jednym z łatwiejszych w realizacji algorytmów, ponieważ nie wymaga użycia nieliniowych funkcji matematycznych, jest generator sygnału trójkątnego lub piłokształtnego. Schemat takiego algorytmu pokazany jest na **rysunku 4**. Zasada jego działania polega na cyklicznym zwiększaniu amplitudy lub zmniejszaniu (po przekroczeniu wartości progowej). Dla generatora przebiegu trójkątnego zmienną Δ można wyliczyć ze wzoru:

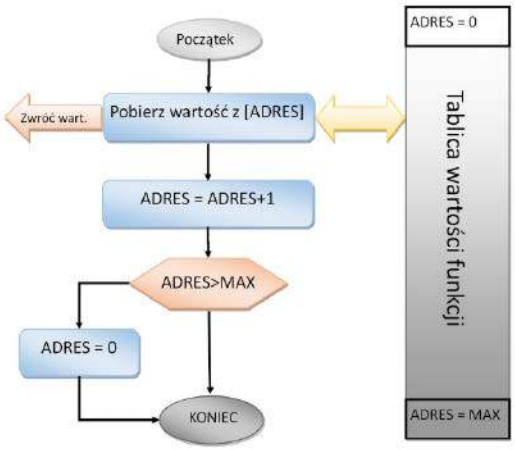
$$\Delta = \frac{2 \cdot MAX \cdot f_g}{f_p}$$

gdzie:
MAX – wartość maksymalna generatora,
f_g – częstotliwość generatora,
f_p – częstotliwość próbkowania.

Listing 2. Przykładowa klasa w języku C++ służąca do wytwarzania przebiegu o regulowanej amplitudzie i częstotliwości

```
class EModulacjaLFO : public EModulacjaBaza{
public:
    EModulacjaLFO();

    enum T_Ksztalt{
        KTrojkat,
        KProstokat,
        KSinus,
        KPila
    };

void EModulacjaLFO::UstawPar(double f, double a){
    DAlfa = f * 2.0F * STALA_PI / FP;

    F = f;
    Amp = a;

    DA = f / FP * 2 * a;
    Glebokosc = a;
}


void EModulacjaLFO::PrzetwarzanieImp(){

    if (Ksztalt == KSinus){
        Alfa += DAlfa;
        if (Alfa > (2 * STALA_PI))
            Alfa -= (2 * STALA_PI);
        Wartosc = (double)((sin(Alfa) + 1)/2.0F*Glebokosc);
    } else if (Ksztalt == KPila){
        if (Kierunek){
            Wartosc += DA/0.2F;
            if (Wartosc >= Glebokosc) Kierunek = false;
        } else {
            Wartosc -= DA/1.8F;
            if (Wartosc <= 0) Kierunek = true;
        }

    } else {
        if (Kierunek){
            WT += DA;
            if (WT >= Glebokosc) Kierunek = false;
        } else {
            WT -= DA;
            if (WT <= 0) Kierunek = true;
        }

        if (Ksztalt == KProstokat){
            Wartosc = WT > 0.5F*Glebokosc ? Glebokosc : 0;
        } else
            Wartosc = WT;
    }
}


    T_Ksztalt Ksztalt = KTrojkat;
    double F;
    double Amp;
    private:
    double DA;
    double Glebokosc;
    double Alfa = 0;
    double DAlfa;
    double WT = 0;
    bool Kierunek = false;
};
```


eprasa.pl e2be9d43e0

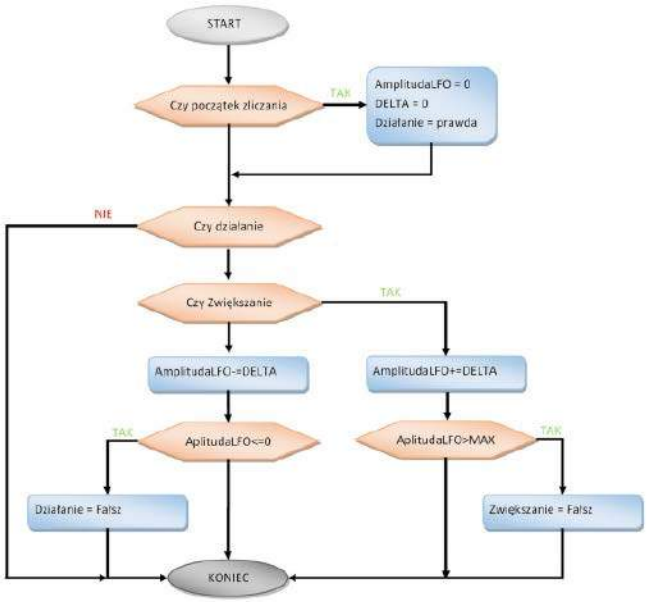


Rysunek 5. Algorytm generatora sygnału nieliniowego wytwarzanego przy użyciu tablicy wartości funkcji

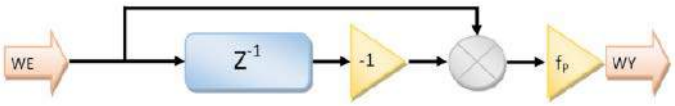
Jeśli chcemy zbudować program tworzący sygnał zmieniający się nieliniowo, musimy do tego celu użyć nieliniowej funkcji matematycznej. Jednak w większości przypadków nie musimy jej wyliczać algorytmami arytmetycznymi. Możemy bowiem użyć tablicy wartości. To rozwiązanie powoduje zmniejszenie dokładności wyliczonej wartości, jednak bardzo przyspiesza działanie programu. Na **listingu 2** zaprezentowałem przykładową klasę w języku C++ służącą do wytwarzania przebiegu o regulowanej amplitudzie i częstotliwości. Do wytwarzania przebiegu czasowego służy procedura *PrzetwarzanieImp*. Kształt przebiegu wytwarzanego przez tę funkcję zależy od zmiennej *Ksztalt* i może mieć kształt sinusoidalny, piłokształtny, trójkątny lub prostokątny. Za pomocą funkcji *UstawPar* możemy zmieniać parametry generatora, a konkretnie – wartość amplitudy i częstotliwości.

W programie, w którym były użyte powyższe funkcje, generowany sygnał był używany do modulowania różnych wartości, tak więc amplituda sygnału wyjściowego zmienia się od 0 do ustawianej wartości maksymalnej.

Oprócz układów wytwarzających przebieg okresowy można też zaprojektować algorytm, na którego wyjściu występuje pojedynczy impuls o określonym kształcie. Zasada jest taka sama jak w rozwiązaniach omawianych poprzednio, z tą różnicą, że po osiągnięciu przez licznik końcowej wartości odliczanie zostaje zakończone. Przykładowy algorytm wytwarzający impuls prostokątny pokazano na **rysunku 6**.



Rysunek 6. Algorytm wytwarzania pojedynczego impulsu trójkątnego



Rysunek 7. Algorytm różniczkowania numerycznego

Układy całkujące i różniczkujące

Stosując technikę cyfrową, można również w prosty sposób zaprojektować układ różniczkujący i całkujący. Jeśli chodzi o całkowanie, to zostało ono omówione w poprzednich częściach cyklu i polega na zwykłym dodawaniu. Całkowanie możemy wykonać w następujący sposób:

$$y = \int f(x)dx$$

$$y_{n+1} = y_n + \frac{x_n}{f_p} \text{ dla } y_o = 0$$

gdzie f_p – częstotliwość próbkowania.

W przypadku różniczkowania możemy opracować algorytm na podstawie samej definicji pochodnej:

$$\frac{dy(x)}{dx} = \frac{y(x+h) - y(x)}{h} \text{ dla } h \to 0$$

Równanie reprezentujące algorytm będzie wyglądało następująco:

$$y' = \left(y\middle|n+1 - y_n\right) \cdot f_p$$

gdzie f_p – częstotliwość próbkowania.

Schemat blokowy reprezentujący algorytm różniczkowania jest pokazany na **rysunku 7**.

Modulatory

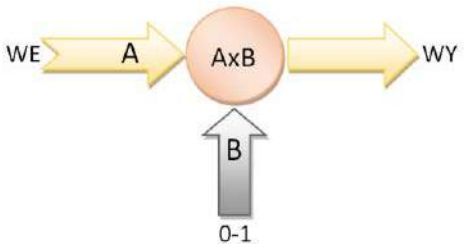
Modulacja amplitudy sygnału bazuje na operacji mnożenia. W technice analogowej trzeba stosować specjalne układy, które są dość skomplikowane i zazwyczaj nieliniowe. Natomiast podczas przetwarzania cyfrowego wystarczy zwykła operacja mnożenia, która zazwyczaj jest dostępna w asemblerach procesorów, których używa się do obróbki sygnałów lub w układach FPGA. Najprostszym blokiem modulacji dźwięku jest regulacja głośności. Polega na mnożeniu sygnału akustycznego przez wartość zmieniającą się w zakresie 0...1. Działanie tego zadania pokazano na **rysunku 8**.

Innym zastosowaniem modulatora jest płynne włączanie lub wyłączanie dźwięku. Do przełączania dźwięku należy zastosować taki układ, gdyż bezpośrednie włączanie lub wyłączanie może wywoływać słyszalny trzask. Schemat tego rozwiązania obrazuje **rysunek 9**. Zadaniem układu formowania amplitudy jest jej powolna zmiana przy skokowej zmianie poziomu wejściowego. Fragment kodu reprezentujący tę funkcję pokazano na **listingu 3**.

Trzecim przykładem, który chcę zaprezentować w tym punkcie, jest modulacja dźwięku za pomocą generatora. Rozwiązanie to jest często stosowane jako efekt muzyczny. Schemat jego działania pokazano na **rysunku 10**.

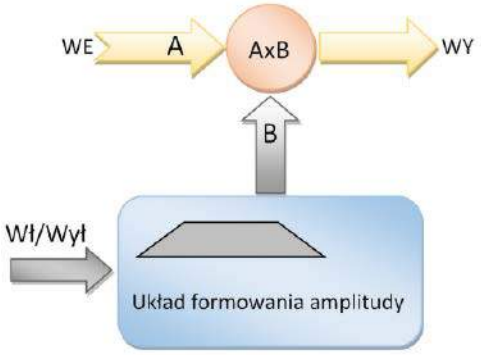
Detektory amplitudy

Nieraz w układach przetwarzających sygnał zmienny zachodzi potrzeba pomiaru wartości amplitudy. Mogą to być detektory sygnału akustycznego lub na przykład układy do pomiaru napięć



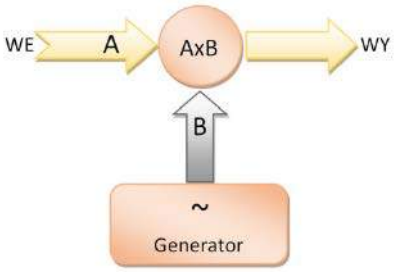
Rysunek 8. Regulacja głośności

eprasa.pl e2be9d43e0



Rysunek 9. Układ płynnego przełączania dźwięku

```
Listing 3. Fragment kodu reprezentujący funkcję powolnej zmiany
amplitudy przy skokowej zmianie poziomu wejściowego

#define WSP_T_WYCISZANIE   (double)(10/FP);

if (Wyciszenie){
    WspWyciszanie -= WspWyciszanie * WSP_T_WYCISZANIE;
} else {
    WspWyciszanie += (1-WspWyciszanie) * WSP_T_WYCISZANIE;
}

WartoscSygnalu *= WspWyciszanie;
```

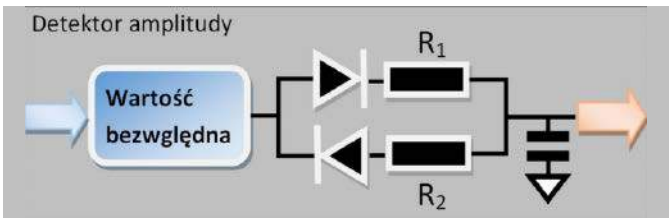


Rysunek 10. Modulacja dźwięku generatorem

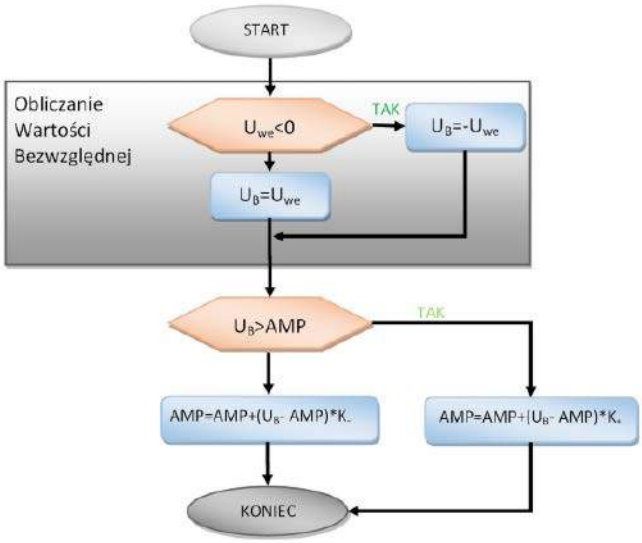
wyjściowych w falownikach. W zasadzie, aby dokonać pomiaru amplitudy takiego sygnału, wystarczy obliczyć wartość bezwzględną i zastosować filtr dolnoprzepustowy w celu odfiltrowania składowej zmiennej. Jednak jeśli chcielibyśmy wyznaczyć wartość maksymalną, można zastosować układ z **rysunku 11**. Jest on prosty do realizacji za pomocą algorytmów cyfrowych, w których można łatwo zrealizować diody idealne. W zaprezentowanym układzie możemy dobrać stałe czasowe filtru dolnoprzepustowego dla rosnącego i malejącego poziomu mierzonego sygnału. Jeśli chcemy zaprojektować układ mierzący maksymalną amplitudę to R_2 powinno być dużo większe od R_1. Algorytm tego detektora pokazuje **rysunek 12**.

Filtry modulowane

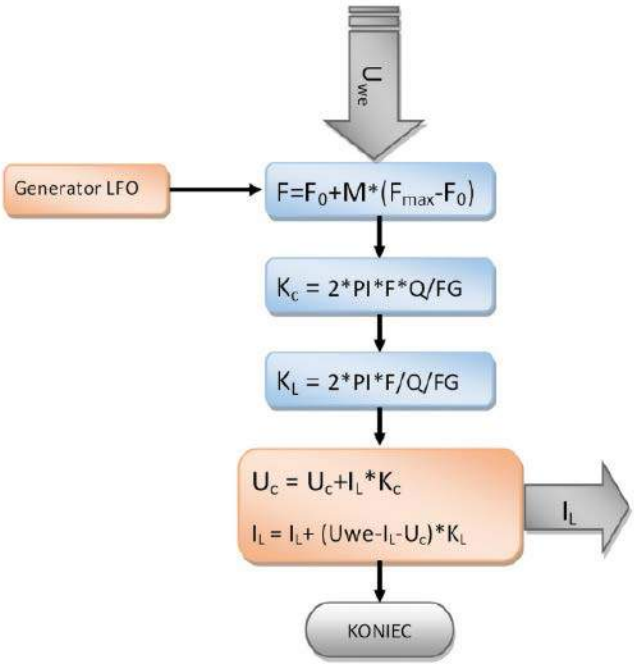
Opisane w artykule filtry mogą być z łatwością przestrajane, dzięki czemu są stosowane do regulacji barwy tonu. Natomiast modulowane za pomocą generatorów tworzą ciekawe efekty dźwiękowe. Na **rysunku 13** znajduje się algorytm modulowanego filtru środkowoprzepustowego. W pokazanym przeze mnie przykładzie filtr jest modulowany sygnałem zmiennym, ale do modulacji można też użyć pojedynczego impulsu lub podawać wartość z manualnego regulatora (np. pedału gitarowego).



Rysunek 11. Schemat obrazujący ideę detektora amplitudy



Rysunek 12. Algorytm detektora amplitudy z ustawianą stałą czasową dla rosnącego i malejącego poziomu sygnału mierzonego



Rysunek 13. Algorytm filtru modulowanego

S- i *Z*-transformata

Teraz wyjaśnię w skrócie zastosowanie *S*- i *Z*-transformaty w projektowaniu filtrów cyfrowych. Ponieważ chcę to zagadnienie omówić od strony praktycznej, teraz dla formalności podam tylko wzory teoretyczne definiujące przekształcenie *Z* i *S* i od razu przejdę do ich użycia w algorytmach DSP.

Ogólny wzór na transformacje w dziedzinie *s* nazywaną także jako przekształcenie Laplace'a:

$$X(S)=\int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-st}$$

Wzór definiujący transformację *Z* wygląda następujaco:

$$X(Z)=\sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)z^{-n}$$

Transformacja *Z* służy do projektowania filtrów cyfrowych, natomiast za pomocą transformaty Laplace'a możemy opisać dowolny liniowy układ elektroniczny. Przekształcenie to pozwala także wyznaczyć charakterystykę częstotliwościową i odpowiedź impulsową. Aby wyznaczyć charakterystykę częstotliwościową dla funkcji przenoszenia opisanej w dziedzinie *S* wystarczy pod *S* – podstawić *j*ω,

eprasa.pl e2be9d43e0

natomiast dla z przekształcenia pod $Z–e^{j\omega/fp}$, gdzie f_p to częstotliwość próbkowania.

