Wydanie elektroniczne dostępne na www.ulubionykiosk.pl

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

EP.com.pl

● Międzynarodowy magazyn elektroników konstruktorów ● grudzień ● 12/2025 ●

Tylko Prenumeratorzy

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

UKŁADY ULTRA-LOW POWER

TEMAT NUMERU

inspirujące, użyteczne projekty

- Dwustanowy sterownik elektrozaworu DC
- Detektor poziomu dźwięku z interfejsem Grove
- Izolator interfejsu USB 2.0 z układem ADuM316x

podzespoły, sprzęt, aplikacje

• Sieć cyfrowych rozwiązań, ludzi, usług i partnerów • Właściwa obudowa gwarancją bezpieczeństwa i niezawodności systemu • Mikrokontrolery Ultra Low Power – przegląd rynku • Obudowy w nowoczesnym wydaniu • Powłoki konformalne, masy zalewowe i inne zabezpieczenia dla elektroniki • Obudowy na miarę XXI wieku • Energooszczędne układy zasilania i analogowe tory sygnałowe • Metoda DAM & FILL – kiedy sięgać po to rozwiązanie

tutoriale

• Uwaga na czas! • Jak uczynić sygnał zbalansowanym? • Syntezatory dźwięku. Zaawansowane oscylatory VCO i generatory LFO • Internet Rzeczy w pomiarach środowiskowych. Wykrywanie pożaru z użyciem kamery termowizyjnej

kursy

• Programowanie w środowisku MicroPython. Serwer HTTP • Pomiary charakterystyk częstotliwościowych. Komercyjne układy m.cz.

ISSN 1230-3526 Indeks 357677
9 771230 352252 12 >
18,90 zł (w tym 8% VAT) • PRICE: 8 EUR

OBUDOWY W NOWOCZESNYM WYDANIU

eprasa.pl e7970affa9

–15%
NA START
192,80 zł

–30%
po pierwszym roku prenumeraty
158,80 zł

–40%
po drugim roku prenumeraty
136,10 zł

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

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

Rozpocznij swoją przygodę z *Elektroniką Praktyczną*. Decydując się teraz na roczną prenumeratę drukowaną, otrzymasz nie tylko dostęp do najnowszych wydań, ale i **znakomity start dzięki zniżce 15%** na pierwsze zamówienie!

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

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

Jak otrzymać rabat za lojalność?

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

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

Wybierz prenumeratę cyfrową PDF i ciesz się dostępem do czasopisma nawet 7 dni przed oficjalną premierą w kioskach. Oszczędzaj czas i pieniądze – skorzystaj z **rabatu 30%** na roczną e-prenumeratę w cenie 126,80 zł.

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

Zyskaj nieograniczony dostęp do zasobów dla pasjonatów elektroniki!

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

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

Zacznij korzystać z pełnych zasobów już dziś!

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

eprasa.pl e7970affa9

Kiedy wynalazek spotyka rzeczywistość, czyli o wyboistej ścieżce startupów technologicznych

Ostatnie tygodnie upłynęły pod znakiem nagłośnionej, medialnej batalii, której centrum stała się Olga Malinkiewicz – doktor fizyki i założycielka Saule Technologies – oraz jej spór z kluczowymi inwestorami tejże spółki. Jej niezwykle obiecujący wynalazek – drukowane ogniwa perowskitowe – mógł być wielkim sukcesem polskiej myśli technicznej. W wywiadzie przeprowadzonym przez Krzysztofa Stanowskiego w Kanale Zero pojawiły się jednak liczne oskarżenia: founderka zarzuciła inwestorom m.in. działania sprzeczne z interesami firmy i przejęcie kontroli nad technologią, ze strony przeciwnej zaś padły oskarżenia o rzekomej niegospodarności czy nawet… współpracy Malinkiewicz ze „służbami wschodnimi". To, co miało być triumfem innowacji – nagle stało się dramatycznym przykładem, jak wiele może pójść nie tak, gdy nauka spotyka się z wielkim biznesem.

I bynajmniej nie mam zamiaru oceniać tutaj słuszności argumentów obydwu stron, choć nie ukrywam, że mam w tej sprawie własne zdanie ugruntowane wieloletnimi obserwacjami tak rynku startupów, jak ścieżki rozwoju samego Saule (i to od początku istnienia firmy). Chcę natomiast zwrócić uwagę na coś innego, na znacznie wyższym poziomie ogólności. Sprawa Malinkiewicz jest dziś bowiem dla wielu ostrzeżeniem: techniczne triumfy nie wystarczą, by startup przetrwał. Bo realia – finansowe, prawne, personalne – często niszczą nawet najbardziej obiecujące rozwiązania. I to właśnie te realia można nazwać krzyżem, na którego dźwiganie niemal każdy technologiczny startup jest po prostu skazany niejako z definicji.

Z jednej strony mamy zagrożenia zewnętrzne, nad którymi startup zwykle nie ma żadnej kontroli bądź kontrola ta jest bardzo mocno ograniczona. Pierwsze to trudności w pozyskaniu finansowania – szczególnie w przypadku firm z ambitnymi, deep-techowymi pomysłami. W Europie, mimo talentu i pomysłów, wiele startupów boryka się z gromadzeniem kapitału – zwłaszcza w początkowej fazie, gdy przychodów najzwyczajniej w świecie nie ma (tak jak i gotowego produktu), a ludzi, sprzęt czy materiały trzeba przecież pozyskać i na bieżąco opłacać. Prywatne fundusze są ostrożne, a dostępny kapitał zwyczajnie nie nadąża za potrzebami firm potrzebujących dużych nakładów na skalowanie, certyfikację czy produkcję. Nawet granty publiczne lub unijne często wystarczają tylko na etapy R&D, nie gwarantują jednak sukcesu komercyjnego.

Drugie zewnętrzne niebezpieczeństwo to ciężar regulacji, certyfikacji, procedur prawnych i ochrony własności intelektualnej – patenty, umowy z inwestorami, due diligence, compliance… Startup, który chce zaistnieć globalnie, musi być gotowy na długie, kosztowne i czasem nieprzewidywalne procedury – a często nie dysponuje zasobami (finansowymi, ludzkimi, czasowymi), żeby sprawnie je przejść. W przypadku firm z obszaru „hard tech" (elektronika, materiały, inżynieria medyczna itp.) jest to szczególnie bolesne.

Po trzecie – presja inwestorów i rynkowe oczekiwania, które często rozmijają się z rzeczywistą krzywą rozwoju technologii. Inwestorzy oczekują (i w zasadzie trudno im się dziwić) szybkiego zwrotu, skalowania, długofalowego planowania – tymczasem rozwój hardware'u czy deep-techu to procesy długotrwałe, kosztowne i po brzegi wypełnione niepewnościami.

Jeżeli w dodatku, jak to często bywa, założenia founderów były zbyt optymistyczne, to łatwo o rozczarowania, konflikty albo „przejadanie" funduszy bez rzeczywistego posuwania projektu do przodu. Ale nie mniej groźne bywają inne, wewnętrzne słabości startupów. Jednym z najczęstszych problemów jest trudność w znalezieniu i utrzymaniu wysoko wykwalifikowanych specjalistów – elektroników, programistów, inżynierów systemów, menedżerów produkcji. Startupy konkurują o talenty z dużymi, ugruntowanymi firmami oferującymi lepsze zarobki, nieporównanie większą stabilność i liczne benefity, których młode przedsiębiorstwa nie mają.

Kolejnym ogromnym ryzykiem jest dług techniczny – szybkie prototypowanie, chodzenie na skróty, niewystarczająca staranność w zakresie testów, czy nawet pozornie nieistotne braki w dokumentacji – to wszystko może zadecydować o upadku, gdy trzeba będzie przejść od prototypu do seryjnej produkcji albo wdrożenia na rynek.

Nie można też zapomnieć o konfliktach w zarządzie, niejasnych umowach z inwestorami, presji na szybki exit – co w ostateczności może odciąć firmę od rynku, zostawiając długi i spalone mosty zamiast realnego produktu. Sprawa Saule to przykład, jak dramatycznie może wyglądać spór, gdy wizja technologiczna zderza się z niespójnymi oczekiwaniami finansowymi, a być może wręcz z konfliktem interesów obydwu stron, które miały przecież ramię w ramię kroczyć w stronę sukcesu.

Na tym tle historia Saule i Malinkiewicz staje się przestrogą – ale i lekcją. Startup to nie tylko laboratorium, eksperymentalne układy czy prototypy – to też struktura prawna, kapitał, zespół, (biznes)plan, odporność na zmiany. I właśnie te elementy trzeba traktować z równą uwagą jak samą technologię.

Mimo tych wszystkich wyzwań, startupy technologiczne wciąż mają ogromny potencjał. To one mogą przynieść skok cywilizacyjny – przez nowe generacje urządzeń, zmianę modeli produkcji, wprowadzenie na rynek wartości, które duże machiny korporacyjne zbyt wolno rozwijają. Ale żeby to się udało – potrzebny jest świadomy pragmatyzm: realistyczne roadmapy, zdrowe pokłady cierpliwości, uczciwe relacje z inwestorami, konsekwentne zabezpieczanie praw własności i przygotowanie na długą, wyboistą drogę od laboratorium do rynku.

To tyle o startupach. Zapraszam do lektury ostatniego w tym roku wydania EP. Zbliżają się Święta, a z tej okazji życzę wszystkim naszym Czytelnikom zdrowia, stabilności i satysfakcji z dokonywanych wyborów. No i oczywiście odpoczynku! A skoro o relaksie mowa, to dodam jeszcze, że cała Redakcja „Elektroniki Praktycznej" także udaje się na zasłużony, świąteczno-noworoczny wypoczynek. Tym razem bowiem, aby móc powrócić do pracy z nową energią i zapałem, łączymy wyjątkowo wydanie styczniowe i lutowe w jeden numer, który ukaże się w sprzedaży na samym początku lutego.

Wszystkiego dobrego!

Przemysław Musz

eprasa.pl e7970affa9

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

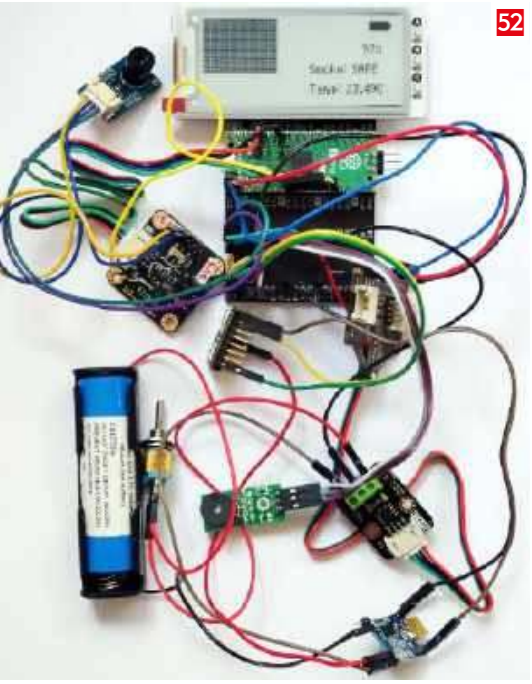
Nr 12 (395) • Grudzień 2025

12

15

17

52



Nie przeocz

Nowe podzespoły 6

Koktajl niusów 84

Projekty

Dwustanowy sterownik elektrozaworu DC 12

Miniprojekty

Detektor poziomu dźwięku z interfejsem Grove 15

Izolator interfejsu USB 2.0 z układem ADuM316x 17

Temat numeru

Mikrokontrolery Ultra Low Power – przegląd rynku 19

Energooszczędne układy zasilania i analogowe tory sygnałowe 26

Prezentacje

Sieć cyfrowych rozwiązań, ludzi, usług i partnerów 34

Metoda DAM & FILL – kiedy sięgać po to rozwiązanie 38

Właściwa obudowa gwarancją bezpieczeństwa i niezawodności systemu 58

Obudowy w nowoczesnym wydaniu 68

Notatnik konstruktora

Uwaga na czas! 36

Technologie wokół elektroniki

Powłoki konformalne, masy zalewowe i inne zabezpieczenia dla elektroniki 39

Audio bez tajemnic

Syntezatory dźwięku (4). Zaawansowane oscylatory VCO i generatory LFO 45

Jak uczynić sygnał zbalansowanym? 50

Moduły w aplikacjach

Internet Rzeczy w pomiarach środowiskowych (24).

Wykrywanie pożaru z użyciem kamery termowizyjnej 52

Elektronika w praktyce

Obudowy na miarę XXI wieku 60

Kursy

Programowanie w środowisku MicroPython (8). Serwer HTTP 70

Pomiary charakterystyk częstotliwościowych (6). Komercyjne układy m.cz. 76

Prenumerata 2

Od wydawcy 3

Hity następnego numeru 87

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

eprasa.pl e7970affa9

AT-AD269S
Mikroskop cyfrowy
z ekranem 10 cali,
powiększenie do 5000×,
5 obiektywów i endoskop
ANDONSTAR AD269S-M

AT-AD409PRO
Mikroskop do lutowania
z profesjonalnym
metalowym stojakiem,
ekran 10,1 cala,
powiększenie do 300×, HDMI
ANDONSTAR AD409Pro

BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

Mikroskopy cyfrowe dla elektroników

Rabat dla Czytelników EP
przy zakupie podaj kod **EP2505MC** **-3%**

Rabat dla Prenumeratorów EP
przy zakupie podaj numer prenumeraty **-6%**

AT-AD246S-M
Mikroskop cyfrowy 7 cali
z powiększeniem:
60...240×, 18...720×,
1560...2040×
ANDONSTAR AD246S-M

AT-AD407
Mikroskop cyfrowy 7 cali,
powiększenie do 270×
ANDONSTAR AD407

AT-AD249S-M
Mikroskop cyfrowy 10 cali
z powiększeniem:
60...240×, 18...720×, 1560...2040×
ANDONSTAR AD249S-M

AT-AD210
Mikroskop cyfrowy 5...260×
z wyświetlaczem 10,1 cala
ANDONSTAR AD210

nowe podzespoły

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

100-woltowy kondensator MLCC w rozmiarze 1608 o rekordowej pojemności 1 µF

W ofercie firmy TDK pojawił się 100-woltowy kondensator ceramiczny MLCC w rozmiarze 1608 (1,6×0,8×0,8 mm) o rekordowej pojemności 1 µF. Został on zaprojektowany specjalnie do zastosowań na liniach zasilających 48-woltowych układów zasilania. C1608X7R2A105K080AC to kondensator z dielektrykiem X7R, charakteryzujący się największą pojemnością spośród wszystkich dostępnych obecnie na rynku 100-woltowych odpowiedników tego rozmiaru i szerokim zakresem temperatury roboczej od –55 do +125°C. Pozwala wyeliminować konieczność równoległego łączenia kilku kondensatorów w układach zasilających i zredukować zajmowaną przestrzeń na płytce drukowanej. Może być lutowany na fali lub w procesie rozpływowym. Charakteryzuje się tangensem kąta strat wynoszącym maksymalnie 0,05, tolerancją ±10% i minimalną rezystancją izolacji 100 MΩ.

www.tdk-electronics.tdk.com

Miniaturowe diody przeciwprzepięciowe do ochrony przed impulsami do 1500 W

W ofercie firmy Vishay pojawiły się nowe diody przeciwprzepięciowe (TVS) w wersjach jedno- i dwukierunkowych, zamykane w obudowach SMD typu SMB (DO-214AA). Zapewniają one ochronę przed impulsami o mocy do 1500 W (10/1000 µs). Uzyskały kwalifikację AEC-Q101, pozwalającą na zastosowania w elektronice samochodowej i mogą pracować w maksymalnej temperaturze otoczenia +185°C. Ich zaletą jest też bardzo krótki czas odpowiedzi impulsowej.

W porównaniu z poprzednikami, zamykanymi w obudowach SMC (DO-214AB), diody nowych serii T15BxxA (jednokierunkowe) i T15BxxCA (dwukierunkowe) charakteryzują się mniejszą o 58% powierzchnią. Są produkowane na zakresy napięcia przebicia odpowiednio 12...51 V i 12...100 V oraz na zakresy napięcia ograniczenia odpowiednio 17,0...70,1 V i 17,0...137 V.

Diody TVS zapewniają ochronę komponentów elektronicznych przed wyładowaniami atmosferycznymi i przepięciami, wywoływanymi m.in. przełączaniem obciążeń o charakterze indukcyjnym. Ich typowe zastosowania obejmują systemy oświetleniowe, hamulce elektromechaniczne, układy sterowania pompą paliwa, 48-woltowe przetwornice DC/DC i falowniki, systemy zarządzania akumulatorami, sterowniki VCU czy też ładowarki pokładowe.

www.vishay.com

Nasadka filtrująca do czujników wilgotności WSEN-HIDS firmy Würth Elektronik

Firma Würth Elektronik opracowała nasadkę filtrującą do czujnika wilgotności i temperatury WSEN-HIDS, zapewniającą ochronę przed kurzem, wodą i uszkodzeniami mechanicznymi. Nasadka WSEN-ACCE jest przeznaczona do montażu za pomocą kołków w otworach płytki drukowanej, a dodatkowo może być przyklejana do obudowy czujnika, zapewniając dużą dokładność pomiaru wilgotności również w trudnych warunkach środowiskowych, m.in. w zastosowaniach przemysłowych i rolniczych.

Nasadka WSEN-ACCE została wyprodukowana z tworzywa PBT i zawiera precyzyjnie dostrojony filtr, który przepuszcza wodę do czujnika, jednocześnie zatrzymując cząsteczki niepożądane. Dzięki średnicy porów wynoszącej zaledwie 1,5 µm, zintegrowany filtr z PTFE i poliestru zapewnia precyzyjny pomiar w trudnych warunkach środowiskowych. Pomimo, że cząsteczki wody muszą najpierw przejść przez filtr, aby dotrzeć do powierzchni czujnika, odczyt jest opóźniony jedynie o kilka sekund, co w praktyce nie ma wpływu na wiarygodność wyników pomiaru. Nasadka charakteryzuje się stopniem ochrony IP67 i osiąga najwyższy poziom lipofobowości (odporności na wnikanie olejów), zgodnie ze standardem AATCC 118-1992.

Dzięki kalibracji i kompensacji termicznej, czujnik WSEN-HIDS zapewnia stabilny pomiar wilgotności i temperatury w długim okresie użytkowania. Zapewnia dokładność ±1,8% RH w zakresie wilgotności względnej od 20 do 80%. Dzięki zintegrowanemu przetwornikowi A/C, dane pomiarowe mogą być przesyłane bezpośrednio przez interfejs I²C do mikrokontrolerów, co umożliwia szybką i łatwą integrację w systemie.

Würth Elektronik oferuje do czujnika WSEN-HIDS płytkę ewaluacyjną, płytkę FeatherWing oraz zestaw SDK.

www.we-online.com

Bezpieczniki wysokonapięciowe i wysokoprądowe z kwalifikacją AEC-Q200

Firma SOC Fuse Technology opracowała dwie serie bezpieczników wysokonapięciowych i wysokoprądowych, przeznaczonych do zastosowań m.in. w pojazdach o zasilaniu elektrycznym i hybrydowym. Seria 1037 obejmuje warianty wysokoprądowe o oznaczeniach PI/PC1037, produkowane na zakres prądów znamionowych od 10 A do 100 A oraz warianty wysokonapięciowe

eprasa.pl e7970affa9

(ozn. PI/PC1037), produkowane na szeroki zakres napięcia roboczego do 1000 V. Są one dostępne z dwoma typami wyprowadzeń: do montażu śrubowego (ozn. PC1037C/PI1037C) oraz do tradycyjnego montażu THT na płytce drukowanej (ozn. PI/PC1037C). Ich korpusy mają wymiary ∅ 10,3×37 mm.

Wszystkie bezpieczniki z nowej oferty uzyskały kwalifikację AEC-Q200. Poza motoryzacją mogą też znaleźć zastosowanie np. w klimatyzatorach i układach napędowych.

www.socfuse.com

Wieloobrotowe trymery cermetowe do pracy w ciężkich warunkach przemysłowych

Wieloobrotowe trymery cermetowe TSM41 firmy Vishay Sfernice zostały zaprojektowane do pracy w ciężkich warunkach przemysłowych. Wyróżniają się na tle innych tego typu komponentów stopniem ochrony IP67, świadczącym o odporności na wodę i zanieczyszczenia oraz szerokim zakresem temperatury roboczej od –55 do +140°C. Są zamykane w obudowach o powierzchni 4×4 mm, mniejszej o ponad 40% od trymerów poprzedniej generacji. Oferta obejmuje wersje o rezystancji od 10 Ω do 1 MΩ i mocy znamionowej 0,25 W @ +85°C.

Trymery TSM41 mogą być montowane bezpośrednio na płytkach drukowanych w procesie automatycznym. Dzięki szczelnej konstrukcji, są odporne na środki czyszczące. W zależności od modelu, zawierają pokrętło umieszczone na górnej lub bocznej powierzchni. Ich zakres zastosowań obejmuje spawarki, elektronarzędzia, czujniki dymu oraz systemy HVAC.

www.vishay.com

Precyzyjne czujniki kąta TMR o zakresie pomiarowym 0...360°

LF53466 i LF53464 to nowe czujniki kąta typu TMR (Tunneling Magnetoresistance) z oferty firmy Littelfuse, charakteryzujące się dużą dokładnością pomiaru w pełnym zakresie 0...360° i małym dryftem temperaturowym. Są produkowane w konfiguracji z dwoma mostkami Wheatstone'a push-pull, mierzącymi kąty w osiach X i Y. W porównaniu z czujnikami opartymi na efekcie Halla, wykazują lepszą stabilność termiczną, większą dokładność pomiaru i szerszy zakres napięcia zasilania. Zawierają różnicowe wyjścia, zapewniające bardzo dobrą integralność sygnału w obecności silnych zaburzeń elektromagnetycznych.

