Wydanie elektroniczne dostępne na www.ulubionykiosk.pl

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

EP.com.pl

● Międzynarodowy magazyn elektroników konstruktorów ● luty ● 2/2023 ●

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

ELEKTRONIKA W APLIKACJACH MILITARNYCH

TEMAT NUMERU

inspirujące, użyteczne projekty

• powerMonitor – miniaturowy miernik parametrów elektrycznych• Termostat MIN-MAX • DS18SW20 – emulator czujnika temperatury DS1820. Przykład programowej realizacji urządzenia 1-Wire slave • Dwukanałowy czujnik temperatury z interfejsem I²C • Moduł LoRa zgodny z XBee • Moduł redundancji zasilania urządzeń 12 V • Prosty emulator odbiornika linii CP samochodu elektrycznego • Stacja meteo, czyli czyszczenie szuflad • Układ do pomiaru pułapu tlenowego naszego organizmu • Resolve-Ables – wizualizacja zjawisk fizycznych za pomocą malowania światłem

podzespoły, sprzęt, aplikacje

• Złącza elektryczne w systemach militarnych • Obserwacje hiperspektralne kluczowym elementem świadomości na współczesnym polu walki • Podzespoły dla przemysłu i aplikacji militarnych • Termowizja i autonomiczne statki powietrzne • Mikrokontrolery 8-bitowe i ich rola w świecie IoT • Nowe funkcje w Altium Designer 23 • Rejestratory zakłóceń elektrycznych firmy TRONIA

tutoriale

• Wbudowane sieci neuronowe w STM32. Rozpoznawanie kształtów • Obliczanie wartości oporników podciągających interfejsu I²C • Automatyczne systemy pomiarowe w praktyce inżyniera • Praktyczne aplikacje scalonych układów AFE. Front-endy przeznaczone do pracy z czujnikami RTD

kursy

• Kurs FPGA Lattice. Generator, dzielnik i licznik

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

ISSN 1230-3526 Indeks 357677

9 771230 352238 02 >

AUTOMATYCZNE SYSTEMY POMIAROWE

eprasa.pl 0667ee155a

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 0667ee155a

Technologie militarne mamy w każdym domu

Prace badawczo-rozwojowe na potrzeby militarne, z oczywistych względów mogą być bardziej skuteczne i mogą oferować większe osiągnięcia, niż takie same działania w każdej innej branży. Dziś to przewaga technologiczna daje przewagę na polu walki. Jednak historia pokazuje, że wiele wynalazków pierwotnie opracowanych na potrzeby militarne, trafia w końcu do użytku komercyjnego.

Klasycznym przykładem jest GPS (*Global Positioning System*), który został opracowany w 1959 r. przez Departament Obrony Stanów Zjednoczonych. Zadaniem GPS-u jest dostarczenie użytkownikowi informacji o jego położeniu na kuli ziemskiej oraz ułatwienie nawigacji w terenie. System składa się z trzech segmentów: satelitów orbitujących wokół Ziemi, stacji kontrolnych i monitorujących na ziemi, oraz użytkownika – odbiorcy sygnału. Ze względu na militarne zastosowanie, w systemie GPS zastosowano dwa poziomy dostępu. Dostęp precyzyjny przeznaczony dla sił zbrojnych USA oraz wojsk sprzymierzonych oraz dostęp standardowy o mniejszej dokładności dla odbiorców cywilnych, który przez długi czas był celowo zakłócany pseudolosowym błędem, uniemożliwiającym uzyskanie odczytu precyzyjniejszego niż ok. 100 m. Mechanizm zakłócający odbiór sygnału został wyłączony dopiero w maju 2000 roku, dzięki czemu dokładność określania pozycji dla użytkowników cywilnych wzrosła do ok. 4...12 metrów.

Jeden z największych wynalazków ludzkości również powstał z inicjatywy Amerykańskich Sił Zbrojnych. Historia Internetu zaczęła się 29 października 1969 roku, na Uniwersytecie Kalifornijskim w Los Angeles (UCLA) gdzie w ramach eksperymentu finansowanego przez ARPA (*Advanced Research Project Agency* – instytucja zajmująca się koordynowaniem badań naukowych na potrzeby wojska), uruchomiono pierwsze węzły sieci ARPANET. Był to przodek dzisiejszego Internetu, sieć, która miała umożliwiać komunikację niezależną od centralnego ośrodka sterowania, co miało zapewnić jej funkcjonowanie nawet w przypadku ataku na krytyczne obiekty.

Kuchenki mikrofalowe, także są uwikłane w badania wojskowe. Za wynalazcę mikrofali uważa się amerykańskiego inżyniera Percy'ego Spencera, który pracował nad wytwarzaniem fal elektromagnetycznych, stosowanych w urządzeniach radarowych. W trakcie testów odkrył, że mikrofale roztopiły batonik, co skłoniło go do prowadzenia prac w zupełnie innym kierunku.

Innym przedmiotem spotykanym w kuchni, który ma początek w wojskowym laboratorium, jest patelnia teflonowa. Podczas eksperymentów z pochodnymi freonu, pozostawiona na noc próbka zamarzła, tworząc niezwykle śliską i obojętną na związki chemiczne substancję stałą, nazwaną Teflonem. Przez długi czas był używany jedynie przez wojsko m.in. jako izolator kabli w pociskach artyleryjskich. Pierwsza patelnia teflonowa została wyprodukowana w połowie lat 50.

Na koniec – historia walkie-talkie. W 1941 roku Motorola dostarczyła amerykańskiej armii radiostację SCR-536, nazwaną przez wojsko *handie-talkie*. Niewielka, jak na tamte czasy, masa urządzenia wynosząca 2,5 kg, umożliwiała jego ręczne użycie w warunkach wojskowych. Na początku 1943 roku wprowadzono plecakową radiostację Motoroli o wadze około 16 kg, nazwaną przez żołnierzy właśnie *walkie-talkie*. Po wojnie urządzenia znalazły wiele innych zastosowań. Co ciekawe, walkie-talkie zostało zaprojektowane przez Polaka Henryka Magnuskiego.

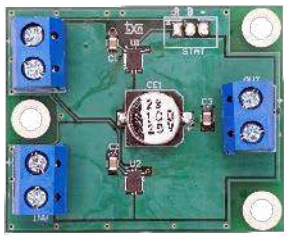
Jakiego wojskowego wynalazku możemy spodziewać się w naszych kuchniach w najbliższym czasie? Trudno stwierdzić, ponieważ informacje o prawdziwie nowatorskich rozwiązaniach są szczątkowe. Natomiast intensywnie rozwijane są m. in. wszelkiego rodzaju drony oraz technologia wirtualnej rzeczywistości.

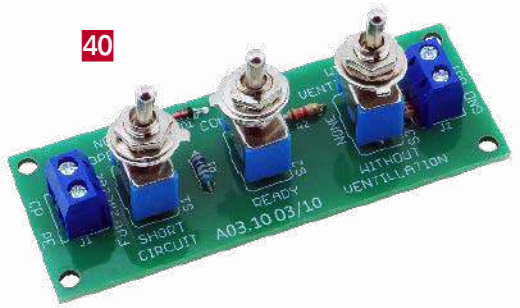
Damian Soskowski

eprasa.pl 0667ee155a

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

Nr 2 (361) • Luty 2023





Nie przeocz
Nowe podzespoły ... 6
Dodaj do obserwowanych ... 12
Konkurs ... 57
Koktajl niusów ... 108

Projekty
powerMonitor – miniaturowy miernik parametrów elektrycznych ... 18
Termostat MIN-MAX ... 24
DS18SW20 – emulator czujnika temperatury DS1820.
Przykład programowej realizacji urządzenia 1-Wire slave (2) ... 28

Miniprojekty
Dwukanałowy czujnik temperatury z interfejsem I²C ... 34
Moduł LoRa zgodny z XBee ... 36
Moduł redundancji zasilania urządzeń 12 V ... 39
Prosty emulator odbiornika linii CP samochodu elektrycznego ... 40

Temat numeru: Elektronika w aplikacjach militarnych
Złącza elektryczne w systemach militarnych ... 42
Obserwacje hiperspektralne kluczowym
elementem świadomości na współczesnym polu walki ... 52

Prezentacje
Podzespoły dla przemysłu i aplikacji militarnych ... 48
Termowizja i autonomiczne statki powietrzne ... 50
Mikrokontrolery 8-bitowe i ich rola w świecie IoT ... 58
Nowe funkcje w Altium Designer 23 ... 60
Rejestratory zakłóceń elektrycznych firmy TRONIA ... 80

Moduły w aplikacjach
Wbudowane sieci neuronowe w STM32 (2). Rozpoznawanie kształtów ... 62

Notatnik konstruktora
Obliczanie wartości oporników podciągających interfejsu I²C ... 65

Elektronika w praktyce
Automatyczne systemy pomiarowe w praktyce inżyniera ... 68

Poradnik implementacji
Praktyczne aplikacje scalonych układów AFE (21).
Front-endy przeznaczone do pracy z czujnikami RTD ... 82

Projekty SOFT
Stacja meteo, czyli czyszczenie szuflad (3) ... 90
Układ do pomiaru pułapu tlenowego naszego organizmu ... 94
Resolve-Ables – wizualizacja zjawisk fizycznych
za pomocą malowania światłem ... 98

Kursy
Kurs FPGA Lattice (4). Generator, dzielnik i licznik ... 103

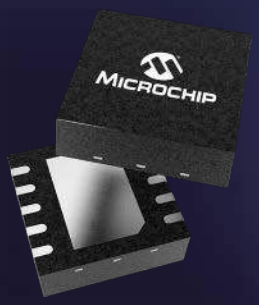
Prenumerata ... 2
Od wydawcy ... 3
Hity następnego numeru ... 111

Dodatkowe materiały do artykułów znajdziesz na https://ulubionykiosk.pl/media
Szczegóły na stronie 112
eprasa.pl 0667ee155a

Microchip is…

Power and Analog

Mixed-Signal ‹
Linear ‹
Power ‹



- Automotive
- Communications
- Computing
- Consumer
- Industrial

MICROCHIP

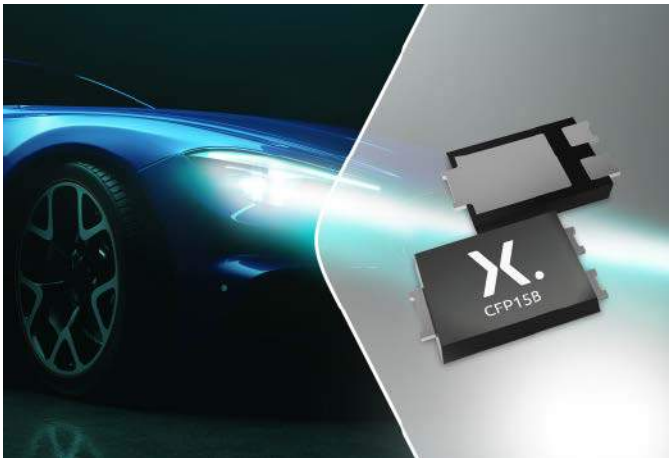
microchip.com/power-and-analog

The Microchip name and logo and the Microchip logo are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries. All other trademarks are the property of their registered owners. © 2022 Microchip Technology Inc. All rights reserved.
MEC2463A-UK-12-22

eprasa.pl 0667ee155a

nowe podzespoły

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



Diody Schottky'ego i prostownicze w nowych obudowach CFP15 o dużej gęstości mocy

Nexperia rozszerza ofertę diod zamykanych w obudowach CFP (*Clip-bonded FlatPower*), przeznaczonych do zastosowań w przemyśle i motoryzacji. Do oferty wchodzą 32 nowe diody Schottky'ego i 8 superszybkich diod prostowniczych o krótkim czasie regeneracji, zamykanych w obudowach CFP15B o wymiarach 5,8×4,3×0,95 mm. Występują one w wersjach standardowych i samochodowych z kwalifikacją AEC-Q101.

Nowe, planarne diody Schottky'ego serii PMEGxxxx są produkowane na zakres napięcia znamionowego od 30 do 100 V i na zakres prądu przewodzenia 3...15 A. Są wśród nich dostępne wersje zoptymalizowane pod kątem redukcji napięcia przewodzenia (np. 8-amperowa PMEG100V080ELPE/-Q o napięciu V_F=850 mV), zapewniające małe straty w konwerterach DC-DC i układach zabezpieczających przed odwróceniem polaryzacji. Występują też wersje o obniżonym prądzie upływu oraz o szerokim zakresie temperatury pracy. Oferta nowych diod prostowniczych (seria PNE200xxEPE/-Q) obejmuje wersje o napięciu znamionowym 200 V i dopuszczalnym prądzie przewodzenia od 4 do 10 A.

Dzięki zastosowaniu mniejszych obudów CFP15B o dużej gęstości mocy, nowe diody pozwalają zaoszczędzić do 60% powierzchni płytki drukowanej w porównaniu z odpowiednikami DPAK i SMB/C przy tych samych parametrach elektrycznych. Ponadto, ich zaletą jest duża niezawodność i możliwość prowadzenia automatycznej kontroli optycznej połączeń.

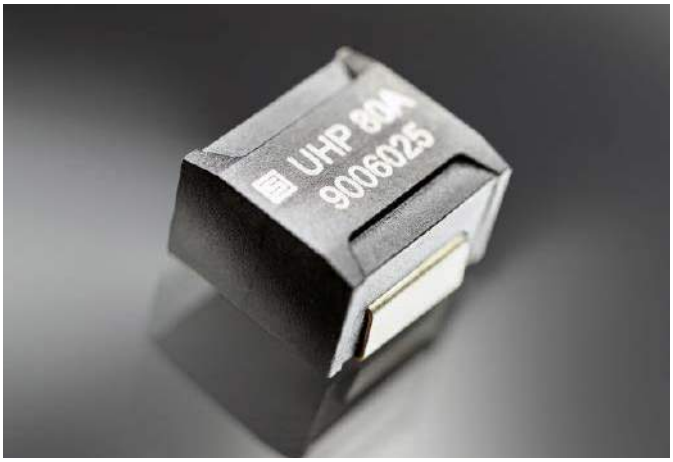
www.nexperia.com

Szybkie bezpieczniki 50...100 A do aplikacji SELV

Schurter wprowadza do oferty serię szybkich bezpieczników dużej mocy, zaprojektowanych do aplikacji SELV (*Safety Extra Low Voltage*). Mogą one współpracować m.in. z pakietami akumulatorów litowo-jonowych, zapewniając szybkie rozłączenie obwodów w przypadku przetężenia. Ich czas reakcji wynosi maksymalnie 15 s przy dwukrotnym prądzie znamionowym.

Bezpieczniki serii UHP występują w 12 wersjach o prądzie znamionowym 50...100 A i zapewniają zdolność wyłączania do 3000 A, w zależności od konfiguracji. Są przeznaczone do pracy w szerokim zakresie temperatury otoczenia od –55 do +125°C, co pozwala na zastosowania w przemyśle motoryzacyjnym. Charakteryzują się napięciem znamionowym 80 VDC. Spełniają wymogi normy MIL-STD-202 w zakresie odporności na udary i wibracje, szybkie zmiany temperatury, wilgoć i rozpuszczalniki.

www.schurter.com



Transil dwukierunkowy dużej mocy o napięciu pracy 15 V i dopuszczalnym prądzie udarowym 20 kA

Bourns wprowadza na rynek dwukierunkowy transil dużej mocy o oznaczeniu PTVS20-015C-TH, zapewniający odporność na prądy udarowe o natężeniu do 20 kA (8/20 µs), zgodnie z IEC 61000-4-5. Pozwala on zmniejszyć liczbę podzespołów łączonych równolegle w porównaniu z wcześniejszymi układami zabezpieczającymi. Jest przeznaczony do ochrony 15-woltowych linii zasilających przed wyładowaniami ESD. Charakteryzuje się napięciem przebicia min. 16 V i napięciem ograniczenia wynoszącym typowo 44 V @ I_{pp}=20 kA. Nadaje się do pracy w szerokim zakresie temperatury otoczenia od –55 do +125°C.

www.bourns.com

eprasa.pl 0667ee155a

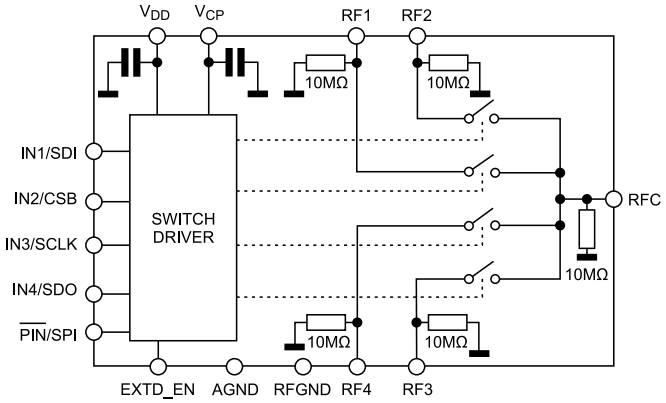
Miniaturowe anteny elastyczne na pasmo 600...7125 MHz

Firma 2J Antennas wprowadza na rynek cztery serie anten elastycznych Mono-Flexi o dużej sprawności przy małych rozmiarach, zaprojektowanych do zastosowań w urządzeniach małogabarytowych. Są to anteny samoprzylepne, wyposażone w kabel o długości 38 lub 42 mm, zakończony złączem U.FL. Na zamówienie mogą być też dostarczane z kablami o innych długościach oraz z innymi typami złączy.

Anteny 2JF0883P i 2JF0883Pa są przeznaczone do zastosowań w urządzeniach komunikacyjnych pracujących w standardach 5GNR, 4GLTE, FirstNet, CBRS, LPWA, CAT-X, CAT-Mx, CAT-NBx, NB-IoT i 2G/3G. Pokrywają zakresy częstotliwości 617...960, 1427...2690, 3300...5000 i 5150...5925 MHz. Są to anteny o charakterystyce dookólnej, zapewniające sprawność sięgającą 65,9% i wzmocnienie do 3,8 dBi. Ich wymiary wynoszą 50×20×0,2 mm.

Anteny 2JF1424P i 2JF1424Pa charakteryzują się wymiarami 40×20×0,2 mm. Zostały zaprojektowane do aplikacji 2G,3G i 4G. Pokrywają zakresy częstotliwości 698...960 MHz, 1710...2170 MHz i 2500...2700 MHz. Charakteryzują się sprawnością sięgającą 69 dB i wzmocnieniem do 4,1 dBi.

www.2j-antennas.com



Przełącznik SP4T na pasmo DC...18 GHz

Szerokopasmowy przełącznik SP4T ADGM1144 firmy Analog Devices został zaprojektowany do zastosowań w testerach ATE, aparaturze pomiarowej i systemach komunikacyjnych. Jest to układ o bardzo dobrej liniowości, zrealizowany w technologii MEMS i zamykany w miniaturowej obudowie LGA-24 o wymiarach 5×4×1 mm. Może przełączać sygnały o częstotliwości od DC do 18 GHz, zapewniając małe straty wtrącone (typ. –1,7 dB @ 16 GHz) i małą rezystancję wewnętrzną (typ. 1,9 Ω). Pracuje przy maksymalnej mocy sygnału wejściowego 33 dBm. Linie wyjściowe są zakończone rezystorami 10 MΩ, eliminującymi część elementów współpracujących. ADGM1144 może być sterowany za pośrednictwem interfejsu SPI lub równoległego.

Ważniejsze parametry:

- pasmo: DC...18 GHz,
- izolacja: typ. –18,5 dB @ 6 GHz,
- straty wtrącone: typ. –1,7 dB @ 16 GHz,
- rezystancja wewnętrzna: typ. 1,9 Ω,

REKLAMA

eprasa.pl 0667ee155a

- IIP3: typ. 73 dBm,
- czas przełączania: typ. 200 µs,
- żywotność: min. 200 milionów cykli,
- zakres temperatury pracy: od –40 do +85°C.

www.analog.com

Miniaturowe anteny prętowe o długości <20 mm na pasma Sub-1 GHz

Linx Technologies prezentuje dwie miniaturowe anteny prętowe o długości <20 mm, przeznaczone do pracy w paśmie Sub-1 GHz. Przykładem zastosowań mogą być aplikacje LPWA (np. LoRaWAN), IoT, ISM, piloty zdalnego sterowania, systemy monitoringu, mierniki ze zdalnym odczytem oraz inteligentne sieci domowe. Obie wersje, ANT-915-NUB i ANT-868-NUB, mogą być montowane na obudowach metalowych i niemetalowych za pomocą złączy SMA lub RP-SMA. Pracują w paśmie odpowiednio 902...93 0 MHz i 862...876 MHz przy maksymalnej mocy wejściowej 25 W. Uzyskały kwalifikację AEC-Q200 Grade 2, pozwalającą na zastosowania w motoryzacji.

	ANT-868-NUB	ANT-915-NUB
Pasmo	862...876 MHz	902...930 MHz
VSWR	≤1,7	≤2,6
Sprawność	51%	38%
Wzmocnienie szczytowe	4,2 dBi	3,9 dBi
Wzmocnienie średnie	–2,9 dBi	–4,3 dBi
Wymiary	Ø7,0×19,7 mm	Ø7,0×17,7 mm

www.linxtechnologies.com

Półmostkowy moduł dużej mocy SiC 650 V/32 A do układów zasilających i napędowych

Półmostkowy moduł dużej mocy SA111 firmy Apex Microtechnology pozwala zmniejszyć wymiary i zwiększyć sprawność energetyczną przetwornic AC-DC i DC-DC, układów korekcji PFC oraz układów napędowych. Został on zrealizowany na bazie małostratnych tranzystorów SiC MOSFET i charakteryzuje się bardzo dużą gęstością mocy; może pracować z maksymalnym wyjściowym prądem ciągłym 32 A przy powierzchni montażowej jedynie 20×20 mm. Obudowa QFP-52 o małej rezystancji termicznej z wyprowadzeniem chłodzącym na górnej powierzchni umożliwia pracę w szerokim zakresie temperatury otoczenia od –40 do +125°C.

SA111 zawiera układ sterowania bramkami tranzystorów, zabezpieczenie podnapięciowe i aktywny układ Millera do zabezpieczenia wewnętrznych tranzystorów. Może pracować z napięciem zasilania do 650 V i z częstotliwością przełączania do 1 MHz.

www.apexanalog.com

Tania dioda laserowa 514 nm jako alternatywa dla laserów argonowych

AMS OSRAM prezentuje pierwszą, dostępną komercyjnie diodę laserową Metal Can PLT5 522FA_P-M12 o długości fali 514 nm, stanowiącą alternatywę dla droższych, większych i bardziej zawodnych laserów argonowych, stosowanych w badaniach przyrodniczych i diagnostyce. Dodatkową zaletą jest tu wyeliminowanie konieczności stosowania niewygodnej metody chłodzenia wodą. Masa jednomodowej diody PLT5 522FA_P-M12 wynosi zaledwie kilka gramów, podczas gdy układ zasilania i chłodzenia lasera argonowego waży kilka kg. Dioda generuje moc wyjściową 50 mW. Jest kompatybilna z barwnikami fluorescencyjnymi w zakresie 514 nm, a także z obiektywami różnych producentów. Nadaje się do zastosowań m.in. w zakresie cytometrii przepływowej, spektroskopii, identyfikacji i analizie materiałów, sekwencjonowaniu DNA oraz analizie kryminalistycznej.

www.ams-osram.com

150-woltowy tranzystor GaN FET o dużej gęstości mocy do układów napędowych

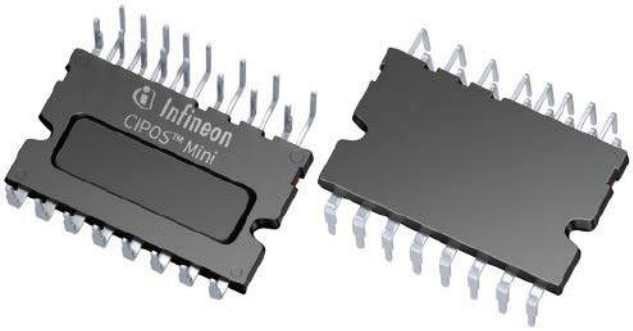
EPC2308 to najnowszy tranzystor GaN FET z oferty firmy EPC, przeznaczony do zastosowań w układach napędowych elektronarzędzi i robotów. Charakteryzuje się napięciem przebicia 150 V, małą rezystancją RDS(on), poniżej 6 mΩ i dużą gęstością mocy. Małe ładunki wewnętrzne QG, QGD i QOSS (odpowiednio 10,6, 1,3 i 50 nC) umożliwiają pracę z dużą częstotliwością przełączania. EPC2308

eprasa.pl 0667ee155a

może pracować z maksymalnym prądem ciągłym 48 A. Jest kompatybilny pod względem rozkładu wyprowadzeń z wcześniejszymi 100-woltowymi odpowiednikami EPC2302 ($R_{DS(on)}$=1,8 mΩ) i EPC2306 ($R_{DS(on)}$=3,8 mΩ).

EPC2308 jest zamykany w obudowie QFN o powierzchni 5×3 mm z metalową powierzchnią górną, zapewniającą skuteczne odprowadzanie ciepła (RthJC=0,5°C/W). Jego cena hurtowa wynosi 3,75 USD przy zamówieniach 1000 sztuk. W ofercie firmy EPC jest też dostępna płytka ewaluacyjna EPC90148 z tranzystorami EPC2308 połączonymi w układzie półmostkowym, generującymi maksymalny prąd wyjściowy 12 A. Została ona zaprojektowana pod kątem zapewnienia optymalnych parametrów dynamicznych i zawiera wszystkie niezbędne komponenty o krytycznym znaczeniu, pozwalające skrócić czas projektowania. Cena płytki wynosi 200 USD.

www.epc-co.com



Moduły IPM z tranzystorami IGBT do sterowania silnikami 3-fazowymi o mocy do 1,4 kW

Infineon wprowadza na rynek serię modułów IPM CIPOS Mini IM523, przeznaczonych do sterowania silnikami 3-fazowymi o mocy do 1,4 kW w urządzeniach AGD i systemach HVAC. Zostały one zrealizowane z wykorzystaniem 600-woltowych tranzystorów IGBT, produkowanych w technologii RCD2 (Reverse Conducting Drive 2) i sterowników bramek produkowanych w technologii SOI, pozwalających ograniczyć straty mocy w strukturze. Występują w wariantach o prądzie znamionowym od 6 do 17 A. Poza tranzystorami IGBT i sterownikiem bramek, zawierają termistor NTC do monitorowania temperatury struktury wewnętrznej i układ bootstrap, pozwalający zmniejszyć liczbę komponentów współpracujących. Ich duży stopień integracji pozwala zwiększyć niezawodność układu sterowania oraz zmniejszyć wymaganą powierzchnię płytki drukowanej i koszt.

Moduły CIPOS Mini IM523 są zamykane w obudowach SMD o wymiarach 36×21 mm. Zawierają zabezpieczenie podnapięciowe na wszystkich kanałach. Identyczny rozkład wyprowadzeń, jak w przypadku wcześniejszych modułów Mini IPM, umożliwia adaptację wcześniejszych projektów i skraca czas wprowadzania nowych produktów na rynek.

www.infineon.com

Miniaturowy sterownik silników BLDC o napięciu wejściowym do 28 V i prądzie do 7 A

AOZ9530QV to miniaturowy sterownik silników BLDC, stanowiący rozszerzenie rodziny układów SMM (Smart Motor Module). Zawiera dwa tranzystory MOSFET połączone w układzie półmostkowym, sterownik bramek, diodę bootstrap i zespół obwodów zabezpieczających (nadprądowy, zwarciowy i termiczny) w miniaturowej obudowie QFN-18L o powierzchni 3×3 mm. Akceptuje napięcie wejściowe od 10,8 do 28 V, a jego maksymalny prąd wyjściowy wynosi 7 A.

AOZ9530QV zawiera wejście PWM. Może sterować silnikami jedno- i trójfazowymi w wentylatorach, pompach i elektronarzędziach. Charakteryzuje się szerokim zakresem temperatury pracy

REKLAMA

(od –40 do +125°C), pozwalającym na zastosowania w ciężkich warunkach przemysłowych.

Cena hurtowa AOZ9530QV wynosi 1 USD przy zamówieniach 1000 sztuk.

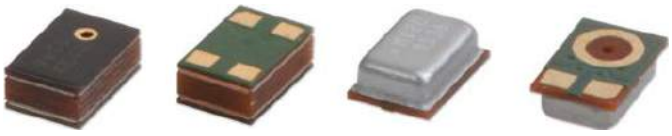
www.aosmd.com

950-woltowe, małostratne tranzystory CoolMOS do zasilaczy impulsowych

Oferta tranzystorów CoolMOS firmy Infineon powiększyła się o serię tranzystorów 950-woltowych, przeznaczonych do zastosowań w zasilaczach impulsowych i instalacjach oświetleniowych. Mogą one pracować w przetwornicach flyback, PFC i LLC/LCC w konfiguracji mostkowej i półmostkowej. Generalnie, są polecane do aplikacji, w których krytycznymi parametrami są gęstość mocy i sprawność energetyczna. Zawierają szybką diodę zabezpieczającą, która wraz z małym ładunkiem regeneracyjnym Qrr, zwiększa niezawodność w aplikacjach hard switching. Dzięki bardzo małym stratom przy pracy impulsowej, mogą pracować przy mniejszej o 4°C temperaturze złącza niż wcześniejsze 900-woltowe tranzystory MOSFET rodziny CoolMOS C3 SJ.

Tranzystory CoolMOS PFD7 charakteryzują się małą rezystancją $R_{DS(on)}$, wynoszącą 450 mΩ dla wersji w obudowach DPAK oraz 60 mΩ dla wersji w obudowach TO247. Małe napięcie progowe $V_{GS,th}$ (3 V) i jego mała tolerancja (±0,5 V) ułatwiają realizację układów sterowania. Ponadto, mniejszy o 60% ładunek bramki w porównaniu z tranzystorami CoolMOS C3 znacznie zmniejsza straty przy sterowaniu. Tranzystory PFD7 są w małym stopniu wrażliwe na wyładowania ESD.

www.infineon.com



Mikrofony MEMS do urządzeń z aktywną redukcją szumu

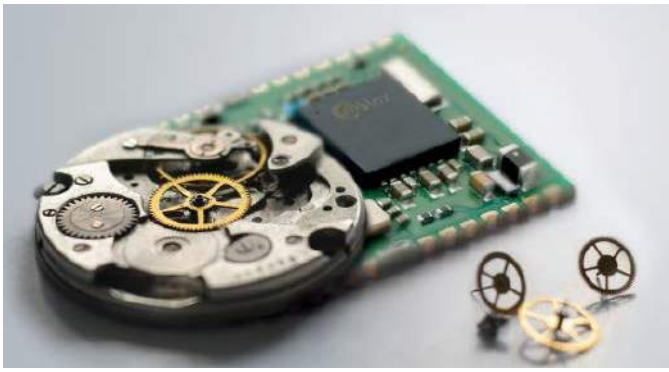
Grupa Audio firmy CUI Devices informuje o wprowadzeniu do oferty dwóch nowych mikrofonów analogowych, zrealizowanych w technologii MEMS. CMM-2718AB-3815NC-TR i CMM-2718AT-3817NC-TR to mikrofony o charakterystyce dookólnej, różniące się

	CMM-2718AB-3815NC-TR	CMM-2718AT-3817NC-TR
Napięcie zasilania	1,5...3,6 V	
Pobór prądu	typ. 150 µA	typ. 175 µA
Pasmo	20 Hz...10 kHz	
SNR	62 dBA	64 dBA
THD @ 94 dB SPL, 1 kHz	0,1%	
AOP @ 10% THD, 1 kHz	123 dB SPL	128 dB SPL
Zout @ 1 kHz	200 Ω	170 Ω
PSRR @ 1 kHz, 1,8 V	70 dB	65 dB
Czułość (1 V/Pa, 1 kHz)	typ. –38 dB	

lokalizacją portu akustycznego (odpowiednio na dolnej i górnej powierzchni obudowy). Płaska charakterystyka częstotliwości w zakresie od 20 Hz do 10 kHz, duży stosunek sygnału do szumu (62 lub 64 dBA) i duża odporność na przesterowania (AOP równy 123 lub 128 dB SPL), czynią je idealnymi do zastosowań w urządzeniach z funkcją aktywnej redukcji szumu.

Oba mikrofony są zamykane w niskoprofilowych obudowach SMD o wymiarach 2,75×1,85×0,90 mm. Charakteryzują się małym poborem prądu, wynoszącym jedynie 150 µA i szerokim zakresem dopuszczalnej temperatury pracy od –30 do +85°C. Ich ceny zaczynają się od 0,83 USD przy zamówieniach 500 sztuk.

www.cuidevices.com



Moduł czasowy GNSS NEO-F10T o dokładności 10 ns do infrastruktury komunikacyjnej 5G

NEO-F10T to precyzyjny moduł czasowy GNSS o dokładności 10 ns, zaprojektowany do najbardziej wymagających aplikacji infrastrukturalnych. Spełnia on wymogi synchronizacji czasu w sieciach 5G, jest niewrażliwy na błędy jonosferyczne i zawiera zabezpieczenia przed złośliwymi atakami. Pod względem wymiarów i rozkładu wyprowadzeń jest kompatybilny z wcześniejszym modelem NEO-M8T, co umożliwia łatwy upgrade urządzeń.

NEO-F10T jest modułem dual-band, zapewniającym bardzo dużą dokładność czasową, bez potrzeby korzystania z zewnętrznych serwisów korekcyjnych GNSS. Ponadto, przy pracy w zasięgu SBAS, może dodatkowo poprawić dokładność czasową, korzystając z funkcji korygowania błędów jonosferycznych, udostępnianej przez ten system.

NEO-F10T współpracuje z sygnałami z satelitów wszystkich czterech głównych konstelacji i może znaleźć zastosowanie na rynku globalnym. Oferuje zaawansowane funkcje bezpieczeństwa, w tym secure boot, bezpiecznej aktualizacji oprogramowania firmware, blokady konfiguracji, T-RAIM oraz algorytmy przeciwzakłóceniowe, zapewniając najwyższy poziom integralności czasowej. Zawiera pojedyncze wejście w.cz. do sygnałów ze wszystkich pasm GNSS oraz podwójne filtry SAW, zapewniające wyjątkową selektywność i skuteczne tłumienie sygnałów spoza zakresu użytecznego.

Ważniejsze dane techniczne:

- GNSS: GPS/QZSS, GLONASS, Galileo, BeiDou, NavIC, Multiband L1/L5/E5a,
- dokładność czasowa: 10 ns,
- częstotliwość aktualizacji: od 10 Hz,

eprasa.pl 0667ee155a

- dokładność położenia: 2,0 m CEP,
- czułość: od –167 dBm w trybie śledzenia,
- interfejs: UART (protokoły NMEA i UBX binary),
- zasilanie: 2,7...3,6 V @ 19 mA,
- wymiary: 12,2×16,0×2,4 mm,
- zakres temperatury pracy: od –40 do +85°C.

www.u-blox.com

Cewka wysokoprądowa z kwalifikacją AEC-Q200 do pracy w temperaturze otoczenia do +150°C

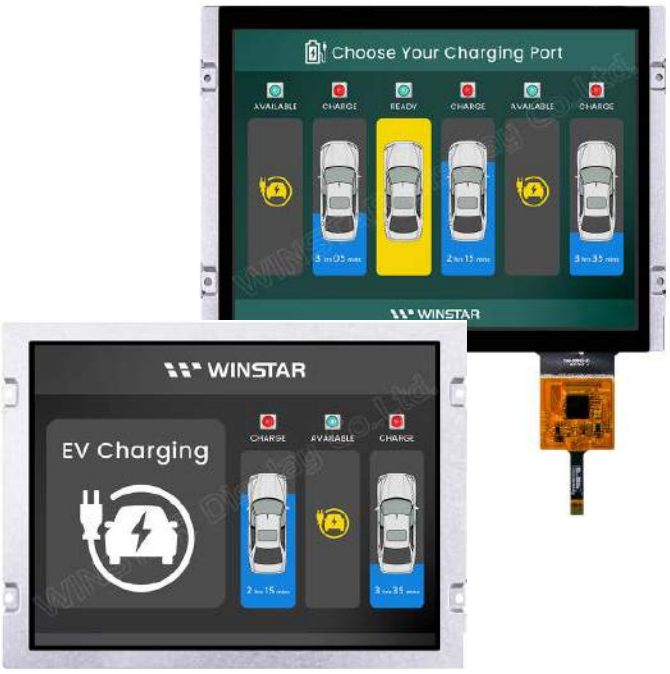
Do serii cewek wysokoprądowych VLS-EX-D firmy TDK wchodzi nowy model VLS5030EX-D z kwalifikacją AEC-Q200 Rev D, charakteryzujący się małymi gabarytami (5,3×5,0×3,0 mm) przy dużym prądzie nasycenia (typ. 3,3 A). Jest to cewka ekranowana o szerokim zakresie dopuszczalnej temperatury pracy od –40 do +150°C, zaprojektowana do zastosowań w aplikacjach samochodowych o dużej gęstości upakowania podzespołów. Przykładem mogą być układy zasilania reflektorów, poduszek powietrznych, systemów EPS/ADAS, sterownika ECU itp.

Cewka VLS5030EX-D jest dostępna w wersji o indukcyjności 4,7 µH i charakteryzuje się rezystancją uzwojenia równą 0,04 Ω. Zapewnia większy o około 6% prąd znamionowy od standardowych cewek tych samych rozmiarów. Dzięki łączeniu uzwojenia do zewnętrznych elektrod metodą zgrzewania, uzyskano dużą odporność na wysoką temperaturę zarówno w trakcie lutowania, jak i przy pracy w środowiskach wysokotemperaturowych.

www.tdk-electronics.tdk.com

LCD-TFT od Winstara przystosowane do pracy w ekstremalnych temperaturach

Modele WF0840ATWAMLNN0#, WF0840ATWAMLNB0#, WF0840ASWAMLNN0# i WF0840ASWAMLNB0# to 8,4-calowe wyświetlacze LCD-TFT o proporcjach 4:3 i rozdzielczości 1024×768 px. Dzięki użyciu matryc IPS prezentowane na nich treści będą czytelne bez względu na kąt obserwacji. Dwa modele z serii producent określa jako warianty o wysokiej jasności, które doskonale sprawdzą się w intensywnie oświetlonych wnętrzach. Osiągana przez nie jasność określono na 1000 cd/m² dla WF0840ASWAMLNN0# i 800 cd/m² dla WF0840ASWAMLNB0# (dla porównania jasność pozostałych modeli to 500 cd/m² dla WF0840ATWAMLNN0# oraz



400 cd/m² dla WF0840ATWAMLNB0#). Ponadto, w wariantach WF0840ATWAMLNB0# oraz WF0840ASWAMLNB0# wprowadzono funkcję dotyku poprzez połączenie z pojemnościowymi sensorami dotykowymi. Do transmisji danych we wszystkich omawianych modelach zastosowano interfejs LVDS.

Ekspozycja ciekłych kryształów, z których zbudowane są wyświetlacze LCD-TFT, na temperatury przekraczające wartości zalecane przez producentów, może prowadzić do ich czasowej usterki, a nawet trwałego uszkodzenia. Modele z serii WF0840A, ze względu na szeroki zakres temperatur (od –30 do 80°C), doskonale sprawdzą się w aplikacjach, których jedną z pożądanych cech jest odporność na ekstremalnie niskie lub wysokie temperatury. W tabeli porównano kluczowe parametry wyświetlaczy z serii WF0840A.

Wyświetlacze mogą znaleźć zastosowanie w wybranych aplikacjach przemysłowych, jednak ze względu na osiągane jasności, przede wszystkim we wnętrzach budynków. Jednocześnie, dzięki szerokim zakresom temperatur, możliwe jest ich wdrażanie nie tylko w halach produkcyjnych, ale także w innych przestrzeniach związanych z wytwórstwem, np. magazynach i chłodniach. Ponadto, modele o podwyższonej jasności – WF0840ASWAMLNN0# i WF0840ASWAMLNB0#, sprawdzą się również w urządzeniach zlokalizowanych na zewnątrz budynków, takich jak stacje ładowania samochodów, biletomaty czy parkomaty, pod warunkiem, że będą to zadaszone przestrzenie. Wszystkie modele są zgodne z dyrektywą ROHS.

www.unisystem.pl

Parametr	Seria WF0840A			
	WF0840ATWAMLNN0#	WF0840ATWAMLNB0#	WF0840ASWAMLNN0#	WF0840ASWAMLNB0#
Przekątna	8,4"	8,4"	8,4"	8,4"
Rozdzielczość	1024×768 px	1024×768 px	1024×768 px	1024×768 px
Proporcje	4:3	4:3	4:3	4:3
Obszar aktywny [mm]	170,8032 (H)×128,1024(V)	170,8032 (H)×128,1024(V)	170,8032 (H)×128,1024(V)	170,8032 (H)×128,1024(V)
Jasność	500 cd/m²	400 cd/m²	1000 cd/m²	800 cd/m²
Kontrast	1000:1	1000:1	1000:1	1000:1
Kąty obserwacji [°]	80/80/80/80 (IPS)	80/80/80/80 (IPS)	80/80/80/80 (IPS)	80/80/80/80 (IPS)
Interfejs	LVDS	LVDS	LVDS	LVDS
Wymiary [mm]	199,5×149,0×11,5	199,5×149,0×14,3	199,5×149,0×11,5	199,5×149,0×14,3
Zakres temperatur pracy	–30...+80°C	–30...+80°C	–30...+80°C	–30...+80°C
podświetlenie	LED	LED	LED	LED
czas życia	100 000 godz.	100 000 godz.	100 000 godz.	100 000 godz.
panel dotykowy	nie	tak, pojemnościowy	nie	tak, pojemnościowy

eprasa.pl 0667ee155a

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.

Sensor par alkoholi na skompensowanym układzie MQ-3

Autor projektu do jednej ze swoich konstrukcji potrzebował precyzyjnego czujnika zawartości alkoholu w powietrzu, w zasadzie alkomatu. Czujnik, którego zamierzał użyć, to MQ-3. Problem polega jednak na tym, że czujnik ten ma wysoką czułość krzyżową na temperaturę i wilgotność powietrza. Dlatego też konieczne jest równolegle mierzenie w układzie temperatury i wilgotności, aby skompensować sensor par alkoholu.

W tym celu musiał powstać model czujnika MQ-3, który pozwoli kompensować wyjście czujnika. Niezbędny kod napisany został w Micro Pythonie. Ponieważ czujnik potrzebuje również obwodów analogowych, autor przygotował model LT Spice.

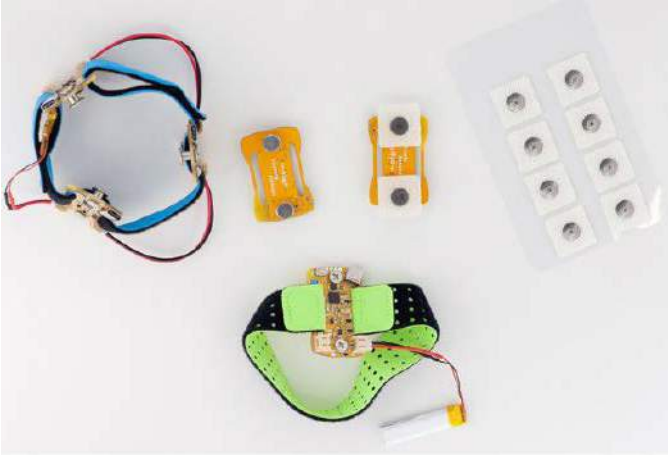
Czujnik MQ-3 składa się z kawałka dwutlenku cyny (SnO_2), który działa jak rezystor. Jeśli rezystor znajduje się w atmosferze zawierającej alkohol, jego cząsteczki dyfundują do rezystora i rezystancja maleje. Jeśli w atmosferze nie ma alkoholu, cząsteczki wewnątrz rezystora dyfundują na zewnątrz i rezystancja wzrasta. Aby przyspieszyć ten proces, rezystor jest podgrzewany. Wyższe temperatury zwiększają prędkość, z jaką cząsteczki dyfundują do i z opornika.

Jak można się spodziewać powtarzalność tego procesu jest średnia. Również tolerancje produkcyjne i dryf elementu są dość wysokie. Z tego powodu karta katalogowa nie podaje zależności stężenia gazu od rezystancji, ale raczej stężenie gazu w stosunku do zmiany rezystancji. Również w arkuszu danych w sekcji „Regulacja czułości" producent podaje, że konieczna jest, co najmniej jednopunktowa kalibracja. Wrażliwość krzyżowa jest również dużym problemem, ale na początku można ją zignorować.

W karcie katalogowej znajduje się krzywa charakterystyczna czujnika. Pokazuje ona zmiany rezystancji czujnika w zależności od stężenia alkoholu w atmosferze. Potrzebna jest jednak zmierzona rezystancja R_0 w punkcie kalibracji. Aby ją uzyskać trzeba skalibrować czujnik. Wtedy uzupełnić można model czujnika i można wygenerować model LT Spice. Model i przykładowy obwód można znaleźć w plikach projektu.

Mając model łatwo już wyznaczyć napięcie wyjściowe z układu. Można zawrzeć wszystkie zależności z modelu SPICE d oprogramowaniu (bibliotece) w MicroPythonie. Mając tę wiedzę mamy już środki do obliczania stężenia gazu na podstawie zmierzonej rezystancji i korygowania pomiaru pod kątem jego zależności od temperatury i wilgotności. Na stronie z projektem autor prezentuje również sposób, w jaki można dokonać pomiaru wartości potrzebnych do kompensacji.

https://hackaday.io/project/188150-mq-3-gaseous-alcohol-sensor



uMyo – przenośne urządzenie do elektromiografii z mokrymi i suchymi elektrodami

uMyo to jednokanałowy czujnik pracy mięśni, przeznaczony do noszenia z bezprzewodową transmisją danych i zasilaniem bateryjnym. uMyo zostało opracowane, jako lekka, niedroga wersja większego, 4-kanałowego układu do elektromiografi, jaki zbudował zespół odpowiedzialny za uMyo.

Główne zalety tego urządzenia to:

- jest bezprzewodowy, więc eliminuje plątaninę przewodów podczas pracy z EMG;
- współpracuje z dowolnym Arduino za pośrednictwem modułu radiowego nRF24 (została przygotowana do tego specjalna biblioteka dla Arduino IDE);
- działa z ESP32 bez dodatkowego sprzętu (do tego również napisano bibliotekę dla Arduino IDE);
- wiele jednostek (do 12 w aktualnej wersji) może wysyłać dane do tego samego Arduino/ESP32. Pozwala na proste, wielokanałowe pomiary EMG;
- wysyła wykryty poziom aktywności mięśni, widmo 4-przedziałowe oraz w trybie z nRF24 – również surowe dane;
- można go używać z bransoletą i suchymi elektrodami lub przylutować/dołączyć kolejne złącze i przykleić do pacjenta za pomocą elektrod żelowych, jeśli potrzebna jest większa precyzja pomiaru;

Projekt wystartował spontanicznie w listopadzie 2021 r. Był to bardziej pomysł wynikający z ciekawości i próby zrealizowania

eprasa.pl 0667ee155a

ciekawego urządzenia. Niestety od stycznia do lutego autorzy nie mieli czasu na zajęcie się projektem, a potem nie mieli na to okazję, ponieważ w kraju, w którym mieszkają wybuchła wojna. Dopiero około maja 2022 roku sytuacja na tyle uspokoiła się, że mogli oni wrócić do swoich prac i sfinalizować projekt.

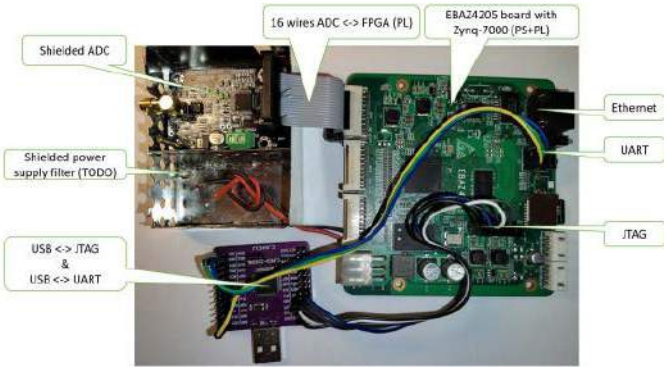
Początkowo nie zastanawiali się zbytnio nad sposobem mocowania urządzenia do ciała, więc zastosowano tekstylne łączniki guzikowe 6 mm, ale były one raczej bezużyteczne bez pasujących elektrod tekstylnych. Jednocześnie przetestowali oni suche elektrody metalowe. Dotychczas takie rozwiązanie nie sprawdzało się za dobrze, więc nie było rozważane w tym systemie. Okazało się jednak, że to całkiem dobrze sprawdzające się rozwiązanie w tym systemie.

Oczywiście początkowa faza rozwoju projektu skupiała się na zaprojektowaniu odpowiedniej sekcji analogowej, która jest kluczowa dla uzyskania założonych parametrów.

W tym projekcie zdecydowano się zrezygnować z zewnętrznego ADC i zastosować wbudowany przetwornik w układzie nRF52, co okazało się nie takie złe, jak początkowo myślano, ale dopiero po odpowiednim wzmocnieniu sygnału. Dodano, zatem wzmacniacz wejściowy AD8293 o stałym wzmocnieniu i zerowym dryfie, głównie z uwagi na jego niską cenę, bo jego właściwości wejściowe są dalekie od optymalnych. Dlatego też początkowo nie było jasne, czy sprosta powierzonemu mu zadaniu. Okazało się, że działa całkiem w porządku, ale ma tendencję do nasycania sygnału na górnej lub dolnej szynie ze względu na wysoki prąd polaryzacji. Rozwiązaniem tego było, w myśl maksymy „ogień należy zwalczać ogniem" dodanie mocno filtrowanego sygnału PWM z 10 MΩ rezystorem, który samodzielnie dodaje prąd polaryzacji – a szerokość PWM jest dynamicznie dostosowywana, aby utrzymać wyjście wzmacniacza na odpowiednim poziomie.

Równolegle z oprogramowaniem zespół pracuje nad zmianą projektu płytki i zakupem niezbędnych elementów dodatkowych. Obecnie uMyo jest oficjalnie w przedsprzedaży. Trafił do oferty firmy kilka dni temu – produkt został zgłoszony na Tindie i zatwierdzony. Dostawy mogą być jednak problemem z uwagi na problemy z siecią energetyczną w Ukrainie. Częste przerwy w dostawach prądu utrudniają finalizację produkcji. Mimo to zespół pozostaje w optymistycznych nastrojach i informuje, że niebawem wysłane zostaną pierwsze zamówienia. Wtedy też należy spodziewać się aktualizacji dotyczących informacji o uMyo i sposobu korzystania z tego modułu.

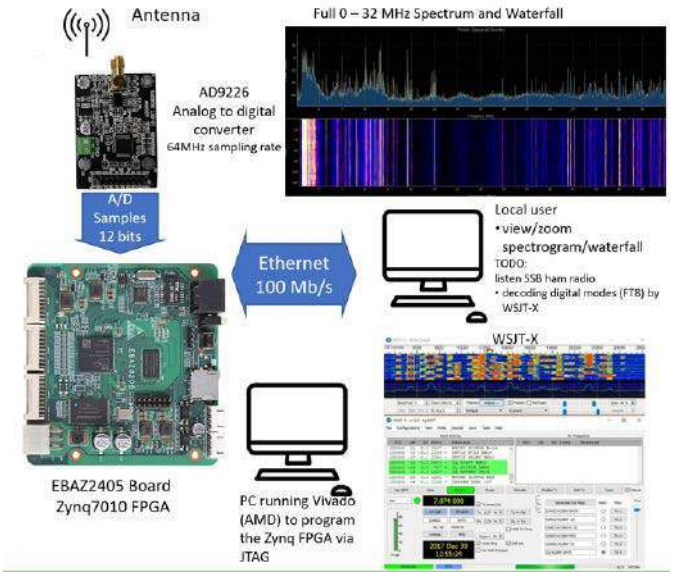
http://bit.ly/3l9TSs7



Analizator widma i odbiornik radiowy definiowany programowo w układzie FPGA

KiwiSDR jest bardzo dobrym przykładem szerokopasmowego odbiornika SDR (radia definiowanego programowo) Moduł ten odbiera transmisje w pasmie od 0 MHz do 30 MHz i zrealizowany jest na układzie programowalnym (FPGA). Niestety odbiornik ten kosztuje około 450 Euro i wymaga do działania dodatkowo komputera BeagleBone.

Inny moduł, pozwalający na implementację radia definiowanego programowo jest płytka Red Pitaya. Jest to wspaniały i ciekawy



projekt z wieloma możliwościami i jest w dodatku open source, ale sama płytka kosztuje około 600 euro.

Panoradio (https://panoradio-sdr.de/panoradio-sdr/) to inny projekt SDR, dostępny w sieci. Moduł ten ma znacznie wyższe parametry, niż to, czego potrzebuje autor – pasmo do 100 MHz, próbki 16-bitowe, ale niestety jego komponenty płytka z układem FPGA, moduł przetwornika analogowo-cyfrowego są również dosyć drogie i wychodzą poza założony budżet autora.

Technologia SDR jest ciekawa, niestety z uwagi na wysokie koszty modułów nie zawsze dostępna jest dla amatorów. Autor tego projektu postanowił to zmienić i dlatego rozpoczął projektowanie znacznie tańszego (cena poniżej 100 Euro) modułu odbiornika definiowanego programowo, który pracować będzie w zakresie od 0 MHz do 30 MHz z 12-bitowym przetwornikiem ADC. Moduł wykorzystywać ma dwie, niedrogie i łatwo dostępne płytki – FPGA i ADC oraz komputera z systemem Linux, który jest sprytnie zintegrowany z układem programowalnym.

Antena jest bezpośrednio podłączona do przetwornika analogowo-cyfrowego AD9226, próbkującego z częstotliwością do 64 MHz. Zegar 64 MHz jest generowany przez układ FPGA, dzięki czemu uproszczone jest próbkowanie (więcej informacji na ten temat znaleźć można w źródłowym artykule).

Funkcje działające w FPGA są następujące:

- dostarczanie zegara 64 MHz do AD9226 i odbieranie od niego 12-bitowych danych;
- generowanie sygnału do celów testowych – sygnał 30 MHz modulowany AM z częstotliwością 1 kHz;

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 0667ee155a

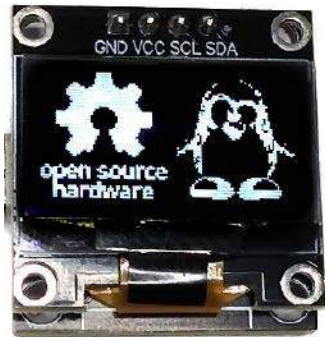
- jeden „blok przechwytywania” przechwytuje jednocześnie 16384 próbek (przy zegarze 4 MHz). Próbki te są wysyłane do FPGA PS, a stamtąd do SpectrumPy (aplikacja napisana w Pythonie, działająca na komputerze z systemem Windows), aby pokazać pełne widmo radiowe 32 MHz w czasie;
- jeden lub więcej przetworników DDC (*Digital Down Converters*) z wybieralną szerokością pasma (10 MHz, 3 MHz, 1 MHz, 300 kHz, 100 kHz, 30 kHz, 10 kHz), który pozwoli przeanalizować ze zwiększoną rozdzielczością fragment pasma (w trakcie implementacji);
- przy niższych szerokościach pasma (100 kHz, 30 kHz, 10 kHz i 3 kHz) DDC można dostroić do określonej częstotliwości w celu demodulacji i dekodowania, np. częstotliwości FT8 na 80, 40, 20, 15 i 10 metrach.

Płytka przetwornika analogowo-cyfrowego nie ma zegara referencyjnego i dlatego zegar 64 MHz musi być dostarczany przez układ FPGA. Korzystając z tego zegara:

- przetwornik AD9226 wysyła dane na opadającym zboczu zegara,
- układ FPGA próbkuje dane na zboczu narastającym zegara.

Niepokój autora konstrukcji w takim układzie budzi szum fazowy (*jitter*) pochodzący z układu programowalnego. Większość tego rodzaju systemów generuje swoje zegary próbkowania dla sekcji analogowej na zewnątrz układów programowalnych, w oscylatorach z PLL itp. Istnieje ryzyko, że generacja zegara próbek w FPGA zwiększy szum układu… ale o tym, czy tak będzie autor przekona się dopiero za jakiś czas, gdyż prace trwają.

http://bit.ly/3wYZvfn



Interfejs USB – I²C dla wyświetlacza OLED z kontrolerem CH552E

USB-OLED to prosty wyświetlacz I²C OLED o rozdzielczości 128×64 pikseli, sterowany przez port USB. Układ CH552E (lub CH554E) tworzy klasę urządzeń komunikacyjnych USB (CDC) do komunikacji szeregowej przez USB, która może być używana do przesyłania danych z komputera PC do takiego wyświetlacza OLED. Zintegrowany buzzer oferuje możliwość również wydawania sygnałów akustycznych.

CH552E to niedrogi, udoskonalony mikrokontroler z rdzeniem E8051 zgodny z zestawem instrukcji MCS51. Posiada zintegrowany kontroler USB 2.0, umożliwiający transfer danych z pełną prędkością (12 Mbit/s) i obsługuje do 64-bajtowe pakiety danych ze zintegrowanym FIFO i bezpośrednim dostępem do pamięci (DMA). CH552E ma fabrycznie wbudowany bootloader, dzięki czemu oprogramowanie układowe można przesyłać bezpośrednio przez USB bez potrzeby stosowania dodatkowego programatora.

Optracowane w ramach tego projektu oprogramowanie to prosty terminal do wyświetlania wiadomości tekstowych na ekranie OLED. Można go używać z dowolnym terminalem szeregowym na komputerze lub innym oprogramowaniem, wysyłającym dane przez port szeregowy. Zintegrowany brzęczyk daje sygnał dźwiękowy dla każdej otrzymanej wiadomości.

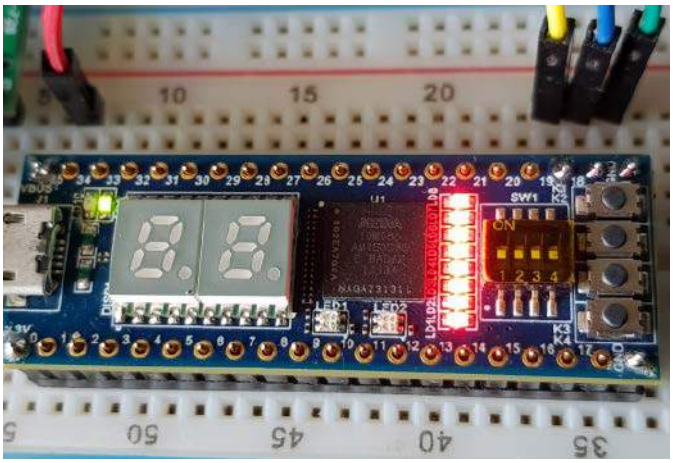
Wystarczy podłączyć płytkę do USB komputera. Powinna ona zostać natychmiast wykryta, jako urządzenie CDC. Teraz można wybrać właściwy port szeregowy (szybkość transmisji nie ma znaczenia) i wysłać wiadomość tekstową. Powinna ona zostać natychmiastowo wyświetlona na wyświetlaczu OLED. W systemie Linux można także wysyłać wiadomości tekstowe bezpośrednio przez terminal:

```
echo "Hello World!\n" > /dev/ttyACM0
```

Oprogramowanie układowe mikrokontrolera implementuje prosty mostek USB do I²C. Wszelka transmisja danych musi rozpocząć się od ustawienia flagi RTS przez program na PC. Powoduje to, że oprogramowanie układowe mikrokontrolera ustawia sygnał początkowy na szynie I²C. Następnie wszystkie bajty danych przesyłane przez USB CDC są przekazywane bezpośrednio do magistrali I²C. Oznacza to również, że każdy strumień danych musi zaczynać się od adresu zapisu I²C urządzenia podrzędnego I²C (w tym przypadku sterownika wyświetlacza OLED). Po przesłaniu wszystkich bajtów danych oprogramowanie PC musi skasować flagę RTS, co powoduje, że mikrokontroler ustawia sygnał stopu na szynie I²C. Ten tryb pracy umożliwia pełną kontrolę ekranu OLED za pośrednictwem komputera PC. Zasadniczo, oprogramowanie to umożliwia również sterowanie innymi urządzeniami I²C.

Oprócz samego firmware i projektu systemu, autor prezentuje na stronie z projektem dwa skrypty w języku Python, które przedstawiają przykład implementację mostka I²C po stronie komputera. Skrypt *bridge-demo.py* pokazuje i przewija obrazy, a *bridge-conway.py* odtwarza grę w życie.

https://github.com/wagiminator/CH552-USB-OLED
https://hackaday.io/project/189077-ch552-usb-to-oled



Komputer jednopłytkowy z emulacją układu 8052AH z wsparciem dla BASIC-a

Kilkadziesiąt lat temu na rynku dostępny był edukacyjny komputer jednopłytkowy 80C32/8052AH-BASIC. Autor nadal taki ma, jednak brakuje mu obecnie nagrywarki i kasowarki do pamięci EPROM, które używane są w tym komputerze. Próbował rozwiązać to stosując komputer jednopłytkowy, jednak nie było to najwygodniejszym rozwiązaniem, dlatego zaczął szukać alternatywy. Znalazł ją w postaci skonstruowania nowego komputera jednopłytkowego z interpreterem BASIC-a, uruchomionym na rdzeniu 8052, który zaimplementowany został, jako softcore w układzie programowalnym. Pozwoliło to na wgranie do komputera najnowszego oprogramowania układowego BASIC-52 V1.31 bez żadnego programatora! Kontroler 8052, 8 kB pamięci ROM i 4 kB pamięci RAM został całkowicie zaimplementowany w układzie FPGA!

Kilkadziesiąt lat temu z BASIC-52 korzystało wiele komputerów jednopłytkowych. Wskazana konstrukcja z 8052AH autorstwa pana Huberta Reelsena opublikowana została w czasopiśmie Elektor w numerze 5/1991. Konstrukcja ta to mocny system (jak na ówczesne czasy) z większą ilością pamięci RAM, większą ilością pamięci ROM, wbudowanym programatorem EPROM i wieloma innymi dodatkami na jednostronnej płytce drukowanej o rozmiarze Eurokarty. Był idealny do małych aplikacji sterujących czy rozwoju oprogramowania, a także edukacji. Ten komputer jednopłytkowy mógł współpracować

eprasa.pl 0667ee155a

z wydajnym procesorem 8032, 80C32 lub 8052AH od Intela. Ten ostatni posiadał wbudowany interpreter, który pozwala programować w języku BASIC z pełnym dostępem do kodu maszynowego. Do obsługi układu 80C52-BASIC wymagana jest minimalna ilość sprzętu. Małe systemy można zbudować tylko z zatrzaskiem adresu, 1 kB pamięci zewnętrznej i odpowiednimi sterownikami portu szeregowego. Po dodaniu tranzystora, bramki i kilku elementów pasywnych, BASIC-52 może bezpośrednio programować pamięć EPROM/EEPROM. Obsługiwane są zarówno standardowe, jak i szybkie algorytmy programowania.

Następca tego komputera miał wykorzystywać Softcore 8052 oparty na HDL, wspierający najnowsze oprogramowanie BASIC-52, a także asembler/kompilator/IDE SDCC lub Keila. Dodatkowo, zintegrowana miała być płytka konwertera UART TTL-USB, pozwalająca na komunikację z modułem za pomocą portu USB.

Do implementacji autor użył jednej z niewielkich i tanich płytek FPGA, co umożliwiło łatwą i niedrogą implementację. Oprogramowanie testowane było na płytkach dla MAX1000 i STEPFPGA-MAX10. Obie płytki oferują do 8 k elementów logicznych w strukturze układu programowalnego. MAX1000 jest dostarczany z układem FPGA 10M08SAU169C8G, a STEPFPGA-MAX10 z układem FPGA 10M08SAM153C8G. Obie płytki oparte są na układzie Intel MAX10 FPGA, mają wbudowaną obsługę konfiguracji przez JTAG, a do przechowywania konfiguracji i programu użytkownika nie jest wymagana zewnętrzna pamięć FLASH. Można użyć SOF do konfiguracji opartej na SRAM i POF do trwałej konfiguracji zapisywanej w pamięci FLASH.

Moduł STEPFPGA-MAX10 ma wbudowany obwód programowania USB Blaster, 2-znakowy wyświetlacz 7-segmentowy dwie diody RGB, cztery przełączniki i cztery przyciski, a także osiem diod LED. Zasilany i kontrolowany jest przez złącze microUSB. Dodatkowo, na 40-pinowym złączu DIP wyprowadzone jest 36 z GPIO z układu programowalnego.

Istnieje wiele bezpłatnych softcore HDL napisanych zarówno w VHDL, jak i Verilog. Autor zastosował napisany w VHDL rdzeń R51. Jest on zgodny z 8052. Oprócz samego rdzenia, w FPGA trzeba zaimplementować również 8 kB pamięci ROM wymagane dla BASIC-52 i 4 kB pamięci RAM do przechowywania programów i zmiennych. Teraz można już załadować BASIC-52 do pamięci ROM za pomocą pliku VHDL lub pliku Intel HEX.

http://bit.ly/3l8euRP

Wyświetlacz komputera WOPR z filmu „Gry Wojenne”

Autor tego projektu jakiś czas temu złożył klon retro komputera IMSAI 8080. Teraz pomyślał o tym, aby ulepszyć tę konstrukcję robiąc z niego komputer znany, jako WOPR – maszyna ta występowała w klasycznym filmie „Gry Wojenne”. Budowa całego komputera z filmu byłaby nie lada zadaniem, więc plany stanęły na stworzeniu jego animowanej „twarzy” złożonej z diod LED itp. Do realizacji tego projektu autor zastosował Arduino.

Projekt rozpoczęto od zebrania zrzutów klatek z filmu, jednakże brakowało im odniesień do rozmiaru. Dlatego też wymiary układu zostały

dobrane na podstawie wybranego rozmiaru diod LED. Do konstrukcji wyświetlacza wykorzystano diody 5 mm, a „oczy” skonstruowano z diod 10 mm.

Autor starał się, aby ekran był jak najbardziej zgodny z filmowym pierwowzorem. Wskaźniki słupkowe po obu stronach mają tylko 10 diod na każdy zamiast wymaganych 16, ale poza tym układ sprawia bardzo przekonujące wrażenie.

Diody LED „ust” są multipleksowane z pomocą techniki zwanej „*charlieplexing*”, która potrzebuje minimalnej ilości GPIO. Jest to możliwe, ponieważ w dowolnym momencie włączone jest zaledwie 10% diod. Jednakże już diody LED wykresu słupkowego i diody oczu są sterowane bezpośrednio z rejestrów przesuwnych. Całym system steruje moduł Arduino UNO. Jest dość łatwy w użyciu, a ograniczone zasoby nie są problemem, gdyż system nie robi za bardzo nic więcej niż wyświetlanie świateł. Do systemu autor dołączył dwa przyciski na wypadek, gdyby układ miał kiedyś mieć jakąś kontrolę lub umożliwiać wybór programu. Z podobnych powodów dodany został również opcjonalny brzęczyk piezoelektryczny – na wypadek, gdyby system miał wydawać dźwięki.

Projekt jest obecnie zakończony – na razie, bo zawsze istnieje możliwość dalszej rozbudowy, jak wskazuje w opisie autor. Obecnie zaktualizował on kod, aby wyświetlacz wyglądał realistycznie. Zachowuje się on w sposób, jaki autor określa, jako „pół-losowy”, która wygląda, jakby system wykonywała jakieś obliczenia. Projekt układu także został zaktualizowany, aby odzwierciedlić pewne zmiany, które zdaniem autora naprawdę by pomogły, ale nie sądzi on, by budował kolejną iterację systemu. Nadal potrzebna jest lepsza obudowa lub mocowanie systemu, gdyż obecna obudowa jest mocno prowizoryczna.

https://hackaday.io/project/188198-wargames-wopr-prop-pcb

REKLAMA

ZAJRZYJ NA TE STRONY

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

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

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

eprasa.pl 0667ee155a

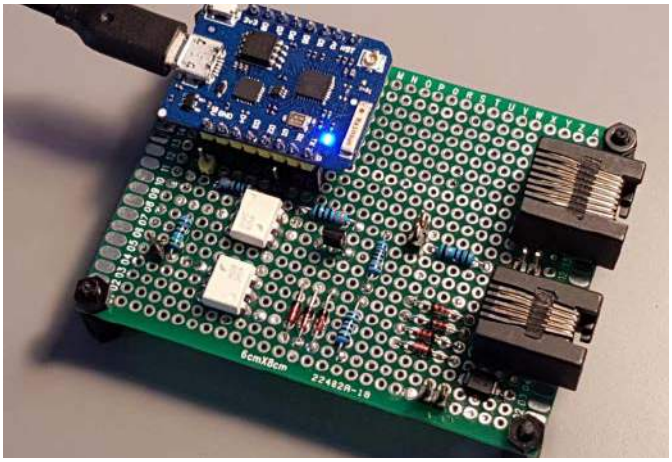
Skalowalna platforma dla sztucznej inteligencji

Projekt ten zakłada stworzenie skalowalnego systemu do uruchamiania algorytmów sztucznej inteligencji. Pomysł bazuje na zastosowaniu wielu mniejszych mikrokontrolerów do uruchamiania algorytmów m.in. analizy obrazu. Na ten moment projekt jest w fazie rozwoju, aczkolwiek może już pochwalić się pierwszymi sukcesami, jakimi jest wykrywanie kota na zdjęciu.

System, oprócz uruchamiania algorytmów widzenia maszynowego, zapożyczonych z OpenCV, ma także sterowniki sprzętowe. Jednym z nich jest sterownik silnika BLDC, co ma pozwolić na skonstruowanie autonomicznych robotów, które sterowane będą z użyciem algorytmów AI.

Dokumentacja projektu jest, na tym etapie dosyć chaotyczna, jednak polecamy śledzić rozwój tego urządzenia – realizuje on bardzo ciekawy pomysł implementacji rozproszonych systemów sztucznej inteligencji.

https://hackaday.io/project/180013-nsce-ngbrain



Moduł interfejsu OpenTherm

Gazowe kotły kondensacyjne są znacznie bardziej wydajne, gdy pracują przy możliwie najniższej temperaturze spalin. To sprawia, że termostaty bistabilne są kiepskim wyborem do ich sterowania, ponieważ mają tendencję do zmuszania pieca do pracy przez krótsze okresy czasu, ale za to z maksymalną mocą wyjściową.

Kocioł autora projektu obsługuje sterowanie mocy za pośrednictwem protokołu OpenTherm, a ponieważ już przekonwertował swój stary termostat z ON/OFF na dużo bardziej elastyczne i dokładniejsze sterowanie, to kolejnym krokiem, jest użycie go do sterowania mocą pieca w celu oszczędzania gazu. Aby to było jednak możliwe, konieczna jest implementacja w nim interfejsu OpenTherm i zaimplementowanie programowego regulatora PID, który pozwoli znaleźć równowagę między komfortem (szybkie osiąganie temperatury i brak gwałtownych wahań temperatury) a ekonomią (najniższa możliwa temperatura spalin redukująca spalania gazu).

Jak wskazuje autor, można by zapytać „dlaczego jeszcze jeden interfejs OpenTherm?". Dostępne są już bramki tego interfejsu, takie jak OTGW, na którym to w dużej mierze bazuje ten projekt. OTGW ma tryb samodzielny, który prawdopodobnie byłby przydatny do tego, co autor próbuje zrobić, ale jego kod PIC jest napisany w asemblerze. Nie jest to zbyt popularny obecnie język i już samo to jest dobrym powodem, by się w to nie zagłębiać. OTGW jest świetne, ale nie, jeśli chce się coś zmienić w sposobie jego działania.

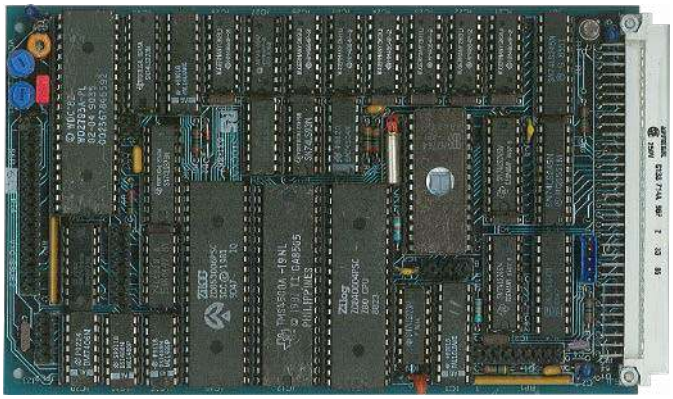
Budowany moduł będzie urządzeniem głównym OpenTherm/+, które będzie w sposób ciągły przechodzić przez ustaloną sekwencję komunikatów, aby zrealizować sterowanie piecem:

- zapytaj i zgłoś odpowiednie dane stanu i czujnika (ciśnienia, moc wyjściowa, temperatury);
- otrzymuj dane i stale podawaj na kocioł informacje:
- czy włączyć centralne ogrzewanie czy nie,
- nastawę centralnego ogrzewania,
- maksymalna względna moc, której powinien używać kocioł.

Dodany został również prosty mechanizm awaryjny, który wyłącza kocioł, gdy przez dłuższy czas nie ma żadnych poleceń z interfejsu szeregowego.

Złożoność sterowania wartościami zadanymi w rozsądny sposób (PID, otwieranie drzwi/okien, kompensacja temperatury zewnętrznej itp.) zostanie wykonana na bardziej odpowiedniej platformie, a nie w prostym mikrokontrolerze, jaki zastopsowano do budowy tego modułu.

https://hackaday.io/project/170821-opentherm-interface



Komputer jednopłytkowy z interfejsem STEBUS – renowacja

Projekt nie jest autorską konstrukcją, a jedynie *restoracją* sprawdzonego projektu komercyjnego w nowej wersji. Mimo to, warto przyjrzeć się poczynaniom autora, który stara się zrekonstruować. Ma on instrukcję i schemat obwodu dla swojej płytki, ma nawet działającą płytkę, z której skopiował ROM i trzy układy PAL, aby wyciągnąć z nich równania logiczne. Komputer ten jest w stanie uruchomić system operacyjny CP/M i nie potrzebuje do tego oddzielnej płytki z pamięcią RAM lub kontrolerem dysku/dyskietek.

Autor ma również kod startowy ROM dla CP/M i kopie dyskietek dla CP/M. Zdemontował i przeanalizowałem dane rozruchowej pamięci ROM, a następnie zmodyfikował je tak, aby obsługiwały układ FDC na jego płycie. Teraz startuje ona do etapu żądania dysku systemowego. Planuje, by komputer działał z CP/M i/lub BBC BASIC z CP/M lub ROM.

Jest to jedna z pierwszych płytek, której celem było zapewnienie pełnego systemu rozwoju CP/M. Stwierdzono, że klienci opracowują programy na większych maszynach i chcą bardzo prostych płytek z układem Z80 do umieszczenia w systemach sterowania.

eprasa.pl 0667ee155a

Płytka drukowana jest czterowarstwowa, ponieważ chipy DRAM pobierają duże impulsy prądu. Nowoczesne chipy SRAM są tanie i łatwo dostępne z 32 kB, 128 kB lub 512 kB, więc projekt można zmodyfikować, aby korzystał z SRAM i 2-warstwowej płytki.

Pierwsze 32 kB przestrzeni pamięci może być ROM, RAM lub do sześciu 32 kB stron (łącznie 192 kB) pamięci STEbus. Projekt można zmodyfikować, aby zużywał 32 strony STEbus, 32 strony pamięci RAM i 32 strony pamięci ROM.

Interfejs STEbus używany był w systemach automatyki przemysłowej, do podłączania urządzeń zewnętrznych w systemach wielokartowych.

https://hackaday.io/project/162295-stebus-z80-and-fdc

Drugie życie dla panelu sterowniczego wideo Accom Axial

W latach 90. XX wieku Accom Axial był niesamowitym systemem do edycji wideo, szeroko używanym w branży filmowej, aż do momentu, gdy montaż przeszedł w pełni do środowiska cyfrowego i królować zaczęły systemy nieliniowe. Planem autora jest przerobienie konsoli tak, aby była użyteczna, jako kontroler i programowalna klawiatura do nowoczesnego peceta.

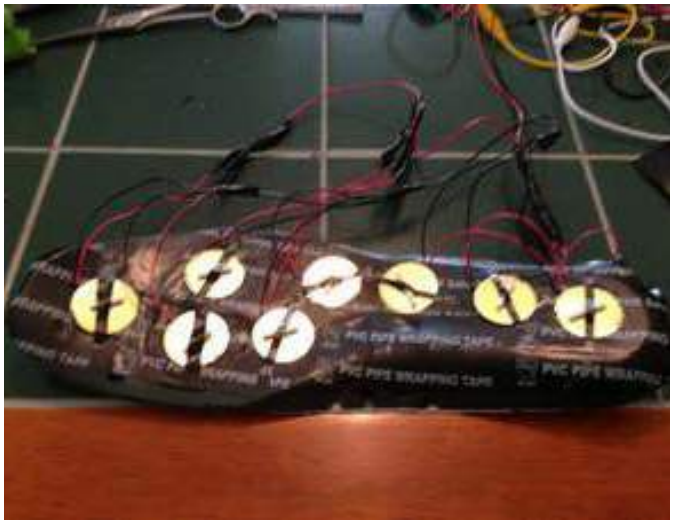
To pierwsze poważne przedsięwzięcie w zakresie inżynierii wstecznej tego autora. Chętnie opisuje on swoje poczynania, więc warto obserwować ten dziennik projektu. Zaprezentowana konsola to część systemu montażu wideo. Jest to tylko panel sterowania, rzeczywisty mózg systemu, w tym interfejsy do reszty sprzętu produkcyjnego, znajdują się w dwóch oddzielnych obudowach montowanych w rackach, których autor nie ma.

Producent urządzenia – firma Accom – upadł pod koniec 2005 roku. Ich witryna internetowa jest już nieczynna, a dokumentacja produktów niełatwa do pozyskania, ponieważ internetoiwe archiwum nie zawiera ich witryny FTP. Nie było żadnych schematów ani nic, więc konieczne jest samodzielne przebadanie tego monstrum… Panel sterowania jest duży: urządzenie waży około 7,7 kg, ma 78 cm szerokości, 16 cm wysokości i 32 cm głębokości. W sumie jest na nim 189 przycisków, z których 23 są indywidualnie podświetlane, dostępna jest też pełna klawiatura ułożona w pełny układ QWERTY z blokiem numerycznym i nawigacyjnym. Do tego dodatkowe, mniejsze grupy klawiszy, wyświetlacz VFD 2×40 znaków, otoczony sześcioma zestawami podświetlanych przełączników, pokręteł i klawiszy. Jest też duży trackball (chociaż w pobliżu nie ma przycisków myszy) i solidne metalowe koło do kręcenia (potencjometr).

Planem autora jest przerobienie tej konsoli tak, aby dało się ją podłączyć do komputera PC, jako programowalną klawiaturę z przyciskami makr itp. To, jak to osiągnąć, zależy od tego, czy uda mu się zmusić do współpracy z oryginalnymi wnętrznościami. Panel sterowania ma działać, jako urządzenie wejściowe USB HID. Panel ma też wiele migających świateł i szkoda byłoby ich nie użyć

Opis tego urządzenia przypomina popularne obecnie „*Stream Decki*", co jest nazwą handlową klawiatury z makrami. Niestety ciężko o oprogramowanie do tych urządzeń pod Linuxa. Istnieją oczywiście pewne darmowe alternatywy, które autor tego projektu ma zamiar przetestować, jako potencjalne rozwiązania.

http://bit.ly/3RtWBc4



Kombinezon haptyczny do systemów rzeczywistości wirtualnej

Celem tego projektu jest zastosowanie tanich przetworników piezoelektrycznych, które można znaleźć i kupić prawie wszędzie, do zbudowania kombinezonu VR na całe ciało. Kryształy piezoelektryczne mogą generować wibracje w powietrzu (dźwięk) i innych ośrodkach, ale także są w stanie generować napięcie elektryczne, gdy same podlegają wibracjom. Dzięki temu mogą być wykorzystywane zarówno, jako głośniki, symulatory dotykowe (haptyki), jak i sensory.

Technologia VR jest bardzo interesująca i ma duży potencjał do wielu rzeczy, jednak obecnie sprzęt tego rodzaju jest bardzo drogi lub w ogóle niedostępny na rynku. Jeśli już jest dostępny, to użytkownicy często mają mdłości z powodu braku sensorycznego sprzężenia zwrotnego, a sam system potrzebuje też dużo miejsca i wymaga trochę wysiłku, aby się nim bawić. Oczywiście, to problemy typowe w początkowej fazie rozwoju i wdrażania jakiejś technologii.

W ramach tego projektu autor chciałby się skupić na zbudowaniu kombinezonu haptycznego dla systemów rzeczywistości wirtualnej. Pomysł na stworzenie tego rodzaju układu narodził się zupełnie przypadkiem – przeglądając AliExpress autor natknął się na ofertę – 200 modułów piezoelektrycznych w cenie ok. 10 dolarów.

http://bit.ly/3wQyECv

REKLAMA

eprasa.pl 0667ee155a

AVT sklep

W ofercie AVT*
AVT5969

Podstawowe parametry:
- zakres pomiarowy mierzonego napięcia: 0...34 V, z rozdzielczością 10 mV,
- zakres pomiarowy mierzonego prądu: 0...10 A, z rozdzielczością 1 mA,
- zakres pomiarowy mierzonej mocy: 0...340 W, z rozdzielczością 100 mW,
- zakres pomiarowy dostarczonego ładunku: 0...100 Ah, z rozdzielczością 10 mAh,
- liczba punktów rejestracji: 100, z interwałem czasowym ustawianym w zakresie 1...10 s,
- możliwość generowania alarmów po przekroczeniu ustawionych progów wartości,
- prezentowanie wyników w postaci graficznej,
- średni pobór prądu ze źródła napięcia zasilającego: 13 mA.

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

AVT5954	Warsztatowy Multi Tester (EP 10/2022)
AVT5766	Ampera – miniaturowy miernik prądu stałego (EP 5/2020)
AVT5672	USBtester – monitor parametrów zasilania USB (EP 5/2019)
Projekt 232	Miliamperomierz TRMS (EP 9/2017)
AVT5507	Miernik UIPTR (EP 7/2015)
AVT5488	Kontroler obciążenia portu USB (EP 2/2015)
AVT1823	Monitor prądu USB (EP 8/2014)
AVT5399	Dwukanałowy multimetr panelowy (EP 6/2013)
AVT5386	Podwójny woltomierz i amperomierz (EP 3/2013)
AVT5383	Miernik tablicowy UIPt (EP 2/2013)
AVT5333	Multimetr panelowy (EP 3/2012)
AVT2857	Moduł woltomierza/amperomierza (EdW 3/2008)
AVT5086	Programowany 4-kanałowy komparator/woltomierz (EP 11/2002)
AVT2004	Woltomierz do modułowego zestawu pomiarowego (EdW 1/1996)

* **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.