Zastosowanie zmiennej *s* jest bardzo proste. Wystarczy w równaniu, wszędzie tam, gdzie występuje różniczkowanie, pomnożyć przez zmienną *s*, a tam, gdzie występuje całkowanie, podzielić przez *S*.

$$\frac{dx(t)}{dt} = X \cdot S$$

$$\int x(t)dt = \frac{X}{S}$$

Biorąc pod uwagę definicję pojemności i indukcyjności, możemy w obwodzie elektronicznym zastąpić reaktancję dla tych wartości w następujący sposób:

$$jX_C = \frac{s}{C} \qquad jX_L = \frac{L}{S}$$

Analizę układu elektronicznego wykonuje się przy użyciu zwykłych praw dla obwodów elektrycznych takich, jak prawo Ohma czy Kirchhoffa, z tym że występowanie pojemności zastępuje się wyrażeniem $\frac{s}{C}$, a indukcyjności $\frac{L}{s}$ i traktuje się je w obliczeniach jako rezystancję (reaktancję).

Na przykład dla szeregowego obwodu rezonansowego RLC można napisać następujące równanie:

$$I = U\frac{1}{R + \frac{L}{s} + \frac{s}{C}}$$

W artykule zamieściłem opis transformaty Laplace'a, ponieważ większość filtrów projektuje się przy jej użyciu, a następnie przekształca się na transformację *Z*, na podstawie której można stworzyć gotowy algorytm DSP.

Metoda dopasowania transformacji Z

Omówię teraz dwie metody zamiany filtru zaprojektowanego przy użyciu transformacji *S* na transformację w dziedzinie *Z*. Do tego muszę wprowadzić pojęcia zer i biegunów występujących w opisie transmitancji w dziedzinie *S*. Zera są to po prostu miejsca zerowe licznika, natomiast bieguny to wartości zmiennej *S*, dla których zeruje się mianownik:

$$H(s) = \frac{(s-q_1)(s-q_2)(s-q_3)(s-q_n)}{(s-p_1)(s-p_2)(s-p_3)(s-p_n)}$$

W opisywanej metodzie transformuje się zera i bieguny transmitancji filtru analogowego w taki sposób, że zamienia się czynniki:

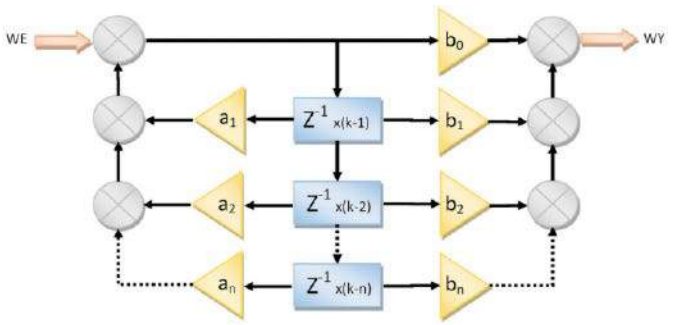
$$s - q_j \rightarrow 1 - z^{-1}e^{qjT}$$

$$s - p_j \rightarrow 1 - z^{-1}e^{pjT}$$

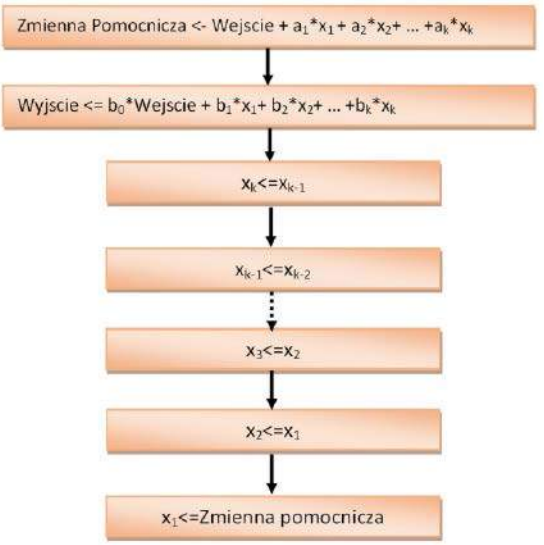
Dla tej metody przybliżona zgodność charakterystyk filtru analogowego i cyfrowego występuje tylko w zakresie częstotliwości *f<fp/10*.

Metoda transformacji biliniowej

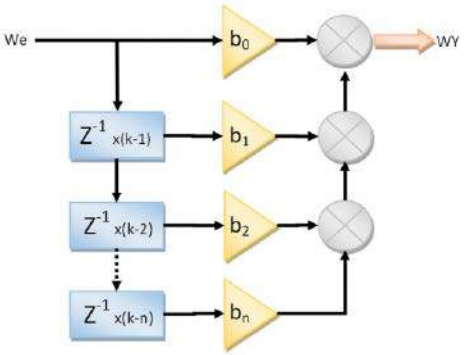
W tej metodzie przekształcamy bezpośrednio wyrażenie, w którym występuje zmienna *s* na zmienną *z* według wzoru:



Rysunek 14. Struktura filtru cyfrowego



Rysunek 15. Algorytm filtru cyfrowego będący jego implementacją w języku wysokiego rzędu



Rysunek 16. Struktura filtru FIR

$$Z = \frac{2f_p + s}{2f_p - s}$$

Metoda ta wprowadza błąd częstotliwości. Rzeczywista częstotliwość, dla której to przekształcenie jest prawdziwe, wynosi:

$$f_R = \frac{arctg\left(\frac{\omega}{2f_p}\right)}{\pi}$$

Projektowanie algorytmu DSP na podstawie funkcji opisującej filtr w dziedzinie Z

Aby zamienić opis filtru w dziedzinie *Z* na algorytm cyfrowy, najlepiej funkcje przenoszenia filtru opisać wzorem:

$$H(z^{-1}) = \frac{a_0 + a_1Z^{-1} + a_2Z^{-2} + \ldots + a_nZ^{-n}}{1 + b_1Z^{-1} + b_2Z^{-2} + \ldots + b_nZ^{-n}}$$

Na podstawie tak wyrażonej funkcji przenoszenia możemy opracować algorytm cyfrowy, który łatwo zaimplementować w języku programowania wysokiego poziomu. Graf takiego algorytmu pokazany jest na **rysunku 14**, natomiast sam algorytm na **rysunku 15.**

Zaprezentowany filtr należy do grupy filtrów tzw. IIR. Oznacza to, że jego odpowiedź impulsowa nigdy nie osiąga wartości zerowej (w dziedzinie czasu). Uproszczonym rodzajem tego filtru jest filtr typu FIR, który nie spełnia tego warunku. Różnicą w opisie pomiędzy strukturami FIR i IIR jest to, że wartości zmiennych pamiętających (Z^{-1}) filtru typu IIR dla nowego cyklu przetwarzania zależą od poprzednich wartości. Struktura filtru FIR pokazana jest na **rysunku 16**.

Tomasz Krogulski
krogul70@gmail.com

eprasa.pl e2be9d43e0

Przykładowy sterownik PLC z zainstalowanymi kilkoma modułami rozszerzeń I/O (https://t.ly/aQHx)

Praktyczne aplikacje scalonych układów AFE (22)

Cyfrowe front-endy I/O do zastosowań przemysłowych

Urządzenia przemysłowe – w tym przede wszystkim sterowniki PLC oraz przeznaczone dla nich moduły rozszerzeń – korzystają z szeregu różnych standardów sygnałowych, zarówno w zakresie wejść, jak i wyjść cyfrowych oraz analogowych. Dyskretna realizacja poszczególnych obwodów I/O wiąże się rzecz jasna ze znaczną rozbudową PCB w miarę wzrostu liczby portów. Z tego też względu niektórzy producenci półprzewodników opracowali specjalne front-endy, których zadaniem jest maksymalne ułatwienie pracy konstruktorom automatyki przemysłowej. W tym odcinku Poradnika Implementacji przyjrzymy się wybranym przykładom takich właśnie układów AFE.

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

Zagadnienie standardów przesyłu sygnałów pomiarowych i sterujących stosowanych w automatyce przemysłowej jest znacznie bardziej złożone niż w przypadku klasycznych układów cyfrowych i analogowych. Przykładowo – podczas gdy w systemie mikroprocesorowym reprezentację poszczególnych stanów logicznych zapewniają dwa zakresy napięcia (wokół potencjałów 0 V i VCC, rzecz jasna wraz z odpowiednimi marginesami zakłóceń, wyznaczonymi przez różnice maksymalnych przedziałów dopuszczalnych napięć wejściowych i wyjściowych), to w instalacjach obiektowych mamy do czynienia z szeregiem ścisłych wymogów normalizacyjnych, zarówno w zakresie napięć, jak i prądów. Ich celem – tak jak zresztą we wszystkich innych standardach branżowych – jest ujednolicenie parametrów urządzeń, zapewniające poprawną współpracę aparatury różnych producentów. W przypadku sygnałów analogowych, stosowanych zarówno w czujnikach, jak i urządzeniach wykonawczych (np. w falownikach do kontroli prędkości obrotowej silnika), istnieje możliwość wykorzystania zarówno sygnałów napięciowych (np. 0...10 V), jak i prądowych, w najpopularniejszych standardach 0...20 mA czy 4...20 mA.

Najprostsza implementacja obwodów wejściowych wydaje się zadaniem nieszczególnie skomplikowanym. Aby zredukować napięcie wejściowe (np. z czujnika zbliżeniowego) z poziomu 24 V do 3,3 V (zasilającego procesor) można przecież zastosować dzielnik napięcia, wyposażony w diodę(-y) zabezpieczającą(-e) oraz szeregowy rezystor ograniczający prąd. Podobne rozwiązanie można wykorzystać także do sprzężenia wejścia napięciowego 0...10 V z niskonapięciowym przetwornikiem ADC, zaś do przetworzenia sygnałów z pętli prądowej (0...20 mA lub 4...20 mA) wystarczy użyć stabilnego rezystora,

eprasa.pl e2be9d43e0

konwertującego natężenie prądu na spadek napięcia, łatwo mierzalny za pomocą ADC.

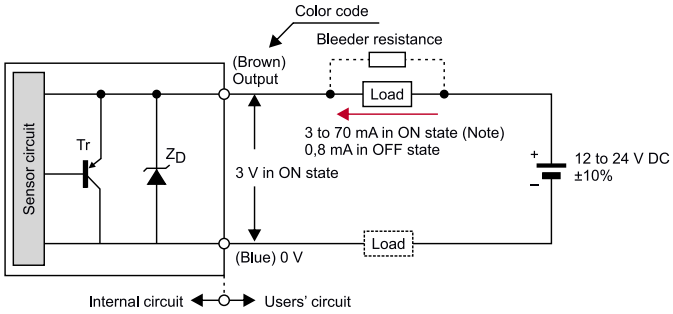
Sprawa staje się jednak znacznie bardziej złożona, jeżeli uwzględnimy szereg dodatkowych czynników, tak ważnych w praktycznych realizacjach instalacji przemysłowych. Unikanie pętli prądowych (a więc także ochrona przed propagacją przewodzonych zaburzeń EMI) wymaga stosowania izolacji galwanicznej, realizowanej zwykle za pomocą transoptorów. Ponadto znaczna część sensorów i przetworników czujnikowych jest zasilana za pomocą połączenia dwuprzewodowego, pełniącego także funkcję interfejsu sygnałowego – innymi słowy, elektronika czujnika jest zasilana prądem, którego źródłem jest obwód wejściowy współpracującego urządzenia nadrzędnego (koncepcja nieco przypomina tę znaną z układów 1-Wire, podkradających energię elektryczną z linii sygnałowej, choć rzecz jasna realizacja techniczna jest tutaj diametralnie inna). Mało tego – zapotrzebowanie prądowe jest różne dla różnych generacji urządzeń półprzewodnikowych, a w przypadku prostych sensorów elektromechanicznych (stykowych, np. wyjść przekaźnikowych czy wyłączników krańcowych), natężenie prądu w obwodzie nie odgrywa aż tak istotnej roli i zwykle może zmieniać się w znacznie szerszym zakresie niż podczas współpracy z przetwornikami aktywnymi. Sprawę przemysłowych portów I/O dodatkowo komplikuje zróżnicowanie polaryzacji wyjść sensorów – przykładowo, czujniki zbliżeniowe występują zarówno w wersjach typu PNP (sterowanie „od góry"), jak i NPN (sterowanie „od dołu"). Niezależnie natomiast od tego, z jakim standardem sygnałowym mamy do czynienia, automatyka przemysłowa wymaga bardzo wysokiego poziomu niezawodności i bezpieczeństwa funkcjonalnego, istotne są zatem także funkcje autodiagnostyczne i możliwość bieżącego monitorowania portów wejścia i wyjścia pod kątem występowania ewentualnych awarii.

Mając na uwadze przytoczone powyżej zagadnienia, producenci układów scalonych postanowili wyjść naprzeciw potrzebom konstruktorów sterowników PLC i modułów I/O (przykład na **fotografii tytułowej**), wdrażając do sprzedaży szereg rozbudowanych układów interfejsowych. Warto dodać, że – choć nasz cykl dotyczy przede wszystkim klasycznych front-endów analogowych, przeznaczonych do celów pomiarowych – tym razem przyjrzymy się także układom cyfrowym, a to z prostej przyczyny. Zaawansowane, konfigurowalne układy AFE przeznaczone do pracy z sygnałami binarnymi także mają bowiem szereg ukrytych bloków analogowych (komparatorów, źródeł napięcia odniesienia, źródeł prądowych, etc.), co sprawia, że pod względem koncepcyjnym zapewniają podobny stopień integracji rozmaitych funkcji, co inne front-endy omawiane przez nas w ramach Poradnika Implementacji.

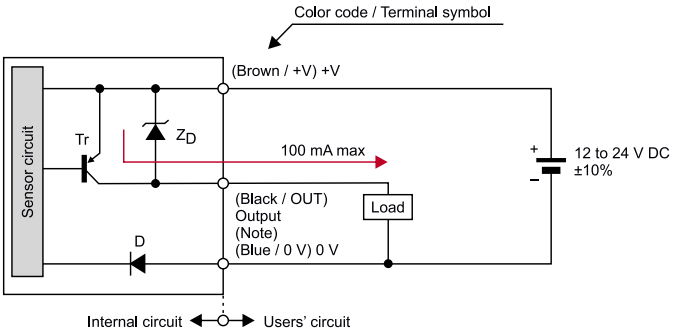
Standardy wejść cyfrowych w sterownikach przemysłowych

Podstawowym standardem opisującym parametry wejść cyfrowych w sterownikach PLC jest norma IEC 61131-2 (na polskim gruncie zaadaptowana jako PN-EN 61131-2:2008 – *Sterowniki programowalne – część 2: Wymagania i badania dotyczące sprzętu*). Dokument określa trzy rodzaje wejść cyfrowych (określanych zwyczajowo jako DI – Digital Input), pracujących w trybie *sinking* (czyli przyjmujących prąd wpływający do nich z zewnątrz):

- **Typ 1** – przeznaczone do współpracy z konwencjonalnymi czujnikami i przełącznikami elektromechanicznymi 2-przewodowymi (**rysunek 1**), a także z 3-przewodowymi urządzeniami półprzewodnikowymi (czyli wyposażonymi w dodatkowy przewód zasilający, dzięki któremu prąd potrzebny do uruchomienia zdalnego przetwornika nie musi być pobierany z wejścia sterownika PLC – **rysunek 2**),
- **Typ 2** – dostosowane do obsługi urządzeń zasilanych z linii wejściowej, wymagających stosunkowo dużego prądu zasilania; dobrze nadają się do współpracy np. z 2-przewodowymi czujnikami zbliżeniowymi, kompatybilnymi z normą 60947-5-2,
- **Typ 3** – odpowiednie dla energooszczędnych sensorów półprzewodnikowych; ograniczają prąd w stopniu znacznie większym niż wejścia typu 2 (nawet dla stosunkowo wysokich napięć), dzięki czemu dobrze nadają się do wielowejściowych modułów PLC.



Rysunek 1. Połączenie 2-przewodowego czujnika przemysłowego z wyjściem typu PNP (https://t.ly/0oGX)

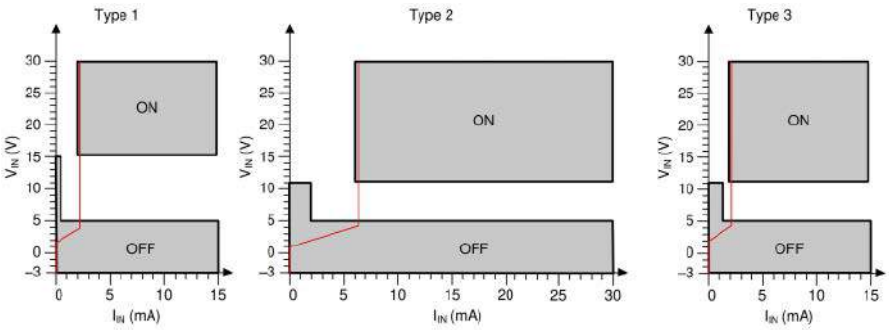


Rysunek 2. Połączenie 3-przewodowego czujnika przemysłowego z wyjściem typu PNP (https://t.ly/0oGX)

Poszczególne rodzaje wejść różnią się zarówno poziomami napięciowych progów przełączania, jak i ograniczeniami prądu w poszczególnych stanach logicznych i dla danych standardów sygnałowych (24 V czy też 230 V). Określenie wartości progowych definiuje zatem kształt charakterystyk prądowo-napięciowych – przykładowe wykresy pokazano na **rysunku 3**, natomiast stosowne dane liczbowe, zaczerpnięte z normy w wersji EN 61131-2:2003 – w **tabeli 1**.

