Wydanie elektroniczne dostępne na www.ulubionykiosk.pl

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

EP.com.pl

● Międzynarodowy magazyn elektroników konstruktorów ● lipiec ● 7/2023 ●

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 źródłowe projektów na naszym serwerze **FTP** www.ulubionykiosk.pl/media

RECYKLING I UTYLIZACJA ELEKTRONIKI

TEMAT NUMERU

inspirujące, użyteczne projekty

• Logarytmujący sterownik wychyłowych wskaźników wysterowania • Mikroamperomierz miA • Wzmacniacz transkonduktancyjny do subwoofera • Uniwersalny translator poziomów I²C • Konwerter USBC-RS485 • 5-zakresowy autotransformator warsztatowy • Driver taśm LED RGBCCT 12 V z interfejsem I²C • Sterownik unipolarnego mikrosilnika krokowego dla PI Pico • Wielozakresowy przetwornik prądu z czujnikiem Halla • Kukko – robotyczny kurczak z termowizją • Ventbot – lokalny sterownik do wentylacji domowej

podzespoły, sprzęt, aplikacje

• Analog Discovery 3 – mały, ale wariat • Oświetlenie LED z zasilaczami Mean Well • Kompaktowe przetwornice ZETTLER • Najnowsze rozwiązania w łączności bezprzewodowej standardu Bluetooth • Przegląd metod regulacji jasności w zasilaczach LED MEAN WELL • Sterowanie oświetleniem LED • Przetwornice do zasilania LED w aplikacjach motoryzacyjnych i nie tylko. Przewodnik po topologiach przetwornic mocy

tutoriale

• Charakteryzowanie diod elektroluminescencyjnych za pomocą analizatora odpowiedzi częstotliwościowej i liniowego iniektora • Projektowanie systemów wbudowanych o krytycznym znaczeniu dla bezpieczeństwa • Jakość oświetlenia zależy od jakości zasilania • Praktyczne aplikacje scalonych układów AFE. Front-endy analogowe I/O do zastosowań przemysłowych • Urządzenia zasilające • Ball & Beam

kursy

• Kurs FPGA Lattice. Wyświetlacz multipleksowany

ISSN 1230-3526 Indeks 357677

9 771230 352238 07

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

UKŁADY ZASILANIA OŚWIETLENIA LED

eprasa.pl b0a5d4d3d1

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 Praktyczne"..

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.

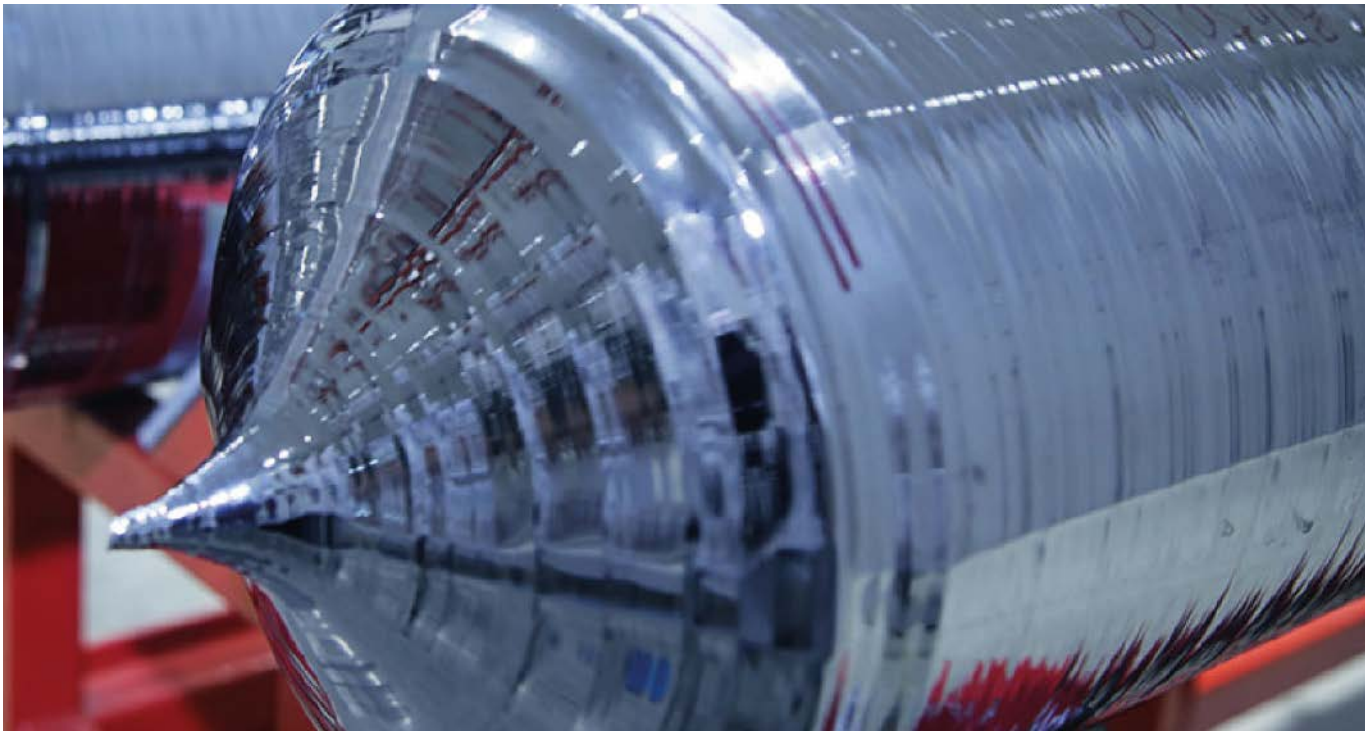
Wszystkie opcje prenumeraty i e-prenumeraty znajdziesz na stronie

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 b0a5d4d3d1



Made in Poland

Nowoczesne układy scalone są strategicznym zasobem w najważniejszych dziedzinach przemysłu. Problemy z dostępnością półprzewodników, jakich doświadczyliśmy w ostatnich latach, wskazały na krytyczną potrzebę zbudowania bardziej odpornego łańcucha dostaw. W tym celu powstał The European Chips Act – ustawa, która przewiduje uruchomienie ogromnych środków finansowych na utworzenie nowoczesnego europejskiego ekosystemu produkcji układów scalonych. Intel, znany przede wszystkim z produkcji procesorów komputerowych, wspiera cel Unii Europejskiej, jakim jest odzyskanie 20 procent światowych zdolności produkcyjnych półprzewodników. Ostatnio firma ogłosiła, że wybrała lokalizację w pobliżu Wrocławia w Polsce do budowy najnowocześniejszego ośrodka do montażu i testowania półprzewodników. Będą tam przetwarzane wafle krzemowe produkowane w Irlandii i Niemczech. Inwestycje firmy Intel mogą działać jak katalizator dalszych inwestycji firm ekosystemowych oraz budowania i przyciągania talentów potrzebnych do wspierania polskiego i europejskiego przemysłu półprzewodników.

Produkcja układów scalonych to wieloetapowy proces wymagający najnowocześniejszych rozwiązań. Okazuje się, że jeden z polskich naukowców – prof. Jan Czochralski – w 1916 roku opracował metodę wytwarzania monokryształów krzemu stosowaną do dziś. Metoda Czochralskiego wymaga pieca do monokrystalizacji, w którym, w atmosferze chemicznie obojętnego argonu, umieszcza się tygiel wykonany z tlenku krzemu. Materiał tygla jest dobrany nieprzypadkowo – dzięki temu w wysokiej temperaturze do znajdującego się w tyglu roztopionego krzemu nie przenikają atomy obcych pierwiastków (w praktyce nawet tlen w krzemionce jest źródłem wielu problemów). Gdy piec się nagrzeje i krzem w tyglu zmieni się w ciecz, do jej powierzchni zostaje wsunięty cienki pręt z monokryształu krzemu. Pełni on funkcję zarodka, wokół którego stopniowo osadzają się atomy cieczy. Dobierając odpowiednio szybkość wyciągania zarodka z wnętrza tygla, prędkość obracania pręta, temperaturę, a nawet skład i ciśnienie atmosfery wewnątrz pieca, można precyzyjnie sterować procesem wzrostu kryształu.

Rosnący kryształ jest stale precyzyjnie ważony w celu monitorowania tempa wzrostu. Jeśli kryształ przyrasta zbyt szybko, można podwyższyć temperaturę pieca, co zmniejsza lepkość cieczy i obniża tempo przyrostu. Z kolei właściwa prędkość wysuwania pręta z tygla ma wpływ na średnicę powstającego kryształu. Atomy płynnej substancji w tyglu muszą mieć czas, by trafić we właściwe miejsce w sieci krystalicznej rosnącego zarodka. Jeśli zarodek jest wyciągany zbyt szybko, struktura krystaliczna będzie miała liczne defekty, a w skrajnych przypadkach może się w ogóle nie wytworzyć.

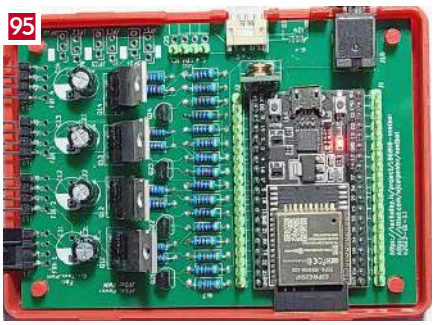
Proces przebiega relatywnie wolno – zaledwie kilka cm na godzinę. Przy tak wolnym tempie piece z rosnącymi kryształami są zabezpieczane przed drganiami podłoża i wyposażane w zasilanie awaryjne. Tą metodą produkuje się przede wszystkim kryształy z krzemu i związków półprzewodnikowych. Mogą mieć nawet ponad dwa metry długości, średnicę zbliżoną do pół metra i masę kilkuset kilogramów. Wyhodowany kryształ krzemu jest poddawany obróbce. Najpierw nadaje mu się postać walca o dopasowanej do wymogów linii przemysłowych średnicy, po czym tnie się na płytki. Po wypolerowaniu płytki stają się idealnym materiałem do budowy elementów elektronicznych. Na fotografii pokazano walec krzemowy wykonany tą metodą.

Damian Soskowski

eprasa.pl b0a5d4d3d1

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

Nr 7 (366) • Lipiec 2023



Nie przeocz
Nowe podzespoły ... 6
Dodaj do obserwowanych ... 13
Analog Discovery 3 – mały, ale wariat ... 19
Konkurs ... 33
Koktajl niusów ... 112

Projekty
Logarytmujący sterownik wychyłowych wskaźników wysterowania ... 22
Mikroamperomierz miA ... 26
Wzmacniacz transkonduktancyjny do subwoofera ... 34

Miniprojekty
Uniwersalny translator poziomów I²C ... 40
Konwerter USBC-RS485 ... 41
5-zakresowy autotransformator warsztatowy ... 43
Driver taśm LED RGBCCT 12 V z interfejsem I²C ... 45
Sterownik unipolarnego mikrosilnika krokowego dla PI Pico ... 47
Wielozakresowy przetwornik prądu z czujnikiem Halla ... 49

Projekty SOFT
Kukko – robotyczny kurczak z termowizją ... 90
Ventbot – lokalny sterownik do wentylacji domowej ... 95

Temat numeru: cykling i utylizacja elektroniki
Recykling i utylizacja elektroniki ... 51

Prezentacje
Najnowsze rozwiązania w łączności bezprzewodowej standardu Bluetooth ... 55
Projektowanie systemów wbudowanych o krytycznym znaczeniu dla bezpieczeństwa ... 58
Kompaktowe przetwornice ZETTLER ... 66
Jakość oświetlenia zależy od jakości zasilania ... 72
Przegląd metod regulacji jasności w zasilaczach LED MEAN WELL ... 77
Sterowanie oświetleniem LED ... 80
Oświetlenie LED z zasilaczami Mean Well ... 82

Moduły w aplikacjach
Ball & Beam (2) ... 62

Elektronika w praktyce
Przetwornice do zasilania LED w aplikacjach motoryzacyjnych i nie tylko. Przewodnik po topologiach przetwornic mocy ... 67
Charakteryzowanie diod elektroluminescencyjnych za pomocą analizatora odpowiedzi częstotliwościowej i liniowego iniektora ... 73

Poradnik implementacji
Praktyczne aplikacje scalonych układów AFE (23). Front-endy analogowe I/O do zastosowań przemysłowych ... 84

Notatnik konstruktora
Urządzenia zasilające (3) ... 100

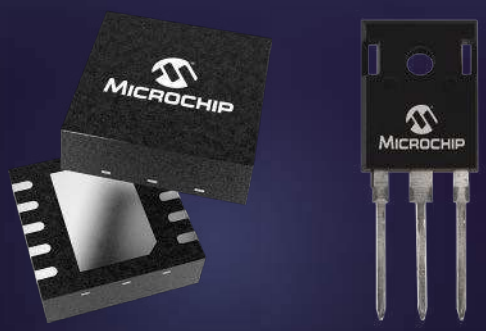
Kursy
Kurs FPGA Lattice (9). Wyświetlacz multipleksowany ... 105

Prenumerata ... 2
Od wydawcy ... 3
Hity następnego numeru ... 115

Dodatkowe materiały do artykułów znajdziesz na https://ulubionykiosk.pl/media
Szczegóły na stronie 116
eprasa.pl b0a5d4d3d1

Microchip is... Connectivity

Bluetooth® ‹
Wi-Fi® ‹
Zigbee® ‹
Sub-GHz ‹
Ultra-Wideband ‹
RF Identification ‹



- Automotive
- Industrial
- Communications
- IoT
- Medical

MICROCHIP

microchip.com/Connectivity

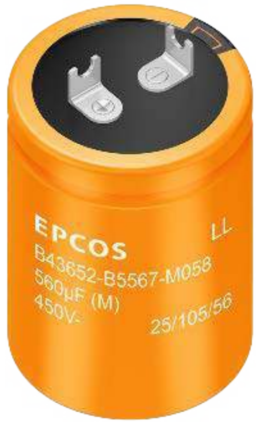
The Microchip name and logo and the Microchip logo are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries. All other trademarks are the property of their registered owners. © 2023 Microchip Technology Inc. All rights reserved.
MEC2484A-UK-03-23

eprasa.pl b0a5d4d3d1

nowe podzespoły

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

Kondensatory aluminiowe z zaciskami snap-in o dużym dopuszczalnym prądzie tętnień



Aluminiowe kondensatory elektrolityczne nowej serii B43652x z oferty firmy Epcos charakteryzują się małymi wymiarami i dużym dopuszczalnym prądem tętnień. Są zamykane w obudowach cylindrycznych o wymiarach od ∅ 25×40 mm do ∅ 35×55 mm z zaciskami snap-in i występują w wersjach o pojemności od 270 do 820 µF i napięciu znamionowym 450 V DC. Kondensatory B43652x uzyskały kwalifikację motoryzacyjną AEC-Q200. Są polecane do zastosowań m.in. w pokładowych ładowarkach akumulatorów. Ich dopuszczalny prąd tętnienia wynosi 11,28 A (100 Hz, +85°C) i jest większy nawet o 85% od wcześniejszych odpowiedników, co uzyskano dzięki skuteczniejszemu chłodzeniu.

www.tdk-electronics.tdk.com

Antenowe układy dopasowujące do modułów i mikrokontrolerów z Bluetooth LE

STMicroelectronics poszerza ofertę monolitycznych antenowych układów dopasowujących o dwa nowe warianty. MLPF-NRG-01D3 został zaprojektowany do współpracy z układami SoC serii BlueNRG-LPS, a MLPF-WB-02D3 z mikrokontrolerami serii STM32WB. Oba zawierają wewnętrzną sieć dopasowującą impedancję do wartości 50 Ω, pozwalającą uzyskać największą moc wyjściową nadajnika i najlepszą czułość odbiornika, a równocześnie nie wymagają od projektanta doświadczenia w zakresie techniki w.cz. Są realizowane na szklanych podłożach w technologii IPD (integrated passive device) i zamykane w miniaturowych obudowach chipowych o grubości zaledwie 0,63 mm. Pod względem strat wtrąconych, kosztów i wymiarów znacznie przewyższają równoważne obwody realizowane z elementów dyskretnych. Ceny hurtowe MLPF-NRG-01D3 i MLPF-WB-02D3 zaczynają się od 0,14 USD przy zamówieniach 1000 sztuk.

www.st.com

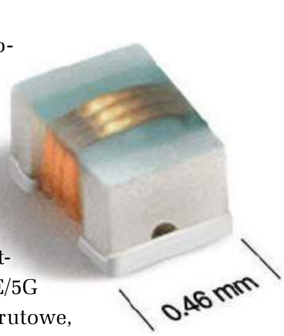
Energooszczędny i miniaturowy moduł GNSS z wbudowaną anteną

Na targach Embedded World firma Antenova Ltd zaprezentowała swój najnowszy, precyzyjny moduł GNSS, zamykany w obudowie o wymiarach 13,8×9,5×1,8 mm. GNSSNova M20072 to moduł energooszczędny, wyposażony we wbudowaną antenę, charakteryzujący się czasem akwizycji krótszym niż 1 s w trybie hot start, <25 s w trybie warm start i <35 s w trybie cold start. Został zrealizowany na chipsecie MediaTek 12 nm zasilanym napięciem 1,8 V. Jego pobór mocy, wynoszący 21 mW przy aktywnym wzmacniaczu niskoszumowym, jest mniejszy o 70% od wcześniejszych wersji.

Nowy moduł może być łatwo integrowany w urządzeniach końcowych. Zawiera wbudowaną antenę GNSS, wzmacniacz niskoszumowy i filtr SAW, co eliminuje konieczność projektowania sekcji w.cz. Może śledzić jednocześnie cztery konstelacje satelitów w paśmie 1559...1609 MHz: GPS, GLONASS, BDS i Galileo & QZSS, co zapewnia dużą dokładność pozycjonowania. Wymaga bardzo małej przestrzeni na płytce drukowanej, dzięki czemu idealnie nadaje się do najmniejszych trackerów. Może znaleźć zastosowanie np. w urządzeniach przenośnych, dronach oraz niewielkich trackerach montowanych w rowerach i hulajnogach elektrycznych.

www.antenova.com

Niskoprofilowe cewki chipowe z kwalifikacją AEC-Q200



Niskoprofilowe cewki chipowe nowej serii 0201CT firmy Coilcraft wyróżniają się bardzo dużą częstotliwością rezonansu własnego, sięgającą 35,2 GHz. Zostały zaprojektowane do zastosowań w wysokoczęstotliwościowych układach dopasowania impedancji w smartfonach, modułach Wi-Fi/Bluetooth i LTE/5G oraz odbiornikach GPS. Są to cewki drutowe, zamykane w obudowach SMD0201 (metryczny SMD0603) o wymiarach 0,58×0,46×0,35 mm. Uzyskały kwalifikację AEC-Q200 Grade 1. Nadają się do pracy w zakresie temperatury otoczenia od –40°C do +125°C.

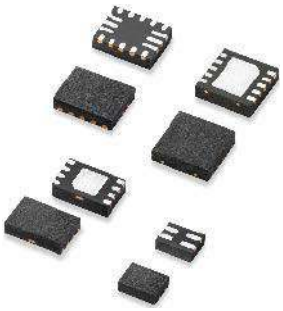
Cewki serii 0201CT wykazują wyjątkowo dużą dobroć i małą rezystancję DC w porównaniu z odpowiednikami cienkowarstwowymi o zbliżonych gabarytach. Są produkowane w 14 wersjach o indukcyjności od 0,6 do 22 nH, Mogą pracować z prądem przewodzenia nawet do 700 mA @ 25°C.

www.coilcraft.com

eprasa.pl b0a5d4d3d1

	Indukcyjność (nH)	900 MHz	1,7 GHz	2,4 GHz	SRF typ. (GHz)	DCR maks. (mΩ)	Irms (mA)		
		Q typ.	Q typ.	Q typ.			25°C	85°C	125°C
0201CT-0N6XKR	0,60	28	41	53	35,2	60	700	240	140
0201CT-1N5XKR	1,5	27	40	49	20,3	130	460	190	100
0201CT-2N4XKR	2,4	34	53	66	15,8	130	470	300	180
0201CT-4N7XKR	4,7	34	52	61	9,6	210	360	240	140
0201CT-5N1XKR	5,1	30	42	48	9,2	330	290	170	90
0201CT-5N6XKR	5,6	35	48	56	9,8	210	360	300	180
0201CT-6N2XKR	6,2	35	48	55	8,7	210	360	300	180
0201CT-6N8XKR	6,8	32	43	48	8,0	270	340	240	140
0201CT-7N5XKR	7,5	30	41	47	7,9	500	290	140	70
0201CT-8N2XKR	8,2	35	48	54	7,7	260	330	300	180
0201CT-9N1XKR	9,1	33	45	50	6,8	395	270	190	100
0201CT-11NXKR	11	34	46	50	6,8	480	250	190	100
0201CT-12NXKR	12	33	43	45	6,2	460	250	190	100
0201CT-22NXKR	22	30	35	32	4,5	925	170	140	70

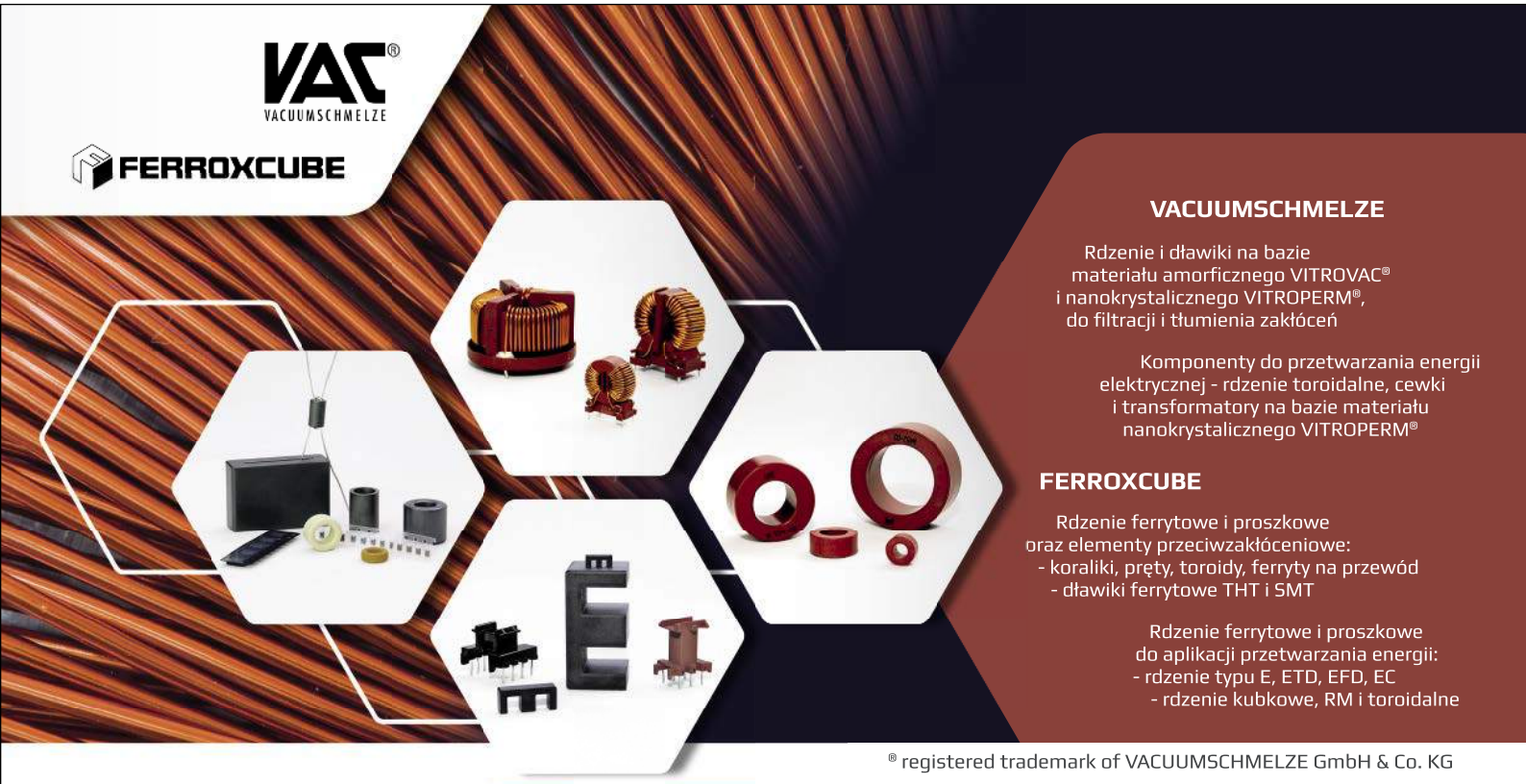
Nowe układy zabezpieczające eFuse do aplikacji o napięciu zasilania 5...28 V



Firma Littelfuse rozszerza rodzinę elementów zabezpieczających eFuse o 4 nowe modele, zaprojektowane do aplikacji zasilanych napięciem z zakresu 5...28 V. Zawierają one zestaw obwodów zabezpieczających, w tym ogranicznik prądu rozruchowego oraz zabezpieczenie termiczne, nadnapięciowe, nadprądowe, podnapięciowe i zwarciowe. Dodatkowo zostały wyposażone w blokadę przepływu prądu wstecznego i układ miękkiego startu. Wewnętrzne obwody diagnostyczne charakteryzują się większą dokładnością i krótszym czasem reakcji niż tradycyjne bezpieczniki i termistory PTC.

Elementy zabezpieczające eFuse zapewniają większą elastyczność, w tym umożliwiają regulowanie progu zadziałania zabezpieczenia przepięciowego, ogranicznika prądu wyjściowego i prądu rozruchowego, a także zapewniają skuteczniejsze blokowanie prądu wstecznego od konwencjonalnych przełączników zasilania. Ich duży stopień integracji skraca fazę projektowania, zmniejsza wymaganą powierzchnię na płytce drukowanej i zmniejsza koszty podzespołów w porównaniu

REKLAMA



® registered trademark of VACUUMSCHMELZE GmbH & Co. KG

presto CONTRANS TI

www.contrans.pl wejdź i kup on-line

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

CONTRANS TI

eprasa.pl b0a5d4d3d1

z typowymi rozwiązaniami dyskretnymi (np. kontroler hot-swap + tranzystor MOSFET).

Nowa oferta obejmuje cztery typy przełączników obciążenia eFuse: LS0504EDD12 (5 V, 4 A), LS12052BD33 (18 V, 5 A), LS2405IDD23 (24 V, 5 A) i LS24062RQ23 (28 V, 6 A). Są one zamykane w miniaturowych obudowach QFN i DFN.

www.littelfuse.com

700-watowy konwerter DC-DC formatu quarter brick do zasilania wzmacniaczy mocy w.cz.

Na targach Embedded World 2023 firma Flex Power Modules zaprezentowała nowy, 700-watowy konwerter DC-DC formatu quarter brick o wymiarach 58,4×36,8×12,7 mm, zaprojektowany do zasilania wzmacniaczy mocy w.cz., zrealizowanych na tranzystorach GaN i MOSFET (LDMOS). Jego napięcie wyjściowe może być programowane w zakresie od 25 do 55 V. BMR684 pracuje z napięciem wejściowym z zakresu 36...75 V DC i oferuje wydajność prądową 14 A. Jego sprawność sięga 96% przy pełnym obciążeniu, a maksymalna dopuszczalna temperatura pracy to 100°C. Izolacja między wejściem i wyjściem wynosi 1500 V DC.

BMR684 zawiera wejście Remote On/Off, czujnik napięcia wyjściowego (Remote Sense) oraz zabezpieczenia: podnapięciowe, termiczne, nadnapięciowe, nadprądowe i zwarciowe. Podobnie jak inne konwertery z oferty firmy Flex, spełnia wymogi standardu bezpieczeństwa użytkowania IEC/EN/UL 62368-1. Interfejs cyfrowy PMBus umożliwia łatwe monitorowanie napięcia wejściowego i wyjściowego, prądu wyjściowego i temperatury pracy konwertera. Pozwala też konfigurować wiele parametrów pracy, w tym napięcia i prądy progowe oraz opóźnienia.

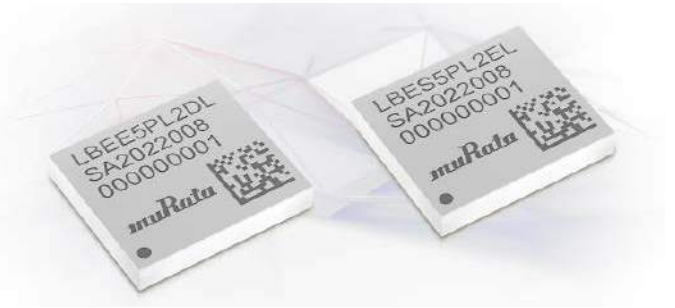
www.flexpowermodules.com

Mikrokontroler z łącznością NFC do urządzeń kontrolowanych i zasilanych ze smartfonów

NGC1081 to mikrokontroler z wbudowaną łącznością NFC (ISO 14443 type A) oraz funkcjami pomiarowymi i przekształcania energii z otoczenia (energy harvesting). Umożliwia on miniaturyzację wszelkiego typu inteligentnych urządzeń kontrolowanych i zasilanych ze smartfonów, np. termostatów, czujników i rejestratorów temperatury. Może pracować w trybie pasywnym, w którym komunikuje się bezprzewodowo i pobiera energię z pola NFC, jak również w trybie bateryjnym.

NGC1081 bazuje na 32-bitowej jednostce obliczeniowej ARM Cortex-M0. Zawiera 16 kB pamięci ROM (bootloader), 16 kB pamięci RAM i 60 kB pamięci nieulotnej NVM. Jego wyposażenie obejmuje też 12-bitowy przetwornik A/C SAR, 10-bitowy przetwornik C/A, wyjście analogowe, 4 wejścia analogowe i czujnik temperatury. Komunikacja może się odbywać przez interfejsy UART, SPI i I²C. Do standardowego wyposażenia należy też zegar RTC. Układ jest zamykany w obudowie VQFN-32.

www.infineon.com



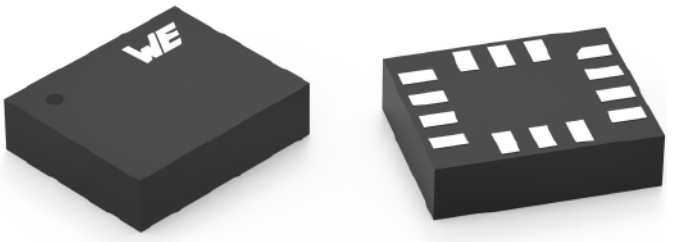
Moduł komunikacyjny z obsługą standardów Wi-Fi 6, Bluetooth 5.3 i IEEE 802.15.4 LR-WPAN

Na targach Embedded World 2023 firma Murata zaprezentowała swój najnowszy moduł komunikacji bezprzewodowej – LBES5PL2EL – zapewniający obsługę trzech standardów komunikacyjnych: Wi-Fi 6, Bluetooth i IEEE 802.15.4 LR-WPAN. Został on specjalnie zoptymalizowany, aby sprostać wymaganiom sprzętu IoT nowej generacji, gdzie łączność w standardzie Matter stanie się coraz ważniejszym wymogiem.

LBES5PL2EL bazuje na dwupasmowym układzie radiowym IW612 firmy NXP, obsługującym częstotliwości 2,4/5 GHz i wiele protokołów komunikacji bezprzewodowej. Obsługa standardu LE Audio jest ważną zaletą, zwłaszcza w urządzeniach sterowanych głosem. Umożliwia transmisję dźwięku przy bardzo małym poborze mocy i według przewidywań w niedalekiej przyszłości zastąpi obecne połączenia audio na bazie Bluetooth BR/EDR. W ofercie Murata jest też dostępny podobny moduł o symbolu LBEE5PL2DL, na układzie radiowym IW611. Obsługuje on standardy Wi-Fi 6 i Bluetooth 5.3.

Zakres zastosowań nowych modułów obejmuje urządzenia automatyki domowej, PDA, bramki w systemach oświetleniowych, instalacje HVAC i punkty ładowania pojazdów elektrycznych. LBES5PL2EL i LBEE5PL2DL uzyskały certyfikaty m.in. FCC/IC i TELEC, co pozwala skrócić czas wprowadzania produktów na rynek i obniżyć koszty projektowania. Oba są dostarczane w obudowach SMD o wymiarach 8,8×7,7×1,3 mm.

www.murata.com



Czujnik ruchu z wbudowanym akcelerometrem i żyroskopem

Wurth Elektronik rozszerza ofertę miniaturowych czujników w technologii MEMS o czujnik ruchu z wbudowanym 3-osiowym akcelerometrem i żyroskopem. Możliwość wyboru zakresów pomiarowych i szybkości transmisji danych sprawia, że WSEN-ISDS jest niezwykle wszechstronny. Aby ułatwić integrację, generuje wstępnie wykalibrowane, przetworzone dane do specyficznych aplikacji, takich jak wykrywanie spadku swobodnego, stuknięcia, ruchu, nachylenia itp.

Czujnik jest zamykany w obudowie LGA o wymiarach 3,0×2,5×0,86 mm. Zawiera cyfrowe interfejsy I²C i SPI, a także bufor

eprasa.pl b0a5d4d3d1

FIFO do przechowywania danych wyjściowych. Może znaleźć zastosowanie w systemach lokalizacyjnych i nawigacyjnych, maszynach przemysłowych, systemach stabilizacji anten i platform oraz robotach i dronach, zarówno do wykrywania pojedynczych zdarzeń, jak i ciągłego monitorowania wibracji. Maksymalna częstotliwość rejestracji danych wynosi 1400 Hz dla akcelerometru i 937 Hz dla żyroskopu. Interfejs wyjściowy pracuje z częstotliwością taktowania do 6,66 kHz.

WSEN-ISDS pobiera od 0,59 mA prądu w trybie high-power do 0,28 mA w trybie low-power, wykorzystywanym przy rejestracji pojedynczych impulsów. Udostępnia 4 zakresy pomiaru przyspieszenia (±2, ±4, ±8 i ±16 g) i 5 zakresów pomiaru prędkości kątowej (±125, ±250, ±500, ±1000 i ±2000 dps). Nie jest objęty wymogiem minimalnego zamówienia.

www.we-online.com

Superkondensatory o dopuszczalnej temperaturze pracy +105°C

Kemet wprowadza na rynek nową serię miniaturowych superkondensatorów FMU, zaprojektowanych do zastosowań w motoryzacji. Są to elementy o długim czasie bezawaryjnej pracy i dużej gęstości mocy, mogące pracować w temperaturze otoczenia od –40 do +105°C. Przeszły 1000-godzinny test klimatyczny w warunkach 85°C/85%RH przy napięciu znamionowym. Są produkowane w fabryce z certyfikatem jakości ISO TS 16949.

Superkondensatory FMU mogą stanowić źródło zasilania awaryjnego w systemach ADAS i kierowania autonomicznego oraz sterownikach ECU. Zapewniają ponadto zasilanie zegara RTC i pamięci ulotnych w razie wystąpienia awarii zasilania lub przy wymianie akumulatora. Poza motoryzacją, mogą być też stosowane w urządzeniach IoT, miernikach zużycia mediów, aparaturze medycznej i komputerach przemysłowych. W zależności od rodzaju obciążenia i aktualnego zapotrzebowania, są w stanie zmagazynować wystarczającą ilość energii, aby zapewnić zasilanie awaryjne przez czas od kilku sekund do kilku godzin.

Miniaturowe superkondensatory firmy Kemet bazują na wodnym roztworze elektrolitu, zapewniającym dużą odporność na wycieki, wibracje i szok termiczny. Wodne elektrolity charakteryzują się bardzo dobrą przewodnością, mają niewielki wpływ na środowisko oraz są nietoksyczne i niepalne. W przeciwieństwie do akumulatorów, superkondensatory szybko magazynują i uwalniają energię. Dzięki małej rezystancji wewnętrznej można je w pełni naładować w ciągu kilku sekund. Co więcej, nie ma tu teoretycznego ograniczenia cyklu życia, podczas gdy akumulatory litowo-jonowe charakteryzują się żywotnością około 500 cykli. Zwykle zapewniają również większą odporność na wchłanianie wilgoci niż związki organiczne, co pozwala wydłużyć ich żywotność.

Obecnie w ofercie Kemet dostępny jest wariant FMU0H334ZF o pojemności 0,33 F (–20%/+80%) i napięciu znamionowym 5,5 V, zamykany w obudowie THT o wymiarach 15×14×9 mm. Charakteryzuje się on rezystancją ESR równą 25 Ω @ 1 kHz i jest w stanie generować prąd wyjściowy 0,5 mA przez 30 minut.

www.kemet.com

Pierwsze digitizery serii M5i.33xx o paśmie 3 GHz

Oferta digitizerów PCIe firmy Spectrum Instrumentation powiększyła się o dwa nowe modele o paśmie 3 GHz: jednokanałowy M5i.3350-x16 i dwukanałowy M5i.3357-x16. Wcześniejsze wersje oferowały pasmo 1 GHz (M5i.332x) lub 2 GHz (M5i.333x). Nowe karty charakteryzują się 12-bitową rozdzielczością pionową i maksymalną szybkością próbkowania 10 GSps. Umożliwiają przesyłanie danych przez szynę PCIe Gen3 x16 z szybkością do 12,8 GBps. Zakres napięcia wejściowego może być programowany od ±200 mV do ±2,5 V. Duża szybkość transmisji strumieniowej pozwala na bezpośredni transfer danych do pamięci komputera lub procesora graficznego CUDA do dalszego przetwarzania i analizy.

Karty M5i.335x zawierają do 16 GB (8 G próbek) wewnętrznej pamięci. Może ona działać jako bufor pierścieniowy, bufor FIFO lub rejestrator zdarzeń. Można ją również podzielić na segmenty do rejestrowania

REKLAMA

HAMMOND

nowy!

1556 - Obudowy IP54 FR ABS

Dowiedz się więcej: https://hammfg.com/1556

Skontaktuj się z nami, aby otrzymać bezpłatną próbkę ewaluacyjną.
eusales@hammfg.com • + 44 1256 812812

eprasa.pl b0a5d4d3d1

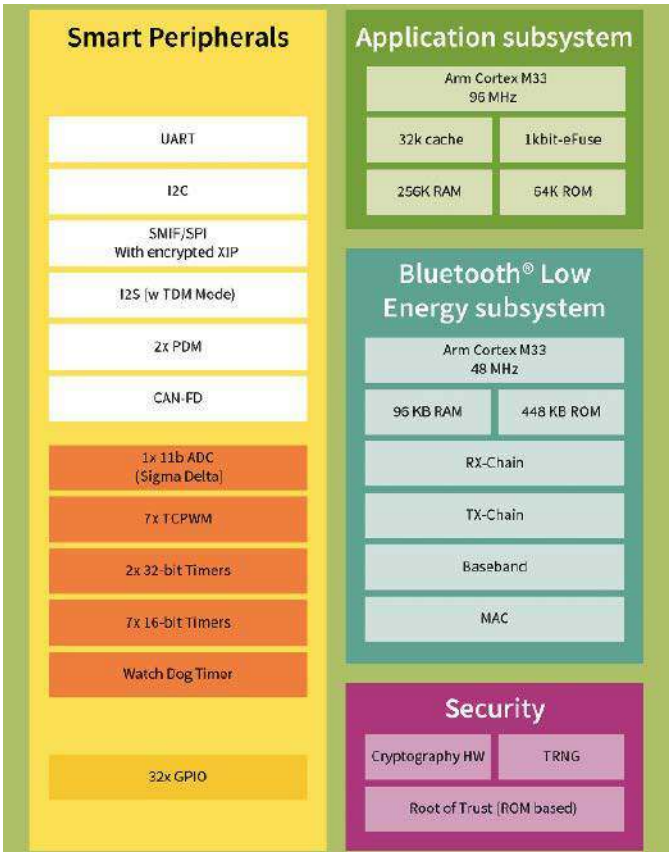
wielu zdarzeń, nawet przy bardzo dużych szybkościach wyzwalania. Zdarzenia są rejestrowane wraz ze znacznikiem czasu, a wiele zaawansowanych trybów wyzwalania (m.in. programowy, okno, stan logiczny, opóźnienie) pozwala wyeliminować ryzyko pominięcia ważnych szczegółów.

Karty M5i.335x nadają się do przechwytywania szybkich sygnałów w światłowodach, spektrometrii mas, testach półprzewodników, rejestracji sygnałów w.cz., sztucznej inteligencji, radarach i LIDAR-ach, astronomii i fizyce kwantowej. Strumieniowe przesyłanie danych bezpośrednio do procesora graficznego CUDA jest możliwe dzięki opcjonalnemu pakietowi SCAPP (Spectrum's CUDA Access for Parallel Processing). SCAPP oferuje niezbędne sterowniki do obsługi CUDA GPU i umożliwia użytkownikom opracowywanie własnych procedur przetwarzania. Aby ułatwić rozpoczęcie pracy, dostarczane przez producenta przykładowe projekty mogą być modyfikowane przez użytkownika.

Karty M5i.335x są dostarczane wraz z kompletem narzędzi programowych do komputerów pracujących pod kontrolą systemów Windows i Linux. Pakiet SDK umożliwia programowanie w prawie każdym popularnym języku (C, C++, C#, Delphi, VB.NET, J#, Python, Julia, Java, LabView i Matlab) oraz zawiera wszystkie niezbędne biblioteki sterowników i przykładowe aplikacje. Alternatywnie, dla użytkowników, którzy nie chcą tworzyć własnego kodu, firma Spectrum Instrumentation oferuje oprogramowanie pomiarowe SBench 6 Professional. Oferuje ono możliwość pełnej kontroli kart wraz z prezentacją danych, analizą, przechowywaniem i dokumentowaniem.

Podobnie jak pozostałe karty akwizycji danych z oferty firmy Spectrum Instrumentation, również M5i.3350-x16 i M5i.3357-x16 są objęte 5-letnią gwarancją.

www.spectrum-instrumentation.com



Moduł Bluetooth LE AIROC CYW20829 zgodny z najnowszą specyfikacją Bluetooth 5.4

Firma Infineon poinformowała, że jej moduł radiowy AIROC CYW20829 jest zgodny z wymogami najnowszego standardu Bluetooth 5.4. Może on znaleźć szeroki zakres zastosowań w aplikacjach Bluetooth Low Energy (LE) z sektora smart home, aparatury medycznej, systemów oświetleniowych, sieci Bluetooth Mesh, urządzeń HID (bezprzewodowe myszy i klawiatury, VR i kontrolery gier) oraz w przemyśle i motoryzacji.

Niedawno opublikowana specyfikacja Bluetooth Core 5.4 dodaje kilka funkcjonalności, w tym PAwR (Periodic Advertising with Response), Encrypted Advertisement Data (EAD) i LE GATT Security Levels Characteristic. PAwR umożliwia energooszczędną, dwukierunkową komunikację w wielkoskalowej topologii one-to-many i w topologii gwiazdy. EAD zapewnia ustandaryzowane podejście do bezpiecznej transmisji danych w pakietach advertising.

Dzięki PAwR elektroniczne etykiety na półki i czujniki z obsługą Bluetooth 5.4 będą mogły komunikować się dwukierunkowo z jednym punktem dostępu. Komunikaty mogą obejmować polecenia, wartości danych z czujników lub inne dane zdefiniowane przez warstwę aplikacji. EAD umożliwia uwierzytelnianie i deszyfrowanie danych w sieci o topologii gwiazdy tylko przez urządzenia, które wcześniej współdzieliły klucz sesyjny. Dodatkowo LE GATT Security Levels Characteristic umożliwia urządzeniom identyfikację trybu i poziomu bezpieczeństwa dla wszystkich funkcji GATT. Połączenie tych cech pozwala ograniczyć pobór mocy i bardziej efektywnie wykorzystywać łączność radiową w aplikacjach wielkoskalowych.

AIROC CYW20829 charakteryzuje się jednocześnie małym poborem mocy i znakomitymi parametrami w.cz., zapewniającymi stabilną komunikację. Pracuje z maksymalną mocą wyjściową 10 dBm i charakteryzuje się czułością odbiornika –98,5 dBm dla LE (–106 dBm dla LE-LR) przy szybkości transmisji 125 Kbps. Jest pierwszym modułem AIROC Bluetooth SoC z oferty firmy Infineon, wyposażonym w mikrokontroler ARM Cortex M33 do obsługi komunikacji. Drugi ARM Cortex M33 z jednostką obliczeń zmiennoprzecinkowych, taktowany zegarem 96 MHz, realizuje aplikacje użytkownika.

Układ oferuje mechanizmy zabezpieczające (root of trust w pamięci ROM, generator TRNG, akcelerator kryptograficzny). Jego elastyczność zwiększa obsługa trybu XIP przy współpracy z zewnętrzną pamięcią Flash oraz szyfrowanie w locie zewnętrznej pamięci Flash.

AIROC CYW20829 jest obsługiwany przez ModusToolbox – zestaw oprogramowania i narzędzi wspierających projektowanie urządzeń IoT z obsługą Bluetooth.

www.infineon.com

Pierwszy na rynku chipset do ultradźwiękowego czyszczenia obiektywów kamer i czujników

Usuwanie zanieczyszczeń z obiektywów kamer i czujników wymagało dotąd ręcznej interwencji, a co za tym idzie, powodowało przestoje działania systemu i niosło za sobą ryzyko powstania uszkodzeń mechanicznych. Problemy te pozwala rozwiązać nowo opracowany chipset firmy Texas Instruments do ultradźwiękowego czyszczenia obiektywów (ULC), bez interwencji użytkownika, obejmujący procesor sygnałowy ULC1001 i sterownik przetwornika piezoelektrycznego DRV2901.

W chipsecie zastosowano zastrzeżoną technologię, umożliwiającą kamerom szybkie samoczynne usuwanie zanieczyszczeń za pomocą

eprasa.pl b0a5d4d3d1

precyzyjnie kontrolowanych wibracji. Zakres zastosowań obejmuje kamery samochodowe, drogowe, na liniach produkcyjnych oraz w systemach monitoringu. Dobrym przykładem są kamery samochodowe, w przypadku których brud lub ciała obce na obiektywie mogą być jedynie uciążliwe w przypadku kamer cofania, ale stają się dużym problemem w systemach wspomagania kierowcy, korzystających z precyzyjnego obrazowania oraz danych z czujników.

Kontroler ULC1001 realizuje zastrzeżone algorytmy automatycznego wykrywania, czyszczenia oraz pomiaru temperatury i identyfikacji usterek bez potrzeby przetwarzania obrazu. Dzięki temu technikę ULC można dostosować do różnych konstrukcji obiektywów. ULC1001 obejmuje modulator szerokości impulsu, wzmacniacze do pomiaru prądu i napięcia oraz przetwornik A/C. DRV2901 to jednokanałowy sterownik przetwornika piezoelektrycznego, wyposażony w wejście PWM. Może pracować z napięciem z szerokiego zakresu od 12 do 48 V i generuje moc szczytową do 50 W. Oba układy pozwalają na zrealizowanie kompletnego modułu sterowania na płytce drukowanej o powierzchni mniejszej niż 25×15 mm.

Ceny hurtowe ULC1001 i DRV2901 wynoszą odpowiednio 6,43 USD i 5,35 USD przy zamówieniach 1000 sztuk. W ofercie firmy Texas Instruments jest też dostępny moduł ewaluacyjny ULC1001-DRV290XEVM w cenie 249 USD.

www.ti.com

Czujnik dwutlenku węgla typu NDIR w obudowie o wymiarach 32×17×8 mm

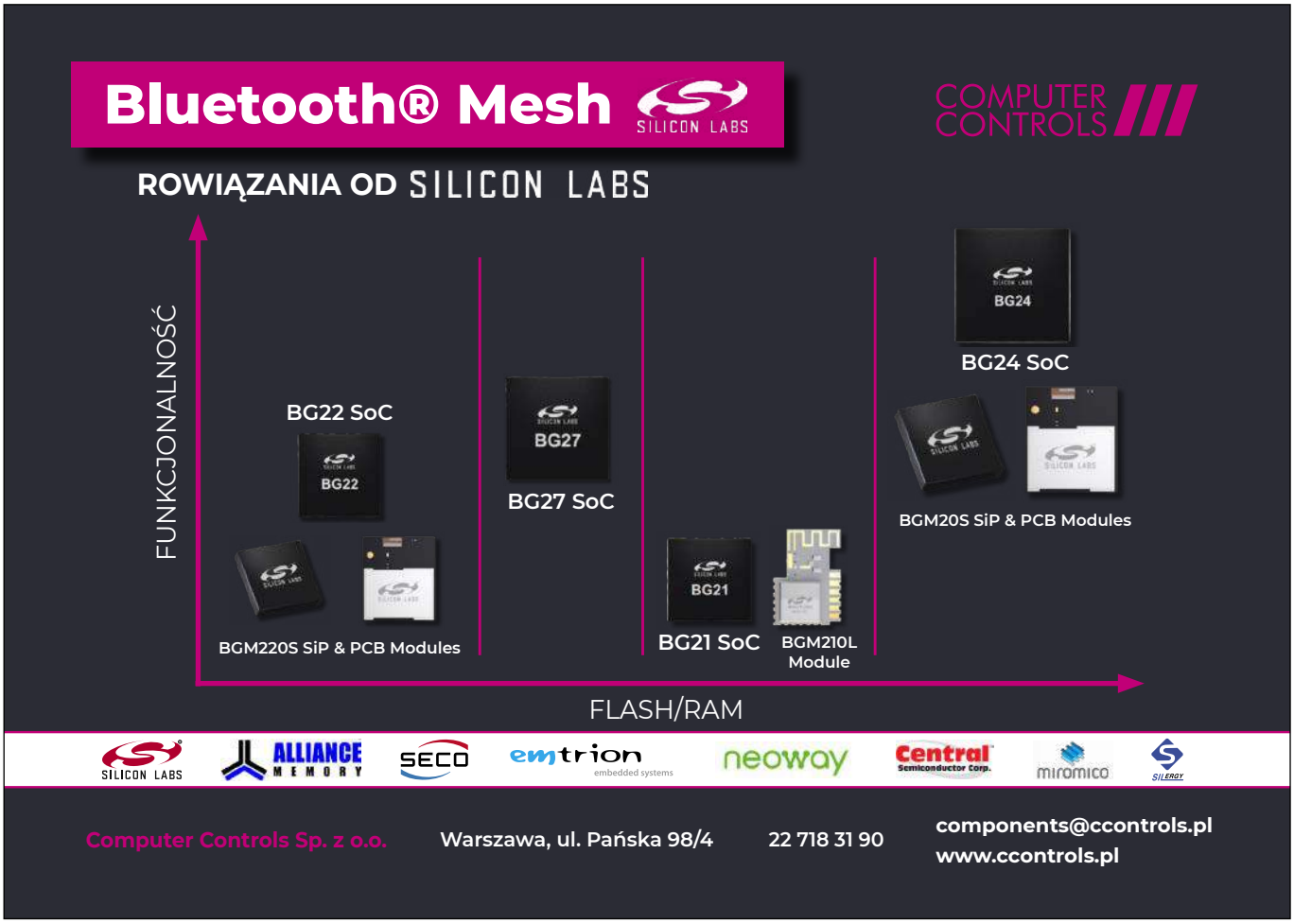
CDM7162 to jeden z najnowszych czujników NDIR (Non-Dispersive Infrared) CO_2 firmy Figaro Engineering, charakteryzujący się dużą dokładnością i niezawodnością oraz małymi wymiarami, wynoszącymi 32×17×8 mm. Bardzo dobrą stabilność długoterminową uzyskano w nim dzięki zastosowaniu źródła światła pracującego na podwójnej długości fali oraz opracowanej przez Figaro technologii przetwarzania sygnału. Czujnik jest kalibrowany na etapie produkcji. Może być zasilany napięciem z zakresu od 3,3 do 5 V i pobiera średnio 25 mA prądu. Wyniki pomiarów są wyprowadzane za pośrednictwem interfejsu UART lub I²C. Zakres zastosowań obejmuje systemy kontroli jakości powietrza w pomieszczeniach, wentylatory i klimatyzatory.

www.figaro.co.jp

Czujniki natężenia prądu o zakresie pomiaru do 1 kA i dokładności ±0,1% FS

Po sukcesie rynkowym osiągniętym przez czujniki natężenia prądu serii SSA z wyjściem analogowym, firma Riedon wprowadza na rynek ich odpowiedniki SSD z wyjściem cyfrowym. Są to komponenty zamykane w obudowach SiP o wymiarach 80×68,8×16,4 mm, znacznie mniejszych od większości dostępnych na rynku odpowiedników. Zawierają 16-bitowy mikrokontroler klasy motoryzacyjnej, 24-bitowy przetwornik A/C z buforowanymi wejściami analogowymi i pamięć Flash. Mogą znaleźć zastosowanie we wszelkiego typu aplikacjach wymagających

REKLAMA



eprasa.pl b0a5d4d3d1

pomiaru natężenia prądu i napięcia akumulatora oraz liczenia kulombów: systemach magazynowania energii, infrastrukturze produkcji energii odnawialnej, przemysłowych układach napędowych, automatyce budynkowej i stacjach ładowania pojazdów elektrycznych.

Czujniki Smart Shunt, wprowadzone na rynek w połowie 2020 r., oferowały duże dopuszczalne natężenie prądu, typowe dla konwencjonalnych rezystorów bocznikowych oraz dużą dokładność pomiaru, typową dla czujników Halla, a równocześnie eliminowały konieczność okresowej kalibracji. Nowe czujniki serii SSD ułatwiają integrację w systemie. Do wyboru dostępne są dwa modele, różniące się rodzajem zastosowanego interfejsu: RS485 (z możliwością konfiguracji jako MODBUS RTU) oraz CANbus. Oferują one zakresy pomiarowe do 100 A (2 kA peak) i do 1 kA (20 kA peak). Charakteryzują się dokładnością lepszą od ±0,1% FS i małym błędem nieliniowości (±0,1%). Zaawansowane mechanizmy kompensacji zapewniają, że na dokładność pomiaru nie mają wpływu wahania temperatury otoczenia. Kolejną zaletą jest bardzo dobra stabilność długoterminowa; błąd wynosi tu mniej niż ±0,1% przez 1000 godzin (przy temperaturze terminali +60°C). Zakres dopuszczalnej temperatury pracy od –40 do +115°C pozwala na pracę w ciężkich warunkach przemysłowych, a wewnętrzna pamięć Flash oferuje mechanizm ECC, korygujący błędy na pojedynczych bitach.

www.shunts.com

Okrągłe wyświetlacze LCD-TFT od Winstar

W ofercie Unisystemu dostępne są dwa okrągłe wyświetlacze LCD-TFT o średnicy 1,28 cala. To modele wprowadzone na rynek przez firmę Winstar o symbolach WF0128BTYAA4DNN0 i WF0128BTYAA4DNF10. Oferują rozdzielczość 240×240 px, jasność na poziomie 400 cd/m² (dla WF0128BTYAA4DNN0) i 320 cd/m² (dla WF0128BTYAA4DNF10), o kontraście w stosunku 1000:1 oraz pełne kąty obserwacji. W obu modelach komunikacja odbywa się poprzez interfejs SPI. Podstawową różnicą pomiędzy omawianymi modelami jest dodanie w wariancie WF0128BTYAA4DNF10 pojemnościowego panelu dotykowego (CPT).

parametr	model WF0128BTYAA4DNN0	model WF0128BTYAA4DNF10
przekątna	1,28”	1,28”
rozdzielczość	240×240 px	240×240 px
obszar aktywny	32,40×32,40 mm	32,40×32,40 mm
jasność	400 cd/m²	320 cd/m²
kontrast	1000:1	1000:1
kąty obserwacji [°]	80/80/80/80	80/80/80/80
interfejs	SPI	SPI
wymiary modułu	35,60×37,74×1,56 mm	50,20×50,20×3,99 mm
podświetlenie	LED	LED
czas życia LED	20 000 godz.	20 000 godz.
zakres temperatur pracy	–20~70°C	–20~70°C
panel dotykowy	nie	tak, pojemnościowy

Obraz prezentowany jest na powierzchni 32,40×32,40 mm; wymiary całego modułu to 35,60×37,74×1,56 mm dla WF0128BTYAA4DNN0 oraz 50,20×50,20×3,99 mm dla WF0128BTYAA4DNF10. Szeroki zakres temperatury pracy obu modeli oznacza cały wachlarz możliwości zastosowania w urządzeniach końcowych. Natomiast okrągły kształt sugeruje użycie w niewielkich aplikacjach przemysłowych, w których okrąg jest optymalnym rozwiązaniem – w miernikach, licznikach, urządzeniach ubieralnych (wearables). Ponadto producent sugeruje zastosowanie modeli WF0128BTYAA4DNN0 i WF0128BTYAA4DNF10 m.in. w urządzeniach działających w ramach systemów smart home, w gastronomii (ekspresy do kawy), RTV i AGD czy w akcesoriach komputerowych. Dodać do nich można szeroką gamę sprzętów reprezentujących elektronikę konsumencką. Treści prezentowane na wyświetlaczach WF0128BTYAA4DNN0 i WF0128BTYAA4DNF10 – dzięki parametrom optycznym (rozdzielczości, jasności, kontrastowi, a także kątom obserwacji) – będą doskonale czytelne z niemal każdej płaszczyzny oglądu.

www.unisystem.pl

REKLAMA

Nie przegap lipcowego wydania „Elektroniki dla Wszystkich”

przejrzysz i kupisz na
www.ulubionykiosk.pl

eprasa.pl b0a5d4d3d1

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.

Zegar pływowy IoT

Jeśli kiedykolwiek chcieliście na bieżąco wiedzieć, w jakim stanie jest lokalny brzeg morza, to właśnie urządzenie IoT dla Was. System ten korzysta z API NOAA, aby zebrać te wszystkie informacje i prezentuje je w ciekawy wizualnie sposób. Zegar pokazuje, ile czasu pozostało do następnego przypływu lub odpływu oraz pokazuje graficznie aktualny poziom wody za pomocą dwóch wyświetlaczy elektromechanicznych.

Zegar ten korzysta z połączenia Wi-Fi z Internetem, aby poprzez interfejs REST pływów i prądów na noaa.gov uzyskać potrzebne informacje. Można wybrać, z której stacji pływów chcemy korzystać, z długiej listy stacji utrzymywanej przez NOAA.

Górny wyświetlacz to zegar pływów. Jest zrobiony z przerobionego zegarka. Pojedyncza wskazówka wskazuje aktualny czas do następnego przypływu. Dolny wyświetlacz obrazuje aktualny poziom wody. Używa do tego małego silnika krokowego, który podnosi i opuszcza „poziom morza" w postaci ilustracji nadmorskiej scenerii. Obrazek ten został wygenerowany za pomocą StableDiffusion v2.1, podając tekstowy opis tego, co chciałem, oraz zdjęcie podobnej sceny jako wskazówki. Można samodzielnie wygenerować sobie obrazek lub użyć dowolnej ilustracji.

Z systemem komunikować się można za pomocą portu szeregowego emulowanego przez USB i dowolny program typu terminal. System ma interpreter poleceń, którego można użyć do zmiany różnych parametrów pracy, takich jak identyfikator SSID i hasło sieci Wi-Fi do połączenia się z Internetem czy lokalizacji, dla której mają być wyświetlane dane dotyczące pływów. Po ustawieniu tych danych można zapisać je w pamięci nieulotnej za pomocą polecenia *save*. Po zapisaniu wartości konfiguracyjne są używane przy każdym włączeniu zasilania lub zresetowaniu urządzenia.

Zastosowany moduł z mikrokontrolerem, Adafruit Feather ESP32-S2, obsługuje baterię Li-Po, która pozwala zegarowi kontynuować pracę, nawet gdy zabraknie zasilania przez port USB. Aby zegar mógł działać tak długo, jak to tylko możliwe, wyświetlanie poziomu wody jest wstrzymywane podczas pracy na baterii. Po przywróceniu zasilania przez USB zegar ponownie wyświetli prawidłowy poziom wody. Zegar pływów działa cały czas, również podczas pracy na baterii. Więcej informacji znaleźć można w repozytorium na GitHubie.

https://tiny.pl/cqz1s
https://tiny.pl/cqz16
https://tiny.pl/cqz1v

Interfejs szeregowy Han P1 do liczników zużycia energii elektrycznej

Ten projekt to prosta karta, która łączy się poprzez interfejs szeregowy HAN P1 stosowany w licznikach zużycia energii elektrycznej. Ma on wyjście szeregowe TTL 5 V lub 3,3 V, które można podłączyć do dowolnej przejściówki na USB lub modułu Raspberry Pi/Pico/ESP32/USN lub podobnego.

Autor przetestował na razie moduł z szeregiem liczników zużycia energii producentów, takich jak Sagemcom, Landis+Gyr, Itron, Sanxin, KAIFA, Kamstrup i innych.

Oprócz samego sprzętu zapewnia on również oprogramowanie, które pozwala na integrację licznika z systemami korzystającymi z protokołu Very Simple Control Protocol (VSCP) do automatyzacji. Pozwala to na raportowanie szeregu parametrów, takich jak:

- ilość zużytej energii elektrycznej (aktywnej i reaktywnej),
- ilość efektywnej energii elektrycznej (aktywnej i reaktywnej),
- ilość efektywnej energii elektrycznej (aktywnej i reaktywnej) na każdą fazę,
- napięcie każdej fazy,
- prąd każdej fazy,
- współczynnik mocy dla każdej fazy.

https://tiny.pl/cqz13
https://tiny.pl/cqzjh
https://tiny.pl/cqzjq

REKLAMA

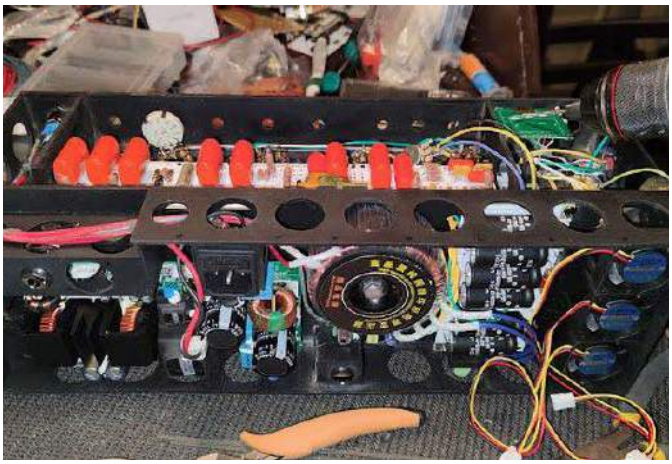
BORNICO | Teraz większe MOŻLIWOŚCI
bornico.com.pl
montaż kontraktowy elektroniki
projektowanie urządzeń i systemów
Zakład Elektroniczny BORNICO
ul. Małęczyńska 25
26-600 Radom
tel. +48 48 365 58 22
bornico@bornico.com.pl

eprasa.pl b0a5d4d3d1

Lampowy wzmacniacz basowy z cyfrowym procesorem sygnałowym Daisy Seed

Wzmacniacze gitarowe są częstymi projektami DIY z uwagi na relatywnie niewielki poziom trudności. Jednym z sposobów na zwiększenie poziomu trudności jest realizacja konstrukcji lampowej. Zaprezentowany tutaj projekt wzmacniacza do gitary basowej łączy w sobie to podejście z zastosowaniem nowoczesnej sekcji z procesorem sygnałowym, która pozwala na bardzo daleko idącą modyfikację dźwięku, co jest niesamowicie przydatne we wzmacniaczu instrumentalnym.

Sekcja lampowa składa się z typowego (w zasadzie Hi-Fi) przedwzmacniacza Alembic zmieszanego z przedwzmacniaczem o wysokim wzmocnieniu bazującym na Diezelu o stałym współczynniku wzmocnienia. Na stronie z projektem umieszczony jest kompletny schemat tego układu wraz ze wszystkimi modyfikacjami, jakie wprowadził autor przez cztery lata grania na tym wzmacniaczu, aby uzyskać pożądany dźwięk swojego instrumentu.



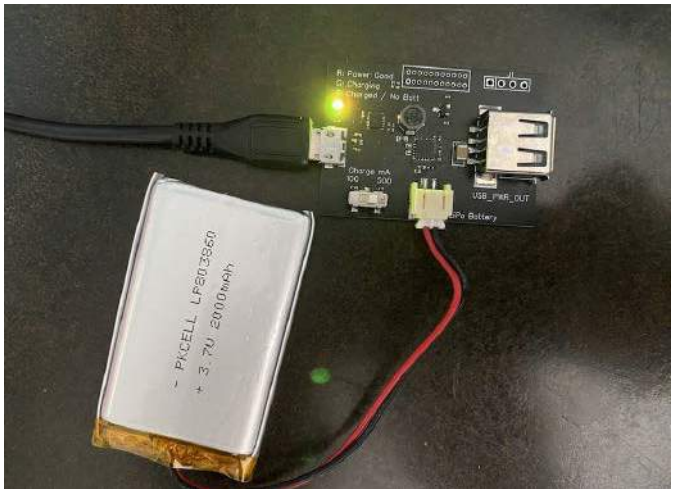
Zastosowne lampy to triody 6SL7. Jak określa ich brzmienie autor: „mają zapach stali i drewna", ale oferują dosyć płaskie pasmo, w porównaniu do 12AX7, która ma mocniej zniekształcać widmo. Istnieje możliwość podłączenia tej triody do układu poprzez adapter. Wybór lamp zależy od osobistych preferencji muzyka.

Część cyfrowa bazuje na module Daisy Seed C++ DSP. Dodano do niego ekran OLED i true bypass, czyli w pełni analogowe obejście sekcji cyfrowej dla lampowych purystów. Moduł oferuje efekty takie jak kompresor, pogłos i czy flanger. Oprócz tego w module zakodowano również miernik poziomu dźwięku.

Na wyjściu układu znajduje się wzmacniacz klasy D firmy ICEpower ICE125ASX2 z dwoma wentylatorami. Ma on przyjemny dźwięk i bardzo mało się grzeje. Autor testował też moduł 50ASX2 i stwierdził, że jest on również w stanie zapewnić głośność na poziomie akceptowalnym do ćwiczeń, więc również może być zastosowany w konstrukcji.

Obudowa została zaprojektowana z użyciem projektu generatywnego do druku w 3D. Zapewnia jej to organiczny wygląd. Została zaprojektowana w Fusion360, wydrukowana z nylonu za pomocą drukarki SLS i pomalowana. Dodatkowe elementy drukowano w technologii żywicowej (SLA) lub FDM, gdzie nie była tak istotna estetyka elementu.

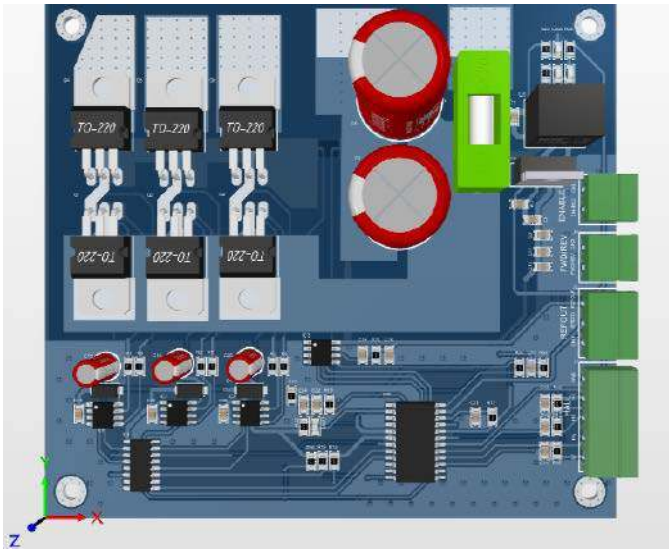
https://tiny.pl/cqz1z



Ładowarka ogniw litowo-polimerowych z przetwornicą typu boost

Zaprezentowana płytka może być używana do ładowania akumulatorów litowo-polimerowych (prądem 100 mA lub 500 mA) oraz zasilania urządzeń USB z ogniwa Li-Po poprzez przetwornicę podwyższającą napięcie. Może być używana do zasilania płytki TI Launchpad w czasie testów radiowych na zewnątrz za pomocą standardowego kabla USB. Idealnie nadaje się również do testowania innych płytek i modułów deweloperskich, gdy istotne jest odizolowanie od zasilania sieciowego, czy też możliwość zasilania mobilnego.

https://tiny.pl/cg9jx



Zintegrowany sterownik bezszczotkowego silnika prądu stałego

Zaprezentowana płytka drukowana została zaprojektowana jako jednostka sterująca dla bezszczotkowego silnika prądu stałego (BLDC). Układ reguluje prędkość i moment obrotowy silnika prototypowego pojazdu wyścigowego, który konstruuje autor projektu. Oprócz tego może też uruchamiać, zatrzymywać obroty, a także odwracać ich kierunek.

Szczegółowe informacje o tym pojeździe i zespole można znaleźć na stronie internetowej https://hidroana.com.

Kontroler bazuje na układzie scalonym MC33035. Jest to specjalizowany sterownik silnika o nominalnej mocy 2500 watów. Moduł pracuje z nominalnym napięciem roboczym równym 48 V i prądem znamionowym do 50 A. W układzie zastosowano 6 tranzystorów MOSFET IRFB4110 do zasilana trzech sekcji uzwojeń silnika.

Układ MC33039 jest odpowiedzialny za monitorowanie pracy silnika – cyfrowe wykrywanie każdego obrotu w celu poprawy działania

eprasa.pl b0a5d4d3d1

silnika z zadaną prędkością. Układ ten wyposażono w wejścia kompatybilne z TTL z histerezą. Jest zasilany napięciem do 5,5 V, co pozwala na bezpośrednie zasilanie go z MC33035. Wewnętrzny stabilizator napięcia w tym układzie umożliwia jego działanie przy niestabilizowanym źródle zasilania systemu.

Zastosowany driver bramki tranzystorów mocy typu IR2183 pozwala na sterowanie tranzystorami pracującymi z napięciem do 600 V, z napięciem na bramce od 10 V do 20 V. Układ zapewnia wysoką wartość dV/dt i szereg zabezpieczeń zintegrowanych w układzie. Driver ten jest zgodny z logiką wejściową 3,3 V jak i 5 V oraz ma również elementy niezbędne do dopasowania opóźnienia propagacji dla obu kanałów.

https://hackaday.io/project/189873-bldc-motor-controller

Zegarek biurkowy z wyświetlaczem LCD i animowanymi lampami Nixie

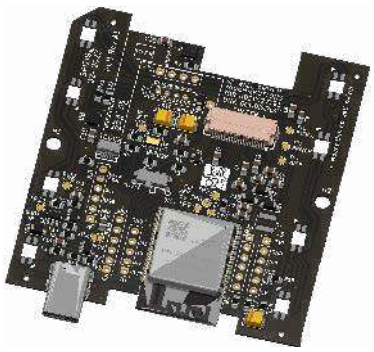
Zaprezentowany projekt jest kontynuacją wcześniejszego rozwiązania. Ciekawym pomysłem autora było użycie wyświetlacza, który imituje lampy Nixie. Zegar z lampami Nixie to klasyczny projekt, wykonywany przez wielu elektroników i nie tylko – do tego stopnia, że istnieją firmy, które współcześnie produkują tego rodzaju lampy.

Zaprezentowana konstrukcja jest zupełnie inna – zamiast klasycznych lamp Nixie wyświetla ich animację na ekranie LCD. Zastosowano wyświetlacz LCD ze sterownikiem ST7735, który jest sterowany przez mikrokontroler Raspberry Pi Pico. Wyświetla on na ekranie obrazki GIF, zaraz po włączeniu zasilania. Oprócz czasu oraz daty urządzenie jest w stanie prezentować aktualną temperaturę, a także wyświetlać zaprogramowany tekst w momencie uruchomienia alarmu.

https://hackaday.io/project/189875-desk-clock-lcd-st7735

AirQ oraz EarthQ – Inteligentny moduł inteligentnego domu

Ten ciekawy moduł automatyki domowej integruje w sobie wiele sensorów, ale nie tylko. To doskonała platforma do monitorowania środowiska czy mobilnego zbierania danych. W układzie znajdziemy:



- wyświetlacz e-Ink z ekranem dotykowym,
- sensor BME680 do pomiarów stężenia CO_2, temperatury, wilgotności i ciśnienia powietrza,
- moduł inercyjny MEMS LSM6DSL o niskim zużyciu energii elektrycznej, integrujący w sobie żyroskop i akcelerometr do detekcji ruchu czy np. wykrywania trzęsień ziemi,
- układ kontroli zasilania TPL5110 do bramkowania prądu i redukcji poboru prądu w czasie czuwania modułu,
- zegar czasu rzeczywistego z układem RV3028 C7 z podtrzymaniem za pomocą kondensatora (do trzech godzin),
- moduł radiowy RFM95 LoRa,
- moduł ESP32 S3 z USB, Wi-Fi i Bluetooth,
- diody LED SK6812 RGB
- interfejs przewodowy KNX EIB kompatybilny z Nano BCU, często używanym w systemach automatyki domowej.

Dzięki tym możliwościom sprzętowym układ ma szerokie zastosowanie. Można wykorzystać go w aplikacjach takich, jak:

- systemy monitorowania jakości powietrza,
- wykrywanie trzęsień ziemi,
- wykrywanie ruchu,
- wyświetlanie najnowszych wiadomości czy wykresów z trendami temperatury, ciśnienia itd,
- wyświetlanie prognozy pogody otrzymanej przez Wi-Fi,
- komunikacja dalekiego zasięgu z użyciem LoRa, która może przydać się np. w sytuacji katastrofy do wezwania pomocy.

Moduł ten z łatwością mieści się na biurku czy nawet w puszce włącznika elektrycznego. Jest zoptymalizowany do zasilania, jak i do długotrwałej pracy na baterii.

https://tiny.pl/cg9jf

Moduł do wspomagania oszczędzania opon

Projekt ten jest jednym z tych bardziej zaskakujących urządzeń, jakie prezentowane są na łamach tego artykułu, ale jednocześnie, może po chwili zastanowienia, ma on dużo sensu. Motywacją dla autora tego urządzenia była rosnąca cena… opon. Wiele mówi się o oszczędzaniu paliwa w pojazdach silnikowych, każdy chyba jest zaznajomiony z chociażby podstawami ekonomicznej (i jednocześnie ekologicznej) jazdy. Ale nikt nie zastanawia się nad zużyciem opon.

Autor projektu pięć lat temu przesiadł się z samochodu na motocykl Ducati. Okazuje się, że opony w tego rodzaju motocyklach potrafią

REKLAMA

ZAJRZYJ NA TE STRONY

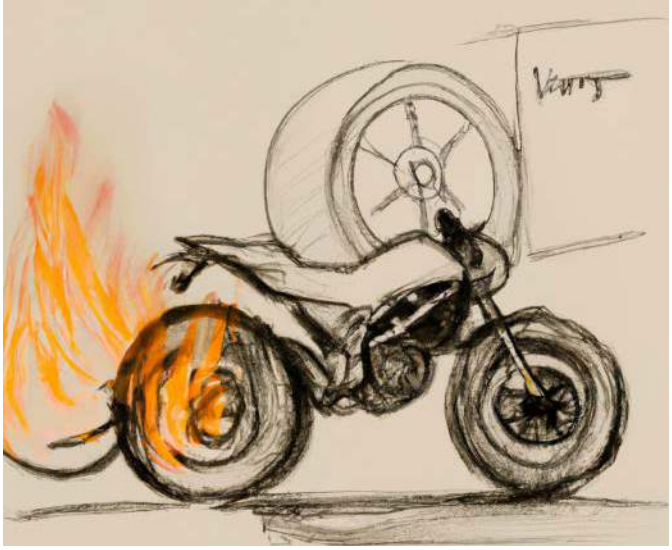
www.piekarz.pl
części elektroniczne
sprzedaz@piekarz.pl tel. 22 599 49 70

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

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

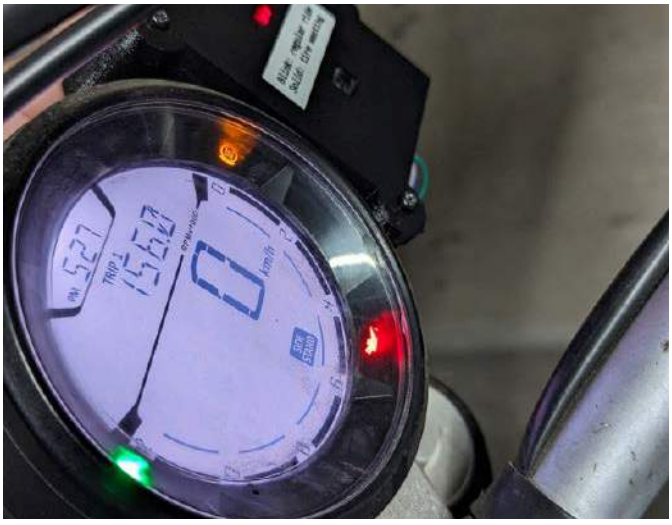
All In One
FERYSTER
• Projektowanie i wykonywanie
– modeli karkasów i obudów na drukarce 3D
– transformatorów i induktorów
– prototypów PCB
• Modelowanie 3D modułów i urządzeń
• Projektowanie urządzeń zasilających
Feryster – producent elementów EMC
www.feryster.pl

eprasa.pl b0a5d4d3d1



zużywać się zadziwiająco szybko, jeśli nie są odpowiednio użytkowane. Moduł Seeed Studio Xiao nrf52840 Sense ze zintegrowanym akcelerometrem monitoruje ruch motocykla, a działający na mikrokontrolerze nrf52840 prosty algorytm uczenia maszynowego analizuje ruch motocykla i rozróżnia, co jest zwykłą przerwą, a co przerwą marnującą opony. Układ jest na tyle wydajny, że może robić to w czasie rzeczywistym. Układ wbudowany jest w kompaktową, wydrukowaną obudowę z PLA.

Do poprawnego działania tego urządzenia wymagane są odpowiednie dane. W tym celu należy zebrać dane za pomocą akcelerometru podczas normalnej jazdy motocyklem, hamowania itd. Dane te muszą być zebrane w tym samym motocyklu, którego chcemy używać z urządzeniem i przy takim samym stylu jazdy. Moduł skonfigurowany do akwizycji danych po naciśnięciu przycisku nagrywa dane na kartę SD. W Czasie jazdy uruchamiamy przyciskiem zapis dla kolejnych plików, tak aby zebrać dane dla normalnego hamowania i ostrego hamowania.



Do nauki algorytmu autor korzysta z Edge Impulse (www.edgeimpulse.com), które jest bezpłatne dla developerów. Ładujemy do systemu dane uczące i generujemy klasyfikator. Autor na stronie z projektem dokładniej tłumaczy sposób jego uzyskania, a także parametry, z jakich korzystał. Po uzyskaniu klasyfikatora możemy załadować go do urządzenia, aby monitorowało ono, jak jeździmy. Gdy miga dioda LED, oznacza to, że wykryto normalne hamowanie. Jeśli zapali się ciągłe czerwone światło, oznacza to, że opony są marnowane przez zbyt ostre hamowanie.

https://tiny.pl/cg9js

Flightradar24 na żywo – moduł wyświetlający przelatujące obok nas samoloty

Wyświetlanie lotów w czasie rzeczywistym to nic trudnego, wystarczy wejść na odpowiedni portal internetowy i można od razu podziwiać dowolny kawałek nieba w czasie rzeczywistym. Zaprezentowane urządzenie nie wymaga logowania ani zakładania nigdzie konta. Możliwa jest prosta konfiguracja przez interfejs WWW. Układ ten wyświetla loty w naszej okolicy dzięki modułowi ESP32 TTGO-Display, który korzysta z API portalu https://FlightRadar24.com, ale tylko do aktualizacji lotów. Wewnętrzna baza danych zawiera dane lotnisk, samolotów i linii lotniczych z grafiką, aby zminimalizować ilość danych pobieranych przez moduł z zewnątrz. Wystarczy skonfigurować układ przez interfejs WWW, podając mu naszą lokalizację, a na wyświetlaczu zobaczymy listę przelatujących niedaleko samolotów. Oprogramowanie pozwala na wyszukiwanie typu i specyfikacji danego samolotu (producent, typ, opis, typ silnika i liczba), jego przewoźnika (jeśli jest dostępny) oraz śledzenie lokalizacji GPS wysokości, kursu i prędkości w czasie rzeczywistym. Możliwe jest wyszukiwanie pełnej nazwy lotniska początkowego i końcowego czy samego regionu lotniska, a także wyszukiwanie i wyświetlanie flag krajów. Konto na wspomnianym portalu nie jest wymagane, potrzebne jest tylko Wi-Fi z połączeniem internetowym.

Po naciśnięciu przycisku urządzenie przełącza się w tryb zegara: pokazuje tylko datę i godzinę. Aby powrócić do trybu samolotowego, należy ponownie nacisnąć górny przycisk.

https://github.com/rzeldent/esp32-flightradar24-ttgo

Dodepan – lo-fi elektroniczna marimba

Dodepan to chromatyczny instrument perkusyjny – elektroniczna wersja marimby lub handpana w stylu lo-fi. Jest on polifoniczny, z maksymalnie sześcioma brzmiącymi równocześnie głosami. Aby uczynić instrument responsywnym, użyto modułu inercyjnego MPU-6050 do wykrywania uderzeń dłonią w instrument i pomiaru ich intensywności. IMU dostarcza dane dotyczące prędkości uderzenia, dzięki czemu mocne stuknięcia są głośniejsze,

eprasa.pl b0a5d4d3d1

a delikatniejsze stuknięcia cichsze. Oprócz akcelerometru, IMU zapewnia również dane żyroskopowe, których dodepan używa do wykonywania pitch bendingu.

Jednostką centralną układu jest Raspberry Pi Pico. Agreguje i analizuje on wartości pokręteł i dane stuknięcia z pojemnościowego modułu dotykowego MPR121 oraz wyświetla informacje o klawiszach i skali za pomocą diod LED (przez demultiplekser 74HC4067). Co bardzo ważne, Pico emituje dźwięk, generując sygnał analogowy za pomocą modulacji szerokości impulsu – PWM. Obwód analogowy dalej przetwarza ten sygnał, aby skonwertować go w pełni na analogowy, zapewnić możliwość regulacji głośności i tłumienie szumów, przed przekazaniem dźwięku do wzmacniacza PAM8403, który steruje wbudowanym głośnikiem.

https://hackaday.io/project/189888-dodepan

Trenażer do gry w tenisa stołowego

Ten prosty układ pomaga w ćwiczeniu gry w ping-ponga. Urządzenie może strzelać piłkami w różnych kierunkach w różnych odstępach czasu. Kierunek rotacji można płynnie regulować pomiędzy rotacją do przodu (topspin) a rotacją wsteczną (backspin). Poprzez wymianę zaledwie jednego elementu można również zmienić kąt serwu, a tym samym uzyskać wysokie lub niskie wypuszczanie piłeczek.

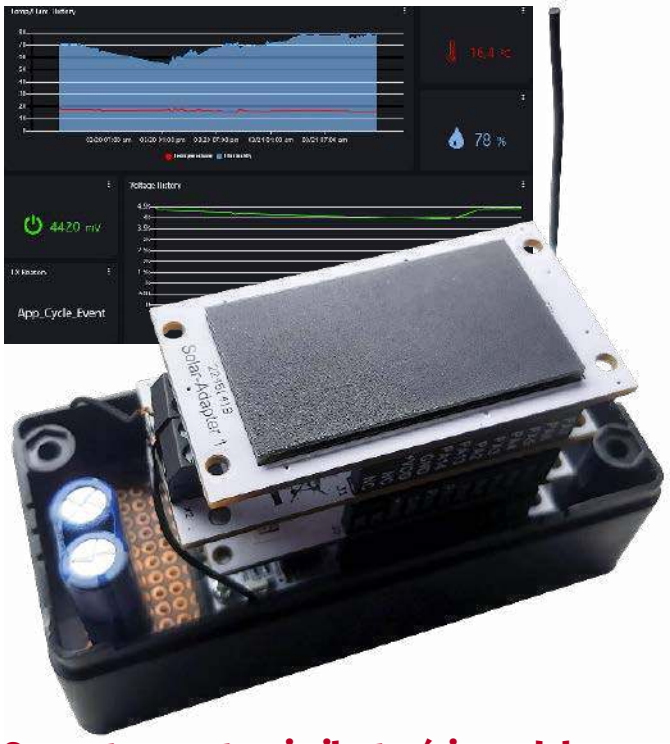
Układ został wydrukowany na drukarce 3D, dzięki czemu dosyć łatwo można skopiować go we własnym zakresie i rozpocząć treningi tenisa stołowego w domu.

https://youtu.be/tKqPbJfTlDg
https://hackaday.io/project/189887-ping-pong-robot

Moduł bezpieczeństwa do wyścigów w Formule Student

Zaprezentowany moduł BSPD odpowiada za wyłączenie obwodów w samochodzie wyścigowym w sytuacji awaryjnej. Układ odcina zapłon i pompę paliwową, jeśli spełniony jest zdefiniowany warunek. Obwód ten nie jest programowalny. Układ jest zasilany bezpośrednio z głównej linii zasilania pojazdu, aby zapewnić maksymalny poziom bezpieczeństwa. Wszystkie wbudowane czujniki są odłączane, aby możliwa była kontrola wszystkich elementów w układzie. Jest w pełni zgodny z rozporządzeniem Formuła Student 2022 – do takich pojazdów został opracowany.

https://hackaday.io/project/189904-bspd-v400



Sensor temperatury i wilgotności z modułem do zbierania energii

W zaprezentowanym projekcie zastosowano czujnik temperatury i wilgotności z funkcją pozyskiwania energii. Czujnik jest zasilany przez ogniwo słoneczne i superkondensatory do magazynowania zbieranej energii. Zastosowano głównie elementy firmy ELV. Czujnik wysyła informacje na temat temperatury, wilgotności i napięcia kondensatora do sieci TTN (theThingsNetwork). Interwał wysyłania można ustawić za pomocą tej samej sieci. W tym projekcie wybrano interwał 5 min.

Konstrukcja jest zasilana energią słoneczną, która jest przechowywana w superkondensatorach. Mają one długą żywotność, można je podłączyć bezpośrednio do ogniwa słonecznego i wielokrotnie ładować. Mają jednak małą pojemność. Zastosowany element ma pojemność 1,5 F. W sumie czujnik wytrzymuje bez słońca około 40 godzin przy interwale transmisji 5 min.

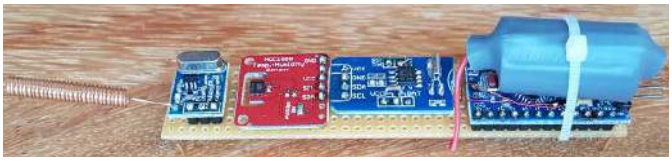
Transmisja odbywa się za pośrednictwem LoRaWAN. Protokół ten zaprojektowany został dla dużych sieci publicznych z jednym operatorem, bazuje na schemacie modulacji LoRa firmy Semtech. TTN (https://www.thethingsnetwork.org/) służy do odbierania i przesyłania wiadomości z użyciem LoRaWAN. Do wyświetlenia danych można użyć np. portalu TagoIO (https://tago.io/). Dzięki temu można tworzyć diagramy do śledzenia wartości.

https://cdn.hackaday.io/images/4161311679399234182.PNG
https://tiny.pl/cg9lz

Energooszczędny sensor RF

Motywacją do opracowania tego urządzenia było pewne doświadczenie autora – 5 lat temu miał problem – odpływ jego prysznica był nieszczelny. Wymiana brodzika nie wchodziła w grę, więc musiał on ograniczyć się do potencjalnie doraźnej naprawy uszkodzeń we własnym zakresie. Ponieważ nie był pewien, czy naprawa będzie skuteczna długoterminowo, postanowił przy tej okazji zainstalować czujnik, który wcześnie zaalarmuje go, jeśli wyciek wody się powtórzy. Taki czujnik musi znajdować się pod brodzikiem, gdzie

eprasa.pl b0a5d4d3d1



po zamontowaniu będzie niedostępny. W związku z tym pojawiło się zadanie zbudowania czujnika wilgotności i wykrywacza zalania, który przesyła odczyty bezprzewodowo i działa przez długi czas bez konieczności wymiany baterii. Głównym wymaganiem było zatem wyjątkowo niskie zużycie energii.

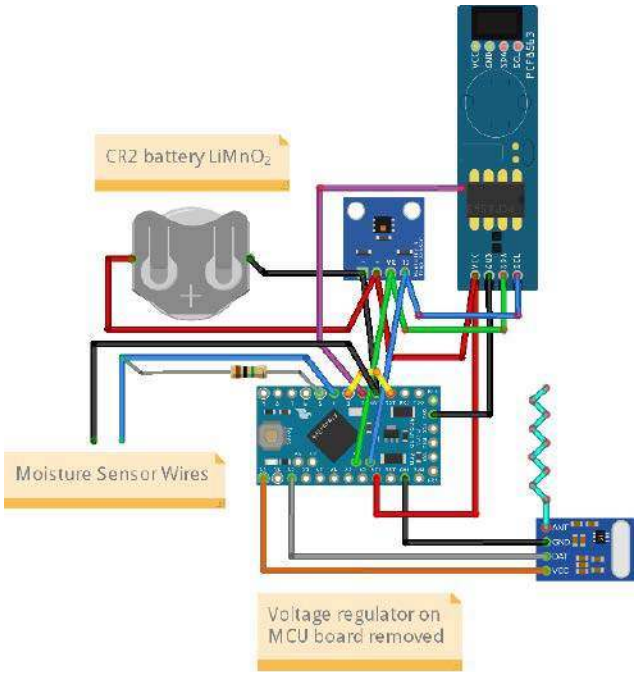
Jako źródło zasilania zastosowano ogniwa litowo-manganowe o nominalnym napięciu 3 V. Są one bardzo odpowiednie do takich zastosowań, ponieważ ich gęstość energii jest wysoka, a prąd samorozładowania niski. W przeciwieństwie do akumulatorów litowo-chlorkowo-tionylowych, pasywacja nie stanowi tutaj problemu. Napięcie pozostaje stosunkowo stałe przez długi czas aż do gwałtownego spadku pod koniec okresu eksploatacji. Pojemność jest zwykle określana dla spadku napięcia do 2 V jako momentu rozładowania. Bateria CR2 ma pojemność około 850 mAh, typ CR123 lub CR123A około 1600 mAh. Żywotność jest określona na 10 lat. Dłuższe użytkowanie nie jest gwarantowane, ale może być możliwe.