LF53466 to czujnik zamykany w obudowie TSSOP8, oferujący błąd pomiaru poniżej 0,8° w zakresie 200...800 G. Nadaje się idealnie do zastosowań w aplikacjach przemysłowych i motoryzacyjnych (czujniki położenia kąta kierownicy i wychylenia pedałów, potencjometry bezkontaktowe), wymagających dużej odporności mechanicznej i możliwości prowadzenia inspekcji optycznej połączeń. LF53464 to czujnik zamykany w miniaturowej obudowie LGA8L o wymiarach 3×3×0,75 mm. Zapewnia jeszcze większą dokładność pomiaru (<0,6°) i lepszą tolerancję na szerokość szczeliny powietrznej, może ponadto współpracować z mniejszymi, tańszymi magnesami. Jest polecany do zastosowań w aplikacjach o ograniczonej przestrzeni montażowej, np. w enkoderach obrotowych, czujnikach położenia zaworów i elektronarzędziach.

www.littelfuse.com

REKLAMA

eprasa.pl e7970affa9

Liniowy czujnik obrazu CCD do drukarek wielofunkcyjnych formatu A3

TCD2728DG to nowy czujnik obrazu CCD firmy Toshiba, zaprojektowany specjalnie do drukarek wielofunkcyjnych formatu A3. Na tle wcześniejszych modeli, takich jak np. TCD2726DG, wyróżnia się on dużą czułością i małym prądem ciemnym. Mniejsza o 40% losowa składowa szumu (NDσ), wynikająca z obniżonego wzmocnienia wzmacniacza wyjściowego, przekłada się bezpośrednio na poprawę jakości obrazu poprzez redukcję wpływu zakłóceń występujących nieregularnie. Matryca o strukturze 7500×3 px zapewnia rozdzielczość 24 linii/mm (600 dpi) na arkuszu rozmiaru A3. Poza drukarkami, TCD2728DG może też znaleźć zastosowanie m.in. w maszynach do inspekcji półprzewodników i sortowania żywności. Nowy czujnik obrazu jest zamykany w 32-wyprowadzeniowej obudowie CERDIP.

Pozostałe parametry:

- rozmiary piksela: 4,7 μm×4,7 μm,
- maksymalna częstotliwość pracy: 100 MHz (50 MHz × 2 kanały),
- czułość toru R: typ. 6,7 V/lx·s,
- czułość toru G: typ. 8,5 V/lx·s,
- czułość toru B: typ. 3,1 V/lx·s ,
- napięcie zasilania: 3,3 V + 10 V,
- zakres temperatury roboczej: 0...+60°C.

www.toshiba.semicon-storage.com

Czujnik inercyjny do pracy w rozszerzonym zakresie temperatury otoczenia od –40 do +105°C

Do oferty Mouser Electronics wchodzi 6-osiowy czujnik inercyjny BMI330 produkcji Bosch, przeznaczony do pracy w wymagających warunkach środowiskowych, m.in. w sektorze rolniczym i przemysłowym, a także w robotyce i systemach nawigacyjnych. W odróżnieniu od większości odpowiedników, może on pracować w rozszerzonym zakresie temperatury otoczenia od –40 do +105°C. Zawiera samokalibrujący się żyroskop 3-osiowy, precyzyjny, 3-osiowy akcelerometr, czujnik temperatury, programowalny filtr dolnoprzepustowy, 2 kB pamięci FIFO, zestaw funkcji zabezpieczających i układ zarządzania zasilaniem, zapewniający możliwie najmniejszy pobór mocy we wszystkich trybach pracy.

BMI330 zapewnia sprzętową synchronizację odczytów z akcelerometru, żyroskopu i czujnika temperatury z dokładnością <1 μs oraz synchronizację czasową między IMU i zewnętrznym mikroprocesorem z dokładnością <40 μs. Jest zamykany w obudowie LGA-14 (3,0×2,5×0,8 mm) o zwiększonej odporności na naprężenia mechaniczne. Komunikacja z mikroprocesorem może się odbywać w standardach I²C, I³C lub SPI.

Ważniejsze parametry:

- zakresy pomiarowe akcelerometru: ±2, ±4, ±8 i ±16 g,
- zakresy pomiarowe żyroskopu: ±125, ±250, ±500, ±1000 i ±2000°/s,
- zakres napięcia zasilania: 1,71...3,63 V VDD i 1,08...3,63 V VDDIO,
- pobór prądu: typ. 790 μA w stanie aktywnym i 15 μA w trybie suspend,
- częstotliwość wyprowadzania danych: od 12,5 Hz do 6,4 kHz,
- offset: ±50 mg (akcelerometr) i ±1°/s (żyroskop),
- TCO: ±0,3 mg/K (akcelerometr) i ±0,02°/s/K (żyroskop),
- błąd czułości: 0,5% (akcelerometr) i 0,7% (żyroskop),
- gęstość szumu: 180 μg/√Hz (akcelerometr) i 0,007°/s/√Hz (żyroskop).

www.mouser.com

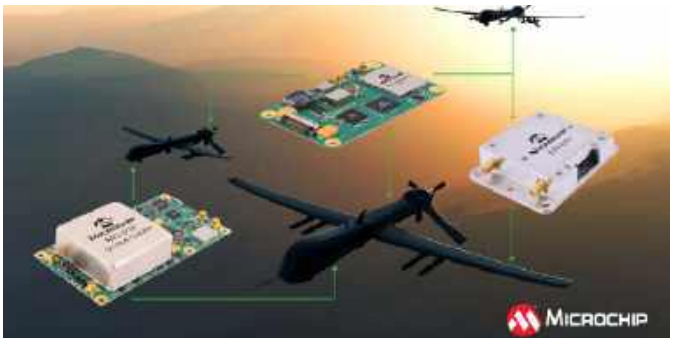
Diody zabezpieczające ESD odporne na impulsy do 44 A (8/20 μs)

Do portfolio firmy Vishay wchodzą dwie nowe serie diod TVS w obudowach SOT-23. Oferta obejmuje diody pojedyncze VGSOTxx i podwójne VGSOTxxC w konfiguracji ze wspólną anodą, mogące zapewnić ochronę dwukierunkową. Są to elementy z kwalifikacją AEC-Q101, mogące znaleźć zastosowanie w motoryzacji i przemyśle. Charakteryzują się niską rezystancją termiczną, a także odpornością na impulsy prądowe do 44 A (8/20 μs). Zapewniają zgodność ze standardami IEC 61000-4-2 i ISO 10605 (ochrona przed przepięciami do ±30 kV, przenoszonymi przez powietrze i kontakt). Mogą stanowić bezpośrednie zamienniki diod wcześniejszej serii GSOT.

Ważniejsze parametry:

- VBR: 4,0...47 V,
- VRWM: 3,3...36 V,
- PPPM (8/20 μs): 400...540 W,
- PPPM (10×1000 μs): 44 W,
- odporność ESD (330 pF/330 Ω): ±30 kV,
- TJ(max): +150°C.

www.vishay.com



Precyzyjne moduły synchronizacji czasu do zastosowań w dronach i satelitach

Technologia pozycjonowania, nawigacji i synchronizacji czasu odgrywa kluczową rolę w systemach wojskowych i innych, w których

eprasa.pl e7970affa9

krytyczna jest niezawodność i dokładność. Ponieważ integrowanie tego typu aplikacji z systemami wojskowymi i pracującymi w przestrzeni kosmicznej wymaga zaawansowanej wiedzy specjalistycznej, firma Microchip opracowała serię modułów GNSSDO (GNSS Disciplined Oscillator), łączących odbiorniki GNSS z precyzyjnymi oscylatorami i zegarami atomowymi. Umożliwiają one realizację stabilnego wzorca czasu, mogącego pracować zarówno przy dostępie do sygnałów GNSS, jak i bez niego. Wykorzystują sygnały odniesienia z systemów satelitarnych lub z zewnętrznego źródła zegarowego, a następnie synchronizują do nich wewnętrzny oscylator, zapewniając dużą stabilność częstotliwości i zdolność utrzymania parametrów czasowych w trybie holdover. Ich zakres zastosowań obejmuje radary, systemy łączności satelitarnej oraz radiostacje przenośne i pokładowe. Obecnie oferta obejmuje 3 typy modułów GNSSDO.

W modelu MD-013 ULTRA CLEAN zastosowano oscylator OCXO o bardzo niskim poziomie szumów fazowych (–119 dBc/Hz przy offsecie 1 Hz), poziomie podłogi szumowej równym –165 dBc/Hz i dużej stabilności krótkoterminowej. Zapewnia on stabilność, mierzoną wariacją Allana, wynoszącą 3E-13 dla τ=1 s, 6E-13 dla τ=10 s oraz 9E-13 dla τ=100 s. Zawiera wyjścia 1 PPS TTL oraz sinusoidalne i prostokątne 10 MHz. Jest synchronizowany z wbudowanym, 72-kanałowym odbiornikiem GNSS L1/L5.

Model MD-300 został zaprojektowany do pracy w trudnych warunkach środowiskowych. Zapewnia dużą odporność na wstrząsy, wibracje i fluktuacje temperatury. Ze względu na relatywnie kompaktowe wymiary (64×38 mm) może znaleźć zastosowanie w średnich i dużych dronach. Zawiera lokalny oscylator MEMS OCXO lub TCXO, a dodatkowo może być synchronizowany do wbudowanego odbiornika GNSS lub zewnętrznego sygnału odniesienia. Generuje sygnały 10 MHz i 1 PPS.

Trzecim modułem z nowej oferty jest LM-010 o zwiększonej odporności na promieniowanie jonizujące, przeznaczony do zastosowań w przestrzeni kosmicznej. Korzysta on z korygowanego cyfrowo oscylatora OCXO lub energooszczędnego zegara atomowego CSAC SA.45. Zawiera wyjścia 1 PPS TTL i sinusoidalne 10 MHz.

Wszystkie moduły GNSSDO zostały oparte na 32-bitowym mikrokontrolerze i układzie FPGA SmartFusion 2, a ich obsługa odbywa się za pomocą graficznego interfejsu użytkownika. Dołączone oprogramowanie VDOM3 umożliwia konfigurowanie parametrów wejść/wyjść, trybów przełączania, ustawień holdover, a także monitorowanie pracy odbiornika GNSS i generowanych komunikatów. Firma Microchip oferuje zestawy ewaluacyjne, takie jak MD-01X, skracające czas integracji w systemie docelowym.

www.microchip.com

Energooszczędny moduł Bluetooth PAN B611-1 z obsługą standardu Bluetooth 6.0

Panasonic Industry wprowadza do produkcji masowej najnowszy moduł Bluetooth PAN B611-1 o małym poborze mocy, nadający się do zastosowań w urządzeniach zgodnych ze standardem Matter. Został on zrealizowany z wykorzystaniem układu Nordic nRF54L15 i obsługuje najnowszą wersję standardu Bluetooth 6.0 wraz z funkcją Bluetooth Channel Sounding, umożliwiającą precyzyjny pomiar odległości.

Wszystkie 32 piny układu nRF54L15 zostały wyprowadzone na hybrydową obudowę, łączącą metalizowane półotwory (castellated edges) z układem LGA. Dzięki temu, część pinów znajduje się na krawędzi modułu, co ułatwia prototypowanie, natomiast pozostałe linie GPIO umieszczono od spodu. Moduł charakteryzuje się wymiarami 10,35×9,8×1,9 mm. Krawędziowe piny umożliwiają jego lutowanie ręczne, współpracę z tanimi płytkami dwuwarstwowymi oraz kontrolę optyczną, eliminując potrzebę stosowania kosztownych maszyn rentgenowskich.

PAN B611-1 zawiera procesor aplikacyjny, oparty na ARM Cortex-M33 oraz 256 kB pamięci RAM i 1,5 MB pamięci nieulotnej. Panasonic oferuje również warianty z dodatkowymi funkcjami, np. oscylatorem kwarcowym do energooszczędnych aplikacji bateryjnych oraz z dodatkową pamięcią Flash o pojemności 4 MB do bardziej wymagających zastosowań. Moduł obsługuje wiele protokołów komunikacyjnych, korzystających z pasma 2,4 GHz, w tym Bluetooth LE, Bluetooth Mesh i IEEE 802.15.4. Może korzystać z wbudowanej anteny chipowej (opcja –1C) lub z anteny zewnętrznej (–1B), aby sprostać różnorodnym wymaganiom projektowym. Uzyskał certyfikacje CE RED, UKCA, FCC, ISED i MIC. Jego zakres zastosowań obejmuje systemy oświetleniowe, urządzenia AGD, czujniki przemysłowe, aparaturę medyczną, systemy zarządzania energią oraz farmy solarne.

Pozostałe parametry:

- czułość: –96 dBm @ 1 Mbps; –104 dBm @125 kbps (opcja –1C),
- maks. moc wyjściowa: +8 dBm (–1C),
- napięcie zasilania: 1,7...3,6 V,
- pobór prądu (stan aktywny): 4,8 mA @ 0 dBm,
- pobór prądu (tryb uśpienia): 0,6 μA,
- interfejsy: SPI, I²C, UART, PWM, NFC, QSPI,
- zakres temperatury roboczej: od –40 do +85°C.

http://industry.panasonic.eu

650-woltowe tranzystory CoolSiC MOSFET G2 do zastosowań przemysłowych

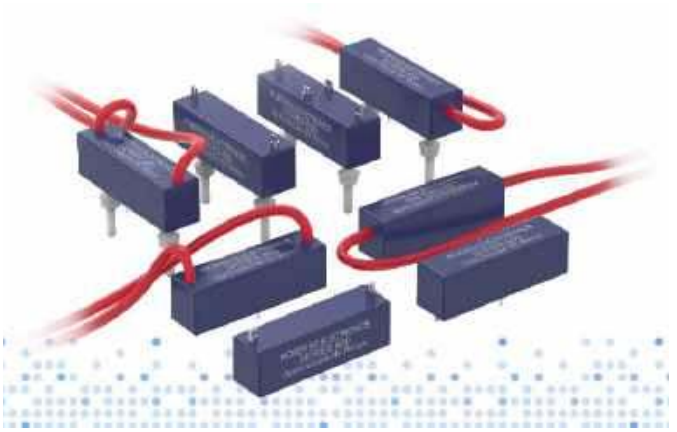
Infineon rozszerza portfolio tranzystorów CoolSiC MOSFET 2. generacji (G2) o nowe warianty 650-woltowe o rezystancji RDS(ON) równej 75 mΩ, zaprojektowane z myślą o aplikacjach średniej mocy, w których kluczowe są wymiary podzespołów. Komponenty są dostępne w kilku wariantach obudów, w tym TOLL, ThinTOLL 8×8, TOLT, D2PAK, TO247-3 i TO247-4 z chłodzeniem od góry (Top Side Cooling – TSC) i od dołu obudowy (Bottom Side Cooling – BSC). Znajdują zastosowanie m.in. w systemach energii odnawialnej, ładowarkach pojazdów elektrycznych, napędach oraz w przemysłowych i serwerowych zasilaczach impulsowych (SMPS) o mocy do 12 kW. Pozwalają osiągnąć gęstość mocy na poziomie 100 W/cal3 i sprawność sięgającą 97,5% przy pełnym obciążeniu. W porównaniu z odpowiednikami

REKLAMA

eprasa.pl e7970affa9

wcześniejszej generacji, zapewniają mniejszy współczynnik FOM, decydujący o stratach przy pracy impulsowej oraz szerszy zakres napięcia sterującego, wynoszący od –7 do +23 V. Mogą bezpiecznie pracować w trybie przebicia lawinowego, co pozwala uprościć konstrukcję obwodów zabezpieczających. Mała pojemność wyjściowa (Coss) umożliwia pracę z wyższymi częstotliwościami przełączania w topologiach soft switching, takich jak CLLC, DAB czy LLC. Z kolei w topologiach hard switching, nowe MOSFET-y zapewniają wysoką niezawodność i niewielką podatność na przypadkowe włączenie wskutek działania reaktancji pasożytniczych.

www.infineon.com



Przekaźniki kontaktronowe do pracy w układach wysokiego napięcia

Pickering Electronics wprowadza do sprzedaży nową serię przekaźników kontaktronowych przeznaczonych do pracy w układach wysokonapięciowych, zaprojektowanych w architekturze modułowej. Ich konstrukcja umożliwia precyzyjne dopasowanie parametrów elektrycznych i wariantów mechanicznych do wymagań konkretnych aplikacji. Oferta obejmuje ponad 2500 kombinacji o różnych parametrach elektrycznych i rodzajach połączeń. Umożliwiają one przełączanie napięć od 3,5 kV do 12,5 kV, przy napięciach Ustandoff z zakresu od 5 kV do 20 kV oraz zapewniają izolację do 25 kV między uzwojeniem cewki i stykami wyjściowymi. Maksymalna moc łączeniowa wynosi 200 W, co pozwala na zastosowania w obwodach, w których konieczne jest jednoczesne przełączanie wysokiego napięcia i dużej mocy.

Styki przekaźników z serii 600 zostały pokryte powłoką wolframową, co zapewnia długi czas niezawodnej pracy i bardzo dobrą stabilność parametrów w czasie. Zastosowane osłony magnetyczne ograniczają oddziaływanie pomiędzy sąsiednimi przekaźnikami w układach o dużej gęstości upakowania podzespołów. Ekrany elektrostatyczne poprawiają dodatkowo integralność sygnałową. Rezystancja izolacji przekracza 10^{13} Ω, co minimalizuje prądy upływu i zwiększa niezawodność.

Przekaźniki z serii 600 występują w wersjach o konfiguracji styków 1-Form-A, 1-Form-B i 1-Form-C. Ich cewki są dostępne w wersjach na napięcie 5, 12 i 24 V. Opcjonalne diody prostownicze lub Zenera ograniczają przepięcia podczas przełączania. Oferta obejmuje różne materiały zalewowe, typy obudów i rodzaje wyprowadzeń (piny PCB, przewody lub zaciski), dostosowane do zróżnicowanych wymagań środowiskowych. Wszystkie egzemplarze są poddawane wielu testom na etapie produkcji, w tym pomiarom rezystancji dynamicznej styków, co pozwala na utrzymanie powtarzalnych parametrów pracy.

Przekaźniki z serii 600 są przeznaczone do zastosowań w testerach wysokonapięciowych, systemach ATE, miernikach rezystancji izolacji, fotowoltaice, pojazdach elektrycznych i aparaturze medycznej. Zapewniają niezawodność na poziomie miliardów cykli.

www.pickeringrelay.com

Kolorowy wyświetlacz e-paper w formacie A2 firmy Sharp

Cyfrowe plakaty i tablice informacyjne coraz częściej zastępują tradycyjny druk, przyciągając uwagę nowoczesnym wzornictwem i umożliwiając zdalną aktualizację treści. Wykorzystywane w nich wyświetlacze, poza wysoką jakością obrazu, muszą zapewniać mały pobór mocy i czytelność w świetle słonecznym. Dlatego w tej branży coraz częściej sięga się po wyświetlacze typu e-paper. Jednym z nich jest LP285A6NW01 firmy Sharp, wyróżniający się parametrami, które czynią go jednym z najbardziej zaawansowanych paneli e-paper w swojej klasie. Jest to energooszczędny wyświetlacz o rozdzielczości 2160×3060 pikseli i przekątnej ekranu 28,5", odpowiadającej kartce papieru w formacie A2. Umożliwia prezentację treści w 6 kolorach (biały, czarny, czerwony, zielony, niebieski, żółty), co znacząco poszerza możliwości względem popularnych, monochromatycznych wyświetlaczy EPD.

Podobnie, jak w przypadku innych wyświetlaczy EPD firmy Sharp, także w modelu LP285A6NW01 obraz nie wymaga podświetlania. Moc jest pobierana wyłącznie podczas zmiany obrazu, co oznacza, że treści statyczne mogą być prezentowane przez wiele godzin lub dni przy minimalnym zużyciu energii. Pełnoekranowa zmiana obrazu zajmuje zwykle 15...20 sekund, co w przypadku tak dużego kolorowego wyświetlacza jest optymalnym wynikiem. Dodatkowo możliwe jest częściowe odświeżanie obrazu, co pozwala na szybsze aktualizacje wybranych fragmentów treści. Zakres temperatury roboczej wynosi od 0°C do +50°C, więc w przypadku zastosowań na zewnątrz budynków, konieczne jest zastosowanie dodatkowych komponentów, zapewniających optymalną temperaturę pracy, np. grzałek lub wentylatorów.

Zastosowana w modelu LP285A6NW01 matryca TFT IGZO (Indium-Gallium-Zinc Oxide) pozwala uzyskać dużą rozdzielczość, wąską ramkę i stabilną pracę przy małym poborze mocy. Wkłady sterujące zrealizowano w technologii COF (Chip-on-Film) w postaci cienkich, elastycznych taśm z naniesionymi układami scalonymi, umieszczonych na krawędziach wyświetlacza. Odpowiadają one za obsługę rzędów pikseli i przekazywanie sygnałów z kontrolera do matrycy. Zastosowanie technologii COF pozwoliło zredukować grubość i masę wyświetlacza, przy zachowaniu dużej szybkości układu sterowania. Jego kluczowym elementem jest płytka SG-PWB (Source/Gate Printed Wiring Board), realizująca połączenia między matrycą i systemem zewnętrznym za pośrednictwem interfejsu mini-LVDS. Jest to standard komunikacji stosowany w dużych wyświetlaczach TFT, pozwalający na przesyłanie sygnałów obrazu w sposób szybki i stabilny, przy ograniczonej emisji zaburzeń elektromagnetycznych.