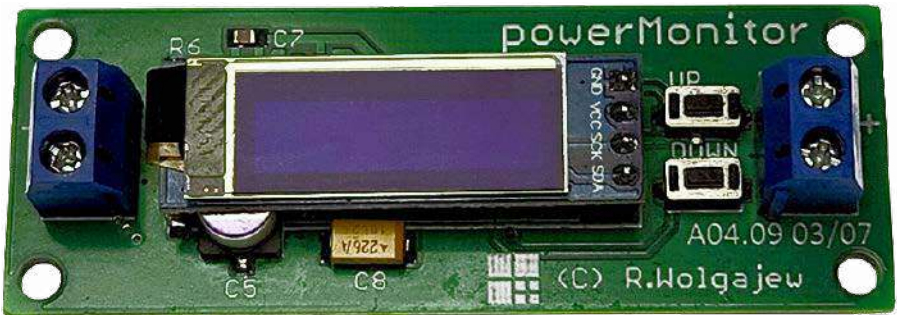
Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik PDF! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz!
http://sklep.avt.pl

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

powerMonitor

miniaturowy miernik parametrów elektrycznych

W praktyce każdego elektronika amatora czy profesjonalisty dość często zachodzi potrzeba monitorowania parametrów elektrycznych odbiornika mocy DC, czyli parametrów napięcia, prądu czy mocy pobieranej przez badane urządzenie. Właśnie do takich zastosowań powstał prezentowany projekt o nazwie powerMonitor.



Zgodnie z założeniami ma się charakteryzować następującymi cechami użytkowymi:
- pomiar napięcia na zaciskach odbiornika,
- pomiar prądu i mocy pobieranej przez odbiornik,
- pomiar ładunku przekazanego do odbiornika,
- możliwość generowania alarmów po przekroczeniu konfigurowalnych parametrów, niezależnie dla każdej z wielkości elektrycznych (alarm powyżej i poniżej ustawionej wartości),
- graficzna prezentacja wybranych wielkości w funkcji czasu (rysowanie charakterystyk).

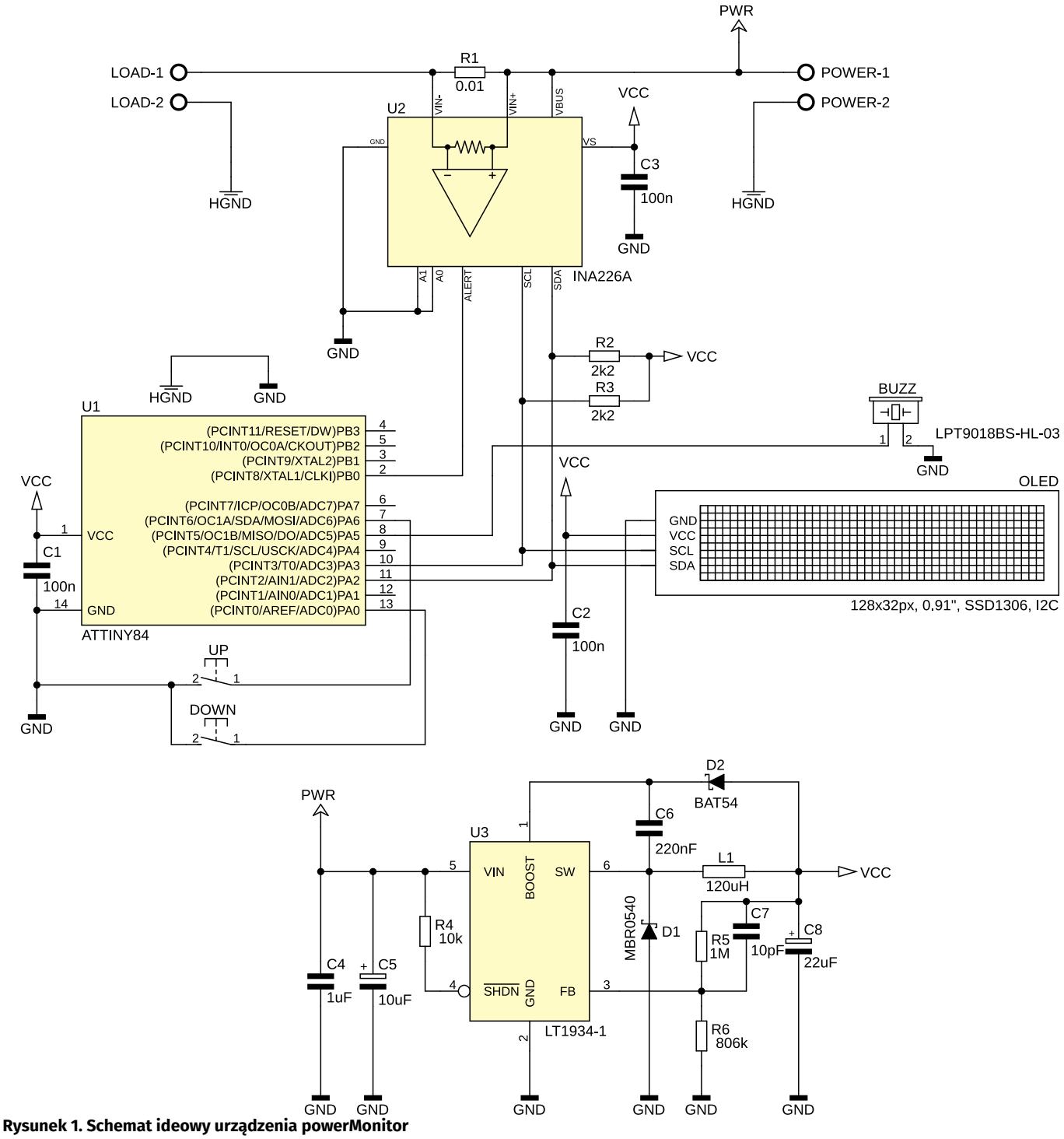
Kluczowym problemem z jakim się zmierzyłem stając przed tym wyzwaniem implementacyjnym był wybór odpowiedniego przetwornika, przy pomocy którego udałoby się zrealizować wyznaczone cele. Jako że we wcześniejszym projekcie zasilacza arbitralnego pod postacią projektu powerBank, którego opis ukazał się w naszym miesięczniku w wydaniu EP07/15 poznałem dość dobrze specjalizowany przetwornik pomiarowy INA226 zdecydowałem się na jego użycie również w niniejszym urządzeniu.

Budowa i działanie

Nie wdając się w tej chwili w szczegóły implementacyjne, przejdźmy do schematu ideowego urządzenia powerMonitor, który to pokazano na **rysunku 1**. Jak widać, jest to bardzo prosty system mikroprocesorowy, którego sercem jest niewielki mikrokontroler firmy Microchip (dawniej Atmel) typu ATtiny84 taktowany wewnętrznym generatorem RC o częstotliwości 8 MHz, odpowiedzialny za programową implementację interfejsu I²C, przy użyciu którego mikrokontroler realizuje obsługę układu INA226 będącego specjalizowanym, bardzo dokładnym, 16-bitowym, różnicowym przetwornikiem ADC oraz obsługę niewielkiego acz bardzo efektownego wyświetlacza OLED o rozdzielczości 128×32 piksele stanowiącego element graficznego interfejsu użytkownika. Ponadto mikrokontroler nasz odpowiedzialny jest za obsługę 2 switchy UP i DOWN wykorzystując w celu eliminacji drgań wbudowany układ czasowo-licznikowy Timer0 i stosowne przerwanie systemowe oraz obsługę BUZZER-a piezoelektrycznego (bez wewnętrznego generatora), co realizowane jest z kolei z użyciem układu czasowo-licznikowego Timer1 pracującego w trybie PWM i generującego przebieg prostokątny o częstotliwości 4 kHz na wyprowadzeniu OC1B zasilający nasz BUZZER.

Wspomniany wcześniej, specjalizowany przetwornik ADC mierzy spadek napięcia na rezystorze szeregowym R1 (10 mΩ), dzięki czemu możliwe jest wyznaczenie prądu pobieranego przez badane urządzenie. Nie jest to jednak zwykły, zewnętrzny przetwornik ADC jakich wiele na rynku a specjalizowany układ przeznaczony do pomiaru prądu, napięcia i mocy urządzeń zasilanych napięciem stałym. Jako że jest to element dość wyjątkowy warto choćby skrótowo zaznajomić się z jego specyfikacją. Tak, jak napisano wcześniej, układ INA226, produkcji firmy Texas Instruments, jest specjalizowanym, bardzo dokładnym, 16-bitowym, różnicowym przetwornikiem pomiarowym ADC

eprasa.pl 0667ee155a



Rysunek 1. Schemat ideowy urządzenia powerMonitor

przeznaczonym do zastosowania w układach pomiaru prądu i mocy z użyciem bocznika rezystancyjnego. Układ ten wyróżnia się następującymi, wybranymi cechami użytkowymi:

- szeroki zakres napięć zasilania 2,7...5,5 V,
- bardzo duża dokładność pomiaru rzędu 0,1%,
- możliwość pracy w systemach o szerokim zakresie napięć szyny zasilającej 0…36 V,
- możliwość pracy w konfiguracji Low-side i High-side,
- bezpośredni pomiar napięcia, prądu i mocy,
- konfigurowalny czas przetwarzania wbudowanego przetwornika ADC,
- konfigurowalna funkcja uśredniania pomiarów,

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

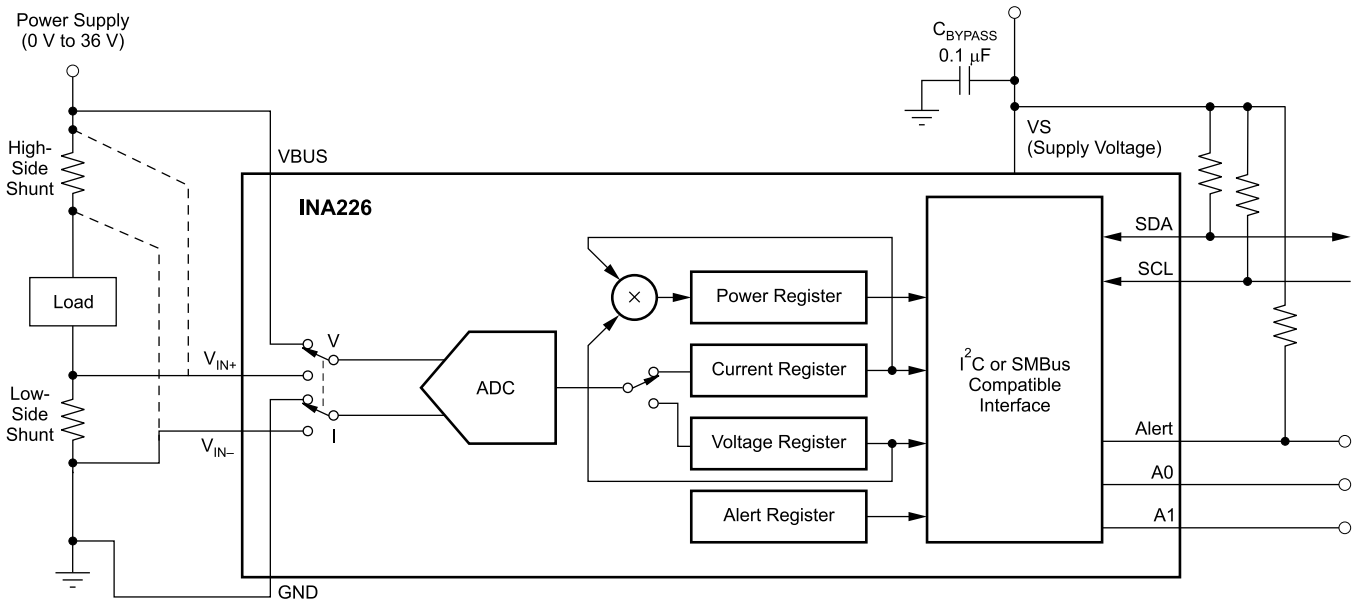
Rezystory:
R1: 10 mΩ 1 W 1% pomiarowy (SMD1206)
R2, R3: 2,2 kΩ (SMD0805)
R4: 10 kΩ (SMD0805)
R5: 1 MΩ 1% (SMD0805)
R6: 806 kΩ 1% (SMD0805)

Kondensatory:
C1...C3: 100 nF ceramiczny X7R (SMD 0805)
C4: 1 µF ceramiczny X7R (SMD 0805)
C5: 10 µF/50 V polimerowy (low ESR) typu 50SVF10M PANASONIC (SANYO SMD C6)
C6: 220 nF ceramiczny X7R (SMD 0805)
C7: 10 pF ceramiczny X7R (SMD 0805)
C8: 22 µF/10 V tantalowy (low ESR) (C/6032-28R)

Półprzewodniki:
U1: ATtiny84 (SOIC14)
U2: INA226A (MSOP-10)
U3: LT1934-1 (SOT23)
D1: MBR0540 (SOD123)
D2: BAT54 (SOT23)
OLED: wyświetlacz OLED 128×32 px, 0,91", sterownik SSD1306, magistrala I²C, wymiary 38×12 mm

Pozostałe:
L1: dławik mocy SMD 120 µH typu DLG-0504-121
UP, DOWN: mikroprzełącznik SMD typu DTSM31NB
BUZZ: przetwornik piezoelektryczny SMD typu LPT9018BS-HL-03-4,0-12-R
LOAD, POWER: złącze śrubowe AK500/2

eprasa.pl 0667ee155a



Rysunek 2. Schemat blokowy układu INA226

- dwa tryby pracy wbudowanego przetwornika ADC: ciągły i wyzwalany na żądanie,
- możliwość alarmowania po przekroczeniu zadanego poziomu prądu, napięcia szyny zasilającej odbiornik bądź mocy pobieranej przez odbiornik.

Układ INA226 idealnie wpisuje się w wymagania naszej aplikacji oferując niespotykaną dotąd funkcjonalność i dokładność pomiarów. Schemat blokowy tego peryferium pokazano na **rysunku 2**. Układ dokonuje ciągłego (lub wyzwalanego manualnie przez aplikację użytkownika) pomiaru dwóch wartości napięć: napięcia szyny zasilającej odbiornik (V_{BUS}) oraz napięcia na zaciskach bocznika rezystancyjnego (V_{SHUNT}) włączonego w szereg z odbiornikiem. Na podstawie tych dwóch wielkości i zawartości rejestru konfiguracyjnego CALIBRATION (którego wartość zależy od wymaganej rozdzielczości pomiaru i parametrów zastosowanego bocznika rezystancyjnego) układ oblicza następujące wielkości elektryczne: prąd oraz moc pobieraną przez odbiornik i udostępnia je aplikacji użytkownika ładując obliczone wielkości do stosownych rejestrów konfiguracyjnych jak również ustawiając flagi zakończenia konwersji.

Ponadto, dzięki wyposażeniu go w grupę specjalnych rejestrów konfiguracyjnych odpowiedzialnych za porównywanie zmierzonych i obliczonych wartości z wartościami progowymi, jak również odpowiednie wyprowadzenie oznaczone jako ALERT, umożliwia generowanie alarmów po przekroczeniu zdefiniowanych przez użytkownika progów dotyczących: napięcia szyny zasilającej, napięcia na boczniku pomiarowym i mocy pobieranej przez odbiornik.

Dodatkowo, producent tego peryferium wyposażył je w możliwość niezależnej konfiguracji czasu przetwarzania przetwornika ADC, oddzielnie dla napięcia szyny zasilającej i napięcia bocznika rezystancyjnego, jak również możliwość uśredniania pomiarów tychże wielkości spośród wielu, kolejnych pomiarów. Dzięki takiemu podejściu zwiększono wydatnie funkcjonalność użytkową układu i możliwość dostosowania trybu jego pracy do wymagań konkretnej aplikacji. Pamiętać należy jedynie, że wydłużenie czasu przetwarzania wbudowanego przetwornika ADC wydatnie zwiększa uzyskaną dokładność pomiaru, zaś uśrednianie większej liczby próbek zdecydowanie polepsza odstęp sygnału od szumu, w związku z czym w rzeczywistych aplikacjach należy dobierać maksymalne i możliwe do zaakceptowania wartości tychże parametrów kierując się dla przykładu szybkością zmian badanych przebiegów, jako kryterium wyjściowym.

Co oczywiste, aby poznać wszystkie możliwości drzemiące w układzie INA226 należałoby sięgnąć do jego noty aplikacyjnej lub do… mojego artykułu, o którym wspominałem wcześniej, gdzie szczegółowo omawiam wszelkie zagadnienia implementacyjne, więc nie będę ich powielał w tym miejscu, tym bardziej że jest to dość obszerna lektura. Tyle w kwestii samego przetwornika.

Uważny Czytelnik zauważy z pewnością dość rozbudowany blok zasilający, który zbudowano z użyciem bardzo nowoczesnej przetwornicy step-down pod postacią układu scalonego LT1934-1 produkcji firmy Analog Devices, która w zastosowanej wersji może dostarczać prąd o wartości 60 mA. Dlaczego zastosowałem przetwornicę i w dodatku tak nietypową? To proste. Chciałem by nasze urządzenie było zasilane z tego samego źródła, jak badany odbiornik, czyli de facto było włączane w szereg pomiędzy źródłem zasilania a badanym odbiornikiem. Jako że założyłem sobie dość szeroki zakres napięć dla źródeł zasilania niemożliwym stało się zastosowanie zwykłego stabilizatora liniowego (nawet LDO) w celu zasilenia systemu mikroprocesorowego z uwagi na zbyt dużą moc traconą i problem z odprowadzeniem ciepła (nie mówiąc już nawet o sprawności takiego układu). Okazało się dość szybko, że wśród dostępnych

Listing 1. Funkcje narzędziowe przeznaczone do pomiaru prądu odbiornika, napięcia zasilającego i mocy pobieranej przez odbiornik

```
uint16_t INA226readCurrent(void){  //[1mA]
    uint16_t readValue;
    readValue = INA226readRegister(INA226_CURRENT_REG);
    return readValue;
}

uint16_t INA226readBusVoltage(void){  //[10mV]
    uint16_t readValue;
    //LSB = 10mV
    readValue = INA226readRegister(INA226_BUS_VOLTAGE_REG)/8;
    return readValue;
}

uint16_t INA226readPower(void){  //[100mW]
    uint16_t readValue;
    //LSB = 100mW
    readValue = INA226readRegister(INA226_POWER_REG)/4;
    return readValue;
}
```

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

eprasa.pl 0667ee155a

Listing 2. Funkcje narzędziowe przeznaczone do ustawiania alarmów dla prądu, napięcia i mocy

```
void INA226setCurrentAlarm(uint16_t Current, uint8_t alarmType){//[mA]
    uint16_t alarmBit = (alarmType == ALARM_OVER)?
        SHUNT_OVER_VOLTAGE_ALARM:SHUNT_UNDER_VOLTAGE_ALARM;
    uint16_t shuntVoltage;

    //Konfiguracja mechanizmu alarmowania: rodzaj alarmu,
    //rodzaj aktywnego sygnału pinu alarmu,
    //konfiguracja zatrzaskiwania alarmu
    INA226writeRegister(INA226_ALARM_ENABLE_REG,
        alarmBit|ALARM_PIN_ACTIVE_LOW ALARM_LATCH_DISABLED);
    //Obliczamy wartość napięcia bocznika, jaką należy wpisać do jego
    //rejestru, by odpowiadała ona żądanej wartości prądu alarmowania
    //shuntVoltage = (Current [mA] * SHUNT_RESISTOR_VALUE [mohm])/2.5,
    //gdyż LSB dla SHUNT_VOLTAGE_REG wynosi 2.5uV
    shuntVoltage = (Current*SHUNT_RESISTOR_VALUE*2UL) / 5;
    INA226writeRegister(INA226_ALERT_LIMIT_REG, shuntVoltage);
}

void INA226setVoltageAlarm(uint16_t Voltage, uint8_t alarmType){//[10mV]
    uint16_t alarmBit = (alarmType == ALARM_OVER)?
        BUS_OVER_VOLTAGE_ALARM:BUS_UNDER_VOLTAGE_ALARM;

    //Konfiguracja mechanizmu alarmowania: rodzaj alarmu,
    //rodzaj aktywnego sygnału pinu alarmu,
    //konfiguracja zatrzaskiwania alarmu
    INA226writeRegister(INA226_ALARM_ENABLE_REG, alarmBit|
        ALARM_PIN_ACTIVE_LOW|ALARM_LATCH_DISABLED);
    //Zapis wielkości do rejestru alarmowania
    INA226writeRegister(INA226_ALERT_LIMIT_REG, Voltage*8);
}

void INA226setPowerAlarm(uint16_t Power){//[100mW]
    //Konfiguracja mechanizmu alarmowania: rodzaj alarmu,
    //rodzaj aktywnego sygnału pinu alarmu,
    //konfiguracja zatrzaskiwania alarmu
    INA226writeRegister(INA226_ALARM_ENABLE_REG,
        OVER_POWER_ALARM|ALARM_PIN_ACTIVE_LOW|ALARM_LATCH_DISABLED);
    //Zapis wielkości do rejestru alarmowania
    INA226writeRegister(INA226_ALERT_LIMIT_REG, Power*4);
}
```

Listing 3. Funkcja pozwalająca na wyłączenie alarmowania

```
void INA226offAlarm(void){
    INA226writeRegister(INA226_ALARM_ENABLE_REG, 0);
}
```

na rynku półprzewodników dość trudno jest znaleźć taki, który spełniałby oczekiwane założenia (napięcie wejściowe rzędu 34 V a wyjściowe 2,8 V) a do tego występował w obudowie, która będzie łatwa do montażu przez amatora. Prawdę mówiąc była to jedyna scalona przetwornica, która spełniała wszystkie wstępne założenia projektowe. Nie będę w tym miejscu wchodził w szczegóły implementacyjne, gdyż stosowne informacje znajdziemy w drobiazgowej dokumentacji producenta układu, zwłaszcza, że zastosowane rozwiązanie jest typową implementacją zaproponowaną w nocie aplikacyjnej zapewniającą szeroki zakres napięć zasilających (3,3...34 V) oraz maksymalny, dopuszczalny prąd obciążenia rzędu 60 mA co z zapasem spełnia wymogi systemu mikroprocesorowego.

Niemniej jednak warto wspomnieć o pewnym ograniczeniu tej przetwornicy. Otóż, układ LT1934-1 może pracować poprawnie już przy napięciu wejściowym rzędu 3,3 V, ale do startu samej przetwornicy niezbędne jest nieco większe napięcie a mianowicie 4,5 V. Po tym, jak przetwornica wystartuje napięcie zasilające można zmniejszyć do wspomnianego poziomu, jednak to ograniczenie należy mieć zawsze na uwadze. Co prawda można temu ograniczeniu zaradzić modyfikując minimalnie zaproponowaną implementację poprzez podłączenie anody diody D2 do napięcia wejściowego (V_{IN}) zamiast wyjściowego (V_{CC}) lecz w tym przypadku ograniczymy zakres napięć zasilających tym razem od góry do maksymalnej wartości 20 V co wynika z dopuszczalnego napięcia na wyprowadzeniu BOOST przetwornicy, które w takim układzie równa się w przybliżeniu $2\times V_{IN}$ i nie może przekraczać wartości 40 V.

Innym rozwiązaniem jest pozostanie przy schemacie pierwotnym i wstępne obciążenie wyjścia przetwornicy prądem minimalnym ok. 12 mA co zapewni poprawny start układu nawet przy napięciu wejściowym 3,3 V nie ograniczając tym samym maksymalnego poziomu napięcia wejściowego, lecz znacznie pogarszając sprawność układu (połowa prądu zostanie w tym przypadku zmarnowana na podgrzewanie rezystora obciążającego).

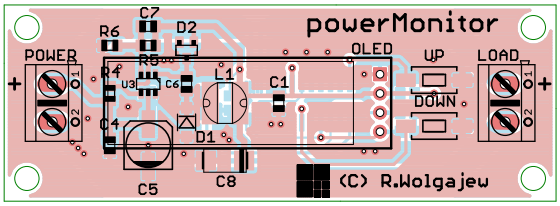
Ostateczne rozwiązanie pozostawiam Czytelnikom, gdyż każdy musi zdecydować się na jakie ograniczenia jest skłonny sobie pozwolić. Ja zdecydowałem się na wersję z implementacji producenta układu. Dla dociekliwych Czytelników dodam, że wartość napięcia wyjściowego ustalono na 2,8 V. Co ważne, już w tym miejscu chciałbym zaznaczyć, że w celu zapewnienia optymalnej pracy przetwornicy (w tym maksymalizacji jej sprawności) niezbędne jest zastosowanie odpowiedniej jakości kondensatorów (zwłaszcza elektrolitycznych o niskim ESR), co znajduje odzwierciedlenie w opisie listy elementów. Nie warto bagatelizować tego zagadnienia. To tyle, jeśli chodzi o blok zasilający.

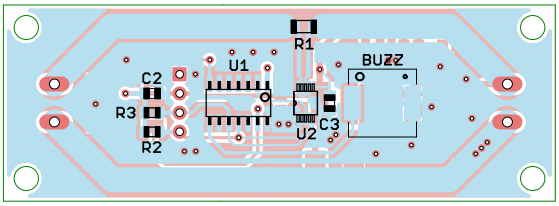
Powróćmy zatem jeszcze na chwilę do naszego przetwornika INA226, a dokładnie do zagadnień implementacyjnych. Tak, jak wspomniałem wcześniej, nie będę w tym miejscu powielał informacji z poprzednich artykułów, ale przedstawię kilka kluczowych funkcji obsługi, które zmieniono w bieżącej implementacji (z uwagi na oczekiwane parametry) lub które zaimplementowano po raz pierwszy.

Zacznijmy od funkcji pomiarowych. Na początek, na **listingu 1**, pokazano funkcje narzędziowe przeznaczone do pomiaru prądu odbiornika, napięcia zasilającego i mocy pobieranej przez odbiornik. Dalej, na **listingu 2**, pokazano funkcje narzędziowe przeznaczone do ustawiania alarmów dla prądu odbiornika, napięcia zasilającego i mocy pobieranej przez odbiornik. Warto podkreślić, że w jednej chwili aktywny może być wyłącznie jeden z alarmów, przy czym dla prądu i napięcia udostępniono dwa odrębne rodzaje alarmów (po przekroczeniu wartości i obniżeniu wartości poniżej progu), zaś dla mocy wyłącznie alarm po przekroczeniu zdefiniowanej wartości. Parametr wywołania o nazwie *alarmType* określa rodzaj alarmu (po przekroczeniu wartości lub obniżeniu wartości poniżej progu) i korzysta z predefiniowanych stałych *ALARM_OVER* i *ALARM_UNDER*. Na koniec, na **listingu 3**, bardzo prosta funkcja pozwalająca na wyłączenie alarmowania. Tyle w telegraficznym skrócie w kwestiach implementacyjnych.

Montaż i uruchomienie

Przejdźmy do schematu montażowego naszego urządzenia, który pokazano





Rysunek 3. Schemat płytki PCB urządzenia powerMonitor

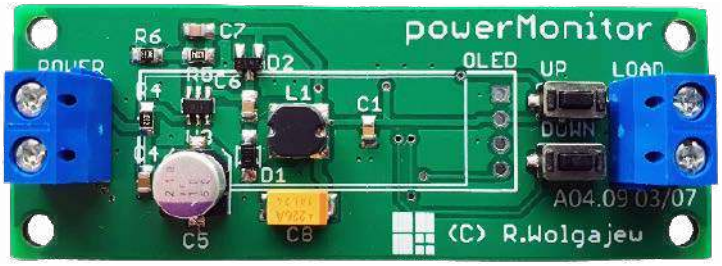
eprasa.pl 0667ee155a

na **rysunku 3**. Jak widać zaprojektowano dwustronną, niewielką płytkę drukowaną, która swoim rozmiarem zbliżona jest do zastosowanego wyświetlacza OLED udostępniając dodatkowo niezbędne otwory montażowe. Warto również podkreślić, że dla zminimalizowania rozmiaru obwodu drukowanego przewidziano tutaj montaż elementów po obu stronach laminatu.

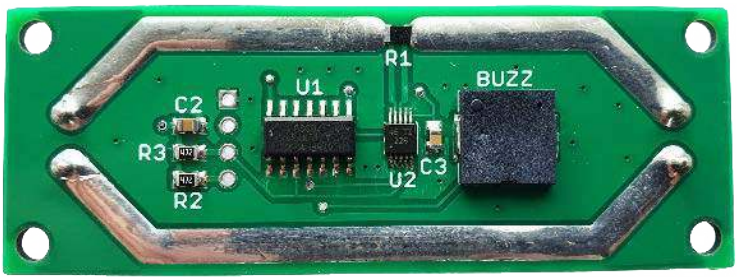
Aplikację urządzenia rozpoczynamy od warstwy BOTTOM, gdzie w pierwszej kolejności przylutowujemy półprzewodniki. Proces ten najłatwiej wykonać przy użyciu stacji lutowniczej na gorące powietrze (tzw. Hot Air) i odpowiednich stopów lutowniczych. Jeśli jednak nie dysponujemy tego rodzaju sprzętem można również zastosować metodę z użyciem typowej stacji lutowniczej. Najprostszym sposobem montażu elementów o tak dużym zagęszczeniu wyprowadzeń, niewymagającym jednocześnie posiadania specjalistycznego sprzętu, jest użycie zwykłej stacji lutowniczej, dobrej jakości cyny z odpowiednią ilością topnika oraz dość cienkiej plecionki rozlutowniczej, która umożliwi usunięcie nadmiaru cyny spomiędzy wyprowadzeń układu. Należy przy tym uważać by nie uszkodzić termicznie tegoż elementu. W następnej kolejności lutujemy elementy bierne a na końcu buzzer piezoelektryczny SMD.

W tym momencie przechodzimy na warstwę TOP, gdzie jak poprzednio, w pierwszej kolejności przylutowujemy półprzewodniki, następnie elementy bierne, switche UP i DOWN oraz złącza POWER i LOAD. Na samym końcu, do tak przygotowanej płytki, montujemy wyświetlacz OLED, zwyczajnie lutując jego wyprowadzenia w przeznaczone do tego celu pola lutownicze (należy sprawdzić polaryzację zasilania), gdyż połączenia elektryczne zapewniają mu jednocześnie wystarczająco stabilny montaż mechaniczny.

Poprawnie zmontowany układ powinien działać tuż po włączeniu zasilania. Na **fotografii 1** pokazano zmontowane urządzenie od strony warstwy TOP tuż przed przylutowaniem wyświetlacza OLED, zaś na **fotografii 2** to samo urządzenie od strony warstwy BOTTOM. Warto podkreślić, że ścieżki przewodzące duże prądy (pomiędzy gniazdami POWER i LOAD) zaprojektowano w taki sposób, aby możliwe było przepłynięcie przez nie prądu stałego o wartości do 10 A. W tym celu przewidziano odpowiednie ich szerokości oraz nie pokryto ich tzw. solder-maską. Dla dalszej poprawy ich przewodności można pokusić się o pokrycie ich niewielką ilością cyny lutowniczej. Zastosowany rodzaj bocznika zapewnia możliwość rozproszenia mocy o wartości 1 W, co spełnia założenia aplikacji. W przypadku, gdyby bocznik nagrzewał się do nieakceptowalnych temperatur należy zastosować element o większej, dopuszczalnej mocy strat lub dwa



Fotografia 1. Zmontowane urządzenie powerMonitor od strony warstwy TOP tuż przed przylutowaniem wyświetlacza OLED (wersja prototypowa)



Fotografia 2. Zmontowane urządzenie powerMonitor od strony warstwy BOTTOM (wersja prototypowa)

elementy (o odpowiedniej rezystancji) połączone szeregowo lub równolegle. Tyle w kwestiach montażowych, w związku z czym przejdźmy do zagadnień obsługi.

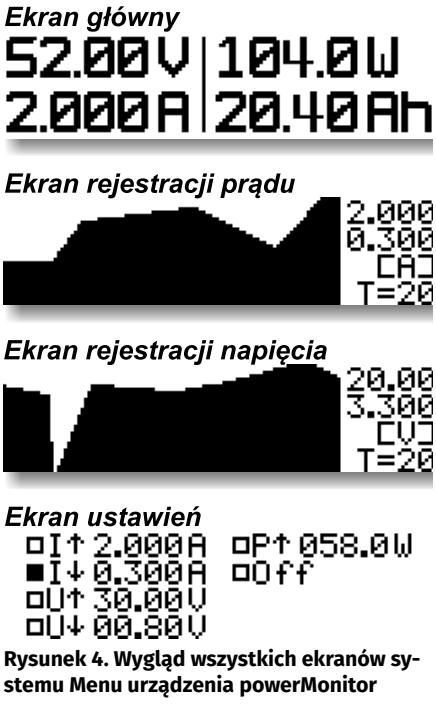
Obsługa

Projektując interfejs użytkownika urządzenia powerMonitor kierowałem się zasadą maksymalnego uproszczenia sposobu obsługi układu, jak i chęcią wyposażenia go w odpowiednią paletę możliwości. W realizacji tego celu posłużyłem się niewielkim, lecz bardzo atrakcyjnym wyświetlaczem OLED o organizacji 128×32 piksele oraz dwoma mikroprzełącznikami oznaczonymi umownie jako UP i DOWN, przy czym program obsługi aplikacji rozróżnia krótkie i długie naciśnięcie każdego ze switchy.

Zgodnie z tymi założeniami powstał bardzo czytelny, graficzny interfejs użytkownika, w ramach którego wyświetlane są 4 ekrany systemu *Menu* o następujących funkcjonalnościach:

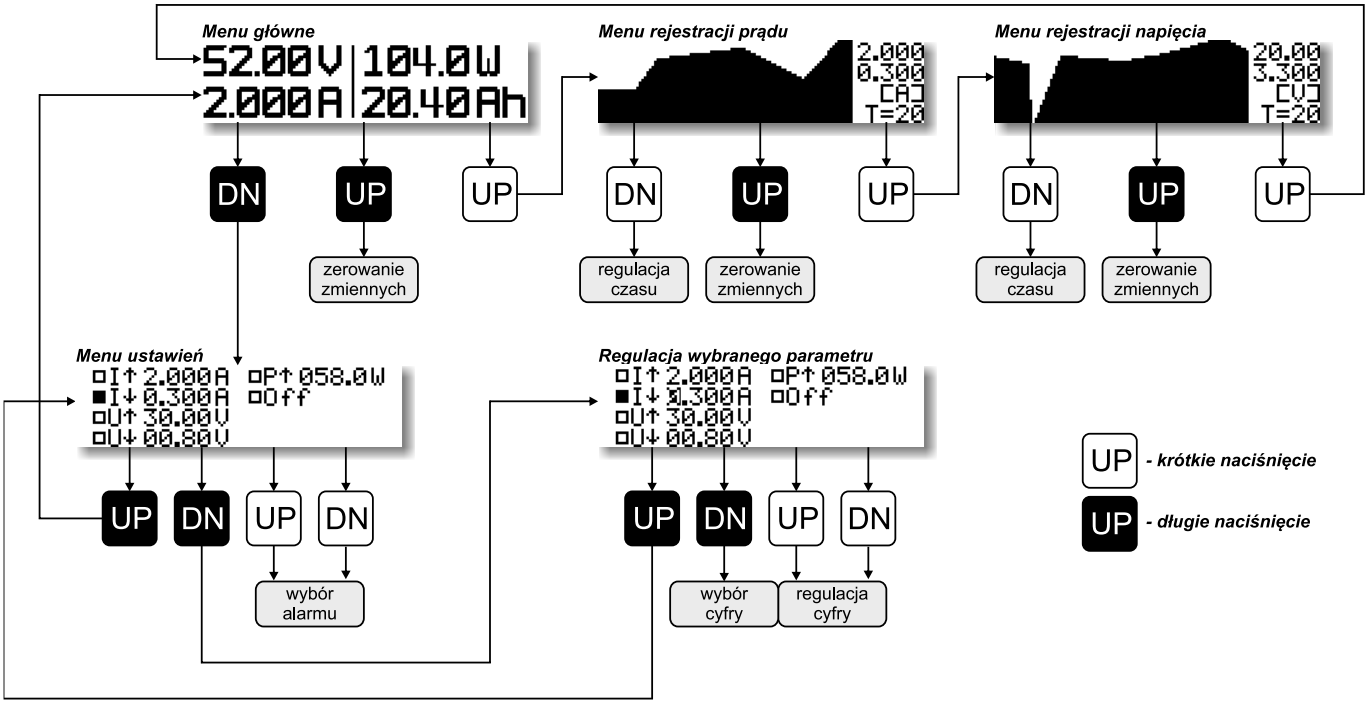
- ekran główny, w ramach którego wyświetlane jest napięcie na zaciskach odbiornika, prąd pobierany przez odbiornik oraz moc i ładunek dostarczany do odbiornika,
- ekran charakterystyki prądowej, w ramach którego wyświetlany jest skalowalny, uproszczony wykres prądu odbiornika w funkcji czasu (krok rejestracji podlega regulacji) oraz minimum i maksimum zarejestrowane w czasie trwania pomiarów,
- ekran charakterystyki napięciowej, w ramach którego wyświetlany jest skalowalny, uproszczony wykres napięcia źródła zasilającego w funkcji czasu (krok rejestracji podlega regulacji) oraz minimum i maksimum zarejestrowane w czasie trwania pomiarów,
- ekran ustawień, w ramach którego dokonujemy ustawień funkcji alarmowania (w tym typu alarmu i wartości progowych).

Warto podkreślić, że rysowane wykresy są na bieżąco skalowane w taki sposób by minimum w osi Y (na dole ekranu) odpowiadało zarejestrowanej wartości minimalnej (pokazywanej po prawej stronie wykresu), zaś maksimum w osi Y (na górze ekranu) odpowiadało zarejestrowanej wartości maksymalnej (pokazywanej po prawej stronie wykresu), stąd brak oznaczeń w tejże osi. Krok rejestracji (pokazywany na ekranie rejestracji) podlega regulacji w zakresie 1…10 s, zaś sam wykres umożliwia pokazanie ostatnich 100 punktów rejestracji. W przypadku przekroczenia tejże liczby wykres będzie



Rysunek 4. Wygląd wszystkich ekranów systemu Menu urządzenia powerMonitor

eprasa.pl 0667ee155a



Rysunek 5. Diagram prezentujący sposób obsługi urządzenia powerMonitor

automatycznie przesuwany w lewo pokazując zarejestrowane ostatnie 100 wartości dla danej wielkości elektrycznej. Zdaję sobie w tym momencie sprawę, że tak niewielki wyświetlacz OLED nie jest w stanie zaprezentować szczegółowych danych, ale nawet tego rodzaju charakterystyka daje pogląd na charakter zmian rejestrowanych wartości, zważywszy na to, że sam wykres jest dynamicznie skalowany oraz rejestrowane są wartości progowe.

Wygląd wszystkich ekranów systemu *Menu* pokazano na **rysunku 4**. Obsługa urządzenia polega na przechodzeniu pomiędzy kolejnymi ekranami (poza ekranem ustawień) i dokonujemy tego przy pomocy krótkiego wciśnięcia switcha UP. Długie wciśnięcie przycisku UP powoduje z kolei zerowanie zmiennych: w przypadku ekranu głównego jest to ładunek dostarczony do odbiornika, zaś w przypadku ekranów rejestracji jest to zawartość wykresu, jak i zarejestrowane minimum i maksimum. Długie przyciśnięcie przycisku DOWN na ekranie głównym powoduje przejście do ekranu ustawień alarmowania. Powyższe zasady to wyłącznie drobny wycinek funkcjonalności przycisków sterujących, gdyż ich znaczenie w procesie obsługi urządzenia (wliczając w to fakt krótkiego czy długiego przyciśnięcia) determinowane jest miejscem w systemie *Menu*, w jakim znajduje się urządzenie. Diagram prezentujący kompletny sposób obsługi urządzenia powerMonitor pokazano na **rysunku 5**.

Na koniec warto podkreślić, że aktywna funkcja alarmowania powoduje cykliczne sygnalizowanie dźwiękiem wbudowanego buzzera faktu przekroczenia ustawionego progu alarmowania (poniżej lub powyżej ustawionej wartości) do czasu ustąpienia warunków alarmu.

Robert Wołgajew, EP

REKLAMA

Czytaj artykuły zanim zostaną wydane w formie papierowej na www.ep.com.pl/EPwtoku

eprasa.pl 0667ee155a

AVT sklep

W ofercie AVT*

AVT5970

Podstawowe parametry:
- pomiar temperatury w zakresie –55...+125°C z rozdzielczością 0,1°C,
- dwie wartości temperatur granicznych, z zakresu –50...+120°C, ustawianych z rozdzielczością 0,1°C,
- czujnik temperatury z wyjściem cyfrowym, niewymagający kalibracji,
- nastawy przechowywane w nieulotnej pamięci EEPROM,
- dwa tryby działania: grzanie lub chłodzenie, przełączające się samoczynnie w zależności od nastaw,
- alfanumeryczny wyświetlacz LCD o organizacji 2×16 znaków,
- zasilanie napięciem stałym 12 V (lub 24 V po modyfikacji),
- pobór prądu: do 50 mA przy zasilaniu napięciem 12 V.

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

----	Timer z termostatem (EP 12/2022)
AVT5822	Termostat warsztatowy (EP 12/2020)
AVT5732	uniTherm – termostat z wyświetlaczem OLED (EP 12/2019)
AVT5620	Wielozadaniowy termostat (EP 1/2018)
AVT3220	Termostat z wyświetlaczem LED (EdW 1/2018)
AVT5589	4-kanałowy termostat z alarmem (EP 6/2017)
AVT5354	Zaawansowany, funkcjonalny termostat (EP 11/2016)
AVT1878	Prosty termostat cyfrowy (EP 8/2015)
AVT3131	Uniwersalny termostat (EdW 6/2015)
AVT1855	Sterownik wentylatora z czujnikiem wilgotności powietrza (EP 5/2015)
AVT5441	Cyfrowy termostat (EP 3/2014)
AVT1742	Rozbudowany termostat (EP 6/2013)
AVT5363	Termostat z regulowaną pętlą histerezy (EP 9/2012)
AVT1699	Regulator temperatury (EP 8/2012)
AVT5354	Termostat (EP 7/2012)
AVT3025	Regulowany termostat cyfrowy (EdW 3/2012)

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

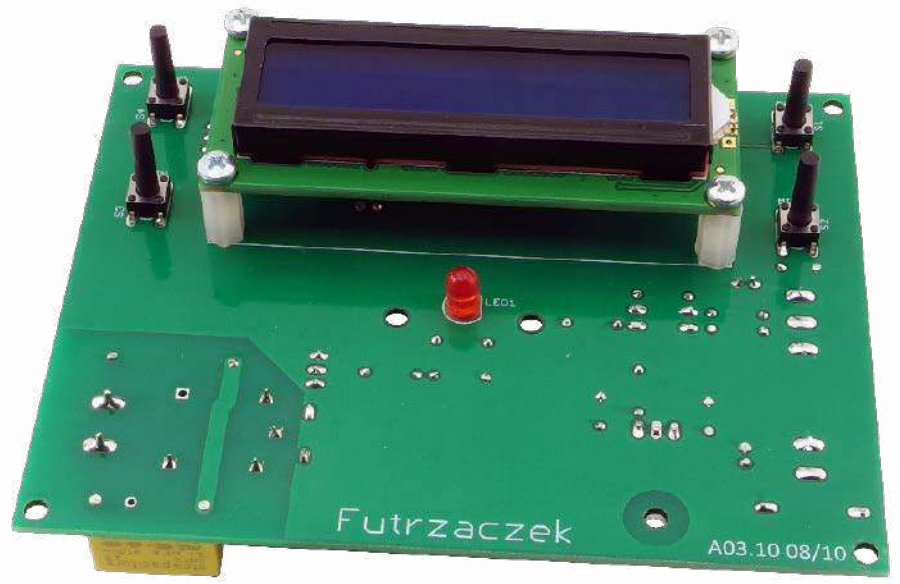
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- **wersja [A+]** – płytka drukowana **[A]** + zaprogramowany układ **[UK]** i dokumentacja,
- **wersja [UK]** – zaprogramowany układ.

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

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

Termostat MIN-MAX

W większości termostatów ustawianie parametrów pracy polega na zadaniu temperatury średniej oraz dopuszczalnej histerezy. Dla wielu użytkowników nie jest to zbyt intuicyjne rozwiązanie – woleliby po prostu ustawiać temperaturę załączenia i wyłączenia sterowanego urządzenia. Zaprezentowany układ jest realizuje właśnie taki schemat obsługi i jest odpowiedni zarówno do ogrzewania, jak i chłodzenia.



Nastawy przykładowego termostatu: temperatura średnia 45,5°C, histereza 3,4°C. Konia z rzędem temu, kto – nie będąc wtajemniczonym – bez trudu wskaże, przy jakiej temperaturze grzałka się wyłączy, a przy jakiej znowu załączy. Albo: jakie wartości zadać, jeżeli grzałka miałaby się wyłączać po osiągnięciu przez sterowany obiekt temperatury 49°C? Sprawa nieco pogmatwana, więc zrealizujmy to w łatwiejszy i bardziej intuicyjny sposób. W zaprezentowanym układzie zadajemy wprost, bez żadnych komplikacji, temperaturę załączenia przekaźnika oraz temperaturę jego wyłączenia. Ale to nie wszystko, bowiem na podstawie naszych nastaw układ sam rozszyfruje, czy będzie miał do czynienia z obiektem chłodzonym (czyli takim, którego temperatura będzie samoczynnie wzrastała) czy też z ogrzewanym, który ma naturalną tendencje do stygnięcia. Wszystko odbywa się w bardzo prosty sposób, przy użyciu czterech przycisków.

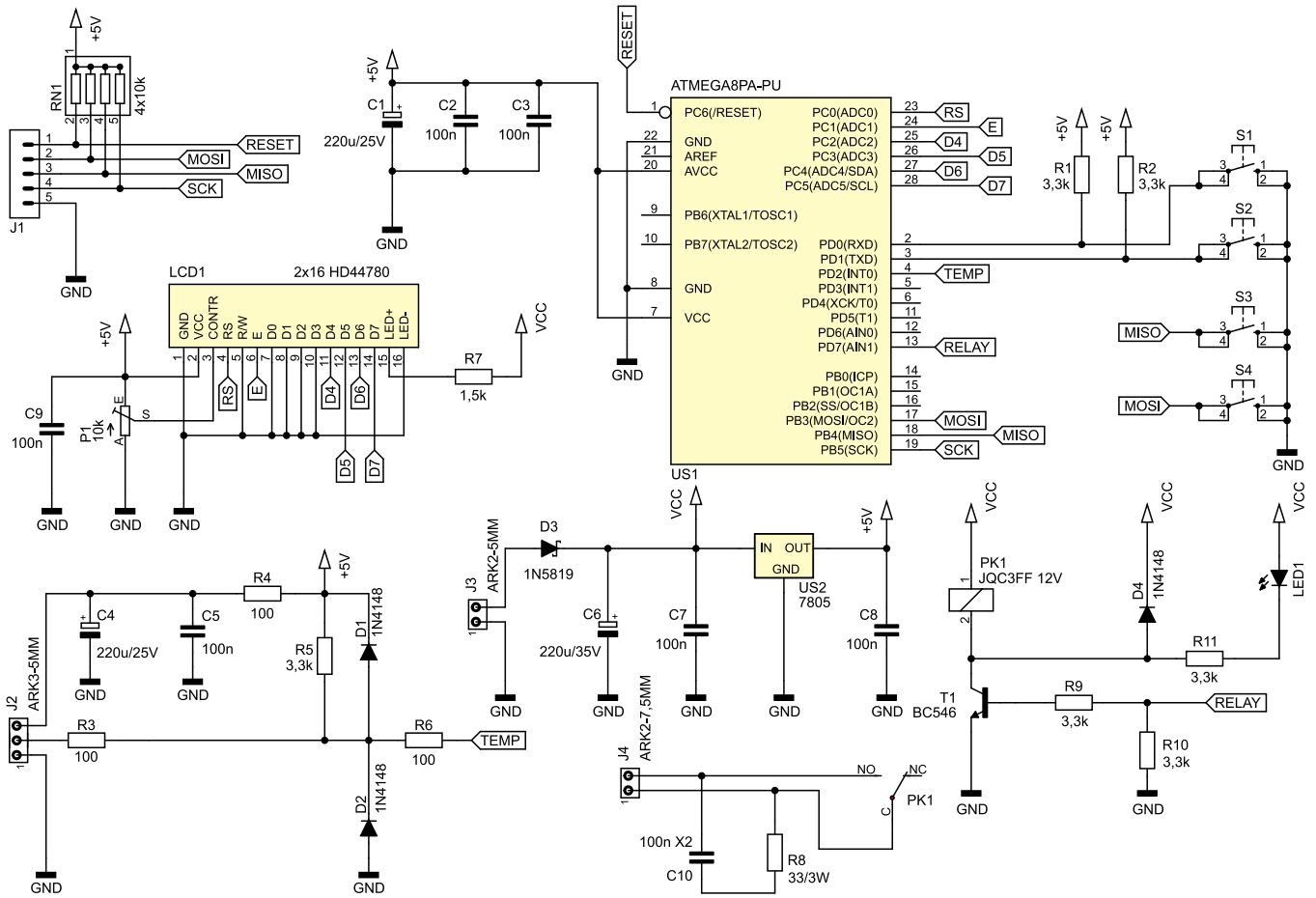
Budowa i działanie

Schemat ideowy omawianego układu znajduje się na **rysunku 1**. Najistotniejszym elementem jest układ Atmega8A-PU. To mikrokontroler z nadal popularnej i niezawodnej rodziny AVR, mimo iż jest ona dostępna na rynku już od wielu lat. Liczba jego konfigurowalnych wyprowadzeń oraz ilość pamięci są całkowicie wystarczające do realizacji tego zadania. Kondensatory C1…C3 filtrują napięcie zasilające mikrokontroler i zmniejszają impedancję obsługującego go źródła zasilania. Nie zastosowano zewnętrznego rezonatora kwarcowego do stabilizacji częstotliwości sygnału zegarowego, gdyż układ niemal w ogóle nie realizuje zadań krytycznych czasowo. Za jedyną taką czynność można uznać komunikację z cyfrowym czujnikiem temperatury, ponieważ magistrala 1-Wire prowadzi komunikację transmitując impulsy o zadanym czasie trwania, choć i tu są dopuszczalne pewne odchylenia.

Do obsługi urządzenia, a dokładniej zadawania nastaw, służą cztery przyciski monostabilne S1…S4. Dwa przyciski, S1 i S2, są podłączone do mikrokontrolera z użyciem zewnętrznych rezystorów podciągających, R1 i R2. Zmniejsza to wrażliwość układu za zakłócenia. Dwa pozostałe przyciski zostały podłączone do linii służących programowaniu ISP, które to linie są podciągnięte do potencjału +5 V za pośrednictwem rezystorów z drabinki rezystorowej RN1. Ich zadanie jest takie samo, jak rezystorów R1 i R2, ponadto odprowadzają ładunki elektrostatyczne z wyprowadzeń złącza J1. Programowanie mikrokontrolera może odbywać się zarówno po włożeniu układu programowalnego w podstawkę programatora, jak i za pośrednictwem wspomnianego złącza J1.

Cyfrowy czujnik temperatury typu DS18B20 należy podłączyć do zacisków złącza J2. Napięcie zasilające ten czujnik jest filtrowane przez prosty filtr RC składający się z rezystora R4 i kondensatorów C4 oraz C5, co poprawia stabilność działania tego czujnika. Dla ochrony wejścia mikrokontrolera

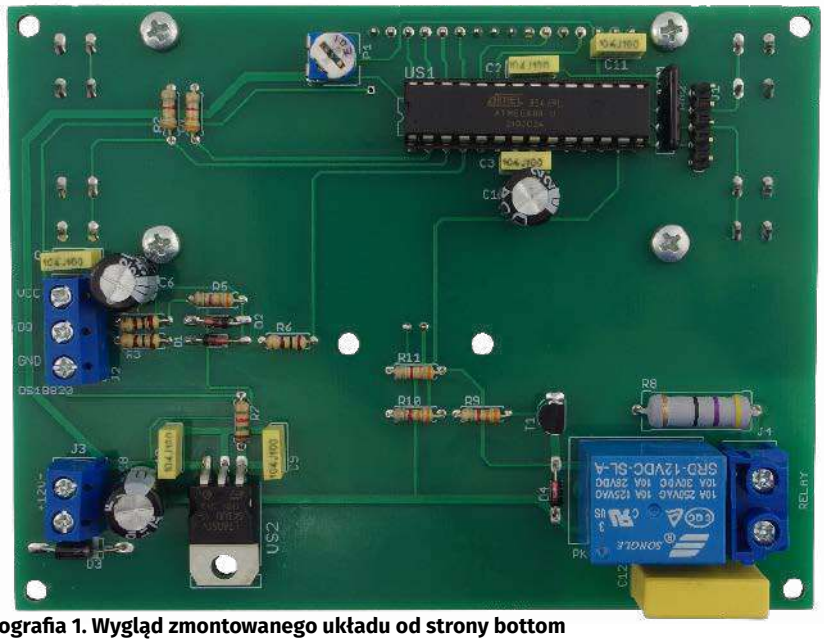
eprasa.pl 0667ee155a



Rysunek 1. Schemat ideowy układu termostatu

przed zniszczeniem, do którego mogłyby doprowadzić indukujące się w przewodzie zakłócenia, zostały dodane diody ograniczające napięcie do zakresu –0,7…+5,7 V. Rezystor R3 ogranicza prąd tych diod. Z kolei rezystor R6 ogranicza prąd diod zabezpieczających wbudowanych w mikrokontroler, gdyż ich napięcie przewodzenia jest nieco niższe niż użytych 1N4148. Rezystor R5 jest wymagany do prawidłowego działania magistrali komunikującej się z czujnikiem. Jednocześnie, wartości R3 i R6 zostały tak dobrane, że wprowadzane przez nie spadki napięcia (i spowodowane tym przesunięcie się poziomu napięcia logicznej wartości „0") nie mają negatywnego wpływu na działanie układu.

Napięcie zasilające układ podłącza się do zacisków złącza J3. Dioda D1 odcina zasilanie w przypadku pomylenia polaryzacji owego napięcia. Stabilizator liniowy typu



Fotografia 1. Wygląd zmontowanego układu od strony bottom

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

Rezystory: (THT o mocy 0,25 W jeżeli nie napisano inaczej)
R1, R2, R5, R9...R11: 3,3 kΩ
R3, R4, R6: 100 Ω
R7: 1,5 kΩ
R8: 33 Ω 3 W
RN1: 4 × 10 kΩ SIL5
P1: 10 kΩ montażowy leżący jednoobrotowy

Kondensatory:
C1, C4: 220 µF 25 V raster 2,5 mm
C2, C3, C5, C7...C9: 100 nF raster 5 mm MKT
C6: 220 µF 35 V raster 3,5 mm
C10: 100 nF MKP X2 305 V AC raster 15 mm

Pozostałe:
J1: goldpin 5 pin męski 2,54 mm THT
J2: ARK3/500
J3: ARK2/500
J4: ARK2/750
PK1: JQC3FF/121ZS (opis w tekście)
S1...S4: microswich 6×6 13,5 mm
Jedna podstawka DIP28 wąska
Złącze męskie i żeńskie goldpin 1×16 pin 2,54 mm
Cztery tuleje dystansowe gwint wewnętrzny M3
12 mm poliamid
Osiem śrub M3 6 mm

Półprzewodniki:
D1, D2, D4: 1N4148
D3: 1N5819
LCD1: 2×16, zgodny z HD44780 np. LCD2×16 15
T1: BC546
US1: ATmega8A-PU (DIP28)
US2: 7805 (TO220)
Czujnik temperatury DS18B20

eprasa.pl 0667ee155a

7805 dostarcza napięcia 5 V dla układów cyfrowych. Moc strat na nim, przy zasilaniu układu napięciem 12 V, jest na tyle niska, że nie ma potrzeby stosowania przetwornicy impulsowej – jego metalowa wkładka wystarcza do odprowadzania ciepła.

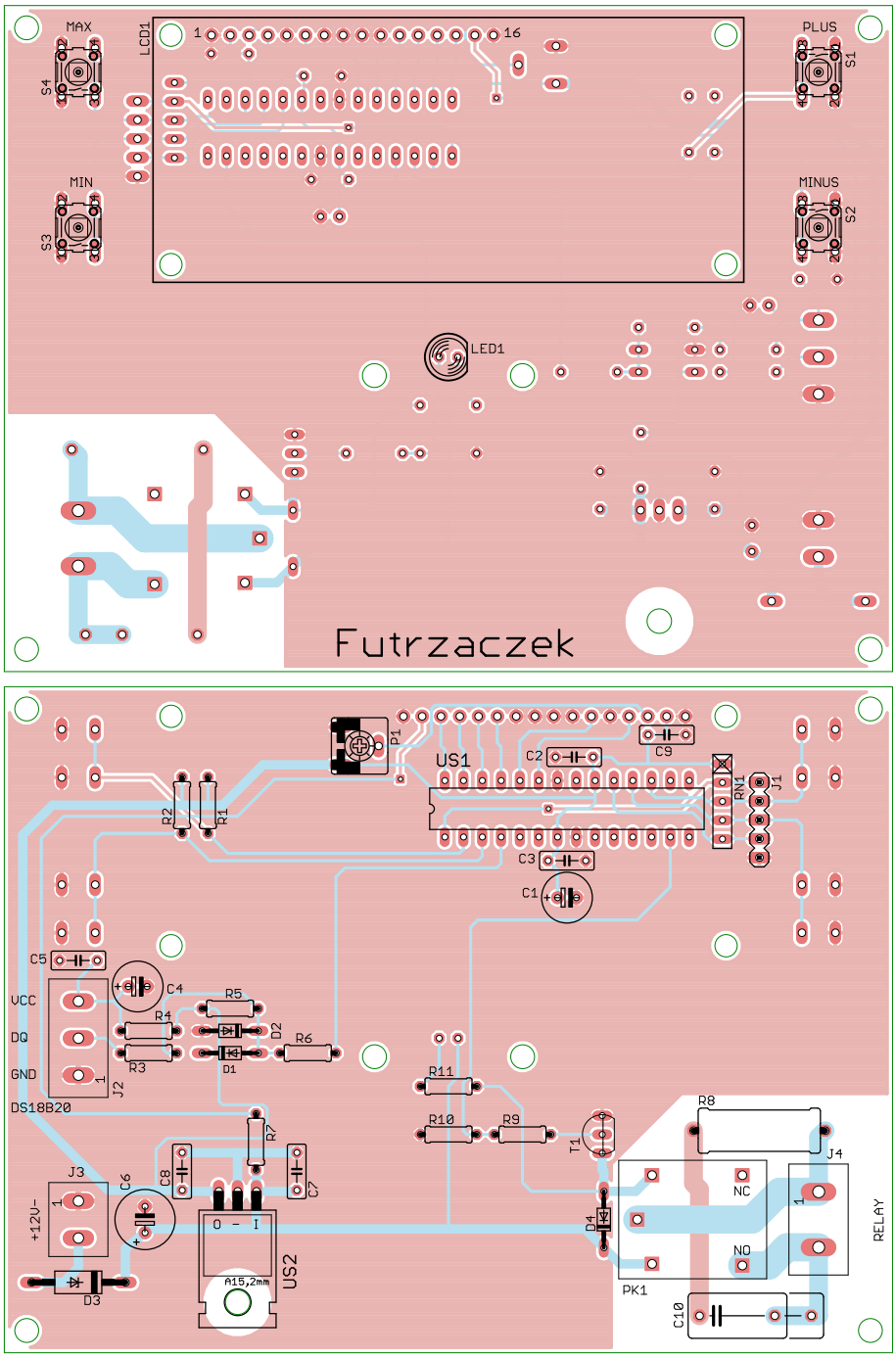
Użytkownik widzi informacje podawane przez układ na wyświetlaczu LCD1, który zawiera sterownik typu HD44780 lub zgodny z nim. Ma dwa wiersze po szesnaście znaków w każdym. Potencjometrem P1 ustawia się kontrast owego wyświetlacza. Rezystor R7 pozwala na zasilanie jego podświetlenia z niestabilizowanego napięcia wejściowego, nie obciążając tym samym stabilizatora US2.

Zasilanie dla sterowanego przez układ urządzenia (chłodziarki lub grzałki) powinno być poprowadzone przez złącze J4, do którego są doprowadzone wyprowadzenia styków normalnie otwartych (NO) przekaźnika PK1. Rezystor R8 i kondensator C10 tworzą prosty układ pochłaniający energię wydzielaną w momencie łączenia i rozłączania styków przekaźnika, kiedy dochodzi do ich iskrzenia. Zmniejsza to ryzyko wystąpienia błędu w funkcjonowaniu układu, ponieważ zmniejszeniu ulega emisja zakłóceń elektromagnetycznych. Dioda LED1 sygnalizuje załączenie cewki przekaźnika, rezystor R11 ogranicza jej prąd.

Montaż i uruchomienie

Układ został zmontowany na dwustronnej płytce drukowanej o wymiarach 120×90 mm. Jej schemat został pokazany na **rysunku 2**. W odległości 3 mm od krawędzi płytki znalazły się cztery otwory montażowe, każdy o średnicy 3,2 mm. Dodatkowo, aby płytka mogła tkwić stabilnie w obudowie, w pobliżu diody LED1 dodano dodatkowe dwa otwory. **Rysunek 3** pokazuje lokalizację dwóch dodatkowych otworów montażowych na płytce.

Montaż proponuję rozpocząć od elementów o najmniejszej wysokości obudowy, czyli rezystorów i diod. Pod mikrokontroler proponuję zastosować podstawkę. Stabilizator US1 można położyć na powierzchni laminatu. Ten etap montażu można zobaczyć na **fotografii 1**. Na drugiej stronie płytki jest miejsce dla wyświetlacza LCD1, czterech przycisków S1…S4 i diody LED1. Ich lokalizację po przylutowaniu pokazuje fotografia tytułowa. Pod koniec montażu, po wlutowaniu diody LED1 i przycisków, należy przykręcić wyświetlacz LCD przy pomocy czterech tulei dystansowych oraz przylutować jego złącza. Warto lutowanie zostawić na sam koniec, po dokładnym przykręceniu, aby ewentualny naddatek wysokości tulei mógł być skompensowany przez lekkie wystawanie złącz z powierzchni płytki. W ten sposób część męska i żeńska wchodzą w siebie całkowicie, co zapewnia dobry kontakt elektryczny między nimi. Rozmieszczenie przycisków, diody



Rysunek 2. Schemat płytki PCB

LED i wyświetlacza na powierzchni płytki znajduje się na **rysunku 4**, dzięki niemu łatwiejsze będzie wykonanie obudowy dla tego urządzenia.

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

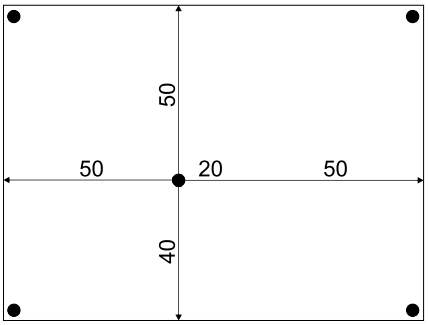
Low Fuse = 0x24

High Fuse = 0xD9

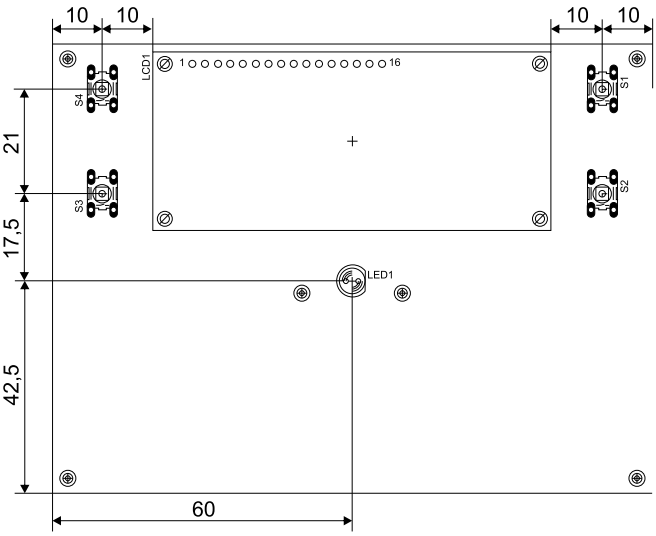
Szczegóły są widoczne na **rysunku 5**, który zawiera okno konfiguracji bitów z programu BitBurner. W ten sposób zostanie uruchomiony wewnętrzny generator RC o częstotliwości oscylacji 8 MHz oraz Brown-Out Detector, który wprowadzi mikrokontroler w stan zerowania, jeżeli jego napięcie zasilające spadnie poniżej 4 V. To znacznie zmniejsza ryzyko nieprawidłowego uruchomienia się mikrokontrolera.

Poprawnie zaprogramowany układ jest gotowy do działania po ustawieniu kontrastu wyświetlacza potencjometrem P1. Do zasilania powinno służyć napięcie stałe o wartości około 12 V, a dokładniej z przedziału 10…16 V. Takie granice uwzględniają zakres prawidłowej pracy przekaźnika (z uwzględnieniem spadku napięcia na diodzie D3 i tranzystorze T1) w temperaturze 20°C. Warto, aby owe napięcie było dobrze filtrowane, a najlepiej stabilizowane. Pobór prądu przy 12 V wynosi około 15 mA przy wyłączonym przekaźniku oraz

eprasa.pl 0667ee155a



Rysunek 3. Rozmieszczenie otworów montażowych na środku płytki drukowanej (rysunek pomniejszony o 54%)



Rysunek 4. Rozmieszczenie przycisków, diody LED i wyświetlacza LCD na płytce drukowanej (rysunek pomniejszony o 44%)

około 50 mA, kiedy cewka zostanie załączona. Do zacisków złącza J2 należy podłączyć czujnik typu DS128B20, zgodnie z opisami na płytce. Może to być gotowy moduł: z podwójnie izolowanymi przewodami, z samym czujnikiem hermetycznie zaciśniętym w metalowej rurce.

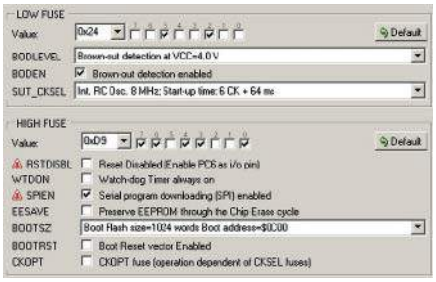
Zaciski złącza J4 należy potraktować jak styki przełącznika mechanicznego, który odłącza zasilanie od sterowanego urządzenia grzewczego lub chłodniczego. Z uwagi na szerokość ścieżek na powierzchni laminatu, płynący przez nie prąd nie powinien przekraczać natężenia 6 A. Jeżeli w grę wchodziłoby przełączanie większych prądów, warto skorzystać z zewnętrznego stycznika, którego cewka będzie sterowana za pośrednictwem złącza J4.

Napięcie zasilające układ może zostać zwiększone do 24 V po trzech modyfikacjach na płytce: przekaźnik PK1 należy wymienić na egzemplarz z cewką przystosowaną do takiego napięcia (na przykład JQC3FF/241ZS), rezystor R7, ograniczający prąd diod podświetlających wyświetlacz LCD1, powinien zostać wymieniony na element o rezystancji 2,7 kΩ lub zbliżonej, do stabilizatora US2 należy przykręcić niewielki radiator, na przykład RAD FK231 SA220 L9.

Eksploatacja

Użytkownik jest zobligowany do ustawienia żądanych temperatur zadziałania przekaźnika – po włączeniu, z domyślnymi wartościami pobranymi z niezapisanej pamięci, obie temperatury będą wynosiły –0,1°C. Zmian temperatury dokonuje się wciskając (i trzymając wciśnięty) przycisk S3 (temperatura minimalna) lub S4 (temperatura maksymalna). Regulacja odbywa się z rozdzielczością 0,1°C w zakresie –50...+120°C. Trzymając przyciski S1 (zwiększanie) lub S2 (zmniejszanie) dłużej następuje samoczynne przewijanie danej temperatury, uprzednio wybranej poprzez trzymanie wciśniętego S3 lub S4. Tym szybsze jest to przewijanie im dłużej S1 lub S2 jest trzymany. Cały czas trzeba mieć wciśnięty S3 lub S4, bez tego układ nie reaguje na wciskanie S1 i S2. Nastawy są zapamiętywane w nieulotnej pamięci EEPROM po około 10 s od ostatniej zmiany.

Przykładowy widok ekranu pokazuje **fotografia 2**. W górnym wierszu można zobaczyć temperaturę aktualną z rozdzielczością 0,1°C, automatycznie dobrany tryb działania (tutaj H – od *heating*, czyli grzanie). Dolny wiersz zawiera dwie, ustawiane przez użytkownika, temperatury: minimalną (lewą, ustawianą przyciskiem S3) oraz maksymalną (prawą, ustawianą przyciskiem S4). Jeżeli maksymalna jest większa od minimalnej, to między nimi znajduje się znak większości, zaś termostat przełącza się w tryb grzania. Przekaźnik załączy się po osiągnięciu temperatury



Rysunek 5. Szczegóły ustawienia bitów zabezpieczających

minimalnej lub spadku poniżej tej wartości. Z kolei jego wyłączenie odbędzie się po zrównaniu temperatury aktualnej z maksymalną, bądź jej przekroczeniu.

Gdyby jednak użytkownik ustawił temperaturę minimalną wyższą od maksymalnej (!), co jest możliwe, to układ dalej działa prawidłowo – tyle, że znajduje się w trybie chłodzenia. Sygnalizuje to litera C (od *cooling*, czyli chłodzenie) w górnym wierszu i znak mniejszości między ustawionymi temperaturami w wierszu dolnym. Można to zobaczyć na **fotografii 3**. Przekaźnik załącza się, kiedy temperatura aktualna zrówna się z minimalną lub ją przekroczy, zaś wyłącza kiedy spadnie do maksymalnej.

Nic nie stoi na przeszkodzie, by ustawić dwie temperatury (minimalną i maksymalną) o tych samych wartościach. Wtedy układ zaprzestaje sterowania: przekaźnik jest wyłączony, w górnym większy pojawia się litera X, zaś między zadanymi temperaturami widnieje znak równości. Brak jakiejkolwiek histerezy uniemożliwiałby pracę dwustanowego przekaźnika, więc układ wtedy blokuje się. Można ten tryb użyć do chwilowego zablokowania pracy, bez konieczności przerywania wewnętrznych połączeń, mając cały czas podgląd temperatury aktualnej.

Ostatnią sytuację wartą omówienia można zobaczyć na **fotografii 4**. Kiedy z czujnikiem temperatury odbyła się przynajmniej jedna poprawna transmisja (do tego momentu na wyświetlaczu są poziome kreski w miejscu temperatury aktualnej) i nastąpiło jego uszkodzenie, zamiast temperatury aktualnej pojawia się napis ERROR! Przekaźnik zostaje wyłączony, układ czeka na reakcję człowieka. Może tak się stać, na przykład, po odłączeniu linii DQ czujnika DS18B20 albo po jej zwarciu z masą.

Michał Kurzela, EP

Fotografia 2. Wskazania wyświetlacza w trybie grzania

Fotografia 3. Wskazania wyświetlacza w trybie chłodzenia

Fotografia 4. Wskazania wyświetlacza z komunikatem błędu czujnika

eprasa.pl 0667ee155a

AVT sklep

W ofercie AVT*
AVT5965

Podstawowe parametry:
- zakres pomiarowy temperatury: –40...125°C
- rozdzielczość pomiaru temperatury: 0,5°C
- dokładność pomiaru temperatury: ±2°C
- obsługiwane rozkazy: SEARCH_ROM, READ_ROM, MATCH_ROM, SKIP_ROM, CONVERT_T oraz READ_SCRATCHPAD,
- napięcie zasilania: 2,7...5 V, pobierany prąd: 6 mA.

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)
AVT1734	Termometr do wędzarni (EP 4/2013)
AVT5373	Tlogger – rejestrator temperatury (EP 12/2012)
AVT1705	Moduł do pomiaru temperatury z interfejsem RS485 (EP 9/2012)

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

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

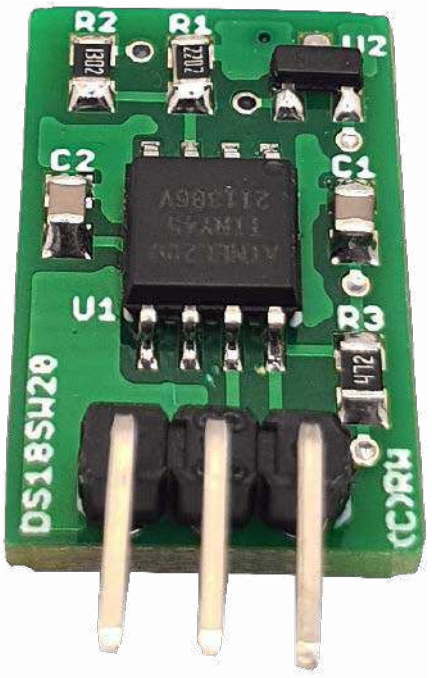
Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik PDF! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz!
http://sklep.avt.pl

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

DS18SW20 – emulator czujnika temperatury DS1820

Przykład programowej realizacji urządzenia 1-Wire slave (2)

Realizacja urządzenia 1-Wire slave wymaga nieszablonowego podejścia. W przeważającej większości projektów mikrokontroler działa jako urządzenie nadrzędne – inicjuje każdy stan i steruje przebiegiem transmisji danych. Taka konfiguracja była wiele razy dokładnie opisywana na łamach EP. Natomiast praca mikrokontrolera w roli układu slave, to relatywnie rzadko spotykane rozwiązanie. Dlatego po ogólnym omówieniu interfejsu 1-Wire w pierwszej części artykułu, przechodzimy do szczegółowego opisu kodu programu emulatora.



Program sterujący

Cała magia emulatora czujnika temperatury DS1820 dzieje się w oprogramowaniu urządzenia. Jak wiemy, każda operacja mająca miejsce na magistrali 1-Wire inicjowana jest przez układ Master poprzez ściągnięcie tejże magistrali do logicznego „0" (przez czas 1…5 µs). W związku z tym naturalnym sposobem na obsłużenie protokołu ze strony układu Slave jest wykorzystanie przerwania zewnętrznego (np. INT0) skonfigurowanego w ten sposób aby zachodziło przy opadającym zboczu sygnału. Użycie przerwania zewnętrznego jest o tyle niezbędne, że magistrala 1-Wire wymusza dość rygorystyczne wymogi czasowe, więc zastosowanie typowego portu I/O i tzw. *pollingu* jest niewystarczająca w przypadku, gdyby układ Slave miał wykonywać jeszcze inne czasowo istotne operacje niezwiązane z obsługą magistrali. Wykorzystanie przerwania zewnętrznego niesie za sobą tą dodatkową zaletę, że cała obsługa protokołu zostanie zamknięta w ramach jednej funkcji ISR a program główny może realizować inną, niezbędną z punktu widzenia konkretnej aplikacji, funkcjonalność.

Zadeklarujmy, zatem kilka podstawowych zmiennych globalnych: numer seryjny naszego urządzenia Slave, scratchpad (pamięć termometru), zmienną przechowującą aktualny stan procedury obsługi układu Slave oraz zmienną odpowiedzialną za żądanie pomiaru temperatury. Jak wiemy, zmienne globalne to w dużym uproszczeniu zło (z przymrużeniem oka), gdyż utrudniają optymalizację kodu, lecz w przypadku styku na poziomie program główny/funkcje narzędziowe a funkcje obsługi przerwań systemowych są niezbędną koniecznością. Specyfikację zmiennych globalnych naszego urządzenia pokazano na **listingu 1**. Dalej, na **listingu 2**, pokazano plik nagłówkowy programu obsługi aplikacji definiujący zarówno ustawienia sprzętowe, jak i wprowadzający niezbędne definicje stałych poprawiających czytelność kodu (jak i ułatwiających jego modyfikacje).

W związku z tym, że obsługa protokołu odbywa się w całości w ramach procedury obsługi przerwania INT0 (oraz jak się okaże, przerwania Timera0) funkcja główna naszego programu obsługi ogranicza się wyłącznie do konfiguracji niezbędnych peryferiów mikrokontrolera

eprasa.pl 0667ee155a

Listing 1. Specyfikacja zmiennych globalnych urządzenia DS18SW20

```
//Status Slave'a 1-wire
volatile uint8_t Status;
//ID układu Slave. 8. bajt to CRC8
volatile uint8_t ID[8] = {'R', 'o', 'b', 'e', 'r', 't', 'W', 0x00};
//Scratchpad układu Slave. 1. i 2. bajt to LSB i MSB temperatury. 9. bajt to CRC8
volatile uint8_t Scratchpad[9] = {0xAA, 0x00, 0x00, 0x00, 0xFF, 0xFF, 0x0C, 0x10, 0x00};
//Żądanie pomiaru temperatury
volatile uint8_t measureTemp;
```

Listing 2. Plik nagłówkowy programu obsługi aplikacji DS18SW20

```
//Definicje portu 1-wire
#define ONE_WIRE_DDR DDRB
#define ONE_WIRE_PIN PINB
#define ONE_WIRE_NR PB2  //INT0
#define ONE_WIRE_CLEAR ONE_WIRE_DDR |= (1<<ONE_WIRE_NR)
#define ONE_WIRE_RELEASE ONE_WIRE_DDR &= ~(1<<ONE_WIRE_NR)
#define ONE_WIRE_READ ((ONE_WIRE_PIN & (1<<ONE_WIRE_NR))>>ONE_WIRE_NR)

//Definicje dla Timera0
#define STOP_TIMER TCCR0B = 0x00
//Preskaler = 1024, 7812Hz
#define START_TIMER TCCR0B = (1<<CS02)|(1<<CS00)
#define RESET_TIMER TCNT0 = 0
#define TIMEOUT_2MS (256-15)
#define TIMEOUT_5MS (256-39)
#define TIMEOUT_15MS (256-117)

//Definicje statusów układu Slave
#define STATUS_IDLE 0x00
#define STATUS_WAITING_FOR_CMD 0x01
#define STATUS_SEARCH_ROM_ACTIVE 0x02
#define STATUS_READ_ROM_ACTIVE 0x03
#define STATUS_MATCH_ROM_ACTIVE 0x04
#define STATUS_SLAVE_SELECTED 0x05
#define STATUS_READ_SCRATCHPAD_ACTIVE 0x06

//Definicje komend 1-wire
#define CMD_SEARCH_ROM 0xF0
#define CMD_READ_ROM 0x33
#define CMD_MATCH_ROM 0x55
#define CMD_SKIP_ROM 0xCC
#define CMD_READ_SCRATCHPAD 0xBE
#define CMD_CONVERT_T 0x44

//Definicje dla mechanizmu wyszukiwania numeru ID
#define SEARCH_SEND_BYTE 0x00
#define SEARCH_SEND_NEGATED_BYTE 0x01
#define SEARCH_COMPARE_BYTE 0x02

//Definicje czasów 1wire – us
#define INTR_HANDLING_TIME 6
#define RESET_PULSE_MIN 3  //Takty zegara Timer0
#define PRESENCE_PULSE 240
#define SLAVE_SAMPLE_TIME (25-INTR_HANDLING_TIME)
#define SLAVE_ZERO_TIME 20
```

Listing 3 Funkcja główna programu obsługi aplikacji DS18SW20.

```
int main(void){
    //Redukcja poboru mocy przez wyłączenie modułów
    //(lub ich zegarów): TIMER1, USI
    PRR = (1<<PRTIM1)|(1<<PRUSI);
    //Wyłączenie komparatora analogowego
    //dla zmniejszenia poboru mocy
    ACSR = (1<<ACD);
    //Konfiguracja przetwornika ADC
    //Ref = 1.1V, wejście ADC2
    ADMUX = (1<<REFS1)|(1<<MUX1);
    //Konfiguracja i uruchomienie przerwania INT0
    //wyzwalane zboczem opadającym – obsługa 1wire
    MCUCR |= (1<<ISC01);
    GIMSK = (1<<INT0);
    //Uruchomienie przerwania od przepełnienia Timera0
    //obsługa timeout-ów
    TIMSK = (1<<TOIE0);
    //Odczytujemy numer ID lub zostajemy przy domyślnym
    readID();

    sei();
    while(1){
        //Obsługa żądania pomiaru temperatury
        if(measureTemp){
            measureTemp = 0;
            readADC();
        }
    }
}
```

i wykonywania pomiaru temperatury na żądanie użytkownika. Ciało tejże funkcji pokazano na **listingu 3**. Jak widać, i o czym nie wspomniano wcześniej, w programie obsługi używany jest także timer sprzętowy (w tym przypadku 8-bitowy Timer0) jak i przerwanie od jego przepełnienia (*TIMER0_OVF_vect*). Użycie tego peryferium konieczne jest w przypadku, gdyby układ Master z jakiś powodów wysłał niepełną sekwencję sygnałów sterujących (np. tylko sygnał *Reset* bez jakichkolwiek dalszych komend) co spowodowałoby zmianę stanu procedury obsługi magistrali 1-Wire na predefiniowaną wcześniej wartość *STATUS_WAITING_FOR_CMD* i oczekiwanie na rozkaz sterujący uniemożliwiając tym samym dalsze, poprawne funkcjonowanie algorytmu obsługi. Timer ten każdorazowo ustawiany jest w taki sposób aby po upłynięciu zadanego czasu (zależnego od oczekiwanych operacji po stronie układu Master) przywrócić spoczynkowy stan procedury obsługi (*STATUS_IDLE*) w przypadku błędów po stronie układu nadrzędnego.

Przejdźmy zatem do właściwego programu obsługi układu Slave magistrali 1-Wire. Jak wspomniano wcześniej, stanem spoczynkowym układu Slave jest oczekiwanie na sygnał *Reset* a po jego wykryciu, wystawienie sygnału *Presence* i oczekiwanie na rozkaz sterujący. Tą część algorytmu programu obsługi pokazana na **listingu 4** (o wykonaniu poszczególnych części programu obsługi decyduje wartość zmiennej Status). Po wykonaniu tych czynności, układ Slave oczekuje (przez czas 2 ms) na odebranie komendy sterującej i w zależności od jej rodzaju realizuje pozostałe funkcje typowe dla emulowanego układu typu DS1820.