Autor zastosował Arduino Pro Mini zasilane 3,3 V z zegarem 8 MHz jako płytki procesora, ponieważ chciał użyć baterii o napięciu znamionowym 3 V. Mikrokontroler ATmega328P na tej płytce może działać z napięciem od 1,8 V, więc doskonale wykorzysta pojemność baterii. Aby zmniejszyć pobór prądu, usunięto stabilizator napięcia i diodę LED z płytki procesora. Procesor działa w trybie wyłączenia przez 99,9% czasu, a następnie do pracy wymaga kilkuset nanoamperów.

Aby zastosować mikrokontroler w tym projekcie, trzeba było przeprogramować konfigurację układu (tzw. fusebity) BOD z 2,7 V na 1,8 V, a czas rozruchu po wyłączeniu zasilania z 16 CK na 1 CK. Pozwala to na lepsze wykorzystanie pojemności baterii i skrócenie czasu uruchamiania o około 2 ms, co również pozwala zaoszczędzić trochę energii.

Ponieważ czujnik będzie montowany w metalu i betonie, wybrano częstotliwość radiową 433 MHz – ta stosunkowo niska częstotliwość ma lepszą penetrację tych materiałów niż np. 2,4 GHz. Zastosowano moduł radiowy SYN115. Jest on włączany i wyłączany bezpośrednio przez wyprowadzenie procesora i dlatego nie wymaga zasilania w trybie uśpienia.

System uzupełnia czujnik wilgotności HDC1080, który jest używany w trybie uśpienia. Pobiera on prąd o natężeniu 100 nA i mierzy zarówno temperaturę, jak i wilgotność. Do wykrywania wycieku wody używane są dwa wyprowadzenia procesora, które mają napięcie tylko przez krótki czas pomiaru, a zatem nie pobierają żadnego prądu spoczynkowego.



Do wybudzenia procesora z trybu power-down używany jest zegar czasu rzeczywistego PCF8563, który pobiera prąd spoczynkowy na poziomie około 250 nA i wybudza procesor z uśpienia, co 15 minut za pomocą przerwania. Prąd spoczynkowy całego obwodu podczas fazy uśpienia wynosi około 600 nA przy napięciu 3 V i temperaturze pokojowej. Został zmierzony za pomocą programu Atmel Power Debugger. Po wybudzeniu procesora przez zegar czasu rzeczywistego faza uśpienia jest wydłużana o losową wartość, aby zminimalizować zakłócenia z innych nadajników radiowych. Następnie następuje faza aktywna o długości 145 ms, w czasie której zmierzone wartości są zbierane i przesyłane. Średni pobór prądu to 14 mA w tym okresie. Cała faza aktywna wymaga ładunku 6,35 mJ. Używając ogniwa CR2 i pomiarów w cyklu 15-minutowym, żywotność obliczono na 12,6 lat. Jeśli odczyty są wykonywane tylko co 30 minut, obliczona żywotność baterii CR2 wzrasta do 23,5 roku.

Obecnie czujnik pracuje bezawaryjnie od 5 lat. Odbiornik jest również bardzo prosty w budowie i przesyła odebrane wartości pomiarowe do magistrali KNX. Analiza i wizualizacja wartości odbywa się za pomocą Home Assistant.

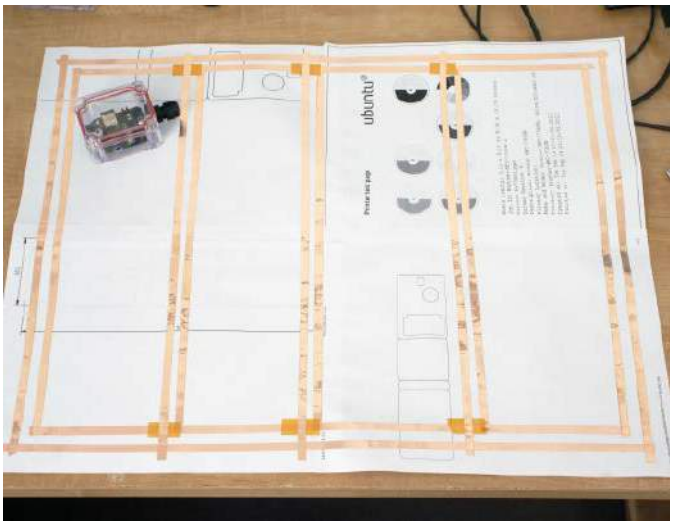
https://hackaday.io/project/189978-ultra-low-power-rf-sensor

Bezprzewodowy wykrywacz przecieków

Ten prosty układ służy również do monitorowania wycieków z rur itp. Bazuje na module z mikrokontrolerem z rodziny nRF. Charakteryzują się one bardzo niskim poborem energii, a jednocześnie szerokim wyborem możliwości komunikacyjnych w sieci bezprzewodowej. Zaprezentowany moduł wyposażono jedynie w wykrywacz wycieków w postaci elektrody o dużej powierzchni, która podłączona jest do modułu.

Autor wyliczył, że przy typowym zastosowaniu modułu zwykła bateria CR2032 (taka, jaką stosuje się na płycie głównej komputera PC) starczy systemowi na prawie 15 lat ciągłego monitorowania. Obliczenia te nie uwzględniają samorozładowanie się ogniwa oraz wpływu spadającego napięcia baterii na pobór prądu.

https://github.com/fgervais/project-nrf-leak-detector_hardware
https://github.com/fgervais/project-nrf-leak-detector
https://hackaday.io/project/189990-leak-detector-rev3



eprasa.pl b0a5d4d3d1

Analog Discovery 3 – mały, ale wariat

W EP 2/16 zaprezentowany został nieziemski przyrząd pomiarowy, jakim jest Analog Discovery 2. To bardzo funkcjonalne i dostępne w akceptowalnej cenie, wspomagane komputerem laboratorium pomiarowe. W czerwcu firma Digilent zdecydowała się wprowadzić do sprzedaży udoskonaloną wersję przystawki, oznaczoną numerem 3. Jak zwykle w takim momencie pojawia się pytanie, czy zmiany są wystarczające, aby wysupłać z budżetu pieniądze na unowocześnienie?

Analog Discovery 3 (AD3) zachował dalej swoją funkcjonalność, jaką jest łączenie kilku absolutnie niezbędnych w pracowni elektronika przyrządów pomiarowych: oscyloskopu, generatora, grupy cyfrowych GPIO oraz niewielkiego zasilacza, które zostały zamknięte w estetycznej kompaktowej obudowie. Podobnie jak poprzednik, AD3 nie jest urządzeniem samodzielnym, lecz przystawką pomiarową do komputera, pracującą pod kontrolą oprogramowania WaveForms w wersji wyższej od 3,20. Do pracy wymagane jest połączenie z komputerem wyposażonym w interfejs USBC i zainstalowanym Windowsem, Linuksem lub MacOSX.

Akcesoria

Przyrząd w wersji podstawowej SKU:471-415 został wyceniony na 379 $. W pudełku znajdziemy oprócz AD3, przewód USBC, 30-pinowy przewód GPIO, kilka 6-pinowych złączy szpilkowych oraz etykietki sygnałów GPIO. Za 409 $ oferowany jest zestaw SKU:471-060, w którym dodatkowo znajdują się dwie uniwersalne sondy oscyloskopowe typu P6100 z dzielnikiem 1:10 (100 MHz), płytka BNC-Adapter SKU:410-263, 6 szt. miniaturowych chwytaków pomiarowych. Szkoda, że w przypadku zestawu nie pomyślano jednak o tym, aby wszystkie oferowane akcesoria zmieściły się w dostarczanym z AD3 pudełku albo miały swój pojemnik. Zdecydowanie ułatwiłoby to przechowywanie i transportowanie przyrządu, a tak mamy pudełko i chaos kilku woreczków, kompletnie niestanowiących zabezpieczenia zestawu.

Obie wersje po zakupie i rejestracji umożliwiają korzystanie z rocznej licencji na symulator Multisim Live oraz z wersji próbnej EveryMeasure z limitem 5 użytkowników z udostępnionym miejscem o rozmiarze 5 GB. Opcjonalne akcesoria, zgodne także z AD2 dostępne w formie rozszerzeń złącza GPIO: tester tranzystorów SKU:410-413 (49 $), analizator impedancji SKU:410-378 (25 $), adapter do płytek stykowych SKU:410-361 (20 $) oraz adapter audio+ SKU:410-418 (29 $). Nie polecam używania AD3 ze starszą płytką adaptera płytek stykowych SKU:410-373. Konstrukcja adaptera jest nieprzemyślana i taka konfiguracja nie ma prawa być stabilna mechanicznie, gdyż AD3 jest większy i cięższy od AD2, który już stanowił spore wyzwanie dla płytek stykowych. AD3 działa także z opisaną w EP 6/17 płytką złączy BNC. Dla studentów po pozytywnej kwalifikacji statusu proponowana jest specjalna cena AD3, wynosząca 249 $.

Parametry

Deklarowane przez producenta parametry Analog Discovery 3 są następujące:

Blok przetwornika AD (oscyloskop):
- dwa różnicowe kanały przetwornika AD 14-bitowe,
- częstotliwość próbkowania do 125 MS/s,
- maksymalny bufor 32,768 k/kanał,
- pasmo przenoszenia 9 MHz, –3 dB,
- napięcie wejściowe ±25 V, impedancja wejściowa 1 M || 24 pF,
- pasmo przenoszenia z adapterem BNC, 30 MHz.

Blok przetwornika DA (generator):
- dwa kanały przetwornika AD 14-bitowe,
- częstotliwość próbkowania do 125 MS/s,
- maksymalny bufor 32,768 k/kanał,
- pasmo przenoszenia 9 MHz,
- napięcie wejściowe ±5 V.

Blok GPIO (analizator i generator cyfrowy):
- 16 cyfrowych GPIO,
- częstotliwość próbkowania do 125 MS/s,
- napięcie wejściowe 3,3 V, tolerancja do 5 V,
- analiza protokołów min.: I²C, SPI, UART, CAN, JTAG.

Blok wyzwalania:
- dwa wejścia/wyjścia wyzwalające TRIG umożliwiające sterowanie pracą AD3.

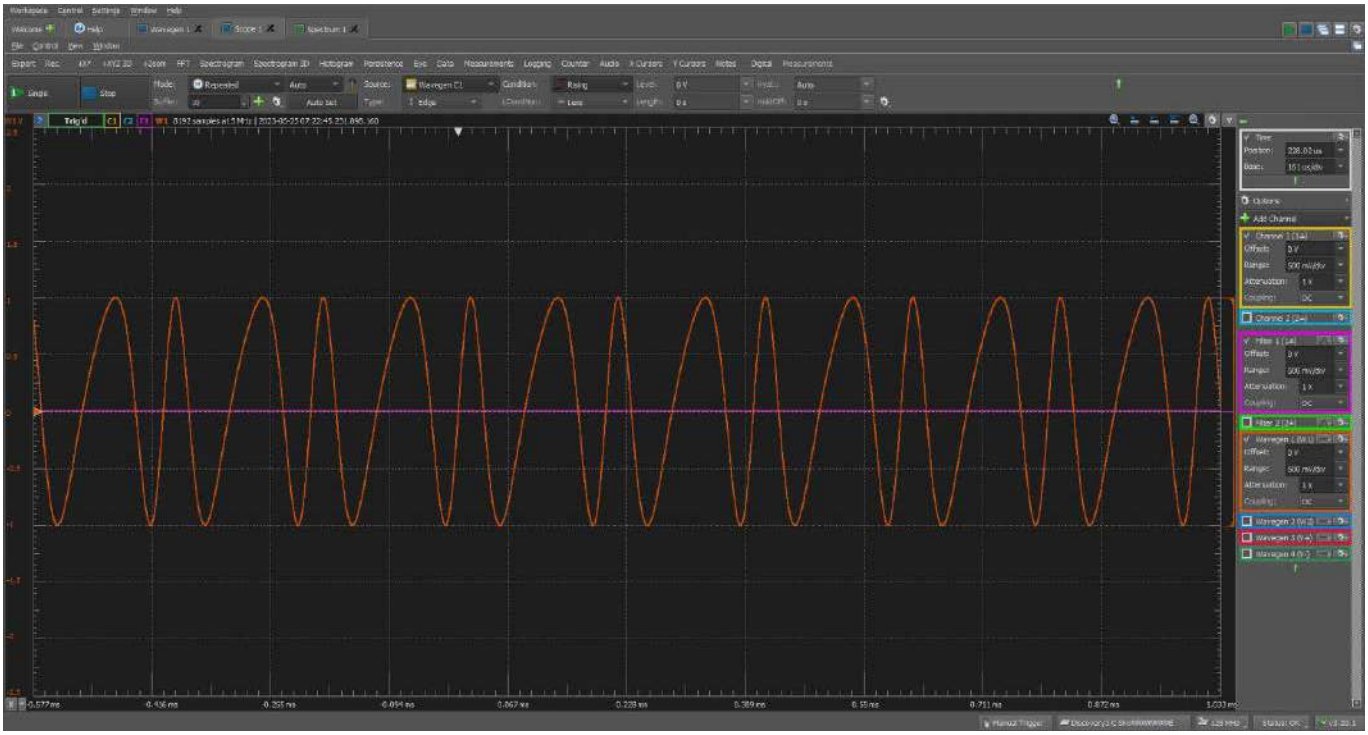
Blok zasilania:
- programowany zasilacz symetryczny ±0,5...5 V, obciążalność do 800 mA, 2,4 W na kanał z zewnętrznym zasilaczem 5 V, opcja śledzenia zasilaczy +/–.

Budowa

Przyrząd zbudowany jest na bazie FPGA Xilinx Spartan 7, elementy części analogowej zgodnie z deklaracjami Digilent dostarcza TI, co jest zmianą z Analog Devices w wersji AD2. Niestety ze względów gwarancyjnych zrobienie zdjęć środka AD3 nie odbyło się, zdjęcia nie są też dostępne w sieci ani na oficjalnej stronie producenta, wynika to być może z ograniczonej (jeszcze) dostępności na rynku nowej wersji.

Komunikacja z komputerem nadrzędnym odbywa się poprzez interfejs USBC, który podobnie jak dodatkowe gniazdo zasilania 5,5 mm umieszczone jest z tyłu AD3. Wymiary zewnętrzne przyrządu bez płytek rozszerzeń do 100×100×20 mm. Na tylnej ściance

eprasa.pl b0a5d4d3d1



Rysunek 1. Oprogramowanie WaveForm

umieszczona jest także dioda sygnalizująca zasilanie AD3, jednak jej położenie nie jest do końca przemyślane, gdyż najzwyczajniej jej nie widać, ponieważ obudowa nie jest przezroczysta jak w AD2, a przyrząd raczej użytkowany jest od strony złącza GPIO. Myślę, że ukłonem w stronę użytkowników komputerów Apple byłoby podświetlane logo Digilent na górze obudowy, a reszta też nie pogardziłaby czytelnym wskaźnikiem zasilania.

Konstrukcja rozszerzeń nie zmieniła się, płytki dalej wiszą na złączu GPIO, podpierając się jedynie na kołkach montażowych, które w przypadku adaptera BNC są zbyt długie i wszystko najzwyczajniej jest krzywe. Nie jest też wielkim problemem wyciągnięcie płytki adaptera z AD3 podczas manipulacji sondami oscyloskopowymi – mechanizm dźwigni robi swoje szczególnie, gdy używane są wszystkie cztery gniazda BNC z niespecjalnie elastycznymi przewodami koncentrycznymi. W moim odczuciu na podłączone adaptery przydałaby się obudowa lub osłona z plexi, chociażby przed przypadkowym zwarciem elementami, dla których podczas eksperymentów biurko jest zawsze za małe i zawsze znajdują sposób na dotarcie do miejsc, gdzie narobią najwięcej szkód… Ciekawe jest też, dlaczego Digilent tak broni się przed umieszczeniem gniazd BNC w obudowie AD3, jak to ma miejsce w wersjach PRO, jest teraz przecież znacznie większa, według mnie znaczaco poprawiłoby to funkcjonalność przyrządu, nawet gdyby były to tylko kanały oscyloskopu, a przyrząd miałby być o kilka dolarów droższy.

Funkcjonalność

Na bazie sprzętu AD3 oferowane są następujące programowe przyrządy pomiarowe:

- analizator widma, 2 kanały, zakres częstotliwości 0...62,5 MHz, metody analizy m.in.: Hamming, Hann, Blackman-Harris, Flat Top, Kaiser,
- analizator obwodów, zakres częstotliwości 20 µHz...9 MHz, 1...10001 kroków analizy,
- analizator impedancji, zakres częstotliwości 20 µHz...31,25 MHz, 1...10001 kroków analizy, m.in.: analiza impedancji, admitancji, indukcyjności, pojemności,
- analizator protokołów, m.in.: I²C, SPI, UART, CAN, JTAG,
- konfigurowane i sterowane niezależnie statycznyne 16×GPIO,
- rejestrator, 2 kanały współdzielone z oscyloskopem,
- woltomierz, 2 kanały współdzielone z oscyloskopem.

AD3 może zostać dostosowany do automatyzacji pomiarów, poprzez skrypty w C, C++, Python, wspierana jest także obsługa LabVIEW i Matlab.

Podsumowanie

Porównując do AD2, najbardziej widoczną zmianą jest większa obudowa oraz wyposażenie przyrządu w współczesny interfejs komunikacyjny USBC. Niestety usunięte zostało gniazdo Jack Audio, które ułatwiało pomiary audio, jest ono teraz dostępne jako opcjonalny adapter nazwany AudioAdapter+. Adapter wyposażony jest w bufory sygnałowe oraz w 4 szt. gniazd jack 3,5 mm, na które wyprowadzone są sygnały oscyloskopu i generatora, w możliwej do ustalenia zworami konfiguracji mono/stereo. Chociaż wydaje się, że łatwiej mimo wszystko w pomiarach audio używać gniazd typu RCA/Cinch lub BNC. Reszta zmian nie jest widoczna i wymaga porównań dokumentacji.

Najistotniejszą zmianą i najbardziej reklamowaną jest zwiększenie częstotliwości próbkowania z 100 MS/s do 125 MS/s i dwukrotne zwiększenie pojemności bufora z 16384 do 32768 próbek. Ułatwi to analizę szybszych i dłuższych sekwencji sygnału. Nie jest to może wartość imponująca w porównaniu z oscyloskopami stacjonarnymi, ale każda zmiana na plus daje zawsze większe możliwości pomiarowe. Zwiększony został minimalny bufor próbek dla przyrządów pomiarowych podczas pracy wspólnej, każdy z nich do dyspozycji będzie miał minimum 2048 próbek.

Poprawiono także parametry generatora dla modulacji FM/PM/AM, tutaj także minimalny bufor to 2048 próbek. Wejścia oscyloskopu pracują z rozdzielczością 14 bitów, przy zmniejszeniu częstotliwości próbkowania o połowę można uzyskać rozdzielczość do 15 bitów, a dalsze zmniejszenie do 25% zwiększy rozdzielczość do pełnych 16 bitów. Zmiana częstotliwości próbkowania jest nową cechą AD3 i dostępna jest w opcjach programu WaveForms. Pewnie jest to nie do końca zaimplementowane poprawnie, gdyż częstotliwość próbkowania można zmniejszyć jedynie do 50 MHz.

Intrygującą nowością jest, że AD3 wydaje z siebie podczas pracy stuki, nie należy się tym zjawiskiem na szczęście niepokoić, gdyż wynika ono ze zmiany sposobu sterowania dzielnikami wejściowymi, które z kluczy FET ADG612 zostały zastąpione przekaźnikami.

Bardzo funkcjonalnym usprawnieniem jest także opcja cyfrowego przechwytywania (pętla) danych pomiędzy generatorem

eprasa.pl b0a5d4d3d1

arbitralnym a oscyloskopem, działająca w dwóch kierunkach oraz sprzętowe filtry FIR. Efekt sprzęgnięcia generatora z oscyloskopem został pokazany na **rysunku 1**. Niestety to sprzężenie nie obejmuje analizatora widma, a szkoda, byłoby to przydatne podczas nauki o sposobach modulacji sygnałów. Być może ja nie potrafię tego sprzężenia uzyskać, ale pytanie zostało zadane producentowi i czekam na odpowiedź, a do tego czasu wejście oscyloskopu w trybie analizatora i generatora musi pozostać połączone fizycznie.

W trybie GPIO dodano możliwość konfiguracji rezystorów Pull-Up, ale usunięto zgodność z sygnałami LVCMOS 1,8 V, co może zmartwić osoby eksperymentujące z układami niskonapięciowymi – bez konwertera poziomów 1,8/3,3 V się nie obejdzie.

Zmiana interfejsu na USBC umożliwiła zwiększenie częstotliwości rejestracji z 1 MS/S do 10 MS/s. Niestety nie wykorzystano możliwości, jakie daje USBC-PD, w celu poszerzenia zakresu dostępnych napięć zasilania. Przykładowo można by zwiększyć zakres generowanych napięć do ±15 V, nawet przy zachowaniu ich niewielkiej obciążalności <200 mA, ułatwiłoby to bezpośrednie testowanie układów ze wzmacniaczami operacyjnymi, podobnie jak zwiększenie obciążalności zasilacza +5 V.

W przypadku zasilaczy nowością jest opcja wolnozmiennej modulacji napięć wyjściowych w zakresie częstotliwości 100 μHz...2,5 Hz, typowymi przebiegami uzyskiwanymi z generatora. Szkoda, że zakres modulacji nie został poszerzony do 50/100 Hz, co przydałoby się przy ocenie odporności układu na zakłócenia sieciowe, ale pewnie wbudowane przetwornice impulsowe nie mają szansy z nadążaniem i regulacją tak szybko zmodulowanego napięcia. Zasilacze mają w opcjach definiowane maksymalne dostarczane moce, jak i limit temperaturowy, jaki mogą osiągnąć bez ryzyka przegrzania AD3.

Producent chwali się także 98% zgodnością aplikacji z AD2, ograniczenia dotyczą głównie braku zgodności z sygnałami 1,8 V oraz usunięciem gniazda Jack Audio – oby były to wszystkie niezgodności, jak wyglądać będzie to w rzeczywistości, pokaże dłuższa eksploatacja.

Niestety nie będzie aktualizacji podręcznika *Hardware Design Guide*, opisującego ze szczegółowym komentarzem konstrukcję AD2, tłumaczone jest to dużym obciążeniem działu projektowego, szkoda, ponieważ było to cenne źródło informacji o praktycznej realizacji dosyć nowoczesnego przyrządu pomiarowego.

Podsumowując: AD3 nie wnosi rewolucyjnych zmian, jest to tylko naturalny rozwój zarówno części sprzętowej, jak i programowej. Szkoda, że Waveforms nie wspiera Androida, ponieważ zwykły smartfon z aplikacją mógłby stać się bardzo przenośnym interfejsem użytkownika, nawet gdyby zakres obsługiwanych funkcji był ograniczony. W dalszym ciągu AD3 jest jednak przyrządem bardzo pomocnym, a w przypadku rozpoczynających kontakt z elektroniką może zostać solidną bazą do zbudowania małego laboratorium, tym bardziej że jego cena oscyluje (szczególnie dla studentów) w pobliżu ceny smartfona. AD3 jest na pewno lepszym wyborem niż inwestowanie w używane i bardzo często rozkalibrowane kilkunastoletnie przyrządy pomiarowe wycofane z eksploatacji lub zakup efemerycznych konstrukcji dalekowschodnich oferowanych bez lub z mocno ograniczonym wsparciem technicznym i nagminnym brakiem aktualizacji oprogramowania, bez których w krótkim czasie stają się najzwyklejszymi elektrośmieciami.

Adam Tatuś, EP

eprasa.pl b0a5d4d3d1

AVT sklep

W ofercie AVT*
AVT5987

Podstawowe parametry:
- niezależne sterowanie dwóch magnetoelektrycznych mikroamperomierzy o zakresie pomiarowym do 100 µA,
- przystosowany do stereofonicznego wyjścia liniowego,
- logarytmiczna zależność między aktualnym napięciem a prądem sterującym mikroamperomierz,
- pasmo przenoszenia ograniczone od dołu, około 160 Hz,
- regulacja poziomu odniesienia (0 dB),
- pobór prądu około 10 mA,
- zasilanie napięciem 12...15 V.

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

AVT5982	VUM – mikroprocesorowy wskaźnik wysterowania sygnału audio (EP 5/2023)
AVT5866	Spectra – analizator widma sygnału audio (EP 6/2021)
AVT5767	Stereofoniczny wskaźnik poziomu wysterowania z funkcją Peak-Hold (EP 5/2020)
AVT5748	SpectrumDFT – analizator widma sygnału akustycznego (EP 3/2020)
AVT5712	Spectrum – prosty analizator widma sygnału akustycznego (EP 9/2019)
AVT5678	Stereofoniczny wskaźnik wysterowania (EP 6/2019)
AVT5585	Sterownik wskaźnika wychyłowego do wzmacniacza (EP 1/2018)
AVT1716	Wskaźnik wysterowania z pamięcią (EP 12/2012)

* **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.

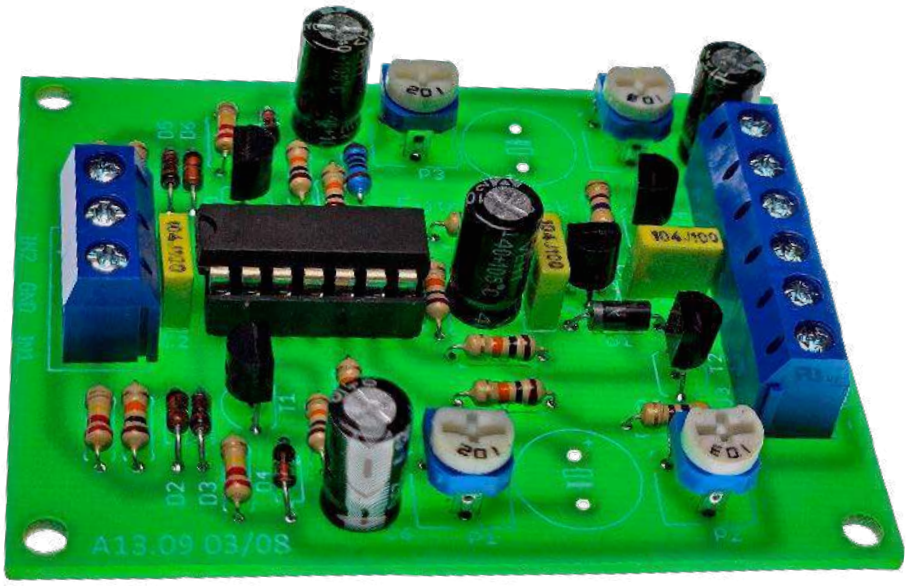
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- **wersja [A+]** – płytka drukowana **[A]** + zaprogramowany układ **[UK]** i dokumentacja,
- **wersja [UK]** – zaprogramowany układ.

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**.

Logarytmujący sterownik wychyłowych wskaźników wysterowania

Analogowe wskaźniki wysterowania stosowane były głównie we wzmacniaczach sprzed paru dekad. Nie były to tylko efektowne gadżety – wskaźniki pokazywały faktyczny poziom sygnału, mierzony w decybelach. To efektowne rozwiązanie może stać się elementem również całkiem nowoczesnych bloków audio.



Wskaźniki wysterowania służą do tego, aby pokazać użytkownikowi sprzętu, jaki jest aktualny poziom sygnału w odniesieniu do wartości referencyjnej, umownie oznaczanej jako 0 dB. W ten sposób można się łatwo dowiedzieć, czy nasz sprzęt nie jest przesterowywany (wskazania powyżej 0 dB) lub wręcz przeciwnie, wysterowany w nikłym stopniu (bardzo niski średni poziom sygnału), co pogarsza stosunek sygnał/szum. Są to na ogół wskaźniki, a nie przyrządy pomiarowe, ponieważ ich dokładność jest bardzo mała – ale wystarczająca do tych zastosowań.

Mamy jednak dwa problemy. Po pierwsze, klasyczne mikroamperomierze wychyłowe, jakie znamy od dziesięcioleci, akceptują jedynie prąd płynący w jednym kierunku, z kolei sygnał audio ma naturę bipolarną: jego wartość chwilowa może być zarówno dodatnia, jak i ujemna. Po drugie, wskaźnik wysterowania pokazuje poziom sygnału w decybelach, więc wspomnianą już wartość chwilową napięcia trzeba zlogarytmować i dopiero wtedy podać na zaciski mikroamperomierza. Jak to zrobić bez użycia mikrokontrolerów? Bardzo łatwo, gdyż większość pracy wykonał słynny naukowiec William Shockley.

Budowa i działanie

Schemat ideowy omawianego układu znajduje się na **rysunku 1**. Składa się z dwóch identycznych sekcji, po jednej dla każdego kanału audio (dlatego zostanie omówiona tylko jedna z nich) oraz wspólnej dla nich części zasilającej. Zasilanie układu podłącza się do zacisków złącza J1. Gdyby zdarzyła się pomyłka w określeniu biegunowości, nic strasznego się nie wydarzy, ponieważ dioda D1 zablokuje wtedy przepływ prądu. To napięcie jest również stabilizowane do wartości 9 V przez układ US1. Jak okaże się dalej, dokładna wartość napięcia wyjściowego tego stabilizatora nie jest istotna, lecz dzięki temu można w najprostszy sposób uzyskać napięcie o kilka woltów niższe od zasilającego, którego wartość nie ulega znaczącym zmianom.

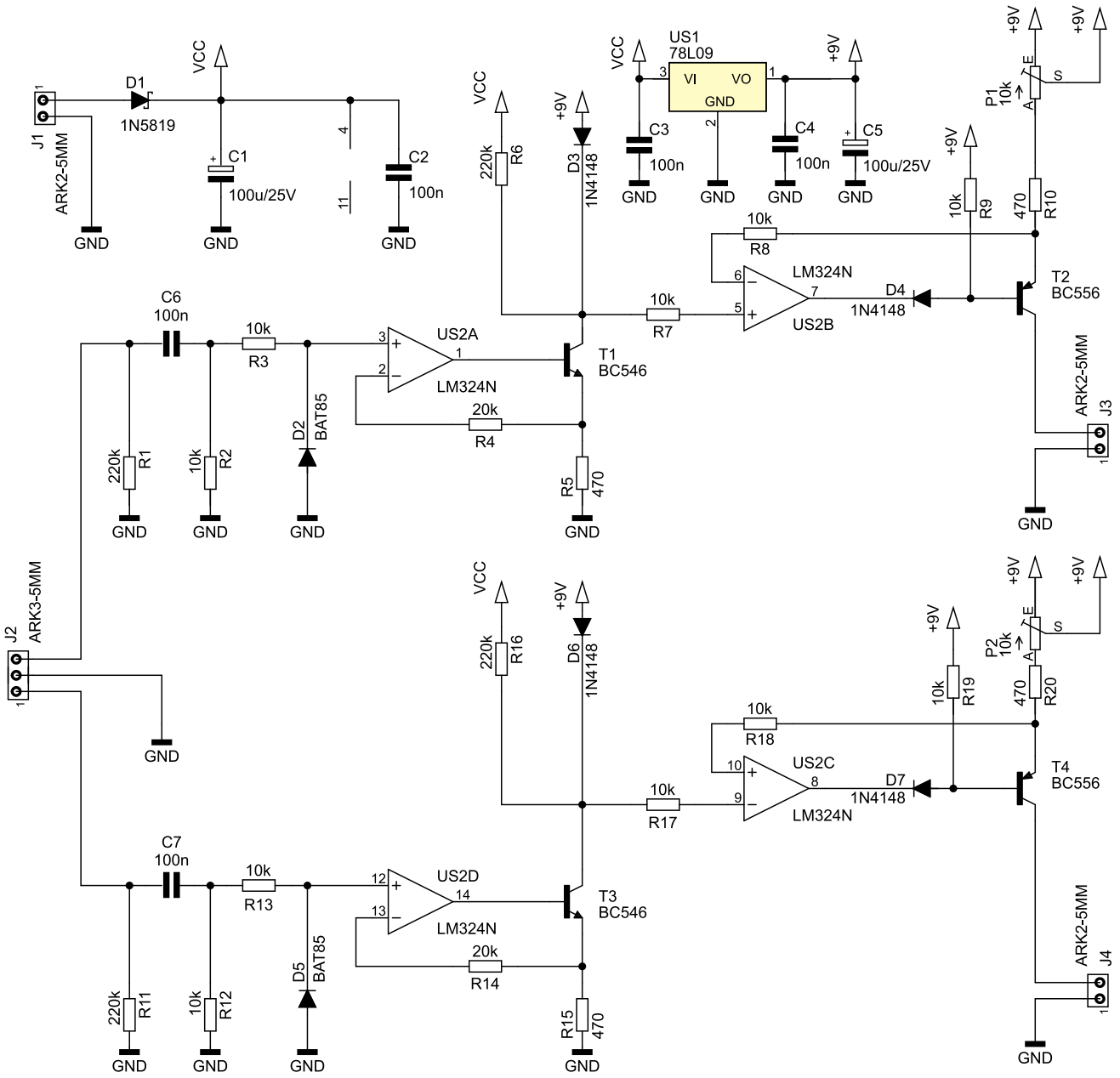
Sygnał napięciowy audio należy podać na zaciski złącza J2, z których środkowy przeznaczony jest na masę tego sygnału. Kondensator C6 ma tutaj dwa zadania. Jednym z nich jest odcięcie składowej stałej, aby jej obecność nie zaburzała pracy dalszej części układu. Po drugie, pasmo przenoszenia układu zaczyna się od około 160 Hz. Wprowadza to tłumienie dla składowej 50 Hz, będącej częstotliwością podstawową w sieci elektroenergetycznej, która jednocześnie wprowadza nieznośny przydźwięk sieciowy do sygnału. Składowa

eprasa.pl b0a5d4d3d1

100 Hz, która jest drugą harmoniczną częstotliwości podstawowej, powstaje w wyniku dwupołówkowego prostowania prądu przemiennego i też potrafi wprowadzać nieprzyjemne efekty dźwiękowe. Zadaniem układu jest wskazanie poziomu sygnału, a nie jego niepożądanych składowych, dlatego jest on filtrowany przez bardzo prosty, górnoprzepustowy filtr RC. Rezystor R1 polaryzuje lewą okładkę kondensatora C6, zaś R2 prawą.

We wstępie wspomniano, że sygnał audio może mieć chwilowe wartości zarówno większe od 0 V, jak i niższe. Dlatego dalsza część układu reaguje tylko na dodatnie połówki sygnału, ujemne zaś są pomijane. Umożliwia to prostownik równoległy z diodą D2, który ogranicza wartość chwilową sygnału do wartości nie niższej niż około –0,3 V. Jest to istotne dla prawidłowej pracy następnego bloku w tym układzie. Prąd tej diody ogranicza rezystor R3. Bez niego układ mógłby zniekształcać sygnał audio rozprowadzany do innych elementów zestawu, jak na przykład wzmacniacza, ponieważ stanowiłby bardzo silne obciążenie dla ujemnych połówek sygnału, ustalane niemal wyłącznie rezystancją statyczną przewodzącej diody D2.

Wstępnie obrobiony sygnał jest wprowadzany na wejście źródła prądowego, a dokładniej precyzyjnego źródła prądowego, które do działania zawiera wzmacniacz operacyjny US2 A. Jego zadaniem jest takie wysterowanie bazy tranzystora T1, aby napięcie odkładające się na rezystorze R5 było równe temu, które w danym momencie jest przyłożone do wejście nieodwracającego US2 A. Ponieważ prąd



Rysunek 1. Schemat ideowy sterownika wskaźników wysterowania

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)
R1, R6, R11, R16: 220 kΩ
R2, R3, R7...R9, R12, R13, R17...R19: 10 kΩ
R4, R14: 20 kΩ
R5, R10, R15, R20: 470 Ω
P1, P2: 10 kΩ montażowy leżący

Kondensatory:
C1, C5: 100 µF 25 V raster 2,5 mm
C2...C4, C6, C7: 100 nF raster 5 mm MKT

Półprzewodniki:
D1: 1N5819
D2, D5: BAT85
D3, D4, D6, D7: 1N4148
T1, T3: BC546
T2, T4: BC556
US1: 78L09 (TO92)
US2: LM324 (DIP14)

Pozostałe:
J1, J3, J4: ARK2/500
J2: ARK3/500
Jedna podstawka DIP14
Dwa mikroamperomierze 100 µA (opis w tekście)

eprasa.pl b0a5d4d3d1

bazy T1 jest bardzo mały można przyjąć, że jego kolektor pobiera prąd o tym samym natężeniu, co przepływający przez rezystor R5. Zadaniem R4 jest wyrównanie rezystancji, przez którą są zasilane bazy tranzystorów różnicowego obwodu wejściowego US2 A. Wejście nieodwracające widzi sumaryczną rezystancję R2 i R3, zatem R4 musi mieć rezystancję do nich możliwie zbliżoną. W przeciwnym razie między wejściami wzmacniacza operacyjnego powstałoby niewielkie napięcie różnicowe, które mogłoby wywołać na tyle duży offset napięciowy, że T1 przewodziłby prąd nawet przy całkowitym braku sygnału. Dioda D2 nie dopuszcza do otwarcia złącza baza-kolektor wejściowego tranzystora PNP, który pełni funkcję wtórnika na wejściu wzmacniacza operacyjnego US2 A.

Prąd płynący przez kolektor tranzystora T1 jest wprost proporcjonalny do chwilowej wartości dodatniej połówki wejściowego sygnału audio. Do tej pory nie było mowy o jakimkolwiek logarytmowaniu, lecz dzieje się ono w następnym etapie. Otóż ten prąd przepływa przez nieliniowy element rezystancyjny, jakim jest złącze PN diody D3. Zadaniem tej diody jest przekształcenie liniowo zmieniającego się prądu w nieliniowo (logarytmicznie) zmieniające się napięcie, co wynika ze wzoru wyprowadzonego przez zespół wspomnianego już badacza:

$$I_F = I_S \cdot \left(e^{\frac{qU_F}{kT}} - 1 \right)$$

- I_F – prąd przewodzenia złącza [A]
- I_S – prąd nasycenia złącza [A], wartość stała
- q – ładunek elektronu [C]
- U_F – napięcie przewodzenia złącza [V]
- k – stała Boltzmanna [J/K]
- T – temperatura złącza [K], można przyjąć, że zmienia się w bardzo wąskich granicach

W tym momencie jeszcze nie za bardzo widać ten logarytm. Po przekształceniu uzyskujemy:

$$U_F = \frac{kT}{q} \cdot ln\left(\frac{I_F}{I_S} + 1 \right)$$

Teraz dowód jest jednoznaczny: napięcie na zaciskach diody zmienia się logarytmicznie w stosunku do płynącego przez nią prądu. Ale zaraz, przecież decybele obliczamy, używając logarytmu o podstawie 10, zaś tutaj mamy logarytm naturalny. Odwołując się do matematyki ze szkoły średniej, zamieniamy podstawę logarytmu:

$$U_F = \frac{kT}{q} \cdot ln\left(\frac{I_F}{I_s} + 1 \right) = \frac{\frac{kT}{q} \cdot log_{10}\left(\frac{I_F}{I_S} + 1 \right)}{log_{10} e}$$

$$U_F \approx 0{,}434 \frac{kT}{q} \cdot log_{10}\left(\frac{I_F}{I_S} + 1 \right)$$

Nie ma więc różnicy, czy nasz nieliniowy element używa logarytmu naturalnego, czy też dziesiętnego – różnicę można zniwelować, mnożąc wynik przez wartość stałą, czyli modyfikując wzmocnienie układu. Warto zauważyć, że użyta dioda, typu 1N4148, nie ma żadnych szczególnych właściwości, to typowa dioda małej mocy, która kosztuje grosze. Ale będzie pełnić swoją funkcję tak samo dobrze, jak gdyby wstawić w to miejsce element o cenie nieporównywalnie wyższej. Stąd już tylko jeden krok do sterowania wskaźnikiem wychyłowym, na którym tak bardzo nam zależy.

Służy do tego, a jakże, drugie źródło prądowe, bazujące tym razem na wzmacniaczu operacyjnym US2 B. Steruje on tranzystorem T2 w taki sposób, aby spadek napięcia na wypadkowej rezystancji połączonych szeregowo rezystorze R10 i potencjometrze P1 był równy napięciu przewodzenia diody D3. Prąd płynący przez R10 i P1, wynikający z prawa Ohma, wypływa z kolektora T3 i zasila cewkę naszego mikroamperomierza. Im większe jest natężenie tego prądu, tym większe staje się wychylenie wskazówki. Koniec, gotowe, możemy iść do domu? Nie do końca, są trzy małe mankamenty.

Pierwszym z nich jest prąd zerowy kolektora tranzystora T1. Płynie on nawet wtedy, kiedy T1 jest zatkany. Co dla nas istotne, wywołuje on pewien spadek napięcia na diodzie. Sam prąd nie ma wysokiego natężenia, nie powinien przekraczać 15 nA w temperaturze pokojowej. Swój prąd dokłada również wejście nieodwracające wzmacniacza operacyjnego, a dokładniej baza tranzystora wejściowego. To powoduje, że w stanie spoczynku na diodzie występuje napięcie rzędu 30…50 mV, co oczywiście przekłada się na pewne wychylenie wskazówki mikroamperomierza od położenia zerowego. Rezystor R6 podbiera część prądu z diody, więc może się ona całkowicie zatkać. R6 powinien mieć możliwie wysoką wartość, aby nie zaburzać procesu logarytmowania, a z kolei jego rezystancja najlepiej, by była jak najmniejsza, aby odkładające się na nim napięcie (wywołane wspomnianymi już prądami) było możliwie niskie. Dlatego R6 jest podłączony do potencjału wyższego niż anoda diody D3, więc w stanie spoczynku jest ona spolaryzowana zaporowo. Za to już przepływ prądu o niewielkim natężeniu, rzędu kilkunastu mikroamperów, jaki wymusi kolektor tranzystora T1, skłoni diodę do przewodzenia.

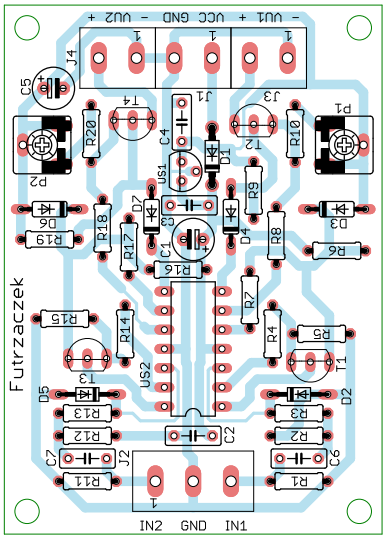
Wzmacniacz operacyjny typu LM324 dobrze obsługuje potencjały wejściowe zbliżone do 0 V, ale wymaga pewnego marginesu przy dodatniej linii zasilającej. W tym właśnie celu został zastosowany stabilizator US1. Wzmacniacz operacyjny jest zasilany wprost ze złącza J1, czyli są to wartości rzędu 12…15 V, natomiast jego wejścia pracują na potencjałach bliskich masy (US2 A) lub 9 V (US2 B). Wszystko może działać poprawnie. Dlatego ten stabilizator nie musi dawać napięcia równego dokładnie 9 V, mógłby to być element typu 78L08 lub 78L10, ponieważ chodzi tylko o zapewnienie kilkuwoltowego marginesu od potencjału zasilającego wzmacniacz operacyjny.

Ostatnim problemem, nad którym trzeba się pochylić, jest złącze baza-emiter tranzystora T2. W stanie normalnej pracy jest ono polaryzowane, dzięki wyjściu wzmacniacza US2B, w kierunku przewodzenia. Natomiast w stanie spoczynku, kiedy źródło prądowe ma się zatkać, zwrot napięcia na nim ulega odwróceniu. Producent deklaruje, że złącze to nie otworzy się aż do napięcia 6 V, ale to wartość mierzona przy prądzie emitera równym 10 µA. Jakiś niewielki prąd może zacząć „przeciekać" już wcześniej. Tranzystor w takim stanie pracy ma wprawdzie wybitnie kiepskie parametry, lecz na tyle dobre, aby czuły mikroamperomierz zarejestrował pewien niewielki prąd kolektora. Co nam to da? Irytujące wychylenie wskazówki od położenia zerowego przy braku sygnału. Co możemy z tym zrobić? Nie dopuścić do przebicia wstecznego złącza baza-emiter. W jaki sposób? Wystarczy dioda D4, która zatka się, kiedy potencjał wyjścia wzmacniacza wzrośnie powyżej 9 V. Do tego rezystor R9, który będzie utrzymywał napięcie baza-emiter tranzystora T2 na poziomie 0 V. To tyle, nic więcej nie trzeba.

Montaż i uruchomienie

Układ został zmontowany na jednostronnej płytce drukowanej o wymiarach 70×50 mm, której schemat został pokazany na **rysunku 2**. W odległości 3 mm od krawędzi płytki znalazły się cztery otwory montażowe, każdy o średnicy 3,2 mm.

Montaż proponuję rozpocząć od elementów o najmniejszej wysokości obudowy, czyli rezystorów i diod. Pod układ US2 proponuję zastosować podstawkę, aby ułatwić jego wymianę w razie



Rysunek 2. Schemat płytki PCB

eprasa.pl b0a5d4d3d1

uszkodzenia. Zmontowany układ można zobaczyć na fotografii tytułowej. Montaż jest na tyle prosty, że może się go podjąć nawet mało doświadczony użytkownik lutownicy.

Zasilanie dla układu powinno być nie mniejsze niż 12 V i nie wyższe niż 15 V, z uwagi na prąd płynący przez rezystory R6 i R16 – przy wysokim napięciu zasilania staje się on wyższy. Na szczęście znalezienie napięcia stałego w takim przedziale nie powinno być trudne w niemal każdym sprzęcie audio. Pobór prądu nie przekracza natężenia 10 mA. W układzie znajdują się cztery złącza:

- J1 – złącze zasilania,
- J2 – złącze sygnału wejściowego audio,
- J3 – mikroamperomierz wskazujący poziom sygnału na zacisku IN1 złącza J2,
- J4 – mikroamperomierz wskazujący poziom sygnału na zacisku IN2 złącza J2.

Jeżeli montaż odbył się prawidłowo, po włączeniu zasilania wskazówki mikroamperomierzy powinny znaleźć się na pozycji 0. Po przytknięciu palca do zacisku IN1 i IN2 złącza J2 wskazówki te powinny się, chociażby minimalnie, wychylić, a po zabraniu palca opaść. Mając wstępnie przetestowany układ, można przejść do jego kalibracji, która wcale nie jest trudna.

Potencjometrami P1 i P2 należy ustawić poziom odniesienia tj. 0 dB dla obu mikroamperomierzy. W układzie prototypowym kalibrację wykonano za pomocą sygnału sinusoidalnego o częstotliwości 1 kHz i wartości skutecznej 775 mV, co odpowiada wartości międzyszczytowej 2,2 V. Źródłem takiego sygnału może być generator sygnału lub karta dźwiękowa komputera lub smartfon z odpowiednią aplikacją i wyjściem słuchawkowym. Podając na oba wejścia taki sam sygnał, należy tak ustawić ślizgacze P1 i P2, aby analogowe mierniki pokazywały prąd 100 µA. Wtedy każde wyjście wskazówki poza skalę będzie można traktować jako przesterowanie, natomiast cała skala będzie dobrze odzwierciedlała poziom wysterowania w decybelach.

Wyniki pomiarów znajdują się w **tabeli 1**, zaś na jej podstawie opracowano wykres – **rysunek 3**. Jak je wykonano i jaki był tego cel? Na wejście układu (zasilanego napięciem 12 V w temperaturze pokojowej) podawano sygnał o poziomie odpowiadającym 0 dB oraz niższym: –3 dB, –6 dB i tak dalej. Notowano przy tym wskazania mikroamperomierza. Z rysunku 3 można odczytać, że układ nader wiernie (tj. liniowo) wskazuje poziom sygnału o wartości od –36 dB wzwyż. Tak duża dynamika pozwala na łatwe zdiagnozowanie stanu pracy naszego systemu audio (niedostatecznie wysterowanie lub przesterowanie).

Wracając do samych mikroamperomierzy, to te użyte w prototypie można zobaczyć na **fotografii 1**. Ich wymiary to: 56,4 mm wysokości, 64,5 mm szerokości, 57 mm głębokości, wliczając w to śruby doprowadzające prąd. Ich cena jest całkiem przystępna i nie ma problemu z dostępnością tych podzespołów w Polsce. Można pokusić się o zaprojektowanie i wykonanie własnej skali, wyrażonej w decybelach. Klasa dokładności tych przyrządów to 2,5, lecz nie ma to dużego znaczenia w praktycznym użyciu. Tak naprawdę najistotniejszym momentem, w którym ów wskaźnik ma zastosowanie, jest przekraczanie poziomu 0 dB, gdyż wtedy zaczyna się przesterowanie sygnału.

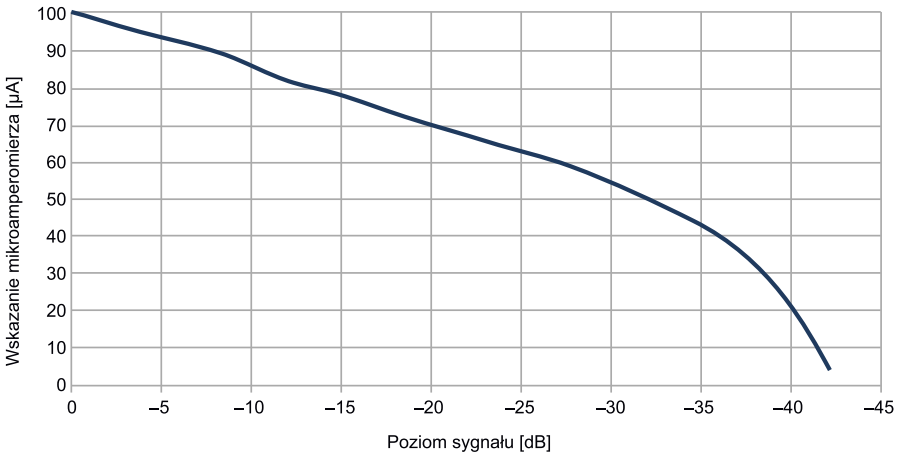
W tym układzie nie zastosowano żadnych elementów spowalniających pracę wychyłowego mikroamperomierza. Testy wykazały, że bezwładność wskazówki jest na tyle znacząca, że inercja przez nią wprowadzana wystarcza do tego, aby wskaźnik wysterowania pracował płynnie. Gdyby jednak komuś zależało na jeszcze silniejszym odfiltrowaniu szybkozmiennych składowych, może dolutować kondensator o pojemności rzędu kilku, kilkudziesięciu mikrofaradów bezpośrednio do wyprowadzeń mikroamperomierza. Tego typu rozwiązanie było stosowane, między innymi, w polskim sprzęcie audio z czasów PRL.

Michał Kurzela, EP

Tabela 1. Wyniki pomiarów układu prototypowego

Napięcie wejściowe [mV_{pp}]	Poziom sygnału [dB]	Wskazanie mikroamperomierza [µA]
2200	0	100
1555	–3,0	96
1100	–6,0	92
778	–9,0	88
550	–12,0	82
389	–15,0	78
275	–18,1	73
194	–21,1	69
137	–24,1	64
96,9	–27,1	60
68,5	–30,1	54
49,2	–33,0	48
34,3	–36,1	40
24,3	–39,1	27
17,2	–42,1	4

Fotografia 1. Mikroamperomierze zastosowane w projekcie



Rysunek 3. Zależność między poziomem sygnału a wskazaniem mikroamperomierza

eprasa.pl b0a5d4d3d1

AVT sklep

W ofercie AVT*
AVT5990

Podstawowe parametry:
- dopuszczalny zakres napięć wejściowych: 0...36 V,
- maksymalna wartość mierzonego prądu (bocznik 10/50 Ω): 8192 μA/1638 μA,
- rozdzielczość pomiaru prądu (bocznik 10/50 Ω): 0,25 μA/0,05 μA,
- dokładność pomiaru prądu: 0,2%,
- częstotliwość pomiarów: 40 razy na sekundę,
- częstotliwość odświeżania ekranu: 4 razy na sekundę,
- dostępne tryby pracy: NORMAL/MAX/AVG,
- czas pracy na baterii AAA(1): 6 miesięcy (dla założonych warunków użytkowania).

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)

* **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**.

Mikroamperomierz mA

W praktyce każdego elektronika amatora czy profesjonalisty wcześniej czy później nadchodzi taki moment, kiedy musi się zmierzyć z projektem urządzenia zasilanego bateryjnie, gdzie jednym z kluczowych problemów konstrukcyjnych jest minimalizacja zużycia energii. Aby poprzez praktykę nabierać doświadczenia w konstruowaniu takich urządzeń, trzeba mieć w swoim warsztacie odpowiednie urządzenia pomiarowe, za pomocą których w ogóle będziemy w stanie mierzyć małe prądy, niejednokrotnie rzędu pojedynczych mikroamperów a nawet nanoamperów.

Konstruując urządzenia mikroprocesorowe zasilane bateryjnie, wielokrotnie stykałem się z problemem minimalizacji zużycia energii. Zadanie jest wtedy jeszcze trudniejsze, gdyż systemy tego rodzaju wymagają drobiazgowej analizy. Nie wystarczy w tym przypadku wprowadzić mikrokontrolera w tryb Power Down, gdyż stan wielu jego wewnętrznych peryferiów i relacje z podłączonymi do jego portów elementami wydatnie wpływają na pobór energii (jeśli liczymy każdy mikroamper).

Tutaj pozwolę sobie na swego rodzaju off-topic, niemniej dość istotny. Pracując z mikroprocesorami AVR od dobrych kilkunastu lat, nie raz zdarzyło mi się (jak pewnie i Wam) podłączyć mikrokontroler niezgodnie z założeniami, powodując jego zdecydowane rozgrzanie spowodowane zwarciem portów komunikacyjnych czy też odwrotną polaryzacją zasilania. W zasadzie zawsze po tego rodzaju błędzie i jego szybkiej korekcie mikrokontroler nasz zachowywał się zupełnie normalnie, niewzruszony skrajnymi warunkami pracy… ale tylko pozornie. W układach, gdzie liczyłem każdy mikroamper (a nawet nanoamper), okazywało się, że element ten po takim doświadczeniu nie dotrzymywał już skrajnie niskiego zapotrzebowania na energię w trybach o niskim poborze mocy, co zapewne wynikało z jakichś uszkodzeń obwodów wejściowych. To bardzo istotny drobiazg, który należy mieć na uwadze.

Ale wróćmy do naszych aplikacji zasilanych bateryjnie i problemów z tym związanych. Analiza takich układów nie należy z pewnością do łatwych, ale ja, tak jak zapewne każdy z Was, nabierałem doświadczenia w tym zakresie z każdym kolejnym urządzeniem. W tym celu zwykle posługiwałem się dobrej klasy multimetrem wyposażonym w odpowiedni zakres pomiarowy, ale że multimetr ten niejednokrotnie potrzebny był w tym samym czasie do pomiaru innych parametrów badanego układu, nie było to rozwiązanie nazbyt wygodne i optymalne.

Research

Zacząłem poszukiwania mikroamperomierza przeznaczonego wyłącznie do pomiarów małych prądów DC. Szybko okazało się, że oprócz archaicznych tablicowych przyrządów analogowych na rynku dostępne są wyłącznie specjalizowane, bardzo dokładne, ale i bardzo drogie mikro/nanoamperomierze. W zderzeniu z takim stanem rzeczy zacząłem się zastanawiać nad skonstruowaniem własnego urządzenia tego rodzaju, jako że z zasady działania urządzenie to samo w sobie nie powinno być nazbyt skomplikowane.

Proces projektowania (a jak to się dzisiaj mówi modnie – *research*) poprzedziłem przeglądem rozwiązań dostępnych w Internecie. Dość szybko natknąłem się na bardzo ciekawy projekt autorstwa australijskiego wideoblogera Davida L. Jonesa (EEVblog) pod postacią urządzenia o nazwie μCurrent, który z powodzeniem moglibyśmy zastosować we własnej implementacji, jako że układ charakteryzuje się doskonałymi parametrami elektrycznymi i prostotą konstrukcji. Dość szybko zdałem sobie jednak sprawę, że sama przystawka tego typu, będąca niczym innym, jak przetwornikiem prąd-napięcie, to tylko wstęp do budowy docelowego systemu mikroprocesorowego.

W dalszym kroku niezbędny będzie bardzo dokładny, zapewne 16-bitowy, przetwornik ADC, za pomocą którego będziemy mogli z odpowiednią dokładnością i rozdzielczością

eprasa.pl b0a5d4d3d1

zmierzyć wynikowe napięcie proporcjonalne do mierzonego prądu. Niestety przetworniki tego typu są dość drogie a ponadto wymagają odpowiedniego doświadczenia projektowego w docelowej implementacji, by pomiary wykonywane przy ich użyciu były po pierwsze wiarygodne, po drugie, pozbawione zakłóceń. Pat? Otóż nie!

Po pierwszej euforii spowodowanej lekturą projektu Davida przypomniałem sobie, że w swoich poprzednich urządzeniach, gdzie niezbędny był pomiar prądu stałego, używałem doskonałego i sprawdzonego wcześniej specjalizowanego 16-bitowego przetwornika pomiarowego pod postacią układu INA226 produkcji Texas Instruments. Nie pozwoli on, co prawda, na osiągnięcie tak wysokiej dokładności, jaką oferuje przystawka Davida, ale spodziewane 0,1...0,2% w amatorskich zastosowaniach będzie jak najbardziej wystarczające. Jako że we wcześniejszym projekcie zasilacza arbitralnego pod postacią projektu powerBank, którego opis ukazał się w naszym miesięczniku w wydaniu 07/2015 [1] zaprezentowałem szczegóły dotyczące tego ciekawego peryferium, nie będę powielał ich w niniejszym artykule, niemniej jednak nie sposób choćby skrótowo nie opisać właściwości tego ciekawego peryferium.

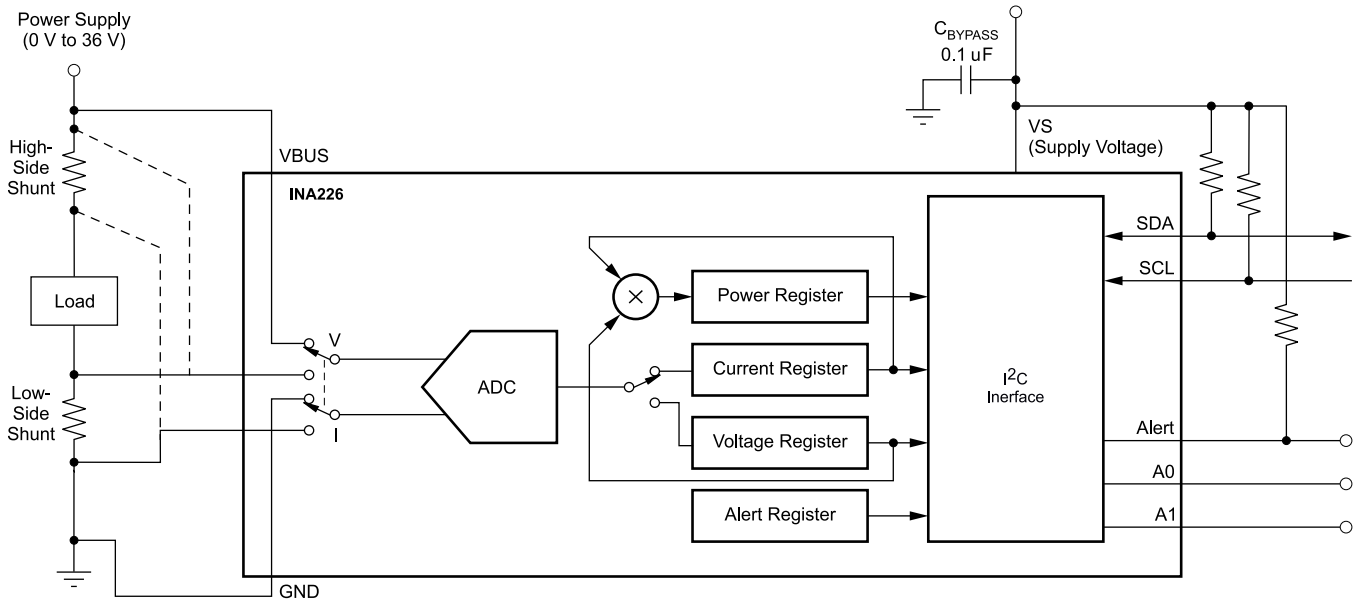
INA226

Układ INA226, produkcji firmy Texas Instruments, jest specjalizowanym, bardzo dokładnym, 16-bitowym, różnicowym przetwornikiem pomiarowym ADC przeznaczonym do zastosowania w układach pomiaru prądu i mocy z użyciem bocznika rezystancyjnego. Układ ten wyróżnia się następującymi, wybranymi cechami użytkowymi:

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

Jak widać, układ INA226 idealnie wpisuje się w wymagania naszej aplikacji, oferując niespotykaną dotąd funkcjonalność i dokładność pomiarów. Schemat blokowy tego peryferium pokazano na **rysunku 1**. Układ dokonuje ciągłego (lub wyzwalanego manualnie przez aplikację użytkownika) pomiaru dwóch wartości napięć: napięcia szyny zasilającej odbiornik (VBUS) oraz napięcia na zaciskach bocznika rezystancyjnego (VSHUNT) 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 przeznaczone flagi zakończenia konwersji.

Ponadto, dzięki wyposażeniu go w grupę specjalnych rejestrów konfiguracyjnych odpowiedzialnych za porównywanie zmierzonych i obliczonych wartości z wartościami progowymi, jak również przeznaczone 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 w 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



Rysunek 1. Schemat blokowy układu INA226 (za notą firmy Texas Instruments)

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

Rezystory:
R1 (R2*): rezystor pomiarowy 10 Ω (opcjonalnie 50 Ω) 0,1% typu AR10BTCV0100 (SMD 2010)
R2, R3: 4,7 KΩ (SMD 0805)

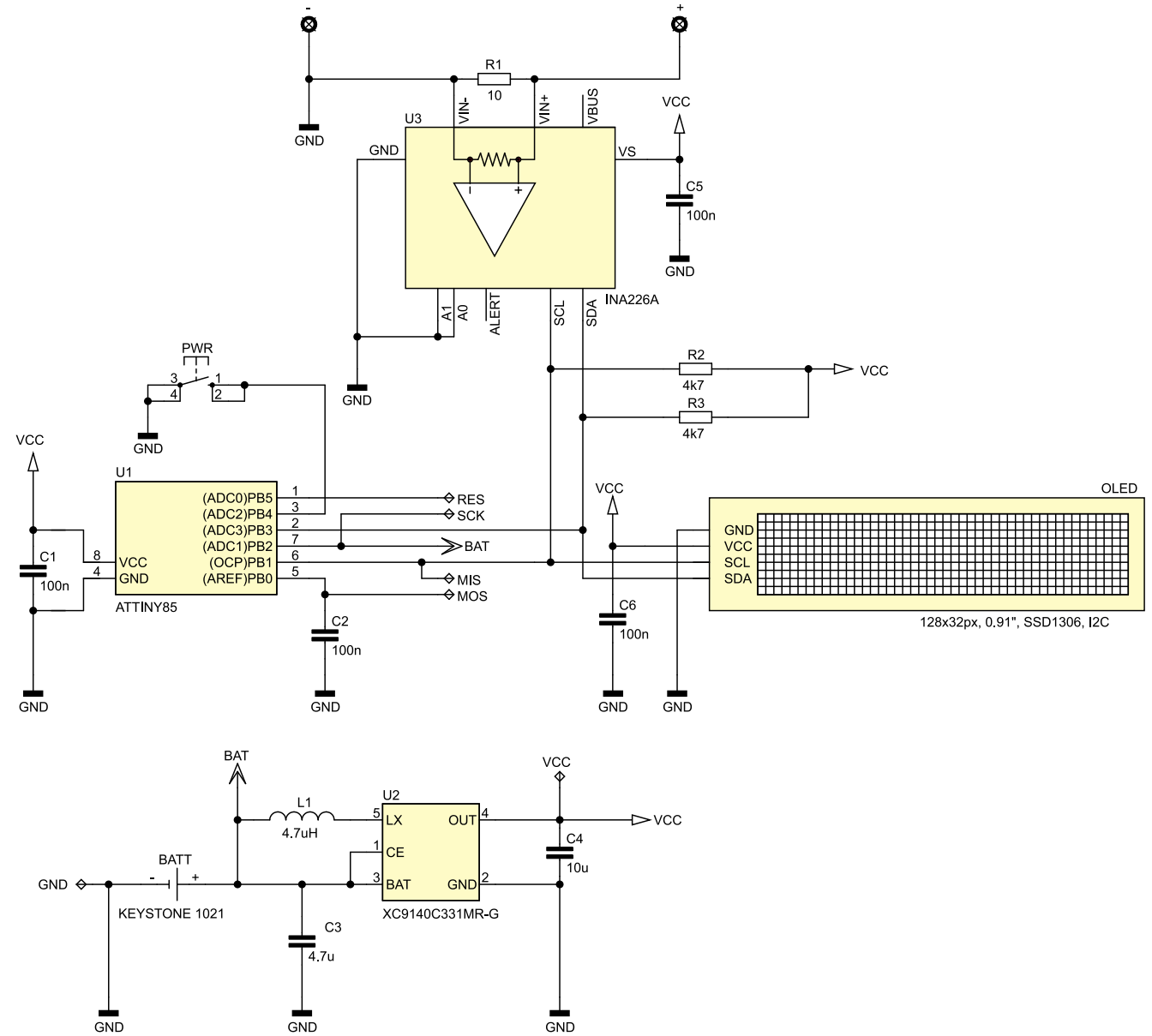
Półprzewodniki:
U1: ATtiny85 (SOIC8)
U2: XC9140C331MR-G (SOT-25)
U3: INA226 A (MSOP-10)
OLED: wyświetlacz OLED 128×32 px, 0,91" (sterownik SSD1306, magistrala I²C, wymiary 38×12 mm)

Pozostałe:
L1: dławik drutowy 4,7 μH typu LQH32CN4R7M33L MURATA (SMD 1210)
PWR: mikroprzełącznik TACT SMD typu TACTM-67N-F NINIGI (wysokość 7 mm)
BATT: koszyczek baterii AAA typu 1021 KEYSTONE
gniazdo bananowe czarne typu BS-244GSM-B
gniazdo bananowe czerwone typu BS-244GSM-R

Kondensatory: (SMD 0805)
C1, C2, C5, C6: 100 nF ceramiczny X7R
C3: 4,7 μF/10 V ceramiczny X7R
C4: 10 μF/10 V ceramiczny X7R

* Opcjonalnie 50 Ω. Szczegóły w tekście

eprasa.pl b0a5d4d3d1



Rysunek 2. Schemat ideowy mikroamperomierza miA

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. Już teraz nadmienię, że w implementacji naszego mikroamperomierza korzystał będę z ułamka możliwości wspomnianego przetwornika, gdyż użyłem wyłącznie możliwości pomiaru prądu na bardzo dokładnym boczniku rezystancyjnym, jako że jest to wystarczające w tym wypadku. Tyle w kwestii samego przetwornika.

Budowa i działanie

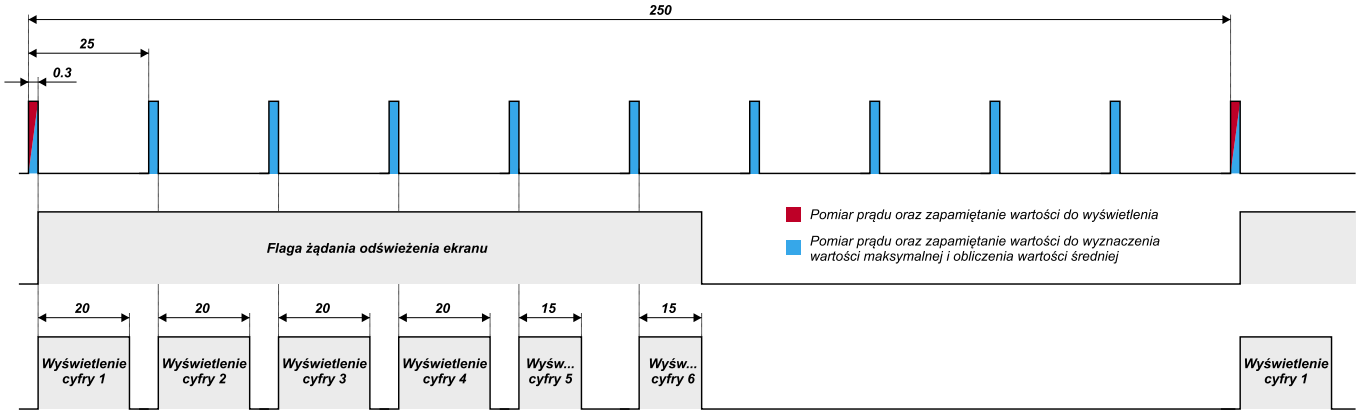
Przejdźmy do schematu ideowego urządzenia miA. który pokazano na **rysunku 2**. Jak widać, jest to bardzo prosty system mikroprocesorowy, którego sercem jest niewielki mikrokontroler firmy Microchip (dawniej Atmel) typu ATtiny85 taktowany wewnętrznym generatorem RC o częstotliwości 1 MHz, odpowiedzialny 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 odpowiedzialny jest za obsługę przycisku PWR, używając w celu eliminacji drgań styków wbudowanego układu czasowo-licznikowego Timer0 i stosownego przerwania systemowego (przy okazji obsługiwane jest krótkie i długie naciśnięcie tegoż przycisku).

Wspomniany wcześniej, specjalizowany przetwornik ADC mierzy spadek napięcia na rezystorze szeregowym R1 (10 lub 50 Ω), dzięki czemu możliwe jest wyznaczenie prądu pobieranego przez badane urządzenie. Dla dociekliwych podpowiem, że aby wydatnie zwiększyć uzyskaną dokładność pomiarów oraz odstęp sygnału od szumu, przetwornik INA226 skonfigurowano w taki sposób, by uśredniał 16 kolejnych pomiarów wyłącznie napięcia bocznika rezystancyjnego (VSHUNT) i dokonywał tego w czasie 1,1 ms w trybie automatycznym.

Kilka słów o bloku zasilającym. Jako że mikroamperomierz nasz z założenia zaprojektowano jako urządzenie przenośne, dla którego krytycznym kryterium jest pobór prądu ze źródła napięcia zasilającego, zadbano o odpowiednią implementację bloku zasilającego. Zdecydowałem się na zastosowanie popularnej baterii typu AAA o pojemności w granicach 1300 mAh (w przypadku dobrych baterii alkalicznych lub litowych)

eprasa.pl b0a5d4d3d1



Rysunek 3. Zależności czasowe aplikacji urządzenia miA podczas wykonywania pomiarów prądu i wyświetlania wartości na ekranie OLED

a wybór ten podyktowany był łatwą dostępnością ogniwa i jego niską ceną. Z uwagi na to konieczne stało się użycie prostej, acz nowoczesnej przetwornicy step-up pod postacią układu scalonego XC9140C331MR-G firmy Torex, która dostarcza napięcie wyjściowe rzędu 3,3 V już przy napięciu wejściowym na poziomie 0,9 V i zapewnia niski prąd spoczynkowy w granicach 6,5 μA oraz wysoką sprawność, co nie jest bez znaczenia dla zastosowanego źródła napięcia zasilającego. W ten sposób rozwiązałem tym samym problem spadku napięcia baterii typu AAA w czasie użytkowania urządzenia, maksymalizując jednocześnie czas pracy na jednym ogniwie. Dodatkowo, aby ograniczyć pobór prądu w trybie uśpienia, zastosowałem następujące rozwiązania sprzętowo-programowe:

- mikrokontroler wprowadzany jest w tryb niskiego poboru mocy Power Down (<0,2 μA),
- przetwornik INA226 wprowadzany jest w tryb niskiego poboru mocy Power Down (<0,5 μA),
- wyświetlacz OLED jest wyłączany (ok. 20 μA).

Aby ocenić, jak długo urządzenie miA pracować będzie na pojedynczej baterii AAA, należy zastanowić się, z jakich etapów składa się cykl jego pracy i jakiej wielkości prądy pobiera wtedy ze źródła napięcia zasilającego. Przystępując do obliczeń, przyjąłem następujący podział cyklu pracy urządzenia:

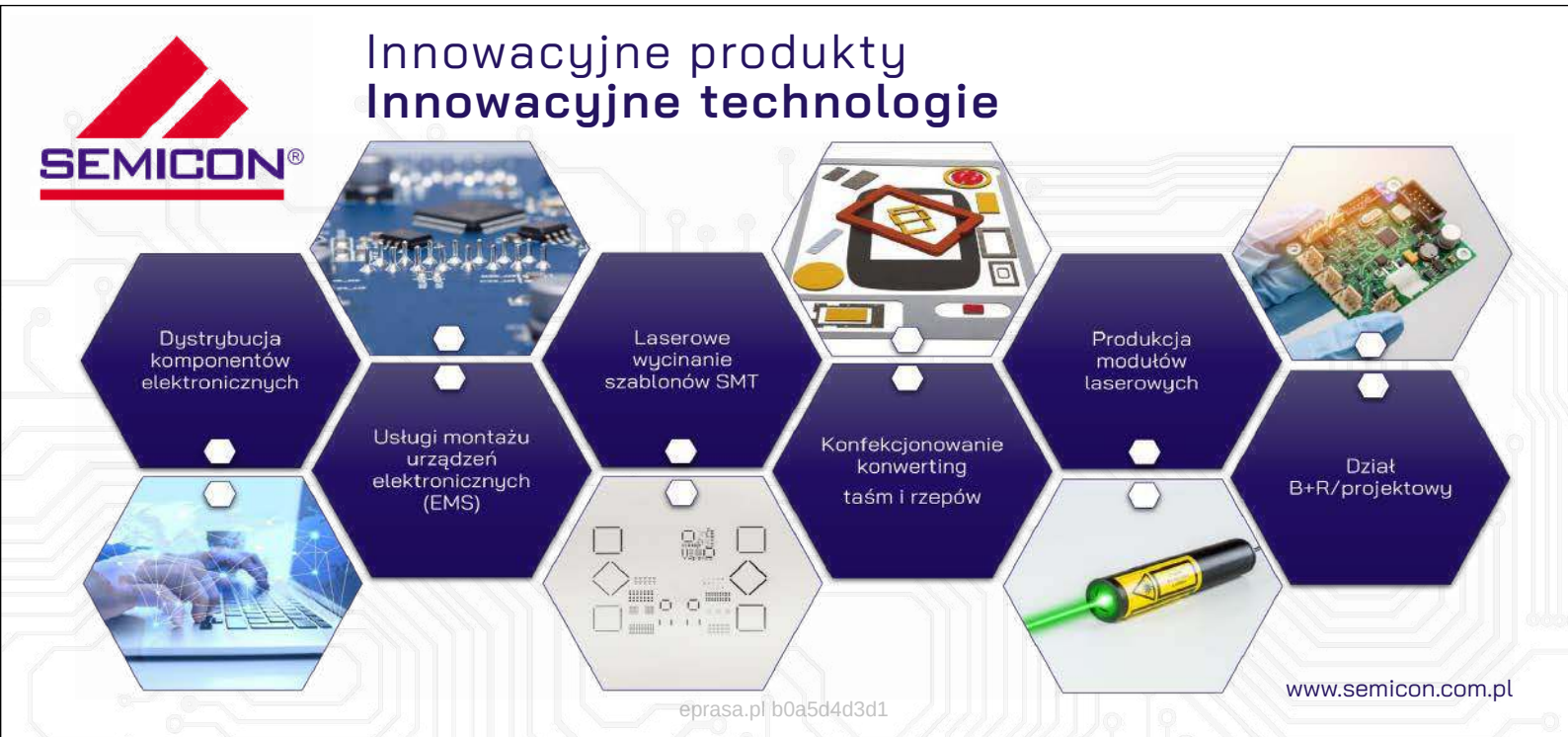
- czas trybu Power Down (uśpienia), który trwa z dużym przybliżeniem 24 h/dobę i podczas którego pobierany jest prąd rzędu 30 μA (większość tego prądu to prąd spoczynkowy przetwornicy i prąd pobierany przez logikę wyświetlacza OLED),
- czas pracy urządzenia z włączonym wyświetlaczem OLED, a zatem czas wykonywania i wyświetlania pomiarów, który trwa średnio 60 s i podczas którego pobierany jest średni prąd rzędu 25 mA,
- czas pracy urządzenia z wyłączonym wyświetlaczem OLED, a zatem czas wykonywania pomiarów, który trwa średnio 5 minut i podczas którego pobierany jest średni prąd rzędu 3,5 mA.

Założono ponadto, że wybudzanie urządzenia następuje 10 razy na dobę, co oznacza, że urządzenie używane jest maksymalnie 50 minut dziennie. Przy założeniach jak wyżej otrzymano teoretyczny, niespełna 6-miesięczny czas pracy na pojedynczej baterii AAA, co wydaje się wartością satysfakcjonującą.

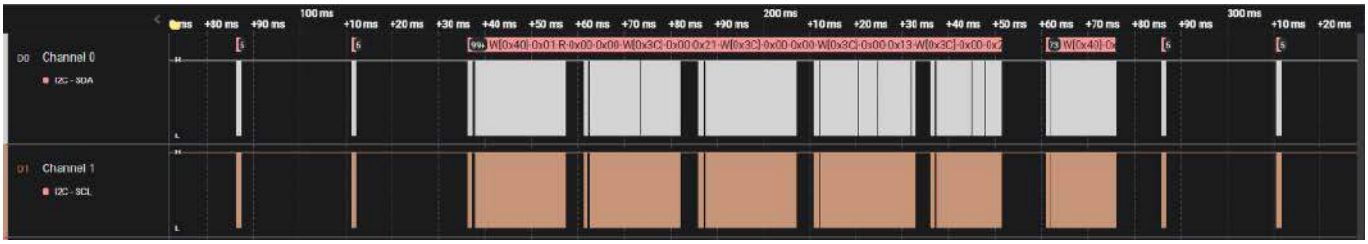
Oczywiście mógłbym za pomocą dodatkowego MOSFET-a odłączać zasilanie OLED-a (co stosowałem w moich poprzednich układach), ale stwierdziłem, że dodatkowa korzyść w postaci kolejnych zaoszczędzonych 10 μA nie jest warta komplikacji układu (i konieczności każdorazowej inicjacji OLED-a), biorąc pod uwagę dość dużą pojemność baterii zasilającej.

Jeśli chodzi o samo wybudzanie i zarazem uruchamianie urządzenia, to możliwe jest ono poprzez naciśnięcie przycisku PWR, a to wszystko dzięki użyciu (wyłącznie w trybie uśpienia) przerwania zewnętrznego *Pin Change Interrupt 0*. Włączone urządzenie pozostaje w tym stanie przez 5 minut (pod warunkiem, że nie wyłączymy go wcześniej), po czym automatycznie przechodzi do stanu uśpienia, chyba że w międzyczasie nastąpi jakiekolwiek użycie przycisku PWR (zmiana trybu pracy urządzenia), które każdorazowo wydłuża czas przejścia do stanu

REKLAMA



eprasa.pl b0a5d4d3d1



Rysunek 4. Rzeczywiste przebiegi czasowe aplikacji urządzenia miA podczas wykonywania pomiarów prądu i wyświetlania wartości na ekranie OLED zarejestrowane w układzie rzeczywistym za pomocą zaawansowanego analizatora stanów logicznych z funkcją dekodowania protokołów transmisji

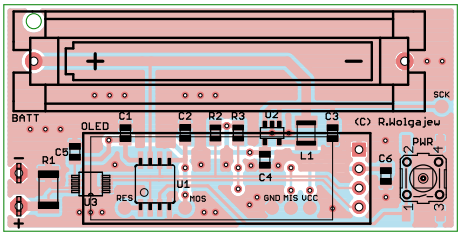
uśpienia systemu mikroprocesorowego. W czasie wspomnianych 5 minut sam wyświetlacz OLED włączony jest wyłącznie przez 60 sekund, po czym następuje jego automatyczne wyłączenie w celu oszczędzania energii, chyba że, jak poprzednio, wcześniej użyjemy przycisku PWR (zmiana trybu pracy urządzenia) wydłużającego każdorazowo tenże czas. Wyłączony wyświetlacz włączamy ponownie poprzez krótkie przyciśnięcie przycisku PWR.

Już zupełnie dla porządku dodam, że aplikacja urządzenia korzysta również z wbudowanego w strukturę mikrokontrolera przetwornika ADC (wejście ADC1), przy udziale którego mierzony jest poziom napięcia baterii zasilającej, co pozwala na zgrubne określenie stanu tej baterii. Jest to oczywiście rozwiązanie dość proste, gdyż dokładne określenie stanu baterii wymagałoby zastosowania specjalizowanego kontrolera wielkości traconego ładunku (lub innych rozwiązań sprzętowo-programowych), jednak w tak prostych systemach wydaje się w zupełności wystarczające, zwłaszcza że producenci ogniw tego rodzaju (zdecydowanie polecam lekturę takiej dokumentacji) testują swoje ogniwa do napięcia rozładowania rzędu 0,9 V, tym samym określając jego dostępną pojemność.

Pomiar, o którym mowa, wykonywany jest ustawicznie po włączeniu urządzenia w cyklach 1-sekundowych. Po stwierdzeniu, że napięcie baterii zasilającej spadło poniżej 0,9 V (a więc poniżej minimalnego napięcia wejściowego przetwornicy), system mikroprocesorowy wyświetla stosowną informację na ekranie urządzenia i przechodzi automatycznie w stan uśpienia.

Na tym zakończyłbym opis szczegółów implementacyjnych, gdyby nie jeden istotny szczegół, o którym trzeba koniecznie wspomnieć. Jako że założyłem (o czym dowiecie się później), że urządzenie miA będzie miało możliwość rejestracji dość szybko zmieniających się prądów, przyjąłem, że częstotliwość pomiarów wbudowanego przetwornika (wzorem dobrych multimetrów, których dokumentację przeglądałem) będzie wynosić 40 Hz (pomiar co 25 ms), zaś częstotliwość odświeżania ekranu ustaliłem na 4 Hz (odświeżanie co 250 ms). Niestety z uwagi na rodzaj zastosowanego wyświetlacza OLED wyposażonego w dość wolny interfejs komunikacyjny I²C, nawet przy maksymalnej, dopuszczalnej wartości sygnału zegarowego magistrali danych (400 kHz), odświeżenie zawartości całego ekranu (128×32 piksele) zajmuje ponad 110 ms. Właśnie wspomniane 110 ms to czas wykonania 4 pomiarów prądu, co znaczy ni mniej, ni więcej, że w czasie odświeżania zawartości wyświetlacza OLED tracilibyśmy co najmniej 4 pomiary wartości prądu (wszak i wyświetlacz, i przetwornik INA226 podpięte są do tej samej magistrali, a sam mikrokontroler nie dysponuje modułem DMA, który mógłby go odciążyć). Co oczywiste, to nie jest dopuszczalne.

Jak rozwiązałem ten problem konstrukcyjny? Otóż podzieliłem wspomniany proces wyświetlania wartości prądu na 6 etapów (oddzielnie dla każdej z cyfr) przez co program obsługi aplikacji wstrzymywany jest w takim wypadku na maksymalnie 20 ms, co pozwala z kolei na niepominięcie żadnego z pomiarów. Wymagało to trochę zaangażowania w implementację funkcji wyświetlających, ale ostatecznie zapewniło odpowiedni margines błędów, jak i spełnienie założeń konstrukcyjnych. Na **rysunku 3**, pokazano w sposób graficzny zależności czasowe aplikacji urządzenia miA podczas wykonywania pomiarów prądu i wyświetlania wartości na ekranie OLED, zaś na **rysunku 4** pokazano te same przebiegi, lecz zarejestrowane w układzie rzeczywistym za pomocą zaawansowanego analizatora stanów logicznych z funkcją dekodowania protokołów transmisji.



Rysunek 5. Schemat montażowy mikroamperomierza miA

Fotografia 1. Zmontowane urządzenie miA od strony warstwy TOP tuż przed przylutowaniem wyświetlacza OLED

Rysunek 6. Graficzny interfejs użytkownika mikroamperomierza miA

Montaż i uruchomienie

Tyle w telegraficznym skrócie w kwestiach implementacyjnych, w związku z czym przejdźmy do schematu montażowego naszego urządzenia, który pokazano na **rysunku 5**. Jak widać, zaprojektowano bardzo zgrabną, dwustronną, niewielką płytkę drukowaną ze zdecydowaną przewagą elementów SMD montowanych wyłącznie po stronie TOP laminatu. Montaż urządzenia rozpoczynamy od przylutowania półprzewodników. 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 układów. Należy przy tym uważać, by nie uszkodzić termicznie tego rodzaju elementów.

Dalej lutujemy elementy bierne oraz mechaniczne w rodzaju przycisku PWR czy gniazda baterii AAA, a na samym końcu montujemy wyświetlacz OLED (w odpowiedniej odległości od płaszczyzny obwodu drukowanego, czyli na równi z płaszczyzną

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

eprasa.pl b0a5d4d3d1

Rysunek 7. Sygnalizowanie niskiego poziomu napięcia zasilającego

wyznaczoną przez obrys baterii zasilającej), zwyczajnie lutując jego wyprowadzenia w przeznaczone do tego celu pola lutownicze (należy koniecznie sprawdzić polaryzację zasilania), gdyż połączenia elektryczne zapewniają mu jednocześnie wystarczająco stabilny montaż mechaniczny.

Poprawnie zmontowany układ powinien działać po włączeniu zasilania. Na **fotografii 1** pokazano zmontowane urządzenie od strony warstwy TOP tuż przed przylutowaniem wyświetlacza OLED (jak widać, nie zamontowano kondensatora C2, gdyż uniemożliwiałby on programowanie mikrokontrolera – należy go zamontować po zaprogramowaniu urządzenia).

Obsługa

Projektując interfejs użytkownika urządzenia miA, 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 wyłącznie jednym mikroprzełącznikiem oznaczonym umownie jako PWR. Mikroprzełącznik, o którym mowa, służy jednocześnie do włączania/wyłączania urządzenia, jak i jego obsługi. Standardowo urządzenie wyświetla wyłącznie jeden ekran graficznego interfejsu użytkownika, który pokazano na **rysunku 6**. Na ekranie tym standardowo wyświetlane są następujące informacje:

- mierzona wartość prądu [μA],
- tryb pracy urządzenia.

Warto podkreślić, że wartość prądu pokazywana w ramach graficznego interfejsu użytkownika odświeżana jest 4 razy na sekundę, podczas gdy sam pomiar tego prądu dokonywany jest przez urządzenie 40 razy na sekundę.

Dostępne są 3 tryby pracy urządzenia:

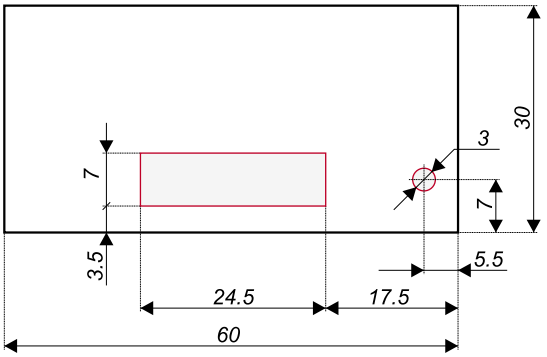
- [NORMAL] – (brak dodatkowej ikonki na wyświetlaczu), podczas którego urządzenie wyświetla bieżącą wartość prądu,
- [MAX] – (ikonka MAX na wyświetlaczu), podczas którego urządzenie wyświetla maksymalną wartość prądu zarejestrowaną od czasu włączenia tegoż trybu. Jako że pomiar dokonywany jest 40 razy na sekundę, to nie zostaną zarejestrowane impulsy prądu o czasie trwania poniżej 25 ms,
- [AVG] – (ikonka AVG na wyświetlaczu), podczas którego urządzenie wyświetla średnią wartość prądu zmierzoną od czasu włączenia tegoż trybu (pomiar dokonywany jest 40 razy na sekundę).

Przełączanie pomiędzy poszczególnymi trybami pracy urządzenia dokonywane jest poprzez krótkie naciśnięcie przycisku PWR. Co ważne, po wyłączeniu i ponownym włączeniu urządzenia zapamiętywany jest aktywny tryb pracy oraz wielkości pomiarów wynikające z jego aktywacji (maksimum i wartość średnia). Długie naciśnięcie przycisku PWR powoduje z kolei wyłączenie urządzenia i przejście w tryb niskiego poboru mocy Power Down. Ponowne włączenie urządzenia możliwe jest dzięki krótkiemu przyciśnięciu przycisku PWR.

Po włączeniu urządzenia w pierwszej kolejności mierzony jest poziom napięcia baterii zasilającej i jeśli wynosi on poniżej 0,9 V, system mikroprocesorowy wyświetla stosowną informację na ekranie urządzenia (**rysunek 7**), po czym przechodzi automatycznie w stan uśpienia.

Jako że w projekcie urządzenia przewidziano możliwość zastosowania dwóch rodzajów boczników rezystancyjnych (o rezystancji 10 lub 50 Ω), których wyboru dokonujemy w zależności od oczekiwanej rozdzielczości i zakresu pomiarowego, konieczne stało się wprowadzenie jakiegoś prostego trybu konfiguracyjnego, dzięki któremu moglibyśmy ustawić rodzaj zastosowanego bocznika rezystancyjnego, wpływającego na sposób obliczania wyświetlanej wartości prądu. Tryb ten wywołać można wyłącznie podczas wkładania w podstawkę baterii zasilającej, a dokonujemy tego poprzez przyciśnięcie przycisku PWR w tym czasie.

Po wejściu w tryb konfiguracyjny na ekranie urządzenia pokazuje się wybrana wartość bocznika rezystancyjnego (symbol 10 lub 50), którą zmieniamy każdorazowo dzięki krótkiemu przyciśnięciu przycisku PWR.



Rysunek 8. Wygląd obwodu drukowanego z zaznaczeniem położenia i wymiarów elementów interfejsu użytkownika (wyświetlacza i przycisku PWR)

Długie przyciśnięcie przycisku PWR powoduje z kolei zapamiętanie ustawienia w nieulotnej pamięci EEPROM mikrokontrolera oraz wyjście z trybu konfiguracyjnego. Warto ponadto zauważyć, że celowo nie wprowadzałem możliwości wywoływania trybu konfiguracyjnego podczas normalnego użytkowania urządzenia, gdyż ustawienia w tym zakresie w zasadzie dokonujemy tylko raz podczas pierwszej implementacji urządzenia.