Przemysłowe front-endy do budowy wejść i wyjść cyfrowych

Jak już wspomnieliśmy wcześniej, typowa realizacja wejścia cyfrowego w sterowniku PLC może opierać się na rozwiązaniach

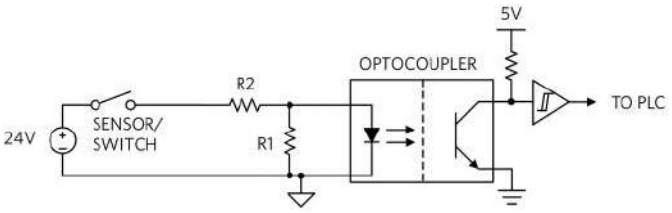


Rysunek 3. Dopuszczalne zakresy parametrów wejść typu 1, 2 i 3 (wg 61131-2) – kolorem szarym zaznaczono obszary odpowiadające zdefiniowanym stanom logicznym (ON i OFF), zaś pozostała część wykresów (niepokolorowana) oznacza strefy przejściowe. Czerwone linie to (spełniające te wymagania) charakterystyki układów ISO1211/ISO1212 (https://t.ly/8DvC)

eprasa.pl e2be9d43e0

Tabela 1. Zakresy prądów i napięć dla wejść cyfrowych sterowników PLC wg EN 61131-2:2003. Ue oznacza zewnętrzne napięcie zasilania (https://t.ly/USmU)

	Typ 1		Typ 2		Typ 3	
Napięcie wejściowe	Stan 0	Stan 1	Stan 0	Stan 1	Stan 0	Stan 1
	Limity napięcia [V]					
24 VDC	–3...15	15...30	–3...11	11...30	–3...11	11...30
120 VAC	0...79	79...1,1 Ue	0...74	74...1,1 Ue	0...74	74...1,1 Ue
230 VAC	0...164	164...1,1 Ue	0...159	159...1,1Ue	0...159	159...1,1 Ue
	Limity prądu [mA]					
24 VDC	15	2...15	30	6...30	15	2...15
120 VAC	0...15	2...15	0...30	6...30	0...15	5...15
230 VAC	0...15	3...15	0...30	7...30	0...15	5...15

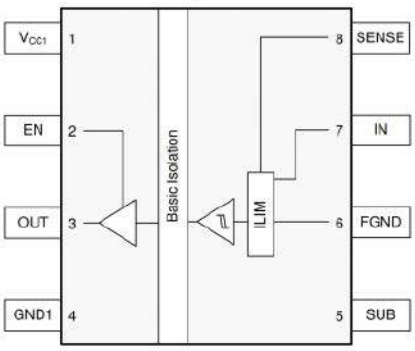


Rysunek 4. Uproszczony schemat obwodu wejścia cyfrowego typowego sterownika PLC (https://t.ly/Tv-B)

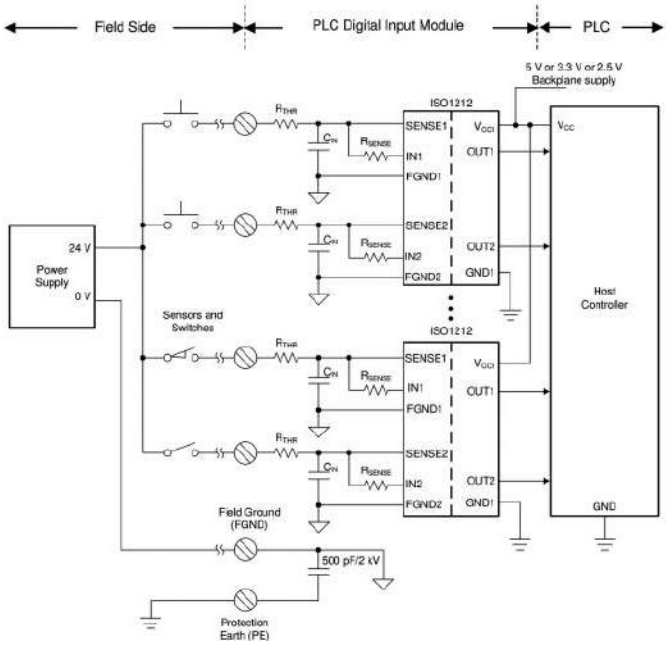
dyskretnych, wykorzystujących transoptor jako barierę galwaniczną, chroniącą przed propagacją zakłóceń poprzez pętlę masy. Przykładowy, uproszczony schemat takiego obwodu pokazano na **rysunku 4**. Główną wadą układu jest rzecz jasna wysokie natężenie prądu wejściowego, zmieniające się – co gorsza – liniowo wraz z napięciem podanym na diodę transoptora. Zwiększony pobór prądu utrudnia odprowadzanie ciepła z wnętrza obudowy sterownika (co przekłada się na ograniczenie gęstości upakowania portów w module), ale przede wszystkim komplikuje kwestię zapewnienia zgodności z opisanymi wcześniej wymogami normalizacyjnymi.

ISO121x

Rozwiązaniem opisywanych problemów może być układ z rodziny ISO121x marki Texas Instruments. W 8-pinowej obudowie układu ISO1211 (**rysunek 5**) znalazła się 2,5-kilowoltowa bariera galwaniczna, rozdzielająca energooszczędną część pierwotną (łączoną z zaciskami wejściowymi poprzez dwa odpowiednio dobrane rezystory) oraz wtórną (ze stopniem wyjściowym, mogącym pracować z napięciami zasilającymi w zakresie od 2,25 V do 5,5 V). Front-end spełnia wymogi normy 61131-2 w zakresie parametrów wejść typu 1, 2 oraz 3, a jakby tego było mało – jest w stanie pracować z przepustowością aż do 4 Mbps, dzięki czemu nadaje się nawet do najbardziej wymagających konstrukcji sterowników PLC. Wersja ISO1212, produkowana w 16-pinowej obudowie SSOP, ma natomiast dwa rozdzielone (za pomocą izolacji funkcjonalnej) tory pierwotne oraz wspólną część



Rysunek 5. Uproszczony schemat blokowy układu ISO1211 (https://t.ly/th-F)

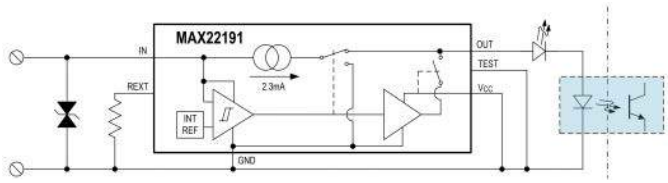


Rysunek 6. Przykładowy schemat aplikacyjny układu ISO1212 (https://t.ly/th-F)

wtórną (wyjściową), odseparowaną przez sprzężenie pojemnościowe od strony wejściowej. Podstawowy schemat aplikacyjny stopnia wejściowego sterownika PLC, opartego na układach ISO1212, pokazano na **rysunku 6**.

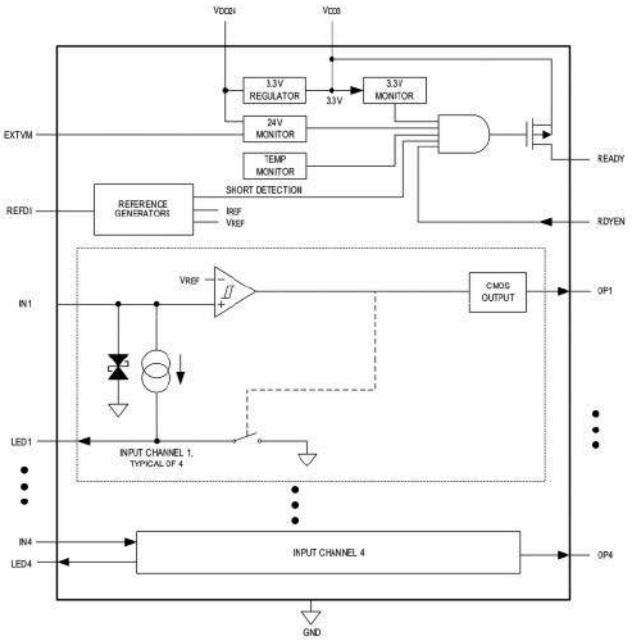
MAX22191

Układ MAX22191 (**rysunek 7**) to propozycja dawnej firmy Maxim (dziś Analog Devices), przeznaczona do budowy torów wejściowych sterowników PLC. Niewielki front-end zawiera w swojej strukturze doskonale zabezpieczony komparator z histerezą, zdolny wytrzymać napięcia wejściowe rzędu ±60 V i oferujący szybkość odpowiedzi na poziomie 250 ns. Układ może pracować zarówno z zasilaniem podanym na linię VCC (pochodzącym z obwodów urządzenia), jak i w trybie „podkradania" energii z linii wejściowej (IN) – w tym drugim przypadku pin VCC należy zewrzeć do masy, co zobrazowano na rysunku 7. Wbudowane źródło prądowe zapewnia kompatybilność

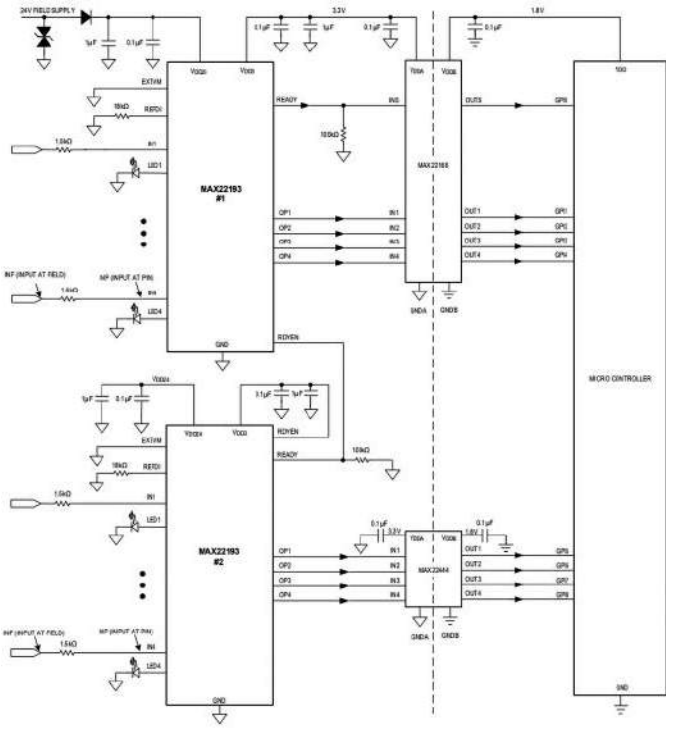


Rysunek 7. Schemat blokowy układu MAX22191, przedstawiony w typowej aplikacji z transoptorem i sygnalizatorem optycznym w postaci szeregowej diody LED (https://t.ly/y-5Y)

eprasa.pl e2be9d43e0



Rysunek 8. Schemat blokowy układu MAX22193 (https://t.ly/gM2j)



Rysunek 9. Schemat aplikacyjny układu MAX22193 dla 8-kanałowego stopnia wejściowego sterownika PLC z izolacją kanałów w pojedynczej grupie (https://t.ly/gM2j)

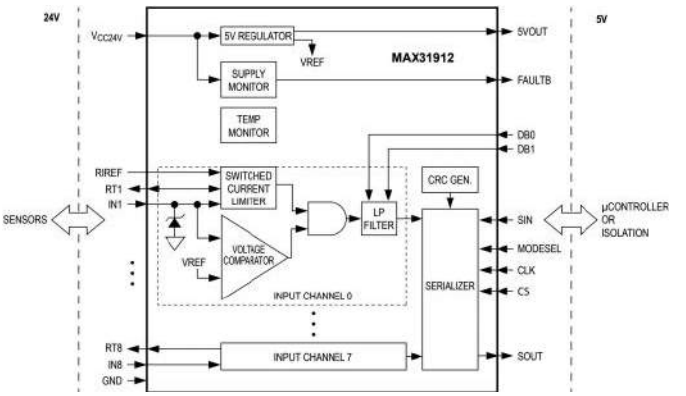
z parametrami normy 61131-2 dla wejść typu 1 i 3. MAX22191 ma także funkcję testu, umożliwiającą sprawdzenie poprawności działania obwodów wyjściowych, sterujących np. transoptorem oraz – połączoną szeregowo z jego nadajnikiem – diodą sygnalizacyjną LED. W tym celu użytkownik musi – w czasie, gdy na linii IN panuje napięcie przewyższające próg przełączania komparatora – podać stan wysoki na wejście TEST, co spowoduje zmianę stanu na wyjściu układu z wysokiego na niski. Linia REXT służy do podłączenia 1-procentowego rezystora referencyjnego o wartości 40,2 kΩ.

MAX22193

Układ MAX22193 (**rysunek 8**) jest już zdecydowanie bardziej rozbudowany i to nie tylko ze względu na obecność czterech kanałów wejściowych. W strukturze front-endu znalazł się bowiem obszerny układ autodiagnostyki, monitorujący napięcie zasilające (24 V), wyjście wbudowanego stabilizatora liniowego (3,3 V), temperaturę struktury półprzewodnikowej oraz zwarcie linii REFDI (połączonej z blokiem generatora prądów i napięć odniesienia) do masy układu. Ponadto producent postanowił udostępnić użytkownikom dodatkową linię wejściową (RDYEN), która przy obecności poprawnych sygnałów testowych z wymienionych wyżej bloków monitorujących umożliwia podniesienie stanu logicznego na wyjściu READY, sygnalizującym sterownikowi nadrzędnemu gotowość do pracy.

Każdy kanał wejściowy układu MAX22193 jest wyposażony nie tylko w linię wyjściową typu CMOS, ale także w osobne wyjście do sterowania diodą LED, sygnalizującą rzeczywisty stan wejścia i to w sposób całkowicie niezależny od działania nadrzędnego procesora (a zatem – nieangażujący go do obsługi wskaźników LED). Rozwiązanie to jest więc bardzo zbliżone do tego, które znamy już z układów MAX22191, z tą jednak różnicą, że front-endy MAX22193 zostały zoptymalizowane do pracy nie z osobnymi transoptorami dla poszczególnych kanałów, ale z cyfrowymi, wielotorowymi izolatorami, np. MAX22166 – schemat przykładowej aplikacji tego typu, obejmującej 8 wejść, pokazano na **rysunku 9**. Należy tutaj podkreślić, że pomiędzy poszczególnymi wejściami nie ma rzecz jasna żadnej izolacji – są one odseparowane tylko od części procesorowej, ale po stronie pierwotnej pracują na wspólnej masie. Warto też dodać, iż obecność dwóch osobnych linii do obsługi sygnałów gotowości (READY oraz RDYEN) umożliwia łączenie kolejnych bloków w konfiguracji typu *daisy-chain*, co można zaobserwować na rysunku 9.

MAX22193 umożliwia pracę w trybach 1, 2 i 3 wg 61131-2, a wyboru dokonuje użytkownik poprzez dobór wartości rezystora, włączonego pomiędzy wspomnianą już linię REFDI a masę. Rezystor 18 kΩ przełącza układ w tryb 24-woltowych wejść typu 1 lub 3, zaś podłączenie elementu o wartości 6 kΩ zmienia tryb pracy na wejścia typu 2. Warto dodać, że odpowiednia konstrukcja obwodów zasilania front-endu umożliwia bezpośrednią współpracę z zewnętrznymi źródłami napięcia w zakresie od 7 V do nawet 65 V.