Nasze urządzenie obsługuje 6 rodzajów komend sterujących: CMD_SEARCH_ROM, CMD_READ_ROM, CMD_MATCH_ROM, CMD_SKIP_ROM, CMD_CONVERT_T oraz CMD_READ_SCRATCHPAD. Odbiór komendy sterującej realizuje część programu obsługi pokazana na **listingu 5**. Następnie, w zależności od rodzaju odebranej komendy sterującej, realizowana jest odpowiednia część programu obsługi (o wykonaniu poszczególnych części programu obsługi jak zwykle decyduje wartość zmiennej Status). Rozkaz READ_ROM (czyli odczyt numeru seryjnego przez układ Master) realizuje część programu obsługi aplikacji pokazana na **listingu 6**. Rozkaz MATCH_ROM (czyli wysyłania przez układ Master numeru ID aby zaadresować naszego Slave-a) realizuje część programu obsługi aplikacji

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

Rezystory: (SMD0805)
R1: 22 kΩ 1%
R2: 13 kΩ 1%
R3: 4.7 kΩ

Kondensatory: (SMD0805)
C1, C2: 100 nF ceramiczny X7R

Półprzewodniki:
U1: ATtiny25/45/85 (SOIC-8)
U2: TC1047A (SOT-23)

Pozostałe:
CON: złącze GOLDPIN kątowe 3×1 pin

eprasa.pl 0667ee155a

pokazana na **listingu 7**. Jak widać, przesłanie niepoprawnego adresu układu Slave powoduje dezaktywację naszego urządzenia (stan domyślny STATUS_IDLE wymuszający oczekiwanie na sygnał RESET), zaś przesłanie adresu zgodnego powoduje adresację urządzenia (STATUS_SLAVE_SELECTED) i oczekiwanie na przesłanie bajta realizowanej funkcjonalności (rozkazy CMD_CONVERT_T i CMD_READ_SCRATCHPAD). Skądinąd takie samo zachowanie powoduje przesłanie rozkazu CMD_SKIP_ROM (pokazane na **listingu 5**), który wymusza pominięcie adresacji konkretnego urządzenia i ma sens wyłącznie wtedy, gdy na magistrali 1-Wire znajduje się tylko jedno urządzenie typu Slave.

Dalej, na **listingu 8** pokazano fragment algorytmu programu obsługi odpowiedzialny za realizację funkcji CMD_SEARCH_ROM, czyli wyszukiwania przez układ Master numerów ID podłączonych do magistrali układów Slave. Tak jak wspomniano wcześniej poprawne zaadresowanie układu Slave powoduje przejście urządzenia w tryb oczekiwania (STATUS_SLAVE_SELECTED) na przesłanie bajta realizowanej funkcjonalności (rozkazy CMD_CONVERT_T i CMD_READ_SCRATCHPAD). Za ten etap programu obsługi odpowiada fragment algorytmu programu obsługi pokazany na **listingu 9**. Jak widać, odbiór rozkazu CMD_CONVERT_T powoduje ustawienie zmiennej globalnej *measureTemp* wymuszającej wykonanie pomiaru temperatury realizowane w pętli głównej aplikacji i powodujące wpisanie (atomowe) wyników pomiaru do tablicy Scratchpad, zaś odebranie rozkazu CMD_READ_SCRATCHPAD powoduje przejście programu obsługi do fragmentu odpowiedzialnego za wysłanie (na żądanie Mastera) przez układ Slave zawartości tablicy Scratchpad, przy czym liczba bajtów, jaka zostanie przesłana zależy wyłącznie od przebiegu transmisji inicjowanej przez układ nadrzędny (od 1 do 9 bajtów). Odczyt przez układ Master liczby bajtów mniejszej niż cała zawartość scratchpad-a (9 bajtów) powoduje wystąpienie timeout-u i powrót stanu urządzenia Slave do pozycji wyjściowej (STATUS_IDLE) i oczekiwanie na sygnał RESET.

Uważny Czytelnik zastanowi się z pewnością, dlaczego rozkazy CMD_CONVERT_T i CMD_READ_SCRATCHPAD nie są obsługiwane od razu po detekcji sygnału RESET i wysłaniu sygnału PRESENCE (listing 5). Otóż nie jest to możliwe, gdyż wykonanie tych rozkazów wymaga wcześniejszej adresacji układu

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

Listing 4. Część algorytmu programu obsługi odpowiedzialna za detekcję sygnału RESET i wygenerowanie sygnału PRESENCE

```
//Gotowy na sygnał Reset – stan wyjściowy
case STATUS_IDLE:
//Sprawdzamy długość sygnału niskiego oczekując sygnału Reset
    RESET_TIMER;
    START_TIMER;
    while(!ONE_WIRE_READ);
    STOP_TIMER;
    if(TCNT0 >= RESET_PULSE_MIN) {
        //Wysyłamy sygnał Presence
        delay_us(15);
        ONE_WIRE_CLEAR;
        _delay_us(PRESENCE_PULSE);
        ONE_WIRE_RELEASE;
        //Przygotowanie zmiennych i zmiana statusu
        bitNr = Byte = 0;
        Status = STATUS_WAITING_FOR_CMD;
        //Uruchomienie Timera0 jako układu
        //odmierzającego timeout
        setTimeout(TIMEOUT_2MS);
    }
break;
```

Listing 5. Część algorytmu programu obsługi odpowiedzialna za odbiór komendy sterującej

```
//Gotowy na przyjęcie rozkazu – po wyemitowaniu sygnału Presence
case STATUS_WAITING_FOR_CMD:
    //Czekamy 30us aż znajdziemy się w środku
    //przedziału czasu na emisję bitu
    _delay_us(SLAVE_SAMPLE_TIME);
    //Odczyt bitu
    if(ONE_WIRE_READ) Byte |= (1<<bitNr);
    //Jeśli mamy kompletny bajt rozkazu to sprawdzamy
    // jaki to rozkaz i decydujemy o dalszym toku programu
    if(++bitNr == 8) {
        switch(Byte){
            case CMD_SEARCH_ROM:
                Status = STATUS_SEARCH_ROM_ACTIVE;
                //Uruchomienie Timera0
                //jako układu odmierzającego timeout
                setTimeout(TIMEOUT_15MS);
            break;

            case CMD_READ_ROM:
                Status = STATUS_READ_ROM_ACTIVE;
                //Uruchomienie Timera0
                //jako układu odmierzającego timeout
                setTimeout(TIMEOUT_5MS);
            break;

            case CMD_MATCH_ROM:
                Status = STATUS_MATCH_ROM_ACTIVE;
                //Wyzerowanie bufora danych
                for(uint8_t i = 0; i<8; i++) Buffer[i] = 0;
                //Uruchomienie Timera0
                //jako układu odmierzającego timeout
                setTimeout(TIMEOUT_5MS);
            break;

            case CMD_SKIP_ROM:
                Status = STATUS_SLAVE_SELECTED;
                //Uruchomienie Timera0
                //jako układu odmierzającego timeout
                setTimeout(TIMEOUT_2MS);
            break;

            default:
                //Nieobsługiwany rozkaz
                //wracamy do stanu wyjściowego
                Status = STATUS_IDLE;
                STOP_TIMER;
            break;
        }
        bitNr = byteNr = searchNr = Byte = 0;
    }
break;
```

Listing 6. Część algorytmu programu obsługi odpowiedzialna za realizację funkcji READ_ROM

```
//Jesteśmy w trybie STATUS_READ_ROM_ACTIVE,
//czyli odczytywania numeru ID przez układ Master
case STATUS_READ_ROM_ACTIVE:
    //Czekamy na zwolnienie magistrali przez Mastera
    //aby nie liczyć tego samego bitu jako kolejnego
    while(!ONE_WIRE_READ);
    //Wysyłamy kolejny bit adresu układu Slave.
    //Jeśli bit=0 to przedłużamy stan niski
    if(!(ID[byteNr] & (1<<bitNr))) {
        ONE_WIRE_CLEAR;
        _delay_us(SLAVE_ZERO_TIME);
        ONE_WIRE_RELEASE;
    }

    //Jeśli wysłaliśmy kompletny bajt adresu
    //to przechodzimy do kolejnego
    if(++bitNr == 8) {
        bitNr = 0;
        //Sprawdzamy, czy wysłaliśmy wszystkie bajty adresu.
        //Jeśli tak to przechodzimy do stanu spoczynkowego.
        if(++byteNr == 8) {
            Status = STATUS_IDLE;
            STOP_TIMER;
        }
    }
break;
```


eprasa.pl 0667ee155a

Slave dokonywanej dzięki obsłudze rozkazów CMD_SKIP_ROM i CMD_MATCH_ROM. Na **listingu 10** pokazano fragment algorytmu programu obsługi odpowiedzialny za realizację funkcji READ_SCRATCHPAD. Na koniec tej tematyki wspomniana wcześniej funkcja obsługi przerwania od przepełnienia licznika Timer0 niezbędna z punktu widzenia odmierzania tzw. czasu timeout, której to ciało pokazano na **listingu 11**.

Listing 7. Część algorytmu programu obsługi odpowiedzialna za realizację funkcji MATCH_ROM

```
//Jesteśmy w trybie STATUS_MATCH_ROM_ACTIVE,
//czyli wysyłania przez układ Master numeru ID by zaadresować naszego Slave-a
case STATUS_MATCH_ROM_ACTIVE:

    //Czekamy 30us aż znajdziemy się
    //w środku przedziału czasu na emisję bitu
    _delay_us(SLAVE_SAMPLE_TIME);
    //Odczyt bitu
    if(ONE_WIRE_READ) Buffer[byteNr] |= (1<<bitNr);

    //Jeśli mamy kompletny bajt adresu
    // to przechodzimy do kolejnego
    if(++bitNr == 8)
        bitNr = 0;
        //Sprawdzamy, czy odebraliśmy
        //kompletny numer ID.
        if(++byteNr == 8){
            //Odebraliśmy kompletny numer ID,
            //więc porównujemy go z naszym i
            //podejmujemy decyzję o dalszym toku programu
            Byte = 0;
            for(uint8_t i = 0; i<8; i++) if(Buffer[i] != ID[i]) Byte = 1;
            if(Byte) {
                Status = STATUS_IDLE;
                STOP_TIMER;
            } else {
                Status = STATUS_SLAVE_SELECTED;
                //Uruchomienie Timera0
                //jako układu odmierzającego timeout
                setTimeout(TIMEOUT_2MS);
                //Przygotowanie zmiennych
                bitNr = byteNr = Byte = 0;
            }
        }
    }
break;
```

Listing 8. Część algorytmu programu obsługi odpowiedzialna za realizację funkcji SEARCH_ROM

```
//Jesteśmy w trybie STATUS_SEARCH_ROM_ACTIVE,
//czyli wyszukiwania przez układ Master numeru ID
case STATUS_SEARCH_ROM_ACTIVE:

    //Dla każdego bitu przeprowadzamy 3 operacje
    switch(searchNr) {
        case SEARCH_SEND_BYTE:
            //Wysyłamy bit adresu układu Slave.
            //Jeśli bit=0 to przedłużamy stan niski
            if(!(ID[byteNr] & (1<<bitNr))) {
                ONE_WIRE_CLEAR;
                _delay_us(SLAVE_ZERO_TIME);
                ONE_WIRE_RELEASE;
            }
        break;

        case SEARCH_SEND_NEGATED_BYTE:
            //Wysyłamy zanegowany bit adresu układu Slave.
            //Jeśli bit=1 to przedłużamy stan niski
            if(ID[byteNr] & (1<<bitNr)) {
                ONE_WIRE_CLEAR;
                _delay_us(SLAVE_ZERO_TIME);
                ONE_WIRE_RELEASE;
            }
        break;

        case SEARCH_COMPARE_BYTE:
            //Układ Master przesyła w odpowiedzi bit
            //a Slave porównuje ze swoim bitem w tym miejscu
            //Jeśli się zgadza to proces idzie dalej
            //a jeśli nie to Slave się resetuje i czeka na sygnał Reset
            _delay_us(SLAVE_SAMPLE_TIME);
            //Odczyt bitu i porównanie z przesyłanym wcześniej
            if(ONE_WIRE_READ != ((ID[byteNr] & (1<<bitNr))>>bitNr)) {
                Status = STATUS_IDLE;
                STOP_TIMER;
            }
        break;
    }

    //Sprawdzamy, czy wszystkie 3 operacje wykonano dla bieżącego bitu
    if(++searchNr > SEARCH_COMPARE_BYTE) {
        searchNr = SEARCH_SEND_BYTE;

        //Jeśli przesłaliśmy kompletny bajt adresu
        //to przechodzimy do kolejnego
        if(++bitNr == 8) {
            bitNr = 0;
            //Sprawdzamy, czy przesłaliśmy
            //kompletny numer ID.
            if(++byteNr == 8) {
                Status = STATUS_IDLE;
                STOP_TIMER;
            }
        }
    }
break;
```

Kilka niezbędnych słów uwagi wymaga tematyka czasu latencji procedury obsługi przerwania INT0 realizującej obsługę interfejsu 1-Wire, które to zagadnienie jest szczególnie istotne w przypadku wysyłania danych przez układ Slave. Jak wiemy odczyt danych przez układ Master inicjowany jest poprzez wygenerowanie opadającego zbocza sygnału (ściągnięcie magistrali do logicznego „0") przez czas z zakresu 1…5 µs. Po wystąpieniu takiego zbocza sygnału układ Slave wystawia na magistralę bieżący bit danych a układ Master dokonuje jego odczytu, przy czym czas od wystąpienia opadającego zbocza sygnału do operacji odczytu nie może przekroczyć 15 µs. Zwykle implementuje się, że układ Master dokonuje odczytu przesłanego bitu na końcu okna odczytu, czyli po ok. 15 µs od wystąpienia opadającego zbocza sygnału. Jest to dla nas o tyle istotne, że procedura obsługi przerwania INT0 musi zostać napisana w taki sposób, aby zapewnić wystawienie bitu na magistralę w nieprzekraczalnym czasie, o którym wspomniałem powyżej a najlepiej jak najszybciej po zwolnieniu magistrali przez układ Master (po ustąpieniu ściągnięcia magistrali).

Jak wiemy standardowy czas latencji od wystąpienie przerwania do skoku do wektora przerwania dla mikrokontrolerów AVR wynosi 4 takty zegara taktującego, a więc bardzo mało. W takim razie to nie stanowi potencjalnego problemu przy taktowaniu zegarem o częstotliwości 8 MHz. Jest jednak małe, acz istotne „ale". Skok do wektora przerwania nie jest równoznaczny z natychmiastową reakcją programu obsługi przerwania na zainicjowany proces odczytu. Zanim program przejdzie do tego miejsca wykonywanych jest szereg innych instrukcji, których obecność wynika z pracy kompilatora, który dba o integralność rejestrów procesora używanych w procedurze obsługi przerwania tak, aby ich wartości po wyjściu z tejże procedury pozostały niezmienione (odkłada je na stos). Co więcej, na liczbę tych niezbędnych operacji nie mamy większego wpływu, gdyż piszemy w języku wysokiego poziomu, a co za tym idzie, ten aspekt programowania pozostawiamy kompilatorowi. Na szczęście możemy podejrzeć plik deasemblacji (*.lss) i przekonać się, jak wygląda wygenerowany kod maszynowy co jednocześnie pozwala ocenić czas wykonania poszczególnych partii programu. Innym sposobem jest wykorzystanie wbudowanego w środowisko programistyczne symulatora.

Właśnie użycie pierwszej z możliwości pozwoliło mi ocenić czas odpowiedzi naszego urządzenia na żądanie odczytu przesłane przez układ Master, który w przybliżeniu wynosi 50 taktów zegara, czyli w granicach 6,25 µs. Potwierdziłem to również w symulatorze środowiska Microchip Studio. Jest to wartość w zupełności akceptowalna i pozwalająca zmieścić się w 15 µs oknie odczytu urządzenia

eprasa.pl 0667ee155a

Master. W przypadku zapisu do układu Slave latencja nie jest aż tak krytycznym elementem, gdyż odczyt stanu magistrali dokonywany przez układ podrzędny zachodzi dopiero po upłynięciu czasu 30 µs od wystąpienia opadającego zbocza sygnału. Niemniej jednak nawet w tym wypadku, jak i w ogóle w przypadku implementacji funkcji ISR, ważny jest sumaryczny, maksymalny czas obsługi zdarzenia (czyli od wejścia do wyjścia z funkcji ISR), który nie może przekroczyć wartości 60 µs, czyli czasu trwania pojedynczego bitu (gdyż z takim interwałem będzie wywoływane przerwanie INT0).

Przeprowadzone testy praktyczne potwierdzone wcześniejszą symulacją w środowisku Microchip Studio wykazały, że maksymalny czas obsługi zdarzenia wynosi około 51 µs, a więc całkiem sporo. Wynika to poniekąd z czasu oczekiwania (30 µs) na odczyt stanu magistrali dokonywany przez układ podrzędny (w przypadku zapisu przez układ Master) i jest pokłosiem przyjętego rozwiązania programowego implementacji magistrali 1-Wire w wersji Slave. Czas ten można byłoby wydatnie skrócić poprzez zrezygnowanie z oczekiwania wspomnianych 30 µs, lecz wymagałoby to wykorzystania dodatkowego timera (oraz przerwania od jego przepełnienia) oraz gruntownej modyfikacji i komplikacji kodu obsługi wszystkich przerwań, co z pewnością odbiłoby się na wielkości kodu wynikowego aplikacji. Nie zdecydowałem się na ten krok, gdyż zachowujemy odpowiedni margines bezpieczeństwa a jedyne zmiany, jakie postanowiłem wprowadzić to skrócenie czasu oczekiwania na odczyt stanu magistrali dokonywany przez układ podrzędny do wartości 25 µs (opcjonalnie można ustawić 20 µs), przez co sumaryczny, maksymalny (dla najgorszego przypadku) czas obsługi przerwania INT0 wynosi 46 µs. Jest to wartość w pełni bezpieczna. Co prawda podczas obsługi transmisji 1-Wire pozostaje wyłącznie około 24% czasu procesora na wykonywanie innych zadań (np. w pętli głównej), ale nasze urządzenie w zasadzie żadnych innych zadań nie wykonuje, gdyż pomiar temperatury inicjowany jest tylko i wyłącznie rozkazem przesłanym magistralą przez co w czasie pomiaru nie odbywa się żaden „ruch" w ramach tego medium.

Poza tym pomiar dokonywany przy udziale przetwornika ADC nie koliduje w żaden sposób z implementacją magistrali 1-Wire. Niemniej jednak Czytelnicy, którzy chcieliby samodzielnie zastosować omówione

Listing 11. Funkcja obsługi przerwania od przepełnienia licznika Timer0 odpowiedzialna za obsługę timeout-ów

```
ISR(TIM0_OVF_vect) {
    Status = STATUS_IDLE;
    STOP_TIMER;
}
```

Listing 9. Część algorytmu programu obsługi odpowiedzialna za odbiór bajta realizowanej funkcjonalności

```
//Jesteśmy w trybie STATUS_SLAVE_SELECTED,
//czyli nasz Slave został zaadresowany poleceniem MATCH_ROM lub
//wybrany poprzez polecenie SKIP_ROM. W takim wypadku oczekujemy
//na rozkaz dotyczący wykonywanej operacji
case STATUS_SLAVE_SELECTED:
//Czekamy 30us aż znajdziemy się w środku przedziału czasu na emisję bitu
    _delay_us(SLAVE_SAMPLE_TIME);
    //Odczyt bitu
    if(ONE_WIRE_READ) Byte |= (1<<bitNr);

    //Jeśli mamy kompletny rozkaz to przechodzimy
    // do kolejnego etapu programu
    if(++bitNr == 8) {
        switch(Byte) {
            case CMD_CONVERT_T:
                //Żądanie pomiaru temperatury
                measureTemp = 1;
                Status = STATUS_IDLE;
                STOP_TIMER;
            break;

            case CMD_READ_SCRATCHPAD:
                Status = STATUS_READ_SCRATCHPAD_ACTIVE;
                //Uruchomienie Timera0
                //jako układu odmierzającego timeout
                setTimeout(TIMEOUT_5MS);
                //Przygotowanie zmiennych
                bitNr = byteNr = 0;
            break;

            default:
                //Nieobsługiwany rozkaz
                //wracamy do stanu wyjściowego
                Status = STATUS_IDLE;
                STOP_TIMER;
            break;
        }
    }
break;
```

Listing 10. Część algorytmu programu obsługi odpowiedzialna za realizację funkcji READ_SCRATCHPAD

```
//Jesteśmy w trybie STATUS_READ_SCRATCHPAD_ACTIVE,
//czyli układ Master będzie czytał zawartość scratchpad-a.
//Maksymalnie 9 bajtów.
case STATUS_READ_SCRATCHPAD_ACTIVE:
    //Czekamy na zwolnienie magistrali przez Mastera
    //aby nie liczyć tego samego bitu jako kolejnego
    while(!ONE_WIRE_READ);
    //Wysyłamy kolejny bit scratchpad-a układu Slave.
    //Jeśli bit=0 to przedłużamy stan niski
    if(!(Scratchpad[byteNr] & (1<<bitNr))) {
        ONE_WIRE_CLEAR;
        _delay_us(SLAVE_ZERO_TIME);
        ONE_WIRE_RELEASE;
    }

    //Jeśli wysłaliśmy kompletny bajt scratchpad-a
    //to przechodzimy do kolejnego
    if(++bitNr == 8) {
        bitNr = 0;
        //Sprawdzamy, czy wysłaliśmy wszystkie bajty scratchpad-a.
        //Jeśli tak to przechodzimy do stanu spoczynkowego.
        if(++byteNr == 9) {
            Status = STATUS_IDLE;
            STOP_TIMER;
        }
    }
break;
```

Listing 12. Funkcja odpowiedzialna za pomiar temperatury układu TC1047A

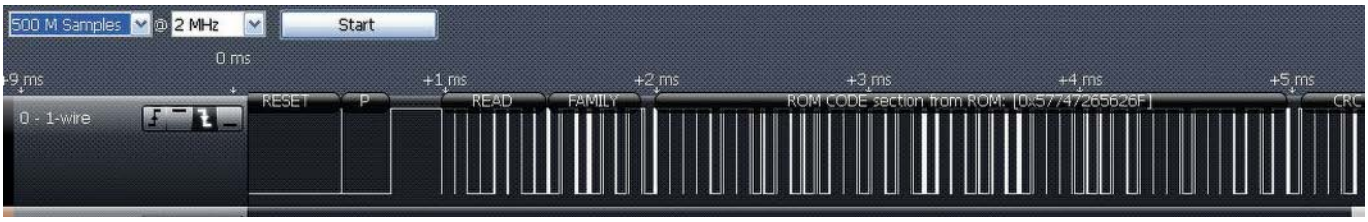
```
void readADC(void) {
    int16_t Temperature;
    uint8_t Sign, CRC8 =0;
    //Start konwersji – Prescaler= 64 (125kHz)
    ADCSRA = (1<<ADEN)|(1<<ADSC)|(1<<ADPS2)|(1<<ADPS1);
    //Czekamy na jej zakończenie – 120us
    while(ADCSRA & (1<<ADSC));

    //Przeliczenie na zakres -80...250 (jednostka 0.5'C)
    Temperature = -100 + ((ADC * (int32_t) 3418) / (int32_t) 10000);
    if(Temperature < 0) Sign = 0xFF; else Sign = 0x00;
    Temperature &= 0xFF;

    //Obliczamy CRC8 z pierwszych 8 bajtów
    //Aktualizacja CRC8
    _crc_ibutton_update(CRC8, Temperature);
    //Aktualizacja CRC8
    _crc_ibutton_update(CRC8, Sign);
    //Aktualizacja CRC8
    for(uint8_t i = 2; i<8; i++)
        CRC8 = _crc_ibutton_update(CRC8, Scratchpad[i]);

    //Atomowa aktualizacja scratchpad-a
    ATOMIC_BLOCK(ATOMIC_RESTORESTATE) {
        Scratchpad[0] = Temperature;
        Scratchpad[1] = Sign;
        Scratchpad[8] = CRC8;
    }
}
```


eprasa.pl 0667ee155a



Rysunek 8. Rzeczywiste przebiegi sygnałów sterujących magistrali 1-Wire dla przypadku rozkazu READ_ROM wysłanego do naszego urządzenia DS18SW20

```
Listing 13. Funkcja odpowiedzialna za odczyt adresu ID układu Slave z pamięci EEPROM
mikrokontrolera

void readID(void) {
    uint8_t CRC8 = 0;
    //Sprawdzamy czy w EEPROMie zapisano unikalny numer ID.
    //Jeśli tak, to czytamy zamiast domyślnego.
    if(eeprom_read_byte(&IDEE[0]) != 0xFF)
        eeprom_read_block((uint8_t *) ID, IDEE, 8);
    //Obliczamy CRC8 umieszczony w 8. bajcie
    for(uint8_t i = 0; i<7; i++)
        //Aktualizacja CRC8
        CRC8 = _crc_ibutton_update(CRC8, ID[i]);
    ID[7] = CRC8;
}
```

Tabela 1. Pseudokod funkcji obsługujących urządzenie DS18SW20

Rodzaj operacji	Pseudokod
Sekwencja konwersji temperatury dla wybranego układu Slave	RESET MATCH_ROM Przesłanie 8 bajtów adresu CONVERT_T
Sekwencja odczytu Scratchpad-a dla wybranego układu Slave	RESET MATCH_ROM Przesłanie 8 bajtów adresu READ_SCRATCHPAD Odczytanie (do) 9 bajtów scratchpad-a
Sekwencja konwersji temperatury dla dowolnego układu Slave	RESET SKIP_ROM CONVERT_T
Sekwencja odczytu Scratchpad-a dla dowolnego układu Slave	RESET SKIP_ROM READ_SCRATCHPAD Odczytanie (do) 9 bajtów scratchpad-a
Sekwencja odczytu numeru seryjnego jedynego układu Slave	RESET READ_ROM Odczytanie 8 bajtów adresu
Sekwencja dla mechanizmu wyszukiwania adresów układów Slave	RESET SEARCH_ROM Start mechanizmu wyszukiwania adresów

rozwiązania w swoim oprogramowaniu muszą te kwestie szczegółowo przeanalizować nawet wtedy, gdy zdecydują się na zwiększenie częstotliwości taktowania mikrokontrolera, co samo w sobie minimalizuje ryzyko potencjalnych problemów będąc tak naprawdę rozwiązaniem najprostszym, lecz nie pozbawionym wad. Główną wadą takiej solucji jest wydatne zwiększenie zapotrzebowania na moc co niejednokrotnie nie jest pożądane.

Uff, tyle w kwestii implementacji magistrali 1-Wire w wersji Slave i emulacji termometru DS1820. Wiem, że było to dość długie opracowanie, ale moim zdaniem bardzo wartościowe z punktu widzenia poznania zasad działania tego medium transmisyjnego i zastosowania go do swoich potrzeb. Już na sam koniec 2 funkcje niezwiązane bezpośrednio z samą realizacją obsługi magistrali 1-Wire, ale niezbędne do emulacji układu DS1820. Pierwsza z nich to funkcja dokonująca pomiaru napięcia przetwornika TC1047A i konwertująca otrzymane dane na format temperatury zgodny ze specyfikacją układu DS1820 a następnie zapisująca je w pamięci Scratchpad. Ciało tej funkcji pokazano na **listingu 12**. Dla dociekliwych dodam, że pomiar napięcia przetwornika ADC, jego konwersja na temperaturę w standardzie układu DS1820, obliczenie CRC8 i aktualizacja scratchpad-a zajmuje ok. 270 µs, więc dokładnie tyle potrzeba aby po wysłaniu rozkazu CONVERT_T przystąpić do odczytu scratchpad-a, zapominając o magicznych 750 ms, jakie potrzebował układ DS1820 na konwersję temperatury. Druga i zarazem ostatnia funkcja to funkcja odpowiedzialna za odczyt adresu ID układu Slave z pamięci EEPROM mikrokontrolera (jeśli został tam zapisany) lub pozostanie przy adresie domyślnym utworzonym podczas definicji tablicy ID. Ciało tej funkcji pokazano na **listingu 13**. Fakt istnienia indywidualnego (zamiast domyślnego) adresu urządzenia w pamięci EEPROM oceniany jest na podstawie wartości pierwszego bajta pamięci EEPROM. Jeśli jest on różny od wartości 0xFF to przyjmuje się, że użytkownik wpisał swój własny numer do pamięci EEPROM, w przeciwnym wypadku pozostawiany jest numer domyślny (inicjowany na wstępie programu obsługi aplikacji). Powyższa funkcja oblicza ponadto wartość ósmego bajta adresu, który to za każdym razem powinien być sumą CRC8. Ustalenie adresu urządzenia dokonywane jest jednorazowo na początku programu obsługi aplikacji.

Na koniec, w **tabeli 1**, pokażę pseudokod funkcji obsługujących nasze urządzenie DS18SW20 (uruchamiany po stronie układu Master). Jak widać, programowa realizacja układu DS1820 jak i interfejsu 1-Wire jest niezmiernie prosta i zarazem bardzo ciekawa i skłania do stosowania tego interesującego interfejsu komunikacyjnego we własnych zastosowaniach czego przykładem niech będą chociażby dwa z moich wcześniejszych projektów zrealizowane w tamtym czasie przy użyciu pakietu Bascom: c-button (kopiarka pastylek DS1990, EP 2/2009) oraz 1-Wire LED (4 segmentowy, 3-kolorowy wyświetlacz LED wyposażony w sprzęg 1-Wire, EP 04/2011). Jako ciekawostkę, na **rysunku 8** pokazano rzeczywiste przebiegi sygnałów sterujących magistrali 1-Wire dla przypadku rozkazu READ_ROM wysłanego do naszego urządzenia DS18SW20.

Robert Wołgajew, EP

REKLAMA

www.ep.com.pl/EPwtoku

eprasa.pl 0667ee155a

AVT sklep

Podstawowe parametry:
- dokładność przetwarzania: ±3°C i poprawia się wraz z ograniczeniem zakresu pomiaru,
- dwa czujniki: pierwszy wbudowany w układ, jako drugi, zewnętrzny czujnik może posłużyć dioda lub tranzystor NPN/PNP,
- przetworzone wartości temperatury dostępne są w postaci liczb 11-bitowych ze znakiem, poprzez interfejs I²C,
- sygnalizowanie osiągnięcia temperatury krytycznej lub progów alarmowych na odpowiednich wyjściach,
- Układ wymaga zasilania 3,0...3,6 V, prąd poniżej 1 mA.

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

----	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)
----	Ekspander wyświetlacza LCD 2×16 z I²C i podświetleniem RGB (EP 7/2022)
----	Ekspander IO z układem PCA9531 (EP 4/2022)
----	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)
AVT5894	Ośmiokanałowy multiplekser magistrali I²C (EP 10/2021)

* **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.

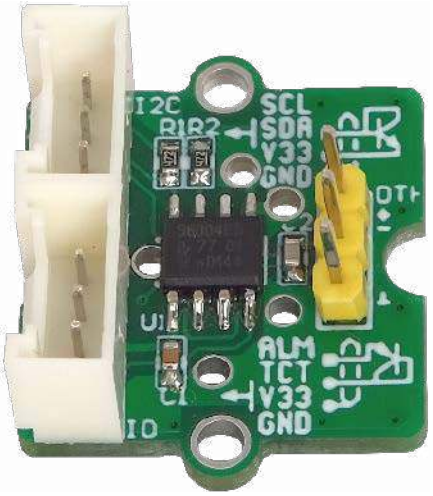
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- **wersja [A+]** – płytka drukowana **[A]** + zaprogramowany układ **[UK]** i dokumentacja,
- **wersja [UK]** – zaprogramowany układ.

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**.

Dwukanałowy czujnik temperatury z interfejsem I²C

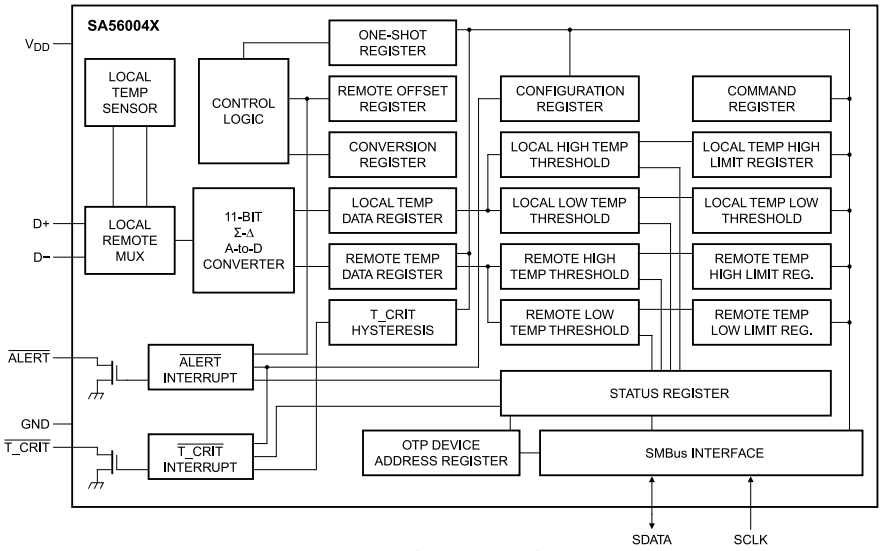
Pomiar temperatury jest jednym z najczęściej wykonywanych pomiarów przez aparaturę elektroniczną. Temperatura elementów półprzewodnikowych, ma krytyczny wpływ na ich niezawodność, stąd w ofertach producentów znajdziemy sporo elementów służących do monitorowania temperatury otoczenia jak i samych struktur w układach SoC, FPGA lub DSP. Zaprezentowany moduł monitoruje dwie temperatury, jedna mierzona jest przez przetwornik wbudowany w sam układ, druga mierzona jest przy pomocy przetwornika zewnętrznego.



Moduł bazuje na układzie SA56004, którego budowę wewnętrzną pokazano na **rysunku 1**. W swojej strukturze integruje on sensor temperatury, interfejs czujnika zewnętrznego, układ przetwornika ADC, komparatory progowe stanów alarmowych oraz układ komunikacji I²C. Dokładność przetwarzania wynosi w najgorszym przypadku ±3°C i poprawia się wraz z ograniczeniem zakresu pomiaru. Jako czujnik zewnętrzny może posłużyć złącze diodowe wbudowane w strukturę półprzewodnikową lub dyskretny tranzystor NPN/PNP. Przetworzone wartości temperatury dostępne są w postaci liczb 11-bitowych ze znakiem, poprzez rejestry i interfejs I²C. Wbudowane komparatory pozwalają na sygnalizowanie osiągnięcia temperatury krytycznej poprzez zmianę stanu wyjścia !T_CRIT lub progów alarmowych Low/High na wyjściu !ALERT. Wartości progów ustalane są programowo w odpowiednich rejestrach konfiguracyjnych i pozwalają na sprzętowe sterowanie elementami chłodzącymi.

Budowa i działanie

Aplikacja SA56004 jest bardzo prosta, schemat modułu zaprezentowano na **rysunku 2**. Oprócz układu U1, moduł zawiera



Rysunek 1. Schemat wewnętrzny SA567004 (za notą NXP)

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

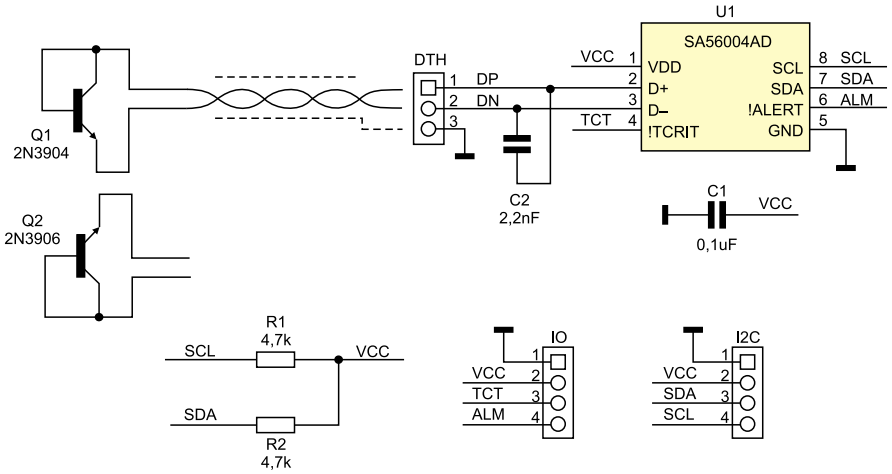
Rezystory:
R1, R2: 4,7 kΩ (SMD0603)

Kondensatory:
C1: 0,1 µF 10 V (SMD0603)
C2: 2,2 nF 10 V (SMD0603)

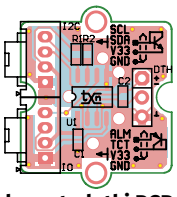
Półprzewodniki:
Q1: 2N3904 (TO-92B)
U1: SA56004AD (SO8)

Pozostałe:
DTH: złącze SIP3 męskie

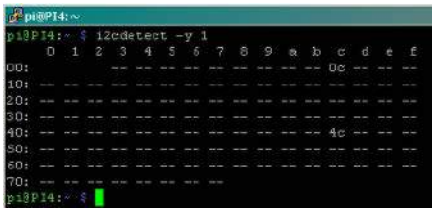
eprasa.pl 0667ee155a



Rysunek 2. Schemat dwukanałowego czujnika temperatury



Rysunek 3. Schemat płytki PCB



Rysunek 4. Sprawdzenie gotowości układu przy pomocy i2ctools

złącze czujnika temperatury zewnętrznej DTH, złącze magistrali I²C oraz złącze wyjść alarmowych IO, oba w standardzie Grove. Jako czujnik zewnętrzny zastosowano tranzystor w obudowie TO92 typu 2N3904 (NPN) lub 2N3906 (PNP) połączony w diodę poprzez zwarcie wyprowadzeń B-C. Podłączenie tranzystora do złącza DTH wykonane jest skręconą parą w ekranie dla podniesienia odporności na zakłócenia.

Złącze I²C doprowadza zasilanie i magistralę komunikacyjną, rezystory R1, R2 zapewniają jej polaryzację. Układ wymaga zasilania 3,0...3,6 V, pobierany prąd zależy od ustawionej częstotliwości przetwarzania i nie przekracza 1 mA.

Montaż i uruchomienie

Moduł zmontowany jest na miniaturowej dwustronnej płytce drukowanej, której schemat został pokazany na **rysunku 3**. Sposób montażu jest klasyczny i nie wymaga szczegółowego opisu. Dla szybkiego sprawdzenia działania moduł można podłączyć do magistrali I²C komputerka Raspberry Pi i wtedy, przy pomocy biblioteki i2ctools można sprawdzić gotowość modułu za pomocą polecenia:

```
i2cdetect -y 1
```

Efekt powinien być taki, jak pokazano na **rysunku 4**.

Adres układu może być zmieniony poprzez zastosowanie innej wersji układu (SA56004**xx**), w modelu był SA56004**ED** o adresie bazowym 0x4C. Pozostałe wykonania umożliwiają wybór adresacji w zakresie 0x48...0x4F, która pozwala zastosować do ośmiu czujników na jednej magistrali I²C.

Komunikacja i konfiguracja

Dostęp do rejestrów SA56004 odbywa się zgodnie z opisem zawartym w **tabeli 1**. Pierwszym rejestrem, który należy odczytać dla sprawdzenia poprawności działania, jest rejestr RMID, który zawiera identyfikatora układu. Odczyt wykonujemy poleceniem:

```
i2cget – y 1 0x4C 0XFE
```

W odpowiedzi powinna zostać zwrócona wartość 0xA1.

Po restarcie układu, rejestry ładowane są wstępną konfiguracją. Rejestry temperatury lokalnej ustawione są na 0°C (LTHB=LTLB=00h), podobnie jak rejestry temperatury zdalnej (RTHB=RTLB=00h), rejestr statusu SR=00h, rejestr konfiguracji CON=00h, skasowane są flagi przerwań i wyłączone drivery pinów alarmowych !T_CRIT, !ALERT, progi temperatur T_CRIT lokalna i zdalna ustawione są na LCS=RCS=85°C, górne punkty temperatury ustawione są na LHS=RHSHB=70°C, dolne progi LLS=RLSHB=0°C, szybkość konwersji CR=08h, czyli 16 konwersji/s.

Wartości temperatur odczytujemy poprzez rejestry LTHB/ATLB dla czujnika wbudowanego w SA56004 oraz RTHB/RTLB dla czujnika zewnętrznego. Temperatura

Tabela 1. Zestawienie rejestrów SA56004

Lp.	Rejestr	Adres R	Adres W	POR	Funkcja	Ilość bitów	Tryb
1	LTHB	00h	-	00h	local temperature high byte	8	R
2	RTHB	01h	-	00h	remote temperature high byte	8	R
3	SR	02h	-	00h	status register	8	R
4	CON	03h	09h	00h	configuration register	8	R/W
5	CR	04h	0Ah	08h	conversion rate	4	R/W
6	LHS	05h	0Bh	46h	local high setpoint	8	R/W
7	LLS	06h	0Ch	00h	local low setpoint	8	R/W
8	RHSHB	07h	0Dh	46h	remote high setpoint high byte	8	R/W
9	RLSHB	08h	0Eh	00h	remote low setpoint high byte	8	R/W
10	One	Shot	-	0Fh	writing register initiates one-shot conversion	0	W
11	RTLB	10h	-	00h	remote temperature low byte	6 MSB	R
12	RTOHB	11h	11h	00h	remote temperature offset high byte	8	R/W
13	RTOLB	12h	12h	00h	remote temperature offset low byte	3 MSB	R/W
14	RHSLB	13h	13h	00h	remote high setpoint low byte	3 MSB	R/W
15	RLSLB	14h	14h	00h	remote low setpoint low byte	3 MSB	R/W
16	RCS	19h	19h	55h	remote T_CRIT setpoint	8	R/W
17	LCS	20h	20h	55h	local T_CRIT setpoint	8	R/W
18	TH	21h	21h	0Ah	T_CRIT hysteresis	5	R/W
19	ATLB	22h	-	00h	local temperature low byte	3 MSB	R
20	AM	BFh	BFh	00h	Alert mode	1	R/W
21	RMID	FEh	-	A1h	read manufacturer's ID	8	R
22	RDR	FFh	-	00h	read stepping or die revision	8	R

Tabela 2. Znaczenie bitów rejestrów temperatur

	Rejestr RTHB/LTHB								Rejestr RTLB/LTLB			
Bit	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	D7	D6	D5	D4...D0
Wartość	znak	64	32	16	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0

eprasa.pl 0667ee155a

Tabela 3. Znaczenie bitów rejestru CON

Bit	Oznaczenie	Opis
7	ALERT	Aktywacja alarmu ALERT=0
6	!RUN/STOP	Ustawienie trybu pracy Standby/Run. Tryb aktywny RUN=0
5	-	Stan 0
4	Remote !T_CRIT	Aktywacja alarmu czujnika zdalnego T_CRIT=0
3	-	Stan 0
2	Local !T_CRIT	Aktywacja alarmu czujnika lokalnego T_CRIT=0
1	-	Stan 0
0	Fault	Liczba przekroczeń ustawionych progów wyzwalająca alarmy: 0 = 1 przekroczenie, 1 = 3 przekroczenia

Tabela 4. Znaczenie bitów rejestru SR

Bit	Oznaczenie	Opis
7	BUSY	BUSY=1, konwersja w trakcie
6	LHIGH	LHIGH=1, alarm HIGH temperatury lokalnej
5	LLOW	LLOW=1, alarm LOW temperatury lokalnej
4	RHIGH	RHIGH=1, alarm HIGH temperatury zdalnej
3	RLOW	RLOW=1, alarm LOW temperatury zdalnej
2	OPEN	OPEN=1, rozwarcie czujnika temperatury zdalnej
1	RCRIT	RCRIT=1, alarm CRIT czujnika temperatury zdalnej
0	LCRIT	LCRIT=1, alarm CRIT czujnika temperatury lokalnej

Tabela 5. Ustawienie częstotliwości konwersji CR

Częstotliwość [Hz]	0,06	0,12	0,25	0,5	1	2	4	8	16	32
Wartość	00h	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h	09h

reprezentowana jest w postaci liczby 11-bitowej ze znakiem, znaczenie poszczególnych bitów rejestrów pokazano w **tabeli 2**. W celu odczytu temperatur należy wykonać następujące polecenia dla temperatury czujnika wbudowanego:

```
i2cget -y 1 0x4c 0x00
i2cget -y 1 0x4c 0x22
```

i czujnika zdalnego:

```
i2cget -y 1 0x4c 0x01
i2cget -y 1 0x4c 0x11
```

Przykładowe odczyty zwróciły odpowiednio: 0x12/0xA0 i 0x13/0x00, co po przeliczeniu daje temperatury 18,625°C i 19°C. Czujnik zewnętrzny może zostać skalibrowany poprzez dodanie stałej wartości przesunięcia temperatury zapisanej w rejestrach RTOHB/RTOLB ze znaczeniem bitów jak w rejestrach temperatur w tabeli 2.

W rejestrze konfiguracji CON określamy tryb pracy układu oraz aktywność alarmów temperatury, znaczenie bitów pokazano w **tabeli 3**. W przypadku rejestru CON należy zwrócić uwagę na różne adresy zapisu i odczytu. W rejestrze statusu SR, możemy sprawdzić stan konwersji oraz flagi alarmów i usterki zgodnie z **tabelą 4**. Odczytując rejestr SR przy odłączonym czujniku zdalnym:

```
i2cget -y 1 0x4c 0x02
```

otrzymujemy sygnalizację rozwarcia czujnika zewnętrznego – ustawieniem bitu 2 OPEN=1 wraz z jednoczesnym wyzwoleniem alarmów RCRIT=1, RHIGH=1. Ustawianie częstotliwości konwersji odbywa się poprzez zapis rejestru CR zgodnie z **tabelą 5**. Omówione zostały tylko informacje niezbędne do sprawdzenia działania układu. Bardziej szczegółowy opis rejestrów umożliwiających użycie wszystkich możliwości SA56004 zawarty jest w karcie katalogowej.

Adam Tatuś, EP

AVT sklep

Podstawowe parametry:
- realizuje transmisję szeregową UART w paśmie ISM 868 MHz z modulacją LoRa,
- jest radiowym odpowiednikiem konwerterów UART/USB FTDI,
- moduł jest wyposażony w gniazdo antenowe uFL do bezpośredniego podłączenia anteny o impedancji 50 Ω,
- zapewnia zgodność z podstawką XBee.

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

–––	Radiowy port szeregowy z modułem Thyone-I (EP 10/2020)
AVT5754	Moduł XBee Bluetooth BLE4.1 EP 3/2020)
AVT5513	Moduły do komunikacji szeregowej Xbee dla Raspberry Pi i nie tylko (EP 9/2015)
AVT1773	Xbee Mini – łączność bezprzewodowa (EP 9/2013)
AVT5332	ZigT system kontrolno-pomiarowy pracujący z użyciem łączności ZigBee (EP 3/2012)
AVT5313	IntelliDom – System sterowania inteligentnego budynku z interfejsem ZigBee (EP 10-11/2011)

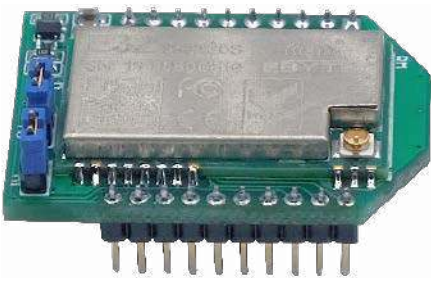
* **Uwaga!** Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu. Wymagana umiejętność lutowania! Podstawową wersją zestawu jest wersja **[B]** nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji **[B]** zawiera elementy elektroniczne (w tym **[UK]** – jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie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

Moduł LoRa zgodny z XBee



Zaprezentowany moduł jest jednym z mniejszych i łatwiejszych w aplikacji rozwiązań komunikacyjnych standardu LoRa. Moduł zawiera układ SX127x i dzięki niewielkim rozmiarom (26×16 mm), tylko kilku elementom zewnętrznym niezbędnym do pracy oraz prostej konfiguracji wspieranej programem narzędziowym znacząco przyspiesza tworzenie własnej aplikacji.

Moduł XBee-LoRa rozszerza zestaw opisanych w EP rozwiązań komunikacyjnych zachowujących zgodność z podstawką XBee. Moduł E32-868T20S firmy Ebyte, którego wygląd pokazano na **fotografii 1**, odpowiada za realizację transmisji szeregowej UART w paśmie ISM 866 MHz z modulacją LoRa. Można śmiało nazwać go radiowym odpowiednikiem konwerterów UART/USB FTDI. Dzięki zastosowaniu modemu E32, w łatwy sposób można zwiększyć funkcjonalność istniejącego projektu z procesorem

eprasa.pl 0667ee155a

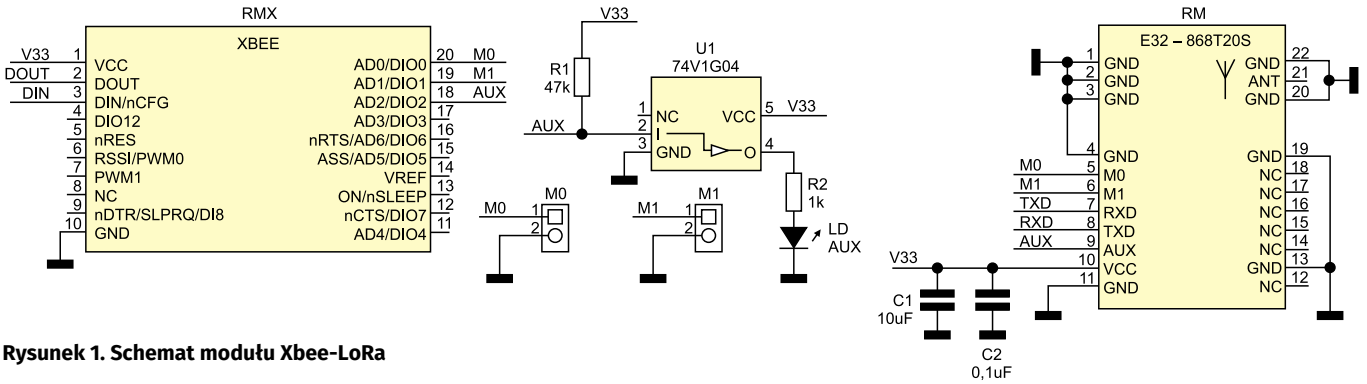
Wykaz elementów, kupuj na stronie sklep.avt.pl (Warszawa, ul. Leszczynowa 11, tel. +48222578451, e-mail: handlowy@avt.pl)

Rezystory:
R1: 47 kΩ (SMD0603)
R2: 1 kΩ (SMD0603)

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

Półprzewodniki:
LD: Led czerwony (SMD0603)
U1: 74,1G04 V (SC70-5)

Pozostałe:
M0, M1: złącze SIP2 2 mm 2 pin + zwora
RM: radiomodem Ebyte E32-868T20S
RMX: złącze SIP10 2 mm



Rysunek 1. Schemat modułu Xbee-LoRa

Fotografia 1. Moduł E32-868T20S

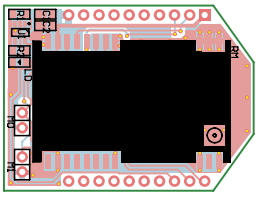
bez wbudowanej komunikacji bezprzewodowej. Zdalne monitorowanie lub sterowanie przeniesie aplikację w świat IoT i jest możliwe dosłownie w ciągu kilku minut.

Budowa i działanie

Schemat modułu został pokazany na **rysunku 1**. Moduł RMX typu E32-868T20S jest zasilany napięciem 3,3 V z podstawki zgodnej z XBee. Do komunikacji służy interfejs UART. Dioda AUX sygnalizuje aktywną komunikację. Modem wyposażony jest w gniazdo antenowe do bezpośredniego podłączenia anteny o impedancji 50 Ω pracującej w paśmie 868 MHz, zakończonej wtykiem żeńskim uFL. Zwory M0, M1 służą do konfiguracji modułu (stan 0 = zwora zwarta), zgodnie z **tabelą 1**.

Montaż i uruchomienie

Układ zmontowany jest na dwustronnej płytce drukowanej, której schemat został pokazany na **rysunku 2**. Do uruchomienia modułu przydatny będzie konwerter XBee-PC (AVT5513 [1]), po zamontowaniu modułu XBee-LoRa w płytce XBee-PC, możemy podłączyć ją do komputera.Fabryczne ustawienia modułu umożliwiają zestawienie radiowego linku UART bez dodatkowej konfiguracji. W tym celu, parę modemów łączymy z komputerem PC poprzez konwertery XBee-PC. Uruchamiamy dwa terminale szeregowe, z ustawieniami 9800,8,N,1 w trybie ANSI. Znaki wpisywane w jednym z terminali powinny pojawiać się w drugim i odwrotnie, transmisja powinna być sygnalizowana mignięciem diody AUX.



Rysunek 2. Schemat płytki PCB

Tabela 1. Tryby pracy modemu E32

Tryb	M0	M1	Opis
0	0	0	zestawiony radiowy link UART
1	0	1	moduł do transmisji dołącza preambułę wybudzająca modemy odbiorcze, pracujące w trybie oszczędzania energii (tryb 2)
2	1	0	tryb oszczędzania energii WOR, możliwy tylko odbiór danych, modem jest wybudzany tylko przez modem nadawczy pracujący w trybie 1,
3	1	1	tryb konfiguracji

Komunikacja i konfiguracja

Jeżeli modemy działają na konfiguracji fabrycznej, można przejść do pobrania i instalacji oprogramowania konfiguracyjnego *RF_Setting.exe* (aktualna wersja w momencie pisania artykułu to v3.49) ze strony *www.Ebyte.com*. Przed uruchomieniem oprogramowania, należy zdjąć zwory M0, M1 wprowadzając modem w tryb konfiguracji. Po otwarciu portu szeregowego, do którego podłączony jest modem, pobieramy parametry ustawione fabrycznie *GetParam*, co pokazano na **rysunku 3**. W oprogramowaniu możemy skonfigurować takie parametry:

- prędkość portu *UART UartRate*: 1200...115200 bps,
- kontrolę parzystości *Parity*: 8N1, 8O1, 8E1, 8N1,
- prędkość komunikacji radiowej *AirRate*: 300...19200 bps,
- moc nadajnika Power: 10...20 dBm,
- korekcja poprawności danych FEC,
- tryb pracy modemu *Transparent/Fixed* (praca z adresacją),
- czas wybudzania *WOR Timing*,
- konfiguracja wyprowadzeń TXD, RXD, AUD: w trybie otwarty dren lub push-pull,
- adres modułu: 0...65535,
- kanał komunikacyjny *Channel*: 0x00...0x1F (częstotliwość 862 MHz +

Tabela 2. Instrukcje konfiguracyjne modemu

Tryb	Format instrukcji	Opis
1	C0+lista parametrów	C0 + 5 bajtów konfiguracji (hex), parametry są zapisane w pamięci przy zaniku zasilania
2	C1+C1+C1	Odczyt aktualnej konfiguracji modemu przykładowo C0 00 00 1A 06 44
3	C2+lista parametrów	C0 + 5 bajtów konfiguracji (hex), parametry nie są zapisane w pamięci przy zaniku zasilania
4	C3+C3+C3	Odczyt wersji modemu, np: C3 45 0D 14
5	C4+C4+C4	Reset modemu

eprasa.pl 0667ee155a

Rysunek 3. Oprogramowanie konfiguracyjne

Rysunek 4. Konfiguracja modemu w Realterm

Channel × 1 MHz, domyślnie 868 MHz (0x06)).

Zmienione parametry zapisujemy przyciskiem *SetParam*, natomiast *Preset* wraca do ustawień fabrycznych modemu. Szczegółowy opis parametrów opisany jest w dokumentacji *E32-868T20S_Usermanual_EN_v1.7.pdf*, dołączonej do materiałów dodatkowych. Jeżeli modemy ustawione zostaną w tryb adresacji, tylko modem ze zgodnym kanałem i adresacją będzie odbierał transmitowane dane. Jeżeli adres zostanie ustawiony na 65535, modem będzie pracował w trybie rozgłoszeniowym *Broadcast* i wszystkie moduły ze zgodnym kanałem będą odbierały dane.

Modem można oczywiście konfigurować bez użycia oprogramowania. W dalszym ciągu musi pozostawać w trybie konfiguracji M0, M1 = 1, z parametrami portu szeregowego 9600,8,N,1. Obsługiwane są instrukcje konfiguracyjne, zestawione w **tabeli 2**. Znaczenie poszczególnych parametrów konfiguracyjnych zestawiono w **tabeli 3**. Konfiguracji modemu można w celach testowych dokonać po zmianie programu terminala na Realterm lub inny, który umożliwia wysłanie sekwencji kontrolnej (hex). Przykładową komunikację podczas konfiguracji modemu pokazano na **rysunku 4**. W identyczny sposób modem jest konfigurowany podczas współpracy z mikroprocesorem.

W przypadku użycia modemu E32 należy pamiętać, że oprócz sprawdzania FEC, nie jest zapewniona żadna inna metoda zabezpieczania transmisji. Transmisja jest otwarta i możliwa do podsłuchania dowolnym innym modemem E32 pracującym z taką samą konfiguracją. Autoryzacja urządzeń i szyfrowanie przesyłanych danych, musi być wykonane w aplikacji sterującej.

Adam Tatuś, EP

[1] http://bit.ly/3Y3gmKg

Tabela 3. Parametry konfiguracyjne

Lp.	Element	Opis	Uwagi
0	HEAD	Stałe C0 lub C2, oznacza to, że ta ramka jest poleceniem kontrolnym	C0 – parametry zapisywane przy zaniku zasilania C2 – parametry nie zapisywane przy zaniku zasilania
1	ADDH	Starszy bajt adresu (domyślne 0x00)	0x00...0xFF
2	ADDl	Młodszy bajt adresu (domyślne 0x00)	0x00...0xFF
3	SPED	Bity 7/6 00 – 8N1 (default) 01 – 8O1 10 – 8E1 11 – 8N1 (znaczenie jak 00)	Kontrola parzystości UART
		Bity 5/4/3 000 – 1200 001 – 2400 010 – 4800 011 – 9600 (domyślne) 100 – 19200 101 – 38400 110 – 57600 111 – 115200	Prędkość UART [bps] (TTL UART Data Rate)
		Bity 2/1/0 000 – 300 001 – 1200 010 – 2400 (domyślna) 011 – 4800 100 – 9600 101 – 19200 110 – 19200 (znaczenie jak 101) 111 – 19200 (znaczenie jak 101)	Prędkość połączenia radiowego [bps] (AIR Data Rate)
4	CHAN	Bity 7/6/5 zarezerwowane Bity 4...0, numer kanału radiowego (częstotliwość), domyślnie 0x06=868 MHz	862 MHz + (CHAN × 1 MHz), 0x00...0x1F
5	OPTION	Bit 7 0 – transmisja transparentna (domyślna) 1 – transmisja z adresacją	Tryb adresacji
		Bit 6 0 – TXD, RXD, AUX typu OC 1 – TXD, RXD, AUD typu push-pull	Konfiguracja GPIO
		Bit 5/4/3 000 – 250 ms (default) 001 – 500 ms 010 – 750 ms 011 – 1 s 100 – 1,25 s 101 – 1,5 s 110 – 1,75 s 111 – 2 s	Czas wybudzenia
		Bit 2 0 – FEC OFF 1 – FEC ON	Korekcja błędów
		Bit 1/0 00 – 20 dBm (domyślna) 01 – 17 dBm 10 – 14 dBm 11 – 10 dBm	Moc nadajnika

eprasa.pl 0667ee155a

AVT sklep

W ofercie AVT*
AVT5971

Podstawowe parametry:
- umożliwia zasilanie urządzeń 12 V, przy poborze prądu do 6 A,
- zapewnia bezprzerwowe przełączenie dwóch źródeł zasilania w przypadku awarii jednego z nich,
- spadek napięcia poniżej 30 mV,
- może pracować przy napięciach zasilania 2,75...18 V,
- odznacza się minimalną mocą strat oraz prostotą rozwiązania.

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.ulubionykiosk.pl/media
---- Moduł redundancji zasilania do komputerów SBC (EP 1/2023)
---- Moduł diody idealnej 5 A (EP 9/2022)

* **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.

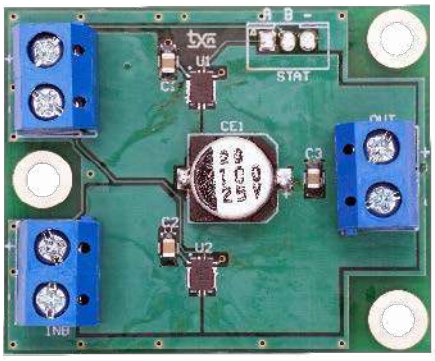
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- **wersja [A+]** – płytka drukowana **[A]** + zaprogramowany układ **[UK]** i dokumentacja,
- **wersja [UK]** – zaprogramowany układ.

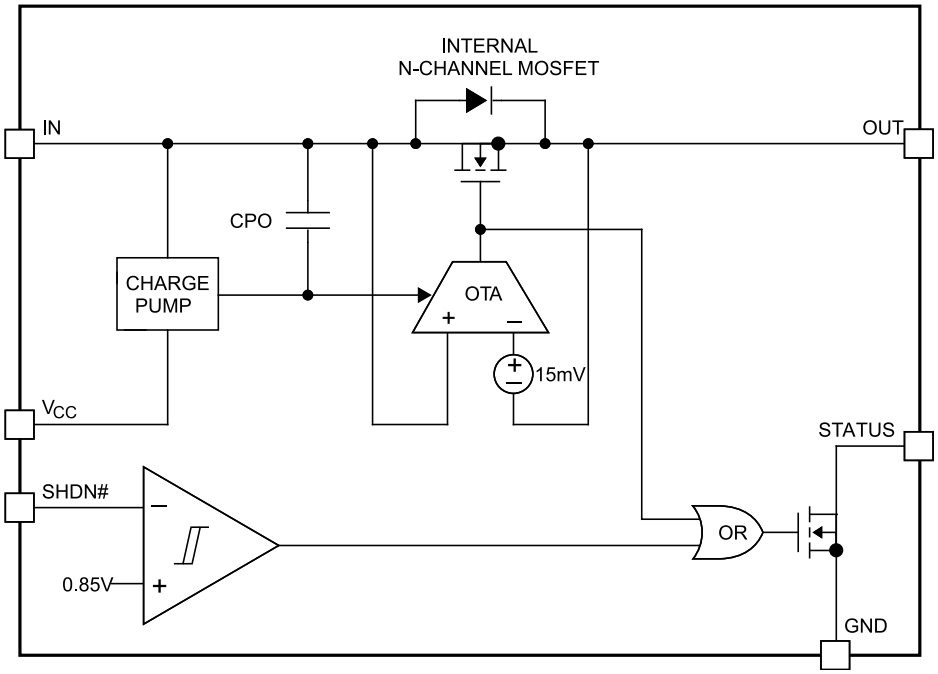
Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik PDF! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz!
http://sklep.avt.pl

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

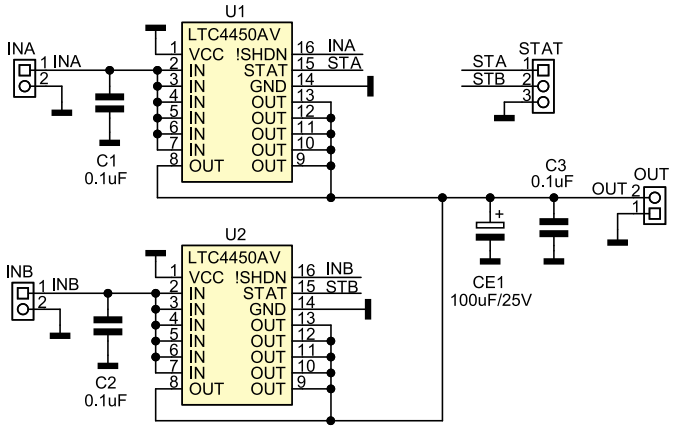
Moduł redundancji zasilania urządzeń 12 V

Zaprezentowany moduł redundancji zasilania umożliwia zasilanie urządzeń 12 V, przy poborze prądu do 6 A, zapewniając bezprzerwowe przełączenie dwóch źródeł zasilania w przypadku awarii jednego z nich. Zastosowanie układu nowoczesnej diody idealnej zapewnia minimalną moc strat oraz prostotę układu. Moduł znajdzie zastosowanie m.in. w zasilaniu komputerów SBC o większym poborze mocy, w aplikacjach, w których zanik zasilania jest niedopuszczalny.





Rysunek 1. Struktura wewnętrzna LTC4450 (za notą Analog Devices)



Rysunek 2. Schemat modułu

Zastosowany w modelu układ kontrolera diody idealnej typu LTC4450 (Analog Devices) gwarantuje spełnienie wszystkich wymagań stawianych opisanej aplikacji. Schemat wewnętrzny układu LTC4450 został pokazany na **rysunku 1**.

Budowa i działanie

Moduł składa się z dwóch identycznych bloków kontrolera diody idealnej – U1, U2 (**rysunek 2**). LTC4450 odpowiada za detekcję obecności napięcia wejściowego oraz prawidłowe sterowanie wbudowanego klucza MOSFET. Pełna integracja elementów wykonawczych, upraszcza aplikację do kondensatorów odsprzęgających.

Napięcia wejściowe z zasilaczy doprowadzone są do złącz INA, INB, gdzie w zależności od ich obecności kluczowane są na wyjście OUT (aktywny jest zasilacz o wyższym napięciu). Zanik lub zwarcie jednego z napięć zasilania INA/INB powoduje bezprzerwowe przełączenia na sprawne źródło.

Kondensator CE1 jest magazynem energii niezbędnym do podtrzymania układu podczas przełączania źródeł. W module jego wartość jest minimalna dla poprawnej pracy układu. W praktyce może okazać się konieczne zwiększenie jego wartości, czy to w module, czy w samym zasilanym układzie, szczególnie przy obciążeniach impulsowych. Aby poprawnie pełnić funkcje magazynu CE1 musi mieć małą rezystancję ESR, dokładny dobór jego wartości opisany jest w karcie katalogowej. Płytka umożliwia wyprowadzenie sygnałów statusu STA/STB

eprasa.pl 0667ee155a

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

Kondensatory:
C1, C2, C3: 0,1 µF ceramiczny 50 V (SMD0805)
CE1: 100 µF/25 V elektrolityczny Low ESR

Półprzewodniki:
U1, U2: LTC4450AV (LQFN16)

Pozostałe:
INA, INB, OUT: złącze DG 2 piny 3,5 mm

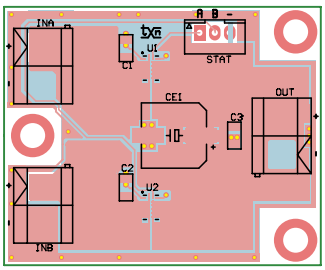
układów poprzez złącze STAT, ale w modelu nie jest to używane.

Montaż i uruchomienie

Układ zmontowany jest na niewielkiej płytce drukowanej, której schemat został pokazany na **rysunku 3**. Montaż nie wymaga opisu, należy tylko poprawnie przylutować pady termiczne. Moduł nie wymaga uruchamiania, warto jednak przy pomocy dwóch regulowanych zasilaczy i sztucznego obciążenia sprawdzić poprawność przełączania oraz spadek napięcia na kluczach w kierunku przewodzenia. W modelu spadek napięcia wynosił <30 mV przy napięciu zasilania 12 V i prądzie obciążenia 6 A.

Układ może bez zmian pracować poprawnie przy napięciach zasilania 2,75...18 V. W przypadku długich połączeń ze źródłami zasilania warto wejścia INA/INB dodatkowo zabezpieczyć transilami 18 V lub diodami Schotkiego.

Adam Tatuś, EP



Rysunek 3. Rozmieszczenie elementów

AVT sklep

W ofercie AVT*
AVT5972

Podstawowe parametry:
- obciążanie linii CP (Control Pilot) wychodzącej ze stacji ładującej do samochodów elektrycznych,
- możliwość wymuszania charakterystycznych dla tej linii stanów (A...E),
- zgodność z normą IEC 61851-1,
- prosta obsługa przy użyciu przełączników.

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

----	Generator skokowych obciążeń (EP 2/2020)
AVT5736	Programowalne aktywne obciążenie (EP 1/2020)
AVT5586	Programowalne sztuczne obciążenie DC (EP 11/2018)
AVT5510	Sztuczne obciążenie (EP 8/2015)
AVT1797	Sztuczne obciążenie wysokonapięciowe (EP 4/2014)
AVT318	Obciążenie aktywne (EP 12/1996...1/1997)

* **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.

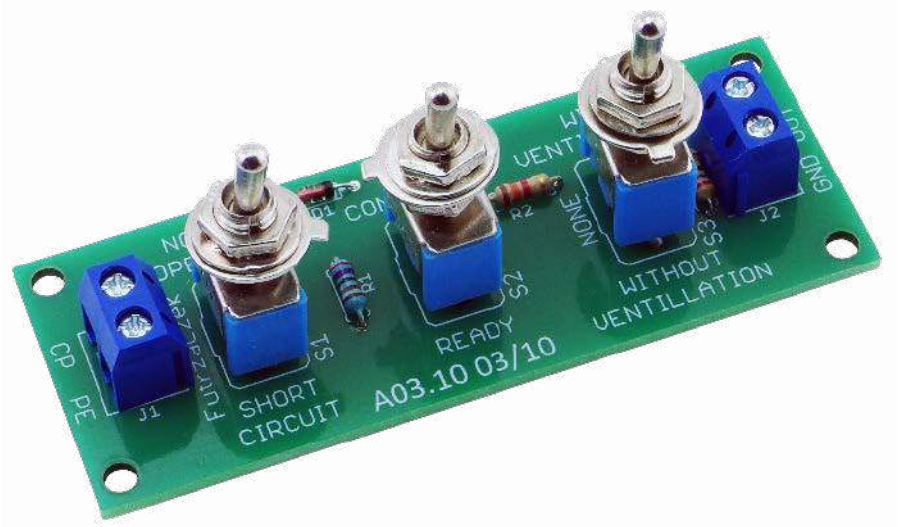
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- **wersja [A+]** – płytka drukowana **[A]** + zaprogramowany układ **[UK]** i dokumentacja,
- **wersja [UK]** – zaprogramowany układ.

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**.

Prosty emulator odbiornika linii CP samochodu elektrycznego

Samochody elektryczne stają się coraz popularniejsze, w czym swój udział mamy również my – elektronicy. Kiedy przychodzi do testów prototypu stacji ładującej taki samochód, a nie chcemy mieć w swojej pracowni całego samochodu elektrycznego, możemy się posłużyć tym oto prostym urządzeniem. Prostym, ale bardzo przydatnym.



Auto elektryczne, po podłączeniu do odpowiedniej ładowarki, rozpoczyna z nią prosty, acz treściwy dialog. Ładowarka wytwarza sygnał PWM o częstotliwości 1 kHz i wartości maksymalnej wynoszącej +12 V oraz minimalnej równej –12 V. Źródło tego sygnału ma rezystancję wyjściową wynoszącą 1 kΩ. Po drugiej stronie kabla, w aucie, wbudowany jest prosty układ rezystorowy, który obciąża tę linię w określony sposób, kiedy samochód znajduje się w odpowiednim stanie ładowania. Na tej podstawie ładowarka może wiedzieć, co się z samochodem dzieje, jednocześnie zadając prąd do ładowania o określonym natężeniu – przy pomocy sygnału PWM. Tyle mówi norma IEC 61851-1, która precyzuje zasady dotyczące tej komunikacji. A dokładniej – trzeci tryb, bowiem norma definiuje cztery różne metody. Ten opisany jest najpowszechniej spotykany. W nim ładowanie odbywa się prądem przemiennym, z kontrolą prądu ładowania po stronie ładowarki.

Zaprezentowany prosty układ realizuje tę część systemu, która jest wbudowana w samochód elektryczny. Na potrzeby przeprowadzenia testów urządzenia ładującego – czy to naprawianego, czy będącego w fazie prototypu – możemy wymuszać przełącznikami określone stany pracy, po czym oscyloskopem podglądać przebieg czasowy napięcia na tej linii. To znacznie prostsze (i zarazem bezpieczniejsze) niż podłączanie potencjalnie niedziałającego urządzenia do samochodu elektrycznego, który też nie musi być podręcznym elementem wyposażenia pracowni elektronika.

Do ładowania samochodu elektrycznego prądem przemiennym najczęściej jest stosowane złącze zdefiniowane w normie IEC 62893-1. Łączy ono linie o następujących nazwach i funkcjach:
- L1, L2, L3 – fazy sieci elektroenergetycznej (może być tylko L1),
- N – przewód neutralny,
- PE – przewód ochronny,

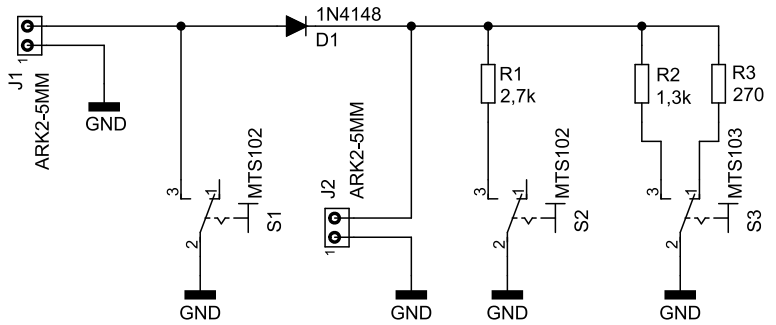
eprasa.pl 0667ee155a

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

Rezystory: (THT o mocy 0,6 W)
R1: 2,7 kΩ 1%
R2: 1,3 kΩ 1%
R3: 270 Ω 1%

Półprzewodniki:
D1: 1N4148

Pozostałe:
J1, J2: ARK2/500
S1, S2: MTS102
S3: MTS103

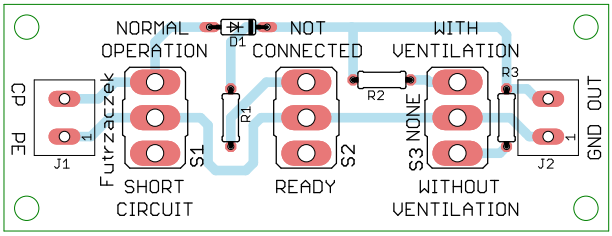


Rysunek 1. Schemat ideowy prostego emulatora

Tabela 1. Napięcie maksymalne na linii CP w różnych stanach ładowania pojazdu elektrycznego

Nominalne napięcie maksymalne na linii CP (w nawiasie podano dopuszczalne wartości)	**Stan ładowania**	**Opis stanu**
+12 V (+11,4...+12,6 V)	A	Brak podłączenia pojazdu do ładowarki
+9 V (+8,36...+9,56 V)	B	Pojazd podłączony, przygotowanie do ładowania
+6 V (+5,48...+6,49 V)	C	Ładowanie bez wymaganej wentylacji
+3 V (+2,62...+3,25 V)	D	Ładowanie z wymaganą wentylacją
0 V	E	Błąd (zwarcie linii CP z PE)
–12 V (–12,6...–11,4 V)	F	Błąd/nieznany (wymagałby zewnętrznego źródła napięcia ujemnego)

- PP – Proximity Pilot – sygnał obecności (definiujący prąd maksymalny),
- CP – Control Pilot – sygnał sterujący, zapewniający dwustronną komunikację między ładowarką a ładowanym pojazdem.



Rysunek 2. Schemat płytki PCB

Artykuł dotyczy urządzenia, które symuluje samochód elektryczny od strony linii CP.

Budowa i działanie

Schemat ideowy omawianego układu znajduje się na **rysunku 1**. Nie znajdziemy na nim układów scalonych, a jedynym półprzewodnikiem jest dioda D1. Taki schemat narzuca norma IEC 61851-1, zgodnie z którą ten układ powstał. Rezystory R1…R3 służą do obniżania wartości maksymalnej napięcia na linii CP, gdyż tworzą – z wbudowanym w ładowarkę rezystorem 1 kΩ – dzielnik rezystancyjny.

W **tabeli 1** opisano stany ładowania samochodu elektrycznego oraz wartość maksymalną napięcia na linii CP. Łatwo można policzyć, że te wartości napięcia są możliwe do uzyskania na linii CP (mierzone na złączu J1, nie J2!), jeżeli w obliczeniach dotyczących dzielnika rezystorowego uwzględni się spadek napięcia na diodzie D1. Ulega ona zatkaniu przy napięciu chwilowym niższym od zera, więc ujemne części sygnału PWM nie będą dzielone – wartość minimalna sygnału zawsze powinna wynosić około –12 V.

Na złączu J2 możemy obserwować sygnał „widziany" przez samochód elektryczny. Będzie to przebieg o wartościach nieujemnych, z wartością szczytową niższą o około 0,7 V od tego, który jest na linii CP, ale z zachowanym wypełnieniem. To w nim jest ukryta informacja o aktualnym prądzie ładowania, który steruje kontrolerem ładowania ogniw litowo-jonowych.

Montaż i uruchomienie

Układ został zmontowany na jednostronnej płytce drukowanej o wymiarach 80×30 mm. Jej 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 i diody. Potem proponuję wlutować złącza śrubowe, zaś na końcu przełączniki. Proszę pamiętać, że przełącznik trzypozycyjny (MTS103) powinien znaleźć się w miejscu przewidzianym dla S3. Zmontowany układ można zobaczyć na fotografii tytułowej.

Prawidłowo zmontowany układ jest od razu gotowy do działania. Do zacisków złącza J1 należy podłączyć testowaną ładowarkę, a dokładniej linię CP i przewód ochronny PE, który stanowi drogę powrotną dla prądu płynącego przez linię CP. Do złącza J2 można podłączyć oscyloskop lub woltomierz z przetwornikiem wartości szczytowej. W ten sposób można mieć podgląd na sygnał, który trafia na pozostałe obwody samochodu elektrycznego, służące do pomiaru częstotliwości, wypełnienia i wartości maksymalnej tego sygnału. Przełącznikami S1…S3 można emulować różne stany ładowania samochodu elektrycznego. Zostały one zebrane w **tabeli 2**.

Układ nie zawiera obwodu polaryzującego linię PP (*Proximity Pilot*). Do tego można użyć zasilacza napięcia stałego wraz z rezystorem 1 kΩ podłączonym do wyjścia, jeżeli zachodzi taka potrzeba.

Michał Kurzela, EP

Bibliografia:
1. https://bit.ly/3RnB5px
2. https://bit.ly/3wOwdjS

Tabela 2. Pozycje przełączników S1...S3 wymagane do wymuszenia określonych stanów

Stan ładowania	**Pozycja S1**	**Pozycja S2**	**Pozycja S3**
A	NORMAL OPERATION (do góry)	NOT CONNECTED (do góry)	NONE (na środku)
B	NORMAL OPERATION (do góry)	READY (do dołu)	NONE (na środku)
C	NORMAL OPERATION (do góry)	READY (do dołu)	WITHOUT VENTILATION (do dołu)
D	NORMAL OPERATION (do góry)	READY (do dołu)	WITH VENTILATION (do góry)
E	SHORT CIRCUIT (do dołu)	Bez znaczenia	
F	Stan niemożliwy do wymuszenia		

eprasa.pl 0667ee155a

Złącza elektryczne w systemach militarnych

W elektronice jest wiele aplikacji o specjalnych wymaganiach – awionika, systemy medyczne, czy urządzenia wojskowe. Zwłaszcza te ostatnie stawiają elektronice wyśrubowane wymagania. Pomimo wielu trudności technicznych oferta komponentów spełniających te wymagania jest relatywnie duża, dlatego w artykule omówimy najciekawsze rozwiązania.

Złącza są bardzo widocznym elementem elektroniki milotarnej. W przypadku konektorów, jeśli chcemy mówić ściśle o złączach wojskowych, należy pod uwagę wziąć dwa aspekty – parametry mechaniczne złącza oraz jego projekt elektroniczny (rozkład pinów, sygnałów itd.). Na obie te kwestie mają wpływ wymagania, jakie stawia się urządzeniom, stosowanym przez wojsko. W artykule skupimy się głównie na wymaganiach mechanicznych i sposobie ich realizacji. Jednak nie da się opisywać tych zagadnień bez wiedzy o wymaganiach elektrycznych, a nawet o konkretnych standardach złącz, jakie stosowane są np. w NATO. Z uwagi na naszą lokalizację, skupimy się tylko na standardach stosowanych przez sprzęt wojskowy Sojuszu Północnoatlantyckiego (NATO).

Normy NATO dla złącz

NATO stosuje, generalnie, system amerykańskich norm MIL do standaryzacji sprzętu itd. W ramach tego systemu norm wyróżnia się, między innymi:

- MIL-SPEC – tzw. specyfikacje, czyli dokumenty opisujący podstawowe wymagania techniczne dotyczące materiałów unikatowych dla wojska lub znacznie zmodyfikowanych przedmiotów komercyjnych.
- MIL-STD – normy wojskowe, ustanawiające jednolite wymagania inżynieryjne i techniczne dla unikalnych dla wojska lub znacznie zmodyfikowanych procesów, procedur, praktyk i metod handlowych. Istnieje pięć rodzajów norm obronnych w systemie NATO:
  - standardy interfejsu,
  - standardy kryteriów projektowych,
  - standardy procesu produkcyjnego,
  - standardowe praktyki,
  - standardy metod testowych.
- MIL-DTL – specyfikacje szczegółowe, które określają wymagania projektowe, takie jak użyte materiały, sposób spełnienia wymagań lub sposób wytwarzania lub konstruowania danego elementu.

W Polsce stosowane są Normy Obronne (NO-xx-xxxx), które ustalane są przez Ministra Obrony Narodowej i aktualizowane, co roku, zgodnie z rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 23 grudnia 2002 roku w sprawie działalności normalizacyjnej związanej z obronnością i bezpieczeństwem państwa. Coroczna decyzja szefa RON w sprawie zatwierdzenia i wprowadzenia do stosowania dokumentów normalizacyjnych dotyczących obronności i bezpieczeństwa państwa zawiera wykaz norm stanowiącym załącznik do decyzji. Bardzo często normy te wykorzystują, jako podstawę, normy stosowane w NATO, wszak jesteśmy częścią Sojuszu i nasze siły zbrojne muszą pozostawać interoperacyjne z siłami innych państw członkowskich.

W siłach NATO używa się na ogół złącz zgodnych z następującymi normami. W ramach poszczególnych norm określa się ogólne parametry konkretnych złącz, ale te szerokie grupy dzielą się na różne serie i klasy:

- **MIL-DTL-5015** (dawniej MIL-C-5015) – okrągłe złącza skręcane z stykami do lutowania lub zaciskania do użytku komercyjnego i wojskowego (**fotografia 1**). Ich historia sięga lat 30. XX wieku – zostały opracowane do zastosowań w samolotach Douglas DC-1, DC-2 i DC-3. Obecnie są powszechnie stosowane w elektronice, energetyce i obwodach sterujących ze względu na ich wszechstronność, niezawodność i łatwy dostęp – wielu producentów złącz produkuje tego rodzaju elementy. Złącza MIL-DTL-5015 są podzielone

eprasa.pl 0667ee155a

Fotografia 1. Złącza typu MIL-DTL-5015 (źródło: gobizkorea.com)

na cztery serie, a wiele z nich jest dostępnych w szerokim zakresie wykonań. Dostępne są złącza przystosowane do temperatur od –55°C do 200°C. Istnieje około 160 układów pinów wtyczki, przewidzianych w MIL-STD-1651, z maksymalnie 81 pinami w pojedynczym konektorze.