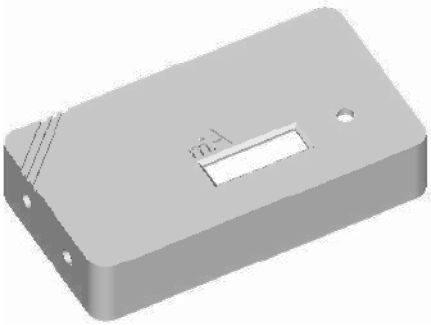
Obudowa

Dla osób, które we własnym zakresie będą chciały wykonać obudowę do urządzenia miA, na **rysunku 8** pokazano wygląd obwodu drukowanego z zaznaczeniem położenia i wymiarów elementów interfejsu użytkownika (wyświetlacza i przycisku PWR). Wynikowa wysokość zmontowanego urządzenia (z osadzoną w podstawce baterią AAA) wynosi w naszym wypadku około 13 mm.

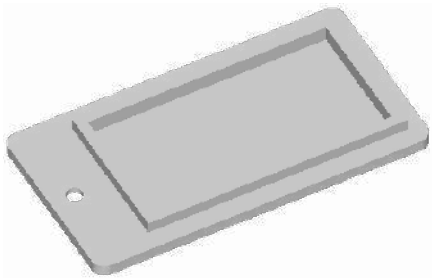
Tutaj pojawia się tak zwany *ekstras*. Osoby, które chciałyby otrzymać gotowe rozwiązanie w tym zakresie, mogą… skorzystać z gotowego projektu. Tym razem postawiłem sobie za cel dostarczenie kompletnej aplikacji urządzenia, w związku z czym poprosiłem mojego kolegę **Bartłomieja Wawrzyszko**, zajmującego się hobbystycznie projektami tego rodzaju, o przygotowanie stosownej

REKLAMA

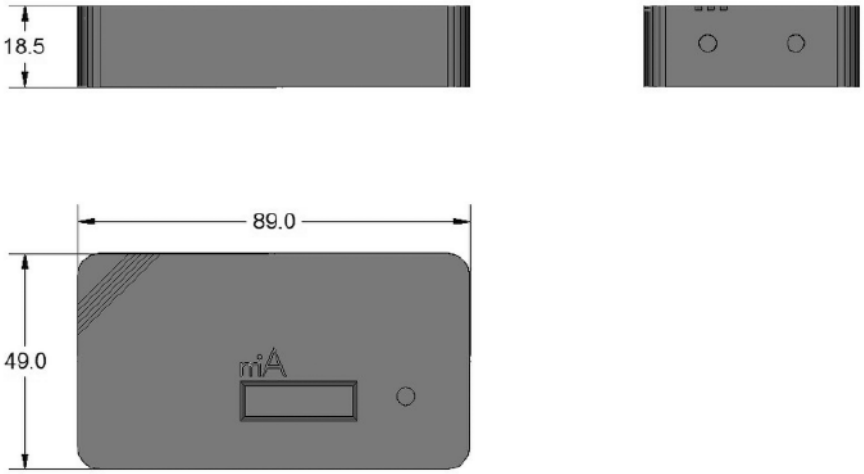
eprasa.pl b0a5d4d3d1



Rysunek 9. Wygenerowany obraz 3D obudowy urządzenia miA



Rysunek 10. Wygenerowany obraz 3D klapki stanowiącej drugi element obudowy urządzenia miA



Rysunek 11. Obudowy urządzenia miA z zaznaczeniem wymiarów kluczowych krawędzi

Fotografia 2. Wygląd obudowy urządzenia miA wydrukowanej w technologii FDM

obudowy w środowisku pozwalającym na wydruk na drukarce 3D.

Tak oto powstał projekt obudowy pokazany na **rysunkach 9 i 10**. Wspomniana obudowa tak naprawdę składa się z dwóch elementów: części górnej (pokazanej na rysunku 9), w której umieszczono otwory na elementy interfejsu użytkownika (okienko wyświetlacza OLED i otwór na przycisk PWR) oraz otwory przeznaczone na montaż gniazd bananowych o średnicy gwintu 4 mm i części dolnej pełniącej funkcję klapki, za pomocą której zamykamy obudowę od dołu (unieruchamiając ją dodatkowo stosownym wkrętem blokującym). Wspomniana klapka służy jednocześnie do osadzenia w niej (od wewnętrznej strony obudowy) zmontowanego obwodu drukowanego urządzenia. W tym celu wyposażono ją w wystające ranty umożliwiające montaż (na wcisk) obwodu drukowanego. Wygląd 3D klapki (od wewnętrznej strony obudowy) stanowiącej drugi element obudowy pokazano rysunku 10. Z kolei **rysunku 11** pokazano wygląd wspomnianej obudowy z zaznaczeniem wymiarów kluczowych krawędzi.

Stosowne pliki projektu obudowy (do wydrukowania na drukarce 3D) są dostępne w materiałach dodatkowych do artykułu. Dodatkowo podpowiem, że jeśli nie dysponujecie odpowiednim urządzeniem umożliwiającym wydrukowanie obudowy według załączonych plików, to z powodzeniem możecie to zlecić (i to na naprawdę atrakcyjnych warunkach) jednej z chińskich firm, która zwyczajowo znana jest z produkcji obwodów drukowanych w bardzo atrakcyjnych cenach.

Dla zainteresowanych na **fotografii 2** pokazano wygląd wspomnianej obudowy wydrukowanej na niedrogiej, najbardziej popularnej, domowej drukarce 3D drukującej w technologii FDM (*Fused Deposition Modeling*) czyli technologii polegającej na drukowaniu z termoplastów (czyli plastiku), poprzez rozgrzewanie tworzywa sztucznego dostarczanego do drukarki 3D w formie żyłki w głowicy drukującej i doprowadzaniu go do stanu półpłynnego. Warstwy w tej technologii nakładane są najpierw w osiach XY, a gdy drukarka 3D skończy je układać, głowica podnosi się do góry (lub stół roboczy opuszcza się w dół) o wysokość warstwy i nakładana jest kolejna warstwa. Półpłynne tworzywo sztuczne spaja się pod wpływem wysokiej temperatury i szybko zastyga, tworząc (niemalże) jednolitą strukturę. Niemalże, gdyż, co widać na fotografii, obudowa wydrukowana w ten sposób ma pewną, nie zawsze akceptowalną, strukturę (poniekąd zależną od jakości samej drukarki – w naszym przypadku dość słabej).

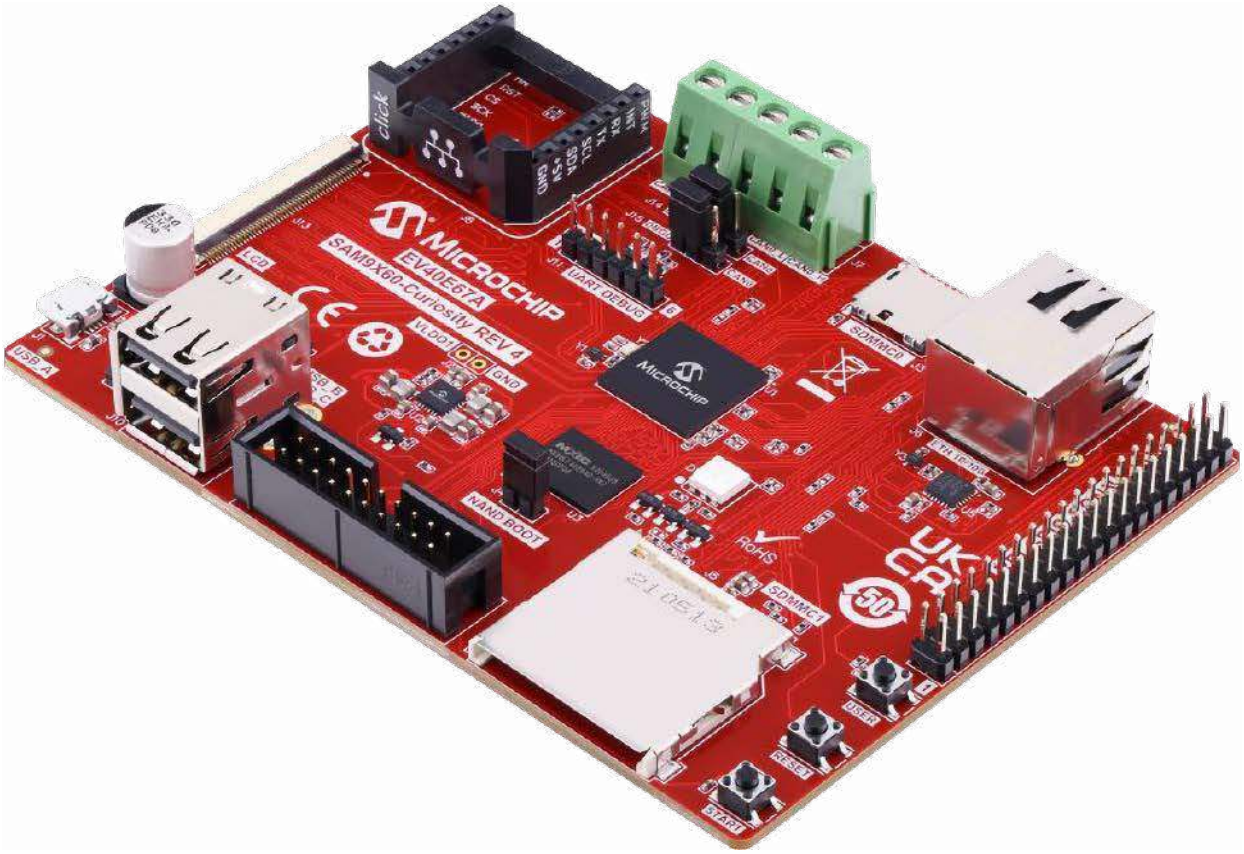
Dla kontrastu, na fotografii tytułowej pokazano wygląd obudowy urządzenia miA wydrukowanej na drukarce 3D drukującej w technologii MJF (*Multi Jet Fusion*) polegającej na druku 3D ze sproszkowanych tworzyw sztucznych (poliamidów), poprzez selektywne natryskiwanie na nie lepiszcza, które skleja ze sobą poszczególne warstwy modelu, i zgrzewania ich w wysokiej temperaturze, co powoduje ich trwałe zespojenie się. Atutem wydruków 3D z użyciem technologii MJF jest wysoka wytrzymałość mechaniczna produkowanych części. Uzyskiwana jest ona dzięki jednolitej strukturze, która ma 100-procentowe wypełnienie. Takie drukowanie 3D powoduje, że można drukować dowolne części, nawet o wysokim stopniu skomplikowania elementów, a koszt wydruku uzależniony jest wyłącznie od ilości zużytego materiału. Należy przy tym podkreślić, że powstające produkty mają wysoką powtarzalność – są takie same względem siebie, z dokładnością wymiarową do 0,2 mm.

Metoda MJF w drukowaniu 3D pozwala na wytwarzanie funkcjonalnych części, o gładkiej powierzchni, niskiej porowatości i dowolnej geometrii. Wspomniana powyżej obudowa została wydrukowana dzięki usłudze jednej z dalekowschodnich firm produkujących obwody drukowane, o czym wspomniałem już wcześniej. Szczerze polecam tego rodzaju rozwiązanie.

Robert Wołgajew, EP

[1] https://tiny.pl/cg9nw

eprasa.pl b0a5d4d3d1

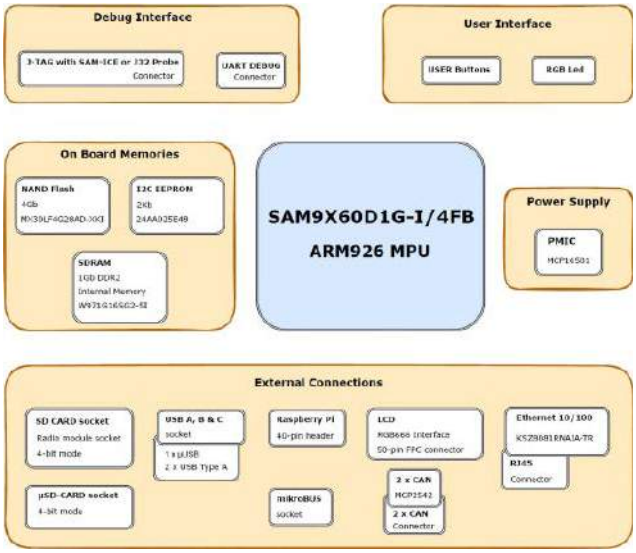


Wygraj zestaw ewaluacyjny Microchip SAM9X60 Curiosity Development Board

Płytka rozwojowa SAM9X60 Curiosity bazuje na wysokowydajnym, energooszczędnym mikroprocesorze SiP typu SAM9X60D1G, który jest przeznaczony do aplikacji graficznych i komunikacyjnych obejmujących różne branże, takie jak sprzęt medyczny, ładowarki do pojazdów elektrycznych z wyświetlaczem czy panele sterowania automatyką przemysłową i domową. W połączeniu z Ensemble Graphics Toolkit lub MPLAB Harmony Graphics Suite pozwala na tworzenie niskoenergetycznych, tanich aplikacji na bazie RTOS lub wbudowanych aplikacji Linux, które wymagają wydajnej grafiki.

SAM9X60D1G to wysokowydajny, bardzo energooszczędny wbudowany mikroprocesor (MPU) z rdzeniem ARM926EJ-S. Działa z częstotliwością 600 MHz i zawiera 1 Gb zintegrowanej pamięci DDR2. Może sterować wyświetlaczem LCD z interfejsem 24-bitowym i rozdzielczością do 1024×768. Ponadto integruje wiele wydajnych urządzeń peryferyjnych do łączności i aplikacji interfejsu użytkownika. Oferuje najnowocześniejsze funkcje bezpieczeństwa, takie jak funkcja bezpiecznego rozruchu z wbudowanym bezpiecznym przechowywaniem kluczy (OTP) oraz wydajne akceleratory kryptograficzne SHA, AES i TDES.

Na płytce znajduje się także 4 Gbit pamięci SLC NAND Flash, kontroler Ethernet KSZ8081 10/100 Ethernet PHY, interfejsy USB i CAN, złącza kart pamięci SD i micro SD oraz zoptymalizowany układ zarządzania energią MCP16501. Wszystkie zastosowane komponenty pokazano na schemacie blokowym z **rysunku 1**.



Rysunek 1. Komponenty zintegrowane w płytce Microchip SAM9X60 Curiosity Development Board

Aby mieć szansę na wygranie zestawu ewaluacyjnego Microchip SAM9X60 Curiosity Development Board lub aby otrzymać kupon rabatowy 15% i bezpłatną wysyłkę, należy wypełnić formularz zgłoszeniowy na stronie: https://tiny.pl/cgcnd.

Szczegółowe informacje na temat płytki rozwojowej Microchip SAM9X60 Curiosity Development Board można znaleźć na stronie: https://tiny.pl/cgcn5, natomiast szczegółowe informacje na temat mikrokontrolera SAM9X60 SiP są dostępne na stronie: https://tiny.pl/cgcn1.

eprasa.pl b0a5d4d3d1

AVT sklep

Podstawowe parametry:
- zwrotnica aktywna z prądową pętlą sprzężenia zwrotnego,
- regulacja częstotliwości podziału w zakresie 40...200 Hz,
- zawiera obwód kompensacji wzmocnienia w otoczeniu częstotliwości rezonansowej głośnika regulowany w zakresie częstotliwości ok. 68...70 Hz,
- zasilanie napięciem symetrycznym ok. ±30 V.

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

AVT5679	Band splitter – trójdrożna aktywna zwrotnica audio (EP 6/2019)
AVT5558	Trójdrożna zwrotnica aktywna (EP 12/2016)
AVT5514	DSP1701_SUB cyfrowy filtr do subwoofera aktywnego (EP 10/2015)
AVT5501	DSP1701_3WCRSV – trójdrożna cyfrowa stereofoniczna zwrotnica głośnikowa (EP 5/2015)
AVT5404	Dwudrożna zwrotnica aktywna (EP 7/2013)
AVT1687	Filtr do subwoofera (EP 8/2012)
AVT2449	Filtr do subwoofera (EdW 9/2000)

* **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.

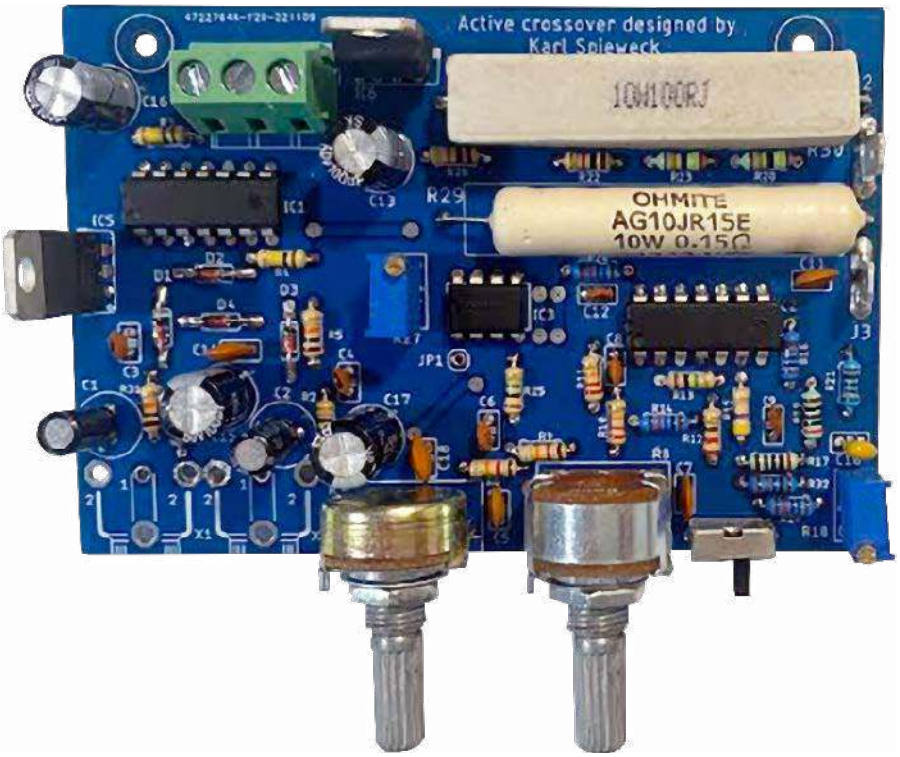
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- **wersja [A+]** – płytka drukowana **[A]** + zaprogramowany układ **[UK]** i dokumentacja,
- **wersja [UK]** – zaprogramowany układ.

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**.

Wzmacniacz transkonduktancyjny do subwoofera

Prezentowany projekt wzmacniacza transkonduktancyjnego do subwoofera zawiera dwa popularne zestawy do samodzielnego montażu firmy AVT uzupełnione o dodatkową zwrotnicę aktywną z prądową pętlą sprzężenia zwrotnego. Urządzenie pozwala na obniżenie poziomu zniekształceń nieliniowych w zakresie najniższych częstotliwości pasma akustycznego, dzięki czemu możliwe jest uzyskanie lepszej jakości odtwarzanego dźwięku.

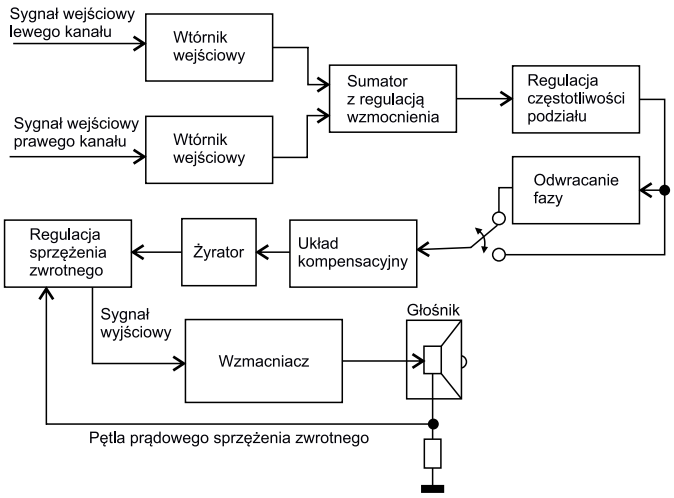


Pierwsze wzmianki na temat zastosowania wzmacniaczy transkonduktancyjnych współpracujących z głośnikami magnetoelektrycznymi (dynamicznymi) pojawiły się już w latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku w Stanach Zjednoczonych. W artykule pt. *A new look at positive current feedback*, autorstwa H. D. Zinka oraz L. R. Sanforda, opublikowanym w listopadowym wydaniu czasopisma „Radio and TV News" w roku 1957, opisano jeden z pierwszych tego typu projektów wykonanych w technice lampowej. Koncepcja ta ulegała dalszemu doskonaleniu m.in. w latach siedemdziesiątych dwudziestego wieku. Kluczową dla tego projektu okazała się publikacja naukowa pt. *Distortion reduction in moving-coil loudspeaker systems using current-drive technology*, której autorami byli P. G. L. Mills oraz M. O. J. Hawksford, opublikowana w roku 1989 w marcowym wydaniu czasopisma „Journal of the Audio Engineering Society". W roku 2010 pojawiła się nawet publikacja książkowa pt. *Current-driving of loudspeakers. Eliminating major distortion and interference effects by the physically correct operation method*, której autorem jest fiński uczony – mgr inż. Esa Meriläinen. Autor prezentuje w niej pogląd mówiący o tym, że zasilanie głośników wzmacniaczem transkonduktancyjnym przyczynia się do zmniejszenia poziomu zniekształceń nieliniowych, co jego zdaniem przekłada się na uzyskanie lepszej jakości odtwarzanego dźwięku.

Powstaje zatem pytanie – czy pogląd ów jest prawdziwy? Jego weryfikacja za pomocą aparatury pomiarowej zdaje się częściowo potwierdzać, częściowo zaś nie tę opinię. W niektórych zakresach częstotliwości akustycznych następuje bowiem zmniejszenie poziomu zniekształceń nieliniowych, z kolei w innych występuje jego zwiększenie. Ogranicza to zakres zastosowań tego typu układów niemal wyłącznie do subwooferów aktywnych pracujących w zakresie najniższych częstotliwości pasma akustycznego.

Brzmienie wzmacniaczy transkonduktancyjnych różni się w sposób zasadniczy od brzmienia konwencjonalnych

eprasa.pl b0a5d4d3d1



Rysunek 1. Schemat blokowy wzmacniacza transkonduktancyjnego do subwoofera

wzmacniaczy napięciowych. Wzmacniacz transkonduktancyjny charakteryzuje się dużą impedancją wyjściową, a co za tym idzie, małym współczynnikiem tłumienia. Jego zasada działania przypomina w pewnym zakresie zasadę działania źródła prądowego, co powoduje z kolei powstanie pewnej wady tego układu polegającej na zwiększeniu poziomu ciśnienia akustycznego w obszarze częstotliwości rezonansowej głośnika pracującego w obudowie zamkniętej (moduł impedancji w tym obszarze zwiększa swoją wartość, dzięki czemu wzmacniacz transkonduktancyjny, dążąc do zachowania stałej wartości prądu elektrycznego płynącego przez uzwojenie cewki głośnika, zwiększa poziom napięcia na jego zaciskach zgodnie z prawem Ohma i prawem Joule'a-Lenza). Wada ta została częściowo wyeliminowana w układzie zwrotnicy poprzez zastosowanie żyratora.

Czy tego typu rozwiązanie jest w stanie zapewnić czytelnikom oczekiwaną poprawę jakości dźwięku odtwarzanego przez skonstruowany w ten sposób subwoofer? Na to pytanie każdy czytelnik musi odpowiedzieć sobie samodzielnie, przeprowadzając badania i odsłuchy zaproponowanego urządzenia. Dźwięk odtwarzany przez subwoofer ze wzmacniaczem transkonduktancyjnym różni się w sposób zdecydowany od dźwięku odtwarzanego przez subwoofer wykonany w technologii konwencjonalnej. Czy jest to jednak zmiana na plus, czy na minus, jest już bardziej sprawą subiektywną i zależną od upodobań muzycznych danego czytelnika.

Budowa i działanie

Na **rysunku 1** został pokazany schemat blokowy urządzenia, natomiast na **rysunku 2** znajduje się schemat ideowy. Układ jest zasilany z sieci prądu przemiennego o napięciu skutecznym 230 V. Do zasilania układu zastosowano transformator oznaczony jako Tr1. Jest to transformator firmy INDEL typu TST 160/012. Dostarcza on na uzwojeniach wtórnych dwóch symetrycznych napięć o wartościach 24 V. Wydajność prądowa uzwojeń wynosi 2×3,3 A. Uzwojenie pierwotne zabezpieczone jest bezpiecznikiem zwłocznym B1 typu T0,8 A/250 V, natomiast uzwojenia wtórne zabezpieczone są bezpiecznikami zwłocznymi B2 oraz B3 typu T4,0 A/250 V.

Układ umożliwia realizację funkcji *ground-lift* realizowanej za pośrednictwem elementów R1, C1 oraz D1, służącej do zapobiegania powstawaniu tzw. pętli masy. Prostowanie i filtrację dodatnich i ujemnych względem masy napięć zasilających zapewnia zestaw do samodzielnego montażu typu AVT1505/2. W jego skład wchodzą elementy: B2, B3, M1, C2, C3, C7 oraz C8. Układ ten zabudowany jest na osobnym obwodzie drukowanym. Do zasilania układu zwrotnicy zastosowano elementy: C4, US1, C5, C6, C9, US2, C10 oraz C11. Służą one obniżeniu i stabilizacji napięć zasilających z poziomu ± 30 V do poziomu ±15 V.

Wzmacniacze operacyjne US3(A) oraz US3(B) służą do buforowania wejść układu i zapobiegają powstawaniu przesłuchów międzykanałowych. Kondensatory elektrolityczne bipolarne C12 oraz C14 służą do separacji składowej stałej na wejściu układu. Elementy R2, D2, D3 w kanale lewym oraz R5, D4, D5 w kanale prawym służą do realizacji zabezpieczenia przeciwprzepięciowego na wypadek odłączenia któregoś z wejść układu podczas pełnego wysterowania. Elementy C13 oraz C15 pełnią funkcję przeciwzakłóceniową. Wzmacniacz operacyjny US3(C) pracuje jako sumator sygnału pochodzącego z obydwu kanałów i zapewnia możliwość regulacji wzmocnienia za pośrednictwem potencjometru P1 o charakterystyce nieliniowej z dołączonym do ścieżki oporowej kondensatorem przeciwzakłóceniowym C16. Podwójny liniowy potencjometr P2 wraz z elementami R8, R9, C17, C18 oraz buforem US3(D) realizuje funkcjonalność regulacji częstotliwości podziału za pomocą filtra drugiego rzędu o charakterystyce Butterwortha, przestrajanego w zakresie od 40 Hz do 200 Hz z nachyleniem wynoszącym 12 dB/okt. Układ odwracający wykonany na wzmacniaczu operacyjnym US4(A) umożliwia odwrócenie fazy sygnału. Wzmacniacz operacyjny US4(B) kompensuje

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

Układ zwrotnicy aktywnej

Rezystory: (0,25 W, 5% o ile nie wskazano inaczej)
R1: 10 kΩ, 1 W
R2, R5: 100 Ω
R3, R6, R14, R16, R18, R19, R25: 10 kΩ, 1%
R4, R7, R30: 100 kΩ
R8, R9: 12 kΩ
R10, R11: 22 kΩ
R12: 220 Ω
R13, R26: 1 MΩ
R15: 4,7 kΩ, 1%
R17, R20: 200 Ω, 1%
R21, R23, R27: 1 kΩ, 1%
R22, R24: 240 kΩ, 1%
R38: 100 Ω, 10 W
R39: 0,15 Ω, 10 W

Kondensatory:
C1: 100 nF/500 V foliowy
C4, C9: 100 μF/50 V elektrolityczny
C5, C10: 100 μF/25 V elektrolityczny
C6, C11, C18, C22: 100 nF/25 V foliowy
C12, C14: 10 μF/25 V bipolarny
C13, C15, C20, C23: 47 pF/25 V ceramiczny
C16: 39 pF/25 V ceramiczny
C17: 47 nF/25 V foliowy
C19: 220 pF/25 V ceramiczny
C21: 220 nF/25 V foliowy

Półprzewodniki:
D1: P6SMBJ12CA
D2, D3, D4, D5: 1N4148
US1: LM7815
US2: LM7915
US3, US4: TL074
US5: TL072

Pozostałe:
B1: bezpiecznik 0,8 A/250 V zwłoczny
P1: 1×50 kΩ/B nieliniowy
P2: 2×50kΩ/A liniowy
PR1, PR2: 10 kΩ helitrim
L1: cewka – ok. 7...8 zwojów drutem nawojowym emaliowanym o średnicy 1 mm na średnicy wewnętrznej równej ok. 10 mm.
Tr1: transformator TST160/012 INDEL
Włącznik sieciowy dwusekcyjny 1 szt.
Włącznik stały jednosekcyjny 2 szt.
Głośnik SB20PFCR30-4 SB Acoustics

Wzmacniacz mocy – zestaw AVT2153

Rezystory: (0,25 W, 5% o ile nie wskazano inaczej)
R28: 3,3 kΩ
R29, R35, R36: 22 kΩ
R31: 470 kΩ
R32, R33: 10 kΩ, 1%
R34: 33 kΩ
R37: 680 Ω

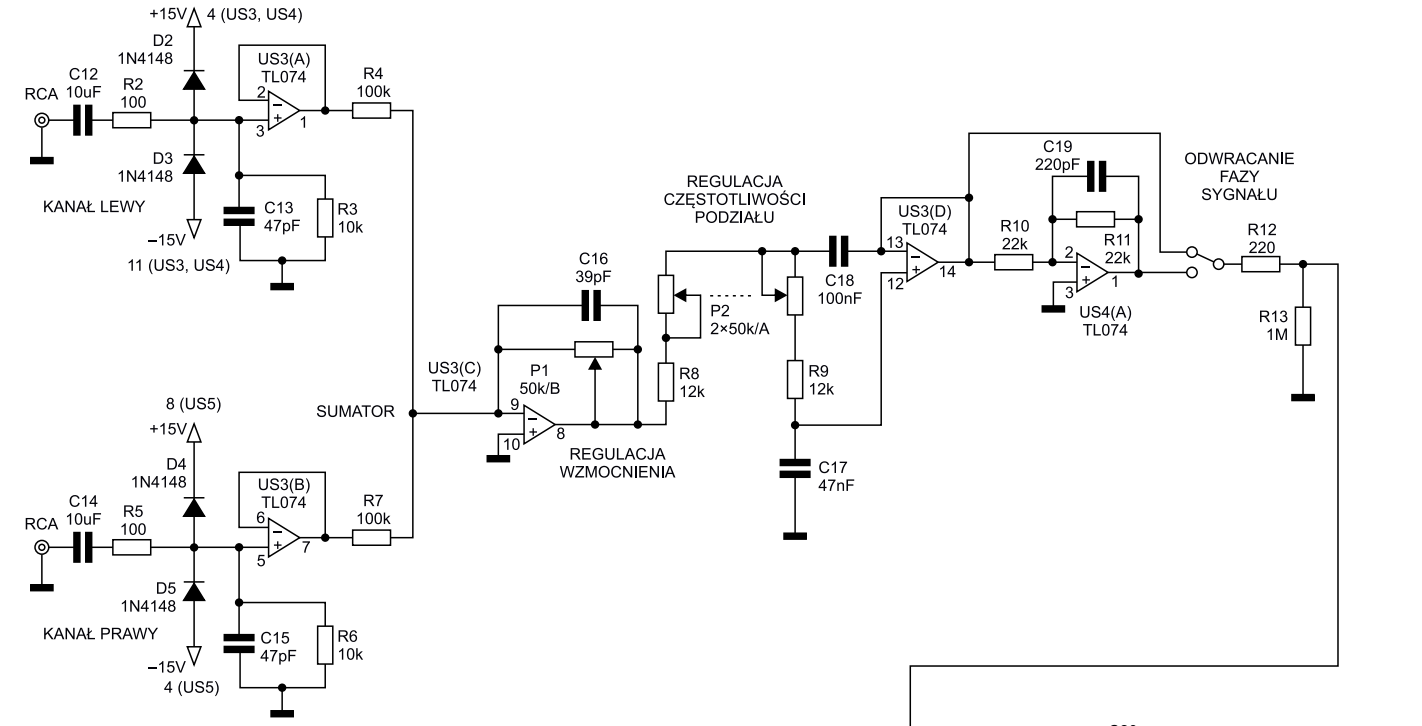
Kondensatory:
C24: 470 nF/25 V foliowy
C25: 330 nF/25 V foliowy
C26, C27: 10 μF/16 V elektrolityczny
C28, C31: 100 nF/100 V foliowy
C29, C30, C32, C33: 470 μF/63 V elektrolityczny
C34: 22 μF/63 V elektrolityczny
C35: 10 μF/63 V elektrolityczny

Półprzewodniki:
D6, D8, D9: 1N4148
D7: dioda Zenera 18 V
D10: dioda Zenera 12 V
OT1: CNY17
T1, T2: BC548
US6: TDA7294

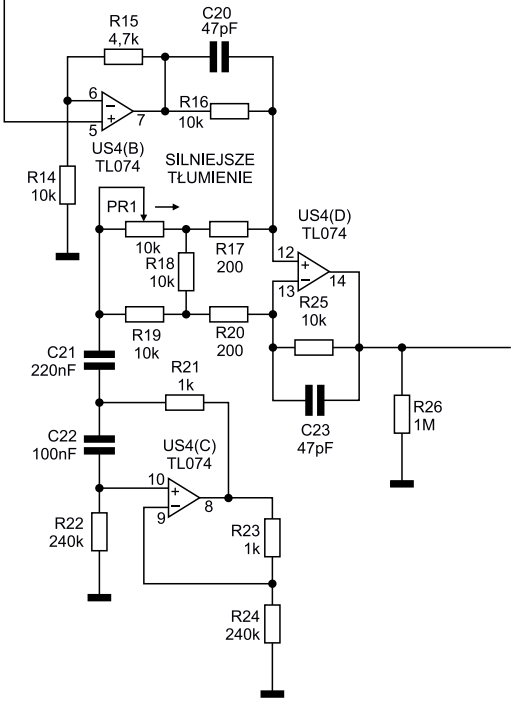
Zasilacz – zestaw AVT1505/2

C2, C3, C7, C8: 6800 μF/50 V elektrolityczny
M1: mostek prostowniczy 20 A/200 V
B2, B3: bezpiecznik 4,0 A/250 V zwłoczny

eprasa.pl b0a5d4d3d1



Rysunek 2. Schemat ideowy wzmacniacza transkonduktancyjnego do subwoofera (rysunek pokazuje schemat całego urządzenia, czyli zawiera schemat zwrotnicy aktywnej oraz schemat zestawu zasilacza AVT1505/2 i zestawu wzmacniacza AVT2153)



spadek wzmocnienia spowodowany zastosowaniem prądowej pętli sprzężenia zwrotnego.

Elementy: C20, R16, PR1, R17, R18, R19, R20, C21, R21, C22, US4(C), R22, R23, R24, US4(D), R25 oraz C23, tworzą układ żyratora z mostkiem Wiena-Robinsona służący do kompensacji nadmiaru wzmocnienia w otoczeniu częstotliwości rezonansowej głośnika pracującego w obudowie zamkniętej, wynikającego z zasady działania wzmacniacza transkonduktancyjnego. Potencjometr montażowy PR1 typu helitrim umożliwia regulację tłumienia żyratora dla sygnału o częstotliwości ok. 68...70 Hz. Dobroć żyratora została dobrana w taki sposób, aby stanowić lustrzane odbicie charakterystyki modułu impedancji w funkcji częstotliwości głośnika pracującego w obudowie zamkniętej. Elementy: US5(A), PR2, R27, US5(B), R38 oraz R39, realizują funkcjonalność pętli prądowego sprzężenia zwrotnego.

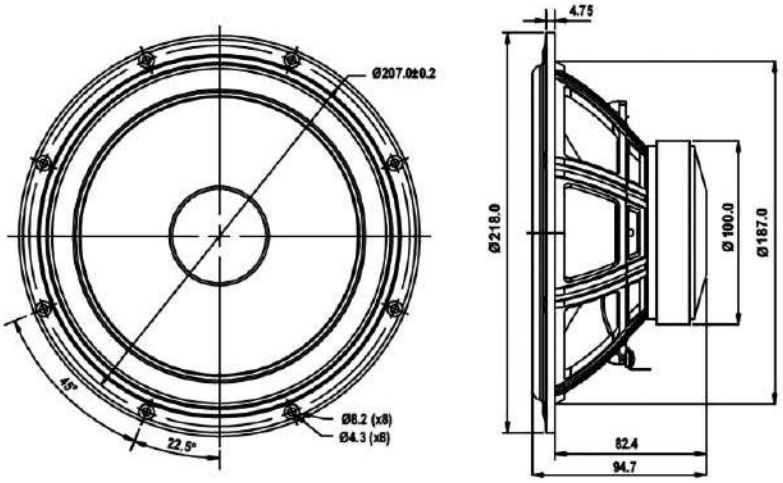
Układ współpracuje z 4-omowym głośnikiem typu SB Acoustics SB20PFCR30-4. Fragment dokumentacji z parametrami głośnika został pokazany ma **rysunku 3**, a jego wymiary pokazuje **rysunek 4**. Głośnik zabudowano w obudowie zamkniętej o objętości wewnętrznej równej ok. 27 litrów. Potencjometr montażowy PR2 typu helitrim służy do regulacji głębokości prądowego sprzężenia zwrotnego. Pętla sprzężenia zwrotnego ma zakres regulacji ustalony wartościami elementów PR2 oraz R27 na Ku=0...10 V/V. Sygnał sprzężenia zwrotnego pobierany jest z 10-watowego opornika R39 za pośrednictwem bufora zrealizowanego na wzmacniaczu operacyjnym US5(B). Opornik R38 o mocy 10 W pełni funkcję zabezpieczającą wyjście wzmacniacza mocy w przypadku, gdyby podczas pełnego wysterowania nastąpiło odłączenie zacisków głośnika od pozostałej części układu.

Specs :

Nominal impedance	4 Ω	Free air resonance, Fs	34 Hz
DC resistance, Re	3.4 Ω	Sensitivity (2.83 V / 1 m)	92.5 dB
Voice coil inductance, Le	0.71 mH	Mechanical Q-factor, Qms	2.78
Effective piston area, Sd	216 cm²	Electrical Q-factor, Qes	0.37
Voice coil diameter	30.5 mm	Total Q-factor, Qts	0.33
Voice coil height	16.5 mm	Moving mass incl.air, Mms	22.4 g
Air gap height	5 mm	Force factor, Bl	6.6 Tm
Linear coil travel (p-p)	11.5 mm	Equivalent volume, Vas	66.2 liters
Magnetic flux density	1.2 T	Compliance, Cms	1.0 mm/N
Magnet weight	0.54 kg	Mechanical loss, Rms	1.7 kg/s
Net weight	1.42 kg	Rated power handling*	50 W

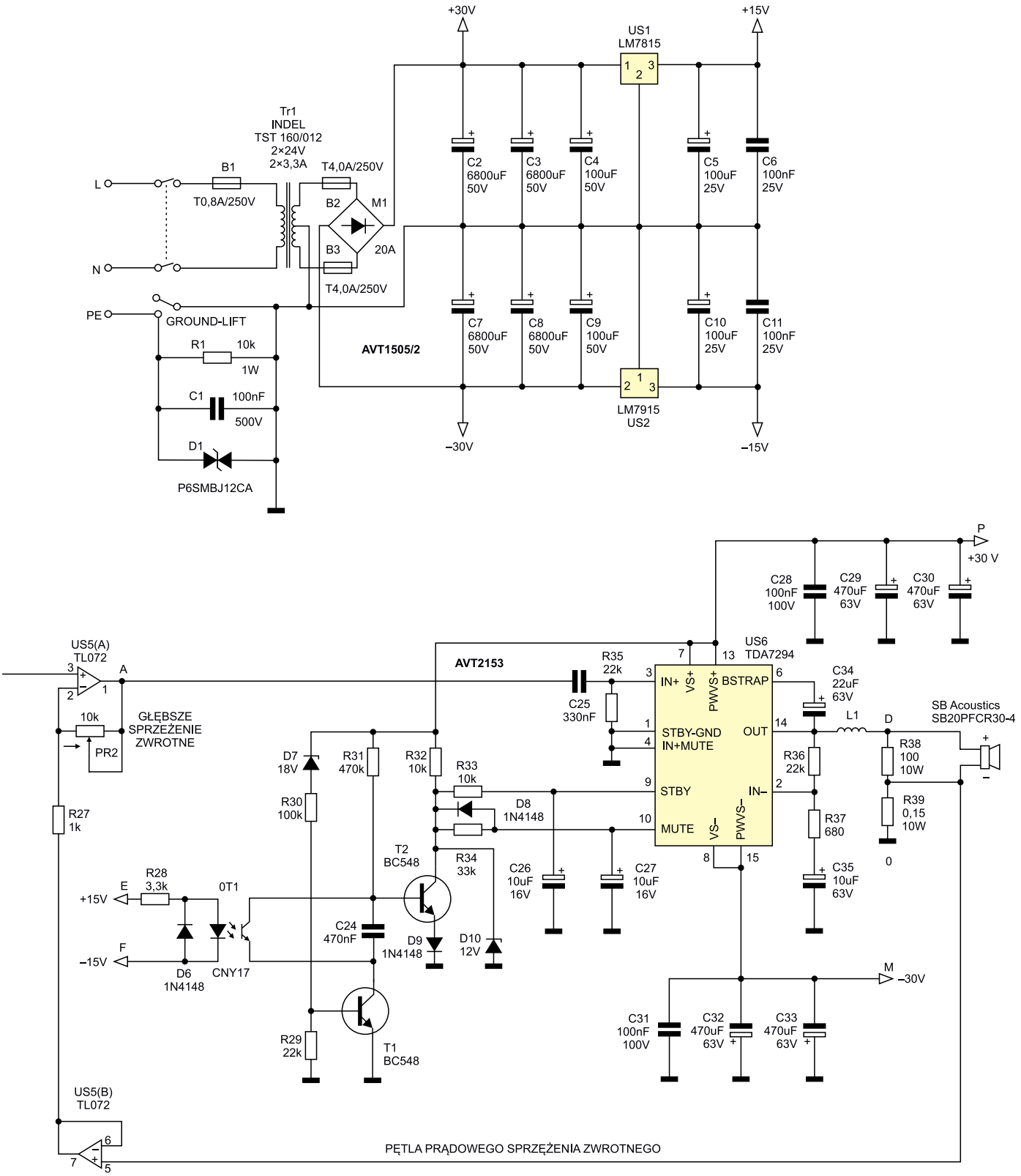
* IEC 268-5, T/S parameters measured on drive units that are broken in.

Rysunek 3. Dane techniczne głośnika typu SB Acoustics SB20PFCR30-4 (źródło: https://blackdotaudio.eu/)



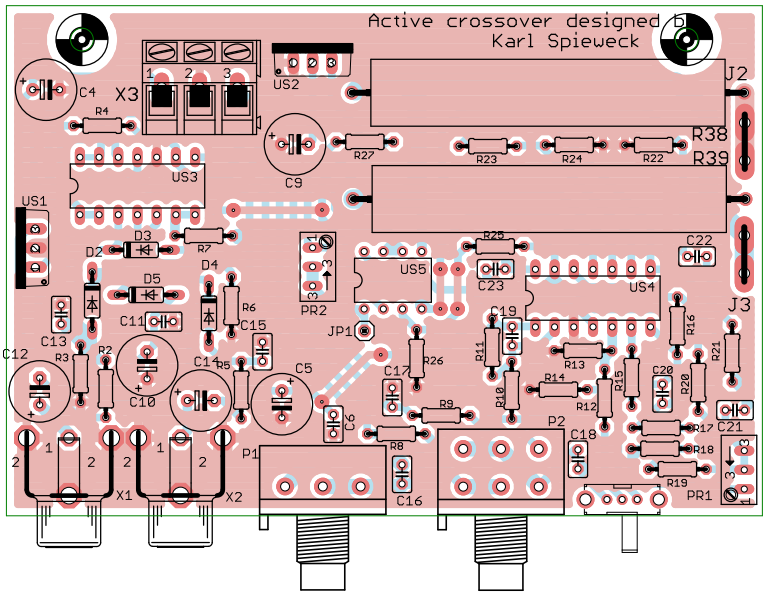
Rysunek 4. Wymiary gabarytowe głośnika typu SB Acoustics SB20PFCR30-4 (źródło: https://blackdotaudio.eu/)

eprasa.pl b0a5d4d3d1



Pozostałe elementy układu stanowią zestaw do samodzielnego montażu typu AVT2153, który jest zmontowany na osobnym obwodzie drukowanym. Jest to katalogowa aplikacja układu scalonego typu TDA7294 z dwiema drobnymi modyfikacjami. Przede wszystkim pojemność kondensatora C25 na wejściu układu została obniżona z 470 nF na 330 nF, tworząc w ten sposób w pętli sprzężenia zwrotnego filtr subsoniczny, służący do tego, aby przesunąć próg wzbudzenia i rozszerzyć zakres regulacji głębokości pętli sprzężenia zwrotnego. Natomiast na wyjściu układu dołączona została cewka powietrzna L1, która tworzy w pętli sprzężenia zwrotnego filtr ultrasoniczny zapobiegający wzbudzaniu się układu na częstotliwości ok. 1 MHz pod wpływem współpracy wzmacniacza mocy z obciążeniem o charakterze reaktancyjnym. Cewkę tę należy wykonać we własnym zakresie, nawijając ok. 7...8 zwojów drutem nawojowym

eprasa.pl b0a5d4d3d1



Rysunek 5. Obwód drukowany układu zwrotnicy aktywnej do wzmacniacza transkonduktancyjnego do subwoofera

emaliowanym o średnicy 1 mm na średnicy wewnętrznej równej ok. 10 mm.

Montaż i uruchomienie

Projekt obwodu PCB obejmuje sam układ zwrotnicy aktywnej i został pokazany na **rysunku 5**. Montaż nie jest skomplikowany i nie wymaga szczegółowego omawiania.

Do precyzyjnego zestrojenia układu potrzebny jest dostęp do komory bezechowej oraz komputerowego systemu pomiarowego, jednak zgrubną regulację można wykonać za pomocą domowego systemu pomiarowego z darmowym programem komputerowym Speaker Workshop bazującym na metodzie MLS (*Maximum Length Sequence*), którego opis można znaleźć w Internecie.

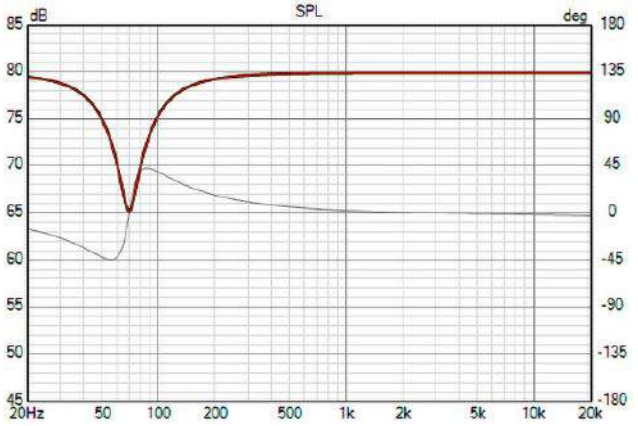
Pomiar najniższych częstotliwości pasma akustycznego może zostać wykonany w sposób zgrubny przy użyciu metody pomiaru w polu bliskim (tzw. pomiar typu *nearfield*). W tej metodzie subwoofer znajduje się w pomieszczeniu o określonej kubaturze, natomiast mikrofon należy umieścić w odległości jednego centymetra od kopułki przeciwpyłowej (tzw. krążka) głośnika. Uzyskane w ten sposób wyniki pomiarów nie odbiegają w sposób znaczący od wyników pomiarów uzyskanych w warunkach pola swobodnego.

Podczas strojenia najlepiej podłączyć układ do sieci za pośrednictwem żarówki o mocy 60 W celem zabezpieczenia głośnika i wzmacniacza mocy przed uszkodzeniem na skutek wzbudzenia. Wzmocnienie należy ustawić na połowę zakresu potencjometrem P1, natomiast częstotliwość podziału na maksimum (200 Hz) potencjometrem P2. Fazę sygnału ustawiamy jako zgodną. Potencjometr montażowy PR1 typu helitrim ustawiamy na wartość 10 kΩ, natomiast potencjometr montażowy PR2 typu helitrim ustawiamy na wartość bliską 0 Ω. Uruchamiamy układ i ostrożnie regulujemy potencjometrem montażowym PR2 głębokość sprzężenia zwrotnego. Przy ustawieniu tego potencjometru na ok. 90% wartości jego rezystancji układ powinien się wzbudzić (choć nie jest to konieczne i zależy od konkretnego przypadku). Wzbudzenie objawia się cyklicznym wychylaniem się membrany głośnika z częstotliwością o wartości poniżej jednego herca z rosnącą w czasie amplitudą drgań. W przypadku wystąpienia wzbudzenia cofamy natychmiast śrubę potencjometru, aby zapobiec uszkodzeniu układu. Następnie mierzymy charakterystykę poziomu ciśnienia akustycznego w funkcji częstotliwości w komorze bezechowej lub w pomieszczeniu o skończonej kubaturze za pomocą trybu nearfield. Po określeniu wartości tzw. wzmocnienia krytycznego nastawę zapewniającą stabilność układu możemy ustalić, posiłkując się metodą Zieglera-Nicholsa dla układu proporcjonalnego. Możemy także eksperymentalnie ustalić taką nastawę, przy której układ zachowuje jeszcze stabilność, ale wzniesienie rezonansowe na charakterystyce poziomu ciśnienia akustycznego w funkcji częstotliwości będzie wyższe niż w przypadku nastawy ustalonej metodą Zieglera-Nicholsa.

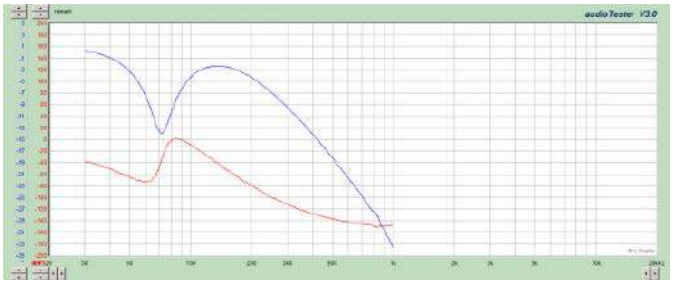
Po określeniu odpowiadającej nam nastawy w dalszym ciągu mierzymy charakterystykę poziomu ciśnienia akustycznego w funkcji częstotliwości, tym razem regulując tłumienie żyratora potencjometrem montażowym PR1 w taki sposób, aby uzyskać charakterystykę odpowiadającą swoim kształtem pracy przy pobudzeniu napięciowym, zwracając uwagę na to, aby nie przekompensować układu. W przypadku, gdy nie mamy możliwości przeprowadzenia pomiarów, możemy w sposób bardzo zgrubny ustawić żyrator za pomocą własnego słuchu, odtwarzając fragment audycji słowno-muzycznej i ustawiając tłumienie żyratora w taki sposób, aby sygnał o częstotliwości ok. 68...70 Hz nie zdominował reszty pasma niskich tonów.

Podsumowanie i wnioski

Na **rysunkach 6** i **7** pokazano charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowe układu żyratora, natomiast na **rysunkach 8** i **9** pokazano charakterystyki modułu impedancji w funkcji częstotliwości oraz charakterystyki fazowo-częstotliwościowe głośnika typu SB Acoustics SB20PFCR30-4. Z kolei na **rysunku 10** znajduje się oscylogram pokazujacy zjawisko wzbudzenia się układu na częstotliwości ok. 1 MHz, któremu zapobiega zastosowanie cewki L1 na wyjściu wzmacniacza mocy.



Rysunek 6. Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa (kolor pomarańczowy) oraz fazowo-częstotliwościowa (kolor szary) układu żyratora



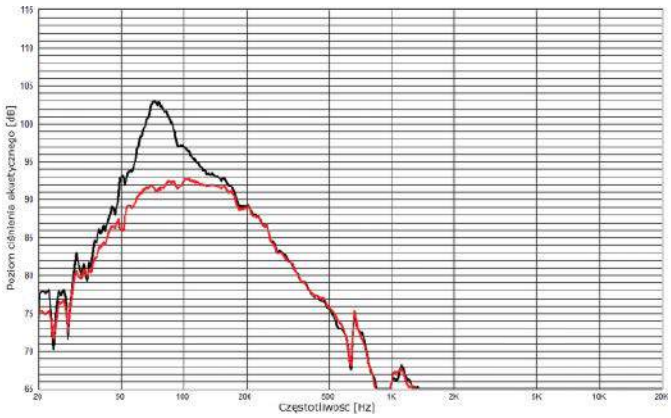
Rysunek 7. Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa (kolor niebieski) oraz fazowo-częstotliwościowa (kolor czerwony) układu żyratora z filtrem dolnoprzepustowym

eprasa.pl b0a5d4d3d1

Rysunek 8. Charakterystyka modułu impedancji w funkcji częstotliwości (kolor niebieski) oraz charakterystyka fazowo-częstotliwościowa (kolor czerwony) głośnika typu SB Acoustics SB20PFCR30-4 zmierzona na wolnym powietrzu

Rysunek 9. Charakterystyka modułu impedancji w funkcji częstotliwości (kolor niebieski) oraz charakterystyka fazowo-częstotliwościowa (kolor czerwony) głośnika typu SB Acoustics SB20PFCR30-4 zmierzona w obudowie zamkniętej

Rysunek 10. Zjawisko wzbudzenia się układu na częstotliwości ok. 1 MHz, któremu zapobiega zastosowanie cewki L1 na wyjściu wzmacniacza mocy



Rysunek 11. Charakterystyki poziomu ciśnienia akustycznego subwoofera ze wzmacniaczem transkonduktancyjnym w funkcji częstotliwości: kolor czarny – charakterystyka dla pobudzenia prądowego bez kompensacji, kolor czerwony – charakterystyka dla pobudzenia prądowego po kompensacji żyratorem

Jak widać na **rysunku 11**, wzmocnienie wzmacniacza transkonduktancyjnego jest proporcjonalne do lokalnej wartości modułu impedancji w funkcji częstotliwości głośnika pracującego w obudowie zamkniętej. Interesujący nas obszar pracy subwoofera (do częstotliwości 200 Hz – pasmo przepustowe) nie wymaga stosowania w tym przypadku obwodu kompensacyjnego Zobla. Z kolei sprowadzenie kształtu charakterystyki poziomu ciśnienia akustycznego w funkcji częstotliwości z powrotem do kształtu odpowiadającego pobudzeniu napięciowemu nie wymaga zastosowania pułapki rezonansowej RLC ze względu na bardzo duże wartości indukcyjności oraz pojemności jej elementów składowych. Sprawę załatwia układ aktywnego żyratora, dużo tańszy w aplikacji oraz umożliwiający regulację tłumienia. Należy jednak podkreślić, że parametry żyratora zostały dobrane do współpracy z głośnikiem SB Acoustics SB20PFCR30-4 pracującym w obudowie o objętości wewnętrznej równej ok. 27 litrów. Zastosowanie innego rodzaju głośnika w tej samej bądź innej obudowie wymaga zmiany wartości elementów składowych żyratora celem dostrojenia jego dobroci i częstotliwości rezonansowej do konkretnego przypadku.

Zaprezentowany układ można szczególnie polecić pasjonatom elektroniki i elektroakustyki, pragnącym samodzielnie poznać jego właściwości. Może on także stanowić przedmiot badań wielu różnych prac dyplomowych realizowanych na uczelniach wyższych.

inż. Karl Spieweck
mgr inż. Tomasz Łysek

REKLAMA

eprasa.pl b0a5d4d3d1

Podstawowe parametry:
- umożliwia połączenie magistrali I²C pomiędzy systemami pracującymi z napięciami 3,3 V lub 5 V niezależnie od kierunku konwersji i różnicy poziomów
- wbudowana przetwornica obniżająco-podwyższająca napięcie,
- możliwość przedłużenia zasięgu magistrali (redriver),
- zasilanie napięciem z zakresu 3,3...5 V.

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

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)
AVT5884	Expander portu szeregowego UART dla magistrali I²C (EP 9/2021)
AVT5881	Multiplekser analogowy sterowany z magistrali I²C (EP 8/2021)
AVT5854	Przedłużacz magistrali I²C (EP 4/2021)

* **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**.

Uniwersalny translator poziomów I²C

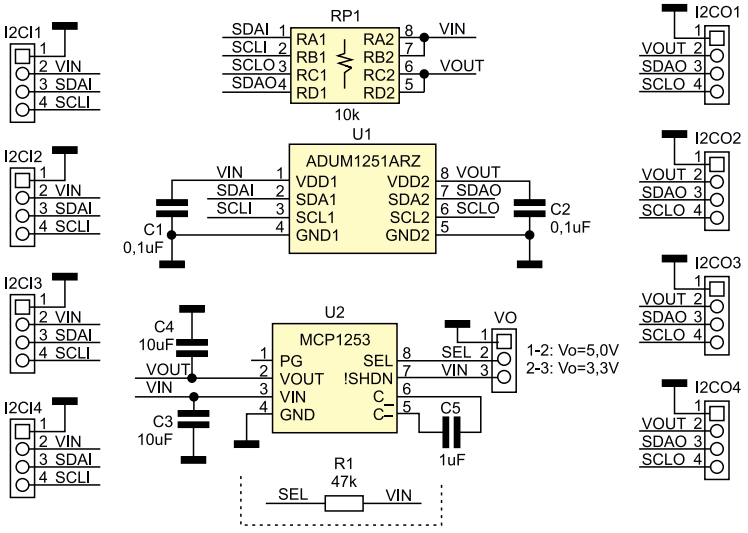
Zaprezentowany moduł uniwersalnego translatora poziomów umożliwia połączenie magistrali I²C pomiędzy systemami pracującymi z napięciami 3,3 V lub 5 V niezależnie od kierunku konwersji. Układ doskonale sprawdza się w prototypowaniu przy użyciu Raspberry Pi/Pico lub Arduino, umożliwiając proste podłączenie dostępnych na rynku czujników lub modułów rozszerzeń niezależnie od wymaganego napięcia zasilania.

Układ nadaje się, także do przedłużenia zasięgu magistrali, pełniąc funkcje redrivera i stabilizatora zasilania. Zaletą układu jest wbudowana przetwornica obniżająco-podwyższająca napięcie zapewniająca zasilanie dla współpracujących układów I²C.

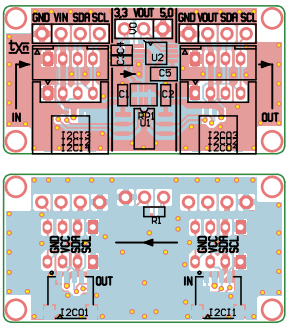
Budowa i działanie

Schemat układu został pokazany na **rysunku 1**. Magistrala I²C (master) wraz z napięciem zasilania 3,3...5 V doprowadzona jest do translatora poprzez jedno ze złączy wejściowych I²CI1...4. Cztery typy użytych złączy zapewniają zgodność z popularnymi zestawami uruchomieniowymi. Magistrala I²C doprowadzona jest do układu izolatora I²C typu ADUM1251 (U1), który zastosowany jest w nietypowej roli translatora poziomów.

Większość standardowych konwerterów poziomów dla poprawnego działania wymusza określoną różnicę napięć zasilania strony wejść i wyjść, znak tej różnicy jest ściśle określony, a zmiana kierunku konwersji z 3,3/5 V na 5 V/3,3 V wymusza przeprojektowanie układu. Konieczność konwersji poziomów logicznych 3,3/5 V, w sytuacji gdy napięcie zasilania wynosi 5 V, nie pozwala spełnić warunku wymaganej różnicy i polaryzacji napięć pomiędzy stronami typowego translatora np.: PCA9603 wymaga Vref1<Vref2 i Vref2>Vref1 o ok. 0,6 V. Standardowe translatory poziomów nie pracują poprawnie, gdy napięcia zasilające są równe lub różnica napięć zmienia znak tj. Vref1>Vref2. W najlepszym przypadku pogarszają się czasy propagacji sygnału I²C, w najgorszym wypadku sam translator może ulec uszkodzeniu lub co gorsze, może przepuszczać prąd ze strony zasilanej wyższym napięciem do części zasilanej niższym napięciem, doprowadzając do uszkodzenia współpracujących układów. Izolacja galwaniczna stron U1 pozwala uniknąć tego zagrożenia i umożliwia



Rysunek 1. Schemat ideowy układu translatora



Rysunek 2. Rozmieszczenie elementów

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

Rezystory:
RP1: 10 kΩ Drabinka rezystorowa (CRA06S08)

Kondensatory:
C1, C2: 0,1 μF 10 V (SMD0603)
C3, C4: 10 μF 10 V (SMD0603)
C5: 1 μF 16 V (SMD0805)

Półprzewodniki:
U1: ADUM1251ARZ (SO8)
U2: MCP1253-33x50 (MSOP8)

Pozostałe:
I²CI1, I²CO1: złącze JST 1 mm
I²CI2, I²CO2: złącze JST 2 mm
I²CI3, I²CO3: złącze SIP 2,54 mm
I²CI4, I²CO4: złącze Grove 2 mm (110990037)
VO: złącze SIP 2,54 mm + zwora

eprasa.pl b0a5d4d3d1

zastosowanie tylko jednego typu translatora niezależnie od wartości napięcia zasilającego 3,3/5 V i kierunku translacji.

Aby układ nie wymagał obustronnego zasilania, co szczególnie pożądane przy aplikacjach pomiarowych wymagających zasilania czujników, moduł wyposażony jest we własną przetwornicę U2 typu MCP1253. Jest to przetwornica pojemnościowa z szerokim zakresem napięć zasilania (2,0...5,5 V) i automatycznym przełączaniem trybu podwyższania i obniżania napięcia wyjściowego, którego ustalona wartość wybierania jest stanem wyprowadzenia SEL. Zwarcie zwory VO z napięciem zasilania VIN (zwarte piny 2+3) ustala 3,3 V, zwarcie zwory VO z masą (zwarte piny 1+2) ustala 5 V napięcia wyjściowego przetwornicy. Dzięki temu translator zasilany napięciem z zakresu 3,3...5 V może zasilać czujniki napięciem 3,3 V lub 5 V z jednoczesną translacją poziomów I²C.

Napięcie wyjściowe oraz sygnał I²C po konwersji poziomów wyprowadzony jest na złącza I²CO1...4. Dodatkową funkcją translatora jest możliwość przedłużenia zasięgu magistrali (redriver) oraz stabilizacja napięcia zasilania VOUT.

Montaż i uruchomienie

Moduł zmontowany jest na dwustronnej płytce drukowanej, której schemat został pokazany na **rysunku 2**. Montaż jest typowy i nie wymaga opisu. Przed podłączeniem do aplikacji docelowej należy sprawdzić poprawność generowanego napięcia wyjściowego VOUT=3,3 V/5 V przy obu położeniach zwory VO w całym zakresie napięcia zasilania VIN=3,3 V/5 V. Jeżeli wartość generowanego napięcia jest poprawna, układ może być podłączony do aplikacji docelowej.

Przykładowe zastosowanie translatora to np. podłączenie czujników zgodnych z 3,3 V serii QWIIC do Arduino Uno lub podłączenie czujników wymagających zasilania 5 V do Raspberry Pi/ Pico.

Adam Tatuś, EP

AVT sklep

W ofercie AVT*
AVT5988

Podstawowe parametry:
- nadajnik/odbiornik RS485 w postaci układu MAX13082, o zwiększonym obciążeniu linii (zwiększona dopuszczalna liczba urządzeń magistrali do 256),
- bazuje na popularnym układzie konwertera USB-UART typu FT232RL,
- zawiera złącze interfejsu USBC (oferuje tylko tryb zgodności z USB2.0).

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

----	Konwerter USB-UART w standardzie Grove (EP 5/2023)
AVT5717	Konwerter USB-UART z ekstenderem (EP 10/2019)
AVT5648	Izolowana przejściówka USB/UART (EP 9/2018)
AVT1780	USB_FT230XQ Miniaturowy konwerter USB/UART (EP 11/2013)
AVT1775	Miniaturowy konwerter USB/UART z układem FT230XS (EP 9/2013)
AVT1595	Miniaturowy konwerter USB/UART (EP 10/2010)

* **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**.

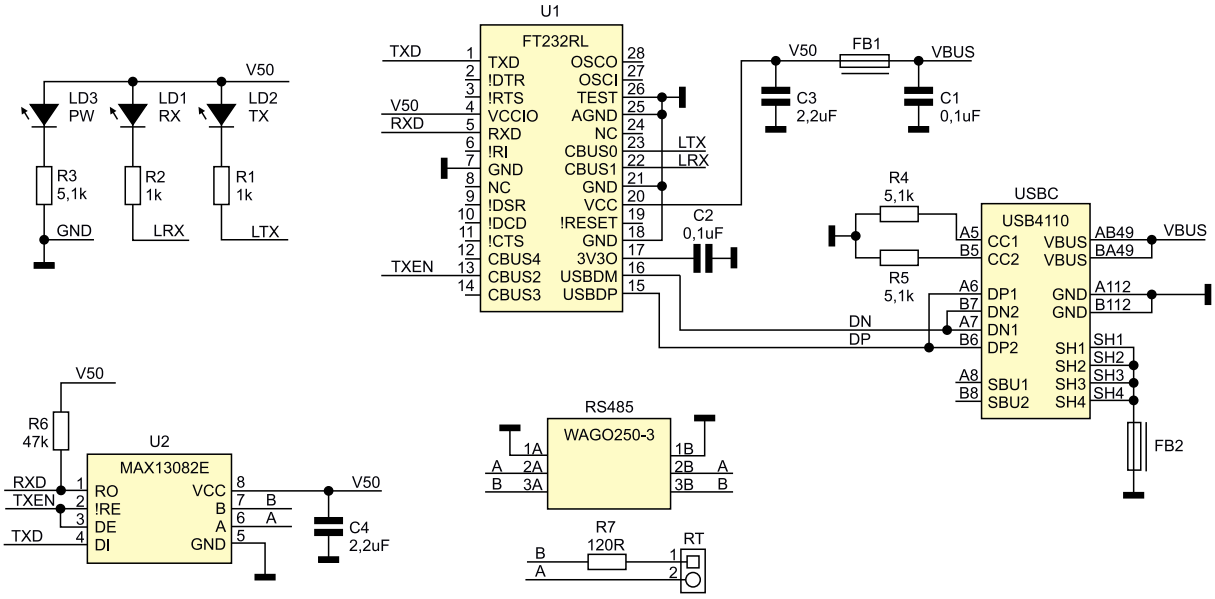
Konwerter USBC-RS485

Magistrala RS485 jest w dalszym ciągu popularnym i tanim sposobem komunikacji na średnie odległości. Zaprezentowany konwerter przyda się przy uruchamianiu układów automatyki DIY.

Budowa i działanie

Schemat modułu konwertera został pokazany na **rysunku 1**. Moduł zawiera dobrze znany konwerter USB-UART typu FT232RL. Pracuje on w typowej konfiguracji interfejsu RS485, gdzie oprócz sygnałów transmisji RXD/TXD generowany jest także sygnał TXEN sterujący półdupleksowym nadajnikiem-odbiornikiem RS485.

Układ konwertera połączony jest z komputerem nadrzędnym poprzez złącze USBC typu



Rysunek 1. Schemat konwertera

eprasa.pl b0a5d4d3d1

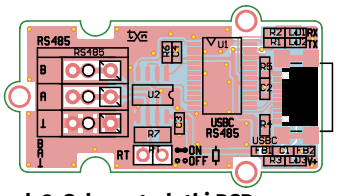
Wykaz elementów, kupuj na stronie sklep.avt.pl (Warszawa, ul. Leszczynowa 11, tel. +48222578451, e-mail: handlowy@avt.pl)

Rezystory: (SMD0603, 1%)
R1, R2: 1 kΩ
R3, R4, R5: 5,1 kΩ
R6: 47 kΩ
R7: 120 Ω (SMD1206)

Kondensatory: (SMD0603)
C1, C2: 0,1 μF/10 V
C3, C4: 2,2 μF/10 V

Półprzewodniki:
LD1: dioda LED czerwona (SMD0603)
LD2: dioda LED zielona (SMD0603)
LD3: dioda LED niebieska (SMD0603)
U1: FT232RL (SSOP28)
U2: MAX13082ECSA (SO8)

Pozostałe:
FB1, FB2: dławik ferrytowy 600 R/0,25 A (SMD0603)
RS485: złącze sprężynowe WAGO250-3
RT: złącze SIP2 + zwora
USBC: gniazdo USBC/2.0 (USB4110GTC)



Rysunek 2. Schemat płytki PCB

USB4110. Zastosowanie nowocześniejszego interfejsu USBC uwalnia od problemów związanych z gniazdami typu micro, zapewniając większą niezawodność połączenia. Układ FT232 oczywiście nie obsługuje pełnych możliwości USBC, a oferuje tylko tryb zgodności z USB2.0, dla którego gniazdo typu 4110 zostało zaprojektowane. Dzięki ograniczonej funkcjonalności USBC możliwe stało się zredukowanie liczby wyprowadzeń gniazda do 16 (12 sygnałów), co czyni złącze łatwiejszym w lutowaniu także w warunkach warsztatu DIY. Wszystkie wyprowadzenia złącza 4110 są bezproblemowo dostępne i można je przylutować lutownicą z cienkim grotem, w przeciwieństwie do złączy w pełnej konfiguracji USBC, gdzie część wyprowadzeń ukryta jest pod złączem, co znacząco ogranicza możliwość montażu.

FT232RL pracuje w trybie zasilania z magistrali, diody RX, TX sygnalizują aktywny kierunek transmisji, dioda PW oznacza obecność zasilania.

Jako nadajnik/odbiornik RS485 zastosowano układ U2 typu MAX13082, o zwiększonym obciążeniu linii (zwiększona dopuszczalna liczba urządzeń magistrali do 256) i wbudowanej ochronie ESD do 15 kV. Układ zasilany jest napięciem 5 V i z takimi poziomami logicznymi komunikuje się z FT232RL. Sygnały interfejsu RS485 wyprowadzone są na złącze sprężynowe (samozaciskowe) typu WAGO250-3 (na płytce pozostawione są także otwory pod klasyczne złącze śrubowe DG).

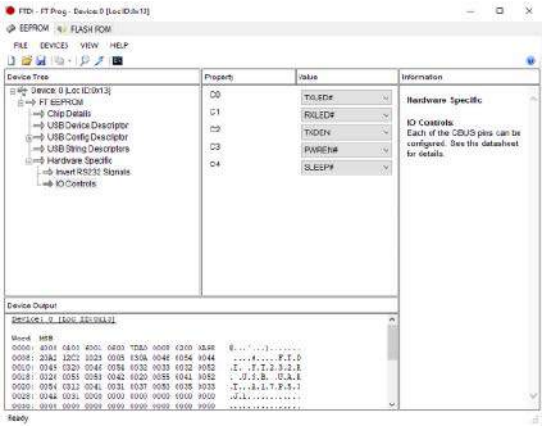
Montaż i uruchomienie

Układ zmontowany jest na miniaturowej dwustronnej płytce drukowanej, której schemat został pokazany na **rysunku 2**. Montaż nie wymaga opisu. Po podłączeniu do komputera z systemem Windows moduł jest wykrywany automatycznie.

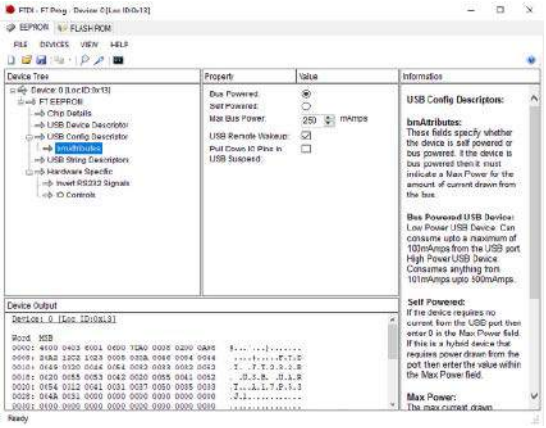
W fabrycznej konfiguracji układ FT232 obsługuje interfejs RS485 bez dodatkowych zmian. Warto jednak uruchomić konfigurator FT_prog.exe i sprawdzić konfigurację wyprowadzeń IO – **rysunek 3** oraz ustawić maksymalny pobierany prąd z USB na 250 mA – **rysunek 4**. Można też posłużyć się przygotowanym plikiem konfiguracji *USBC_FT232RL_Grove485.xml*, zamieszczonym w materiałach dodatkowych, wgrywając go do układu FT232RL przy pomocy FT_Prog.exe.

Dla sprawdzenia transmisji można połączyć ze sobą dwa moduły konwertera i przeprowadzić transmisję znakową z dwóch terminali portu szeregowego lub podłączyć układ do urządzenia docelowego i sprawdzić poprawność komunikacji oraz sygnalizację transmisji RX, TX.

Adam Tatuś, EP



Rysunek 3. Konfiguracja wyprowadzeń IO układu FT232



Rysunek 4. Konfiguracja układu FT232 – ustawienie maksymalnego pobieranego prądu

REKLAMA

eprasa.pl b0a5d4d3d1

AVT sklep

W ofercie AVT*

AVT5991

Podstawowe parametry:
- przełączanie pomiędzy 5 zakresami odpowiadającymi wartościom 0%, ±5% i ±10% w odniesieniu do napięcia sieciowego,
- moc maksymalna 150 VA,
- zawiera klasyczny transformator 2×12 V, zamiast nietypowego autotransformatora.

* **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.

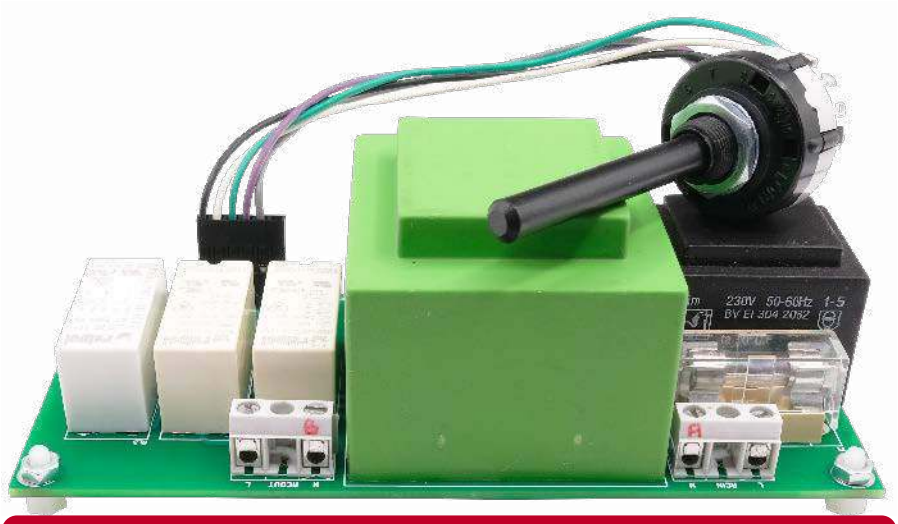
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- **wersja [A+]** – płytka drukowana **[A]** + zaprogramowany układ **[UK]** i dokumentacja,
- **wersja [UK]** – zaprogramowany układ.

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**.

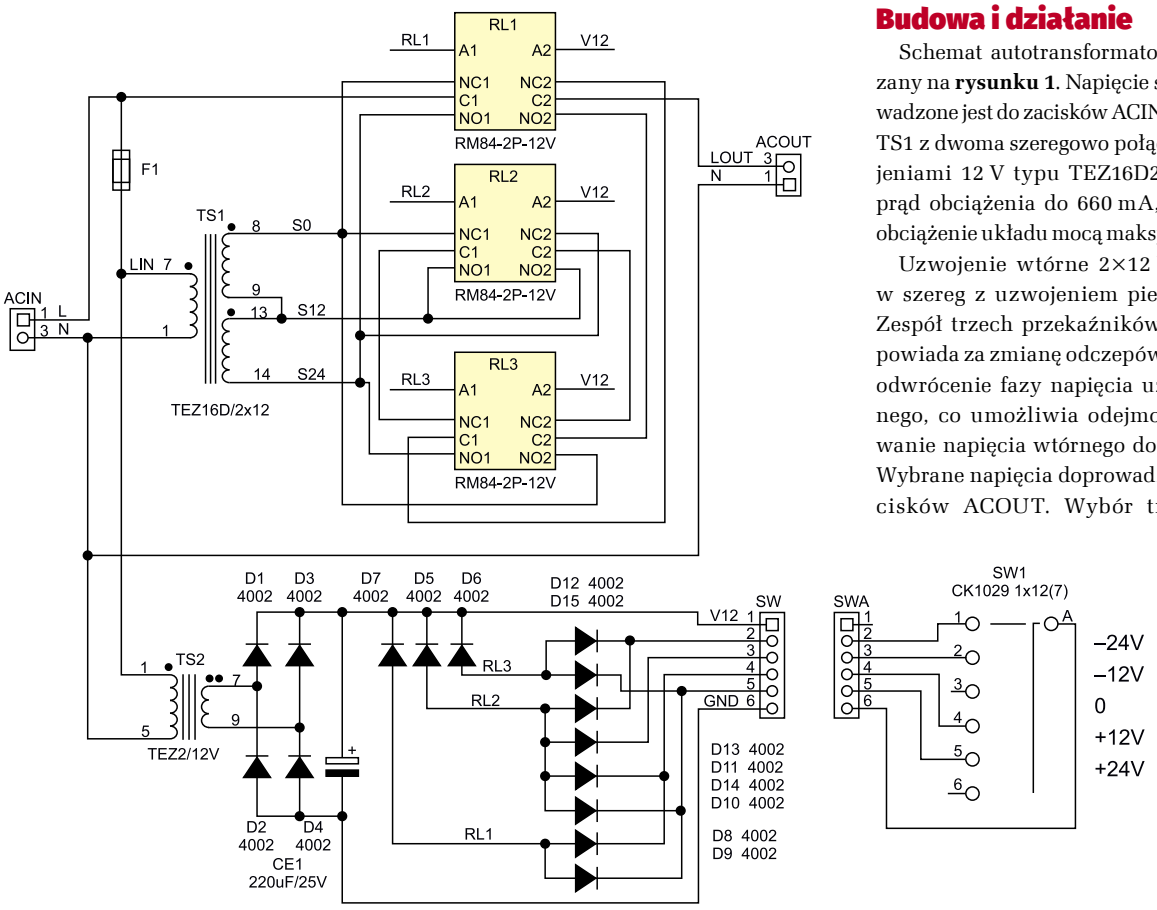
5-zakresowy autotransformator warsztatowy

Dzisiejszy projekt jest nieco nietypowy, jest to autotransformator, który powstał z dwóch powodów – pierwszy to potrzeba sprawdzenia pracy urządzeń zasilanych z napięcia 230 V AC w zakresie tolerancji ±10%; drugi to zasilanie urządzeń lampowych i nie tylko, w miejscach, gdzie napięcie sieciowe jest stale zbyt niskie lub częściej zbyt wysokie.



Dzięki przyjęciu kilku uproszczeń układ nie reguluje napięcia płynnie i nie zasila urządzeń z laboratoryjną dokładnością, ale za to nie wymaga nietypowego autotransformatora i może być zrealizowany z użyciem typowego niedrogiego elementu o napięciu 2×12 V.

UWAGA! Pracując z urządzeniami pod napięciem sieciowym, należy zachować szczególną ostrożność i przestrzegać zasad BHP.



Rysunek 1. Schemat układu przetwornika

Budowa i działanie

Schemat autotransformatora został pokazany na **rysunku 1**. Napięcie sieciowe doprowadzone jest do zacisków ACIN. Transformator TS1 z dwoma szeregowo połączonymi uzwojeniami 12 V typu TEZ16D2×12 zapewnia prąd obciążenia do 660 mA, co umożliwia obciążenie układu mocą maksymalną 150 VA.

Uzwojenie wtórne 2×12 V łączone jest w szereg z uzwojeniem pierwotnym TS1. Zespół trzech przekaźników RL1...RL3 odpowiada za zmianę odczepów 0-12-24 V oraz odwrócenie fazy napięcia uzwojenia wtórnego, co umożliwia odejmowanie i dodawanie napięcia wtórnego do napięcia sieci. Wybrane napięcia doprowadzone jest do zacisków ACOUT. Wybór transformatora

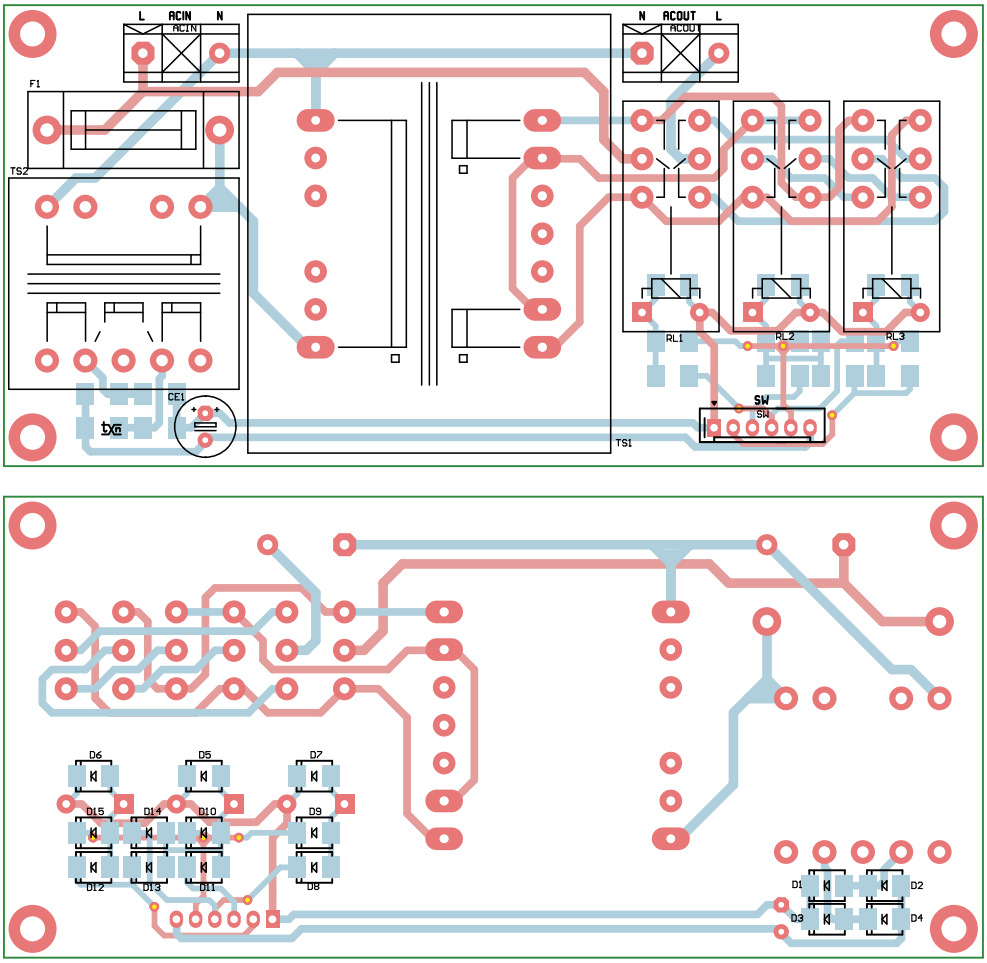
eprasa.pl b0a5d4d3d1

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

Kondensatory:
CE1: 220 µF/25 V elektrolityczny 8/3,5 mm

Półprzewodniki:
D1...D15: dioda prostownicza 4002 (SMB)

Pozostałe:
F1: bezpiecznik 125 mA do pcb + oprawka PTF
RL1, RL2, RL3: przekaźnik RM84-2P-12 V
ACIN, ACOUT: złącze ARK 10 mm
SW, SWA: złącze KK2 6-pinów
SW1: przełącznik obrotowy 1×5 pozycji (Lorlin CK1029 1×12 ze skróconym cyklem do 5 pozycji)
TS1: transformator do pcb TEZ16D/2×12
TS2: transformator do pcb TEZ2/12 V



Rysunek 2. Schemat płytki PCB

z napięciem 2×12 V umożliwia realizację przybliżonej tolerancji +5/10% napięcia zasilania, co po odpowiednim przełączaniu pozwala otrzymać 0%, ±5% i ±10% napięcia sieciowego.

Przełączanie odczepów można zrealizować za pomocą przełącznika pakietowego o odpowiednio wybranym układzie styków, ale to rozwiązanie wymaga drogiego i nietypowego przełącznika. Zamiast niego zastosowany został zespół przekaźników z współpracującą logiką diodową D8...D15, zmieniającą położenia styku 5-pozycyjnego przełącznika obrotowego na kombinację załączania cewek przekaźników. Logika ma pewien nadmiar umożliwiający zachowanie monotoniczności napięcia wyjściowego podczas stanów nieustalonych w trakcie przełączania styków przełącznika SW1.

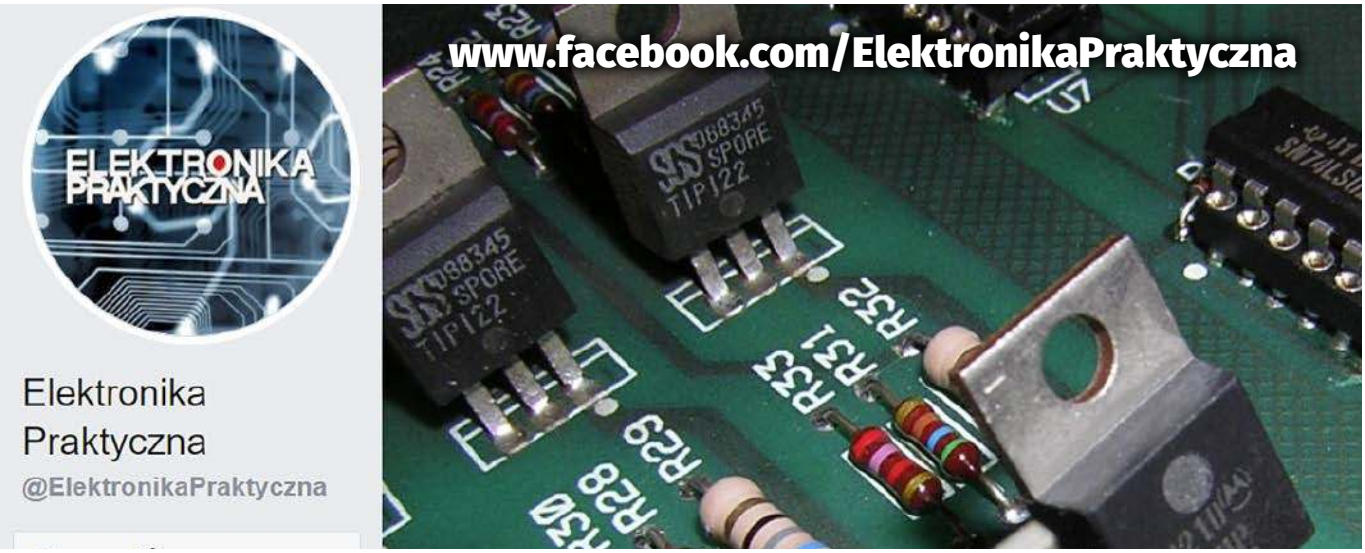
Transformator TS2 zastosowany jest ze względów bezpieczeństwa i separuje obwody sterowania od napięcia sieciowego, zmniejszając wymagania co do izolacyjności przełącznika SW1, umożliwiając bezpieczne zastosowanie typowego przełącznika obrotowego.

Montaż i uruchomienie

Układ wykonany jest na dwustronnej płytce drukowanej, której schemat pokazano na **rysunku 2**. Montaż układu nie wymaga dokładnego opisu, a po poprawnym montażu nie wymaga uruchamiania. Sprawdzenia wymaga tylko poprawność przełączania napięć. W tym celu do wyjścia podłączamy woltomierz napięcia przemiennego, a do wejścia podłączamy zasilanie 230 V AC. Przełączając SW1, sprawdzamy otrzymywane napięcia wyjściowe. Dla zwiększenia wygody użytkowania do wyjścia można podłączyć na stałe elektroniczny panelowy woltomierz napięcia przemiennego.

Adam Tatuś, EP

REKLAMA



eprasa.pl b0a5d4d3d1

AVT sklep

Podstawowe parametry:
- sterowanie jest poprzez magistralę I²C,
- 5 wyjść – RGB + CCT (W/WW) o napięciu 12 V i prądzie do 2 A,
- każdy kolor ma możliwość regulacji PWM o rozdzielczości 8 bitów,
- moduł wymaga zasilania 3,3...5 V doprowadzonego przez złącze I²C.

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

----	Sterownik dwóch silników krokowych do Raspberry Pi (EP 6/2023)
----	Expander wyjść z PWM na bazie układu PCA9624 (EP 6/2023)
----	Moduł redundancji zasilania dla Raspberry Pi Zero (EP 5/2023)
AVT5978	Sterownik dwóch mikrosilników krokowych do Pi Zero (EP 3/2023)
----	Sterownik taśm LED RGBCCT 12 V dla RPi Zero (EP 3/2023)
----	Eliminator drgań styków mechanicznych (EP 1/2023)
----	Moduł redundancji zasilania do komputerów SBC (EP 1/2023)

* **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.

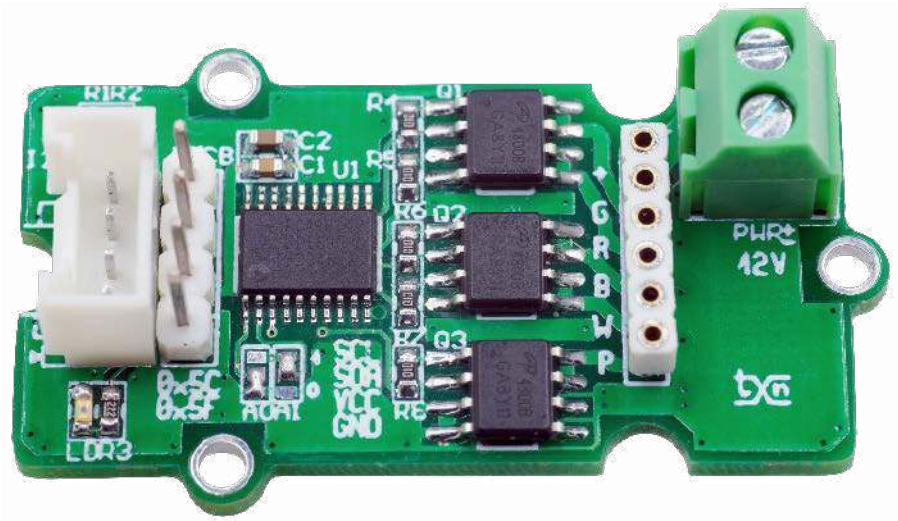
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- **wersja [A+]** – płytka drukowana **[A] +** zaprogramowany układ **[UK]** i dokumentacja,
- **wersja [UK]** – zaprogramowany układ.