Do poprawnej pracy wyświetlacza wymagany jest odpowiedni kontroler (np. układ z serii T2000 z oferty E Ink). Odpowiada on za generowanie przebiegów elektrycznych sterujących ruchem cząsteczek pigmentu w warstwie e-paper. Dzięki niemu obraz jest odświeżany sekwencyjnie i utrwalany bez dodatkowego poboru mocy. Takie podejście daje dużą elastyczność aplikacyjną – panel można połączyć zarówno z prostymi modułami sterującymi, jak i z rozbudowanymi systemami zarządzania treścią w sieciach digital signage.

Model LP285A6NW01 sprawdza się wszędzie tam, gdzie kluczowy jest duży format obrazu, jakość zbliżona do druku i mały pobór mocy. Przykładowe obszary zastosowań obejmują transport (systemy informacji pasażerskiej), handel, tablice informacyjne w biurach i urzędach oraz panele reklamowe.

www.unisystem.com

eprasa.pl e7970affa9

TRZECIARĘKA ZD-11P
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt z latarką, ZD11P

TRZECIARĘKA ZD-11P-1
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt z latarką i lupą, ZD11P-1

TRZECIARĘKA SN-394
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk z lupą 50 mm, przykręcany do blatu Proskit SN-394

BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

Trzecia ręka

Rabat dla Czytelników EP
przy zakupie podaj kod **EP2505TR**

–3%

Rabat dla Prenumeratorów EP
przy zakupie podaj numer prenumeraty

–6%

TRZECIARĘKA ZD-11M-1
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – z uchwytem na szpulkę cyny, ZD11M-1

TRZECIARĘKA ZD-11M-2
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt z lupą i podświetleniem LED ZD11M-2

TRZECIARĘKA ZD-11M-3
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt z lupą i podświetleniem LED ZD-11M-3

TRZECIARĘKA ZD-11M
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt ZD11M

TRZECIARĘKA SN-392
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka” z lupą 90 mm, Proskit SN-392

TRZECIARĘKA
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka” z lupą 60 mm

eprasa.pl e7970affa9

AVT sklep

W ofercie AVT*

AVT6093

Najważniejsze parametry:
- załączanie jednego z dwóch uzwojeń silnika DC elektrozaworu,
- regulowany czas załączenia dla każdego stanu (otwierania i zamykania) oddzielnie w zakresie 60 ms...1 min,
- wejście: zwykły przełącznik bistabilny ON/OFF,
- dwa wyjścia o obciążalności do 4 A,
- zasilanie napięciem stałym 12 V (lub 24 V po modyfikacji – opis w tekście),
- pobór prądu około 10 mA w stanie spoczynku i około 40 mA po załączeniu przekaźnika (przy napięciu 12 V).

Projekty pokrewne na stronie www.ep.com.pl
(aktywne linki do artykułów):
- Sterownik zaworu kulowego, część 1
- Sterownik zaworu kulowego, część 2
- Termostat do elektrozaworu z silnikiem DC

* **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.

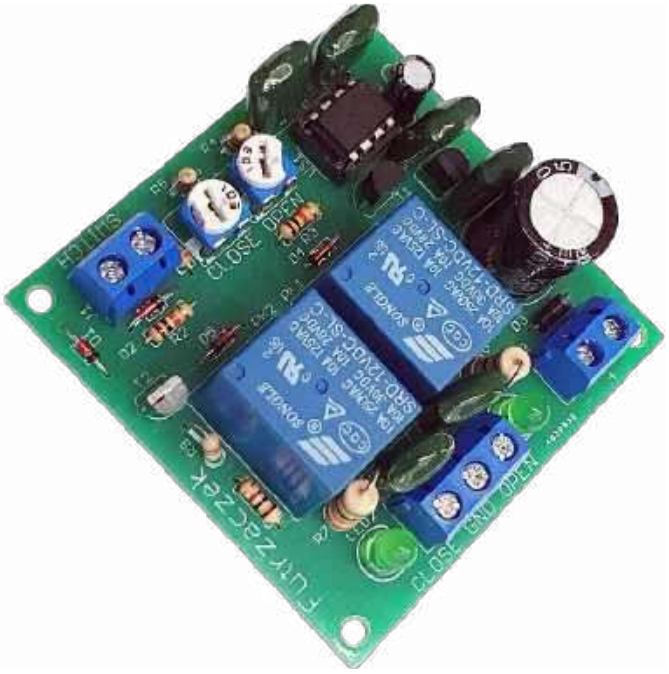
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- **wersja [A+]** – płytka drukowana **[A]** + zaprogramowany układ **[UK]** i dokumentacja,
- **wersja [UK]** – zaprogramowany układ.

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**

Dwustanowy sterownik elektrozaworu DC

Zaworami (najczęściej kulowymi) ze zintegrowanym silnikiem prądu stałego można sterować poprzez załączanie jednego z ich wejść: podanie zasilania na jeden przewód otwiera zawór, zaś na drugi – zamyka. Prezentowany układ może przełączać zasilanie w taki sposób na zadany czas, przy czym na wejście kontrolera wystarczy w tym celu podłączyć zwykły przełącznik ON/OFF.



Elektromagnetyczny zawór do cieczy lub gazów bardzo łatwo daje się sterować zwykłym przełącznikiem: załączenie zasilania cewki ustawia zawór w jednej pozycji, wyłączenie zasilania prowadzi do (prawie) natychmiastowej zmiany tegoż stanu na przeciwny. W przypadku zaworu sterowanego silnikiem nie jest już tak łatwo. Jeżeli ma on wbudowane wyłączniki krańcowe, można załączyć jedno z uzwojeń i w tym stanie zostawić je nawet na bardzo, bardzo długo – silnik wyłączy się sam.

Inaczej ma się sprawa, jeżeli wyłączników krańcowych nie ma, bądź im nie ufamy. Wtedy trzeba zasilanie silnika odłączyć po pewnym czasie pracy, aby nie doszło do przegrzania tego istotnego podzespołu. Kto będzie stał kilkadziesiąt sekund i czekał tylko po to, by ponownie przełączyć styki? Lepiej niech robi to za nas elektronika!

Budowa

Schemat ideowy omawianego układu znajduje się na **rysunku 1**. Przełącznik, który będzie sterował pracą zaworu, podłącza się do zacisków złącza J1. Rezystor R1 wymusza wysoki potencjał (około 5 V) na jego stykach w stanie rozwarcia. Rezystor R2 redukuje prąd diod zabezpieczających D1 i D2, które ograniczają wartość napięcia wejściowego, jeżeli w przewodach między przełącznikiem a zaciskami złącza J1 zaindukowałoby się napięcie wyższe niż 5 V lub niższe od potencjału masy układu. Rezystor R3 pełni analogiczną rolę co R2, ale dla diod znajdujących się na wejściu mikrokontrolera – gdyby okazało się, że D1 i D2 mają zbyt wysokie napięcie przewodzenia lub zadziałały zbyt wolno. Ponadto rezystory te, wraz z pojemnościami istniejącymi w układzie, zwiększają czas narastania napięcia, co ma pewne znaczenie przy tłumieniu wyładowań elektrostatycznych, aby dać czas na reakcję diodom półprzewodnikowym.

Czas działania siłownika jest ustalany potencjometrami P1 i P2, włączonymi jako regulowane dzielniki napięcia 5 V. To samo napięcie służy jednocześnie jako odniesienie dla przetwornika analogowo/cyfrowego mikrokontrolera US1. Dzięki temu położenie ślizgacza potencjometrów będzie prawidłowo odczytane niezależnie od aktualnej wartości napięcia zasilającego układ. Proste, dolnoprzepustowe filtry RC (R4 i C1, R5 i C2) zawężają pasmo szumowe, przez co wygładzają napięcie trafiające na wejście przetwornika analogowo/cyfrowego.

Wyjściem układu są styki dwóch przekaźników, PK1 i PK2, które podają na jeden ze skrajnych zacisków złącza J3 napięcie zasilające układ. Obwody tłumiące RC (33 Ω i 100 nF) zmniejszają iskrzenie

Wykaz elementów:

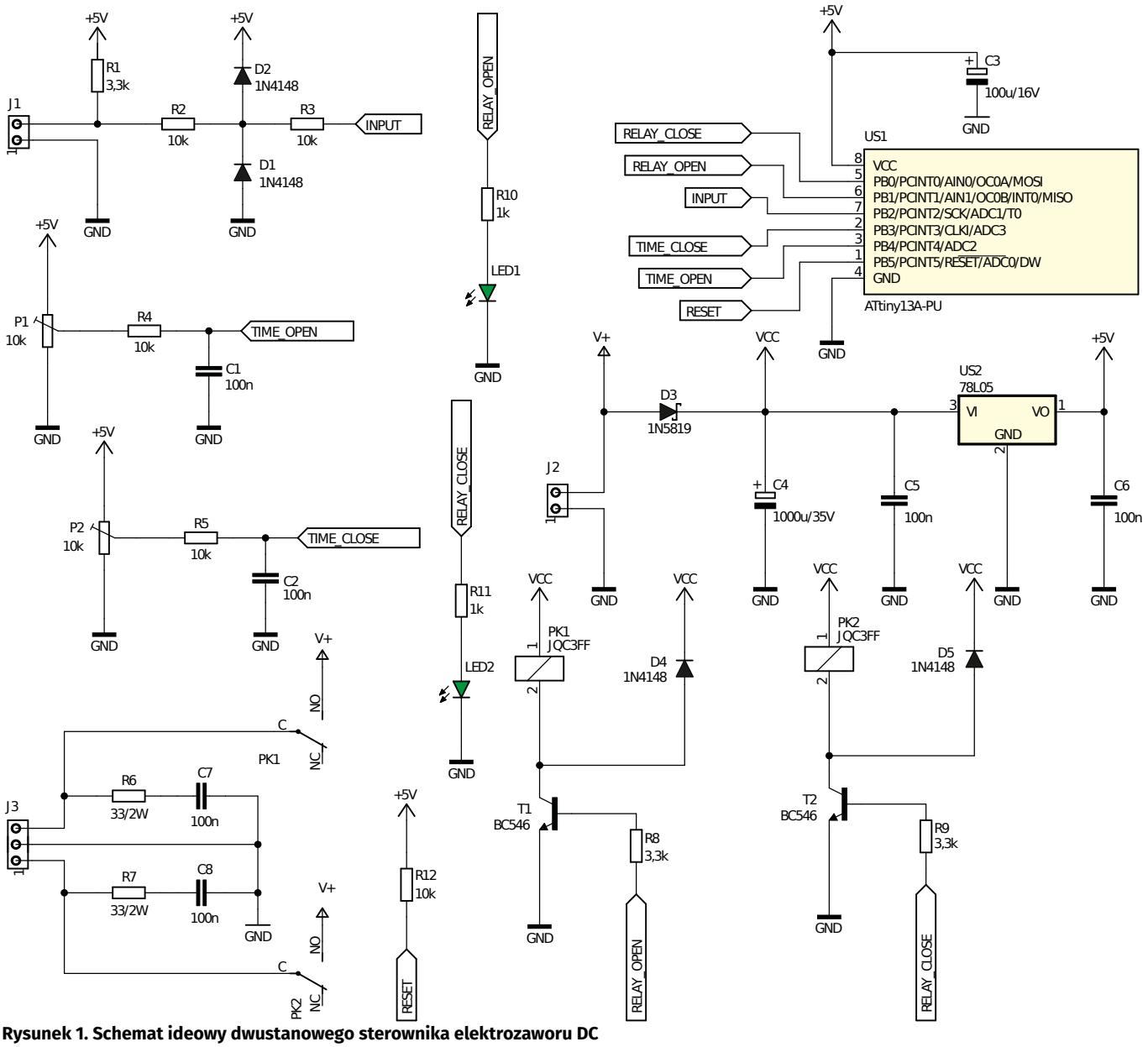
Rezystory: (THT o mocy 0,25 W jeżeli nie napisano inaczej)
R1, R8, R9: 3,3 kΩ
R2...R5, R12: 10 kΩ
R6, R7: 33 Ω 2 W
R10, R11: 1 kΩ
P1, P2: 10 kΩ montażowe, leżące

Kondensatory:
C1, C2, C5...C8: 100 nF raster 5 mm MKT
C3: 100 µF 16 V raster 2,5 mm
C4: 1000 µF 35 V raster 5 mm

Półprzewodniki:
D1, D2, D4, D5: 1N4148
D3: 1N5819
LED1, LED2: 5 mm zielona matowa
T1, T2: BC546
US1: ATtiny13A-PU (DIP8)
US2: 78L05 (TO92)

Pozostałe:
J1, J2: ARK2/500
J3: ARK3/500
PK1, PK2: JQC3FF/121ZS (opis w tekście)
Jedna podstawka DIP8

eprasa.pl e7970affa9



Rysunek 1. Schemat ideowy dwustanowego sterownika elektrozaworu DC

styków podczas przełączania, co wydłuża ich żywotność oraz zmniejsza poziom emitowanych zakłóceń elektromagnetycznych.

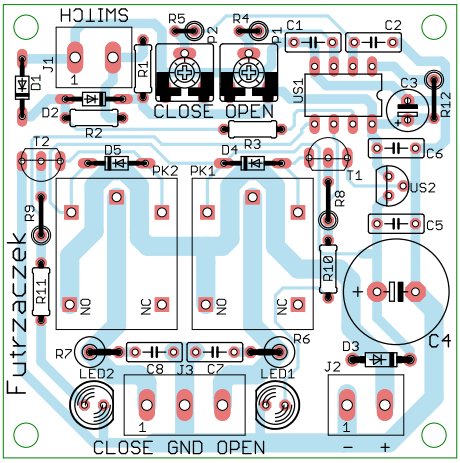
Działanie danego przekaźnika jest sygnalizowane świeceniem przypisanej do niego diody: LED1 lub LED2. Cewki przekaźników są sterowane przez klucze nasycone na tranzystorach NPN, toteż nie ma większego znaczenia wartość napięcia zasilającego układ – w prototypie użyto przekaźników z cewkami na napięcie 12 V, lecz mogą to równie dobrze być podzespoły przystosowane do napięcia 24 V.

Wspomniany już mikrokontroler ATtiny13A-PU steruje pracą całego układu oraz jest odpowiedzialny za odmierzanie czasu. Podczas projektowania tego układu przyjęto, że czas działania silnika elektrozaworu nie jest wartością krytyczną, toteż jego rdzeń jest taktowany wbudowanym generatorem RC, którego częstotliwość ma kilkuprocentową tolerancję.

US1 do poprawnego działania wymaga napięcia stałego o dobrze ustalonej wartości, na przykład 5 V. Zapewnia je niewielki stabilizator liniowy US2 typu 78L05. Pobór prądu przez opisywany układ jest na tyle niski, że z chłodzeniem stabilizatora nie będzie problemów w pełnym zakresie dopuszczalnego napięcia wejściowego. Dioda D3 chroni układ przed zniszczeniem w razie omyłkowej zamiany biegunowości zasilania, które należy podłączyć do zacisków złącza J2. Wysoką

REKLAMA

eprasa.pl e7970affa9



Rysunek 2. Schemat montażowy i wzór ścieżek płytki

Rysunek 3. Szczegóły ustawienia bitów zabezpieczających

pojemność zastosowanego kondensatora C4 tłumaczy konieczność podtrzymania napięcia zasilającego mikrokontroler w momencie startu silnika elektrozaworu, gdyby zasilacz przewidziany do tego układu miał wysoką rezystancję wewnętrzną.

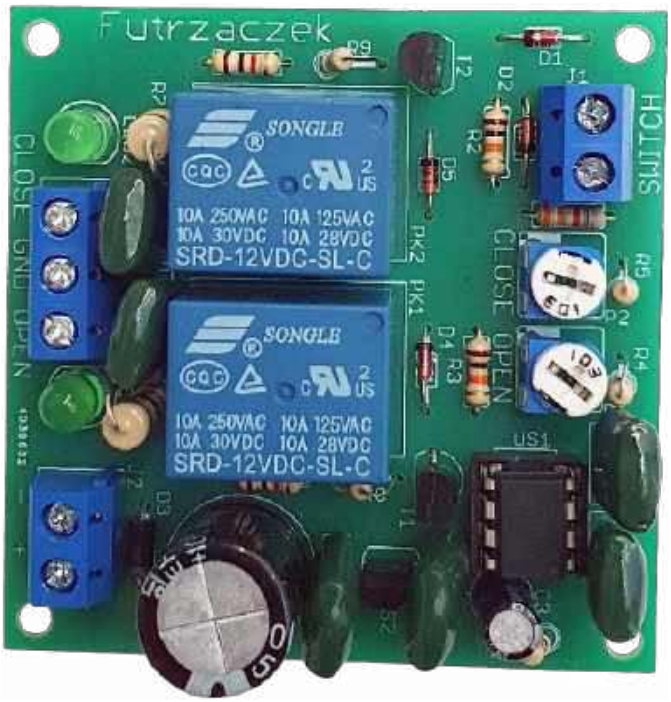
Montaż i uruchomienie

Układ został zmontowany na jednostronnej płytce drukowanej o wymiarach 60 mm × 60 mm. Jej wzór ścieżek oraz schemat montażowy pokazuje **rysunek 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 półprzewodnikowych. Pod mikrokontroler US1 proponuję zastosować podstawkę, aby ułatwić jego programowanie oraz wymianę w razie uszkodzenia. Zmontowany układ można zobaczyć na **fotografii 1**.

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

```
Low Fuse = 0x7A
High Fuse = 0xF9
```



Fotografia 1. Szczegółowy widok zmontowanego układu

Szczegóły są widoczne na rysunku 3, który zawiera widok okna konfiguracji tychże bitów z programu BitBurner. W ten sposób zostanie wyłączony preskaler sygnału zegarowego oraz włączy się Brown-Out Detector, który wprowadzi mikrokontroler w stan resetu, jeżeli jego napięcie zasilające spadnie poniżej 4,3 V, co znacznie zmniejsza ryzyko zawieszenia się układu podczas uruchamiania.

Napięcie zasilające powinno mieścić się w granicach 9…35 V. Obie te granice wynikają z warunków prawidłowej pracy stabilizatora 78L05. Jeżeli silnik elektrozaworu jest przystosowany do napięcia 12 V, należy wlutować przekaźniki z cewkami 12 V i zasilać układ takim właśnie napięciem. W przypadku, kiedy elektrozawór został wyposażony w silnik 24 V, polecam użycie przekaźników z cewką na wyższe napięcie (np. JQC3FF/241ZS z oferty sklepu AVT) oraz odpowiedniego zasilacza.

Pobór prądu układu wynosi około 10 mA w stanie spoczynku (niezależnie od napięcia zasilającego) i wzrasta do około 40 mA po załączeniu jednego z przekaźników (przy napięciu 12 V). Maksymalny prąd, jaki może płynąć przez silnik elektrozaworu, wynosi 4 A i jest zdeterminowany przez szerokość ścieżek na płytce drukowanej.

Poprawnie zaprogramowany układ jest gotowy do działania po podłączeniu zasilania do zacisków złącza J2. Skręcenie ślizgacza potencjometru P1 lub P2 w lewo oznacza skrócenie czasu działania danego uzwojenia elektrozaworu, zaś w prawo oznacza jego zwiększenie. Minimalny czas załączenia to około 60 ms, zaś maksymalny to około 60 s – typowe elektrozawory wykonują pełny ruch w czasie rzędu 15…20 s, więc taki zakres regulacji jest całkowicie wystarczający w większości przypadków.

Zwarcie zacisków złącza J1 oznacza otwarcie elektrozaworu (działa wyjście OPEN przez czas ustalony potencjometrem P1), zaś ich rozwarcie wiąże się z zadziałaniem wyjścia CLOSE, którego czas załączenia ustala potencjometr P2. Jeżeli stan zacisków złącza J1 ulegnie zmianie w trakcie działania jednego z wyjść, układ nie przerwie pracy – dane wyjście będzie pracowało przez cały zadany czas, po czym oba przekaźniki na chwilę wyłączą się i znacznie pracować drugi napęd (o ile ów stan zacisków utrzyma się). Po załączeniu zasilania układu zawsze zostanie włączone jedno z wyjść (zamykające lub otwierające zawór), zależnie od stanu zacisków złącza J1.

Michał Kurzela, EP

REKLAMA

facebook.com/ElektronikaPraktyczna

eprasa.pl e7970affa9

AVT sklep

W ofercie AVT*

AVT6091

Najważniejsze parametry:
- detekcja przekroczenia progowego poziomu dźwięku z mikrofonu lub sygnału z wejścia analogowego,
- dodatkowe wejście zewnętrznego wyzwalania,
- wbudowana dioda LED do sygnalizacji stanu wyjścia,
- wyjście typu OD o obciążalności do 50 mA/24 V,
- przerzutnik monostabilny podtrzymujący aktywację wyjścia po zaniku sygnału,
- czułość regulowana w zakresie: –41,5 dBV...–21,5 dBV (8,5...85 mV),
- napięcie zasilania: 2,7...5,5 V,
- pobór prądu: 0,27 mA (wyjście nieaktywne), 1,7 mA (wyjście aktywne).