Fotografia 2. Złącze typu MIL-DTL-12520 (po lewej) i gniazdo tego samego typu, widoczne od strony lutowanych połączeń (po prawej) produkcji firmy EATON

- **MIL-DTL-12520** (dawniej MIL-C-12520) – seria okrągłych złącz z centralnie umieszczoną śrubą do skręcania – *centerlock* (**fotografia 2**). Są one wodoodporne, spolaryzowane, posiadają wiele styków i dostępne są liczne akcesoria do łączenia obwodów. Przeznaczone są do linii zasilania i sterowania w sprzęcie elektronicznym, które są przeznaczone głównie do użytku naziemnego lub lądowego. Są odporne na zanieczyszczenia kurzem, brudem i wodą, złącza do pracy w trudnych warunkach – zapewniają również odporność na wstrząsy i wibracje dzięki centralnej śrubie blokującej, którą można łatwo zabezpieczyć, obracając rączkę z składanym skrzydełkiem.

Fotografia 3. Złącza rodziny MIL-DTL-22992 (źródło: connectorworld.com.au)

- **MIL-DTL-22992** (dawniej MIL-C-22992) – wielostykowe, wytrzymałe i wodoodporne, szybkozłączki (**fotografia 3**). Złącza do obwodów elektrycznych – systemów zasilania i sterowania. Złącza są przystosowane do pracy w szerokim zakresie od –55°C do 125°C. Złącza opisywane przez tę normę podzielone są na cztery klasy, różniące się zastosowaniem:
  - Złącza klasy C są przeznaczone do zewnętrznych połączeń wzajemnych w samochodach dostawczych, schronach, przyczepach, budynkach i zastosowaniach o dużym obciążeniu.
  - Złącza klasy J są używane w zastosowaniach klasy C, w których konieczne jest zastosowanie pierścienia mocującego przewód.
  - Złącza klasy L są przeznaczone do połączeń zasilających o wysokim natężeniu prądu – od 40 A do 200 A, gdzie wymagana jest duża wytrzymałość, wodoodporność i zdolność gaszenia łuku.
  - Złącza klasy R są używane, jako wytrzymałe złącza ogólnego przeznaczenia, w których nie jest wymagane utrzymywanie ciśnienia i zdolność gaszenia łuku.

  Układy wkładek pinów tych złącz są zdefiniowane w normie MIL-STD-1651, z dodatkowym układem do zastosowań wysokoprądowych w powiązanych dokumentach.

Fotografia 4. Złącza rodziny MIL-DTL-24308 firmy Smiths Interconnect

- **MIL-DTL-24308** (dawniej MIL-C-24308 i MIL-PRF-24308) – złącze miniaturowe, spolaryzowane złącza do montażu na obudowach (w panelach, zwłaszcza rackowych) (**fotografia 4**). Złącze zaciskane (w sposób odwracalny), lutowane (na stałe) lub z kłami – zaciskami przebijającymi izolację przewodów (montaż na stałe). Obudowy złącz z mocowaniem sztywnym lub pływającym, przeznaczone do pracy w zakresie temperatur od –55°C do 125°C. Złącza te zwane są również złączami D-subminiaturowymi lub D-sub – to doskonale znana rodzina złącz, stosowanych w przemyśle, systemach komputerowych itp. Są one przeznaczone przede wszystkim do zastosowań, w których przestrzeń i waga mają duże znaczenie. Mieszczą dużą liczbę obwodów, proporcjonalnie do ich rozmiaru, co sprawia, że doskonale nadają się do samolotów, pocisków i powiązanych systemów wsparcia naziemnego. Chociaż złącza MIL-DTL-24308 są przeznaczone głównie do zastosowań w rackach i panelach, złącza te można również dostosować do innych aplikacji okablowania, dodając akcesoria i zintegrowane elementy łączące. Złącza te są przeznaczone do ogólnego użytku wojskowego. Podzielone są na następujące klasy:
  - Złącza klasy G i N są przeznaczone do użytku w zastosowaniach, w których występuje zakres temperatur roboczych od –55°C do 125°C.
  - Złącza klasy N są używane w aplikacjach, w których obecność magnetyzmu szczątkowego musi być utrzymywana na niskim poziomie.
  - Złącza klasy H są używane tam, gdzie ciśnienie atmosferyczne musi być utrzymywane w poprzek ściany lub panelu, na którym zamontowane są złącza.
  - Złącza klas D, K i M są przeznaczone do zastosowań kosmicznych o wysokiej niezawodności.

eprasa.pl 0667ee155a

Fotografia 5. Złącze i gniazdo typu MIL-DTL-26482 firmy Souriau

Układy pinów dla złącz tego rodzaju również podane są w rzeczonej normie. Obejmują one piny różnego rodzaju, w tym złącza dla przewodów koncentrycznych.

- **MIL-DTL-26482** (dawniej MIL-C-26482) – dwie serie odpornych na warunki środowiskowe, miniaturowych, okrągłych szybkozłączy elektrycznych (i akcesoriów do nich) (**fotografia 5**). W każdej serii znajdują się hermetyczne obudowy. Dwie serie złączy można łączyć ze sobą, gdy używane są tylko styki zasilające i nie można ich łączyć, gdy używane są również styki ekranu. Różne klasy i typy złączy obejmują:
  - złącza klas E, F, J i P, które są używane w aplikacjach odpornych na warunki środowiskowe w zakresie temperatur roboczych od –55°C do 125°C,
  - gniazda klasy H są używane w zastosowaniach, w których ciśnienie musi być utrzymywane w poprzek ścian paneli lub obudów, na których zamontowane jest złącze.

  Wiele zastosowań tego złącza odbiega od oficjalnej specyfikacji wojskowej; na przykład solidna metalowa obudowa oparta na konstrukcji MIL-DTL-26482 umożliwia korzystanie z sieci transmisji danych Ethernet 10/100/1000BaseT w trudnych warunkach, przy jednoczesnym zachowaniu zgodności z wymaganiami normy IEC 60603-7-7. MIL-DTL-26482 obejmuje dwie serie okrągłych złączy:
  - Seria I obejmuje złącza MS3110, MS3111, MS3112, MS3114 i MS3116
  - Seria II obejmuje złącza MS3470, MS3474, MS3475 i MS3476.

  Układy pinów złącz tego rodzaju podane są w normie MIL-STD-1669.

Fotografia 6. Gniazda typu MIL-DTL-32139 firmy Omnetics na PCB oraz wiązka kablowa z takim samym wtykiem tego samego producenta

- **MIL-DTL-32139** – nanominiaturowe (czyli jeszcze mniejsze, niż miniaturowe, aczkolwiek opisy te są raczej uznaniowe i względne, a niedotyczące ściśle jakiejś granicy wymiaru) złącza przeznaczone do montażu na płytkach drukowanych lub jako zakończenie wiązek kablowych (**fotografia 6**). Styki tego złącza są gęsto upakowane z odstępami 0,64 mm między centrami styków w tym samym rzędzie. Złącza te są przeznaczone do połączeń na płytce drukowanej, płytka-przewody, przewody-panel oraz przewody-przewody w zminiaturyzowanych podzespołach o niskim zapotrzebowaniu na moc. Złącza te są unikalne spośród wszystkich złącz militarnych, z uwagi na odporność na wibracje sinusoidalne w zakresie od 10 Hz do 2000 Hz przy obciążeniu do 20 g. Dodatkowo, mogą wytrzymać 48 godzin narażenia na mgłę solną bez zmian parametrów lub powstawania wżerów czy porowatości wykończenia pinów. Dodatkowo, złącza te są w stanie wytrzymać wstrząs o sile 100 g bez przerwania ciągłości obwodu elektrycznego. Pracują w temperaturach od –55°C do 125°C. Układy pinów tych złącz są podane w powiązanych z normą specyfikacjach.

Fotografia 7. Złącza i gniazda MIL-DTL 38999 firmy Radiall

- **MIL-DTL-38999** (dawniej MIL-C-38999) to podzielone na cztery serie, miniaturowe złącza z zapięciem bagnetowym, skręcanym lub zamkiem (**fotografia 7**). Zaprojektowano je do instalacji o dużej gęstości połączeń, które muszą być odporne na warunki środowiskowe. Zawierają one wyjmowane piny, które mogą być zaciskane lub lutowane do przewodów. Złącza przeznaczone są do pracy w zakresie temperatur od –65°C do 200°C. Złącza te są odpowiednie do szeregu zastosowań, zależnie od serii:
  - Złącza serii I są używane tam, gdzie wymagany jest system szybkiego łączenia bez widoczności lub innych obszarów problematycznych. Złącza te zapewniają wysoką odporność na wibracje i są odpowiednie do miejsc z występowaniem silnego wiatru i wilgoci.
  - Złącza serii II są używane tam, gdzie złącze nie jest narażone na silne wibracje lub czynniki środowiskowe i gdzie niewielki rozmiar i/lub waga są krytyczne.
  - Złącza serii III nadają się do niewidocznych obszarów łączenia i zapewniają wysoką odporność na wibracje w podwyższonej temperaturze oraz są odpowiednie dla obszarów narażonych na czynniki środowiskowe
  - Złącza serii IV są używane tam, gdzie wymagany jest system szybkiego łączenia w miejscach niewidocznych lub trudnodostępnych, a same połączenia muszą być odporne na czynniki środowiskowe i wibracje.

  Złącza te są lekkie, połączone specjalnym mechanizmem Breech Lok i wszystkie są odporne na przypadkowe zwarcia i uszkodzenie na skutek niepoprawnego podłączenia złącz (z wyjątkiem serii II). Układy pinów dla tych złącz zdefiniowane są w normie MIL-STD-1560.
- **MIL-DTL-55116** – miniaturowe złącza audio, pięcio- i sześciopinowe, używane w radiach i urządzeniach kryptograficznych, łączonych z systemami radiowymi (**fotografia 8**).

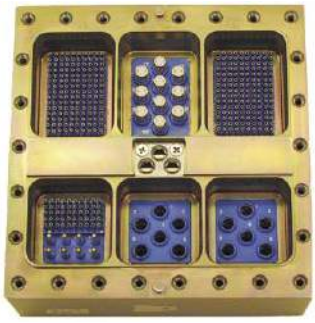
Fotografia 8. Złącza i gniazda MIL-DTL-55116 firmy Amphenol

eprasa.pl 0667ee155a

Fotografia 9. Złącza i wiązki kablowe typu MIL-DTL-83513 firmy Amphenol

Fotografia 11. Złącze MIL-DTL-83538 firmy Amphenol

- **MIL-DTL-83513** (dawniej MIL-C-83513) – mikrominiaturowe, prostokątne złącza elektryczne z lutowanymi lub zaciskanymi pinami (**fotografia 9**). Złącze spełnia wymagania trudnych warunków środowiskowych, jest wytrzymałe mechanicznie i trwałe, ma także niską rezystancję styków, a co za tym idzie wysoką obciążalność prądową i wysoką wytrzymałość dielektryczną. Złącza te są odporne na wstrząsy i wibracje, oferując jednocześnie dużą gęstość styków, małe rozmiary i lekki korpus. Często te złącza są określane, jako system złącza Micro-D. Są dostosowane do działania w wielu systemach, chociaż główne zastosowania to miejsca, w których waga, miniaturyzacja lub integralność transmisji sygnału są najważniejsze, takich jak pociski i ich systemy naprowadzania, awionika lotnicza, radary, naramienne systemy uzbrojenia, zaawansowane systemy technologii żołnierza, wojskowe systemy globalnego pozycjonowania, satelity, urządzenia medyczne. Układy pinów tych złącz są podane w powiązanych z normą kartach specyfikacji. Format złącza Micro-D stał się tak popularny wśród inżynierów i projektantów systemów, że wielu producentów zaczęło oferować szybkie (do 10 Gbit/s) i modułowe wersje tego złącza.
- **MIL-DTL-83527** (dawniej DoD-C-83527 i MIL-C-83527) to odporne na warunki środowiskowe złącza prostokątne, charakteryzujące się niewielką siłą potrzebną do instalacji złącza (**fotografia 10**). Są one odpowiednie do instalacji we wnękach/zatokach rackowych, stosowanych w systemach awioniki itp. Wyróżniającą cechą tych złącz jest certyfikowana odporność na pracę na dużej wysokości – do 50 000 stóp (15,2 km), a także musi wytrzymać 500 godzin w mgle solnej, wibracje i wstrząsy (do 30 g) i wahania temperatury w zakresie od –65°C do 125°C. Złącza te muszą być używane w połączeniu z definicjami rozkładu pinów zawartymi w normie DoD-STD-1842.
- **MIL-DTL-83538** (dawniej MIL-C-83538) okrągłe złącza i ich akcesoria, które spełniają niezbędne wymagania dla połączenia interfejsu elektrycznego klasy I MIL-STD-1760 między magazynami i powiązanymi z nimi wyrzutniami za pomocą mechanizmu tzw. „ślepego łączenia" (**fotografia 11**). Zespół złącza składa się z gniazda zainstalowanego na wyrzutni, gniazda zainstalowanego w magazynie pocisku oraz złącza buforowego, zainstalowanej między nimi. Specyfikacja tych złącz obejmuje również wymagane adaptery montażowe i nakrętki, adapter akcesoriów, przepusty kablowy i osłony ochronne. Opisany tą normą zespół złącza zapewnia przesyłanie sygnałów elektrycznych i zasilania dla interfejsu MIL-STD-1760 klasy I między wyrzutnią zamontowaną na samolocie (lub w pojeździe naziemnym) a powiązanym magazynem uzbrojenia i/lub oporządzenia. To złącze jest unikalne dla wojska, ponieważ jest przeznaczone do użytku w wyrzutniach pocisków rakietowych, bombach, podwieszanych zasobnikach sprzętu elektronicznego itp. Rozkład pinów definiowany jest przez normę MIL-STD-1560.



Fotografia 10. Przykładowe złącze typu MIL-DTL-83527 firmy Smiths Interconnect

Fotografia 12. Konektory zgodne z MIL-C-83522 na światłowodach, dostarczane przez Optical Cable Corporation

Oprócz powyższych, istnieją specyfikacje dla złącz światłowodowych:

- **MIL-C-83522** to rodzina złącz światłowodowych, która obejmuje zarówno złącza końcowe, jak i do przegród (panele, obudowy itp.) (**fotografia 12**). Oprócz samego formatu mechanicznego, norma specyfikuje także parametry niezawodności (zgodnie z MIL-STD-790), techniki statystycznej kontroli procesu (SPC) itp. Złącza te są przeznaczone do użytku w stałych lokalizacjach zakładów, awionice taktycznej, lotniczej i kosmicznej, na pokładach statków, pojazdach naziemnych i innych specjalistycznych zastosowaniach wojskowych.
- **MIL-DTL-83526** (dawniej MIL-C-83526) to bezpłciowe, okrągłe złącza światłowodowe (**fotografia 13**). Norma opisuje graniczne parametry, dotyczące strat na złączu i inne parametry optyczne. Są to złącza do pracy z niskostratnymi światłowodami w naziemnych systemach transmisji danych.

Fotografia 13. Złącza zgodne z MIL-DTL-83526 firmy Radiall (pod marką Timbercon)

eprasa.pl 0667ee155a

- Dodatkowo, norma **MIL-PRF-29504** (dawniej MIL-T-29504) opisuje ogólne wymagania dotyczące rozłączalnych zaciskanych i epoksydowych końcówek światłowodowych do stosowania w złączach i podobnych komponentach. Te końcówki są unikalne dla zastosowań wojskowych i muszą działać poprawnie w wymagających warunkach w zakresie wibracji do 10 g, wstrząsów (ponad 1000 g) i wahań temperatury (w zakresie temperatury od –40°C do 70°C).

Wymagania mechaniczne

Powyższe normy obejmują szereg różnych mechanicznych aspektów złącz, takie jak kształt, mechanizmy łączenia rozmieszczenie pinów, a także parametry takie jak zakres temperatur pracy złącza itp. Część z nich specyfikuje także dodatkowe cechy, takie jak np. ślepe łączenie (*blind mating*). Jest to cecha złącz, która pozwala na trwałe mechaniczne połączenie obu części złącza bez kontroli wzrokowej – właśnie „na ślepo". Złącza takie różnią się od innych tym, że nie mają sztywnego mechanicznego mechanizmu mocującego należącego do samego interfejsu, takiego jak np. gwint czy bagnet. Są one zwykle używane w złączach wielostykowych między szafami a panelami, kartami rozszerzeń do płyt bazowych itp. Złącza te nie są łączone samodzielnie, ale raczej przez włożenie całej jednostki lub modułu do urządzenia. Posiadają one często dodatkowe elementy mechaniczne, które nakierowują złącze w odpowiednie miejsce przy podłączaniu, umożliwiając podejście do podłączenia z nawet dosyć dużym przesunięciem/odchyleniem.

Szereg norm wojskowych opisuje wymagania, sposoby pomiaru/oceny itd. dotyczące poszczególnych parametrów. Tematyka ta stanowczo wykracza poza ten artykuł, jednakże sama metodyka testów nie jest krytyczna, dla doboru odpowiedniego elementu do konkretnego systemu. Główne parametry mechaniczne, o jakich mówi się w przypadku złącza to:

- gęstość upakowania, wyrażana na ogół przez raster pinów złącza,
- zakres temperatur pracy,
- odporność na wibracje,
- szczelność – pod względem cieczy, powietrza itd.,
- wytrzymałość mechaniczna (odporność na uderzenia),
- odporność chemiczna – na korozję, rozpuszczalniki organiczne itp.,
- sposób łączenia – skręcane, spinane, bagnetowe,
- siła, potrzebna do podłączenia i rozłączenia złącza,

Powyższa lista w żaden sposób nie jest zamknięta, gdyż złącza takie, jak stosowane w systemach wojskowych, spełniać muszą często bardzo ekstremalne i wyszukane potrzeby, zapewniając przy tym bezkompromisową niezawodność.

Wymagania elektryczne

W zakresie wymagań elektrycznych, jakie stawia się złączom wojskowym, nie odbiegają one od tych, stawianych cywilnym konektorom tego rodzaju. Głównymi aspektami są tutaj parametry, takie jak maksymalny prąd i napięcie, a także, w przypadku złącz sygnałowych i RF, maksymalna częstotliwość, czy impedancja falowa. Wszystko oczywiście uzależnione jest od konkretnej aplikacji złącza. Jak w przypadku innych złącz, dla złącz o zastosowaniu militarnym specyfikuje się:

- maksymalny prąd,
- maksymalne napięcie,
- zakres dopuszczalnych częstotliwości sygnałów,
- impedancja.

To, co wyróżnia złącza o zastosowaniu wojskowym, to zakres warunków środowiska, w których spełniają one te parametry.

Wyzwania przyszłości

Mimo sporego konserwatyzmu w rozwoju elektroniki wojskowej – wymaganie niezawodności sprawia, że na ogół korzysta się z sprawdzonych, starszych rozwiązań, rozwój i nowe trendy docierają także tutaj, w tym i do technologii i wymagań stawianych złączom. Siły zbrojne na całym świecie odczuwają potrzebę modernizacji swoich systemów. Według *National Defense Magazine* istnieje „luka innowacyjności", która naraża współczesnego żołnierza na niebezpieczeństwo. Aby żołnierze mieli jak najlepsze szanse na przetrwanie na polu walki i wygrywania wojen, muszą nosić ze sobą szerokie wyposażenie, która obejmuje między innymi urządzenia komunikacyjne, broń, amunicję i baterie. Surowe środowisko ich pracy – rozrzedzone górskie powietrze itp. – sprawiają, że wyposażenie to musi być lżejsze. Ten wymóg, w połączeniu z niskimi bądź wysokimi temperaturami, narażeniem na czynniki korozywne itd. sprawiają, że naukowcy muszą znaleźć nowe rodzaje złącz, które są odporne na czynniki środowiskowe, a jednocześnie są lżejsze, niż stosowane dotychczasowo.

Wiele programów Żołnierza Przyszłości, takich jak Nett Warrior Departamentu Obrony Stanów Zjednoczonych, indyjski F-Insas, włoski Soldato Futuro, polski Tytan, fiński Warrior itd, zostało utworzonych w celu rozwiązania tych właśnie problemów. Jedną z centralnych kwestii, na którą zwraca się uwagę w tych projektach jest rozmiar, waga i moc wdrażanych rozwiązań. Wymagania tym spowodowane przekładają się również na konektory.

Waga jest szczególnie istotną kwestią dla żołnierza, który zwykle nosi około 35…40 kg sprzętu. Kluczowym zadaniem jest zmniejszenie tej wagi o 25%. Biorąc pod uwagę, że każdy żołnierz nosi plecak, kamizelkę kuloodporną oraz broń i amunicję, to redukcja wagi o 10 kilogramów wymaga ponownego przemyślenia projektu i opakowania wielu rodzajów sprzętu elektronicznego i komunikacyjnego. Na przykład noktowizory, systemy celownicze, smartfony, GPS, komputery taktyczne i sprzęt komunikacyjny można zintegrować w bardzo funkcjonalny i niezawodny podsystem, wymagający szeregu kabli, wiązek przewodów i złączy. Cały ten sprzęt jest niezbędny, więc producenci muszą współpracować z partnerami w zakresie komponentów, aby znaleźć sposoby na redukcję wagi na każdym komponencie, aby osiągnąć założoną redukcję wagi.

Miniaturyzacja komponentów elektronicznych i łączności odgrywa kluczową rolę w osiągnięciu tego celu. Ważną rolę odgrywają tutaj złącza. Muszą być wystarczająco wytrzymałe, aby wytrzymać brud i warunki atmosferyczne, ale powinny być również małe, lekkie i łatwe w użyciu w napiętych sytuacjach. Połączenia muszą być wykonane w ułamku sekundy i często muszą być wykonane w rękawiczkach, preferując konstrukcje złączy push-pull, które blokują się natychmiast, a nie wymagają przekręcania. Urządzenia komunikacyjne muszą działać przez 100% czasu, niezależnie od tego, czy są to radia do rozmów z dowódcami, czy urządzenia do sterowania dronami lub systemami uzbrojenia. Dlatego projektanci sprzętu wojskowego powinni rozważyć złącza całościowo z projektem urządzenia.

Szukając idealnego złącza do zastosowań wojskowych, należy wziąć pod uwagę kilka czynników, w tym wagę, rozmiar, funkcjonalność, szybkość przesyłania danych, stopień sterylizacji i wodoodporność.

Waga

Zachowanie lekkiej konstrukcji jest niezwykle ważne w przypadku urządzeń przenośnych. Niektóre złącza zapewniają oszczędność masy do 75% w porównaniu ze standardowymi złączami rdzeniowymi. Na przykład wytrzymałe złącze serii Fischer MiniMax (**fotografia tytułowa**) bez podłączonych kabli waży zaledwie 14 gramów, a jednocześnie zapewnia 20 połączeń sygnałowych i 4 złącza zasilania do urządzenia. Producent oferuje szeroką gamę złącz tej rodziny o różnej licznie pinów sygnałowych i zasilających.

Rozmiar

W ramach wysiłków mających na celu zmniejszenie ciężaru, jaki każdy żołnierz musi nosić, siły zbrojne i ich główni kontrahenci dążą również do zmniejszenia fizycznych rozmiarów komponentów. Wysoce funkcjonalne złącza i zespoły kabli można obecnie zmniejszyć o 45% w porównaniu ze starszymi rozwiązaniami w zakresie złączy, jednocześnie unikając zakłóceń między liniami sygnałowymi.

eprasa.pl 0667ee155a

Współczesne okrągłe złącza mają średnicę ok 10 lub 12 mm, a istnieją ich wersje w wykonaniu spełniającym typowe normy wojskowe, dotyczące zakresu temperatur itp. Taki rozmiar to istotna różnica, w porównaniu do dotychczasowo stosowanych złącz w sprzęcie militarnym. Mniejsze złącza, które zachowują standardy funkcjonalne, pozwalają projektantom zmniejszyć rozmiar systemów. Nawet milimetry mają znaczenie dla żołnierza w terenie.

Mimo to inżynierowie muszą uważać na zmniejszenie rozmiaru. Zbyt mały rozmiar może prowadzić do problemów z użytecznością. Wiele dostępnych na rynku złączy jest zbyt delikatnych, aby mogli ich używać żołnierze, którzy często znajdują się w krytycznych sytuacjach, a inne są po prostu zbyt małe, aby można je było obsługiwać w rękawiczkach.

Funkcjonalność

Wytrzymałość jest niezwykle ważnym czynnikiem wpływającym na funkcjonalność. Złącza używane w ekstremalnych warunkach powinny być w stanie wytrzymać obecność piasku, wody, chemikaliów i innych czynników środowiskowych. Muszą również wytrzymać użytkowanie przez długi czas, wielokrotne cykle łączenia itd. Ważne jest, aby dobrze używane złącza były w stanie wytrzymać moment obrotowy powyżej 4 Nm, a zespoły obtryskiwane z kablem/odgiętką powinny wytrzymać siłę ciągnącą (odrywającą) minimum 40 kg.

Zwiększenie gęstości pinów jest ważne, ponieważ pozwala pojedynczemu złączu wykonać zadanie dwóch, trzech lub większej ilości konektorów. Takie złącze może spełniać kilka funkcji – przesył zasilania, Ethernet, HDMI itp. – bez interferencji itp. Producenci poczynili ostatnio postępy w kierunku tworzenia złączy z dużą liczbą pinów, które działają optymalnie bez zakłóceń.

Złącza powinny być łatwe do łączenia lub rozłączania nawet w rękawiczkach i wystarczająco trwałe, aby funkcjonowały przez dużą liczbę cykli łączenia. Zapewnia to, że po dużej liczbie cykli łączenia parametry elektryczne czy odporność na czynniki środowiskowe są nadal takie sama.

Transfer Danych

Wraz z rosnącym zapotrzebowaniem zarówno na zasilanie, jak i bezpieczny transfer danych, systemy militarne wymagają szybkiego i bezzakłóceniowego przenoszenia danych. Na szybkość przesyłania danych ma wpływ m.in. złącze, wybrany kabel i sam montaż. Zapewnienie sobie wystarczającej ilości czasu na przetestowanie kombinacji złącza i kabla staje się ważniejsze niż kiedykolwiek, aby upewnić się, że uzyskana zostanie założona prędkość transmisji danych. W miarę jak złącza stają się coraz mniejsze, wybór kabli staje się coraz trudniejszy ze względu na ograniczenia dotyczące rozmiaru i montażu. Dostawcy złącz powinni być w stanie przedstawić certyfikaty osiągnięcia określonych prędkości transmisji danych i obsługiwania konkretnych protokołów, takich jak USB, Ethernet czy HDMI, a także zasugerować odpowiednie projekty kabli lub zapewnić w pełni zintegrowane rozwiązania.

Sterylizacja

W trudnych, ekstremalnych warunkach pola walki, kluczowe znaczenie ma uszczelnienie złączy, niezależnie od tego, czy są one podłączone, czy nie, w celu ochrony ich przed piaskiem, brudem, wodą i chemikaliami. Równie ważna jest jednak możliwość czyszczenia i często sterylizacji złącz (jest to krytyczne w przypadku zagrożenia bronią ABC: atomowa, bakteryjna, chemiczna) bez ich uszkodzenia. Wszystkie złącza można sterylizować, ale niekoniecznie prostymi metodami. Na przykład niektóre można prać, inne sterylizować promieniowaniem gamma, a jeszcze inne można umieścić w autoklawie. Jeśli wiadome jest, że złącze wymaga sterylizacji, należy upewnić się, że zdefiniowano, jaka dokładna metoda sterylizacji jest akceptowalna dla wybranego rozwiązania.

Klasa wodoodporności (IP)

Większość producentów złączy samodzielnie testuje swoje produkty. Oznacza to, że chociaż na złączu można na przykład umieścić klasę IP68, test zastosowany przez producenta w celu uzyskania takiej oceny może różnić się od testu przeprowadzonego przez innego producenta. Takie testy obejmują zanurzanie złącza w różnych poziomach wody na różne okresy czasu. Podczas badania złączy ważne jest, aby sprawdzić metody testowania, ponieważ klasa IP68 jednej marki mogła zostać uzyskana inaczej niż ocena innej marki. Złącza wojskowe powinny również mieć stopień ochrony IP68, zarówno w połączeniu, jak i w stanie rozłączonym, co zmniejsza potrzebę stosowania nasadek ochronnych.

Podsumowanie

Współczesne siły zbrojne nadal inwestują w najnowsze technologie i zwracają się do głównych wykonawców i gotowych dostawców o dostarczenie im nowych technologii. Firmy, które dostarczą mniejszy, lżejszy sprzęt, otrzymają dodatkowe możliwości udowodnienia, że ich urządzenia sprawdzą się na polu bitwy. Zwracanie uwagi na rozwiązania w zakresie połączeń i obserwowanie najnowszych trendów w miniaturyzacji wytrzymałych złączy pomoże firmom sprostać wymaganiom wojskowym i wejść na rynek.

Nikodem Czechowski, EP

Bibliografia:

- www.everyspec.com/
- www.mouser.com/
- www.amphenol.com/
- www.connectorworld.com.au/
- Wim Vanheertum „Miniaturization" Fischer Connectors White Paper Edition 1.3

REKLAMA

HAMMOND

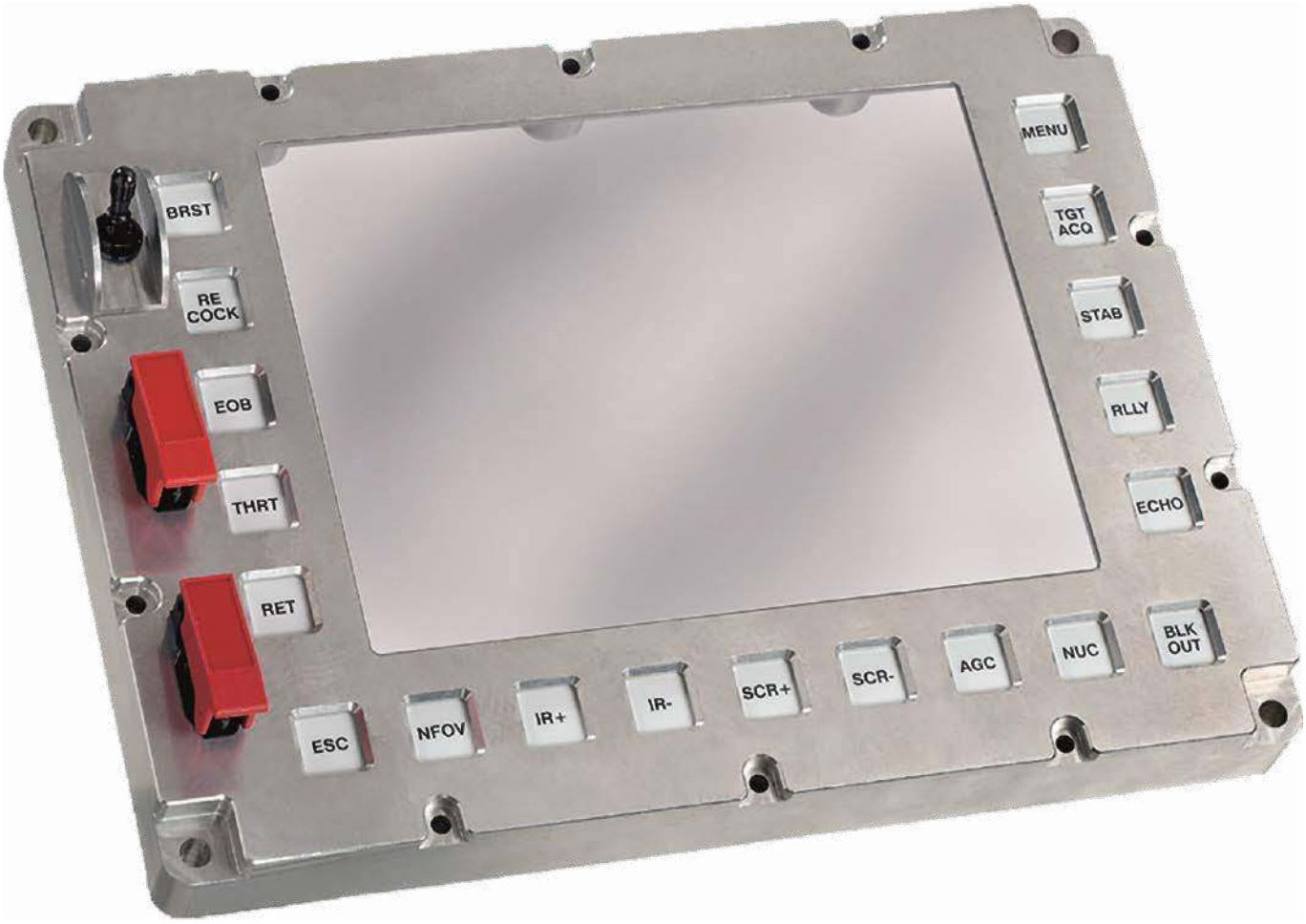
Obudowy kołnierzowe 1555F IP68

Nowe wymiary!

Dowiedz się więcej: hammfg.com/1555f

eusales@hammfg.com • + 44 1256 812812

eprasa.pl 0667ee155a



Podzespoły dla przemysłu i aplikacji militarnych

Kluczowymi podzespołami niemal każdego urządzenia elektronicznego są elementy odpowiedzialne za interakcje z użytkownikiem. Są poddawane częstym, powtarzalnym obciążeniom mechanicznym związanym z ich użytkowaniem oraz są najbardziej narażone na niekorzystne oddziaływanie warunków środowiskowych i w dużym stopniu wpływają na szczelność systemu. Muszą wiec sprostać wygórowanym wymaganiom technicznym i użytkowym, a jednocześnie muszą odznaczać się odpowiednią estetyką. W takich zastosowaniach, jak aplikacje militarne, jest to możliwe tylko z zastosowaniem solidnych komponentów, uznanych producentów. Te kryteria spełniają produkty marki APEM, dostępne w ofercie firmy Eltronika.

Więcej informacji:
Eltronika
05-152 Czosnów, ul. Duńska 2A
biuro@eltronika.pl, tel. 22 7519744
www.eltronika.pl

Podzespoły przeznaczone do zastosowań o charakterze krytycznym muszą być dopracowane pod każdym względem i nierzadko wymagają niestandardowych rozwiązań oraz wyjątkowo wytrzymałych materiałów. Firma APEM jest głównym dostawcą systemów sterowania obronnością w Europie, które w wielu miejscach są stosowane od ponad 30 lat, co jest najlepszym świadectwem jakości jej produktów. Z szerokiej oferty wybraliśmy i zaprezentowaliśmy trzy typy: manipulatory serii TH, miniaturowe manipulatory serii TS oraz panele i klawiatury przystosowane do trudnych warunków.

Wytrzymałe manipulatory serii TH

Zapewniają proporcjonalne sterowanie i zostały zaprojektowane do długotrwałego użytkowania i przygotowane na trudne warunki pracy. Najczęściej spotykane zastosowania obejmują sprzęt mobilny (robotyka), sterowanie podnośników, wojskowe pojazdy specjalistyczne czy symulatory. Seria TH bazuje na bezkontaktowej technologii efektu Halla, dzięki czemu żywotność mechaniczna to aż 1 milion cykli. Występuje kilka rodzajów standardowych rękojeści w zależności od pełnionych funkcji (**fotografia 1**), opcjonalnie jest możliwość zastosowania mikroswitchy.

eprasa.pl 0667ee155a

Fotografia 1. Wytrzymałe manipulatory serii TH

Fotografia 2. Miniaturowy manipulator serii TS

Miniaturowe manipulatory serii TS

Niewielkie komponenty przeznaczone są do sterowania kciukiem (**fotografia 2**). Wiele z nich znalazło zastosowanie w sterowaniu konsoli (stacji kontroli) profesjonalnych dronów militarnych. Te analogowe joysticki mogą być jedno lub dwu-osiowe, działają proporcjonalnie korzystając z efektu Halla. Przy zamianie na inny aktywator(element sterujący) mają możliwość umieszczenia przycisku typu *fire*, którym za pomocą kciuka potwierdzamy wybór funkcji. Dzięki uszczelnieniu klasy IP67, seria TS dobrze sprawdza się w trudnych warunkach pracy(wilgoć, pył, piasek).

Panele i klawiatury dla trudnych warunków pracy

Od wielu lat APEM opracowuje wzmocnione systemy sterowania do bardzo trudnych warunków pracy. Produkty te łączą doświadczenie w projektowaniu elektroniki i oprogramowania z kompletną wiedzą na temat frezowania, drukowania i integracji przełączników. Panelowe rozwiązania mogą zawierać przełączniki, kontrolki LED i osłony przełączników (ochrona przed przypadkowym przełączeniem), jak pokazano na fotografii tytułowej. Zazwyczaj są to produkty niestandardowe dla małych i średnich serii produkcyjnych.

Podsumowanie

Eltronika osiągnęła wysoki poziom specjalizacji w dystrybucji, który został uznany przez światowych producentów i potwierdzony wyróżnieniami i nagrodami. Oferta obejmuje optymalne rozwiązania i produkty dopasowane do potrzeb wielu krytycznych aplikacji, z zapewnionym krótkim czasem dostawy. Nie bez znaczenia jest też specjalistyczne wsparcie dla klientów na każdym etapie współpracy.

REKLAMA

eprasa.pl 0667ee155a

Termowizja i autonomiczne statki powietrzne

Wraz z rozpowszechnieniem się autonomicznych statków powietrznych, zwanymi też dronami, wzrosła liczba ich potencjalnych zastosowań, również tych na polu walki. Małe, szybkie i ciche, a przez co bardzo trudno wykrywalne, stały się jednym z podstawowych narzędzi rozpoznania pola walki. Aby mogły w pełni realizować te zadania, wyposażane są w różnego rodzaju przyrządy obserwacyjne, w tym głowice multispektralne i kamery termowizyjne.

Konieczność rozpoznania pola walki przez poszczególne strony była jednym z impulsów do rozwoju techniki termowizyjnej. Polega ona na obserwacji obiektów w paśmie podczerwonym, emitowanym przez wszystkie ciała o temperaturze powyżej zera absolutnego. Pozwala to na obserwację niezależnie od pory dnia i nocy, także w trudnych warunkach takich, jak zadymienie czy zamglenie.

Fotografia 1. Moduły i kamery termowizyjne z serii KT

Więcej informacji:
Etronika
03-808 Warszawa, ul. Mińska 25 pok. 310
biuro@etronika.pl, tel. +48 22 870 64 96
www.etronika.pl

Dzięki temu, termowizja sprawdza się tam, gdzie zwykłe kamery telewizyjne nie są skuteczne.

Na rynku można znaleźć wiele różnych rozwiązań termowizji dla dronów: modułów, kamer i głowic obserwacyjnych. Wśród nich można znaleźć rozwiązania warszawskiej firmy Etronika, która już od 20 lat zajmuje się projektowaniem i produkowaniem urządzeń optoelektronicznych, w tym termowizyjnych, na potrzeby rynku militarnego. W ostatnich latach zaczęła rozszerzać swoją ofertę, także na rynek cywilny, w tym do zastosowań na bezzałogowych statkach powietrznych, na którą składają się zarówno miniaturowe kamery, jak i głowice optoelektroniczne.

Moduły i kamery termowizyjne z serii KT

Miniaturowe urządzenia serii KT mają wiele możliwości. Zawierają niechłodzone detektory bolometryczne i atermizowane obiektywy, które pozwalają na uzyskanie wysokiej jakości obrazu w każdych warunkach. Detektory mogą mieć rozdzielczość od 640×480 aż do 1280×1024 pikseli. Szeroka gama dostępnych obiektywów (**fotografia 1**) o zróżnicowanym zakresie kątów pola widzenia umożliwia odpowiednie przystosowanie kamery do wymagań użytkownika i konkretnego zastosowania. Możliwość wyprowadzenia sygnału wideo zarówno w postaci analogowej, jak i cyfrowej ułatwia integrację z innymi elementami systemu, takimi jak nadajniki czy rejestratory, zaś niski pobór mocy ma kluczowe znaczenie w aplikacjach bateryjnych.

eprasa.pl 0667ee155a

Fotografia 2. Miniaturowa głowica optoelektroniczna

Moduły mogą być sprzedawane jako podzespoły do zabudowy lub gotowe urządzenia, zamknięte w hermetycznej obudowie.

Głowice optoelektroniczne

Kolejną grupą produktów mających zastosowanie w dronach są głowice optoelektroniczne. Urządzenia te zawierają kamery termowizyjne oraz telewizyjne, umieszczone na stabilizowanej platformie obrotowo uchylnej. Umożliwiają obserwację dowolnego obszaru. Dzięki zastosowaniu kamer telewizyjnych, uzupełnionych o kamerę termowizyjną, możliwa jest skuteczna obserwacja niezależnie od panujących warunków czy pory dnia (**fotografia 2**).

Chłodzone detektory termowizyjne

Dla bardzo wymagających klientów Etronika opracowała miniaturowe moduły zbudowane na bazie chłodzonych detektorów termowizyjnych (**fotografia 3**). Umożliwia to uzyskanie obrazu o jeszcze większej liczbie szczegółów i niskim poziomie szumów. Rozwiązania te, ze względu na swoją cenę stosowane są w zaawansowanych systemach oraz większych statkach powietrznych.

ETRONIKA Sp. z o.o.

Fotografia 3. Chłodzony detektor termowizyjny

REKLAMA

eprasa.pl 0667ee155a

Obserwacje hiperspektralne kluczowym elementem świadomości na współczesnym polu walki

Znaczna część technologii wojskowych służy przede wszystkim do obserwacji pola walki i terenu przeciwnika. W ten sposób wiele zaawansowanych, nowatorskich rozwiązań trafia najpierw w ręce dowódców. Obecnie sprzęt elektroniczny pełni kluczową rolę w zapewnianiu świadomości sytuacyjnej żołnierzom na polu walki.

Podręcznik polowy armii Stanów Zjednoczonych definiuje świadomość sytuacyjną, jako „znajomość i zrozumienie bieżącej sytuacji, która sprzyja terminowej, odpowiedniej i dokładnej ocenie operacji sojuszniczych, wrogich i innych na polu bitwy w celu ułatwienia podejmowania decyzji". O ile świadomość sytuacyjna jest istotna w przypadku pojedynczego żołnierza piechoty, to staje się krytyczna, gdy pomyślimy o wojskach zmechanizowanych czy pancernych.

Wczesne czołgi i pojazdy pancerne zasadniczo wyposażone były jedynie w małe szczeliny wizyjne, które zapewniały ograniczony widok obszaru bezpośrednio widzianego przez te szczelinę. Tak, więc kierowcy mogli widzieć przed sobą jedynie wąski pas przestrzeni, strzelcy mogli widzieć mały wycinek tego, co znajdowało się bezpośrednio przed ich działami itp. Aby temu zaradzić, wiele wczesnych czołgów obsługiwane było przez wiele osób, znajdujących się w wielu niezależnych sponsonach, ułożonych na obrzeżach czołgu tak, aby objąć ogniem wiele obszarów dookoła pojazdu. Dodatkowo, obecny w pojeździe dowódca obserwował otoczenie, używając specjalnej, opancerzonej kopuły lub podobnej konstrukcji ze szczelinami wizyjnymi, która np. poruszała się, aby umożliwić mu lepsze obserwowanie otoczenia.

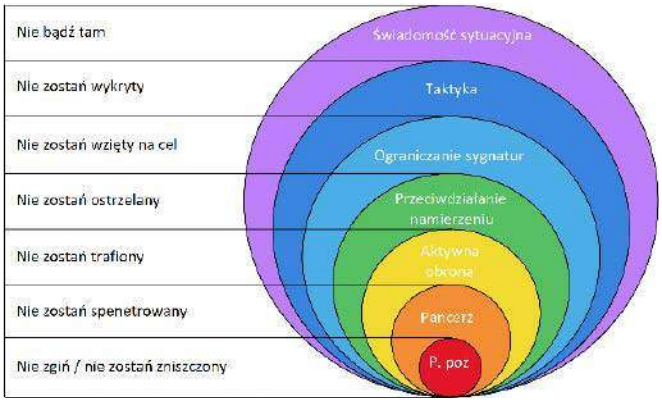
Wczesne pojazdy opancerzone, takie jak brytyjski czołg Mark V (**fotografia 1**), były powolne, wyjątkowo niezgrabne i miały trudności z manewrowaniem, choć nadal diametralnie zmieniały rozkład sił na polu bitwy, przekraczając okopy i pomagając przełamać impas w wojnie pozycyjnej, po ich wprowadzeniu w czasie I Wojny Światowej.

Fotografia 1. Brytyjski czołg Mark V, widoczny jeden ze sponsonów bocznych z własnym działem i szczelinami obserwacyjnymi. Źródło: Wikimedia Commons

Już podczas wojny zauważono, że prymitywne szczeliny obserwacyjne, jakie stosowano w tych pojazdach były z wielu powodów ich słabym punktem. Po pierwsze, rzadko kiedy były dostatecznie osłonięte, co powodowało, że dostawał się przez nie do środka śnieg, deszcz, popiół, dym, ale także kule przeciwnika. Te, które udawało się zamknąć, nadal stanowiły słaby punkt pancerza pojazdu. Jeśli chodzi o obserwacje dalekiego zasięgu, to we wczesnym czołgu było to generalnie realizowane po prostu przez człowieka z lornetką na ogół wyglądającego przez otwarty właz, drzwi, albo znajdującego się na specjalnej pozycji obserwacyjnej na pojeździe.

Celowniki artyleryjskie, stosowane w tych pojazdach były prymitywne, o ile w ogóle się tam znajdowały i nie były one sprzężone

eprasa.pl 0667ee155a

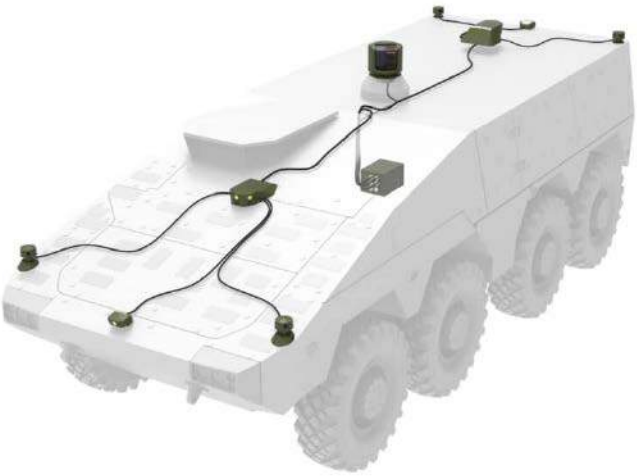


Rysunek 1. Cebulka przeżywalności dla czołgu na polu bitwy

z systemami obserwacyjnymi w prosty sposób. W ten sposób nie tylko obserwacja terenu była utrudniona, ale także celowanie nie należało do najprostszych… Pozostawało wiele do zrobienia, jeśli chodzi o rozwój tych pojazdów i związanej z nimi technologii obserwacyjnej i nie tylko.

Świadomość sytuacyjna

W przypadku pojazdów opancerzonych świadomość sytuacyjna jest krytycznym elementem przetrwania pojazdu na polu walki. Jeśli spojrzymy na tzw. cebulkę przeżywalności czołgu (**rysunek 1**), to właśnie świadomość sytuacyjna decyduje o tym, czy czołg (ale to założenie rozciąga się również na inne pojazdy, jak i piechotę) nie znajdzie się w niewłaściwym miejscu, w niewłaściwym czasie. Aby ustrzec się zagrożenia na współczesnym polu bitwy, należy znać pełny obraz sytuacji, a w przypadku systemów pojazdu pancernego – konieczne są sensory obejmujące obszar dookoła kadłuba.



Rysunek 2. Rozmieszczenie sensorów w pojeździe dla systemu Vegvisir (system świadomości sytuacyjnej dla pojazdów opancerzonych)

Rysunek 3. Przykładowy wygląd systemu prezentacji danych z zastosowaniem AR

Przykładem systemu, który może być montowany w pojazdach opancerzonych, głównie bojowych wozach piechoty i transporterach opancerzonych, jest Chorwacko-Estoński system Vegvisir (**rysunek 2**). Bazuje on na macierzy kamer i innych sensorów, rozmieszczonych na pojeździe oraz oprogramowania, które zbierając dane z tych sensorów syntezuje obraz rozszerzonej rzeczywistości, który uzupełniony jest innymi danymi pojazdu (**rysunek 3**). Kierowca pojazdu opancerzonego, korzystający z systemu Vegvisir został pokazany na **fotografii tytułowej**. Tego rodzaju rozwiązanie jest, na obecny stan wiedzy, idealnym rozwiązaniem problemu świadomości sytuacyjnej

Sieciocentryczność

Mówiąc o zwiększaniu świadomości sytuacyjnej na polu bitwy, szczególnie w kontekście stosowania nowoczesnego sprzętu elektronicznego, nie sposób wspomnieć o sieciocentryczności (NCW). Nawet twórca tej koncepcji uważa, że nie można w ścisły sposób jej zdefiniować. Brak jest w literaturze wojskowej definicji, która byłaby akceptowana przez większość specjalistów zajmujących się tym zagadnieniem, a wśród osób kreujących najnowsze doktryny wojskowe brak jest spójnego spojrzenia na NCW. Mimo tego, większość badaczy współczesnej myśli wojskowej uważa, że implementacja tego paradygmatu jest kluczowa w wielu rodzajach sił zbrojnych.

W erze bogactwa informacji, coraz częściej staje się ona sama w sobie wartością, porównywalną do klasycznej produkcji przemysłowej. Doskonale widoczne jest to na przykładzie naszego sektora – elektroniki – gdzie własność intelektualna, tzw. IP, jest istotnym bogactwem, eksploatowanym przez wiele firm. Nie inaczej jest na polu bitwy – informacja jest kluczowym dobrem, zaraz obok amunicji czy paliwa. Zasadniczą ideą sieciocentrycznej doktryny walki jest maksymalizacja wykorzystania informacji, jakie są zbierane, co ma na celu zwiększenie potencjału bojowego. Rozpowszechnianie zebranych informacji pełni rolę tzw. multiplikatora siły, jednostek na polu walki.

Co ta koncepcja oznacza w praktyce? Współdzielenie możliwie dużej ilości informacji z pozostałymi składnikami sił zbrojnych, w stopniu uzasadnionym potrzebami taktycznymi, operacyjnymi i strategicznymi. Najlepiej w sposób automatyczny i autonomiczny. A patrząc zupełnie technicznie, chodzi o to, żeby poszczególne jednostki (na odpowiednim szczeblu) miały dostęp do informacji zbieranych przez inne jednostki. W praktyce oznacza to, że np. piechota ma dostęp do informacji pochodzących ze zwiadu powietrznego (z pomocą BSP i pojazdów załogowych), rozpoznania radioelektronicznego itd. Mogą to być różnego rodzaju informacje, na ogół powinny one być w pewnym stopniu przetworzone i ograniczone do wymaganego w danej sytuacji zakresu. Na przykład dostarczanie żołnierzom piechoty obrazów z dronów, obserwujących znajdującego się nieopodal przeciwnika i w drugą stronę – użycie informacji zbieranych przez żołnierzy piechoty – będących na ogół najbliżej linii frontu, do namierzania artylerii, która znajduje się dużo głębiej, bezpiecznie ulokowana na kontrolowanym terenie. Osoba tzw. wysuniętego obserwatora (*forward observer*, FO) jest tutaj kluczowa dla powodzenia misji ogniowych.

Dotychczasowo FO musiał być specjalnie wyszkolonym i przygotowanym żołnierzem. Łatwo można sobie wyobrazić, że specjalnie skonstruowana lornetka, przekazująca dane do dowództwa sił połączonych, czy bezpośrednio do działonów, może w dużej mierze zastąpić przeszkolonego FO, maksymalizując skuteczność wykorzystania wsparcia artyleryjskiego.

Zastosowanie BSP na współczesnym polu walki

Tocząca się obecnie wojna w Ukrainie doskonale pokazała, jak krytycznym elementem uzyskiwania świadomości sytuacyjnej w czasie pełnoskalowego konfliktu symetrycznego są bezzałogowe statki powietrzne (BSP). Ze względu na swoje możliwości obserwacyjne, pojazdy te okazały się przydatne w różnych operacjach terenowych sił zbrojnych i podobnych operacjach cywilnych. Pojazdy latające są kolejną, ale niezwykle ważną platformą do instalacji systemów obserwacyjnych.

eprasa.pl 0667ee155a

Fotografia 2. Bezzałogowy statek powietrzny FlyeEye firmy WB Electronics przeznaczony do obserwacji pola walki (źródło: Wikimedia Commons)

Fotografia 3. Przenośny system PAPV do neutralizacji urządzeń optoelektronicznych

W naszym kraju konstruuje się szereg latających pojazdów bezzałogowych, przeznaczonych do obserwacji. Jednymi z szerzej znanych są produkty podwarszawskiej firmy WB Electronics, takie jak FlyeEye, pokazany na **fotografii 2**. Pojazd ten mierzy aż 3,6 metra rozpiętości skrzydeł i może ważyć do 12 kg podczas startu. Jest on w stanie latać na pułapie do 3500 metrów z prędkością do 120 km/h przez czas min. 2,5 godziny. Pod pojazdem podwieszona jest głowica obserwacyjna, która transmituje obraz do operatora. Może on także komunikować się z systemem zarządzania walką TOPAZ. Głowica optyczna może być wymieniona na inny moduł misyjny – np. akustyczny detektor lokalizacji wystrzału, moduły transportowe.

Oprócz dronów obserwacyjnych na rynku pojawia się coraz więcej dronów uzbrojonych. Tego rodzaju systemy wykraczają poza zakres tego artykułu, aczkolwiek wiele z nich bazuje na takich samych platformach latających, jak pojazdy obserwacyjne.

Obrazowanie hiperspektralne

Ludzkie oko jest w stanie widzieć tylko w ograniczonej części widma elektromagnetycznego i może rozróżniać obiekty na podstawie ich różnych reakcji widmowych w wąskim zakresie widmowym. Jednak opracowano wielospektralne czujniki obrazujące, które są w stanie uzyskać obraz w podczerwieni i innych segmentach widma elektromagnetycznego (**tabela 1**). Dodatkowo, czujniki półprzewodnikowe mogą być znacznie bardziej czułe niż ludzkie oko, co pozwala widzieć w warunkach bardzo niewielkiego oświetlenia.

Mówiąc o różnych pasmach promieniowania elektromagnetycznego należy wyróżnić następujące zakresy:

- światło widzialne,
- NIR – bliska podczerwień,
- SWIR – podczerwień krótkofalowa,
- MWIR – średnia podczerwień,
- LWIR – daleka podczerwień.

Obrazowanie w każdym z tych zakresów ma inne zastosowanie. Obrazowanie w zakresie widzialnym nie wymaga większego objaśnienia. Systemy pracujące w bliskiej podczerwieni stosowane są głównie do obserwacji nocnych lub w warunkach zadymienia. Z kolei obserwacje w dalszej części widma podczerwonego pozwala na rekonstrukcję obrazów termicznych, które umożliwiają wykrywanie ukrytych osób i techniki tak w nocy, jak i w dzień. Dodatkowo, jakkolwiek nie jest to ściśle element obrazujący, należy wspomnieć również o dalmierzach laserowych, jakie często integruje się z systemami obrazowania.

Tabela 1. Różne segmenty widma elektromagnetycznego

Nazwa zakresu	Długość fali [μm]
Światło widzialne (błękit, zieleń i czerwień)	0,4...0,68
NIR – bliska podczerwień	0,68...1
SWIR – podczerwień krótkofalowa	1...2,5
MWIR – średnia podczerwień	3...5
LWIR – daleka podczerwień	8...14

Obrazowanie w pasmie widzialnym

Kamery do obrazowania w pasmie widzialnym, stosowane w sprzęcie wojskowym, nie różnią się znacznie od sensorów stosowanych w sprzęcie cywilnym. Oczywiście, wojsko sięga na ogół po najwyższej klasy elementy, priorytetowo traktując ich niezawodność.

Istotnym aspektem systemów obserwacyjnych jest odporność na uszkodzenia promieniowaniem laserowym. Oprócz tego, że na polu walki lasery często są stosowane w dalmierzach, systemach namierzania itd., to istnieją specjalne promienniki laserowe, których zadaniem jest uszkadzanie urządzeń elektrooptycznych. Przykładem takiej broni jest rosyjski system PAPV, pokazany na **fotografii 3**. Zawiera on laser niewielkiej mocy do wyszukiwania urządzeń optycznych, a następnie wysyła w ich kierunku impuls laserowy o wyższej mocy, który ma za zadanie je oślepić.

Noktowizja

Jako systemy noktowizyjne stosuje się obecnie niemal wyłącznie systemy pasywne, gdyż systemy aktywne (takie, które w pewien sposób „oświetlają" teren) są bardzo łatwe do wykrycia. Pracowały one na ogół w zakresie bliskiej podczerwieni bądź SWIR.

Obecnie typowymi rozwiązaniami są wzmacniacze obrazu, bazujące na płytkach mikrokanalikowych (zachowują się one jak setki, jeśli nie tysiące, połączonych ze sobą fotopowielaczy). Tego rodzaju rozwiązania są jednak coraz częściej wypierane przez kamery czysto półprzewodnikowe, takie jak CCD, a zwłaszcza EMCCD czy ICCD.

Termowizja

Każdy obiekt o temperaturze powyżej zera absolutnego emituje jakieś promieniowanie. Opisuje to teoria promieniowania ciała doskonale czarnego. W przypadku temperatur, z jakimi mamy na ogół do czynienia w naszym otoczeniu, maksimum tego promieniowania przypada na okolice od kilku do kilkunastu mikrometrów – obszary MWIR i LWIR. Dlatego też, sensory optyczne, pracujące w tym zakresie spektralnym, widzą po prostu promieniowanie cieplne.

Do detekcji promieniowania w tym zakresie stosuje się szereg technologii. Jedną z nich są klasyczne fotodetektory półprzewodnikowe. Są one konstruowane z materiałów o bardzo małej przerwie energetycznej, by możliwa była absorbcja fotonów o taki niskiej energii, jaka odpowiada np. LWIR. W tym celu stosuje się m.in. antymonek indu, siarczek ołowiu czy tellurek rtęciowo-kadmowy. Detektory te muszą być chłodzone kriogenicznie, aby uzyskiwać odpowiednie

eprasa.pl 0667ee155a

Fotografia 4. Głowica KOT-1 firmy Etronika wraz z wyświetlaczem i pilotem

Fotografia 5. Głowica obserwacyjna Epsilon 175 firmy Octopus

parametry, zwłaszcza szumowe. Utrudnia to ich implementację w systemach wojskowych.

Inną klasą detektorów, często stosowanych w systemach militarnych, są mikrobolometry. Bolometr, to urządzenie, które mierzy promieniowanie cieplne. Składa się on z niewielkiego elementu, który pochłania padające nań promieniowanie cieplne i rozgrzewa się. Mierząc zmianę jego temperatury można oszacować temperaturę ciała, które emitowało rzeczone promieniowanie. Macierz zminiaturyzowanych sensorów tego rodzaju – mikrobolometr – posłużyć może, jako sensor do obrazowania. Macierze mikrobolometrów nie muszą być chłodzone podczas pracy.

Zastosowania

Omówione systemy obrazowania najczęściej integrowane są w specjalne głowice – wspólnie poruszające się platformy, zawierające co najmniej kilka kanałów obserwacji i inne sensory (np. dalmierze), sprzęgnięte ze sobą tak, że obserwują one ten sam cel w danym momencie. Na rynku dostępnych jest wiele głowic, które mogą być integrowane z innym sprzętem – pojazdami lądowymi, latającymi, zdalnymi punktami obserwacji, zdalnie sterowanymi stacjami uzbrojenia itp.

W ostatniej części artykułu zaprezentowano niektóre współczesne głowice obserwacyjne, z naciskiem na modele produkowane w Polsce i u naszych bezpośrednich sąsiadów. Z uwagi na trudny dostęp do danych tych urządzeń (są one w większości przypadków niejawne), opisy nie są szczegółowe a podawane wartości mogą nie być poprawne.

Etronika KOT-1

Głowica KOT-1 firmy Etronika to relatywnie proste urządzenie, które integruje w sobie dwa sensory – światła widzialnego i kamerę termalną. Jako sensor do obserwacji dziennej zastosowano macierz CMOS o rozdzielczości 1440×1080 pikseli, sprzężoną z obiektywem o kącie widzenia równym 30°. Do obserwacji termicznej (nocnej) zastosowano niechłodzoną macierz bolometryczną o rozdzielczości 640×480 pikseli i kącie widzenia takim samym, jak kamera dzienna. Moduł zamontowany jest na ruchomej głowicy. Firma Etronika dostarcza go wraz z ekranem i pilotem do sterowania (**fotografia 4**).

Octopus Epsilon 175

Epsilon 175 to głowica obserwacyjna firmy Octopus, przeznaczona do instalacji na pojazdach latających (**fotografia 5**). Integruje ona kolorową kamerę z sensorem CMOS o rozdzielczości 1280×780 pikseli, która sprzęgnięta jest z obiektywem o regulowanym przybliżeniu (aż do 45×), co pozwala na obserwację w kącie (poziomym) od 62,9° do 2,2°. System obrazowania termicznego oparty jest na chłodzonym

REKLAMA

LEMO
• system zatrzaskowy
• push pull
• system zakręcany
• hybrid
www.lemo.com
• wysoka odporność na warunki atmosferyczne
• różne materiały obudowy (mosiądz, aluminium, stal szlachetna)
• różne konfiguracje pinów (sygnałowe, zasilające, RF, światłowodowe, hybrydowe i inne)
www.newenglandwire.com
www.omnetics.com
www.vptpower.com
NEW ENGLAND WIRE TECHNOLOGIES
OMNETICS CONNECTOR CORPORATION
VPT
SEMICON
ul. Zwoleńska 43/43A,
04-761, Warszawa
Tel.: 22 615-73-71
info@semicon.com.pl

eprasa.pl 0667ee155a

Fotografia 6. Głowica GOC-1 firmy PCO

Fotografia 7. Głowica GOD-1 firmy PCO

sensorze MWIR o rozdzielczości 640×512 pikseli, który wyposażono w obiektyw o regulowanej ogniskowej, od 18 mm do 275 mm, co przekłada się na zoom do 15×. Moduł wyposażony jest również w dalmierz laserowy o zakresie pomiarowym do 15 km i oświetlacz laserowy (830 nm), który może być wykorzystany do podświetlania celów. Najciekawszą funkcją tej głowicy obserwacyjnej jest sprzęgnięcie jej z GPS-em, co pozwala na korelację jej pozycji z mapą i dokładne oznaczanie na mapie, gdzie znajdują się obserwowane obiekty.

PCO GOD-1 IRIS i GOC-1 NIKE

Głowica GOD-1 (**fotografia 6**) jest jedną z głowic, umieszczonych na najnowszej polskiej konstrukcji wieżowej – ZSSW-30, przewidzianej do instalacji na nowoczesnych podwoziach bojowych wozów piechoty. Przewiduje się, że ZSSW-30 umieszczone będzie na wozach BORSUK, jakie są właśnie w ostatniej fazie opracowywania. GOD-1 to uniwersalna głowica, pozwalająca na montaż i integrację z pojazdami lądowymi, jak i latającymi. W tym tandemie przewidziana jest, jako głowica dowódcy wozu.

GOC-1 to głowica dla systemu celowniczego (**fotografia 7**), która jest przeznaczona do instalacji w bojowych wozach piechoty i innych systemach uzbrojenia. Wyposażona jest w stabilizację i opcję śledzenia celów.

Wydaje się, że obie głowice wyposażone są w ten sam moduł do obrazowania w świetle dziennym, który oferuje obraz CCIR PAL o szerokości 10,7°×8° lub 3,3°×2,5° (wybierana przez użytkownika). GOC-1 wyposażona jest w termowizjer obserwujący w zakresie od 3 do 5 mikrometrów za pomocą chłodzonego sensora mikrobolometrycznego o rozdzielczości 640×512 pikseli. Sensor w GOD-1 obrazuje w zakresie mniej energetycznych fotonów – od 8 do 12 mikronów, co pozwala na wykrywanie chłodniejszych obiektów, niż głowica celowniczego. Sensor termiczny w głowicy dowódcy także ma rozdzielczość 640×512 pikseli i jest aktywnie chłodzony.

Oba moduły wyposażono w monoimpulsowy dalmierz laserowy (redukuje szansę wykrycia pojazdu czy też detekcji pomiaru odległości) o zasięgu do 10 kilometrów.

Podsumowanie

Systemy obrazowania hiperspektralnego są podstawowym elementem składowym wojskowych systemów obserwacyjnych, które montowane są na pojazdach wojskowych i nie tylko. Obserwacja pola walki w wielu zakresach promieniowania elektromagnetycznego pozwala na podniesienie świadomości sytuacyjnej żołnierzy zamkniętych za pancerzem pojazdów, a łączenie tych systemów dalej, w sieci, pozwala na podniesienie świadomości sytuacyjnej na poziomie taktycznym, ale też operacyjnym czy strategicznym.

W najbliższych latach można spodziewać ekscytującego rozwoju systemów obserwacji hiperspektralnej, dzięki szybkiemu rozwojowi sensorów optycznych, zwłaszcza do obrazowania termicznego, oraz jeszcze szybszemu rozwojowi algorytmów widzenia komputerowego, które pozwalają analizować zbierane obrazy w czasie rzeczywistym, aby przyspieszyć podejmowanie decyzji, przez żołnierzy.

Nikodem Czechowski, EP

Bibliografia

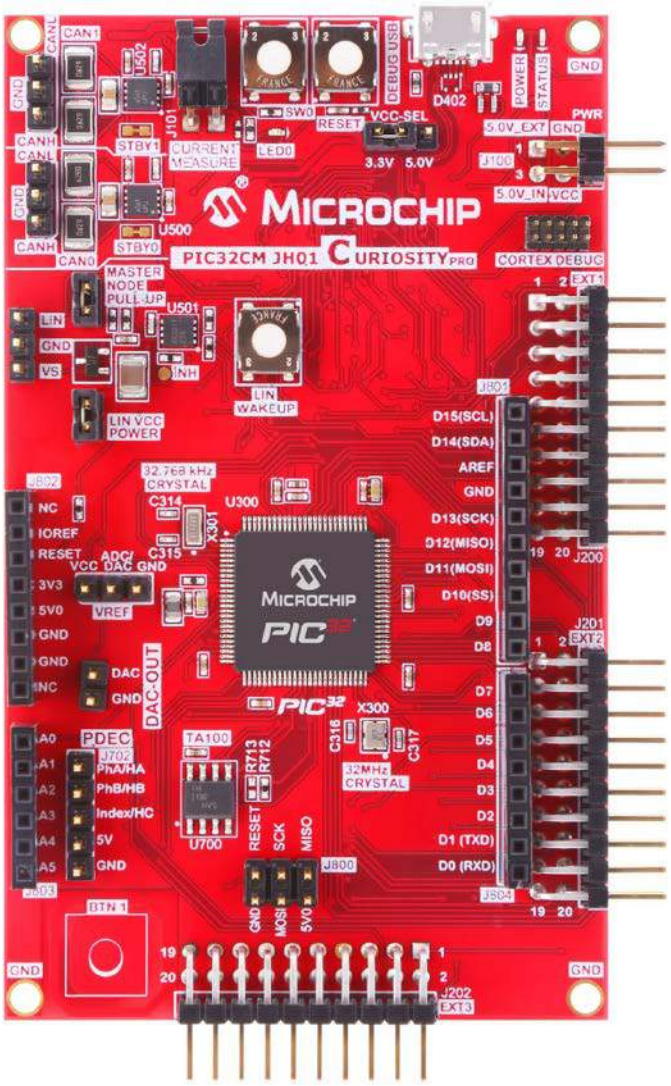
1. William O. Blackwood (red.), „Tactical Display for Soldiers: Human Factors Considerations", National Research Council, Waszyngton, 1997.
2. Richard W. Pew i Anne S. Mavor (red.), „Modeling Human and Organizational Behavior: Application to Military Simulations", National Research Council, Waszyngton, 1998.
3. „Advanced Situational Awareness", US Army Training Circular TC 3-22.69, kwiecień 2021.
4. http://bit.ly/3XTVC7C
5. https://www.vegvisir.ee/
6. Tomasz Szubrycht, „Sieciocentryczność – Mity i Rzeczywistość", Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej 159 (2004).
7. X. Briottet, Y. Boucher, A. Dimmeler, A. Malaplate, A. Cini, M. Diani, H. Bekman, P. Schwering, T. Skauli, I. Kasen, I. Renhorn, L. Klasén, M. Gilmore, D. Oxford, „Military applications of hyperspectral imagery", Proc. SPIE 6239, Targets and Backgrounds XII: Characterization and Representation (2006).
8. M. J. Khan, H. S. Khan, A. Yousaf, K. Khurshid and A. Abbas, „Modern Trends in Hyperspectral Image Analysis: A Review" IEEE Access 6 (2018)

REKLAMA
Odwiedź stronę
z mnóstwem doskonałych
projektów
EP.com.pl

eprasa.pl 0667ee155a

Wygraj płytkę ewaluacyjną Microchip z nowoczesnym mikrokontrolerem do aplikacji motoryzacyjnych, kompatybilnym z AUTOSAR

Płytka rozwojowa Microchip PIC32CM JH01 Curiosity Pro Development Board (EV81X90A) zawiera mikrokontroler bazujący na architekturze Arm Cortex-M0+ z obsługą AUTOSAR, z wbudowaną pamięcią Flash o rozmiarze 512 kB, podwójnym interfejsem CAN FD oraz oferujący funkcje secure boot i autotest pamięci (MBIST), dostępne jedynie w znacznie droższych mikrokontrolerach wyższej klasy.



AUTOSAR to standard regulujący zasady tworzenia oprogramowania dla branży motoryzacyjnej. Został opracowany przez międzynarodową organizację normalizacyjną, zrzeszającą producentów pojazdów, dostawców, usługodawców i firmy informatyczne, która wyznacza reguły oprogramowania instalowanego w większości pojazdów. Ujednolicona architektura oprogramowania zapewnia dostawcom możliwość zmiany sprzętu przy zachowaniu oryginalnego kodu aplikacji, co ułatwia migrację między różnymi projektami. Układy AUTOSAR-ready zostały zaprojektowane w celu usprawnienia procesu rozwoju i obniżenia ogólnych kosztów.

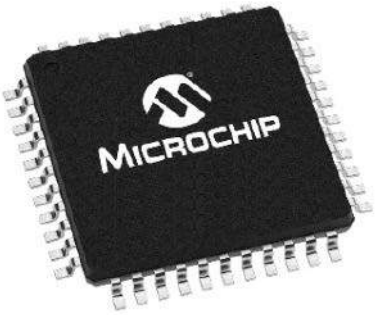
Na płytce znajdują się dwa kompletne interfejsy CAN (CAN 2.0A/B i CAN-FD), oraz jeden interfejs LIN. Mikrokontroler PIC32CM JH01 jest dodatkowo połączony z jednym z układów zabezpieczających Trust Anchor TA100 CryptoAutomotive produkcji Microchip, który zapewnia zgodność z normą ISO/SAE 21434 w zakresie bezpieczeństwa cybernetycznego. TA100 realizuje bezpieczne, sprzętowe przechowywanie kluczy kryptograficznych oraz oferuje inne mechanizmy, pozwalające wyeliminować potencjalne backdoory związane z błędami w oprogramowaniu. Ponadto na płytce znajduje się złącze Arduino Uno oraz wiele złączy szpilkowych połączonych z wyprowadzeniami mikrokontrolera.

Całość jest obsługiwana przez ekosystem programistyczny MPLAB, który obejmuje zintegrowane środowisko programistyczne MPLAB X (IDE), kompilator MPLAB XC32 oraz naszą bezpłatną platformę programistyczną wbudowanego oprogramowania MPLAB Harmony. Zestaw zawiera wbudowany debuger Microchip EDBG. Jest to kompozytowe urządzenie USB z trzema interfejsami: debugerem, wirtualnym portem COM oraz Interfejsem bramy danych (DGI).

Aby mieć szansę na wygranie płytki ewaluacyjnej Microchip PIC32CM JH01 Curiosity Pro (EV81X90A), lub aby otrzymać kupon rabatowy 15% i bezpłatną wysyłkę, należy wypełnić formularz zgłoszeniowy na stronie: http://bit.ly/3GRA3xb

Szczegółowe informacje na temat płytki rozwojowej Microchip PIC32CM JH01 Curiosity Pro można znaleźć tu: https://bit.ly/3wic70U

Dokumentację zamontowanego na płytce mikrokontrolera PIC32CM JH01 można znaleźć tu: https://bit.ly/3QXLcBg



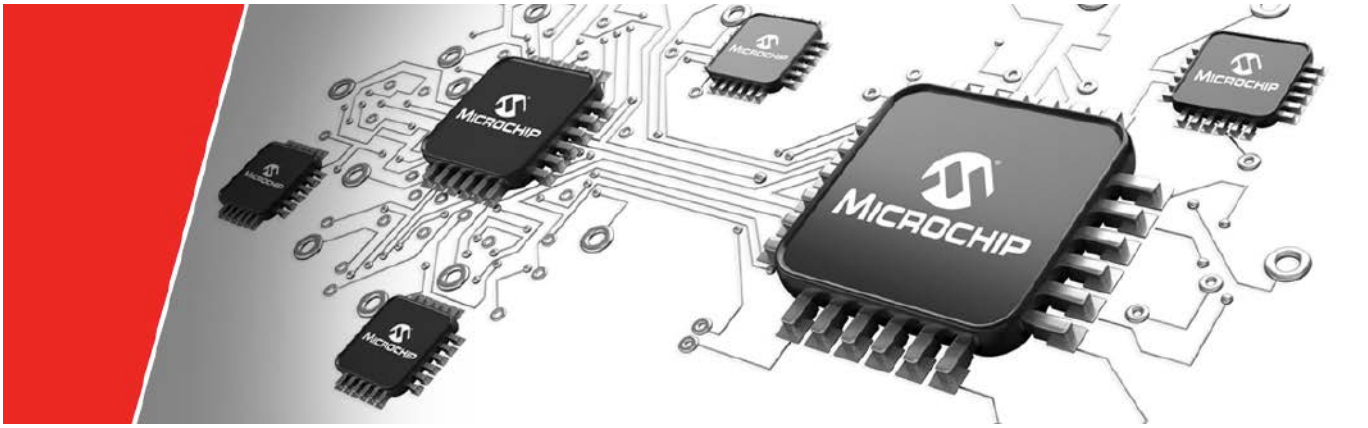
MPLAB HARMONY

MPLAB X IDE

AUTOSAR

ISO 26262 SECURITY ECOSYSTEM

eprasa.pl 0667ee155a



Mikrokontrolery 8-bitowe i ich rola w świecie IoT

Coraz więcej elementów otaczającego nas świata łączy się za pośrednictwem Internetu Rzeczy (IoT) i innych technologii komunikacyjnych. Stosowanie niedrogich, kompaktowych modułów RF ze zintegrowanymi 32-bitowymi mikrokontrolerami, udostępniającymi kilka wyprowadzeń na potrzeby aplikacji, stało się standardem. Trudności zaczynają się wtedy, gdy projekt systemu staje się bardziej rozbudowany.

Rozwiązania 32-bitowe dobrze współpracują ze stosami komunikacyjnymi Wi-Fi, NarrowBand (NB) IoT i Bluetooth, które korzystają z większej mocy obliczeniowej do zapewnienia bezpieczeństwa komunikacji RF. Jednak, gdy liczba potrzebnych czujników rośnie lub istnieje zapotrzebowanie na mniejsze zużycie energii w bardziej odległych lokalizacjach. Zastosowanie 8-bitowego MCU w takiej aplikacji jest pod wieloma względami korzystne i bez problemu wygrywa z innymi rozwiązaniami (**rysunek 1**).

Wyprowadzenia pracujące w standardzie 5 V

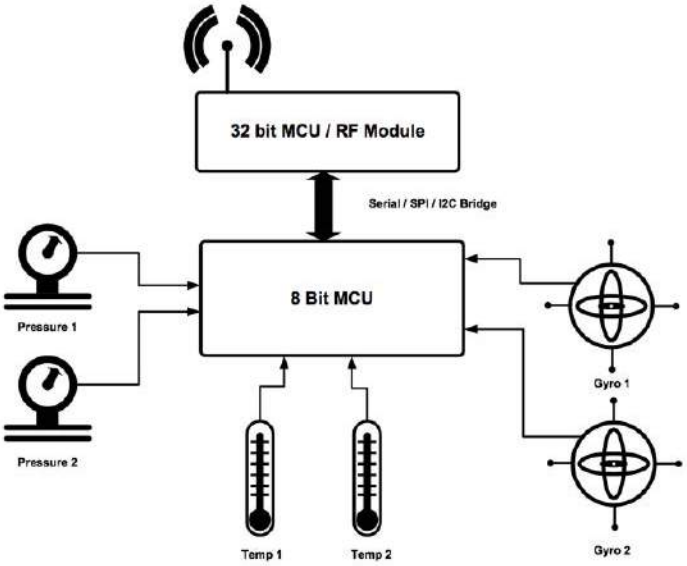
Chociaż przemysł faworyzuje systemy zasilane napięciem 5 V, może to stanowić problem, ponieważ większość zintegrowanych 32-bitowych MCU/RF nie jest kompatybilna z 5 V i zwykle pasuje tylko do domeny 3,3 V. Rozwiązaniem jest zastosowanie wielu przesuwników poziomów lub skalowanie analogowych wejść napięciowych w dół, aby osiągnąć poziom 3,3 V.

Ten problem można wyeliminować dzięki zastosowaniu bardziej wydajnego 8-bitowego mikrokontrolera, który oferuje bezpośredni interfejs GPIO do czujników, elementów wykonawczych i styków przełącznika w standardzie 5 V. Potrzeba przesunięcia poziomu napięcia dotyczy wtedy tylko kanału komunikacyjnego między 8-bitowym MCU, a 32-bitowym modułem MCU/RF. W wielu przypadkach może nawet nie być potrzebna konwersja poziomu, lub wystarczy najprostsze rozwiązanie z rezystorem szeregowym, jeśli 32-bitowy moduł MCU ma wejścia tolerujące 5 V. Natomiast jeśli wymagana jest również izolacja galwaniczna, to koszty można zminimalizować, zmniejszając liczbę wyspecjalizowanych układów scalonych (IC) potrzebnych do ochrony elementu RF systemu.

Korzystanie z 8-bitowych mikrokontrolerów w instalacjach zdalnych ma wiele zalet. Zwykle mają one dużą liczbę wyprowadzeń (w przeciwieństwie do 32-bitowego modułu MCU/RF z ograniczoną liczbą portów GPIO) i dzięki temu pozwalają na zastosowanie wielu czujników i układów wykonawczych. W ten sposób całkowite awarie systemu zostają ograniczone do wyjątkowo krytycznych sytuacji. W większości przypadków system może realizować większość działań pomimo usterki jednego z kilku…kilkunastu czujników lub układów wykonawczych. Natomiast w razie uszkodzenia całego bloku I/O z mikrokontrolerem 8-bitowym włącznie, nadal istnieje szansa na realizowanie komunikacji i zgłoszenie awarii przez moduł MCU/RF.

Wysoka elastyczność systemu

Kolejną zaletą korzystania z zewnętrznego 8-bitowego MCU jest większa elastyczność w zakresie rozbudowy systemu. Podłączenie znanego cyfrowego interfejsu do różnych modułów MCU/RF wymaga zaledwie minimalnego wysiłku. Zintegrowany 32-bitowy moduł MCU/RF zwykle ma wsparcie w postaci odpowiedniej liczby przykładowych aplikacji, które realizują klasyczne rozwiązania oraz mają pokazać, jak łatwo połączyć się z chmurą, niezależnie od tego, kto jest dostawcą. Jednak przykładów zastosowań może być



Rysunek 1. Typowa aplikacja IoT z zastosowaniem 8-bitowego MCU

eprasa.pl 0667ee155a

znacznie mniej w przypadku łączenia z czujnikami i innymi układami będącymi poza standardową magistralą I²C lub SPI.

Koordynowanie i nadzorowanie działania całego bloku z układami współpracującymi, czujnikami i układami wykonawczymi przez zewnętrzny 8-bitowy MCU z dobrze zdefiniowanym i niezawodnym interfejsem zapewnia większą swobodę przy wyborze modułu RF. Jeśli warstwa protokołu między dwoma MCU będzie wspierana przez nową warstwę fizyczną w nowym module RF to wysiłek związany z portowaniem zostanie zminimalizowany, a integracja nowego systemu będzie praktycznie od razu zakończona.

W środowiskach zdalnych lub przemysłowych istnieje możliwość integracji systemów z odpornymi na awarie interfejsami typu hot swap. W ten sposób można uniknąć konieczności całkowitej wymiany systemu, na rzecz wymiany modułowej, która pozwoli zachować sprawdzone i niezawodne elementy systemu. Zastosowanie luźnego sprzężenia oznacza również, że znana i zaufana platforma RF może obsługiwać różne wymagania systemowe bez konieczności projektowania modułów od podstaw. Dzięki temu zespoły rozwojowe mogą skupiać się nad tym, co należy poprawić, i mogą zachować to, do czego mają zaufanie.

Inteligentne zarządzanie energią

Jeszcze inną cechą świata 8-bitowych MCU jest to, że jest on zdominowany przez technologie procesowe większego rozmiaru. Zapewniają one doskonałe wartości upływów statycznych i eliminują nieunikniony kompromis przy stosowaniu struktur bramek w mniejszej technologii, polegający na zwiększaniu upływu prądów statycznych ze wzrostem prędkości działania.

Dzięki zastosowaniu inteligentnego układu do zarządzania poborem mocy możliwe jest usprawnienie pracy przy zachowaniu niewielkiego poboru mocy. Niektóre 8-bitowe układy MCU w stanie aktywnym, taktowane ze standardowego zegara 32 kHz, pobierają prąd o takiej wartości, że jest zbliżony do, lub niższy od prądu 32-bitowych modułów RF w stanie czuwania.

Dodanie dokładnego systemu zarządzania energią upraszcza proces monitorowania stanu baterii i ich ładowania. Prądy aktywne dla 32-bitowych modułów RF, w szczególności jednostek z komunikacją Wi-Fi, mogą sięgać nawet setek miliamperów. Akumulatory pod koniec okresu eksploatacji mogą mieć trudności z utrzymaniem prądu rozruchowego i przesyłowego wymaganego do połączenia z siecią. Dzięki 8-bitowemu systemowi zarządzania energią z układem MCU, główny moduł RF można wybudzić za pomocą odpowiedniego stanu lub polecenia. Dzięki temu zmniejsza się zapotrzebowanie na energię, a przejście modułu do trybu online następuje w bardziej stopniowy sposób. Specjalny tryb budzenia może przyjąć wariant o zmniejszonej mocy TX do łączenia się z siecią.