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

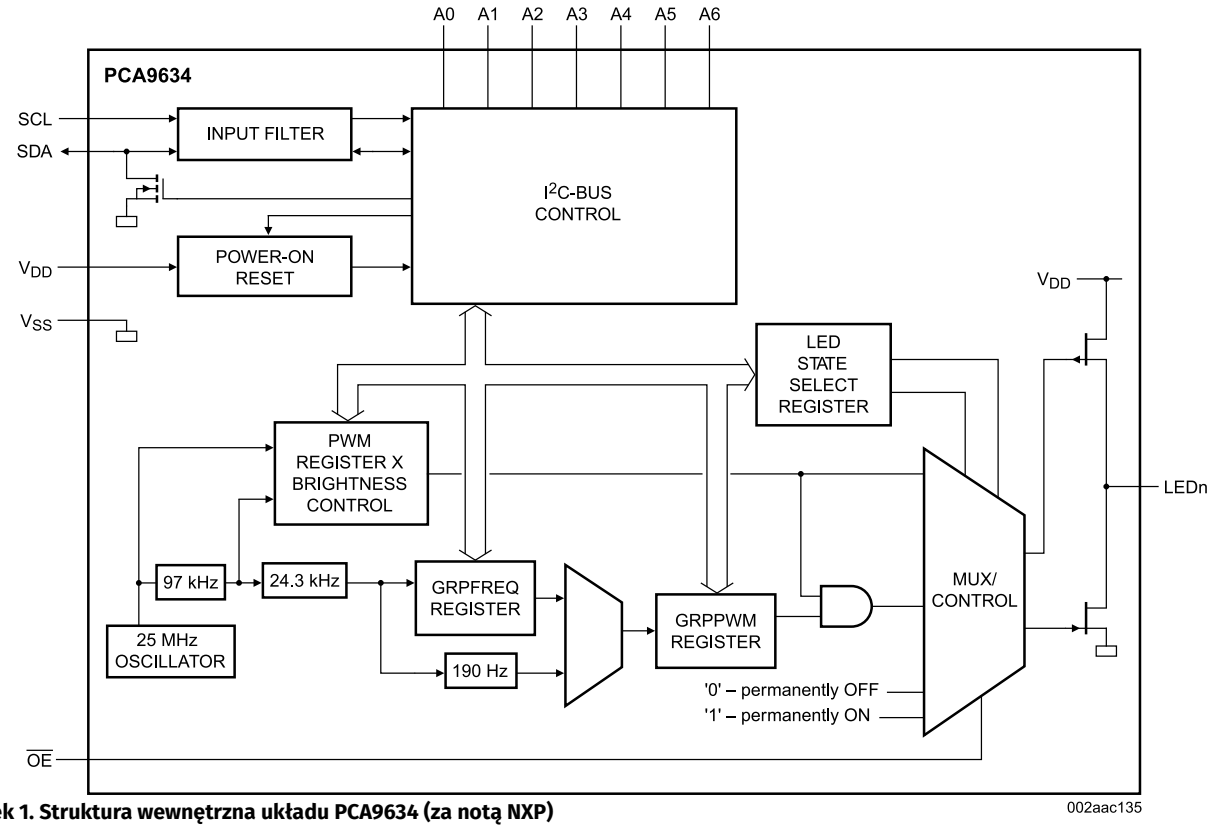
W przypadku braku dostępności na stronie sklepu osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: **kity@avt.pl**.

Driver taśm LED RGBCCT 12 V z interfejsem I²C

Zaprezentowany moduł umożliwia rozszerzenie możliwości płytek uruchomieniowych o sterowanie taśmami LED RGB 12 V z dodatkowymi diodami CCT (W/WW) w kolorze białym z odcieniem ciepłym i zimnym, poprzez interfejs I²C. Dodatkowe diody umożliwiają uzyskanie nie tylko szerszej palety kolorów, ale też światła białego o zmienianej płynnie temperaturze barwowej – co daje dodatkowe możliwości w aranżacji oświetlenia.



Driver sterowany jest poprzez magistralę I²C, pozwala obciążyć każdy z pięciu kanałów prądem do 2 A. Pozwala to na podłączenie do kilku metrów taśmy LED (w zależności od znamionowej mocy taśmy). Każdy kolor ma możliwość regulacji PWM o rozdzielczości 8 bitów, co pozwala na dosyć swobodne regulowanie barwą i jasnością świecenia taśmy.



Rysunek 1. Struktura wewnętrzna układu PCA9634 (za notą NXP)

eprasa.pl b0a5d4d3d1

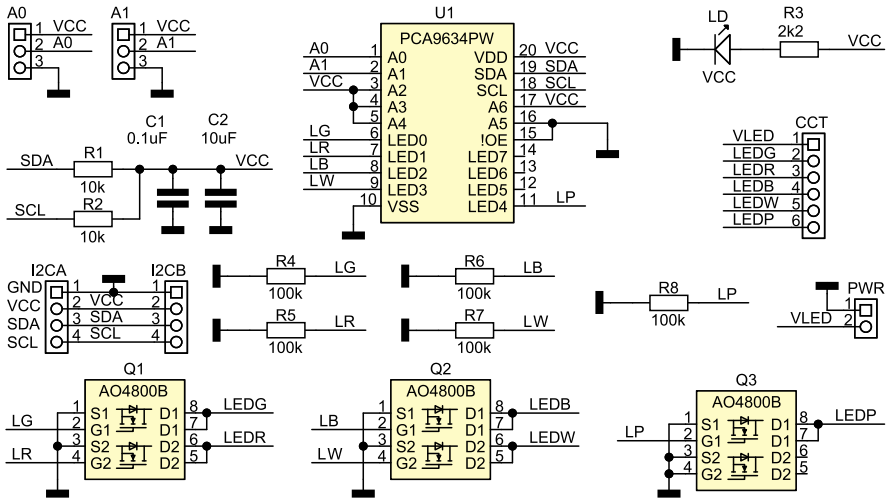
Wykaz elementów, kupuj na stronie sklep.avt.pl (Warszawa, ul. Leszczynowa 11, tel. +48222578451, e-mail: handlowy@avt.pl)

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

Rezystory: (SMD0603, 5%)
R1, R2: 10 kΩ
R3: 2,2 kΩ
R4, R5, R6, R7, R8: 100 kΩ

Półprzewodniki:
LD: dioda LED (SMD0603)
Q1, Q2, Q3: tranzystor podwójny MOSFET AO4800B (SO8)
U1: PCA9634PW (SSOP20)

Pozostałe:
CCT: złącze kielichowe żeńskie 6 pinów 2 mm
I²CB: złącze SIP4, 2,54 mm
PWR: złącze DG 2 piny 3,5 mm



Rysunek 2. Schemat ideowy drivera taśm LED

```
Listing 1. Przykładowy skrypt testowy rgbcct.sh

#!/bin/bash
echo "RGBCCT LED PCA9634 Driver ADR:0x5E"

i2ctransfer -y 1 w17@0x5E 0x80 0x80 0x15 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x80 0x00 0xff 0xe2 0xe4 0xe8

  echo "Led OFF"
  i2cset -y 1 0x5E 0x02 0x00
  i2cset -y 1 0x5E 0x03 0x00
  i2cset -y 1 0x5E 0x04 0x00
  i2cset -y 1 0x5E 0x05 0x00
  i2cset -y 1 0x5E 0x06 0x00
  sleep 2

  echo "Led Green 50%"
  i2cset -y 1 0x5E 0x02 0x7F
  sleep 2
  i2cset -y 1 0x5E 0x02 0x00

  echo "Led Red 50%"
  i2cset -y 1 0x5E 0x03 0x7F
  sleep 2
  i2cset -y 1 0x5E 0x03 0x00

  echo "Led Blue 50%"
  i2cset -y 1 0x5E 0x04 0x7F
  sleep 2
  i2cset -y 1 0x5E 0x04 0x00

  echo "Led White 50%"
  i2cset -y 1 0x5E 0x05 0x7F
  sleep 2
  i2cset -y 1 0x5E 0x05 0x00

  echo "Led White Warm 50%"
  i2cset -y 1 0x5E 0x06 0x7F
  sleep 2
  i2cset -y 1 0x5E 0x06 0x00

echo "All Off"
```

Moduł jest aplikacją układu PCA9634 (U1), którego strukturę wewnętrzną pokazano na **rysunku 1**. PCA9634 wchodzi w skład rodziny kontrolerów LED I²C firmy NXP. Jest to konfigurowany ośmiokanałowy generator PWM z możliwością indywidualnej i grupowej regulacji PWM.

Budowa i działanie

Schemat drivera został pokazany na **rysunku 2**. Sygnały wyjściowe LRGBWP buforowane są tranzystorami Q1, Q2, Q3, zwiększając wydajność prądową układu U1. Moduł wyposażony jest w złącze I²C zgodne ze standardem Grove oraz listwę szpilkową SIP 2,54 mm. Moduł pozwala na wybór jednego z czterech adresów bazowych (0x5C...0x5F) za pomocą zwór A0, A1, dzięki czemu możliwe jest niezależne sterowanie czterema taśmami LED RGBCCT z jednego portu I²C. Jeżeli musimy sterować większą liczbą niezależnych taśm, można użyć translatora adresów I²C typu LTC4316.

Dioda VCC sygnalizuje obecność zasilania U1, rezystory R1, R2 polaryzują magistralę I²C. Taśmę łączymy z modułami poprzez złącze LED. W module zastosowano precyzyjne złącze kielichowe o rozstawie 2 mm. Niestety taśmy RGBCCT nie mają określonego standardu złącza (są różne w zależności od szerokości taśmy) oraz różnią się przypisaniem wyprowadzeń LED. Przed podłączeniem taśmy należy zweryfikować kolejność sygnałów i w razie potrzeby zastosować odpowiednią przejściówkę.

Zasilanie taśmy 12 V (VLED) doprowadzone jest do złącza PWR, należy pamiętać o odpowiedniej wydajności zasilacza dobranej do długości taśmy. Sam moduł wymaga zasilania 3,3...5 V doprowadzonego przez złącze I²C.

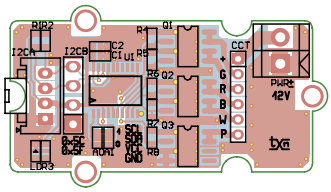
Montaż i uruchomienie

Schemat płytki PCB został pokazany na **rysunku 3**. Montaż modułu nie wymaga szczegółowego opisu, ale ze względu na zastosowanie elementów SMD potrzebne są precyzyjne narzędzia.

Poprawnie zmontowany moduł nie wymaga uruchamiania, lecz konieczne jest skonfigurowanie układu PCA9634. Przykładowy skrypt testowy *rgbcct.sh* dla Raspberry Pi pokazano na **listingu 1**. Dokładny opis rejestrów układu opisany jest w nocie katalogowej. Wyjścia układu skonfigurowane są jako *totem-pole* ze względu na współpracę z tranzystorami buforującymi. Po włączeniu zasilania do czasu konfiguracji PCA9634 wszystkie LED są wysterowane.

Po podłączeniu modułu do Raspberry Pi i uruchomieniu skryptu kolejno zgodnie z opisem zaświecone zostaną na taśmie kolory G, R, B, W, WW. Jasność LED można ustawić zmieniając wartość 0x7F na mniejszą lub większą niezależnie dla każdego koloru. Wartość 0x00 wygasza LED.

Adam Tatuś, EP



Rysunek 3. Schemat płytki PCB

REKLAMA

www.ep.com.pl/EPwtoku

eprasa.pl b0a5d4d3d1

AVT sklep

Podstawowe parametry:
- generowanie przebiegu sterującego odbywa się na drodze programowej,
- współpracuje z silnikami unipolarnymi 5-przewodowymi,
- współpracuje z silnikami o napięciu znamionowym 5...12 V.

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

----	Sterownik dwóch silników krokowych do Raspberry Pi (EP 6/2023)
----	Expander wyjść z PWM na bazie układu PCA9624 (EP 6/2023)
----	Moduł redundancji zasilania dla Raspberry Pi Zero (EP 5/2023)
AVT5978	Sterownik dwóch mikrosilników krokowych do Pi Zero (EP 3/2023)
----	Sterownik taśm LED RGBCCT 12 V dla RPi Zero (EP 3/2023)
----	Eliminator drgań styków mechanicznych (EP 1/2023)
----	Moduł redundancji zasilania do komputerów SBC (EP 1/2023)

* **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.

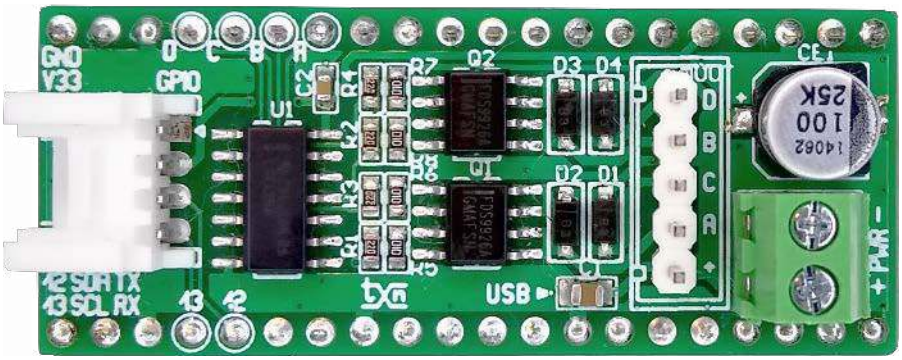
Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik PDF! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz! **http://sklep.avt.pl**

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

Sterownik unipolarnego mikrosilnika krokowego dla PI Pico

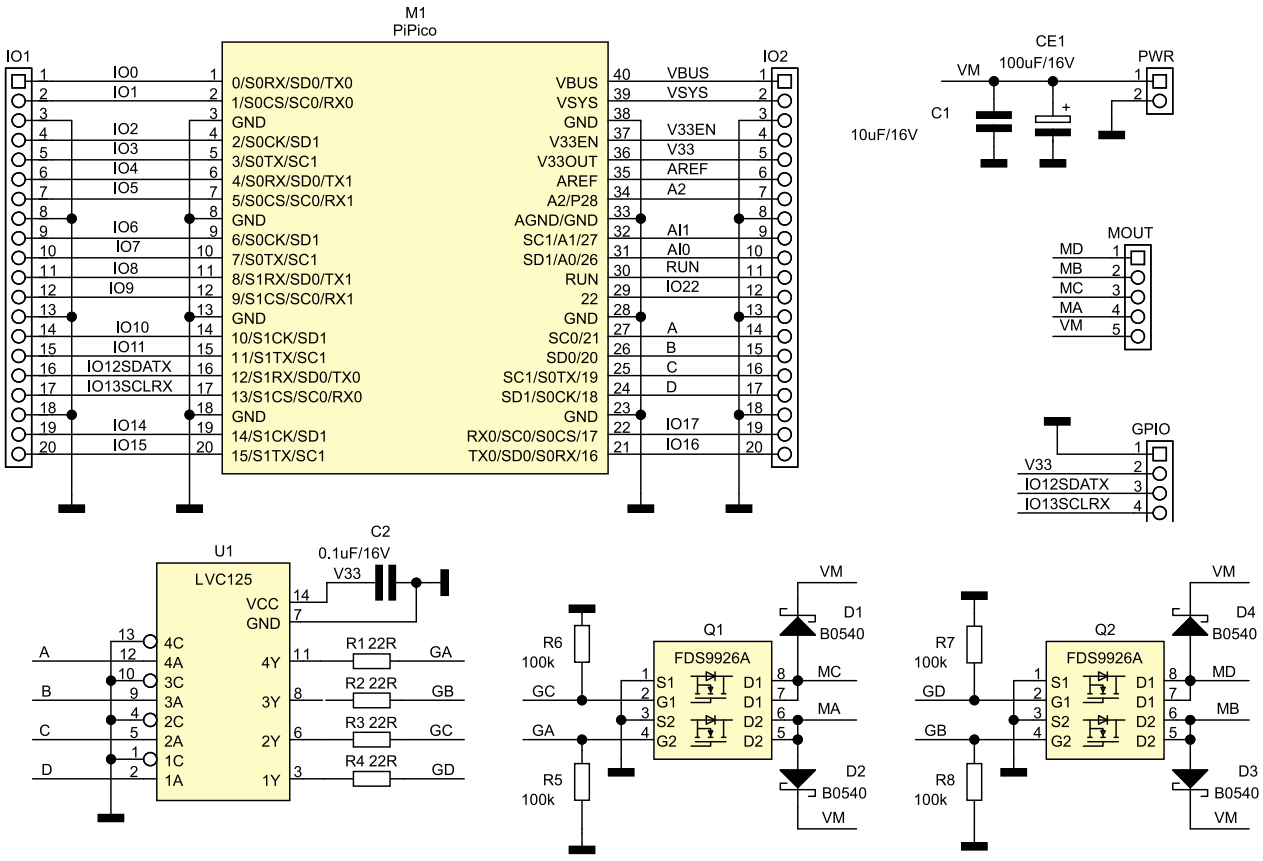
Silniki unipolarne to najprostsze i najtańsze spośród silników krokowych, pomimo to sprawdzają się w wielu aplikacjach. Zaprezentowany moduł umożliwia sterowanie silnikiem unipolarnym poprzez Raspberry Pi Pico.

Układ zrealizowany jest bez specjalizowanych sterowników silników krokowych, a generowanie przebiegu sterującego odbywa się programowo. Współpracuje z silnikami unipolarnymi 5-przewodowymi np. 25SPG lub 28BYJ.



Budowa i działanie

Schemat modułu został pokazany na **rysunku 1**. Silnik dołączany jest do złącza MOUT. Każde z czterech uzwojeń silnika sterowane jest własnym tranzystorem MOSFET wchodzącym w strukturę podwójnego tranzystora



Rysunek 1. Schemat ideowy modułu sterownika

eprasa.pl b0a5d4d3d1

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

Rezystory: (SMD0603)
R1, R2, R3, R4: 22 Ω
R5, R6, R7, R8: 100 kΩ

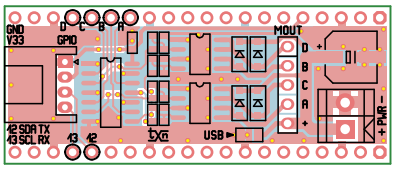
Kondensatory:
C1: 10 µF/16 V ceramiczny (SMD0805)
CE1: 100 µF/16 V elektrolityczny Low Esr
C2: 0,1 µF/16 V ceramiczny (SMD0603)

Półprzewodniki:
D1, D2, D3, D4: dioda Schottky'ego B0540 (SOD123)
Q1, Q2: Tranzystor podwójny MOSFET FDS9926A (SO8)
U1: LVC125 (SO14)

Pozostałe:
GPIO: złącze Grove kątowe (110990037)
IO1, IO2: złącze żeńskie 1×20 pinów, 2,54 mm
MOUT: SIP5 2,54 mm
PWR: złącze DG 3,5 mm, 2 piny

Listing 1. Sekwencje sterujące dla różnych konfiguracji

```
#Wave CW
seqstep = [[0,0,0,1],[0,0,1,0],[0,1,0,0],[1,0,0,0]]
#Wave CCW
#seqstep = [[1,0,0,0],[0,1,0,0],[0,0,1,0],[0,0,0,1]]

#Full CW
#seqstep = [[1,0,0,1],[0,0,1,1],[0,1,1,0],[1,1,0,0],[1,0,0,1],[0,0,1,1],[0,1,1,0],[1,1,0,0],[1,0,0,0]]
#Full CCW
#seqstep = [[1,0,0,1],[1,1,0,0],[0,1,1,0],[0,0,1,1],[1,0,0,1],[1,1,0,0],[0,1,1,0],[0,0,1,1],[0,0,0,1]]

#Half CW
#seqstep = [[1,0,0,1],[0,0,0,1],[0,0,1,1],[0,0,1,0],[0,1,1,0],[0,1,0,0],[1,1,0,0],[1,0,0,0],[1,0,0,1],[0,0,0,1],[0,0,1,1],[0,0,0,0],[0,1,1
,0],[0,1,0,0],[1,1,0,0],[1,0,0,0],[1,0,0,0]]
#Half CCW
#seqstep = [[1,0,0,1],[1,0,0,0],[1,1,0,0],[0,1,0,0],[0,1,1,0],[0,0,1,0],[0,0,1,1],[0,0,0,1],[1,0,0,1],[1,0,0,0],[1,1,0,0],[0,0,0,0],[0,1,1
,0],[0,0,1,0],[0,0,1,1],[0,0,0,1],[0,0,0,1]]
```



Rysunek 2. Schemat płytki PCB

Q1, Q2. Do wyprowadzenia wspólnego uzwojeń doprowadzone jest napięcie zasilania VM. Napięcie zasilania silnika doprowadzone jest do złącza PWR, jego wartość powinna być dobrana do typu silnika i powinna mieścić się w zakresie 5...12 V. Należy też pamiętać o odpowiedniej wydajności prądowej źródła zasilania.

Układ U1 typu LVC125 zapewnia separację portów GPIO procesora i wysterowanie bramek tranzystorów wykonawczych. Zasilanie części logicznej pobierane jest z wbudowanej przetwornicy 3,3 V Pi Pico. Sterowanie silnikiem zajmuje cztery wyprowadzenia GPIO18...21. Układ uzupełnia złącze GPIO dla wyprowadzeń 12, 13 lub magistrali I²C w standardzie Grove, ułatwiające podłączenie zewnętrznych czujników w standardzie 3,3 V.

Montaż i uruchomienie

Sterownik zmontowany jest na dwustronnej płytce drukowanej zgodnej z Pi Pico, której schemat został pokazany na **rysunku 2**. Sposób montażu jest klasyczny i nie wymaga opisu. Zmontowany moduł nie wymaga uruchamiania. Do złącza MOUT należy podłączyć silnik, zachowując odpowiednią kolejność wyprowadzeń. Najważniejsze jest wyprowadzenie wspólne uzwojeń podłączone do VM, pozostałe wyprowadzenia mogą zostać podłączone dowolnie, gdyż zawsze można zmodyfikować sekwencję sterującą uzwojeniami.

Sterowanie silnikiem odbywa się poprzez generowanie sekwencji stanów wyprowadzeń GPIO. Szybkiego sprawdzenia modułu po podłączeniu silnika i zasilania można dokonać, korzystając z IDE Thonny i micropythona. Należy najpierw zaimportować biblioteki Pin oraz sleep poleceniami:

```
from machine import Pin
from time import sleep
```

i zdefiniować wyjścia sterujące:

```
MA = Pin(21,Pin.OUT)
MB = Pin(20,Pin.OUT)
MC = Pin(19,Pin.OUT)
MD = Pin(18,Pin.OUT)
pins = [MA, MB, MC, MD]
```

Sekwencje sterujące dla różnych konfiguracji znajdują się na **listingu 1**, natomiast prosty skrypt do wygenerowania ciągu impulsów znajduje się na **listingu 2**. Jeżeli po sprawdzeniu wszystko działa poprawnie, można moduł zastosować we własnej aplikacji.

Listing 2. Prosty skrypt do wygenerowania ciągu impulsów

```
while True:
    for step in seqstep:
        for i in range(len(pins)):
            pins[i].value(step[i])
            sleep(0.005)
```

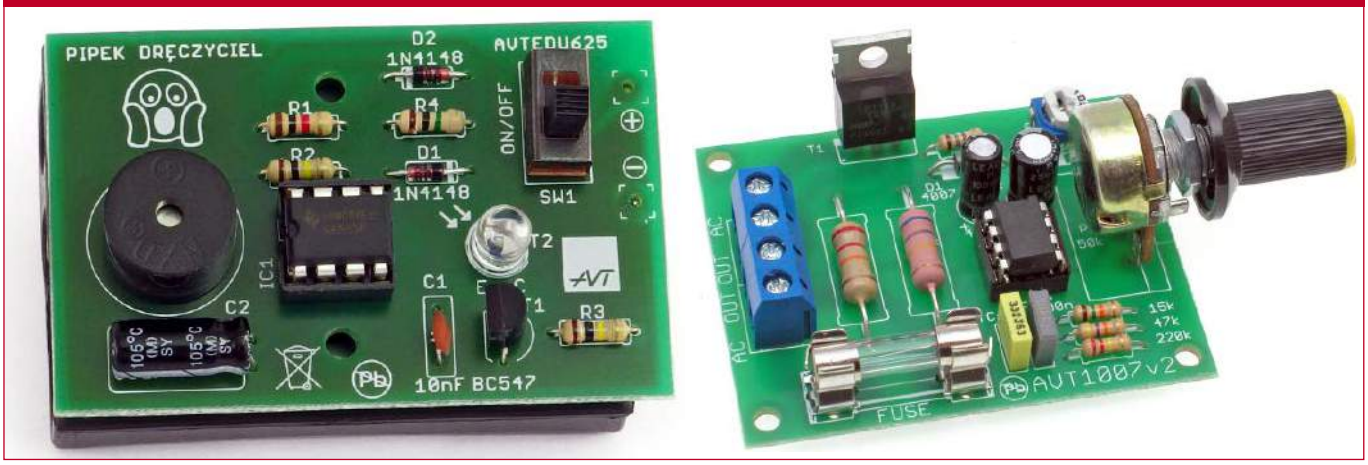
Adam Tatuś, EP

REKLAMA

https://sklep.avt.pl

AVTEDU625 Pipek dręczyciel – reaktywacja. Zestaw DIY do nauki lutowania

AVT1007 Regulator obrotów silnika elektrycznego



eprasa.pl b0a5d4d3d1

AVT sklep

Podstawowe parametry:
- umożliwia pomiar prądu stałego lub przemiennego za pomocą przetwornika Halla,
- w zależności od modelu umożliwia pomiar prądu w zakresie 0...50 A,
- możliwość wyboru jednego z trzech zakresów pomiarowych,
- wysoka dokładność – ok. 1%,
- separacja galwaniczna.

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

----	Przetwornik prądu przemiennego z transformatorem prądowym (EP 6/2023)
----	Przetwornik prądu przemiennego na DC True RMS (EP 10/2022)
AVT5766	Ampera – miniaturowy miernik prądu stałego (EP 5/2020)
Projekt 232	Miliamperomierz TRMS (EP 9/2017)
AVT5399	Dwukanałowy multimetr panelowy (EP 6/2013)
AVT5386	Podwójny woltomierz i amperomierz (EP 3/2013)
AVT5333	Multimetr panelowy (EP 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.

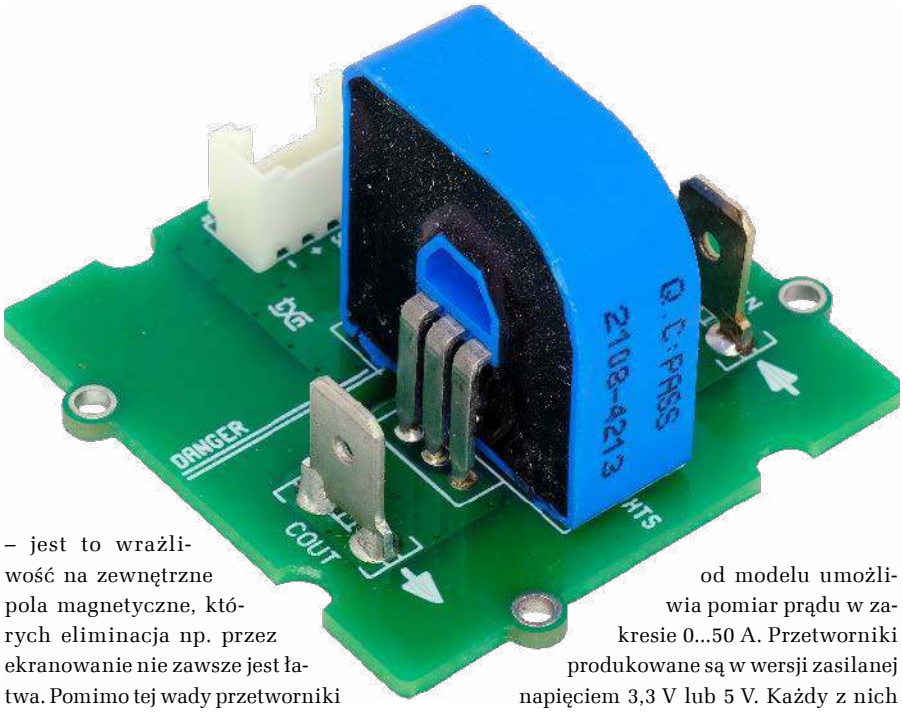
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- **wersja [A+]** – płytka drukowana **[A]** + zaprogramowany układ **[UK]** i dokumentacja,
- **wersja [UK]** – zaprogramowany układ.

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**.

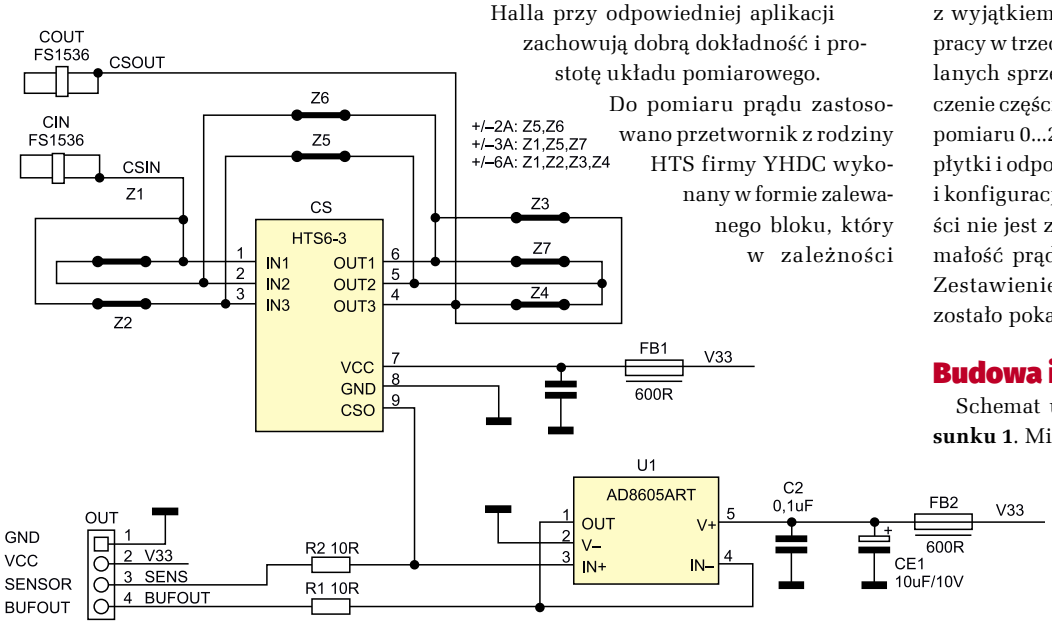
Wielozakresowy przetwornik prądu z czujnikiem Halla

Niewielki moduł umożliwiający pomiar prądu stałego lub przemiennego za pomocą przetwornika Halla. Zastosowany przetwornik serii HTS (YHDC) charakteryzuje się wysoką dokładnością – ok. 1%, możliwością wyboru trzech zakresów pomiarowych w ramach jednego modelu, separacją galwaniczną, a także bardzo prostą aplikacją. Układ przydatny jest m.in. w domowej automatyce do pomiaru wartości prądu pobieranego przez urządzenia.



Metoda pomiaru prądu z czujnikiem Halla umożliwia pomiar prądu stałego lub przemiennego poprzez pomiar natężenia pola magnetycznego wytworzonego przez przewodnik, w którym przepływa prąd. Z tym sposobem pomiaru wiąże się pewna wada – jest to wrażliwość na zewnętrzne pola magnetyczne, których eliminacja np. przez ekranowanie nie zawsze jest łatwa. Pomimo tej wady przetworniki Halla przy odpowiedniej aplikacji zachowują dobrą dokładność i prostotę układu pomiarowego.

Do pomiaru prądu zastosowano przetwornik z rodziny HTS firmy YHDC wykonany w formie zalewanego bloku, który w zależności od modelu umożliwia pomiar prądu w zakresie 0...50 A. Przetworniki produkowane są w wersji zasilanej napięciem 3,3 V lub 5 V. Każdy z nich z wyjątkiem modelu HTS50 ma możliwość pracy w trzech zakresach pomiarowych ustalanych sprzętowo poprzez odpowiednie łączenie części pomiarowej. Pokrywa to zakres pomiaru 0...2 A do 0...25 A przy użyciu jednej płytki i odpowiedniego doboru przetwornika i konfiguracji zwór. HTS50 pomimo zgodności nie jest zalecany ze względu na wytrzymałość prądową ścieżek i złączy modułu. Zestawienie modeli przetworników HTS zostało pokazane w **tabeli 1**.



Rysunek 1. Schemat układu przetwornika

Budowa i działanie

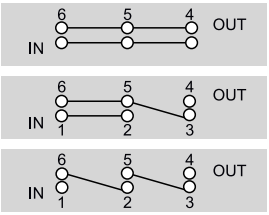
Schemat układu został pokazany na **rysunku 1**. Mierzony prąd doprowadzony jest do zacisków CIN/COUT, przetwornik HTS ma trzy wejścia i wyjścia dla obwodu pomiaru prądu, które w zależności od połączenia ustalają zakres pomiarowy. Sposób wyboru zakresu pomiarowego został

eprasa.pl b0a5d4d3d1

UWAGA! Pracując pod napięciem sieciowym należy zachować szczególną ostrożność i przestrzegać zasad BHP.

Tabela 1. Zestawienie modeli przetworników HTS

	Prąd znamionowy [A]	Podzakres 2 [A]	Podzakres 1 [A]	Napięcie zasilania [V]	Napięcie odniesienia [V]	Napięcie wyjściowe [V]
HTS6	6,0	3,0	2,0	5,0	2,50	±0,625
HTS15	15,0	7,5	5,0	5,0	2,50	±0,625
HTS25	25,0	12,0	8,0	5,0	2,50	±0,625
HTS50	50,0	–	–	5,0	2,50	±0,625
HTS6-3	6,0	3,0	2,0	3,3	1,65	±0,625
HTS15-3	15,0	7,5	5,0	3,3	1,65	±0,625
HTS25-3	25,0	12,0	8,0	3,3	1,65	±0,625



Rysunek 2. Sposób wyboru zakresu pomiarowego

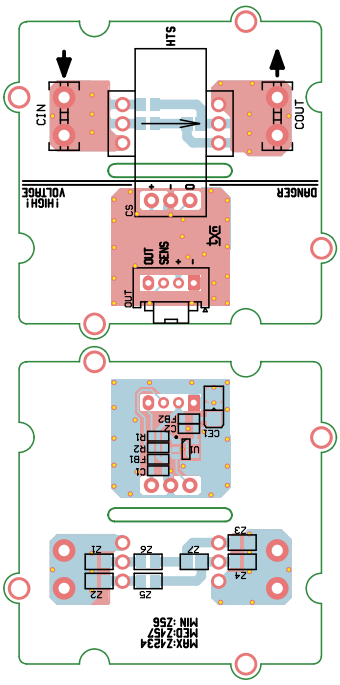
pokazany na **rysunku 2**. Równoległe połączenie wejść (połączenie 1) oraz wyjść ustala znamionowy zakres prądowy, zakres wybiera się poprzez zwarcie (zalutowanie) zwór Z1, Z2, Z3, Z4. Drugi podzakres pomiarowy (połączenie 2) ustala się zwarciem zwór Z1, Z5, Z6, w którym równolegle połączone są dwa wejścia/wyjścia, a trzecie wejście połączone jest z nimi w szereg. Trzeci podzakres (połączenie 3), wybierany zwarciem Z5, Z6, łączy wejścia i wyjścia kaskadowo.

Przetwornik HTS w zależności od typu wymaga zasilania 3,3 V lub 5 V, które po filtracji doprowadzone jest do końcówki VCC. Napięcie wyjściowe (odniesienia) wyprowadzenia CSO, przy zerowym prądzie pomiarowym, wynosi 50% napięcia zasilania, zakres pomiarowy to ±0,625 V względem napięcia odniesienia, niezależnie od typu przetwornika i wybranego zakresu pomiarowego. Pomiar względem ustalonego napięcia odniesienia umożliwia detekcję kierunku przepływu prądu stałego i pomiar prądu przemiennego. Minimalne obciążenie wyjścia to 10 kΩ.

Układ zasilany jest poprzez złącze OUT w standardzie Grove. Do złącza doprowadzone są dwa sygnały, jeden niebuforowany SENS bezpośrednio z wyjścia przetwornika HTS oraz sygnał BUFOUT buforowany przez wzmacniacz U1.

Montaż i uruchomienie

Układ zmontowany jest na dwustronnej płytce drukowanej, której schemat jest pokazany na **rysunku 3**. W zależności od aplikacji należy wybrać model przetwornika HTS zgodnie z tabelą 1, uwzględniając wymagany zakres pomiarowy i dostępne napięcie zasilania. Montaż układu nie wymaga opisu, należy tylko zalutować odpowiednie dla zakresu pomiarowego zwory konfiguracyjne Z1...Z7.

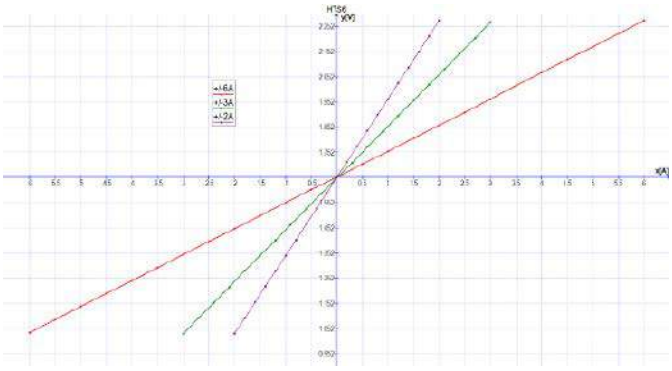


Rysunek 3. Schemat płytki PCB

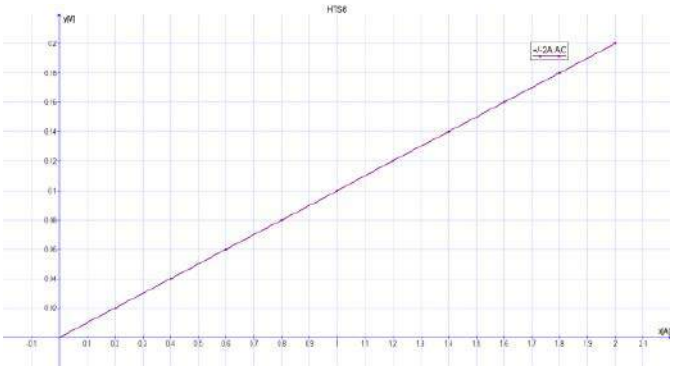
Po poprawnym montażu przetwornik nie wymaga kalibracji i może zostać podłączony do obwodu pomiarowego.

Przykładowe wyniki pomiarów prądu stałego dla modelu z przetwornikiem HTS6-3 zasilanym napięciem 3,3 V, na wszystkich zakresach 2 A/3 A/6 A i wyjściu buforowanym, pokazano na **rysunku 4**. Wyniki pomiarów prądu przemiennego dla zakresu 2 A wykonanego miernikiem TRMS (po separacji składowej stałej 1,65 V) pokazano na **rysunku 5**. Porównania obu przypadków z miernikiem laboratoryjnym wykazują dobrą liniowość i dokładność pomiarów.

Adam Tatuś, EP



Rysunek 4. Pomiary modelu z przetwornikiem HTS6-3, prąd stały



Rysunek 5. Pomiary modelu z przetwornikiem HTS6-3, zakres 2 A, prąd przemienny

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

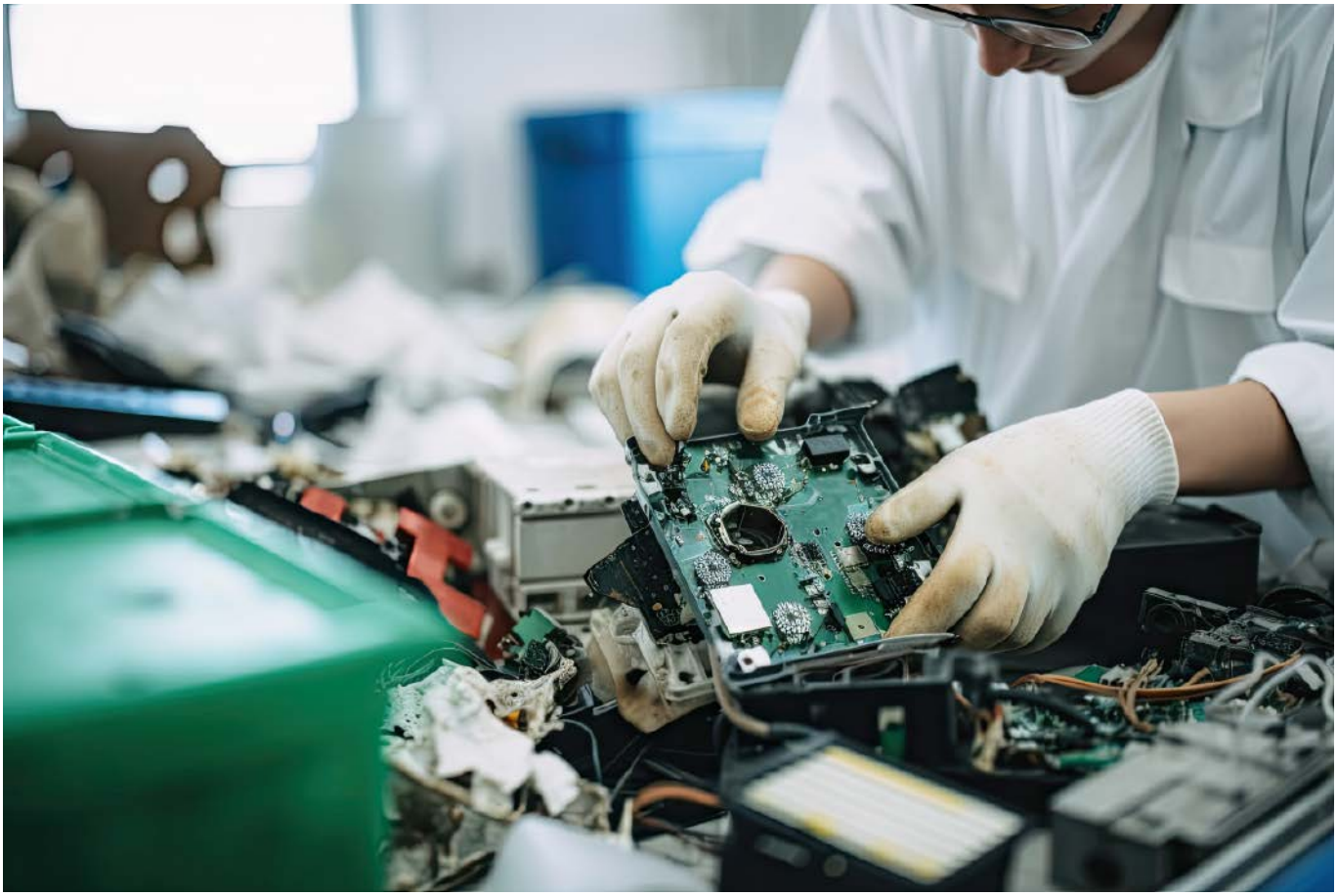
Rezystory:
R1, R2: 10 Ω (SMD0603) 1%

Kondensatory:
C1, C2: 0,1 μF ceramiczny (SMD0603)
CE1: 10 μF/10 V ceramiczny (SMD3216)

Półprzewodniki:
U1: AD8605ART (SOT-23-5)

Pozostałe:
CIN, COUT: konektor płaski 6,3×0,8 mm FS1536 FS1536
CS: przetwornik Halla HTS6-3 (zgodnie z tabelą 1)
FB1, FB2: ferryt 600 Ω/200 mA (SMD0603)

eprasa.pl b0a5d4d3d1



Recykling i utylizacja elektroniki

Producenci urządzeń elektronicznych muszą spełniać wymogi wielu regulacji prawnych i branżowych, które dotyczą wpływu ich przedsięwzięcia na środowisko. Na terenie Unii Europejskiej najważniejsze z nich to dyrektywa RoHS (Restriction of Hazardous Substances) oraz WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment). Natomiast w marcu tego roku Komisja Europejska przyjęła wniosek w sprawie wspólnych zasad promujących naprawę towarów i wprowadzenie nowego „prawa do naprawy". W artykule opiszemy najważniejsze fakty na temat tych regulacji. Dodatkowo wskażemy, jakie są dobre praktyki w projektowaniu obwodów, sprzyjające serwisowaniu i recyklingowi.

Ograniczenie szkodliwych substancji

Pierwszą wersją dyrektywy RoHS był dokument 2002/95/WE (RoHS 1), który został opublikowany w lutym 2003 roku. Zawarte w nim wytyczne weszły w życie w lutym 2006 roku. Przez lata zapisy RoHS 1 sukcesywnie uzupełniano aż do lipca 2011 roku, gdy przygotowano dyrektywę 2011/65/UE (RoHS 2). Ostateczny termin na przyjęcie i opublikowanie przepisów, które wprowadzają jej zalecenia w prawie krajowym w poszczególnych państwach członkowskich, minął z początkiem 2013 roku. RoHS 2 zastąpiła RoHS 1.

Wymagania zawarte w dyrektywie RoHS dotyczą urządzeń, których prawidłowe działanie zależy od dopływu prądu elektrycznego lub obecności pola elektromagnetycznego, mogących służyć do wytwarzania, przesyłu lub pomiaru prądu albo pola elektromagnetycznego, zaprojektowanych do użytkowania przy napięciu elektrycznym poniżej 1 kV dla prądu przemiennego i 1,5 kV dla prądu stałego. Podzielono je na jedenaście kategorii. Pierwszych dziesięć stanowią różne grupy urządzeń, zaś do ostatniej zaliczono te, których nie można zakwalifikować do żadnej z pozostałych kategorii.

Wytyczne dyrektywy RoHS początkowo odnosiły się do sprzętów zaliczanych do kategorii od 1 do 7 i 10, czyli: wielkogabarytowych urządzeń gospodarstwa domowego (lodówki, pralki, kuchenki elektryczne itp.), małogabarytowych urządzeń gospodarstwa domowego (odkurzacze, blendery, żelazka), sprzętu informatycznego oraz telekomunikacyjnego (komputery, drukarki, telefony), sprzętu konsumenckiego (telewizory, odbiorniki radiowe, kamery), sprzętu oświetleniowego, narzędzi elektrycznych i elektronicznych (wiertarki, szlifierki), zabawek, sprzętu rekreacyjnego i sportowego i automatów wydających (automaty z napojami, bankomaty).

W latach 2014...2017 stopniowo zakres ten poszerzano o kategorie 8 oraz 9, tzn. wyroby medyczne i przyrządy do nadzoru i sterowania (czujniki ruchu, kamery, alarmy), włącznie z przyrządami do nadzoru

eprasa.pl b0a5d4d3d1

i sterowania w obiektach przemysłowych. Od lipca 2019 roku wymogi dyrektywy RoHS będą dotyczyć również kategorii 11, a zatem obejmą wszystkie sprzęty elektryczne oraz elektroniczne (oprócz wymienionych w tym dokumencie wyjątków, do których przepisy nie mają zastosowania, na przykład broni).

Głównym celem dyrektywy RoHS było zmniejszenie ilości substancji, które są szkodliwe dla środowiska oraz ludzi, a proces ich recyklingu/utylizacji jest skomplikowany. Są to związki:

- ołowiu,
- rtęci,
- kadmu,
- chromu sześciowartościowego,
- polibromowanych bifenyli (PBB),
- polibromowanych eterów difenylowych (PBDE).

Chrom sześciowartościowy jest składnikiem m.in. powłok antykorozyjnych, którymi pokrywane są metalowe powierzchnie, substancji, którymi barwione są tworzywa sztuczne, i pigmentów, które są dodawane do farb i zielonego szkła, zaś PBB oraz PBDE są dodawane do tworzyw sztucznych jako inhibitory palności. Są to środki chroniące przed zapaleniem, spowalniające proces palenia i zmniejszające rozprzestrzenianie się ognia.

Maksymalne dopuszczalne stężenie wagowe w materiale jednorodnym wynosi 0,1% w przypadku wszystkich wymienionych substancji, oprócz kadmu. Zawartość tego pierwiastka z kolei nie może przekroczyć 0,01%. Warto przy okazji wyjaśnić, jak jest definiowany materiał jednorodny. Za taki uznawany jest materiał o jednolitym składzie albo będący połączeniem materiałów, którego nie można mechanicznie rozłączyć ani rozdzielić na poszczególne składniki poprzez działanie mechaniczne, jak na przykład odkręcenie, przecięcie, kruszenie, mielenie albo ścieranie.

W marcu 2015 roku został opublikowany kolejny ważny dokument – dyrektywa delegowana Komisji Europejskiej o numerze 2015/863. Zmieniła ona drugi załącznik do dyrektywy RoHS w zakresie wykazu związków niebezpiecznych. Do listy zostały dopisane cztery kolejne substancje (ftalan di-2-etyloheksylu (DEHP), ftalan benzylu butylu (BBP), ftalan dibutylu (DBP) oraz ftalan diizobutylu (DIBP)). Wszystkie dodane związki zaliczane są do plastyfikatorów, czyli dodatków, które poprawiają właściwości na przykład tworzyw sztucznych. O ich wpisaniu na listę substancji niebezpiecznych zdecydowano ze względu na negatywny wpływ, jaki wywierają na ludzki układ hormonalny.

W dokumencie Komisji Europejskiej z 2015 roku zobowiązano państwa członkowskie do przyjęcia oraz opublikowania przepisów, które wprowadzają ograniczenie w zakresie stosowania szkodliwych substancji najpóźniej do 31 grudnia 2016 roku. W Polsce w tym celu opracowano rozporządzenie ministra rozwoju i finansów, które zostało przyjęte 21 grudnia 2016 r.

Przed wejściem w życie zaleceń RoHS, jak i w pierwszych latach ich obowiązywania martwiono się, czy przemysł elektroniczny będzie w stanie się do nich dostosować, na przykład w związku z koniecznością wycofania z użytku stopów lutowniczych na bazie ołowiu i przestawienia się na lutowanie bezołowiowe, obawy te na szczęście w większości przypadków okazały się przesadzone. Nie można jednak zaprzeczyć, że wprowadzenie dyrektywy RoHS przysporzyło więcej pracy wszystkim uczestnikom łańcucha życia produktu, jej zalecenia dotyczą bowiem, poza producentami sprzętu elektronicznego i elektrycznego, również jego importerów oraz dystrybutorów. Pierwsi odpowiadają, oprócz zaprojektowania i wyprodukowania produktu zgodnie z przepisami, także za sporządzenie wymaganej dokumentacji technicznej, zaś importerzy muszą sprawdzać, czy urządzenia, które zamierzają wprowadzić do sprzedaży na terenie Unii Europejskiej, są zgodne z wymogami dyrektywy RoHS. Podobny obowiązek spoczywa na ich dystrybutorach.

Aby uzyskać certyfikat RoHS, przedsiębiorcy zobowiązani są do:

- wystawienia zaświadczenia, które potwierdza zgodność z treścią rozporządzenia produkowanych przez nich urządzeń,

Rysunek 1. Przykładowe oznaczenie potwierdzające zgodność produktu z wymaganiami RoHS

- przygotowania próbek swoich produktów do badań i dostarczenia ich do laboratorium w celu przeprowadzenia wymaganych testów,
- jeśli próbki zostaną ocenione pozytywnie, poducent otrzymuje uprawnienia do ubiegania się o certyfikat RoHS,
- certyfikat RoHS zostaje wystawiony przez akredytowaną firmę certyfikującą i teraz sprzęt może zawierać stosowne oznaczenie, np. jak na **rysunku 1**.

Zużyty sprzęt elektroniczny

Działania dotyczące zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego reguluje dyrektywa WEEE. Aktualnie obowiązuje jej druga wersja – WEEE 2 (2012/19/UE). Zastąpiła ona przyjętą w 2003 roku dyrektywę 2002/96/WE. Przepisy dotyczące zużytego sprzętu mają przyczynić się do zrównoważonej produkcji i używania poprzez ograniczanie ilości odpadów tego typu, ponowne ich używanie, recykling i inne formy odzysku. Ponadto dzięki tym regulacjom wzmocnieniu ma ulec ekologiczny charakter działalności podmiotów, które są zaangażowane w cykl życia sprzętu elektrycznego i elektronicznego, czyli jego producentów, dystrybutorów, konsumentów i firm bezpośrednio zaangażowanych w zbieranie i przetwarzanie tego zużytego. Nadrzędnym celem jest oczywiście zwiększenie ochrony zdrowia ludzi i środowiska.

We wdrażaniu dyrektywy WEEE przewidziano okres przejściowy. Trwał on od sierpnia 2012 roku do połowy sierpnia 2018 roku. W tym czasie przepisy te miały zastosowanie do urządzeń, które można zaliczyć do analogicznych kategorii, jak te, na które podzielono sprzęt elektryczny oraz elektroniczny, którego dotyczą wytyczne dyrektywy RoHS, czyli m.in. dużego i małego AGD, sprzętu informatycznego i telekomunikacyjnego, narzędzi elektrycznych i elektronicznych oraz dodatkowo paneli fotowoltaicznych i wyrobów medycznych, z wyjątkiem tych wszczepionych i wyrobów zainfekowanych.

Od połowy sierpnia 2018 zapisy dyrektywy WEEE dotyczą wszystkich urządzeń. Wprowadzona została też ich nowa klasyfikacja. Według WEEE2 sprzęt elektryczny i elektroniczny można podzielić na następujące grupy:

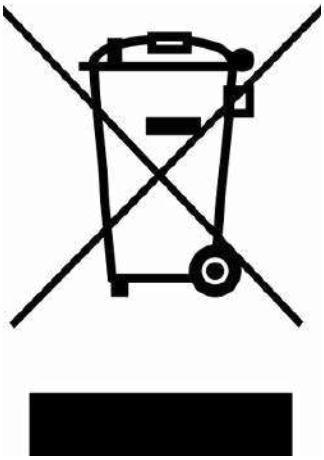
- urządzenia działające na zasadzie wymiany temperatury (na przykład, chłodziarki, zamrażarki, klimatyzacja),
- ekrany, monitory i sprzęt zawierający ekrany o powierzchni większej niż 100 cm² (m.in. telewizory, laptopy, cyfrowe ramki do zdjęć),
- lampy,
- sprzęt wielkogabarytowy, w którym którykolwiek z zewnętrznych wymiarów przekracza 50 cm,
- sprzęt małogabarytowy, w którym żaden z zewnętrznych wymiarów nie przekracza 50 cm,
- sprzęt informatyczny i telekomunikacyjny, którego żaden z zewnętrznych wymiarów nie przekracza 50 cm.

Zapisy dyrektywy WEEE określają też zasady selektywnej zbiórki. W tym temacie, w odniesieniu do zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego pochodzącego z gospodarstw domowych, przyjęto m.in., że posiadacze końcowi i dystrybutorzy muszą umożliwiać zwrócenie wyeksploatowanych urządzeń. Klient kupujący nowy sprzęt może przekazać sprzedającemu stary sprzęt tego samego typu i pełniący te same funkcje co nowo zakupiony. Ponadto dystrybutorzy powinni zapewnić

eprasa.pl b0a5d4d3d1

posiadaczom końcowym nieodpłatne zbieranie zużytego sprzętu, bez konieczności zakupu odpowiednika. Dyrektywa WEEE przewiduje także przekazanie zużytego urządzenia, dostarczonego do punktu odbioru, do ich producenta.

Kolejnym zobowiązaniem jest wdrożenie zasady odpowiedzialności producenta i na tej podstawie wyznaczanie co roku minimalnego poziomu zbierania sprzętu. Od 2016 roku wynosi on 45% (w wybranych krajach, m.in. w Polsce, do sierpnia 2021 roku co najmniej 40%). Jest on obliczany na podstawie całkowitej masy zużytego sprzętu zebranego w danym kraju w danym roku w stosunku do masy sprzętu wprowadzonego do sprzedaży w tym kraju w ciągu trzech ostatnich lat. Ponadto ilość zbieranych odpadów powinna się stopniowo zwiększać.



Rysunek 2. Oznaczenie wymagane dyrektywą WEEE

Etykieta WEEE – symbol przekreślonego kołowego kontenera na odpady (**rysunek 2)**, musi być umieszczona na każdym urządzeniu elektrycznym i elektronicznym wprowadzonym do obrotu w UE. Oznakowanie można umieścić na opakowaniu, w instrukcjach lub ulotce dołączonej do gwarancji, a nie na samym produkcie wyłącznie wtedy, gdy jego rozmiar jest zbyt mały lub jeśli oznakowanie może wpłynąć na jego funkcję. Rejestracja i zgłoszenie do rejestru krajowego są bezpłatne. Istnieją jednak zobowiązania finansowe związane z odpowiedzialnością za odpady, które mogą być różne w poszczególnych krajach UE.

Oprócz rejestracji i umieszczania etykiety WEEE obowiązki producentów obejmują również działania przyczyniające się do właściwej utylizacji i przetwarzania tych urządzeń, czyli:

- rejestracji we właściwych urzędach w każdym kraju, w którym prowadzona jest dystrybucja lub sprzedaż sprzętu,
- składanie okresowego raportu o ilości sprzedanego sprzętu elektrycznego i elektronicznego,
- organizowanie lub finansowanie zbiórki, przetwarzania, recyklingu i odzysku swoich produktów,
- świadczenie usługi odbioru, dzięki której klienci mogą bezpłatnie zwrócić zużyte urządzenia elektryczne i elektroniczne.

Prawo do naprawy

Problem ograniczonej żywotności urządzeń elektronicznych oraz celowych zabiegów producentów ograniczających trwałość sprzętu konsumenckiego po to, aby niezawodny i trwały sprzęt nie hamował sprzedaży nowego, został dostrzeżony przed kilkoma laty przez Komisję Europejską. Problem ma rozwiązać ustawa określana jako *prawo do naprawy*, która w założeniu ma zagwarantować konsumentom prawo do naprawy urządzeń, także po upływie gwarancji, oraz zobowiązać producentów do takiego projektowania sprzętów, żeby były one możliwe i łatwe do naprawienia.

Dzisiaj wielu urządzeń zwyczajnie nie da się naprawić, ponieważ części zamienne nie są dostępne albo konstrukcja sprzętu utrudnia lub zupełnie uniemożliwia ingerencję. Takie podejscie sprawia, że koszty potencjalnej naprawy niejednokrotnie są porównywalne lub wyższe niż cena nowego sprzętu. Tymczasem z unijnych badań opinii publicznej wynika, że 77 proc. mieszkańców UE jest gotowych na to, żeby zepsuty sprzęt naprawić, zamiast kupować nowy.

Dziś wiele wadliwych urządzeń szybko staje się odpadami. Jeśli urządzenie zepsuje się w okresie gwarancji to dla sprzedawcy lub dystrybutora łatwiej jest wymienić je na nowy produkt, niż oddać do naprawy, bo tak jest szybciej. Z kolei po okresie gwarancyjnym jakakolwiek naprawa staje się zbyt droga oraz ciężko znaleźć właściwe zakłady zajmujące się danymi urządzeniami. Nowe regulacje mają to zmienić.

Nowe regulacje zobowiązują producentów do naprawy urządzeń na gwarancji, chyba że koszt przekroczy wartość nowego egzemplarza. Dodatkowo producenci muszą oferować naprawę sprzętu także po wygaśnięciu gwarancji nawet przez 5…10 lat po zakupie (w zależności od rodzaju sprzętu), chyba że będzie to technicznie niemożliwe.

Brzmi to nawet rozsądnie, ale oczywiście wszystko to zależy od tego, czy będą dostępne niedrogie części zamienne. Na razie w przypadku smartfonów dostęp do podzespołów jest ograniczony i często nie dotyczy komponentu, tylko całego zespołu (modułu). Wówczas koszt naprawy urządzenia zaczyna zbliżać się do kosztu jego wymiany i naprawa traci sens. Aby umożliwić naprawę, komponenty nie mogą być klejone lub projektowane jako nierozbieralne, np. wyświetlacz razem z kontrolerem i ekranem dotykowym, a dodatkowo nie powinny być przypisane do siebie programowo.

Na czym polega recykling elektroniki

Wiele starych urządzeń elektronicznych takich, jak sprzęt AGD czy sprzęt biurowy, można poddać recyklingowi. Przede wszystkim należy dostarczyć je do punktu zboru i/lub recyklingu elektroniki. Gdy elektronika dotrze w odpowiednie miejsce, jest kategoryzowana i niszczona. Często proces niszczenia odbywa się ręcznie, ponieważ każde urządzenie elektroniczne jest skrupulatnie rozbierane na elementy składowe. Proces ten jest naprawdę ważny, ponieważ urządzenia i komponenty elektroniczne mogą składać się z różnych elementów, metali, tworzyw sztucznych, szkła itp. Tylko elementy posortowane według kategorii są poddawane recyklingowi. Na tym etapie usuwane są też niebezpieczne materiały.

W kolejnym etapie posortowane elementy są umieszczane na taśmie przenośnika i wstrząsane oraz odpylane w celu usunięcia drobnych cząsteczek i kurzu. Celem tej procedury jest zapewnienie, że podczas procesu recyklingu nie dojdzie do degradacji środowiska. Po odsysaniu pyłu następuje separacja metali żelaznych i nieżelaznych, plastiku oraz szkła. Używa się do tego magnesów, wody, metod optycznych i innych pomysłowych rozwiązań. Na **fotografii 1a** pokazano materiał przed sortowaniem, natomiast na kolejnych znajdują się wydzielone: b) tworzywa, c) płytki PCB, d) aluminium, e) miedź. Na koniec rozdzielone odpady są analizowane pod kątem występowania pierwiastków ziem rzadkich i w celu ich odzyskania mogą trafić to tzw. reaktorów chemicznych.

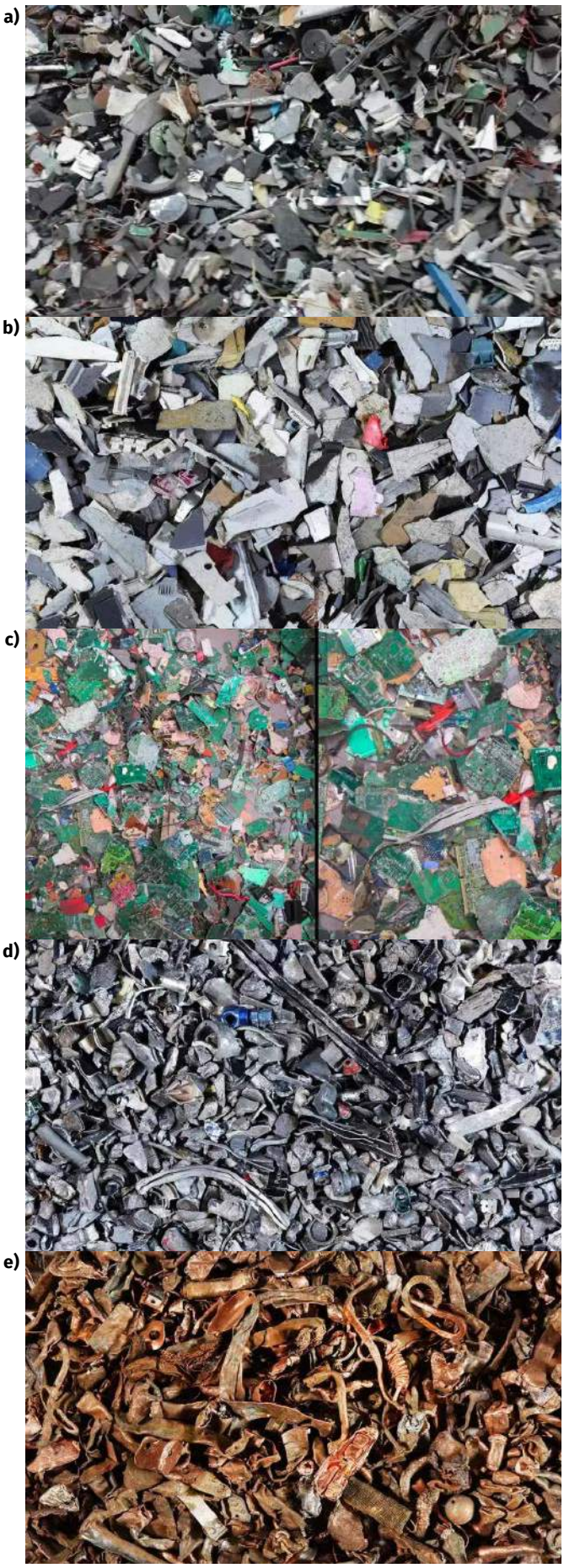
Projektowanie elektroniki z uwzględnieniem recyklingu

Koszt recyklingu wpływa na ostateczną cenę produktu. Głównym składnikiem jest zwykle koszt pracy, jaką trzeba wykonać, by rozmontować urządzenie. Jest on tym większy, im więcej czasu zajmuje i im więcej sił i środków, przede wszystkim różnych narzędzi, trzeba w tym celu zaangażować.

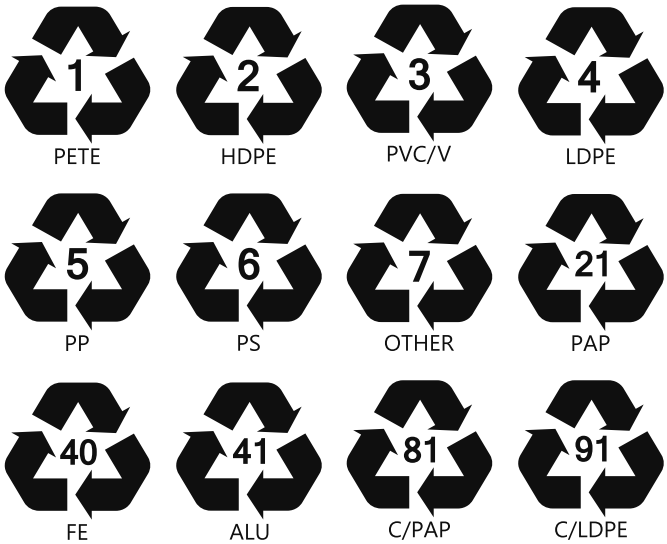
Recykling jest też tym efektywniejszy, im więcej surowców wtórnych uda się z danego produktu odzyskać. Największy wpływ na efektywność recyklingu ma zatem wybór materiałów konstrukcyjnych oraz złączy używanych do łączenia elementów urządzenia. Od tego drugiego zależy łatwość i szybkość demontażu, natomiast pierwsze decyduje o ilości surowców, które będzie można ponownie użyć.

Wybierając materiały konstrukcyjne, warto przestrzegać kilku zasad. Pamiętać trzeba m.in., że nawet niewielka ilość takich metali jak miedź, ołów, magnez, żelazo lub stal bardzo utrudnia recykling aluminium. Podobnie wpływa obecność aluminium, miedzi, cyny albo ołowiu na łatwość odzyskania stali. Łączenie różnych materiałów generalnie nie sprzyja ich późniejszemu recyklingowi. Idealnym rozwiązaniem jest wykonywanie poszczególnych elementów urządzenia z jednego materiału. Najczęściej nie jest to oczywiście możliwe, jednak powinno się przynajmniej unikać pewnych połączeń, z powodu których wartość materiału jako surowca wtórnego spada do zera. Przykładem są metalowe elementy wstawione w częściach z tworzyw sztucznych, przez

eprasa.pl b0a5d4d3d1



Fotografia 1. Rozdrobniony materiał z elektrośmieci: a) przed sortowaniem, b) wydzielone tworzywa sztuczne, c) wydzielone płytki PCB, d) wydzielone elementy z aluminium, e) wydzielone elementy z miedzi



Rysunek 3. Przykładowe oznaczenia ułatwiające identyfikację materiału

które tych drugich zwykle nie można już w ogóle poddać recyklingowi. Podobnie nie powinno się łączyć pewnych typów tworzyw sztucznych – często okazuje się, że te nawet pozornie podobne nie mogą być odzyskiwane, gdy są scalone. Niepożądane są też wszelkie zanieczyszczenia, takie jak pokrycie farbami.

Kolejna ogólna zasada dotyczy ograniczenia całkowitej liczby elementów urządzenia – im mniej części, tym szybszy recykling. Preferowane są też niektóre typy komponentów – na przykład w przypadku płytek drukowanych najłatwiej usuwa się podzespoły SMD. Oprócz tego im wyraźniej są one oznakowane, tym lepiej. Jeśli skład danej części jest trudny do rozszyfrowania, opóźnia to jej dalszą obróbkę. Przykładowe oznaczenia pokazano na **rysunku 3**. Żeby nie ryzykować zanieczyszczenia strumienia materiałów, elementy z niezidentyfikowanych surowców są od razu separowane w celu ich dokładniejszej identyfikacji. Czasem też w ogóle rezygnuje się z ich odzyskiwania.

Wybór konkretnego typu połączeń może usprawnić rozmontowywanie urządzenia, bardzo je utrudnić albo nawet uniemożliwić. Na przykład klejenie, z punktu widzenia recyklingu, nie jest najlepszą metodą. Nie tylko trudno jest rozdzielić sklejone części, ale też klej, zanieczyszczając tworzywo, sprawia, że nie można go poddać odzyskowi. Polecaną alternatywą jest m.in. zgrzewanie ultradźwiękowe, o ile w ten sposób łączy się elementy wykonane z tego samego tworzywa lub tworzyw kompatybilnych, czyli tych, które po przetopieniu stanowić będą wciąż użyteczny materiał. Przykładami takich par są: poliwęglan i ABS oraz kopolimery etylenu EPM/EPDM i polipropylen. W przeciwnym wypadku obu złączonych części z różnych, niekompatybilnych materiałów, nie będzie można ponownie zastosować. Najlepiej też w ogóle unikać złączy takich jak śruby, stosując połączenia zatrzaskiwane. Jeżeli nie jest to możliwe, dobrze jest, gdy używa się śrub w jednym rozmiarze. W przeciwnym wypadku osoba, które demontuje urządzenie, musi korzystać z wielu różnych narzędzi. Żeby demontaż przebiegał sprawnie, śruby powinny być również dobrze widoczne i łatwo dostępne.

Projektując urządzenie, powinno się też mieć na względzie bezpieczeństwo osób, które będą je rozmontowywać. Aby je zapewnić, należy wszelkie podzespoły, które zawierają substancje toksyczne, na przykład ołów, rtęć lub kadm, montować w taki sposób, aby były łatwo dostępne, a ich wyjęcie z obudowy nie stanowiło większego problemu. Zasada ta dotyczy m.in. lamp rtęciowych, pojemników z tonerami, baterii oraz kineskopów.

Damian Sosnowski, EP

Odnośniki:
1. Dyrektywa RoSH: https://tiny.pl/ctm46
2. Dyrektywa WEEE: https://tiny.pl/ctm4v

eprasa.pl b0a5d4d3d1

Najnowsze rozwiązania w łączności bezprzewodowej standardu Bluetooth

Systemy IoT ewoluowały od połączonych urządzeń, przez połączone domy, aż po rozległe sieci Connected Cities. Proces ten wymagał wielu zmian, które poprawiały łatwość wymiany danych i ustawień konfiguracyjnych oraz dostępność sieci dla rozmaitych urządzeń. Dzięki temu produkty końcowe działające na bazie różnych standardów mogą komunikować się ze sobą, tworząc jeden ekosystem.

Więcej informacji:
Computer Controls Sp. z o.o.
00-837 Warszawa, ul. Pańska 98/4
tel. +48 660 141 060, www.ccontrols.pl

Ewolucja standardów łączności bezprzewodowej sprawia, że coraz więcej osób i urządzeń komunikuje się z jedną infrastrukturą sieciową, co przekłada się na wiele udogodnień w codziennym życiu i ułatwia życie użytkownikom końcowym. Nowe standardy sieciowe dają również szereg korzyści przy projektowaniu urządzeń. Jednak co to oznacza dla programistów, inżynierów i producentów? Co powinni oni wiedzieć i nad czym się zastanowić? W artykule przyjrzyjmy się bliżej najnowszym standardom bezprzewodowym.

Protokół Bluetooth LE i Bluetooth Mesh

Kolejne generacje standardu Bluetooth nie tylko poprawiają dostępne funkcje pod względem zużycia energii, zasięgu i jakości połączenia, ale także przynoszą unikalne możliwości. Obecne generacje stosów Bluetooth 5.4/5.3 i Mesh otwierają nowe drzwi dla tego standardu na rozwijającym się i wymagającym rynku IoT.

Obecnie Bluetooth obsługuje topologie o określonej funkcjonalności:

1. **Sygnalizacja (beaconing)**
   - obsługiwane formaty iBeacon, EddyStone i inne,
   - obsługa zaawansowanych funkcji sygnalizacji w Bluetooth 5.
2. **Punkt-punkt i gwiazda**
   - tryb urządzeń peryferyjnych i centralnych Bluetooth,
   - do 32 połączeń i podwójna topologia,
   - jednoczesna praca jako urządzenie peryferyjne i centralne.
3. **Siatka (mesh)**
   - rozwiązanie Bluetooth Mesh dla dużych sieci urządzeń i komunikacji wiele-do-wielu,
   - jednoczesne korzystanie z Bluetooth LE i technologii Mesh.

Struktura stosu Bluetooth została pokazana na **rysunku 1**. Ulepszony Bluetooth 5.3 jest zgodny ze stosem Bluetooth i ma wbudowane następujące funkcje:

- dynamiczna kontrola mocy nadawania z Bluetooth 5.2,
- wyszukiwanie kierunku z Bluetooth 5.1,
- standardowe funkcje z Bluetooth 5.0,
- funkcje z Bluetooth 4.x.

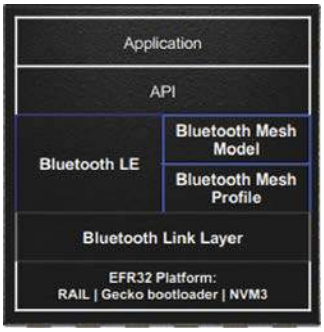
Najnowszy profil Bluetooth Mesh rozszerza możliwości sieci pod względem gęstości, opóźnień komunikacji i nowych profili.

Rysunek 1. Struktura stosu Bluetooth

eprasa.pl b0a5d4d3d1

Struktura stosu Bluetooth Mesh została pokazana na **rysunku 2**. Wprowadzone i nadchodzące cechy i funkcje Bluetooth Mesh uproszczą konserwację urządzeń i sieci, obniżą zużycie energii i zabezpieczą każdy węzeł i sieć. Kompletny profil Bluetooth Mesh obsługuje:

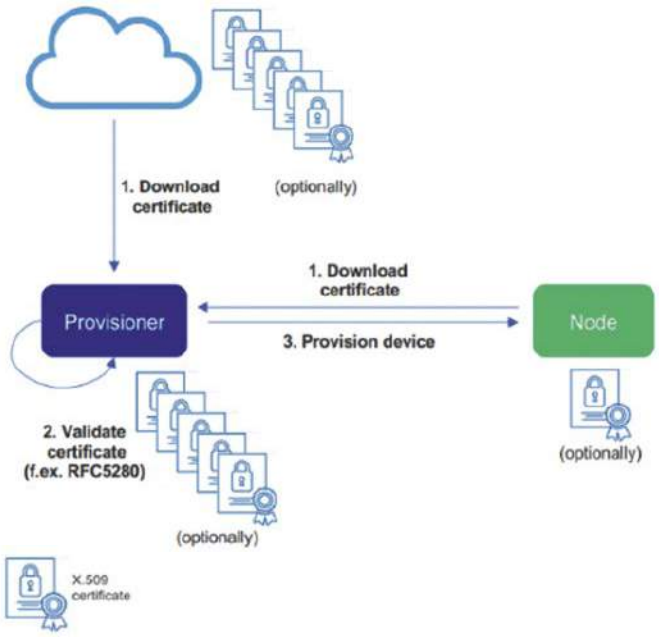
- węzły proxy, przekazujące i zaprzyjaźnione,
- węzły małej mocy sieci Bluetooth Mesh (LPN),
- komunikację o małych opóźnieniach do 10 ms na przeskok,
- duże sieci – do 4096 węzłów.



Rysunek 2. Struktura stosu Bluetooth Mesh

Nowe funkcje Bluetooth Mesh dają wiele korzyści – **rysunek 3**. Najważniejsze z nich to:

1. **Uproszczona aktualizacja sieci**
   - automatyczne sprawdzanie dostępności nowego oprogramowania układowego i instalowanie go,
   - standaryzacja i jednoczesne aktualizacje oprogramowania układowego Over-the-Air dla jednorodnych urządzeń.
2. **Łatwa skalowalność**
   - skalowalne uruchamianie nowych urządzeń w dużych wdrożeniach,
   - urządzenie zarządzające (*provisioner*) **już nie musi znajdować się w zasięgu radiowym.**
3. **Plug and play**
   - automatyczne wykrywanie zmiany właściciela urządzenia,
   - resetowanie węzłów ze względów bezpieczeństwa i pod kątem identyfikacji.
4. **Większe bezpieczeństwo i prywatność sieci**
   - dołączanie uwierzytelnionych urządzeń,
   - certyfikaty do uwierzytelniania urządzeń przed włączeniem ich do sieci.



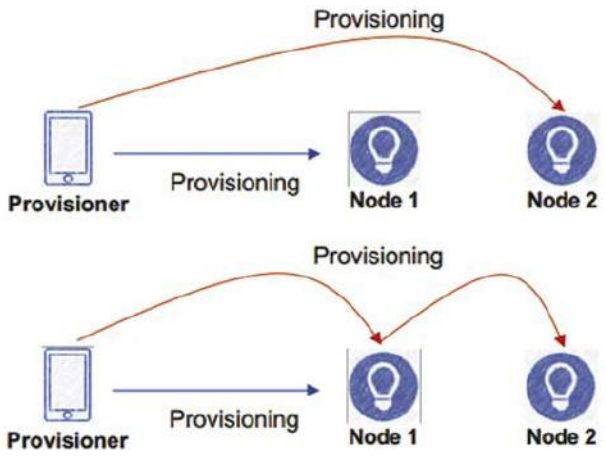
Rysunek 5. Włączanie do sieci bazujące na certyfikatach (CBP)

Co dalej?

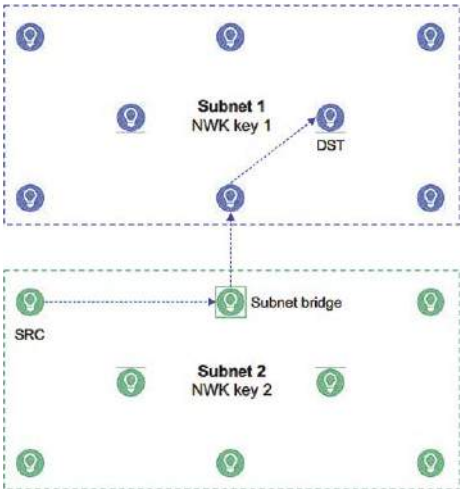
Nadchodzące udoskonalenia funkcji Bluetooth Mesh przewidują:

1. **Aktualizację oprogramowania sprzętowego urządzenia (DFU)** – funkcja DFU Bluetooth Mesh dodaje standardowy sposób aktualizacji oprogramowania układowego w węzłach sieci;
2. **Zdalne włączanie urządzeń do sieci (RPR)** – funkcja pozwala dodawać urządzenia i konfigurować sieć za pośrednictwem węzła proxy, eliminując konieczność przebywania w zasięgu radiowym urządzenia zarządzającego (**rysunek 4**);
3. **Włączanie do sieci bazujące na certyfikatach (CBP)** – nowa funkcja wprowadza rozwiązanie, w ramach którego podczas dodawania urządzeń do sieci stosowane się certyfikaty uwierzytelniające (**rysunek 5**);

Rysunek 3. Zalety technologii Bluetooth Mesh



Rysunek 4. RPR umożliwia szybszą i prostszą konfigurację sieci



Rysunek 6. Mostkowanie podsieci

eprasa.pl b0a5d4d3d1

4. **Mostkowanie podsieci** – umożliwia komunikację między urządzeniami w różnych podsieciach (**rysunek 6**). Mostki między podsieciami operują na tabelach mostkowania;
5. **Przekazywanie kierowane** – funkcja poprawia skalowalność sieci poprzez dodanie nowego typu węzła – węzła przekazywania kierowanego, a także modeli konfiguracji, ścieżek oraz metody do ich tworzenia i utrzymywania (**rysunek 7**);
6. **Prywatne beacony** – funkcja szyfruje informacje statyczne, aby zapobiec zagrożeniom prywatności podczas sygnalizacji. Prywatne beacony gwarantują, że ani urządzenia w sieci, ani ich użytkownicy nie mogą być śledzeni za pomocą informacji statycznych zawartych w komunikacie sygnalizacyjnym.

Zasoby sprzętowe

Złożoność sieci Bluetooth Mesh i różnorodność typów węzłów wymaga różnych zasobów sprzętowych, takich jak odpowiednia ilość pamięci Flash czy RAM. Silicon Laboratories opracowało rodziny produktów z serii 2, które będą obsługiwać określone funkcjonalności/profile – rysunek 5.

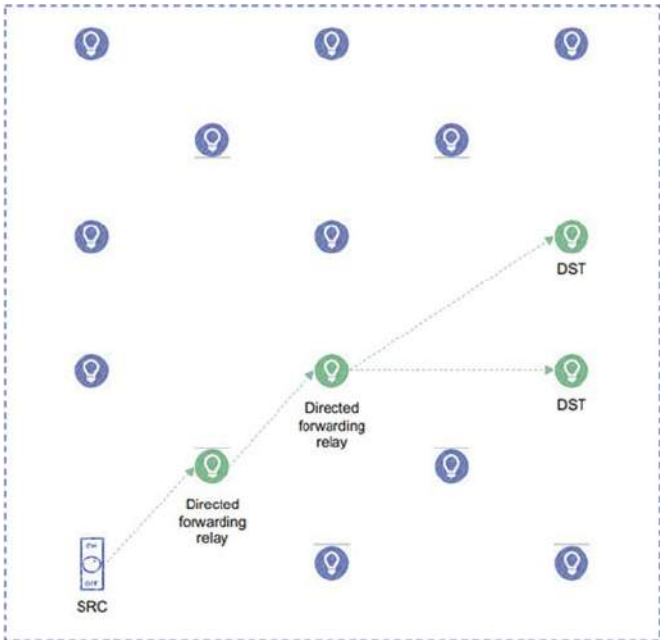
Bluetooth 5.4

Najnowszy stos Bluetooth 5.4 poprawia dwukierunkową komunikację z tysiącami węzłów końcowych z jednego punktu dostępowego. Wymagający i rozwijający się rynek elektronicznych etykiet cenowych (ESL) odniesie z tej funkcji duże korzyści. Ponadto w nowym standardzie Bluetooth 5.4 zostaną wprowadzone dwa znaczące ulepszenia:

- **Okresowe rozgłaszanie z odpowiedziami (PAwR)**
  - umożliwienie implementacji sieci w topologii gwiazdy z synchronizacją czasową i dwukierunkową komunikacją z użyciem udoskonalonego okresowego rozgłaszania z odpowiedziami,
  - obsługa dużych sieci w topologii gwiazdy w sposób bardzo wydajny i dający ogromne możliwości.
- **Zaszyfrowane dane rozgłoszeniowe (EAD)**
  - włączenie możliwości szyfrowania danych rozgłoszeniowych.

Główne produkty z oferty Silicon Labs pozwalające skorzystać z nowych funkcji Bluetooth 5.4 to:

- kluczowe produkty dla urządzeń Bluetooth: **EFR32BG22** i **EFR32BG24**,
- kluczowe produkty dla punktów dostępowych Bluetooth: **EFR32BG21**.



Rysunek 7. Przykład przekazywania kierowanego

Podsumowanie

Połączony świat staje się rzeczywistością dzięki najnowszym standardom łączności. Interoperacyjność protokołów umożliwia komunikację z różnymi urządzeniami, połączonymi z użyciem różnych standardów. Wszyscy producenci urządzeń muszą na bieżąco śledzić trendy rynkowe i dbać o zgodność z nimi. Mnogość standardów i rozwiązań może powodować pewne trudności w procesie selekcji. Jednak kluczowym punktem dla wszystkich programistów i producentów produktów końcowych jest wybór najlepszego rozwiązania pod każdym względem, z uwzględnieniem ceny i parametrów.

Skontaktuj się z nami, jeśli będziesz mieć dodatkowe pytania dotyczące odpowiedniego stosu lub wyboru rozwiązania. Szczegółowe informacje o standardach i rozwiązaniach dostępne są na żądanie w webinariach: https://tiny.pl/cgtxm.

Kamil Prus
BDM & FAE Polska i kraje bałtyckie
kamil.prus@ccontrols.pl

	DFU			RPR	CBP	Private Beacons
	Initiator	Distributor	Node to be updated.			
xG21 • 512k, 96k	✓	✗	✓*	✓	✓	✓
xG21 • 768k, 96k	✓	✗	✓	✓	✓	✓
xG21 • 1M, 96k	✓	✓	✓	✓	✓	✓
xG22 • 352k, 32k	✗	✗	✗	✗	✗	✗
xG22 • 512k, 32k	✗	✗	✓*	✓	✓	✓
xG24 • 1536k, 256k	✓	✓	✓	✓	✓	✓
xG27 • 768k, 64k (available June '23)	✗	✗	✓	✓	✓	✓

* Needs external flash

Rysunek 8. Zalecane układy SoC implementujące nowe funkcje Bluetooth Mesh

eprasa.pl b0a5d4d3d1

Projektowanie systemów wbudowanych o krytycznym znaczeniu dla bezpieczeństwa

W artykule zostaną omówione wyzwania, z jakimi należy się zmierzyć przy wdrażaniu systemu wykrywania błędów zawartości pamięci SRAM (Static Random-Access Memories), z użyciem algorytmu szachownicowego.

Podczas projektowania systemów o krytycznym znaczeniu dla bezpieczeństwa kluczowe znaczenie dla doboru odpowiednich procesów i technik wykrywania oraz unikania niebezpiecznych usterek mają międzynarodowe standardy bezpieczeństwa. Normy sprawiają, że nie będziemy wyszukiwali i rozwiązywali problemów, które nasi koledzy – inżynierowie bezpieczeństwa, już namierzyli, a dodatkowo opracowali metody zapobiegawcze. Jednak należy mieć świadomość pewnego niebezpieczeństwa związanego z normami. Polega ono na założeniu, że mamy szczegółową wiedzę na temat zastosowanego sprzętu, na przykład mikrokontrolera, co może spowodować, że mniej doświadczeni inżynierowie wdrożą niebezpieczne projekty.

Norma Międzynarodowej Komisji Elektrotechnicznej IEC 60730 zaleca stosowanie testu szachownicowego do wykrywania usterek stałych w pamięciach o zmiennej zawartości dla oprogramowania klasy B. Zadanie to może okazać się większym wyzwaniem, niż mogłoby się wydawać, ze względu na **nieudokumentowaną różnicę między logiczną a fizyczną strukturą pamięci SRAM**. Niezbędne informacje zazwyczaj nie są dostępne w arkuszu danych standardowych mikrokontrolerów. Na szczęście istnieją algorytmy testowania pamięci, na które nie ma wpływu różnica między logicznym a fizycznym układem pamięci SRAM. W zaprezentowanym artykule opisano, jak prawidłowo wdrożyć testy pamięci, takie jak test szachownicowy.

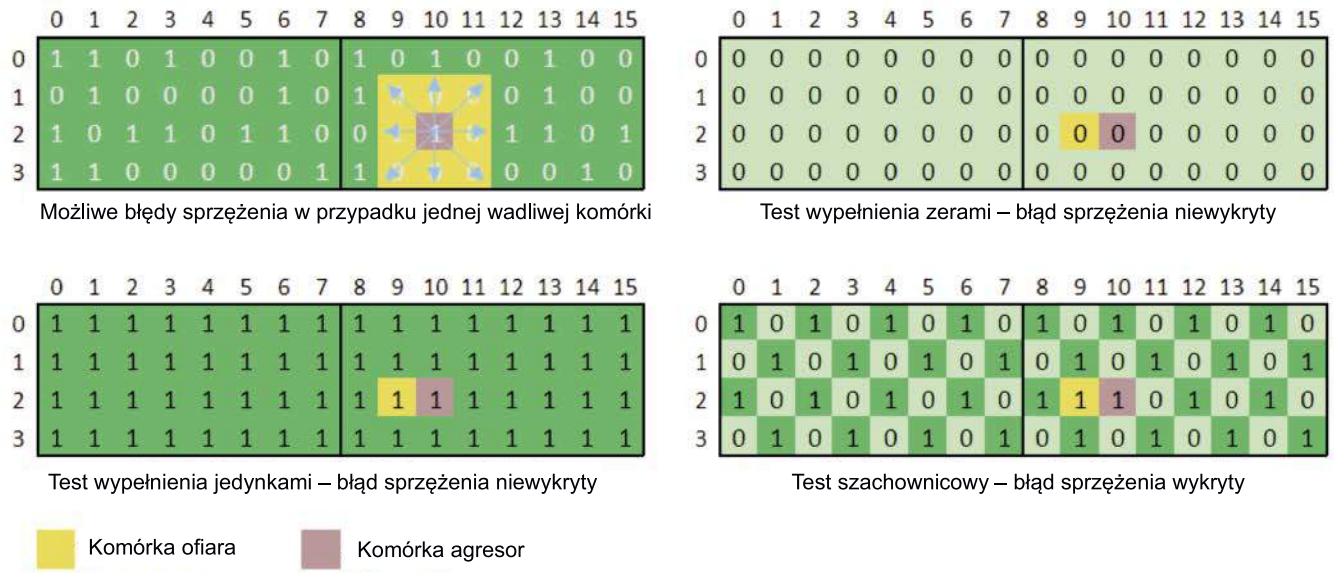
Dlaczego należy testować pamięć SRAM

Pamięci SRAM są oczywiście testowane na etapie produkcji układu scalonego, a produkty z wadami nie są wysyłane do konsumentów. Mimo to przypadkowe defekty sprzętowe mogą i będą pojawiać się w okresie eksploatacji układu scalonego, co jest jednym z powodów, dla których wymagane jest testowanie sprzętu w mikrokontrolerze w czasie działania, w aplikacjach o krytycznym znaczeniu dla bezpieczeństwa.