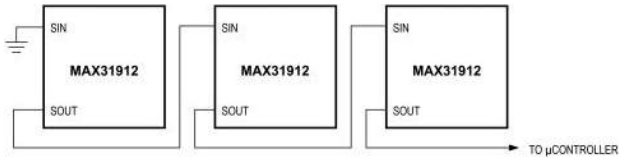


Rysunek 10. Schemat blokowy układu MAX31912 (https://t.ly/F2T4)

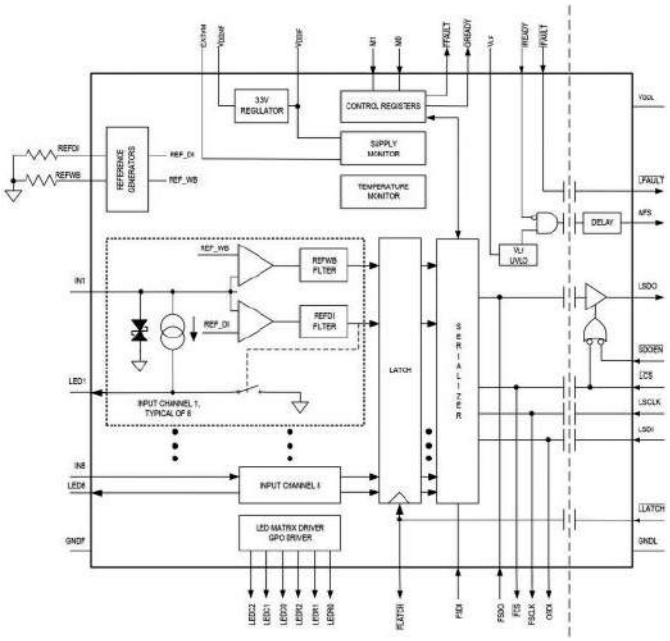
MAX31912

Nieco zbliżone rozwiązania konstrukcyjne zastosowali inżynierowie firmy Maxim w układzie MAX31912 (**rysunek 10**). Co ważne, w tym przypadku zamiast wyjścia równoległego, w którym każda linia cyfrowa odpowiadałaby swojemu stopniowi wejściowemu (jak miało to miejsce np. w MAX22193), układ MAX31912 oferuje blok serializacji, umożliwiający odczyt stanów wejść za pośrednictwem SPI, co znakomicie zmniejsza ilość miejsca na płytce drukowanej, zajętego w konwencjonalnych topologiach przez zestaw osobnych transoptorów. Zastosowanie interfejsu szeregowego umożliwiło łączenie kaskadowe kolejnych bloków, co prowadzi do dalszego zmniejszenia liczby optoizolowanych torów sygnałowych (**rysunek 11**) i to niemal przy dowolnej liczbie współpracujących front-endów (choć, rzecz jasna, w racjonalnych granicach). Warto dodać, że dla zwiększenia niezawodności w układach zastosowano sumę kontrolną, dodawaną

eprasa.pl e2be9d43e0



Rysunek 11. Połączenie kaskadowe układów MAX31912 (https://t.ly/F2T4)



Rysunek 12. Schemat blokowy układu MAX22192 (https://t.ly/tQw8)

automatycznie do 16-bitowej ramki danych – ponieważ CRC obejmuje tylko 5 bitów, pozostałe trzy zostały użyte jako flagi dla obwodów monitorowania zewnętrznego napięcia zasilania i temperatury. Producent zdecydował się również na zastosowanie opatentowanej przez siebie technologii impulsowych ograniczników prądu, wspierających liniowe źródła prądowe w redukcji poboru energii.

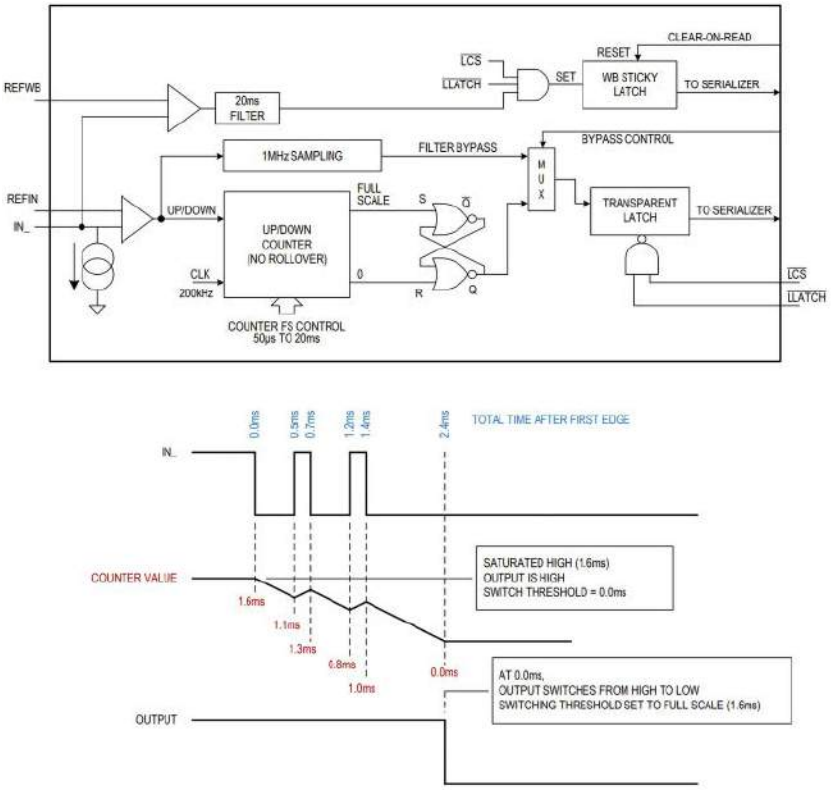
MAX22192

Układy MAX22192 oferują już znacznie bardziej zaawansowaną funkcjonalność niż wszystkie opisane wcześniej front-endy. Każdy z ośmiu kanałów wejściowych (**rysunek 12**) zawiera źródło prądowe (obsługujące jednocześnie także odpowiadającą kanałowi diodę LED) oraz dwa komparatory z dedykowanymi filtrami cyfrowymi. Pierwszy z komparatorów obsługuje właściwy odczyt stanu logicznego, panującego na wejściu INx (x=1...8), zaś drugi odpowiada za detekcję uszkodzenia (przerwania) obwodu, łączącego wejście ze współpracującym z nim czujnikiem lub innym urządzeniem zewnętrznym. W strukturze układu znalazła się wbudowana bariera galwaniczna, znakomicie upraszczająca konstrukcję urządzeń bazujących na front-endach MAX22192.

Nieco więcej uwagi warto poświęcić obwodom filtrów cyfrowych, znajdujących się w strukturze omawianego układu (**rysunek 13**). Sygnał z wyjścia głównego komparatora jest kierowany jednocześnie do 1-megahercowego układu próbkującego oraz do wejścia UP/DOWN licznika dwukierunkowego, „napędzanego" zegarem o częstotliwości 200 kHz. Wykrycie stanu wysokiego na wejściu INx powoduje inkrementację stanu licznika, zaś stan niski jest zliczany w dół (wartość licznika zmniejsza się o 1). Jeżeli zatem stabilny stan na wejściu utrzymuje się dostatecznie długo, układ uznaje, że należy zmienić stan linii wyjściowej, podawanej na układ serializacji. W przypadku gdy wykryto zbocze opadające, zmiana stanu wyjścia odbywa się przy osiągnięciu przez rejestr licznika wartości równej 0, zaś w przypadku zbocza narastającego – przełączenie wyjścia następuje przy wybranym przez użytkownika progu (odpowiadającym opóźnieniu rzędu od 50 µs do 20 ms). Co więcej, na wyjście szeregowe może być także podany sygnał bezpośrednio z 1-megahercowego układu próbkującego (tryb *Filter bypass*), co pozwala pracować z szybkimi (choć – co nie dziwi w przypadku aparatury przemysłowej – często mocno zaszumionymi) sygnałami rejestrowanymi przez wejście układu.

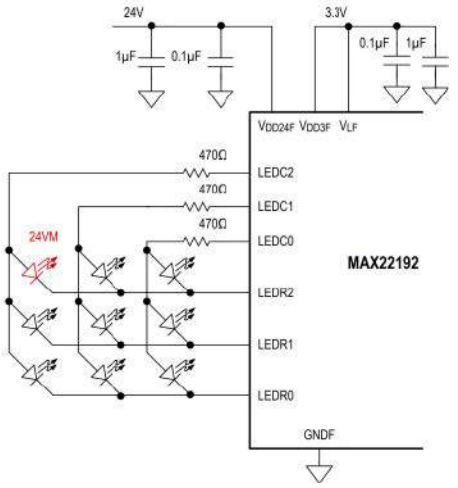
Znacznie prostszy okazuje się natomiast układ detekcji przerwy w obwodzie. W tym przypadku sygnał z wejścia INx jest porównywany z progiem, ustawionym za pomocą rezystora podłączonego do linii REFWB w zakresie od 50 µA do 470 µA. Przerwanie przewodu (lub np. odłączenie złącza od gniazda) uniemożliwi przepływ takiego prądu sondującego, co spowoduje ustawienie flagi alarmowej, której odczytanie będzie możliwe przez interfejs SPI. Warto dodać, że w przypadku gdy zastosowany czujnik całkowicie przerywa obwód w stanie nieaktywnym (a tak działają przecież wyłączniki mechaniczne), detekcja rozwarcia obwodu także jest możliwa – trzeba jedynie zapewnić obecność rezystora, włączonego równolegle do styków, rzecz jasna – po stronie czujnika (a nie bezpośrednio przy zaciskach sterownika, co nie miałoby najmniejszego sensu).

Co ciekawe, układ MAX22192 oferuje nie tylko osobne wyjścia do sterowania diodami LED, odpowiadającymi za optyczną sygnalizację stanów poszczególnych wejść. W strukturze front-endu znalazł się bowiem także blok sterownika multipleksowanej macierzy diod LED (podłączony do końcówek LEDC0...2 oraz LEDR0...2). Jedna z diod (włączona pomiędzy liniami LEDR0 oraz LEDC2) służy jako wskaźnik zasilania systemowego 24 V, zaś pozostałe mogą być wykorzystane do obrazowania błędów (przerw w obwodach) poszczególnych wejść bądź dowolnych innych stanów, przewidzianych przez projektanta. Schemat aplikacyjny tej części układu pokazano na **rysunku 14**.

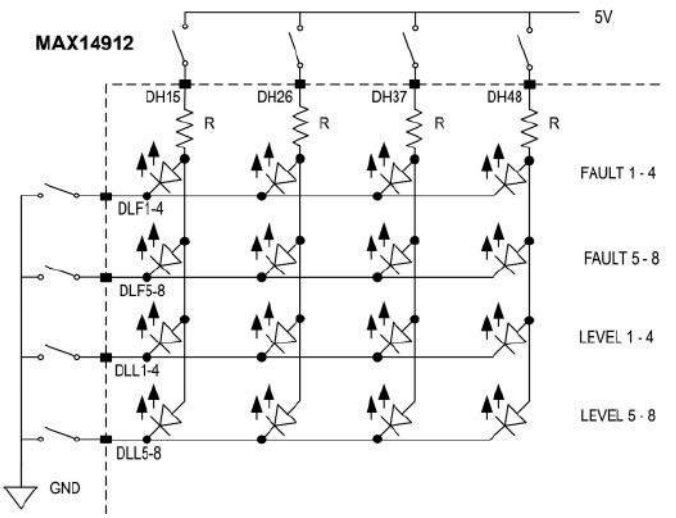


Rysunek 13. Schemat funkcjonalny filtrów cyfrowych zastosowanych w układzie MAX22192 oraz przykładowe przebiegi (https://t.ly/tQw8)

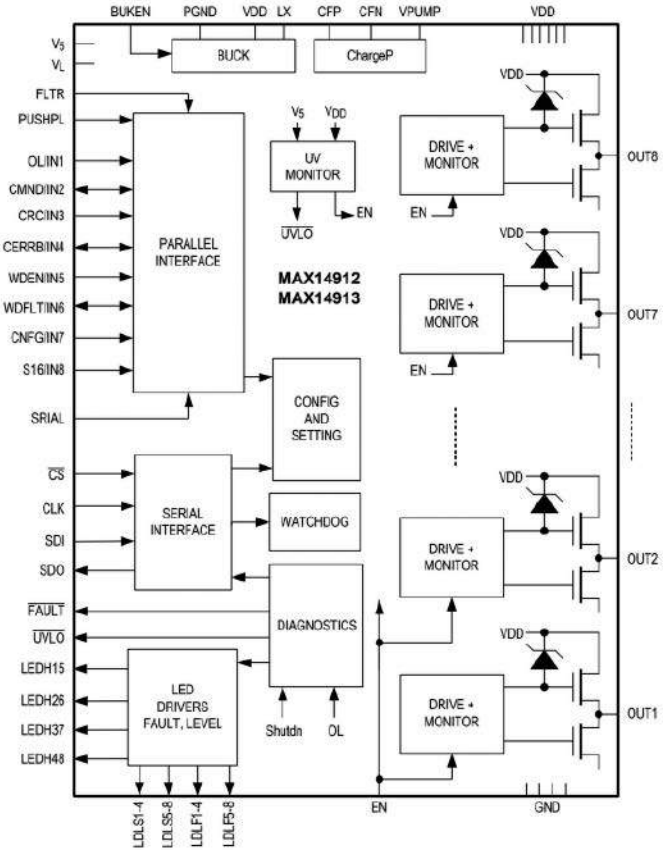
eprasa.pl e2be9d43e0



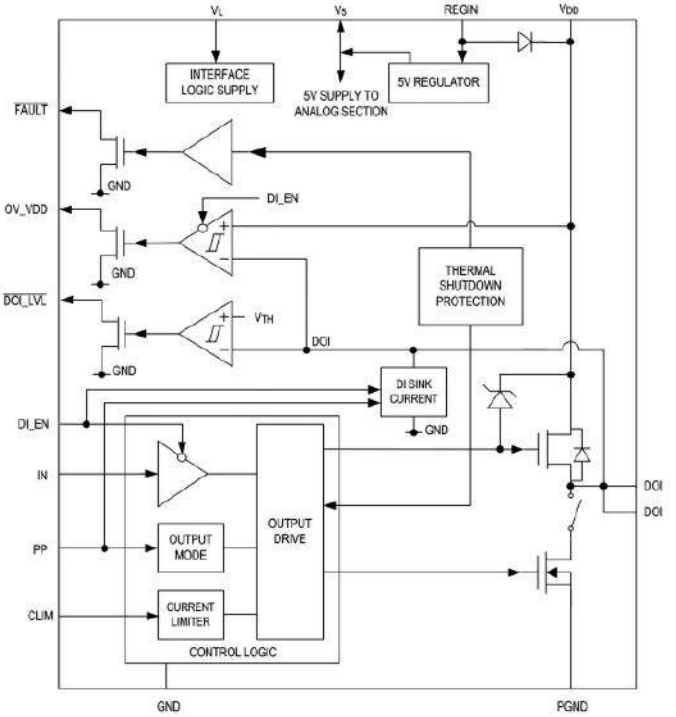
Rysunek 14. Schemat aplikacyjny układu MAX22192, przedstawiający sposób podłączenia uniwersalnej macierzy wskaźników LED (https://t.ly/tQw8)



Rysunek 16. Schemat podłączenia macierzy diod LED do układu MAX14912/3 (https://t.ly/XQUV)



Rysunek 15. Schemat blokowy front-endów z rodziny MAX14912/MAX14913 (https://t.ly/XQUV)



Rysunek 17. Schemat blokowy układu MAX14914B (https://t.ly/J-gC)

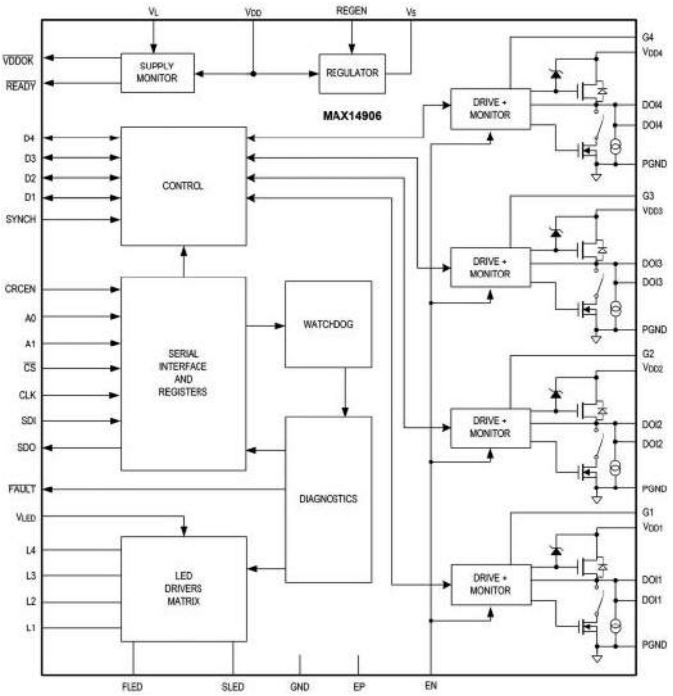
MAX14912

Kolejnym, wartym uwagi układem z oferty dawnej firmy Maxim, jest MAX14912, którego schemat blokowy można zobaczyć na **rysunku 15**. Tym razem mamy do czynienia z front-endem przeznaczonym do realizacji wyjść sterownika PLC – do dyspozycji konstruktora jest 8 kanałów, wyposażonych w stopnie wyjściowe o topologii push-pull i współpracujących z niezależnymi obwodami automatycznej diagnostyki. Układy wykorzystują opatentowaną przez Maxima technologię SafeDemag, mającą na celu bezpieczne „rozładowanie" indukcyjności, sterowanej przez wbudowane tranzystory polowe, co ma spore znaczenie zwłaszcza przy osiąganych przez front-endy parametrach wyjściowych: napięciu maksymalnym do 60 V oraz obciążeniu do 500 mA. Bloki diagnostyczne wykrywają szereg stanów awaryjnych (przegrzanie, otwarcie obwodu, zbyt niskie lub wysokie napięcie zasilania, przepięcie na wyjściu czy też przeciążenie), a możliwość podłączenia matrycy aż 16 diod LED (**rysunek 16**) umożliwia prostą realizację paneli wskaźników świetlnych, obrazujących stan każdego z wyjść (zarówno aktualny stan logiczny, jak i obecność ewentualnych błędów).