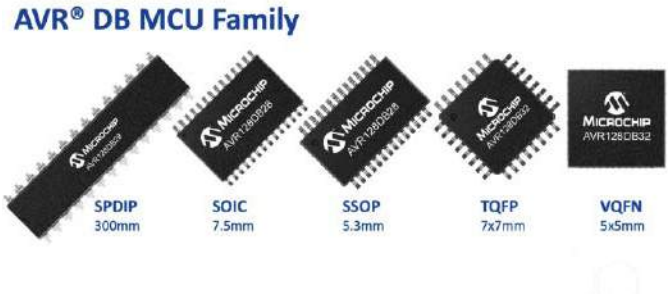
Cechą 8-bitowego systemu zarządzania energią MCU jest także to, że może monitorować prądy rozruchowe i spadki napięcia w regularnych cyklach i przekazywać je do analizy. Uzbrojone w te dane chmurowe algorytmy uczące mogą znacznie skuteczniej profilować systemy zarządzania bateriami i przewidywać awarie.

Uproszczenie procedury programowania MCU

W ostatnich latach nastąpił znaczny postęp w zakresie uproszczenia programowania 32-bitowych modułów MCU/RF. Chociaż wiele z tych modułów jest obsługiwanych przez Arduino, co może pomóc skrócić czas opracowywania, takie podejście może być problematyczne, jeśli zaangażowanych jest więcej systemów zarządzania energią, czujników lub innych interfejsów peryferyjnych. Oczywiście wsparcia dla Arduino jest ogromne, ale w wielu przypadkach jest niekompletne, a wśród profesjonalnych użytkowników istnieje opinia o problemach z bezpieczeństwem aplikacji.

Chociaż dostawcy układów scalonych zapewniają wsparcie, to zintegrowane 32-bitowe moduły RF są stosunkowo złożone. Wydajność

Rysunek 2. Dostępne w różnych obudowach mikrokontrolery serii PIC18-Q41



Rysunek 3. Dostępne w różnych obudowach mikrokontrolery serii AVR DB

32-bitów może wydawać się przesadna w przypadku prostszych systemów i jest zdecydowanie mniej intuicyjna, np. gdy próbuje się znaleźć niewłaściwy bit w wartości kontrolnej urządzenia peryferyjnego równej 0x23AA123C. Z drugiej strony 8-bitowy model programowania MCU oferuje znajomy interfejs w 8-bitowych grupach (prawdopodobnie 16-bitowych dla rejestrów czasowych). Oprócz ułatwienia debugowania pól bitowych, zestawy peryferyjne w 8-bitowych MCU są zwykle znacznie łatwiejsze do zrozumienia. Głównym tego powodem jest to, że nie muszą one obejmować bardziej złożonych funkcji redukcji mocy lub synchronizacji interfejsów magistrali. Łatwiejsze do zrozumienia są również drzewa zegarów w 8-bitowych MCU.

Podsumowanie

Zasadniczym powodem stosowania 8-bitowego MCU, który ma dostarczać tanie, energooszczędne, inteligentne i przeznaczone nie tylko dla IoT rozwiązanie, jest to, że taki układ doskonale poradzi sobie z takimi zadaniami, jak realizacja modułów automatyki domowej, czy urządzenia monitorujące i zarządzające energią elektryczną. Wśród 8-bitowych układów MCU z serii Microchip, szczególnie interesujące są rodziny PIC18-Q41 (**rysunek 2**) i AVR DB (**rysunek 3**), które oferują szeroki wachlarz funkcji analogowych. Należą do nich wbudowane wzmacniacze operacyjne i GPIO o różnych poziomach napięć. Ta ostatnia funkcja minimalizuje potrzebę stosowania zewnętrznych komponentów analogowych lub przesuwników poziomu.

Chociaż obecnie dostępnych jest więcej wielordzeniowych 32-bitowych modułów MCU/RF, dodanie 8-bitowego MCU przy projektowaniu węzłów brzegowych o niskim poborze mocy przyniesie ogromne korzyści w świecie IoT. Oferowanie kompleksowego zarządzania zasilaniem i czujnikami w tak małej obudowie oznacza, że 8-bitowe mikrokontrolery nadal będą odgrywać ważną rolę w 32-bitowych środowiskach IoT.

Bob Martin
Senior Technical Staff Engineer-Applications
Microchip Technology

eprasa.pl 0667ee155a

Nowe funkcje w Altium Designer 23

Frma Altium opublikowała nową wersję swojego sztandarowego produktu do projektowania PCB – Altium Designer 23. Wraz z nową odsłoną programu, udostępniono wiele nowych funkcjonalności, ułatwiających i przyspieszających pracę projektanta elektroniki. Prezentujemy główne zmiany, jakie wprowadzono w aktualnej wersji tego potężnego narzędzia.

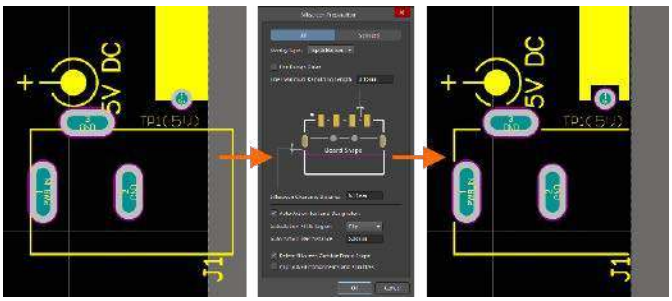
Wraz z wprowadzeniem Altium Designer 21, zmienił się sposób publikacji aktualizacji programu. Aktualizacje oraz nowe funkcjonalności w programie są dostarczane na bieżąco, mniej więcej w miesięcznych odstępach. Najnowsza wersja programu jest więc bezpośrednim rozwinięciem i kontynuacją poprzedniej wersji. Nowe funkcje umożliwiają sprostanie najbardziej zaawansowanym wyzwaniom projektowym takim, jak projekty wiązek przewodów. Ponadto wprowadzono szereg rozwiązań, które umożliwiają wydajne zarządzanie zasobami w zespołach projektowych i ułatwiają śledzenie zmian w całym procesie projektowania.

Optymalizacja sitodruku

Często napotykanym błędem produkcyjnym jest sitodruk nachodzący się na odsłoniętą miedź, otwory czy krawędź płytki. Teraz można przycinać sitodruk (linie/łuki/wypełnienia/obszary), automatycznie przesuwać opisy na sitodruku oraz automatyczne przycinać lub przesuwać wypełnienia/regiony (**rysunek 1**). Wszystko jest zautomatyzowane i wykonywane pod nadzorem oprogramowania, aby nie wprowadzać dodatkowych naruszeń DRC lub DFM. Funkcja ta jest dostępna zarówno w edytorze PCB jak i edytorze biblioteki PCB.

Projektowanie wiązek przewodów

Nowa funkcjonalność pozwala wyeliminować zależność od zewnętrznego oprogramowania do projektowania wiązek przewodów innych firm. Projektowanie wiązek przewodów jest udostępniane dzięki nowemu dokumentowi projektu Harness Project (*.*PrjHar*) wraz z powiązanymi dokumentami – definiowania połączeń elektrycznych Wiring Diagram (*.*WirDoc*), rysunku układu wiązki Layout Drawing (*.*LdrDoc*), dokumentu ActiveBOM (*.*BomDoc*) oraz rysunku produkcyjnego (*.*HarDwf*). Schemat wiązki przewodów można utworzyć jako samodzielny projekt lub jako część projektu wielopłytowego. W tym drugim przypadku logiczne połączenia między płytkami PCB w projekcie wielopłytkowym służą do zdefiniowania połączeń w wiązce. Dzięki tej technologii można przygotować kompletny projekt wiązki przewodów, począwszy od indywidualnych połączeń pin-to-pin, aż po dokumentację produkcyjną (**rysunek 2**).

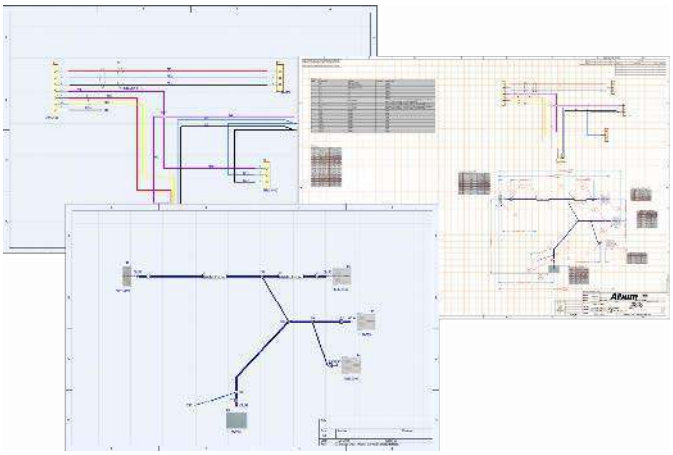


Rysunek 1. Działanie narzędzia do optymalizacji warstwy sitodruku

Więcej informacji:
Computer Controls Sp. z o.o.
43-300 Bielsko-Biała, ul. Budowlanych 1
tel. +48 33 485 94 90, info@ccontrols.pl
www.ccontrols.pl

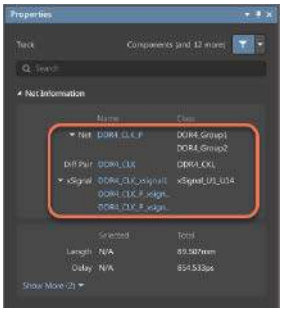
Komentarze przypisane do warstw

Teraz, gdy klikniemy na komentarz na PCB w widoku 2D, widok PCB zostanie automatycznie przełączony na ten sam widok, który miała osoba wstawiająca ten komentarz – będą widoczne te same warstwy, ta sama warstwa będzie aktywna i zostanie ustawiony ten sam widok płytki (od góry/od dołu).



Rysunek 2. Zaawansowane narzędzie do projektowania wiązek przewodów

eprasa.pl 0667ee155a



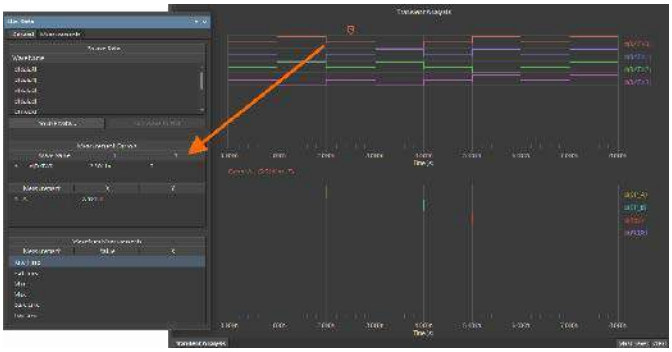
Rysunek 3. Ulepszony interfejs właściwości sieci

Ulepszony interfejs właściwości sieci

Obszar *Net Information* panelu *Properties*, od teraz wyświetla informacje o sieci, parze różnicowej czy xSignal dla wybranego obiektu elementarnego (**rysunek 3**).

Ulepszenia symulacji sygnałów

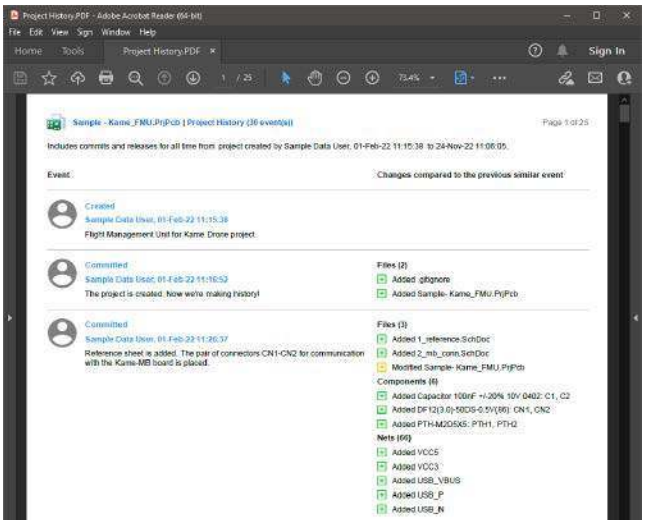
Wydajność edytora SimData została wyraźnie zwiększona, wprowadzono obsługę cyfrowych elementów PSpice – flip-flop/latch, pullup, pulldown, linia opóźniająca, LOGICEXP, obsługę modeli czasowych UDLY i UEFF bramek cyfrowych PSpice oraz dodano bramki standardowe, trójstanowe i generator cyfrowy do biblioteki *Simulation Generic Components*. Edytor *SimData* uzyskał możliwość wyświetlania stanu wysokiej impedancji przebiegów cyfrowych (**rysunek 4**).



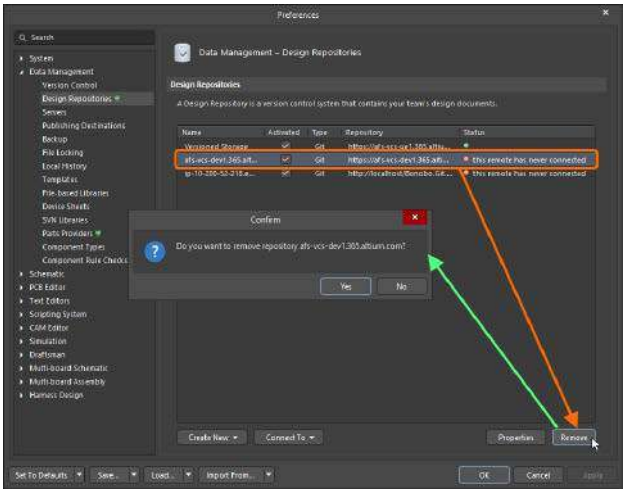
Rysunek 4. Dodatkowe funkcje edytora SimData

Eksport historii projektu

Nowa wersja Altium Designer obsługuje eksportowanie historii projektu (tylko dla projektów zapisanych w wewnętrznym systemie Git w *Workspace*). Eksport odbywa się do dokumentu PDF w ramach generowania danych wyjściowych, za pośrednictwem pliku Output Job. W ramach konfiguracji można zdecydować, czy wyeksportować



Rysunek 5. Eksport historii projektu



Rysunek 6. Usuwanie zbędnych repozytoriów może być wykonywane ręcznie lub automatycznie

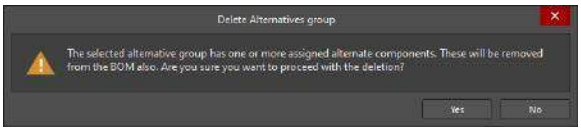
całą historię, czy jej część, dotyczącą konkretnych publikacji (**rysunek 5**).

Ulepszone zarządzanie brakującymi plikami

Wprowadzono ulepszone podejście do zarządzania plikami, które są zdefiniowane w pliku projektu, ale nie zostały znalezione w folderze projektu. Zamiast usuwać odniesienia do takich plików i oznaczać projekt jako zmodyfikowany, jak to miało miejsce w przeszłości, pliki te są teraz oznaczane jako „brakujące". Pozostają zdefiniowane w pliku projektu i nadal pojawiają się na liście w strukturze projektu w panelu *Projekty*, ale są teraz wyszarzone i mają własną wyróżniającą ikonę. Dostępne są powiązane polecenia, które zapewniają pełną kontrolę nad sposobem obsługi takich brakujących dokumentów. Ta funkcja jest domyślnie wyłączona i można uzyskać do niej dostęp, włączając opcję *WSM.ManageMissingFiles* w zaawansowanych preferencjach programu.

Usuwanie zbędnych repozytoriów projektów

Podczas przesyłania do projektów do *Workspace*, które wcześniej były w systemie kontroli wersji, informacja o poprzednich repozytoriach jest przenoszona na serwer. Bieżąca wersja Altium Designer pozwala na ręczne bądź automatyczne usuwanie takich zbędnych repozytoriów (**rysunek 6**).



Rysunek 7. Stosowne ostrzeżenie wyświetlane podczas usuwania grupy alternatywnych komponentów

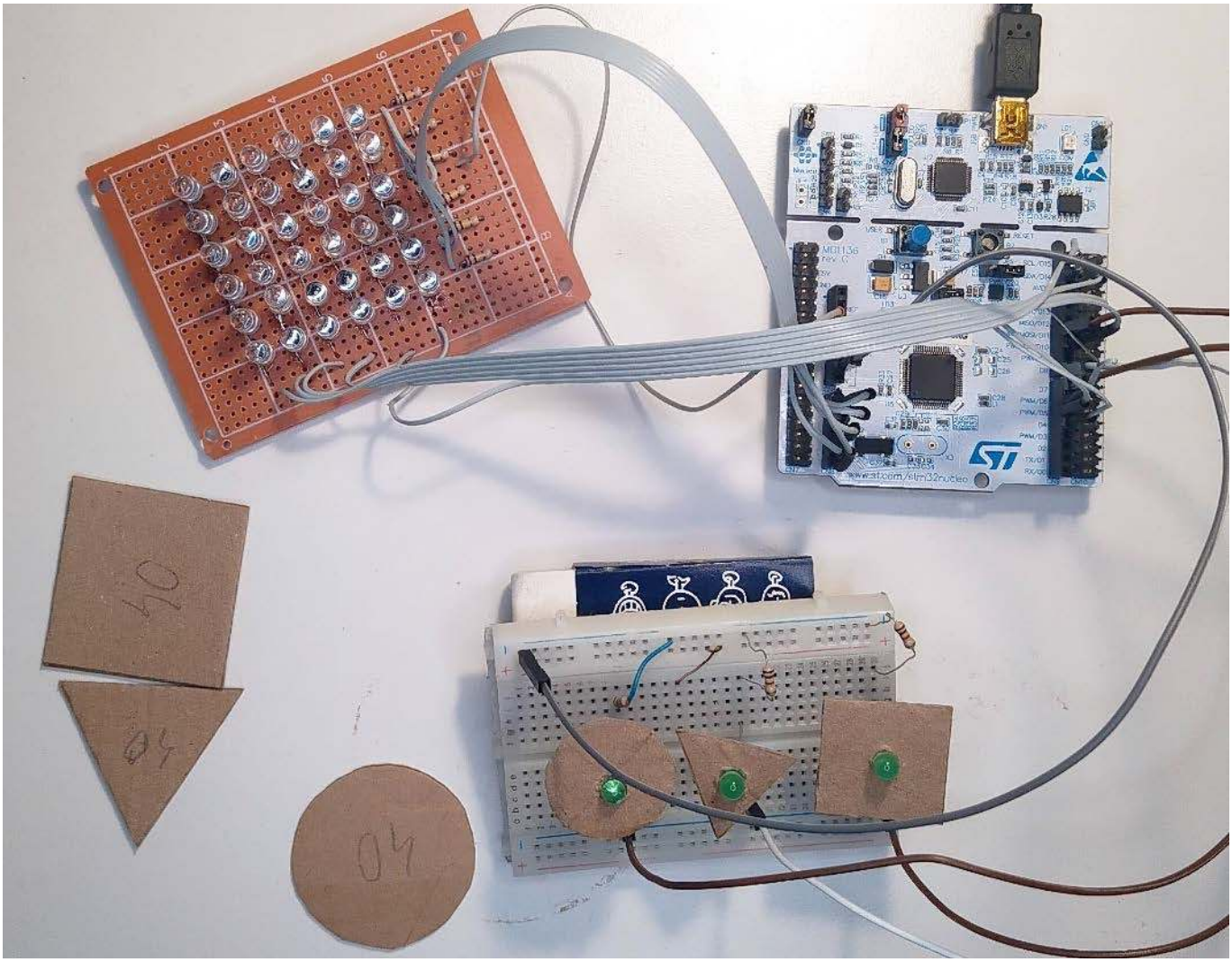
Ulepszenia ActiveBOM

Wprowadzono pewne ulepszenia w pracy z dokumentem *BomDoc*:

- podczas wybierania alternatywnego komponentu, nie będzie można wybrać takiego, który jest już używany,
- podczas dodawania elementu alternatywnego do zestawienia komponentów okno dialogowe zapamiętuje użyte filtry i wartości, dla różnych komponentów tego samego typu,
- podczas usuwania grupy alternatywnych komponentów, gdy komponent w tej grupie ma przypisany alternatywny komponent, zostanie wyświetlone stosowne ostrzeżenie (**rysunek 7**).

Dariusz Polus
Technical Manager
Computer Controls Sp. z o.o.
www.ccontrols.pl

eprasa.pl 0667ee155a



Wbudowane sieci neuronowe w STM32 (2)

Rozpoznawanie kształtów

Tym razem spróbujemy uruchomić sieć realizującą ciekawsze zadanie. Nauczymy ją rozróżniać trzy kształty. Czujnikiem będzie matryca 36 fototranzystorów. Będziemy musieli przygotować dane do nauki, wytrenować sieć i na końcu zainstalować ją w mikrokontrolerze.

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

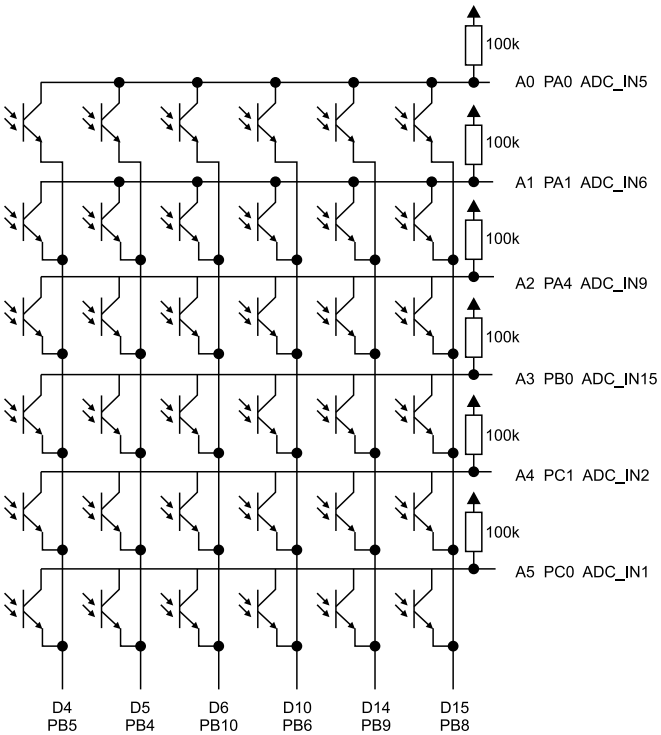
Układ elektroniczny

Czujnikiem, którym się posłużymy, będzie matryca trzydziestu sześciu fototranzystorów. Jej schemat wraz z połączeniami do płytki Nucleo L476RG prezentuje **rysunek 1**. Wszystkie kolektory fototranzystorów z pojedynczego wiersza są podłączone do wejścia przetwornika analogowo-cyfrowego oraz podciągnięte do 3,3 V za pomocą rezystora o rezystancji 100 kΩ. Emitery są połączone w kolumnach. Każda z nich jest podłączona do pinu mikrokontrolera pracującego jako wyjście. Kolumna jest aktywna, gdy na wyjściu panuje stan niski. Do płytki zostały także podłączone trzy diody LED, które służą do pokazania jaki kształt został wykryty. **Rysunek 2** pokazuje opis wyjść fototranzystora. Matryca została zlutowana na uniwersalnej płytce PCB. Gotowy model prezentuje fotografia tytułowa

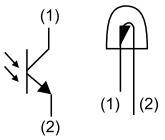
Zbieramy dane

Zanim przystąpimy do trenowania sieci musimy zebrać dane. W repozytorium [1] znajdziemy program, który w pętli odczytuje stan fototranzystorów i wysyła je poprzez port szeregowy jako tablicę liczb w formacie JSON. Potrzebne są nam jeszcze kształty, które będziemy rozpoznawać. Ja zdecydowałem się na kwadrat o boku 4 cm, koło

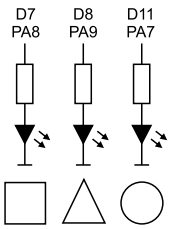
eprasa.pl 0667ee155a



Rysunek 1. Połączenie fototranzystorów do płytki Nucleo



Rysunek 2. Opis wejść fototranzystora

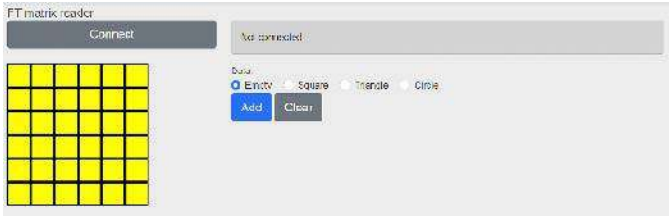


o średnicy 4 cm oraz trójkąt równoboczny o boku 4 cm. Kształty zostały wycięte z grubego kartonu tak, jak pokazano na **fotografii 1**.

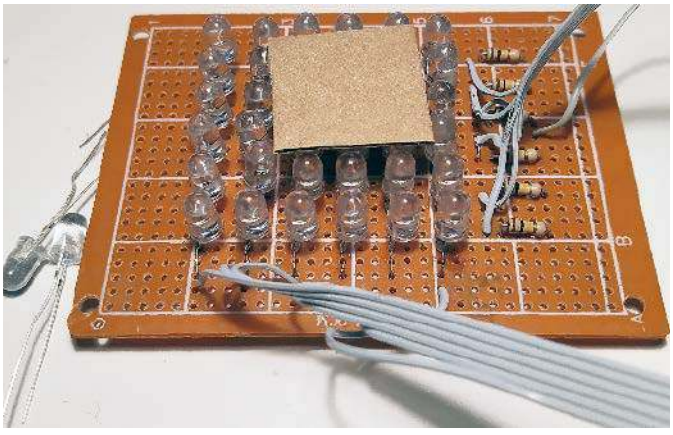
Do odczytu danych została przygotowana aplikacja w formie strony WWW, której wygląd pokazuje **rysunek 3**. Znajdziemy ją w repozytorium [1] w folderze *gui* oraz pod adresem [2]. Jej działanie zostało sprawdzone w przeglądarce Chrome. Po jej uruchomieniu klikamy przycisk *Connect* i z listy wybieramy port COM naszego projektu. Gdy port zostanie prawidłowo otwarty, zostanie pokazany aktualny stan czujników. Aby zapisać przykład szkoleniowy wybieramy odpowiednią etykietę: *Pusty*, *Kwadrat*, *Koło*, albo *Trójkąt* i klikamy *Add*. Struktura danych z oznaczonymi przykładami będzie pojawiać się na dole strony. Jest to słownik przechowujący dwie tablice: *labels* zawiera etykiety, a *data* odpowiadające im stany matrycy.

Ja do szkolenia przygotowałem po 50 przykładów dla każdej kategorii. Wbrew pozorom pusta matryca też jest osobnym przypadkiem, który chcemy wykryć. Bez niego sieć próbowałaby zawsze dopasować którąś z pozostałych trzech możliwości. Postarajmy się, aby były one jak najbardziej różnorodne. Chcemy uwzględnić położenie figury w różnych częściach matrycy i pod różnym kątem (**fotografia 2**). Jeżeli chcemy aby sieć pracowała dobrze przy różnych natężeniach oświetlenia, także powinniśmy to uwzględnić w danych uczących. Należy także uważać, aby w czasie zapisywania przykładów nie zasłaniać matrycy ręką. Strukturę z danymi kopiujemy i tymczasowo zapisujemy w pliku tekstowym.

Fotografia 1. Kształty wycięte z kartonu, które posłużą do trenowania sieci



Rysunek 3. Aplikacja do odczytu danych



Fotografia 2. Trenowanie sieci

Trenujemy sieć

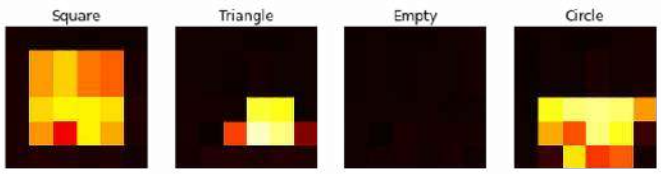
Szkicownik z kodem użytym do trenowania sieci znajdziemy w [3]. Na początku przypisujemy zebrane dane do zmiennej data. Jeżeli nie chcemy wklejać danych bezpośrednio do kodu możemy stworzyć osobny plik *.py* i dołączyć go do projektu. Ja jednak pozostałem przy pierwszej opcji. Aby przekonać się, co zawierają nasze dane wyrysujemy kilka przykładów za pomocą kodu z **listingu 1**. Do zmiennej *n* przypisujemy numery elementów z tablicy, które chcemy zobaczyć. Ja wybrałem je tak, aby pokazać po jednym obiekcie każdego rodzaju. Przykładowy wynik widzimy na **rysunku 4**.

Listing 1. Kod wyświetlający kilka z zebranych przez nas danych.

```
fig = plt.figure(figsize=(10, 40))

n = [0, 71, 121, 171]

for i in range(4):
    fig.add_subplot(1, 4, i+1)
    plt.imshow(data["data"][n[i]],
        vmin=0, vmax=255, cmap=matplotlib.cm.hot)
    plt.grid(False)
    plt.axis('off')
    plt.title(data["labels"][n[i]])
plt.show()
```



Rysunek 4. Przykładowe dane dla każdej z kategorii

eprasa.pl 0667ee155a

Przetwornik analogowo-cyfrowy zwróci nam wyniki z przedziału od 0 do 255. Skalujemy je, aby do treningu użyć wartości zmiennoprzecinkowych z zakresu od 0 do 1. Następnie dzielimy nasze dane na dwa zbiory: większy treningowy oraz mniejszy testowy. Pierwszy zostanie użyty do nauki, a drugi do oceny uzyskanej sieci.

Struktura sieci jest pokazana na **listingu 2**. Wejściem jest wektor długości 36: po jednej liczbie z każdego czujnika. Następnie mamy warstwę ukrytą złożoną z 64 neuronów z funkcją aktywacją ReLU. Warstwa wyjściowa składa się z 4 neuronów, odpowiadających czterem możliwym stanom: pusty, kwadrat, trójkąt i koło. Wykonanych zostało 400 iteracji algorytmu szkolenia:

```
model.fit(x_train, y_train, epochs=400)
```

Na końcu sprawdzamy uzyskane dopasowanie na zbiorze testowym:

```
model.evaluate(np.array(x_test), np.array(y_test), verbose=2)
```

Ja uzyskałem wynik:

```
1/1 - 0s - loss: 0.0960 - accuracy: 0.9500 - 19ms/epoch - 19ms/step[0.09596162289381027, 0.949999988079071]
```

Warto przeprowadzić eksperymenty dla innej konfiguracji sieci oraz czasu szkolenia. Możemy także trochę podejrzeć na jakie kształty reagują poszczególne neurony wyrysowując wagi dla każdego z neuronów warstwy pośredniczącej. W przybliżeniu odpowiadają one kształtowy na jaki czuły jest poszczególny neuron. Warstwa wyjściowa otrzymuje wyniki tych częściowych dopasowań i na ich podstawie "podejmuje decyzję".

Ostatni element kodu odpowiada za konwersję modelu to TFLite i zapisaniu go do pliku: analogicznie jak w przykładzie z funkcją XOR.

Mikrokontroler

Projekt dla mikrokontrolera tworzymy w środowisku CubeMX analogiczne jak w pierwszym eksperymencie. Tym razem konfiguracja jest bardziej rozbudowana, gdyż obejmuje też przetwornik analogowo cyfrowy. Znajdziemy ją w repozytorium [4].

W pętli głównej najpierw wykonujemy odczyt wartości z kolejnych fototranzystorów, skalujemy je dzieląc przez *255.0f* i zapisujemy w dwuwymiarowej tablicy *float*. Następnie wywołujemy funkcję *n = MX_X_CUBE_AI_Process(a)*. Zwraca ona liczbę odpowiadającą wykrytemu kształtowi, na podstawie której zaświecona zostaje odpowiednia dioda. Samą implementację wywołanej funkcji znajdziemy w pliku *X-CUBE-AI/App/app_x-cube-ai.c* oraz na **listingu 3**.

Najpierw wypełniamy struktury *ai_input i ai_output* wskaźnikami do zmiennych przechowujących dane. Następnie wywołujemy funkcję ai_tf_matrix_run, która przeprowadza obliczenia sieci neuronowej. Na końcu musimy jeszcze znaleźć, dla którego wyjścia została zwrócona najwyższa wartość. W ten sposób rozstrzygamy jaki kształt został wykryty. Informacja ta zostanie zwrócona do pętli głównej. Dodatkowo na port szeregowy są wysyłane wszystkie informacje. Po zaprogramowaniu mikrokontrolera możemy przetestować działanie sieci neuronowej na danych zbieranych z czujników na żywo. Działanie gotowego układu pokazuje film [5].

Listing 2. Struktura sieci

```
model = tf.keras.models.Sequential([
    tf.keras.layers.Flatten(input_shape=(6, 6)),
    tf.keras.layers.Dense(64, activation='relu'), #64
    tf.keras.layers.Dropout(0.2),
    tf.keras.layers.Dense(4)
])

model.fit(x_train, y_train, epochs=400)

model.evaluate(np.array(x_test), np.array(y_test), verbose=2)

1/1 - 0s - loss: 0.0960 - accuracy: 0.9500 - 19ms/epoch - 19ms/step
[0.09596162289381027, 0.949999988079071]
```

Listing 3. Implementacja funkcji MX_X_CUBE_AI_Process

```
uint8_t MX_X_CUBE_AI_Process(float a[6][6]){
/* USER CODE BEGIN 6 */
    ai_i32 batch;
    uint8_t n;
    float max;
    float nn_output[AI_TF_MATRIX_OUT_1_SIZE];
    ai_input->data = a;
    ai_output->data = nn_output;

    batch = ai_tf_matrix_run(tf_matrix, ai_input, ai_output);

    n = 0;
    for(uint8_t i=1; i < 4; i++) {
        if (nn_output[i] > nn_output[n]) {
            n = i;
        }
    }

    printf("%d, %f, %f, %f, %f\r\n", n, nn_output[0],
        nn_output[1], nn_output[2], nn_output[3]);

    return n;
/* USER CODE END 6 */
}
```

Podsumowanie

W artykule zostały pokazane kolejne etapy, które są charakterystyczne dla implementacji sieci neuronowych:

1. zbieranie danych,
2. trening sieci,
3. testowanie gotowej sieci.

Najtrudniejszy i najbardziej pracochłonny jest pierwszy z nich. Aby zapewnić prawidłowe działanie musimy dostarczyć dane podobne do tych, z którymi sieć spotka się w swoje pracy. W naszym przypadku będzie to zwrócenie uwagi na różne położenie kształtów oraz różne warunki oświetlenia. Mam nadzieje, że ten projekt będzie inspiracją dla czytelników do używania sieci w własnych rozwiązaniach dla różnych rodzajów danych wejściowych.

Rafał Kozik
rafkozik@gmail.com

Bibliografia:
[1] https://gitlab.com/rysino_ai/ft_matrix_reader
[2] https://rysino.com/ft_matrix/
[3] http://bit.ly/3XzJpo9
[4] https://gitlab.com/rysino_ai/ft_matrix_net
[5] https://youtu.be/eo8upI5uEN4

REKLAMA

Świat projektantów i programistów dla elektroniki w nowej odsłonie. Odwiedź wiecznie młody

ELPORTAL.pl

eprasa.pl 0667ee155a

Obliczanie wartości oporników podciągających interfejsu I²C

Obliczanie wartości rezystorów podciągających linie interfejsu I²C często jest niemałym problemem. Na ogół projektanci umieszczają tam rezystory o typowej wartości, nie zastanawiając się, jak dostosować wartości do konkretnych wymagań projektowanego systemu. Zarówno za niskie, jak i za wysokie wartości tych elementów mogą powodować trudne do namierzenia błędy w działaniu aplikacji.

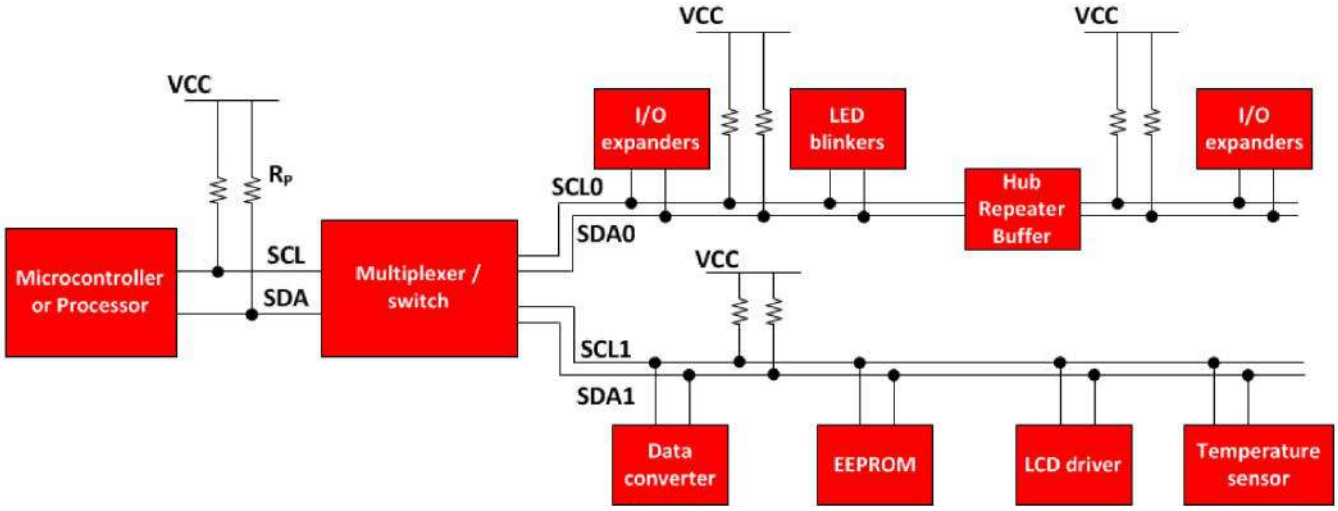
Firma Philips Semiconductors opracowała magistralę I²C ponad 40 lat temu, jako prosty interfejs do komunikacji pomiędzy różnymi układami scalonymi w obrębie jednego urządzenia. *Inter-Integrated Circuit*, bo tak rozwija się nazwa I²C (IIC) to szeregowa, dwuprzewodowa magistrala do dwukierunkowej transmisji danych pomiędzy układami, na ogół w obrębie jednej płytki drukowanej. Prostota i niski koszt magistrali I²C zachęciły elektroników do znalezienia większej liczby zastosowań dla tego protokołu (i jego pochodnych). Chociaż technologia ta ma prawie pół wieku, to nadal jest często stosowanym rozwiązaniem dla wielu interfejsów konserwacyjnych i kontrolnych.

Od momentu stworzenia zasadniczej specyfikacji I²C opracowano wiele dodatkowych komponentów, aby uczynić ten interfejs lepszym i jeszcze bardziej użytecznym. W szczególności, aby przezwyciężyć niektóre podstawowe ograniczenia wynikające z dodawania większej liczby urządzeń do magistrali czy jej wydłużenia poza jej pierwotne maksimum wynoszące zaledwie kilka metrów.

Topologia sieci i budowa elektryczna interfejsu I²C

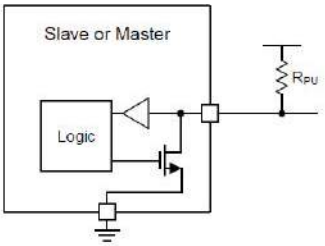
Interfejs I²C korzysta z wyjść cyfrowych z otwartym drenem/otwartym kolektorem, co oznacza, że do komunikacji można podłączyć układy scalone z różnymi wartościami napięcia zasilającego. Rezystory podciągające muszą być podłączone od linii I²C do zasilania, aby umożliwić komunikację, jak pokazano na **rysunku 1**. Rezystory podciągają linię w stan wysoki, gdy nie jest ona kontrolowana (ściągana do masy) przez wyprowadzenie z otwartym drenem. Wartość rezystora podciągającego jest ważnym czynnikiem projektowym dla systemów I²C, ponieważ nieprawidłowa rezystancja może doprowadzić do utraty sygnału. W poniższym artykule zaprezentowano proste równania do obliczania rezystorów podciągających, które należy stosować do szybkiego obliczania na potrzeby dowolnego projektu.

Na rysunku 1 pokazano klasyczną magistralę I²C dla systemu wbudowanego, w którym używanych jest wiele urządzeń podrzędnych. Mikrokontroler reprezentuje nadrzędny układ (master), kontrolujący sieć I²C, który steruje i zarządza ekspanderami I/O, różnymi czujnikami, pamięcią EEPROM, przetwornikami ADC oraz DAC i wieloma innymi elementami w sieci. Wszystkie te układy są kontrolowane za pomocą tylko 2 pinów mastera. Interfejs I²C wykorzystuje linie typu otwarty dren/otwarty kolektor z buforem wejściowym na linii, co pozwala na użycie pojedynczej linii danych do dwukierunkowego przepływu danych.

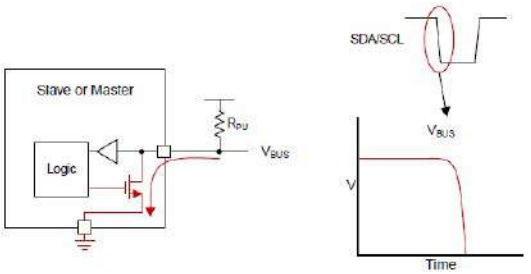


Rysunek 1. Przykład topologii sieci I²C

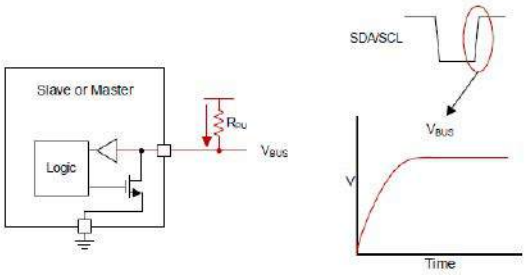
eprasa.pl 0667ee155a



Rysunek 2. Budowa wewnętrzna portów linii SDA i SCL



Rysunek 3. Ściąganie linii do masy przez wyjście typu otwarty dren



Rysunek 4. Powrót do stanu wysokiego, po wyłączeniu się wyjścia typu otwarty dren

Otwarty dren odnosi się do typu wyjścia, które może albo ściągnąć napięcie magistrali (w większości przypadków do masy), albo zwolnić magistralę i pozwolić, aby osiągnęła stan wymuszany przez rezystor podciągający (na ogół jest to poziom napięcia zasilania). W przypadku zwolnienia magistrali przez układ master lub slave, rezystor podciągający (R_{PU}) na linii odpowiada za ustalenie napięcia magistrali z powrotem do napięcia linii zasilającej. Ponieważ żadne urządzenie nie może wymusić stanu wysokiego na linii, oznacza to, że magistrala nigdy nie napotka problemu z komunikacją, w którym jedno urządzenie może próbować przesłać stan wysoki, a inne niski, powodując zwarcie (szyny zasilającej do masy).

W przypadku urządzenia nadrzędnego w systemie z wieloma masterami transmitowanie stanu wysokiego służy też do sprawdzenia, czy inne urządzenie korzysta właśnie z magistrali (linia jest w stanie niskim). W szczególnym przypadku, możliwe jest nawet uzyskanie funkcji abordażu, czyli przejęcia transmisji na magistrali przez układ o wyższym priorytecie. Interfejsy typu push-pull nie pozwalają na tego typu swobodę, co jest zaletą i przyczyną tak dużej elastyczności interfejsu I²C.

Na **rysunku 2** pokazano uproszczony widok wewnętrznej struktury urządzenia – podrzędnego lub nadrzędnego – na liniach SDA/SCL. Układ obsługujący pin składa się z bufora do odczytu danych wejściowych oraz tranzystora FET do przesyłania danych. Urządzenie to jest w stanie jedynie ściągnąć linię magistrali (zewrzeć ją do masy przez tranzystor) lub zwolnić linię magistrali (wysoka impedancja do masy) i pozwolić rezystorowi podciągającemu (R_{PU}) podnieść napięcie. Jest to ważna koncepcja, którą należy zrealizować w układzie z urządzeniami I²C, tak, aby żadne urządzenie nie utrzymywało magistrali w wymuszonym stanie wysokim. To właśnie umożliwia komunikację dwukierunkową na jednej linii za pomocą I²C.

Układ w konfiguracji otwartego drenu może jedynie obniżać stan magistrali lub pozwolić rezystorowi podciągnąć ją w górę. Na **rysunku 3** pokazano przepływ prądu w momencie ściągania magistrali do masy.

Tabela 1. Parametry warstwy fizycznej interfejsu I²C

Parametr		Tryb standardowy	Tryb szybki fast mode	Tryb szybki plus fast mode+	Jednostki
t_r	Czas narastania linii SDA i SCL	1000	300	120	ns
C_b	Obciążenie pojemnościowe każdej z linii	400	400	550	pF
V_{OL}	Napięcie stanu niskiego dla pobieraniu 3 mA (V_{CC} > 2 V)	0,4	0,4	0,4	V
	Napięcie stanu niskiego dla pobieraniu 2 mA (V_{CC} ≤ 2 V)	–	0,2 × V_{CC}	0,2 × V_{CC}	V

Logika, która chce przesłać stan niski, aktywuje obniżający tranzystor FET, który zapewni zwarcie do masy, ściągając linię w dół. Gdy urządzenie w sieci I²C zamierza ustawić na linii stan wysoki, musi zwolnić magistralę przez wyłączenie tranzystora ściągającego ją do masy. To pozostawia magistralę w tanie nieustalonym, a rezystor podciągający (R_{PU}) ustali napięcie takie, jak ma szyna zasilania, co zostanie zinterpretowane, jako stan wysoki. Na **rysunku 4** zobrazowano przepływ prądu przez rezystor podciągający, który ustala poziom na magistrali na stan wysoki.

Analizując budowę i działanie całej magistrali, należy pamiętać, że takich układów, jak pokazane na rysunku 3 i 4 znajduje się wiele w sieci I²C (każdy master i każdy slave ma takie elementy do sterowania magistralą), a dodatkowo na układ składają się wszystkie ścieżki, łączące elementy. Natomiast opornik podciągający, typowo instaluje się jeden na całą sieć. Jego rezystancja musi być dobrana do struktury całej sieci i ilości urządzeń w niej.

Obliczanie maksymalnej i minimalnej wartości oporników podciągających

Silne podciągnięcie (przez rezystor o niskim oporze) uniemożliwia ustawienie przez układ scalony odpowiednio niskiego napięcia. Poziom V_{OL}, który może być odczytany przez bufory wejściowe układu scalonego, jako ważny logiczny poziom niski, określa minimalną rezystancję oporników podciągających ($R_{P(min)}$). Rezystancja $R_{P(min)}$ jest funkcją V_{CC}, $V_{OL(max)}$ i I_{OL}:

$$R_{P(min)} = \frac{V_{CC} - V_{OL(max)}}{I_{OL}}$$

Maksymalna rezystancja podciągania jest ograniczona przez pojemność magistrali (C_b) ze względu na określony czas narastania zbocza sygnału w interfejsie I²C. Jeśli wartość rezystora podciągającego jest zbyt wysoka, linia I²C może nie móc wzrosnąć do poziomu logicznego wartości „1", zanim zostanie ponownie obniżona do zera. Odpowiedź obwodu RC na skok napięcia o amplitudzie V_{CC}, rozpoczynający się w chwili t = 0, charakteryzuje się stałą czasową RC. Przebieg napięcia można zapisać, jako:

$$V(t) = V_{CC} \cdot \left(1 - e^{\frac{-t}{RC}}\right)$$

Dla $V_{IH} = 0,7 \times V_{CC}$:

$$V_{IH} = 0,7 \cdot V_{CC} = V_{CC} \cdot \left(1 - e^{\frac{-t_1}{RC}}\right)$$

eprasa.pl 0667ee155a

Dla $V_{IL} = 0,3 \times V_{CC}$:

$$V_{IL} = 0,3 \cdot V_{CC} = V_{CC} \cdot \left(1 - e^{\frac{-t_2}{RC}}\right)$$

Czas narastania t_r na linii I²C może być opisany wyrażeniem:

$$t_r = t_2 - t_1 = 0,8473 \cdot R_p \cdot C_b$$

Z czego można wyznaczyć maksymalną rezystancję $R_{p(max)}$ podciągającą dla zadanego układu i maksymalnego czasu narastania $t_{r(max)}$:

$$R_{P(max)} = \frac{t_r}{0,8473 \cdot C_b}$$

Parametry, potrzebne do powyższych obliczeń, zestawiono w **tabeli 1**, opracowanej na podstawie specyfikacji warstwy fizycznej interfejsu I²C. Opór $R_{P(min)}$ został wyznaczony w funkcji V_{CC} na **rysunku 5** i w funkcji pojemności linii C_b na **rysunku 6**. Wykresy pokazują wymagania, co do opornika podciągającego w trybie standardowym i trybie szybkim.

Szybkość vs. zużycie mocy – kompromis

Po wybraniu minimalnej i maksymalnej wartości rezystora podciągającego decyzję o wyborze konkretnej wartości rezystora można podjąć na podstawie kompromisu między szybkością a budżetem mocy. Mniejszy rezystor zapewni większą prędkość narastania zbocza z powodu mniejszego opóźnienia wynikającego z wartości formujących układ RC, a z kolei rezystor o wyższym oporze zapewni mniejsze zużycie energii przez interfejs, dzięki redukcji prądu płynącego przez oporniki podciągające.

Przykładowe wyliczenia

Załóżmy układ I²C, pracujący w trybie szybkim, która pracuje w układzie o następujących parametrach:
$C_b = 200$ pF.
$V_{CC} = 3,3$ V.

Obliczamy zakres rezystancji opornika podciągającego zgodnie z równaniami 1 oraz 6 i danymi, zawartymi w tabeli 1. W ten sposób uzyskujemy:

$$R_{P(max)} = \frac{300 \cdot 10^{-9}\,\text{s}}{0,8473 \cdot 200 \cdot 10^{-12}\,\text{F}} = 1,77\,\text{k}\Omega$$

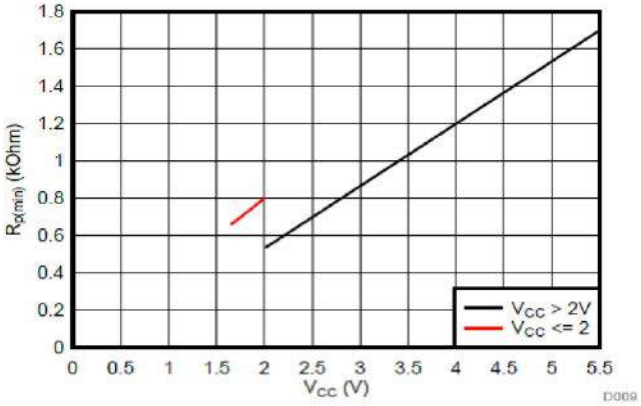
$$R_{P(min)} = \frac{V_{CC} - V_{OL(max)}}{I_{OL}} = \frac{3,3\text{V} - 0,4\text{V}}{3 \cdot 10^{-3}\,\text{A}} = 966,667\,\Omega$$

Oznacza to, że dobrać możemy oporniki o rezystancji zawartej pomiędzy 966,667 Ω i 1,77 kΩ. Realnie, dla oporników z szeregu E24 (5%), pozwala to wybrać spośród następujących oporników: 1,1 kΩ, 1,2 kΩ, 1,3 kΩ, 1,5 kΩ, 1,6 kΩ. Finalny wybór konkretnej wartości uzależniony jest od opisywanego powyżej kompromisu energetycznego.

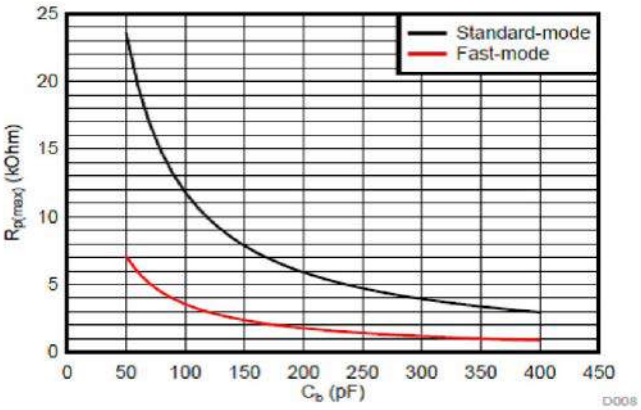
Podsumowanie

Obliczanie wartości oporników podciągających linie interfejsu I²C to nic trudnego. Do wyznaczenia zakresu akceptowalnych wartości tych oporników wymagana jest zaledwie garść parametrów, z których kluczowym jest prędkość działania interfejsu oraz pojemność linii SDA i SCL (rozumiana, jako pojemność pomiędzy daną linią a masą). Pojemność ta jest uzależniona od geometrii ścieżek interfejsu na PCB i ilości podłączonych do nich urządzeń. Finalnie, istotnym czynnikiem wyboru opornika jest podejście, co do zużycia energii przez system – poświęcając prędkość interfejsu, możliwe jest zmniejszenie zużycia energii przez ten element układu.

Nikodem Czechowski, EP



Rysunek 5. Minimalna rezystancja opornika podciągającego w funkcji napięcia odniesienia podciągnięcia, dla $V_{OL} = 0,2 \times V_{CC}$, $I_{OL} = 2$ mA, gdy $V_{CC} \leq 2$ V; $V_{OL} = 0,4$ V, $I_{OL} = 3$ mA, gdy $V_{CC} > 2$ V



Rysunek 6. Maksymalna rezystancja opornika podciągającego w funkcji pojemności sieci I²C dla trybu standardowego (f_{SCL} = 100 kHz, t_r = 1 µs) – czarna linia i dla trybu szybkiego (f_{SCL} = 400 kHz, t_r = 300 ns) – czerwona linia

Bibliografia

1. Jean-Marc Irazabal, Steve Blozis, *„I²C MANUAL”*, Philips Semiconductors Application Note AN10216-01 (2003).
2. Jonathan Valdez, Jared Becker, *„Understanding the I²C Bus”*, TI Application Report, SLVA704 (2015).
3. Rajan Arora, *„I²C Bus Pullup Resistor Calculation”*, TI Application Report, SLVA689 (2015).

REKLAMA

eprasa.pl 0667ee155a

Automatyczne systemy pomiarowe w praktyce inżyniera

Badania urządzeń oraz systemów elektronicznych to nierzadko monotonne, powtarzalne i długotrwałe zadania, jednak – z uwagi na bardzo duże znaczenie tak podczas opracowywania, testów, jak i masowej produkcji wyrobów – zwykle nie sposób je pominąć czy nawet znacząco skrócić. Odciążenie pracowników od wykonywania nużących operacji, które z powodzeniem mogłyby zostać zrealizowane w sposób choć częściowo bezobsługowy, jest zatem wysoce pożądane z finansowego (i jakościowego) punktu widzenia. Warto przy tym pamiętać, że automatyzacja pomiarów nie zawsze wymaga wydatków rzędu setek tysięcy złotych, z jakimi trzeba się liczyć, wybierając czołowe rozwiązania rynkowych potentatów z branży aparatury pomiarowej. Owszem – istnieje wiele obszarów, w których taka inwestycja nie tylko się zwróci, ale też przyniesie znaczne korzyści, jednak w wielu prostszych sytuacjach można poradzić sobie zupełnie innymi metodami.

Automatyczne systemy i urządzenia pomiarowe, określane często skrótem ATE (*Automated Test Equipment*), na stałe zagościły w arsenale sprzętowym firm technologicznych oraz instytucji badawczo-rozwojowych. Automatyzacja pomiarów ma szereg bardzo istotnych zalet, do których zaliczyć należy przede wszystkim:

- znaczne oszczędności czasowe, związane z szybszym przestawianiem parametrów urządzeń i zniesieniem konieczności manualnego przełączania wielu linii sygnałowych (za sprawą multiplekserów lub wielokanałowych modułów wejściowych i wyjściowych),
- możliwość bezobsługowego prowadzenia długotrwałych testów, w tym także badań wykonywanych równolegle na wielu urządzeniach (DUT – *Device Under Test*) lub innych obiektach,
- możliwość prowadzenia zdalnych badań w trudno dostępnych miejscach, otoczeniu szkodliwym dla zdrowia lub nawet zagrażającym życiu operatora,
- zwiększenie powtarzalności czasowej złożonych procedur pomiarowych,
- możliwość wyeliminowania błędów grubych,
- istotne ułatwienie archiwizacji, obróbki i analizy danych pomiarowych,
- lepszą identyfikowalność procesów, zwłaszcza w przypadku kontroli jakości czy badań naukowych,
- mniejsze zużycie elementów obsługowych (przycisków, pokręteł i złączy aparatury pomiarowej), co przekłada się na niższe koszty amortyzacji sprzętu.

Wymienione powyżej zalety sprawiają, że systemy ATE znajdują zastosowanie w niezliczonych aplikacjach i to praktycznie na każdym etapie cyklu życia danego produktu.

Ogólna koncepcja ATE

W większości przypadków systemy ATE opierają się na połączeniu przynajmniej jednego urządzenia pomiarowego (samodzielnego bądź w formie modułu) z kontrolerem lub loggerem danych. Metody praktycznej realizacji tego typu systemów są jednak bardzo zróżnicowane i zależą nie tylko od wyboru aparatury oraz fizycznego interfejsu służącego do jej połączenia z jednostką nadrzędną, ale także od założeń przyjętych przez projektanta w zakresie protokołu komunikacji

eprasa.pl 0667ee155a

Fotografia 1. Największe systemy pomiarowe ATE są wykonywane w formie opracowywanych na zamówienie szaf rackowych, mieszczących całość osprzętu pomiarowego, sterującego, zasilającego, a często też przetwarzającego i archiwizującego dane (https://t.ly/C7u0x)

i oprogramowania, na którym spoczywa odpowiedzialność za przestrajanie aparatury oraz odbiór i obróbkę danych pomiarowych.

W najprostszym przypadku rolę ATE może pełnić urządzenie pomiarowe (np. multimetr cyfrowy lub oscyloskop), połączone za pomocą określonego interfejsu sprzętowego z komputerem, na którym uruchomione jest oprogramowanie realizujące pobieranie wyników pomiaru i dokonujące nieskomplikowanych obliczeń wraz z ich późniejszą archiwizacją. Najbardziej zaawansowane stanowiska testowe mają natomiast postać rozbudowanych szaf typu Rack, mieszczących szereg wysokiej klasy urządzeń, połączonych z centralnym komputerem (**fotografia 1**). Czasem mamy nawet do czynienia z systemami rozproszonymi, w których pomiary odbywają się w wielu miejscach jednocześnie, zaś poszczególne stanowiska są połączone wspólną siecią lokalną lub nawet drogą internetową – nic bowiem nie stoi na przeszkodzie, by aparatura „rozrzucona" po odległych od siebie lokalizacjach geograficznych współpracowała w ramach tego samego systemu (o ile rzecz jasna ma to sens praktyczny dla danej aplikacji).

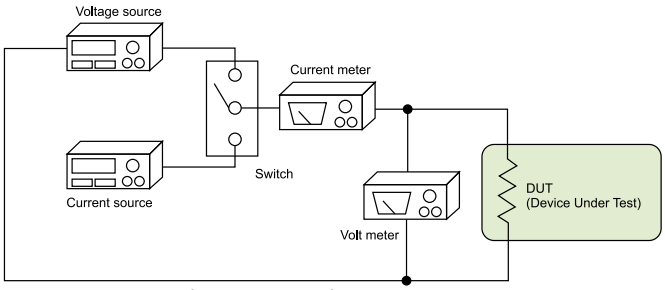
Najprostsze przykłady ATE

Jak wspomnieliśmy wcześniej, rozwój aparatury pomiarowej doprowadził do sytuacji, w której znaczna część sprzętu (w tym praktycznie wszystkie urządzenia laboratoryjne) pozwala na wymianę danych i instrukcji sterujących z innymi urządzeniami. Poniżej zaprezentujemy cztery przykładowe sytuacje pomiarowe oraz nieskomplikowane rozwiązania, które można w ich przypadku zastosować.

Przykład 1: Pomiar charakterystyk I–V. Porty szeregowe (USB, RS232 i inne)

Zapewne większość spośród naszych Czytelników doskonale pamięta studenckie czasy, kiedy podczas zajęć laboratoryjnych (potocznie zwanych „laborkami") należało przeprowadzać rozmaite pomiary charakterystyk elementów elektronicznych, korzystając przynajmniej z dwóch multimetrów pracujących w trybie woltomierza oraz amperomierza. Choć dziś wyznaczanie charakterystyk I–V można przeprowadzić bardzo szybko, łatwo i wygodnie za pomocą zintegrowanych jednostek źródłowo-pomiarowych (SMU – przykład na **fotografii 2**) – które zresztą same w sobie stanowią przykład autonomicznego systemu

Fotografia 2. Jednostka źródłowo-pomiarowa (SMU) typu B2912A marki Keysight (https://t.ly/1NmN)



Rysunek 1. Koncepcja układu pomiarowego charakterystyk I-V za pomocą czterech osobnych urządzeń: źródeł prądowego i napięciowego, amperomierza oraz woltomierza (https://t.ly/8Ll5)

ATE, zamkniętego w pojedynczej obudowie – to w prostszych przypadkach można sobie poradzić za pomocą dwóch osobnych multimetrów przenośnych (**rysunek 1**), wyposażonych w optycznie izolowane interfejsy USB (**fotografia 3**). W tego typu zastosowaniach najlepiej sprawdzają się urządzenia pracujące w trybie wirtualnego portu szeregowego – dane płynące z miernika można bowiem łatwo przechwycić i przetworzyć do postaci, umożliwiającej dalszą obróbkę (np. wizualizację w postaci wykresu). W przypadku sprzętu wykorzystującego autorskie protokoły transmisyjne, zakres zastosowań portu szeregowego ogranicza się do producenckiego oprogramowania, zwykle uniemożliwiającego współpracę z urządzeniami innych producentów (co jest zresztą zrozumiałe ze względów marketingowych). Do tematyki oprogramowania dedykowanego powrócimy jeszcze w dalszej części artykułu.

Fotografia 3. Przykładowy multimetr przenośny z optycznie izolowanym łączem USB – PeakTech 3430. Gniazdo mini USB jest widoczne w górnej części obudowy miernika (https://t.ly/bBYq)

Pomimo upowszechnienia portu USB jako głównego interfejsu w znakomitej większości urządzeń elektronicznych, klasyczny port RS-232 (obecny na rynku już od ponad sześciu dekad!) nadal spotkać można w rozmaitej aparaturze pomiarowej – zasilacze laboratoryjne, mostki RLC, analizatory bezpieczeństwa elektrycznego, mierniki stacjonarne, elektroniczne wagi laboratoryjne (**fotografia 4**), itd. umożliwiają uzyskanie prostego, niezawodnego łącza tak z komputerem, jak i dowolnym innym urządzeniem nadrzędnym. Jako przykład można tutaj wskazać laboratoryjny miernik RLC z serii LCR-6000 marki GW

eprasa.pl 0667ee155a

Fotografia 4. Widok tylnej części obudowy wagi laboratoryjnej PS 4500.R2.M rodzimej marki Radwag. Widoczny bogaty zestaw interfejsów komunikacyjnych: dwa porty RS-232C, gniazdo USB B (device) oraz USB A (host). Źródło: https://t.ly/QoCX

Fotografia 5. Panel tylny miernika z serii LCR-6000 marki GW Instek. Widoczne gniazdo RS-232C oraz złącze cyfrowych linii I/O (HANDLER). Źródło: https://t.ly/PkgJ

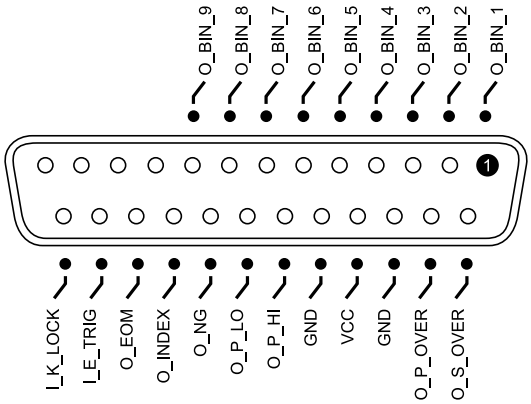
Instek (**fotografia 5**) – urządzenie, którego konstrukcja została silnie zoptymalizowana pod kątem użycia w przemysłowych systemach kontroli jakości, kalibracji itp., umożliwia sterowanie oraz przekaz wyników pomiarów za pośrednictwem standardowych komend SCPI.

Przykład 2: automatyczne sortowanie elementów RLC. Linie I/O specjalnego przeznaczenia

Patrząc na fotografię 5, uważni Czytelnicy zwrócą uwagę także na znajdujące się na tylnym panelu urządzenia złącze D-SUB 25, oznaczone nazwą *HANDLER*. Interfejs ten (**rysunek 2**) zawiera obszerny zestaw binarnych linii wejściowych oraz wyjściowych, realizujących szereg funkcji przydatnych w konstrukcji maszyn sortujących komponenty pasywne według ich rzeczywistej wartości pojemności, rezystancji lub indukcyjności.

- O_BIN_1...9 – wyjścia sortowania, wskazujące przynależność wyniku pomiaru do jednego z 9 podzakresów mierzonego parametru (np. pojemności), co pozwala np. na sterowanie (rzecz jasna z użyciem dodatkowych elementów wykonawczych) zaworami pneumatycznymi, elektromagnesami lub siłownikami, bądź też podłączenie do wejść sterownika programowalnego (PLC), odpowiedzialnego za obsługę mechanizmów maszyny sortującej,
- O_S_OVER – wskaźnik błędu pomiaru drugiego parametru (mostek pozwala na jednoczesny pomiar dwóch wielkości, np. pojemności i impedancji komponentu),
- O_P_OVER, O_P_HI, O_P_LO – wyjścia informujące o przekroczeniu dopuszczalnego zakresu tolerancji przez aktualny wynik pomiaru,
- O_NG – wyjście udostępniające sumę logiczną stanów linii O_S_OVER i O_P_OVER,
- O_INDEX – flaga statusu przetwornika ADC,
- O_EOM – flaga zajętości miernika,
- I_E_TRIG – wejście wyzwalania,
- I_K_LOCK – wejście blokady panelu frontowego miernika (w celu zabezpieczenia przed przypadkową zmianą nastaw, dokonaną przez operatora w trakcie pracy urządzenia sortującego).

Jak widać, zastosowane przez producenta rozwiązania – istniejące niejako zupełnie niezależnie od montowanego w standardzie interfejsu RS-232C – pozwalają na banalnie wręcz proste sprzężenie mostka RLC z konwencjonalnymi urządzeniami automatyki przemysłowej.

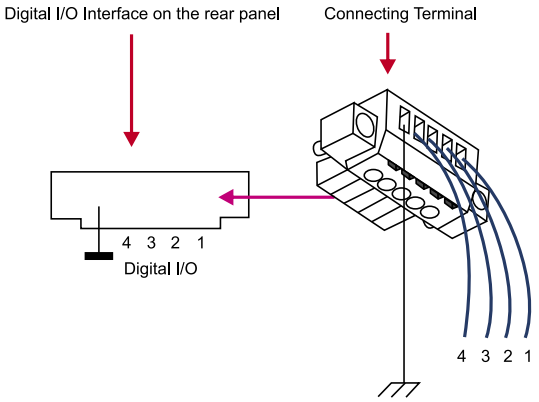


Rysunek 2. Układ wyprowadzeń gniazda HANDLER w mostkach RLC z serii LCR-6000 (https://t.ly/l2pZ)

Fotografia 6. Zasilacz z serii DP800 marki Rigol – panel przedni (https://t.ly/lrJr)

Fotografia 7. Zasilacz z serii DP800 marki Rigol – panel tylny (https://t.ly/lrJr)

eprasa.pl 0667ee155a



Rysunek 3. Układ wyprowadzeń złącza I/O w zasilaczach z serii DP800 (https://t.ly/tKgS)

Przykład 3: Testy sekwencji zasilania. Uniwersalne linie I/O

Niektóre urządzenia są wyposażone w linie wejścia/wyjścia, których funkcje użytkownik może ustawić ze znacznie większą elastycznością. Przykładem może być tutaj seria programowalnych zasilaczy laboratoryjnych DP800 marki Rigol (**fotografia 6**). 5-torowa, rozłączalna kostka zaciskowa, znajdująca się na tylnym panelu urządzenia (**fotografia 7**, **rysunek 3**), umożliwia wykorzystanie czterech wejść/wyjść binarnych do sterowania zasilaczem (np. poprzez włączanie i wyłączanie poszczególnych wyjść) lub informowania zewnętrznych układów elektronicznych o wystąpieniu określonego stanu w danym kanale zasilacza. W trybie wejściowym linie mogą pracować jako:

- **Output On** – włączenie danego kanału (np. CH1) po wystąpieniu stanu aktywnego na przypisanej do kanału linii I/O,
- **Output Off** – wyłączenie kanału,
- **Output Toggle** – przełączenie kanału w stan przeciwny (On→Off, Off→ On).

W przypadku konfiguracji linii jako wyjścia, użytkownik ma do wyboru następujące możliwości:

- **Output Trig** – stan linii zależy od stanu przypisanego do niej wyjścia (włączone/wyłączone),
- **Volt Trig, Curr trig, Power Trig** – stan linii zależy od wyniku porównania wybranego parametru (odpowiednio: napięcia, prądu wyjściowego lub mocy wyjściowej) z ustawionym przez użytkownika progiem (dostępne operatory to >, < oraz =).

Nietrudno wskazać przykładowe, praktyczne aplikacje wymienionych powyżej funkcji – wyobraźmy sobie stanowisko, przeznaczone do testowania zachowania projektowanego urządzenia w odpowiedzi na różne (w tym także nieprawidłowe) sekwencje załączania i/lub wyłączania poszczególnych napięć zasilania. Taka sytuacja może mieć miejsce np. w przypadku systemów wbudowanych, w których zanik napięć zasilających poszczególne bloki, a nawet uruchomienie ich bez zachowania niezbędnych opóźnień, może spowodować uszkodzenia danych zapisywanych do pamięci bądź wyzwolenie nieprawidłowych reakcji procesora. Wykorzystanie linii I/O zasilacza do sterowania stanami wyjść może więc znakomicie ułatwić testowanie oprogramowania, zwalniając użytkownika z konieczności mozolnego, ręcznego załączania i wyłączania poszczególnych napięć w rozmaitych konfiguracjach.

Przykład 4: testowanie przetworników ultradźwiękowych. Testy pass/fail w oscyloskopach

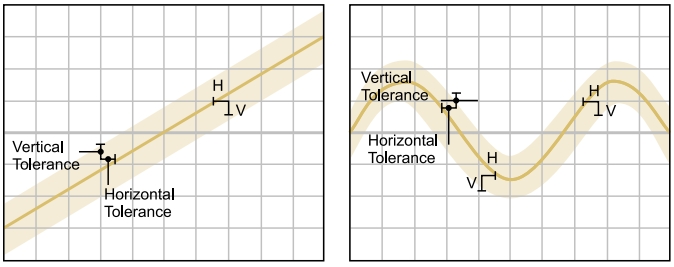
Wyobraźmy sobie, że naszym zadaniem jest budowa systemu służącego do testowania przetworników ultradźwiękowych na linii produkcyjnej. Dysponujemy już odpowiednim generatorem impulsów pobudzających nadajnik, należy jednak sprawdzić, czy czas narastania amplitudy oraz jej wykładniczego spadku, spowodowanego przez drgania rezonansowe, mieści się w odpowiednich granicach

Fotografia 8. Widok tyłu obudowy oscyloskopu marki Rigol z serii DS1000Z. Widoczne gniazda BNC, w tym Trigger Out – Pass/Fail (na dole po lewej), a także porty komunikacyjne LXI oraz USB device (na górze po prawej). Źródło: https://t.ly/Hy_O

(co pozwala wykryć potencjalne problemy, związane np. z zanieczyszczeniami pomontażowymi, które dostały się w rejon membrany), a dodatkowo należy także zweryfikować amplitudę sygnału napięciowego na przetworniku.

Do realizacji tego zadania z powodzeniem można użyć niemal dowolnego oscyloskopu cyfrowego. Dziś większość urządzeń – w tym nawet modele z niższej półki cenowej – ma funkcję *pass/fail*, pozwalającą w prosty sposób definiować dopuszczalną tolerancję przebiegu w obu osiach (zarówno czasu, jak i amplitudy) i wykrywać ramki akwizycji, w których sygnał wykracza poza określone granice. Wbudowane wyjście binarne, dostępne zwykle na jednym z tylnych gniazd BNC (**fotografia 8**), generuje impulsy po wykryciu „wadliwych" przebiegów, co pozwala na bezpośrednie sprzężenie oscyloskopu z zewnętrznymi urządzeniami.

W swojej klasycznej wersji funkcja *pass/fail* bazuje na przebiegu referencyjnym (zarejestrowanym przez jeden z kanałów oscyloskopu bądź wczytanym z pliku), który następnie „obudowuje się" z pewnym przedziałem tolerancji, wyrażonej w jednostkach odpowiadających działkom (a zwykle pewnemu ułamkowi pojedynczej działki,

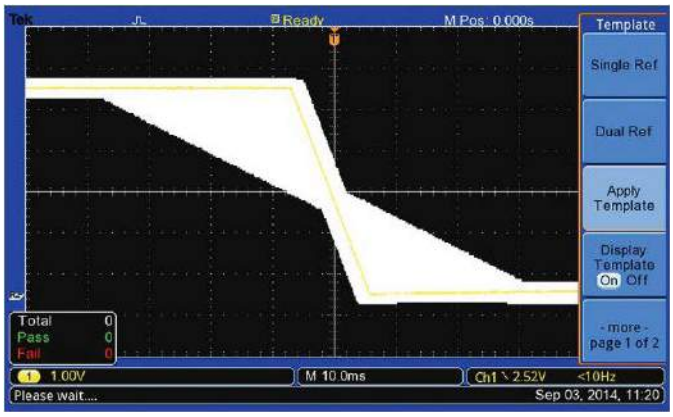


Rysunek 4. Ilustracja zasady działania funkcji pass/fail oscyloskopu w tradycyjnej wersji (z progami tolerancji zdefiniowanymi jako ułamek działki w pionie – V oraz poziomie – H). Źródło: https://t.ly/JMftF

Rysunek 5. Ilustracja działania funkcji pass/fail w oscyloskopie z serii DS7000 marki Rigol. Warto zwrócić uwagę na barwną reprezentację statystyk przebiegu (https://t.ly/iYz5F)

eprasa.pl 0667ee155a

Rysunek 6. Zastosowanie funkcji pass/fail oscyloskopu do testowania obwiedni sygnału przetworników ultradźwiękowych (https://t.ly/WilO)



Rysunek 8. Zastosowanie funkcji pass/fail w trybie area-based testing do badania stromości zboczy sygnału (https://t.ly/JMftF)

np. 0,2 [div]), przy czym dopuszczalne odchylenia definiowane są osobno dla osi X oraz Y (**rysunek 4**). Ten tryb pracy doskonale sprawdza się np. podczas debuggowania systemów wbudowanych, gdzie pozwala wykrywać niepożądane impulsy na liniach cyfrowych (**rysunek 5**), a z równym powodzeniem może być używany w opisywanym przykładzie systemu testera przetworników ultradźwiękowych (**rysunek 6**) – o ile oczywiście wymagania stawiane procedurze są stosunkowo nieskomplikowane.

Warto jednak zwrócić uwagę, że taki tryb testowania ma dwa zasadnicze ograniczenia:

1. W najprostszej realizacji tryb *pass/fail* wykrywa jedynie przebiegi wykraczające poza obszar zapisu referencyjnego, poszerzonego o pewien zakres tolerancji (np. impulsy o zbyt dużej amplitudzie lub zbyt długim czasie trwania); oznacza to jednak, że oscyloskop nie będzie w stanie kontrolować dolnego zakresu parametrów, czyli – przykładowo – nie zareaguje na spadek amplitudy przebiegu poniżej pożądanej wartości minimalnej.
2. „Sztywne" wyznaczenie granic zakresu tolerancji, poprzez ustawienie odstępu mierzonego od pojedynczego przebiegu referencyjnego, w niektórych przypadkach uniemożliwia prawidłowe badanie sygnałów o większym zakresie dynamiki lub bardziej złożonym kształcie. Doskonałym przykładem może być tutaj testowanie czasu narastania lub opadania sygnału – ponieważ parametrem podlegającym badaniu jest nachylenie krzywej, a nie jej przesunięcie lub przeskalowanie, to prosty przedział tolerancji w takim przypadku nie ma praktycznie żadnego zastosowania.

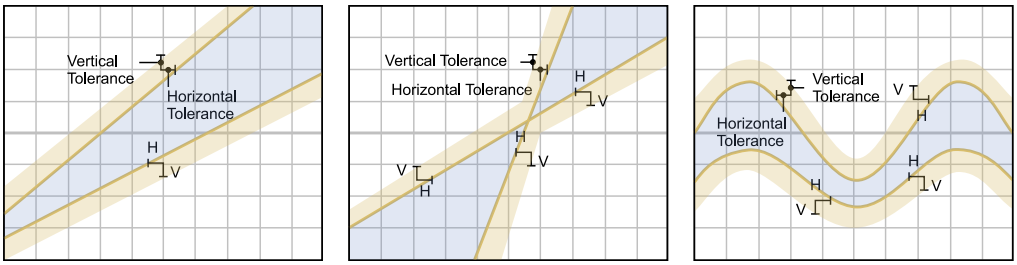
Opisane powyżej problemy zainspirowały producentów do wdrożenia bardziej zaawansowanych funkcji automatycznego testowania. Firma Tektronix opracowała tryb określany mianem *area-based testing*, który – jak sama nazwa wskazuje – opiera się na badaniu przekroczenia przez sygnał pewnego obszaru na ekranie oscyloskopu, przy czym pole to jest definiowane nie przez jeden, ale dwa skrajne przebiegi referencyjne. Pomiędzy tymi krzywymi oprogramowanie oscyloskopu rozpina pole (**rysunek 7**), w którym może znajdować się krzywa zaliczana do grupy przebiegów prawidłowych, zaś brzegi pola są dodatkowo poszerzone o pewien zakres tolerancji, ustawiany w sposób analogiczny do klasycznego trybu *pass/fail*. Taki tryb pracy daje niebywale szerokie możliwości badania stromości zboczy sygnałów (**rysunek 8**) czy też zachowania wzmacniaczy, pracujących z powtarzalnymi sygnałami o dużym zakresie dynamiki.

Warto wspomnieć, że współczesne oscyloskopy czołowych producentów (np. Teledyne Lecroy) pozwalają na budowanie złożonych warunków logicznych, obejmujących wybrane parametry mierzonego sygnału i umożliwiające nie tylko bezpośrednie porównywanie ich wartości z progami ustawionymi przez użytkownika, ale także badanie odchyleń procentowych i różnicy bezwzględnej, czy też używane masek „odwrotnych" (alarm jest generowany wtedy, gdy sygnał wejdzie w ustawiony obszar referencyjny, zaś omijanie go jest uznawane za stan prawidłowy).

Przystawki DAQ USB

Przytoczone przykłady pozwoliły nam na omówienie zastosowania prostych funkcji i interfejsów, dostępnych w znacznej części produkowanych obecnie urządzeń pomiarowych. Nietrudno jednak zauważyć, że w niektórych przypadkach zastosowanie drogiej aparatury laboratoryjnej do realizacji prostszych testów automatycznych może przypominać przysłowiowe „mierzenie z armaty do muchy". Co więcej – bardzo często konieczne jest użycie znacznie większej liczby wejść lub wyjść (tak analogowych, jak i cyfrowych), ale niekoniecznie o wyśrubowanych parametrach (czułości, szerokości pasma przenoszenia, częstotliwości próbkowania, rozdzielczości bitowej, itd.). W takich sytuacjach z pomocą przychodzą niewielkie przystawki USB, pełniące rolę fizycznego interfejsu łączącego komputer ze światem zewnętrznym.

Marka LabJack wprowadziła na rynek serię uniwersalnych modułów pomiarowo-sterujących, obejmującą zarówno moduły główne (w wersji gotowej do użytku, wyposażonej obudowę lub w formie samej PCB do zastosowań OEM), jak i rozmaite adaptery, rozdzielacze, a także inne akcesoria prototypowe oraz montażowe (**fotografia 9**). Moduły – w zależności od wersji – oferują od 12 do 16 wejść analogowych o rozdzielczości 12, 16 lub 22 bitów, a także podwójne wyjścia analogowe oraz od 16 do 23 konfigurowalnych linii cyfrowych I/O. Niektóre modele, oprócz standardowego portu USB, mają także wbudowane gniazdo Ethernet, a nawet łącze bezprzewodowe i zegar RTC. Główną zaletą modułów jest szerokie wsparcie programistyczne – urządzenia mogą pracować pod kontrolą środowisk takich, jak LabView i Matlab oraz z customowym oprogramowaniem pisanym w C++, Pythonie, Javie, Delphi, Visual Basicu, a także z użyciem frameworka .NET. Dodatkowo, moduły oferują funkcjonalność timerów/



Rysunek 7. Ilustracja zasady działania funkcji pass/fail typu area-based testing (https://t.ly/JMftF)

eprasa.pl 0667ee155a

Fotografia 9. Seria produktów LabJack (https://t.ly/-vgo)

Fotografia 10. Moduł DAQ USB-6000 klasy entry-level marki National Instruments (https://t.ly/iq5h)

liczników, pozwalają także na pomiar temperatury za pomocą wbudowanego czujnika oraz zewnętrznych termopar (tylko w niektórych modelach).

Firma National Instruments wprowadziła do swojej oferty także urządzenia klasy entry-level, pracujące w roli przystawek pomiarowo-sterujących. Seria USB-600x (**fotografia 10**) obejmuje cztery modele (6000....6003), oferujące 4 lub 13 linii cyfrowych GPIO, do dwóch wyjść analogowych oraz 8 wejść analogowych o rozdzielczości 12, 14 lub 16 bitów i częstotliwości próbkowania od 10 do 100 kSps. Wspierane języki programowania i platformy to ANSI C, Python, Visual C# .NET, Visual Basic .NET oraz – oczywiście – LabVIEW. Oprócz stosunkowo niedrogich modułów z serii USB-600x firma oferuje też zaawansowane karty I/O z interfejsem PCI (**fotografia 11**), oferujące nawet do 80 (!) wejść analogowych typu single-ended (lub 40 w trybie różnicowym) o maksymalnej prędkości próbkowania 2 Msps i rozdzielczości do 18 bitów. Nie zabrakło także wysokiej klasy urządzeń do akwizycji sygnałów, wyposażonych wprawdzie w starego typu interfejs USB 2.0, ale oferujących parametry zbliżone do ich odpowiedników instalowanych na płycie głównej komputera stacjonarnego (przykład na **fotografii 12**).

Kompaktowe systemy modułowe

Jeżeli kilkanaście...kilkadziesiąt wejść lub wyjść to wciąż za mało, aby sprostać zadaniom stawianym przez daną aplikację, albo też budowany system wymaga wyższej częstotliwości próbkowania lub specjalistycznych modułów wejściowych, uwaga inżynierów kieruje się zwykle w stronę znacznie bardziej rozbudowanych, modułowych systemów DAQ. I tutaj także głównym graczem na rynku jest (już od wielu lat) firma National Instruments. Na szczęście do wyboru jest kilka platform, zdecydowanie różniących się nie tylko stopniem złożoności, ale także ceną.