Szachownicowy test pamięci

Normy bezpieczeństwa, takie jak IEC 60730 (H.2.19.6.1), sugerują, że algorytm szachownicowy może być używany do identyfikowania

eprasa.pl b0a5d4d3d1

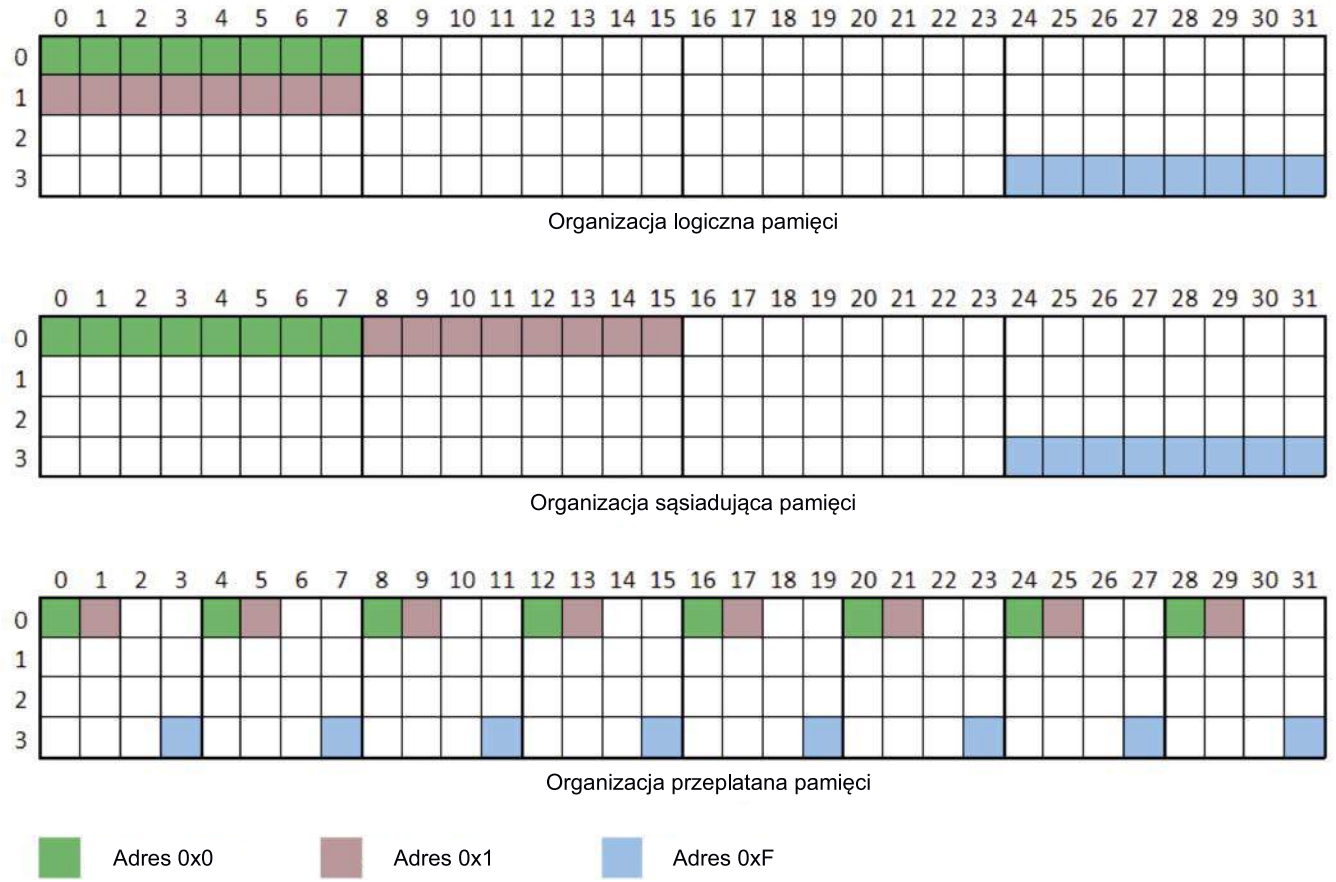


Rysunek 1. Potencjalne błędy sprzężenia między sąsiednimi bitami

pewnych defektów (usterek stałych) w pamięci SRAM w zastosowaniach, które muszą być zgodne z poziomem bezpieczeństwa klasy B. Test szachownicowy jest często wybierany, ponieważ obejmuje najbardziej prawdopodobne błędy i jest stosunkowo szybki, co minimalizuje wpływ na wydajność samej aplikacji. Oprócz usterek stałych, w przypadku których bit jest trwale zablokowany w stanie wysokim lub niskim, algorytm szachownicowy może również wykrywać defekty, w których sąsiednie bity wpływają na siebie nawzajem.

Pamięć SRAM logicznie składa się z pewnej liczby bitów zorganizowanych w słowa. Słowa mają zwykle szerokość 8, 16 lub 32 bitów, ale mogą być również dłuższe. Fizycznie bity są zorganizowane w tablice, w których każdy bit ma zwykle osiem sąsiadujących bitów (**rysunek 1**). Fizyczna wada danego bitu może być taka, że utknął on w stanie wysokim lub niskim (błąd stały), lub wada może dotyczyć dwóch bitów, gdzie komórka agresor (*agressor cell*), zaznaczona na fioletowo na rysunku 1, może wpływać na komórkę ofiarę (*victim cell*), zaznaczoną na żółto na rysunku 1. Scenariusz agresor–ofiara jest powszechnie określany jako błąd sprzężenia. Statystycznie widać, że błąd DC jest bardziej prawdopodobny, ale nadal istotne jest wykrycie najbardziej prawdopodobnych błędów sprzężenia.

Jeśli usterka dotyczy pojedynczego bitu, tak że bit utknął w stanie wysokim lub niskim, można to wykryć, wpisując wartość jeden i zweryfikować przez odczytanie, a następnie wpisując wartość zero i zweryfikować przez ponowny odczyt – tak jak



Rysunek 2. Przykłady fizycznego układu pamięci zorientowanych na słowa

eprasa.pl b0a5d4d3d1

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
2	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
3	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1

Organizacja logiczna pamięci

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1
1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1
2	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1
3	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1

Organizacja sąsiadująca pamięci

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1
1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1
2	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1
3	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1

Organizacja przeplatana pamięci

Rysunek 3. Wzorzec danych logicznej i fizycznej pamięci SRAM

pokazano na rysunku 1. Jednak jeśli defekt jest błędem sprzężenia między dwoma sąsiednimi bitami, na przykład kolumnami bitów 9 i 10 w rzędzie 2, to takie wzorce, jak same jedynki lub same zera, nie ujawnią błędu sprzężenia, ponieważ ogniwa mają tę samą wartość podczas testu. Do wykrycia błędu sprzężenia potrzebny jest wzorzec, w którym sąsiednie komórki (po bokach, powyżej i poniżej) mają przeciwne wartości binarne. Rysunek 1 (prawy dolny) pokazuje, że komórka w kolumnie 10 wymusiła nieprawidłowy stan komórki w kolumnie 9. Błąd sprzężenia został ujawniony, ponieważ bit 9 nie zawiera oczekiwanej wartości – zero.

Fizyczna a logiczna struktura pamięci SRAM

Aby algorytm szachownicowy działał, wymagana jest wiedza, które bity są sąsiadującymi bitami. Okazuje się, że jest to problem, ponieważ arkusze danych zwykle opisują tylko logiczny układ pamięci SRAM, a nie sposób, w jaki pamięć jest fizycznie zorganizowana.

Aby zrozumieć fizyczną strukturę pamięci SRAM, należy rozróżnić pamięci zorientowane bitowo (BOM), w których można uzyskać dostęp do jednego bitu w danym momencie, oraz pamięci zorientowane na słowa (WOM), w których odczytywane i zapisywane jest n-bitowe słowo. Podczas gdy większość rzeczywistych pamięci jest implementowana jako WOM, klasyczne algorytmy testowania pamięci w literaturze naukowej często zakładają implementacje BOM.

W przypadku pamięci WOM istnieją trzy główne kategorie fizycznej organizacji bitów składających się na słowo: sąsiadująca, przeplatana i organizacja na podtablice. Podczas gdy układ logiczny umieszcza każde słowo pod poprzednim słowem w tej samej kolumnie (podobnie jak w przestrzeni adresowej), organizacja sąsiadująca pamięci umieszcza każde słowo w tym samym rzędzie obok siebie, jak pokazano na **rysunku 2**. Organizacja z przeplotem oddziela każdy bit słowa do różnych kolumn i wierszy tablicy SRAM. Wreszcie organizacja na podtablice umieszcza każdy bit słowa w różnych fizycznie oddzielnych blokach SRAM. Rzeczywistość jest taka, że nie znamy fizycznego układu, który jest wymagany do poprawnego wdrożenia testu szachownicowego.

Właściwości i wady testu szachownicowego

Przypuszczalnie prostym podejściem do implementacji algorytmu szachownicowego jest naprzemienne zapisywanie wartości 0xAA (zakładając 8-bitowe słowa danych) pod pierwszym adresem i 0x55 w następnym adresie, aż wszystkie testowane adresy zostaną wypełnione wzorem szachownicy składającym się z jedynek i zer. Wzór jest następnie weryfikowany w celu wykrycia wszelkich błędów stałych lub sprzężeń między sąsiednimi komórkami. Proces jest następnie powtarzany przy użyciu odwrotnego wzoru. Jak już wspomniano, istnieje pewien haczyk: wzór szachownicy w logicznym układzie pamięci może nie być wzorem szachownicy w układzie fizycznym, jak pokazano na **rysunku 3**.

Zrekompensowanie różnicy między układem logicznym a fizycznym może wydawać się oczywiste, ale niezbędne informacje rzadko są dostępne w arkuszu danych układu. Co należy zrobić? Zaakceptować mniejszą skuteczność, w końcu diagnostyka nadal będzie obejmować błędy stałe i niektóre błędy sprzężenia między sąsiednimi bitami? Poprosić o szczegółowe dane układu od producenta układów scalonych i wykonać niestandardową implementację testu szachownicy dla każdego urządzenia? Wybrać inny algorytm?

Teraz, gdy jesteś świadomy potencjalnych wad testu szachownicy, możesz podjąć świadomą decyzję.

Alternatywne algorytmy testowania pamięci SRAM w czasie wykonywania

Techniki testowania pamięci zaproponowane w normie IEC 60730 dla poziomu bezpieczeństwa klasy C mają większy zasięg wykrywania błędów, ale są to algorytmy należące do grupy algorytmów testowania produkcyjnego – ich uruchomienie zajmuje więcej czasu, wykrywają również rzadsze typy błędów, ale zazwyczaj niszczą dane przechowywane w pamięci SRAM, ponieważ działają na całej SRAM, a nie na blokach. Ogólnie rzecz biorąc, jest to kłopotliwe rozwiązanie. Dlatego proponujemy rozważenie hybrydowych algorytmów March zaadaptowanych z produkcyjnego algorytmu testowego March. Te algorytmy są dostępne w implementacjach zoptymalizowanych pod kątem WOM i zapewniają wysokie pokrycie testów. Co więcej,

eprasa.pl b0a5d4d3d1

te hybrydowe algorytmy March można zaimplementować tak, aby działały na mniejszych, nakładających się sekcjach pamięci SRAM, aby uniknąć jednoczesnego wymazania wszystkich danych z pamięci, co oznacza, że można uniknąć ponownego uruchomienia systemu wbudowanego. Wadą algorytmów March jest to, że są one bardziej wymagające obliczeniowo niż tradycyjne algorytmy szachownicowe. Jednak jest to niedogodność, którą można zaakceptować w systemach o krytycznym znaczeniu dla bezpieczeństwa.

Jeśli rozważamy zamianę tradycyjnego testu szachownicowego na test typu March, to można znaleźć taką implementację u niektórych dostawców mikrokontrolerów. Microchip jest jedną z firm, które oferują zoptymalizowaną pod kątem wydajności implementację algorytmu March C jako część swoich bibliotek diagnostycznych oprogramowania. Implementacja Microchip obsługuje testowanie całej pamięci SRAM, zwykle wykonywane tylko podczas uruchamiania, aby uzyskać maksymalne pokrycie testowe, a także testowanie mniejszych bloków pamięci, co ma na celu zmniejszenie wpływu na aplikację w czasie rzeczywistym. Implementację można pobrać bezpłatnie ze strony internetowej firmy Microchip jako część biblioteki IEC 60730 Class B. Implementacja jest przeznaczona dla mikrokontrolerów PIC i AVR, ale można ją przenieść na inne mikrokontrolery Microchip.

Więcej informacji na temat testów IEC 60730 klasy B można znaleźć na stronie: https://www.microchip.com/PIC-AVR-IEC60730.

Henrik Nyholm
Inżynier ds. oprogramowania bezpieczeństwa w grupie aplikacji PIC i AVR, odpowiedzialny za opracowywanie produktów i oprogramowania dla systemów o krytycznym znaczeniu dla bezpieczeństwa zgodnych z normami ISO 26262 i IEC 60730.
LinkedIn: https://tiny.pl/cgglz

Jacob Lunn Lassen
Kierownik ds. technicznego rozwoju biznesu w zakresie systemów krytycznych dla bezpieczeństwa, odpowiedzialny za strategię rynkową i projekty ukierunkowane na ISO 26262, IEC 61508 i IEC 60730 z mikrokontrolerami PIC i AVR firmy Microchip.
LinkedIn: https://tiny.pl/cgg4q

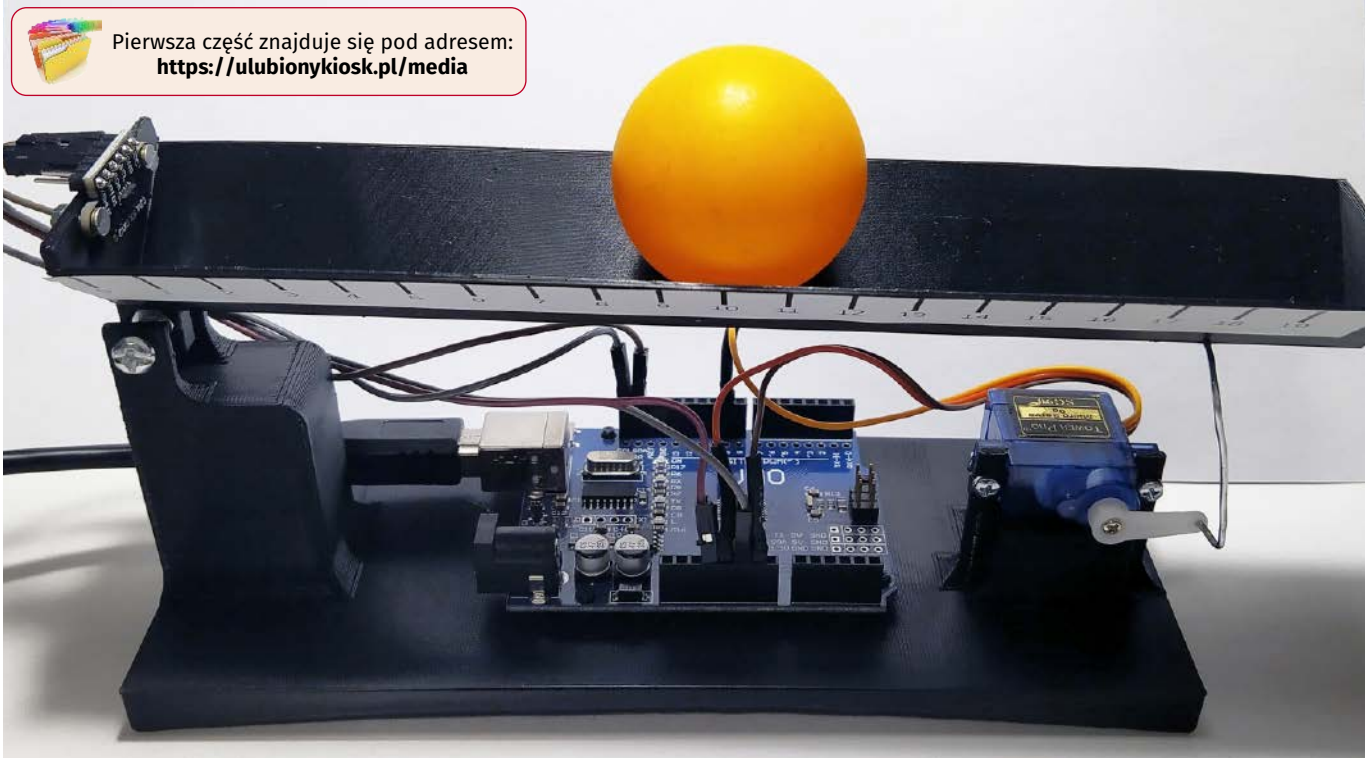
REKLAMA

Sięgnij po archiwalne wydania „ELEKTRONIKI PRAKTYCZNEJ”

Przesyłka GRATIS

Zamów wygodnie na
www.UlubionyKiosk.pl

eprasa.pl b0a5d4d3d1



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

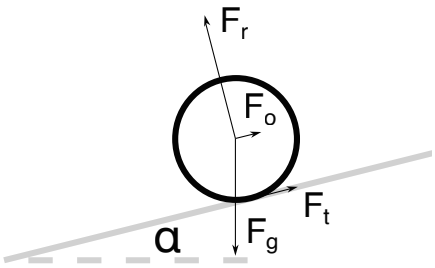
Ball & Beam (2)

Teoria sterowania jest działem matematyki zajmującym się modelowaniem pracy obiektów oraz generowaniem dla nich sterowania. Jednak poza samą teorią ma ona także część praktyczną. Istnieje kilka prostych modeli często używanych do demonstracji różnych technik sterowania. Koncepcja Ball & Beam jest bardzo prosta, mamy belkę, po której toczy się piłka. Mierzymy pozycję kulki i sterujemy kątem nachylenia belki. W pierwszej części została opisana część mechaniczna i elektryczna całej konstrukcji. Teraz zajmiemy się opisem i identyfikacją modelu.

Model

Pełny opis dynamiki znajdziemy w [6]. My przyjmiemy uproszczony model. Zakładamy, że możemy sterować położeniem belki oraz że położenie kulki nie ma wpływu na jej ruch. Kąt belki oznaczamy jako ***α***, a odległość kulki od osi obrotu belki jako ***x***. Na **rysunku 12** widzimy siły działające na kulkę znajdującą się na belce:

- F_g – siła grawitacji,
- F_r – siła reakcji belki na nacisk,



Rysunek 12. Siły działające na kulkę

- F_t – siła tarcia kulki o belkę,
- F_o – siła odśrodkowa, ponieważ opisujemy położenie kulki w nieinercjalnym układzie odniesienia związanym z belką.

Siła grawitacja dana jest wzorem:

$$F_g = mg$$

gdzie ***m*** to masa kulki, a ***g*** to przyspieszenie ziemskie.

Siła reakcji na nacisk równoważy prostopadłą składową ciężaru:

$$F_r = mg\cos\alpha$$

Siła odśrodkowa jest równa:

$$F_o = mx\dot{\alpha}^2$$

gdzie $\dot{\alpha}$ jest pochodną kąta belki po czasie, czyli jej prędkością kątową. Zakładamy jednak, że jest ona na tyle niewielka, że siła odśrodkowa jest pomijalnie mała.

Przyjmujemy, że kulka toczy się bez poślizgu, oznacza to, że przyśpieszenie brzegu piłki wynikające z ruchu obrotowego jest równe temu w ruchu postępowym. Możemy to zapisać jako:

$$r\epsilon = \ddot{x}$$

gdzie ***r*** to promień kuli, **ϵ** to przyspieszenie kątowe, które jest konsekwencją momentu siły tarcia:

$$F_t r = I\epsilon$$

gdzie *I* jest momentem obrotowym kuli.

Stąd po podstawieniu dostajemy:

$$F_t r = \frac{I}{r^2}\ddot{x}$$

Przyspieszenie w ruchu postępowym dane jest wzorem:

$$mgsin(\alpha) - F_t = m\ddot{x}$$

Podstawiając za F_t, otrzymujemy:

$$mgsin(\alpha) = (m + \frac{I}{r^2})\ddot{x}$$

Zakładając, że kulka jest cienką sferą, jej moment bezwładności to:

$$I = \frac{2}{3}mr^2$$

Otrzymujemy więc, że przyspieszenie kulki jest równe:

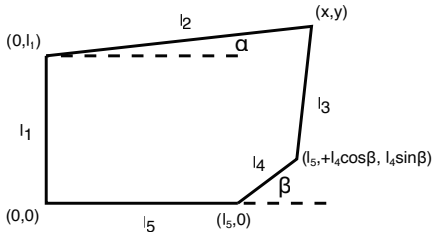
$$\ddot{x} = \frac{3}{5}gsin\alpha$$

Ponieważ w naszym przypadku belka wykonuje małe ruchy wokół zera, możemy przybliżyć ***sinα*** przez ***α*** wyrażone w radianach. Stąd znajdujemy, że przyspieszenie kulki jest proporcjonalne do kąta nachylenia belki:

$$\ddot{x} = \frac{3}{5}g\alpha$$

My jednak sterujemy kątem serwomechanizmu, a nie bezpośrednio samej belki. Schemat mechanizmu prezentuje **rysunek 13**.

eprasa.pl b0a5d4d3d1



Rysunek 13. Schemat mechanizmu sterującego belką

Sterujemy kątem belki l_4, dlatego znamy położenie jej końcówki. Aby określić kąt belki, musimy znaleźć punkt przecięcia dwóch okręgów:

- środek w $(0, l_1)$, promień l_2,
- środek w $(l_5, + l_4 cos\beta, l_4 sin\beta)$, promień l_3.

Są dwa takie punkty, ale tylko jeden może wystąpić w naszej konfiguracji. Jego pozycję wyznaczyłem, używając biblioteki do obliczeń symbolicznych SymPy [7]. Dokładny wynik znajduje się w [8].

Na **rysunku 16** pokazano kąt belki w funkcji położenia serwomechanizmu. Jak widzimy, dla większości zakresu możemy przybliżyć tę zależność funkcją liniową. Uzyskana krzywa ma współczynniki:

$$y = 0,076x - 0,0005$$

Możemy więc zapisać model naszego układu jako:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_0 \\ \dot{x}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ a \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_0 \\ \dot{x}_1 \end{bmatrix}$$

gdzie x_0 jest położeniem, a x_1 prędkością kulki. Wartość a jest współczynnikiem, który obejmuje zarówno dynamikę kulki, jak i kinematykę belki. W naszym przypadku przyjmiemy:

$$g = 9800 \frac{mm}{s^2}$$

Zakładając, że położenie serwomechanizmu jest podane w stopniach, otrzymujemy:

$$a = \frac{3}{5} g \cdot 0,076 \frac{\pi}{180} = 7,80$$

Taki model zakłada, że serwomechanizm natychmiast zmienia swoje położenie. Możemy go zmodyfikować, dodając na wejściu inercję pierwszego rzędu, której zadaniem będzie wprowadzenie opóźnienia pomiędzy sygnałem sterującym a siłą działającą na kulkę. Wtedy układ równań przybierze postać:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_0 \\ \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & a \\ 0 & 0 & -\frac{1}{c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{c} \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

gdzie c jest stałą czasową wprowadzanego opóźnienia.

Identyfikacja modelu

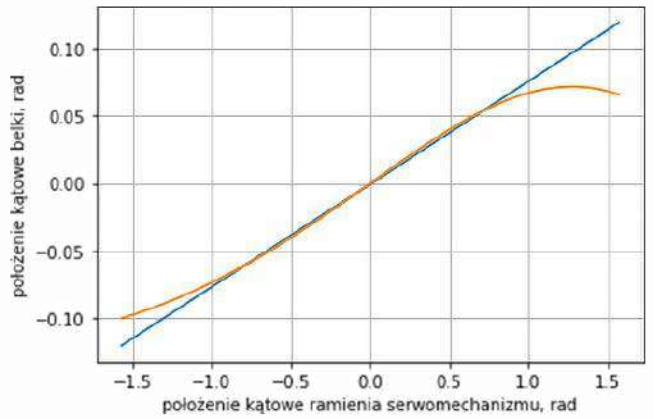
Obliczenia niezbędne do identyfikacji modelu zostały wykonane w notatniku: *jupiter/Identification_3D_printed.ipynb* [9].

Zbieranie danych

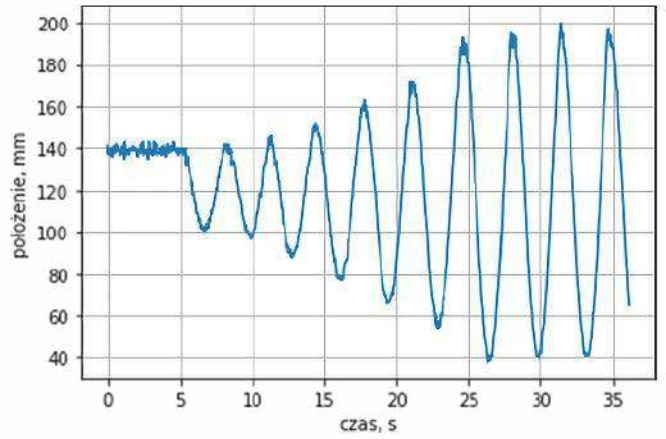
Kolejnym krokiem jest zebranie danych potrzebnych do identyfikacji parametrów modelu. Możemy używać monitora portu szeregowego i przesyłać podane komendy albo użyć strony www [5]. Pierwszym etapem jest ustalenie, dla jakiej wartości sterowania serwomechanizm ustawia belkę w pozycji równowagi. Wybieramy tryb sterowania w układzie otwartym. Za pomocą polecenie u wysyłamy kolejne nastawy dla serwomechanizmu. Następnie kładziemy kulkę na środku i sprawdzamy, czy się toczy. Możemy także użyć w tym celu poziomnicy. W moim modelu początkowo przyjąłem u_0 równe 100.

Następnie za pomocą regulatora P wprowadzimy układ w drgania, na podstawie których będziemy identyfikować parametry modelu. Położyłem kulkę w odległości 140 mm, ustawiłem wartość zadaną na 110 mm (polecenie: z 110) oraz współczynnik P na 0,4 (polecenie: p 4). Następnie włączyłem zbieranie danych, przesyłając komendę s 1. Po włączeniu regulatora (r 1) układ wszedł w narastające drgania. Wartość współczynnika P dobrałem tak, aby otrzymać kilka okresów, zanim nastąpi odbicie kulki od brzegów belki. Uzyskane wyniki skopiowałem z terminala portu szeregowego i umieściłem w notatniku *jupiter/Identification_3D_printed.ipynb* [9].

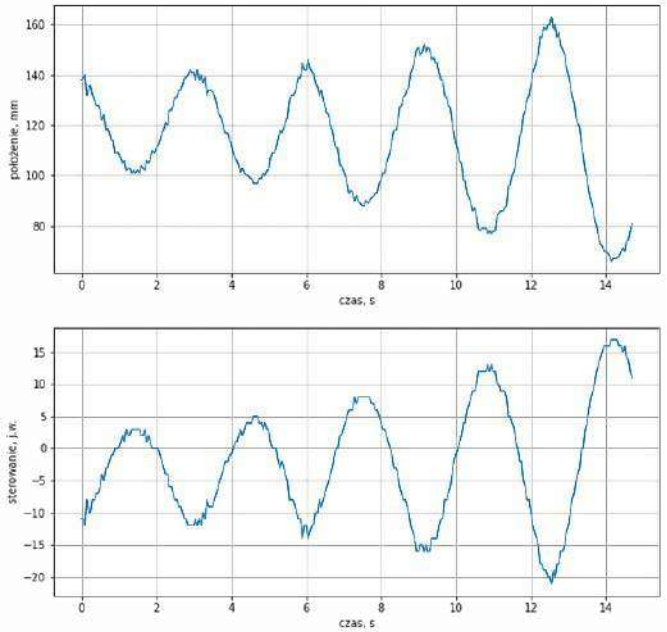
Na **rysunku 15** zaprezentowano zarejestrowane położenie kulki w funkcji czasu. Na początku widzimy, że piłka spoczywa w odległości 140 mm. W momencie włączenia regulatora rozpoczyna się jej ruch. Widzimy drgania o narastającej amplitudzie, które stabilizują się, gdy kulka zaczyna odbijać się od brzegów belki. Odległość 40 mm to dolny zakres pracy czujnika, a 180 mm to końcówka belki. Do identyfikacji użyjemy jedynie sygnału od rozpoczęcia pracy regulatora



Rysunek 14. Położenie belki w funkcji położenia serwomechanizmu

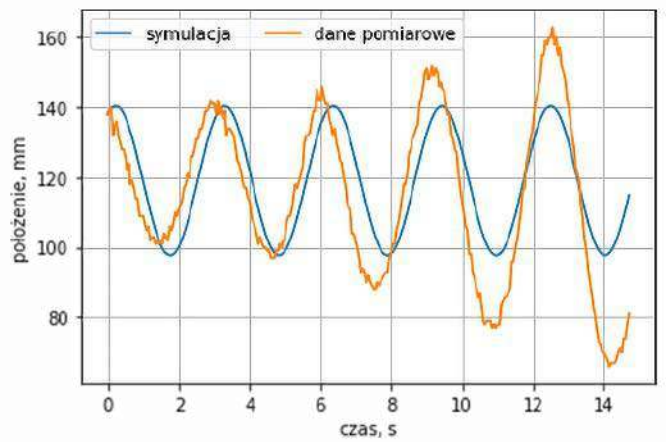


Rysunek 15. Położenie kulki w funkcji czasu

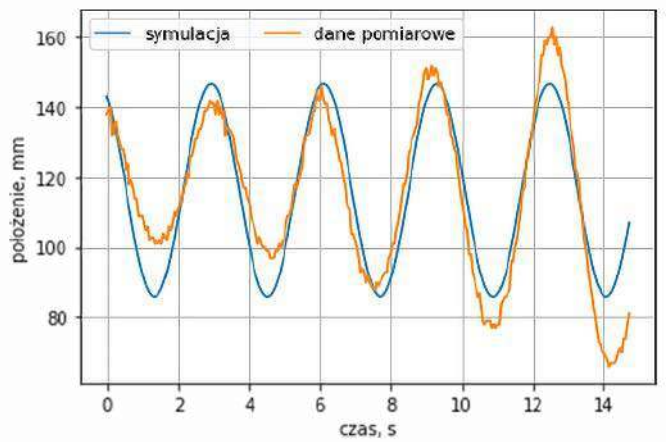


Rysunek 16. Położenie kulki oraz sterowanie

eprasa.pl b0a5d4d3d1



Rysunek 17. Porównanie przykładowego modelu do zebranych danych



Rysunek 18. Dopasowanie modelu drugiego rzędu do danych

do nasycenia amplitudy. Położenie kulki oraz sterowanie dla tego fragmentu prezentuje **rysunek 16**.

Identyfikacja

Dane zostały zebrane w układzie zamkniętym z regulatorem proporcjonalnym. Nasze sterowanie ma postać:

$$u = u_0 + k(z - x_0) = u_0 + kz - kx_0$$

gdzie z jest wartością zadaną, u_0 jest sterowaniem, dla którego belka jest pozioma. Dla uproszczenia stały czynnik możemy zastąpić jedną stałą:

$$b = u_0 + kz$$

Wtedy sterowanie ma postać:

$$u = b - kx_0$$

Możemy je podstawić teraz do wprowadzonego wcześniej modelu:

$$\begin{bmatrix} \dot{x_0} \\ \dot{x_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -ak & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ ab \end{bmatrix}$$

Na potrzeby symulacji możemy zastąpić występujące w modelu stałe:

$$A = ak$$
$$B = ab$$

Wtedy zamknięty układ będzie dany równaniem:

$$\begin{bmatrix} \dot{x_0} \\ \dot{x_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -A & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ B \end{bmatrix}$$

Nasz model ma więc cztery parametry: A, B oraz stan początkowy (pozycja i prędkość). Warto tu zwrócić uwagę, że otrzymany przez nas układ zamknięty jest oscylatorem z drganiami nietłumionymi. Oznacza to, że sam regulator P nie wystarcza do ustabilizowania kulki.

Ruch kulki zasymulujemy w Pythonie (*jupiter/Identification_3D_printed.ipynb*) [9]. Aby obliczyć ruch kulki, potrzebujemy funkcji, która przyjmuje aktualny stan układu i na jego podstawie oblicza pochodne:

```
def model(x, t, A, B):
    dx0 = x[1]
    dx1 = -A*x[0]+B
    dx = [dx0, dx1]
    return dx
```

Widzimy, że funkcja po prostu implementuje prawą stronę równania dynamiki modelu zamkniętego. Następnie możemy uruchomić symulację:

```
x0 = [x[0], (x[1]-x[0])/T]
x_s = odeint(model, x0, t,
args=(4.2, 500))
```

Funkcja odeint pozwala na numeryczne rozwiązanie równania różniczkowego. Przyjmuje funkcję obliczającą pochodną, początkowy stan modelu, listę chwil czasu, dla których będzie obliczony wynik oraz dodatkowe argumenty, które będą przekazane do funkcji liczącej pochodną. Jako punkt startowy przyjmujemy początkowe położenie oraz średnią prędkość pomiędzy dwoma pierwszymi położeniami. Jako parametry A i B, po kilku eksperymentach na początku, przyjąłem 4,2 i 500. Uzyskany wynik prezentuje **rysunek 17**.

Chcemy jednak znaleźć parametry lepszą metodą niż zgadywanie. Potrzebujemy więc sposobu na wyznaczenie odległości pomiędzy danymi z symulacji a zebraną odpowiedzią. Będzie to błąd średniokwadratowy. Dla każdej chwili czasu policzymy różnicę pomiędzy wartościami, podniesiemy je do kwadratu i zsumujemy. Poniższy kod przedstawia funkcję liczącą odległość pomiędzy trajektoriami:

```
def model_rms(X, x, t):
    A = X[0]
    B = X[1]
    x0_0 = X[2]
    x0_1 = X[3]

    x_s = odeint(model, [x0_0,
x0_1], t, args=(A, B))
    rms = np.sqrt(np.
mean((x-x_s[:,0])**2))
    return rms
```

Przyjmuje ona 3 parametry:

- X – jest tablicą 4 parametrów, które przyjmuje nasz model,
- x – to zapisana rzeczywista trajektoria,
- t – to wektor chwil czasu, dla których przeprowadzamy obliczenia.

Teraz możemy wywołać funkcję realizującą minimalizację naszej funkcji celu poprzez dobranie parametrów. Wywołujemy ją:

```
minimum  = optimize.fmin(model_
rms, [4.2, 500, x[0], (x[1]-
x[0])/T], args=(x, t))
```

Po kolei przyjmuje ona parametry:

- funkcję celu,
- tablicę z wartościami początkowymi,
- dodatkowe parametry przekazywane do wywoływanej funkcji.

Ważne jest, aby wybrać w miarę dobre wartości początkowe. W przeciwnym razie zastosowana funkcja może zatrzymać się w minimum lokalnym, dalekim od najlepszego dopasowania. Ja otrzymałem dopasowanie: A=3,90; B=454,29. Ponieważ wzmocnienie było równe k=0,4, a wartość zadana z=110, uzyskujemy parametry modelu równe: a=9,76; u_0=2,55.

Wartość α, będąca współczynnikiem pomiędzy sterowaniem serwomechanizmu a przyśpieszeniem kulki, nie jest daleka od wartości obliczonej teoretycznie (7,80). Różnica może być spowodowana założeniem braku poślizgu, pominięciem siły tarcia tocznego oraz niedokładnością w wykonaniu modelu. Wynik symulacji modelu dla dobranych współczynników pokazuje **rysunek 18**. Częstotliwość została dopasowana poprawnie. Nasz model drugiego rzędu generuje drgania o stałej amplitudzie, natomiast w rzeczywistym obiekcie występują z rosnącą.

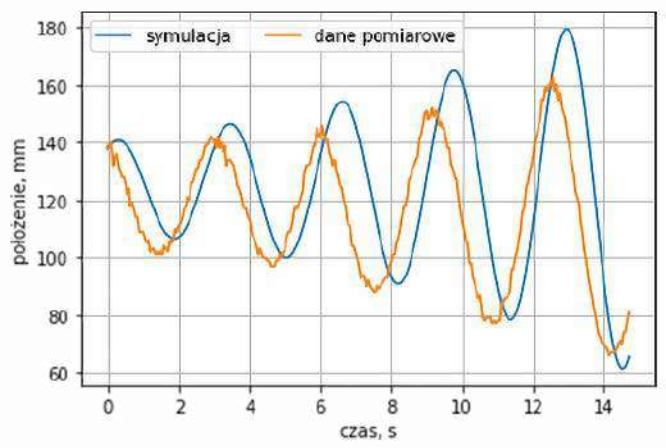
Sprawdzimy więc, jaki wynik uzyskamy dla modelu z dodatkową inercją. W takim przypadku równanie różniczkowe opisujące układ zamknięty ma postać:

$$\begin{bmatrix} \dot{x_0} \\ \dot{x_1} \\ \dot{x_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & a \\ -\frac{k}{c} & 0 & -\frac{1}{c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{b}{c} \end{bmatrix}$$

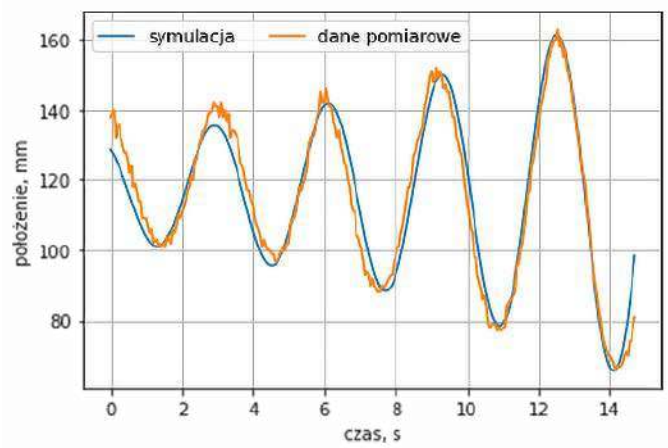
Więc funkcja wracająca pochodną w punkcie będzie miała postać:

```
def model2(x, t, A, B, C):
    k = 0.4
    dx0 = x[1]
    dx1 = A*x[2]
    dx2 = -k/C*x[0] – 1/C*x[2] + B/C
    dx = [dx0, dx1, dx2]
    return dx
```


eprasa.pl b0a5d4d3d1



Rysunek 19. Przykładowy wynik uzyskany dla modelu trzeciego rzędu



Rysunek 20. Wynik identyfikacji modelu trzeciego rzędu

gdzie ***k*** jest parametrem regulatora.

Jeśli Czytelnik zastosował inne nastawy, konieczna będzie tu zmiana w kodzie. Możemy uruchomić symulację dla przykładowych parametrów:

```
x0 = [x[0], (x[1]-x[0])/T, u[0]]
print(x0)
x_s = odeint(model2, x0, t,
args=(10, 50, 0.05))
```

Jak widać, stan początkowy składa się teraz z trzech wartości. Uzyskany wynik prezentuje **rysunek 19**. Uruchommy jednak dopasowanie. Wykorzystany kod jest analogiczny do poprzedniego. Dobrane parametry to: a=9,77; b=46,80; c=0,048. Odejmując ***kz*** od ***b***, otrzymamy błąd ustawienia poziomu równy 2,8 stopnia. Porównując z parametrami dla modelu drugiego stopnia, otrzymaliśmy błąd wyznaczenia współczynnika *a* dopiero na drugim miejscu po przecinku. Jednak patrząc na **rysunek 20**, widzimy, że dodanie inercji o stałej czasowej 48 ms pozwoliło na uzyskanie znacznie lepszego dopasowania.

W kolejnej części artykułu zajmiemy się projektowaniem filtru Kalmana oraz regulatora, gdzie będziemy używać opisanego teraz modelu.

Rafał Kozik
rafkozik@gmail.com

Bibliografia

[1] https://youtu.be/iQHPaBQC78E
[2] https://tiny.pl/cgczg
[3] https://gitlab.com/kozik/ball-and-beam
[4] https://tiny.pl/cgcz7
[5] https://rysino.com/bb/
[6] https://tiny.pl/cgczr
[7] https://tiny.pl/cgczw
[8] https://tiny.pl/cgczc
[9] https://tiny.pl/cgczd
[10] Teoria Sterowania, Materiały Pomocnicze do Ćwiczeń Laboratoryjnych pod redakcją W. Mitkowskiego, AGH Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2007
[11] https://tiny.pl/cgcz1
[12] https://tiny.pl/cgczp
[13] https://tiny.pl/cgczl

REKLAMA

eprasa.pl b0a5d4d3d1

Kompaktowe przetwornice ZETTLER

W ostatnich latach ZETTLER, znany na rynku producent przekaźników elektromagnetycznych, poszerzył swoją ofertę komponentów o kompaktowe i niedrogie przetwornice AC/DC do montażu na płytkach PCB. Dostępne są w szerokim zakresie mocy znamionowych, przystosowane do szerokiego zakresu napięcia wejściowego i oferowane z różnymi napięciami wyjściowymi. Oferta ZETTLER jest obecnie jedną z najbardziej zróżnicowanych w branży.

Przetwornice ZETTLER to moduły szczelne, idealne do wielu zastosowań, w tym inteligentnych rozwiązań energetycznych, aplikacji oświetleniowych wewnętrznych i zewnętrznych, sprzętu AGD, ładowania pojazdów elektrycznych i rozwiązań IoT. Przystosowane są do rozszerzonego zakresu temperatur i wyposażone w ekranowanie EMI. Obejmują opcje wysokowydajne (HP) i ekonomiczne (ZP) w zakresie od 1 W do 20 W. Wyjście jest elektrycznie odizolowane od wejścia sieciowego i monitoruje częstotliwość oraz fazę wejścia AC.

Przetwornica ZPI03

Moduł **ZPI03** (**fotografia 1**) ma niewielkie wymiary: 25×25×16 mm i oferuje moc znamionową 3 W. Dostępny jest z napięciami wyjściowymi 3,3, 5, 6, 9, 12, 15, 18 i 24 V. Może pracować z napięciem wejściowym w zakresie 90...264 V AC lub 120...370 V DC i odznacza się niewielkim poborem mocy bez obciążenia – maksymalnie 0,2 W. Szczegółowa dokumentacja jest dostępna na stronie: https://tiny.pl/cgmfk.

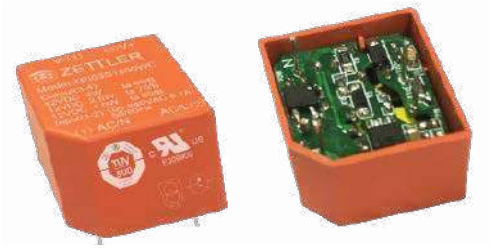
Przetwornica ZPL20

Moduł **ZPL20** (**fotografia 2**) ma niewielkie wymiary: 52×27×31 mm i oferuje moc znamionową 10 W. Dostępny jest z napięciami wyjściowymi 5 (przy 5 V pozwala osiągnąć prąd o natężeniu 4 A), 12, 15, 18 i 24 V . Może pracować z napięciem wejściowym w zakresie 90...305 V AC lub 120...430 V DC, a pobór mocy bez obciążenia wynosi maksymalnie 0,3 W. Szczegółowa dokumentacja jest dostępna na stronie: https://tiny.pl/cgmf4.

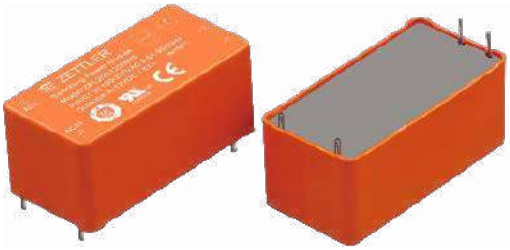
Podsumowanie

Przetwornice ZETTLER znacznie upraszczają projektowanie energoelektroniki i umożliwiają szybsze wprowadzanie produktów na rynek. Cechują się dużą trwałością, są zgodne z normami IEC i UL oraz spełniają wymagania EMC. ZETTLER planuje rozszerzenie oferty o przetwornice o mocy 30 W.

www.zettlermagnetics.eu



Fotografia 1. Przetwornica ZPI03



Fotografia 2. Przetwornica ZPL20

REKLAMA

eprasa.pl b0a5d4d3d1

Przetwornice do zasilania LED w aplikacjach motoryzacyjnych i nie tylko

Przewodnik po topologiach przetwornic mocy

W wielu systemach, w tym w niezliczonych stabilizatorach stosowanych w samochodowych układach zasilania, projektowanie układów konwersji mocy jest często trudnym i złożonym zadaniem. Zaprezentowany artykuł ma na celu uproszczenie procesu wyboru poprzez wyjaśnienie korzyści, kompromisów i typowych aplikacji dla różnych topologii przetwornic impulsowych, stosowanych w sterownikach LED, w szczególności w sektorze motoryzacyjnym.

Diody LED różnią się od tradycyjnych elektrycznych źródeł oświetlenia, które wytwarzają światło przez rozgrzewanie włókna elektrycznego lub zjonizowanego gazu. Stosując złącza półprzewodnikowe wykonane z określonego materiału, producenci diod LED mogą wytwarzać diody emitujące światło o określonych kolorach obejmujące cały zakres widzialny oraz podczerwień i ultrafiolet.

W zastosowaniach motoryzacyjnych diody LED mogą zwiększyć bezpieczeństwo zarówno podczas jazdy dziennej, jak i nocnej. Zwiększona sprawność tych źródeł światła może z kolei wydłużać żywotność akumulatorów w pojazdach elektrycznych, a zastosowanie wielu równolegle połączonych diod LED w jednym systemie może wyeliminować awarie pojedynczych elementów.

Diody LED można sterować na kilka różnych sposobów, jednak elementy te różnią się od tradycyjnych obciążeń w systemie zasilania. Układ zasilania musi dostarczać prądu o dokładnie regulowanej wartości. Jego przepływ przez złącze półprzewodnikowe powoduje wytworzenie światła, natomiast względne napięcia na wyprowadzeniach diody względem masy systemu (lub karoserii w samochodzie) mogą się zmieniać. W rezultacie systemy zawierające diody elektroluminescencyjne mogą zawierać układy impulsowe w różnych topologiach.

Właściwa topologia przełączania dla samochodowych systemów LED

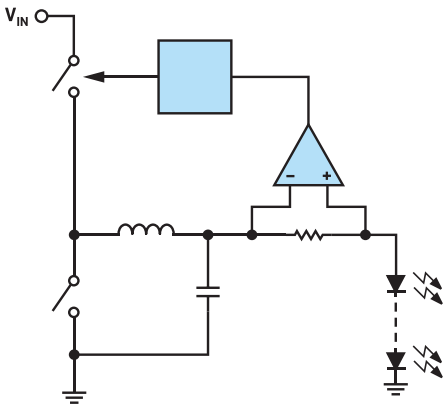
Wybór określonej topologii przetwornicy do pracy w systemie motoryzacyjnym jest związany z projektem całego systemu. Analizując różne topologie, należy wziąć pod uwagę między innymi minimalne napięcie wejściowe, maksymalne napięcie zasilania ciągu połączonych diod LED, możliwość powrotu prądu do układu, szansę wystąpienia zwarcia na wyjściu, maksymalny prąd wejściowy diody, a także dodatkowe wymagania, np. związane z możliwością ściemniania diod za pomocą sterującego przebiegu PWM.

Przetwornice obniżające napięcie typu Buck

Sterowniki obniżające napięcie (typu Buck) mogą regulować prąd w łańcuchu diod LED, jeśli doprowadzone napięcie zasilające jest wyższe niż całkowite napięcie znamionowe łańcucha LED (suma spadków napięcia na diodach). Sterowniki LED w topologii Buck można bezpiecznie zwierać do masy systemu. Mogą działać w obwodzie powrotu prądu poprzez karoserię (jeden przewód do zasilania LED wtedy wystarcza) i można je łatwo dostosować do aplikacji matrycowych lub wyświetlania animacji za pomocą wielu LED.

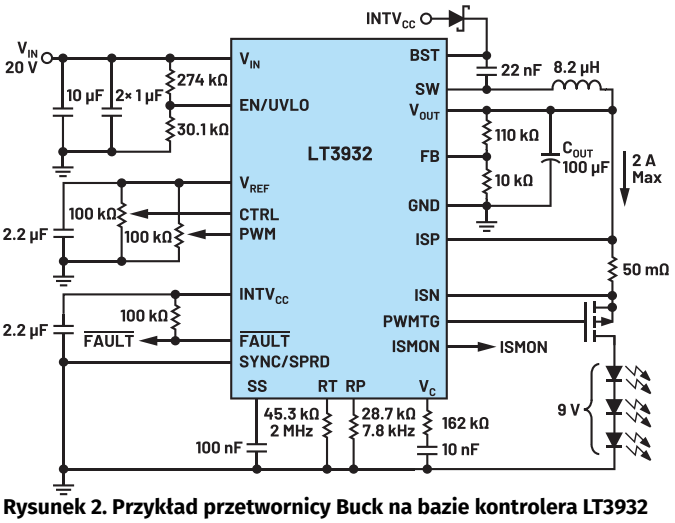
Na **rysunku 1** pokazano schemat blokowy przetwornicy w topologii Buck, a przykładowa aplikacja z układem LT3932 i kluczem (tranzystorem), po stronie wysokiego napięcia w celu sterowania prądem, znajduje się na **rysunku 2**. W **tabeli 1** zestawiono podstawowe cechy rozwiązania tego typu.

Kilka krytycznych cech, których należy szukać w sterownikach LED obniżających napięcie, to praca ze stałą częstotliwością, wysoka

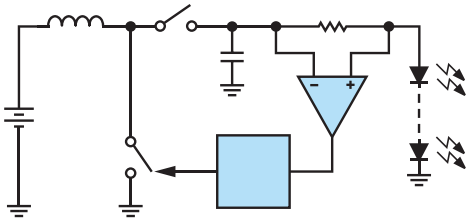


Rysunek 1. Schemat blokowy przetwornicy o topologii Buck

eprasa.pl b0a5d4d3d1



Rysunek 2. Przykład przetwornicy Buck na bazie kontrolera LT3932



Rysunek 3. Schemat blokowy przetwornicy o topologii Boost

sprawność układu, dzięki doskonałej kontroli przełączania i przełącznikom o niskiej rezystancji, wysoka dokładność w całym zakresie analogowego ściemniania oraz odpowiednio zaprojektowana modulacja częstotliwości z rozproszonym widmem, co pozwala na uzyskanie doskonałych parametrów, m.in. niskiego poziomu emitowanych zakłóceń elektromagnetycznych.

Przetwornice podwyższające napięcie (Step-Up) typu Boost

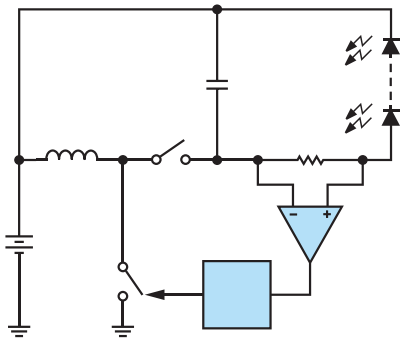
Sterowniki LED typu step-up (lub boost) dostarczają stabilizowanego prądu do łańcucha LED przy napięciu wejściowym, które jest niższe niż całkowite napięcie wymagane dla danego łańcucha LED. Jest to przydatne w wielu systemach samochodowych, w których wiele diod LED musi przewodzić w jednym ciągu. Typowe systemy samochodowe 12 V mają zakresy robocze od 6 V do 18 V, co wymaga,

Tabela 1. Zalety i kompromisy wynikające z używania przetwornic Buck jako sterowników dla diod LED

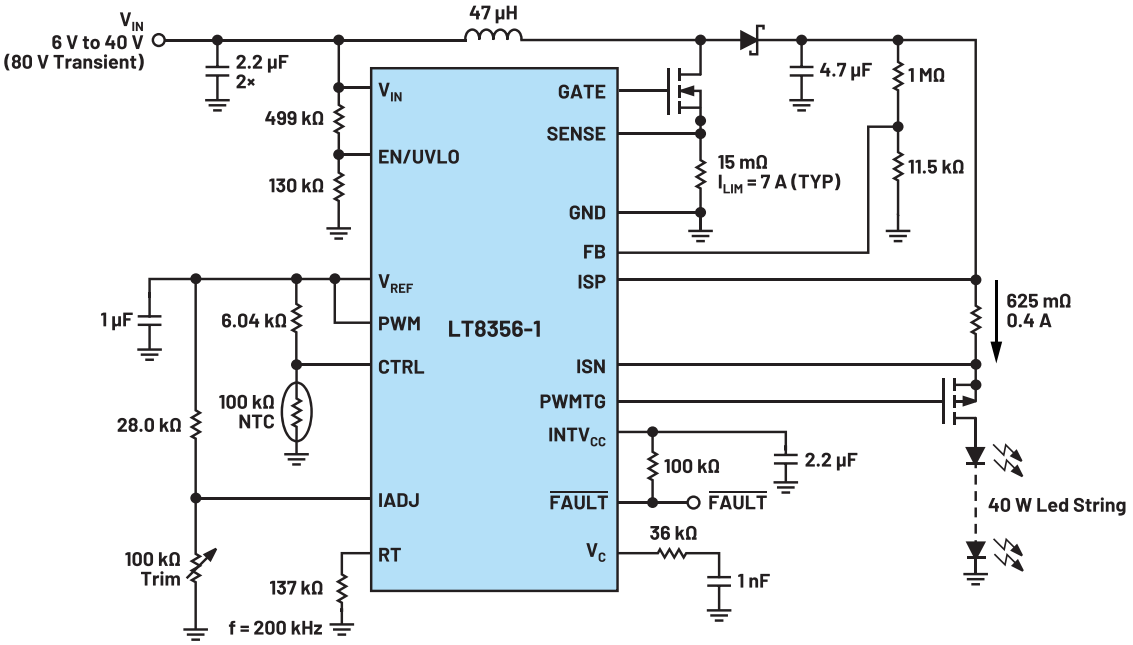
Zalety sterownika diod typu Buck	Kompromisy względem sterowników LED step-down	Aplikacje
Uziemione diody, powrót prądu przez masę	Napięcie wejściowe musi być wyższe niż napięcie LED	Światła drogowe, światła postojowe
Przełącznik macierzowy może zbocznikować cały łańcuch diod	Dodatkowy stabilizator wstępny typu Boost do podnoszenia napięcia, wymagany w większości aplikacji motoryzacyjnych	Sygnalizatory skrętu, animacje
Wyższe pasmo (>1/5 f_{sw})		Światła drogowe macierzowe
Lepsze parametry EMI		Systemy zabezpieczające przed zwarciem
Mniejsze indukcyjności potrzebne w systemie		

Tabela 2. Zalety i kompromisy wynikające z używania przetwornic Boost jako sterowników dla diod LED

Zalety stosowania sterownika diod typu Boost	Kompromisy względem sterowników LED step-up	Aplikacje
Powrót prądu przez karoserię pojazdu – na potencjale masy	Napięcie wejściowe musi być wyższe niż napięcie LED	Światła drogowe, światła postojowe
Zazwyczaj najmniejszy układ	Niższe pasmo (<1/20 f_{sw})	Wyświetlacze HUD
Dobre parametry EMI	Wyższy prąd indukcyjności	Podświetlenie kokpitu itp.
Bezpośrednie zasilanie diod LED z akumulatora	Nie można zewrzeć wyjścia do masy	



Rysunek 5. Schemat blokowy przetwornicy o topologii Boost-Buck



Rysunek 4. Przykład przetwornicy w topologii Boost na bazie kontrolera LT8356-1

eprasa.pl b0a5d4d3d1

aby sterownik LED pracował do 6 V, zapewniając duże współczynniki zwiększenia napięcia, aby diody LED pozostawały w takim wypadku włączone.

Na **rysunku 3** został pokazany schemat blokowy przetwornicy typu step-up. Na **rysunku 4** pokazano schemat przetwornicy na bazie układu LT8356. Tu również znajduje się klucz po stronie wysokiego napięcia w celu sterowania prądem diod połączonych szeregowo. W **tabeli 2** zestawiono podstawowe cechy rozwiązania tego typu.

Realizacja układu Boost-Buck za pomocą przetwornicy o topologii Boost

Niektóre sterowniki LED podwyższające napięcie (step-up lub boost) mogą być skonfigurowane tak, aby prąd katody LED był powrotem do zasilacza. Taka konfiguracja jest określana, jako **Boost-Buck** (**rysunek 5, rysunek 6**). Całkowite napięcie wyjściowe układu to wartość V_{IN} (V_{BAT}), która jest dodawana do całkowitego spadku

Tabels 3. Zalety i kompromisy wynikające z używania konwerterów Boost-Buck jako sterowników LED

Zalety stosowania sterownika diod typu Buck-Boost	Kompromisy wynikające ze stosowania sterownika diod typu Buck-Boost	Aplikacje
Przetwarzanie napięcia bezpośrednio z akumulatora	Niższa sprawność	Światła drogowe, światła postojowe
Napięcie diod LED może być wyższe lub niższe niż napięcie zasilania	Niższe pasmo (<1/20 f_{sw})	Kierunkowskazy
Dobre parametry EMI	Wyższy prąd indukcyjności	Światła dzienne
Można zewrzeć cały łańcuch diod	Nie można zewrzeć wyjścia do masy	Wiele łańcuchów diod na jednym wyjściu

Tabela 4. Zalety i kompromisy wynikające z używania konwerterów trybu Buck jako sterowników LED

Zalety stosowania sterownika diod typu Buck	Kompromisy wynikające ze stosowania sterownika diod typu Buck	Aplikacje
Dobre parametry EMI	Napięcie wejściowe musi być wyższe niż napięcie LED	Światła drogowe, światła postojowe
Można zewrzeć cały łańcuch diod	Dodatkowy stabilizator wstępny typu Boost do podnoszenia napięcia, wymagany w większości aplikacji motoryzacyjnych	Kierunkowskazy
Można stosować ten sam sterownik w wielu aplikacjach	Nie można zewrzeć wyjścia (katody LED) do masy	Światła dzienne

Tabela 5. Zalety i kompromisy wynikające z używania konwerterów Buck-Boost jako sterowników LED

Zalety stosowania sterownika diod typu Buck-Boost	Kompromisy wynikające ze stosowania sterownika diod typu Buck-Boost	Aplikacje
Najbardziej uniwersalna topologia	Minimalnie dwa klucze (tranzystory) i dwie diody w układzie	Światła drogowe, światła postojowe
Można zewrzeć cały łańcuch diod	Na ogół najniższa sprawność energetyczna	Kierunkowskazy
Można zastosować ten sam sterownik w wielu aplikacjach	Zazwyczaj najniższa (najgorsza) wydajność EMI	Światła dzienne
		Systemy odporne na zwarcie

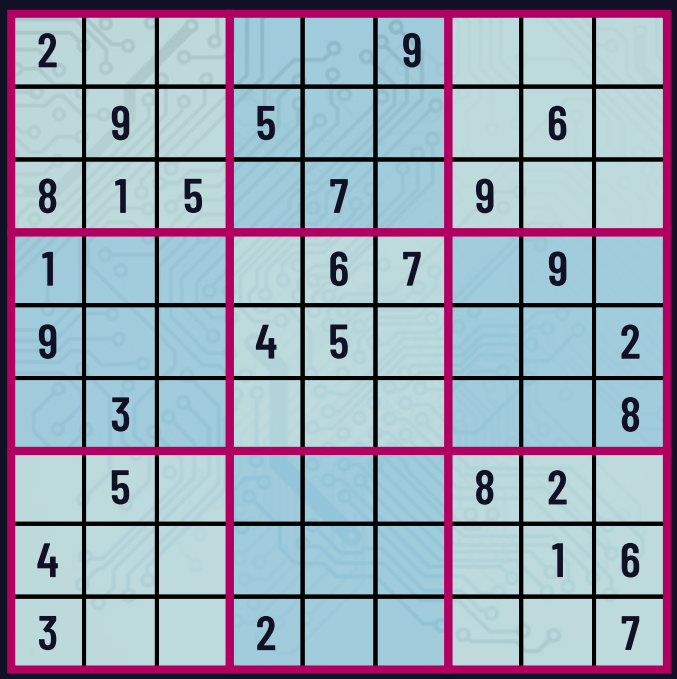
REKLAMA

TME Electronic Components

TRANSFER MULTISORT ELEKTRONIK

KUPUJ SZYBCIEJ NA tme.eu

YOU NEED IT, WE HAVE IT!



WOLNY CZAS
PRZEZNACZ NA ROZRYWKĘ

650 000+ PRODUKTÓW

230 000+ KLIENTÓW NA CAŁYM ŚWIECIE

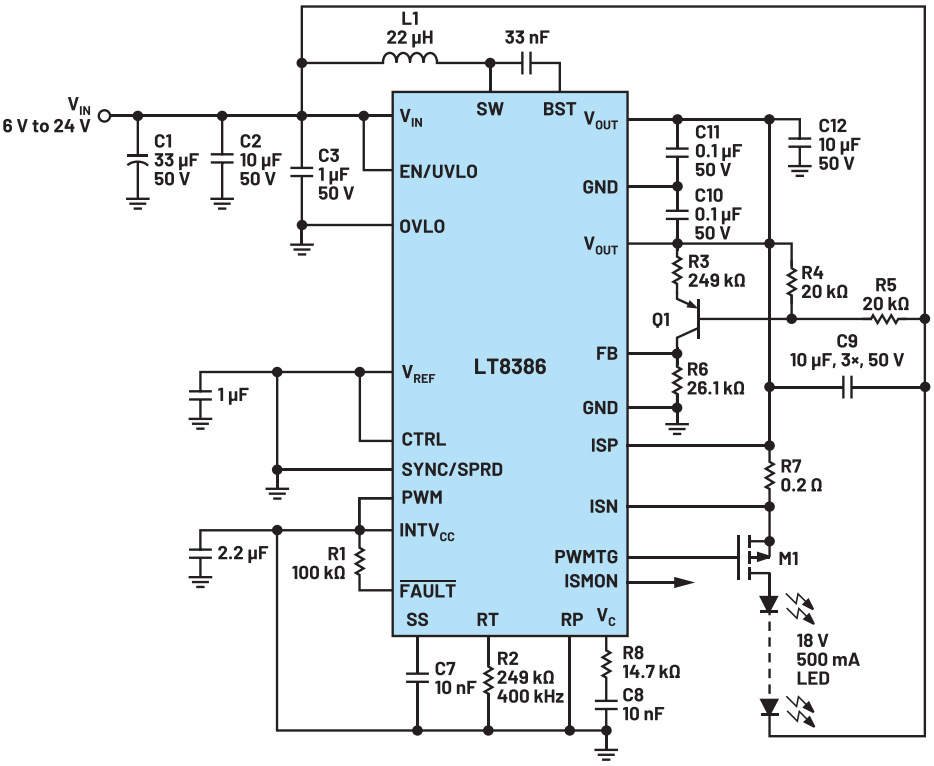
1 400 DOSTAWCÓW

Transfer Multisort Elektronik Sp. z o.o.
Łódź, Polska, dso@tme.pl

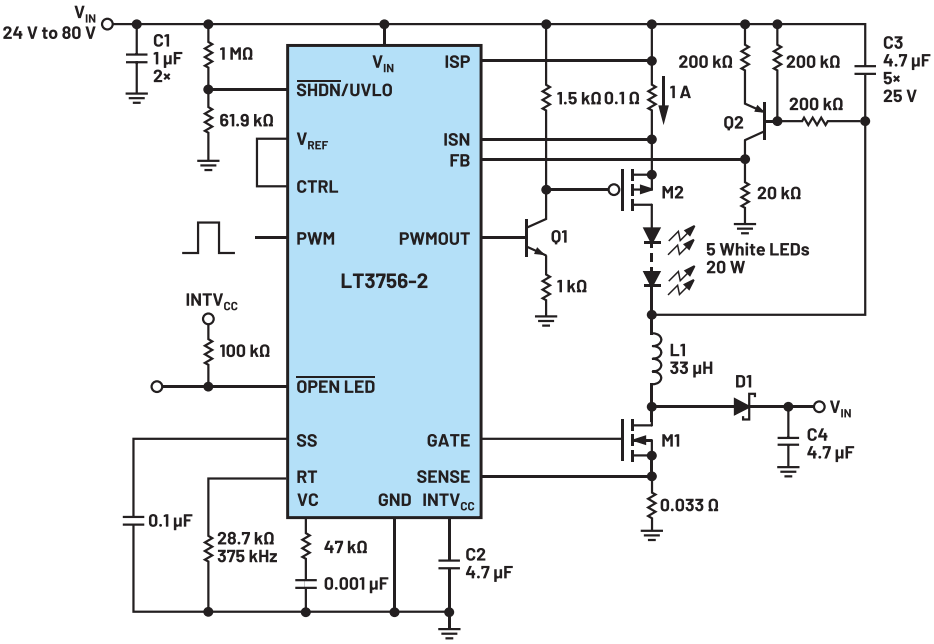
Dołącz do nas:

tme.eu tme.com

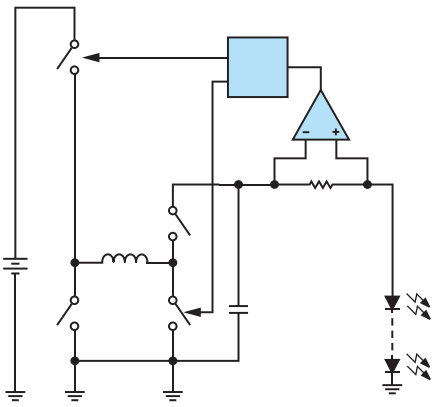
eprasa.pl b0a5d4d5



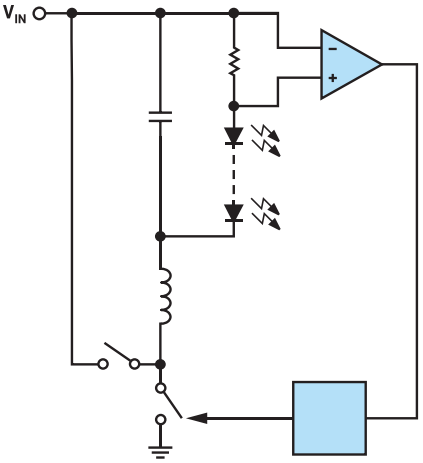
Rysunek 6. Przykładowa przetwornica typu Boost-Buck na bazie kontrolera LT8386



Rysunek 8. Przykład przetwornicy typu Buck opartej na układzie LT3756-2, przeznaczonym do przetwornic Boost



Rysunek 9. Schemat blokowy przetwornicy o topologii Buck-Boost



Rysunek 7. Schemat blokowy przetwornicy o topologii Buck z wyjściem bez odniesienia do masy

napięcia na łańcuchu diod elektroluminescencyjnych. Zaletą tej topologii jest możliwość sterowania ciągiem diod LED o napięciu pracy wyższym, niższym lub równym napięciu zasilania. Ograniczenia tej topologii są nakładane tylko przez samą przetwornicę – w dolnej części zakresu przez minimalne napięcie zasilania układu scalonego kontrolera, a w górnej części przez maksymalne napięcie wyjściowe scalonego kontrolera i/lub zastosowanych kluczy. W **tabeli 3** zestawiono podstawowe cechy rozwiązania tego typu.

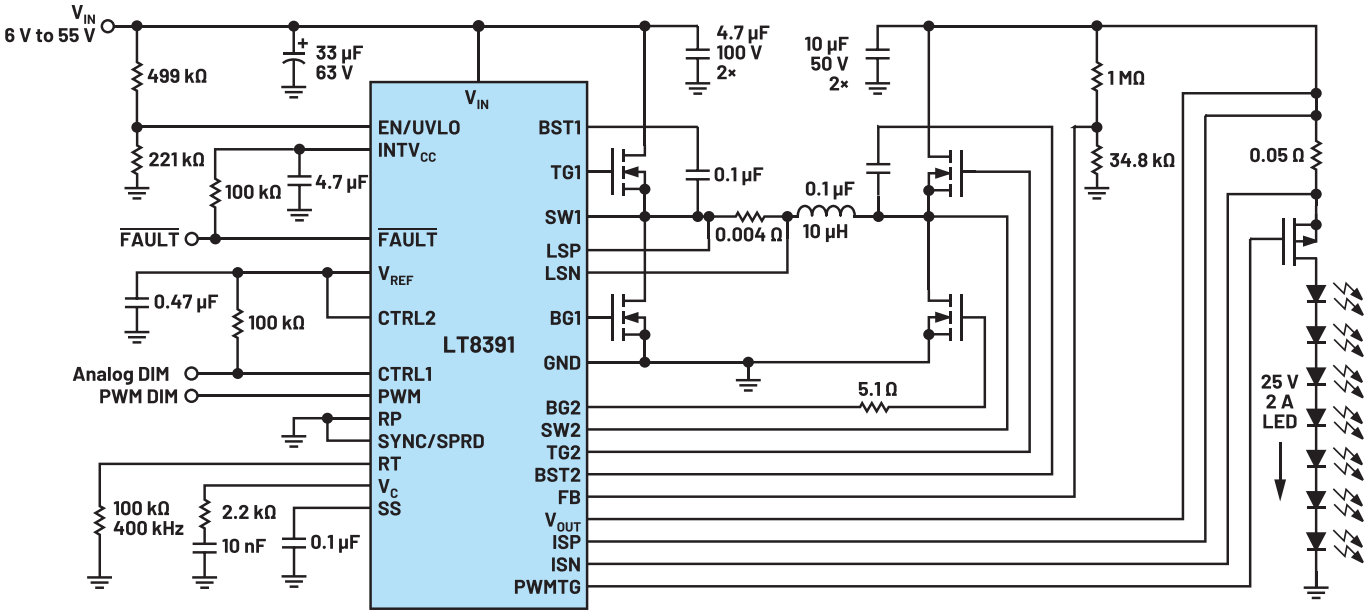
Realizacja pracy w trybie Buck przy użyciu przetwornicy typu boost

Niektóre sterowniki LED typu step-up (lub Boost) mogą być skonfigurowane do obniżania napięcia zasilania do zasilania diod (zamiast odniesienia do masy, jak w przypadku standardowej przetwornicy typu Buck), tworząc konfigurację trybu buck (**rysunek 7**, **rysunek 8**). Takie rozwiązanie ma takie same ograniczenia jak Buck, gdzie całkowity spadek napięcia na szeregowo połączonych LED musi być mniejszy niż napięcie zasilające na wejściu całego układu. W **tabeli 4** zestawiono podstawowe cechy rozwiązania tego typu.

Przetwornica typu Buck-Boost

Sterowniki LED typu Buck-Boost regulują prąd LED z zasilania, które jest wyższe lub niższe niż całkowity spadek napięcia na połączonych szeregowo diodach. Przetwornica ta steruje kluczem po stronie wysokiego napięcia, podłączonym do napięcia wejściowego w trybie obniżania napięcia i kluczem po stronie niskiej, tj. po stronie wyjściowej w trybie zwiększania napięcia – step-up (**rysunek 9**). Taka topologia jest najbardziej złożona ze wszystkich zaprezentowanych w artykule (**rysunek 10**), ale także najbardziej elastyczna. Zakresy napięć V_{IN} oraz V_{OUT} są ograniczone tylko przez układ scalony kontrolera. Jest to dobry wybór do zastosowań z macierzami diod elektroluminescencyjnych. W **tabeli 5** zestawiono podstawowe cechy rozwiązania tego typu.

eprasa.pl b0a5d4d3d1



Rysunek 10. Przykład przetwornicy typu Buck-Boost na scalonym kontrolerze LT8391

Podsumowanie

Samochodowe systemy oświetleniowe zawierające diody elektroluminescencyjne mogą być sterowane za pomocą stabilizatorów impulsowych skonstruowanych na wiele różnych sposobów. W zależności od zastosowania wybór topologii i konfiguracji układu umożliwia projektantowi systemu oświetlenia tworzenie kompletnych podsystemów dla różnych wymagań oświetleniowych w całym samochodzie. Wybór odpowiedniej topologii przetwornicy impulsowej mocy dla systemu pozwala zoptymalizować szereg kwestii, takich jak złożoność układu, sprawność energetyczna, poziom emitowanych zakłóceń elektromagnetycznych, jak i oferowane w systemie zabezpieczenia.

Nikodem Czechowski, EP

Bibliografia:

1. Joshua Caldwell „Automotive LED Driver Power Conversion Topology Guide", Analog Dialogue 56 (2022),
2. https://tiny.pl/cgpcq
3. https://tiny.pl/cgpcm

REKLAMA

Duża wydajność

Rozwiązania do zarządzania obciążeniami LED od 200 do 800W

Typ 22.32
Stycznik instalacyjny
25 A - 2 polowy
Dopuszczalne obciążenie
LED 200 W
Szerokość 17.5 mm

Typ 77.01.x.xxx.8050
Modułowy przekaźnik SSR
z wyjściem 5 A
Dopuszczalne obciążenie
LED 800 W
Duża prędkość załączania
Duża wytrzymałość
Szerokość 17.5 mm

Typ 78.2E
Przemysłowe zasilacze
impulsowe DC
Dopuszczalne obciążenie
LED do 1000 W
Wskazanie przeciążenia
Zestyk pomocniczy
Szerokość 60 mm

FINDER Polska Sp. z o.o.
ul. Logistyczna 27, 62-080 Sady
finder.pl@findernet.com

finder®
SWITCH TO THE FUTURE

findernet.com

Jakość oświetlenia zależy od jakości zasilania

Niezależnie od rodzaju, koloru, rozmiaru i mocy, oświetlenie LED wymaga zapewnienia precyzyjnych parametrów zasilania. W ofercie firmy Maritex dostępne są zarówno zaawansowane zasilacze, jak i specjalizowane układy sterowników diod LED – komponenty, które zagwarantują wydajną i bezawaryjną pracę każdej aplikacji.

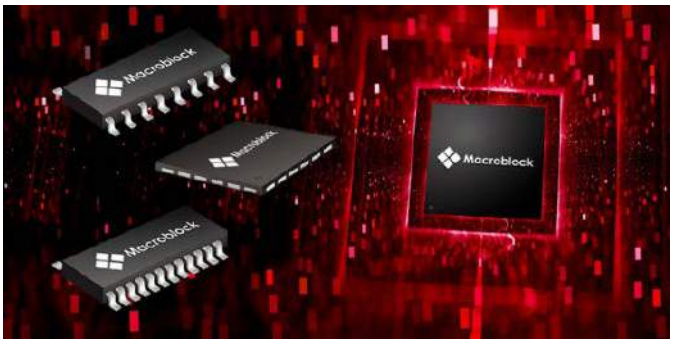
Mówiąc o jakości oświetlenia ledowego, najczęściej skupiamy się na ocenie emiterów światła. Tymczasem kluczową rolę dla wydajności i parametrów światła w technologii LED odgrywają zasilacze i sterowniki.

Zasilacze do oświetlenia LED

W ofercie firmy Maritex znajdują się zasilacze MEAN WELL serii XLG (**rysunek 1**) przystosowane zarówno do konfiguracji stałoprądowych, jak i stałonapięciowych. Dzięki temu mogą być stosowane z oprawami zawierającymi elementy LED połączone w pojedynczy łańcuch oraz będą odpowiednie do zasilania taśm LED, wymagających stałego napięcia 12, 24 lub 48 V. Zasilacze są też dostępne z funkcją cyfrowego sterowania DALI-2 i mogą być stosowane w inteligentnych systemach sterowania oświetleniem.

Seria XLG jest zgodna z najnowszymi normami bezpieczeństwa oraz ma izolowaną obudowę, która zapewnia szczelność na poziomie IP67. Urządzenia są wyposażone w układ aktywnej korekcji współczynnika mocy PFC, oferują szereg zabezpieczeń: OVP – *Over Votage Prot.*, SCP – *Short Circuit Prot.*, OCP – *Over Current Prot.*, OTP – *Over Temp. Prot.*, IOVP – *Input Over Voltage Prot.*, a także funkcje ściemniania 3 w 1: regulacja sygnałem napięciowym z zakresu 0...10 V, regulacja sygnałem PWM lub regulacja poprzez wartość dołączonej rezystancji.

Aby zapobiec problemom spowodowanym przez wysokie temperatury, MEAN WELL na nowo zdefiniował system ochrony przed przegrzaniem. W przypadku nadmiernego wzrostu temperatury sterownik automatycznie obniża moc do 75...50%, aby zapobiec całkowitemu wyłączeniu lub awarii.



Rysunek 2. Macroblock – jeden z wiodących na świecie dostawców układów scalonych sterowników LED

Sterowniki oświetlenia LED

Firma Maritex oferuje układy firmy Macroblock, jednego z wiodących na świecie dostawców układów scalonych sterowników LED (**rysunek 2**), które stosowane są w wyświetlaczach LED i ogólnych aplikacjach oświetleniowych. Dzięki ciągłym innowacjom i nieustannemu rozwojowi układów scalonych serii MBI50xx, MBI51xx, MBI66xx, MBI68xx, Macroblock jest liderem w odkrywaniu prawdziwego potencjału rynku LED. W ofercie producenta znajdują się układy do zastosowań w ekranach LED, oświetleniu Automotive, oświetleniu typu *backlight*, oświetleniu RGB, a także sterowniki do oświetlenia liniowego oraz konwertery DC/DC.

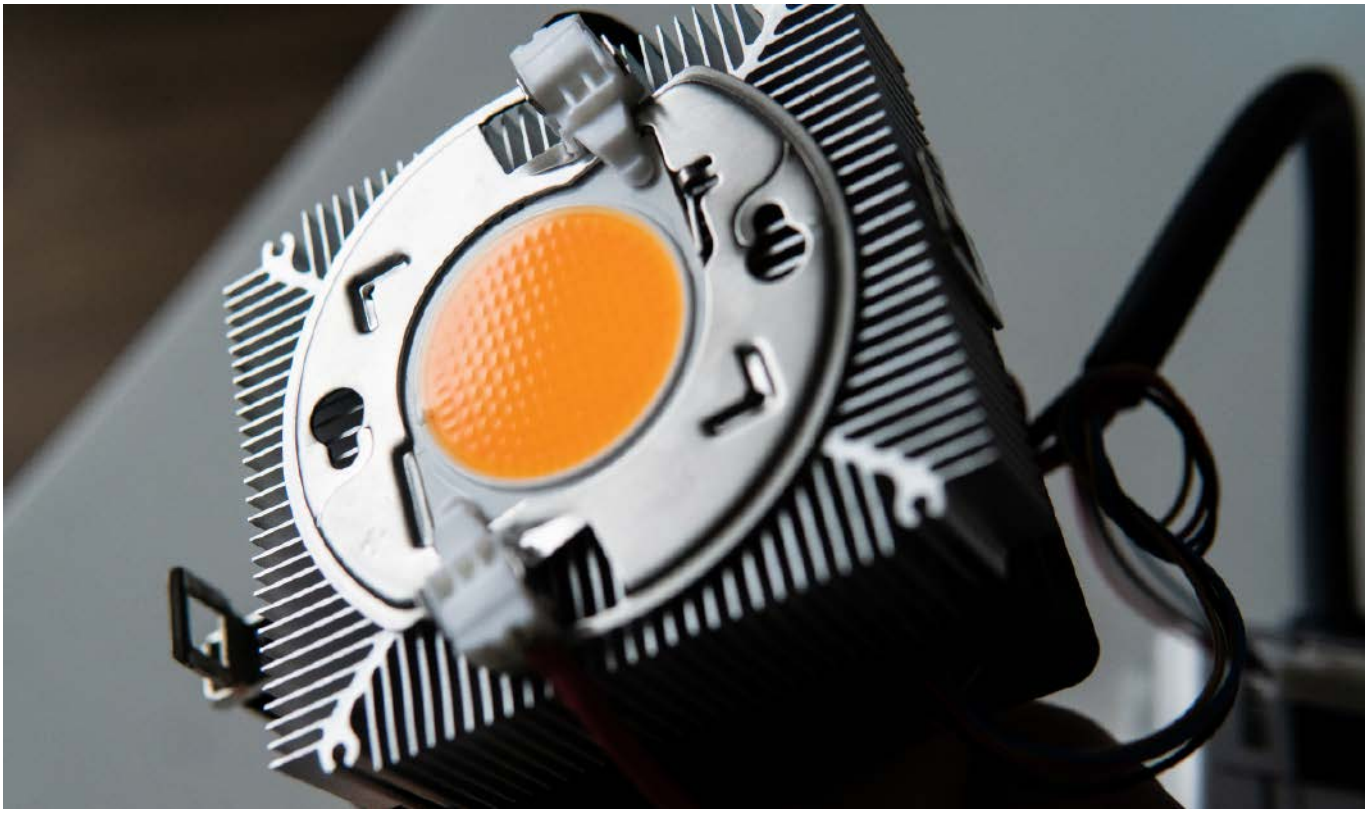
Podsumowanie

W ofercie firmy Maritex znajdują się zasilacze firm Mean Well, Eaglerise oraz wiele innych komponentów, dzięki którym można budować obwody zasilające oświetlenie LED.

www.maritex.com.pl

Rysunek 1. Zasilacze MEAN WELL serii XLG dostępne z funkcją cyfrowego sterowania DALI-2

eprasa.pl b0a5d4d3d1



Charakteryzowanie diod elektroluminescencyjnych za pomocą analizatora odpowiedzi częstotliwościowej i liniowego iniektora

Istnieje wiele parametrów elektrycznych diod LED, które są potrzebne np. do symulacji tych elementów w SPICE. W tym artykule skupimy się na pomiarze jednego z tych parametrów – rezystancji dynamicznej diody elektroluminescencyjnej.

Współcześnie diody LED dominują w przemyśle oświetleniowym, zastępując żarówki, świetlówki kompaktowe i żarówki halogenowe. Charakteryzują się znacznie wyższą sprawnością, pozwalając na oszczędzanie energii, a jako urządzenia półprzewodnikowe charakteryzują się znacznie wyższą niezawodnością niż klasyczne żarówki. Większość elementów LED jest zasilana przez sterowniki stałoprądowe w celu utrzymania równomiernego oświetlenia w rozmieszczeniu ciągłym źródeł, z dopasowaną intensywnością światła i temperaturą barwową. Stabilność pracy takiego impulsowego stabilizatora prądu uzależniona jest od dynamicznej impedancji diody LED. W artykule opisano metodykę pomiaru rezystancji dynamicznej diody LED.

W opisywanych poniżej pomiarach uwzględniono również pomiar pojemności diody LED spolaryzowanej w kierunku przewodzenia, ponieważ wpływa to na stabilność działania jej sterownika i może być ważne dla oceny poziomu generowanych zakłóceń elektromagnetycznych, szczególnie w przypadkach, gdy prąd diody LED jest modulowany z pomocą sygnału PWM (przebiegu o zmiennym wypełnieniu) w celu redukcji jasności diody.

Budowa diody LED

Dioda elektroluminescencyjna to półprzewodnikowe złącze P-N z napięciem przewodzenia typowo w zakresie od 2,5 V do 3 V. Wiele aplikacji zawiera całe macierze diod LED w konfiguracjach równoległych i/lub szeregowych. Ponadto diody LED można kupić jako gotowe moduły z wieloma złączami P-N z różnych materiałów, połączonych w konfiguracjach równoległych i/lub szeregowych. W artykule zignorowano układy macierzowe diod, traktując LED jak czarną skrzynkę, co oznacza, że jest ona charakteryzowana jako cały komponent – niezależnie od tego, czy składa się z pojedynczej diody LED,

eprasa.pl b0a5d4d3d1

czy z wielu diod LED. Podejście to może nie jest w 100% poprawne, jednak idealnie sprawdza się w praktyce projektowania i symulowania projektowanych urządzeń.

Przygotowanie testowanej diody

Pomiar parametrów elektrycznych diod LED wiąże się z dwoma wyzwaniami w porównaniu z innymi rodzajami pomiarów impedancji. Jednym z problemów jest to, że diody LED są bardzo jasne i w przypadkach takich jak diody laserowe mogą spowodować trwałe uszkodzenie oczu, nawet jeśli emitowane światło jest niewidoczne, gdy środki ostrożności nie są ściśle przestrzegane. Konieczne jest zachowanie ostrożności w czasie tego rodzaju pomiarów, szczególnie w przypadku diod laserowych i zwracanie uwagi na to, gdzie pada emitowane światło.

Drugim problemem jest to, że diody LED, zwłaszcza dużej mocy, intensywnie nagrzewają się podczas pracy. Oznacza to, że wymagane jest odprowadzanie ciepła z diody – chłodzenie elementu. Jednym z powodów bezpośredniego pomiaru impedancji dynamicznej (zamiast używania pochodnej krzywej napięcia w funkcji prądu) jest fakt, że impedancja jest mniej wrażliwa na samonagrzewanie niż mierzone napięcia DC, więc stabilizacja temperatury jest mniejszym problemem w przypadku tego rodzaju pomiarów.

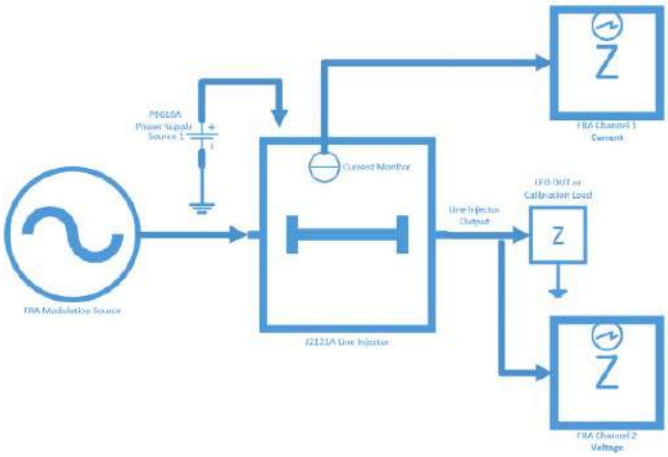
Jednym ze sposobów uzyskania impedancji dynamicznej diody LED jest dopasowanie krzywej do danych – napięcia i prądu dla napięcia stałego – do równania Shockleya, stosując pierwszą pochodną napięcia z równania Shockleya w odniesieniu do prądu diody LED, co daje w rezultacie rezystancję dynamiczną badanej diody. Można to zrobić, ale wymaga to dużo dosyć złożonych obliczeń, co sprawia, że to podejście jest żmudne.

Istnieją jeszcze dwa inne problemy, związane z bezpośrednim użyciem napięcia i prądu w omawianym pomiarze:

1. Napięcia będą dryfować wraz z samonagrzewaniem się diody. Bezpośredni pomiar rezystancji jest mniej wrażliwy na samonagrzewanie.
2. Metoda bezpośredniego pomiaru impedancji zapewnia nie tylko informacje o rezystancji, ale także o indukcyjności i pojemności diody.

Z powyższych powodów pomiar impedancji wprost jest o wiele efektywniejszy, szczególnie, że ostatecznie chcemy opracować ogólny model SPICE dla diody LED, który będzie działał z każdym symulatorem SPICE w szerokim zakresie warunków, nie tylko dla DC. Model SPICE będzie nadal pasował do równania Shockleya, nawet jeżeli zastosujemy metodę pomiaru bez dopasowywania pomiarów do tej zależności, ponieważ SPICE używa tego równania do reprezentowania złączy półprzewodnikowych.

Bezpośredni pomiar impedancji dostarczy dwóch kluczowych składników modelu SPICE, które razem pozwolą na przedstawienie



Rysunek 1. Schemat blokowy układu pomiarowego

impedancji LED jako funkcji prądu diody. Do modelowania napięcia stałego diody LED wymagane będzie jedno napięcie DC, a pomiar ten można przeprowadzić przy niskim prądzie, gdzie samonagrzewanie się struktury diody jest mniejszym problemem.

W konfiguracji przygotowanej do pomiaru układ zawiera wentylator chłodzący i cztery matryce LED zamontowane na aluminiowym radiatorze. Szklana rurka działa jak kanał powietrzny, rozprowadzając powietrze chłodzące nad diodami LED. W module, pokazanym na **fotografia 1**, wszystkie cztery moduły LED zostały odłączone od fabrycznego sterownika, a następnie do jednego z nich podłączone zostały krótkie przewody, które pozwolą na podłączenie macierzy diodowej do układu pomiarowego. Następnie cała szklana rurka, pokrywająca moduł, została zakryta szczelnie taśmą izolacyjną, aby jasne światło nie przeszkadzało w trakcie pomiaru – dzięki temu nie potrzebujemy ochrony oczu.

Konfiguracja do pomiaru oporu dynamicznego

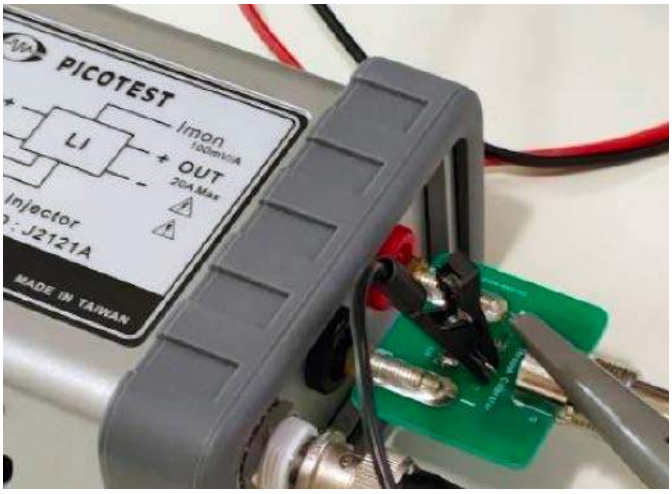
Celem pomiaru jest zmierzenie rezystancji dynamicznej diody LED przy różnych prądach roboczych. Dioda LED jest w trakcie pomiaru spolaryzowana prądem pracy, a następnie napięcie diody LED jest modulowane prądem zmiennym. Analizator odpowiedzi częstotliwościowej (FRA) służy do dostarczania sygnału modulacji podczas pomiaru napięcia modulacji na diodzie LED i prądu modulacji płynącego przez diodę LED. Dzieląc napięcie przez prąd, otrzymujemy rezystancję dynamiczną diody LED.

Do pomiaru zastosowano moduł Picotest J2121 A, który istotnie upraszcza zadanie, zapewniając izolowany pomiar prądu i modulowane wyjście. Zasilanie tego iniektora z zasilacza stałoprądowego, takiego jak P9610 A, pozwala na precyzyjną kontrolę prądu diody w czasie trwania pomiaru. Konfiguracja układu podczas pomiaru pokazana jest na schemacie, znajdującym się na **rysunku 1**.