Projekty pokrewne na stronie www.ep.com.pl
(aktywne linki do artykułów):
- Konwerter USB-UART z ekstenderem
- Dwukanałowy konwerter USB-C z układem FT2232H
- Konwerter USBC-RS485
- Konwerter USB-UART w standardzie Grove
- Konwerter USB/RS232 z izolacją galwaniczną
- Konwerter KF dla tunera RTL-SDR
- Miniaturowy konwerter USB/UART
- Miniaturowy konwerter USB-RS485

* **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**

Detektor poziomu dźwięku z interfejsem Grove

Prezentowany detektor poziomu sygnału audio bazuje na specjalizowanym układzie NJU7181 firmy JRC. Moduł znajdzie zastosowanie w sytuacjach, gdy chcemy dostać cyfrową informację o przekroczeniu zadanego poziomu lub wyzwalać pracę urządzenia po pojawieniu się sygnału audio. Strukturę wewnętrzną układu pokazano na ***rysunku 1****. Integruje on w sobie wzmacniacz o regulowanej czułości z detektorem poziomu sygnału, układy opóźnienia i sterowany zatrzask. Dzięki zastosowaniu NJU7181 moduł uproszczony jest do minimum i bez problemu mieści się na płytce drukowanej w formacie 20×20 mm zgodnej ze standardem Grove.*

Schemat modułu zaprezentowano na **rysunku 2**. Moduł zasilany jest napięciem 2,7...5,5 V poprzez złącze IN lub OUT. Do złącza IN doprowadzone są ponadto sygnały: wejścia audio (IN) oraz wyzwalania (TRIG). Zwora SEL umożliwia wybór aktywnego źródła sygnału. W położeniu IN wybierany jest sygnał audio doprowadzony do złącza IN, zaś w pozycji MIC – sygnał z wbudowanego, czułego mikrofonu pojemnościowego MIC. Znajdujący się w strukturze U1 wzmacniacz w konfiguracji odwracającej ma wzmocnienie konfigurowane elementami RV1, R2 oraz R3. Dla wygody użytkowania parametr ten jest dostrajany potencjometrem GAIN (RV1), co ułatwia dostosowanie poziomu wyzwalania do potrzeb danej aplikacji. Czułość wejściowa określona jest wzorem:

$$Vi = 20 \cdot \log((RV1+R2) / R3) - 21{,}5 \text{ [dBV]}$$

W modelu może być ona ustawiana w zakresie od –41,5 dBV do –21,5 dBV (ok. 8,5...85 mV).

Zmieniając wartość R2 na 1 kΩ można podnieść czułość do –61,5 dBV (1 mV).

Wyjście OUT (pin 7) scalonego detektora NJM7181 jest ustawiane w stan wysoki po wykryciu dźwięku o poziomie przekraczającym

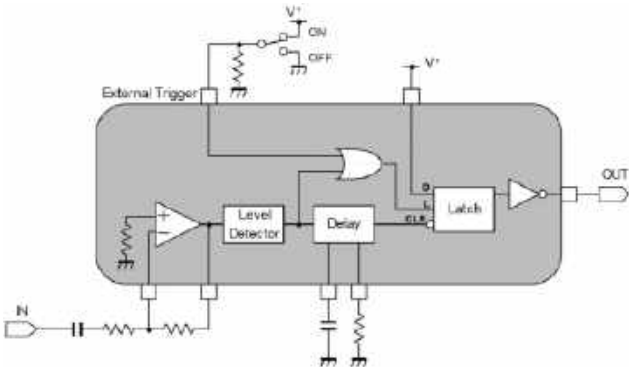
Wykaz elementów:

Rezystory: (SMD 0603, 5%)
R1: 2.2 kΩ
R2: 10 kΩ
R3, R4: 100 kΩ
R5: 220 kΩ
R6: 100 Ω
R7: 4,7 kΩ
RV1: potencjometr 100 kΩ (T63YB)

Kondensatory: (SMD 0603)
C1, C4: 10 µF (X5R, 10 V)
C2: 22 pF (C0G, 25 V)
C3: 10 nF (C0G, 25 V)

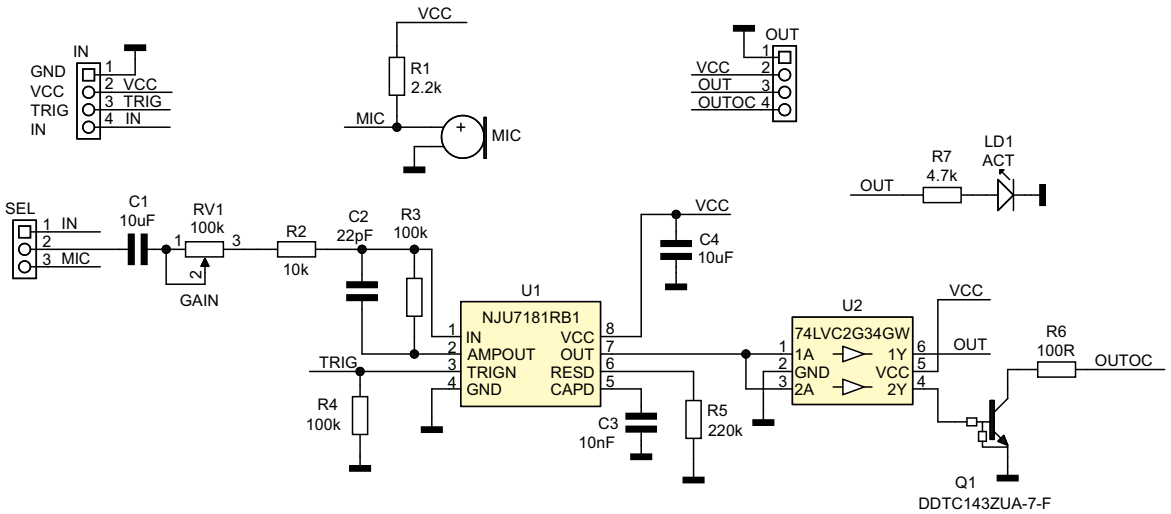
Półprzewodniki:
LD1: dioda LED (SMD 0603, zielona)
U1: NJU7181RB1 (MSOP8_TVSP8)
U2: 74LVC2G34GW.125 (SC88)
Q1: DDTC143ZUA-7-F (SOT-323)

Pozostałe:
IN, OUT: złącze Grove proste (110990030)
MIC: mikrofon elektretowy (np. LD-MC-6027)
SEL: listwa SIP3 2,54 mm + zwora



Rysunek 1. Struktura wewnętrzna NJU7181 (za notą JRC)

eprasa.pl e7970affa9



Rysunek 2. Schemat ideowy modułu

ustawiony próg zadziałania. Sygnał z wyprowadzenia OUT jest następnie buforowany bramkami układu U2 oraz tranzystorem Q1, dzięki czemu na złączu OUT dostępny jest sygnał także w standardzie OC, co zwiększa elastyczność aplikacyjną modułu. Wyjście OC (zanegowane) może być obciążone prądem do 50 mA przy napięciu 24 V, co umożliwia bezpośrednie podłączenie transoptorów, przekaźników SSR lub miniaturowych przekaźników sygnałowych (obowiązkowo z diodą zabezpieczającą). Aktywność wyjścia OUT sygnalizowana jest świeceniem diody ACT.

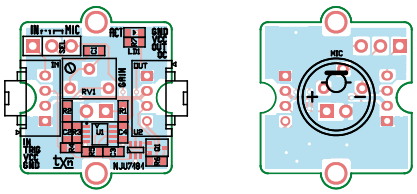
Wyzwolenie detektora następuje po wykryciu poziomu sygnału przekraczającego próg detekcji (zależny od ustawionego wzmocnienia) lub po detekcji wysokiego stanu na wejściu TRIG. Aktywny stan wyjścia jest podtrzymywany po zaniku sygnałów wyzwalających przez czas określony za pomocą kondensatora C3 i wynoszący:

$$td=1.5\cdot10^{8}\cdot C3 \text{ (przy R5=220 k}\Omega\text{)}$$

W modelu czas ten wynosi około 1,5 s.

Detektor zmontowano na niewielkiej, dwustronnej płytce drukowanej, zgodnej z formatem Grove. Rozmieszczenie elementów pokazano na **rysunku 3**, a zmontowany moduł jest widoczny na fotografii tytułowej. Montaż jest prosty, więc nie wymaga szczegółowego opisu.

Moduł może być zasilany napięciem w zakresie 2,7...5,5 V. Pobór prądu podczas czuwania nie przekracza 0,27 mA, a podczas aktywacji wynosi 1,7 mA – na tę ostatnią wartość składa się głównie prąd przewodzenia diody sygnalizacyjnej ACT. W celu sprawdzenia działania do modułu należy doprowadzić zasilanie oraz ustawić zworę w położenie MIC. Ustawiając maksymalną czułość sprawdzamy reakcję modułu np. na klaśnięcie – powinno ono spowodować załączenie diody ACT. Po doprowadzeniu sygnału z generatora do wejścia IN i ustawieniu zwory w położeniu IN, sprawdzamy (zmieniając czułość i poziom sygnału z generatora) aktywację wyjścia OUT. W przypadku korzystania z wejścia TRIG, poziom logiczny wyzwalania nie powinien przekraczać napięcia zasilania modułu. Używając standardowego mikrofonu elektretowego o średnim wzmocnieniu warto zwiększyć czułość, zmieniając oryginalną wartość R2 na 1 kΩ.



Rysunek 3. Rozmieszczenie elementów na PCB

Adam Tatuś, EP

REKLAMA

eprasa.pl e7970affa9

AVT sklep

W ofercie AVT*

AVT6092

Najważniejsze parametry:
- moduł izolacji funkcjonalnej do systemów o różnicy potencjałów mas <= 250 V,
- wbudowana przetwornica DC/DC 5 V/5 V o mocy 1 W,
- układ przystosowany do współpracy z izolatorami typu ADuM3165 oraz ADuM3166,
- wbudowany sygnalizator poprawności napięć zasilających (dioda LED).

Projekty pokrewne na stronie www.ep.com.pl
(aktywne linki do artykułów):
- Czterokanałowy uniwersalny izolator sygnałów cyfrowych
- Izolator USB z LTM2284
- Izolator sygnału analogowego 0...100 VDC
- Izolator programatora JTAG AVR
- Izolator magistrali I2C

* **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**

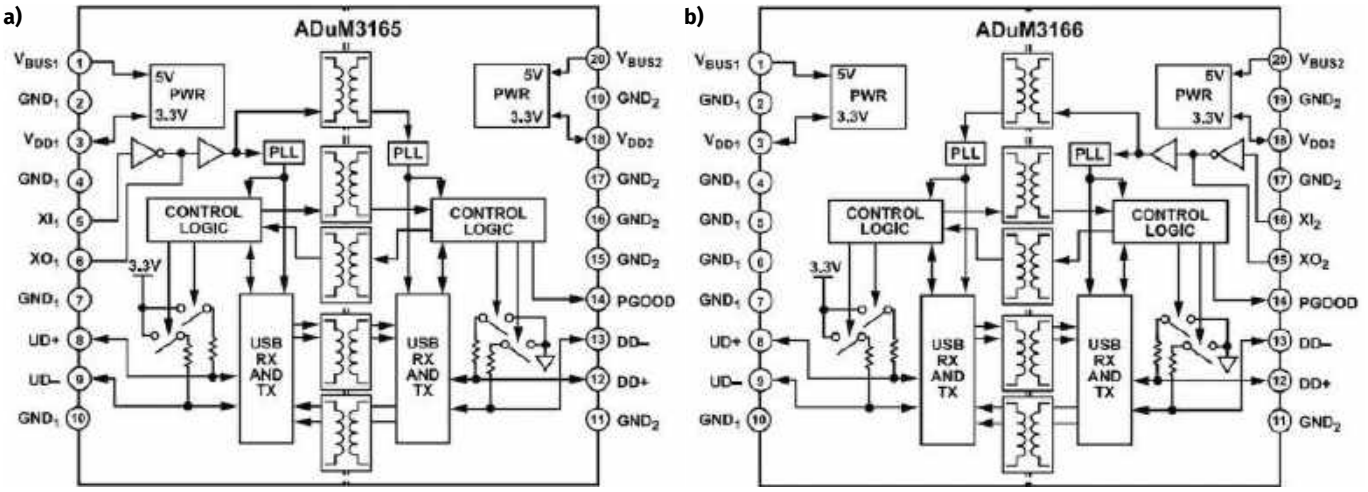
Izolator interfejsu USB 2.0 z układem ADuM316x

Prezentowany moduł bazuje na układach ADuM3165 lub ADuM3166 i stanowi kompletne rozwiązanie problemu izolacji portu USB 2.0 (do 480 MBps), która bywa niezbędna podczas uruchamiania lub serwisu urządzeń korzystających z komunikacji USB. W przeciwieństwie do mikromodułu LTM2884Y, układy ADuM316x nie mają wbudowanej przetwornicy zasilającej, dzięki czemu ich cena jest znacznie niższa – kosztem zaledwie kilku dodatkowych elementów zewnętrznych.

UWAGA: układ izolatora zapewnia izolację funkcjonalną portu USB, nie należy go wykorzystywać do izolacji urządzeń, w przypadku których różnica potencjałów mas jest wyższa od 250 V!

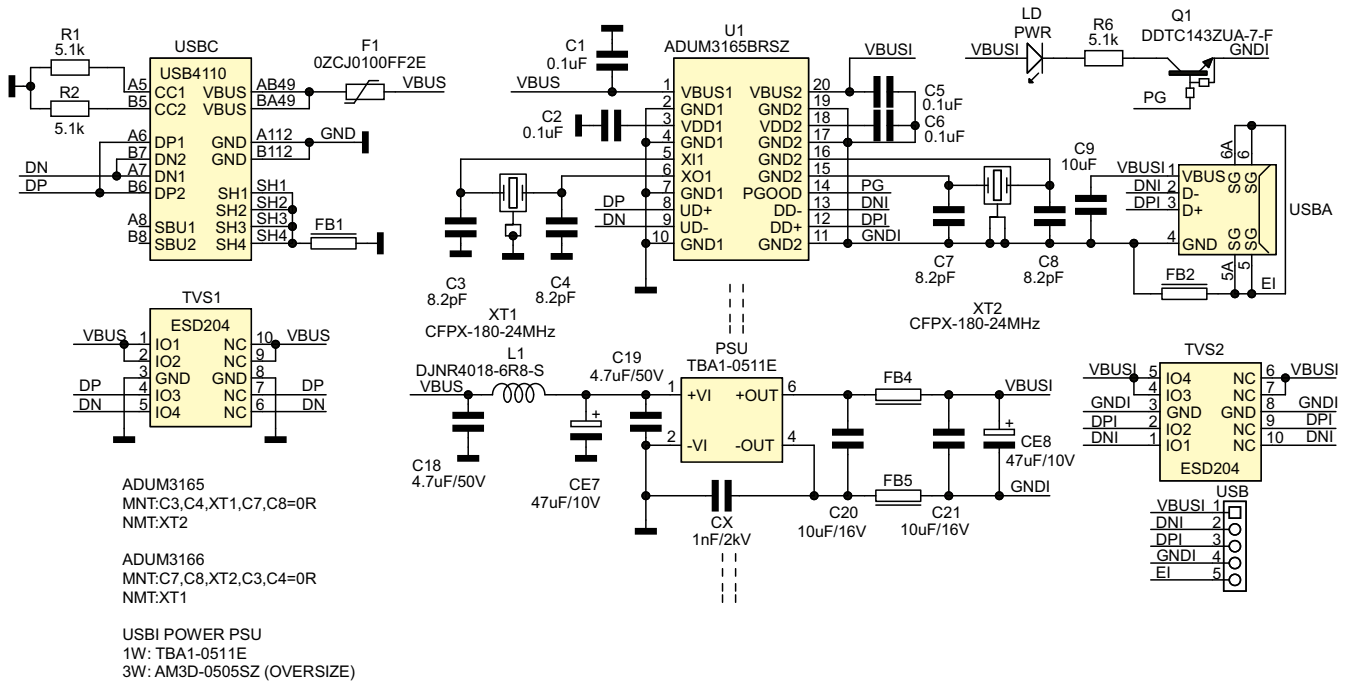
Strukturę wewnętrzną wspomnianych na początku układów pokazano na **rysunkach 1a** i **1b**. Oba typy są zgodne pod względem wyprowadzeń, za wyjątkiem obwodu oscylatora, który w ADuM3165 znajduje się po stronie portu Upstream, a w ADuM3166 po stronie Downstream. Modelowa płytka jest zatem zgodna z obydwoma modelami tychże izolatorów scalonych.

Schemat ideowy modułu można zobaczyć na **rysunku 2**. Zasilanie 5 V, niezbędne do działania układu, pobierane jest bezpośrednio z portu Upstream poprzez złącze USB-C, skąd przez bezpiecznik polimerowy F1 dostarczane jest do układu U1 oraz do przetwornicy PSU. Moc wyjściowa przetwornicy typu TBA1-0511E przy zasilaniu 5 V wynosi 1 W, co zapewnia prawidłową współpracę z większością interfejsów komunikacyjnych, np. konwerterów USB/Serial FTDI. Dławik L1 oraz kondensatory C18, CE7 stanowią filtr wejściowy przetwornicy, a dławiki FB4,5, kondensatory C20,21 oraz CE8 – filtr wyjściowy. Magistrala USBC ze złącza doprowadzona jest przez drabinkę zabezpieczającą TVS1 bezpośrednio do U1, którego obwód



Rysunek 1. Budowa wewnętrzna układów ADuM3165 (a) i ADuM3166 (b). Za notą katalogową Analog Devices

eprasa.pl e7970affa9

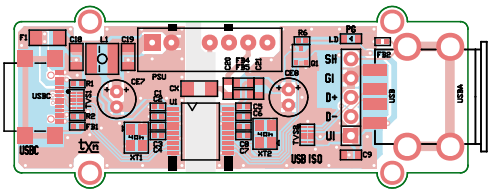


Rysunek 2. Schemat ideowy izolatora USB

wejściowy integruje niezbędnie terminatory i rezystory podciągające magistrali, upraszczając układ aplikacyjny.

Płytka zawiera dwa obwody oscylatorów 24 MHz niezbędnych do działania układu U1. W przypadku ADuM3165 należy zastosować kwarc XT1 (24 MHz) i kondensatory C3,4, a w przypadku ADuM3166 odpowiednio XT2 i C7,8. Port USB po izolacji, poprzez drabinkę zabezpieczającą TVS2, wyprowadzony jest na gniazdo USBA oraz na złącze szpilkowe USB. Moduł uzupełnia sygnalizator poprawności napięć zasilania na elementach Q1, R6, LD, sterowanych z wyprowadzenia PGOOD U1. Stan wysoki PG sygnalizuje poprawność napięć zasilania po obu stronach interfejsu.

Izolator zmontowany jest na miniaturowej, dwustronnej płytce drukowanej. Rozmieszczenie elementów pokazano na **rysunku 3**. Po wyborze typu układu U1 należy zamontować elementy oscylatora po wymaganej stronie interfejsu, zastępując kondensatory po przeciwnej stronie zworami 0 Ω. W przypadku ADuM3165 montujemy C3,4, XT1 oraz zwory w miejsce C7,8 i nie lutujemy kwarcu XT2, a stosując ADuM3166 montujemy C7,8, XT2 oraz zwory w miejsce C3,4 i nie lutujemy kwarcu XT1. Po lutowaniu należy płytkę wyczyścić z resztek topnika, szczególnie w miejscu separacji galwanicznej (obszar PCB pozbawiony soldermaski).



Rysunek 3. Rozmieszczenie elementów

Zmontowany moduł izolatora pokazano na **fotografii tytułowej**.

Układ nie wymaga uruchamiania. Po podłączeniu do portu USB powinna zaświecić się dioda LD (PG) sygnalizująca poprawność zasilania po obu stronach interfejsu. Po podłączeniu urządzenia do portu USBA powinno ono być widoczne w systemie operacyjnym. Układ izolatora nie wymaga instalacji driverów i jest przezroczysty dla transmisji. Jeżeli moduł montowany jest bezpośrednio w urządzeniu, można pominąć montaż elementów przetwornicy (pozostawiając tylko C18 i C21) oraz zasilić stronę wtórną izolatora bezpośrednio napięciem 5 V z urządzenia.