Fotografia 11. Karta DAQ PCI-6229 marki National Instruments (https://t.ly/Vu-A)

Fotografia 12. Zaawansowany moduł DAQ USB-6255 marki National Instruments (https://t.ly/Vu-A)

eprasa.pl 0667ee155a

Linia CompactDAQ obejmuje trzy grupy produktów sprzętowych. Poszczególne moduły pomiarowe i sterujące (**fotografia 13**) mogą być instalowane albo w specjalnych chassis, oferujących od 1 do 14 slotów modułowych, albo w tzw. kontrolerach, zawierających 4 lub 8 slotów. Chassis (**fotografia 14**) zawierają jedynie podstawową elektronikę, umożliwiającą przesył danych pomiędzy modułami, a nadrzędnym komputerem, za pomocą łącza USB, Ethernet bądź WiFi. Kontrolery (**fotografia 15**) zostały natomiast wyposażone we własne, wbudowane minikomputery, bazujące na 2- lub 4-rdzeniowych procesorach Intel Atom i pracujące pod kontrolą systemu Windows Embedded Standard 7. Takie rozwiązanie pozwala na nadanie systemowi sporej autonomii i doskonale nadaje się do pomiarów wymagających np. szybkiego przetwarzania i archiwizacji dużych ilości danych, co byłoby trudne lub wręcz niemożliwe z uwagi na ograniczenia sieci komputerowej. Co jednak znacznie ważniejsze – przetwarzanie danych *in situ* doskonale wpisuje się w nurt przetwarzania rozproszonego (*edge computing*), sprawdza się więc np. w zastosowaniach polowych.

W odróżnieniu od linii CompactDAQ, która – jak sama nazwa wskazuje – jest przeznaczona przede wszystkim do zastosowań pomiarowych (a ściślej rzecz biorąc – akwizycji danych), w ofercie NI znalazła się także rodzina CompactRIO (**fotografia 16**). Od strony ogólnej konstrukcji mechanicznej jest ona bardzo zbliżona do CompactDAQ – także korzysta bowiem z podziału na moduły, kontrolery oraz chassis (**fotografia 17**). W tym przypadku mamy jednak do czynienia z ekosystemem silnie zoptymalizowanym pod kątem pracy w reżimie czasu rzeczywistego – ultra szybkie układy cyfrowe, bazujące na wydajnych macierzach FPGA oraz precyzyjna synchronizacja sygnałów zegarowych, umożliwiają niezwykle sprawną realizację zadań sterowania obiektami o dużej dynamice i złożoności, a także sprawną akwizycję oraz analizę dużych ilości danych – nawet w aplikacjach wizyjnych. Kluczem do osiągnięcia takich możliwości jest dość innowacyjne w przypadku systemów modułowych rozwiązanie, na które zdecydowali się inżynierowie National Instruments – w tym przypadku mamy bowiem do czynienia z bezpośrednimi połączeniami każdego z modułów z główną macierzą FPGA. Pominięcie wspólnej szyny danych/adresów na rzecz niezależnych połączeń z poszczególnymi modułami zapewnia pracę przy praktycznie zerowej latencji, nieosiągalnej w przypadku klasycznych systemów modułowych.

Systemy CompactDAQ oraz CompactRIO są wyposażone w estetyczne i funkcjonalne, choć także bardzo kompaktowe obudowy,

Fotografia 13. Moduły z serii CompactDAQ (https://t.ly/otIx)

Fotografia 14. Chassis typu cDAQ-9189 z serii CompactDAQ (https://t.ly/lSxx)

Fotografia 15. Kontroler cDAQ-9135 z serii CompactDAQ (https://t.ly/rdtz)

Fotografia 16. Produkty z serii CompactRIO marki National Instruments (https://t.ly/8qO1r)

Fotografia 17. Trzy modele chassis z serii CompactRIO (https://t.ly/JkuMi)

Fotografia 18. Moduły z serii TestScale marki National Instruments (https://t.ly/kWhXI)

Fotografia 19. Półotwarta rama montażowa systemu TestScale (https://t.ly/kWhXI)

eprasa.pl 0667ee155a

Fotografia 20. Obudowa dla systemu Rack kompatybilna z modułami TestScale (https://t.ly/Fg3k)

co sprawia, że forma sprzętu nadaje się do użytku biurkowego. Firma National Instruments opracowała jednak także znacznie uproszczoną i o wiele tańszą linię produktów, w ramach koncepcji zbliżonej nieco do OEM. Seria **TestScale** obejmuje pięć modułów (wejścia analogowe, wyjścia analogowe, wyjścia cyfrowe, linie GPIO oraz zasilacz), których wspólną cechą jest niewielki format – nieobudowana płytka drukowana ma szerokość gniazda D-SUB 37, pełniącego rolę przyłącza sygnałów zewnętrznych (**fotografia 18**). Moduły są montowane w blaszanej ramie, zawierającej jedynie pojedynczą, podłużną płytkę PCB, spinającą moduły pod względem elektrycznym (**fotografia 19**). Baza systemu występuje w trzech wersjach – oprócz przedstawionej na fotografii 19, dostępna jest też jej jeszcze bardziej „odchudzona" wersja pozbawiona panelu przedniego, a także obudowa do montażu Rack (**fotografia 20**) o wymiarach pozwalających na zamocowanie dwóch takich zestawów w objętości równej kubaturze pojedynczego modułu 1U (19"). Rodzina TestScale, z uwagi na bardzo okrojoną konstrukcję, nadaje się do budowy systemów o stosunkowo niewielkich wymaganiach sprzętowych (tj. bez konieczności stosowania przetworników ADC pracujących z częstotliwościami RF czy też niskoszumnych wejść analogowych o dużym wzmocnieniu). Za uproszczeniem konstrukcji idzie rzecz jasna znaczny spadek ceny – poszczególne moduły kosztują zazwyczaj nie więcej, niż około 1500....2000 złotych.

Systemy modułowe klasy High-end

Jeszcze większe możliwości w porównaniu do opisanych wcześniej rodzin produktów daje system NI PXI – tutaj także mamy do czynienia z modułami umieszczanymi w specjalnych slotach wewnątrz chassis, jednak parametry oferowane przez zastosowany tu interfejs PXI Express (bazujący na technologii PCI, znanej z komputerów stacjonarnych) są znacznie szersze. Oprócz bardzo dużej szybkości przesyłu danych należy zwrócić także uwagę na dostępność niezwykle zaawansowanych modułów pomiarowych, zostawiających daleko w tyle zarówno systemy kompaktowe, jak i znaczną część klasycznych, biurkowych urządzeń (np. oscyloskopów cyfrowych) z dolnej i średniej półki cenowej.

System NI PXI także bazuje na podziale urządzeń na trzy grupy: chassis, kontrolery oraz moduły rozszerzeń, w tym przypadku jednak mamy do czynienia ze znacznie większą różnorodnością konstrukcji i parametrów, co rzecz jasna przekłada się na elastyczność w konfiguracji systemu ATE. Najbardziej zaawansowane modele

Fotografia 21. 18-slotowa chassis PXIe-1095 marki National Instruments (https://t.ly/wef-)

Fotografia 22. Kontrolery z serii PXI marki National Instruments (https://t.ly/NBhfp)

Fotografia 23. Moduł zdalnego sterowania PXIe-8398 (https://t.ly/tbqD)

Fotografia 24. Karta PCIe-8398 kompatybilna z modułem PXIe-8398 (https://t.ly/QKv4B)

eprasa.pl 0667ee155a

Fotografia 25. Kontrolery systemu PXI montowane w szafach Rack (https://t.ly/VmPG)

chassis pozwalają na współpracę nawet z osiemnastoma pojedynczymi modułami naraz (**fotografia 21**) i umożliwiają wykorzystanie kontrolerów o przepustowości wewnętrznego łącza danych na poziomie 24 GB/s (!). Dodatkowo, za stabilność częstotliwości taktowania i niską wartość jittera odpowiada wbudowany oscylator z aktywną stabilizacją temperatury (OCXO). Maksymalna wydajność chłodzenia dla pojedynczego slotu to 82 W.

W przypadku kontrolerów producent także postawił na osiągnięcie najwyższej możliwej wydajności. I tak, podczas gdy „najsłabsze" kontrolery z serii PXI pracują pod kontrolą procesora Intel Core i3 oraz i5, to najwyższe dostępne w chwili pisania niniejszego artykułu modele bazują na chipach Intel Core i7, a nawet Xenon o 4, 8, lub.... 18 rdzeniach. Oprócz „lokalnych" kontrolerów (instalowanych w chassis – **fotografia 22**) do wyboru są jednak także specjalne moduły do sterowania z poziomu zdalnego komputera – w takim przypadku do chasiss trafia moduł z interfejsem MXI-Express (**fotografia 23**), zaś po stronie komputera nadrzędnego należy zamontować odpowiednią kartę z interfejsem PCIe (**fotografia 24**). W ofercie NI znajdują się ponadto kontrolery zewnętrzne (**fotografia 25**) – także wyposażone w interfejs MXI, ale przeznaczone montażu w szafach 19" i umożliwiające sterowanie modułami bez użycia dodatkowych, zewnętrznych komputerów.

Różnorodność modułów wejściowych (pomiarowych) i wyjściowych sprawia, że w ramach jednej chassis można z powodzeniem zmieścić funkcjonalność naprawdę przyzwoicie wyposażonego laboratorium pomiarowego (**fotografia tytułowa**). Dokładny opis możliwości, jakie dają integratorom ATE moduły, dostępne w ramach ekosystemu PXI, mógłby być materiałem na osobny artykuł, dlatego w tym momencie podamy jedynie lakoniczną listę grup, na jakie można owe moduły podzielić:

- wielofunkcyjne moduły I/O (linie analogowe i cyfrowe, timery, liczniki),
- oscyloskopy (2-, 4- oraz 8-kanałowe, pasmo do 5 GHz, próbkowanie do 12,5 GSps),
- jednostki pomiarowe SMU (1-, 4-, 12-, a nawet 24-kanałowe),
- analogowe moduły wejściowe (16, 24 lub 28 bitów, próbkowanie od 5 kSps/kanał do 20 MSps/kanał, od 6 do 32 kanałów),
- rekonfigurowalne moduły GPIO (bazujące na programowanych przez użytkownika macierzach FPGA),
- multimetry cyfrowe (6,5 oraz 7,5 cyfry),
- moduły FPGA z serii FlexRIO na bazie układów Xilinx (w tym koprocesory, transceivery IF, generatory oraz digitizery),
- moduły wyjść analogowych (do 1 MSps, od 8 do 64 kanałów),
- moduły akwizycji sygnałów akustycznych/wibracyjnych (wybieralne sprzężenie AC/DC wejść, od 2 do 16 kanałów różnicowych, próbkowanie od 51,2 kSps do 1,25 MSps),
- moduły zdalnego sterowania (przepustowość do 16 GB/s),
- generatory arbitralne (od 12 do 16 bitów, próbkowanie od 100 MSps do 800 MSps),
- cyfrowe moduły I/O (do 96 dwukierunkowych linii, zakres napięć wyjściowych nawet do 150 V w przypadku jednego z modeli),
- front-endy temperaturowe (wsparcie dla termopar i czujników RTD w topologii 2-, 3- i 4-przewodowej, 20 lub 32 kanały),

Fotografia 26. Generator wektorowy PXIe-5673E (https://t.ly/rj6Z)

- macierze przełączników, bazujące na przekaźnikach elektromagnetycznych i kontaktronowych, tranzystorach FET lub przekaźnikach SSR, umożliwiające wykonywanie do 544 unikalnych połączeń),
- moduły przekaźnikowe (SPST, SPDT, DPST lub DPDT, od 10 do nawet 100 przekaźników!),
- programowalne macierze rezystorów o rozdzielczości do 0,25 Ω,
- sprzętowe emulatory stanów awarii (np. przerw w obwodach, zwarć do masy lub źródła zasilania) o 7...68 kanałach, przeznaczone do testów HIL (*Hardware-In-the-Loop*),
- wzmacniacze układów mostkowych (dostępne konfiguracje połączeń to *full*/*half*/*quarter bridge*),
- moduły komunikacyjne dla interfejsów motoryzacyjnych (CAN/LIN),
- multipleksery z przekaźnikami elektromechanicznymi do 196 kanałów,
- moduły synchronizacyjne do łączenia wielu chassis w jeden system hierarchiczny (*master*/*slave*),
- moduły z portami szeregowymi (RS-232, RS-485, RS-422),
- 32-kanałowe generatory wzorców PPMU (*per channel pin parametric measurement unit*),
- programowalne zasilacze (3 wyjścia, zakres napięć unipolarnych od 0...6 V do 0...60 V lub bipolarnych -20...+20 V, prąd wyjściowy 1 A lub 6 A),
- analogowe generatory RF (pasmo od 250 kHz do 20 GHz),
- wektorowe transceivery o paśmie od 0 Hz do nawet 44 GHz),
- wektorowe generatory sygnałowe (250 kHz do 6,6 GHz),
- macierze przełączników RF (do 96 ścieżek łączeniowych, pasmo do 350 MHz, impedancja 50 omów),
- moduły mostków RLC (częstotliwość testowa od 40 Hz do 2 MHz, czułość prądowa na poziomie 1 pA).

O poziomie zaawansowania modułów PXI świadczą nie tylko ich wyśrubowane do granic możliwości parametry, ale także ceny – najwyższy model modułu oscyloskopowego o paśmie 5 GHz kosztuje w chwili pisania niniejszego artykułu tyle, co 30-metrowa kawalerka w Warszawie (418 tysięcy złotych), zaś topowy model generatora wektorowego PXIe-5673E (**fotografia 26**) to koszt ponad – bagatela – 830 tys. złotych…

Oprogramowanie systemów ATE

Nawet najbardziej zaawansowany sprzęt nie wystarczy jednak do budowy automatycznego systemu pomiarowego – potrzebne jest jeszcze odpowiednie oprogramowanie, które zapewni nie tylko kompatybilność z wykorzystywanymi do budowy ATE urządzeniami, ale także umożliwi relatywnie łatwą rozbudowę lub modyfikację funkcjonalności, nawet po wdrożeniu systemu w docelowej lokalizacji.

eprasa.pl 0667ee155a

W tym przypadku także do dyspozycji jest kilka diametralnie różnych podejść, które teraz pokrótce omówimy.

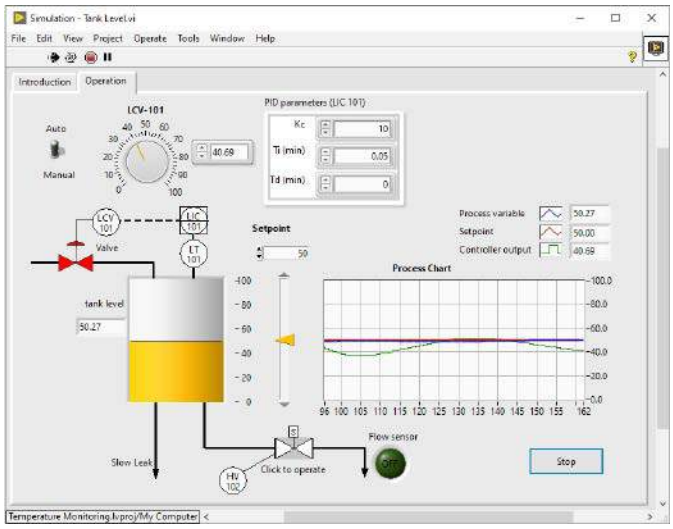
Oprogramowanie producenckie

Wszyscy liczący się na rynku producenci sprzętu pomiarowego udostępniają (bezpłatnie lub jako osobny produkt) pakiety oprogramowania, umożliwiające sterowanie aparaturą oraz odbiór wyników pomiaru z poziomu dowolnego komputera. Niewątpliwą zaletą tego rozwiązania jest oczywiście pełna kompatybilność ze wszystkimi lub przynajmniej wybranymi modelami urządzeń danej marki, a to przekłada się na możliwość natychmiastowego uruchomienia zestawu zaraz po zakończeniu instalacji oprogramowania. Poszczególne pakiety znacznie różnią się jednak pod względem zakresu oferowanych funkcjonalności, dlatego też mniej lub bardziej nadają się do realizacji systemów ATE.

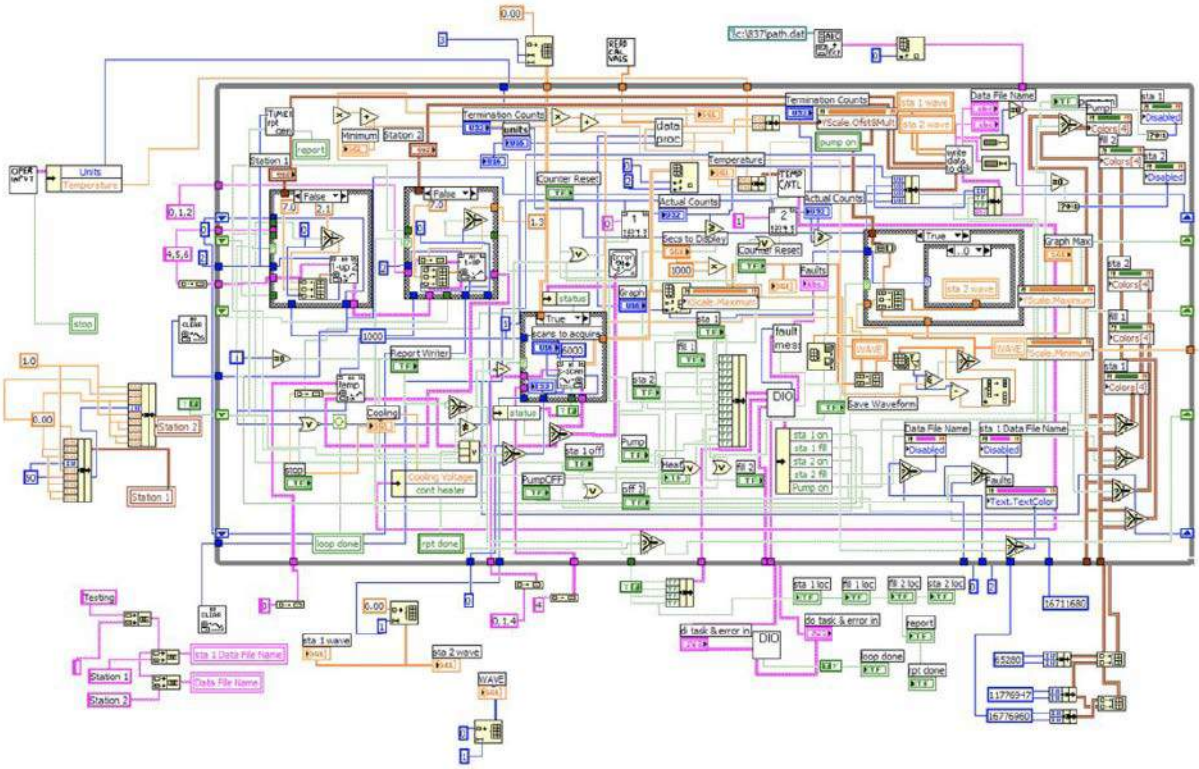
Rysunek 9. Zrzut ekranu z programu PathWave BenchVue marki Keysight (https://t.ly/ydSQ)

PathWave BenchVue

Jednym z lepiej przemyślanych produktów w tym zakresie jest oprogramowanie PathWave BenchVue marki Keysight (**rysunek 9**). Oprócz wirtualnych paneli kontrolnych i możliwości eksportu danych pomiarowych, pakiet pozwala również na stosowanie komend SCPI, a także – co niebywale rozszerza możliwości automatyzacji – tworzenie prostych algorytmów służących do sterowania poszczególnymi instrumentami oraz obróbki i wizualizacji wyników. I choć graficzne środowisko programistyczne wykorzystujące bloczki (układane niczym puzzle) natychmiast przywołuje na myśl prościutkie pakiety IDE przeznaczone dla dzieci i początkujących amatorów elektroniki, to i takie rozwiązanie ma pewną zaletę – nie wymaga od nowego użytkownika żadnego przygotowania merytorycznego, związanego z nauką języka skryptowego albo nawet samych bibliotek API. I choć twórcom oprogramowania nie udało się uniknąć pewnych błędów utrudniających pracę w niektórych scenariuszach użycia,



Rysunek 10. Zrzut ekranu z przykładowego GUI, opracowanego w środowisku LabVIEW (https://t.ly/OnKR)



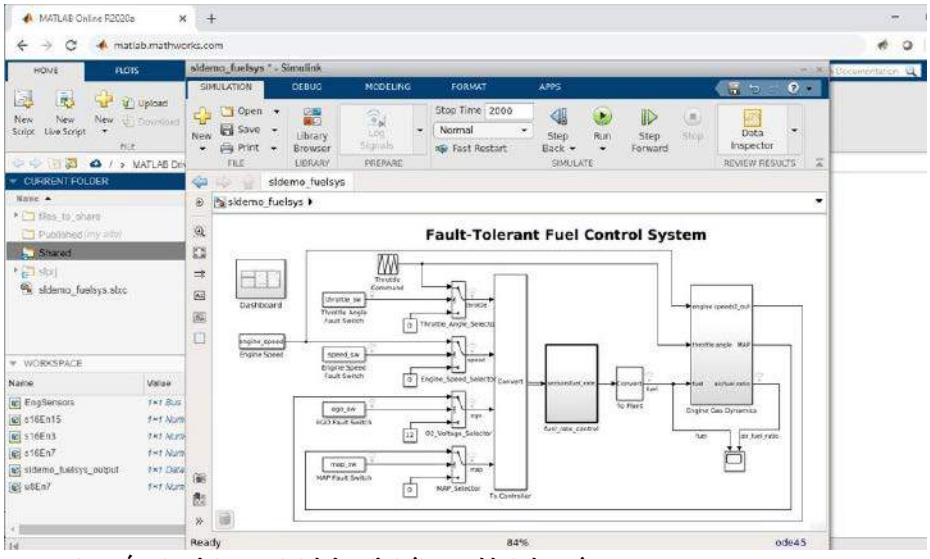
Rysunek 11. Przykład tzw. spaghetti code w środowisku LabVIEW (https://t.ly/PDjD)

eprasa.pl 0667ee155a

to niewątpliwie PathWave BenchVue pozwala przyspieszyć wykonywanie pomiarów biurkowych, np. testowanie prototypu budowanego urządzenia.

LabVIEW

Nieporównanie większą elastyczność, kompatybilność oraz wydajność (nie wspominając o stabilności), w porównaniu do oprogramowania producenckiego, mogą uzyskać użytkownicy pakietu LabVIEW (**rysunek 10**). Z uwagi na możliwość szybkiego i intuicyjnego tworzenia wygodnych w użyciu oraz (przy odrobinie zdolności plastycznych) naprawdę estetycznych interfejsów użytkownika, oprogramowanie zdobyło szereg wiernych „wyznawców", którzy często korzystają z niego nawet bez połączenia z jakimkolwiek fizycznym urządzeniem – LabVIEW, za sprawą bogatego wachlarza pakietów dodatkowych, dobrze sprawdza się także w analizie i wizualizacji danych offline. Z drugiej strony, produkt ma także licznych przeciwników, których zraża sposób programowania podstawowych struktur (np. instrukcji warunkowych czy pętli), bowiem programistom przyzwyczajonym do klasycznego kodowania wydaje się on nad miarę zawiły i nieintuicyjny. Dodatkowo, za LV ciągnie się zła sława pakietu, w którym bardziej zaawansowane programy przyjmują formę tzw. *spaghetti code* (**rysunek 11**), choć w tym miejscu należy uczciwie przyznać, że nie wynika to już z wad samego LabVIEW, ale z nieumiejętności podziału programu na czytelne bloki funkcjonalne (ten sam błąd można wszak uczynić także w zwykłych językach programowania, pisząc całość kodu w jednym pliku źródłowym, bez wydzielania jakichkolwiek bibliotek).



Rysunek 12. Środowisko Matlab/Simulink (https://t.ly/-10q)

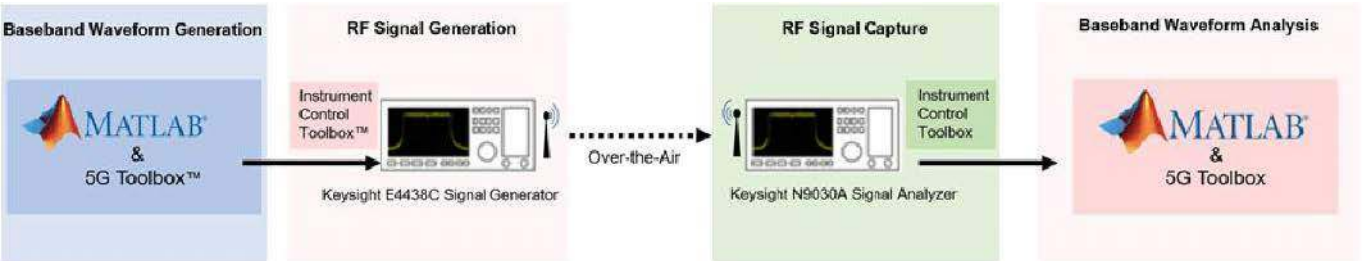
Matlab/Simulink

W zastosowaniach naukowych oraz badawczo-rozwojowych często stosowanym środowiskiem jest także Matlab/Simulink. O ile sam Matlab jest zoptymalizowany przede wszystkim pod kątem skryptów obliczeniowych i symulacyjnych, to pakiet Simulink umożliwia ponadto tworzenie bardzo czytelnych schematów blokowych, stanowiących niejako silnik obliczeń, pokazany w intuicyjnej, graficznej formie (**rysunek 12**). Choć w większości przypadków ekosystem Matlab/Simulink bazuje głównie na danych dostarczanych w formie pliku, zapisanego na dysku komputera, to istnienie gotowych bibliotek VISA otwiera szereg możliwości związanych z bezpośrednią komunikacją z podłączonym do komputera sprzętem pomiarowym (**rysunek 13**). Dodatkowo, wbudowane w Matlaba środowisko umożliwia projektowanie estetycznych interfejsów GUI (**rysunek 14**), co daje szansę na projektowanie wirtualnych instrumentów, bazujących co prawda na danych napływających z fizycznego sprzętu, ale rozszerzających jego możliwości o nowe metody wizualizacji wyników, analizy numerycznej, a także fuzji wyników pochodzących z różnych urządzeń.

Inne podejścia do tworzenia oprogramowania systemów ATE

Podobnie jak w przypadku LabVIEW, także środowisko Matlab/Simulink nabiera rozpędu dopiero po rozszerzeniu bazowego pakietu o dodatkowe wtyczki, pozwalające np. na wykonywanie zaawansowanych operacji DSP. Z jednej strony, takie podejście pozwala użytkownikom zapłacić tylko za to, czego naprawdę potrzebują, z drugiej zaś – skutecznie zwiększa wydatki względem zakupu samego pakietu głównego (często wielokrotnie). Jeżeli koszty oprogramowania na poziomie kilkudziesięciu tysięcy złotych (lub więcej) są dla przedsiębiorstwa nie do udźwignięcia, wyjściem pozostaje użycie darmowych środowisk i języków programowania. W Internecie można znaleźć bezpłatne narzędzia open-source do obsługi aparatury pomiarowej (dowolnego producenta) za pośrednictwem łącza Ethernet i komend SCPI. Warto tutaj wspomnieć chociażby o połowicznie gotowym narzędziu – LXI Tools (**rysunek 15**). Program współpracuje od ręki z najpopularniejszymi urządzeniami pomiarowymi (w tym niektórymi modelami oscyloskopów Siglent bądź Rigol), podłączonymi do komputera za pośrednictwem sieci LAN. Oprócz podstawowej obsługi komend SCPI, program umożliwia także wykonywanie zrzutów ekranu oraz automatyczne wykrywanie urządzeń w sieci (zależnie od modelu). Oficjalna lista urządzeń przetestowanych z LXI Tools obejmuje następującą aparaturę:

- **Keysight** (MSO-X 3024T, MSO-X 6004A),
- **Tektronix (TDS3034B, MDO3024, 4 Series MSO, 5 Series MSO),**
- **LeCroy** (WavePro ZI-a),
- **Rohde & Schwarz** (MW 270, HMC 8012, HMC 8043, HMO 1202, HMO 3054, RTB 2004, NGE 100, NGM 202, RTM 3004, ZNL3),
- **Rigol** (DG1062Z, DG4062, DG4102, DG4162, DL3021, DP831, DP832, DM3058, DM3068, DS1074Z+, DS1104Z, DS2302, DSA815, MSO1104Z, MSO2302A, MSO5074),
- **Siglent** (SDG1032X, SDG2122X, SDG6052, SDS1152CML, SDS1202X-E, SDS1204X-E, SDS2304X, SDM3045X, SDM3055, SDM3065X, SPD3303X-E, SSA3032X),



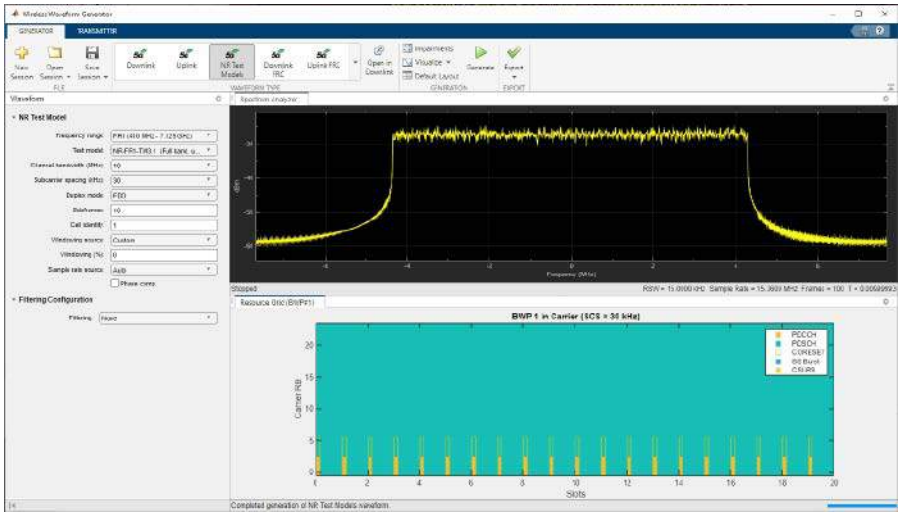
Rysunek 13. Przykład zastosowania programu Matlab do obsługi złożonych pomiarów widma sygnału RF (https://t.ly/vno4)

eprasa.pl 0667ee155a

- **Kikusui Electronics** (PMX35-3A).

Rzecz jasna, natywne wsparcie komend SCPI pozwala na podłączenie niemal dowolnego urządzenia wyposażonego w port Ethernet, wspierający komunikację w standardzie LXI. Co ważne – program posiada wbudowany edytor kodów źródłowych, umożliwiający tworzenie własnych skryptów całkowicie automatyzujących pracę systemu.

Te same operacje można oczywiście wykonać za pomocą skryptów i programów binarnych (plików wykonywalnych), utworzonych w niemal dowolnym środowisku programistycznym, które zapewni relatywnie niskopoziomowy dostęp do sieci LAN (a w niektórych przypadkach także do portu USB, gdyż wiele urządzeń pozwala także na komunikację z użyciem odpowiednich sterowników VISA/IVI). Nic nie stoi zatem na przeszkodzie, by program do obsługi systemu ATE napisać np. za pomocą Visual C++ – zawsze w takim przypadku pojawia się jednak pytanie, na ile opłacalne jest tworzenie go od podstaw oraz w jakich warunkach dany program będzie pracował w docelowej aplikacji, czy wreszcie – jakie będą kwalifikacje korzystających z niego użytkowników.



Rysunek 14. Interfejs użytkownika (GUI), wykonane w programie Matlab (https://t.ly/vno4)

Podsumowanie

Nie od dziś wiadomo, że możliwości, jakie daje narzędzie – niezależnie od tego, czy mamy na myśli dłuto do drewna, czy najwyższej klasy oscyloskop – zależą od tego, w jakich rękach się ono znajdzie. Celem niniejszego artykułu było pokazanie, że na automatyczne systemy pomiarowe można patrzeć z różnych punktów widzenia – liczba dostępnych rozwiązań jest naprawdę imponująca, a decydującym kryterium (oprócz parametrów technicznych, np. liczby kanałów wejściowych czy też częstotliwości próbkowania) będzie w wielu przypadkach budżet, jaki można przeznaczyć na wdrożenie systemu ATE.

inż. Przemysław Musz, EP

Rysunek 15. Zrzut ekranu z programu LXI Tools (https://t.ly/k-Dj)

REKLAMA

Sięgnij po archiwalne wydania
ELEKTRONIKI PRAKTYCZNEJ

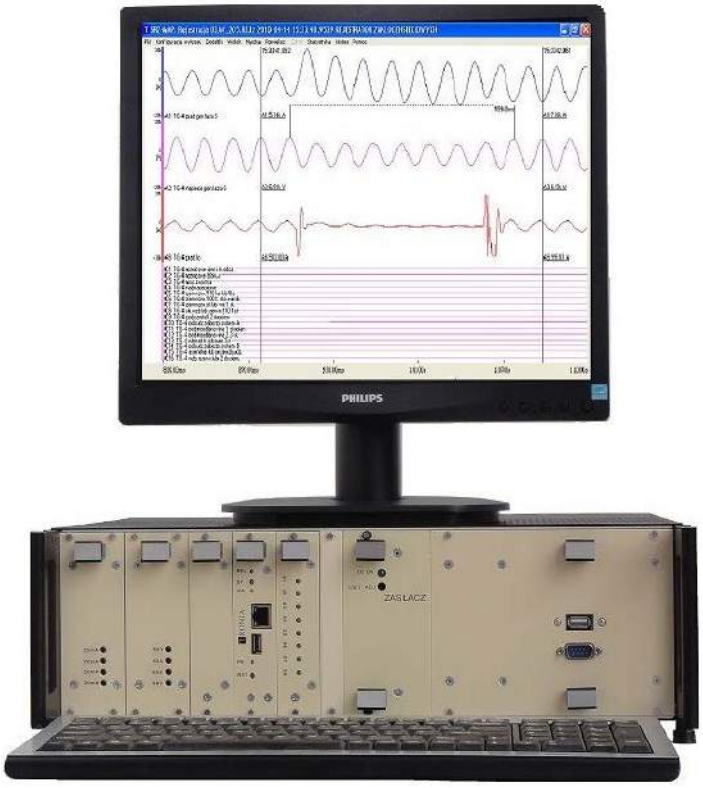
Przesyłka GRATIS

Zamów wygodnie na
www.UlubionyKiosk.pl

eprasa.pl 0667ee155a

Rejestratory zakłóceń elektrycznych firmy TRONIA

Monitorowanie sygnałów elektrycznych jest ważne z kilku powodów. Daje możliwość kontrolowania stanu instalacji i urządzeń elektrycznych, co z kolei pozwala przewidzieć zbliżającą się awarię, a jeśli do niej dojdzie, ułatwia wskazanie źródła zakłóceń i przyczyny awarii. W rezultacie zapobiegamy pogorszeniu jakości produktów oraz nieplanowanym wyłączeniom danej instalacji. Zrealizowanie takiego systemu jest możliwe tylko przy zastosowaniu rejestratora, który może kontrolować wiele sygnałów jednocześnie, gwarantuje ich zsynchronizowane w czasie, oraz daje możliwość analizowania wszystkiego na wspólnym wykresie. Właśnie takie są najważniejsze cechy rejestratorów firmy TRONIA.



Specjalizacją firmy TRONIA Sp. z o.o. są rejestratory parametrów elektrycznych zoptymalizowane do monitorowania anomalii i zakłóceń. Specjalistyczne zastosowanie wymaga odpowiedniej konstrukcji urządzeń rejestrujących – muszą być konfigurowalne w szerokim zakresie, aby dały się dostosować do każdego monitorowanego obiektu.

Modułowa konstrukcja

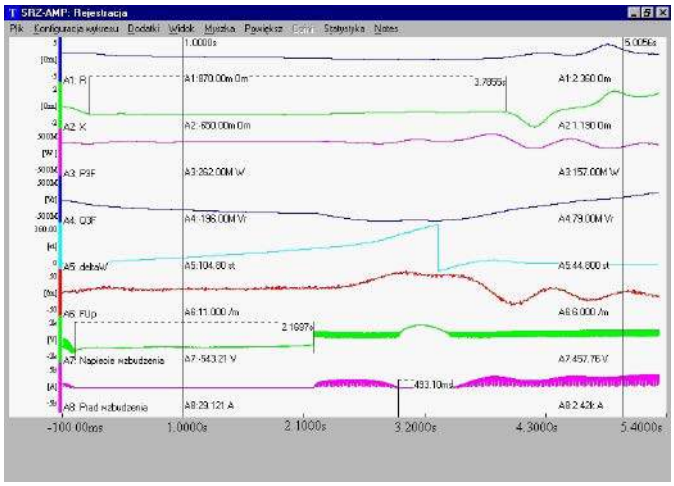
Rejestratory mają konstrukcję modułową. Użytkownik może zamówić niewielkie urządzenie przenośne, zawierające rejestrator na 8 sygnałów analogowych i 8 dwustanowych oraz zasilanie, a jeśli potrzeby aplikacji są większe, można przygotować system z wieloma rejestratorami, osobną kasetą zasilania i komputerem przemysłowym, którego oprogramowanie umożliwia konfigurowanie rejestratorów, monitorowanie ich stanu, odbieranie i przetwarzanie rejestracji, jak również przesyłanie rejestracji do serwera sieci zakładowej.

Modułowa konstrukcja rejestratora zwiększa również jego niezawodność i ułatwia serwis. Niesprawny moduł można wymontować i na czas jego naprawy zrezygnować z rejestrowania danych sygnałów, lub wstawić moduł zapasowy. Analogicznie, awaria jednego z wielu rejestratorów w danej szafie nie przeszkadza w pracy pozostałych.

Parametry i zakresy pomiarowe

Rejestratory mogą monitorować różne sygnały: napięcia od pojedynczych woltów do 400 V AC/DC lub prądy od pojedynczych mA do 100 A AC/DC, jak również sygnały dwustanowe z różnych łączników. Zmiana kontrolowanych sygnałów wymaga jedynie wstawienia odpowiednich modułów i zmodyfikowanie konfiguracji rejestratora. W prosty sposób można zmienić np. rejestrowanie napięć/prądów zasilających na monitorowanie sygnałów 4...20 mA z czujników temperatury, ciśnienia, przepływu, itp. (**rysunek 1**). Kluczowe parametry urządzeń zostały zestawione w **tabeli 1**.

Więcej informacji:
Tronia Sp. z o.o.
02-226 Warszawa, ul. Sycowska 11
tel. +48228464197, +48781991168
tronia@poczta.onet.pl, www.tronia.pl



Rysunek 1. Rejestratory pozwalają na monitorowanie wielu różnych parametrów

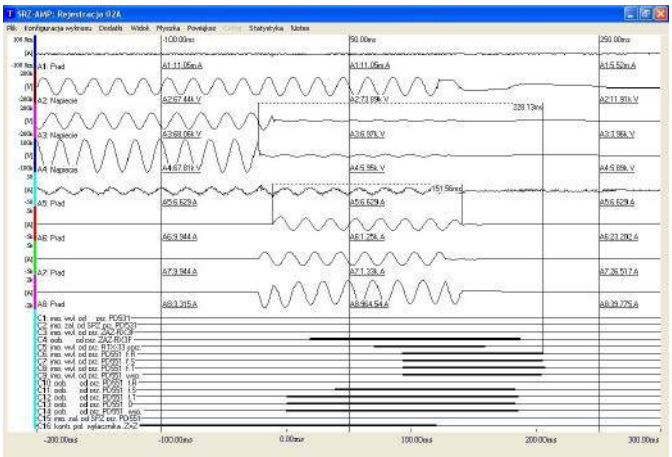
eprasa.pl 0667ee155a

Tabela 1. Zestawienie kluczowych parametrów rejestratorów zakłóceń elektrycznych firmy TRONIA	
Rejestrowane sygnały	Napięcie, natężenie prądu, 4...20 mA z czujników, sygnały dwustanowe ze styczników i wyłączników
Zakres pomiaru napięć	Od pojedynczych woltów do 400 V AC/DC
Zakres pomiaru prądów	Od pojedynczych mA do 100 A AC/DC
Napięcie przebicia izolacji między źródłem sygnału a rejestratorem	Przynajmniej 3 kV DC
Rozdzielczość przetworników pomiarowych	16 bitów
Rejestrowane przetężenie	20×In, przepięcie: 2×Un
Częstotliwość próbkowania:	0,1...100 000 próbek na sekundę (analiza harmonicznych do 1000)
Liczba wejść	Maksymalnie 16 modułów po 8 wejść analogowych i 16 wejść dwustanowych w każdym
Pamięć rejestracji	32 MB na moduł
Interfejs z koncentratorem	RS232, Ethernet (odbieranie rejestracji)
Synchronizacja czasu	GPS lub inne źródło czasu
Odbieranie rejestracji z koncentratora	Pendrive, RS232, DVD, Ethernet

Rozbudowana funkcjonalność

W przypadku rozległych instalacji, zamiast doprowadzać sygnały do rejestratora z odległych miejsc, taniej i wygodniej jest rozmieścić rejestratory blisko źródeł sygnałów, a wykonywane przez nie rejestracje przesyłać do serwera, gdzie są dostępne dla wszystkich zainteresowanych. Takie rozwiązanie zastosowano na przykład w Elektrowni Bełchatów, gdzie 16 systemów rejestrujących typu SRZ-AMP monitoruje łącznie ponad 700 sygnałów analogowych i ponad 1200 sygnałów dwustanowych w nastawniach bloków oraz w rozdzielniach potrzeb własnych. Są tam niewielkie systemy z 8 wejściami analogowymi, ale również większe, zawierające ponad 50 sygnałów. Każdy system pracuje autonomicznie, co zwiększa niezawodność całej sieci rejestratorów.

Nieco inną koncepcję sieci rejestratorów firma TRONIA zrealizowała w Hucie Miedzi „Głogów". Sześć systemów zawiera 21 rejestratorów typu SZARM o częstotliwości próbkowania 100 000 próbek na sekundę, połączonych światłowodami w ten sposób, że rejestrator rozpoczynający rejestrację uaktywnia pozostałe 20 rejestratorów. Inaczej mówiąc, wszystkie urządzenia pracują jak jeden rejestrator, choć odległości między systemami sięgają kilku kilometrów. Rejestracje są następnie przekazywane wydzieloną siecią światłowodową do komputera centralnego, w którym są automatycznie analizowane według ustalonego algorytmu. Uwalnia to użytkownika od mozolnego przeglądania wielu plików. Dla każdego zdarzenia przygotowywany jest krótki raport, informujący o konfiguracji monitorowanej instalacji (stany łączników), wybranych parametrach, czy przyczynie wykonania rejestracji. Użytkownik ma wiele narzędzi do analizy i przetwarzania zarejestrowanych danych od prostych wykresów czasowych, po analizę harmonicznych, wykresy mocy czynnej i biernej, różnicy faz, składowych symetrycznych i wielu innych (**rysunek 2**).



Rysunek 2. Oprogramowanie pozwala na obrazowanie i analizę wielu sygnałów jednocześnie

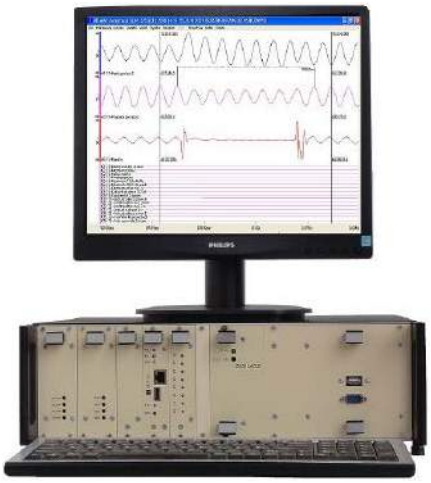
Podsumowanie

Rejestratory firmy TRONIA Sp. z o.o pracują w Bełchatowie, Łaziskach, czy Głogowie, gdzie monitorują pracę generatorów, transformatorów itp. Z jednej strony pomagają specjalistom w ocenie stanu instalacji i urządzeń, a z drugiej strony pozwalają ocenić jakość generowanej energii, czy wielkość zakłóceń. W przypadku awarii, rejestratory mogą pomóc w szukaniu miejsca, w którym zakłócenie pojawiło się najpierw, zanim przeniosło się na inne obiekty. Dzięki temu można szybciej usunąć niesprawność, skrócić czas awaryjnego przestoju, a w konsekwencji – ograniczyć straty, wywołane przez awarię. Przy odpowiednim zastosowaniu rejestratory zakłóceń mogą istotnie wpływać na ekonomiczny wynik całej firmy.

Janusz Proniewicz, TRONIA Sp. z o.o.

REKLAMA

System Rejestracji Zakłóceń Elektrycznych



SZARM

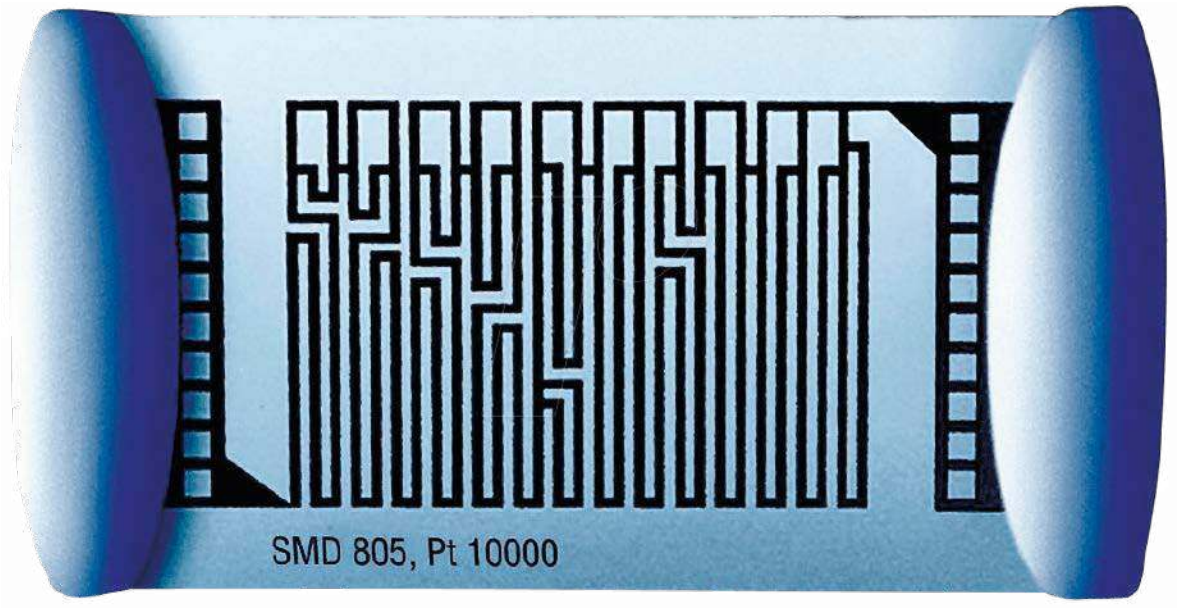
100000 próbek na sekundę
rozdzielczość 16 bitów
pamięć 32 MB

Wykrywanie wczesnych objawów starzenia się urządzeń, osłabienia izolacji, niestabilności parametrów elektrycznych; wskazywanie miejsca awarii; diagnostyka obwodów energetycznych; **analiza jakości zasilania**.

TRONIA Sp. z o.o.

Tronia Sp. z o.o.
02-226 Warszawa, ul. Sycowska 11, tel. +48228464197, +48781991168
tronia@poczta.onet.pl, **www.tronia.pl**

eprasa.pl 0667ec155a



Praktyczne aplikacje scalonych układów AFE (21)

Front-endy przeznaczone do pracy z czujnikami RTD

W poprzedniej części naszego cyklu omówiliśmy zaawansowane front-endy przeznaczone do pomiaru temperatury za pomocą czujników termoparowych. Tym razem natomiast zajmiemy układami współpracującymi z termorezystorami – RTD. Zapreznetujemy zarówno AFE ściśle dostosowane do aplikacji RTD, jak i zalecane konfiguracje układowe uniwersalnych, wielokanałowych kondycjonerów czujnikowych.

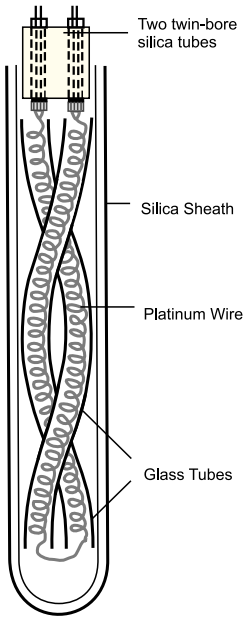
W świecie front-endów można zaobserwować dość ciekawe zjawisko – zdecydowana większość układów AFE, przeznaczonych do zdalnych pomiarów temperatury, jest obecnie dostosowana do współpracy z termoparami oraz… czujnikami półprzewodnikowymi (diodami), zaś precyzyjne termorezystory platynowe – w tym niezwykle popularne PT100 – zostały niejako pozostawione... same sobie. Taki obraz rynku kondycjonerów scalonych wynika zapewne z trzech głównych przyczyn.

Po pierwsze, w zastosowaniach wbudowanych, w których monitorowanie temperatury nie wymaga ułamkowej wręcz dokładności (zwykle wystarczający okazuje się pomiar z dokładnością na poziomie ±1...2°C), użycie czujników zdalnych – o ile ma sens (często przecież korzystamy z fabrycznie kalibrowanych i wewnętrznie linearyzowanych sensorów scalonych, nie wymagających dodatkowego układu pomiarowego) – realizuje się za pomocą prostszych i tańszych czujników. Po drugie – w urządzeniach wielokanałowych (a zwłaszcza w przypadku modułów temperaturowych, współpracujących ze sterownikami PLC) wysoce pożądana jest elastyczność w kwestii wyboru rodzaju oraz charakterystyki czujnika (np. termorezystora PT100, PT500, PT1000, Ni 100 i Ni 500, termopary typu E, K, N, R, S, T, etc.), a zatem możliwość pomiaru wyłącznie za pomocą jednego wybranego rodzaju sondy byłaby sporym ograniczeniem. Po trzecie – i chyba najważniejsze – pomiar temperatury z użyciem RTD może być z powodzeniem realizowany za pomocą dość klasycznego układu, bazującego na wysokorozdzielczym przetworniku ADC oraz jednym lub dwóch źródłach prądowych, a te można znaleźć w znacznej części współczesnych, uniwersalnych front-endów wielokanałowych.

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

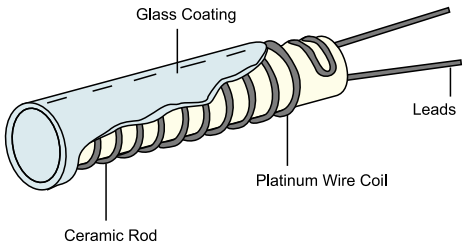
Najważniejsze informacje o czujnikach RTD

Trudno o prostszy w budowie czujnik, niż termorezystor – jest to wszak nic innego, jak odpowiednio długi i cienki przewodnik w postaci drutu lub ścieżki metalowej, napylonej na ceramiczne podłoże. Wśród licznych odmian konstrukcji RTD można wyróżnić laboratoryjne sondy o konstrukcji opartej na cienkiej spirali drutowej, ułożonej wewnątrz izolacji w postaci szklanej kapilary (**rysunek 1**), szklane czujniki walcowe z pojedynczym zwojem nawiniętym na ceramiczną bazę (**rysunek 2**), a także sensory typu multi-bore (wielordzeniowe, czyli zawierające kilka cienkich spiral umieszczonych we wspólnym bloku ceramicznym

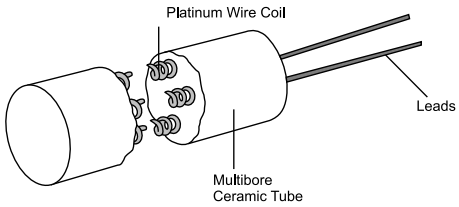


Rysunek 1. Klasyczna sonda laboratoryjna RTD (https://t.ly/QXXQ)

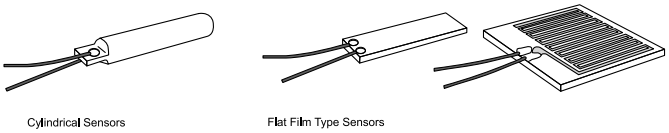
eprasa.pl 0667ee155a



Rysunek 2. Schemat konstrukcji szklanej sondy RTD (https://t.ly/QXXQ)



Rysunek 3. Schematyczne przedstawienie ceramicznego termorezystora typu multi-bore (https://t.ly/QXXQ)



Rysunek 4. Porównanie czujników cylindrycznych drutowych (po lewej) i planarnych cienkowarstwowych (po prawej). Źródło: https://t.ly/QXXQ

– **rysunek 3**). W aplikacjach wymagających szczególnie kompaktowych termorezystorów spotykane są natomiast małe czujniki cylindryczne oraz RTD cienkowarstwowe, w których rolę elementu termoczułego pełni meander, napylony na płaską, ceramiczną płytkę (**rysunek 4**). Te ostatnie występują zresztą zarówno w wersjach do montażu przewlekanego, jak i powierzchniowego (**fotografia tytułowa**).

Zdecydowanie najpopularniejsze są termorezystory platynowe, w tym przede wszystkim PT100. Wymogi techniczne dotyczące tego typu czujników – a także termometrów rezystancyjnych (definicja tych ostatnich obejmuje kompletne sondy pomiarowe, które oprócz samego termorezystora są wyposażone także w rurę osłonową, przewody zewnętrzne i wewnętrzne oraz przyłącza elektryczne i elementy mocujące – **fotografia 1**) – obejmuje norma PN-EN IEC 60751:2022-11 (Platynowe czujniki przemysłowych termometrów rezystancyjnych i platynowe czujniki temperatury). Ponieważ zachowanie nieosłoniętych czujników RTD jest nieco inne, niż w przypadku sensorów umieszczonych wewnątrz ochronnej rury termometru, dlatego też w normie wprowadzono jednoznaczne rozróżnienie pojęć *czujnik* i *termometr* nie tylko w zakresie nomenklatury – nieznacznie różnią się także niektóre parametry w definicjach klas dokładności, co przedstawiono w **tabelach 1** i **2**. Wykresy tolerancji dla termometrów platynowych przedstawiono natomiast na **rysunku 5**. Co ciekawe, w niektórych sytuacjach istnieje możliwość zastosowania PT100 w zakresie temperatur nawet do około +850°C.

Na marginesie należy dodać, że oprócz czujników platynowych, istnieją także odmiany termorezystorów oparte na innych metalach i stopach, choć są one stosowane nieporównanie rzadziej. Warto wspomnieć o termorezystorach niklowych, które – pomimo istotnej nieliniowości – są stosowane w praktyce ze względu na wysoką odporność na korozję, dlatego można znaleźć je m.in. w aplikacjach lotniczych, związanych z pomiarami temperatury paliwa, oleju czy też powietrza. Z kolei termorezystory na bazie miedzi są tańsze w produkcji, ale tu zakres pomiarowy (podobnie jak w przypadku niklowych RTD) jest mocno ograniczony względem ich platynowych odpowiedników.

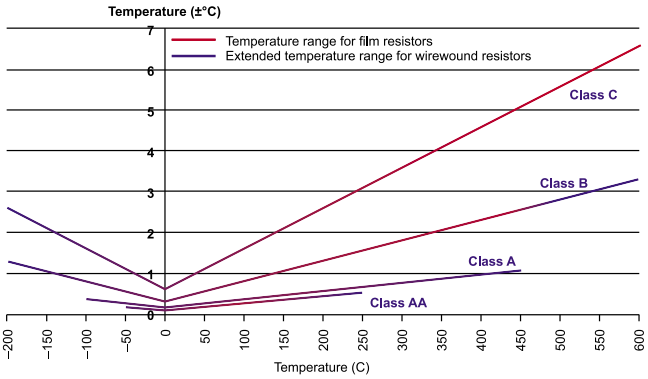
Fotografia 1. Przykładowy termometr rezystancyjny z głowicą przyłączeniową (https://t.ly/CvGY)

Tabela 1. Definicje klas dokładności i zakresów pomiarowych dla termorezystorów platynowych

Rezystory w wersji drutowej		Rezystory w wersji cienkowarstwowej		
Klasa	**Zakres [°C]**	**Klasa**	**Zakres [°C]**	**Błąd wartości granicznej [°C]**
W 0,1	–100...+350	F 0,1	0...+150	±(0,1 + 0,0017 × t)
W 0,15	–100...+450	F 0,15	–30...+300	±(0,15 + 0,002 × t)
W 0,3	–196...+660	F 0,3	–50...+500	±(0,3 + 0,005 × t)
W 0,6	–196...+660	F 0,6	–50...+600	±(0,6 + 0,01 × t)

Tabela 2. Definicje klas dokładności i zakresów pomiarowych dla termometrów rezystancyjnych opartych na czujnikach platynowych

Rezystory w wersji drutowej		Rezystory w wersji cienkowarstwowej		
Klasa	**Zakres [°C]**	**Klasa**	**Zakres [°C]**	**Błąd wartości granicznej [°C]**
AA	–50...+250	AA	0...+150	±(0,1 + 0,0017 × t)
A	–100...+450	A	–30...+300	±(0,15 + 0,002 × t)
B	–196...+600	B	–50...+500	±(0,3 + 0,005 × t)
C	–196...+600	C	–50...+600	±(0,6 + 0,01 × t)



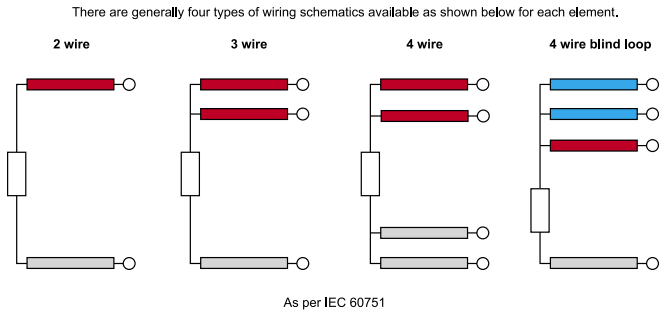
Rysunek 5. Dopuszczalne tolerancje termometrów platynowych wg IEC 60751. Źródło: https://t.ly/aNf-

Konfiguracje połączeń

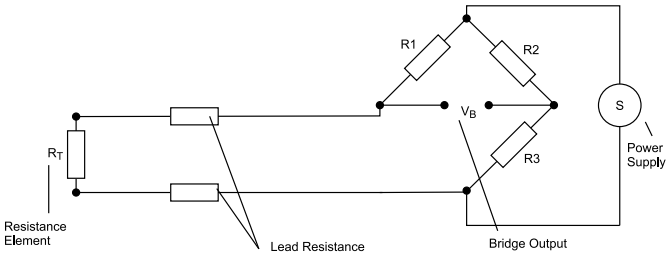
W przypadku termorezystorów kluczowe dla osiągnięcia wymaganej dokładności pomiarowej jest zastosowanie odpowiedniej topologii układowej. Istnieją cztery podstawowe metody podłączenia RTD do urządzenia (toru wejściowego) – pokazano je na **rysunku 6**. Co ważne – każda z nich może być zastosowana zarówno w układzie mostkowym, jak i w znacznie prostszej topologii, polegającej na pomiarze spadku napięcia na termorezystorze, zasilanym za pomocą precyzyjnego źródła prądowego.

Konfiguracja dwuprzewodowa sprawdza się jedynie w urządzeniach o niższych wymaganiach pod względem wypadkowej dokładności pomiarowej urządzenia. Błąd zależy bowiem nie tylko od jakości (tolerancji) samego sensora oraz układu wejściowego, ale także od rezystancji połączeń, na którą składają się oporność przewodów, złączy i ścieżek PCB – z tego też względu zakres zastosowań dwuprzewodowych RTD ogranicza się zwykle do aplikacji, w których element termoczuły jest zamontowany albo na płycie urządzenia, albo na krótkim przewodzie.

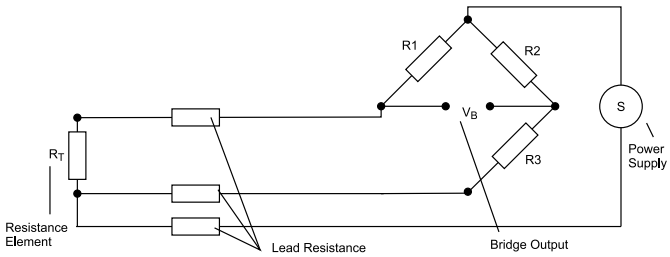
eprasa.pl 0667ee155a



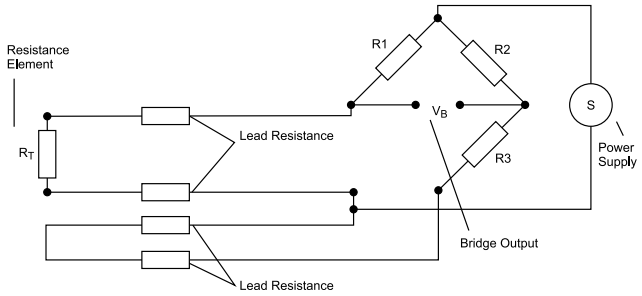
Rysunek 6. Konfiguracje okablowania RTD (https://t.ly/3r6co)



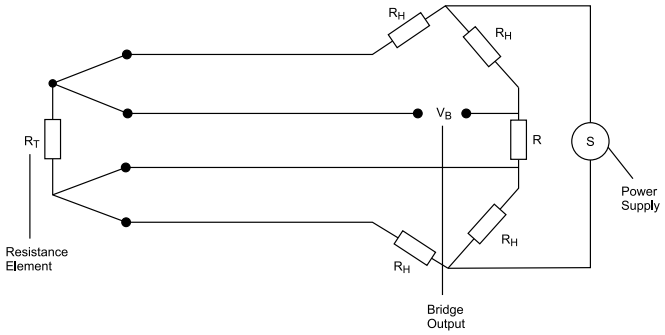
Rysunek 7. Mostek Wheatstone'a z termorezystorem dwuprzewodowym (https://t.ly/3r6co)



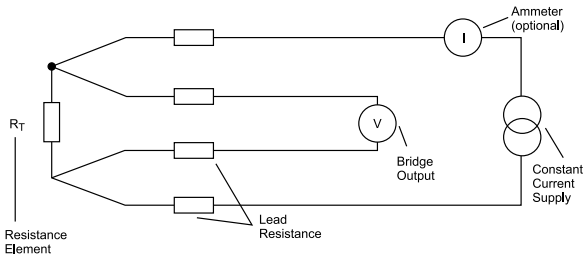
Rysunek 8. Układ mostkowy wykorzystujący termorezystor 3-przewodowy (https://t.ly/3r6co)



Rysunek 9. Układ mostkowy w aplikacji służącej do pomiaru temperatury za pomocą czujnika 4-przewodowego z pętlą kompensacyjną (https://t.ly/3r6co)



Rysunek 10. Układ mostkowy dla 4-przewodowego termorezystora w konfiguracji Kelvina (https://t.ly/3r6co)



Rysunek 11. Podręcznikowy schemat potencjometrycznego układu pracy 4-przewodowego czujnika rezystancyjnego – połączenie Kelvina (https://t.ly/3r6co)

Bardziej wymagające systemy pomiarowe muszą już uwzględniać niezerową rezystancję przewodów połączeniowych, które same w sobie stanowią pasożytniczy termorezystor. Ograniczenie prądu pomiarowego – jakkolwiek pożądane ze względu na osłabienie efektu samopodgrzewania RTD – nie jest w stanie zniwelować błędów pochodzących od rezystancji kabli, gdyż spadki napięcia na termorezystorze oraz przewodach są ze sobą skorelowanie liniowo (ale tylko w funkcji prądu zasilania czujnika i przy pominięciu wspomnianego efektu samopodgrzewania, którego intensywność zależy od szeregu innych czynników). Nie ma także większego sensu sztywna kalibracja układu w celu kompensacji rezystancji okablowania – ta będzie bowiem zmieniać się wraz z temperaturą otoczenia, która w większości praktycznych aplikacji będzie znacznie różniła się od temperatury mierzonego obiektu.

Jedyną szansą na zniwelowanie błędu pochodzenia kablowego będzie zatem zastosowanie topologii 3- lub 4-przewodowej. W pierwszym przypadku jeden z przewodów ulega po prostu zdublowaniu i – co ważne – przyłączony zostaje bezpośrednio do wyprowadzenia termorezystora. Jedna z żył jest zatem wykorzystywana do podłączenia zasilania czujnika, druga zaś pozwala na sprzętową kompensację spadku napięcia na okablowaniu.

Konfiguracja 4-przewodowa występuje w dwóch odmianach. Klasyczna, stosowana do tzw. pomiaru Kelvina, bazuje na zdublowaniu obu żył prowadzących do czujnika i wydzieleniu spośród nich dwóch par: jednej służącej do zasilania sensora oraz drugiej – do pomiaru panującego na nim napięcia. W ten sposób pomiar staje się całkowicie niezależny od rezystancji kabli – zmiany spadku napięcia na żyłach zasilających nie mają żadnego wpływu na wynik pomiaru. Druga odmiana topologii czteroprzewodowej to w istocie kombinacja dwuprzewodowego czujnika RTD oraz dodatkowej pętli, złożonej z dwóch żył, zwartych ze sobą tuż obok czujnika. Choć spadki napięcia na przewodach sensora nadal dodają się do napięcia mierzonego, to możliwe staje się ich późniejsze odjęcie od wartości zmierzonej w głównym kanale pomiarowym (operacja ta najczęściej także wykonywana jest na drodze układowej).

Topologie układu pomiarowego RTD

Jak już wspomnieliśmy, istnieją dwie główne grupy rozwiązań układowych, stosowanych do współpracy z termorezystorami (ale także dowolnymi innymi czujnikami rezystancyjnymi). Mostek Wheatstone'a może być zastosowany nie tylko do pomiaru z użyciem termorezystorów dwuprzewodowych (**rysunek 7**), ale również – po odpowiedniej modyfikacji – do pracy z 3- i 4-przewodowymi RTD.

W 3-przewodowym układzie mostkowym z **rysunku 8** rezystancja dodatkowej żyły sumuje się (poprzez szeregowe połączenie) z rezystancją R3, przez co zmiany wynikające z rezystancji okablowania przebiegają współbieżnie w obu połowach mostka. Układ ten, jakkolwiek umożliwia znaczną poprawę dokładności w stosunku do wersji dwuprzewodowej, wykazuje jednak wzrost błędu w miarę oddalania się od stanu zrównoważenia.

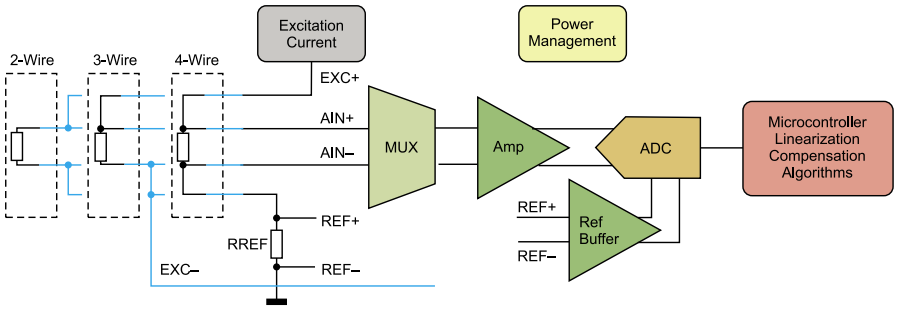
Topologia układu dla wersji 4-przewodowej zależy rzecz jasna od rodzaju zastosowanego układu połączeń. Koncepcja znajdująca zastosowanie w przypadku czujnika z dodatkową pętlą kompensacyjną jest nieco zbliżona do tej, którą przedstawiliśmy wyżej (dla układu 3-przewodowego), z tą jednak różnicą, że rezystancje przewodów pętli są dodawane

eprasa.pl 0667ee155a

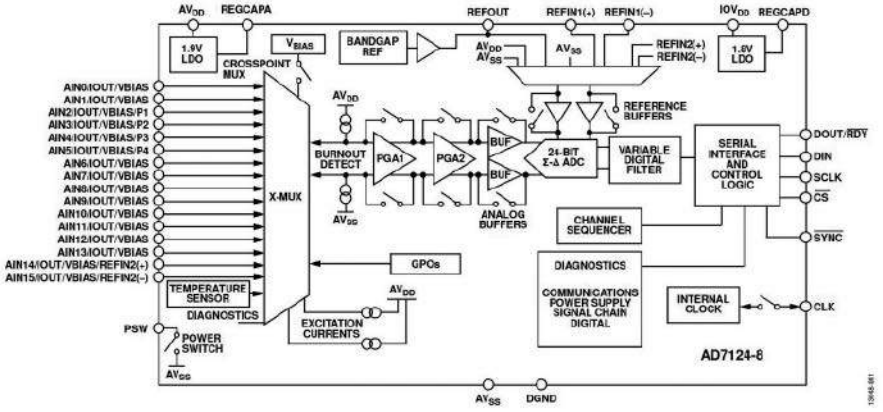
do R3, zaś rezystancje połączeń czujnika sumują się z opornością RTD (**rysunek 9**). Jeżeli natomiast mamy do czynienia z klasycznym układem Kelvina, to zastosowanie znajduje układ pomiarowy pokazany na **rysunku 10**. Jak widać, klasyczny mostek został tutaj wzbogacony o dodatkową rezystancję R, separującą jedno z połączeń termorezystora od węzła wyjściowego, na którym odbywa się pomiar (prawy odczep VB).

Zastosowanie mostka – choć posiada pewne zalety przydatne w pomiarze subtelnych zmian rezystancji – ma jednak także istotną wadę. Wymaga bowiem użycia bardzo dokładnych rezystorów o wyjątkowo niskiej tolerancji wykonania oraz niewielkiej wartości temperaturowego współczynnika rezystancji (TCR). Takie rozwiązanie wiąże się zatem z dodatkowymi kosztami BOM oraz większą przestrzenią, zajętą przez układy wejściowe na płytce drukowanej urządzenia – choć ten ostatni problem nie będzie miał istotnego znaczenia w prostszych aplikacjach, to w przypadku wielokanałowych kondycjonerów utrudnienia będą wyraźniejsze.

Rozwój rynku precyzyjnych przetworników ADC o wysokiej rozdzielczości i bardzo niskim poziomie szumów sprawił, że współpraca z czujnikami rezystancyjnymi stała się znacznie łatwiejsza. Zamiast mostka można wszak zastosować układ potencjometryczny (**rysunek 11**) – precyzyjne źródło prądowe zasila czujnik, a układ pomiarowy odczytuje – wywołany przez ów prąd – spadek napięcia na termorezystorze. Dokładność źródła prądowego może być nieco mniejsza, o ile w układzie zostanie zastosowana jakaś metoda kompensacji zmian natężenia prądu pomiarowego.



Rysunek 12. Idea zastosowania tego samego front-endu do pomiaru z użyciem czujników 2-, 3- oraz 4-przewodowych (https://t.ly/iEyi)



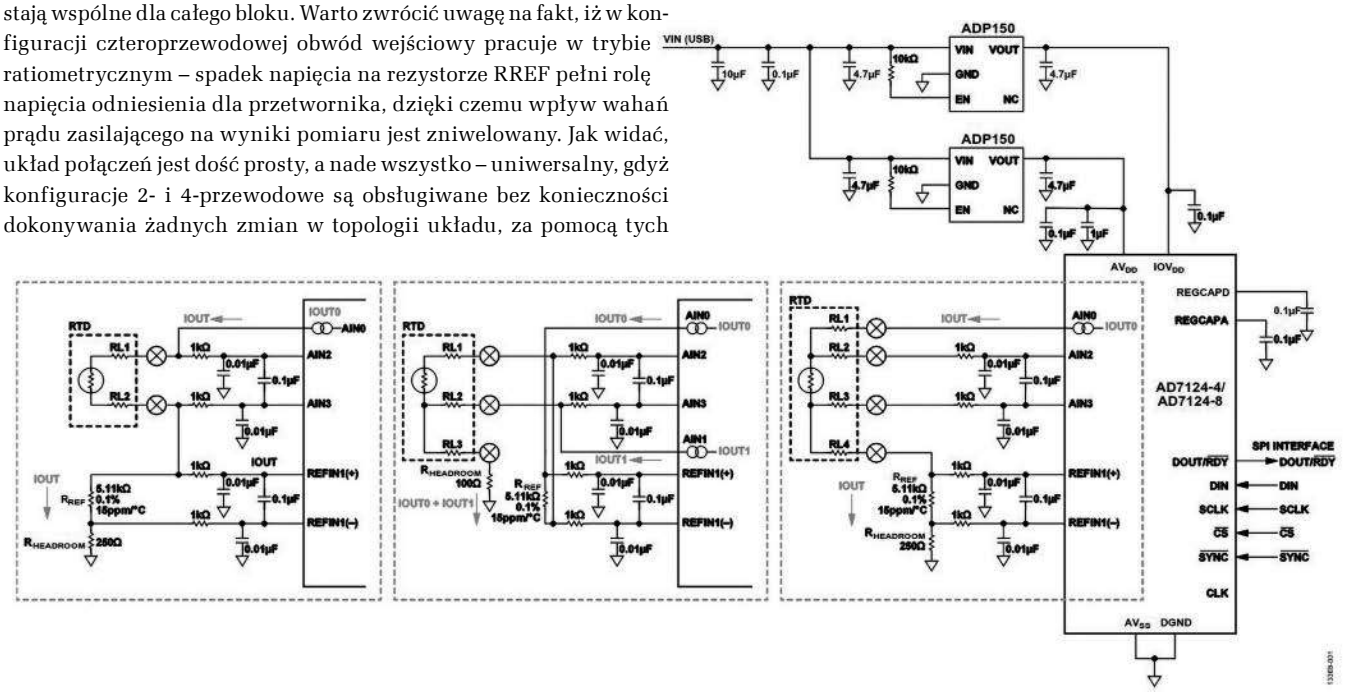
Rysunek 13. Schemat blokowy front-endu AD7124-8 (https://t.ly/JEUc)

Praktyczne realizacje front-endów RTD

Ogólny schemat realizacji opisanej powyżej koncepcji za pomocą nowoczesnego front-endu analogowego przedstawiono na **rysunku 12**. Opcjonalny multiplekser pozwala na wykorzystanie AFE do obsługi kilku czujników, dzięki czemu wzmacniacz i przetwornik ADC pozostają wspólne dla całego bloku. Warto zwrócić uwagę na fakt, iż w konfiguracji czteroprzewodowej obwód wejściowy pracuje w trybie ratiometrycznym – spadek napięcia na rezystorze RREF pełni rolę napięcia odniesienia dla przetwornika, dzięki czemu wpływ wahań prądu zasilającego na wyniki pomiaru jest zniwelowany. Jak widać, układ połączeń jest dość prosty, a nade wszystko – uniwersalny, gdyż konfiguracje 2- i 4-przewodowe są obsługiwane bez konieczności dokonywania żadnych zmian w topologii układu, za pomocą tych samych czterech zacisków. Wersja 3-przewodowa wymaga natomiast nieco innego podłączenia, które jest skonfigurowane na stałe w układzie, albo obsługiwane za pomocą odpowiednio sterowanego multipleksera (układy AFE dające takie możliwości zaprezentujemy w dalszej części artykułu).

AD7124-8

Dobry przykład front-endu doskonale nadającego się do współpracy z termorezystorami (ale także wieloma innymi typami czujników) stanowi rodzina AD7124-x, zawierająca dwa modele: AD7124-4 (4-kanałowy) i AD7124-8 (8-kanałowy1). Schemat blokowy tego drugiego pokazano



Rysunek 14. Realizacje układów pomiarowych RTD z użyciem front-endu AD7124-x. Od lewej, w ramkach zaznaczonych linią kreskowaną: dla czujnika 2-przewodowego, 3 przewodowego oraz 4- przewodowego w topologii Kelvina (https://t.ly/dzHT)

eprasa.pl 0667ee155a

na **rysunku 13**. Patrząc na ilustrację można od razu zauważyć cechy typowe dla uniwersalnych front-endów czujnikowych: w pełni różnicowy tor kondycjonowania sygnałów rozpoczyna się sporym multiplekserem (aż 16-liniowym), za którym znajduje się blok wzmacniaczy PGA, bufory przetwornika ADC oraz 24-bitowy konwerter delta-sigma, wspierany przez obwody przełączania źródeł napięcia odniesienia (do wyboru jest wbudowane źródło oraz dwa różnicowe wejścia do podłączenia napięć z zewnątrz). Uważni Czytelnicy zwrócą też uwagę na dwa źródła prądowe, służące do generowania prądów (excitation currents) zasilających badane czujniki oraz źródło napięcia polaryzującego (VBIAS) – wszystkie te obwody podłączone zostały do multipleksera wejściowego. Układ zawiera ponadto cyfrowy filtr sprzętowy, sekwenser do obsługi pomiarów wielokanałowych, blok diagnostyczny, źródło sygnału taktującego, dwa stabilizatory LDO oraz blok kontrolny z interfejsem SPI.

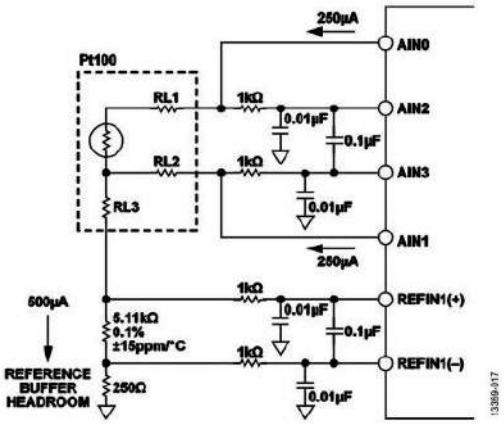
Rozbudowana struktura AD7124-x umożliwia bardzo elastyczne dostosowanie front-endu do pracy z rozmaitymi typami czujników, pracującymi w różnych konfiguracjach układowych – na **rysunku 14** pokazano trzy potencjalne wersje połączenia czujników RTD. W przypadku 2-przewodowego termorezystora linia AIN0 (pracująca tu w roli wyjścia pierwszego źródła prądowego IOUT0) jest podłączona poprzez prosty filtr RC do wejścia nieodwracającego PGA przez wejście AIN2, zaś wejście odwracające zostało przekierowane na linię AIN3. Ta zaś – również poprzez filtr – jest połączona z precyzyjnym rezystorem, pełniącym rolę bocznika prądowego, którego spadek napięcia stanowi napięcie odniesienia przetwornika ADC. Warto tutaj zwrócić uwagę na dodatkowy rezystor RHEADROOM o stosunkowo niewielkiej wartości, obecny zresztą we wszystkich przykładach przedstawionych w doskonałej nocie aplikacyjnej CN-0383 (od 100 Ω do 250 Ω). Bufory obecne w obwodach napięcia odniesienia przetwornika wymagają bowiem do poprawnej pracy przynajmniej 100 mV odstępu od potencjałów masy i dodatniej szyny zasilania – dlatego też wejście REFIN1(-) zostało podparte za pomocą rezystora, którego spadek napięcia (przy danej wartości prądu zasilania RTD) pozwala spełnić tę regułę.

Druga konfiguracja zaprezentowana na rysunku 14 zawiera wspomnianą wcześniej metodę sprzętowej kompensacji spadku napięcia na liniach zasilania czujnika. Prąd IOUT0 płynie z wyjścia AIN0, przez rezystor bocznikowy RREF, a następnie przewodem RL1 wpływa do termorezystora, wypływa przez przewód RL3 i dalej przez rezystor RHEADROOM do masy układu. Drugie źródło prądowe jest natomiast podłączone do przewodu RL2 i „wpuszcza" doń prąd IOUT1 o niemal identycznej (z dokładnością wynikającą z wąskiej tolerancji produkcyjnej front-endu) wartości, jak prąd zasilania IOUT0. Taki układ pracy powoduje, że na obydwu liniach RTD (RL1 i RL2) pojawiają się w przybliżeniu takie same spadki napięcia – te zaś są skutecznie niwelowane przez wzmacniacz różnicowy PGA1. Warto dodać, że nieznaczne różnice pomiędzy wartościami prądów wpływają na wynik pomiaru w bardzo małym stopniu – zarówno RTD, jak i bocznik są bowiem połączone szeregowo, zaś prąd IOUT1 sumuje się z IOUT0 dopiero na linii RL3, której rezystancja de facto nie ma większego znaczenia (rzecz jasna w rozsądnych granicach) dla dokładności urządzenia.

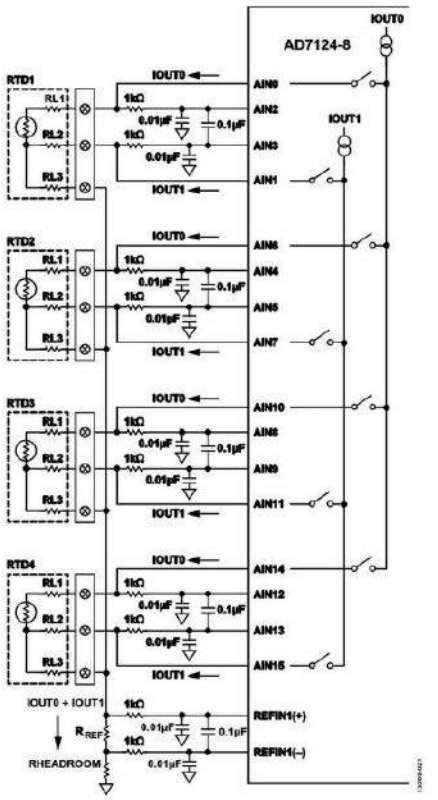
Trzecia z wersji przedstawionych na rysunku 14 nie wymaga raczej szerszego opisu – jest to klasyczna topologia układu ratiometrycznego, z osobną parą przewodów zasilających (RL1, RL4) oraz pomiarowych (RL2, RL3). Warto jedynie zaznaczyć, że w tym przypadku – ponieważ znów mamy do czynienia tylko z jednym źródłem prądowym – rezystor RHEADROOM ma wartość 250 Ω, czyli dokładnie tyle samo, ile w pierwszej konfiguracji, przeznaczonej dla czujników 2-przewodowych.