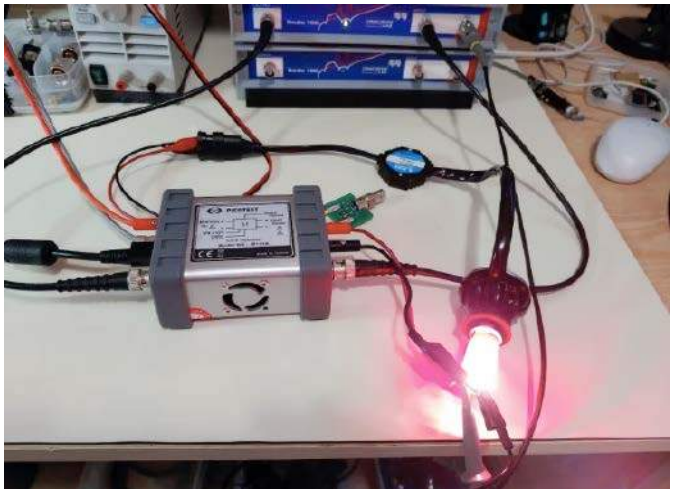
Fotografia 1. Otwarty układ do pomiaru z diodami LED. Zdemontowana została szklana rurka, odpowiedzialna za chłodzenie

Fotografia 2. Kalibracja systemu testowego

eprasa.pl b0a5d4d3d1



Fotografia 3. Zbliżenie połączeń kalibratora



Fotografia 4. Pomiar rezystancji dynamicznej diody LED

	Frequency	10m	20m	50m	100m	200m	500m	1	1.5
☑ Cursor 1	10 kHz	12.57 Ω	6.543 Ω	3.286 Ω	2.167 Ω	1.602 Ω	1.159 Ω	948.258 mΩ	865.659 mΩ
☑ Cursor 2	1 kHz	11.831 Ω	6.602 Ω	3.26 Ω	2.153 Ω	1.559 Ω	1.122 Ω	914.628 mΩ	825.361 mΩ

Rysunek 2. Część przykładowej tabeli z wynikami

Kalibracja systemu

Wiemy już, jak dokonać pomiaru, jednak, aby był on realnie przydatny i ścisły, trzeba skalibrować ustrój pomiarowy. W tym celu urządzenie Picotest J2121 A zawiera jednoomowy opornik kalibracyjny w wygodnym uchwycie. Zamiast niego oczywiście możliwe jest użycie dowolnego innego precyzyjnego opornika. Dla rezystora 1 Ω ustawiamy ograniczenie prądu zasilacza na 500 mA i podłączamy sondę napięciową do punktów pomiarowych kalibratora. Wykonujemy kalibrację THROUGH na FRA. Pozwoli to na odjęcie impedancji kabla od zmierzonych wartości. Konfiguracja układu do wykonania kalibracji jest pokazana na **fotografii 2**.

Na **fotografii 3** widzimy sposób podłączenia J2121 A do Bode 100 sterującego jednoomowym kalibratorem. Zasilanie stałoprądowe jest ustawione na 500 mA, a sonda napięciowa monitoruje napięcie

REKLAMA

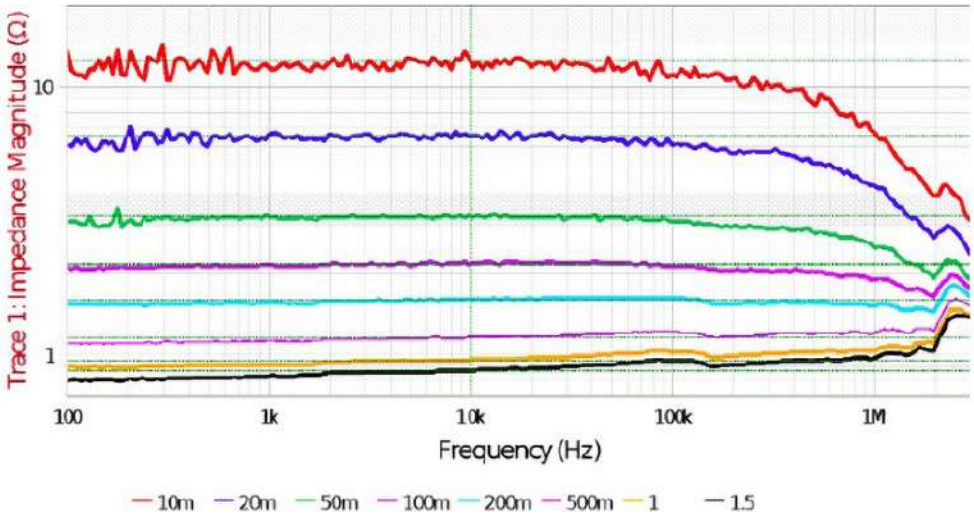
eprasa.pl b0a5d4d3d1

kalibratora. Widzimy również izolowane złącze monitora prądu podłączone do kanału CH1 Bode 100 oraz wtyki bananowe, które połączą diodę LED z J2121 A.

Przemiatanie częstotliwości

Po dokonaniu kalibracji układu opornik, służący do kalibracji, zastępowany jest badaną diodą. Pomiar ten pokazano na **fotografii 4**. Dzięki zasłonięciu diody taśmą nie jest ona nazbyt jasna i można przeprowadzić pomiar bez używania osłony wzroku czy dodatkowego zasłaniania diody. Drugi zasilacz, widoczny na zdjęciach, dostarcza zasilania dla wentylatora chłodzącego diodę.

Przemiatanie częstotliwości i pomiary rezystancji dynamicznej są zapisywane w pamięci wraz z prądem roboczym. Przemiatanie odbywa się w zakresie od 10 mA do 1,5 A. Rosnące nachylenie przy wyższych prądach polaryzacji, widoczne na czarnym wykresie, między 100 Hz a 100 kHz, może być spowodowane samonagrzewaniem się diody LED. Przy niskim prądzie dioda LED reprezentuje wysoką rezystancję, a sygnał jest większy. Wyniki pomiarów pokazano na **rysunkach 2 i 3**.



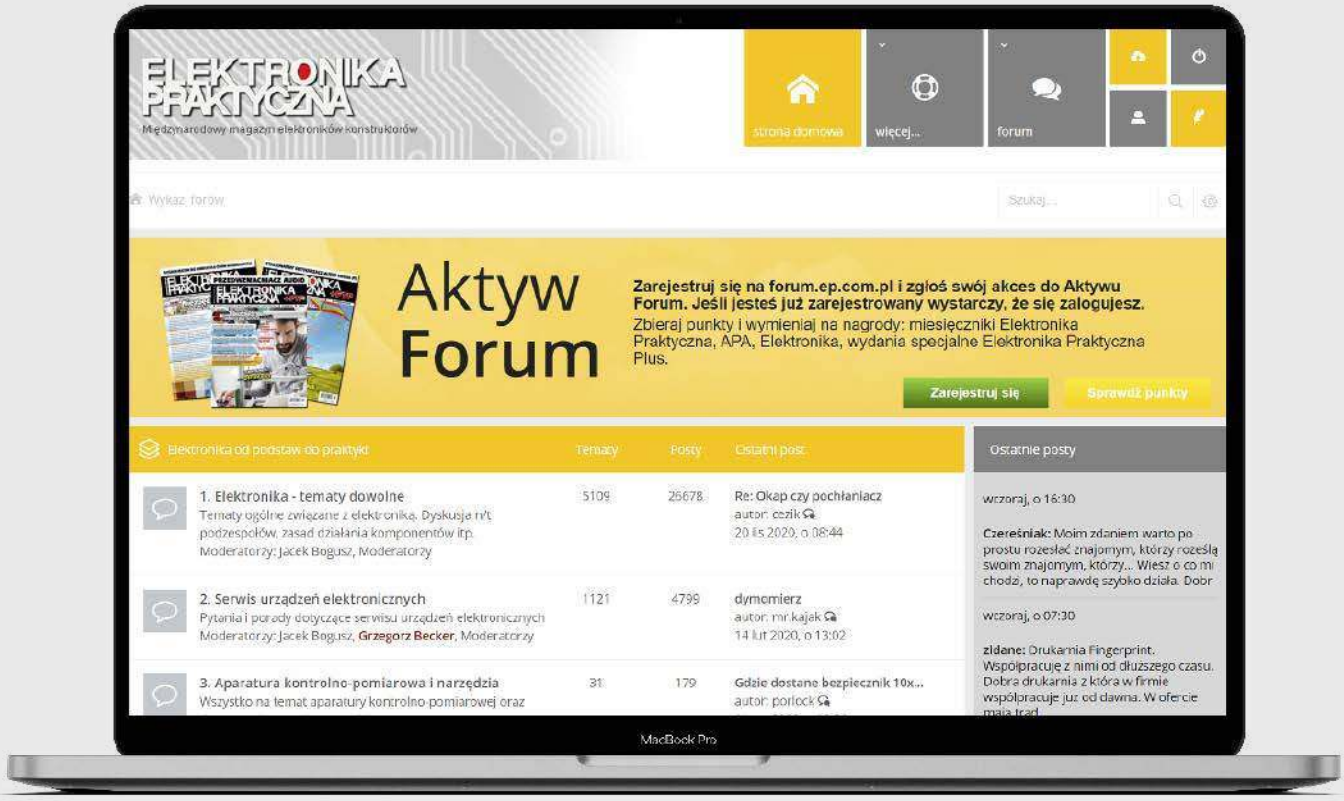
Rysunek 3. Wykres impedancji w funkcji częstotliwości dla różnych prądów od 10 mA do 1,5 A

Aby uzyskać dokładniejsze wyniki, od zmierzonych wartości powinniśmy odjąć rezystancję (i indukcyjność) krótkich przewodów łączących J2121 A z mierzoną macierzą LED. W pokazanej w tym artykule konfiguracji jest to około 20 mΩ.

Nikodem Czechowski, EP

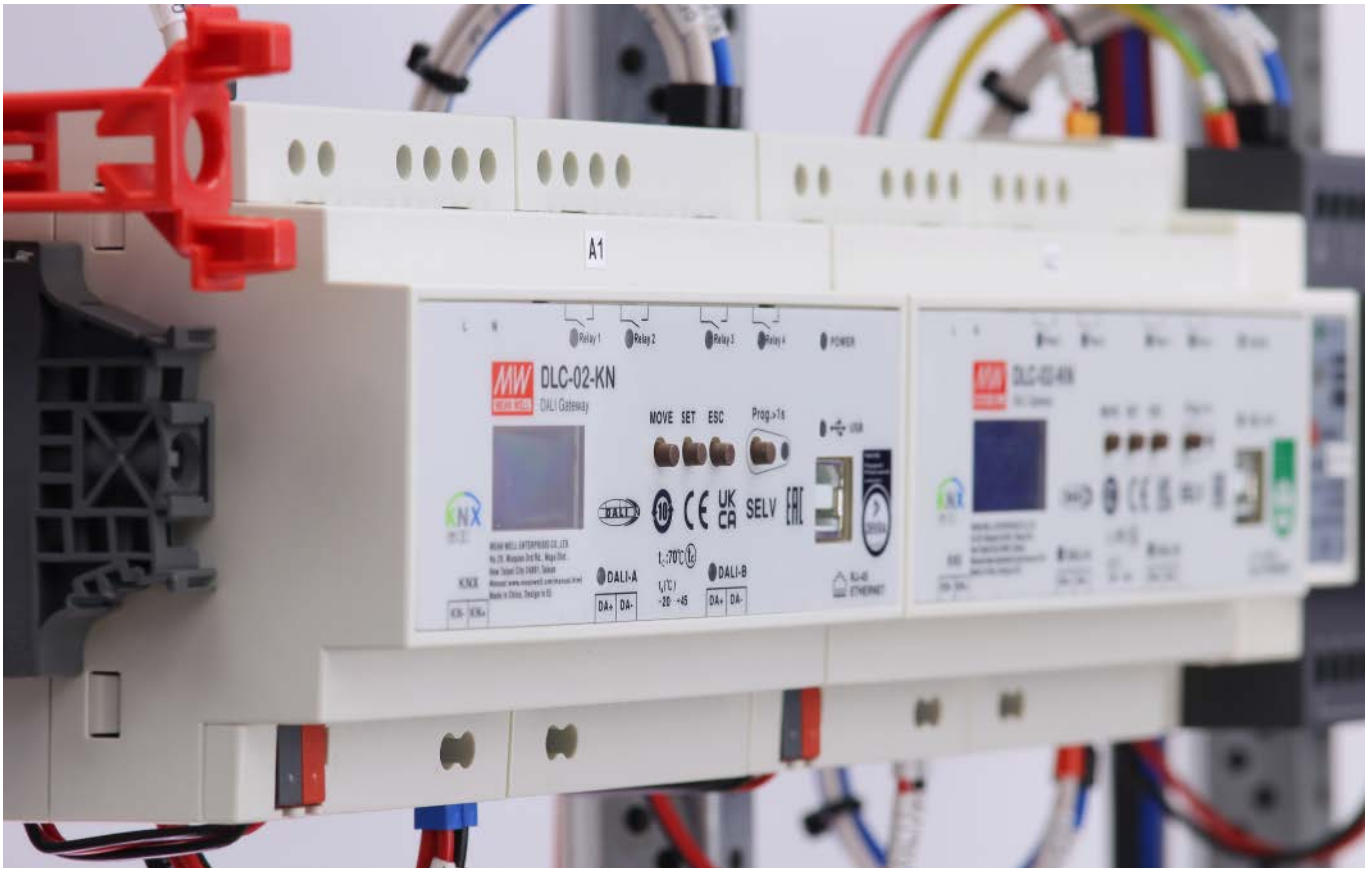
Źródło:
https://tiny.pl/cgpqx

REKLAMA



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

eprasa.pl b0a5d4d3d1



Przegląd metod regulacji jasności w zasilaczach LED MEAN WELL

MEAN WELL od ponad 40 lat dostarcza niezawodne zasilacze. Od samego początku ich konstrukcja wynika ze zmieniających się potrzeb klientów na całym świecie. Na przestrzeni dziesięcioleci rozwinęły się nie tylko topologie układów przekształtnikowych, które są bazą urządzeń zasilających, ale dokonała się też cyfryzacja wynikająca z idei IoT 4.0.

Metody analogowe, jeszcze kilka, kilkanaście lat temu szeroko stosowane i lubiane przez klientów powoli i nieubłagalnie odchodzą na bok. Wypierają je cyfrowe rozwiązania, komunikujące zasilacz ze sterownikiem. W zaprezentowanym artykule opisujemy metody regulacji jasności stosowane kiedyś i obecnie w zasilaczach MEAN WELL.

Rezystor

Najprostszym oraz zalecanym przez producenta rozwiązaniem do regulacji jasności świecenia diod LED jest dodatkowy potencjometr obrotowy 100 kΩ. Ta prosta i tania metoda jednak ma swoje ograniczenia. Jednym z nich jest równoczesne sterowanie kilkoma zasilaczami, wówczas wartość dobranego potencjometru powinna być obliczona zgodnie ze wzorem:

$$R_p = \frac{100000}{N}$$

gdzie:

- Rp – rezystancja potencjometru,
- N – liczba podłączonych zasilaczy.

Kolejną kwestią są względy estetyczne i praktyczne – potencjometry nie występują w zbyt wielu opcjach kolorystycznych i montażowych. Warto również wspomnieć, że stosując potencjometr, użytkownik nie ma możliwości całkowitego odłączenia zasilacza od sieci, co skutkuje niewielkim, ale ciągłym poborem mocy.

Sygnały napięciowe 0...10/1...10 VDC

Zasada działania tego sposobu regulacji jest bardzo prosta. Za pomocą stałego napięcia z zakresu 1...10 V możemy możemy regulować moc wyjściową – 100% mocy wyjściowej zasilacza uzyskujemy przy podłączeniu napięcia 10 VDC, 10% mocy w przypadku napięcia 1 VDC. Dla napięcia z zakresu 0...1 VDC producent nie zdefiniował mocy wyjściowej zasilacza. Oznacza to, że układ taki może ograniczyć prąd wyjściowy na tyle, że podłączone diody nie będą świeciły w ogóle lub będą świeciły nieznacznie.

Analogicznie wygląda sytuacja dla sygnału 0...10 VDC – możemy uzyskać 100% mocy wyjściowej, gdy podano napięcie 10 VDC,

eprasa.pl b0a5d4d3d1

Tabela 1. Sterowanie mocą wyjściową zasilaczy za pomocą sygnałów napięciowych 0...10/1...10 VDC

	Max. moc wyjściowa [%]	Min. moc wyjściowa [%]	Moc wyjściowa, gdy napięcie < 0,57 V	Moc wyjściowa, gdy przewody sterujące są zwarte
1...10 VDC	100	10	Nie zdefiniowano	Nie zdefiniowano
0...10 VDC	100	5,7	0	0

Fotografia 1. Zasilacz PWM-120-24 z regulacją mocy wyjściowej m.in. poprzez sygnał PWM

10% – dla 1 VDC oraz, dodatkowo, jeśli podłączono napięcie poniżej 0,57 V moc wyjściowa spadnie do zera. Będzie to oznaczało całkowite przygaszenie diod LED. Opisane zależności zestawiono w **tabeli 1**.

Sygnał PWM

Metoda *Pulse Width Modulation* umożliwia sterowanie mocą wyjściową zasilacza przy użyciu innego sterownika/regulatora elektronicznego wyposażonego w wyjście impulsowe PWM. Taką funkcjonalność oferuje np. MEAN WELL PWM-120 (**fotografia 1**). Należy pamiętać o dwóch podstawowych kryteriach, które muszą być spełnione. Pierwszym z nich jest częstotliwość sygnału napięciowego – w przypadku zasilaczy MEAN WELL powinna się ona zawierać w przedziale od 100 Hz do maksymalnie 3 kHz. Kolejną kwestią jest amplituda wynosząca 10 VDC.

Konieczne jest również rozróżnienie dwóch kwestii – czym innym jest sterowanie zasilaczem za pomocą sygnału PWM, a zupełnie czymś innym jest zasilacz z wyjściem typu PWM. Niestety dosyć często klienci błędnie łączą oba te pojęcia. Zasilacz z wyjściem typu PWM ma przebieg prostokątny na wyjściu. W związku z tym ma inne właściwości – np. do urządzenia o mocy maksymalnej 100 W możemy dostarczyć moc z zakresu 1...100 W, a efekt ściemniania nadal będzie płynny w całym zakresie regulacji. Niestety nie jest to takie łatwe w przypadku zasilaczy z regulacją prądu na wyjściu (wersje „B", „AB").

Push Dimming

Ściemnianie tą metodą polega na zastosowaniu dodatkowego przewodu sterującego oraz wyłącznika dzwonkowego. Krótkie wciśnięcie przycisku powoduje włączenie lub wyłączenie. Dłuższe natomiast rozjaśnienie lub ściemnienie. W przypadku stosowania tego typu rozwiązań konieczne jest wcześniejsze przygotowanie projektu instalacji oświetleniowej tak, aby uwzględniała ona konieczność zastosowania dodatkowego przewodu. Zasada działania jak i sama instalacja jest bardzo prosta. Przykładowe modele MEAN WELL obsługujące ten sposób regulacji to m.in.:

- PWM-200DA2,
- DAP-04,
- LCM-20DA,
- LCM-40DA (**fotografia 2**).

Nacinanie fazy

Rozwiązanie to było dawniej bardzo popularne i dość szeroko stosowane, szczególnie gdy w użyciu znajdowały się tradycyjne żarówki z włóknem wolframowym. Ściemnianie za pomocą układu z triakiem działa na zasadzie sterowania fazowego, w którym moc dostarczana do obciążenia jest regulowana poprzez zmianę kąta nacięcia sinusoidy.

Aby zapewnić płynne i wydajne ściemnianie, rozwiązania bazujące na triaku są wyposażone w układ wykrywania przejścia przez zero – momentu, gdy sinusoida napięcia przecina tę wartość. Pozwala to na precyzyjną kontrolę załączenia triaka. W ten sposób możemy regulować wartość średnią napięcia za okres, a w rezultacie (przy obciążeniu rezystancyjnym) wartość mocy – jasność źródła światła.

Z biegiem lat i upowszechnieniem się technologii LED to rozwiązanie powoli zaczęło tracić na popularności. Podstawowy powód to współpraca głównie z wysoce energochłonnymi obciążeniami rezystancyjnymi. W ofercie MEAN WELL jedyną serią oferującą możliwość współpracy z tego rodzaju ściemniaczami jest PCD.

KNX

Te systemy cieszą się niesłabnącym zainteresowaniem zarówno w przypadku budynków biurowych, użyteczności publicznej, jak i prywatnych domów oraz mieszkań. Popularność ta jest spowodowana m.in. otwartością standardu. Na rynku dostępne są urządzenia ponad 500 różnych producentów oraz niemal 1400 certyfikowanych firm instalatorskich. Kupując system KNX, klient ma pewność, że jego instalacja będzie wspierana przez lata, a każdy element, w razie awarii, będzie mógł zastąpić urządzeniem od innego producenta.

MEAN WELL ma w swoim portfolio gamę produktów KNX interesujących zarówno z punktu widzenia instalatora, jak i inwestora planującego zakup systemu. W ofercie możemy znaleźć m.in: zasilacze magistrali KNX, aktuatory czy też zasilacze LED KNX. Najciekawszą propozycją producenta w zakresie automatyki budynkowej są zasilacze LED ze zintegrowanym protokołem KNX. W ofercie dostępne są:

- zasilacze stałonapięciowe serii PWM (PWM-60, PWM-120, PWM-200),
- zasilacze stałoprądowe LCM (LCM-25KN, LCM-40KN, LCM-60KN).

Dzięki połączeniu zasilacza bezpośrednio z magistralą KNX możliwe jest pominięcie np. ściemniającego aktuatora lub bramki KNX-DALI. Użytkownik oszczędza w ten sposób czas na konfiguracji zbędnego elementu oraz pieniądze, a system nie traci na funkcjonalności.

Zasilacze LED KNX mają takie same możliwości konfiguracyjne jak ściemniany aktuator KNX. Seria MEAN WELL PWM jest przeznaczona w szczególności do pasków LED. Dzięki sygnałowi PWM na wyjściu urządzenie zapewnia stałą barwę oraz pełną skalę regulacji natężenia niezależnie od wartości podłączonego obciążenia.

Fotografia 2. Zasilacz LCM-40DA z interfejsem DALI

eprasa.pl b0a5d4d3d1

DALI/DALI2

Obecnie jest to standard szeroko stosowany w miejscach takich, jak centra handlowe, hotele, lotniska, stacje metra, wille czy też instalacje drogowe. W rzeczywistych zastosowaniach inżynierskich, w porównaniu z innymi protokołami oświetleniowymi czy systemami analogowymi, DALI dysponuje kilkoma ważnymi zaletami. Po pierwsze – warstwa fizyczna tj. okablowanie może przyjąć dowolną strukturę topologiczną (sieć, gwiazda, drzewo, linia) z wyjątkiem pętli. Pozwala to na zastosowanie podobnego przewodu do zasilania podłączonych urządzeń oraz jako linii sygnałowej. Dzięki temu jest ona prosta w instalacji, rozbudowie, jak i późniejszej eksploatacji czy też wykrywaniu błędów. Przewód wymaga 2 żył najczęściej o przekroju 0,1...1,5 mm², w zależności od wymaganej długości magistrali:

- 0,1 mm² – max. długość to 31 m, i odpowiednio:
- 0,5 mm² – 112 m,
- 0,75 mm² – 168 m,
- 1 mm² – 224 m,
- 1,5 mm² – 300 m.

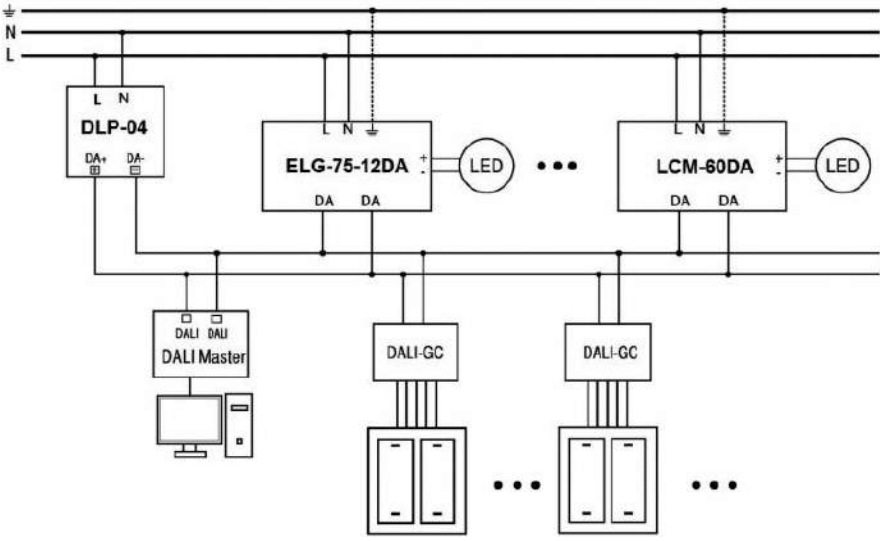
Kolejną z istotnych zalet jest niewątpliwa elastyczność systemu. Pozwala m.in. na tworzenie bardzo złożonych systemów z setkami urządzeń wykonawczych, jak i bardzo prostych, złożonych zaledwie z kilku zasilaczy i sterowników (fotografia 2). Dzięki takiemu rozwiązaniu możliwe jest stosowanie magistrali DALI, zarówno przy niewielkich inwestycjach konsumenckich, jak i dużych inwestycjach typu stadion czy hotel.

Technicznie magistrala DALI pozwala obsłużyć do 64 adresów, 16 grup oraz 16 scen. Oczywiście liczby te można odpowiednio zwiększyć, stosując inne specjalizowane rozwiązania. Napięcie magistrali powinno mieścić się w zakresie około 12...20,5 VDC, z zastrzeżeniem, że typowo powinno mieć wartość około 16 VDC, przy wydajności prądowej zasilacza na poziomie przynajmniej 240 mA. Chociaż obecnie oferowane zasilacze tej magistrali mogą pracować ze znacznie wyższą wydajnością prądową i mogą obsłużyć bardzo złożone systemy (np. KNX-20E-640, lub KNX-40E-1280).

Przy instalacji systemu warto sprawdzić, czy spadek napięcia w najodleglejszym punkcie linii nie przekracza 2 VDC względem zasilania, tak by uniknąć ewentualnych błędów. Co prawda prędkość transmisji 1200 bps może nie jest najwyższa, jednak do celów oświetleniowych wystarczająca.

Wśród licznych zalet możemy również wyróżnić kompatybilność wsteczną – tj. urządzenia zgodnie z DALI mogą również pracować w standardzie DALI-2 i na odwrót.

Przykładowy system bazujący na magistrali DALI pokazano na **rysunku 1**.



Rysunek 1. Przykładowy system bazujący na magistrali DALI

Fotografia 3. Zasilacz programowalny ELG-75-C350D2

Inne rozwiązania

W ofercie MEAN WELL możemy również znaleźć kilka dość specyficznych, nieco mniej popularnych opcji sterowania. Jedną z nich jest m.in. programator czasowy związany z modelami w wersji D2 czy wersje korzystające z Bluetooth (Casambi). Modele w wersji D2 wyposażone są w dodatkową parę przewodów umożliwiających rekonfigurację parametrów pracy zasilacza. Zasilacze programowalne ELG-C-D2 (**fotografia 3**) po podłączaniu programatora SDP-001 i uruchomieniu oprogramowania konfiguracyjnego umożliwiają regulację prądu wyjściowego w zakresie 10...100% wartości znamionowej zasilacza. Jest to szczególnie przydatne w przypadku niestandardowych wartości prądu wymaganego przez dołączony moduł LED.

Kolejną dostępną funkcją jest kompensacja spadku wartości strumienia świetlnego diod LED w trakcie ich cyklu życia (*Constant Light Output* – CLO). Zapobiega to widocznej dla użytkownika różnicy w jasności oświetlenia w miarę upływu czasu. Oprogramowanie pozwala także na zdefiniowanie tzw. profili ściemniania, w których można dokonywać regulacji:

- poziomu oświetlenia,
- godziny załączenia,
- czasu trwania.

Dodatkowo producent przewidział możliwość regulacji czasu przejścia między zadanymi poziomami oświetlenia (*Fade Time*) oraz opcję powiadamiania użytkownika o zbliżającym się upływie czasu życia diod LED (*Lifetime*).

Podsumowanie

Na przestrzeni lat MEAN WELL nieustannie rozszerza możliwości swoich zasilaczy, dostosowując je do coraz bardziej zmieniającego się rynku klienta. Natomiast sam rynek nieuchronnie przechodzi małą rewolucję – z epoki analogowej do coraz bardziej powszechnie stosowanej techniki cyfrowej. Ma to związek z coraz większą cyfryzacją otaczających nas urządzeń i dążeniem klientów do zdalnej kontroli urządzeń znajdujących się w domu. Zadanie to staje się o wiele prostsze i łatwiejsze do implementacji z nowoczesnymi sterownikami. Zwłaszcza jeśli zastosujemy zasilacze z wbudowanymi modułami komunikacyjnymi np. DALI czy KNX. Należałoby zatem przypuszczać, że na przestrzeni najbliższych lat wzrośnie w naszym kraju potrzeba dostarczania tego typu rozwiązań. Zasilacze MEAN WELL można znaleźć w ofercie autoryzowanego dystrybutora tej marki, firmy Elmark Automatyka.

Robert Augustynowicz
Elmark Automatyka S.A
robert.augustynowicz@elmark.com.pl

eprasa.pl b0a5d4d3d1

Sterowanie oświetleniem LED

W ostatnich latach technologia LED stała się popularną w dziedzinie oświetlenia, ze względu na swoją efektywność energetyczną oraz trwałość. Gdy porównamy cenę zakupu oświetlenia LED, w stosunku do standardowych żarówek czy też energooszczędnych, to zauważymy znaczną różnicę w poniesionych kosztach na korzyść nowej technologii. Dodatkowo, oświetlenie LED potrafi zachować swoją sprawność przez długi czas nawet do kilkunastu lat, co jest imponującym wynikiem.

Regulowanie intensywności oświetlenia – korzyści

Niewątpliwą zaletą oświetlenia LED jest możliwość sterowania intensywnością tego źródła światła, czyli realizowanie funkcji tzw. ściemniania. Zastosowanie światła o zmienianym natężeniu w znacznym stopniu podnosi energooszczędność oświetlenia LED, które i tak już jest pod tym względem konkurencyjne. Przy większej liczbie opraw daje to wymierne oszczędności w budżecie.

W biurze, gdzie pracujemy lub w mieszkaniu, do którego wracamy, aby odpocząć, daje to możliwość uzyskania spersonalizowanego oświetlenia, zgodnego z preferencjami użytkownika. Oświetlenie może być dostosowane do pory dnia, a także do nastroju, jaki chcemy uzyskać w pomieszczeniu – może to być atmosfera spokoju i wyciszenia lub jaśniejsze światło, które wspomoże w pracy lub w treningu. Regulacja oświetlenia pomaga również dostosować poziom jasności do panujących warunków na zewnątrz, np. w słoneczne dni możemy mieć potrzebę, aby tylko delikatnie doświetlić wnętrze biura.

Zmniejszenie mocy, z jaką pracuje oświetlenie, ma jeszcze jedną zaletę. Przekłada się na mniejsze obciążenie termiczne oraz elektryczne elementów i efektywnie wpływa na zwiększenie żywotności opraw.

Prosty układ do regulacji oświetlenia

Łatwym sposobem na regulowanie intensywności oświetlenia jest zastosowanie gotowych ściemniaczy oświetlenia Finder serii 15.81 – **fotografia 1**. Do sterowania urządzeniem potrzebny jest zwykły włącznik monostabilny, tzw. dzwonkowy. Po krótkotrwałym przyciśnięciu spowoduje załączenie oświetlenia, a po naciśnięciu przez dłuższy czas będzie ściemniał lub rozjaśniał źródło światła. Możemy sterować oświetleniem LED o mocy do 100 W, a regulowanie jasnością odbywa się w sposób liniowy. Dostępne są dwa tryby pracy – sterowanie z pamięcią ostatniej wartości poziomu oświetlenia oraz bez. Daje to jeszcze większą możliwość spersonalizowania urządzenia i zwiększa komfort obsługi.

Fotografia 1. Ściemniacz oświetlenia Finder 15.81

Urządzenie jest przystosowane do montażu na szynie DIN.

Nie zawsze możemy zastosować kolejną aparaturę w rozdzielni ze względu na brak miejsca lub brak bezpośredniego podłączenia przewodów. W takim przypadku sprawdzi się moduł Finder serii 15.91 – **fotografia 2**, który może być montowany w puszce instalacyjnej. Pozwala na wysterowanie opraw LED o mocy do 50 W, realizuje ściemnianie liniowe i jest zamknięty w kompaktowej obudowie.

Fotografia 2. Ściemniacz w kompaktowej obudowie – Finder 15.91

Sterowanie wieloma oprawami

W wielu aranżacjach oświetlenie LED nie jest głównym źródłem światła. Są osoby, dla których temperatura barwowa opraw LED jest drażniąca i nie potrafią kilka godzin pracować przy takim oświetleniu, natomiast akceptują ten rodzaj oświetlenia jako dodatkowe źródło światła. Wtedy do dyspozycji mamy urządzenia Finder serii 15.10 (Master) – **fotografia 3** oraz 15.11 (Slave) – **fotografia 4**.

System bazujący na strukturze Master + Slave pozwala regulować różne rodzaje opraw jednocześnie. Moduł Master 15.10 odpowiada za odbieranie sygnału z włącznika ściennego monostabilnego (dzwonkowego), w przypadku przyciśnięcia włącza i wyłącza oświetlenie, a w przypadku przytrzymania rozjaśnia lub ściemnia oświetlenie. Master jest również odpowiedzialny za komunikację z urządzeniami 15.11, czyli Slave, do których wysyła sygnał standardu 0–10 V lub

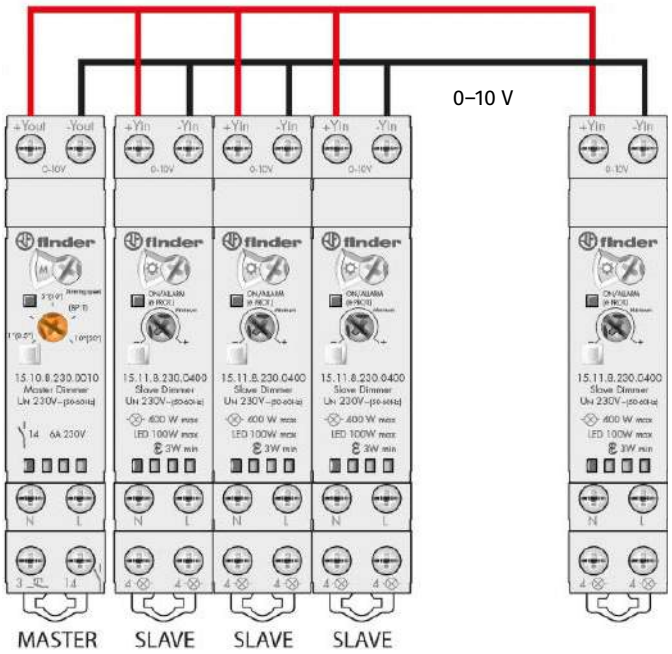
Fotografia 3. Moduł Master Finder 15.10, który odpowiada za odbieranie sygnału z włącznika

eprasa.pl b0a5d4d3d1

1–10 V. Maksymalnie możemy dołączyć do 32 urządzeń Slave. Oczywiście sygnał w standardzie 0–10 V jest uniwersalny, więc równie dobrze może być używany do sterowania statecznika lub innego urządzenia, które obsługuje ten rodzaj sterowania.

Każdy moduł Slave odpowiada za sterowanie oprawami świetlnymi. Istotną zaletą jest to, że każde z tych urządzeń może obsługiwać inny typ oświetlenia. Jeden ściemnia oprawy LED, które są oświetleniem dodatkowym – nastrojowym, a drugi ściemnia główne oświetlenie, którym mogą być lampy halogenowe. Sposób połączenia urządzenia Master i kilku urządzeń Slave pokazuje **rysunek 1**.

Fotografia 4. Moduł Slave – Finder 15.11, który jest sterowany z modułu Master



Rysunek 1. Sposób połączenia urządzenia Master z urządzeniami Slave

Oświetlenie ze sterowaniem czasowym

Oświetlenie w ogrodzie, oświetlenie wokół biurowca lub oświetlenie witryny sklepowej wymaga zupełnie innych rozwiązań niż dotychczas opisane. Potrzebny jest zegar sterujący astronomiczny, dzięki któremu można wysterować oświetlenie z różnym natężeniem o odpowiedniej porze dnia.

Działanie takiego systemu opiszemy na przykładzie witryny sklepowej. Przy użyciu funkcji astronomicznej witryna sklepu rozświetli się w pełni o zachodzie słońca. Ruch po godzinie 24.00 jest mniejszy, dlatego oświetlenie witryny zostaje zmniejszone do 20%, aby zwiększyć energooszczędność, następnie o godzinie 5.00 znowu zostaje uruchomione na 100%. Taki schemat sterowania oświetleniem sprawdzi się także w ogrodzie.

Uzyskanie opisanego efektu umożliwiają urządzenia Finder serii 12.A4 – **fotografia 5**. Jest to zegar astronomiczny, w którym również można zaimplementować sterowanie z uwzględnieniem dni tygodnia, a na wyjściu do dyspozycji jest sygnał 0–10 V lub PWM, dzięki czemu mamy możliwość sterowania oprawami LED lub innymi źródłami światła. Idealnym połączeniem jest również moduł 15.11 Slave, opisany wcześniej, ponieważ może odbierać sygnał 0–10 V i wysterować oprawy.

Urządzenia Finder serii 12.A4 realizują rozbudowane sterowanie czasowe, a ich konfigurowanie jest bardzo proste. Aby określić lokalizację, która jest wymagana do obliczenia wartości wschodów i zachodów słońca, wpisujemy kod pocztowy miejscowości instalacji zegara. Programowanie odbywa się za pomocą intuicyjnej aplikacji w telefonie przy użyciu NFC lub za pomocą miniaturowego joysticka na panelu urządzenia. Użytkownik ma do dyspozycji 50 programów, co daje dużą swobodę w budowaniu schematów oświetlenia.

Fotografia 5. Urządzenia Finder 12.A4, które realizuje rozbudowane sterowanie czasowe

Podsumowanie

Przy zastosowaniu wyspecjalizowanych urządzeń można w prosty sposób zrealizować sterowanie natężeniem oświetlenia LED w pomieszczeniach czy też na zewnątrz budynku. Ma to przede wszystkim uzasadnienie ekonomiczne – energooszczędność budynków oraz zwiększenie żywotności opraw (pamiętajmy przy tym, że wymiana wiąże się nie tylko z kosztem opraw, ale również pracą włożoną w jej wymianę). Równie istotne dla użytkownika są także aspekty estetyczne – półmrok, gdy oglądamy nasz ulubiony film z kubkiem czekolady lub sterowanie oświetleniem w biurowcu, aby uzyskać jeszcze lepsze dopasowanie do architektury, która występuje wewnątrz i na zewnątrz firmy. Zachęcamy do sprawdzenia naszych rozwiązań na naszej stronie internetowej www.findernet.com oraz do napisania do nas, w jaki ciekawy sposób Wy zastosowaliście sterowanie oświetleniem – być może staniecie się naszą inspiracją?

Marcin Ryba
www.findernet.com/pl

eprasa.pl b0a5d4d3d1

Oświetlenie LED z zasilaczami Mean Well

LED-owe źródła oświetlenia przewyższają inne technologie iluminacji w niemal każdym aspekcie, jednak ich zasilanie jest zagadnieniem dość skomplikowanym. Od doboru drivera zależy jakość światła – jego ciągłość i intensywność, a także żywotność całej instalacji. Dlatego tak dużą popularnością cieszą się rozwiązania z oferty Mean Well – zasilacze LED, które są nie tylko łatwe w obsłudze, ale również uniwersalne i bezpieczne.

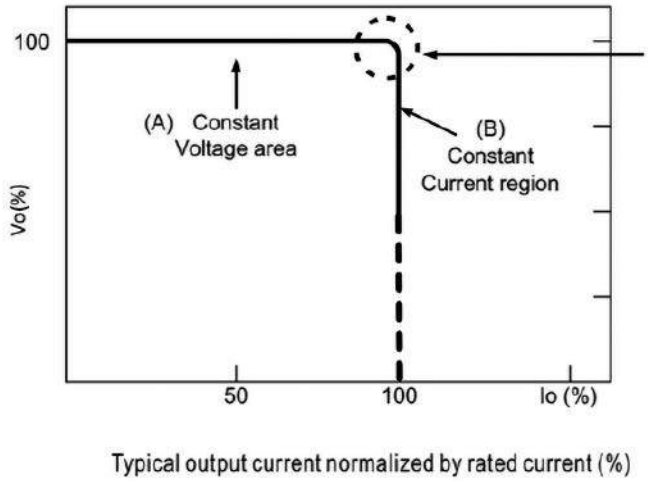
W ciągu ostatnich kilkunastu lat produkty marki Mean Well stały się światowym standardem w dziedzinie elektryki. Instalatorzy i projektanci doskonale zdają sobie sprawę z jakości rozwiązań tego producenta – podczas gdy właściciele i inwestorzy chwalą sobie ich trwałość i atrakcyjną cenę. Poniżej prezentujemy wybrane modele zasilaczy LED od Mean Well z serii HLG oraz HVG. Są to urządzenia o imponujących parametrach, wysokiej klasie szczelności oraz szerokim zakresie aplikacji. Należą do najpopularniejszych produktów z oferty producenta.

Zasilacze serii HLG

Zostały zaprojektowane, aby spełnić wymagania większości typowych aplikacji. Mogą być zasilane napięciami z szerokiego zakresu, który dla większości modeli wynosi **od 90 V do 305 V AC oraz od 127 V do 431 V DC**. Korpusy wykonano z metalu (**fotografia 1**), który zapewnia dobre odprowadzanie ciepła, dzięki czemu urządzenia mogą pracować w temperaturach od –40°C do 70°C (dla niektórych modeli jest to nawet 90°C). Ponieważ jednocześnie odznaczają się szczelnością w klasach IP65 i IP67, mogą być stosowane

Fotografia 1. Zasilacz Mean Well typu HLG-100H-20AB. Szczelne zasilacze są wyposażone w dławnice oraz zaślepki potencjometrów nastaw

eprasa.pl b0a5d4d3d1



Rysunek 1. Charakterystyka prądowo-napięciowa na wyjściu zasilacza

Fotografia 2. Zasilacz Mean Well typu HVGC-320-1400B. Zasilacze bez wbudowanego potencjometru mają najwyższą klasę szczelności IP67

na zewnątrz budynków, np. przy tworzeniu oświetlenia ogrodów, parkingów, tworzenia zewnętrznej iluminacji budynków i innych obiektów architektonicznych.

Zasilacze HLG przystosowano do aplikacji o różnej skali **są dostępne w wersjach o mocy od 40 W do 600 W i sprawności do 93%**. Co więcej, są to drivery zarówno stałoprądowe (CC) o prądzie do 3,5 A, jak i stałonapięciowe (CV), o napięciu do 430 V DC. W ten sposób mogą pełnić swoją funkcję zarówno w obwodach szeregowych (zazwyczaj stosowanych przy oświetlaniu rozległych przestrzeni), jak i równoległych (np. zawierających taśmy LED).

Parametry wyjścia są ustalone fabrycznie lub mogą być ustawiane za pomocą wbudowanych potencjometrów, sygnału napięciowego 1...10 V DC lub sygnału PWM. Nominalna lub zadana wartość napięcia (V_O) zostaje utrzymana do momentu, w którym z zasilacza płynie prąd (I_O) o maksymalnym natężeniu. Następnie driver zaczyna działać w trybie stałoprądowym – automatycznie dostosuje różnicę potencjałów na wyjściu tak, aby natężenie prądu w obwodzie utrzymać na poziomie wartości maksymalnej (**rysunek 1**). Może to być wartość ustalona fabrycznie lub, w przypadku jednostek regulowanych, ustawiona przez instalatora.

Innym istotnym udogodnieniem konstrukcyjnym są **trzy metody regulowania jasności odbiorników**, czyli sterowania dimmerem prądowym, który nie powoduje efektu migotania. Konstruktor/instalator może podłączyć do wyprowadzeń *DIM-*, *DIM+* jeden ze sterowników:

1. napięciowy (1…10 V DC),
2. rezystancyjny (potencjometr),
3. sygnał PWM (o częstotliwości 0,1…3 kHz).

Należy dodać, że **zasilacze HLG wyposażono w układ korekcji współczynnika mocy oraz szereg zabezpieczeń**, które nie tylko przedłużają żywotność urządzeń, ale również poprawiają bezpieczeństwo ich instalacji oraz użytkowania. Należą do nich zabezpieczenia: przeciwzwarciowe (SCP), nadprądowe (OCP), nadnapięciowe (OVP) oraz termiczne (OTP). Dodatkowo, wybrane modele obsługują interfejs DALI (*Digital Addressable Lighting Interface*) stosowany w złożonych instalacjach do selektywnego sterowania elementami iluminacji.

Zasilacze serii HVG

Do stałoprądowych zasilaczy LED należy serii HVG. Odznacza się szerszym zakresem napięć wejściowych i wyjściowych, przez co lepiej odpowiada potrzebom dużych instalacji, np. oświetlenia plenerowego, drogowego, które zazwyczaj realizowane są jako obwód szeregowy. Urządzenia z tej grupy mogą być zasilane napięciem przemiennym (AC) z zakresu od 180 V do 528 V lub napięciem stałym (DC) od 254 V do 747 V.

Zakresy wyjściowe jednostek **dają projektantom i instalatorom dużą swobodę przy konstruowaniu systemu** – dla przykładu, w przypadku modelu HVGC-150-700AB napięcie wyjściowe V_O mieści się w zakresie od 21 V do 215 V DC. Nie tylko ułatwia to dobór drivera, ale też umożliwia swobodne skalowanie instalacji bez potrzeby modyfikowania jej układu zasilającego.

Produkty serii HVG odznaczają się tymi samymi zaletami, co seria HLG. Ich budowa zapewnia klasę szczelności IP67/IP65 (zależnie od modelu), mają układ aktywnej korekcji współczynnika mocy, zabezpieczenia elektryczne ograniczające ryzyko uszkodzenia z powodu przegrzania, zwarcia, a także zapobiegające wzbudzeniu w zasilanym obwodzie prądu o zbyt dużym natężeniu.

Podobne do serii HLG są także oznaczenia produktów – ostatnie litery w symbolu wskazują na funkcjonalność drivera:

- „A" to modele z klasą szczelności IP65 z wbudowanym potencjometrem ogranicznika prądu,
- „B" odznaczają się klasą szczelności IP67 oraz wejściem sterującym dimmerem,
- „AB" łączą ww. opcje, a ich klasa szczelności to IP65.

Oczywiście, parametry te wyszczególniono również w naszym katalogu, dzięki czemu klienci mogą wyszukiwać produkty według pożądanej charakterystyki.

Inne rozwiązania Mean Well

Asortyment produktów **Mean Well to jedna z najbogatszych ofert, jakie znalazły się w katalogu TME**. Nawet w zakresie samych driverów LED sięga daleko poza wymienione wyżej serie. Dwie inne warte wspomnienia serie to ELG oraz XLG. O grupie zasilaczy ELG powstał oddzielny artykuł. Ich funkcjonalność jest zbliżona do opisanych produktów, są zasilaczami stałonapięciowymi i stałoprądowymi. W przypadku modeli ELG-C wyłącznie stałoprądowymi. Są wyposażone w układ dimmera prądowego i odznaczają się wysoką klasą szczelności.

Drivery serii XLG to produkty o nieco innym przeznaczeniu (ich charakterystyka została już opisana, gdy trafiły do naszej oferty). Odznaczają się mniejszymi rozmiarami i mocą – do 240 W, gdyż są przeznaczone przede wszystkim do instalacji oświetlania budynków i wnętrz. Mogą być stosowane w trudnych warunkach środowiskowych, ale nie w rozległych instalacjach. Doskonale sprawdzą się zarówno w gospodarstwach domowych, jak i biurach – przystosowano je do zasilania sieciowego (wyłącznie AC) w szerokim zakresie, a zatem mogą być stosowane ze źródłami 110 V i 220 V AC. Są to zasilacze o stałej mocy, a wszystkie modele odznaczają się klasą ochrony IP67.

Transfer Multisort Elektronik Sp. z o.o.
https://tiny.pl/cgmcs

eprasa.pl b0a5d4d3d1

Praktyczne aplikacje scalonych układów AFE (23)

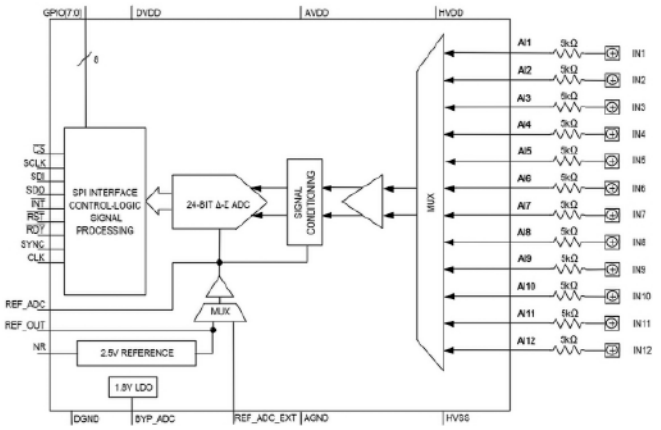
Front-endy analogowe I/O do zastosowań przemysłowych

W poprzednim odcinku naszego cyklu przyjrzeliśmy się front-endom przeznaczonym do realizacji torów wejść i wyjść cyfrowych w sterownikach PLC i innych urządzeniach przemysłowych. Naturalną kontynuacją podjętego ostatnio tematu będzie zatem omówienie układów, znajdujących zastosowanie w obwodach interfejsów analogowych.

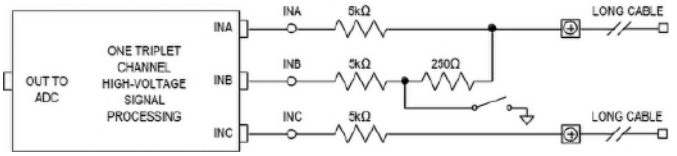
Poprzednie odcinki znajdują się pod adresem: **https://ulubionykiosk.pl/media**

MAX22005

Schemat blokowy układu MAX22005 został pokazany na **rysunku 1**. Front-end ma 12 linii wejściowych, zorganizowanych w czterech tzw. trypletach (**rysunek 2**) – specjalnych blokach, obejmujących po trzy kolejne wyprowadzenia (AI1...AI3, AI4...AI6, itd.), przy czym linia o najniższym numerze (np. AI1 w przypadku pierwszego trypletu) pełni funkcję wyprowadzenia wspólnego dla dwóch wejść różnicowych. Wejścia te są określane przez producenta mianem *multifunctional differential pair* i mogą służyć do obsługi rozmaitych czujników (w tym RTD) oraz przetworników, udostępniających wyjścia napięciowe lub prądowe, przy czym konwersja I→U odbywa się w najprostszy możliwy sposób – poprzez pomiar spadku napięcia na precyzyjnym rezystorze bocznikowym, włączonym równolegle do wejść danej pary różnicowej. Obszerna lista dostępnych konfiguracji została wyczerpująco opisana w nocie katalogowej, dostępnej pod adresem https://t.ly/Imic– zainteresowanych Czytelników odsyłamy do lektury dokumentacji producenta.

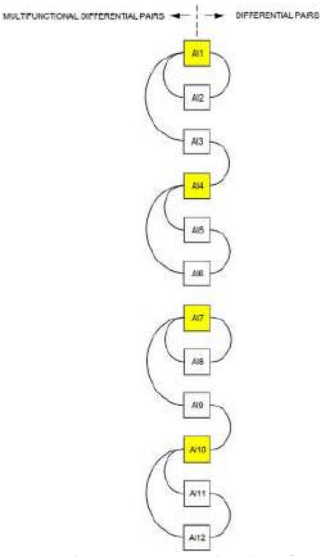


Rysunek 1. Schemat blokowy front-endu MAX22005 (https://t.ly/ibiA)



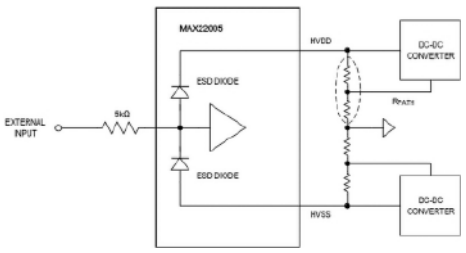
Rysunek 2. Sposób organizacji pojedynczego trypletu wejściowego, zastosowany w układzie MAX22005 (https://t.ly/ibiA)

Warto dodać, że – podobnie jak w przypadku wielu innych, uniwersalnych front-endów wejściowych oraz wielokanałowych przetworników przeznaczonych do urządzeń pomiarowych i systemów DAQ – także w tym przypadku mamy do czynienia z możliwością skonfigurowania dwunastu wspomnianych linii wejściowych w klasyczny sposób – każde z wyprowadzeń może być odpytywane oddzielnie (wejścia typu *single-ended*) lub pracować z sąsiadującą linią (np. AI1-AI2, AI3-AI4, itd.) w ramach standardowej pary różnicowej. Dopuszczalne konfiguracje zwykłych wejść różnicowych oraz 3-przewodowych trypletów zaprezentowano schematycznie na **rysunku 3**. Łącznie układ daje do wyboru aż 26 konfiguracji, wybieranych za pomocą interfejsu SPI.



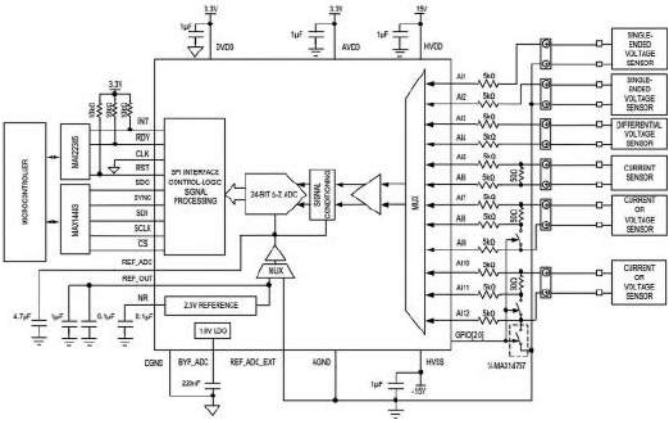
Rysunek 3. Dopuszczalne konfiguracje wejść (na lewo – wielofunkcyjne, podwójne wejścia różnicowe, na prawo – klasyczne wejścia różnicowe bez uwspólnionych wyprowadzeń) układu MAX22005 (https://t.ly/ibiA)

Za właściwe pomiary sygnałów analogowych odpowiada 24-bitowy przetwornik ADC, jak to zwykle bywa – typu delta-sigma. Wbudowane źródło napięcia odniesienia zapewnia doskonałą stabilność termiczną na poziomie 5 ppm/°C(!), co w połączeniu z precyzyjnymi przedwzmacniaczami o zerowym dryfie oraz szerokim zakresem mierzonych napięć wejściowych (±12,5 V na każdej z linii, ±25 V w trybie różnicowym pomiędzy wejściami danej pary) daje niezwykłą elastyczność w praktycznych aplikacjach przemysłowych. Godny uwagi



Rysunek 4. Rezystory sprzężenia zwrotnego przetwornic DC/DC pełnią funkcję redundantnego „wspomagania" wejściowych obwodów ESD w przypadku awarii jednego z konwerterów, pracujących w układzie zasilania bipolarnego – https://t.ly/ibiA

eprasa.pl b0a5d4d3d1

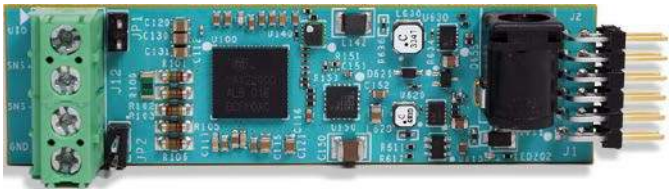


Rysunek 5. Przykładowy schemat aplikacyjny front-endu MAX22005, wykorzystujący różne możliwe tryby pracy wejść (https://t.ly/ibiA)

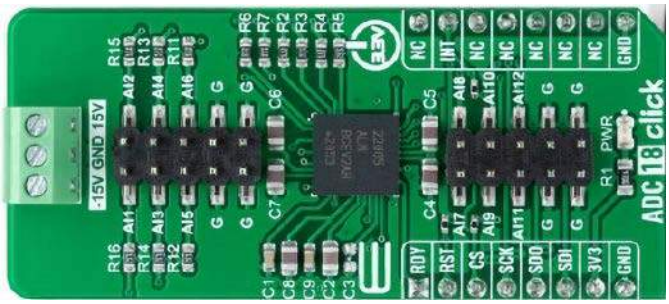
jest także fakt, iż wejścia front-endu zostały bardzo solidnie zabezpieczone przed przepięciami – oprócz tolerancji impulsów ESD w zakresie do ±2 kV, układ może znieść także napięcia stałe na poziomie ±36 V (przy czym na liniach zasilania wysokonapięciowego HVSS i HVDD mogą występować potencjały do ±24 V). Należy pamiętać, że w przypadku zasilania bipolarnego za pomocą dwóch przetwornic DC/DC awaria jednej z nich może uniemożliwić efektywne zamknięcie obwodu, tworzonego przez wewnętrzne diody zabezpieczające oraz blok zasilania – w takiej sytuacji pomocą mogą być rezystory, tworzące dzielniki sprzężenia zwrotnego współpracujące z przetwornicami (**rysunek 4**). Producent zwraca przy tym uwagę na konieczność odpowiedniego doboru całkowitej (szeregowej) rezystancji dzielników – zbyt wysoki opór nie będzie w stanie zapewnić efektywnej ochrony przeciwprzepięciowej wejść front-endu.

Na **rysunku 5** pokazano przykładowy schemat aplikacyjny front-endu MAX22005, wykorzystujący kilka możliwych konfiguracji wejść. Dwa górne czujniki dostarczają pojedyncze napięcia wyjściowe, odniesione bezpośrednio do masy układu. Kolejny sensor wykorzystuje linie AI3 oraz AI4, skonfigurowane w trybie klasycznego wejścia różnicowego (napięciowego), zaś następny – połączony z liniami AI5 oraz AI6 – współpracuje z front-endem na zasadzie pętli prądowej, zakończonej 50-omowym rezystorem pomiarowym. Ostatnie dwa z pokazanych na rysunku 5 wejść mogą obsługiwać zarówno czujniki z wyjściem prądowym, jak i napięciowym, przy czym do wyboru konfiguracji zastosowano tutaj zewnętrzny, poczwórny przełącznik analogowy (w tej roli MAX14757), sterowany za pomocą trzech z ośmiu wyjść GPIO, dostępnych na pokładzie front-endu MAX22005.

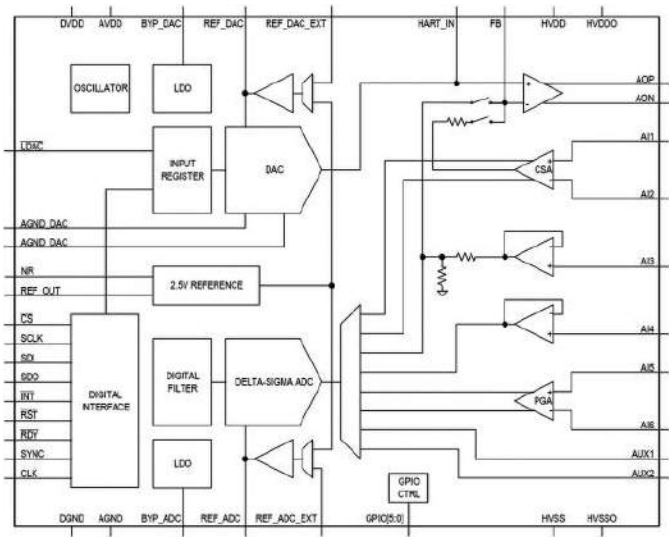
Na koniec tej części artykułu dodamy jeszcze informację dla praktyków, planujących zastosować omawiany układ w projektowanych urządzeniach – na rynku dostępne są obecnie dwa zestawy ewaluacyjne (oraz jeden moduł uniwersalny), umożliwiające szybkie rozpoczęcie pracy z front-endem MAX22005. Warto zwrócić uwagę na płytkę MAXREFDES185 (**fotografia 1**), będącą kompletnym projektem referencyjnym, korzystającym z MAX22005 jako układu monitorującego wszystkie linie analogowe głównego front-endu (w tej roli MAX22000), obsługującego zarówno funkcje wejść, jak i wyjść. Użytkownicy ekosystemu deweloperskiego marki MikroElektronika mogą natomiast skorzystać z prościutkiej nakładki ADC 18 Click



Fotografia 1. Widok płytki MAXREFDES185 – jednego z projektów referencyjnych, przygotowanych przez inżynierów Maxim/ADI do układu MAX22005 (https://t.ly/-geR)



Fotografia 2. Moduł ADC 18 Click, opracowany przez firmę MikroElektronika (https://t.ly/UMamE)



Rysunek 6. Schemat blokowy front-endu MAX22000 (https://t.ly/7qm-)

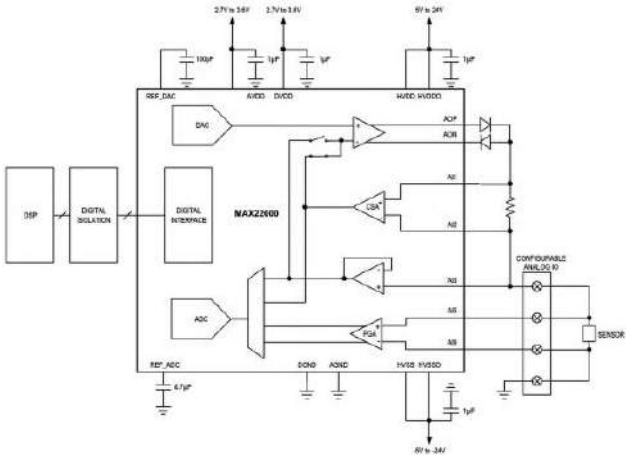
(**fotografia 2**), zawierającej, oprócz samego AFE – absolutnie minimum elementów peryferyjnych, niezbędnych do prawidłowej pracy układu.

MAX22000

Schemat blokowy wspomnianego wcześniej układu MAX22000 pokazano na **rysunku 6**. Co ciekawe, pomimo że producent określa ów front-end jako układ o 6 wejściach i 1 wyjściu, to w rzeczywistości należy go traktować raczej jako… rozbudowany i niezwykle elastyczny interfejs dla pojedynczego kanału docelowego urządzenia. Choć może się to wydawać dziwne (zważywszy na aż 64-pinową obudowę opisywanego AFE), przy bliższym zapoznaniu się z wewnętrzną konstrukcją układu dostrzegamy wyraźnie, w czym rzecz. Żadne z głównych wejść (AI1…AI6) nie ma bowiem dokładnie takiej samej budowy ani funkcji jak pozostałe. I tak – wejścia o numerach 1 i 2 są połączone z wbudowanym wzmacniaczem bocznikowym (CSA – Current Sense Amplifier), AI3 oraz AI4 pełnią funkcję wejść wysokonapięciowych (przy czym AI3 może dodatkowo współpracować z wyjściem analogowym jako linia sprzężenia zwrotnego), zaś AI5 oraz AI6 dają dostęp do wbudowanego wzmacniacza różnicowego PGA. Dodatkowo, producent zdecydował się wyprowadzić dwa wejścia AUX, przeznaczone do realizacji kompensacji zimnych końców termopary z użyciem czujnika, zamontowanego na płycie urządzenia docelowego.

Wyjście analogowe układu MAX22000 zostało zrealizowane na bazie 18-bitowego przetwornika DAC, współpracującego z buforem o wyjściu różnicowym, wyprowadzonym na piny AOP i AON. Wzmacniacz może być sprzętowo sprzężony z kanałem monitorowania napięcia (AI3) lub prądu (wzmacniacz bocznikowy z wejściami AI1 i AI2), co pozwala na pracę z pełną kompensacją dryfów termicznych czy też spadków napięcia na przewodach. Obydwa przetworniki (ADC i DAC) mogą pracować z użyciem precyzyjnego, wewnętrznego źródła

eprasa.pl b0a5d4d3d1



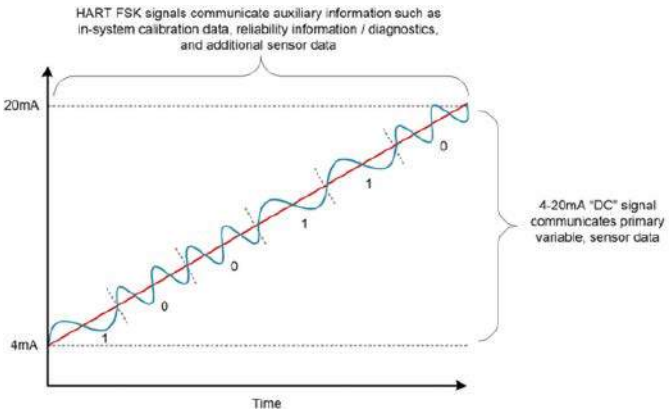
Rysunek 7. Schemat podłączenia czujnika czteroprzewodowego do front-endu MAX22000 (https://t.ly/7qm-)

napięcia odniesienia 2,5 V, ale nic nie stoi na przeszkodzie, by zastąpić je źródłem zewnętrznym – co ciekawe, dla każdego z przetworników można to zrobić niezależnie z użyciem rozdzielonych wejść REF_DAC_EXT i REF_ADC_EXT.

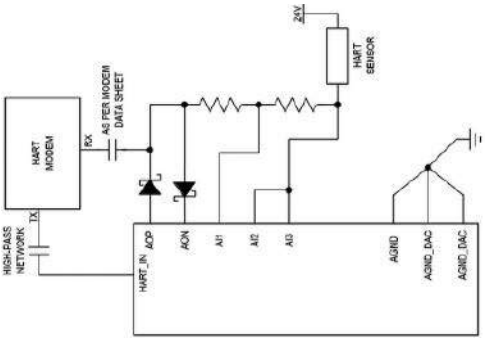
Tak rozbudowana struktura front-endu MAX22000 pozwala na realizację szeregu rozmaitych konfiguracji I/O, stosowanych powszechnie w aparaturze przemysłowej. I tak do wyboru użytkownika są wejścia i wyjścia napięciowe oraz prądowe, a także specjalne tryby pracy, przeznaczone do obsługi czujników temperatury opartych na termorezystorach lub termoparach. Szeroki zakres nastaw wzmocnienia PGA (od 1 do 20) pozwala na uzyskanie użytecznych zakresów pomiarowych od ±25 V do ±125 mV, a także generowanie napięć w zakresach ±12,5 V lub ±25 V lub prądów w zakresach ±2,5 mA bądź ±25 mA (umyślnie nie podajemy w tym przypadku zakresu dla prądów wejściowych, gdyż ten zależy od wartości użytego rezystora bocznikowego).

Przykładowy schemat aplikacyjny dla termorezystora pokazano na **rysunku 7** – jak widać, tor wyjściowy (DAC + bufor) pełni funkcję zasilania dla elementu pomiarowego, wzmacniacz bocznikowy pozwala na pomiar prądu płynącego przez czujnik RTD, zaś tor PGA odpowiada za różnicowy pomiar spadku napięcia na termorezystorze w myśl założeń metody czteroprzewodowej. Tor sprzężenia napięciowego z wejściem AI3 umożliwia natomiast dodatkowe monitorowanie całkowitego napięcia, odkładającego się na termorezystorze i przewodach zasilających. Warto zwrócić uwagę na konfigurację wewnętrznych kluczy analogowych, współpracujących z buforem wyjściowym – jego wejście odwracające jest połączone bezpośrednio z wyjściem wzmacniacza CSA, co pozwala na realizację źródła prądowego (zasilającego RTD), którego pracę można dodatkowo monitorować za pośrednictwem odpowiedniej konfiguracji multipleksera ADC.

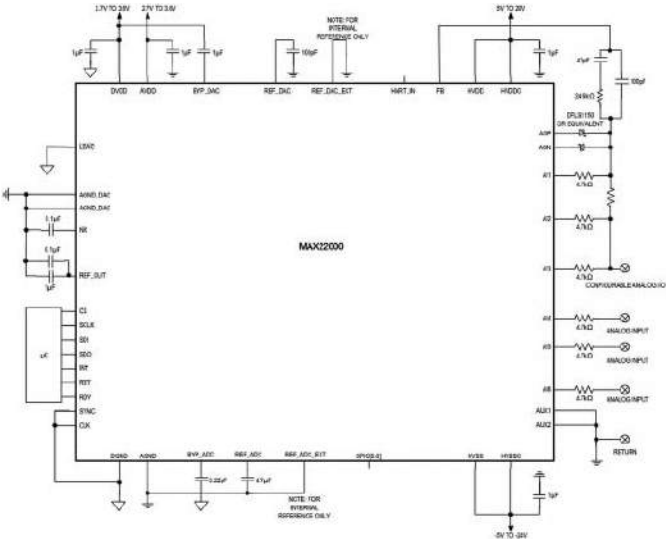
W przypadku front-endu MAX22000 producent przewidział także możliwość obsługi protokołu HART. Dla przypomnienia – jest



Rysunek 8. Zasada działania protokołu HART (https://t.ly/oDl1v)

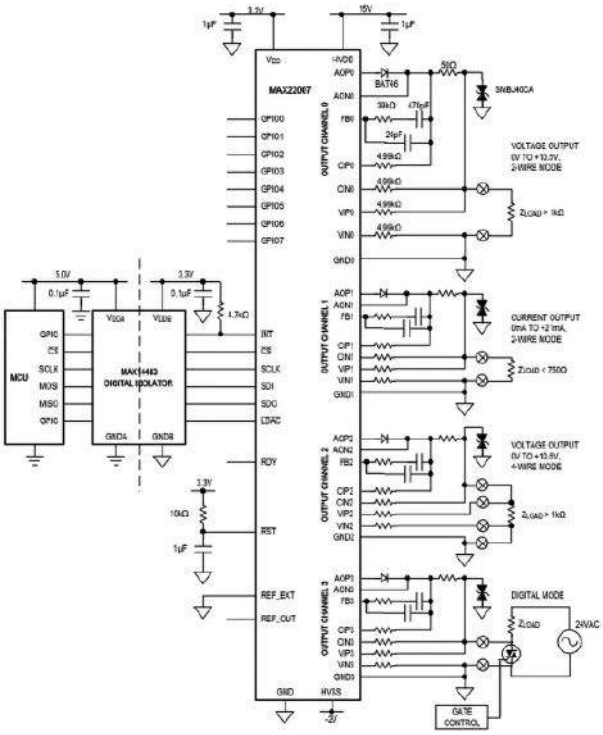


Rysunek 9. Sposób podłączenia zewnętrznego modemu HART do front-endu MAX22000 (https://t.ly/7qm-)



Rysunek 10. Podstawowy schemat aplikacyjny front-endu MAX22000 (https://t.ly/7qm-)

to szeroko rozpowszechnione w instalacjach przemysłowych łącze cyfrowe, opierające się na wpuszczaniu do linii analogowej (np. pętli prądowej 4...20 mA) niewielkiego sygnału sinusoidalnego o modulacji FSK



Rysunek 11. Schemat aplikacyjny front-endu MAX22007 (https://t.ly/a5jU)

eprasa.pl b0a5d4d3d1

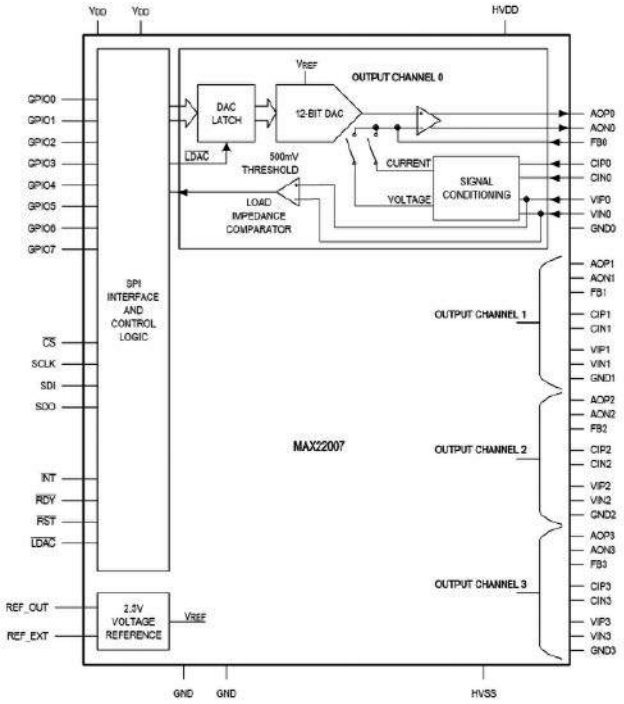
(logiczna 1 jest kodowana przez częstotliwość 1,2 kHz, zaś logiczne 0 to 2,2 kHz – patrz **rysunek 8**). W obudowie układu MAX22000 pojawiła się dodatkowa linia, oznaczona jako HART_IN i umożliwiająca zmiennoprądowe sprzężenie toru wyjściowego z zewnętrznym modemem obsługującym opisywany protokół (**rysunek 9**).

Podobnie jak w przypadku wielu innych, rozbudowanych front-endów analogowych, także tutaj mamy do czynienia z dość prostym schematem aplikacyjnym (przynajmniej w podstawowej wersji implementacji). Jak widać na schemacie z **rysunku 10**, do poprawnej pracy AFE konieczny jest jednie zestaw kondensatorów odsprzęgających i filtrujących, dwie diody Schottky'ego (odpowiadające za połączenie wyjściowej sieci RC z buforem przetwornika DAC) oraz szeregowe rezystory zabezpieczające na wejściach analogowych.

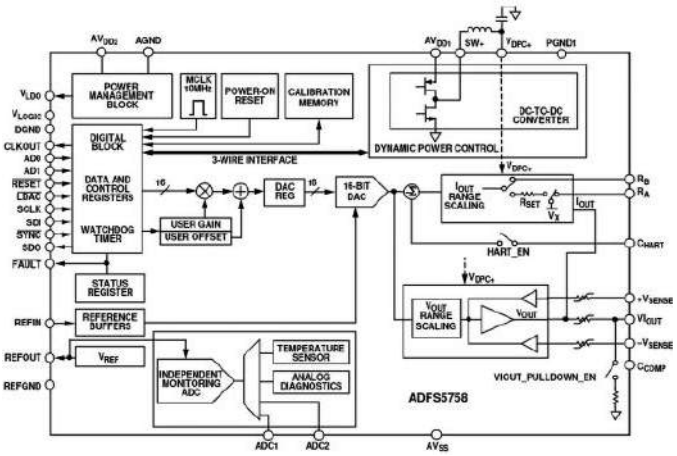
MAX22007

Kolejnym front-endem z omawianej grupy, także należącym do spuścizny dawnego Maxima (dziś Analog Devices), jest układ MAX22007, którego schemat aplikacyjny można zobaczyć na **rysunku 11**. Tym razem mamy do czynienia z AFE przeznaczonym do realizacji wyjść analogowych. Każdy z czterech jednakowych kanałów (**rysunek 12**) składa się z 12-bitowego przetwornika DAC, wyposażonego w zatrzask oraz bufor z wyjściem różnicowym. Jako sprzężenie zwrotne dla bufora może służyć różnicowy sygnał napięcia lub prądu, „przepuszczony" uprzednio przez blok kondycjonowania, choć dodatkowo producent zdecydował się wyprowadzić linię FB, połączoną bezpośrednio z wejściem odwracającym bufora. Każdy kanał wyjściowy zawiera także własny komparator o fabrycznie ustawionym progu równym 500 mV – służy on do określania impedancji obciążenia, co umożliwia przełączanie pomiędzy prądowym a napięciowym trybem pracy wyjścia.

Rozbudowana konstrukcja front-endu MAX22007 pozwala na pracę z automatyczną kompensacją spadków napięcia na przewodach obciążenia. Jak widać na rysunku 11, układ wspiera zarówno dwu- i czteroprzewodowe odbiorniki napięciowe, jak i pętle prądowe 0...21 mA – doskonale nadaje się zatem do zastosowania w analogowych modułach rozszerzeń sterowników PLC, uniwersalnych wyjściach falowników czy też rozmaitych innych kontrolerach przemysłowych bądź HVAC.



Rysunek 12. Uproszczony schemat blokowy front-endu MAX22007 – przedstawiono budowę jednego z czterech równoważnych, wielofunkcyjnych kanałów wyjściowych (https://t.ly/a5jU)



Rysunek 13. Schemat blokowy front-endu ADFS5758 (https://t.ly/7bEc)

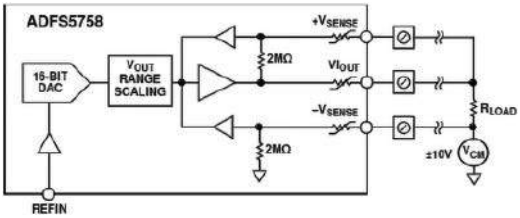
ADFS5758

Ostatnim układem, który pozostał nam do omówienia w tej części *Poradnika Implementacji*, jest model ADFS5758 (**rysunek 13**). W tym przypadku rozbudowany front-end służy do realizacji zaledwie jednego kanału wyjściowego, zaś środek ciężkości technologicznego skomplikowania został przeniesiony na spełnienie wymogów bezpieczeństwa funkcjonalnego. Układ ma dopuszczenia do aplikacji pracujących na poziomie SIL 2/SC3 (dla unipolarnego wyjścia prądowego), spełnia także wymogi szeregu norm EMC: IEC 61000-4-6 (odporność na zakłócenia przewodzone), IEC 61000-4-3 (odporność na zakłócenia radiowe), IEC 61000-4-2 (odporność na kontaktowe wyładowania ESD do 6 kV w dowolnej polaryzacji), a także IEC 61000-4-4 (odporność na serie szybkich stanów przejściowych), IEC 61000-4-5 (odporność na udary napięciowe) oraz CISRP 11 (emisja zakłóceń radiowych).

W strukturze układu ADFS5758 znajdziemy 16-bitowy przetwornik DAC z funkcjami cyfrowej korekcji offsetu i wzmocnienia, wbudowaną pamięć do przechowywania stałych kalibracji (obsługującą sumy kontrolne CRC), a także – działający niezależnie od toru wyjściowego – 12-bitowy przetwornik ADC z multiplekserem, udostępniającym dwa wejścia zewnętrzne (ADC1 i ADC2) oraz obsługującym wbudowane bloki diagnostyczne i czujnik temperatury. Sumy kontrolne

REKLAMA

eprasa.pl b0a5d4d3d1



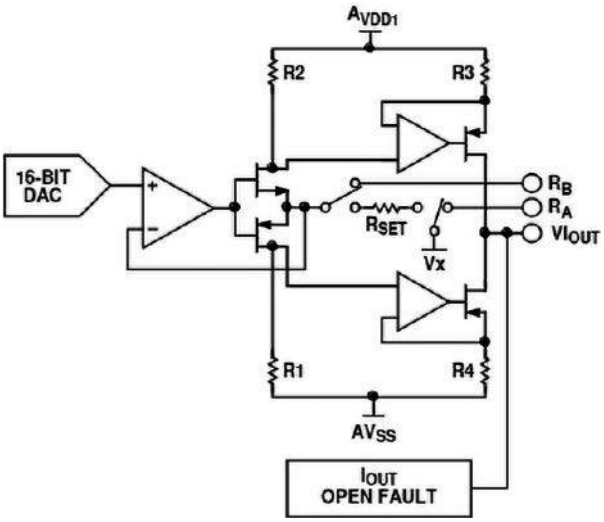
Rysunek 14. Wyjście napięciowe z kompensacją napięcia współbieżnego za pomocą linii +VSENSE i – VSENSE – układ ADFS5758 (https://t.ly/7bEc)

są zresztą używane także w odniesieniu do interfejsu SPI, co ma na celu zabezpieczenie integralności danych, przesyłanych podczas pracy w mocno zaszumionym otoczeniu. Nie zabrakło również prostej przetwornicy DC/DC obniżającej napięcie zasilania do poziomu 4,95 V....27 V – co ciekawe, została ona umieszczona na osobnym podłożu i połączona z główną strukturą półprzewodnikową front-endu za pomocą 3-liniowego interfejsu szeregowego.

Podobnie jak w przypadku pozostałych omówionych wcześniej front-endów, także tutaj mamy do czynienia z dość elastycznie konfigurowalnym układem wyjściowym (jego konstrukcję przedstawia w uproszczeniu **rysunek 14**), zapewniającym nie tylko możliwość pracy w trybach prądowych i napięciowych, ale także pełnej kompensacji spadków napięcia na okablowaniu. Co ciekawe, wzmacniacz wyjściowy bez problemu radzi sobie z całkiem sporymi obciążeniami pojemnościowymi: do 10 nF bez zewnętrznej kompensacji lub nawet do 2 μF przy zastosowaniu dodatkowego kondensatora 220 pF.

AFE wspiera także obsługę protokołu HART, do czego służy dodatkowe wejście CHART, którego sygnał jest sumowany z napięciem wyjściowym przetwornika DAC. Struktura sekcji prądowej bloku wyjściowego (**rysunek 15**) zapewnia parametry zbliżone do „czystego" źródła prądowego – sygnał napięciowy z przetwornika DAC jest wstępnie przetwarzany na prąd, a następnie odwracany za pomocą precyzyjnego lustra prądowego.

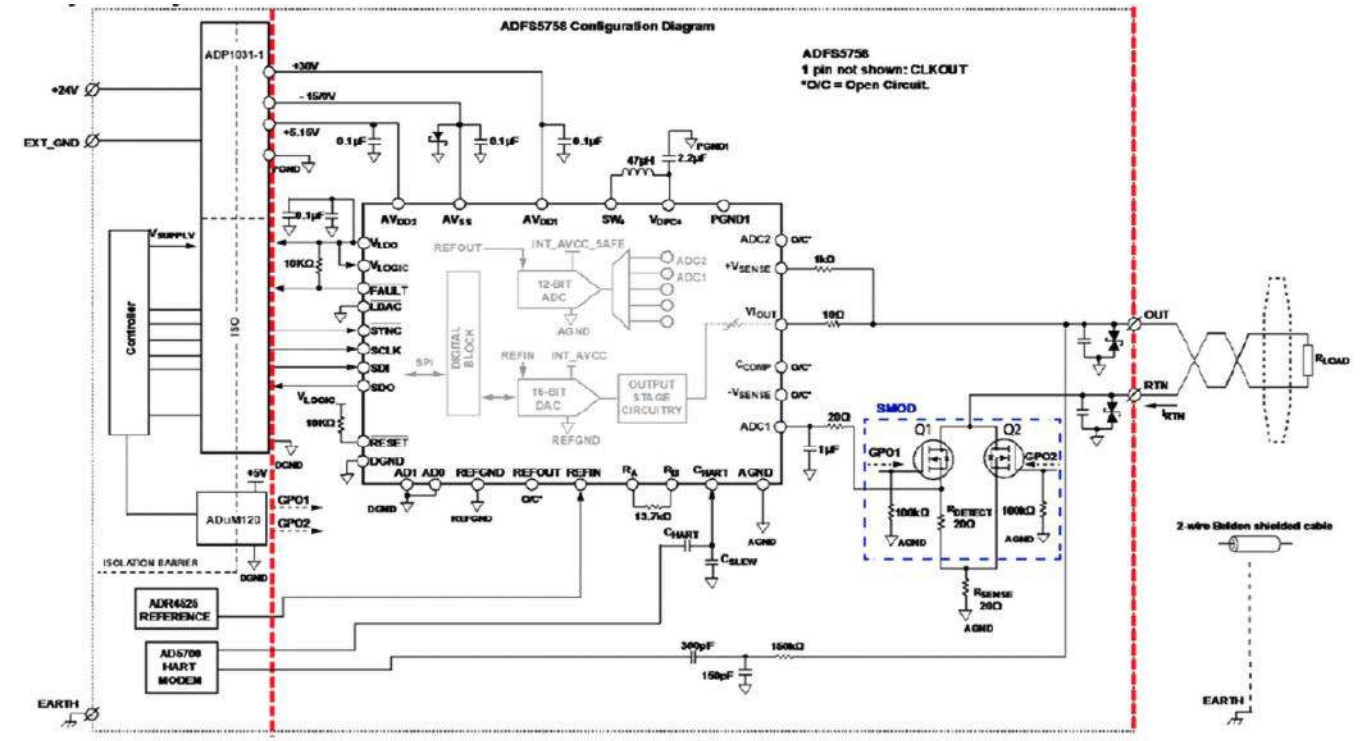
Dodatkowe zabezpieczenia przewidziane w konstrukcji układu ADFS5758 to m.in. blok watchdoga (WDT) oraz rozbudowana funkcja diagnostyki integralności danych, przesyłanych do przetwornika



Rysunek 15. Wyjście prądowe układu ADFS5758 (https://t.ly/7bEc)

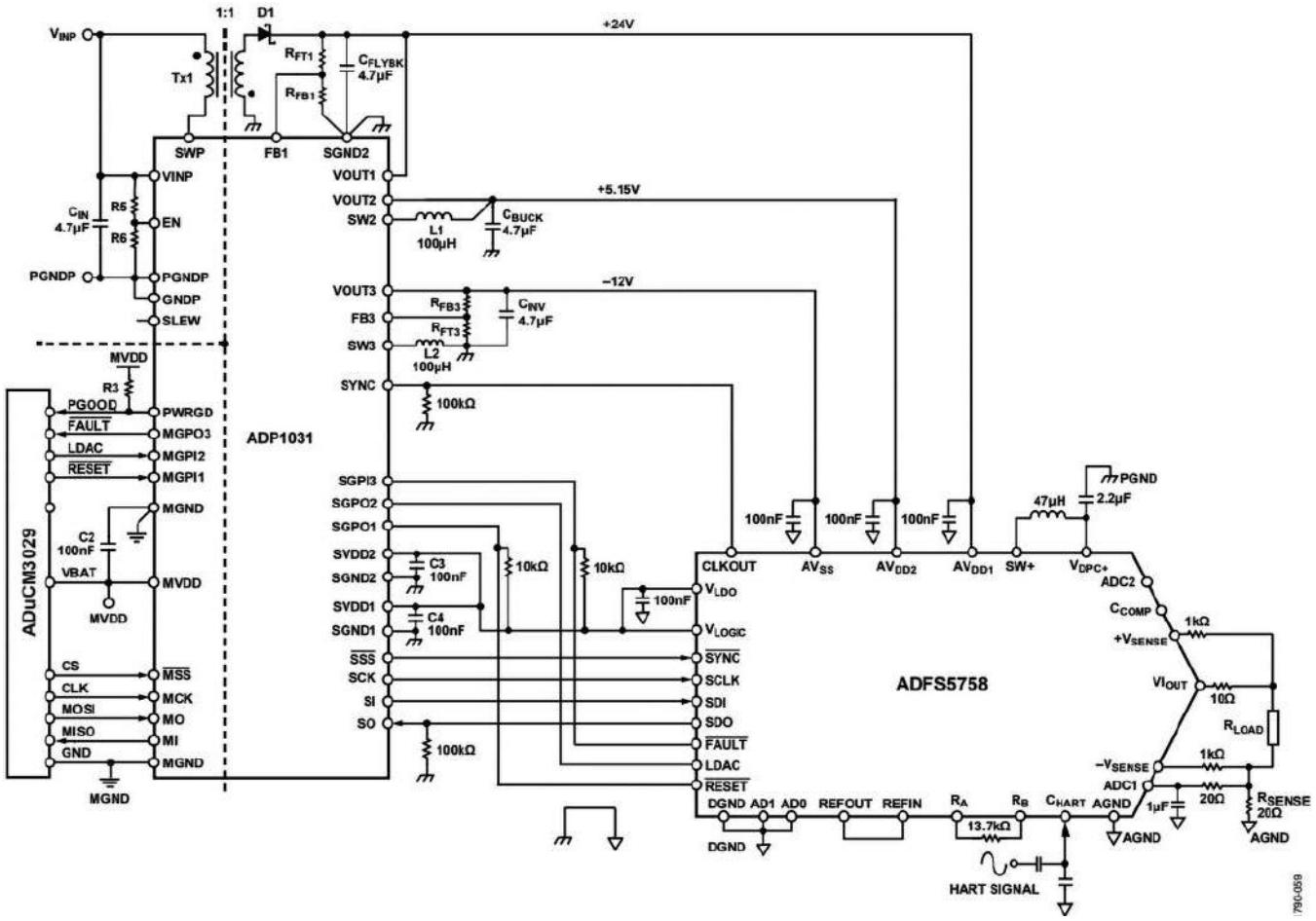
DAC. Ta ostatnia jest nawet dwupoziomowa – z jednej strony, opiera się na podwójnym rejestrze, przechowującym oryginalne słowo sterujące oraz jego zanegowaną kopię, co chroni przed przekłamaniami danych na poziomie cyfrowego bloku sterującego. Jakby tego było mało, dane przesłane z niego do zatrzasków (bezpośrednio współpracujących z konwerterem cyfrowo-analogowym) są porównywane ze słowem, znajdującym się aktualnie w przetworniku – wszelkie różnice są natychmiast sygnalizowane przez podniesienie odpowiedniej flagi w rejestrze diagnostycznym front-endu. Jakby tego było mało, monitorowane jest funkcjonowanie bloku wewnętrznego oscylatora taktującego, a nawet… obecność zewnętrznego kondensatora odsprzęgającego, podłączonego do wbudowanego stabilizatora LDO (!).

Zabezpieczenia zastosowane w układzie ADFS5758 można rozszerzyć o zewnętrzne komponenty, mające na celu dodatkową ochronę przed potencjalnymi stanami uszkodzenia – najlepszym przykładem takiej rozbudowanej aplikacji będzie schemat, pokazany na **rysunku 16**. Część układu oznaczona jako SMOD (Secondary Means Of Disconnection) to dodatkowy klucz tranzystorowy, pozwalający



Rysunek 16. Implementacja przemysłowego wyjścia analogowego (pętli prądowej) z uwzględnieniem wymogów bezpieczeństwa funkcjonalnego (https://t.ly/Kbxm)

eprasa.pl b0a5d4d3d1



Rysunek 17. Schemat aplikacyjny układu ADFS5758, współpracującego ze specjalizowanym układem zarządzającym z izolacją galwaniczną – ADP1031 (https://t.ly/Kbxm)

na całkowite rozłączenie pętli prądowej w przypadku poważnego uszkodzenia samego front-endu. Zastosowanie podwójnych tranzystorów nie jest tutaj przypadkowe – jego celem jest umożliwienie sprawdzenia działania SMOD bez konieczności całkowitego odłączania urządzenia wykonawczego lub wejścia analogowego, połączonego pętlą prądową z front-endem. Takie rozwiązanie ma szczególne znaczenie w przypadku układów, które przez długi czas pozostają w tym samym stanie (lub – innymi słowy – w których prąd w pętli rzadko ulega przestrajaniu).