Adam Tatuś, EP

Wykaz elementów:

Rezystory:
R1, R2, R6: 5,1 kΩ

Kondensatory:
C1 ,C2, C5, C6: 100 nF (SMD 0402, X5R, 10 V)
C3, C4, C7, C8: 8,2 pF (SMD 0402, C0G, 25 V – patrz opis)
C9: 10 µF (SMD 0603, X7R, 10 V)
C18, C19: 4,7 µF (SMD 0805, X7R, 50 V)
C20, C21: 10 µF (SMD 0603, X7R, 16 V)
CE7, CE8: 47 µF/10 V (r=2,54 mm, D=5 mm, Low ESR)
CX: 1 nF/2 kV (SMD 1206, X5R)

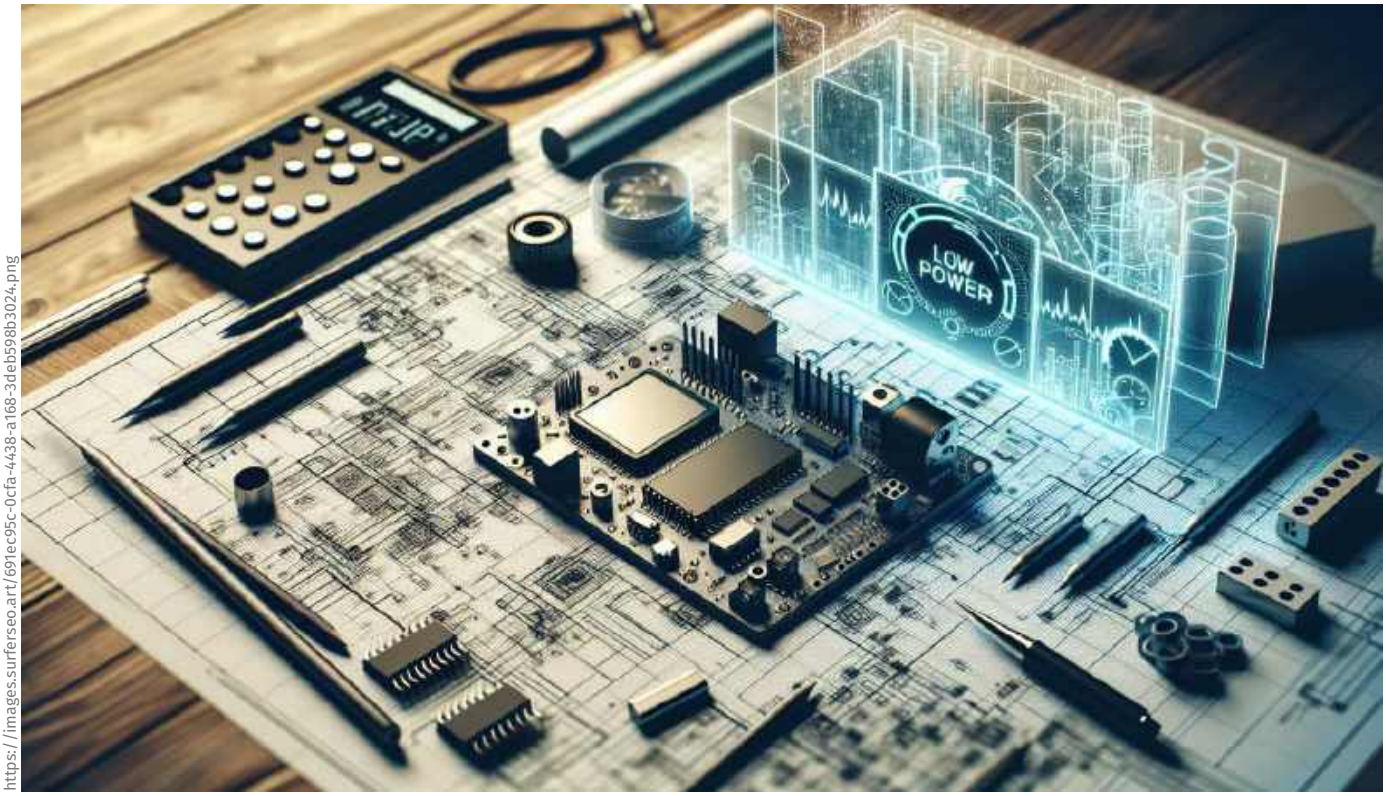
Półprzewodniki:
LD: dioda LED (SMD 0603)
Q1: DDTC143ZUA-7-F (SOT-323)
TVS1, TVS2: ESD204 (USON10)
U1: ADuM3165BRSZ (SSOP20_230) – patrz opis

Pozostałe:
F1: bezpiecznik polimerowy, typ 0ZCJ0100FF2E (SMD 1206)
FB1, FB2: dławik ferrytowy, typ BLM15PX601SN1D (SMD 0402)
FB4, FB5: dławik ferrytowy, typ BLM18AG121SN1D (SMD 0603)
L1: dławik mocy DJNR4018-6R8-S
PSU: przetwornica DC/DC 1 W 5 V/5 V, typ TBA1-0511E
USB: złącze SIP5 (opcja)
USBA: gniazdo USB A (SMD)
USBC: gniazdo USB C (typ USB4110)
XT1, XT2: kwarc 24 MHz, typ CFPX-180 (SMD) – patrz opis

REKLAMA

EP W TOKU
www.ep.com.pl

eprasa.pl e7970affa9

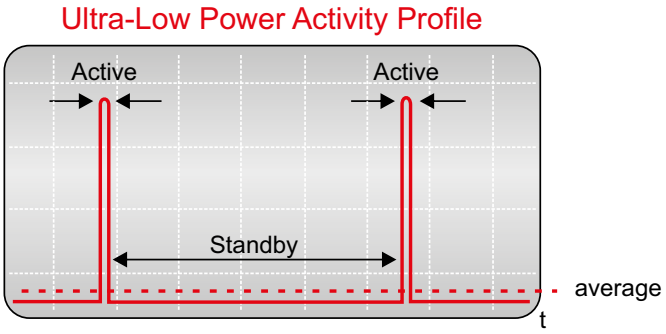


https://images.surferseo.art/691ec95c-0cfa-4438-a168-3deb598b3024.png

Mikrokontrolery Ultra Low Power – przegląd rynku

Projektowanie elektroniki staje się niesłychanie trudnym zadaniem. Chociaż mamy coraz nowocześniejsze układy oraz doskonalsze narzędzia projektowe i pomiarowe, to jednocześnie jesteśmy niemal bombardowani nowymi technologiami. Bluetooth działa już w wersji 6, Wi-Fi niebawem wprowadzi wersję 8, a bez funkcjonalności AI i ML nawet prosty projekt nie przetrwa próby rynkowej. A teraz, w erze urządzeń IoT i ubieralnych (wearables), kluczowym parametrem staje się efektywność energetyczna. W artykule opisujemy metody optymalizacji i ograniczania poboru energii oraz wskazujemy najnowsze komponenty przeznaczone do pracy w aplikacjach o ekstremalnie niskim poborze energii (ULP – Ultra Low Power).

Pierwszym krokiem do zrozumienia prawdziwego znaczenia ULP jest przeanalizowanie różnorodności zastosowań tej technologii. W niektórych projektach wymagany jest najniższy prąd podczas normalnej pracy urządzenia, ponieważ parametry zasilania są mocno ograniczone – na przykład energia elektryczna jest odzyskiwana ze źródeł niestandardowych metodą określaną mianem *energy harvesting*. Jednak częściej spotykany schemat działania jest taki, że przez większość czasu urządzenie pozostaje w trybie czuwania i dopiero jakieś zdarzenie powoduje wybudzenie systemu w celu wykonania określonych zadań (**rysunek 1**). W takim przypadku wymagany jest jak najniższy prąd w trybie uśpienia oraz jak najszybsze wybudzanie układu do stanu pełnej funkcjonalności oraz wykonanie zadania. Z tego wynika, że ULP nie koncentruje się tylko na bezpośrednim zmniejszeniu poboru energii, ale także na różnych mechanizmach optymalizacji, które umożliwiają realizację zadań w jak najkrótszym czasie i przy minimalnym użyciu zasobów danego systemu.



Rysunek 1. Najczęściej spotykany schemat działania urządzeń ULP (https://www.ti.com/lit/wp/slay015a/slay015a.pdf)

Straty energii w układach cyfrowych

Dzisiejsze systemy elektroniczne to przede wszystkim układy cyfrowe oparte na mikrokontrolerach. Całkowita moc pobierana przez układy cyfrowe to suma dwóch czynników:

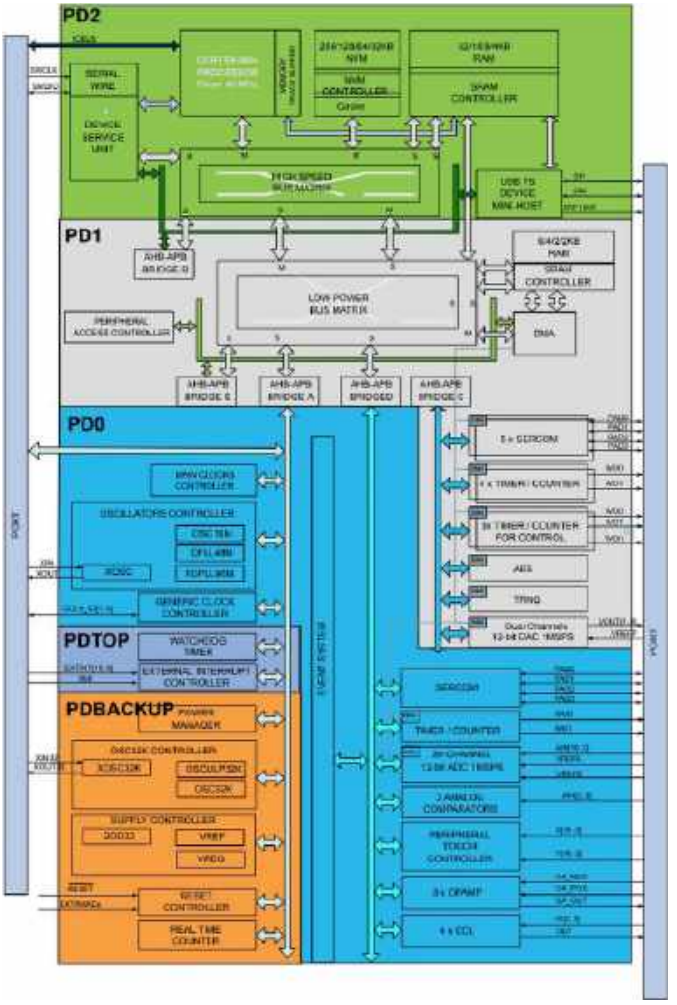
- **mocy statycznej**, czyli traconej na skutek prądów upływu struktur półprzewodnikowych. Występuje nawet przy braku sygnału taktującego, w czasie stanu ustalonego i zwiększa się wraz ze wzrostem temperatury;
- **mocy dynamicznej** spowodowanej przełączaniem stanów logicznych. Wynika ona z ładowania i rozładowywania pojemności pasożytniczych oraz tzw. prądu zwarciowego

eprasa.pl e7970affa9

występującego w chwili przełączania stanu tranzystorów na wyjściach cyfrowych, a uwarunkowanego przede wszystkim czasami narastania i opadania sygnałów.

Moc dynamiczną redukuje się zmniejszając rozmiary tranzystorów, dlatego tak ważna jest generacja technologii litograficznej stosowanej przy produkcji półprzewodników. Moc dynamiczną można również zmniejszyć obniżając częstotliwość taktowania, co niestety obniża również moc obliczeniową układu i wydłuża czas wykonywania zadań. Innym sposobem jest obniżenie wartości napięcia zasilającego, co z kolei generuje kilka innych problemów, m.in. wydłuża czasy propagacji, zmniejsza margines szumów prądu statycznego, a dodatkowo podwyższa statyczny pobór mocy, co wymusza stosowanie skomplikowanych struktur półprzewodnikowych.

Moc statyczną redukuje się poprzez zaawansowane technologie wytwarzania półprzewodników oraz takie techniki jak VTCMOS (*variable threshold CMOS*). Wymaga to dodatkowych obwodów sterujących i zasilających, które wytwarzają napięcia wyższe od napięcia zasilającego oraz ujemne względem potencjału masy. Wbrew pozorom, moc statyczna jest istotnym składnikiem całkowitego poboru energii. W stosowanych obecnie niskonapięciowych półprzewodnikach jej udział wynosi ok. 10%, a w najbardziej zaawansowanych układach staje się porównywalna ze stratami dynamicznymi. Więcej informacji na temat mocy dynamicznej i statycznej oraz metod ich redukowania można znaleźć tu: [1].



Rysunek 2. Struktura blokowa mikrokontrolera SAM L21 z rodziny układów Low-Power, na której zaznaczono 5 wydzielonych domen zasilania (https://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/Atmel-42411-Ultra-Low-Power-Techniques-AT06549_Application-Note.pdf)

Nowoczesne metody zarządzania poborem energii

Biorąc pod uwagę wcześniejsze informacje wnioskujemy, że cyfrowy układ scalony powinien być taktowany możliwie niską częstotliwością i dostosowany do zasilania możliwie niskim napięciem, aby był odpowiedni do zastosowań ULP. Nie jest to łatwe do zrealizowania, ponieważ pozostaje sprzeczne z wymaganiami niezbędnymi do osiągnięcia wysokiej wydajności obliczeniowej. Bardziej elastycznym rozwiązaniem jest wydzielenie w strukturze mikrokontrolera bloków funkcyjnych i niezależne aktywowanie tylko tych, które są w danym momencie używane. Wymaga to rozbudowanych obwodów zasilania, takich jak PMD (*Peripheral Module Disable*) lub PMU (*Power Management Unit*), ale daje świetne rezultaty. Na **rysunku 2** pokazano strukturę blokową mikrokontrolera SAM L21 z rodziny układów Low-Power, gdzie zaznaczono 5 wydzielonych domen zasilania.

Mikrokontrolery oferują zwykle kilka podstawowych trybów oszczędzania energii. Każdy kolejny tryb wyłącza więcej wewnętrznych bloków funkcjonalnych i obniża zużycie prądu kosztem ograniczonej funkcjonalności lub wydajności. Najczęściej stosowane tryby obniżonego poboru prądu to:

- **Tryb czuwania** (*Idle Mode*, *Low Power Mode*) – jest kompromisem między szybką reakcją a oszczędnością energii. Rdzeń zostaje zatrzymany, ale podstawowe peryferia, zegar systemowy i pamięć RAM pozostają aktywne i zasilane. Mikrokontroler może być natychmiast wybudzony w odpowiedzi na przerwanie, np. z timera, UART czy SPI. Pobór prądu jest znacznie niższy niż w trybie aktywnym, ale w dalszym ciągu relatywnie wysoki.
- **Tryb uśpienia** (*Sleep Mode*, *Power-Down Mode*) – to podstawowy tryb oszczędzania energii. Większość funkcji mikrokontrolera jest wyłączona, zatrzymywane są główne oscylatory i sygnały taktujące, a działają tylko niezbędne bloki: pamięć RAM (w celu zachowania danych), zegar czasu rzeczywistego (RTC) czy kontrolery przerwań zewnętrznych. Pobór prądu w tym trybie spada do poziomu mikroamperów, ale wybudzenie może trwać nieco dłużej niż w przypadku trybu Idle.
- **Tryb głębokiego uśpienia** (*Deep Sleep Mode*, *Standby Mode*, *Hibernate*) oferuje maksymalną redukcję zużycia energii. Niemal wszystkie bloki funkcjonalne i zasilanie są odcięte. Często tracona jest zawartość pamięci RAM, a podtrzymywane są jedynie podstawowe rejestry, stany pinów I/O i moduł RTC – w efekcie pobór prądu spada często poniżej 1 μA. Wybudzenie z tego trybu trwa najdłużej i zazwyczaj następuje tylko poprzez zewnętrzne zdarzenie (np. wynikające ze zmiany stanu logicznego na odpowiednim pinie) lub po upływie zadanego czasu ustawionego w RTC.

W zaawansowanych układach o ultra niskim poborze mocy może być dużo więcej trybów niskiego poboru mocy – np. 7. Wybór odpowiedniego zależy od wymagań aplikacji – głównie od tego, czy konieczna jest natychmiastowa reakcja, czy jednak dopuszczalne jest niewielkie opóźnienie w zamian za możliwość uzyskania wielu lat pracy na jednej baterii.

Niektóre bloki funkcyjne, które mają zatrzymane taktowanie oraz odłączone zasilanie wymagają złożonej procedury wybudzenia – dotyczy to np. przetworników ADC (*Analog Digital Converter*). Użycie takiego bloku wymaga odblokowania zasilania, podania sygnału taktującego i czasami uruchomienia prostej procedury kalibracji. Cały ten proces może trwać relatywnie długo i pochłonąć znacznie więcej energii, niż w trakcie normalnej pracy danego bloku. Dlatego jest to kolejne pole optymalizacji w zakresie techniki ULP (pod względem szybkości wybudzania lub czasu potrzebnego do osiągnięcia pełnej funkcjonalności, czyli tzw. wake-up time). Układy lub bloki funkcyjne, w których zoptymalizowano ten proces, są oznaczane jako fast wake-up time.

eprasa.pl e7970affa9

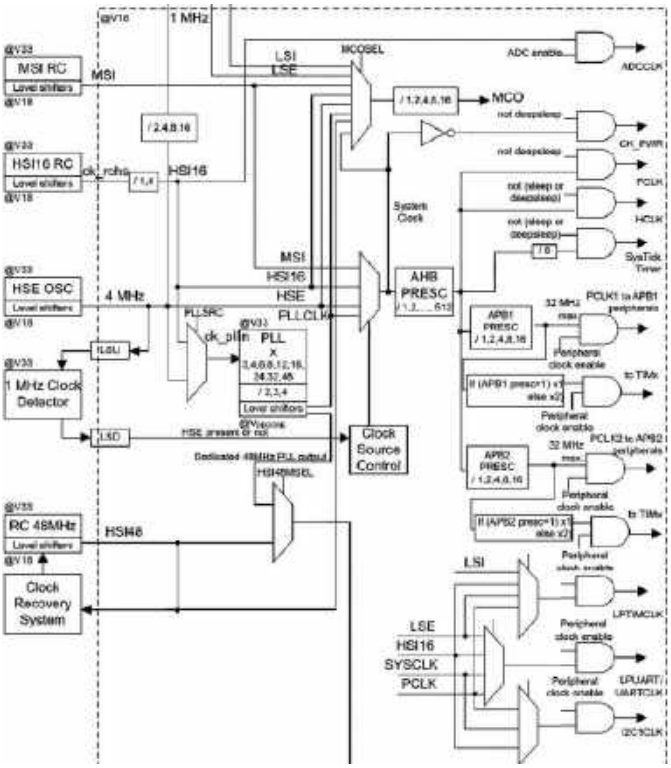
Nie wszystkie obwody mikrokontrolera mogą być wyłączone lub zatrzymane. Są to przeważnie liczniki/zegary czasu rzeczywistego (RTC – *Real-Time Clock*) niezbędne do odmierzania czasu, układy nadzorujące napięcie zasilania (BOD/BOR – *Brown-Out Detection/Brown-Out Reset*, VLM – *Voltage Level Monitor*) czy liczniki typu watchdog (WDT – *Watchdog Timer*). Dlatego są one zaprojektowane w taki sposób, aby pobierały wyjątkowo mały prąd w stanie aktywnym – maksymalnie 0,2…0,5 µA.

Duże znaczenie ma precyzyjna kontrola nad częstotliwością taktowania. Nowoczesne układy mają zintegrowane różne źródła sygnałów zegarowych, m.in.:

- **Oscylatory RC o wysokiej częstotliwości** (np. HSI RC – *High Speed Internal RC*, lub FRO – *Free Running Oscillator*) – generują sygnały taktujące o częstotliwościach od pojedynczych MHz do setek MHz. Nie są zbyt precyzyjne, zwykle mają dokładność rzędu ±2%, ale pobierają dużo mniej energii niż oscylatory kwarcowe. Są używane tylko wtedy, gdy wymagana jest duża moc obliczeniowa, a precyzja odmierzania czasu/częstotliwości jest mniej istotna.
- **Precyzyjne oscylatory kwarcowe** (np. HSE – *High Speed External*, lub EXTOSC – *External Oscillator*) – są źródłem stabilnych i dokładnych sygnałów taktujących, ale wymagają zewnętrznego rezonatora kwarcowego i pobierają więcej energii, niż generatory RC. Sygnał taktujący zwykle jest przetwarzany w blokach PLL i można bardzo elastyczne ustalać częstotliwość wyjściową.
- **Oscylatory o niskiej częstotliwości i niskim poborze energii** (np. LSI – *Low Speed Internal*, LSE – *Low Speed External*, LPOSC – *Low Power Oscillator*) – dostarczają sygnałów taktujących o bardzo niskich częstotliwościach rzędu kiloherców i służą do taktowania mikrokontrolera w trybach obniżonego poboru energii.
- **Oscylatory RTC** (*Real Time Clock*) – źródło taktowania dla układu zegara czasu rzeczywistego. Zwykle wymaga zewnętrznego rezonatora kwarcowego 32,768 kHz i ma wejście zasilania do podłączenia baterii podtrzymującej, dzięki czemu działa nawet po zaniku zasilania głównego. Oscylatory RTC pobierają bardzo mało prądu, zwykle poniżej 1 µA.

Fundamentalną funkcją dla optymalizacji poboru energii jest możliwość szybkiego przełączania się między sygnałami traktującymi o różnych częstotliwościach, w zależności od aktualnych wymagań aplikacji. Dlatego moduły zarządzania sygnałem zegarowym (CMU – *Clock Management Unit*, RCC – *Reset and Clock Configuration*) pozwalają nie tylko wybrać źródło taktowania CPU, ale również niezależne źródła taktowania dla większości układów peryferyjnych. W efekcie są to bardzo złożone struktury – na **rysunku 3** pokazano uproszczony schemat blokowy modułu RCC w niewielkim mikrokontrolerze STM32L0xx. Najbardziej zaawansowane układy są wyposażone w moduły DVFS (*Dynamic Voltage and Frequency Scaling*) odpowiedzialne za dynamiczne skalowanie napięcia i częstotliwości oraz AVFS (*Adaptive Voltage and Frequency Scaling*) realizujące to zadanie w sposób adaptacyjny.