Inne odmiany układu 3-przewodowego

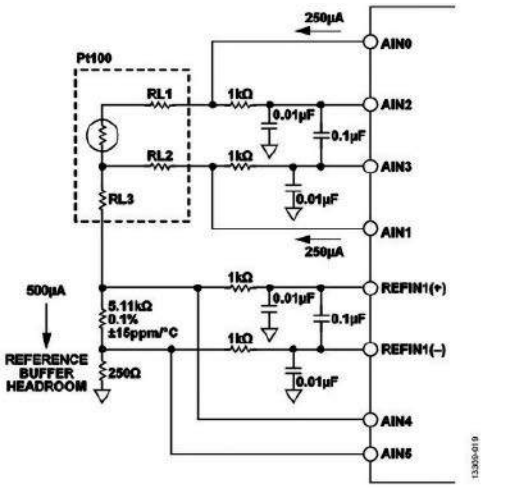
Zaprezntowany powyżej układ połączeń dla czujnika 3-przewodowego ma jednak pewne ograniczenie. W celu użycia pozostałych, wolnych kanałów front-endu, do podłączenia dodatkowych czujników o tej samej konfiguracji, wymagane byłoby zastosowanie kilku precyzyjnych rezystorów odniesienia (po jednym na kanał). Zwiększyłoby to koszty BOM i stopień złożoności front-endu (nieznacznie, ale zawsze),



Rysunek 15. Układ pomiarowy RTD z użyciem front-endu AD7124-x – wersja dla czujnika 3-przewodowego z przełączaniem źródeł prądowych (https://t.ly/dzHT)



Rysunek 16. Układ pomiarowy dla czterech 3-przewodowych czujników RTD, oparty na frontendzie AD7124-8 (https://t.ly/dzHT)



Rysunek 17. Układ pomiarowy dla metody kompensacji rozrzutu źródeł prądowych z użyciem niezależnego monitorowania bocznika prądowego (https://t.ly/dzHT)

eprasa.pl 0667ee155a

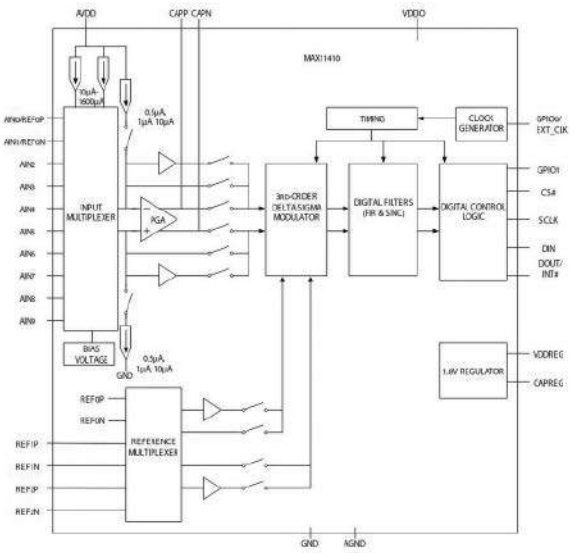
a co gorsza – wprowadziło dodatkowe źródło rozbieżności pomiędzy czułościami poszczególnych kanałów. Dobrym pomysłem jest zatem przeniesienie bocznika na dół, aby uzyskać pomiar prądu po stronie niskiego potencjału (*low-side*) – **rysunek 15**. Tutaj jednak pojawiają się kolejne problemy. Podczas gdy w układzie z rezystorem szeregowym po stronie górnej (*high-side*) przez czujnik oraz RREF płynął tylko prąd IOUT0, to w tym przypadku RREF musiałby przyjąć na siebie prądy wpływające z wyjść AIN0 oraz AIN1 – a wszelkie różnice pomiędzy nimi (typowy rozrzut dla układów ADS7124-x wynosi 0,5%) bezpośrednio wpłynęłyby na błąd pomiaru.

Z tego też względu inżynierowie Analog Devices proponują zastosowanie metody określanej jako chopping. W tym celu wykonywane są zawsze pod dwa pomiary, pierwszy z połączeniem IOUT0 do AIN0 oraz IOUT1 do AIN1, zaś drugi w konfiguracji odwrotnej (IOUT0 → AIN1, IOUT1 → AIN0). Średnia wartość z obydwu wyników daje właściwy odczyt ze zniwelowanym błędem, wynikającym z rozrzutu parametrów źródeł prądowych. Mamy tu do czynienia z pięknym przykładem praktycznego zastosowania rozbudowanego multipleksera (czy wręcz – macierzy przełączników analogowych) w celu uzyskania maksimum możliwości front-endu. Opisana powyżej metoda siekania prądu pomiarowego może być z powodzeniem zastosowana w układzie zawierającym do czterech czujników RTD w konfiguracji 3-przewodowej, co pokazano na **rysunku 16**.

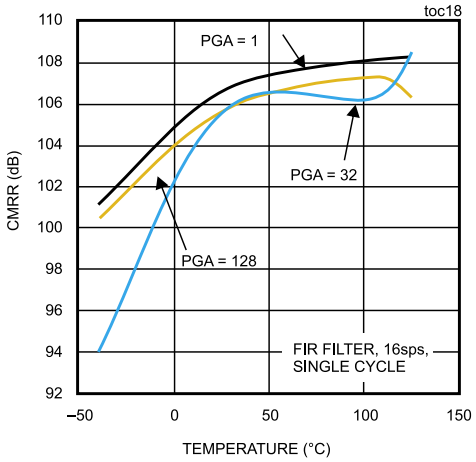
Inną ciekawą odmianę układu 3-przewodowego można zobaczyć na **rysunku 17**. W tym przypadku dwa dodatkowe kanały multipleksera (AIN4, AIN5) zostały użyte do monitorowania źródeł prądowych – aby jednak taki pomiar był możliwy, koniecznie jest przełączenie przetwornika ADC na wewnętrzne źródło napięcia odniesienia. Minusem tej metody okazuje się konieczność zebrania aż czterech próbek (dwóch w trybie ratiometrycznym oraz dwóch z odniesieniem do wewnętrznego VREF), jednak w większości przypadków dłuższy czas pomiaru nie będzie miał większego znaczenia dla użyteczności urządzenia.

MAX11410

Układ MAX11410 (**rysunek 18**) jest kolejnym przykładem uniwersalnego front-endu, który doskonale radzi sobie we współpracy z jednym lub kilkoma czujnikami RTD naraz. Propozycja firmy Maxim (dziś już Analog Devices) jest – pod względem ogólnej konstrukcji – bardzo zbliżona do AD7124-x. Tutaj także mamy do czynienia z rozbudowanym (choć już „tylko" 10-kanałowym) multiplekserem wejściowym, dwoma źródłami prądowymi (o zakresie od 10 µA do 1,6 mA), generatorem napięcia polaryzującego (bias), różnicowym wzmacniaczem PGA (o wzmocnieniu od 1 do 128 V/V), a także 24-bitowym przetwornikiem delta-sigma, cyfrowym kontrolerem z interfejsem SPI oraz blokami



Rysunek 18. Schemat blokowy front-endu MAX11410 (https://t.ly/kBIJ)

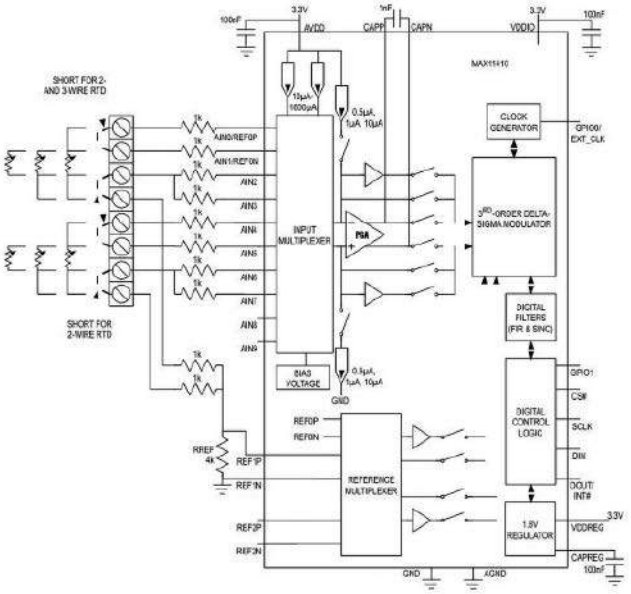


Rysunek 19. Zależność współczynnika tłumienia sygnału wspólnego (CMRR) toru analogowego front-endu MAX11410 w funkcji temperatury (https://t.ly/kBIJ)

taktowania i wbudowanym LDO. Jak to zwykle bywa w przypadku front-endów czujnikowych, analogowy tor kondycjonowania sygnałów zapewnia świetny współczynnik tłumienia sygnału wspólnego (**rysunek 19**), zaś odpowiednio zaprojektowany filtr cyfrowy, współpracujący z modulatorem delta-sigma trzeciego rzędu, umożliwia tłumienie przydźwięku sieciowego (50 oraz 60 Hz) na poziomie 90 dB. Uproszczony schemat aplikacyjny AFE, przeznaczony do użycia z czujnikami 2-, 3- oraz 4-przewodowymi, pokazano na **rysunku 20**. Warto przeanalizować układ połączeń pomiędzy zaciskami termorezystorów, a front-endem, zwracając przy tym uwagę, że w omawianym przypadku obwody wejściowe nie wymagają żadnych zmian układowych w celu podłączenia określonego rodzaju sensora – całość „załatwia" multiplekser oraz sieć zamontowanych na stałe rezystorów szeregowych. Takie rozwiązanie doskonale sprawdza się w przypadku urządzeń, których projektantom zależy na maksymalnej uniwersalności w kwestii wyboru rodzaju stosowanego termometru.

MAX31865

Jak wielokrotnie podkreślaliśmy, opisane wcześniej front-endy należą do grupy produktów uniwersalnych – choć układy pomiarowe bazujące na termorezystorach są wymieniane jako jedna z głównych



Rysunek 20. Uproszczony schemat przykładowej aplikacji front-endu MAX11410 w zastosowaniu do pomiaru temperatury za pomocą dwóch termorezystorów w konfiguracji 2-, 3- lub 4-przewodowej (https://t.ly/kBIJ)

eprasa.pl 0667ee155a

pozycji na liście ich potencjalnych aplikacji, to jako precyzyjne, wysokorozdzielcze kondycjonery sygnałów analogowych, sprawdzą się one także w aplikacjach tensometrycznych, termoparowych i wielu innych. Na koniec tej części Poradnika Implementacji pozostawiliśmy natomiast przysłowiową wisienkę na torcie – prawdopodobnie jedyny dostępny obecnie na rynku układ AFE przeznaczony stricte dla termorezystorów.

Schemat blokowy układu MAX31865 pokazano na **rysunku 21**. Wejściowy multiplekser z wbudowanymi zabezpieczeniami przeciwprzepięciowymi o wytrzymałości ±45 V jest połączony bezpośrednio z 15-bitowym przetwornikiem ADC typu delta-sigma. Układ nie zawiera żadnych źródeł prądowych, a jedynie (umiarkowanie dokładne) źródło napięcia polaryzującego o nominalnej wartości 2,00 V. Komunikację z hostem zapewnia interfejs SPI, zaś współpracujący z nim blok cyfrowy składa się z filtra przeciwzakłóceniowego 50/60 Hz, komparatora, kontrolera maszyny stanów, a także układu detekcji anomalii w obwodach termorezystora.

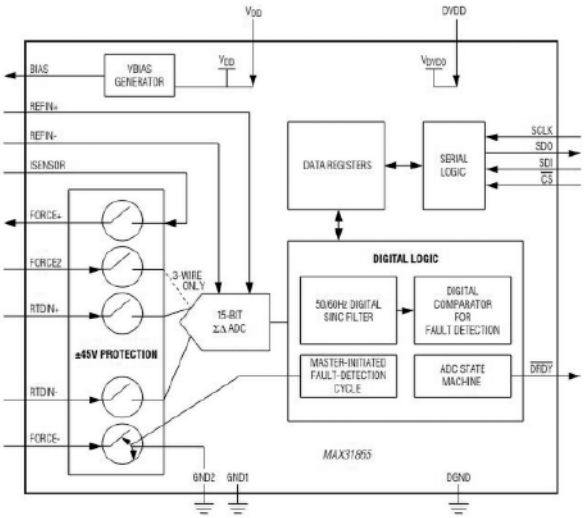
Automatyczna lub półautomatyczna diagnostyka układu odbywa się na trzech poziomach (**rysunek 22**). Przez cały czas (tj. niezależnie od aktualnego stanu konwersji ADC) układ monitoruje linie FORCE+, FORCE2, FORCE-, RTDIN+ oraz RTDIN-. Po przekroczeniu – przez panujące na nich napięcia – dopuszczalnego zakresu (tj. potencjałów masy oraz dodatniej szyny zasilania), klucze analogowe są otwierane, zaś kontroler wystawia odpowiednią flagę w rejestrze statusu oraz ustawia bit D0 w rejestrze wyjściowym. Nieskomplikowana jest także obsługa błędów przekroczenia zakresu pomiarowego, ustawionego w dwóch rejestrach przez hosta – kontroler po prostu porównuje wynik konwersji ADC z zawartością rejestrów i odpowiednio ustawia flagi D6 i D7 w rejestrze statusu.

Znacznie bardziej rozbudowana jest natomiast metoda diagnostyki obwodów front-endu, inicjalizowana przez nadrzędny procesor. Badanie może odbywać się w dwóch trybach: automatycznym lub manualnym, a w ramach każdej z tych procedur sterownik wbudowany w strukturę MAX31865 odpowiednio żongluje stanem klucza analogowego, łączącego linię FORCE- z masą. Główna różnica pomiędzy obydwoma trybami polega na tym, który układ wprowadza opóźnienia pomiędzy poszczególnymi operacjami – w procedurze automatycznej za timingi odpowiada maszyna stanów AFE, podczas gdy w wersji manualnej czasu musi pilnować zewnętrzny procesor. Co ciekawe, na podstawie analizy napięć na poszczególnych liniach, front-end jest w stanie określić pokaźną liczbę rozmaitych błędów – dla podłączenia czteroprzewodowego (**rysunek 23**) MAX31865 identyfikuje aż 23 (!) różne rodzaje awarii (rozmaite permutacje odłączenia lub zwarcia poszczególnych linii ze sobą lub z masą), ale w tym celu układ musi znać rodzaj zastosowanego przez użytkownika czujnika – wyboru konfiguracji (2/4-przewodowej lub 3-przewodowej) dokonuje się za pomocą odpowiedniego bitu w rejestrze konfiguracyjnym.

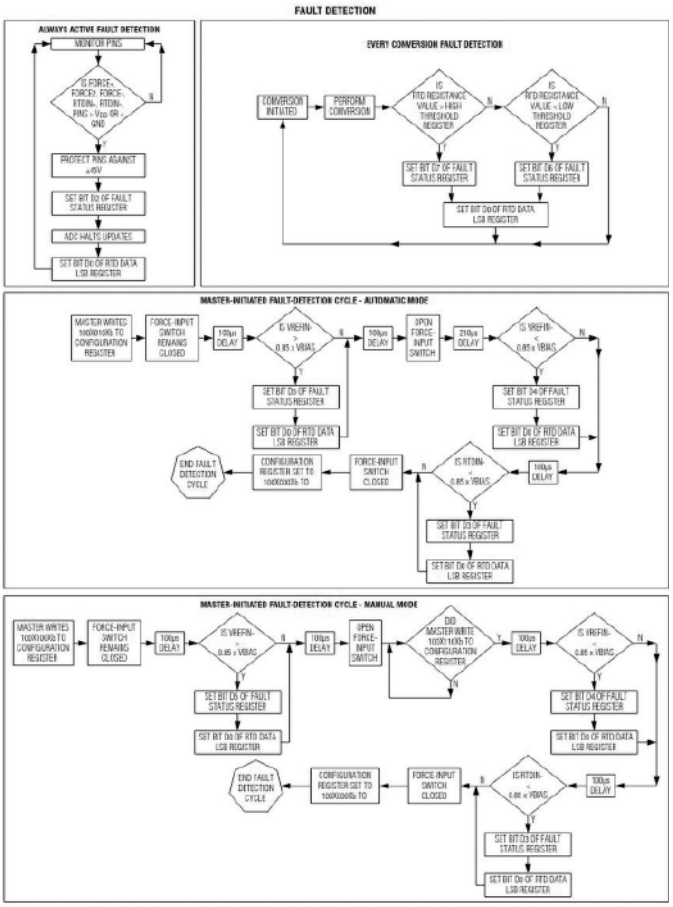
Podsumowanie

W tym odcinku naszego cyklu omówiliśmy szereg praktycznych informacji na temat stosowania czujników RTD w układach pomiarowych, bazujących na scalonych front-endach analogowych. Zaprezentowane układy z tej kategorii (AD7124-x oraz MAX11410) zdecydowanie nie wyczerpują długiej listy uniwersalnych AFE, przeznaczonych po prostu do digitalizacji pomiarów, zbieranych za pomocą różnego typu czujników. Zupełnie nic nie stoi na przeszkodzie, by tego typu układy stosować w urządzeniach bazujących na termoparach, termistorach, półprzewodnikowych czujnikach temperatury, a także tensometrach, niektórych sensorach optycznych i wielu innych. Rozbudowane multipleksery, wewnętrzne wzmacniacze PGA oraz sterowane źródła prądowe i napięciowe dają konstruktorom niezwykłą elastyczność projektową – niewykorzystane kanały pomiarowe można przecież „zatrudnić" do realizacji rozmaitych funkcji autodiagnostycznych, monitorowania stanu PCB za pomocą dodatkowych czujników (np. lokalnych sensorów temperatury), czy też po prostu do zbierania danych w systemach DAQ, niewymagających wysokiej częstotliwości próbkowania.

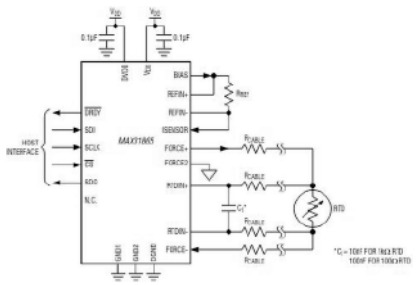
inż. Przemysław Musz, EP



Rysunek 21. Schemat blokowy front-endu MAX31865 (https://t.ly/BqSs)



Rysunek 22. Algorytmy funkcji diagnostycznych front-endu MAX31865 (https://t.ly/BqSs)



Rysunek 23. Aplikacja front-endu MAX31865 w układzie do pomiaru temperatury 4-przewodowym czujnikiem platynowym (https://t.ly/BqSs)

eprasa.pl 0667ee155a

AVT EDU

Innowacyjna seria zestawów do nauki lutowania:
- większe pady
- duże odstępy między punktami lutowniczymi
- atrakcyjna grafika
- praktyczne zastosowanie

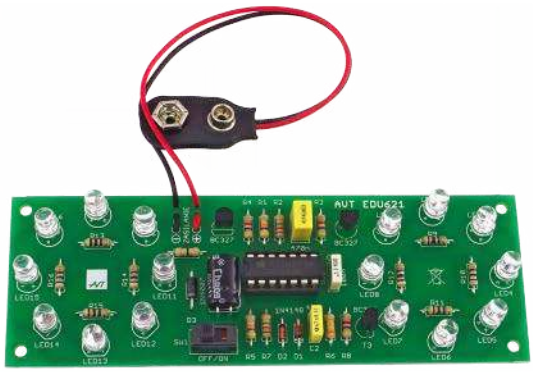
Zestawy dostępne pojedynczo i w pakietach.

Choinka LED RGB

Świąteczny nastrój buduje mnóstwo pozornie drobnych szczegółów – migocące lampki, klimatyczne melodie, zapach herbaty z pomarańczą i goździkami. Czego jeszcze brakuje? Może choinki! W te Święta spraw sobie prezent, który pozwoli Ci na rozwijanie swoich umiejętności w lutowaniu!

SPECYFIKACJA:
- źródło światła – płynnie zmieniające kolor diody LED RGB,
- bardzo prosty montaż,
- zasilanie: 3 VDC [2×AA] – zestaw nie zawiera baterii,
- wymiary płytki: 68×83 mm

kod handlowy: **AVTEDU640** cena: **24zł**

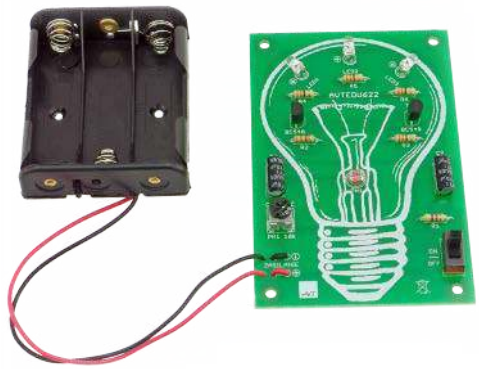


Stroboskop policyjny LED

Efektem wizualnym generowanym przez moduł jest imitacja świateł pojazdu uprzywilejowanego.

SPECYFIKACJA:
- 2 pola świetlne z diodami LED (czerwone i niebieskie),
- 8 diod LED w każdym polu,
- wymiary płytki: 125×44 mm,
- napięcie zasilania: 9 VDC [6F22] – zestaw nie zawiera baterii

kod handlowy: **AVTEDU621** cena: **24zł**

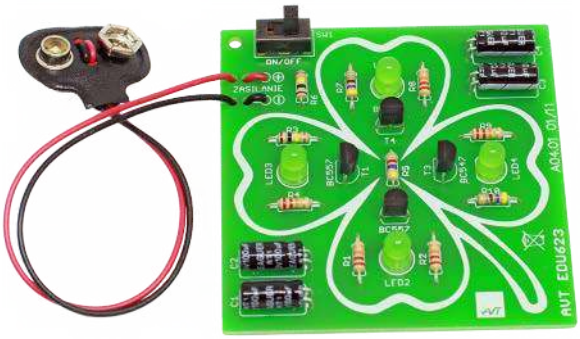


Zmierzchowa lampka LED

Praktyczna, wyróżniająca się designem lampka nocna z czujnikiem zmierzchu, która po zapadnięciu zmroku, rozbłyśnie jasnym światłem diod LED.

SPECYFIKACJA:
- źródło światła: 3 białe diody LED,
- płynna regulacja czułości zadziałania,
- napięcie zasilania: 5 VDC [3×AA] – zestaw nie zawiera baterii,
- wymiary płytki: 92×60 mm

kod handlowy: **AVTEDU622** cena: **24zł**



Czterolistna koniczynka LED

Urokliwy i prosty w montażu gadżet będzie cieszył oko dzięki dwóm parom diod LED, które migają w zmiennym rytmie.

SPECYFIKACJA:
- 4 diody LED wysokiej jasności (pure green),
- automatyczna regulacja częstotliwości błysków,
- napięcie zasilania: 9 VDC [6F22] – zestaw nie zawiera baterii,
- mały pobór prądu (ok. 9 mA dla zasilania 9 V),
- wymiary płytki 65×65 mm

kod handlowy: **AVTEDU623** cena: **22zł**

sklep.avt.pl

AVT SPV Sp. z o.o., 03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
tel.: (22) 257 84 51 e-mail: handlowy@avt.pl

eprasa.pl 066/ee165a

Stacja meteo, czyli czyszczenie szuflad (3)

Ostatnim elementem naszej stacji meteo jest kanał transmisji radiowej pozwalający na przesyłanie danych pomiarowych. Jego konstrukcję i działanie opisujemy w tym ostatnim artykule. Wykonanie podobnych lub zupełnie innych konstrukcji zgodnie z założeniem, że użyte zostaną tylko części z zasobów nagromadzonych w szufladach, może być ciekawym wyzwaniem konstruktorskim, dlatego namawiam do realizacji i publikowania takich projektów.

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

Łącze radiowe – moduły TR-52D

Każda stacja meteorologiczna powinna być zbudowana w części czujników umieszczonych na zewnątrz, najlepiej w specjalnej klatce, oraz z części prezentującej pomiary umieszczonej w pomieszczeniu w miejscu najbardziej dogodnym dla użytkownika. Oba te elementy muszą być ze sobą połączone kanałem transmisyjnym pozwalającym na przesyłanie danych pomiarowych. Z technicznego, ale też praktycznego punktu widzenia, najłatwiej jest to zrobić wykorzystując łącze radiowe w pasmach nie wymagających pozwolenia. Mała moc nadajników spełniających wymóg braku konieczności uzyskiwania pozwolenia na pracę w eterze ogranicza zasięg do kilkudziesięciu metrów zależnie od ilość przeszkód (ścian) ale też od ich budowy. Ściana żelbetowa będzie mocniej tłumić sygnał niż ściana z bloczków cementowo wapiennych. W praktyce taki zasięg jest zupełnie wystarczający. Opisywane urządzenie pracuje bez żadnych problemów z łączem radiowym w odległości ok 20 metrów miedzy urządzeniem umieszczonym na zewnątrz i wewnątrz. Przeszkodę stanowią 2 ściany budynku z bloczków.

Łącze można realizować używając szerokiej gamy modułów radiowych. Ja zgodnie z początkowym założeniem zastosowałem to co miałem, czyli moduły IQRF TR52-D produkowane przez czeską firmę MICRORISC. Z punktu widzenia projektanta to bardzo dobry wybór. TR-52D to nie tylko moduł radiowy. Producent wpadł na pomysł, żeby połączyć prosty (punktu widzenia programisty) moduł radiowy z małym mikrokontrolerem PIC16F886. Taki pomysł nie wydaje się czymś odkrywczym i rzeczywiście tak by było, gdyby na tym poprzestano. Produkt MICRORISC to znacznie więcej niż układ moduł radiowy i mikrokontroler. Został zaprojektowany cały ekosystem zbudowany z małych łatwych w użyciu i programowaniu modułów radiowych, zestawów rozszerzających DCC Kits i firmowych narzędzi sprzętowych i programowych stanowiących kompleksowe wsparcie dla projektanta.

W protokole wymiany danych zaimplementowano tylko te funkcje, które są niezbędne do przesyłania danych pomiędzy modułami. Nie oznacza to jednak rezygnacji z maksymalnej dostępnej funkcjonalności ograniczonej zasobami małego mikrokontrolerem. Oprócz możliwości wymiany danych pomiędzy dwoma modułami (*peer-to-peer*) zaimplementowano własny protokół sieciowy o nazwie IQMESH. Niestety takie możliwości muszą kosztować. Moduły nie są tanie. TR-52D nie jest już produkowany, a jego następca kosztuje ponad 100 PLN/sztukę. A to nie wszystko, bo żeby ich używać trzeba kupić przynajmniej jeden moduł programatora USB. Taki programator CK-USB-04A kosztuje ok. 300 PLN. Gdybym nie miał modułów i CK-USB-04 to owe rozwiązanie nie byłoby brane pod uwagę właśnie ze względu na koszty. Są inne tańsze opcje.

Poza ceną system ma same zalety. Jeżeli potrzebne jest kodowanie transmisji, to może ją wykonać Host współpracujący z modułem. Ponieważ moduł radiowy ma wbudowany programowany przez użytkownika mikrokontroler, to w prostych zastosowaniach można go użyć bez dodatkowych elementów. Potrzebne jest tylko 8-pinowe złącze takie, jak dla dużych katy SIM w telefonach i układ zasilania +5 V. Przez kilka lat używałem samodzielnego modułu TR-52 z dołączonym czujnikiem DS18B20 jako zewnętrznego czujnika temperatury i pracował znakomicie. Zasoby wbudowanego mikrokontrolera nie są duże, a musi on też wykonywać funkcje pracującego w tle miniaturowego systemu operacyjnego IQRF OS obsługującego transmisję SPI i funkcje sieci MESH. Dlatego kiedy układ musi wykonywać bardziej zaawansowane funkcje, to moduł współpracuje z zewnętrznym mikrokontrolerem hostem tak, jak to jest w naszym przypadku.

Schemat blokowy modułu został pokazany na **rysunku 25**. Część radiowa (transceiver RF) bazuje na układzie MRF49A. Jak już wspomniałem mikrokontroler to 8 bitowy PIC16F886. Układ zasilania zawiera stabilizator MCP1700. W moduł wbudowano też sensor temperatury MCP9700A. Przy okazji opisu DS18B20 wyjaśniałem dlaczego nie używam modułów pomiaru temperatury umieszczanych wewnątrz urządzenia. Dla systemu IQRF OS przeznaczona jest pamięć 24AA16MC. Wszystkie wymienione elementy modułu są produkowane przez firmę Microchip.

Użytkownik uruchamiana swoją aplikację pod systemem IQRF OS i ma do dyspozycji wiele funkcji systemowych. Program użytkownika jest pisany w języku C i kompilowany kompilatorem CC5X. Producent zadbał o to, aby nie trzeba było się martwić o niezbędne narzędzia. Darmowa wersja kompilatora jest zupełnie wystarczająca do napisania sporego programu. Trzeba pamiętać, że taki moduł jest inteligentnym układem peryferyjnym i nie są na nim uruchamiane duże zadania. Tworzenie aplikacji umożliwia firmowy pakiet IRQF IDE. Z jego pomocą możemy wykonać wszystkie czynności projektowe: edytować (za pomocą zewnętrznego edytora) plik źródłowy, skompilować go, zaprogramować mikrokontroler modułu radiowego i debugować działający program.

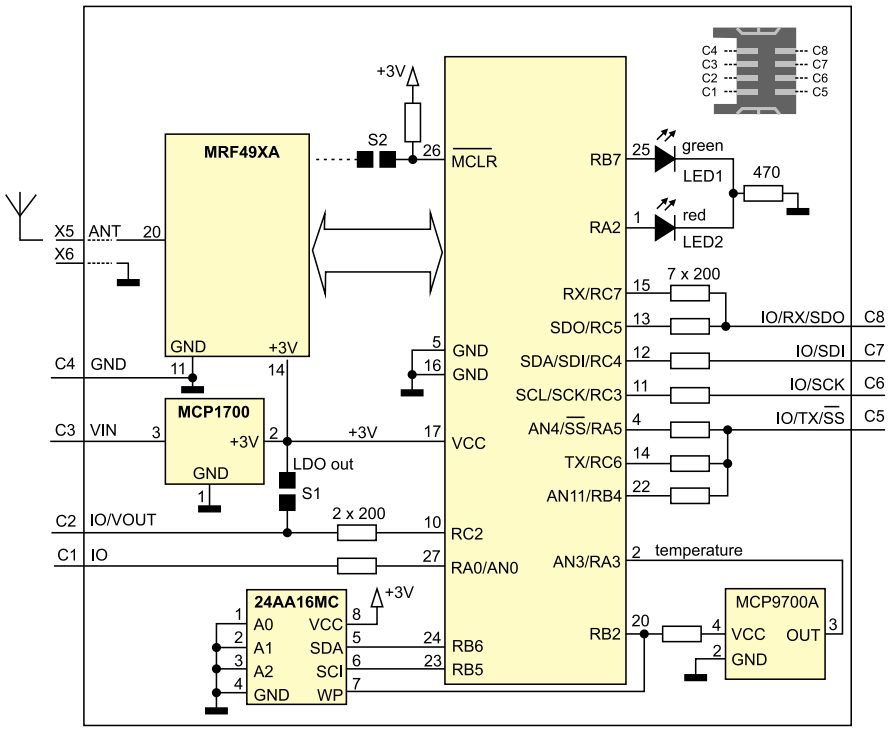
Wspomniany programator modułów CK-USB-04A umożliwia z poziomu IRQF IDE zapisanie pamięci Flash mikrokontrolera kodem

eprasa.pl 0667ee155a

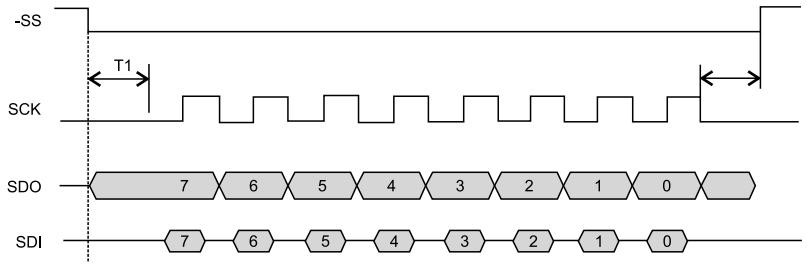
programu użytkownika. Za pomocą CK-USB-04A można również testować poprawność transmisji. Po wgraniu do modułu odpowiedniego programu CK-USB-04A odczytuje odebrane dane przez SPI, przesyła do IQRF IDE, gdzie można je wyświetlić praktycznie *on-line*. Z poziomu IQRF IDE można również wysyłać dane (przez CK-USB-04A z włożonym modułem TR 52D) do drugiego modułu TR-52D. Te właściwości znacznie ułatwiają testowanie poprawności przesyłania danych przez łącze radiowe.

Już wiemy, że w naszym przypadku moduł radiowy współpracuje z mikrokontrolerem hostem. Jest nim PIC16F18446 z modułu MPLAB Xpress. Moduł TR52B jest w magistrali SPI układem slave, a Host układem master. Konfiguracja interfejsu SPI Master Hosta został pokazana na rysunku 8 (pierwsza część artykułu – EP12/22). W takiej konfiguracji układ master generuje sygnał zegarowy oraz sygnał aktywacji interfejsu w układzie slave SS (*Slave Select*). Rozdzielone linie danych wyjściowych MOSI i danych wejściowych MISO (z punktu widzenia mastera) pozwalają na transmisję w trybie duplex. Kiedy master chce wysłać na przykład 8-bitową daną, to generuje 8 taktów zegara. Dane są zapisywane do układu slave w czasie narastającego lub opadającego zbocza sygnału zegarowego. W przypadku modułów TR52B dane są zapisywane i odczytywane narastającym zboczem zegara (**rysunek 26**).

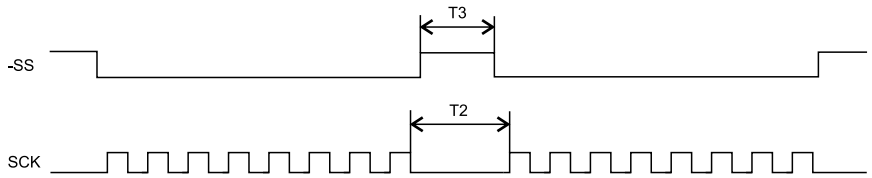
Obsługa SPI przez IQRF OS nakłada pewne ograniczenia czasowe w trakcie przesyłania danych. Na **rysunku 27** pokazano te ograniczenia. Pomiędzy przesłaniem bajtów musi być zachowany odstęp minimum 100 µs dla zegara SCK 250 kHz. Typowy czas T2 jest równy 500 µs. Jest to dość istotne ograniczenie i musi być w praktyce dokładnie przestrzegane. Obsługa magistrali SPI w IQRF OS jest zaimplementowana jako maszyna stanu. Moduł TR52B (jego mikrokontroler) może zapytać o stan swojej magistrali używając funkcji *getStatusSPI()*. Host musi sekwencyjnie pytać moduł radiowy o status SPI wysyłając sekwencyjnie komendę SPI_CHECK (bajt 0x00). Na to zapytanie slave odpowiada bajtem statusu (**tabela 9**).



Rysunek 25. Schemat blokowy modułu TR-52D



Rysunek 26. Przesyłanie danych przez interfejs SPI



SCK	250kHz max
T1 – czas pomiędzy opadającym zboczem SS i opadającym zboczem SCK (rysunek 1)	10µs
T2 – opóźnienie pomiędzy kolejnymi bajtami	100µs min., 500µs typowo
T3 – impuls na SS pomiędzy bajtami	20µs min.

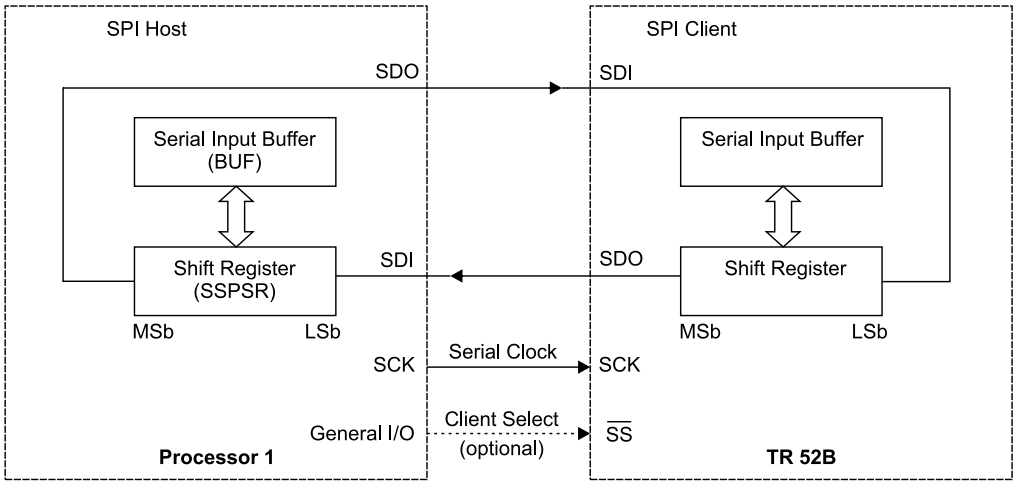
Rysunek 27. Ograniczenia czasowe transmisji SPI narzucane przez IQRF OS

Tabela 9. Zestawienie statusów modułu TR 52B

Wartość hex	Status
00	SPI nie aktywne (wyłączone przez komendę disableSPI())
07	SPI zatrzymane przez komendę stopSPI()
3F	SPI nie gotowe (pełny bufor, ostatnie CRC prawidłowe). Dalsza transmisja odblokowywana funkcją startSPI(0)
3E	SPI nie gotowe (pełny bufor, ostatnie CRC nie prawidłowe). Dalsza transmisja odblokowywana funkcją startSPI(0)
41 do40 + Nmax	SPI gotowe do przesłania tego statusu – 40h bajtów
80	SPI gotowe – tryb komunikacji
81	SPI gotowe – tryb programowania
82	SPI gotowe – tryb debugowania
83	Zarezerwowane dla starszych wersji modułów radiowych
FF	SPI nie aktywne – błąd sprzętowy

eprasa.pl 0667ee155a

Na **listingu 26** pokazano procedurę wymiany danych hosta z modułem, a na **listingu 27** odczytywanie statusu. Żeby dokładniej zrozumieć jak działa wymiana danych z modułem trzeba widzieć jak działa wymiana danych przez interfejs SPI (**rysunek 28**). Master (mikrokontroler) inicjuje wymianę danych generując 8 cykli zegarowych. W czasie trwania tych cykli 8-bitowa dana mastera jest wysyłana przez linię SDO do układu slave (moduł radiowy). Jednocześnie w czasie trwania tych 8 cykli zegarowych slave przesyła 8-bitwą daną do układu master. Wynika z tego ważny wniosek: układ slave nie może wysyłać swoich danych w reakcji na przesyłaną daną przez układ master, bo w momencie ich przesłania slave nie zna wartości tej danej. Dane slave mogą być reakcją na wcześniejsze dane od mastera. Dlatego protokół wymiany danych w IQRF OS ma kilka stanów określanych statusem. Jeżeli moduł (slave) z pracującym IQRF OS nie ma zlecenia przesłania jakichś danych to na dowolną daną do niego przesłaną odpowiada statusem. Jeżeli chcemy żeby moduł odpowiedział statusem i się nie przestawił w inny stan, to wysyłamy do niego wartość zerową. Dlatego na **listingu 27** procedura odczytująca status wysyła do modułu zero. Moduł odpowiada jednobajtowym statusem o wartościach pokazanych w tabeli 9. W tym przypadku nie jest konieczne przesyłanie sum kontrolnych i sprawdzanie statusu wykonywane jest szybko. Program zależnie od wartości statusu może podjąć konkretne działanie. Na przykład zainicjować wymianę danych przez wysłanie odpowiedniej komendy.



Rysunek 28. Wymiana danych przez interfejs SPI

W module radiowym domyślnie komunikacja przez SPI jest wyłączona (ale sam interfejs działa) i program użytkownika musi ją włączyć komendą systemową *enableSPI()*. Jeżeli się tego nie zrobi, to na zapytania hosta o status moduł odpowie wartością 0x00 (SPI nie aktywne). Kiedy SPI jest włączony i moduł nie ma żadnych danych do przesłania to odpowiada statusem 0x80 – SPI gotowe.

Jeżeli host się spodziewa danych z modułu, to oczekuje najpierw statusu 0x80. Jak już wiemy jest to informacja, że transmisja SPI jest włączona i moduł jest gotowy do wymiany informacji z Hostem. Moment, w którym moduł ma rzeczywiste dane do przesłania sygnalizowany jest statusem o wartości 0x40+ld, gdzie ld jest ilością danych. Jeżeli Host odbierze taki status, to może zainicjować odbieranie dane wysyłając do niego komendę SPI_CMD.

Komenda SPI_CMD wysyłana przez Hosta wykorzystuje właściwości interfejsu SPI (**rysunek 28**). Zależnie od potrzeb może tylko odczytać dane z modułu, lub w trakcie odczytywania jednocześnie przesłać swoje ważne dane. Moduł wie, że zaczyna się przesyłanie komendy SPI_CMD, kiedy odbierze bajt kodu komendy równy 0xF0.

Listing 26. Wymiana danych pomiędzy Hostem i modułem

```
//wysłanie i odczytanie danych z IQRF przez SPI
uint8_t GetIQRFData(uint8_t data){
    uint8_t d;
    IQRF_CS = 0;
     __delay_us(12);
     d = SPI2_ExchangeByte(data);
     __delay_us(12);
    IQRF_CS = 1;
    __delay_us(120);
    return(d);
}
```

Listing 27. Odczytywanie statusu modułu

```
//odczytanie statusu
uint8_t GetIQRFStatus (void){
    return(GetIQRFData(0));
}
```

Oczywiście w trakcie przesyłania kodu komendy moduł odpowiada statusem. Po kodzie komendy jest wysyłany kolejny bajt nazwany PTYPE. Bajt PTYPE PTYPE spełnia dwie funkcje: zawiera informację o liczbie danych przesyłanych do modułu i informację, czy przesyłane po nim dane mają być przez moduł radiowy przyjęte jako ważne, czy odrzucone. Format PTYPE jest pokazany na **rysunku 29**. Pole SPIDLEN jest zapisywane na podstawie wartości statusu określającego ilość danych gotowych do przesłania przez moduł (0x40+ld).

Na przesłany bajt PTYPE moduł ponownie odpowiada statusem. Po bajcie PTYPE Host wysyła tyle bajtów ile jest zapisanych w polu SPIDLEN. Każdy przesłany bajt do modułu powoduje odesłanie przez moduł ważnych danych. Jeżeli CTYPE jest równy zero to Host może wysyłać do modułu cokolwiek na przykład zera. Jeżeli jednak Host ma ważne dane to musi ustawić w b7=2 w CTYPE i wysyłać bajt po bajcie ważne dane. Komenda SPI_CMD została pokazana na **rysunku 30**. Host może również wysłać dane do modułu w dowolnym momencie pod warunkiem, że wcześniej odczyta status 0x80.

Listing 28. Wysyłanie komendy SPI_CMD

```
/*****************************************************
 wymiana danych z modulem Iqrf po magistrali SPI.
 dir - kierunek wymiany danych
 DATAS - dane Hosta ważne
 DATANS S- dane Hosta nie ważne
 ld liczba danych taka sama do wysłania i odebrania
 BufSend - bufor z danymi do wysłania
 BufRec - bufor z danymi do odebrania
 *****************************************************/
uint8_t CmdIQRFSpiTransfer(
    uint8_t dir, uint8_t ld, uint8_t *BufSend, uint8_t *BufRec){
    uint8_t ldtemp, crcm, crcs, i, status ;

    ldtemp = ld;
    if( dir == DATAS){
        //PTYPE -> CTYPE = 1 dane ważne transfer M->S
        ld |= 0x80;
        }
    //inicjalizacja crc z kodem komendy
    crcm = 0xf0 ;
    //wysłanie kodu komendy  i odebranie SPISTAT
    //zwraca status = SPISTAT
    status = GetIQRFData(0xf0);

    //crc od PTYPE
    crcm ^= ld;
    //wysłanie PTYPE - zwraca status = SPISTAT
    status = GetIQRFData(ld);

    for (i = 0; i < ldtemp; i++){
        crcm ^= BufSend[i] ;
        BufRec[i] = GetIQRFData (BufSend[i]);
    }
    crcm ^= 0x5f;

    BufRec[i] = GetIQRFData(crcm);
    for (i = 0; i< ldtemp; i++){
        crcs ^= BufRec[i];
    }
    crcs ^= 0x5f;
    if(crcs == BufRec[i]){
        return NOERROR;
    }else{
        return ERROR;
    }
}
```


eprasa.pl 0667ee155a

```
Listing 29. Procedura odczytania statusu i danych z modułu TR-52D

//odczytanie danych z modu?u IQRF po SPI
uint8_t ReadDevice( uint8_t *buffer_rec){
uint8_t buffer[30];
uint8_t i, status;
    for (i = 1; i<20; i++){
        buffer[i] = 0;
    }
    status = GetIQRFData(0);
    if(status == 0)
        return (SPINOACTIV);
    if(status == 07)
        return  (SPISTOP);
    if(status == 0x3F || status == 0x3E)
        return(SPINOREADY);
    if(status == 0x80)
        return (SPIREADY);

    if(status >= 0x40 && status <0x80){
        //wysłanie komendy odczytania
        //danych z modułu TR-52D
        CmdIQRFSpiTransfer(
            DATANS, status&0x3f, buffer, buffer_rec);
        return (SPIDATAOK);
    }
}
```

b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
CTYPE		SPIDLEN					

Rysunek 29. Struktura bajtu PTYPE

Transmisja danych powinna być zawsze zabezpieczona sumą kontrolną CRC. Testowanie prawidłowości CRC znacznie zwiększa pewność, że przesyłane dane są prawidłowe. W systemie IRQF OS przesyłane dane są zabezpieczone CRC liczoną według zależności:
Dla danych wysłanych przez hosta
CRCM=SPICMD^PTYPE^DM1^DM2^….^DMspidlen^0x5f
gdzie:
DM – 8-bitowe dane wysyłane przez mastera – hosta,
spidlen – ilość danych, a
^ – oznacza operację XOR.
Dla danych odbieranych przez hosta
CRCS=PTYPE^DS1^DS2^……^DSspidlen^0x5f
gdzie:
DS – 8-bitowe dane przesyłane przez slave.

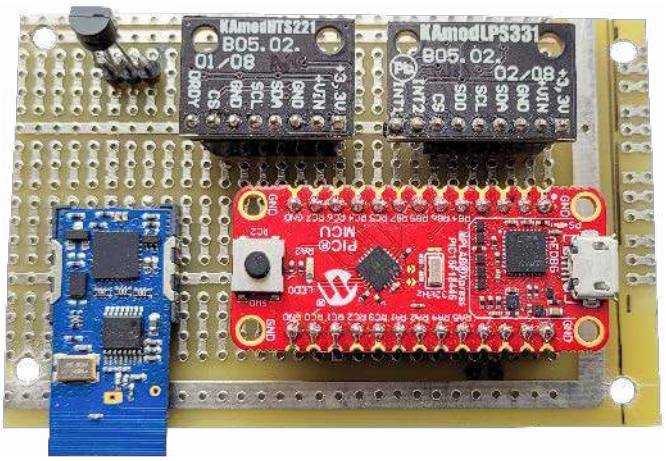
Warto zauważyć, że do obliczania CRC dla danych odbieranych potrzebujemy wartości PTYPE wysyłanej w komendzie SPI_CMD

```
Listing 30. Wysyłanie zawartości bufora BufSend

uint8_t DeviceSend (uint8_t ld, uint8_t *BufSend){
    uint8_t buffer[30];
    uint8_t i, status;
    for (i = 1; i<20; i++){
        buffer[i] = 0;
    }
    status = CmdIQRFSpiTransfer(
        DATAS, ld, BufSend, buffer);
    return status;
}
```

```
Listing 31. Pętla główna modułu  peryferyjnego

while (1){
    //odczytanie czujnika cisnienia *str+0
    LPS331PressRead (str);
    //odczytanie czujnika wilgotnosci *str+8
    HTS221ReadHum(str);
    //odczytanie czujnika temperatury str+14 delay 1 sek
    ConvTemperature(str);
    status = ReadDevice(IQRFbuf);
    if(status == SPIDATAOK){
        if(CheckIQRFCmd(IQRFbuf) == NOERROR){
        while(GetIQRFStatus () != 0x80);
        __delay_ms(1);
        status =  DeviceSend (20,str);
        }
    }
}
```



Fotografia 1. Prototypowy moduł z czujnikami zewnętrznymi stacji pogodowej

do odebrania tych danych. Brak, lub błędnie wyliczona CRC może skutkować odrzuceniem danych przesyłanych z Hosta do modułu. Kontrola CRC danych odbieranych z modułu jest kontrolowana przez oprogramowanie Hosta i zależnie od woli programisty może być wykonywana lub nie. Na **listingu 28** pokazano procedurę wysyłającą komendę SPI_CMD. Zależnie od argumentu dir dane przesyłane do modułu TR52D są ważne (DATAS), lub nie ważne (DATANS) . Argument ld określa ilość danych, argument BufSend jest wskaźnikiem na bufor z danymi do przesłania z Hosta do modułu, a argument BufRec jest wskaźnikiem na bufor do którego są zapisywane dane odczytane z modułu. Procedura oblicza i wysyła CRC dla danych wysyłanych.

Procedura ReadDevice (**listing 29**) odczytuje status modułu TR-52D i jeżeli ma on wartość z zakresu 0x04….0x80 wywołuje procedurę CmdIQRFSPiTransfer odczytującą dane z modułu i zapisującą je do bufora buffer_rec (argument ReadDevice). Po tej operacji zwracana jest wartość SPIDATAOK sygnalizująca, że dane z modułu zostały odebrane.

W module peryferyjnym naszej stacji pogodowej procedura *ReadDevice* może odbierać polecenia sterownicze, czy konfiguracyjne. Można sobie wyobrazić, że układ wyświetlacza pyta tylko o temperaturę na przykład co minutę, a o pozostałe parametry co 10 minut czy godzinę. Można wysyłać komendy zlecające różne pomiary. W prototypie moduł peryferyjny jest pytany o wszystkie pomiary jednocześnie. Jeżeli zostanie odebrana komenda W, to moduł peryferyjny odsyła bufor z zapisanymi wszystkimi pomiarami. Wysyłanie zawartości bufora realizuje funkcja DeviceSend (**listing 30**).

Na **listingu 31** pokazano uproszczoną pętlę, w której cyklicznie są wykonywane wszystkie pomiary, sprawdzane jest odebrania komendy i jeżeli jest poprawna to wynik pomiaru jest wysyłany przez moduł TR-52D. Testowe polecenie składa się z bajtu numeru modułu (NSTER) i kodu komendy W. Nadanie modułowi numeru umożliwia odpytywanie innych modułów na przykład monitorujących zanieczyszczenie powietrza.

Testowy układ czujnika został zmontowany na kawału płytki uniwersalnej (**fotografia 1**). Wszystkie połączenia wykonano drutem w izolacji (kynar). Całość jest zasilana napięciem +5 V przez złącze USB modułu mikrokontrolera, a wewnętrzny stabilizator modułu dostarcza napięcia +3,3 V zasilającego wszystkie układy układu czujnika zewnętrznego. Czujnik DS18B20 jest przylutowany na czas testów bezpośrednio do wyprowadzeń na płytce. Docelowo będzie podłączony kablem o długości ok. 1 m i umieszczony na zewnątrz obudowy.

Tomasz Jabłoński, EP

Master	SPI_CMD	PTYPE	DM_1	DM_2	...	$DM_{SPIDLEN}$	CRCM
Slave	SPISTAT	SPISTAT	DS_1	DS_2	...	$DS_{SPIDLEN}$	CRCS

Rysunek 30. Struktura komendy SPI_CMD

eprasa.pl 0667ee155a

Układ do pomiaru pułapu tlenowego naszego organizmu

Mamy już luty, dla wielu osób czas rezygnacji z siłowni czy uprawiania sportów, podjętego w ramach postanowień noworocznych… jeśli chcemy mieć do tego dobre usprawiedliwienie, zainteresować nas może kwestia tzw. pułapu tlenowego – VO_2max. Jest to cecha naszego organizmu, mówiąca o jego zdolności do pochłaniania tlenu z powietrza, a w konsekwencji, mówiąca o tym, jaką mamy kondycję. Typowo do pomiaru VO_2max stosuje się dosyć skomplikowany zestaw aparatury medycznej… jednak możemy skonstruować układ typu DIY, który pozwoli nam na estymację tego parametru.

Uwaga! To nie jest urządzenie medyczne i nie jest w stanie w żaden sposób zastąpić prawdziwej diagnostyki medycznej.

Pułap tlenowy – VO_2max, to interesująca koncepcja, która sugeruje, że istnieje naturalnie ograniczona zdolność do wydobywania tlenu z powietrza i zużywania go przez nasz organizm. To tak jakby IQ dla zajęć sportowych – jakiś parametr, który określa, jak bardzo jesteś utalentowany w różnych zawodach sportowych. Pracowano nad nim od początku ubiegłego wieku i polegano na zbieraniu wydychanego powietrza do worków, celem dalszej ich analizy. Współcześnie stosuje się skomplikowany sprzęt, co przekłada się na wysoki koszt tego rodzaju badań.

Alternatywnie można użyć prostej aplikacji na smartfona, która korzysta z pomiarów z naszej opaski fitness/smartwatcha i algorytmu – ktoś kiedyś skorelował kosztowny pomiar pułapu tlenowego np. z pomiarem tętna w czasie wysiłku itp. Taki pomiar nie jest z kolei zbyt precyzyjny i niekoniecznie działa dla szerszej populacji w różnym wieku itd. Aby zmierzyć pułap tlenowy, trzeba dokładnie zmierzyć ilość gazu wchodzącego i wychodzącego z płuc, poziom CO_2 i tlenu w tym gazie, jego wilgotność i temperaturę oraz użyć sporej liczby wzorów.

W artykule opisujemy, jak zbudować przenośne urządzenie, pozwalające wykonać pomiary z rozsądną dokładnością, pozwalającą na realne zastosowanie np. przy testach sportowców. Jego koszt to około 150 dolarów. Może nie jest to mała kwota, ale w porównaniu do profesjonalnego sprzętu, gdzie tylko pojedyncze badanie może tyle kosztować, jest to metoda pełni osiągalne dla hobbystów i amatorów. System może być podłączony przez Bluetooth lub Wi-Fi i zapewniać bogactwo informacji podczas użytkowania. Komponenty do oddychania można łatwo oddzielić od drogich czujników, aby ograniczyć obawy związane z przenoszeniem wirusów itp. Tego rodzaju urządzenie może być np. tanio oferowane do użytku w klubach fitness czy dla indywidualnych użytkowników w celu oceny postępów treningowych czy też ogólnej diagnostyki kondycji fizycznej.

Moduł bazuje częściowo na innym projekcie – spirometrze z druku 3D (linki na końcu artykułu). Instrukcja jego montażu itp. może być pomocna w zakresie budowy tego układu.

Potrzebne elementy

Układ nie wymaga egzotycznych, czy trudnych do zdobycia elementów, a główny koszt, to bardzo precyzyjne sensory, jakie są wymagane w tych analizach. Istnieją oczywiście tańsze alternatywy na rynku, jednak, jak wskazuje autor, mają liczne wady znacznie utrudniające stosowanie ich w tym układzie. Dotyczy to w szczególności sensorów tlenu – ten wybrany do projektu jest zintegrowany i ma wyjście cyfrowe (interfejs I^2C), gdzie inne – tańsze – wymagają dodatkowych przetwornic do zasilania i zewnętrznego przetwornika analogowo-cyfrowego (ADC) do digitalizacji pomiaru.

Do zestawienia projektu potrzebne są:

- różnicowy czujnik ciśnienia SDP816-125PA CMOSens z skalą pomiarową do 125 Pa,
- płytka deweloperska TTGO T-Display ESP32 z CP2104, obsługą Wi-Fi i Bluetooth zintegrowana z wyświetlaczem LCD o przekątnej 1,14”,
- sensor tlenu Gravity z interfejsem I^2C,
- detektor gazu SCD30 do detekcji dwutlenku węgla, zakres pomiarowy 40000 ppm, dokładność 3%,
- bateria litowo-polimerowa 600 mAh,
- przełącznik,
- złącza i wtyczki,
- ustnik od fajki do nurkowania,
- arkusz wysokotemperaturowej folii do wycinania uszczelek z gumy silikonowej o wymiarach 12×19”, grubość ok. 0,8 mm,
- komponenty mechaniczne z druku 3D.

eprasa.pl 0667ee155a

Fotografia 1. Zamontowane w urządzeniu zawory jednokierunkowe

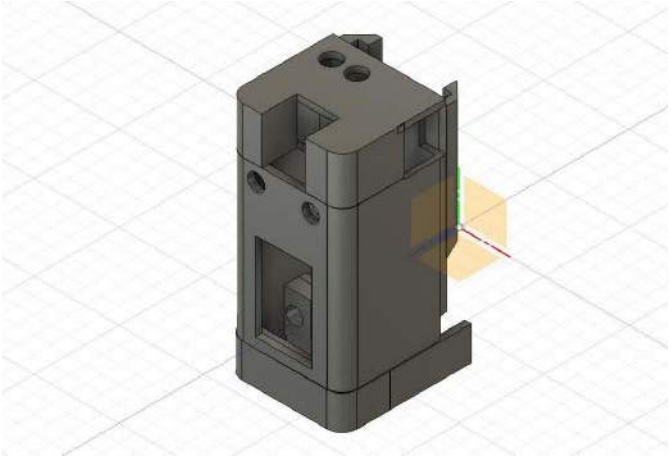
Projekt bazuje na wcześniejszym projekcie elementu układu powietrznego, który zawiera zawory zwrotne, aby uniknąć gromadzenia się powietrza w układzie (link na końcu artykułu) – minimalizuje to objętość martwą układu i znacznie poprawia jakość pomiarów. Wcześniej, układ ten zastosowany został w fajce do nurkowania, wykonanej w technice druku 3D.

W tym przypadku budowany jest aparat oddechowy, który zasysa powietrze z jednej strony i wypuszcza je giętką rurką zapożyczoną z fajki do oddychania pod wodą z drugiej strony. Rurka ta łączy się z miernikiem gazu w systemie. W ten sposób mierzona jest jedynie ilość wydychanego gazu oraz poziom CO_2 i O_2 w części wydychanej powietrza. Bez zaworu jednokierunkowego następowałoby mieszanie się strumienia dopływającego i wychodzącego powietrza.

Projekt zaworów jednokierunkowych i sposób ich budowy można znaleźć w projekcie wspomnianej fajki do oddychania. Gotowe zawory pokazano na **fotografii 1**. Zawór zawiera wydrukowaną w 3D ramkę, na której zamontowano silikonowy arkusz w taki sposób, że mógł on się tylko odchylać w jedną stronę. To bardzo prosty mechanizm i jego budowa powinna być zrozumiała dla każdego. Dysza Venturiego ma taką samą konstrukcję jak w spirometrze (link na końcu artykułu) z dodatkowymi obudowami dodanymi dla czujników tlenu i dwutlenku węgla z wbudowanymi osłonami, które zapewniają ich szczelność i nie zakłócają laminarnego przepływu gazów. Jedyną modyfikacją jest zmiana obudowy elektroniki, która zawiera różnicowy czujnik ciśnienia – jest ona nieznacznie powiększona, aby pomieścić dodatkowe miejsce potrzebne na dwa przewody magistrali I^2C dla sensorów.

Rysunek 1. Układ zaworów z miejscem na ustnik

Rysunek 2. Układ pomiarowy z dyszą Venturiego i miejscami do osadzenia sensorów O_2 i CO_2



Rysunek 3. Obudowa elektroniki układu

Wszystkie pliki STP potrzebne do druku elementów układu można znaleźć na stronie z projektem. Na **rysunku 1** pokazano układ zaworów zwrotnych, które zapewniają jednokierunkowy przepływ powietrza. Wylotową stroną tego modułu łączymy go, za pomocą elastycznej rurki z modułem z dyszą Venturiego, pokazanym na **rysunku 2**. Zwężka w przewodzie powoduje zmianę ciśnienia, która jest proporcjonalna do przepływu. Różnica ciśnień przed i w zwężonym kanale mierzona jest za pomocą specjalnego ciśnieniomierza różnicowego. W module tym osadzone są także sensory mierzące zawartość tlenu i dwutlenku węgla w wydychanym gazie. Wyjścia tych sensorów podłączone są do elektroniki, znajdującej się w obudowie, pokazanej na **rysunku 3**.

Komponenty elektroniczne

Ma **rysunku 4** pokazany jest schemat elektryczny przyrządu. Jest on bardzo prosty i w zasadzie składa się z dwóch sensorów podłączonych do interfejsu I^2C modułu z mikrokontrolerem. Jako ten ostatni zastosowano płytkę deweloperska TTGO T-Display z mikrokontrolerem ESP32 i wyświetlaczem OLED. Podłączone moduły mają różne adresy, dzięki czemu można podłączyć je do wspólnego interfejsu (piny 21 i 22 GPIO). Oprócz linii I^2C podłączyć należy tylko zasilanie (3,3 V) oraz masę, aby sensor mógł działać.

eprasa.pl 0667ee155a

Listing 1. Najistotniejsze fragmenty szkicu Arduino obsługującego system

```
void loop() {
  if(totalBreath == 0) minuteTotal = millis();
  // Wyświetlenie wartości maksymalnej na ekranie
  if(!digitalRead(buttonPin2) screenMax();
  // Obliczanie wartości po 30 s pomiaru
  if((millis()- minuteTotal) > 30000){
    minuteTotal = millis();
    totalBreath = 0;
    goFigure();
    volumeMinute = 0;
  }

  // Odczyt wartości analogowej
  sensorValue = analogRead(analogInPin);
  // Mapowanie odczytu ADC na napięcie
  voltage =( 3.3 * (( sensorValue )/4095.0));
  // Wyliczenie ciśnienia z wartości napięcia
  Pa = (190.0 * voltage/3.3) - 31.0;
  if( Pa > 5 ) {
    if (newBreath < 1) {
      timerBreath = millis();
      if(volumeTotal > 300) totalBreath = totalBreath + 1;
      volumeMinute = volumeMinute + volumeTotal;
      volumeTotal = 0;
      newBreath = 1;
    }
    massFlow = 1000*sqrt(
      (abs(Pa)*2*rho)/((1/(pow(area_2,2)))-(1/(pow(area_1,2)))));
    // Objętościowy przepływ powietrza
    volFlow = massFlow/rho;
    volumeTotal = volFlow * (millis() - TimerNow) + volumeTotal;
  } else if(newBreath){
    newBreath = 0;
    secondsBreath = (millis() - timerBreath)/1000;
    if(secondsBreath > 0.1){
      // Pomiar średniej ilości tlenu
      O2dump();
      // Pomiar średniej ilości CO2
      CO2dump();
      // Aktualizacja danych na ekranie
      screen();
    }
  }
  TimerNow = millis();
  delay(20);
}

void CO2dump(){
  if (airSensor.dataAvailable()){
    lastCotwo = airSensor.getCO2();
    lastTemp = airSensor.getTemperature();
    // Odejmij poprzedni pomiar
    coTotal = coTotal - coReadings[coreadIndex];
    // Odczyt z sensora
    coReadings[coreadIndex] = lastCotwo;
    // Dodaj nowy pomiar
    coTotal = coTotal + coReadings[coreadIndex];
    // Inkrementacja indeksu
    coreadIndex = coreadIndex + 1;
    // Jeśli koniec macierzy - reset indeksu
    if (coreadIndex >= numReadings) coreadIndex = 0;
    // Obliczanie średniej
    coAverage = coTotal / numReadings;
    lastCotwo = coAverage;
  }
   delay(500);
}

void O2dump(){
  float oxygenData = Oxygen.ReadOxygenData(COLLECT_NUMBER);
  // Odejmujemy ostatni pomiar
  oTotal = oTotal - oReadings[oreadIndex];
  // Odczyt z sensiras
  oReadings[oreadIndex] = oxygenData;
  // Dodanie nowego pomiaru
  oTotal = oTotal + oReadings[oreadIndex];
  // Inkrementacja indeksu
  oreadIndex = oreadIndex + 1;
  // Jeśli koniec macierzy - reset indeksu
  if (oreadIndex >= numReadings) oreadIndex = 0;
  oAverage = oTotal / numReadings;
  lastOtwo = oAverage;
}

void goFigure(){
  float percentN2exp;
  float co2;
  volumeMinute = volumeMinute * 2.0;
  volumeMinute = volumeMinute/1000.0; //gives liters of air VE
  co2 = lastCotwo/10000.0;
  percentN2exp = (100.0 - (co2 + lastOtwo));
  volumeMinute = volumeMinute * (273/(273 + lastTemp)) * ((760.0 - 25.2)/760);
  vo2Max = volumeMinute * (((percentN2exp/100.0) * 0.265) - (lastOtwo/100.0));
  vo2Max = (vo2Max * 1000.0)/(float(wtTotal)/2.2);
  tft.fillScreen(TFT_RED);
  tft.setTextColor(TFT_GREEN, TFT_RED);
  tft.drawCentreString("VO2Max= ",60,10,4);
  tft.setTextColor(TFT_RED, TFT_RED);
  tft.drawString("888888",70,40,7);
  tft.setTextColor(TFT_WHITE, TFT_RED); // Orange
  tft.setCursor(70, 40, 7);

  if(vo2Max > vo2MaxMax) vo2MaxMax = vo2Max;
   tft.println(vo2MaxMax);
   tft.setCursor(160, 115, 4);
   tft.setTextColor(TFT_GREEN, TFT_RED);
   tft.println("RESET");
}
```

Sensor ciśnienia (czujnik SDP816-125PA) z wyjściem analogowym musi być podłączony do przetwornika ADC w układzie. Należy go podłączyć do wyprowadzenia 33 GPIO (wejście A5) oraz linii zasilania i masy. Ostatnim elementem, podłączanym do modułu z mikrokontrolerem jest przycisk, który należy wpiąć tak, jak pokazano na schemacie – w dodatnią linię zasilania, pomiędzy baterię a moduł. Układ zasilany jest z baterii, może jednak zasilany być przez port USB-C z zasilacza wtyczkowego. W ten sam sposób należy także ładować baterie, pamiętając jednocześnie, że układ musi być włączony w czasie ładowania. W projekcie zastosowano baterie o pojemności 600 mAh, ale jest szansa, że i większa zmieściłaby się w obudowie układu, co jest podstawowym czynnikiem ograniczającym pojemność zastosowanego akumulatora.

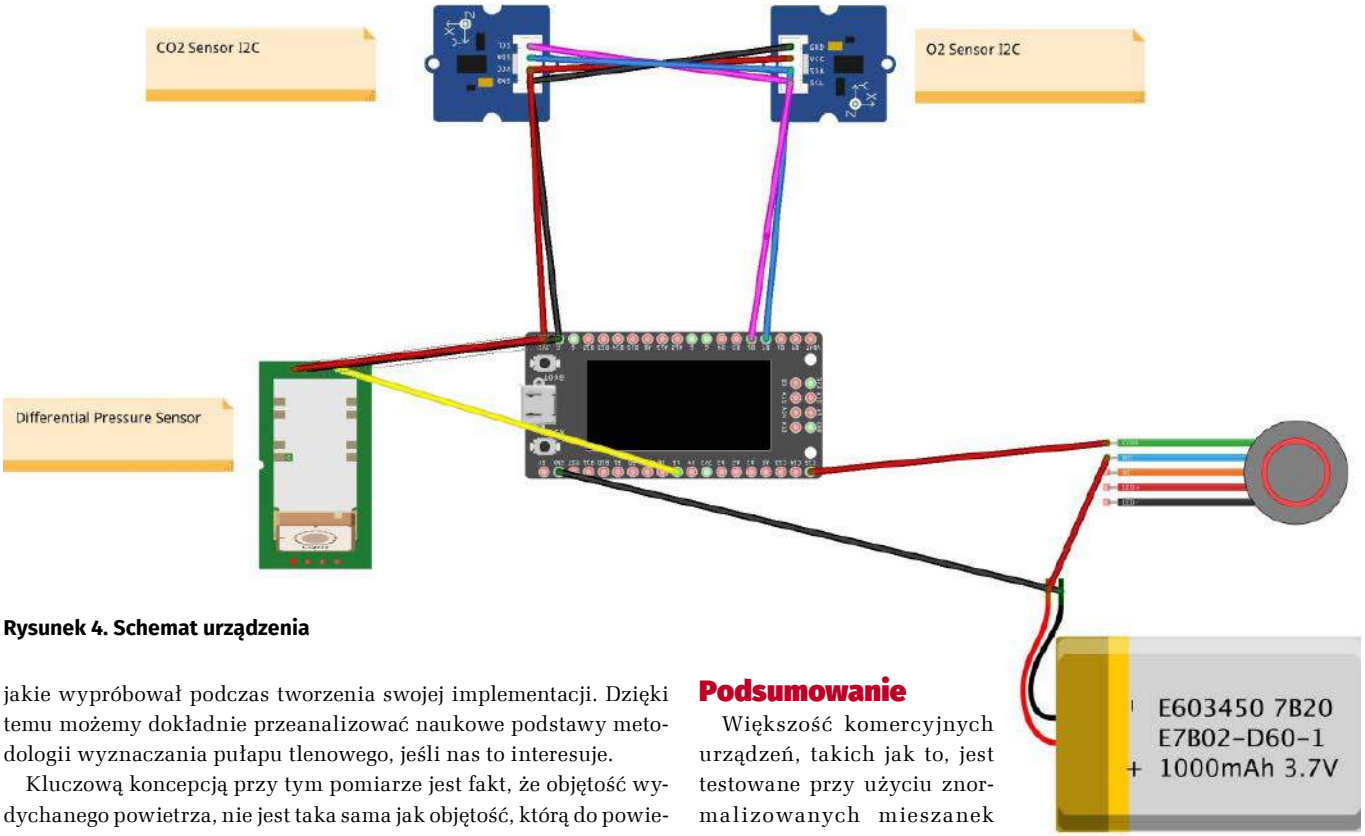
Oprogramowanie

Ostatnim etapem budowy, jest instalacja oprogramowania układowego. Zostało ono opracowane w Arduino IDE. Fragmenty szkicu Arduino, kontrolującego działanie urządzenia, pokazane są na **listingu 1**. Kompletny szkic można pobrać ze strony z projektem. Obliczanie VO_2max nie jest trywialną sprawą. Autor projektu podaje w opisie odniesienia do konkretnych opisów algorytmów,

```
void wtRead(){
  buttonState1 = digitalRead(buttonPin1);
  // Jeśli zmienił się stan inkrementowany jest licznik (na zboczu)
  if (buttonState1 != lastButtonState1) {
    // Jeśli obecny stan jest niski, to znaczy, że puszczono przycisk
    if (buttonState1 == LOW) {
      buttonPushCounter1++;
      if(buttonPushCounter1 == 10) buttonPushCounter1 = 0;
    }
    // Opóźnienie eliminujące efekty drgania styków przycisku
    delay(50);
  }
  lastButtonState1 = buttonState1;

  buttonState2 = digitalRead(buttonPin2);
  // Analogicznie drugi przycisk, który przełącza pola wagi
  if (buttonState2 != lastButtonState2) {
    if (buttonState2 == LOW) {
      buttonPushCounter2++;
      wtTotal = wtTotal + 1000/pow(10, buttonPushCounter2) * buttonPushCounter1;
      buttonPushCounter1  = 0;
    }
    delay(50);
  }
  lastButtonState2 = buttonState2;
  if(buttonPushCounter2 < 3) {
    int counter = 30 + (40 * buttonPushCounter2);
    tft.drawNumber(buttonPushCounter1,counter,40,7);
  }
}
```


eprasa.pl 0667ee155a



Rysunek 4. Schemat urządzenia

jakie wypróbował podczas tworzenia swojej implementacji. Dzięki temu możemy dokładnie przeanalizować naukowe podstawy metodologii wyznaczania pułapu tlenowego, jeśli nas to interesuje.

Kluczową koncepcją przy tym pomiarze jest fakt, że objętość wydychanego powietrza, nie jest taka sama jak objętość, którą do powietrza wciągnęliśmy przy oddechu. Jest modyfikowany przez fizjologię płuc i należy obliczyć wiele czynników, aby ustalić prawdziwą ilość tlenu, którą z powietrza pobierają nasze płuca. Oprogramowanie musi najpierw uwzględnić wagę użytkownika – podaje się ją obsługując interfejs za pomocą dwóch przycisków dołączonych do modułu TTGO. VO_2max jest mierzone w cm^3/min/kg. Na ekranie modułu pojawiają się trzy pola. Naciskanie dolnego przycisku zwiększa wagę – cyfrę w danym polu, a drugi przycisk pozwala przejść do kolejnego pola. Ta część programu realizowana jest w funkcji *wtRead()* (**listing 1**). Jest ona uruchamiana w konfiguracyjnej części skryptu (funkcja *void setup()*) w pętli czekającej, na naciśniecie drugiego przycisku po raz czwarty:

```
while(buttonPushCounter2 < 3) wtRead();
```

Po wprowadzeniu wagi inicjowane jest sprawdzanie cyklu oddechowego w celu pomiaru całkowitej objętości na minutę. Pomiar realizowany jest co 30 sekund. Można go zresetować za pomocą dolnego przycisku w dowolnym momencie podczas całego procesu, aby ponownie uruchomić 30-sekundowe zliczanie oddechów. Pojawi się nowy ekran z zebraną do tej pory objętością w próbce i zegarem odliczającym 30 sekund. Większość komercyjnych maszyn mierzy te parametry przez minutę, ale to dosyć długo, jak na doraźne pomiary np. w czasie ćwiczeń. Pomiędzy oddechami sprawdzane są poziomy tlenu i CO_2 w wydychanym powietrzu. Wyniki tych pomiarów umieszczane są w macierzy, która służy do obliczania średniej kroczącej. Temperatura i wilgotność są również próbkowane z czujnika CO_2. Pod koniec czasu próbkowania funkcja *goFigure()* (listing 1) oblicza VO_2max i porównuje je z poprzednimi próbkami i wybiera wartość maksymalną, którą prezentuje na ekranie. Objętość wydychanego gazu jest kompensowana na podstawie skorygowanych objętości wydychanego CO_2 i O_2 oraz temperatury, ciśnienia i wilgotności wydychanych gazów. W urządzeniu nie ma sensora ciśnienia atmosferycznego – wykorzystane jest ciśnienia na poziomie morza, więc jeśli stosujemy sensor np. wysoko w górach, pomiary mogą nie być dokładne.

Moduł bazuje na układzie ESP32, zatem możliwe jest użycie wbudowanych w niego interfejsów bezprzewodowych do komunikacji. Łatwo jest sobie wyobrazić, że np. z odpowiednią aplikacją na smartfona, układ mógłby łączyć się z telefonem poprzez Bluetooth, aby tam wyświetlać dane z pomiarów i wyliczony pułap tlenowy.

Podsumowanie

Większość komercyjnych urządzeń, takich jak to, jest testowane przy użyciu znormalizowanych mieszanek gazów w celu sprawdzenia dokładności ich czujników. Autorka nie testowała systemu w ten sposób, a bardziej martwiła się o dokładność pomiarów objętości z rurki Venturiego. Podczas konstruowania spirometru sprawdziła ona ten element z dość dużym przepływem (15 l/min) i stwierdziła, że pomiar jest dość dokładny, ale komercyjne laboratoria ustandaryzowały swoje obliczenia objętości na pomiarach objętości ok. 1 litra. Powstał tego rodzaju kalibrator, bazujący na dużej strzykawce i elementach z druku 3D. Zmierzona dokładność takiego pomiaru wynosi ±8%, co jest raczej dobrą dokładnością, jak na hobbystyczną konstrukcję. Niestety, co do wyznaczania samego VO_2max autorka nie miała okazji porównać swojej konstrukcji z urządzeniem komercyjnym.

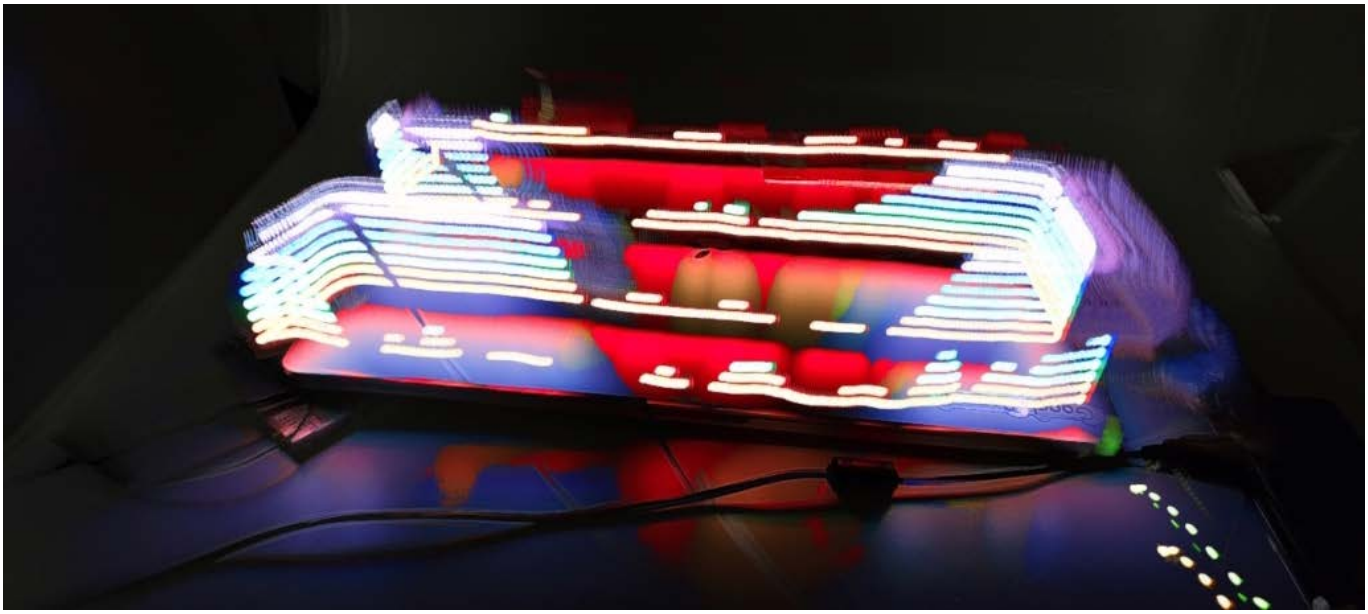
Samo korzystanie z układu jest proste. Wystarczy zrozumieć, co daje nam ten pomiar. Zasada jest prosta – jesteś silnikiem, który spala tlen i chcesz zwiększyć obroty silnika do czerwonej linii, a następnie zmierzyć, ile tlenu spalasz na minutę na kilogram masy swojego ciała. Prostota tego przenośnego urządzenia polega na tym, że można uprawiać swój ulubiony, męczący sport – bieganie, jazdę na rowerze itp. i używać tego instrumentu, gdy zbliża się koniec naszej wydolności. Pozwala to sprawdzać VO_2max. Można dodatkowo zamontować to urządzenie na zestawie okularów ochronnych, jak zwykłą fajkę do nurkowania, jeśli to wygodniejsze w danym zastosowaniu.

Jeśli chodzi o samo fizjologiczne znaczenie VO_2max, to istnieją ogromne ilości materiałów w Internecie i literaturze fachowej, ale tematyka zdrowia wykracza poza nasz artykuł – skupiamy się na elektronice, a reszty dowiedzieć można się z innych źródeł, skupiających się na tematyce ludzkiej fizjologii.

Nikodem Czechowski, EP

Bibliografia:
1. http://bit.ly/3XC41w1
2. https://www.instructables.com/3D-Printed-Spirometer/
3. https://www.instructables.com/3D-Printed-Snorkel/
4. https://bit.ly/3HyC9TW
5. https://www.biopac.com/wp-content/uploads/h19_bsl4.pdf
6. https://web.cortland.edu/buckenmeyerp/fall2004/labvo2.html

eprasa.pl 0667ee155a



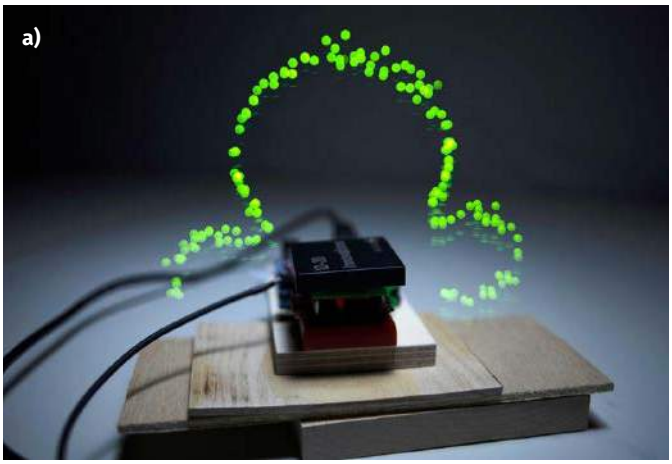
Resolve-Ables

wizualizacja zjawisk fizycznych za pomocą malowania światłem

Ludzkie zmysły są w znacznym stopniu ograniczone – widzimy tylko wąski wycinek widma promieniowania elektromagnetycznego, słyszymy tylko w wąskim zakresie częstotliwości, nie wspominając już o tym, że nie mamy żadnych zmysłów, mogących wyczuwać np. pole magnetyczne. Ten problem w sprytny sposób rozwiązują zaprezentowane poniżej urządzenia, które umożliwiają wizualizację tego, czego normalnie nasze zmysły nie widzą.

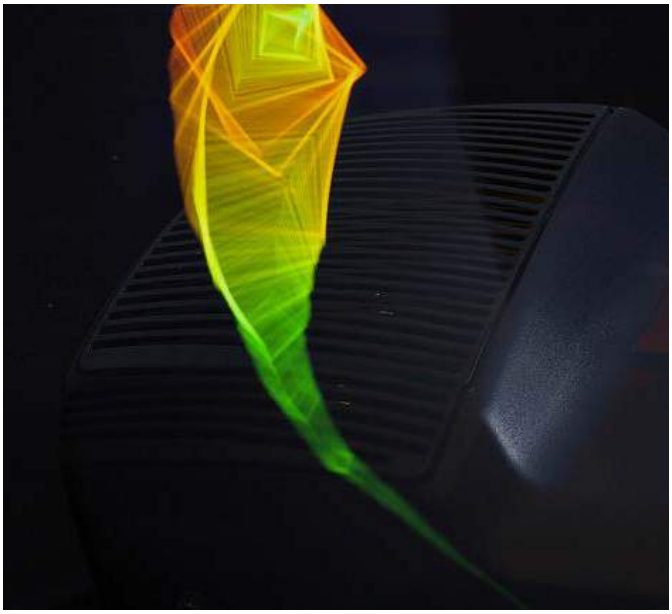
Zaprezentowany poniżej projekt jest wynikiem pracy magisterskiej z Instytutu ATLAS na University of Colorado, Boulder, jaką przygotował Chris Hill. Obecnie jest on doktorantem tego instytutu i bada interfejsy służące do ulepszania ludzkich zmysłów. Projekt Resolve-Ables to kolekcja urządzeń noszonych, które umożliwiają wizualizację zjawisk, których nie jesteśmy w stanie dostrzec naszymi biologicznymi zmysłami. Człowiek otoczony jest mnóstwem takich zjawisk, gdyż świat postrzega w bardzo ograniczony sposób, obserwując samodzielnie tylko wąski wycinek widm otaczającego nas promieniowania. Oczywiście, już od dawna możemy mierzyć, obserwować itd. te zjawiska z użyciem aparatury naukowej, jednak omówione w tym artykule proste układy nie mają realizować laboratoryjnych pomiarów tych zjawisk. Ich celem jest przetwarzanie tych pomiarów na intuicyjnie rozumiane przez ludzi reprezentacje, dzięki czemu urządzenia pokazane poniżej mogą funkcjonować, jako rozszerzenie naszych zmysłów.