Dla osób zainteresowanych praktycznym zastosowaniem front-endu ADFS5758 w aplikacjach przemysłowych warto przytoczyć jeszcze schemat, zaprezentowany na **rysunku 17**. Jak widać, zdecydowana większość linii sterujących i zasilających została tutaj poprowadzona bezpośrednio do układu ADP1031 – rozbudowanego kontrolera zarządzającego zasilaniem, wyposażonego zarówno we wbudowane przetwornice DC/DC, jak i 7 kanałów izolacji cyfrowej (2,5 kV @ 1 min. wg UL 1577), idealnie dostosowanego do pracy w połączeniu z ADFS5758.

Podsumowanie

W artykule zaprezentowaliśmy cztery, rozbudowane i bardzo interesujące przykłady front-endów, przeznaczonych do budowy torów wejść i wyjść analogowych w aplikacjach przemysłowych. Jak widać, pozornie banalne zadanie generowania lub odbierania prądów (np. 0...20 mA czy 4...20 mA) bądź napięć (np. 0...10 V) okazuje się całkiem złożonym zagadnieniem, które w wymagających aplikacjach może wymuszać na konstruktorach stosowanie szeregu wielopoziomowych zabezpieczeń funkcjonalnych, kompensacji spadków napięcia czy też obwodów o dużym zakresie dynamiki, obejmującym zarówno mikrowoltowe potencjały termopar, jak i napięcia rzędu kilkudziesięciu woltów. Jak zawsze, zastosowanie gotowych front-endów pozwala konstruktorom znacząco rozszerzyć zarówno funkcjonalność urządzenia, jak i zakresy obsługiwanych sygnałów wejściowych i wyjściowych.

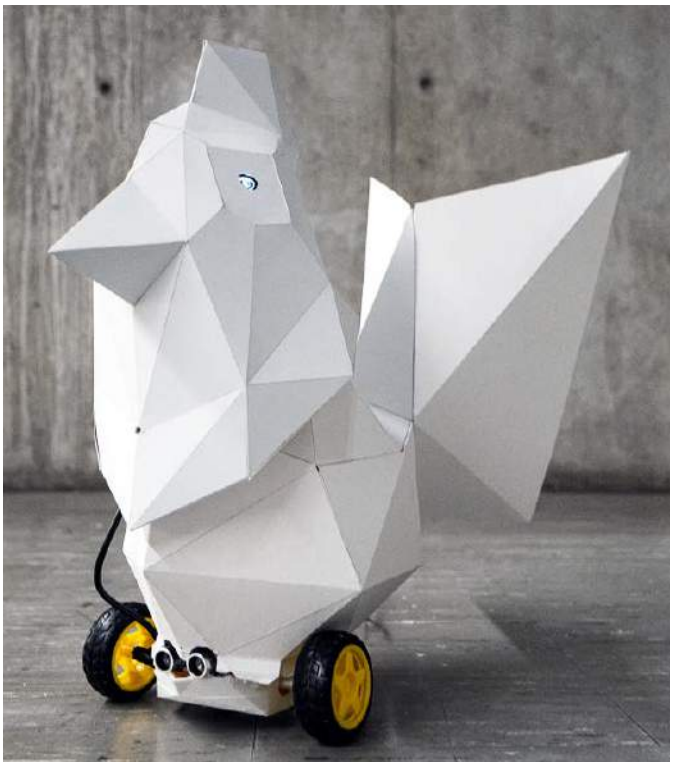
inż. Przemysław Musz, EP

REKLAMA

eprasa.pl b0a5d4d3d1

Kukko – robotyczny kurczak z termowizją

Zaprezentowana konstrukcja to prosty robot, który porusza się autonomicznie, śledząc ruchy człowieka z użyciem termowizji. Zaimplementowany algorytm imituje zachowanie jednego ze stworzeń z gry Legend of Zelda, które też było inspiracją dla zewnętrznej formy robota.



Stworzenia z serii gier Legend of Zelda, która publikowana jest od 1992 roku, były inspiracją do tego projektu. We wszystkich występują te przypominające kurczaki istotny. Jak można przeczytać w jednym z opisów gry „…jeśli Link [główny bohater gry – przyp.red.] zaatakuje Cucco wiele razy, Cucco wpadnie w furię i zacznie bardzo głośno piać, aby przywołać swoje stado i razem zaatakują go, lecąc w dół z różnych kierunków (dziobiąc go na śmierć). Po zaatakowaniu przez stado Cucco Link nie ma sposobu, aby się obronić, chyba że uda mu się uciec na czas, uciekając z danej okolicy".

Budowany w ramach tego projektu robot ma na celu udawanie tego stworzenia, włącznie z emulacją jego zachowań. Po wystawieniu go na działanie wystarczająco głośnego hałasu Cucco przechodzi w tryb ataku i zaczyna gonić najbliższy przedmiot, wysyłający sygnał cieplny kontrastujący z temperaturą otoczenia. Projekt został realizowany w ramach Computational Design and Digital Fabrication Seminar w programie International Master of Science (ITECH) na uniwersytecie w Stuttgarcie przez Matthiasa Hornunga, Otto Lindstama i Kalaivanana Amudhana.

Potrzebne elementy

Do zbudowania robota Kukko potrzebne będą:

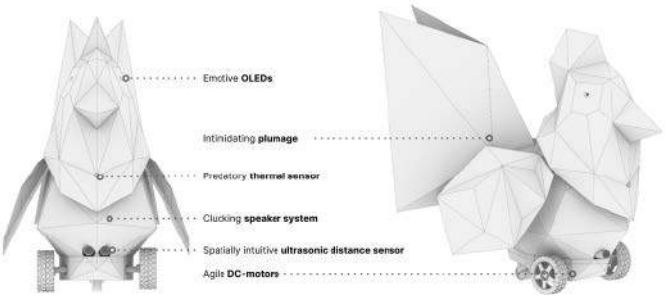
- dwa moduły Arduino UNO,
- moduł Adafruit AMG8833,
- mikrofon elektretowy (w module KY037 lub podobnym),
- sensor ultradźwiękowy HC-SR04,
- moduł audio MY-H1658,
- sterownik silników Adafruit AMG8833,
- dwa silniki DC z przekładniami i kołami,
- dwa wyświetlacze OLED z kontrolerem SSD1306,
- przewody do płytki stykowej/goldpinów,
- płytka stykowa,
- dwie baterie 9 V z klipsami.

Rysunek 1. Zebrane potrzebne elementy i moduły oraz narzędzia, potrzebne do zbudowania robotycznego Kukko

Dodatkowo, do wykonania obudowy potrzebny będzie wydruk 3D, klej, taśma dwustronnie klejąca itp. Wymienione elementy oraz narzędzia zostały pokazane na **rysunku 1**. Część elementów z listy dostępna jest jako zestawy, np. w Internecie zakupić można zestaw składający się z dwóch sterowników silnika i czterech silników, zintegrowanych z przekładniami. Jeden taki zestaw zawiera elementy do skonstruowania dwóch takich robotów, jednak dobrze jest mieć jakieś części zamienne, konstruując taki pojazd. Na **rysunku 2** pokazano rozmieszczenie niektórych komponentów w całej konstrukcji. Na liście potrzebnych elementów zapisano dwie płytki Arduino UNO, ponieważ druga płytka może być potrzebna do rozwiązania pewnych konfliktów w jednej z zastosowanych bibliotek.

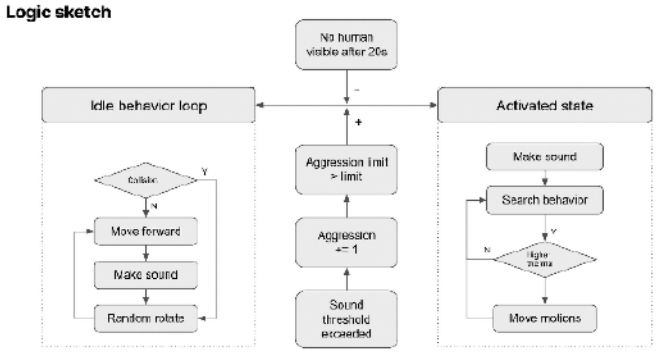
Zasada działania i algorytm przetwarzania termowizji

Algorytm działania Kukko pokazano na **rysunku 3**. Robot może znajdować się w dwóch stanach – aktywnym lub pasywnym (*idle*). W stanie

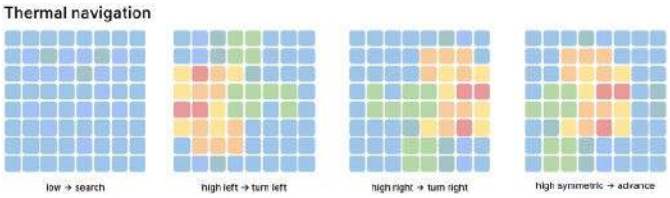


Rysunek 2. Kukko wraz z zaznaczonymi kluczowymi komponentami

eprasa.pl b0a5d4d3d1



Rysunek 3. Algorytm postępowania Kukko



Rysunek 4. Algorytm nawigacji na źródło ciepła z użyciem sensora termowizyjnego AMG8833

pasywnym porusza się on w losowy sposób, stosując dodatkowo zainstalowany w nim ultradźwiękowy sensor, aby omijać ewentualne przeszkody. Jeśli przed nim nie ma żadnych obiektów, jedzie do przodu i wydaje co jakiś czas spokojne dźwięki, przekręcając się o losowy kąt. Jeśli wykryje przed sobą przeszkodę, obraca się, przed kontynuowaniem ruchu w przód. Gdy robot zostanie aktywowany za pomocą głośnego dźwięku, zwiększa swój poziom agresji. Jeśli poziom ten przekroczy pewną predefiniowaną wartość, Kukko przechodzi do stanu aktywnego i wtedy poszukuje ofiar.

Głównym sensorem, z jakiego korzysta robot do wyszukiwania hałasujących ludzi, jest termowizja. Prosty sensor termowizyjny (AMG8833) to macierz 8×8 pikseli. Nie nadaje się zbytnio do obrazowania czy wyszukiwania obiektów, ale doskonale wykrywa poruszające się ciepłe przedmioty. Algorytm detekcji z pomocą termowizji pokazano w uproszczeniu na **rysunku 4**. W momencie, gdy robot nie widzi swoją kamerą żadnych istotnych źródeł ciepła, rozpoczyna poszukiwania, poruszając się losowo. W momencie, gdy dostrzeże ciepły obiekt (cieplejszy od tła), przekręca się – w lewo, gdy jest on przy lewej krawędzi obrazu lub w prawo, gdy jest przy prawej krawędzi (rysunek 4). Gdy obiekt będzie symetrycznie na środku obrazu z kamery termowizyjnej, Kukko pojedzie do przodu.

Hardware

W pierwszej kolejności trzeba zgromadzić wszystkie elementy. Zamawiając poszczególne układy i moduły, należy korzystać z listy i rysunku 1, aby upewnić się, że zamawiane są właściwe komponenty. Elementy można oczywiście zmieniać, w pewnym ograniczonym zakresie. Na przykład można zastąpić mikrofon, który uruchamia tryb wściekłości Kukko, innym czujnikiem.

Jako środek ostrożności autor zaleca użycie dwóch oddzielnych płytek Arduino zamiast jednej, aby uniknąć potencjalnych problemów z bibliotekami wyświetlacza LCD i kamery termowizyjnej (odpowiednio *Adafruit_SSD1306.h* i *Adafruit_GFX.h*), które w pewnych warunkach mogą się nawzajem zakłócać, uniemożliwiając sobie poprawne działanie.

Na **rysunku 5** pokazano schemat połączeń poszczególnych elementów w robocie. Moduły należy połączyć zgodnie z tym schematem. Z uwagi na montaż wyświetlaczy LCD i kamery termalnej wewnątrz kadłuba kurczaka, z daleka od płytki stykowej, do ich połączenia należy użyć długich przewodów.

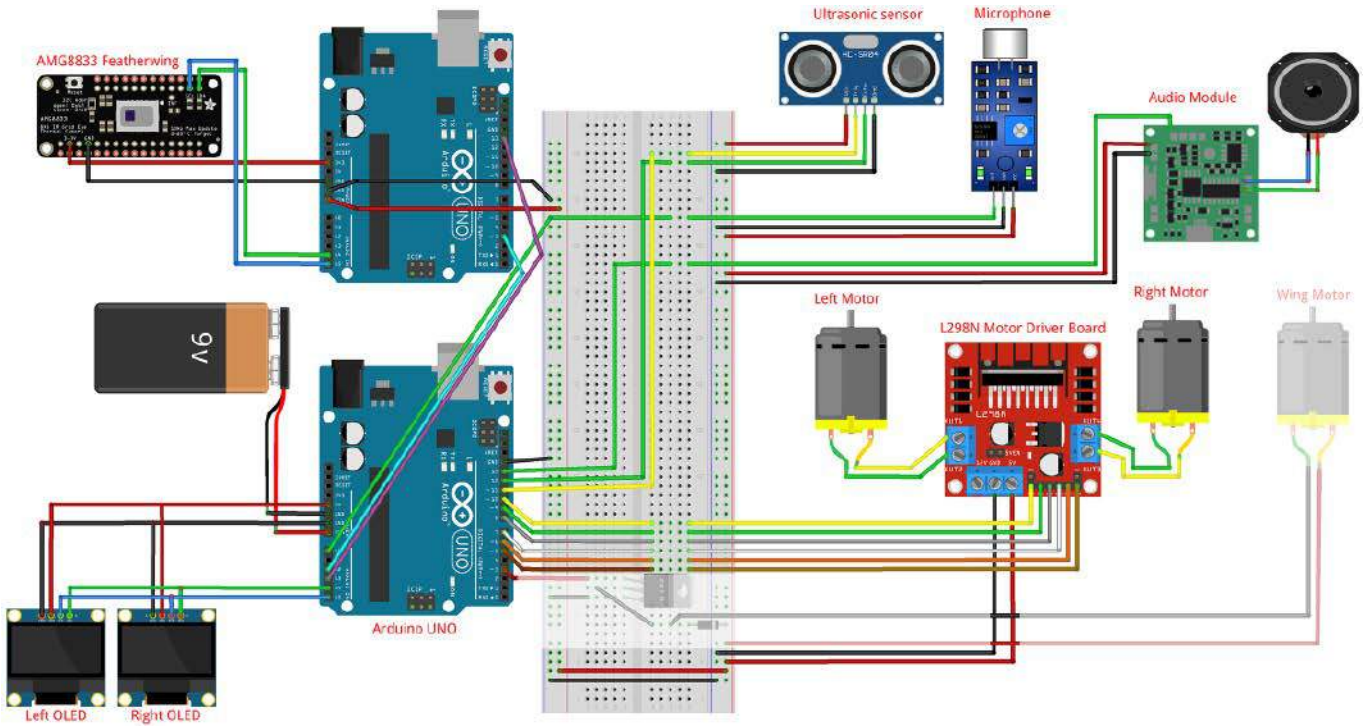
Należy dostosować czułość mikrofonu w systemie, obracając śrubę potencjometru w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara, aż dioda LED-2 na module zgaśnie. Można tę czułość jeszcze dopracować, gdy cała elektronika zostanie zmontowana i przetestowana.

Elementy wyszarzone na schemacie są potrzebne tylko wtedy, gdy chce się zaimplementować dodatkowy silnik prądu stałego do mechanizmu trzepotania skrzydłami, który jest opcjonalny.

Przed zmontowaniem wszystkich modułów, trzy z nich – dwa wyświetlacze i moduł audio, należy przygotować tak, jak opisano w dalszej części artykułu. Dopiero po ich konfiguracji można podłączyć je do systemu, aby działały w pełni poprawnie.

Ekrany OLED

Aby móc niezależnie obsługiwać dwa wyświetlacze LCD, powinny one mieć różne adresy I²C. Dlatego w jednym z nich należy zmienić adres. W tym celu postępujemy zgodnie z dalszymi instrukcjami:



Rysunek 5. Schemat robota

eprasa.pl b0a5d4d3d1

1. Podłączamy Arduino UNO do wyświetlacza (VCC do 5 V, GND do GND, SDA do pinu A4 i SCL do pinu A5). Należy uważać, ponieważ niektóre płytki z wyświetlaczami SSD1306 mają piny w nietypowej kolejności – należy każdorazowo sprawdzić etykiety na PCB i nie sugerować się kolejnością.
2. Należy następnie sprawdzić adresy I²C ekranów SSD1306. Można użyć do tego prostego skryptu, pokazanego na **listingu 1**.
3. Uruchamiamy kod z podłączonym każdym wyświetlaczem (niezależnie) i zapisujemy adres.
4. Jeśli adresy obu wyświetlaczy są takie same (np. 0×3C), należy przejść do kolejnego punktu tej instrukcji. Jeśli adresy różnią się od siebie (np. 0×3C i 0×3D), wystarczy je zanotować i można przejść dalej.
5. Należy zmienić adres I²C jednego z wyświetlaczy LCD, przesuwając rezystor z tyłu PCB (**rysunek 6**).
6. Po zakończeniu wracamy do kroku 2. by sprawdzić, czy adres został zmieniony poprawnie.

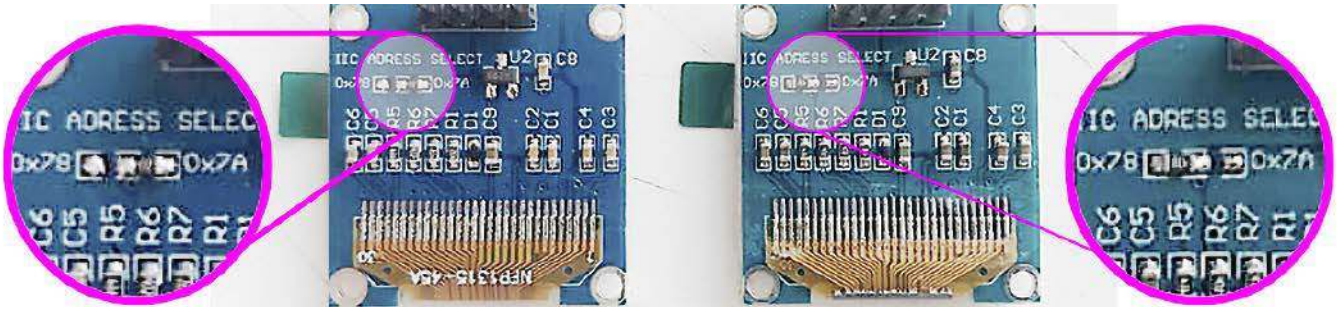
Moduł Audio

Moduł audio, pokazany na **fotografii 1**, wymaga zaprogramowania przed użyciem. Zanim będzie on zamontowany w naszym systemie, do jego pamięci muszą być wgrane dźwięki, jakie ma odtwarzać. Programowanie modułu audio jest bardzo proste. Wystarczy przejść przez cztery opisane poniżej kroki:

1. Podłączamy moduł do komputera za pomocą dostarczonego kabla USB. Pojawi się on jako urządzenie pamięci masowej w systemie.

Listing 1. Prosty skrypt do skanowania urządzeń na interfejsie I²C

```
#include <Wire.h>

void setup(){
  Wire.begin();
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("\nI²C Scanner");
}

void loop(){
  byte error, address;
  int nDevices;
  Serial.println("Scanning...");
  nDevices = 0;
  // Skanowanie po kolejnych adresach
  for(address = 1; address < 127; address++ ){
  // Sprawdzenie, czy są urządzenia pod adresem
    Wire.beginTransmission(address);
  // Odpowiedź urządzenia lub błąd
    error = Wire.endTransmission();
  // Brak błędu – wykryto urządzenie
    if (error == 0){
      Serial.print("I²C device found at address 0x");
      if (address < 16) Serial.print("0");
      Serial.print(address, HEX);
      Serial.println("  !");
      nDevices++;
    }
  // Brak urządzenia pod tym adresem
    else if (error == 4){
      Serial.print("Unknown error at address 0x");
      if (address < 16) Serial.print("0");
      Serial.println(address, HEX);
    }
  }
  if (nDevices == 0)
  Serial.println("No I²C devices found\n");
  else Serial.println("done\n");
  // Odczekaj 5 sekund przed kolejnym skanem
  delay(5000);
}
```



Rysunek 6. Opornik ustalający adres na tyle płytki wyświetlacza OLED SSD1306

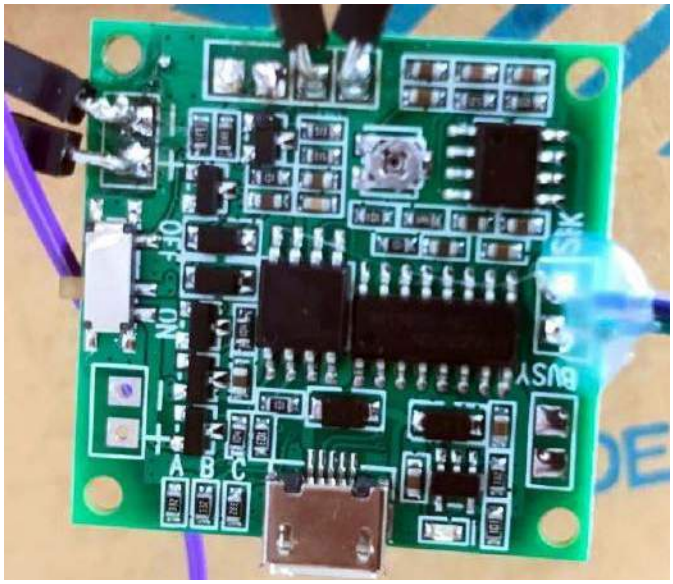
Listing 2. Oprogramowanie dla pierwszego modułu Arduino UNO. W listingu pominięto definicje zmiennych globalnych i funkcje oraz tablice przeznaczone do wyświetlania własnych znaków na ekranie OLED – oczu Kukko

```
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <Time.h>

#define OLED_RESET -1

Adafruit_SSD1306 display(OLED_RESET);
Adafruit_SSD1306 display2(OLED_RESET);

void setup() {
  // Losowe ziarno do generacji liczb losowych
  randomSeed(analogRead(0));
  Serial.begin(9600);
  // Inicjalizacja wyświetlacza o adresie 0x3c
  display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C);
  display.clearDisplay();
  delay(1000);
  // Inicjalizacja wyświetlacza o adresie 0x3d
  display2.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3D);
  display2.clearDisplay();
  delay(1000);
  // Konfiguracja wyzwalania sensora ultradźwiękowego
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  // Konfiguracja echa sensora ultradźwiękowego
  pinMode(echoPin, INPUT);
  // Konfiguracja pinów kontroli mostka H
  pinMode(GSM1, OUTPUT);
  pinMode(GSM2, OUTPUT);
  pinMode(in1, OUTPUT);
  pinMode(in2, OUTPUT);
  pinMode(in3, OUTPUT);
  pinMode(in4, OUTPUT);
  // Konfiguracja kontroli modułu audio
  pinMode(schp, OUTPUT);
  digitalWrite(schp, HIGH);
  // Odczyt danych z drugiej płytki Arduino
  pinMode(digitalPin1, INPUT);
  pinMode(digitalPin2, INPUT);
}

void loop() {
  int mn = 1024;
  int mx = 0;

  for (int i = 0; i < 100; ++i) {
    int val = analogRead(microphonePin);
    mn = min(mn, val);
    mx = max(mx, val);
  }
  int delta = mx - mn;
  Serial.println(delta);
  if (delta > 7) {
    value = value + 1;
    Serial.println(value);
    long randomValue = random(2);
    if (value > 3 - randomValue) {
      display.drawBitmap(
    0, 0, angryEye, 128, 64, WHITE);
      display.display();
      display2.drawBitmap(
    0, 0, angryEyeInv, 128, 64, WHITE);
      display2.display();
      myTime = millis();
    // Domyślnie 30
      while (millis() < myTime + 20000){
    // Przejście w tryb agresywny
        AngryChicken();
      }
      StopMotion();
      display.clearDisplay();
      display2.clearDisplay();
      value = 0;
    }
    else {
    HappyChicken() ;
    long randomValue = random(10);
    if (randomValue < 7) {
      }
    }
  }
}
```


eprasa.pl b0a5d4d3d1

Listing 3. Oprogramowanie dla drugiego Kukko

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_AMG88xx.h>

int digitalWritePin1 = 2;
int digitalWritePin2 = 13;
// Zmienna do przechowywania aktualnego odczytu
int val = 0;

Adafruit_AMG88xx amg;

void setup() {
    Serial.begin(1000000);
    Serial.println(F("AMG88xx pixels"));
    bool status;
    status = amg.begin();
    amg.setMovingAverageMode(true);
    if (!status) {
        Serial.println("Could not find
      a valid AMG88xx sensor, check wiring!");
        while (1);
    }
    Serial.println("-- Pixels Test --");
    Serial.println();
    delay(100);
    pinMode(digitalWritePin1, OUTPUT);
    pinMode(digitalWritePin2, OUTPUT);
}

void loop() {
  float pixels[AMG88xx_PIXEL_ARRAY_SIZE];
  // Odczyt pikseli z kamery termowizyjnej
  amg.readPixels(pixels);
  char c = thermalNav(pixels);
  if (c == 'F'){
    digitalWrite(digitalWritePin1, HIGH);
    digitalWrite(digitalWritePin2, HIGH);
  }
  else if (c == 'L'){
    digitalWrite(digitalWritePin1, HIGH);
    digitalWrite(digitalWritePin2, LOW);
  }
  else if (c == 'R'){
    digitalWrite(digitalWritePin1, LOW);
    digitalWrite(digitalWritePin2, HIGH);
  }
  else if (c == 'S'){
    digitalWrite(digitalWritePin1, LOW);
    digitalWrite(digitalWritePin2, LOW);
  }
}

char thermalNav(float pixels[AMG88xx_PIXEL_ARRAY_SIZE]){
  int const segments = 2;
  float const threshold = 25;
  float sumL = 0.00;
  float sumR = 0.00;
  float const turnThreshold = 4.0;
  // Minimalna i maksymalna wartość pikseli
  float min_val = pixels[0];
  float max_val = pixels[0];
  for (int i = 0; i < AMG88xx_PIXEL_ARRAY_SIZE; i++) {
    if (pixels[i] < min_val) {
      min_val = pixels[i];
    }
    if (pixels[i] > max_val) {
      max_val = pixels[i];
    }
    Serial.print(String(pixels[i])+",");
  }
  Serial.print('\n');
  float matrix[8][8] = {};
  for (int i = 0; i < 8; i++) {
    for (int j = 0; j < 8; j++) {
      matrix[i][j] = pixels[(i)*8 + (j)];
    }
  }
  for (int i = 0; i < 8; i++) {
    for (int j = 0; j < 4; j++) {
      if (matrix[i][j] < threshold){
        matrix[i][j] = 0.00;
      }
      sumL += matrix[i][j];
    }
    for (int j = 4; j < 8; j++) {
      if (matrix[i][j] < threshold){
        matrix[i][j] = 0.00;
      }
      sumR += matrix[i][j];
    }
  }
  // Sprawdzanie kierunku i zwracanie wyników
  // Skręt w prawo
  if (sumR - sumL > turnThreshold &&
    (sumL+sumR) < turnThreshold*100){
    return 'R';
  }
  // Skręt w lewo
  else if (sumL - sumR > turnThreshold &&
    (sumL+sumR) < turnThreshold*100){
    return 'L';
  }
  // Jazda naprzód
  else if ((sumL+sumR) > turnThreshold){
    return 'F';
  }
  // Poszukiwanie
  else {
    return 'S';
  }
}
```



Fotografia 1. Moduł audio

2. Pliki ładujemy do modułu, po prostu przeciągając i upuszczając je na nowy dysk w komputerze. Ma on pojemność 8 MB, jednak wystarczy to do wgrania wymaganych plików. Po wgraniu usuwamy pamięć z systemu.
3. Po wgraniu dźwięku sprawdzamy działanie modułu, podłączając go do zasilania i naciskając dołączony przycisk.
4. Po przetestowaniu systemu odłączamy przycisk i zamiast tego podłączamy przewody, aby zamontować komponent tak, jak pokazano na schemacie (rysunek 5).

Firmware

Oprogramowanie firmware Kukko jest bardzo proste. Są to dwa szkice Arduino, dla dwóch modułów. Jeden z nich odpowiedzialny jest za obsługę termowizji, a drugi kontroluje wszystkie pozostałe elementy robota.

Potrzebne biblioteki

W pierwszej kolejności należy zainstalować w Arduino IDE biblioteki, potrzebne w systemie do obsługi poszczególnych modułów:

- biblioteka do obsługi modułu Adafruit z układem AMG8833 (https://github.com/adafruit/Adafruit_AMG88×x),
- biblioteka graficzna Adafruit (https://github.com/adafruit/Adafruit-GFX-Library),
- biblioteka do obsługi wyświetlacza SSD (https://github.com/adafruit/Adafruit_SSD1306).

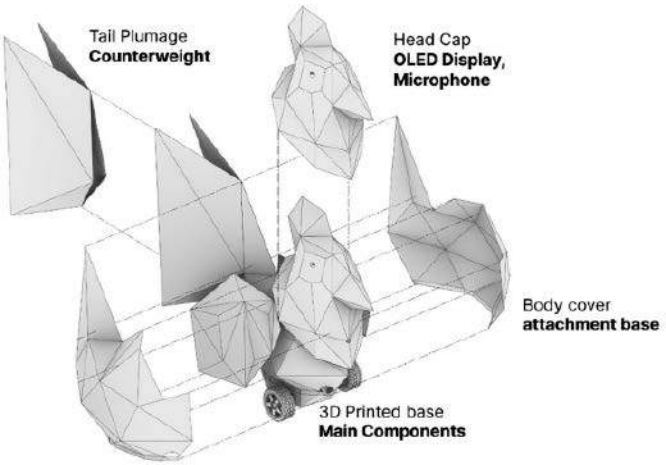
Biblioteki można zainstalować w środowisku Arduino, pobierając je z podanych wyżej adresów lub poprzez wbudowany w to IDE menedżer bibliotek. Jeśli chcemy instalować biblioteki manualnie, należy skorzystać z instrukcji, zawartych na stronach, z których je pobrano.

Kod Kukko

Aby przetestować działanie wszystkich sensorów przed montażem całego układu, sięgnąć można po pierwszy szkic *AngryEye.ino* (**listing 2**) i przesłać go do Arduino IDE. Do uruchomienia tego skryptu wystarczy płytka Arduino ze wszystkimi czujnikami i elementami wykonawczymi, poza kamerą termowizyjną, którą obsługuje drugi moduł Arduino. W pierwszej kolejności musimy skompilować ten kod. Jeśli kompiluje się on poprawnie, oznacza to, że instalacja bibliotek zakończyła się pełnym sukcesem. Jeśli widoczny jest jakiś problem, należy sprawdzić jego źródło i ustalić, która z bibliotek jest odpowiedzialna za ten fakt.

Po załadowaniu firmware można sprawdzić, czy wszystkie czujniki i elementy wykonawcze działają prawidłowo. Moduł cały czas drukuje informacje przez port szeregowy (*Serial.Println()*) podczas

eprasa.pl b0a5d4d3d1



Rysunek 7. Rozstrzelony widok elementów kartonowej obudowy Kukko

ruchu przed ekranem termowizyjnym itd. Po sprawdzeniu programu można zaprogramować drugi moduł Arduino dla Kukko.

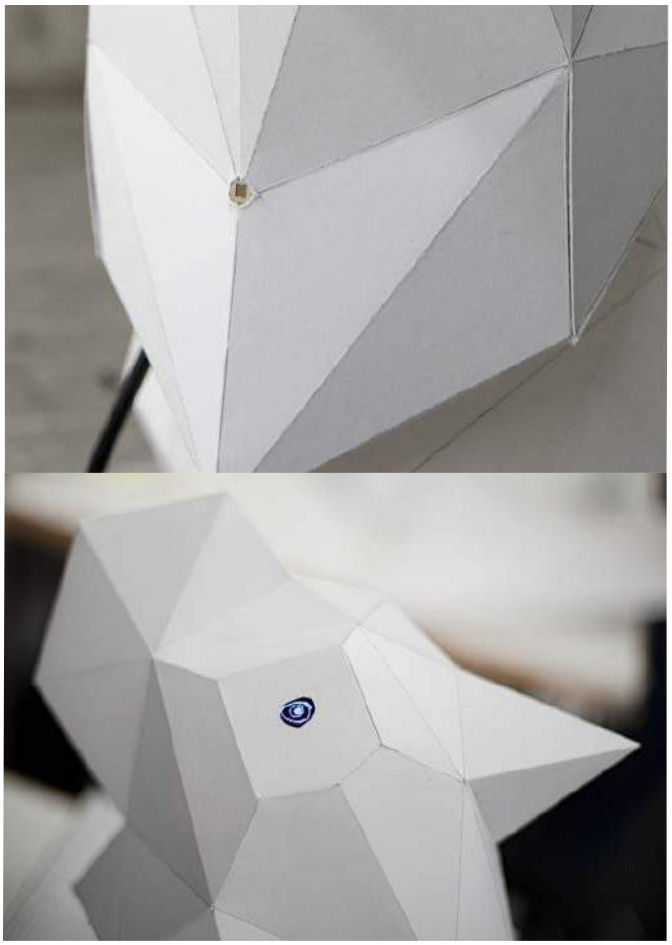
Oprogramowanie drugiego modułu

Po zakończeniu pracy należy przesłać drugi plik kodu – *thermalNavImplementation.ino* (**listing 3**) na drugą płytę Arduino z kamerą termowizyjną po sprawdzeniu, czy kod ten kompiluje się bez żadnych problemów. Skrypt odczytuje z kamery termowizyjnej obraz, a następnie uruchamia jeden z 4 rodzajów ruchów: w lewo, w prawo i do przodu oraz ruch poszukujący celu. Odpowiedź szkicu można zweryfikować, przesuwając dłonią po przestrzeni przed czujnikiem, jednocześnie obserwując monitor szeregowy podłączony do modułu Arduino.

Obudowa

W pierwszej kolejności należy wydrukować na drukarce 3D elementy podwozia i montażu kół. Do podwozia następnie należy zamontować koło obrotowe w tylnej części, wkręcając je na miejsce. Następnie należy wyciąć z grubego papieru pozostałe części obudowy. W ten sposób, na podstawie szablonów, znajdujących się na stronie z projektem, należy wyciąć elementy tułowia, ogona i głowy Kukko. Z wyciętych fragmentów sklejamy cały korpus, a następnie przyklejamy do niego ogon. Na **rysunku 7** pokazano poszczególne sekcje do sklejenia.

Ostatnim etapem jest instalacja sensorów. Należy w obudowie zrobić otwory dla sensora termicznego oraz ekranów OLED, pełniących funkcje oczu. Na **fotografii 2** pokazano rezultat tego zabiegu.



Fotografia 2. Zainstalowany w obudowie detektor termiczny oraz oczy Kukko

Podsumowanie

Postępując zgodnie z powyższymi instrukcjami, można złożyć i uruchomić robota Kukko. Nic nie stoi również na przeszkodzie, aby zmodyfikować konstrukcję lub algorytm, by dostosować robota do naszych potrzeb i pomysłów.

Nikodem Czechowski, EP

Bibliografia:

1. https://www.instructables.com/Robotic-Kukko/

REKLAMA

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

ELPORTAL.pl

eprasa.pl b0a5d4d3d1

Ventbot – lokalny sterownik do wentylacji domowej

Czy masz pokoje w swoim domu, w których zimą jest chłodniej niż w innych pokojach? Lub, jeśli masz klimatyzację, czy któreś pokoje nie są cieplejsze niż inne pokoje latem? Często zdarza się to w pomieszczeniach najbardziej oddalonych od centralnej dmuchawy klimatyzatora lub nagrzewnicy pieca (w przypadku ogrzewania ciepłym powietrzem). Jednym z rozwiązań jest dołożenie w pomieszczeniu wentylatorów wspomagających, które montuje się u wylotu instalacji w pomieszczeniach.

Wentylatory wspomagające, montowane w instalacji u wylotów najdalszych szybów, można łatwo zainstalować w każdym z problematycznych pomieszczeń. Dzięki opisanemu projektowi można nie tylko zbudować własny moduł wentylatorów, ale także kontroler do nich, co sprawi, że ich działanie będzie w pełni kontrolowane.

Projekt zawiera powszechnie dostępne i niedrogie wentylatory do obudów PC. Mała płytka drukowana z mikroprocesorem zapewniają inteligentną kontrolę. Kiedy piec lub klimatyzator nadmuchuje, odpowiednio, ciepłe lub chłodne powietrze do pomieszczenia, Ventbot automatycznie włącza wentylatory, aby zapewnić zwiększenie przepływu powietrza w odległych krańcach instalacji. Kiedy piec lub klimatyzator przestaje dmuchać, Ventbot wyłącza wentylatory, aby nie zużywały one niepotrzebne energii i nie hałasowały. Po zbudowaniu i zainstalowaniu można wentylatory po prostu skonfigurować i o nich zapomnieć.

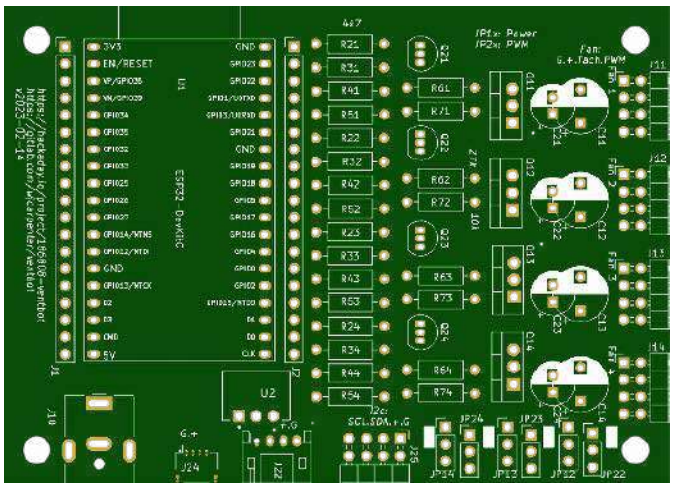
Projekt zawiera wiele ciekawych rozwiązań. Jest dostępny na licencji open source, więc można jego elementy stosować do innych zastosowań, a także dowolnie modyfikować układ, aby dopasować go do swoich potrzeb. Aby to ułatwić, autor konstrukcji przygotował precyzyjny i dokładny opis systemu, aby ułatwić ewentualne modyfikacje. Dodatkowo, podejście to sprawia, że system będzie łatwiej skonstruować również amatorom czy osobom, które nie mają za wiele do czynienia z mikrokontrolerami.

Do wykonania systemu, oprócz podstawowej umiejętności lutowania, potrzebny będzie dostęp do drukarki 3D, jak i umiejętność jej obsłużenia. System wymaga wydrukowania kilku elementów, aby zamontować wentylatory w kanale wentylacyjnym, a także by umocować elementy sterujące. Dodatkowo potrzebna jest też elementarna umiejętność obsłużenia komputera z Arduino IDE – środowisko to potrzebne będzie do załadowania oprogramowania układowego na płytkę. Oprogramowanie jest już napisane przez autora i poza elementami do konfiguracji nie wymaga żadnej znajomości programowania w Arduino.

Potrzebne elementy

Lista materiałów potrzebnych do skonstruowania systemu wygląda na długą i skomplikowaną, co może być nieco zniechęcające. Jest tak, ponieważ podczas kompletowania poszczególnych części należy przemyśleć pewne opcje projektowe. Dlatego też, wraz z listą poszczególnych elementów, zawarto ich opis oraz szereg innych informacji przydatnych podczas realizacji projektu. Zanim przystąpimy do kompletowania elementów czy tym bardziej do budowy układu, należy wszystko dobrze rozplanować. W przeciwnym razie można zmarnować pieniądze, kupując rzeczy, których nie potrzebujemy do realizacji projektu, a tego nikt nie chce. Przyjrzyjmy się zatem, jak poszczególne elementy do siebie pasują.

Podstawą całego sterownika jest płytka drukowana, na której zainstalowane zostaną wszystkie elementy. Płytka (bez elementów) pokazana jest na **rysunku 1**. Jednym z kluczowych elementów jest moduł z mikrokontrolerem ESP32. Po załadowaniu do jego pamięci firmware układ ten będzie zarządzał pracą całego systemu.



Rysunek 1. Wygląd płytki drukowanej kontrolera wentylatorów

eprasa.pl b0a5d4d3d1

Na jednym końcu płytki drukowanej znajdują się złącza do podłączenia kabli od wentylatorów. Do modułu podłączony jest również czujnik temperatury, który ma swoje przeznaczone złącze.

Obudowa dla układu może być wykonana na drukarce 3D. Na stronie z projektem znajdują się pliki z elementami do druku. Oprócz obudowy dla elektroniki na drukarce 3D wydrukować należy wsporniki do trzymania wentylatorów razem i instalowania ich we wnęce wentylacyjnej.

Kontroler może współpracować z maksymalnie 4 wentylatorami, ale zarówno płytka drukowana, jak i oprogramowanie mogą działać z mniejszą liczbą wentylatorów. Zarówno płytka drukowana, jak i obudowa wydrukowana w 3D mają oznaczenia wskazujące, który wentylator jest który. Oczywiście w systemie potrzebny jest co najmniej 1 wentylator, inaczej układ nie ma sensu. Jeśli używamy w układzie tylko jednego wentylatora, powinien to być Fan 1, aby zminimalizować zamieszanie. Inne wentylatory mogą być dowolną kombinacją Fan 2, Fan 3 lub Fan 4. Oprogramowanie automatycznie wykryje, które wentylatory są obecne. Wiele elementów w układzie jest powielanych dla każdego wentylatora, więc jeśli nieokreślony wentylator w systemie nie będzie używany, można nie montować niektórych części na PCB. Istnieją również elementy opcjonalne dla każdego obwodu, dodające pewne funkcje. Można z nich zrezygnować i również nie montować.

W zależności od wyboru opcjonalnych części, tego, gdzie kupujemy itd., całkowity koszt modułu powinien zamknąć się w około 60 dolarach (ok. 240 zł). Można kupić gotowy wentylator wspomagający za podobną cenę, jeśli uda nam się go znaleźć, ale stracimy sporo frajdy z samodzielnej budowy, a także ograniczmy możliwości kontrolowania jego pracy – opisana tutaj konstrukcja, nie dość, że zapewnia dosyć szeroki zakres kontroli, to może być dowolnie modyfikowana w czasie budowy.

W repozytorium projektu można znaleźć zestawienie materiałowe (BOM) utworzone przez oprogramowanie EDA (do projektowania układów elektronicznych) – KiCad. Poniżej wypisano te elementy wraz z komentarzem i stosownymi adnotacjami:

- moduł z ESP32C, najlepiej, aby była to wersja 4. (wersja C) modułu, która ma 38 wyprowadzeń,
- cyfrowy czujnik ciśnienia BMP28,
- wentylatory – od jednej do czterech sztuk,
- oporniki (wszystkie przewlekane):
  - 4,7 kΩ (4 na wentylator),
  - 27 kΩ (1 na wentylator),
  - 10 kΩ (1 na wentylator),
- kondensatory elektrolityczne:
  - 10 μF (1 na wentylator),
- tranzystory:
  - tranzystor bipolarny NPN: (1 na wentylator),
  - tranzystor MOSFET z kanałem typu N: (1 na wentylator),
- zworki i goldpiny (opcjonalnie):
  - 3-pinowe goldpiny 0,1 cala: opcjonalnie, do 6 sztuk,
  - 2-pinowe goldpiny jako zworki: po jednym dla każdego 3-pinowego złącza,
- złącza zewnętrzne:
  - złącza wentylatora: (1 na wentylator),
  - złącza I²C (przynajmniej jedno z 3 możliwości),
  - gniazdo zasilania,
- stabilizator napięcia – przetwornica napięcia lub regulator liniowy 7805 z opcjonalnym radiatorem,
- zasilacz wtyczkowy 12 V.

Sercem systemu jest moduł z ESP32. Dostępnych jest wiele modułów ESP32 o różnych rozmiarach i konfiguracjach pinów. Przed montażem należy upewnić się, że mamy właściwy. Projekt zawiera ESP32-DevKitC V4 z modułem ESP32-WROOM-32D. Istnieją inne odmiany, które również będą działać, ale nie wszystkie są kompatybilne z wyprowadzeniami. Najważniejsze jest, aby zakupić wersję z 38 wyprowadzeniami i aby rozłożenie pinów było takie samo, jak to, których używa projekt, przynajmniej dla sygnałów, które są faktycznie używane. Jeśli tego nie zachowamy, układ może nie działać, aczkolwiek moduły ESP32 zapewniają dosyć dużą elastyczność, jeśli chodzi o konfigurowanie wyjść. Mimo że ten moduł jest już dość stary, wciąż można znaleźć ESP32-DevKitC V1, który ma nieco inne wymiary fizyczne, ale nadal będzie działać i pasuje do płytki.

Istotnym elementem systemu jest czujnik temperatury. Autor zastosował w tym projekcie sensor BMP280 firmy Bosch. Są one powszechnie dostępne i niedrogie. Bez żadnych zmian oprogramowania układowego można alternatywnie zastosować czujnik BME280, aby uzyskać również możliwość pomiaru wilgotności względnej, chociaż pamiętać należy, że BME280 jest droższy. Zarówno dla BMP280, jak i BME280, zastosowano interfejs I²C, ale mają one również interfejs SPI, który wyprowadzony jest w niektórych modułach. Zaprezentowany projekt korzysta z interfejsu I²C.

Oprogramowanie układowe odczytuje również ciśnienie z BMP280 lub BME280 oraz wilgotność względną z BME280, ale nie korzysta z tych danych, a tylko raportuje ich wartości. W rzeczywistości oprogramowanie układowe automatycznie próbuje znaleźć kilka różnych czujników temperatury obsługiwanych przez ESPHome, ale autor przetestował tylko BMP280 i BME280. Oznacza to, że mogą działać i inne, ale nie jest to potwierdzone przez autora. Można też zastosować zupełnie inny termometr. Będzie to całkiem proste, jeśli czujnik taki korzysta z I²C i jest już obsługiwany przez ESPHome.

Elementy z interfejsem I²C są czasami dostępne w dwóch wersjach: dla 3,3 V i dla 5 V. W tym systemie potrzebujemy elementów w wersji 3,3 V, aby były kompatybilne z modułem ESP32.

Do zasilania zastosowano powszechnie dostępny zasilacz 12 V DC ze złączem baryłkowym 2,1/5,5 mm. Wydajność 1 ampera przy 12 V DC powinna być wystarczająca. Ponieważ będzie on podłączony przez cały czas, najlepiej użyć zasilacza dobrej, jakości z normą UL lub ETL. Dobierając zasilacz, należy wybrać taki, który sięgnie do gniazdka, które zapewne będzie umieszczone daleko od otworów wentylacyjnych.

Uchwyt wentylatorów

Otwory wentylacyjne w naszym domu mogą być takie same jak autora, ale mogą być też zupełnie inne. Trzeba dobrać uchwyty wentylatorów do wielkości ujścia kanału wentylacyjnego w naszym domu. W większości domów wszystkie otwory wentylacyjne będą miały ten sam rozmiar, na ogół są one standardowe, jednak istnieje też kilka nietypowych.

W instalacji autor zastosował standardowe wentylatory do obudów komputerów PC, ich wymiary wymuszą pewne decyzje. Powszechnie dostępne rozmiary wentylatorów to 80 mm, 92 mm i 120 mm (typowo, istnieje jeszcze kilka innych rozmiarów – większych i mniejszych, te są jednak najpopularniejsze). Wentylatory muszą pasować poziomo do ujścia kanału wentylacyjnego. Muszą być skierowane łopatkami na zewnątrz otworu, aby pompowały powietrze w odpowiednim kierunku. W otworze wentylacyjnym montujemy największy mieszczący się wentylator. Możemy zamontować też kilka obok siebie, jeśli otwór wentylacyjny ma kształt prostokąta. Na przykład w domu autora otwory wentylacyjne mają nominalnie 4 cale na 12 cali. Używa on wentylatorów 92 mm w zestawie po 3 sztuki. Wszystkie elementy montażowe Ventbota schowane są w kanale wentylacyjnym, jak pokazano na **fotografii 1**. Po założeniu osłony wyglądają schludnie i nie rzucają się w oczy. Do montażu zastosowane są drukowane w 3D plastikowe elementy, jakie pokazano na **fotografii 2**.

W systemie zastosowano wentylatory ze sterowaniem PWM, czasami opisywane jako wentylatory 4-przewodowe. Pozwala to kontrolować prędkość obrotową wentylatora za pomocą sygnału z modulacją PWM (modulacja wypełnienia impulsów). Można także użyć innych wentylatorów, ale będą one tylko całkowicie wyłączone lub całkowicie włączone, a to może powodować hałas i będzie denerwujące. Nie

eprasa.pl b0a5d4d3d1

Fotografia 1. Wentylatory zainstalowane w kanale wentylacyjnym przy jego wyjściu

Fotografia 2. Plastikowe uchwyty wentylatorów z drukarki 3D, zamontowane na trzech wentylatorach 92 mm

ma dużej różnicy w cenie między wentylatorami 3-przewodowymi i 4-przewodowymi, ponieważ oba są często używane w komputerach PC. Dobierając konkretny wentylator do naszej instalacji, warto kierować się poziomem hałasu, jaki generuje, zwłaszcza jeśli instalujemy je w sypialni itp. Są takie, które mają bardzo niski poziom emitowanego hałasu. Jest to na ogół kompromis między hałasem, ilością powietrza, które mogą przenieść, a tym, ile trzeba za nie zapłacić.

Układ elektroniczny

Na **rysunku 2** pokazano schemat ideowy modułu. Budowa układu jest bardzo prosta. Centralnym elementem jest moduł z ESP32, do którego podłączone są wszystkie wejścia i wyjścia. Mikrokontroler mierzy parametry otoczenia poprzez sensor podłączony przez I²C i zadaje wartości prędkości obrotowej wentylatorom. ESP32 mierzy też prędkość, jaką raportują poszczególne wentylatory, aby raportować ją do systemu i monitorować ich pracę.

Układ zasilany jest z napięcia 12 V podłączonego do wejścia J10. Zasila ono bezpośrednio wentylatory i podawane jest na stabilizator U2, który stabilizuje napięcie 3,3 V do zasilenia mikrokontrolera i sensorów. W zastosowanym module z ESP32 znajduje się wbudowany liniowy stabilizator napięcia (zwykle AMS1117), który może stabilizować 3,3 V z wejścia 12 V. Problem polega na tym, że liniowy stabilizator napięcia może się dość mocno nagrzać od rozpraszania tak dużej ilości ciepła. W rzeczywistości może to nawet doprowadzić do jego uszkodzenia. Aby poradzić sobie z zasilaniem przy tak dużej różnicy napięć, na płytce PCB przewidziano miejsce na dodatkowy stabilizator napięcia. Można użyć go do obniżenia napięcia z 12 V do 5 V, co jest znacznie łatwiejsze w obsłudze dla wbudowanego stabilizatora napięcia w module z ESP32. Autor przewidział trzy możliwe opcje, jakie można zastosować tutaj do stabilizacji tego napięcia.

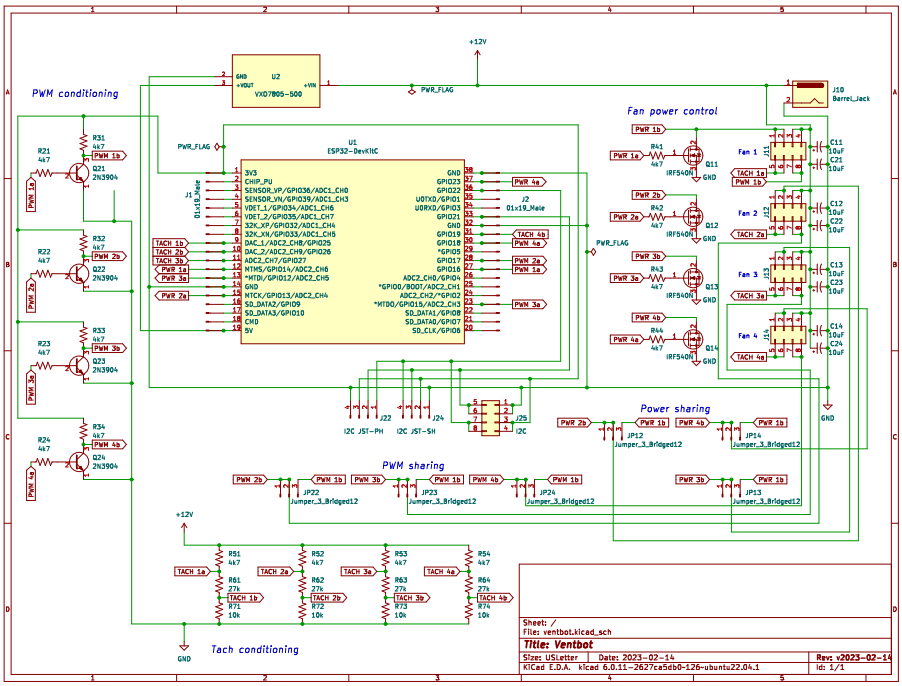
Domyślną opcją jest instalacja układu 7805 lub kompatybilnego w obudowie TO-220. Zamiast tego można jednak zastosować kompatybilny mechanicznie moduł z przetwornicą impulsową, która pozwoli uniknąć generowania nadmiernej ilości ciepła ze stabilizatora liniowego. Jednym z przykładów jest CUI VXO7805-500, ale są też inne. Ten stabilizator zasila tylko moduł ESP32, więc wystarcza skromna wydajność rzędu kilkuset miliamperów. Trzecią opcją jest zmostkowanie tego elementu i sprawienie, że całe ciepło uwalniane będzie na stabilizatorze wbudowanym w moduł ESP32.

Mając już wszystkie elementy, można przystąpić do montażu układu. Najpierw montujemy najniższe części. Na sam koniec montujemy na ogół najwyższe, ale także najdroższe czy też najdelikatniejsze elementy. Pozwala to nie tylko wygodnie montować system, ale także zrobić to w bezpieczny sposób. W tej konstrukcji moduł ESP32 jest drogi w porównaniu do innych elementów, więc należy go zostawić na koniec, tym bardziej że jego 38 wyprowadzeń zasadniczo utrudnia usunięcie go po przylutowaniu.

Duże tranzystory MOSFET są zorientowane tak, że można je pochylić i położyć pod kątem, aby zmniejszyć całkowitą wysokość. Tranzystory te mają możliwość zamocowania radiatora, ale nie jest to potrzebne w tym systemie z uwagi na niewielką ilość prądu, jaki przez nie płynie.

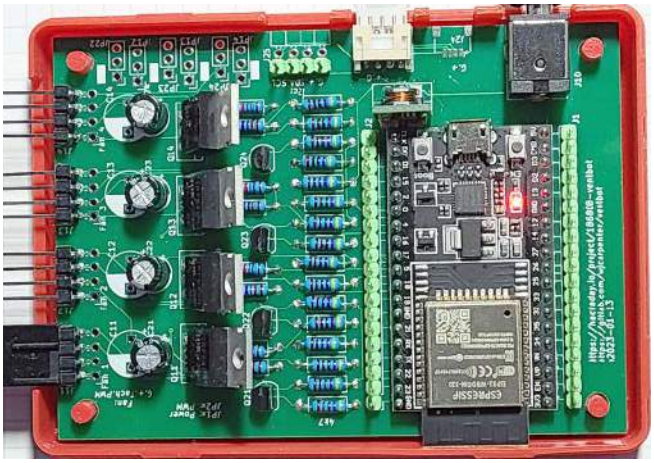
W projekcie zastosowano czujnik temperatury i wilgotności BMP280 (lub inny czujnik temperatury na I²C). Jest on zewnętrzny względem kontrolera i połączony z nim przewodami. Płytka drukowana zawiera miejsce do montażu złącza, jednak zaprojektowano ją tak, aby możliwe było tam zainstalowanie jednego z wielu złączy. Autor przewidział możliwość montażu następujących gniazd:

- JST-SH (tak samo jak Adafruit STEMMA QT i Sparkfun Qwiic). Chociaż złącza te są dostępne zarówno w wersji poziomej, jak i pionowej, z tą płytką można używać tylko wersji poziomej. Jest to element montowany powierzchniowo z bardzo drobnym rastrem – 1,0 mm. Jego przylutowanie wymaga sporego doświadczenia;
- JST-PH (taki sam jak oryginalny Adafruit STEMMA i dość podobny do Seeed Studio Grove). Są one dostępne w wersji poziomej lub pionowej i obie mogą być używane z tą płytką drukowaną;



Rysunek 2. Schemat ideowy kontrolera wentylatorów

eprasa.pl b0a5d4d3d1



Fotografia 3. Zmontowane urządzenie

- Seeed Studio Grove. Można skorzystać z tego złącza, jeśli już mamy podzespoły ekosystemu Grove. To dobry system, ale niektóre jego aspekty mogą być nieco mylące w tym konkretnym projekcie;
- 4-pinowe złącze z goldpinami. To najtańsze rozwiązanie, które jest również bardzo elastyczne. Dostępne jest jako złącze z jednym lub dwoma rzędami pinów, w wariantach THT dostępne jest jako proste i kątowe. Płytka drukowana ma miejsce na 2×4 goldpiny do podłączenia sensorów.

Na wybór używanego złącza może mieć wpływ zastosowany czujnik temperatury. Najtańsze są na płytkach *noname*, które mają najczęściej wystawione goldpiny. Istnieją również wersje Adafruit, Seeed Studio i innych producentów ze złączami JST-SH, JST-PH, STEMMA, STEMMA QT lub Grove. Sygnały elektryczne są takie same we wszystkich tych odmianach, chociaż występować mogą w różnej kolejności.

Zmontowana płytka pokazana jest na **fotografii 3**. Jest ona umieszczona w dolnej części obudowy, która wykonana jest w technologii druku 3D. Wszystkie potrzebne do druku pliki umieszczono na stronie z projektem, jak i w repozytorium, więc nic nie stoi na przeszkodzie, aby samodzielnie wydrukować obudowę (pokazano ją na **rysunku 3**).

Oprogramowanie

Po przygotowaniu całego hardware możemy przystąpić do oprogramowania modułu. ESP32 musi być zaprogramowany za pomocą firmware, aby pełnił swoją funkcję. Aby to zrobić, należy podłączyć komputer do portu USB modułu za pomocą kabla USB (moduł ESP32 najpewniej wyposażony jest w gniazdo micro-USB). Kolejne aktualizacje oprogramowania będzie można już dokonywać przez Wi-Fi (tzw. *over-the-air*, OTA). Podłączenie kabla do portu USB może być trudne, gdy moduł i inne części zostaną przylutowane do płytki drukowanej, dlatego najlepiej jest wykonać pierwsze wgranie oprogramowania układowego, zanim zostanie on wlutowany na PCB. **Uwaga: Jeśli decydujemy się na programowanie ESP32 w układzie, to należy upewnić się, że zasilacz 12 V nie jest podłączony w tym samym czasie, co komputer PC.**

Framework używany do oprogramowania nazywa się ESPHome. Ma on naprawdę dobrą dokumentację na https://esphome.io. Nie ma sensu powtarzać w tym artykule wszystkich informacji tam zawartych. Jedyne, o czym należy wspomnieć, to to, że nie trzeba posiadać Home Assistanta, aby korzystać z ESPHome. Są to powiązane elementy oprogramowania z wieloma synergiami, ale można używać ESPHome bez Home Assistanta. Z wyjątkiem ewentualnych aktualizacji oprogramowania układowego Ventbot może działać całkowicie samodzielnie, bez żadnej komunikacji zewnętrznej. W dalszej części artykułu opisano, jak zastosować te synergie i używać tych dwóch elementów razem, ale jest to całkowicie opcjonalne.

W pierwszej kolejności należy zainstalować ESPHome na swoim komputerze i uruchomić je, postępując zgodnie z instrukcjami na stronie. Następnie pobieramy pliki konfiguracyjne ESPHome Ventbota do katalogu konfiguracyjnego ESPHome. Znajdują się one w repozytorium. Są to pliki YAML. Nie ma znaczenia, który z nich pobierzemy z repozytorium, można też po prostu pobrać je wszystkie.

Podczas edytowania któregokolwiek z plików konfiguracyjnych należy zwracać uwagę na wcięcia i zawsze używać do nich spacji, nigdy nie używaj tabulatorów. YAML jest bardzo wybredny pod tym względem. Jeśli zamierzamy mieć wiele Ventbotów w domowej sieci, należy każdemu z nich nadać unikalną nazwę. Nazwy mogą być dowolne, oby tylko były unikalne, ponieważ rejestrują się w sieci Wi-Fi z tymi nazwami. Autor nazwał je kolorami, od kolorów obudowy, w jakim dany moduł jest zamknięty. Jeśli chcemy nazwać Ventbota chuzzlewit, zmieniamy nazwę pliku konfiguracyjnego *ventbot-red.yaml* na *ventbot-chuzzlewit.yaml*.

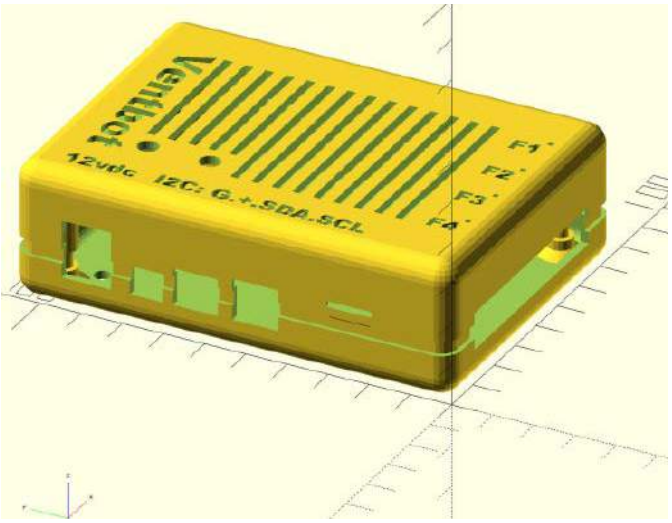
Plik o zmienionej nazwie otwieramy w edytorze tekstu. Szukamy w nim *## CONFIG ##*, który jest znacznikiem rzeczy, które można zmienić. Wszędzie są komentarze, opisujące, czego dotyczy dany parametr. Następnie należy utworzyć plik *secrets.yaml* w tym samym katalogu. Wszystko w *ventbot.yaml* oznaczone jako *!secret* faktycznie pochodzi z tego pliku. Wpis taki jak *!secrets foo* oznacza, że parametr ten będzie pobrany z pliku *secrets.yaml* z tagu *foo* i użyje powiązanej wartości. Korzystanie z pliku *secrets.yaml* jest dobrą praktyką, ale nie jest wymagane – można po prostu zmienić wpisy *!secrets*, aby miały konkretne wartości.

Po skonfigurowaniu wszystkich plików można zbudować oprogramowanie układowe i wgrać je za pomocą ESPHome, łącząc się przez USB z modułem ESP32. Ostatnim etapem jest zalogowanie modułu do sieci Wi-Fi za pośrednictwem strony generowanej przez moduł. Po tym kroku można z poziomu ESPHome upewnić się, że moduły są widoczne i dostępne, aby przeprowadzić aktualizację OTA.

Konfigurowanie Wi-Fi

Ogólny plik konfiguracyjny oprogramowania układowego Ventbot nie zna SSID i hasła Wi-Fi. Jednym ze sposobów konfiguracji tego jest dodanie poświadczeń Wi-Fi do pliku konfiguracyjnego (np. za pomocą pliku *secrets.yaml*). Można w ten sposób również skonfigurować statyczny adres IP. Jeśli chcemy to zrobić, to prawdopodobnie trzeba również zmodyfikować plik *ventbot.yaml.inc*.

Dostępny jest drugi sposób konfiguracji sieci. Kiedy ESP32 uruchomi się (z oprogramowaniem ESPHome), i nie będzie mogło się połączyć z siecią Wi-Fi, uruchomi się w trybie AP i wyświetli stronę. Nazwą sieci tego AP będzie nazwa Ventbota, po której następuje *Config AP* – na przykład *ventbot-chuzzlewit Config AP*. Należy połączyć się z tą siecią za pomocą telefonu lub komputera i otworzyć przeglądarkę na stronie http://192.168.4.1. Znajduje się tam formularz, który pozwoli wprowadzić informacje dotyczące sieci Wi-Fi. Na **rysunku 4** pokazano zrzut ekranu podczas konfiguracji. Oprogramowanie układowe



Rysunek 3. Projekt obudowy do druku 3D

eprasa.pl b0a5d4d3d1

Rysunek 4. Konfiguracja sieci Wi-Fi

zapisze te informacje w pamięci Flash i automatycznie połączy się z tą siecią za każdym razem, gdy ESP32 uruchomi się ponownie.

Uruchamianie i kalibracja

Kiedy instrukcja mówi, że trzeba skalibrować jakieś urządzenie, to zawsze mamy w głowie trudny proces, który wymagać może laboratoryjnego sprzętu. W tym przypadku kalibracja oznacza jedynie dostrojenie układu do działania w określonym środowisku. Wszystkie kroki są dość proste. Wszystko można zrobić przez Wi-Fi. Do regulacji kalibracji używany jest ponownie ESPHome, ale aktualizacje wgrywane są bezprzewodowo. Założymy, że Ventbot nazywa się *ventbot-chuzzlewit*. W grę wchodzą dwa pliki ESPHome. Każdy Ventbot ma swój konkretny plik, taki jak *ventbot-chuzzlewit.yaml*, który odwołuje się do znacznie większego pliku *ventbot.yaml.inc*. Ten sam plik jest używany przez wszystkie Ventboty i nie trzeba wprowadzać w nim żadnych zmian. Poszczególne pliki, takie jak *ventbot-chuzzlewit.yaml*, zawierają wszystkie konfigurowalne ustawienia.

Kalibracja – wyzwalacze temperatury

Ventbot włącza wentylatory, jeśli wykryje temperaturę powyżej określonego punktu lub poniżej określonego punktu. Pomiędzy tymi dwiema wartościami (zakres nazywa się strefą neutralną) Ventbot wyłącza wentylatory. HIGH_TRIGGER i LOW_TRIGGER to tylko liczby. Można wyrazić je w stopniach Fahrenheita lub Celsjusza. Ustawienie towarzyszące, TRIGGERS_ARE_CENTIGRADE, wskazuje, jakie jednostki zastosowano. Inne pokrewne ustawienie, SENSOR_IS_CENTIGRADE, wskazuje, jakiej skali używa czujnik temperatury (prawie na pewno będzie to stopień Celsjusza).

Jakich wartości należy użyć dla wyzwalaczy temperatury? Można arbitralnie dobrać te wartości albo odczytać je z logów dziennika Ventbota, jeśli jest on już jakiś czas zainstalowany w naszym domu.

Uwaga: jeśli mamy wiele Ventbotów w domu, wykonajmy ten krok niezależnie dla każdego z nich osobno. Może się okazać, że będą występować dość znaczące różnice w zakresie niskiej i wysokiej temperatury wyzwalającej urządzenie, zależnie od miejsca instalacji modułu. Przykładową konfigurację w pliku YAML pokazano poniżej:

```
HIGH_TRIGGER: “85.1”
LOW_TRIGGER:  “60.5”
TRIGGERS_ARE_CENTIGRADE: ‘false’
SENSOR_IS_CENTIGRADE: ‘true’
```

Kalibracja – rampa w górę i w dół

Aby uzyskać maksymalny efekt wzmocnienia, możesz po prostu włączyć wszystkie wentylatory na maksymalną prędkość natychmiast, gdy potrzebne jest przyspieszenie. Ventbot może jednak stosować bardziej skomplikowane podejście, ponieważ maksymalne obroty oznaczają również maksymalny hałas. Może to być szczególnie ważne w pomieszczeniach, w których śpią ludzie. Aby rozwiązać ten problem, Ventbot używa konfigurowalnej tabeli wartości, aby powiedzieć, jak szybko wentylatory powinny się obracać i jakie kroki należy podjąć. Charakterystyka ta nazywana jest rampą. Może się to wydawać dość skomplikowane. Najważniejszą rzeczą do podjęcia decyzji jest maksymalna prędkość, jaką mają osiągnąć wentylatory oraz liczba kroków i przerw, które należy wykonać. Można również rozważyć, ile kroków i przerw należy

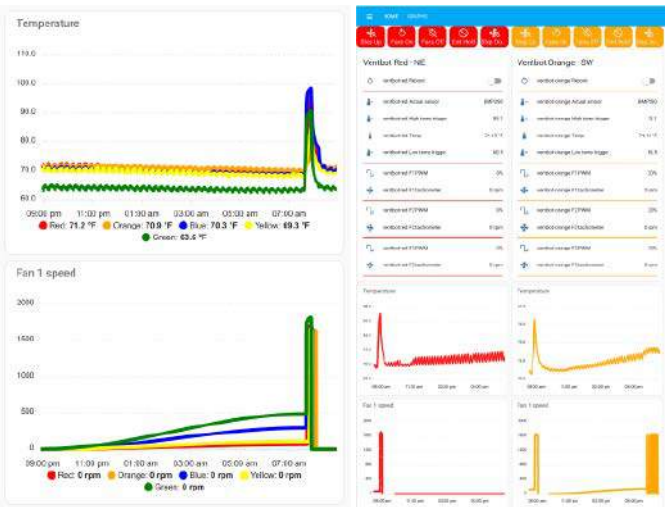
```
Listing. Konfiguracja działania wentylatora – tzw. rampa