MAX14914/A/B

Rodzina układów MAX14914/MAX14914A/MAX14914B obejmuje jednokanałowe, dwukierunkowe front-endy przemysłowe, które w zdecydowanej większości oferują te same funkcjonalności, a różnią się zaledwie kilkoma szczegółami. Model bez przyrostka literowego to wersja podstawowa, zaś produkt oznaczony literą „A" charakteryzuje się znacznie obniżonym prądem upływu, co umożliwia bezpośrednie połączenie linii wyjściowych układu z obwodami analogowymi (producent proponuje współpracę MAX14914A z front-endem MAX22000 w celu stworzenia uniwersalnego modułu I/O o szerokim zakresie możliwości konfiguracyjnych). Wersja MAX14914B ma natomiast możliwość sprzętowej sygnalizacji przeciążenia wyjścia (linia OV_CURR zastępuje pin OV_VDD, dostępny w pozostałych elementach należących do omawianej rodziny AFE – patrz **rysunek 17**).

eprasa.pl e2be9d43e0



Rysunek 18. Schemat blokowy układu MAX14906 (https://t.ly/3hJt)

Wszystkie układy z serii MAX14914/A/B mają wbudowane zabezpieczenia termiczne oraz konfigurowany za pomocą zewnętrznego rezystora ogranicznik prądowy wyjścia, oferujący zakres regulacji od 135 mA do nawet 1,3 A. Wyjście może pracować zarówno w trybie push-pull, jak i w konfiguracji otwartego drenu (typu high-side), zaś linia wspólna (DOI) jest równocześnie obsługiwana przez komparator z histerezą – układy MAX14914/A/B zapewniają kompatybilność z normą 61131-2 (typ 1, 2 lub 3). Ten sam komparator służy także do monitorowania stanu linii DOI podczas pracy w trybie wyjściowym, co ma znaczenie w przypadku aplikacji o podwyższonych wymogach bezpieczeństwa funkcjonalnego.

MAX14906

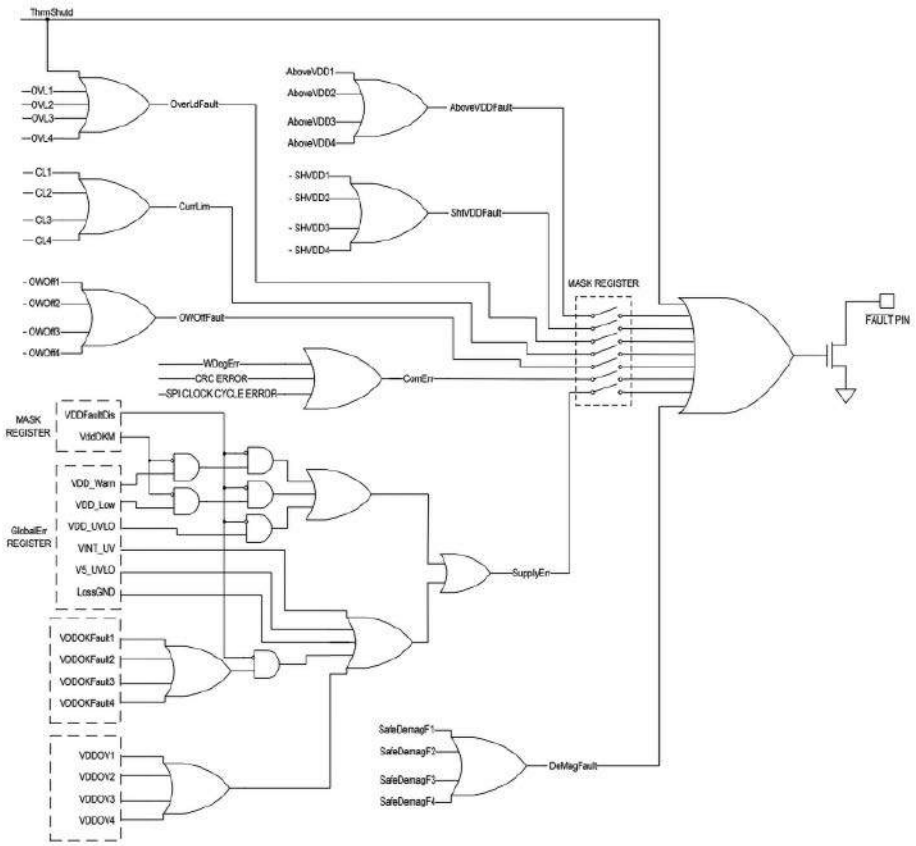
Bez zbędnej przesady można uznać, że układ MAX14906 integruje w sobie wszystko, co najlepsze w opisanych do tej pory front-endach I/O (z wyjątkiem bariery galwanicznej). Nic zresztą dziwnego – jako układ wydany w 2020 roku może z powodzeniem korzystać z technologii, sprawdzonych kilka lat wcześniej na prostszych produktach firmy Maxim. I tak, w rozbudowanej strukturze układu (**rysunek 18**) znalazł się interfejs SPI, obsługujący funkcje konfiguracji i monitorowania stanu AFE, sterownik multipleksowanej macierzy LED, blok diagnostyczny, watchdog, stabilizator liniowy LDO 5 V, a przede wszystkim – cztery jednakowe kanały I/O, mogące pracować w konfiguracji wyjścia typu push-pull lub high-side OD bądź też wejścia typu 1, 2 lub 3. Ogranicznik prądowy umożliwia pracę z obciążeniami od 130 mA do 1,2 A, zaś rezystancja górnych tranzystorów wyjściowych to 120 mΩ. Wyjścia są także wyposażone w zintegrowane, aktywne gasiki, umożliwiające szybkie przełączanie dużych obciążeń indukcyjnych.

Co ciekawe, producent zdecydował się na zastosowanie sprzętowego dekodera adresów, co umożliwia pracę wielu front-endów nie tylko na wspólnej szynie SPI, ale także – i to jest zdecydowanie rzadko spotykaną cechą w przypadku tego rodzaju łącza szeregowego – ze współdzieloną linią CS! Dane przesyłane przez SPI są wyposażone w 5-bitową sumę kontrolną, zaś funkcje diagnostyczne obejmują monitorowanie napięcia zasilania, zwarcia lub przerwy w jednym z obwodów wyjściowych czy też detekcję przekroczenia bezpiecznej temperatury struktury krzemowej. O stopniu złożoności obwodów diagnostycznych najlepiej świadczy **rysunek 19**, przedstawiający logikę działania wyjścia FAULT oraz wszystkie obsługiwane przez nie sygnały alarmowe.

Podsumowanie

Przedstawione w tym odcinku Poradnika Implementacji front-endy umożliwiają wygodną i bardzo kompaktową realizację złożonych obwodów wejścia-wyjścia sterowników PLC i innych urządzeń przemysłowych (np. falowników, serwokontrolerów) czy też osprzętu automatyki budynkowej. Wbudowane, wielopoziomowe obwody monitorowania kluczowych parametrów pracy układu umożliwiają natychmiastowe wykrywanie i diagnozowanie awarii, zarówno po stronie obiektowej, jak i wewnątrz samego urządzenia. Warto zwrócić uwagę na fakt, że – choć z założenia są to układy przeznaczone do realizacji binarnych linii I/O – w ich strukturze znalazł się szereg bloków analogowych, odpowiedzialnych za pomiar prądów i napięć oraz ich aktywną modyfikację (np. sterowane źródła prądowe do obciążania wejść DI). Jak widać, jest to doskonały przykład aplikacji, w których ucieczka od techniki analogowej okazuje się niemożliwa, choć – na szczęście dla konstruktorów lepiej czujących się w projektowaniu obwodów cyfrowych – nie jest wcale konieczna, gdyż zastosowanie tak rozbudowanych front-endów znakomicie upraszcza budowę nawet najbardziej zaawansowanych modułów I/O o wysokim poziomie niezawodności.

inż. Przemysław Musz, EP



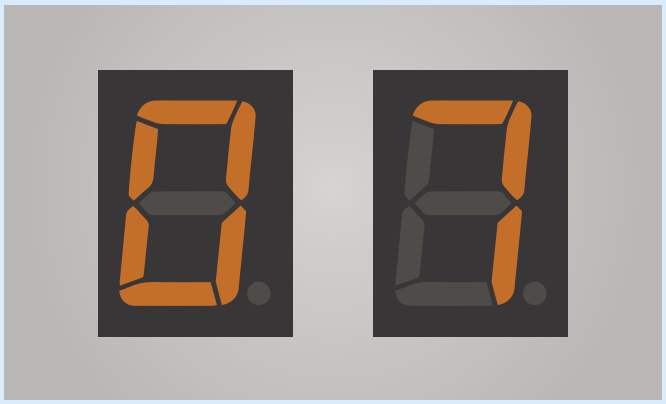
Rysunek 19. Schemat funkcjonalny obwodów odpowiedzialnych za obsługę przerwań od bloków diagnostycznych – front-end MAX14906 (https://t.ly/3hJt)

eprasa.pl e2be9d43e0

Kurs FPGA Lattice (6)

Parametry i ćwiczenia

W poprzednim odcinku obiecałem, że w tym wydaniu EP poznamy analizator logiczny Reveal. Jednak, żeby go dobrze poznać, najpierw musimy mieć odpowiednio skomplikowany układ, który będziemy mogli badać. Połączenie tych dwóch niełatwych zadań w jednym artykule uniemożliwiłoby poświęcenie im należytej uwagi. Dlatego temat analizatora zostanie mówiony za miesiąc, w kolejnym wydaniu EP.



Zaprojektujemy układ, który będzie wyświetlał liczbę na wyświetlaczu 7-segmentowym, a naciskając przyciski będziemy mogli tę liczbę zwiększać, zmniejszać lub wyzerować. Dowiemy się jak wyeliminować drgania przycisków, jak wykryć zbocze sygnału, jak zrobić licznik liczący w górę lub w dół i jak sterować wyświetlaczem. Nauczymy się także tworzyć bardziej elastyczny kod stosując parametry.

Utworzony teraz kod będzie potrzebny w kolejnej części kursu dotyczącej analizatora. Gotowy projekt jest dostępny w materiałach dodatkowych do artykułu: http://bit.ly/3Fp9bES.

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

Schemat

Analizę zacznijmy od zapoznania się ze schematem, wygenerowanym automatycznie przez Netlist Analyzer, pokazanym na **rysunku 1**. Sygnały **ButtonUp** i **ButtonDown** mają rezystor pull-down wbudowany w strukturę FPGA, choć nie zostało to pokazane na schemacie. Należy je podłączyć do przycisków, zwierających do zasilania o napięciu 3,3 V. Sygnał **Reset** ma rezystor pull-up podciągający do zasilania. Sygnał ten należy połączyć z przyciskiem zwierającym do masy. Stan wysoki sygnału **Reset** to prawidłowa praca układu, a stan niski powoduje zerowanie wszystkich komponentów.

Prześledźmy działanie wszystkich modułów. Sygnały **ButtonUp** i **ButtonDown** wchodzą do instancji **DebounceUp** i **DebounceDown**. Są to dwie identyczne instancje modułu typu **Debouncer**. Ich zadaniem jest eliminacja efektu drgań styków, które znajdują się w przyciskach. Po wciśnięciu lub zwolnieniu przycisku występuje zjawisko tzw. drżenia styków, co powoduje, że przez pewien krótki czas następują wielokrotne, chaotyczne zmiany pomiędzy stanem niskim i wysokim. Byłoby to odczytane przez układ jako wielokrotne wciśnięcie przycisku i skutkowałoby nieprawidłowym działaniem licznika. Obecność modułów **Debouncer** eliminuje ten problem i zapewnia odpowiednio filtrowany sygnał.

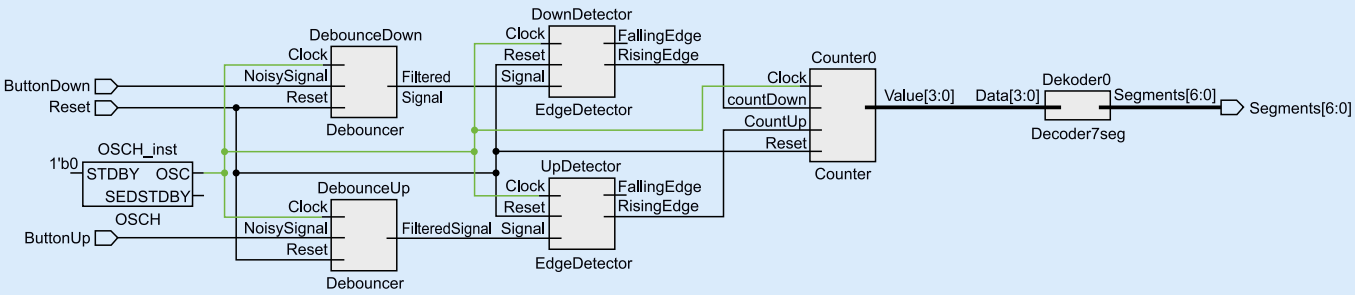
Kolejnym krokiem są instancje **UpDetector** i **DownDetector** modułu typu **EdgeDetector**. Zadaniem tych modułów jest wykrycie momentu, kiedy przyciski **Up** i **Down** zostaną naciśnięte, czyli kiedy stan wejścia **Signal** zmieni się z 0 na 1. Wtedy, na wyjściach **RisingEdge** generowany jest stan wysoki, trwający pojedynczy takt sygnału zegarowego. Moduły te mają także możliwość wykrywania zbocza opadającego, tzn. zmiany wejścia **Signal** z 1 na 0. Spowoduje to wygenerowanie stanu wysokiego na jeden cykl zegarowy na wyjściu **FallingEdge**. Funkcja ta nie jest używana, a wyjście to pozostało niepodłączone do niczego. Zrobiłem to celowo, aby pokazać, jak wykryć zbocze opadające i jednocześnie zademonstrować, jak syntezator usuwa nieużywany kod. Przekonamy się, że jeżeli ręcznie usuniemy nieużywane fragmenty odpowiedzialne za wykrywanie zbocza opadającego, to uzyskany bitstream będzie używał dokładnie tyle samo zasobów, co przed usunięciem.

Kolejnym modułem jest licznik **Counter0**. Liczy on w górę lub w dół pod warunkiem, że na wejściu **CountUp** lub **CountDown** jest stan wysoki. Jeżeli na obu wejściach jest stan niski, wtedy licznik nie zmienia swojej wartości, obojętnie co dzieje się na wejściu zegarowym. Licznik jest 4-bitowy.

Ostatnim modułem jest instancja **Dekoder0** modułu **Decoder7seg**. Przetwarza on liczbę binarną, dostępną na 4-bitowym wyjściu z licznika, na sygnały sterujące diodami LED w wyświetlaczu 7-segmentowym.

Generator sygnału zegarowego

Moduł **OSCH**, który już stosowaliśmy w poprzednich odcinkach kursu, użyjemy ponownie ale tym razem będą dwie zmiany. Pierwsza zmiana, bardzo prosta, to zwiększenie częstotliwości zegara. Według instrukcji



Rysunek 1. Schemat wygenerowany na podstawie kodu z dzisiejszego odcinka kursu

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

eprasa.pl e2be9d43e0

Reveal User Guide, dostępnej pod adresem [1], częstotliwość taktowania analizatora powinna być większa niż częstotliwość zegara JTAG, tzn. 12 MHz i mniejsza niż 200 MHz. Z moich doświadczeń wynika, że Reveal działa nawet przy częstotliwości 7 MHz, jednak podczas kursu postępujemy zgodnie z instrukcjami – ustawmy więc częstotliwość generatora **OSCH** z dotychczas stosowanej 2,08 MHz, na 14 MHz.

Druga zmiana polega na nieco innym sposobie poinformowania modułu **OSCH** o żądanej częstotliwości. Dotychczas ustawialiśmy parametr `NOM_FREQ` przy pomocy instrukcji defparam w taki sposób:

```
defparam Generator1.NOM_FREQ = "2.08"
```

W **listingu 1** pokazano sposób definiowania parametrów podczas tworzenia instancji modułu. Po nazwie modułu, ale przed nazwą instancji, wpisujemy znak #, a następnie w nawiasach podajemy wszystkie parametry, jakie chcemy skonfigurować (a dokładniej mówiąc – wszystkie te, którym chcemy zmienić ich wartości domyślne).