Pomysł ten, jak i cały projekt, doskonale wpisują się w trend transhumanizmu. Jest to ruch występujący na pograniczu kultury, filozofii, technologii itd., który postuluje potrzebę rozwinięcia człowieka z użyciem nowoczesnej technologii. Realizacja tego rodzaju urządzeń może być doskonałym punktem wejścia do własnych badań w zakresie transhumanizmu.



Fotografia 1. Malowidła świetlne pochodzące z projektu Immaterials; a) wizualizacja natężenia pola wokół czytnika RFID; b) wizualizacja siły sygnału Wi-Fi

eprasa.pl 0667ee155a



Fotografia 2. Wizualizacja pola elektromagnetycznego za pomocą techniki fotograficznej malowania światłem autorstwa Luka Sturgeona i Shamika Raya

Tło, kontekst i inspiracja

Jak opisuje autor „katalizatorem tego projektu była dyskusja, którą przeprowadziłem z moim promotorem, Danielem Leithingerem we wrześniu na temat projektu Immaterials autorstwa Timo Arnalla, Jørna Knutsena i Einara Sneve Martinussena. Ta grupa używała komercyjnych lamp LED do wizualizacji pól skanera RFID i routera Wi-Fi". Działania w ramach projektu Immaterials pokazano na **fotografii 1**. „Kilka innych projektów również zainspirowało wizualizacje, które chcę wykonać w ramach tej pracy" dodaje Hill. Wskazuje on na projekty takie, jak mierzący pole elektromagnetyczne (EMF) Light Paintings autorstwa Luka Sturgeona i Shamika Raya (**fotografia 2**) oraz obrazy świetlne autorstwa Anthonego Devincenziego (**fotografia 3**) wizualizujące pole wokół urządzeń codziennego użytku. Nie są to jedyne dzieła, które realizują malowanie światłem, jakie wskazuje autor, ale pozostałe z nich mają raczej tylko aspekt estetyczny, a nie techniczny, więc ich omawianie zostało pominięte.

Resolve-Ables

Nazwa Resolve-Ables pochodzi od angielskiego słowa dotyczącego rozdzielczości mikroskopu, pozwalającej na rozdzielanie, czy też dostrzeganie pewnych cech. Dodatek *ables*, czyli *zdolni* wskazuje, na przekazywanie pewnych zdolności. W tym przypadku, chodzi właśnie o zdolność do dostrzegania pewnych cech, których normalnie – nieuzbrojonym okiem – nie da się dostrzec.

Systemy Resolve-Ables skupiają się na wizualizacji zjawisk za pomocą urządzeń noszonych. Techniką, którą autor wybrał do wizualizacji jest tzw. malowanie światłem, technika fotograficzna, która wykorzystuje długi czas naświetlania aparatu i ruchome źródło światła do tworzenia wizualizacji. Eksperymentalny charakter

Fotografia 3. Wizualizacja pola wokół wiertarki zrealizowana przez Anthonego Devincenziego z użyciem malowania światłem

projektu sprawia, że w ramach tej techniki autor sporo eksperymentował z różnymi koncepcjami technicznymi. Pozwoliło to lepiej zilustrować te koncepcję w projekcie. Cały projekt składa się z trzech głównych urządzeń:

1. Urządzenie noszone, które może wykrywać pola magnetyczne w otoczeniu i steruje diodami LED umieszczonymi na dłoni użytkownika.
2. Sztuczny nos (AI), który może wizualizować przewidywalny zapach, korzystając z wbudowanego klasyfikatora.
3. System, który może wizualizować częstotliwości ultradźwiękowe za pomocą skryptu p5.js.

Pola magnetyczne

„Od czasu, gdy wszczepiłem sobie pierwszy implant magnetyczny (magnes wszczepiony pod skórę, który pozwala wyczuwać pola magnetyczne, ferromagnetyki itd. – przyp. red.), mam obsesję na punkcie pól magnetycznych" mówi tytułem wstępu do tej konstrukcji Hill. Chciał on znaleźć jakiś sposób na podzielenie się wrażeniem z posiadania wspomnianego implantu magnetycznego z innymi ludźmi. Zaprezentowany pomysł polega na wizualizacji natężenia pola magnetycznego za pomocą lekkiego urządzenia do noszenia, które może wizualizować świetlnie wyniki pomiarów. Po wykryciu pola magnetycznego za pomocą czujnika GMR moduł diodowy NeoPixel zaświeci się, aby wizualizować siłę pola, a podczas fotografowania przy użyciu długiego czasu naświetlania można wizualizować różne pola lub ich rozkład w przestrzeni. Sposób, w jaki świecą diody, można przeprogramować, aby uzyskać kilka interesujących efektów (miganie, różne kolory, zmieniająca się liczba podświetlonych pikseli itp.), aby stworzyć interesujące wizualnie kombinacje.

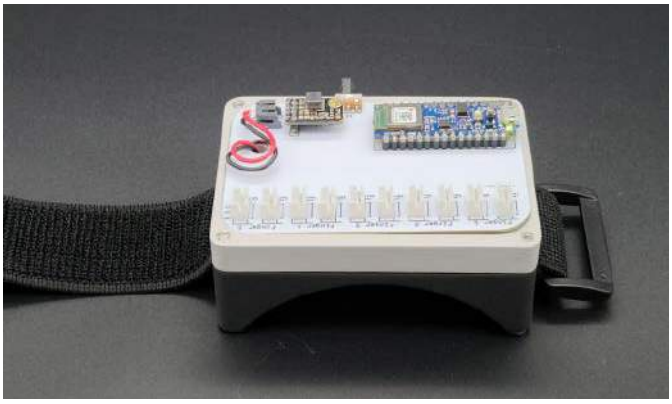
Na **fotografii 4** pokazano wszystkie elementy potrzebne do budowy tego układu. Cała elektronika montowana jest na płytce drukowanej (pliki gerber do jej produkcji znaleźć można na stronie z projektem), na której instalowane są następujące moduły:

- Arduino Nano (Autor użył wersji 33 BLE),
- Przetwornica Adafruit MiniBoost 5 V z układem TPS61023,
- Złącza JST PH 2.0.

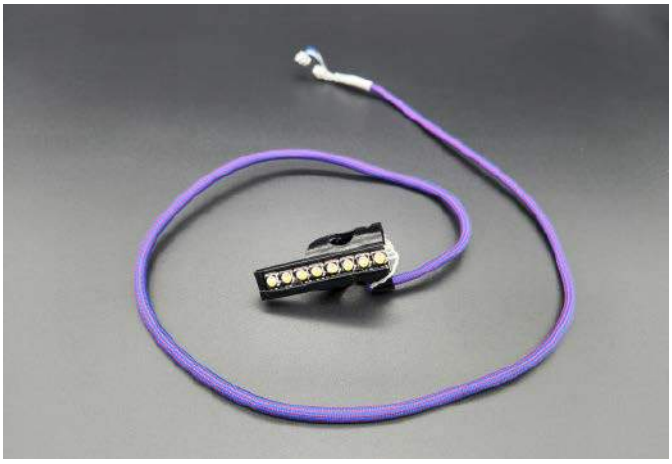
Główna płytka z elektroniką jest instalowana w plastikowej obudowie, wraz z baterią, włącznikiem itp. Pliki, potrzebne do druku plastikowych elementów obudowy, dostępne są na stronie z projektem w portalu Instructables. Moduł ten montowany jest na nadgarstku za pomocą paska z rzepem. Zmontowany moduł, bez zamkniętej obudowy, pokazano na **fotografii 5**.

Fotografia 4. Wszystkie elementy potrzebne do budowy układu

eprasa.pl 0667ee155a



Fotografia 5. Urządzenie do wizualizacji pola magnetycznego, element montowany na nadgarstku



Fotografia 6. Moduł sensora i diod RGBW do noszenia na palcu podczas korzystania z urządzenia

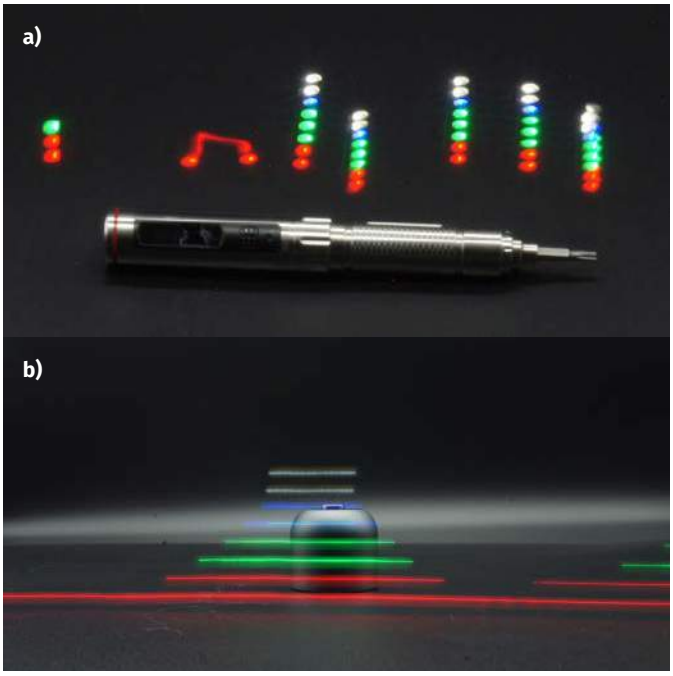
Głównym elementem tego urządzenia jest moduł z sensorem AAH002-02E składający się z samego sensora i wzmacniacza różnicowego. Wraz z modułem diodowym Neopixel montowany jest on na palcu użytkownika za pomocą niewielkiego plastikowego uchwytu (**fotografia 6**). Zastosowany moduł sensora korzysta z analogowego modułu bazującego na efekcie gigantycznego magnetooporu. Sam sensor umieszczony jest w mostku pomiarowym, polaryzowanym napięciem zasilania. Napięcie niezrównoważenie tego mostka mierzone jest z pomocą prostego wzmacniacza różnicowego, którego wzmocnienie skonfigurowano na 25 V/V. Napięcie wyjściowe z tego modułu zależne jest od pola magnetycznego i, jak to w przypadku mostków Wheatstone'a, napięcia zasilania. Typowa czułość sensora wynosi 3,75 V/V/mT.

Sensor dołączony jest do wejścia analogowego modułu Arduino (A0). Wbudowany przetwornik analogowo-cyfrowy mierzy to napięcie. Odczytany kod ADC jest następnie przekształcany z 10 bitów na 8 bitów, które służą do wysterowania koloru diod RGB:

```
sensorValue = analogRead(A0);
outputValue = map(sensorValue, 0, 1023, 0, 255);
```

Diody połączone są ze sobą szeregowo interfejsami sterującymi. Do obsługi dołączonych diod RGB użyto biblioteki Adafruit NeoPixel. Dokładny algorytm konwersji wartości *outputValue* na układ kolorów na ośmiu diodach może być różny – na stronie z projektem znaleźć można trzy różne szkice Arduino, implementujące różne zachowanie diod:

- Liniowa zmiana koloru (od czerwonego do białego – R, G, B, W), wraz z zapalaniem poszczególnych diod na pasku,
- Zapalanie poszczególnych diod na pasku, ale wszystkie diody są białe,
- To samo, co w pierwszym przypadku, ale diody migają. Daje to ciekawy efekt na zdjęciach, podczas malowania światłem, gdyż diody mrugając, nie rysują ciągłych linii, a punkty lub rozłączone kreski (w zależności od prędkości ruchu ręki w czasie ekspozycji zdjęcia).



Fotografia 7. Rezultaty pomiarów pola magnetycznego za pomocą modułu do „malowania światłem"

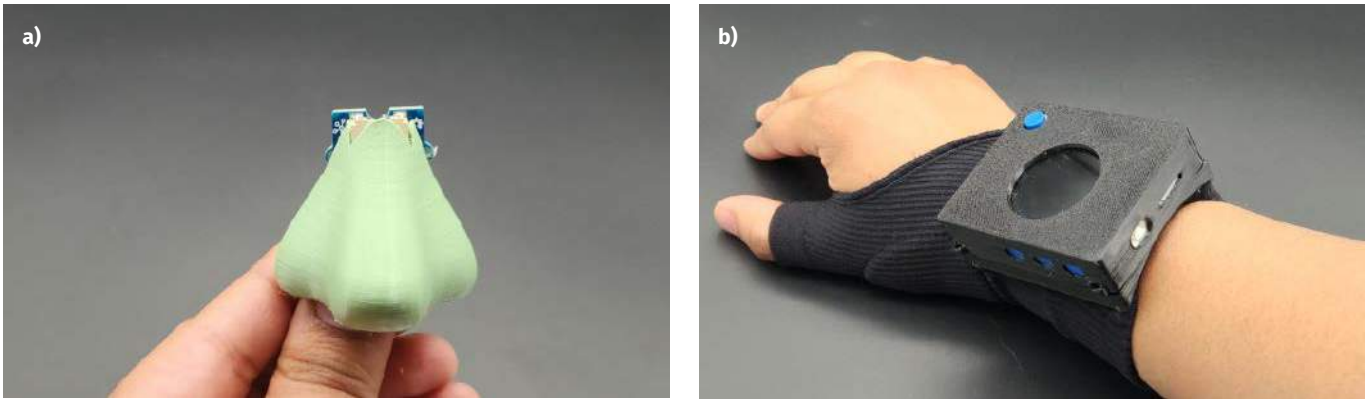
Zaprogramowany sensor można od razu użyć do malowania światłem. Aparat konfigurujemy do bardzo długiej ekspozycji (ustawiając stosownie wszystkie inne parametry: wartość ISO, przysłonę itd.), najlepiej w ciemności. Przesuwamy następnie modułem w miejscu, gdzie chcemy obrazować pole magnetyczne. Wyniki takiego działania pokazano na **fotografii 7**.

Zapach

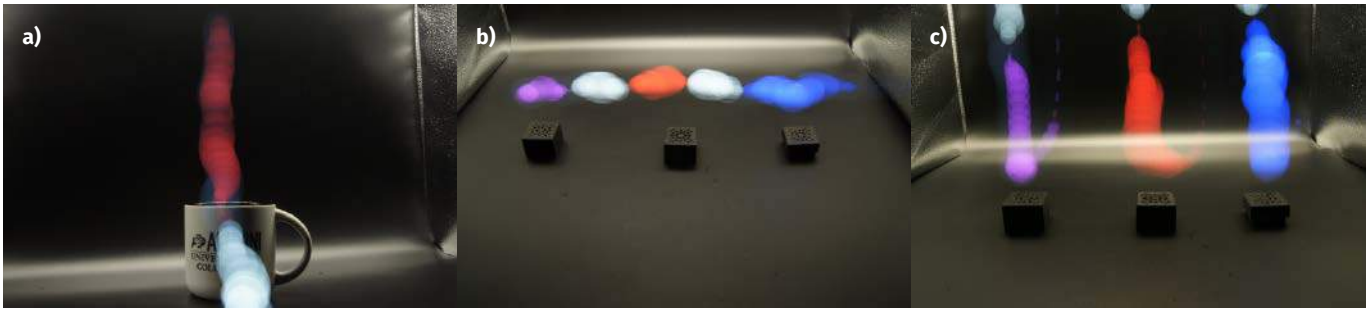
Kolejnym rozszerzeniem naszej percepcji, zostało urządzenie do wizualizowania zapachów. System ten wykorzystuje wielokanałowy sensor gazowy oraz algorytmy uczenia maszynowego, do identyfikacji zapachów. Kompletny moduł pokazano na **fotografii 8**. Sercem układu jest Seeed Studio Wio Terminal – moduł oparty na mikrokontrolerze SAMD51, który oprogramować można za pomocą Arduino lub MicroPythona. Moduł ten wyposażony jest między innymi w wyświetlacz TFT o wielkości 2,4" i dostatecznie dużą moc obliczeniową, aby uruchamiać modele AI w czasie zbliżonym do rzeczywistego.

Fotografia 8. Moduł do wizualizacji zapachów z elektronicznym nosem

eprasa.pl 0667ee155a



Fotografia 9. Plastikowy nos, pełniący funkcję obudowy dla sensora gazów jest połączony z modułem zamontowanym na nadgarstku z wycięciem dla fragment ekranu



Fotografia 10. Namalowana światłem wizualizacja zapachów

Szybka analiza danych zbieranych przez wielokanałowy sensor gazowy firmy Grove jest istotna w przypadku malowania światłem, ponieważ, musimy przesuwać sensor w czasie robienia zdjęcia, a ruch ten nie może być nazbyt wolny, inaczej czasy ekspozycji zdjęcia rozciągałyby się w nieskończoność.

Moduł sensora gazowego, to cztery sensory gazowe podłączone do jednego kontrolera, z wspólnym adresem I²C. Na pokładzie płytki znajdziemy:

- GM-102B – sensor dwutlenku azotu (NO_2),
- GM-302B – sensor par alkoholu etylowego,
- GM-502B – czujnik lotnych związków organicznych (wykrywa pary etanolu, formaldehydu, toluenu itp.),
- GM-702B – czujnik wodoru (H_2) i tlenku węgla (CO).

Użytkując ten moduł należy pamiętać, że sensory te do działania osiągać muszą dosyć wysoką wewnętrzną temperaturę obszaru aktywnego. Nie działają, zanim jej nie osiągną, wiec po uruchomieniu muszą się nagrzać, by móc pracować z odpowiednią dokładnością i czułością.

Sensor umieszczony są w wydrukowanym w 3D, plastikowym… nosie (patrz **fotografia 9a**). Połączony jest on przewodem z modułem Wio Terminal, jaki umieszczono na elastycznym pasku na nadgarstku. Ekran urządzenia jest w większości zakryty, pozostawione jest tylko okrągłe wycięcie (**fotogtrafia 9b**). Koresponduje ono z kolorowym okręgiem, jaki wyświetlany jest na ekranie w czasie pracy.

Oprogramowanie, umieszczone w repozytorium na GitHubie, składa się z kilku elementów napisanych w Pythonie i Arduino. Kluczowy element skryptu (**listing 1**), to ten, który wykorzystuje wyniki działania klasyfikatora (*result.classification*) i na ich podstawie wyświetla okrąg w kolorze zielonym, białym lub czerwonym, w zależności od klasyfikacji zapachu, jaki wykrył sensor. Układ uczony był na dwóch zapachach – perfum Creed i eukaliptusa.

```
Listing 1. Kluczowy fragment skryptu sensora zapachów

if(result.classification[max_idx].label == "creed"){
max_val = mapFloat(max_val, 0.0, 1.0, 0, 115);
tft.fillCircle(160, 120, max_val, TFT_GREEN);
}
if(result.classification[max_idx].label == "ambient"){
max_val = mapFloat(max_val, 0.0, 1.0, 0, 115);
tft.fillCircle(160, 120, max_val, TFT_WHITE);
}
if(result.classification[max_idx].label == "eucalyptus"){
max_val = mapFloat(max_val, 0.0, 1.0, 0, 115);
tft.fillCircle(160, 120, max_val, TFT_RED);
}
```

Jeśli chcemy wytrenować algorytm AI do rozpoznawania innych zapachów, autor podaje link do tutoriala poświęconego uczeniu klasyfikatora, zastosowanego w algorytmie. Pozwala to zmodyfikować ilość i rodzaj wykrywanych zapachów, aby dostosować system do naszych potrzeb. Teraz pozostaje tylko ustawić pachnące przedmioty, skonfigurować odpowiednio aparat (długi czas naświetlania) i zrobić zdjęcie, aby uzyskać efekt taki, jak pokazano na **fotografii 10**.

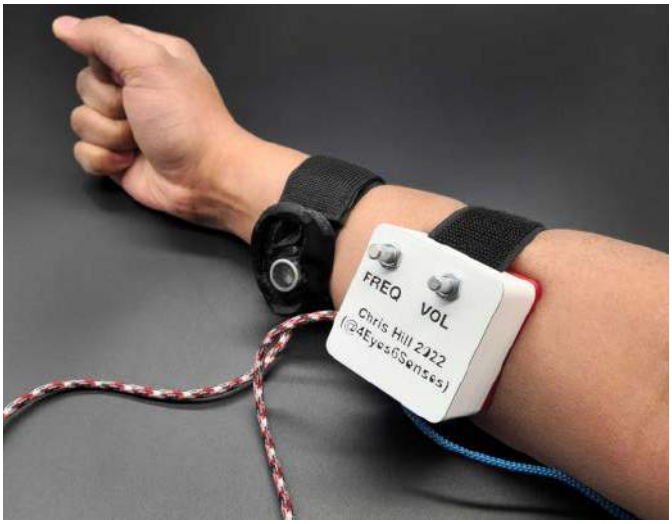
Ultradźwięki

Ostatnim urządzeniem z omawianej serii, jest układ do obrazowania ultradźwięków. Układ ten, który Hill nazywa „trzecim uchem" umożliwia słuchanie, jak i wizualizację częstotliwości ultradźwiękowych. Dla ludzi, normalny zakres słyszalności, obejmuje częstotliwości od około 20 Hz do 20 kHz. Zaczyna się od maksymalnej częstotliwości słyszenia 20 kHz, jako niemowlę, a jako dorośli słuch pogarsza się do słyszenia doi około 17 kHz lub niżej. Przedstawionym w projekcie trzecim uchem można wykrywać czy nawet usłyszeć częstotliwości od 20 kHz do 100 kHz, umożliwiając zupełnie nowe poznawanie otoczenia. Można słyszeć te częstotliwości w czasie rzeczywistym za pomocą przewodowych słuchawek lub wizualizować zjawiska za pomocą skryptu napisanego na komputerze. Urządzenie może również umożliwić przyjęcie nowej perspektywy, ponieważ można usłyszeć częstotliwości podobne do tych słyszanych przez psa (40 kHz), kota (64 kHz) czy nietoperza (100 kHz).

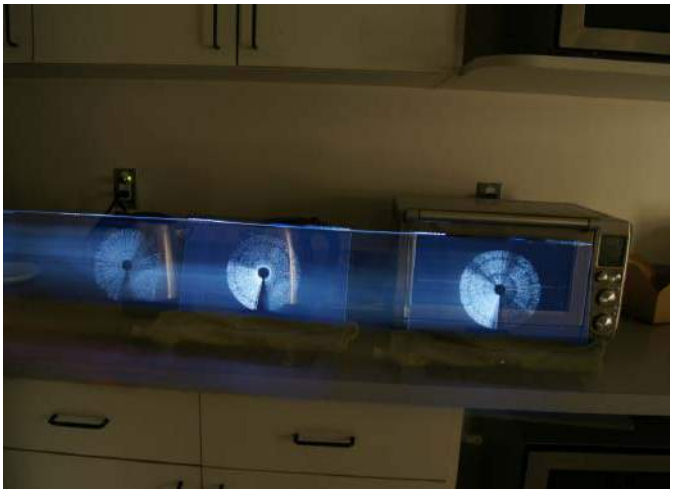
Urządzenie zbiera sygnały z zakresu częstotliwości ultradźwiękowych w pasmie od 20 kHz do 100 kHz i przekształca je w zakres, słyszalny (20 Hz…20 kHz). Moduł można wykorzystać, aby słuchać sygnałów w czasie rzeczywistym lub nagrywać je na komputerze w celu tworzenia wizualizacji Nic nie stoi na przeszkodzie również, by wykorzystać je w inny, kreatywny sposób do wizualizacji sygnałów ultradźwiękowych, jak w powyższych przypadkach.

Trzecie ucho pokazane jest na **fotografii 11**. System składa się z wydrukowanego w 3D modelu małżowiny usznej, w której zainstalowano

eprasa.pl 0667ee155a



Fotografia 11. Układ do „słuchania" ultradźwięków



Fotografia 12. Zdjęcie obrazowanego obszaru wraz z nałożonymi, wygenerowanymi widmami

mikrofon piezoelektryczny, pozwalający na zbieranie ultradźwięków, oraz modułu z kitem, który oryginalnie był przeznaczony do podsłuchiwania nietoperzy. W Internecie znaleźć można wiele rozwiązań tego problemu. W przypadku wspomnianego zestawu, zastosowano scalony odbiornik radiowy TA2003, który może demodulować sygnały AM i FM. W tym przypadku wykorzystywana jest część odpowiedzialna za modulację AM. Na wejście sygnału radiowego podawany jest sygnał z mikrofonu, a na wejście demodulujące sygnał z prostego generatora sygnału na timerze NE555. Demoduluje to ultradźwięki, przekształcając sygnał do pasma akustycznego.

Akustyczny sygnał wyjściowy wzmacniany jest za pomocą op-ampa i podawany na słuchawki, które założone są na uszach użytkownika lub przekazywany do komputera, gdzie specjalny skrypt w JavaScripcie wylicza i wizualizuje widmo sygnału. Na **fotografii 12** pokazano zdjęcie obrazowanego obszaru wraz z nałożonymi, wygenerowanymi widmami.

Podsumowanie

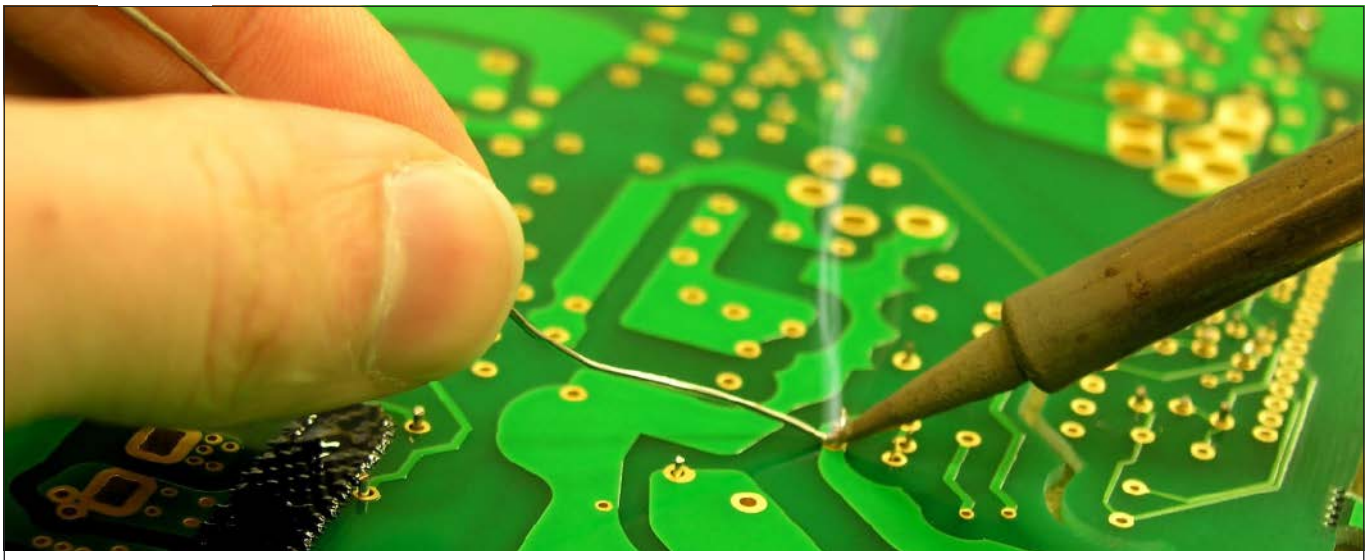
Jakkolwiek podstawowe motywacje tego projektu były raczej artystyczne, to jest on bardzo ciekawym punktem wyjścia do wszelakich konstrukcji, mających poszerzać nasze zmysły. Autor, Chris Hill, zaprezentował ciekawe sensory, które pozwalają na pomiar natężenia pola magnetycznego czy też analizę sygnałów ultradźwiękowych. Dodatkowo, zaprezentowany został system, który umożliwia analizowanie – w ograniczonym zakresie – zapachów, bazując na pięciu, relatywnie prostych sensorach gazowych.

System wizualizacji powyższych pomiarów zapewnia intuicyjnie zrozumiały sposób prezentacji danych. Malowanie światłem pozwala uzyskać nie tylko ładne i ciekawe efekty, ale także w prosty sposób zaprezentować wyniki pomiarów. Wadą tego podejścia jest brak możliwości prezentacji pomiarów w ścisły sposób, z pomiarami ilościowymi… ale czy nasze zmysły potrafią to robić?

Nikodem Czechowski, EP

Bibliografia:
1. https://chrisnhill.com/portfolio__trashed/resolve-ables/
2. http://bit.ly/401g3Rt
3. https://github.com/ChristianNHill/Magnetic-Fields-LPainting
4. http://bit.ly/404wnkd
5. https://github.com/ChristianNHill/AI-Nose-LPainting
6. http://bit.ly/3R9rhPy
7. http://bit.ly/3kHhcxi
8. http://bit.ly/3H8rxKf

REKLAMA



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

eprasa.pl 0667ee155a

Kurs FPGA Lattice (4)

Generator, dzielnik i licznik

W tej części kursu nauczymy się używać generatora sygnału zegarowego w FPGA Lattice MachXO2 i zastosujemy go do taktowania prostych układów sekwencyjnych. Sprawdzimy, ile zasobów zużywa nasz kod, a następnie skorzystamy z timera wbudowanego w FPGA MachXO2, aby zaoszczędzić uniwersalne zasoby logiczne.

Uproszczony schemat układu, jaki zbudujemy w dzisiejszym odcinku kursu, został pokazany na **rysunku 1**. Centralną częścią układu będzie 4-bitowy licznik, zliczający w kodzie binarnym od 0 do 15, lub od 15 do 0 w zależności od kierunku, jaki wybierzemy przyciskiem. Stan licznika będzie wyświetlany na czterech diodach LED, podłączonych do pinów układu FPGA poprzez rezystory ograniczające prąd. Pomiędzy licznikiem a diodami umieścimy bufor trójstanowy sterowany przyciskiem. Kiedy przycisk zostanie wciśnięty, wówczas wszystkie wyjścia układu ustawią się w stan wysokiej impedancji, a w rezultacie diody natychmiast przestaną świecić. W ten sposób zapoznamy się z układem TSALL. Licznik będzie miał możliwość liczenia w górę lub w dół, a kierunek liczenia będzie wybierany przyciskiem, ponadto jego stan będzie można wyzerować przy pomocy sygnału resetującego, poprowadzonego przez globalną linię resetującą.

W projekcie zastosujemy wbudowany generator RC jako źródło sygnału zegarowego. Częstotliwość tego sygnału jest za duża, by ludzkie oko dostrzegło pracę licznika, więc pomiędzy generatorem a licznikiem umieścimy dzielnik częstotliwości w dwóch wersjach – jeden zbudowany z uniwersalnych zasobów logicznych FPGA, a drugi przy pomocy gotowego timera wbudowanego w strukturę FPGA. Zobaczymy ile zasobów uda się zaoszczędzić dzięki drugiemu rozwiązaniu.

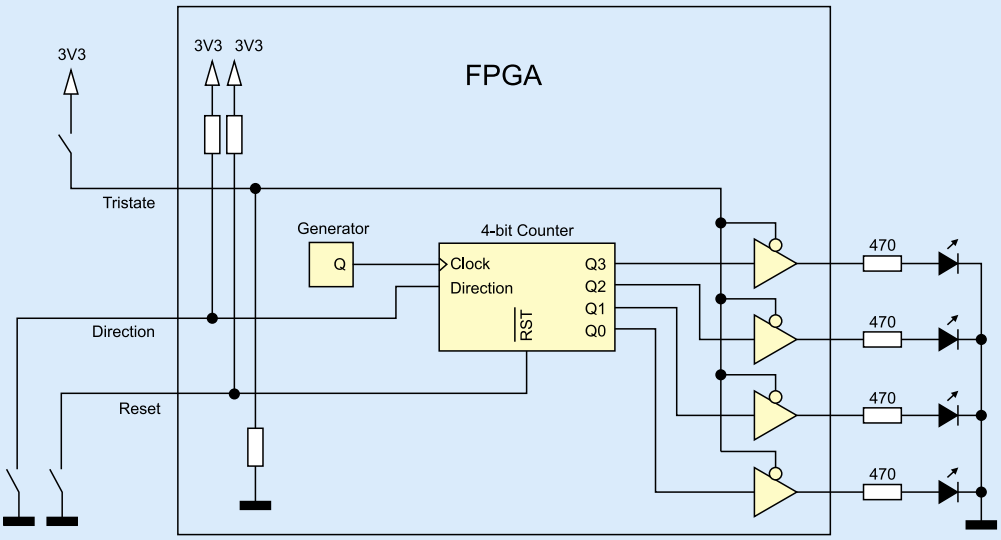
Zaczynamy

Przeanalizujmy kod pokazany na **listingu 1**. Należy go zapisać w pliku *top.v*. Oprócz portów widocznych na schemacie poniżej, dostępne jest także wyjście sygnału zegarowego o częstotliwości 1 Hz. Można z niego skorzystać w celach diagnostycznych. Zwróć uwagę, że wyjście LED jest typu *reg*.

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

Tristate All oraz Global Set/Reset

W pierwszej kolejności (na rozgrzewkę) utworzymy bufor trójstanowy na pinach GPIO. Układy MachXO2 wyposażone są w peryferium TSALL. Musimy utworzyć instancję tego obiektu, nadając mu dowolną nazwę (ale inną od jakichkolwiek wcześniej użytych nazw). W naszym przykładzie będzie to *TriStateBuffer*.



Rysunek 1. Uproszczony schemat układu dla tego odcinka kursu FPGA

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

eprasa.pl 0667ee155a

Ma on tylko jedno wejście, które również nazywa się TSALL. Należy je połączyć z sygnałem sterującym – w naszym przypadku będzie to sygnał TristateAll, który podłączony jest do przycisku. Stan wysoki na wejściu TSALL powoduje, że wszystkie piny GPIO układu FPGA ustawiają się w stan wysokiej impedancji – czyli nie emitują ani stanu ani 1, ani 0. Będzie się to objawiać natychmiastowym wygaszeniem wszystkich diod LED podłączonych do FPGA.

Kolejnym układem jaki zastosujemy jest GSR czyli *Global Set/Reset*. W naszym przykładzie instancja tego modułu zostanie nazwana GlobalSetReset. Sygnał podłączony do wejścia GSR zostanie rozprowadzony do reszty układów przy pomocy specjalnych linii resetujących, wbudowanych w strukturę FPGA. Alternatywą jest prowadzenie sygnałów resetujących przy pomocy uniwersalnych zasobów, które są stosowane do wszystkich innych sygnałów. Jednak to pierwsze rozwiązanie jest szybsze i bezpieczniejsze.

Nie ma potrzeby, by w każdym projekcie stosować TSALL i GSR. Syntezator na ogół sam odnajdzie sygnał resetujący. Możemy to zweryfikować w Netlist Analyzer, co zostało opisane dokładniej w poprzednim odcinku kursu. Więcej na temat peryferiów TSALL, GSR i PUR znajdziesz w linku [1].

Listing 1. Moduł top pierwszego przykładu

```
module top(
    input Reset,            // Pull-up, 1 – normalna praca, 0 – reset
    input Direction,        // Pull-up, kierunek liczenia, 1 – w górę, 0 – w dół
    input TristateAll,      // Pull-down, sterowanie buforem trójstanowym
    output reg [3:0] LED,   // 4 diody
    output Clock1Hz         // Wyjście sygnału zegarowego o częstotliwości 1Hz
);

    // Bufor trójstanowy na wszystkich pinach
    TSALL TriStateBuffer(
    .TSALL(TristateAll)     // 0 – normalna praca, 1 – wszystkie piny HI-Z
    );

    // Global set reset
    GSR GlobalSetReset(
    .GSR(Reset)             // 0 – reset aktywny, 1 – normalna praca
    );

    // Generator sygnału zegarowego 2.08 MHz
    wire Clock2M08;
    defparam Generator1.NOM_FREQ = "2.08";
    OSCH Generator1(
    .STDBY(!Reset),         // Tryb standby, 1 – generator wyłączony, 0 – praca
    .OSC(Clock2M08),        // Wyjście sygnału zegarowego
    .SEDSTDBY()             // Tylko do symulacji
    );

    // Dzielnik częstotliwości w module Divider
    Divider DzielnikCzestotliwosci1(
    .Clock2M08(Clock2M08),  // Wejście sygnału o wysokiej częstotliwości
    .Reset(Reset),          // Wejście resetujące
    .Clock1Hz(Clock1Hz)     // Wyjście sygnału o niskiej częstotliwości
    );

    // Licznik dwukierunkowy
    always @(posedge Clock1Hz, negedge Reset) begin
    if(!Reset)
        LED <= 4'd0;
    else
        if(Direction)
        LED <= LED + 1'b1;
        else
        LED <= LED – 1'b1;
    end

endmodule
```

Generator sygnału zegarowego

Trzecim układem peryferyjnym jaki musimy zainicjować jest generator sygnału zegarowego OSCH (niektóre FPGA Lattice mają generator sygnału o niskiej częstotliwości, który nazywa się OSCL). Instancja tego układu będzie nosić nazwę Generator1 – podobnie jak w przypadku GSR i TSALL, możemy utworzyć tylko jedną instancję tego peryferium.

Moduł OSCH ma trzy porty:

1. STDBY służy do włączania i wyłączania generatora. Kiedy STDBY jest w stanie niskim, wówczas generator pracuje, a kiedy jest w stanie wysokim to wchodzi w stan uśpienia. Do STDBY możemy podłączyć zanegowany sygnał resetujący, a jeżeli chcemy, by generator działał zawsze, to można ten sygnał na zawsze ustawić w stan niski, wpisując *1'b0*,
2. OSC to wyjście generatora, na którym uzyskujemy sygnał zegarowy o stałej częstotliwości. Wyprowadzimy ten sygnał przy pomocy zmiennej *wire* Clock2M08,
3. SEDSTDBY możemy pozostawić niepodłączone do niczego, ponieważ jest potrzebne tylko na potrzeby symulacji.

Jest jeszcze jedna rzecz jaką musimy ustawić – częstotliwość sygnału, jaką chcemy otrzymać. W tym celu musimy posłużyć się instrukcją defparam, której jeszcze w tym kursie nie widzieliśmy. Przy pomocy tej instrukcji można skonfigurować moduły, których instancje tworzymy – np. można ustawić liczbę bitów licznika czy rozmiar pamięci.

Parametr NOM_FREQ definiuje częstotliwość sygnału zegarowego. Należy go ustawić na jedną z dostępnych możliwości, które opisano w rozdziale 20 instrukcji *MachXO2 sysCLOCK PLL Design and User*

Listing 2. Moduł dzielnika częstotliwości

```
module Divider(
    input Clock2M08,        // Wejście sygnału o wysokiej częstotliwości
    input Reset,            // Wejście resetujące, 0 resetuje
    output reg Clock1Hz     // Wyjście sygnału o niskiej częstotliwości
);

    reg [19:0] Counter = 20'd0;
    always @(posedge Clock2M08, negedge Reset) begin
    if(!Reset) begin
        Counter <= 20'd0;
        Clock1Hz <= 1'b0;
    end
    else begin
        if(Counter == 2080000 / 2 – 1) begin
        Clock1Hz <= !Clock1Hz;
        Counter <= 20'd0;
        end else begin
        Counter <= Counter + 1'b1;
        end
    end
    end

endmodule
```

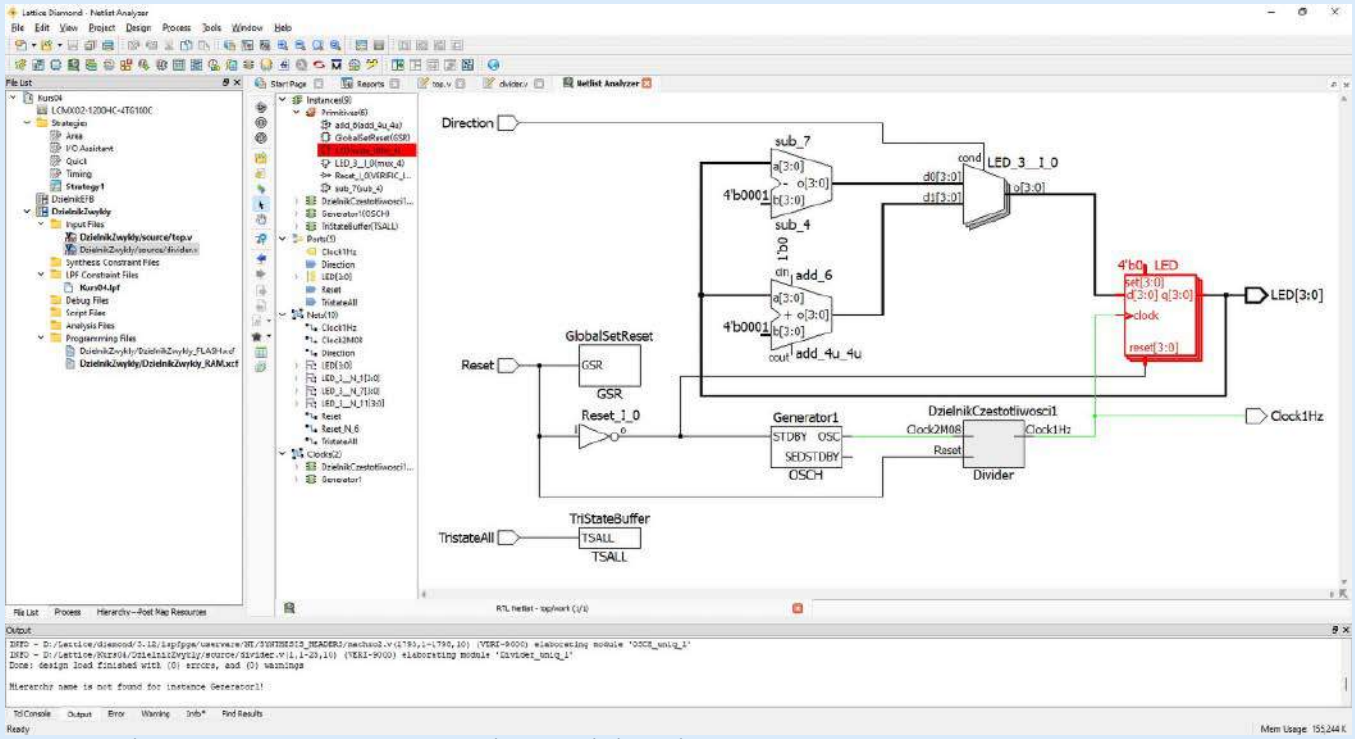
Table 20.3. OSCH Supported Frequency Settings

2,08	4,16	8,31	15,65
2,15	4,29	8,58	16,63
2,22	4,43	8,87	17,73
2,29	4,59	9,17	19,00
2,38	4,75	9,50	20,46
2,46	4,93	9,85	22,17
2,56	5,12	10,23	24,18
2,66	5,32	10,64	26,60
2,77	5,54	11,08	29,56
2,89	5,78	11,57	33,25
3,02	6,05	12,09	38,00
3,17	6,33	12,67	44,33
3,33	6,65	13,30	53,20
3,50	7,00	14,00	66,50
3,69	7,39	14,78	88,67
3,91	7,82	15,65	133,00

Rysunek 2. Fragment dokumentacji pokazujący możliwe częstotliwości sygnału zegarowego

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

eprasa.pl 0667ee155a



Rysunek 3. Widok schematu powstałego po syntezie kodu z listingu 1 i 2.

Guide dostępnej pod linkiem [2]. Screenshot tabeli z możliwymi ustawieniami znajduje się na **rysunku 2**. Mamy możliwość uzyskania sygnału zegarowego o częstotliwości od 2,08 MHz do 133 MHz. Wybierzmy najmniejszą – ona jest i tak zbyt duża, by sterować nią diodami LED. Dlatego musimy zastosować dzielnik częstotliwości.

Dzielnik częstotliwości

Przeskoczmy z pliku *top.v* do pliku *divider.v*, gdzie znajduje się moduł Divider, którego kod pokazuje **listing 2**. Celem tego modułu jest przetworzenie sygnału wejściowego Clock2M08 o częstotliwości 2,08 MHz w taki sposób, aby uzyskać sygnał wyjściowy Clock1Hz o częstotliwości 1 Hz, która będzie odpowiednia do migania diodami LED.

Idea działania modułu jest bardzo prosta. Przy każdym zboczu rosnącym sygnału zegarowego Clock2M08, inkrementowany jest licznik Counter. Licznik zaczyna liczyć od zera i liczy aż do momentu, kiedy osiągnie wartość 1039999. Wtedy licznik jest zerowany, a stan wyjścia *reg* Clock1Hz jest odwracany. Taki algorytm pozwala uzyskać sygnał o częstotliwości 1 Hz i wypełnieniu 50%.

Musimy jeszcze wyjaśnić, skąd wzięła się liczba 1039999. Sygnał wejściowy ma częstotliwość 2080000 Hz. Zatem gdyby licznik liczył od 0 do 2079999, osiągnąłby wartość maksymalną dokładnie co jedną sekundę. Jednak nas interesuje, aby stan sygnału Clock1Hz zmieniać co pół sekundy, aby uzyskać częstotliwość 1 Hz. Zatem musimy wejściową częstotliwość podzielić przez dwa, czyli musimy zliczyć 1040000 impulsów, a więc liczymy od 0 do 1039999.

Zastanówmy się, ile bitów powinien mieć licznik Counter. Powinno być ich tyle, aby „pomieścić" największą wartość, którą ma przechowywać. Aby to określić, liczbę 1039999 musimy przeliczyć (np. kalkulatorem Windows) na system binarny – jest to 1111_1101_1110_0111_1111. Liczymy bity i okazuje się, że potrzebujemy zmiennej 20-bitowej.

Licznik dwukierunkowy

Wróćmy do bloku always, który występuje po inicjalizacji wszystkich peryferiów w listingu 1. Jest to nasz właściwy licznik, który pokazano na rysunku 1, sterujący czterema diodami LED. Licznik jest układem sekwencyjnym, reagującym na zbocze rosnące (posedge) sygnału Clock1Hz. Licznik może być asynchronicznie wyzerowany przy pomocy sygnału Reset – zerowanie następuje natychmiast po wystąpieniu zbocza opadającego (negedge) i trwa tak długo, dopóki sygnał Reset pozostaje w stanie niskim.

Sygnał Direction decyduje o kierunku liczenia. Jeżeli jest w stanie wysokim, to wartość licznika jest zwiększana o 1 przy każdym takcie zegara, a kiedy jest w stanie niskim, to wartość licznika jest pomniejszana o 1. Zwróćmy uwagę, że sygnał Direction nie występuje na liście wrażliwości bloku always @(). Oznacza to, że stan tego sygnału jest istotny tylko w momencie, kiedy zmienia się stan jednego z sygnałów występujących na liście wrażliwości – w tym przypadku w momencie zbocza rosnącego posedge Clock1Hz. W innych przypadkach stan tego sygnału jest zupełnie nieistotny. Może się zmieniać w dowolny sposób i nie będzie to miało wpływu na nic.

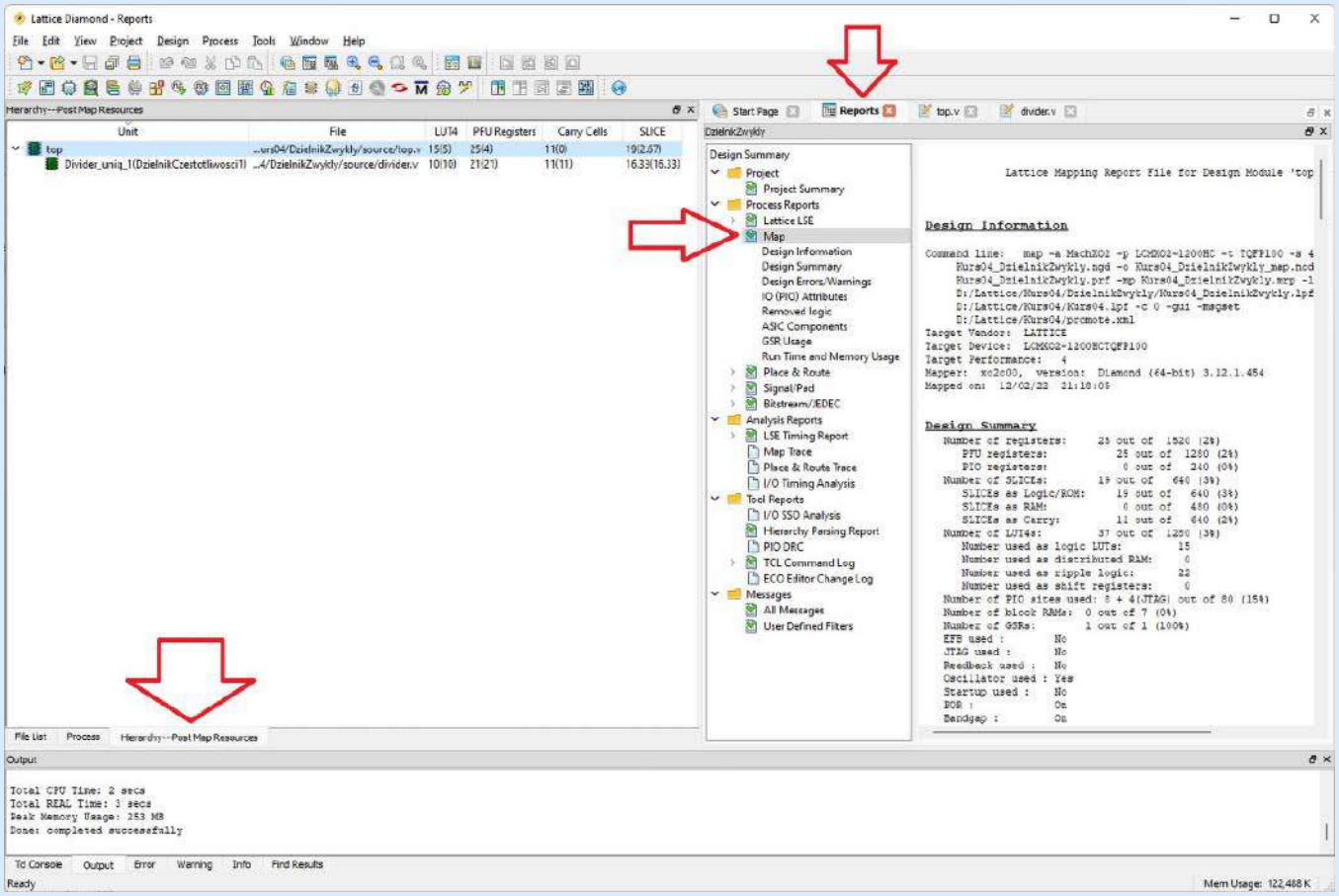
Jak to działa?

Spróbujmy przeanalizować jak działa kod z listingów 1 i 2, ale pod względem sprzętowym, bowiem abstrakcyjne polecenia języka Verilog prowadzą do syntezy fizycznych bramek, przerzutników i innych elementów, które pracują w strukturze układu FPGA. Uruchom syntezę, a następnie kliknij *Tools* i *Netlist Analyzer*. Powinien pokazać się widok jak na **rysunku 3**. Po lewej stronie schematu widzimy wejścia Direction, Reset i TristateAll, a po prawej znajduje się wyjście LED[3:0] oraz Clock1Hz. Analizę zacznijmy od sygnału resetującego. Jest to sygnał, który łączy **GlobalSetReset**, **Generator1**, **DzielnikCzestotliwosci1** oraz finalnie licznik LED, który zaznaczyłem na czerwono.

Licznik LED sterowany jest sygnałem zegarowym, zaznaczonym na zielono, doprowadzonym do wejścia clock. Na schemacie widać wyraźnie, że sygnał zegarowy powstaje w module **Generator1** i następnie przechodzi poprzez **DzielnikCzestotliwosci1**. Wyjście z licznika LED poprowadzone jest bezpośrednio do pinów wyjściowych, a także do elementów **sub_7** oraz **add_6**. Są to sumatory, które zostały wywnioskowane z kodu. Można kliknąć je prawym przyciskiem myszy, a następnie wybierając *Jump To HDL File* ukaże się plik z podświetlonym fragmentem kodu, który odpowiedzialny jest za utworzenie tego elementu. Okazuje się, że są to fragmenty LED <= LED + 1'b1 oraz LED <= LED – 1'b1, czyli inkrementacja i dekrementacja licznika

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

eprasa.pl 0667ee155a



Rysunek 4. Kontrola zasobów

LED. Zwróć uwagę, że **sub_7** oraz **add_6** mają dwa wejścia – pierwsze wejście to stan licznika LED, a drugie wejście to po prostu stała 4-bitowa wartość 1. Wyjście z tych sumatorów jest kierowanie do multipleksera, który dostał trochę dziwną nazwę **LED_3__I_O**. Ten multiplekser decyduje, który z dwóch elementów arytmetycznych zostanie podłączony do wejścia rejestru LED. Decyduje o tym sygnał **Direction**.

Zwróć uwagę, że licznik w FPGA zrealizowany jest jako szereg przerzutników D. Przerzutnik D to prosty układ pamięciowy, który kopiuje stan wejścia na wyjście w momencie wykrycia zbocza rosnącego sygnału zegarowego. Stan wejścia przerzutnika D może się dowolnie zmieniać i nie powoduje to żadnej zmiany stanu wyjścia, aż do momenty wystąpienia kolejnego zbocza rosnącego sygnału zegarowego. Elementy odpowiedzialne za zwiększanie lub zmniejszanie wartości licznika to układy kombinacyjne. Działają natychmiast po tym, jak zmieni się stan wyjścia przerzutników D i po jakimś krótkim czasie, zwanym stanem propagacji, obliczane są nowe wartości licznika, powiększone i pomniejszone o 1, a multiplekser przepuszcza dalej tylko jedną z tych wartości. Kiedy znowu wystąpi zbocze rosnące sygnału zegarowego, w przerzutnikach D ponownie kopiowany jest stan wejść na wyjścia.

W czasie kiedy elementy arytmetyczne i multiplekser przetwarzają nowe sygnały zaraz po zboczu rosnącym sygnału zegarowego, możliwe jest, że przerzutniki D będą przez chwilę otrzymywać nieprawidłowe, szybko zmieniające się sygnały, tzw. *glitch*. Nie ma to jednak żadnego znaczenia, jeżeli kolejne zbocze sygnału zegarowego wystąpi po ustaleniu się sygnałów w układach kombinacyjnych. Wynika z tego ważny wniosek – **częstotliwość sygnału zegarowego musi być taka, aby układy kombinacyjne miały szansę przetworzyć dane pomiędzy zboczami sygnału zegarowego**.

W naszym projekcie jest jeden mały błąd. Czy potrafisz go znaleźć? Błąd jest dobrze ukryty i w większości przypadków układ będzie działał całkowicie prawidłowo. Jednak co się stanie, kiedy w chwili zbocza rosnącego sygnału zegarowego zmieni się także stan wejścia Direction? Bramki w multiplekserze zaczną się przełączać, aby przestawić stan wyjścia multipleksera. Spowoduje to, że przez chwilę zaczną się przełączać stany sygnałów na wejściu przerzutników D. Jednak w tym samym czasie przerzutniki D przepisują stan swoich wejść na wyjście. Co trafi na wyjścia przerzutnika D w momencie, kiedy zmienia się stan jego wejścia? Ten problem to **metastabilność**. Sygnał Direction nie jest zsynchronizowany z zegarem taktującym wszystkie peryferia układu FPGA. Powinniśmy uzupełnić go o synchronizator. Zajmiemy się nim dokładniej w jednym z kolejnych odcinków kursu.

Kontrola zasobów

Pisząc program na procesor interesuje nas, ile program zajmuje pamięci, a pisząc kod na FPGA musimy kontrolować ile zużywamy zasobów. Jednak to stwarza pewien problem, ponieważ w FPGA są różne elementy: Slice, LUT i przerzutniki. Ponadto problematyczne może być porównywanie zasobów między różnymi FPGA – na przykład Lattice MachXO2 zawiera elementy LUT z czterema wejściami, a Xilinx Spartan-6 ma LUT-y z sześcioma wejściami. W rezultacie jeden LUT z Xilinxa może wykonywać zadanie, jakie w Lattice wymaga kilku bloków LUT. Dokładny opis co to jest LUT, Slice i inne elementy znajdziemy w rozdziale 2 instrukcji *MachXO2 Family Datasheet*, podanym w linku [3].

Istnieją dwa sposoby, aby sprawdzić, ile nasz kod zużywa zasobów. Pierwszy to raport Map, który widoczny jest w prawej stronie okna programu Diamond. Domyślnie jest otwarty po uruchomieniu programu, ale jeżeli go zamknąłeś, można go ponownie otworzyć, wybierając menu *View* i następnie *Reports*. Z drzewka raportów wybieramy raport *Map*. Jeżeli nie jest dostępny to znaczy, że nie została przeprowadzona synteza i kolejne kroki implementacji. W tym

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

eprasa.pl 0667ee155a

raporcie zaprezentowane są wszystkie możliwe do zastosowania zasoby sprzętowe.

Drugi sposób kontroli używanych zasobów dostępny jest poprzez zakładkę *Hierarchy – Post Map Resources*, która dostępna jest w dolnej części lewego okna, obok drzewka z listą plików źródłowych *File List* oraz czynności syntezy, mapowania, programowania *Process*. Po kliknięciu na zakładkę *Hierarchy – Post Map Resources*, zobaczymy wszystkie moduły ułożone w sposób hierarchiczny, zaczynając od modułu *top*. W naszym prostym projekcie mamy tylko dwa moduły – ***top*** oraz ***DzielnikCzestotliwosci1***, który został powołany do życia w module *top*.

Budując bardziej skomplikowane projekty, będziemy tworzyć moduły w modułach, a w nich będą kolejne moduły i tak dalej. Widok hierarchii pozwala nam analizować projekt metodą od ogółu do szczegółu. Zwróć uwagę na liczby znajdujące się w kolumnach po prawej stronie od nazwy modułów i nazwy plików. Są w nich pokazane zasoby zużywane w każdym module – są to po kolei: LUT-y, przerzutniki (*Registers*), przeniesienia (*Carry*) oraz Slice-y.

Możemy porównać, jakie zapotrzebowanie na zasoby mają poszczególne moduły. Weźmy liczbę przerzutników modułu ***top*** – jest to *25(4)*. Jak należy rozumieć te liczby? Liczba w nawiasie mówi ile przerzutników zawiera sam moduł *top*, nie licząc żadnych podrzędnych modułów, jakie zostały w nim utworzone. Liczba bez nawiasu mówi ile przerzutników zawiera moduł *top* łącznie ze wszystkimi podrzędnymi modułami. Jeżeli jakiś moduł nie zawiera podmodułów, to liczby w nawiasie i bez nawiasu są sobie równe, co widzimy w module ***DzielnikCzestotliwosci1*** – *21(21)*. Taki sposób prezentowania danych ułatwia optymalizację kodu, bo od razu widać, które moduły są najbardziej zasobożerne, dzięki czemu możemy spróbować je zoptymalizować w pierwszej kolejności.

Weźmy pod uwagę właśnie moduł dzielnika częstotliwości – zawiera on aż 21 przerzutników, podczas gdy moduł top wykorzystuje tylko 4. Liczba 21 bierze się stąd, że w tym module mamy 20-bitowy licznik **Counter** oraz 1-bitowy rejestr **Clock1Hz**.

Moduł dzielnika częstotliwości celowo zawarłem w osobnym pliku. Opisanie go w języku Verilog i synteza w przy pomocy uniwersalnych zasobów FPGA jest oczywiście możliwa i prawidłowa, ale niekoniecznie efektywna. Układy MachXO2 dostarczają nam różne peryferia gotowe do użycia – są prostsze i szybsze w implementacji, a przede wszystkim nie zużywają uniwersalnych zasobów, które można wykorzystać na bardziej ambitne zastosowania niż zwyczajne liczniki. Jak to zrobić? Zobaczymy w następnym odcinku.

Dominik Bieczyński
leonow32@gmail.com

Czytaj więcej:

[1] How to use GSP, PUR and TSALL – https://bit.ly/3kIpTYl
[2] MachXO2 sysCLOCK PLL Design and User Guide – https://bit.ly/3j1Bml5
[3] MachXO2 Family Datasheet – https://bit.ly/3XChvrU

REKLAMA

Nie przegap lutowego wydania „Elektroniki dla Wszystkich", w której przeczytasz m.in.:

przejrzysz i kupisz na **www.ulubionykiosk.pl**

PROJEKTY dla elektroników
- Programowalny termostat
- Łatwe do budowy aktywne głośniki półkowe Hi-Fi z opcjonalnymi subwooferami, część 1
- Wysokościomierz samochodowy z ekranem dotykowym
- Analogowy automat perkusyjny

DIY dla wszystkich
- Projekty układów zwrotnic do zestawów głośnikowych
- Wykrywanie obiektów z użyciem modułu Lidar
- Sterowanie komputerem ruchem oczu
- Smart Glasses na wzór Google Glass z wykorzystaniem wyświetlacza OLED

TUTORIALE
- PE Mini-monitor – zwrotnica dla głośników Wavecor, część 1
- Poziomy logiczne, część 2
- Silniki krokowe w praktyce, część 3: Podstawowe sterowniki silników krokowych
- Pokój Nauczycielski

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

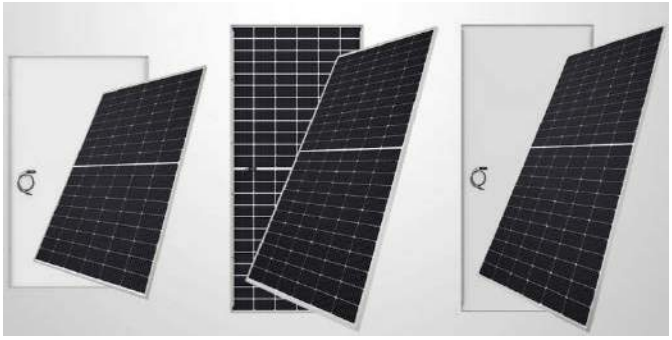
eprasa.pl 0667ee155a

koktajl niusów

Trójfazowy moduł bezpiecznikowy BZM-03 firmy Zamel

Jest to uniwersalne rozwiązanie umożliwiające zabezpieczenie elementów automatyki budynkowej i aparatury kontrolno-pomiarowej. Moduł ma obudowę mocowaną w rozdzielnicy na standardowej szynie TH-35. Wewnątrz obudowy umieszczone zostały trzy gniazda bezpiecznikowe, pozwalające zabudować bezpieczniki topikowe o prądzie znamionowym do 6,3 A. Opracowany przez Zamel moduł bezpiecznikowy BZM-03 może zabezpieczać m.in. wskaźnik zasilania LKM-01-40 w przypadku kiedy przed punktem podłączenia lampki do sieci podłączony został wyłącznik nadprądowy o prądzie znamionowym minimum 25 A. Moduł jest oferowany z trzema bezpiecznikami o prądach znamionowych 500 mA. Dzięki małym rozmiarom, moduł bezpiecznikowy BZM-03 sprawdza się doskonale jako zabezpieczenie np. czujników asymetrii napięcia oraz kolejności faz zasilania.

http://bit.ly/3HynwA2



Nowy moduł fotowoltaiczny NB-JD545 firmy Sharp Electronics

Wykonany z krzemu monokrystalicznego moduł NB-JD545 stanowi unowocześnioną wersję modelu NB-JD540. Jest to rozwiązanie przeznaczone dla wydajnych instalacji naziemnych funkcjonujących na skalę komercyjną lub przemysłową. Wydajność opracowanego przez Sharp Electronics modułu sięga 21,1%, a jego współczynnik temperaturowy to: –0,349%/°C. Moduł NB-JD545 wykonany jest ze 144 ogniw połówkowych bazujących na płytkach M10. Moduł przewidziano do pracy z napięciem do 1,5 kV. Szczeliny między ogniwami z tyłu są zadrukowane na biało, co zapewnia większą absorpcję światła z przodu. Wysokowydajna folia hermetyzująca EVA (octan winylu etylenowego), a także PEO (poliolefiny) w całości zapobiega degradacji indukowanej potencjałem (PID), która ma wpływ na tylną część modułów dwustronnych. Wymiary modułu NB-JD545 to: 2,278×1,134 m. Rama modułu, wykonana z aluminium, ma grubość: 3 cm. Przednia i tylna warstwa szkła mają po 2 mm grubości. Całość waży 32,5 kg. Moduł NB-JD545 objęty jest gwarancją mocową na 30 lat oraz liczącą 15 lat gwarancją produktową.

http://bit.ly/3XUuGny

Wyścigi Formuły E na ładowarkach ABB zaprojektowanych w Polsce

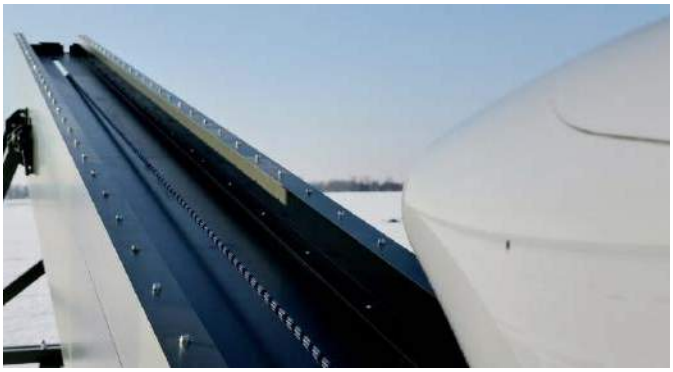
Firma ABB zaprezentowała ładowarkę, która będzie używana przez zespoły Formuły E od najbliższego sezonu. Jest to rozwiązanie opracowane w Polsce. W nowym sezonie Formuły E, od stycznia 2023 roku, ma debiutować elektryczny bolid Gen3. Jednak nie tylko bolidy wyścigowe będą nowych generacji. Władze FIA podjęły decyzję, żeby wprowadzić nowe rozwiązania, w zakresie ich ładowania. Odpowiada za to przede wszystkim firma ABB. Jej najnowsze rozwiązanie: ładowarka bolidów Formuły E, powstała dzięki wiernej pracy Korporacyjnego Centrum Technologicznego ABB w Krakowie. Urządzenie jest w stanie ładować dwa pojazdy wyścigowe naraz mocą 80 kW. Ładowarka przeszła pomyślnie badania wibracyjne na platformie testowej. Dzięki temu jest pewne, że funkcjonuje ona, w sposób niezawodny, w niesprzyjających warunkach. Rozwiązanie miało już własny, owocny debiut w trakcie grudniowych, przedsezonowych testów na torze w Walencji, w których brały udział 22 bolidy z 11 zespołów.

http://bit.ly/3DkgD34

Bezzałogowy system poszukiwawczo-uderzeniowy GLADIUS dla polskiej artylerii

GRUPA WB przeprowadziła dostawy pierwszych elementów bezzałogowego systemu poszukiwawczo-uderzeniowego GLADIUS. Elementy te trafiły do żołnierzy 18. Pułku Artylerii. Mowa tu np. o wyrzutniach bezzałogowych statków powietrznych i statkach w wersji treningowej (BSP-UT). Pozwoli to zacząć szkolenia operatorów, przed następnymi dostawami elementów systemu. Dostarczony pakiet szkoleniowy obejmuje, poza szkoleniem dla artylerzystów, symulatory systemu GLADIUS. Dostawy następnych elementów tego systemu zaplanowane są na drugą połowę 2023 r. Bateryjne moduły bezzałogowego systemu poszukiwawczo-uderzeniowego GLADIUS przeznaczone będą do atakowania celów w promieniu 100 km i do prowadzenia rozpoznania obrazowego z powietrza z zastosowaniem rozpoznawczych bezzałogowych statków powietrznych FT-5. Rolę efektorów systemu będą pełniły uderzeniowe bezzałogowe statki powietrzne (BSP-U)

eprasa.pl 0667ee155a



GLADIUS, podłączone do systemu zarządzania walką TOPAZ. Do bateryjnych modułów systemu GLADIUS mają przynależeć m.in.: wyrzutnie, wozy dowodzenia, wozy amunicyjne, wozy obsługi technicznej, a także zapas BSP-U GLADIUS.

https://bit.ly/3WHcgpA

Najszybsza na świecie pamięć DDR5 MCR DIMM od SK hynix

Przeznaczona dla serwerów pamięć odznacza się przepustowością co najmniej 8 Gb/s. Obecne w pamięci DDR5 MCR DIMM banki danych są ułożone w dwa rzędy (*rank*). Za ich równoległą obsługę odpowiada unikalny bufor danych bazujący na rozwiązaniach firmy Intel. Dzięki jednoczesnej pracy dwóch rzędów banków danych, pamięć DDR5 MCR DIMM pozwala na przesyłanie 128 bajtów informacji za jednym razem – dwukrotnie więcej niż pamięć DRAM. Jest to rozwiązanie wywodzące się z nieszablonowego myślenia, którego cel to powiększenie wydajności pracy istniejących pamięci DDR5. Zamiast tworzenia nowych modułów, skupiono się na dostępnych koncepcjach. Pozwoliło to uzyskać przepustowość wymiany danych powyżej 8 Gb/s.

Firma SK hynix oczekuje, że rynek pamięci DDR5 MCR DIMM będzie rozwijał się dzięki złożonym algorytmom obliczeniowym, które wymagają dużej pamięci danych. Firma planuje wprowadzić opisywaną pamięć do masowej produkcji w przyszłości. Jak przyznaje szef działu planowania rozwiązań DRAM firmy SK hynix, Sungsoo Ryu: „Możliwości firmy SK hynix w zakresie projektowania modułów DRAM są doskonałe. Dla prawidłowego działania pamięci DDR5 MCR DIMM, istotne są interakcje pomiędzy: buforem danych a aplikacjami poza modułem".

https://news.skhynix.com/sk-hynix-develops-mcr-dimm/

Rekordowy pociąg elektryczny, przyszłościowe koleje

Miał być rekord i udało się – szwajcarskie Koleje Retyckie (RhB) przeprowadziły przez alpejską trasę najdłuższy pociąg pasażerski na świecie. Przejechał on liczącą 24 km trasę w Alpach Szwajcarskich, pokonując w 45 minut wysokość 790 m. Łączna długość pociągu wyniosła 1,9 km (100 wagonów). Był to skład o wadze circa 3000 ton, który potrzebował 7 jednostek napędowych do ustanowienia rekordu.

Istniejące od XIX wieku szwajcarskie Koleje Retyckie mają długą tradycję innowacji dążącej do podnoszenia wydajności oraz redukowania negatywnego wpływu na środowisko. Osiągnięcie Szwajcarów miało

pokazać, że może i trasy tak często się nie zmieniają, lecz dzięki rozwijanej technologii możliwości elektrycznych pociągów są stale podnoszone. A to znaczy, że warto w kolej inwestować. Szwajcarska sieć kolejowa liczy niemal 5500 km torów i zelektryfikowano ją w całości. To jedyny kraj w Europie, który nie musi korzystać z lokomotyw spalinowych. Jest liderem, jeśli chodzi o dogodne energetycznie rozwiązania dla transportu szynowego. Według danych z 2019 roku, spośród łącznie 200161 km torów, w każdym kraju w Europie, zelektryfikowanych jest tylko 56%. W Polsce udział linii zelektryfikowanych to 63%, o ponad 3% więcej niż w Niemczech, przy czym łączna długość linii w Polsce sięga 19000 km, a w Niemczech ponad 30000 km.

http://bit.ly/3XHjUBs

Firma Apple prezentuje Apple Music Sing

Jest to ciekawa możliwość urządzania sesji karaoke. Pozwala ona sterować głośnością wokalu oraz wyświetla na żywo słowa utworu. Apple Music Sing oferuje wiele różnych trybów wyświetlania tekstu, dzięki czemu można śpiewać solo, w duecie bądź chórem. Wszystkie widoki Apple Music Sing są idealnie zintegrowane z funkcją słów utworu w Apple Music. Dostępna jest biblioteka utworów obejmująca miliony piosenek do śpiewania karaoke. Dzięki niej, każdy może się świetnie bawić. Z rozwiązania Apple Music Sing można korzystać na: iPhonie czy iPadzie, a także poprzez urządzenie Apple TV 4K. Wszystko to przy ponad 50 playlistach z wyśmienitymi utworami, duetami, chórkami lub przebojami. Użytkownicy mogą ściszać i podgłaszać słyszany wokal, a linie wokalne w tle mogą być animowane niezależnie od śpiewu osób. Jak tłumaczy wiceprezes firmy Apple w pionach: Apple Music i Beats, Oliver Schusser: „Prezentacja słów utworu jest jedną z najpopularniejszych funkcji Apple Music. Użytkownicy z całego świata uwielbiają śledzić teksty wielu utworów. Postanowiliśmy rozwinąć tę funkcję tak, aby była jeszcze bardziej atrakcyjna. To dostarcza mnóstwa radości i z pewnością spodoba się różnym osobom".

http://bit.ly/3WGdtxa

Stylowa lodówka LG Electronics z funkcją MoodUP

Firma LG Electronics zaprezentuje na targach CES 2023 nową odsłonę innowacyjnej lodówki z funkcją MoodUP. Funkcja ta zapewnia personalizację wyglądu urządzenia. Mowa tu w szczególności o odcieniu Viva Magenta: karmazynowej czerwieni, która w doskonały

eprasa.pl 0667ee155a

sposób wpisuje się w wygląd kuchni. Przewidziano 23 eleganckie odcienie dla górnej części drzwi lodówki. Jednym z nich jest odcień Viva Magenta. Posiadacze lodówki mogą dowolnie łączyć i dobierać odcienie, mając do dyspozycji niemal 190 tysięcy możliwych kombinacji. Pozwala na to łatwa w obsłudze aplikacja mobilna LG ThinQ. Dzięki zmieniającym się odcieniom firma LG Electronics może oferować dostosowywanie wyglądu urządzenia do własnych upodobań, bez kosztów i nakładu pracy, które wiązałyby się z podmianą elementów wnętrza kuchni. Bardziej tradycyjny jej wygląd jest do uzyskania poprzez wyłączenie odcieni na przodzie lodówki. Daje to wówczas klasyczną kombinację dwóch barw: Lux Gray i Lux White. To dyskretne i ponadczasowe wykończenie harmonizuje z dowolnym wystrojem wnętrza, przywodząc na myśl subtelny czy też naturalny kontrast kamieni o różnych odcieniach.

https://bit.ly/3jb0yWA

Najnowszy rekord w podwyższaniu częstotliwości taktowania procesora Intel Core i9-13900K

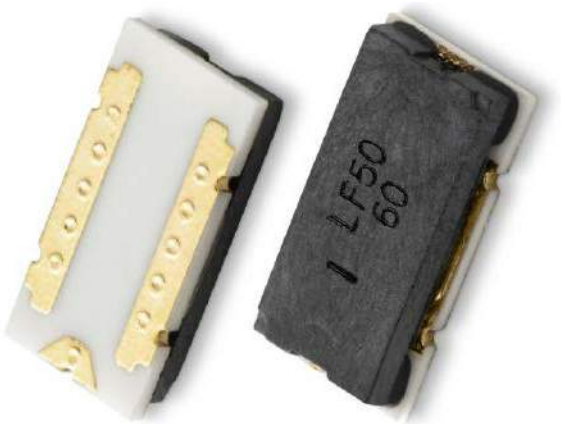
Zespół specjalistów firmy ASUS osiągnął częstotliwość taktowania 9,008 GHz, jeżeli chodzi o procesor Intel Core i9-13900K. Jest to nowy rekord świata, który przeskoczył poprzedni, z dnia premiery procesora. Między tymi rekordami zachodzi odstęp niemal 3 miesięcy. W celu ustanowienia nowego rekordu, specjaliści firmy ASUS zastosowali płytę główną ROG MAXIMUS Z790 APEX wyposażoną w procesor Intel Core i9-13900K. Za wychładzanie płyty i procesora odpowiadał ciekły hel w obiegu. Był to wyjątkowy pokaz możliwości tego procesora, w kontekście wzrostu częstotliwości jego taktowania. Specjaliści firmy ASUS dali niezwykły popis własnych umiejętności. Współpracując z takimi podmiotami jak ASUS, firma Intel kontynuuje dostarczanie najlepszych procesorów dla: entuzjastów komputerów PC oraz graczy.

http://bit.ly/3H9ltkz

Zawierający w sobie akcelerometr oraz żyroskop układ scalony 6DoF firmy Panasonic

Układ zgodny z normą ASIL-B mierzy przyspieszenia w przedziałach: ±1 G, ±2 G, ±8 G i ±16 G. W przypadku prędkości kątowej, zakresy pomiarowe 6DoF to: ±30 dps, ±60 dps, ±120 dps, ±150 dps oraz ±300 dps. Ma to miejsce przy napięciu zasilania 3,3 V. Temperatura pracy układu firmy Panasonic obejmuje wartości: od –40 do 125°C. Dokonywane przez układ scalony 6DoF pomiary uwzględniają 3 wymiary przestrzeni. Dodatkową zaletą układu scalonego 6DoF jest możliwość wykrywania ruchu przy wibracjach, np. gdy samochód zjeżdża z drogi. Na podstawie otrzymanych danych możliwe jest wykrywanie m.in. przeszkody przy pojazdach. Ma to poważne znaczenie w chwili braku dostępu do systemów nawigacji, np. w podziemiach. Możliwa jest też współpraca układu z systemami AR-HUD, co znajdzie zastosowanie szczególnie w pojazdach autonomicznych. Układ firmy Panasonic charakteryzują największe poziomy szumów na poziomie: 4 mG dla przyspieszenia, oraz 0,1 dps dla prędkości kątowej. Występuje on w obudowie QFN o wymiarach: 4,5×4,5×1,1 mm i jest wyposażony w interfejs SPI. Jak mówi osoba ds. innowacji w firmie Panasonic, Ryosuke Toda: „Klienci, którzy korzystają z układu scalonego 6DoF mają zapewniony nie tylko kompaktowy design, ale i niezawodną obsługę danych. Dzięki temu można dostarczać bezpieczniejsze oraz bardziej komfortowe rozwiązania: od autonomicznej jazdy, po maszyny przemysłowe”.

http://bit.ly/3Jm8IWC



Nowa wersja trójkońcówkowego bezpiecznika ITV9550 produkcji Littelfuse o prądzie znamionowym 60 A

Bezpiecznik o rozmiarach 9,5×5 mm ma rezystywny element grzewczy, który zapewnia błyskawiczne odcięcie zasilania z baterii litowo-jonowych. Ma to miejsce dla: prądowego przeciążenia lub zbyt wysokich napięć. Dzięki nowej wersji bezpiecznika ITV9550 nigdy nie dochodzi do przeładowania oraz przegrzania baterii. Wytwarzane przez element grzewczy ciepło w zupełności wystarcza do trwałego przepalenia bezpiecznika. Za aktywację bezpiecznika ITV9550 odpowiada pojedynczy sygnał sterowania. Sygnał ten musi pochodzić z układu monitorującego pracę baterii. Niewielki czas reakcji oraz niska rezystancja bezpiecznika z łatwością zapobiegają uszkodzeniom baterii m.in. na skutek nadmiernych prądów ładowania. Bezpiecznik ITV9550 jest przeznaczony w szczególności dla elektronarzędzi, robotów, rowerów elektrycznych oraz zasilaczy UPS. Jak wskazuje menadżer ds. produktów w firmie Littelfuse, Stephen Li: „Cechująca się prądem znamionowym 60 A nowa wersja bezpiecznika ITV9550 w unikatowy sposób wzbogaca portfolio produktów, które zabezpieczają baterie litowo-jonowe. Jest to unikatowe rozwiązanie przeznaczone dla szerokiego spektrum zastosowań konsumenckich i przemysłowych”.

http://bit.ly/3RcXBRJ

Jakub Tyburski
jakub.tyburski@elportal.pl

eprasa.pl 0667ee155a

Hity następnego numeru • „Elektronika Praktyczna” 2/2023

Multisterownik

Ideą powstania projektu była konieczność cyklicznego sterowania pracą kilku urządzeń o napięciu sieciowym zgodnie z zaprogramowanym harmonogramem tygodniowym. Najważniejsze funkcje Multisterownika to: obsługa 4 przekaźników sterujących urządzeniami o napięciu sieciowym, 10 programów tygodniowych z niezależnym sterowaniem poszczególnych przekaźników lub grupy przekaźników, możliwość manualnego sterowania każdym z przekaźników, itd. Istotna była też duża ergonomia obsługi, dlatego postanowiłem, że konstrukcja urządzenia będzie przypominała typowy zegar biurkowy z płytą czołową montowaną pod kątem 90° do płyty głównej, a stanowiącą jednocześnie element interfejsu użytkownika.

Regulator barwy dźwięku, głośności i balansu

Pomimo stosowania cyfrowych procesorów dźwięku, moda na w pełni analogowe urządzenia audio nie przemija. Zadaniem zaprezentowanego układu jest modyfikowanie dźwięku w naszym zestawie audio. Przy jego pomocy można zarówno płynnie regulować głośność, jak i balans między kanałami. Do tego można w bardzo prosty sposób zmieniać wzmocnienie zarówno wysokich, jak i niskich tonów. Gratka dla melomanów, którzy lubią eksperymentować z brzmieniem.

Stabilizator napięcia symetrycznego z regulacją współbieżną

Układy LM317 i LM337 umożliwiają łatwą realizację regulowanych stabilizatorów napięć stałych, odpowiednio dodatniego i ujemnego. O ile jednokrotne ich ustawienie nie stanowi problemu, o tyle jednoczesna zmiana napięcia wyjściowego obu tych stabilizatorów rodzi problemy. Zaprezentowany układ pozwala jednym potencjometrem jednocześnie regulować dwa napięcia wyjściowe, dodatnie i ujemne. Nierównomierności między nimi wynoszą nie więcej niż kilkanaście miliwoltów.

Sterownik mikrosilników krokowych dla PI Zero z modłami StepStick

W projekcie zrezygnowano z zastosowania specjalizowanych układów scalonych driverów silników krokowych, na rzecz modułów zgodnych z standardem StepStick stosowanym m.in. w drukarkach 3D. Użycie gotowego, wymiennego modułu, oprócz niższej ceny spowodowanej popularnością rozwiązania, umożliwia wybór optymalnych parametrów drivera dla silnika oraz sposobu sterowania mikrokrokowego.

Ułatwia też ewentualną wymianę uszkodzonego podczas eksperymentów modułu, a jak wiemy takie rzeczy się niestety zdarzają.

Tematy wiodące w EP 3/2023:

- Strategie projektowania PCB
- Czujniki optyczne

Wykaz firm ogłaszających się w tym numerze „Elektroniki Praktycznej”

AKSOTRONIK 67
ARMEL 15
BORNICO 13
COMPUTER CONTROLS 7, 60
ELMAX 17
ELTRONIKA 48, 49
ETRONIKA 50, 51
GAMMA 15
HAMMOND 47
MICROCHIP 5, 57, 58
PIEKARZ 15
SEMICON 55
TARGI AUTOMATICON 9
TRONIA 80, 81

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 0667ee155a

Ulubiony Kiosk

Pobierz bezpłatnie multimedialne dodatki do tego wydania Elektroniki Praktycznej

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

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

Zakupiłeś czasopismo u zewnętrznego dystrybutora? Odblokuj bibliotekę multimediów samodzielnie.

Szczegóły na **UlubionyKiosk.pl/media**

eprasa.pl 065 155a