RAMP_TABLE: |-
    {0,  0,    {  0,   0,   0,   0}},
    {2,  1,    {  2,   0,   0,   0}},
    {2,  1,    {  2,   2,   0,   0}},
    {2,  1,    {  2,   2,   2,   0}},
    {5,  5,    { 20,  20,  20,  20}},
    {5,  5,    { 40,  40,  .40,  40}},
    {5,  5,    { 60,  60,  60,  60}},
    {5,  5,    { 80,  80,  80,  80}},
```

zastosować podczas wyłączania wentylatorów, ale dla większości ludzi prawdopodobnie będzie to mniej ważne. Prędkości wentylatora są wyrażone jako procent wartości maksymalnej zamiast pewnej liczby obrotów na minutę. Jest to bardziej intuicyjne. Tabela z konfiguracją rampy pokazana jest na **listingu 1**.

Integracja z Home Assistantem

Można użyć ESPHome do monitorowania zachowania Ventbota, przeglądając pliki dziennika, ale Ventboty będą działać autonomicznie i nie będą zależne od połączenia z czymkolwiek. ESPHome oraz Home Assistant to całkiem kompletny system automatyki domowej i ściśle powiązane projekty open source. Bardzo łatwo jest skonfigurować Ventbota do zgłaszania swoich danych do serwera Home Assistant, a nawet łatwo jest użyć ekranu pulpitu nawigacyjnego Home Assistant, aby powiedzieć Ventbotowi, aby coś zrobił.

Opisanie, jak to skonfigurować, wykracza poza zakres tego artykułu. Przykład tego, co da się zrobić, pokazano na **rysunku 5**. Wykresy te pozwalają na monitorowanie zmian w czasie. Dodatkowo serwer Home Assistant, wiedząc, kiedy działa ogrzewanie lub chłodzenie (i kilka innych rzeczy), może lepiej sterować Ventbotami. Zamiast używać czujników temperatury podłączonych do Ventbotów, można użyć jego wiedzy o tym, kiedy włączone jest ogrzewanie lub chłodzenie, aby nakazać uruchamianie i zatrzymywanie wentylatorów.



Rysunek 5. Home Assistant prezentujący dane z Ventbotów

Podsumowanie

Pokazana wersja PCB to aż czwarta wersja urządzenia. Jest to ciekawe rozwiązanie dosyć konkretnego problemu. Dla wielu osób może być zbyt skomplikowane, jednak możliwość integracji z automatyką domową może być ciekawą alternatywą. Urządzenie, jakkolwiek przeznaczone do konkretnej roli, może być rozbudowane (np. można dołączyć inne sensory na I²C) i pełnić szerszą funkcję w domowym systemie automatyki.

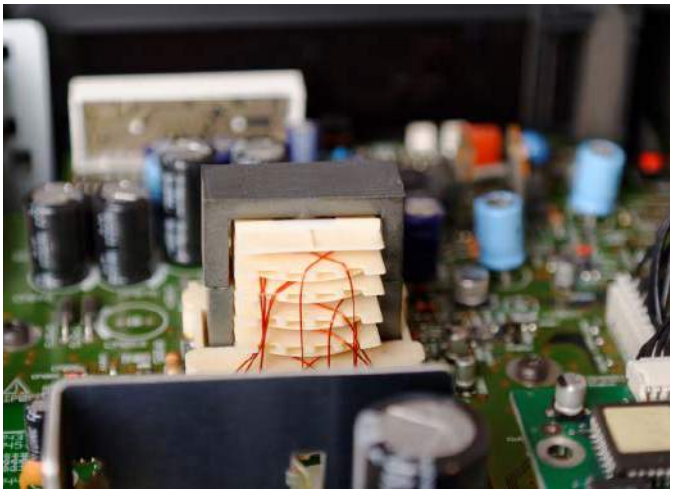
Nikodem Czechowski, EP

Źródła:
1. https://shorturl.at/tALV1
2. https://gitlab.com/wjcarpenter/ventbot
3. https://hackaday.io/project/186808

eprasa.pl b0a5d4d3d1

Urządzenia zasilające (3)

Poprzednią część cyklu zakończyłem na przypomnieniu właściwości i najważniejszych parametrów cewek indukcyjnych. W dzisiejszym artykule zaprezentuję szczegółowy opis przetwornic impulsowych zarówno nieizolowanych, jak i izolowanych. Będą w nim zawarte podstawy teoretyczne ich działania. Jednak najpierw uzupełnię opis elementów stosowanych w powyższych układach o skrótowe informacje na temat elementów półprzewodnikowych.



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

Elementy półprzewodnikowe stosowane w przetwornicach impulsowych

Najważniejszym elementem w przetwornicach impulsowych jest klucz prądowy. Jest to zazwyczaj tranzystor przełączający bipolarny lub tranzystor mocy MOSFET. Obecnie najczęściej stosuje się tranzystory MOSFET, ponieważ pozwalają na uzyskanie mniejszego spadku napięcia podczas włączenia oraz mogą pracować przy dużo większych częstotliwościach – nawet do 1 MHz (tranzystorów bipolarnych nie stosuje się przy częstotliwości przekraczającej 50 kHz).

Jednak tranzystory MOSFET wymagają odpowiedniego układu sterującego. Zadaniem tego układu jest dostarczenie dużego impulsu prądowego w celu przeładowania pojemności bramki, z tego względu sterowniki tranzystorów MOSFET mają prąd wyjściowy z przedziału 0,5 A do nawet 10 A.

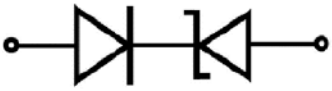
Kolejnym elementem półprzewodnikowym stosowanym w przetwornicach jest dioda. Ponieważ konwertery impulsowe pracują przy dużych częstotliwościach, nie można stosować zwykłych diod prostowniczych. Najczęściej stosuje się w tych układach diody typu *ultra-fast* lub diody Schottky'ego. Lepsze parametry, czyli czas przełączania oraz spadek napięcia, jest przypisywany diodom Schottky'ego, jednak mają one niskie napięcie wsteczne i w układach, w których występują wysokie napięcia, stosuje się zwykłe diody typu ultra-fast.

Czasy przełączania tranzystorów MOSFET są zazwyczaj mniejsze niż 50 ns, natomiast czasy wyłączania diod ULTRA-FAST nie przekraczają 100 ns. Rezystancja przewodzenia klucza MOSFET mieści się w granicach od pojedynczych mΩ do pojedynczych Ω. Tranzystory unipolarne mocy są zazwyczaj wykonywane jako tranzystory z kanałem wzbogaconym, czyli normalnie zamknięte. Napięcie sterujące zazwyczaj wynosi od 5...10 V w zależności od wersji.

W układach przetwornic stosuje się także diody zabezpieczające transil. Ich kluczową cechą jest to, że mogą przyjąć krótki impuls bardzo dużej mocy i nie spowoduje to ich zniszczenia. Moc tego impulsu w zależności od typu diody może wynosić 500 W lub więcej. Diody transil mogą być jedno- lub dwukierunkowe. Diody jednokierunkowe łączy się zazwyczaj szeregowo ze zwykłą diodą ultra-fast, jak pokazano na **rysunku 1**.

Przetwornice nieizolowane

W układach elektronicznych często zachodzi potrzeba zamiany wartości napięcia zasilającego na niższą wartość (lub wyższą) albo wytworzenie napięcia ujemnego. Najlepiej do tego użyć przetwornic impulsowych, gdyż mają one wysoką sprawność, dlatego konwersja napięcia odbywa się przy małych stratach mocy. Układy mają więc mniejsze wymiary i wytwarzają mniej ciepła.

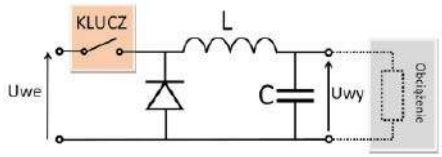


Rysunek 1. Połączenie szeregowe diody transil z diodą prostowniczą

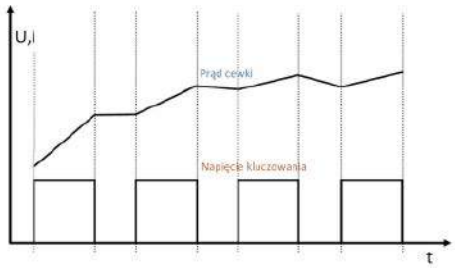
Układ obniżający napięcie – Step-Down

Jednym z najczęściej stosowanych układów przetwornic jest układ obniżający napięcie – topologia Step-Down. Zajmuje on na rynku pierwsze miejsce zarówno pod względem ilości, jak i różnorodności typów. Układy w tej konfiguracji dostępne są zarówno jako gotowe moduły, jak i układy scalone działające samodzielnie (z wbudowanym kluczem) oraz jako sterowniki do przetwornic dużej mocy.

Schemat blokowy obrazujący działanie przetwornicy Step-Down jest pokazany na **rysunku 2**. Przy analizie tego układu przyjmuje się, że pojemność kondensatora C jest na tyle duża, że dla częstotliwości kluczowania występuje na nim prawie napięcie stałe, lecz jest zależne od średniego prądu cewki. Zasada działania jest następująca – klucz, który jest zazwyczaj tranzystorem bipolarnym lub unipolarnym, jest na przemian włączany i wyłączany z określonym współczynnikiem wypełnienia – **rysunek 3**. W momencie włączenia klucza w cewce L zwiększa się strumień magnetyczny, a co za tym



Rysunek 2. Schemat blokowy przetwornicy obniżającej napięcie



Rysunek 3. Przebiegi czasowe dla przetwornicy Step-Down

eprasa.pl b0a5d4d3d1

idzie, prąd uzwojenia. Przyrost ten jest zależny od różnicy napięcia wejściowego i wyjściowego. W momencie wyłączenia klucza przepływ prądu przez cewkę możliwy jest dzięki diodzie D. Maleje on także proporcjonalnie do napięcia wyjściowego.

W trakcie normalnej pracy przyrost i spadek prądu płynącego przez cewkę musi się równoważyć; jeśli ten warunek nie jest spełniony, to prąd cewki rośnie lub maleje w sposób ciągły, co powoduje wzrost lub spadek napięcia. Warunek ten może nie być spełniony w sytuacji, gdy indukcyjność cewki jest zbyt mała w stosunku do pobieranego prądu przez obciążenie i wartość prądu płynącego przez cewkę osiąga wartość zerową. Wtedy napięcie wyjściowe jest większe niż wynikające z powyższych zależności i ma na nie wpływ prąd obciążenia:

$$\Delta I_L = \frac{t_1(U_{we} - U_{wy})}{L}$$

$$\Delta I_L = \frac{t_2 \cdot U_{wy}}{L}$$

$$n = \frac{t_1}{t_1 + t_2} = \frac{t_1}{T}$$

gdzie:

- t_1 – czas włączenia klucza,
- t_2 – czas wyłączenia klucza,
- T – okres kluczowania,
- n – współczynnik wypełnienia,
- L – indukcyjność dławika,
- ΔI_L – przyrost prądu cewki.

Z powyższych zależności można wyznaczyć następujący wzór opisujący napięcie wyjściowe:

$$U_{wy} = n \cdot U_{we}$$

który jest spełniony, gdy

$$I_{wy} > 0,5 \cdot \Delta I_L$$

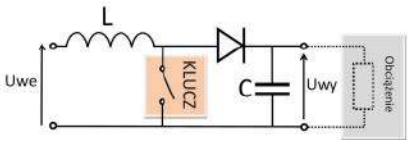
Powyższe zależności będą spełnione tylko dla elementów idealnych. W rzeczywistości na napięcie wyjściowe mają wpływ takie parametry, jak: rezystancja klucza, rezystancja cewki (dławika), spadek napięcia na diodzie.

Układ podwyższający napięcie – Step-Up

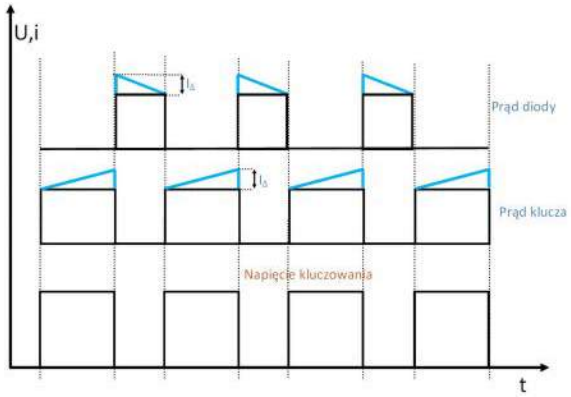
Kolejną często stosowaną grupą przetwornic nieizolowanych są układy podwyższające napięcie – topologia Step-Up. Schemat blokowy tej konfiguracji jest pokazany na **rysunku 4**. Opis matematyczny tego układu jest analogiczny jak w poprzednim przypadku, czyli przyrost prądu cewki (dławika) musi być zrównoważony przez jego spadek, w momencie wyłączenia klucza, kiedy prąd jest przekazywany do obciążenia. W momencie włączenia klucza na cewce występuje napięcie zasilania (wejściowe), natomiast podczas jego wyłączenia jest różnicą napięcia wyjściowego i wejściowego, ale dla uproszczenia można przyjąć, że punktem odniesienia pomiaru tego napięcia jest napięcie wejściowe. Wtedy napięcie na cewce można oznaczyć jako U_Δ, a napięcie wyjściowe jest sumą napięć: wejściowego i wartości U_Δ.

$$\Delta I_L = \frac{U_{we} \cdot t_1}{L}$$

$$\Delta I_L = \frac{(U_{wy} - U_{we}) \cdot t_2}{L} = \frac{U_\Delta \cdot t_2}{L}$$



Rysunek 4. Schemat blokowy przetwornicy podwyższającej napięcie



Rysunek 5. Przebiegi czasowe dla przetwornicy Step-Up

$$U_{wy} = U_{we} + U_\Delta$$

czyli:

$$U_{wy} = U_{we} + \frac{U_{we} \cdot t_1}{t_2}$$

Wzór ten opisuje napięcie wyjściowe, gdy spełniony jest warunek:

$$I_{wy} > \frac{1}{2} \cdot I_\Delta \cdot (1 - n)$$

gdzie

- n – współczynnik wypełnienia.

W przypadku gdy powyższy warunek nie jest spełniony, napięcie jest wyższe, niż wynika ze wzoru i zależy od prądu obciążenia. W przypadku braku obciążenia teoretycznie osiąga wartość nieskończoną.

Układ wytwarzający napięcie ujemne

Kolejną odmianą przetwornic nieizolowanych z elementem indukcyjnym jest układ wytwarzający napięcie ujemne. Jest to modyfikacja poprzedniego układu. Wartość napięcia wyjściowego wyznacza się w taki sam sposób, z tym że do napięcia wyjściowego nie dodaje się napięcia zasilania. Schemat funkcjonalny tego układu pokazany jest na **rysunku 6**.

Wzór na napięcie wyjściowe przy założeniu, że prąd cewki nie osiąga wartości 0:

$$U_{wy} = \frac{-U_{we} \cdot t_1}{t_2}$$

Wzór ten opisuje napięcie wyjściowe, gdy spełniony jest warunek:

$$I_{wy} > \frac{1}{2} \cdot I_\Delta \cdot (1 - n)$$

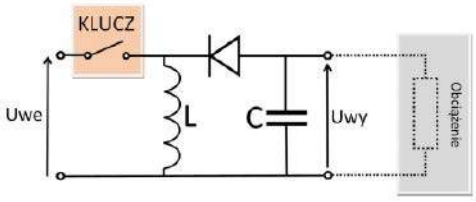
gdzie:

- n – współczynnik wypełnienia.

W przypadku gdy powyższy warunek nie jest spełniony, napięcie jest wyższe, niż wynika ze wzoru i zależy od prądu obciążenia. W przypadku braku obciążenia teoretycznie osiąga wartość nieskończoną.

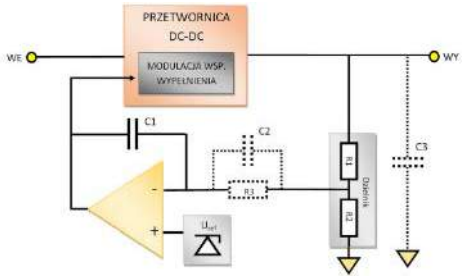
Układy sterowania przetwornicami DC-DC

Zazwyczaj przetwornice DC-DC mają stabilizowane napięcie wyjściowe i większość z nich pracuje ze stałą częstotliwością przełączania. Stabilizację napięcia wyjściowego uzyskuje się poprzez

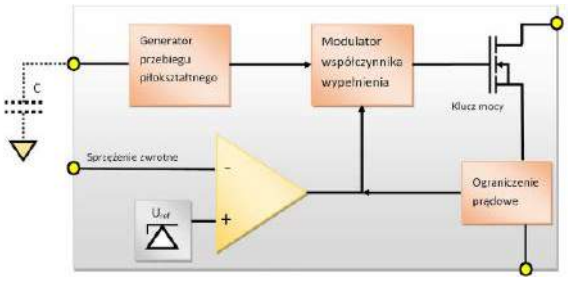


Rysunek 6. Schemat blokowy układu wytwarzającego napięcie ujemne

eprasa.pl b0a5d4d3d1



Rysunek 7. Schemat blokowy przetwornicy ze sprzężeniem zwrotnym



Rysunek 8. Schemat obrazujący konfigurację bloków układu sterowania przetwornicy DC-DC

odpowiednią zmianę współczynnika wypełnienia sygnału kluczującego. Stosuje się do tego modulator współczynnika wypełnienia (PWM), który jest sterowany poprzez wzmacniacz błędu. Na wejścia wzmacniacza błędu podawane jest napięcie wyjściowe (najczęściej poprzez dzielnik) oraz napięcie odniesienia.

Ponieważ przetwornice DC-DC mają skomplikowaną odpowiedź dynamiczną, bardzo ważną rzeczą jest kompensacja częstotliwościowa. Ponadto większość układów sterowania przetwornicami wyposażona jest w układ zabezpieczenia prądowego. W układach o stałej częstotliwości pracy stosuje się najczęściej generator napięcia piłokształtnego, z którego sygnał jest podawany na modulator PWM.

Schemat działania przetwornicy ze stabilizacją napięcia pokazany jest na **rysunku 7**. Na schemacie tym zawarto również układ kompensacji częstotliwościowej. Najważniejszym jego elementem jest kondensator C1. Spełnia on zadanie całkowania. W niektórych układach, aby poprawić właściwości dynamiczne układu, stosuje się człon różniczkujący – kondensator C2 i Rezystor R3. To rozwiązanie często spotykane w układach o zmiennym napięciu wyjściowym. Na **rysunku 8** pokazano przykładowe zestawienie konfiguracji poszczególnych bloków układu sterowania przetwornicą DC-DC.

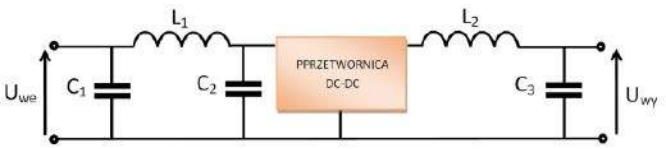
Redukcja zakłóceń w przetwornicach DC-DC

W układach przetwornic impulsowych występują zakłócenia po stronie pierwotnej, wynikające z impulsowego prądu wysokiej częstotliwości, pobieranego przez układ, oraz pulsacje napięcia wyjściowego. W związku z tym stosuje się układy złożone z dławików i kondensatorów, takie jak na **rysunku 9**, które mają zredukować intensywność tych zjawisk.

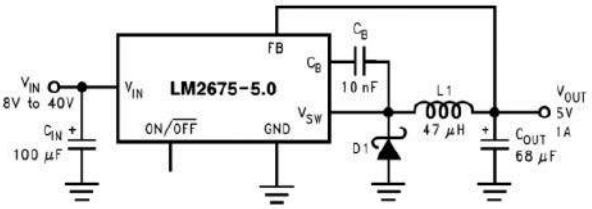
Przykładowe aplikacje z użyciem układów scalonych

LM2675

Układ scalonej przetwornicy typu LM2675 obniżającej napięcie odznacza się dużą prawnością dzięki zastosowaniu kluczy złożonych z tranzystorów MOSFET. Układ pracuje z częstotliwością



Rysunek 9. Układ redukcji zakłóceń w przetwornicy DC-DC



Rysunek 10. Schemat aplikacyjny układu scalonej przetwornicy Step-Down typu LM2675

do 260 kHz. Występuje w wersji o napięciu wyjściowym 3,3 V, 5 V, 12 V oraz o regulowanym napięciu. Schemat typowej aplikacji układu został pokazany na **rysunku 10**.

LM3478

Układ ten pracuje w topologii Step-Up i jest przeznaczony do sterowania zewnętrznym kluczem MOSFET z częstotliwością do 1 MHz. Jest przystosowany do szerokiego zakresu napięć wejściowych 2,97...40 V. Przykładowa aplikacja układu została pokazana na **rysunku 11**.

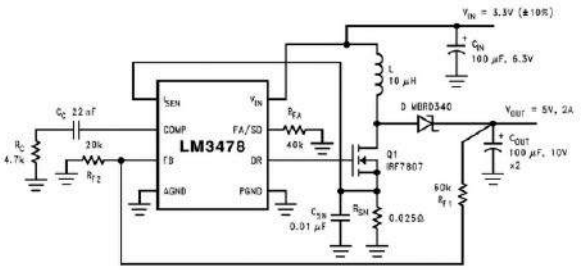
Przetwornice izolowane

W zasilaczach sieciowych napięcie wyjściowe musi być odizolowane od napięcia wejściowego. W związku z tym należy w tych układach stosować przetwornice impulsowe, w których zastosowany jest transformator. Przetwornice izolowane stosuje się nie tylko w zasilaczach, ale również w układach, gdzie chcemy rozdzielić masy w celu zmniejszenia zakłóceń. W zależności od mocy wyjściowej stosuje się różne konfiguracje tych układów, które różnią się topologią, stopniem złożoności oraz sprawnością.

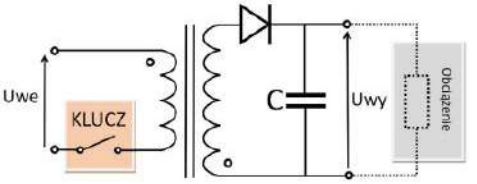
Przetwornice Fly-Back

Jest to najprostsza konfiguracja przetwornicy impulsowej i bardzo często stosowana do niewielkich mocy, które nie przekraczają około 150 W. Schemat blokowy przetwornicy tego typu został pokazany na **rysunku 12**. W układzie znajduje się jeden transformator i nie wymaga on więcej elementów indukcyjnych. Dodatkową zaletą tego rodzaju konwertera jest to, że może wytwarzać wiele napięć wyjściowych.

Zasada działania tego układu jest następująca: W pierwszym cyklu otwarty zostaje klucz i w transformatorze powstaje strumień magnetyczny, natomiast w momencie wyłączenia klucza energia zgromadzona w rdzeniu transformatora jest przekazywana do uzwojenia (uzwojeń) wtórnych – **rysunek 13**. Analiza działania tego układu jest taka sama jak dla przetwornicy podwyższającej napięcie. Różnica polega tylko na tym, że należy uwzględnić przekładnie

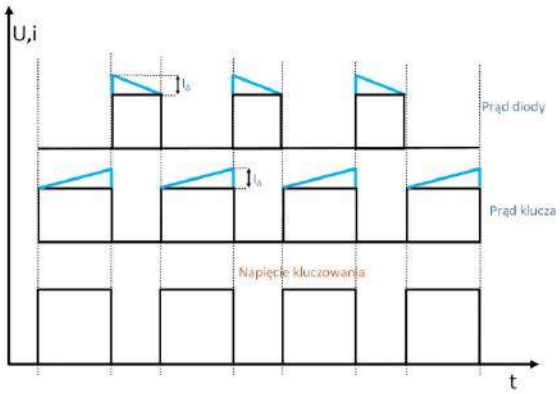


Rysunek 11. Przykładowa aplikacja przetwornicy Step-Up z układem LM3478



Rysunek 12. Schemat blokowy przetwornicy w układzie Fly-Back

eprasa.pl b0a5d4d3d1



Rysunek 13. Przebiegi czasowe dla przetwornicy typu Fly-Back

transformatora. W związku z tym podam zależności z których wynika wartość napięcia wyjściowego.

$$\Delta I_L = \frac{U_{we} \cdot t_1 \cdot 1}{L_p}$$

$$\Delta I_L = \frac{U_{wy} \cdot t_2 \cdot P}{L_w} = \frac{U_{we} \cdot t_2 \cdot P}{L_p} = \frac{U_{wy} \cdot t_2 \cdot 1}{L_p \cdot P}$$

$$U_{wy} = \frac{U_{we} \cdot P \cdot t_1}{t_2}$$

gdzie:
- Lp – indukcyjność uzwojenia pierwotnego,
- Lw– indukcyjność uzwojenia wtórnego,
- P – przekładnia transformatora (stosunek liczby zwojów uzwojenia wtórnego do pierwotnego)

Wzór opisujący napięcie wyjściowe, gdy spełnione jest założenie, że strumień w rdzeniu nie osiąga wartości 0, jest następujący:

$$I_{wy} > \frac{1}{2 \cdot P} \cdot I_{\Delta} \cdot (1 - n)$$

gdzie:
- n – współczynnik wypełnienia.

W przypadku gdy powyższy warunek nie jest spełniony, napięcie jest wyższe, niż wynika to z wyprowadzonej zależności i przy braku obciążenia teoretycznie może mieć wartość nieskończoną.

Wskazówki praktyczne przy stosowaniu przetwornicy typu Fly-Back

Przetwornice w układzie Fly-Back mają zazwyczaj niewielkie indukcyjności uzwojeń oraz małą przenikalność rdzenia. To powoduje, że w transformatorze występuje dość duża indukcyjność rozproszenia. Podczas wyłączenia klucza powstanie impuls napięciowy o dużej wartości. Aby uchronić klucz przed uszkodzeniem, stosuje się najczęściej diody zabezpieczające tzw. transil lub układ złożony z szybkiej diody oraz rezystora i kondensatora – **rysunek 14**. Ten drugi rodzaj zabezpieczenia stosuje się w układach większej mocy, w których średnia moc tłumionego impulsu jest zbyt duża i mogłaby uszkodzić diodę transil.

Drugą ważną rzeczą, na którą należy zwrócić uwagę przy projektowaniu przetwornic Fly-Back, jest maksymalna indukcja magnetyczna strumienia w rdzeniu. Nie może ona przekraczać maksymalnej wartości dla danego materiału:

$$B_m = \frac{I_{max} \cdot L \cdot 1}{S \cdot Z} = \frac{I_{max} \cdot Al \cdot Z}{S}$$

gdzie:
- I_{MAX} – maksymalny prąd uzwojenia pierwotnego,
- L – indukcyjność uzwojenia pierwotnego,
- S – powierzchnia przekroju rdzenia [m²],
- Z – liczba zwojów uzwojenia pierwotnego,
- AL – współczynnik materiałowy (opisany w części poświęconej elementom indukcyjnym).

Klucze w przetwornicach to najczęściej tranzystory bipolarne lub unipolarne. Tranzystory bipolarne jednak stosuje się dla niskich częstotliwości – do ok. 50 kHz, natomiast klucze MOSFET mogą pracować z częstotliwościami wyższymi od 100 kHz. Ponadto układy z tranzystorami MOSFET mają zazwyczaj większą sprawność. Należy również dobrać tranzystor o odpowiednim napięciu maksymalnym, ponieważ w czasie wyłączenia klucza na tranzystorze występuje napięcie wyższe niż napięcie zasilania:

$$U_k = U_{we} + \frac{U_{wy}}{P}$$

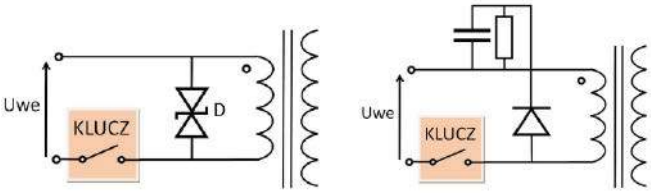
gdzie:
- P – przekładnia transformatora.

Układ typu Forward

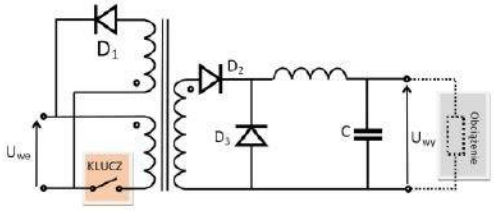
W zasilaczach większych mocy stosuje się rozwiązania, w których energia jest przekazywana przez transformator bezpośrednio. Czyli w momencie, gdy płynie prąd w uzwojeniu pierwotnym, również prąd jest pobierany z uzwojenia wtórnego. Takie rozwiązanie powoduje, że można stosować rdzenie o dużej przenikalności magnetycznej. Dzięki temu zmniejsza się indukcyjność rozproszenia i ma ona mniejszy wpływ na działanie układu. Najmniej złożoną konfiguracją tego typu jest układ typu Forward. Składa się on z jednego klucza oraz obwodu usuwającego strumień magnetyczny z rdzenia, w którego skład wchodzi dioda oraz dodatkowe uzwojenie o takiej samej liczbie zwojów jak uzwojenie pierwotne – **rysunek 15**.

Rzeczywisty transformator można traktować jako równoległe połączenie cewki oraz idealnego transformatora. Czyli w momencie włączenia klucza energia jest przekazywana do obciążenia, a w cewce pojawia się liniowo narastający prąd, który jest proporcjonalny do napięcia na uzwojeniu pierwotnym. W momencie wyłączenia klucza energia zgromadzona w rdzeniu (która nie ma związku z energią przekazywaną do uzwojenia pierwotnego) w postaci strumienia magnetycznego jest zwracana do zasilania poprzez dodatkowe uzwojenie i diodę D1 – **rysunek 16**. Uzwojenie rozmagnesowywujące może być nawinięte cienkim drutem i zazwyczaj nawija się je razem z uzwojeniem pierwotnym. Z powyższej zasady działania tego układu wynika, że może on pracować ze współczynnikiem wypełnienia nieprzekraczającym 50%.

Jeśli chodzi o stronę wtórną, to składa się ona z prostownika oraz układu LC, którego działanie jest analogiczne jak dla konwertera DC-DC opisanego w poprzednim rozdziale. Czyli napięcie wyjściowe wynosi:

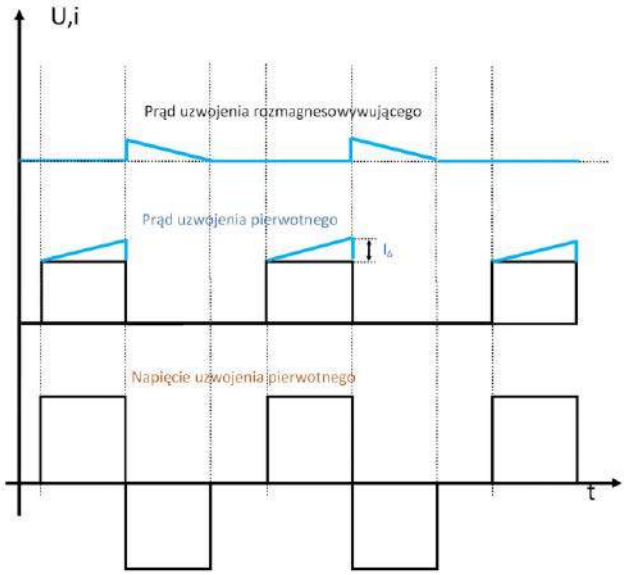


Rysunek 14. Układy do redukcji przepięcia w przetwornicy typu Fly-Back



Rysunek 15. Schemat blokowy układu typu Forward

eprasa.pl b0a5d4d3d1



Rysunek 16. Przebiegi czasowe prądów i napięć w przetwornicy typu Forward

$$U_{wy} = U_{we} \cdot n \cdot P$$

dla

$$I_{wy} > \frac{U_{wy} \cdot P \cdot t_2 \cdot 1}{2 \cdot L}$$

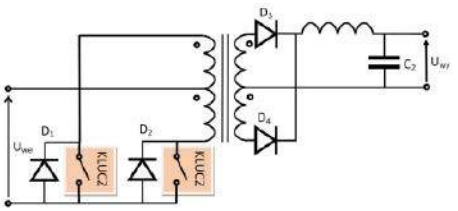
gdzie:

- n – współczynnik wypełnienia,
- P – przekładnia transformatora,
- t_1 – czas włączenia klucza,
- L – indukcyjność dławika wyjściowego.

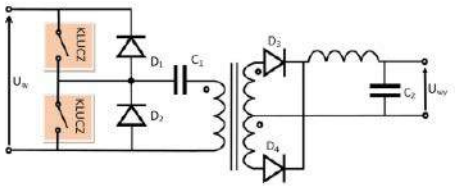
Układy typu Push-Pull i Half-Bridge

Układy te, a zwłaszcza konfiguracja półmostkowa, są najczęściej stosowane w przetwornicach dużej mocy. Ich zaletami w porównaniu z układem z poprzedniego punktu jest to, że mogą pracować ze współczynnikiem wypełnienia do 100%, co powoduje lepsze wykorzystanie transformatora i umożliwia zmniejszenie liczby zwojów wtórnych. Układy te mają dwa klucze i wymagają zastosowanie dławika wyjściowego. Na **rysunku 17** pokazano układ w konfiguracji Push-Pull, a na **rysunku 18** układ w konfiguracji Half-Bridge. **Rysunek 19** pokazuje przebiegi czasowe przetwornicy.

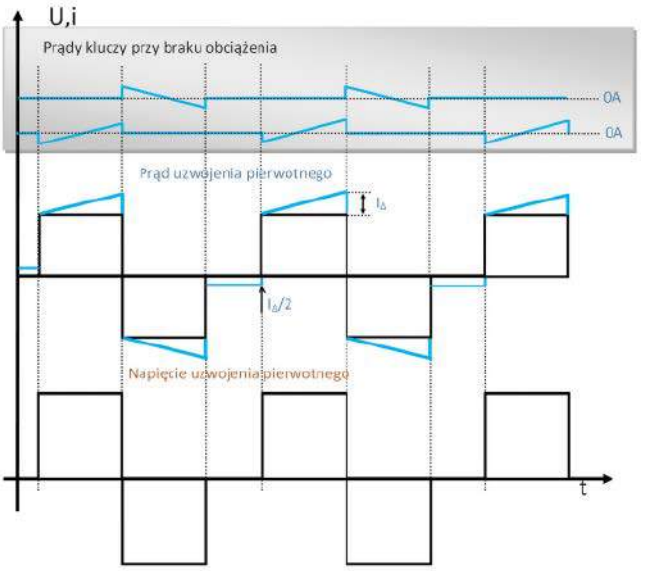
Układ w konfiguracji Half-Bridge jest znacznie częściej stosowany w zasilaczach sieciowych niż układ Push-Pull, gdyż na kluczach w tym rodzaju przetwornicy występują niższe napięcia (w układzie Push-Pull na kluczach występuje napięcie dwa razy większe od napięcia wejściowego). Zaletą układu Push-Pull jest to, że tranzystory kluczujące działają na poziomie masy, co ułatwia ich sterowanie. W rozwiązaniu Half-Bridge emiter (dla tranzystora bipolarnego) lub źródło (dla tranzystora unipolarnego) jest podłączone do napięcia wyjściowego, co wymaga zastosowania do ich sterowania transformatora lub układu boot-strap.



Rysunek 17. Układ w topologii Push-Pull



Rysunek 18. Układ w topologii Half-Bridge



Rysunek 19. Wykresy napięcia uzwojenia pierwotnego, prądu uzwojenia pierwotnego pod obciążeniem oraz prądów kluczy bez obciążenia dla układu Half-Bridge

Jak widać ze schematów funkcjonalnych, na uzwojenia transformatora jest podawane na przemian przeciwne napięcie, które jest prostowane po stronie wtórnej za pomocą mostka Delona. Obwód wyjściowy składający się z elementów L, C2 pełni analogiczną funkcję jak w przetwornicy obniżającej napięcie, opisanej w poprzednim rozdziale. Diody D1 i D2 służą do zwierania obwodu dla prądu magnesowania rdzenia (I_Δ) w momencie wyłączenia obydwu kluczy.

Od indukcyjności uzwojenia pierwotnego zależy prąd spoczynkowy transformatora. Ma on niewielki wpływ na pobór mocy przez zasilacz, ponieważ ma charakter urojony (jest on zwracany do źródła zasilania), jednak wpływa na straty wynikające ze zjawisk pasożytniczych elementów stosowanych w przetwornicy. Najwygodniej przyjąć, że prąd spoczynkowy powinien być 10 razy mniejszy od maksymalnego prądu uzwojenia pierwotnego:

$$U_{wy} = U_{we} \cdot n \cdot P$$

$$I_p = \frac{U_{wy}}{U_{we}} \cdot I_{wy} + \frac{I_\Delta \cdot n}{4}$$

$$I_\Delta = \frac{U_{we} \cdot t_1}{L_p}$$

dla

$$I_{wy} > \frac{U_{wy} \cdot P \cdot t_2 \cdot 1}{2 \cdot L}$$

gdzie:

- n – współczynnik wypełnienia,
- P – przekładnia transformatora,
- t_1 – czas włączenia kluczy,
- t_2 – czas wyłączenia kluczy,
- L – indukcyjność dławika wyjściowego,
- L_p – indukcyjność uzwojenia pierwotnego,
- I_Δ – szczytowa warość prądu spoczynkowego.

Tomasz Krogulski
krogul70@gmail.com

eprasa.pl b0a5d4d3d1

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

Kurs FPGA Lattice (9)

Wyświetlacz multipleksowany

Wyświetlacze 7-segmentowe są bardzo prostym sposobem na przekazywanie informacji pomiędzy urządzeniem a użytkownikiem. W tym odcinku kursu napiszemy moduł, który obsługuje wyświetlacz 8-cyfrowy. Następnie sparametryzujemy moduł wyświetlacza w taki sposób, aby dało się zmienić liczbę cyfr, zmieniając tylko jeden parametr. Oprócz tego nauczymy się, jak wyzwalać różne zdarzenia w różnych modułach, pomimo że wszystkie moduły są taktowane tym samym sygnałem zegarowym.

Zastosujemy wyświetlacze ze wspólną katodą. Oznacza to, że aby zaświecić segment, do odpowiadającego mu pinu należy przyłożyć napięcie dodatnie (poprzez rezystor ograniczający prąd!), a elektrodę wspólną wyświetlacza trzeba połączyć z masą.

Schemat 8-cyfrowego wyświetlacza multipleksowanego pokazano na **rysunku 1**. Wszystkie odpowiadające sobie elektrody segmentów są połączone razem i mają wspólne rezystory ograniczające prąd o rezystancji 100 Ω. Tak utworzone sygnały **SegmentX** należy podłączyć do pinów układu FPGA. Elektrody wspólne wyświetlaczy są sterowane poprzez tranzystory NPN. Kiedy na sygnale **CathodeX** pojawi się logiczna jedynka, przez bazę tranzystora płynie niewielki prąd, a tranzystor otworzy się, zwierając elektrodę wspólną wyświetlacza z masą. Kiedy do bazy doprowadzony jest stan niski, nie płynie przez nią prąd, tranzystor jest zamknięty, a w rezultacie żaden segment wyświetlacza nie będzie mógł się zaświecić – niezależnie od tego, jakie stany są ustawione na liniach **SegmentX**.

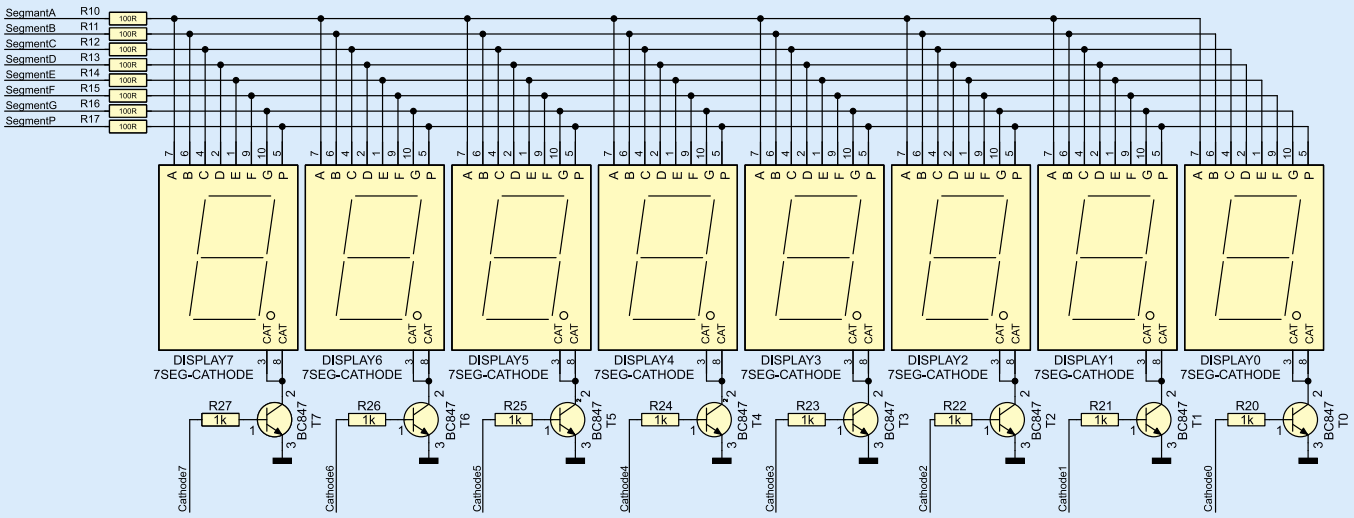
Jest to jedna z możliwych implementacji, właściwa dla średniej wielkości wyświetlaczy. W przypadku mniejszych wyświetlaczy, ciemniejszych, bardziej energooszczędnych lub o mniejszej liczbie cyfr, można by się pokusić o wyeliminowanie tranzystorów i połączenie elektrod wspólnych prosto do wyprowadzeń układu FPGA. Natomiast jeżeli chcemy sterować dużym, jasnym wyświetlaczem, złożonym z wielu cyfr, wtedy należałoby dodać tranzystory także na linie segmentów.

Musimy pamiętać, że maksymalny prąd, jaki możemy pobrać z pinu układu MachXO2 to 24 mA, a sumaryczny prąd pobierany ze wszystkich pinów nie powinien przekraczać 8 mA×n, gdzie n to liczba pinów dostępnych w banku. Układy MachXO2 mają od czterech do sześciu banków pinów, a każdy z nich może być zasilany innym napięciem poprzez wyprowadzenie VCCIOx. Po szczegóły odsyłam do dokumentacji MachXO2 Family Datasheet, dostępnej pod adresem [1].

Multipleksacja polega na tym, że w danej chwili tylko jeden z dostępnych wyświetlaczy pokazuje cyfrę, zaświecając odpowiednie segmenty, a wszystkie pozostałe wyświetlacze pozostają wygaszone. Po upływie pewnego krótkiego czasu następuje wyłączenie

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

eprasa.pl b0a5d4d3d1



Rysunek 1. Schemat 8-cyfrowego wyświetlacza multipleksowanego

dotychczas pracującego wyświetlacza, poprzez zamknięcie tranzystora, sterującego jego elektrodą wspólną. Zmieniają się wygnały sterujące segmentami, a następnie włączany jest kolejny wyświetlacz na pewien czas. Czas ten musi być na tyle krótki, aby ludzkie oko nie zauważyło przełączania wyświetlaczy. W naszym przykładzie będą to dwie milisekundy.

Wynika z tego ważny wniosek – zawsze aktywny jest tylko jeden wyświetlacz, a skoro mamy 8 cyfr w wyświetlaczu, to każda cyfra pracuje tylko przez ⅛ dostępnego czasu. Skutkiem tego jest zmniejszenie jasności do ⅛ wartości, jaka jest dostępna przy świeceniu ciągłym. Z tego powodu, projektując wyświetlacze multipleksowane, należy wybierać komponenty o możliwie jak największej jasności. Efekt przyciemnienia można zniwelować, sterując wyświetlacz większym prądem niż jest to dopuszczalne przy pracy ciągłej. Informacji o maksymalnych prądach należy szukać w dokumentacji wyświetlacza pod hasłem *continuous current* oraz *peak current*.

W naszym przykładzie będziemy zaświecać wyświetlacze, zaczynając od zerowego (**Cathode0**) do siódmego (**Cathode7**). Nic nie stoi na przeszkodzie, by kierunek multipleksacji był odwrotny – nie ma to w praktyce żadnego znaczenia.

Podczas tego kursu utworzymy sterownik wyświetlacza, a żeby go przetestować, opracujemy prosty, 8-cyfrowy licznik. Będzie on zwiększał swoją wartość co 100 milisekund. Ponadto zapalone będą dwie kropki, które będą przesuwać się od prawej do lewej. Przesunięcie kropek ma następować co jedną sekundę. Kod napiszemy w taki sposób, aby czasy opóźnień dało się łatwo modyfikować. W tym celu zastosujemy *strobe generator*.

Moduł StrobeGenerator

Aby zrozumieć sens tego modułu, musimy dowiedzieć się, jak działa system zegarowy w FPGA. Każdy sygnał w FPGA obarczony jest niewielkim, ale istotnym, czasem propagacji. Jest to czas pomiędzy ustaleniem się stanu sygnału na wyjściu nadajnika i ustaleniem się tego sygnału na wejściu odbiornika. Czas ten może być bardzo różny. Czas propagacji sygnałów pomiędzy sąsiadującymi ze sobą blokami jest mały, ale jeżeli sygnał ma przedostać się z jednego końca struktury krzemowej na drugi koniec, wówczas ten czas będzie dużo dłuższy.

Problem staje się jeszcze większy, kiedy jeden nadajnik steruje wieloma odbiornikami, umieszczonymi w różnych miejscach struktury krzemowej. Odbiorniki umieszczone bliżej nadajnika zareagują szybciej niż te, które są umieszczone dalej. Może to prowadzić do trudno wykrywalnych błędów.

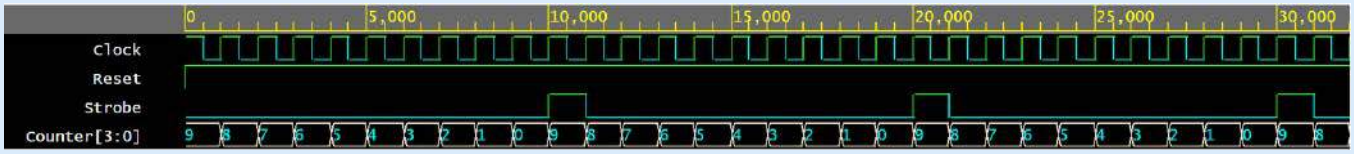
Aby przeciwdziałać temu problemowi, projektanci układów FPGA umieszczają w nich globalne linie zegarowe – w MachXO2 nazywają się *Global Primary Clock Networks*. Są to specjalne ścieżki zaprojektowane w taki sposób, aby zminimalizować czas propagacji. Nadajnikiem w globalnych liniach zegarowych mogą być wyprowadzenia PCLKxx, do których można podłączyć zewnętrzne źródło sygnału zegarowego, wbudowany generator OSCH, układ PLL, dzielniki CLKDIVC i kilka innych peryferiów.

Globalnych linii zegarowych w MachXO2 jest osiem. Każda z nich może pracować z sygnałem zegarowym o innej częstotliwości i fazie. Jednak pojawia się tu kolejny problem – moduły pracujące w różnych domenach zegarowych (tzn. taktowane różnymi zegarami) nie mogą komunikować się ze sobą bezpośrednio, ponieważ wpadniemy w pułapkę metastabilności (jest to temat na osobny odcinek kursu). Pomiędzy modułami, taktowanymi różnymi zegarami, należy umieścić układy synchronizujące.

Na szczęście użycie wielu różnych zegarów najczęściej wcale nie jest potrzebne. Idealnie jest zastosować tylko jeden zegar, który steruje wszystkimi modułami. Natomiast to, czy moduł ma wykonać jakąś operację, czy ma czekać, można sterować dodatkowym wejściem tego modułu, które często nazywane jest **Enable**. Kiedy sygnał na wejściu **Enable** ma wartość 1, wówczas moduł coś robi w kolejnym takcie zegara, a kiedy **Enable** ma stan 0, to moduł ignoruje sygnał zegarowy.

Sygnał **Enable** powinien mieć stan wysoki tylko na jeden takt sygnału zegarowego. Ponadto stan wysoki może pojawiać się w stałych odstępach czasu. Krótkie impulsy stanu wysokiego, o szerokości jednego taktu zegara, będziemy nazywać **Strobe**. Sytuację taką ilustruje **rysunek 2**. Zwróć uwagę, że okres sygnału zegarowego to 1 ns, natomiast okres sygnału **Strobe** to 10 ns – w ten sposób uzyskaliśmy efekt, który dałby dzielnik częstotliwości przez 10.

Sygnał **Strobe** prowadzony jest z użyciem zwykłych ścieżek pomiędzy blokami logicznymi w FPGA. Jednak jego czas propagacji nie stanowi problemu. Zwróć uwagę, że sygnał **Strobe** przybiera stan wysoki



Rysunek 2. Przebiegi generatora strobów, trwających jeden takt zegara, co 10 cykli zegarowych

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

eprasa.pl b0a5d4d3d1

w chwili wystąpienia zbocza rosnącego zegara. Ten sygnał wydostaje się z generatora, a następnie podróżuje przez strukturę krzemową i trafia do wejścia **Enable** sterowanego układu. W tym miejscu czeka, aż wystąpi kolejne zbocze rosnące sygnału zegarowego. W ten sposób opóźniamy reakcję odbiornika o 1 cykl zegarowy, ale omijamylistę problemów, o których pisałem wcześniej.

Przeanalizujmy **listing 1**. Jest to moduł generujący sygnały **Strobe**, które mają cyklicznie, co jakiś stały czas, uaktywniać inne moduły, które taktowane są tym samym sygnałem zegarowym.

Sygnał **Strobe** generowany jest poprzez zliczanie odpowiedniej liczby taktów sygnału zegarowego. Aby ułatwić sobie konfigurowanie modułu, częstotliwość zegara oraz żądany okres sygnału **Strobe** przekażemy do modułu za pomocą parametrów podanych w liniach #1 oraz #2. Parametry te mają zdefiniowane wartości 10000000 Hz i 100 µs. Są to wartości domyślne, które będziemy nadpisywać przy tworzeniu instancji modułu **StrobeGenerator**.

W linii #3 tworzymy parametr lokalny **DELAY**, informujący, ile cykli zegarowych trzeba zliczyć, aby uzyskać żądany czas opóźnienia. Ta liczba jest początkową wartością licznika **Counter**, który tworzymy w linii #5. Musimy jeszcze określić, ile bitów musi mieć ten licznik. Wykorzystujemy funkcję **$clog2(x+1)**, która zwraca nam liczbę bitów potrzebnych, by „zmieścić" liczbę x (linia #4).

Następnie mamy blok **always**, który standardowo reaguje na zbocze rosnące sygnału zegarowego **posedge Clock** i zbocze opadające sygnału resetującego **negedge Reset**. Kiedy **Reset** jest aktywny, wówczas licznik **Counter** jest ładowany wartością początkową, określoną poprzez parametr lokalny **DELAY**, a przerzutnik **Strobe** jest zerowany (linia #6).

Licznik liczy w dół przy każdym takcie zegara, a przerzutnik **Strobe** pozostaje przez cały czas w stanie niskim (linia #8). Kiedy licznik osiągnie wartość zero, wtedy spełniony zostaje warunek z linii #7, następnie **Strobe** zostaje ustawiony w stan wysoki, a licznik ponownie ładowany jest wartością początkową.

Można zadać pytanie, dlaczego licznik liczy w dół, a nie w górę? Obojętnie jaki byłby kierunek liczenia, czas na zliczenie określonej liczby taktów byłby taki sam. Jednak jest duża różnica w zasobach sprzętowych, jakie potrzebne są do realizacji takiego algorytmu. Liczenie w górę oznaczałoby, że wartość licznika należy porównywać z wartością maksymalną za pomocą wielobitowego komparatora. Natomiast liczebnie w dół wykorzystuje tylko porównywanie do zera. Porównanie z zerem jest zdecydowanie prostsze i szybsze niż porównywanie z liczbą niezerową. Okazuje się, że **StrobeGenerator** porównujący licznik liczący do zera może działać z szybszym zegarem niż alternatywna wersja, porównująca licznik do wartości niezerowej.

Wróćmy jeszcze raz do linii #7, gdzie jest warunek `if(!Counter)`. Jaka byłaby różnica, gdybyśmy napisali `if(Counter == 0)`? Drugi sposób spowoduje wygenerowanie komparatora cyfrowego, który porównuje **Counter** do zera. Wyjście tego komparatora jest w stanie 1, kiedy **Counter** równa się zero. Pierwszy sposób prowadzi do wygenerowania wielowejściowej bramki NOR, do której doprowadzone są wyjścia ze wszystkich przerzutników licznika Counter. Bramka NOR daje na wyjściu stan 1, kiedy jej wszystkie wejścia są w stanie 0. Okazuje się, że pierwszy sposób ma mniejsze zapotrzebowanie na elementy Slice.

Moduł top

Moduł **top** zawiera instancję modułu wyświetlacza oraz kilka elementów utworzonych tylko po to, by generować jakieś testowe, zmieniające się dane, które wyświetlacz ma pokazywać. Przeanalizujmy **listing 2**.

Moduł **top** ma tylko trzy porty. Są to standardowy sygnał **Reset**, aktywny w stanie niskim oraz **Cathodes** i **Segments** (linie #1 i #2). Katody należy podłączyć tak, jak jest to przedstawione

Listing 1. Kod pliku strobe_generator.v

```
// Plik strobe_generator.v
module StrobeGenerator #(
  parameter  FREQUENCY_HZ = 10_000_000,                          // #1
  parameter  PERIOD_US    = 100                                  // #2
)(
  input      Clock,
  input      Reset,
  output reg Strobe
);

  localparam DELAY = (FREQUENCY_HZ / 1_000_000) * PERIOD_US - 1;  // #3
  localparam WIDTH = $clog2(DELAY + 1);                           // #4

  reg [WIDTH-1:0] Counter;                                        // #5

  always @(posedge Clock, negedge Reset) begin
    if(!Reset) begin                                              // #6
      Counter <= DELAY;
      Strobe  <= 1'b0;
    end else if(!Counter) begin                                   // #7
      Counter <= DELAY;
      Strobe  <= 1'b1;
    end else begin                                                // #8
      Counter <= Counter - 1'b1;
      Strobe  <= 1'b0;
    end
  end

endmodule
```

Listing 2. Kod pliku top.v

```
// Plik top.v
module top(
  input Reset,
  output [7:0] Cathodes,                                          // #1
  output [7:0] Segments                                           // #2
);

  // Generator sygnału zegarowego
  wire Clock14MHz;                                                // #3
  OSCH #(                                                         // #4
    .NOM_FREQ("14.00")
  ) OSCH_inst(
    .STDBY(1'b0),
    .OSC(Clock14MHz),
    .SEDSTDBY()
  );

  // Licznik Data ma być zwiększany co 0,1s
  wire CountEnable;                                               // #4
  StrobeGenerator #(                                              // #5
    .FREQUENCY_HZ(14_000_000),
    .PERIOD_US(100_000)
  ) CountEnableStrobeGenerator(
    .Clock(Clock14MHz),
    .Reset(Reset),
    .Strobe(CountEnable)
  );

  // Stan tego licznika zostanie pokazany na wyświetlaczu
  reg [31:0] Data;                                                // #6
  always @(posedge Clock14MHz, negedge Reset)
    if(!Reset)
      Data = 32'hFF;                                              // #7
    else if(CountEnable)                                          // #8
      Data <= Data + 1'b1;

  // Przecinki mają być przesuwane co 1s
  wire DecimalPointMoveEnable;                                    // #9
  StrobeGenerator #(                                              // #10
    .FREQUENCY_HZ(14_000_000),
    .PERIOD_US(1_000_000)
  ) DecimalStrobeGenerator(
    .Clock(Clock14MHz),
    .Reset(Reset),
    .Strobe(DecimalPointMoveEnable)
  );

  // Kod odpowiedzialny za przesuwanie przecinków
  reg [7:0] DecimalPoints;                                        // #11
  always @(posedge Clock14MHz, negedge Reset)
    if(!Reset)
      DecimalPoints = 8'b00000011;                                // #12
    else if(DecimalPointMoveEnable)                               // #13
      DecimalPoints <= {DecimalPoints[6:0], DecimalPoints[7]};    // #14

  // Instancja wyświetlacza multipleksowanego
  DisplayMultiplex #(                                             // #15
    .FREQUENCY_HZ(14_000_000),
  //.DIGITS(8),
    .SWITCH_PERIOD_US(2_000)
  ) DisplayMultiplex0(
    .Clock(Clock14MHz),
    .Reset(Reset),
    .Data(Data),
    .DecimalPoints(DecimalPoints),
    .Cathodes(Cathodes),
    .Segments(Segments)
  );

endmodule
```

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

eprasa.pl b0a5d4d3d1

na **rysunku 1**. Segmenty zwyczajowo oznacza się literami, a w Verilogu poszczególne linie w magistralach oznacza się cyframi. Przyjąłem, że **Segment[0]** będzie sterować segmentami A, **Segment[1]** to segment B, itd, a **Segment[7]** oznacza segment P, czyli kropkę. W linii #3 tworzymy sygnał **Clock14MHz**, który rozprowadza sygnał zegarowy do wszystkich modułów. Źródłem sygnału zegarowego jest instancja modułu **OSCH**, utworzona w linii #4. Wykorzystujemy dokładnie to samo źródło zegara co w poprzednich odcinkach kursu, więc nie będę tutaj go opisywał ponownie.

Przeskoczmy do linii #15. Znajdziemy tam instancję modułu **DisplayMultiplex**. Moduł konfigurujemy za pomocą następujących parametrów:

- **FREQUENCY_HZ** – jest to częstotliwość zegara doprowadzonego do wejścia **Clock,**
- **DIGITS** – liczba cyfr w wyświetlaczu. Parametr ten jest potrzebny tylko do wersji modułu ze zmienną liczbą cyfr, który będziemy omawiać w dalszej części artykułu. W wersji ze stałą liczbą cyfr ten parametr jest niepotrzebny i dlatego został zakomentowany,
- **SWITCH_PERIOD_US** – jest to czas w mikrosekundach, po upływie którego będą przełączanie cyfry na wyświetlaczu. Polecam poeksperymentować z tym parametrem. Ustawienie zbyt dużego czasu sprawi, że efekt multipleksacji stanie się widoczny, a cyfry zaczną migać od prawej do lewej. Ustawienie zbyt krótkiego czasu spowoduje, że sąsiednie cyfry zaczną się zlewać.

Następnie musimy połączyć kilka portów:

- **Clock** – wejście sygnału zegarowego;
- **Reset** – wejście resetujące, aktywne w stanie niskim;
- **Data** – 32-bitowe wejście danych, które mają być wyświetlane. Wejście danych zorganizowane jest w taki sposób, że na każdą cyfrę wyświetlacza przypadają 4 bity. Skoro cyfr jest osiem, to szerokość wejścia danych jest 32-bitowa. Najmłodsze cztery bity określają cyfrę pokazywaną na zerowym wyświetlaczu, kolejne cztery bity odpowiadają za pierwszy wyświetlacz, i tak dalej, a najstarsze cztery bity określają, co pokazywane jest na wyświetlaczu siódmym;
- **DecimalPoints** – 8-bitowe wejście sterujące przecinkami. Każda cyfra ma swój przecinek. Ustawienie stanu wysokiego na wybranym bicie spowoduje zaświecenie się przecinka na odpowiadającym mu wyświetlaczu;
- **Cathodes** – 8-bitowe wyjście sterujące katodami, gdzie 1 uaktywnia wyświetlacz, a 0 go wygasza; nie jest możliwe ustawienie stanu 1 dla więcej niż jednego wyświetlacza jednocześnie;
- **Segments** – 8-bitowe wyjście sterujące segmentami aktualnie wyświetlanej cyfry.

Co kryje się wewnątrz modułu **DisplayMultiplex**, zostawimy na deser, a najpierw zobaczmy, w jaki sposób generowane są dane, które wyświetlacz ma pokazywać.

W linii #6 tworzymy 32-bitowy licznik **Data**. Jego początkowa wartość to 32'hFF (linia #7). Nie ma to żadnego specjalnego powodu – chodziło tylko o to, by pokazać, że rejestry nie zawsze muszą być inicjalizowane samymi zerami.

Blok **always** tworzący logikę licznika reaguje standardowo na zegar o częstotliwości 14 MHz oraz na sygnał resetujący. W linii #8 mamy warunek `if(CountEnable)` – jest to sprawdzanie, czy sygnał strobujący pozwala na inkrementację licznika w bieżącym takcie zegara.

Sygnał **CountEnable** został utworzony w linii #4. Ten sygnał jest sterowany przez instancję modułu **StrobeGenerator** o nazwie **CountEnableStrobeGenerator**. Ten moduł już znamy i omawialiśmy go, analizując **listing 1**. Wykorzystując parametr **PERIOD_US**, konfigurujemy go w taki sposób, aby generował sygnał strobe co 100000 mikrosekund, czyli 0,1 sekundy.

W linii #11 widzimy rejestr **DecimalPoints**, który steruje przecinkami. Zainicjalizowany jest wartością 8'b00000011, co spowoduje zaświecenie przecinków w wyświetlaczach pierwszymi i zerowym (linia #12). Podobnie jak wszystkie inne bloki always, logika reaguje na zbocze rosnące sygnału zegarowego **Clock14MHz** oraz na zbocze opadające sygnału **Reset**. Tutaj sygnałem strobującym jest **DecimalPointMoveEnable**, który sprawdzany jest w linii #13.

Przesuwanie przecinków zostało zrealizowane za pomocą operatora konkatenacji, czyli nawiasów klamrowych {}. Jest to operator, który skleja w jedną całość składniki podane w nawiasach. W linii #14 pierwszym składnikiem są bity [6:0] rejestru **DecimalPoints**, a drugim składnikiem jest jego bit [7]. W ten sposób najstarszy bit trafia w miejsce najmłodszego, a cała reszta jest przesuwana w lewo.

Sygnał strobujący **DecimalPointMoveEnable** został utworzony w linii #9 i steruje nim instancja modułu **StrobeGenerator** o nazwie **DecimalStrobeGenerator**. Jest to kolejna instancja tego samego modułu, ale skonfigurowana trochę inaczej. Okres strobów został ustawiony na 1000000 mikrosekund, czyli sygnały strobe będą pojawiać się co jedną sekundę.

Moduł DisplayMultiplex ze stałą liczbą cyfr

Dotarliśmy do najważniejszego modułu, jaki w tym odcinku kursu będziemy omawiać. Kod tego modułu pokazano na **listingu 3**. Sercem modułu jest 3-bitowy licznik **Selector** (linia #7), który liczy od 0 do 7. Ten licznik wyznacza, który wyświetlacz w danej chwili ma się świecić, a także określa, które dane mają trafiać do dekodera 7-segmentowego, sterującego aktywną cyfrą wyświetlacza. Dekoder jest tylko jeden na wszystkie cyfry, ponieważ świeci się tylko jedna cyfra w danej chwili, więc nie potrzebujemy więcej dekoderów. Licznik **Selector** służy także do wyznaczania, który przecinek ma zostać zaświecony.

Przejdźmy najpierw do linii #5, gdzie utworzona została zmienna **SwitchCathode** typu wire. Ten sygnał sterowany jest przez **StrobeGenerator** (linia #6), który wyznacza czas przełączania cyfr wyświetlacza. Czas ten zdefiniowany jest parametrem **SWITCH_PERIOD_US**. Podobnie jak w przypadku generatorów strobów z modułu top podaje on sygnał, który przybiera stan wysoki tylko na jeden takt sygnału zegarowego.

Stan sygnału **SwitchCathode** sprawdzany jest w linii #8 i jeżeli on jest prawdziwy, to następuje inkrementacja licznika **Selector** (linia #10), wskazującego aktywną cyfrę. Warunek sprawdzany w linii #9 służy do zerowania licznika w następnej linijce, kiedy jego wartość osiągnęła maksimum. Licznik 3-bitowy może liczyć od 0 do 7, co odpowiada wszystkim ośmiu wykorzystywanym cyfrom. Inkrementując wartość maksymalną, dostalibyśmy z powrotem zero, zatem w przypadku wyświetlacza ośmiocyfrowego ten warunek nie jest potrzebny i można by uprościć kod o te dwie linijki. Jednak gdybyśmy wykorzystywali wyświetlacz np. sześciocyfrowy, to w linii #9 musielibyśmy zmienić liczbę z 7 na 5 (bo w przypadku wyświetlacza 6-cyfrowego numerujemy cyfry od 0 do 5).

Mając już licznik, wskazujący aktywny wyświetlacz, musimy otworzyć jeden z tranzystorów, sterowanych wyjściami **Cathodes[7:0]**. Najprościej to zrobić w sposób przedstawiony w linii #11. Operator << przesuwa daną wartość o liczbę bitów, jaka została określona po prawej stronie operatora. Działa to dokładnie tak samo jak operator przesunięcia bitowego, znany z C i C++. Konstrukcja z linii #11 może wydawać się zaskakująca, ponieważ przesuwanie jedynki o liczbę bitów daną za pomocą zmiennej może kojarzyć się z pętlą, wykonującą się sekwencyjnie kilka razy, to jednak z Verilogu taki zapis jest całkowicie poprawny. Układ otrzymany po syntezie będzie układem czysto kombinacyjnym.

Przeskoczmy teraz do linii #14. Sygnał **Segments[7]** decyduje, czy przecinek aktywnej cyfry ma być zaświecony, czy wygaszony. Informacja o tym, które przecinki mają być zapalone, pobierana jest z 8-bitowego wejścia **DecimalPoints**. Każdy bit tego wejścia odpowiada za przecinki przy kolejnych cyfrach. Mogą się świecić wszystkie przecinki, żaden, jeden z nich lub dowolna kombinacja. W linii #14 sygnał Segments[7] łączymy z tym bitem wejścia **DecimalPoints**,

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

eprasa.pl b0a5d4d3d1

Tabela 1. Powiązanie bitów wejścia Data z cyframi wyświetlacza

Cyfra	Odpowiadający fragment wejścia Data[31:0]
0	Data[3:0]
1	Data[7:4]
2	Data[11:8]
3	Data[15:12]
4	Data[19:16]
5	Data[23:20]
6	Data[27:24]
7	Data[31:28]
n	Data[(4·n+3):(4·n)] = Data[(4·n+3) -:4]

który akurat jest wskazywany przez licznik **Selector**. Operator [] może przyjmować zmienną, podobnie jak w C++ można w taki sposób odczytywać różne elementy tablicy. Logika z linii #14 zostanie zsyntezowana jako multiplekser mający osiem wejść, jedno wyjście i trzy wejścia wybierające.

W linii #12 tworzymy 4-bitową zmienną **TempData** typu **wire**. Ta zmienna będzie łączyć fragment 32-bitowego wejścia **Data**, odpowiadający za aktualnie wyświetlaną cyfrę i będzie te dane dostarczać do dekodera 7-segmentowego (linia #16). Zobacz **tabelę 1**, która tłumaczy znaczenia bitów wejścia **Data**.

Moglibyśmy tutaj zastosować instrukcję **case(Selector)** i następnie dla wszystkich możliwych wartości licznika **Selector** podać, jaki fragment danych ma zostać załadowany do zmiennej TempData. Możliwe, że wielu czytelników stwierdzi, że takie rozwiązanie jest bardziej czytelne.

Rozwiązanie prezentowane w linii #12 jest bardziej zwarte, dzięki czemu kod jest krótszy. Należy jedynie wyjaśnić, dlaczego napisałem `TempData = Data[(Selector*4+3)-:4]` a nie `TempData = Data[(Selector*4+3):(Selector*4)]`. Otóż wybierając pewną liczbę bitów, musimy to zrobić w taki sposób, aby zawsze liczba wybranych bitów była taka sama, niezależnie od wartości zmiennej. Z tego powodu nie możemy użyć operatora `:` lecz powinniśmy skorzystać z `-:` który pozwala wybrać zakres bitów, podając numer najbardziej znaczącego bitu oraz ile bitów w dół ma zostać objętych. Wyrażenie `Selector*4+3` wyznacza numer najbardziej znaczącego bitu danych dla każdej cyfry, wskazywanej przez licznik **Selector**. Następnie od tak obliczonej liczby odejmowana jest liczba 4 i w ten sposób określone zostają bity, które należy wyekstrahować z wejścia **Data** i dostarczyć do dekodera 7-segmentowego. Układ powstały po syntezie takiego kodu jest w całości układem kombinacyjnym.

Moduł **DisplayMultiplex** umożliwia opcję wygaszania nieistotnych zer. Dzięki temu, zamiast 00000123, zostanie wyświetlone po prostu 123. Zastanówmy się, jaka logika powinna sterować tą funkcjonalnością:

1. Wyświetlacz pokazujący najmniej znaczącą cyfrę powinien być zawsze aktywny. Jeżeli na wejściu **Data** mamy same zera, to wyświetlacz najmniej znaczącej cyfry powinien pokazać 0, a wszystkie pozostałe wyświetlacze powinny być wygaszone.
2. Jeżeli wyświetlacz najbardziej znaczącej cyfry pokazuje zero, to powinien być wygaszony bez względu na resztę cyfr.
3. Wyświetlacze w środku powinny być wygaszone tylko wtedy, gdy mają wyświetlać zero i jednocześnie został spełniony warunek wygaszenia bardziej istotnego wyświetlacza. Ten warunek jest konieczny, aby prawidłowo wyświetlać liczby takie jak 00123400 – w rezultacie tylko pierwsze dwa zera zostaną wygaszone, a wyświetlona zostanie liczba 1234 00.

Spróbujmy zaimplementować tę logikę w Verilogu. Jest to logika czysto kombinacyjna. Nie ma potrzeby stosować tutaj żadnych przerzutników, ponieważ interesuje nas tylko aktualny stan wejścia **Data**. W linii #1 tworzymy 8-bitową zmienną **Visible** typu **wire**. Każdy bit tej zmiennej decyduje, czy odpowiadająca mu cyfra ma być zaświecona. Stan wysoki oznaczać będzie zaświecenie cyfry, a stan niski będzie powodować wygaszenie. Najprościej będzie zrealizować warunek pierwszy. Skoro najmniej znacząca cyfra ma zawsze się świecić, to do zerowego bitu sygnału **Visible[0]** wpisujemy na stałe stan wysoki (linia #4).

Warunek drugi możemy zaimplementować tak, jak pokazano to w linii #2. Testujemy cztery najstarsze bity sygnału **Data[31:28]**, które sterują najbardziej istotną cyfrą. Możemy to zrobić na dwa sposoby. Pierwszy (i zapewne bardziej intuicyjny) to wykorzystanie operatora nierówności `Data[31:28] != 4'd0`. Drugi sposób polega na zastosowaniu operatora redukcji OR. Tworzy on wielowejściową bramkę OR, do której podłączone są wszystkie bity testowanego sygnału. Bramka OR daje na wyjściu stan wysoki, jeżeli chociażby jeden z badanych bitów ma stan wysoki. Obojętnie który sposób zastosujemy, w rezultacie dostaniemy logikę działającą dokładnie tak samo.

Trzeci warunek musimy zaimplementować dla wszystkich cyfr pomiędzy najbardziej i najmniej znaczącą. Przykład realizacji pokazano w linii #3. W ten sposób przygotowaliśmy informacje o tym, które cyfry mogą się świecić. Spośród ośmiu bitów musimy przekazać do dekodera 7-segmentowego tylko ten jeden bit, który odpowiedzialny jest za aktualnie wyświetlaną cyfrę, wskazaną przez licznik **Selector**. Aby to uczynić, tworzymy pomocniczy sygnał **Enable** w linii #13, który przyjmuje wartość 0 lub 1 w zależności od tego, co zostało określone w wektorze **Visible[7:0]** i aktualnego stanu licznika **Selector**. Sygnał ten łączymy z dekoderem wyświetlacza 7-segmentowego w linii #15.

Moduł DisplayMultiplex ze zmienną liczbą cyfr

Parametryzacja kodu sprawia, że staje się on bardziej elastyczny i łatwiej go wykorzystywać w różnych projektach. Z tego powodu przerobimy kod z **listingu 3** w taki sposób, aby można było go wykorzystywać w wielu projektach, gdzie wykorzystywane są wyświetlacze multipleksowane, różniące się liczbą cyfr. Przeanalizujmy **listing 4**, który pod względem funkcjonalności jest identyczny jak kod z listingu 3. Omówimy tylko istotne różnice między tymi dwoma listingami.

Na liście parametrów modułu **DisplayMultiplex** pojawił się parametr **DIGITS**, który, jak można się domyślać, określa liczbę cyfr obsługiwanych przez wyświetlacz. Ten parametr jest wykorzystywany w bardzo wielu miejscach w dalszej części kodu. W liniach #2, #3 i #4 za pomocą parametru **DIGITS** definiujemy szerokość wejść i wyjść. Przy określaniu szerokości wejścia **Data** parametr mnożymy przez cztery, ponieważ na każdą cyfrę przypadają cztery bity magistrali danych.

Przejdźmy do linii #11, gdzie tworzony jest licznik **Selector**. Ponieważ liczba cyfr wyświetlacza może się zmieniać, liczba bitów tego licznika również musi być regulowana w zależności od potrzeb. Szerokość licznika jest ustalana przez parametr lokalny **CNT_WIDTH**, który zdefiniowany jest w linii #10. Zastosowana w tej linijce funkcja **$clog2(x)** oblicza wartość logarytmu

Kody z tego odcinka kursu możesz zasymulować w EDA Playground:

- Strobe Generator – https://www.edaplayground.com/x/P4Bt
- Display Multiplex ze stałą liczbą cyfr – https://www.edaplayground.com/x/M46N
- Display Multiplex ze zmienną liczbą cyfr – https://www.edaplayground.com/x/9fsF
- Dekoder 7-segmentowy – https://www.edaplayground.com/x/UvUG

Cały projekt w programie Diamond możesz pobrać z serwera EP:

- https://tiny.pl/cgw3v

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

eprasa.pl b0a5d4d3d1

Listing 3. Kod pliku display_multiplex.v w wersji ze stałą liczbą cyfr wyświetlacza

```
// Plik display_multiplex.v w wersji ze stałą liczbą cyfr wyświetlacza
module DisplayMultiplex #(
  parameter FREQUENCY_HZ = 10_000_000,
  parameter SWITCH_PERIOD_US = 1000
)(
  input  Clock,
  input  Reset,
  input  [31:0] Data,
  input  [ 7:0] DecimalPoints,
  output [ 7:0] Cathodes,
  output [ 7:0] Segments
);

  // Wygaszanie nieistotnych zer
  wire [7:0] Visible;                                          // #1
  assign Visible[7] = |Data[31:28];                            // #2
  assign Visible[6] = |Data[27:24] || Visible[7];              // #3
  assign Visible[5] = |Data[23:20] || Visible[6];
  assign Visible[4] = |Data[19:16] || Visible[5];
  assign Visible[3] = |Data[15:12] || Visible[4];
  assign Visible[2] = |Data[11: 8] || Visible[3];
  assign Visible[1] = |Data[ 7: 4] || Visible[2];
  assign Visible[0] = 1'b1;                                    // #4

  // Generator sygnału przełączającego cyfry wyświetlacza
  wire SwitchCathode;                                          // #5
  StrobeGenerator #(                                           // #6
    .FREQUENCY_HZ(FREQUENCY_HZ),
    .PERIOD_US(SWITCH_PERIOD_US)
  ) StrobeGenerator0(
    .Clock(Clock),
    .Reset(Reset),
    .Strobe(SwitchCathode)
  );

  // Licznik wybierający aktywną cyfrę do wyświetlenia
  reg [2:0] Selector;                                          // #7
  always @(posedge Clock, negedge Reset) begin
    if(!Reset)
      Selector <= 0;
    else if(SwitchCathode) begin                               // #8
      if(Selector == 7)                                        // #9
        Selector <= 0;
      else
        Selector <= Selector + 1'b1;                           // #10
    end
  end

  // Wybór aktywnej katody
  assign Cathodes = (1'b1 << Selector);                        // #11

  // Wybór danych do wyświetlenia
  wire [3:0] TempData = Data[(Selector*4+3)-:4];               // #12

  // Sprawdź czy aktywna cyfra ma być widoczna czy wygaszona
  wire Enable = Visible[Selector];                             // #13

  // Włączenie lub wyłączenie przecinka dla aktywnej cyfry
  assign Segments[7] = DecimalPoints[Selector];                // #14

  // Instancja dekodera 7-segmentowego
  Decoder7seg #(                                               // #15
    .COMMON_CATHODE(1)
  ) Dekoder(
    .Enable(Enable),
    .Data(TempData),                                           // #16
    .Segments(Segments[6:0])                                   // #17
  );

endmodule
```

Listing 4. Kod pliku display_multiplex.v w wersji ze zmienną liczbą cyfr wyświetlacza

```
// Plik display_multiplex.v w wersji ze zmienną liczbą cyfr wyświetlacza
module DisplayMultiplex #(
  parameter FREQUENCY_HZ = 10_000_000,
  parameter SWITCH_PERIOD_US = 1000,
  parameter DIGITS = 8                                         // #1
)(
  input  Clock,
  input  Reset,
  input  [DIGITS*4-1:0] Data,                                  // #2
  input  [  DIGITS-1:0] DecimalPoints,                         // #3
  output [  DIGITS-1:0] Cathodes,                              // #4
  output [         7:0] Segments
);

  // Wygaszanie nieistotnych zer
  wire [DIGITS-1:0] Visible;                                   // #5
  generate                                                     // #6
    genvar i;                                                  // #7
    for(i=0; i<DIGITS; i=i+1) begin                            // #8
      case(i)                                                  // #9
        0:        assign Visible[i] = 1'b1;
        DIGITS-1: assign Visible[i] = |Data[i*4+3:i*4];
        default:  assign Visible[i] = |Data[i*4+3:i*4] || Visible[i+1];
      endcase
    end
  endgenerate

  // Generator sygnału przełączającego cyfry wyświetlacza
  wire SwitchCathode;
  StrobeGenerator #(
    .FREQUENCY_HZ(FREQUENCY_HZ),
    .PERIOD_US(SWITCH_PERIOD_US)
  ) StrobeGenerator0(
    .Clock(Clock),
    .Reset(Reset),
    .Strobe(SwitchCathode)
  );

  // Licznik wybierający aktywną cyfrę do wyświetlenia
  localparam CNT_WIDTH = $clog2(DIGITS);                       // #10
  reg [CNT_WIDTH-1:0] Selector;                                // #11
  always @(posedge Clock, negedge Reset) begin
    if(!Reset)
      Selector <= 0;
    else if(SwitchCathode) begin
      if(Selector == DIGITS - 1)
        Selector <= 0;
      else
        Selector <= Selector + 1'b1;
    end
  end

  // Wybór aktywnej katody
  assign Cathodes = (1'b1 << Selector);

  // Wybór danych do wyświetlenia
  wire [3:0] TempData = Data[(Selector*4+3)-:4];

  // Sprawdź czy aktywna cyfra ma być widoczna czy wygaszona
  wire Enable = Visible[Selector];

  // Włączenie lub wyłączenie przecinka dla aktywnej cyfry
  assign Segments[7] = DecimalPoints[Selector];

  // Instancja dekodera 7-segmentowego
  Decoder7seg #(
    .COMMON_CATHODE(1)
  ) DUT(
    .Enable(Enable),
    .Data(TempData),
    .Segments(Segments[6:0])
  );

endmodule
```

przy podstawie 2 i wynik zaokrągla w górę. W taki sposób możemy łatwo wyznaczyć liczbę bitów, jakie potrzebne są w liczniku, liczącym od zera do wartości zależnej od zmieniającego się parametru.

Przejdźmy teraz do linii #5, gdzie podobnie jak w listingu 3 tworzymy wektor **Visible** typu **wire** wyznaczający, które cyfry mają być zaświecone, a które wygaszone, aby ukryć nieistotne zera. Musimy zaimplementować trzy różne warunki tak, jak to zostało opisane powyżej.

Z pomocą przychodzi blok **generate**. Należy go traktować jako makro, które jeszcze przed syntezą wygeneruje nam „linie kodu" zgodnie z opisanym przez nas szablonem. Można w ten sposób utworzyć zbiór różnych instancji, bloków always/initial, zmiennych i różnych przypisań.

W bloku generate musimy wykorzystać chociażby jedną zmienną typu **genvar**, która będzie w jakiś sposób odróżniać generowane obiekty. Zmienną **genvar** możemy utworzyć wewnątrz lub na zewnątrz bloku **generate**. Może być ona stosowana jako iterator pętli **for**, warunek instrukcji **if-else**, a także argument instrukcji wyboru **case**. W linii #7 tworzymy jedną zmienną **genvar** o nazwie **i**.

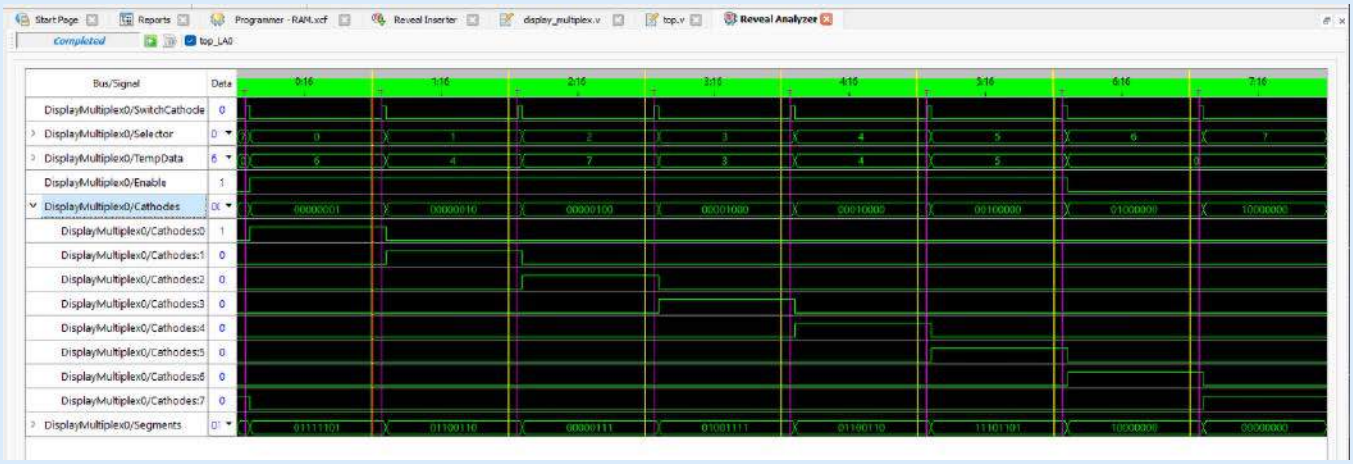
W linii #8 mamy pętlę **for**. Podobnie jak w językach C i C++, pętla ma trzy wyrażenia – inicjalizację iteratora, warunek wykonywania pętli oraz inkrementację iteratora. Pętla z linii #8 wykona się tyle razy, ile mamy wyświetlaczy, co określone jest poprzez parametr **DIGITS**.

Gdyby logika sterująca wygaszaniem nieistotnych zer była taka sama dla wszystkich cyfr, moglibyśmy ją umieścić od razu wewnątrz pętli **for**. Niestety jednak warunki wygaszenia są inne dla pierwszej cyfry, ostatniej oraz środkowych, co dokładniej opisałem wcześniej przy okazji omawiania zmiennej **Visible[7:0]** w listingu 3.

Kiedy generowane obiekty mają być tworzone według różnych szablonów, przydaje się instrukcja **case**, której argumentem jest zmienna typu **genvar**. W zależności od niej wybierany jest szablon, który zostanie wykorzystany. Zobacz linię #9. Zostały tam zdefiniowane trzy różne szablony – dla zerowej cyfry wyświetlacza, ostatniej cyfry i wszystkich cyfr w środku wyświetlacza.

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

eprasa.pl b0a5d4d3d1



Rysunek 3. Przebiegi modułu DisplayMultiplex zarejestrowane przez Reveal Analyzer

Kod wygenerowany przez blok **generate** będzie identyczny z tym, który w **listingu 3** przedstawiają linie od #1 do #4.

Moduł Decoder7seg

Pozostał już tylko moduł dekodera wyświetlacza 7-segmentowego. Jest to prostu układ kombinacyjny, który tylko przekształca 4-bitową wartość, otrzymają na wejście **Data**, na kombinację sygnałów, które zaświecają odpowiednie segmenty wyświetlacza, wyprowadzone na wyjście **Segments**.

Zobaczmy **listing 5**. Kod ten jest podobny do kodu, który zastosowaliśmy w 6 odcinku kursu i dlatego nie będziemy go szczegółowo omawiać. Różnica polega na dodaniu wejścia **Enable**, którego celem jest umożliwienie wygaszenia wyświetlacza. Kiedy **Enable** jest w stanie wysokim, to dekoder pracuje normalnie, natomiast kiedy jest w stanie niskim to wszystkie segmenty są wygaszone, niezależnie od tego, co jest na wejściu **Data**.

Na koniec zastanówmy się, jakie części naszego designu są układami sekwencyjnymi, a które to układy kombinacyjne. W module **DisplayMultiplex**, układami sekwencyjnymi jest tylko **StrobeGenerator** oraz licznik **Selector**. Każda inkrementacja licznika **Selector** pociąga za sobą lawinę zdarzeń, takich jak przełączanie aktywnego wyświetlacza, wybór przecinka, wybór nowych danych, które są podawane do dekodera 7-segmentowego, a sam dekoder również jest układem czysto kombinacyjnym. Każdy z tych układów kombinacyjnych ma oczywiście inny czas propagacji, a dane na wyjściach tych układów ustalają się w różnych odstępach czasu.

Ta gmatwanina sygnałów steruje wyświetlaczem bez żadnego buforowania i synchronizowania z sygnałem zegarowym. jednak nie stanowi to problemu, ponieważ czasy propagacji tych układów są tak małe, że nie da się ich zauważyć ludzkim okiem ani nawet analizatorem Reveal samplującym z częstotliwością 133 MHz.

Gorąco zachęcam, by pobawić się analizatorem logicznym Reveal, opisanym w 7 odcinku kursu. Spróbuj tak skonfigurować analizator, by obserwować sygnały wewnątrz modułu DisplayMultiplex, jak to pokazano na **rysunku 3.**

Podsumowanie

W tym odcinku kursu nauczyliśmy się wywoływać różne zadania z różną częstotliwością, pomimo że wszystkie moduły wykorzystują jeden i ten sam sygnał zegarowy. Jest to bardzo ważna koncepcja, której zrozumienie jest kluczowe przed przystąpieniem do budowy bardziej skomplikowanych układów. Sterownik wyświetlacza przygotowany w tym odcinku będzie wykorzystywany w przyszłości jeszcze nie raz.

Listing 5. Kod pliku decoder_7seg.v

```
// Plik decoder_7seg.v
module Decoder7seg #(
  parameter COMMON_CATHODE = 1  // 1 – wspólna katoda, 0 – wspólna anoda
)(
  input        Enable,          // 1 – on, 0 – off
  input  [3:0] Data,            // Wejście danych do wyświetlenia
  output [6:0] Segments         // Wyjście segmentów
);

  reg    [6:0] Temp;

  always @(*) begin
    if(Enable)
      case(Data)          // gfedcba
        4'h0:     Temp = 7'b0111111;
        4'h1:     Temp = 7'b0000110;
        4'h2:     Temp = 7'b1011011;
        4'h3:     Temp = 7'b1001111;
        4'h4:     Temp = 7'b1100110;
        4'h5:     Temp = 7'b1101101;
        4'h6:     Temp = 7'b1111101;
        4'h7:     Temp = 7'b0000111;
        4'h8:     Temp = 7'b1111111;
        4'h9:     Temp = 7'b1101111;
        4'hA:     Temp = 7'b1110111;
        4'hB:     Temp = 7'b1111100;
        4'hC:     Temp = 7'b0111001;
        4'hD:     Temp = 7'b1011110;
        4'hE:     Temp = 7'b1111001;
        4'hF:     Temp = 7'b1110001;
        default: Temp = 7'b0000000;
      endcase
    else
      Temp = 7'b0000000;
  end

  // W przypadku wyświetlacza ze wspólną anodą zaneguj rejestr Temp
  assign Segments = COMMON_CATHODE ? Temp : ~Temp;

endmodule
```

W następnym odcinku rozbudujemy nasz wyświetlacz o klawiaturę matrycową. Jest to prosty i wygodny sposób, aby niewielkim nakładem sprzętowym umożliwić wykorzystanie dużej liczby przycisków. Ponadto, część sygnałów może być współdzielona przez wyświetlacz multipleksowany oraz przez klawiaturę matrycową.

Dominik Bieczyński
leonow32@gmail.com

Dodatkowe informacje:

- MachXO2 Family Datasheet – https://tiny.pl/cgwbb
- https://www.youtube.com/watch?v=tc-yjfyjX6w

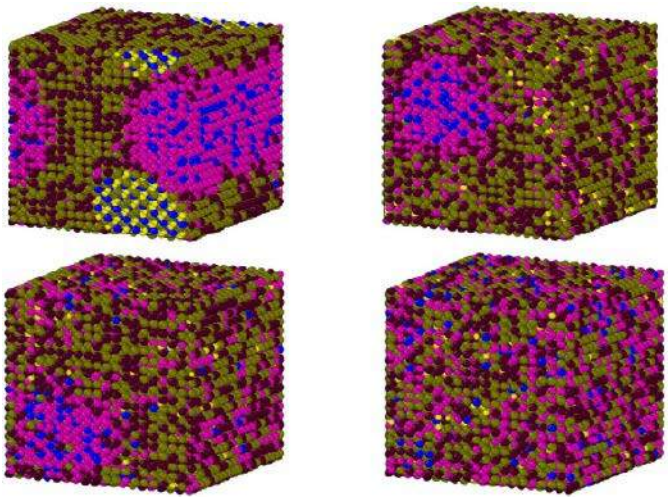
REKLAMA

www.ep.com.pl/
EPwtoku

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

eprasa.pl b0a5d4d3d1

koktajl niusów



Nowy stop wytrzyma ekstremalne warunki panujące w elektrowniach jądrowych

Jest nanokrystaliczny, ogniotrwały i charakteryzuje się wysoką entropią. Dzięki temu może znaleźć zastosowanie m.in. w energetyce jądrowej oraz przemyśle kosmicznym. Takim stopem zajmuje się międzynarodowy zespół naukowców, w którym zaznacza się obecność badacza z Politechniki Warszawskiej (PW).

Zmniejszenie poziomu emisji gazów cieplarnianych i związane z tym obniżenie zużycia paliw kopalnych to obecnie jedno z najważniejszych wyzwań na świecie. Alternatywą w przypadku klasycznych surowców może być m.in. energetyka termojądrowa, ale wymaga nowych materiałów, które przetrwają w trudnych warunkach panujących w elektrowniach. Jednym z nich jest stop WTaCrVHf, który ma skład określony na podstawie symulacji komputerowych. Stop ten cechuje wysoka stabilność mikrostrukturalna, która wynika z dużej gęstości stabilnych granic ziaren, złożoności chemicznej oraz obniżenia temperatury, w której pojawiają się kruche fazy międzymetaliczne. Wyniki eksperymentalne i symulacje są ze sobą zgodne, co udowadnia, że zaprezentowana przez zespół metoda projektowania może być stosowana do opracowywania czy syntezy nowych stopów o wysokiej entropii do wielu zastosowań. W przyszłości planowana jest dalsza optymalizacja składu stopu, w celu opracowania zamiennika czystego wolframu, który będzie użyty w diwertorze – najbardziej wymagającym elemencie reaktorów syntezy termojądrowej.

https://tiny.pl/ctx8r

Wi-Fi 6 dla wczasowiczów pod otwartym niebem

O tej porze roku myślimy już o wakacjach. Wszyscy musimy zrobić sobie przerwę, żeby się zrelaksować i zapomnieć na kilka dni o pracy. Jednak bez względu na to, czy wolimy spędzać czas w górach i lasach, w basenie, czy na plaży, nadal chcemy pozostawać w kontakcie ze światem. Warto w tym celu korzystać ze stabilnego połączenia Wi-Fi 6, które gwarantuje punkt dostępowy NWA55AXE od firmy Zyxel Networks. Urządzenie zostało zaprojektowane z myślą o użytku pod otwartym niebem i jest zgodne z klasą szczelności IP55, co oznacza wysoką odporność na kurz i wodę. Można je zamocować na ścianie lub słupie oraz zarządzać nim za pomocą chmurowej platformy Nebula, czyli zmieniać jego ustawienia przy użyciu smartfonu, tabletu bądź laptopa. Punkt dostępowy NWA55AXE obsługuje standard Wi-Fi 6 i radzi sobie doskonale z wysoką liczbą użytkowników w zatłoczonych barach, kawiarniach oraz innych obiektach. Dwie anteny zewnętrzne oferują wysoki zasięg sygnału, zwłaszcza gdy są skierowane w dół – w przypadku montażu NWA55AXE na podwyższeniu.

https://tiny.pl/ctx8w

Omada Cloud-Based Controller – kontroler firmy TP-Link bazujący na chmurze

Niedawno firma TP-Link poszerzyła ofertę kontrolerów systemu Omada o rozwiązanie chmurowe. Jest nim Omada Cloud-Based Controller oferowany w modelu subskrypcyjnym. Kontroler chmurowy może być stosowany zamiennie z kontrolerami: OC200 i OC300, gdyż zapewnia dostęp do identycznych funkcji. Korzystanie z kontrolera Omada Cloud-Based Controller uwzględnia bezobsługową z punktu widzenia użytkownika konfigurację ZTP (*Zero Touch Provisioning*), która pozwala prosto wdrażać różne rozwiązania sieciowe. Wystarczy w kontrolerze wprowadzić numery seryjne urządzeń, żeby automatycznie po podłączeniu do sieci z dostępem do internetu wczytały domyślną konfigurację. Kontroler Omada Cloud-Based Controller daje też możliwość scentralizowanego zarządzania wieloma punktami dostępowymi, przełącznikami i routerami. Skalowanie sieci dla wielkiej liczby użytkowników nie stanowi problemu, jako że oprogramowanie Omada Cloud-Based Controller nie ma limitu obsługiwanych urządzeń.

Rozwiązanie jest kierowane do średnich lub dużych firm. Zarządzanie rozproszoną infrastrukturą sieciową odbywa się poprzez interfejs webowy albo intuicyjną aplikację Omada, dostępną na urządzenia mobilne. Aplikacja ta umożliwia monitorowanie sieci z każdego miejsca świata i zmianę niezbędnych ustawień. Z kontrolerem Omada Cloud-Based Controller kompatybilne są wszystkie urządzenia Omada SDN.

https://www.tp-link.com/pl/press/news/20581

Ekologiczny wodór z morskiej farmy wiatrowej w Szwecji

Na terenie Szwecji powstaje unikalna fabryka wodoru. Jego produkcja ma być zasilana z morskiej farmy wiatrowej. Budowa instalacji odbywa się w ramach projektu SoutH2Port.

eprasa.pl b0a5d4d3d1

Realizowana instalacja produkcyjna powstaje w gminie Soederhamn we wschodniej Szwecji i ma wytwarzać prawie 240 ton wodoru dziennie. Jest to odpowiednik prawie 1,8 miliona baryłek ropy naftowej rocznie. Instalacja ma być docelowo dołączona do morskiej farmy wiatrowej Skyborn o mocy 1 GW. W obrębie projektu SoutH2Port firma ABB wdroży zoptymalizowaną produkcję energii elektrycznej i wodoru przy użyciu technologii Power-to-X pozwalającej wykorzystać nadwyżkę wytworzonej energii elektrycznej do efektywnej generacji alternatywnego nośnika energii. Firma skupi się na automatyzacji systemów elektrycznych i cyfrowych, opracowując rozwiązania, które służą magazynowaniu energii. Nowa instalacja będzie wspierać dekarbonizację szwedzkiego systemu energetycznego poprzez dostarczanie wodoru. Do 2045 roku Szwecja pragnie być w praktyce pierwszym na świecie państwem, które nie będzie korzystało z paliw kopalnych.

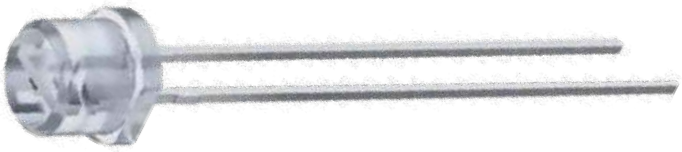
https://tiny.pl/ctx8f

Bezpieczny ekosystem Odry dzięki firmie T-Mobile

Podczas tegorocznych Dni Odry, które zorganizowało miasto Wrocław, firma T-Mobile zwodowała swoją boję analityczną do monitorowania stanu wody w Odrze. Dzięki temu rozwiązaniu możliwe stało się wykrywanie zagrożeń już na wczesnych etapach. Zeszłoroczna katastrofa ekologiczna w Odrze przyniosła ze sobą ogromne straty dla rzeki i połączonych z nią ekosystemów. Badanie stanu wody płynącej w rzece jest konieczne, by umożliwić działania zmierzające do odbudowy ekosystemu. Według firmy T-Mobile innowacyjne rozwiązania mogą wspierać troskę o środowisko. Firma przystąpiła do projektu pilotażowego, realizowanego razem z miastem Wrocław, w obrębie którego, w zadanym punkcie Odry, zwodowano boję analityczną. Boja będzie na bieżąco zapewniała informacje o stanie wody w rzece na podstawie takich parametrów jak: koncentracja zawiesiny, tlen rozpuszczony, temperatura, pH i przewodność. Do wodowania boi na rzece doszło w trakcie Dni Odry, które obejmowały cykle debat na temat zagrożeń ekosystemu rzeki.

Dyrektor biura rozwoju sprzedaży i nowych technologii w firmie T-Mobile – Piotr Biały – powiedział: „Wierzymy, że niepowtarzalne rozwiązania wspomagają troskę o środowisko. Przykładem jest nasza boja analityczna, która pozwala na sprawne monitorowanie parametrów czystości wody. Wydajna analiza zapewnia pełną wykrywalność zdarzeń związanych z zagrożeniem zanieczyszczenia wody w zbiornikach. Tego typu rozwiązania są potrzebne dla takiego miasta jak Wrocław. Z tym większą przyjemnością czy dumą wspieramy je w tym celu jako firma, która w swojej strategii i działaniach dąży w stronę neutralności ekologicznej".

https://tiny.pl/ctx85



Działająca w zakresie podczerwieni impulsowa dioda laserowa SPL PL90AT03 firmy ams OSRAM

Generowana przez impulsową diodę laserową wiązka promieniowania podczerwonego charakteryzuje się nominalną długością fali 905 nm oraz widmową szerokością pasma 5...7 nm. Równoległa rozbieżność tej wiązki zawiera się w przedziale 9...12°. W wypadku prostopadłego odpowiednika przytoczonego parametru jest to wartość 25°. Za generowanie wiązki odpowiada apertura laserowa o wymiarach 200×10 μm. Impulsowa dioda laserowa SPL PL90AT03 składa się z trzech ułożonych pionowo emiterów w pojedynczej matrycy laserowej wewnątrz plastikowej obudowy. Takie rozwiązanie prowadzi do otrzymania m.in. mocy optycznej 75 W przy impulsie 30 ns i prądzie przewodzenia 25 A (jego maksymalna wartość sięga 40 A). Impulsowa dioda laserowa SPL PL90AT03 może wytwarzać impulsy laserowe o długości 1...100 ns, przy współczynniku wypełnienia 0,1%. Pracuje w temperaturach od –40 do 85°C, temperaturowy współczynnik długości fali nie przekracza 0,28 nm/K, a temperaturowy współczynnik mocy optycznej sięga –0,4%/K. Nominalne napięcie zasilania SPL PL90AT03 wynosi 9 V. Opracowana dioda nadaje się do zastosowań związanych z pomiarem odległości. Duża sprawność umożliwia tworzenie precyzyjnych optycznych czujników 3D oraz systemów jednoczesnej lokalizacji i mapowania (SLAM).

Jak mówi menadżer ds. laserów przemysłowych w firmie ams OSRAM, Jouni Riihimäki: „Stale rozwijane porttfolio ams OSRAM, które uwzględnia lasery emitujące promieniowanie podczerwone (IR), stanowi nową opcję dla klientów, którzy potrzebują tanich rozwiązań. Opracowana dioda laserowa charakteryzuje się wąską aperturą i wysoką mocą optyczną, jak również radialną plastikową obudową, która jest idealna do wielkoseryjnych zastosowań".

https://ams-osram.com/news/press-releases/spl-pl90at03

Proszek ze szkła antybakteryjnego opracowany przez LG Electronics

Najnowszy wynalazek LG Electronics charakteryzuje się kluczową dla szkła stabilnością chemiczną, termiczną oraz odpornością na odbarwienia, a także właściwościami przeciwgrzybicznymi. Już od 2022 roku firma LG Electronics stosuje swój antybakteryjny proszek szklany do produkcji m.in. uchwytów lodówek oraz zmywarek, które mają ciągły kontakt z ludzką skórą. Tworzywo sprawdza się w połączeniu z rozmaitymi materiałami, takimi jak tworzywa sztuczne, włókna, farby oraz laminaty. Proszek ze szkła antybakteryjnego ma zastosowanie m.in. w nowych piekarnikach LG Electronics. Stanowi on istotny czynnik, który umożliwia korzystanie z funkcji EasyClean. Dzięki niej urządzenia kuchenne firmy LG Electronics można łatwo utrzymywać w czystości.

eprasa.pl b0a5d4d3d1

Pierwsze badania nad proszkiem ze szkła antybakteryjnego zostały zainicjowane w 1996 roku. Na chwilę obecną firma LG Electronics może się pochwalić 219 patentami, związanymi z proszkiem szklanym i jego aplikacjami. Miejscem produkcji jest LG Smart Park w Changwon w Korei Południowej, gdzie powstaje 4 500 ton w ciągu roku.

https://tiny.pl/ctxsh

Nowość marki GOODRAM: szybki w działaniu dysk SSD o oznaczeniu PX600

Należąca do firmy Wilk Elektronik marka GOODRAM wzbogaciła się o nowy dysk SSD z interfejsem PCIe 4 ×4 NVMe. Jest to model PX600, który stanowi dobry wybór dla użytkowników domowych i rozwiązań firmowych. Jest to odpowiednie dla użytkowników, którzy poszukują niezawodnej pamięci oraz szybkiego transferu danych. Dzięki standardowi PCIe 4 ×4, model PX600 działa z maksymalną szybkością odczytu 5 GB/s i maksymalną szybkością zapisu 4,2 GB/s. Zastosowanie pamięci Flash w technologii 3D NAND zapewnia wysoką wydajność oraz niezawodność przy optymalizacji zużycia pamięci. Współczynnik MTBF dla modelu PX600 wynosi ok. 2 mln godzin. Zastosowanie protokołu komunikacyjnego NVMe uwalnia potencjał pamięci, kontrolera oraz interfejsu czwartej generacji. Protokół ten zmniejsza opóźnienia i kolejkowanie, sprawiając, że PX600 działa szybciej w porównaniu do dysków SSD bazujacych na protokole AHCI. Należący do marki GOODRAM dysk obejmuje 4 pojemności: 250 GB, 500 GB, 1000 GB i 2000 GB. Temperatura jego pracy wynos: od –25 do 85°C. Dysk PX600 dostępny jest w formacie M.2 2280 i ma 3-letnią gwarancję producenta. Firma Wilk Elektronik zapewnia wsparcie techniczne, a także bieżącą aktualizację firmware do najnowszej wersji.

Jak wyjaśnia prezes Wilk Elektronik, Wiesław Wilk: „Jednym z kłopotów, który dotyczy dysków M.2 NVMe jest zjawisko *thermal throttling*, czyli ograniczenia wydajności ze względu na zbyt wysoką temperaturę pracy wielu komponentów. Kontroler, w który wyposażony jest PX600, skutecznie zarządza napięciami, co pozytywnie, w istocie, wpływa na emisję temperatury i znacząco ogranicza jej wzrost w trakcie użytkowania. To z kolei przekłada się na niezawodność pracy nawet przy dużym obciążeniu sprzętu”.

https://www.goodram.com/blog/nowy-dysk-goodram-px600

Magnetyczny arkusz ekranujący IFQ06 z serii Flexield od TDK dla urządzeń NFC

Zasadniczymi cechami magnetycznego arkusza ekranującego IFQ06 są stosunkowo duża przenikalność magnetyczna (μ'=56) oraz niskie straty magnetyczne (μ"=2). Jest to produkt przeznaczony do różnorodnych urządzeń NFC, który chroni przed oddziaływaniem metalowych obiektów umieszczonych za antenami tych urządzeń. Metalowe obiekty mają poważny wpływ na strumienie pola magnetycznego przy antenie. Mogą w niej powstawać prądy wirowe, które pomniejszają zasięg tych urządzeń. Wielokrotnie zmianom podlega częstotliwość rezonansowa anteny, co utrudnia dostrajanie urządzeń NFC. Metalowe obiekty przewodzą indukowany prąd, co ma taki skutek, że generują przeciwstawne pole magnetyczne. Pole to oddziałuje na anteny w urządzeniach NFC, niwecząc ich pracę.

Dzięki magnetycznemu arkuszowi ekranującemu IFQ06 strumienie pola magnetycznego z metalowych obiektów są idealnie ograniczane. Jego rezystywność powierzchniowa to minimum 10 MΩ. Dostępne grubości arkusza są następujące: 0,05 mm, 0,065 mm, 0,075 mm, 0,1 mm oraz 0,2 mm. Magnetyczny arkusz ekranujący IFQ06 stanowi elastyczny materiał, który można formować do pożądanych kształtów i rozmiarów. Produkt można zamówić w postaci rolki bądź przycinanych części. Istnieje również wersja arkusza nasączonego wysokotemperaturową żywicą, która pozwala używać go, kiedy temperatura nie przekracza 125°C.

Materiał zapewnia dogodne warunki komunikacji na częstotliwości radiowej 13,56 MHz. Współczynnik Q magnetycznego arkusza ekranującego IFQ06 ma wartość 28. Arkusz należy umieścić między anteną, a metalowym obiektem. Jego stosowanie przyczynia się do wzrostu współczynnika sprzężenia K między 2 antenami urządzeń NFC.

https://www.tdk.com/en/news_center/press/20230516_01.html

Firma JLCPCB daje możliwość wytwarzania płytek PCB wysokiej częstotliwości

Laminaty, z których produkuje się płytki PCB wysokiej częstotliwości w firmie JLCPCB, to: ZYF255DA, ZYF265D, ZYF300CA-C i ZYF300CA-P (PTFE, teflon) z uwzględnieniem RO4350B (firmy Rogers). Górny limit częstotliwości sygnałów dla tych płytek wynosi 100 GHz. Jest to doskonały wybór np. dla złożonych urządzeń elektronicznych z dziedziny mikrofal i komunikacji. We wszystkich laminatach gwarantowana jest niska stała dielektryczna i obniżone starty. Kluczową cechą ZYF255DA, ZYF265D, ZYF300CA-C i ZYF300CA-P jest wysoka odporność termiczna. Laminaty te wyróżnia idealne rozpraszanie ciepła, dobre właściwości elektryczne i dobra stabilność mechaniczna. Są wytrzymałe i znoszą promieniowanie UV oraz utlenianie. W wypadku laminatu RO4350B zastoswano wzmacniany włóknem szklanym materiał węglowodorowo-ceramiczny ze stałą dielektryczną 3,48, przy częstotliwości 10 GHz. Materiał ten charakteryzuje mały współczynnik rozszerzalności cieplnej (CTE) w płaszczyźnie Z. Gwarantuje to wysoką stabilność obwodów elektrycznych w wielowarstwowych płytkach PCB. Laminat RO4350B przydaje się m.in. w projektach wzmacniaczy mocy RF. Opisane laminaty można wybrać podczas składania zamówienia na stronie JLCPCB.

https://tiny.pl/ctx6l

Jakub Tyburski
jakub.tyburski@elportal.pl

eprasa.pl b0a5d4d3d1

Hity następnego numeru • „Elektronika Praktyczna” 8/2023

Głowa robota InMoov

Każdy pasjonat robotyki z pewnością zna robota humanoidalnego InMoov. Stworzył go francuski rzeźbiarz i projektant Gael Langevin. Na stronie www.inmoov.fr znajduje się szczegółowy opis jego budowy. Ponieważ budowa całego robota jest dosyć czasochłonna oraz kosztowna, w pierwszej kolejności można zbudować jego głowę; w jej wnętrzu umieścić komputer Raspberry Pi, sterownik serwomechanizmów, czujnik temperatury oraz elementy odpowiedzialne za odtwarzanie dźwięku i rozpoznawanie mowy. Dzięki takiemu rozwiązaniu od razu jest możliwe pisanie programu sterującego dla robota i poznawanie jego niesamowitych możliwości.

Miniaturowy termostat cyfrowy

Urządzenie łączy zalety stabilności i dokładności rozwiązania cyfrowego z niską ceną oraz małymi gabarytami układu analogowego. Układ jest rozwiązaniem cyfrowym, ale nie zawiera relatywnie dużego i drogiego wyświetlacza, który z reguły jest potrzebny tylko raz – przy ustawianiu żądanych wartości temperatur. Jego funkcję pełni zwykły woltomierz, który podłącza się do określonych zacisków. Zależność między napięciem a temperaturą można łatwo wyliczyć.

Czujnik punktu rosy

Moduł znajdzie zastosowanie w aplikacjach, gdzie występuje ryzyko kondensacji wilgoci z powietrza, która może powodować nieprawidłowe działanie lub uszkodzić czułą elektronikę. Moduł zawiera przetwornik punktu rosy HDS10 firmy AOSONG, zoptymalizowany do wykrywania wysokiej wilgotności otoczenia. Czujnik charakteryzuje się szybką, powtarzalną odpowiedzią (ok. kilku sekund), wysoką niezawodnością i odpornością na zabrudzenia.

Izolator sygnału analogowego

Moduł zapewnia izolację galwaniczną sygnału analogowego z zakresu 0...100 VDC. Izolacja przetwornika pomiarowego od obwodu mierzonego przydaje się w układach pomiaru napięcia baterii/akumulatora lub w obwodach, gdzie mogą pojawić się problemy z pętlą masy zakłócającą pomiar. Zakres napięcia wejściowego może zostać zmieniony za pomocą doboru elementów dzielnika napięciowego, a duża rezystancja wejściowa układu pozwala zminimalizować wpływ na mierzony układ. Układ zbudowany jest z dwóch najnowszych, specjalizowanych układów firmy Analog Devices – izolowanego wzmacniacza ADuM4195 oraz przetwornicy napięcia ADuM6028.

Tematy wiodące w EP8/2023:

- Wyświetlacze do aplikacji zewnętrznych
- Nowoczesne prototypowanie

Wykaz firm ogłaszających się w tym numerze „Elektroniki Praktycznej”.

AKSOTRONIK 31
ARMEL 15
BORNICO 13
COMPUTER CONTROLS 11, 55
CONTRANS TI 7
ELMARK AUTOMATYKA 75, 77
ELMAX 87
FERYSTER 15
FINDER 71, 80
GAMMA 15
HAMMOND 9
MARITEX 72
MICROCHIP 5, 33, 58
PIEKARZ 15
SEMICON 29
TME 67, 82
ZETTLER 66

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 b0a5d4d3d1

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**

epraso.pl b0a5d4d3d1