Listing 1. Kod pliku top.v

```
// Plik top.v
module top(
    input   Reset,
    input   ButtonUp,
    input   ButtonDown,
    output [6:0] Segments
);

    // Generator sygnału zegarowego
    OSCH #(
        .NOM_FREQ("14.00")
    ) OSCH_inst(
        .STDBY(1'b0),
        .OSC(Clock14MHz),
        .SEDSTDBY()
    );

    // Odszumianie przycisku UP
    wire ButtonUpFiltered;
    Debouncer #(
        .FREQUENCY_MHZ(14),
        .PERIOD_US(1000)
    ) DebounceUp(
        .Clock(Clock14MHz),
        .Reset(Reset),
        .NoisySignal(ButtonUp),
        .FilteredSignal(ButtonUpFiltered)
    );

    // Odszumianie przycisku DOWN
    wire ButtonDownFiltered;
    Debouncer #(
        .FREQUENCY_MHZ(14),
        .PERIOD_US(1000)
    ) DebounceDown(
        .Clock(Clock14MHz),
        .Reset(Reset),
        .NoisySignal(ButtonDown),
        .FilteredSignal(ButtonDownFiltered)
    );

    // Wykrywanie zbocza rosnącego przycisku UP
    wire RequestUp;
    EdgeDetector UpDetector(
        .Clock(Clock14MHz),
        .Reset(Reset),
        .Signal(ButtonUpFiltered),
        .RisingEdge(RequestUp),
        .FallingEdge()
    );

    // Wykrywanie zbocza rosnącego przycisku DOWN
    wire RequestDown;
    EdgeDetector DownDetector(
        .Clock(Clock14MHz),
        .Reset(Reset),
        .Signal(ButtonDownFiltered),
        .RisingEdge(RequestDown),
        .FallingEdge()
    );

    // Licznik
    wire [3:0] CountValue;
    Counter #(
        .WIDTH(4)
    ) Counter0(
        .Clock(Clock14MHz),
        .Reset(Reset),
        .CountUp(RequestUp),
        .CountDown(RequestDown),
        .Value(CountValue)
    );

    // Dekoder wyświetlacza 7-segmentowego
    Decoder7seg Dekoder0(
        .Data(CountValue),
        .Segments(Segments)
    );

endmodule
```

Następnie zamykamy nawias, podajemy nazwę instancji, otwieramy kolejny nawias i konfigurujemy wszystkie wejścia i wyjścia, tak jak robiliśmy to w poprzednich odcinkach. W tym odcinku kursu zobaczymy jak tworzyć moduły, które oprócz wejść i wyjść przyjmują także parametry tworzone różnymi sposobami.

Debouncer

Wadą przycisków mechanicznych jest drganie styków przez krótką chwilę po naciśnięciu lub zwolnieniu przycisku. Na oscyloskopie widoczne są jako krótkie szpilki. Musimy je odfiltrować. Spójrzmy na **listing 2**. **NoisySignal** to sygnał wejściowy prosto z przycisku, a **FilteredSignal** to sygnał po filtrowaniu. Zwróćmy uwagę na to, że jest to zmienna **reg**, czyli ma możliwość pamiętania stanu. Przechowuje ona ostatnio rozpoznany stabilny stan przycisku.

Przejdźmy do bloku **always**. W momencie kiedy zostanie stwierdzone, że stan sygnału **NoisySignal** jest inny niż **FilteredSignal**, to zostanie uruchomione zliczanie impulsów zegarowych, przy pomocy licznika **Counter** (linia 2). Następnie możliwe są dwa scenariusze:

Jeżeli stan sygnału **NoisySignal** będzie utrzymywał się odpowiednio długo, co znaczy, że drgania styków wygasły, to licznik Counter po pewnym czasie osiągnie wartość równą parametrowi **DELAY**. Wtedy licznik zostanie wyzerowany (linia 3a) oraz stan sygnału **NoisySignal** zostanie skopiowany do zmiennej **FilteredSignal** (linia 3b).

Jeżeli stan sygnału **NoisySignal** ponownie się zmieni i będzie równy **FilteredSignal**, oznacza to, że wystąpiło krótkotrwałe drganie styków. Licznik jest zerowany (linia 4) i wszystko zaczyna się od początku.

Moduł ma cztery parametry. Przyjęło się, że ich nazwy pisze się wielkimi literami. Parametry zdefiniowanie przy pomocy instukcji **parameter** mogą być modyfikowane z zewnątrz. Przykłady konfigurowania takich parametrów widoczne są na listingu 1, gdzie w nawiasach okrągłych poprzedzonych znakiem # definiujemy **FREQUENCY_MHZ** oraz **PERIOD_US** odpowiednio na 14 i 1000.

Parametry utworzone instrukcją **localparam** dostępne są tylko wewnątrz modułu i nie można ich modyfikować z zewnątrz. Można ich użyć jako zmiennych lokalnych. Przeanalizujmy, jaki jest cel parametrów pokazanych na listingu 2. Chcąc odfiltrować drgania styków, licznik **Counter** musi liczyć tak długo, aż osiągnie wartość **DELAY**. Im większa ta wartość, tym dłuższy czas zajmie zliczanie impulsów pomiędzy zmianą stanu wejścia **NoisySignal** i zmianą stanu wyjścia **FilteredSignal**. Ten czas jest tym dłuższy, im parametr **DELAY** jest większy. Czas ten musi być dłuższy niż czas drgania styków. Moglibyśmy oczywiście **DELAY** zdefiniować jako parametr dostępny z zewnątrz. W ten sposób dałoby się konfigurować czas

Listing 2. Kod pliku debounder.v

```
// Plik debounder.v
module Debouncer(
    input       Clock,                      // Zegar
    input       Reset,                      // 1 – praca, 0 – reset
    input       NoisySignal,                // Sygnał z przycisku
    output reg  FilteredSignal              // Sygnał odfiltrowany
);

    parameter   FREQUENCY_MHZ   = 10;
    parameter   PERIOD_US       = 100;
    localparam  DELAY           = FREQUENCY_MHZ * PERIOD_US;
    localparam  WIDTH           = $clog2(DELAY + 1);

    reg [WIDTH-1:0] Counter = 0;            // 1

    always @(posedge Clock, negedge Reset) begin
        if(!Reset) begin
            Counter         <= 0;
            FilteredSignal  <= 0;
        end else if(NoisySignal != FilteredSignal && Counter < DELAY) begin
            Counter <= Counter + 1'b1;      // 2
        end else if(Counter == DELAY) begin
            Counter <= 0;                   // 3a
            FilteredSignal <= NoisySignal;  // 3b
        end else begin
            Counter <= 0;                   // 4
        end
    end

endmodule
```

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

eprasa.pl e2be9d43e0

Tabela 1. Przykłady obliczeń z użyciem funkcji $clog2()			
x dziesiętnie	x binarnie	$clog2(x)	$clog2(x+1)
15	1111	4	4
16	1 0000	4	5
17	1 0001	5	5
255	1111 1111	8	8
256	1 0000 0000	8	9
257	1 0000 0001	9	9

poprzez ręczne wpisywanie liczby cykli zegarowych. Takie rozwiązanie nie jest zbyt wygodne, ponieważ za każdym razem musielibyśmy obliczyć żądaną liczbę cykli, mnożąc częstotliwość zegara przez żądany czas. Niech ta liczba obliczy się sama – w końcu nie interesuje nas ile cykli trzeba policzyć, tylko ile czasu ma trwać licznie.

Utworzyłem parametry **FREQUENCY_MHZ** oraz **PERIOD_US**, które można ustawić podczas tworzenia instancji modułu **Debouncer** (listing 1). Domyślne wartości to 10 MHz i 100 µs, co daje 1000 cykli zegara do zliczenia. W module **top** te parametry zostały ustawione na 14 MHz i 1000 µs, czyli w rezultacie licznik liczy do 14000. Czas w mikrosekundach należy dobrać doświadczalnie, eksperymentując z przyciskami dostępnymi na płytce prototypowej.

Pozostaje jeszcze ustalić liczbę bitów licznika **Counter**. Nie chcemy ustawiać tej liczby na sztywno, ponieważ gdyby liczba bitów była za mała, wówczas doszłoby do przepełnienia licznika i zaczęłby liczyć od zera, nigdy nie osiągając żądanej wartości. Ustawienie zbyt dużej liczby bitów niż potrzebna marnowałoby zasoby układu FPGA.

Z pomocą przychodzi funkcja ***$clog2()***. Oblicza ona logarytm przy podstawie 2 z podanego argumentu i zaokrągla wynik w górę. Kilka przykładów obliczeń przy pomocy tej funkcji podano w **tabeli 1**. Zwróć uwagę, że funkcja ***$clog2()*** nie podaje, ile bitów potrzeba, aby zapisać badaną liczbę. Dla liczb takich jak 16 czy 256 potrzebujemy rejestrów o długości 5 i 9 bitów, jednak funkcja zwraca 4 i 8. To po prostu zaokrąglony logarytm przy podstawie 2 i nic więcej. Z tego powodu, definiując parametr **WIDTH** do argumentu **DELAY** dodajemy 1. Tak obliczoną szerokość rejestru możemy zastosować w linii 1. Tutaj może być kolejna niespodzianka dla początkujących – od uzyskanego wyniku odejmujemy 1. Jest to spowodowane tym, że w Verilogu, tworząc rejestr przykładowo 8-bitowy, w nawiasach kwadratowych podajemy, nie liczbę bitów, lecz numery pierwszego i ostatniego bitu – od zerowego do siódmego [7:0], czyli łącznie osiem bitów.

Moduł **Debouncer** dostarcza stan logiczny 1, kiedy przycisk jest wciśnięty oraz 0, kiedy przycisk jest zwolniony. Nas interesuje wykrycie momentu, kiedy przycisk został wciśnięty, aby wtedy zwiększyć lub zmniejszyć stan licznika. Z tego powodu potrzebujemy modułu wykrywającego zbocza sygnałów.

Wykrywanie zbocza

Wykrywanie zmiany stanu z 0 na 1 lub z 1 na 0 jest bardzo proste. Rozwiązanie pokazano na **listingu 3**. Potrzebujemy 1-bitowy rejestr **Previous**, w którym będziemy przechowywać stan badanego sygnału, jaki był w poprzednim takcie zegara (linia 1). Przy każdym zboczu sygnału zegarowego, przepisujemy stan badanego sygnału **Signal** do zmiennej **Previous** (linia 2). Znając stan obecny i poprzedni, możemy wywnioskować, czy stan badanego sygnału się zmienił. W tym celu wystarczą proste operatory logiczne. Sprawdzamy, czy stan poprzedni to 0 i obecny to 1 (linia 3). Jeżeli taka sytuacja wystąpi, wówczas na wyjściu **RisingEdge** pojawi się stan 1, trwający przez jeden takt sygnału zegarowego. Wykrywanie zbocza opadającego (linia 4) działa analogicznie. Kod z listingu 3 prowadzi do syntezy układu, którego schemat pokazano na **rysunku 2**. Widać wyraźnie, że operatory logiczne zostały zsyntezowane w postaci bramek AND i NOT, które badają stany przed i za przerzutnikiem.

Trzeba zaznaczyć jeden szczegół – sygnał doprowadzony na wejście **Signal** modułu **EdgeDetector** musi być zsynchronizowany z sygnałem zegarowym. Zwróć uwagę, że gdyby stan **Signal** zmieniał się szybciej niż sygnał zegarowy, wówczas te zmiany byłoby widać na wyjściach **RisingEdge** lub **FallingEdge**.

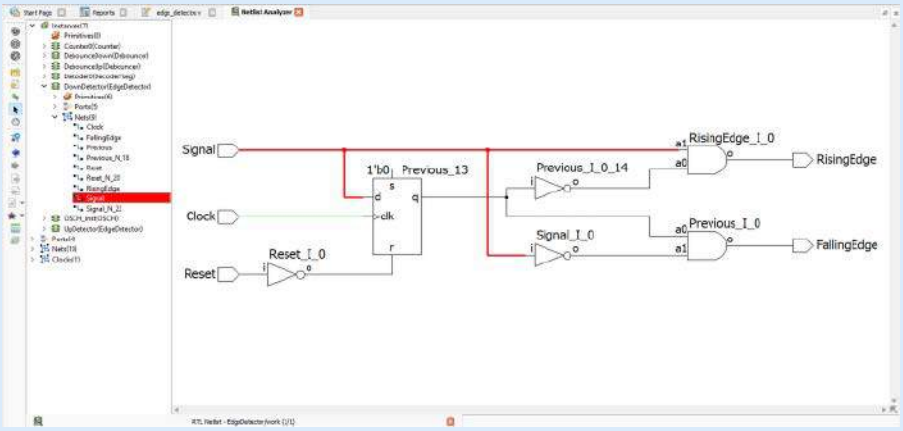
Licznik

Z licznikami mieliśmy już do czynienia w poprzednich częściach kursu, dlatego licznik omówię bardzo skrótowo. Kod został pokazany na **listingu 4**. Reaguje on na zbocza rosnące sygnału zegarowego, ale tylko jeżeli spełniony jest jeden z dwóch warunków. Jeżeli stan wejścia **CountUp** jest równy 1, wówczas wartość licznika jest zwiększana (linia 1). Natomiast jeżeli stan wejścia **CountDown** jest równy 1, wtedy wartość licznika jest zmniejszana (linia 2). Co się stanie, jeżeli **CountUp** i **CountDown** będą jednocześnie w stanie wysokim? Wtedy licznik będzie liczył w górę. Wynika to z faktu, że w drzewku decyzyjnym *if-else* sprawdzanie stanu **CountUp** jest wykonywane wcześniej.

Przyjrzyjmy się bliżej parametrom. Liczba bitów wyjścia **Value** (czyli jednocześnie maksymalna wartość licznika) jest określona parametrem **WIDTH**. Gdybyśmy zdefiniowali parametr **WIDTH** w takim miejscu, jak w module **Debouncer** (listing 2) to syntezator zgłosiłby ostrzerzenie, że parametr jest używany wcześniej, niż został utworzony. Z tego powodu musimy skorzystać z innego sposobu definiowania parametrów. Parametry możemy zdefiniować zaraz po nazwie modułu, wpisując je w nawiasy okrągłe poprzedzone znakiem #. Zwróć uwagę, że parametry i porty umieszczone są w osobnych nawiasach.

Listing 3. Kod pliku edge_detector.v

```
// Plik edge_detector.v
module EdgeDetector(
    input   Clock,                  // Zegar
    input   Reset,                  // 1 – praca, 0 – reset
    input   Signal,                 // Badany sygnał
    output RisingEdge,              // 1 – wykrycie zbocza rosnącego
    output FallingEdge              // 1 – wykrycie zbocza malejącego
);

    reg Previous = 0;               // 1

    always @(posedge Clock, negedge Reset)
        if(!Reset)
            Previous <= 0;
        else
            Previous <= Signal;     // 2

    assign RisingEdge   = (Previous == 1'b0) && (Signal == 1'b1);    // 3
    assign FallingEdge = (Previous == 1'b1) && (Signal == 1'b0);    // 4

endmodule
```



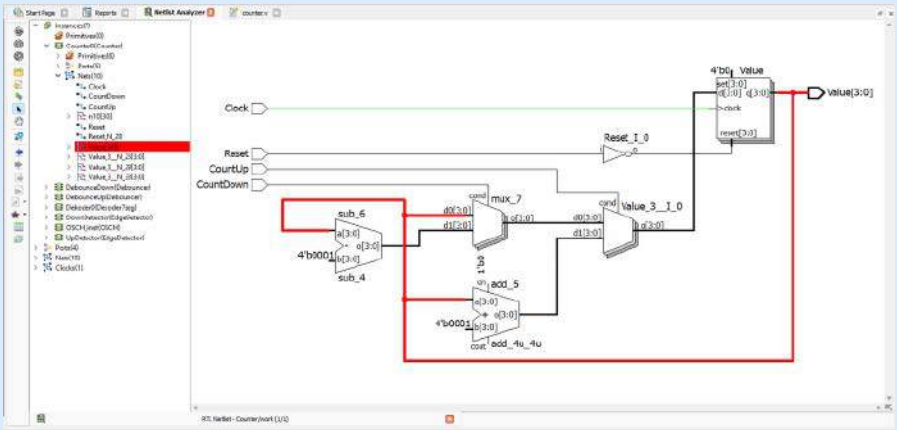
Rysunek 2. Schemat wykrywacza zboczy powstały po syntezie kodu z listingu 3

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

eprasa.pl e2be9d43e0

Sterownik wyświetlacza 7-segmentowego

Doszliśmy wreszcie do ostatniego modułu. Jego zadaniem jest przetworzenie 4-bitowej liczby binarnej, dostarczanej z licznika, na sygnały sterujące poszczególnymi diodami LED w segmentach wyświetlacza. Wyświetlacz składa się z siedmiu segmentów. Zastosowałem wyświetlacz ze wspólną katodą, co znaczy, że wszystkie katody diod LED są ze sobą zwarte wewnątrz wyświetlacza i należy je połączyć do masy. Segment zaświeci się, jeżeli doprowadzimy do niego sygnał w stanie 1, czyli de facto połączymy z zasilaniem. Pamiętaj, by wstawić rezystory ograniczające prąd pomiędzy piny FPGA i segmenty wyświetlacza. Zobacz **rysunek 4**.