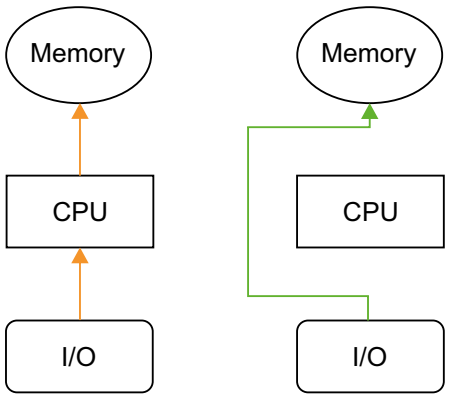
Szczególnym rozwiązaniem jest system DMA (Direct Memory Access), który został zaprojektowany z myślą o zwiększeniu wydajności operacyjnej mikrokontrolerów, ale jednocześnie umożliwia bardziej optymalne zarządzanie poborem energii. Bez jego użycia procesor musi aktywnie sterować transferem danych, na przykład odbierając pojedyncze bajty z urządzenia peryferyjnego (UART, SPI, ADC itp.) i zapisując je do pamięci RAM. Wymaga to ciągłego działania CPU, który zazwyczaj jest najbardziej energochłonnym elementem mikrokontrolera. Dzięki DMA specjalny kontroler przejmuje zadanie przenoszenia bloków danych między peryferiami a pamięcią, bez konieczności udziału CPU (**rysunek 4**). W tym czasie procesor może zostać przełączony w tryb uśpienia, niskiego poboru mocy lub może wykonywać inne zadania.



Rysunek 3. Uproszczony schemat blokowy modułu zarządzania sygnałem zegarowym (RCC) w niewielkim mikrokontrolerze STM32L0xx (https://www.st.com/resource/en/reference_manual/rm0376-ultralowpower-stm32l0x2-advanced-armbased-32bit-mcus-stmicroelectronics.pdf)

Dodatkowo użycie DMA eliminuje również tzw. narzut związany z przerwaniami (tzw. *Interrupt Overhead*). Tradycyjne metody przesyłania danych często bazują na przerwaniach, które wybudzają rdzeń za każdym razem, gdy wymagana jest operacja odczytu lub zapisu, np. po odebraniu pojedynczego bajtu. Generowanie przerwań i przełączanie kontekstu, czyli zapisywanie i przywracanie stanu procesora, wiąże się z dodatkowym zapotrzebowaniem energetycznym. DMA pozwala na transfer całego bufora danych, generując na przykład tylko jedno przerwanie po zakończeniu całej transakcji, co znacznie redukuje liczbę wybudzeń i narzut energetyczny. Wszystkie korzyści, jakie niesie DMA powodują, że jest to konieczne rozwiązanie w nowoczesnych systemach wbudowanych, gdzie wymagany jest niski pobór energii.

Istnieje też wiele innych wyspecjalizowanych rozwiązań w obszarze bloków peryferyjnych. Dlatego w kolejnej części tego artykułu prześledzimy dokładnie oferty kluczowych producentów i opiszemy najciekawsze rozwiązania.



Rysunek 4. Uproszczony schemat działania systemu DMA (https://www.stm32wrobotyce.pl/2023/01/19/kurs-stm32-ll-cz-16-konwersja-adc-single-channel-i-multi-channel-w-trybie-dma/)

eprasa.pl e7970affa9

Device	Flash Memory (KB)	Pins	Sleep (nA)	WDT (nA)	RTCC (nA)	1 MHz Run (µA)
8-bit XLP PIC® Microcontrollers						
PIC18F "K42"	16–128	28–48	60	720	–	45
PIC16F153xx	3.5–28	8–48	50	500	–	32
PIC16F188xx	7–56	28–40	50	500	–	32
PIC16F191xx	7–56	28–64	50	500	400	32
PIC18F "K40"	16–128	28–64	50	500	–	32
16-bit XLP PIC Microcontrollers						
PIC24FJ128GB204 USB	64–128	28–44	360	240	300	178
PIC24FJ128GA310 LCD	64–128	64–100	330	270	400	150
PIC24FJ128GC010 USB LCD	64–128	64–100	420	270	350	178
PIC24FJ256GA705	64–256	28–48	190	220	350	191
PIC24FJ256GB412 USB LCD	64–256	64–121	70	100	170	155
PIC24FJ1024GB610 USB	128–1024	64–100	190	220	350	190
32-bit XLP PIC Microcontrollers						
PIC32MM "GPL"	16–64	20–36	500	80	400	–
PIC32MM "GPM" USB	64–256	28–64	650	220	350	–
PIC32MX1/2 USB	128–256	28–64	673	800	710	–

Rysunek 5. Porównanie parametrów mikrokontrolerów Microchip z technologią niskiego poboru energii XLP (https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/OTH/ProductDocuments/Brochures/30009941J.pdf)

https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/OTH/ProductDocuments/Brochures/30009941J.pdf

Układy PIC oraz SAM L od Microchip

Firma Microchip oferuje układy z technologią nanoWatt XLP (eXtreme Low Power), które – jak sama nazwa wskazuje – odznaczają się ekstremalnie niskim poborem mocy. Podstawowe parametry układów nanoWatt XLP to:

- pobór prądu w stanie uśpienia: już od 9 nA,
- pobór prądu modułu BOD: do 45 nA,
- pobór prądu licznika watchdog: do 200 nA,
- pobór prądu licznika RTC (zegar + kalendarz): do 300 nA,
- pobór prądu w stanie aktywnym: do 30 µA/MHz,
- pełna funkcjonalność bloków analogowych i możliwość zapisu danych przy napięciu zasilania od 1,8 V.

Układy Microchip oferują również zaawansowane bloki peryferyjne o obniżonym poborze mocy, takie jak interfejs USB, kontrolery wyświetlacza LCD i klawiatury pojemnościowej (mTouch) oraz rozbudowane bloki analogowe: ADC i komparatory. Zintegrowane układy peryferyjne, przystosowane do pracy w trybie niezależnym od rdzenia, są określane mianem CIP (*Core Independent Peripheral*) – dzięki nim procesor może być wprowadzony w tryb niskiego poboru mocy, podczas gdy urządzenia peryferyjne będą wykonywały niezbędne funkcje.

Fotografia 1. Płytka ewaluacyjna z układem XLP PIC24FJ128 (https://www.microchip.com/en-us/development-tool/dm240314)

Układy XLP od Microchip to mikrokontrolery PIC z serii PIC16F, PIC18F (8-bitowe), PIC24FJ (16-bitowe) i PIC32MM/MX (32-bitowe). Porównanie parametrów wybranych modeli zostało pokazane na **rysunku 5**. Ogromną zaletą tych układów jest rozbudowane środowisko programistyczne MPLAB X IDE oraz szeroka oferta płytek ewaluacyjnych (**fotografia 1**).

Kolejną grupą bardziej zaawansowanych układów Microchip o niskim poborze mocy są mikrokontrolery SAM L1x/L2x. Bazują na 32-bitowej architekturze ARM Cortex-M23 (SAM L1x) oraz ARM Cortex-M0+ (SAM L2x) i dzięki zastosowaniu innowacyjnej technologii picoPower zapewniają bardzo niskie zużycie energii, co najlepiej obrazują następujące parametry:

- 25 µA/MHz w trybie aktywnym,
- poniżej 100 nA w trybie uśpienia,
- krótki czas wybudzania wynoszący 1,2 µs,
- pełna funkcjonalność przy napięciu zasilania od 1,62 V.

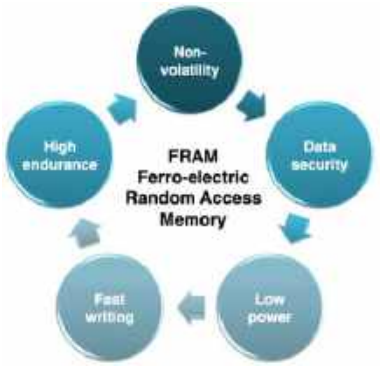
Układy SAM L1x uzyskały certyfikowany przez EEMBC wynik ULPMark [2] na poziomie 410 dla Core Profile, co jest najwyższą oceną dla rdzeni Cortex-M23 lub Cortex-M0+. Oprócz ultra niskiego poboru mocy, układy te zawierają ulepszony kontroler dotykowy PTC (*Peripheral Touch Controller*), technologię ARM TrustZone, szyfrowanie AES (*Advanced Encryption Standard*), kontroler USB Full-Speed Host/Device, 12-bitowy przetwornik ADC, wbudowane wzmacniacze operacyjne oraz kontroler zdarzeń (*Event System*). Implementują ponadto technologię SleepWalking, która umożliwia urządzeniom peryferyjnym wykonywanie zadań i komunikację bez wybudzania głównego procesora.

MSP430 od Texas Instruments

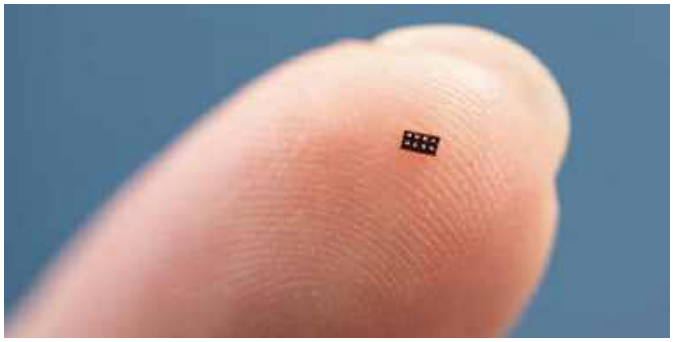
https://www.mouser.ca/images/marketingid/2018/img/10522501 8_Texas-Instruments_MSP430-Value-Line-Microcontrollers.png?v=070325.0401

Texas Instruments (TI) jest liderem w dziedzinie mikrokontrolerów o bardzo niskim poborze mocy, a główną linią produktów są układy MSP430. Te 16-bitowe mikrokontrolery bazują na zaprojektowanej od podstaw, energooszczędnej architekturze RISC, oferującej nawet 7 zoptymalizowanych trybów niskiego poboru mocy. Ponadto zawierają zintegrowane precyzyjne układy analogowe, m.in. 12-bitowe przetworniki ADC i DAC, konfigurowalne komparatory, wzmacniacze operacyjne i PGA, a niektóre modele zostały wyposażone w pamięć ferromagnetyczną Low Power FRAM (seria MSP430FR). Pamięć FRAM łączy szybkość i elastyczność

eprasa.pl e7970affa9



Rysunek 6. Pamięć FRAM stosowana w mikrokontrolerach MSP430 łączy szybkość i elastyczność pamięci SRAM ze stabilnością i niezawodnością pamięci Flash (https://www.ti.com/product-category/microcontrollers-processors/msp430-mcus/overview.html)



Fotografia 2. Najmniejszy na świecie mikrokontroler z rdzeniem Cortex-M0+ – MSPM0C1104 od TI (https://www.ti.com/about-ti/newsroom/news-releases/2025/2025-03-11-ti-introduces-the--world-s-smallest-mcu--enabling-innovation-in-the-tiniest-of--applications.html)

klasycznej technologii statycznego RAMu (SRAM) ze stabilnością i niezawodnością pamięci Flash, zużywając przy tym znacznie mniej energii podczas zapisu (**rysunek 6**). Szybki zapis do FRAM umożliwia skrócenie czasu przejścia do trybu uśpienia.

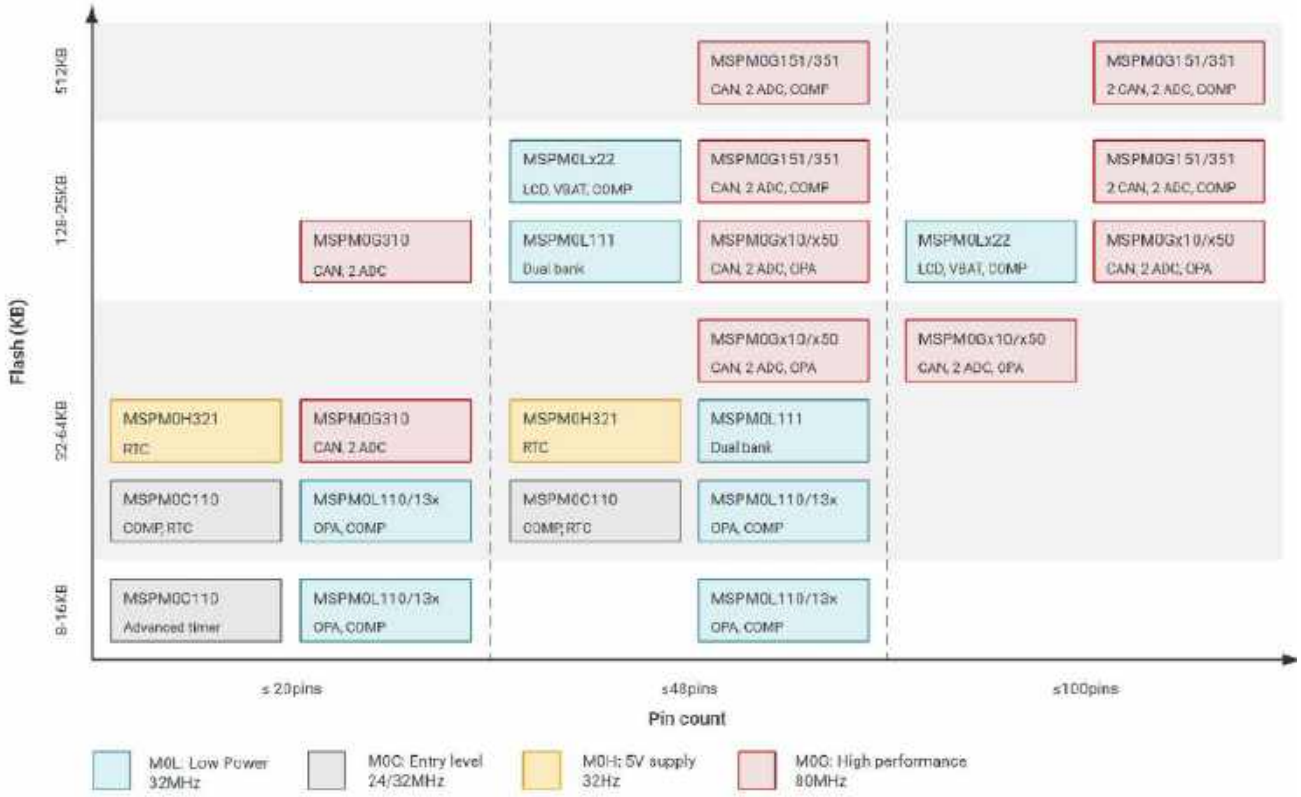
Podstawowe parametry wybranego mikrokontrolera typu MSP430FR235x, są następujące:

- pobór prądu w stanie shutdown: 42 nA,
- pobór prądu w stanie LPM3: 1,43 µA oraz LPM3.5: 0,62 µA,
- pobór prądu w stanie aktywnym: do 143 µA/MHz,
- pełna funkcjonalność przy napięciu zasilania od 1,8 V.

Firma TI opracowała również bardzo wydajne, 32-bitowe mikrokontrolery ULP z rodziny MSP432, bazujące na architekturze Arm Cortex-M (M4F), jednak w 2021 roku ogłoszono wycofanie tej serii układów. Z kolei najnowsza rodzina MSPM0 rozszerza portfolio ULP o 32-bitowe, ekonomiczne i łatwe w użyciu mikrokontrolery bazujące na rdzeniu ARM Cortex-M0+. Układy są dostępne w szerokim zakresie opcji (**rysunek 7**), od niewielkich układów z podstawowym wyposażeniem typu MSPM0C, po najbardziej złożone MSPM0G z zaawansowaną komunikacją i lepszymi peryferiami analogowymi.

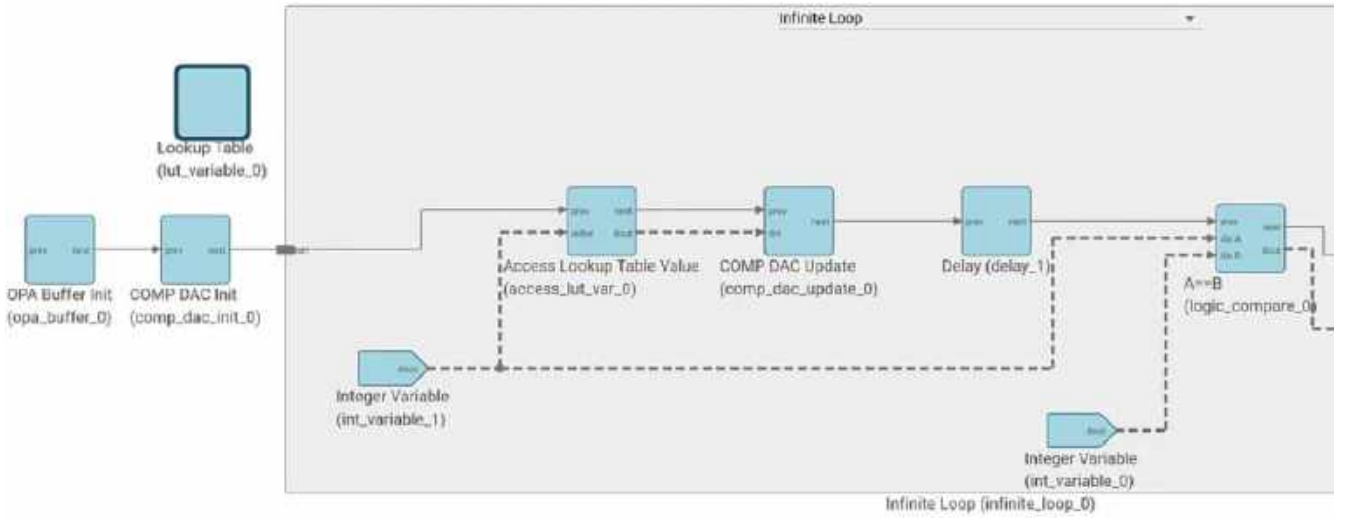
Mikrokontrolery Texas Instruments, oprócz tego, że są jednymi z najbardziej energooszczędnych układów, to od niedawna zyskały również miano najmniejszych. MSPM0C1104 to najmniejszy na świecie mikrokontroler z rdzeniem Cortex-M0+ (MSPM0) – jego powierzchnia to zaledwie 1,38 mm² (**fotografia 2**). Oferuje 16 kB pamięci, 12-bitowy przetwornik analogowo-cyfrowy z trzema kanałami, sześć uniwersalnych pinów wejścia/wyjścia oraz interfejsy UART, SPI, I²C. Jest przeznaczony do urządzeń medycznych i elektroniki ubieranej.

Texas Instruments wspiera deweloperów narzędziami do optymalizacji ULP, takimi jak ULPADVISOR (analizuje kod źródłowy pod kątem optymalizacji energetycznej) oraz EnergyTrace (monitoruje zużycie energii w czasie rzeczywistym podczas debugowania), co ułatwia projektowanie energooszczędnych aplikacji. Natomiast oprogramowanie Zero Code Studio umożliwia tworzenie i uruchamianie aplikacji bez konieczności pisania kodu programu (**rysunek 8**).



Rysunek 7. Portfolio układów TI bazujących na energooszczędnym 32-bitowym rdzeniu Cortex-M0+ – rodzina MSPM0 (https://www.ti.com/product-category/microcontrollers-processors/arm-based-mcus/arm-cortex-m0/overview.html)

eprasa.pl e7970affa9



Rysunek 8. Oprogramowanie Zero Code Studio umożliwia tworzenie i uruchamianie aplikacji bez konieczności pisania kodu programu (https://www.ti.com/tool/MSP-ZERO-CODE-STUDIO?hqs=epd-msp-procbr-mspm0_small-pr-sw-ew25-wwe)

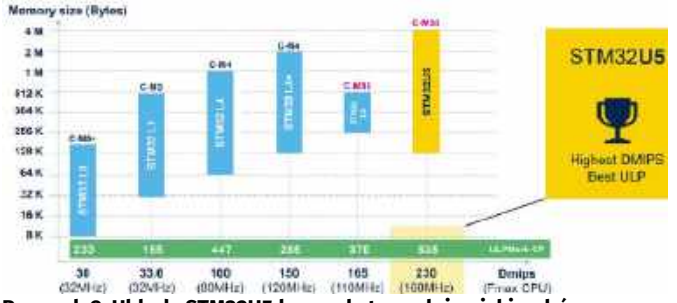
Układy ULP od STM32

STMicroelectronics (ST) oferuje wiele typów mikrokontrolerów ULP. Ich najnowsze i najbardziej zaawansowane układy z tej kategorii to przede wszystkim seria STM32U5 oraz nowsza, ale nieco uproszczona – seria STM32U0.

Układy STM32U5 łączą ekstremalnie niski pobór mocy z wysoką wydajnością i zaawansowanymi funkcjami bezpieczeństwa (**rysunek 9**). Bazują na rdzeniu ARM Cortex-M33 160 MHz z technologią ARM TrustZone oraz blokami MPU, DSP i FPU. Ich kluczowe parametry są następujące:

- pobór prądu w różnych trybach standby: od ok. 200 nA do 4,6 µA,
- pobór prądu w stanie aktywnym: do 16 µA/MHz,
- czas wybudzania wynoszący ok. 8 µs dla trybu Sleep oraz ok. 700 µs dla trybu Shutdown,
- pełna funkcjonalność przy napięciu zasilania od 1,71 V.

W mikrokontrolerach STM32U5 zastosowano innowacyjny tryb LPBAM (*Low-Power Background Autonomous Mode*), który umożliwia układom peryferyjnym, w tym kontrolerowi DMA, autonomiczną pracę (zbieranie i przesyłanie danych), podczas gdy rdzeń CPU jest uśpiony. Ponadto dysponują one wieloma trybami niskiego poboru energii, w tym trybem Stop 3, w którym pobór prądu, przy zachowaniu pełnej retencji pamięci SRAM i rejestrów, maleje nawet do 2,2 µA, co jest jednym z najlepszych wyników na rynku wysokowydajnych mikrokontrolerów ULP. Wiele wariantów STM32U5 zawiera stabilizator LDO i przetwornicę SMPS, które umożliwiają dynamiczne skalowanie napięcia i w efekcie optymalizację zużycia energii w trybie aktywnym.