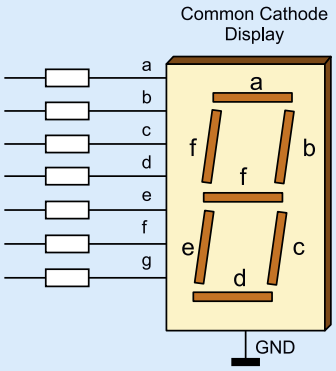
Rysunek 3. Schemat licznika wygenerowany na podstawie kodu z listingu 4

Przeanalizujmy kod z **listingu 5**. Konwersja 4-bitowego binarnego kodu na kod wyświetlacza realizowany jest w postaci instrukcji **case**. Reaguje ona na zmianę wartości **Data** i przypisuje rejestrowi **Segments** taką kombinację, by zaświecić odpowiednie segmenty wyświetlacza. Zaleca się, aby w instrukcji **case** uwzględnić wszystkie możliwe wartości badanej zmiennej – albo opisać je ręcznie, albo opisać najbardziej istotne, a resztę objąć instrukcją **default**. Taki kod doprowadzi do wygenerowania multipleksera, który jest układem kombinacyjnym, tzn. nie ma żadnych elementów pamięciowych. Można to sprawdzić przy pomocy narzędzia Netlist Analyzer. Niektórzy zalecają, żeby zawsze w instrukcji **case** uwzględnić również **default**, która jest wykonywana, gdy wystąpi jakiś przypadek nie uwzględniony przez nas w kodzie. Kod z listingu 5 uwzględnia wszystkie możliwe wartości, jakie są możliwe do zapisania w zmiennej 4-bitowej. W takiej sytuacji nie ma potrzeby stosować **default** – dlatego ta instrukcja została zakomentowana.

Spróbuj wyrzucić kilka dowolnych linijek z **case** i zobacz, co będzie wynikiem syntezy. Okaże się, że w raporcie *Map* znajdziemy siedem przerzutników więcej! Skąd one się biorą? Taka konstrukcja jest dla syntezatora poleceniem *„dla wybranych wartości **Data** ustaw takie wartości **Segments**, jakie podaję w kodzie, a jeżeli wystąpi wartość, jakiej nie zdefiniowałem, to pamiętaj ostatnio ustawioną wartość **Segments**”*. W takiej sytuacji muszą zostać wygenerowane przerzutniki, by pamiętać ostatnio ustawioną wartość.

Przerzutniki wygenerowane instrukcją **case** na ogół są efektem błędnie napisanego kodu. Jest to pułapka, w jaką łatwo wpaść, kiedy pomija się instrukcję **default** bez zdefiniowania wszystkich możliwych wartości zmiennej. Zwróć jeszcze uwagę, że w kodzie z listingu 5 stosowane są przypisania blokujące (=), ponieważ jest to układ kombinacyjny. Przypisania nieblokujące (<=) stosujemy w układach sekwencyjnych.

```
Listing 4. Kod pliku counter.v

module Counter #(
    parameter WIDTH = 4             // Liczba bitów licznika
)(
    input Clock,                    // Zegar
    input Reset,                    // 1 – praca, 0 – reset
    input CountUp,                  // 1 – zezwolenie na liczenie w górę
    input CountDown,                // 1 – zezwolenie na liczenie w dół
    output reg [WIDTH-1:0] Value    // Wartość licznika
);

    always @(posedge Clock, negedge Reset) begin
        if(!Reset)
            Value <= 0;
        else if(CountUp)
            Value <= Value + 1'b1;  // 1
        else if(CountDown)
            Value <= Value – 1'b1;  // 2
    end

endmodule
```



Rysunek 4. Wyświetlacz 7-segmentowy

```
Listing 5. Kod pliku decoder7seg.v

// Plik decoder7seg.v
module Decoder7seg(
    input [3:0] Data,                   // 4-bitowa liczba
    output reg [6:0] Segments           // do wyświetlacza
);

    always @(*) begin
        case(Data)
            // Opis segmentów gfedcba
            4'h0:       Segments[6:0] = 7'b0111111;
            4'h1:       Segments[6:0] = 7'b0000110;
            4'h2:       Segments[6:0] = 7'b1011011;
            4'h3:       Segments[6:0] = 7'b1001111;
            4'h4:       Segments[6:0] = 7'b1100110;
            4'h5:       Segments[6:0] = 7'b1101101;
            4'h6:       Segments[6:0] = 7'b1111101;
            4'h7:       Segments[6:0] = 7'b0000111;
            4'h8:       Segments[6:0] = 7'b1111111;
            4'h9:       Segments[6:0] = 7'b1101111;
            4'hA:       Segments[6:0] = 7'b1110111;
            4'hB:       Segments[6:0] = 7'b1111100;
            4'hC:       Segments[6:0] = 7'b0111001;
            4'hD:       Segments[6:0] = 7'b1011110;
            4'hE:       Segments[6:0] = 7'b1111001;
            4'hF:       Segments[6:0] = 7'b1110001;
// default: Segments[6:0] = 7'b0000000;
        endcase
    end

endmodule
```

Podsumowanie

Kiedy to wszystko zsyntezujemy i wgramy do FPGA, dwoma przyciskami będziemy mogli zwiększać lub zmniejszać cyfrę na wyświetlaczu. Przećwiczyliśmy tworzenie trochę bardziej skomplikowanego projektu, podzielonego na kilka modułów, które można dodatkowo konfigurować z pliku *top* przy pomocy parametrów. Zaprezentowany projekt będziemy badać w kolejnej części kursu, gdzie poznamy analizator Reveal. Umieszczenie tego analizatora wewnątrz FPGA pozwoli nam obserwować, jak zmieniają się różne sygnały i co jest zapisane w przerzutnikach.

Dominik Bieczyński
leonow32@gmail.com

Czytaj więcej:
Reveal User Guide – https://bit.ly/3ZIFoiA

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

eprasa.pl e2be9d43e0

koktajl niusów

Wideorejestrator z realnym 4K

Wiodący dostawca elektroniki samochodowej – firma NAVITEL wprowadziła na rynek wideorejestrator R900. Urządzenie charakteryzuje zaawansowany sensor SONY 415 STARVIS, szeroki kąt widzenia obiektywu i odporna na różne warunki atmosferyczne konstrukcja. Wspomniany wideorejestrator pozwala na nagrywanie filmów w rozdzielczości: 3840×2160 px przy 30 klatkach na sekundę. Filmy te są zapisywane na karcie pamięci o pojemności do: 256 GB. Kamera stosuje kompresję obrazu HEVC H.265,

Za pracę urządzenia odpowiada procesor MSTAR 8629Q. Sensor optyczny SONY 415 STARVIS i wyposażona w przeszło 7 warstw szklana soczewka, z filtrem IR, umożliwiają rejestrację materiałów wideo nawet w przypadku słabego oświetlenia. Szeroki kąt widzenia obiektywu – 140°, obejmuje w kadrze nie tylko to, co znajduje się przed samochodem, ale także to co dzieje się na sąsiednich pasach ruchu i na chodniku.

Wszystkie nagrania można od razu oglądać z poziomu kamery na matrycy IPS o przekątnej 2,35". Wideorejestrator R900 został wyposażony również w 2 funkcje: Auto-Start i G-Sensor, który odpowiada za zapisywanie oraz zabezpieczanie filmów ze zdarzeń awaryjnych – np. z kolizji. Urządzenie zasilane jest poprzez: złącze USB-C. Występujący w kamerze superkondensator podtrzymuje jej zasilanie i jest odporny na warunki zewnętrzne (upał, mróz), czy też podczas wypadku, kiedy zasilanie zostanie odłączone.

Wideorejestrator montowany jest do przedniej szyby pojazdu za pomocą uchwytu na przyssawkę z obrotowym mechanizmem blokującym, który zapewnia bezpieczne mocowanie urządzenia. Dołączony do R900 czytnik kart pamięci umożliwia szybką transmisję danych z kamery na komputer. W zestawie znajdują się także: uchwyt samochodowy, ładowarka samochodowa 12/24 V, kabel USB-C, czytnik kart pamięci, ściereczka z mikrofibry, instrukcja obsługi, karta gwarancyjna i pełna licencja nawigacyjna z mapą 47 państw świata na smartfon lub tablet.

https://navitel.cz/pl/about/news/2023/02/r900-4k

Najnowsze, wokółuszne słuchawki bezprzewodowe WH-CH720N produkcji Sony

W słuchawkach tych zastosowano pomysł redukcji hałasu z systemem podwójnych czujników hałasu i wbudowany procesor V1. Lekka konstrukcja WH-CH720N i bateria na 35 godzin pracy pozwalają dłużej przebywać w otoczeniu muzyki, bez odgłosów z otoczenia. W najnowszych słuchawkach Sony działa system DSEE (*Digital Sound Enhancement Engine*), którego zadaniem jest odtwarzanie dźwięku zgodnego z zamierzeniami wykonawcy.

Dzięki funkcji połączenia wielopunktowego, słuchawki WH-CH720N mogą łączyć się same z dwoma urządzeniami naraz. Jest to oryginalny produkt przeznaczony dla osób pragnących w spokoju relaksować się w kawiarni, albo w trakcie długiego lotu. Występuje para mikrofonów, która przechwytuje hałas z otoczenia. Taki system pozwala blokować odgłosy z zewnątrz, by nie było słychać nic poza muzyką.

Słuchawki wokółuszne WH-CH720N ważą 192 g. Wyborne, ergonomiczne nauszniki dają poczucie komfortu podczas słuchania muzyki przez długi czas. Maksymalną wygodę noszenia osiągnięto dzięki syntetycznej skórze i poliuretanowi, a także optymalnej budowie i dobrym wymiarowym nauszników. Istnieje możliwość dopasowywania dźwięku przy użyciu korektora graficznego w aplikacji Sony Headphones Connect. Możliwe jest w szczególności wybieranie różnych, fabrycznie zaprogramowanych ustawień brzmienia oraz gatunków muzycznych.

Słuchawki WH-CH720N będą dostępne w 3 kolorach: białym, czarnym i niebieskim. Ich sprzedaż rozpocznie się w marcu 2023 roku.

https://bit.ly/3YRskG5

Firma COMEL-IT wyróżniona przez HUAWEI za aktywne promowanie nowatorskiego urządzenia IdeaHub

Firma COMEL-IT otrzymała statuetkę za ponadprzeciętną sprzedaż innowacyjnego urządzenia IdeaHub firmy HUAWEI. To uznanie

eprasa.pl e2be9d43e0

jest wynikiem wiedzy eksperckiej firmy na temat tego nowatorskiego produktu i jej zaangażowania w zapewnianie jak najlepszej obsługi klienta.

IdeaHub to inteligentny, interaktywny monitor, który dzięki zastosowanym technologiom sztucznej inteligencji rozbudza kreatywność i zwiększa produktywność inteligentnego biura. IdeaHub to przełomowe rozwiązanie, które integruje w sobie inteligentne pisanie, wideokonferencje w wysokiej rozdzielczości i bezprzewodowe udostępnianie. Jego unikalne funkcje oraz projekt zyskały szerokie uznanie, czyniąc go jednym z najgorętszych produktów w branży technologicznel.

Jako czołowy partner HUAWEI, firma COMEL-IT aktywnie promuje IdeaHub. Jej zespół poświęcił wiele czasu, aby upewnić się, że ma wiedzę i umiejętności zapewniające znaczną sprzedaż oraz wsparcie dla rozwiązania. Wysiłki COMEL-IT nie pozostały niezauważone – firma jest niezwykle wdzięczna za zyskanie nagrody od HUAWEI. Przyznana statuetka jest symbolem zaangażowania firmy w zapewnianie dobrej, a przy tym cenionej jakości produktów oraz usług klientom.

http://bit.ly/3JDdRtb

Bestsellerowy punkt dostępowy NWA50AX firmy Zyxel Networks – niedrogi bilet do świata Wi-Fi 6

Firma Zyxel Networks oferuje punkt dostępowy NWA50AX, który dogodnie obsługuje bezprzewodowy standard Wi-Fi 6. Jest on przeznaczony do pracy wewnątrz budynków i dzięki kompaktowej konstrukcji można go instalować na suficie lub ścianie poprzez ramę montażową. Oferowany przez Zyxel Networks model NWA50AX to najlepiej sprzedające się rozwiązanie z najnowszej serii punktów dostępowych (AP). Oprócz maksymalnej przepustowości: 575 Mb/s w paśmie 2,4 GHz oraz do 1200 Mb/s w paśmie 5 GHz, NWA50AX może udostępniać niemal 8 sieci Wi-Fi, o wielu identyfikatorach (SSID) – korzystając tylko z jednego nadajnika radiowego w urządzeniu. Gwarantuje też pełne wsparcie standardu szyfrowania WPA3-PSK. Choć NWA50AX obsługuje standard: Power-over-Ethernet (PoE), to jest sprzedawany z zasilaczem i może pracować bez przełącznika/iniektora PoE.

Ze względu na wysokie ceny prądu, wszelcy użytkownicy docenią doskonałą efektywność energetyczną punktu dostępowego NWA50AX. Jego maksymalny pobór mocy wynosi: 16 W – w trakcie pracy jest to zazwyczaj mniej niż 10 W mocy. Jeśli punkty dostępowe działają w połączeniu z przełącznikami PoE od Zyxel Networks, użytkownik może ustawiać harmonogram zasilania portów PoE, aby oszczędzić energię kiedy sieć bezprzewodowa nie jest w użytku. Wszelkimi punktami dostępowymi od Zyxel Networks można zarządzać poprzez chmurową platformę Nebula. Działa ona jak programowy kontroler pozwalający instalować obsługiwane punkty dostępowe i konfigurować sieć poprzez przeglądarkę internetową lub aplikację mobilną na smartfony i tablety.

http://bit.ly/3LlaEQ6

Schneider Electric i Politechnika Świętokrzyska (PŚk) wspólnie skomercjalizują największą mikrosieć energetyczną w kraju

Chodzi tutaj o prace badawcze, realizowane w ramach największej w Polsce mikrosieci elektroenergetycznej. Jest to rozwiązanie, które powstało w oparciu o produkty z firmy Schneider Electric. Politechnika Świętokrzyska (PŚk) dzięki współpracy z firmą Schneider Electric będzie mogła doprowadzić do komercjalizacji prac badawczych, a także promocji innowacyjnych rozwiązań energetycznych w obszarze mikrosieci. Działania te mają za zadanie powiększyć bezpieczeństwo energetyczne firm i maksymalizować wydajność korzystania z taniej energii. Wybudowana, a także uruchomiona przy udziale Schneider Electric mikrosieć stanowi dobre, unikalne miejsce do modelowania rozwiązań odpowiadających na zapotrzebowanie różnych i ważnych przedsiębiorstw oraz instytucji publicznych. Mikrosieci elektroenergetyczne umożliwiają integrację rozproszonych i odnawialnych źródeł energii (OZE), oraz utrzymywanie stabilności i wydajności sieci.

Oferowana przez Schneider Electric platforma EcoStruxure Microgrid Advisor oferuje dynamiczne kontrolowanie: źródeł i odbiorników energii w cyfrowy sposób. Oprogramowanie łączy ze sobą wszelkie, rozproszone zasoby energetyczne (DER) oraz automatycznie programuje i optymalizuje je pod kątem tego, kiedy i jak zużywać, produkować czy magazynować energię. Interfejs, w czasie rzeczywistym, pokazuje na bieżąco oszczędności, zyski i przesyła informacje dotyczące redukcji emisji CO_2.

https://bit.ly/3ZLsOix

Nowa seria projektorów EB-PQ2000 firmy Epson

Wspierające rozdzielczość 4K projektory są kontynuacją popularnej na rynku serii projektorów 3LCD. Zapewniają prostą instalację, uproszczoną konserwację oraz ekologiczność. Jest to osiągane przy użyciu technologii 4K Crystal Motion. W celu prezentacji wyrazistych obrazów, projektory z serii EB-PQ2000 zostały wyposażone w układ podwójnych mikroobiektywów i wydajny procesor graficzny.

Bezpłatne oprogramowanie EPPT firmy Epson pozwala korzystać ze znacznej liczby funkcji, takich jak korekcja geometrii, albo kalibracja kolorów. Każdy projektor serii EB-PQ2000 dostarcza się jako jednostkę bez obiektywu. Dzięki temu użytkownik może stwarzać, w istocie, optymalne rozwiązania, wybierając spośród obiektywów Epson o właściwej jakości. Wszystkie projektory cechuje efektywne przetwarzanie obrazu, przydatne szczególnie, kiedy chodzi o stackowanie urządzeń czy łączenie obrazów, bez użycia komputera. Wśród dodatkowych funkcji znajduje się obsługa standardu NFC upraszczająca instalację i oferująca komunikację pomiędzy projektorami, a smartfonami na rynku nawet wtedy, gdy projektory są wyłączone. Dodatkowo, urządzenia są zgodne z modułem kamery ELPEC01.

https://bit.ly/3ZJihED

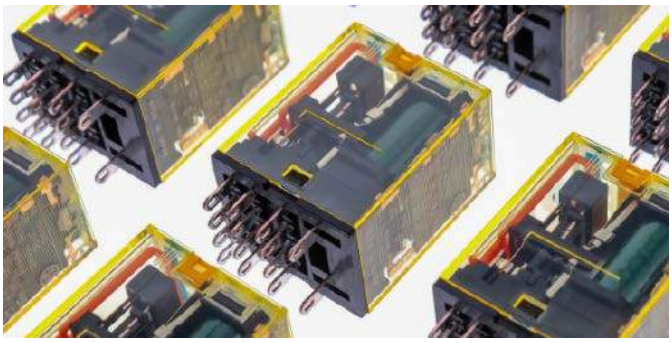
eprasa.pl e2be9d43e0

Nowy czujnik monitorujący firmy SCHUNK wykrywa trzy stany mocowania

Wszechstronny system modułowy VERO-S oferuje szybki montaż oraz prawidłowe pozycjonowanie i mocowanie przedmiotów obrabianych oraz urządzeń mocujących. Nowy czujnik tego systemu – VERO-S AFS3 IOL dostarcza użytecznych informacji o stanach mocowania modułów i zapewnia większą przejrzystość procesu. Czujnik ten sprawdza pozycje wielu suwaków zaciskowych oraz to czy moduł jest otwarty, zamocowany sworzniem mocującym albo zamontowany bez sworznia mocującego. Dioda LED sygnalizuje stan mocowania i gwarantuje znaczne bezpieczeństwo pracy.