Rysunek 9. Układy STM32U5 łączą ekstremalnie niski pobór mocy z wysoką wydajnością (https://www.st.com/content/ccc/resource/training/technical/product_training/group1/cd/14/c3/be/5e/dc/4f/25/STM32U5-series-introduction/files/stm32u5-introduction-marketing-presentation.pdf/_jcr_content/translations/en.stm32u5-introduction-marketing-presentation.pdf)

Układy STM32U5 są przeznaczone do najbardziej zaawansowanych urządzeń IoT, liczników energii i urządzeń medycznych, także z rozbudowanymi interfejsami graficznymi (dzięki zintegrowanemu GPU NeoChrom).

Seria STM32U0 to najnowsza (wprowadzona w 2024 roku) generacja mikrokontrolerów ULP, pozycjonowana jako układy ULP klasy podstawowej. Bazują na energooszczędnym rdzeniu Cortex-M0+ taktowanym do 56 MHz i oferują bardzo niski pobór prądu w trybach uśpienia oraz konkurencyjną cenę. Ponadto ST nadal oferuje i rozwija układy STM32L4/L4+ bazujące na rdzeniu Cortex-M4 oraz STM32L5 z rdzeniem Cortex-M33 – te ostatnie są zatem podobne do modeli z serii STM32U5, ale bez niektórych najbardziej zaawansowanych funkcji oszczędzania energii. Zamiast ich implementacji inżynierowie ST skupili się bowiem na funkcjach bezpieczeństwa (TrustZone).

EFM32 i Silicon Labs

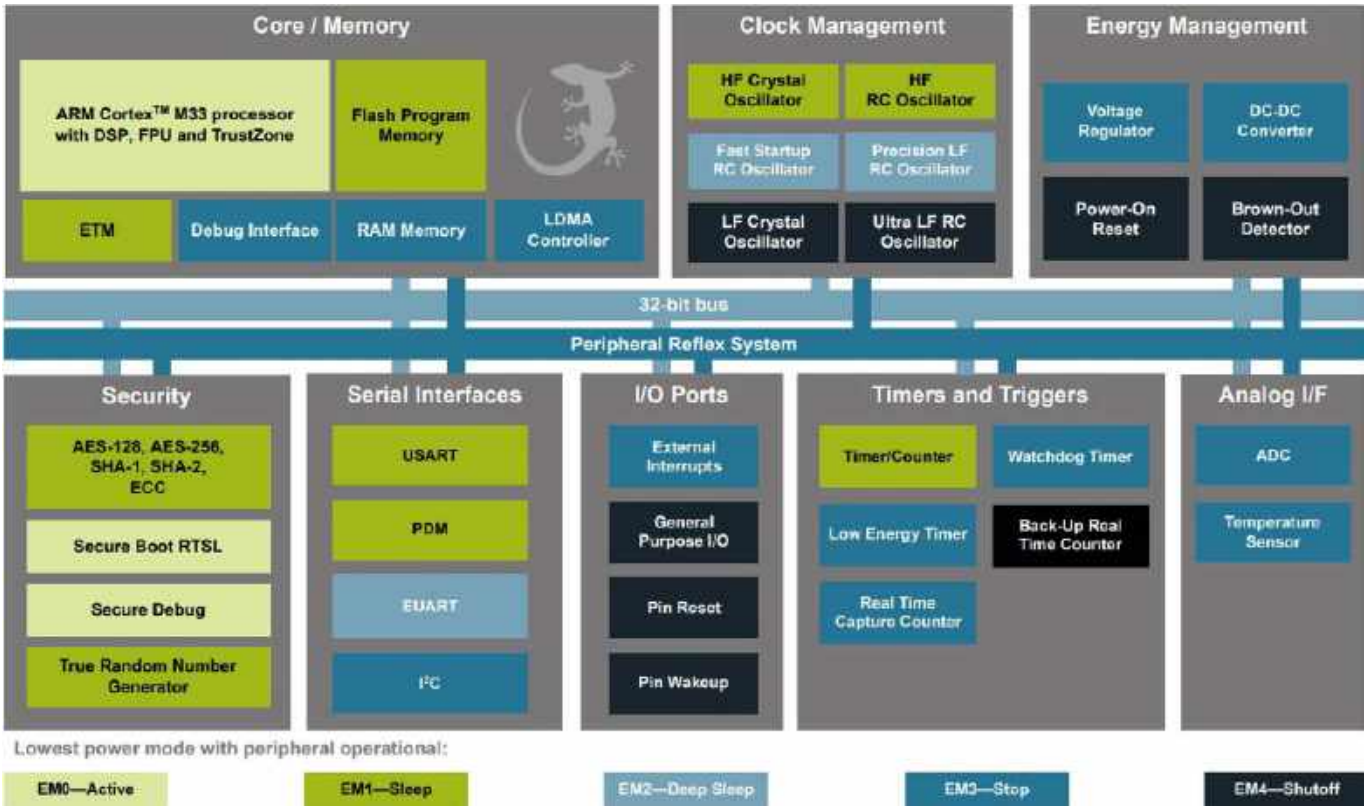
Mikrokontrolery EFM32 firmy Silicon Labs są jednymi z najbardziej energooszczędnych mikrokontrolerów na świecie, szczególnie polecanymi do zastosowań wymagających niskiego poboru mocy, takich jak mierniki zużycia energii, wody i gazu, systemy alarmowe i systemy bezpieczeństwa, układy do pomiaru parametrów opon TPMS (*Tire Pressure Monitoring System*) oraz przenośny sprzęt medyczny/fitness. Najnowsze układy ULP od Silicon Labs należą do rodziny Gecko Series 2 i bazują na rdzeniu Cortex-M33. Są to mikrokontrolery oznaczone jako EFM32PG22, EFM32PG23, EFM32PG26 i EFM32PG28, przy czym wraz z oznaczeniem numerycznym zwiększają się znacząco zintegrowane zasoby sprzętowe. Podstawowa wersja PG22 może pracować z taktowaniem do 76 MHz, ma do dyspozycji FPU oraz instrukcje DSP. Podstawowe parametry są następujące:

- pobór prądu w trybie głębokiego uśpienia (deep sleep): ok. 1 µA (przy zachowaniu 8 kB pamięci RAM i działającym RTC),
- pobór prądu w trybie hibernacji EM4: 170 nA,

https://www.silabs.com/mcu/32-bit-microcontrollers/efm32pg26-series-2/device.efm32pg26b301f1024il136?tab=specs

https://mikrokontroler.pl/2021/02/25/najnowsze-mikrokontrolery-stm32u5-o-wyjatkowo-niskim-poborze-pradu-wysokiej-wydajnosci-i-funkcjach-zabezpieczajacych/

eprasa.pl e7970affa9



Rysunek 10. Bogaty zestaw peryferiów układu EFM32PG22 firmy SI (https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/efm32pg22--datasheet.pdf)

- pobór prądu w stanie aktywnym: do 26 µA/MHz,
- pełna funkcjonalność przy napięciu zasilania od 1,71 V.

Układ EFM32PG22 oferuje bogaty zestaw peryferiów (**rysunek 10**), w tym 16-bitowy przetwornik ADC, 8-kanałowy kontroler DMA, liczne timery oraz interfejsy komunikacyjne, w tym cyfrowy interfejs mikrofonowy zgodny z PDM. Zaawansowane funkcje bezpieczeństwa obejmują sprzętową akcelerację kryptograficzną (AES, SHA, ECC), generator liczb losowych (TRNG) oraz mechanizm bezpiecznego rozruchu Secure Boot z obsługą RTSL (*Root of Trust and Secure Loader*).

Silicon Labs stosuje w swoich układach bloki PRS (*Peripheral Reflex System*), umożliwiające wbudowanym peryferiom komunikację i interakcję bez użycia rdzenia.

Układy PG23, PG26 i PG28 stanowią rozwinięcie serii PG22: ich parametry są sukcesywnie poprawiane, a wyposażenie sprzętowe – poszerzane. W najwyższej konfiguracji dostępne są m.in. 20-bitowe przetworniki ADC, 1 MB pamięci Flash, kontroler wyświetlacza LCD i sprzętowy akcelerator AI/ML. Warto dodać, że zapotrzebowanie na energię w stanie aktywnym i w różnych trybach uśpienia pozostaje niezmienione.

Podsumowanie

Rynek mikrokontrolerów ULP odnotował w ostatnich latach znaczny wzrost, napędzany rosnącym popytem na energooszczędne urządzenia w branżach takich jak IoT, elektronika użytkowa i automatyka przemysłowa. Ponad 18 miliardów działających urządzeń IoT na całym świecie przyczyniło się do tego, że wartość rynku mikrokontrolerów ULP jest szacowana na ponad 5 mld USD. Te ogromne liczby to również efekt trudu i zaangażowania konstruktorów, którzy musieli sprostać przeciwstawnym wymaganiom bardzo charakterystycznym dla aplikacji o niskim poborze energii. Mamy nadzieję, że zaprezentowane w artykule informacje w jakiś stopniu ułatwią naszym Czytelnikom projektowanie kolejnych urządzeń wpisujących się w klasę ULP.

Damian Sosnowski, EP

Odnośniki:
[1] Redukcja mocy pobieranej przez układy CMOS, https://elektronikab2b.pl/technika/1872-redukcja-mocy-pobieranej-przez-uklady-cmos
[2] ULPMark-CoreProfile, https://www.eembc.org/ulpmark/ulp-cp/scores.php

Bibliografia:
- https://www.ti.com/lit/wp/slay015a/slay015a.pdf
- https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39941d.pdf
- https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/OTH/ProductDocuments/Brochures/30009941J.pdf
- https://www.microchip.com/en-us/products/microcontrollers/32-bit-mcus/pic32-sam/sam-l
- https://www.ti.com/product-category/microcontrollers-processors/msp430-mcus/overview.html
- https://www.ti.com/product-category/microcontrollers-processors/arm-based-mcus/arm-cortex-m0/overview.html
- https://www.analog.com/en/resources/analog-dialogue/articles/strategies-for-choosing-the-appropriate-microcontroller-when-developing-ultra-low-power-systems.html
- https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32u5-series.html
- https://www.st.com/content/ccc/resource/training/technical/product_training/group1/cd/14/c3/be/5e/dc/4f/25/STM32U5-series-introduction/files/stm32u5-introduction-marketing-presentation.pdf/_jcr_content/translations/en.stm32u5-introduction-marketing--presentation.pdf
- https://www.silabs.com/mcu/32-bit-microcontrollers

eprasa.pl e7970affa9

Energooszczędne układy zasilania i analogowe tory sygnałowe

Rosnąca popularność urządzeń bateryjnych – głównie za sprawą ekspansji rozwiązań z zakresu czujników IoT oraz elektroniki noszonej – sprawia, że tematyka niskomocowych układów i technik projektowych wraca jak bumerang przy okazji każdej prezentacji marketingowej nowego mikrokontrolera, wzmacniacza operacyjnego, czy też układu zarządzania zasilaniem. Wydłużanie czasu pracy z jednej baterii, liczonego już nie w miesiącach, ale w latach, nie zależy wyłącznie od „oszczędnego" mikrokontrolera. Równie ważne jest to, co dzieje się w zasilaniu i w domenie analogowej urządzenia. Znaczenie ma to, jak stabilizujemy napięcie, jak wzmacniamy sygnały z czujników, jak przełączamy kanały pomiarowe, a nawet... jakie kondensatory odsprzęgające (i w jakiej liczbie) stosujemy w naszym urządzeniu.

Otaczający nas świat jest niezmiennie analogowy, przynajmniej jeśli spojrzeć nań w skali makroskopowej. Zanim jakikolwiek sygnał wejściowy trafi do przetwornika ADC, musi zostać najpierw odpowiednio uformowany: wzmocniony, przefiltrowany, czasem przełączony z kilku dostępnych źródeł. Każdy z tych etapów zużywa energię, czy to dynamicznie (w czasie przełączania), czy też statycznie. Dobra wiadomość jest taka, że współczesny rynek oferuje bardzo szeroką gamę ultraniskomocowych stabilizatorów LDO, wyjątkowo energooszczędnych, a zarazem zaskakująco wydajnych przetwornic DC/DC, a także wzmacniaczy operacyjnych, źródeł napięcia odniesienia czy przełączników analogowych, które pozwalają zbudować naprawdę „kulturalny" (z energetycznego punktu widzenia) tor sygnałowy – i to bez rezygnacji z przyzwoitych parametrów metrologicznych.

W artykule zebraliśmy przegląd wybranych kategorii takich układów. Omawiamy przykładowe komponenty od czołowych producentów oraz typowe zastosowania – od zasilania toru analogowego z baterii guzikowej aż po energooszczędne kondycjonowanie sygnału z termopary czy mostka tensometrycznego. Na końcu znalazło się też miejsce na praktyczne wskazówki projektowe, które pomogą zainteresowanym Czytelnikom uniknąć klasycznych pułapek czyhających na nas, konstruktorów, w systemach ultra-low-power.

Stabilizatory LDO o niskim prądzie spoczynkowym

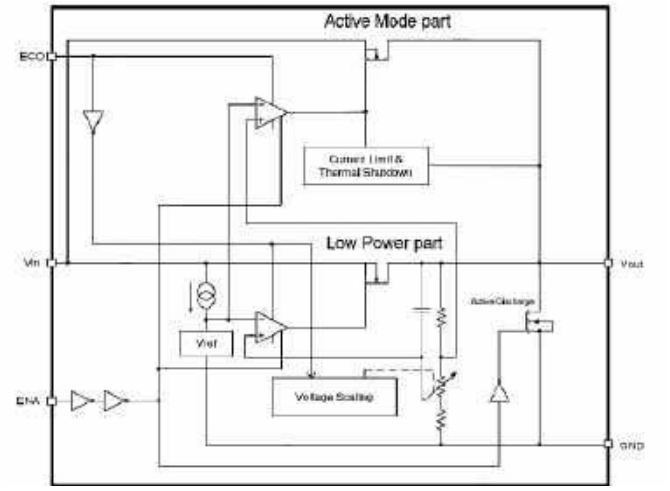
Klasyczne stabilizatory o niskim spadku napięcia (LDO – *Low Drop-Out*) cenimy przede wszystkim za możliwość pracy przy niewielkiej różnicy pomiędzy napięciami wejściowym a wyjściowym, a także (przynajmniej w większości konstrukcji) za relatywnie niski poziom szumu i prostotę aplikacji wynikającą z niewielkiej liczby obligatoryjnych elementów zewnętrznych. W urządzeniach bateryjnych kluczowy parametr to jednak prąd spoczynkowy, oznaczany zwykle literami I_Q – czyli prąd pobierany przez sam stabilizator przy małym obciążeniu lub wręcz w warunkach jego braku. To właśnie ten parametr w dużej mierze decyduje o tym, jak bardzo nasz zasilacz „podjada" energię z baterii lub akumulatora, gdy... reszta systemu smacznie śpi.

Jeszcze niedawno mikromocowe LDO pobierały „dla siebie" kilkadziesiąt mikroamperów. Dzisiaj dostępne są fantastyczne konstrukcje liniowych regulatorów napięcia o IQ liczonym w dziesiątkach nanoamperów. Przykład? Stabilizator TPS7A02 (**fotografia 1**) marki Texas Instruments ma ów parametr na poziomie (typowo) około 25 nA, a zarazem jest w stanie dostarczyć nawet do 200 mA prądu wyjściowego – i to bez dramatycznego pogorszenia pozostałych właściwości. Nieco słabiej, choć wciąż całkiem nieźle radzi sobie w tej kwestii układ STLQ020 produkcji ST Microelectronics – łączy

eprasa.pl e7970affa9

Fotografia 1: Stabilizator LDO TPS7A02 w obudowie X2SON o wymiarach 1,0×1,0 mm (https://t.ly/Or-Zx)

Fotografia 2. Różne obudowy stabilizatorów z serii STLQ020 marki ST Microelectronics (https://t.ly/QJKBq)

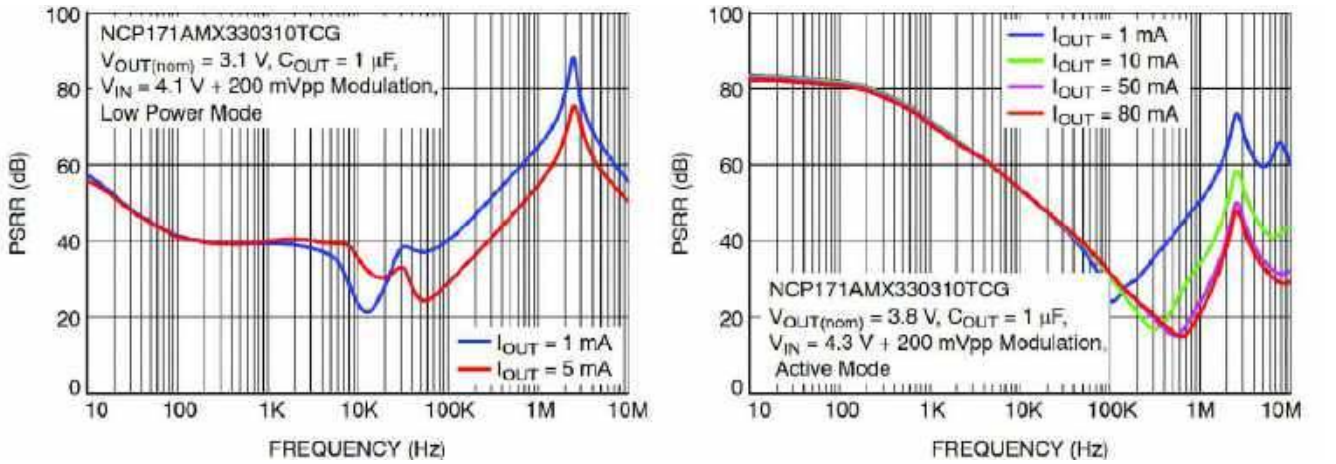


Rysunek 1. Budowa wewnętrzna stabilizatora NCP171 (https://t.ly/LGtve)

on bowiem zalety dość niskiego I_Q (rzędu 300 nA) z dopuszczalnym prądem wyjściowym dochodzącym do 200 mA.

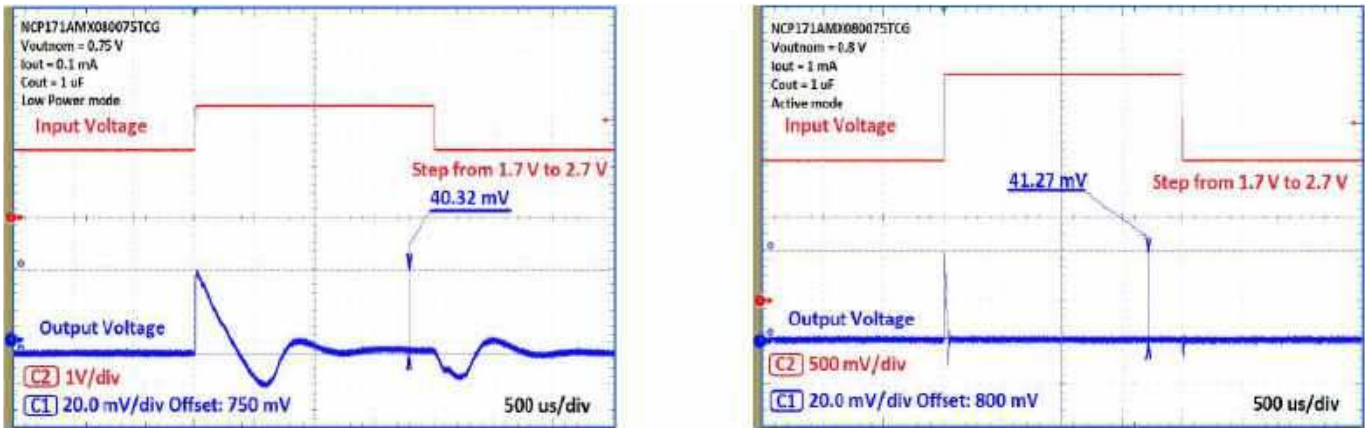
Bardzo ciekawą, choć dość unikalną grupę układów stanowią stabilizatory LDO z dwoma trybami pracy. Przykładowo NCP171 marki onsemi (**rysunek 1**) może pracować w trybie super-oszczędnym (IQ dochodzący typowo do 50 nA przy napięciu wejściowym nieprzekraczającym 5 V) albo w trybie „wydajnościowym", w którym rośnie wprawdzie pobór prądu zasilania samego stabilizatora, ale wydatnie poprawiają się parametry dynamiczne, rośnie też wydajność prądowa (80 mA w trybie Active Mode vs. 5 mA w trybie Low-Power Mode). Warto uważnie prześledzić notę katalogową stabilizatorów z serii NCP171 – jak na dłoni widać tu bowiem szereg ograniczeń, z jakimi muszą mierzyć się projektanci układów scalonych balansujący pomiędzy energooszczędnością, a wydajnością tworzonych rozwiązań. Przytoczymy tutaj dwa przykłady – na **rysunkach 2** i **3** pokazano odpowiednio charakterystyki PSRR w funkcji częstotliwości oraz odpowiedź impulsową na skokową zmianę napięcia wejściowego stabilizatora. Już na pierwszy rzut oka widać wyższość trybu aktywnego pod względem zarówno „kultury" pracy dynamicznej, jak i parametrów częstotliwościowych. Tym bardziej więc trzeba doceniać te układy, które oferują relatywnie niski pobór prądu i dobre parametry użytkowe – uzyskanie stabilizatora szybko reagującego na zmiany obciążenia i/lub zasilania, dobrze tłumiącego wysokoczęstotliwościowe składowe tętnień, a zarazem racjonalnie gospodarującego energią z zasilacza nie jest wbrew pozorom zadaniem łatwym.