Czujnik VERO-S AFS3 IOL można łączyć z modułami mocującymi SCHUNK z serii: NSE3 138, NSE3 99 oraz NSE3 100-75. Indukcyjny czujnik zbliżeniowy weryfikuje czy nad modułami występuje paleta. Ten inteligentny produkt zapewnia wysoki poziom bezpieczeństwa podczas automatycznego mocowania przedmiotu obrabianego. Nie potrzeba śledzenia pracy pneumatycznego suwaka mocującego. Kolejną korzyścią jest proste programowanie VERO-S AFS3 IOL – odbywa się to za pośrednictwem złącza IO-Link i przebiega bardzo szybko. Przy pomocy tego złącza można również rejestrować znaczny zakres danych procesu. Czujnik VERO-S AFS3 IOL działa dzięki napięciu 24 V. Jest to produkt mocowany poza podparciem modułu mocującego.

http://bit.ly/3JD1QDU



Ponad 550 nowych dostawców oraz 75 tysięcy pozycji magazynowych u Digi-Key Electronics

W 2022 roku firma Digi-Key Electronics rozszerzyła swoje portfolio o 550 nowych dostawców. Dodała ona ponad 75 tysięcy nowych pozycji magazynowych (SKU) w ramach działalności, która uwzględnia autorską platformę handlową i program realizacji zamówień. Korzystając z innowacyjnych magazynów, a także centrum logistycznego, program realizacji zamówień Digi-Key Electronics łączy możliwości magazynu 3PL ze światową bazą klientów i dobrą witryną internetową do realizacji zamówień oraz transakcji na żądanie.

Firma Digi-Key Electronics jest autoryzowanym dystrybutorem elementów elektronicznych, które pochodzą od niemal aż 2300 wiodących na rynku dostawców. Gwarantuje to inżynierom, projektantom, specjalistom ds. zaopatrzenia i wytwórcom, że zamawiane przez nich produkty są całkowicie autentyczne i dostarczane do Digi-Key Electronics natychmiast od producentów. Jak wyznaje wiceprezes ds. zarządzania dostawcami w firmie Digi-Key Electronics, David Stein: „W roku, w którym to branża elektroniczna zmierzała w kierunku normalizacji, firma Digi-Key Electronics podtrzymała swe zobowiązanie, by być dystrybutorem z największym na świecie portfelem dostawców. Rok 2022 był kolejnym rokiem poszerzania naszej oferty – dajemy najnowsze technologie i umacniamy pozycję lidera w wyborze podzespołów elektronicznych…”

http://bit.ly/3yA7aBO

8 lat firmy NAVITEL w Polsce

1 lutego 2023 roku minęło 8 lat od wprowadzenia produktów NAVITEL na rynek polski. Producent może pochwalić się rosnącą sprzedażą urządzeń, a także stałym rozrostem oferty o nowe rozwiązania. Jak wyjaśnia CEO NAVITEL Europe, Tobiasz Jankowski: „Dosłownie przed chwilą mieliśmy okazję świętować 7. urodziny polskiego oddziału NAVITEL, a za nami już kolejny rok prężnego działania w Polsce. Miniony okres był dla nas sowity, jeżeli chodzi o wyzwania, nowe projekty oraz strategiczne planowanie na kolejne lata. Wdrożyliśmy morze nowości, w tym: pierwszą kamerę trzykanałową (RC3 PRO), kamerę bez wbudowanego fizycznie ekranu (R66 2K), czy nawigację przeznaczoną wielu samochodom ciężarowym (E777 TRUCK). Ubiegły rok był też rokiem wkraczania w nowe, dosyć nieoczywiste rozwiązania m.in. zestawy głośnomówiące, co było podyktowane zmianami w taryfikatorze mandatów. Zależy nam, żeby jak najbardziej wychodzić naprzeciw oczekiwaniom i potrzebom klientów, a także dbać o ich bezpieczeństwo na drodze. Bardzo cieszy nas fakt, że coraz więcej osób w Polsce decyduje się na zakup kamerki samochodowej, która ratuje przed mandatami, a także, w szczególności, przed wyłudzaczami odszkodowań. W takim przypadku nagrania z kamerek to poważne dowody w sprawach (...) Lepiej wyposażyć własne auto w wideorejestrator i dzięki temu ubezpieczyć się na wypadek nieprzewidzianych sytuacji. Wkraczając w 9. już rok naszej działalności w Polsce, możemy sobie życzyć na pewno wytrwałości w realizacji swoich celów, podejmowania nowych wyzwań oraz kolejnych sukcesów”.

http://bit.ly/3YKKWHY

Trwają prace nad recyklingiem proszku do drukarek 3D

Polsko-niemiecki zespół naukowców i specjalistów z firm branży technologii przyrostowych prowadzi badania nad dobrą metodą regeneracji zużytych proszków poliamidowych. Pozwoli to na ponowne użycie tysięcy ton tego materiału w druku 3D. Liderem grupy badawczej jest Politechnika Wrocławska (PWr). Wykonywane badania dotyczą najpopularniejszej grupy proszków tworzyw sztucznych, które są stosowane w procesie selektywnego laserowego spiekania (*selective laser sintering* – SLS) tj. technologii przyrostowej, potocznie zwanej drukiem 3D. Metoda polega na spiekaniu, warstwa po warstwie, tworzywa sztucznego, w oparciu o cyfrowy model.

Prace rozpoczęły się od analizy natury degradacji proszków poliamidowych w procesie SLS i pełnej charakterystyki recyklatu. Kolejny etap to długotrwałe próby oraz testy dotyczące możliwości jego przetwarzania. Naukowcy będą sprawdzać swoje założenia, wytwarzając formy, zarówno na urządzeniach Centrum Zaawansowanych Systemów Produkcyjnych PWr, jak i na wiernych maszynach przemysłowych. W ramach prac ma zaistnieć także stacja do produkcji mieszanin na bazie recyklingowanych proszków. Buduje ją Zakład Badawczy Przemysłu Piekarskiego w Bydgoszczy, który wykazał się ogromnym doświadczeniem w tworzeniu aparatury dla sypkich produktów spożywczych.

http://bit.ly/3mGSoq8

Jakub Tyburski
jakub.tyburski@elportal.pl

eprasa.pl e2be9d43e0

Hity następnego numeru • „Elektronika Praktyczna” 5/2023

Zaawansowany licznik impulsów

Typowe liczniki impulsów mają wyświetlacz i wejście inkrementujące aktualną wartość. Niektóre mają też drugie wejście, służące zmniejszaniu wyświetlanej liczby. Taki układ może mieć wiele zastosowań – odliczanie liczby osób znajdujących się w pomieszczeniu, odmierzanie pozycji taśmy magnetofonowej lub pomiar liczby przedmiotów wsypywanych do pudełka to tylko niektóre z nich. Do takich zadań układ musi oferować wiele różnych funkcji: możliwość wyboru aktywnego zbocza, uaktywnienie pamięci, praca w pętli lub z przepełnieniem itd. Zaprezentowany daje takie możliwości – to prawdziwy kombajn liczący!

VUM – mikroprocesorowy wskaźnik wysterowania sygnału audio

Implementacja analogowego wskaźnika wysterowania nie jest dużym wyzwaniem, gdyż aplikacje takich układów są niezmiernie proste i nie pozostawiają płaszczyzny do własnej inwencji, a na dodatek mają z góry ustaloną funkcjonalność. Właśnie stąd wziął się pomysł na skonstruowanie własnej wersji tego typu urządzenia o rozszerzonej funkcjonalności, jak i możliwości dostosowania do własnych potrzeb.

Graficzny wyświetlacz OLED 2,3” z interfejsem I²C

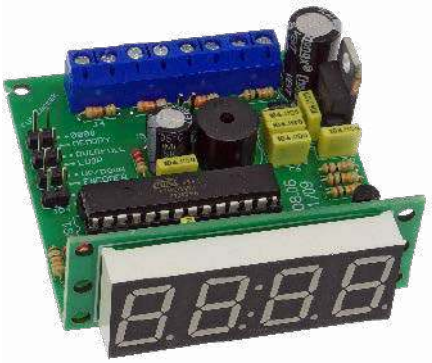
Niewielkie wyświetlacze graficzne OLED dzięki niskiej cenie stały się powszechne w konstrukcjach DIY. Dają przyjemny dla oka, jasny i kontrastowy obraz, ale zwykle oferują niewielką powierzchnię ekranu. W zaprezentowanym projekcie zastosowano wyświetlacz EA OLEDM128-6 o przekątnej 2,3” i rozdzielczości 128×64. Przy konstruowaniu układu szczególny nacisk położono na szeroki zakres napięć zasilania (3,3...5 V) umożliwiający współpracę wyświetlacza z różnymi platformami uruchomieniowymi bez zmian układowych i ponoszenia dodatkowych kosztów. Jest to szczególnie istotne, gdyż moduły OLED o większych przekątnych są dosyć drogie.

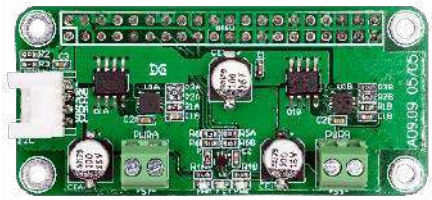
Moduł redundancji zasilania dla Raspberry Pi Zero

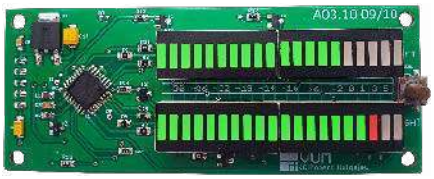
Zapewnienie stabilnego zasilania jest podstawowym wymogiem koniecznym przy projektowaniu urządzeń elektronicznych. Niestety awarie systemu zasilania zdarzają się w najmniej oczekiwanych sytuacjach. Problem jest szczególnie istotny dla komputerów jednopłytkowych SBC, które w dzisiejszych czasach realizują całkiem poważne zadania, a ewentualny zanik zasilania może uszkodzić system plików, naruszyć integralność danych, nie wspominając o oczywistej przerwie w pracy urządzenia. Podwójne źródło zasilania w postaci dwóch zasilaczy współpracujących z modułem redundancji pozwala ograniczyć skutki awarii zasilacza.

Tematy wiodące w EP 5/2023:

- Przekaźniki w obwodach AC i DC
- Instalacje fotowoltaiczne







Wykaz firm ogłaszających się w tym numerze „Elektroniki Praktycznej”

ADOPTSMT 79
AKSOTRONIK 77
ARMEL 9
BORNICO 15
COMPUTER CONTROLS 7
DIOLUT 80, 81
ELMAX 19
FARNELL 5, 57, 82, 120
GAMMA 9
HAMMOND 11
LAFOT 70, 71
PIEKARZ 9
SEMICON 17

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:
Damian Sosnowski

Redaktor Programowy, Przewodniczący Rady Programowej:
Piotr Zbysiński

Menedżer Magazynu:
Katarzyna Gugała

Szef Pracowni Konstrukcyjnej:
Jakub Sobański

Zespół marketingu i reklamy:
Katarzyna Gugała, tel. 22 257 84 64
Bożena Krzykawska, tel. 22 257 84 42
Grzegorz Krzykawski, tel. 22 257 84 60

Stali współpracownicy:
Lucjan Bryndza, Nikodem Czechowski, Jarosław Doliński, Andrzej Gawryluk, Krzysztof Górski, Tomasz Jabłoński, Henryk Kowalski, Rafał Kozik, Michał Kurzela, Przemysław Musz, Szymon Panecki, Sławomir Skrzyński, 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 i okładka:
MAD Sp. z o.o.

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

Wydawnictwo AVT-Korporacja Sp. z o.o. należy do **Izby Wydawców Prasy**

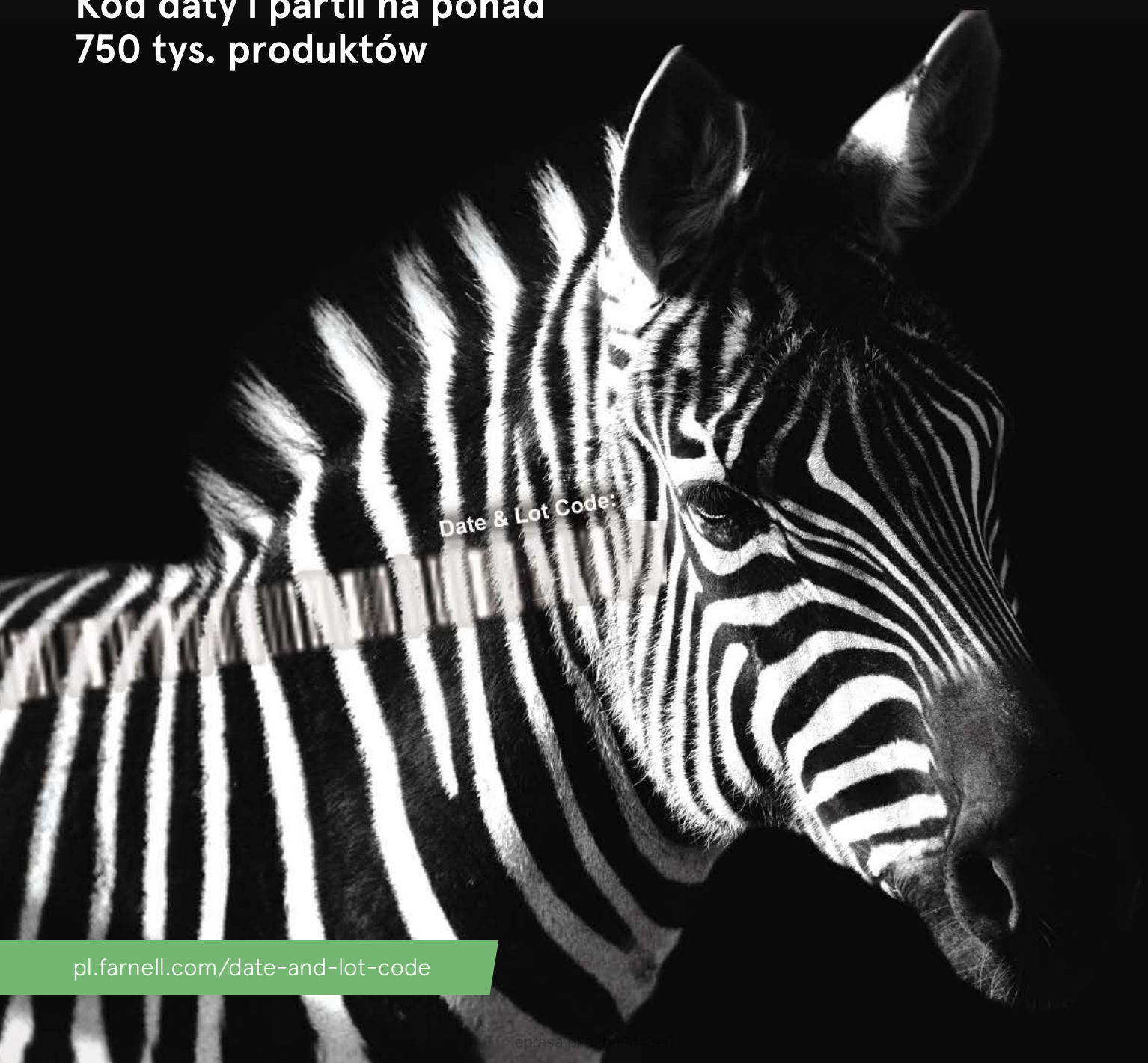
Copyright AVT-Korporacja Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
Projekty publikowane w „Elektronice Praktycznej” mogą być wykorzystywane wyłącznie do własnych potrzeb. Korzystanie z tych projektów do innych celów, zwłaszcza do działalności zarobkowej, wymaga zgody redakcji „Elektroniki Praktycznej”. 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 e2be9d43e0

Farnell
AN AVNET COMPANY

IDENTYFIKOWALNOŚĆ PRODUKTÓW - TO NASZA DRUGA NATURA

Kod daty i partii na ponad 750 tys. produktów



pl.farnell.com/date-and-lot-code