Stabilizatory z dwoma trybami pracy stanowią wygodne rozwiązanie do układów, w których przez zdecydowaną większość czasu system śpi, ale co jakiś czas potrzebne jest obsłużenie skokowego wzrostu prądu (zwykle spowodowanego np. transmisją radiową czy też po prostu wybudzeniem mikrokontrolera i dokonywaniem obliczeń, zapisem danych do pamięci, etc.). Przeważnie pogorszone parametry w zakresie PSRR czy odpowiedzi impulsowej/skokowej, w trybie najoszczędniejszym z oszczędnych, nie będą szczególnie dotkliwe dla działania urządzenia – skoro procesor i inne układy i tak „śpią", to raczej nic ciekawego nie powinno też dziać się na liniach zasilania. Gwoli ścisłości trzeba jednak dodać, że o wspomnianych ograniczeniach warto pamiętać – chociażby dlatego, że dokładność stabilizacji napięcia może być wyraźnie gorsza w trybie oszczędnym, co może teoretycznie mieć znaczenie np. w wyniku zbliżenia się napięcia wyjściowego do progu zadziałania układu BOR mikrokontrolera. Oczywiście z problemem tego rodzaju zetkniemy się tylko, jeżeli napięcie spadnie zbyt mocno



Rysunek 2. Charakterystyki tłumienia tętnień wejściowych stabilizatora NCP171 w funkcji częstotliwości – porównanie osiągów w trybie *Low Power Mode* (po lewej) oraz *Active Mode* (po prawej) – https://t.ly/LGtve

eprasa.pl e7970affa9



Rysunek 3. Odpowiedź na skokową zmianę napięcia wejściowego stabilizatora NCP171 – porównanie osiągów w trybie *Low Power Mode* (po lewej) oraz *Active Mode* (po prawej) – https://t.ly/LGtve

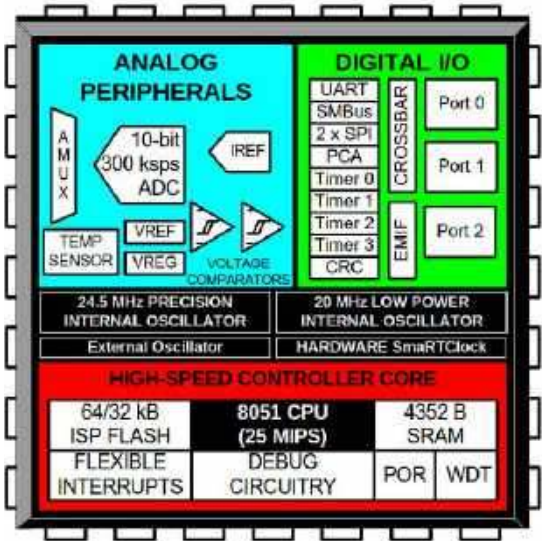
w czasie wybudzania urządzenia, a my nie założymy odpowiedniego marginesu bezpieczeństwa.

Przetwornice buck i boost z trybem PFM

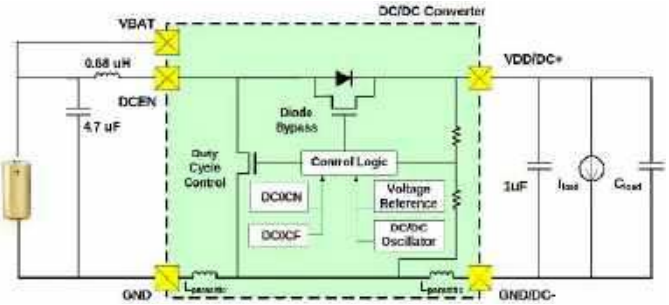
W praktyce można spotkać się z sytuacjami, w których samo LDO nie wystarczy. Zasadniczo można wskazać dwie kategorie takich przypadków:

- różnica między napięciem źródła a napięciem zasilającym układ jest duża. Jako przykład weźmy układ elektroniczny z 1,8-woltowym procesorem, który zasilany jest za pomocą jednego ogniwa litowo-polimerowego bądź litowo-jonowego o napięciu znamionowym 3,7 V (4,2 V w stanie pełnego naładowania);
- napięcie źródła trzeba podnieść, by umożliwić prawidłową pracę całego układu. Taka sytuacja może mieć miejsce chociażby w przypadku prostych urządzeń peryferyjnych – mysz komputerowa wyposażona tylko w jedną baterię typu (L)R6 o napięciu nominalnym 1,5 V nie będzie w stanie się uruchomić, jeżeli napięcia nie podniesiemy chociażby do 2 V (po to, by umożliwić nie tylko start procesora i czujnika optycznego, ale także zaświecenie czerwonej lub, co gorsza, białej diody LED).

W pierwszej z wymienionych sytuacji LDO zaczyna marnować sporo energii, a straty rosną proporcjonalnie do różnicy napięć (U_{we}-U_{wy}) oraz prądu pobieranego przez obciążenie. Zasadne wydaje się więc zastosowanie przetwornicy impulsowej typu buck (obniżającej napięcie), której sprawność nawet na poziomie „marnych" 80% będzie i tak doskonałym wynikiem w porównaniu do np. 50-procentowych strat energii w przypadku użycia samego tylko LDO. Przetwornica typu boost (step-up) okaże się natomiast absolutnie niezbędna w drugiej z opisanych sytuacji – nie jest bowiem



Rysunek 4. Schemat blokowy mikrokontrolera z rodziny C8051F9xx marki Silicon Labs (https://t.ly/ogpC5)



Rysunek 5. Schemat aplikacyjny wbudowanej przetwornicy DC/DC w mikrokontrolerze z rodziny C8051F9xx (https://t.ly/ogpC5)

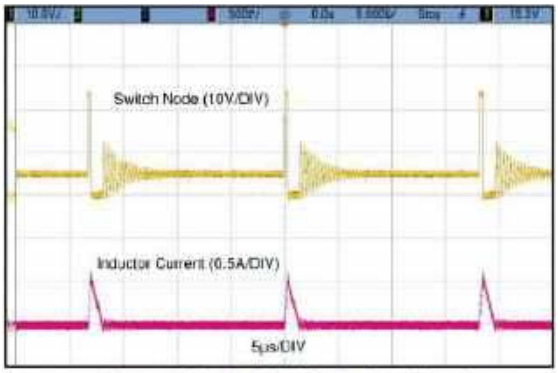


Figure 9. Typical PFM Switching Waveforms
V_{IN} = 24 V, V_{OUT} = 5 V, I_{OUT} = 50 mA

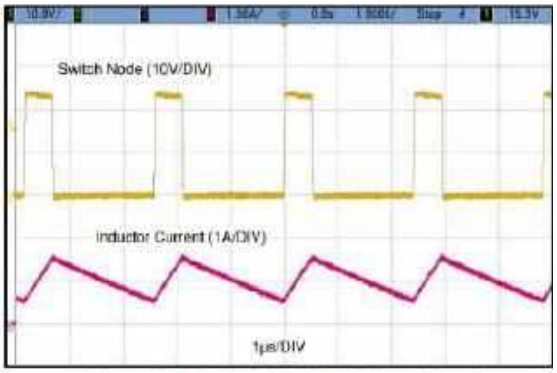
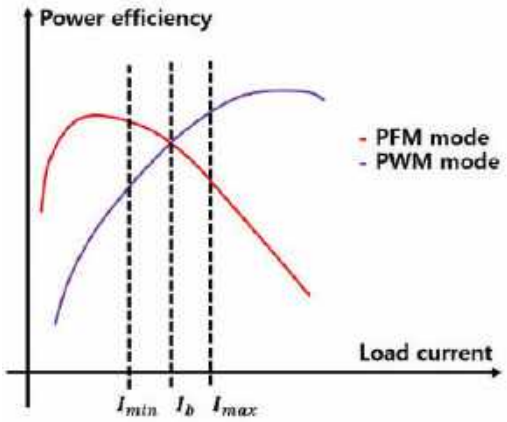


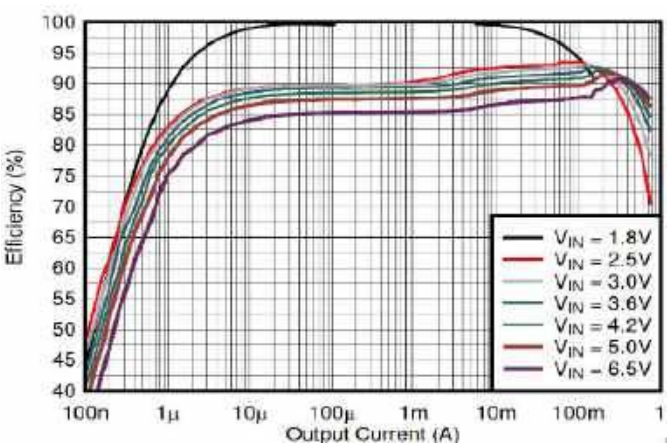
Figure 10. Typical PWM Switching Waveforms
V_{IN} = 24 V, V_{OUT} = 5 V, I_{OUT} = 1 A, f_S = 400 kHz

Rysunek 6. Porównanie trybów pracy przetwornic DC/DC: PFM (po lewej) oraz PWM (po prawej) – https://t.ly/TnjPZ

eprasa.pl e7970affa9



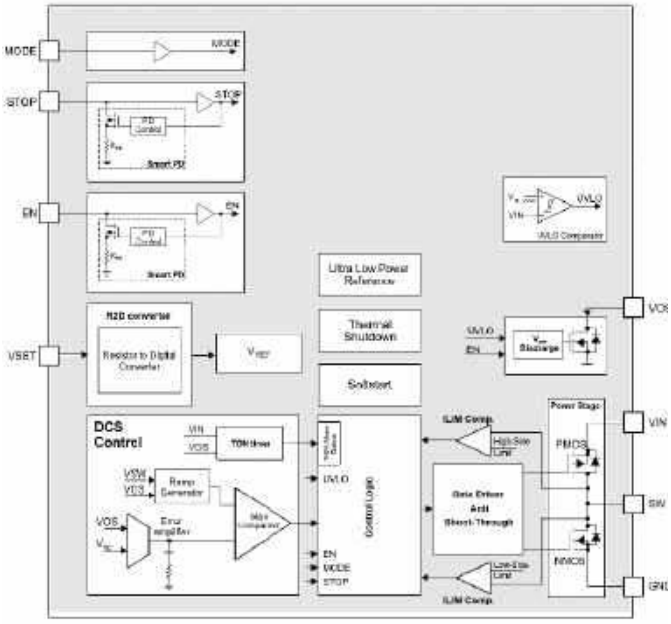
Rysunek 7. Porównanie sprawności konwerterów DC/DC pracujących w trybach PWM i PFM (https://t.ly/bG55Y)



Rysunek 8. Sprawność przetwornicy TPS62840 w funkcji prądu wyjściowego (https://t.ly/9TYPM)

łatwo znaleźć jakikolwiek mikrokontroler, który poradzi sobie z napięciem niższym niż 1,5 V. Wprawdzie na rynku była swego czasu promowana rodzina 8-bitowych procesorów C8051F9xx marki Silicon Labs o architekturze 8051 (**rysunek 4**), które były w stanie ruszyć już od napięcia 0,9 V, ale i tak było to możliwe za sprawą... wbudowanego w strukturę mikrokontrolera sterownika przetwornicy boost (sic!) – patrz **rysunek 5**.

W systemach niskomocowych stosuje się specjalne konstrukcje przetwornic impulsowych pracujące w trybie pulsacyjnym (PFM, burst), które przy małych prądach obciążenia generują krótkie „paczki" impulsów, a przez resztę czasu pozostają niejako w trybie uśpienia (**rysunek 6**). Taki tryb pracy pozwala znacząco zwiększyć sprawność konwertera DC/DC przy niskich prądach obciążenia (**rysunek 7**) – niektóre układy samoczynnie przełączają się pomiędzy modulacjami PFM a PWM w celu optymalizacji zużycia energii. Dobry przykład to TPS62840 (**rysunki 8** i **9**) – przetwornica obniżająca napięcie o zakresie wejściowym 1,8...6,5 V, zdolna dostarczyć do obciążenia nawet 750 mA prądu. Mimo tak dużej wydajności, typowy prąd spoczynkowy to zaledwie 60 nA, a w trybie pełnego wypełnienia (100%) pobór wciąż pozostaje niski i wynosi zaledwie 120 nA. Tak doskonałe osiągi pozwalają uzyskać typowy I_Q na poziomie 60 nA, czyli zbliżonym do czołowych stabilizatorów LDO z segmentu ULP (*Ultra-Low Power*). Co ciekawe, układ występuje w trzech rodzajach obudów, z których najmniejsza mierzy

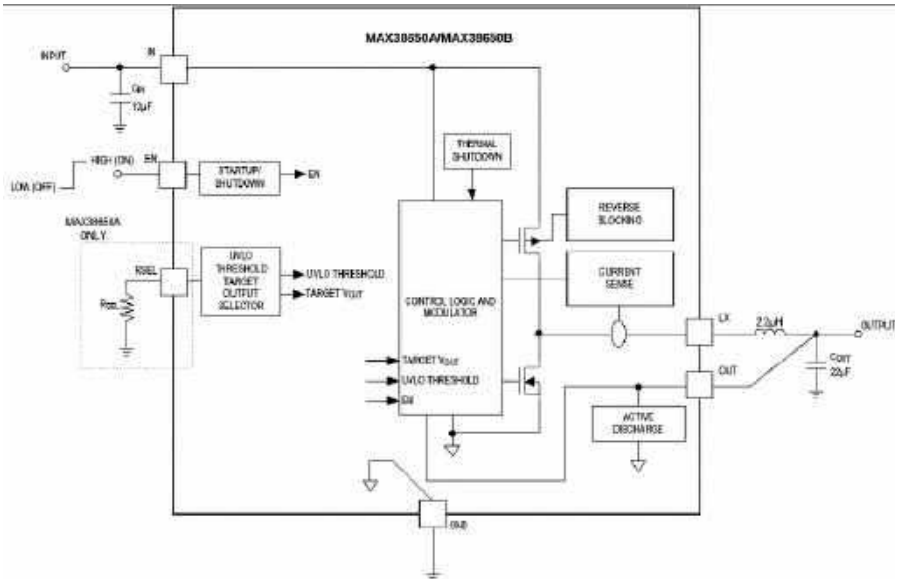


Rysunek 9. Schemat blokowy przetwornicy TPS62840 (https://t.ly/9TYPM)

zaledwie 0,97 mm × 1,47 mm. Z kolei MAX38650 (**rysunek 10**) marki Analog Devices to niewielka przetwornica o napięciu wejściowym 1,8...5,5 V i obciążalności do 100 mA, oferująca IQ na poziomie ok. 0,4 µA. W trybie wyłączenia prąd spada do około 5 nA.

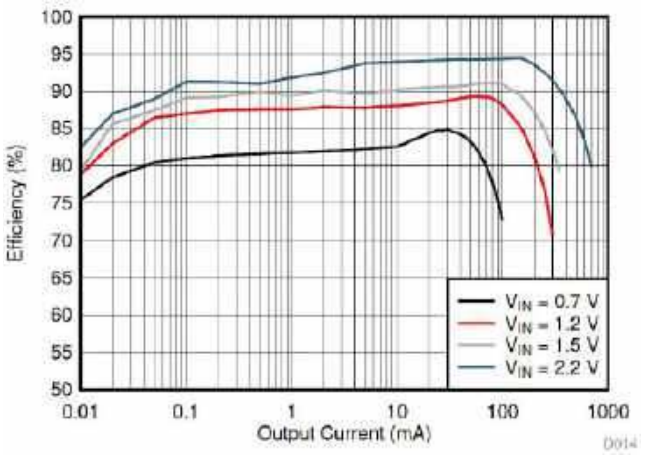
W świecie przetwornic boost także zaszły spore zmiany. Układy takie jak TPS61099x startują już przy napięciu wejściowym w okolicy 0,7 V, a w dość szerokim zakresie prądów wyjściowych i napięć zasilania utrzymują sprawność na poziomie powyżej 80% (**rysunek 11**). Co więcej, pobór prądu utrzymuje się na poziomie 1 µA w spoczynku lub przy niewielkim obciążeniu. Bardzo interesującym wyborem jest też rodzina układów MAX1722x (**rysunek 12**), która potrafi startować przy bardzo niskim napięciu wejściowym (teoretycznie od 400 mV) i – co ważne – radzi sobie także ze źródłami o relatywnie wysokiej rezystancji wewnętrznej (np. częściowo rozładowana bateria – patrz **rysunek 13**). Układy te nie tylko pobierają znikomy prąd statyczny (300 nA), ale oferują także funkcję „True Shutdown" (całkowite odcięcie wyjścia od wejścia, z prądem upływu na poziomie 0,5 nA).

Trzeba przy tym pamiętać, że wszystkie przetwornice impulsowe generują zakłócenia RFI, więc nawet maleńkie konwertery DC/

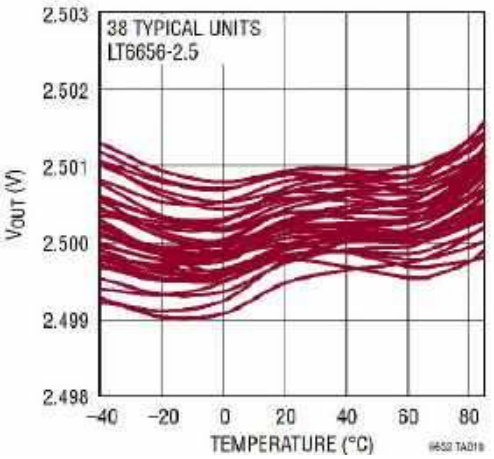


Rysunek 10. Schemat blokowy przetwornicy MAX38650 (https://t.ly/owEl0)

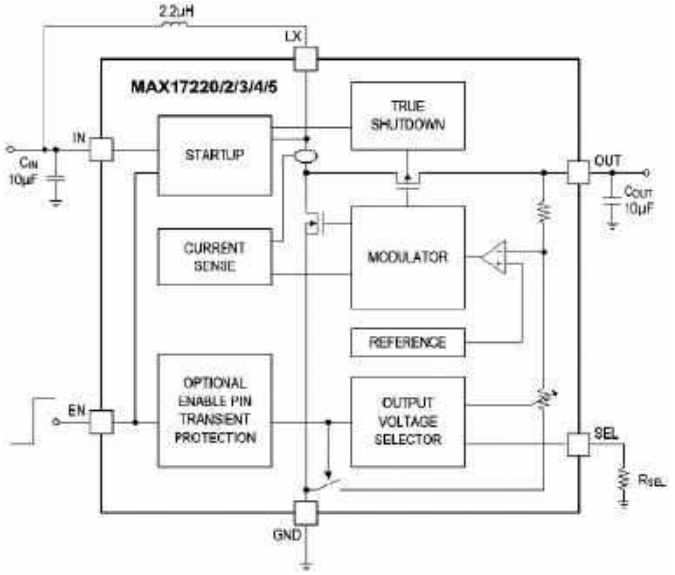
eprasa.pl e7970affa9



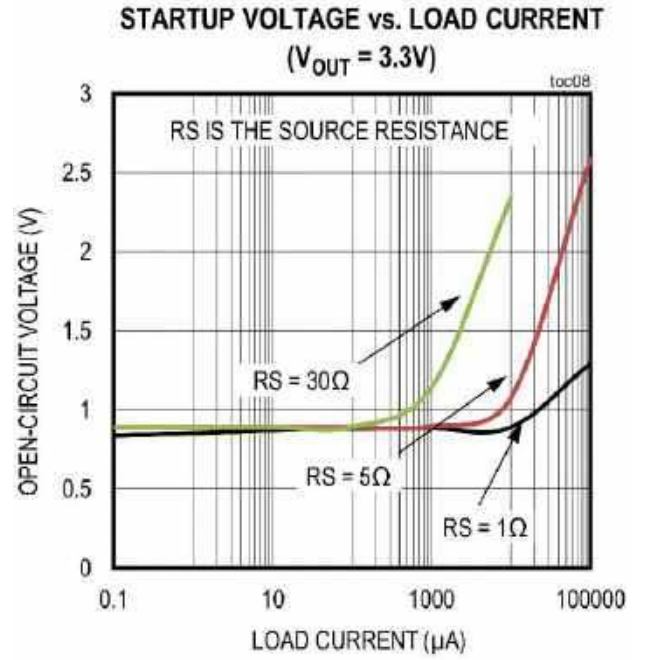
Rysunek 11. Sprawność przetwornicy typu TPS61099x w funkcji prądu wyjściowego (https://t.ly/S-aea)



Rysunek 14. Charakterystyki dryftu napięcia wyjściowego źródła typu LT6656 w funkcji temperatury (https://t.ly/1pq0w)



Rysunek 12. Schemat blokowy przetwornicy z rodziny MAX1722x (https://t.ly/HSbHl)



Rysunek 13. Minimalna wartość SEM źródła zasilania przetwornicy MAX1722x w funkcji prądu obciążenia, niezbędna do uruchomienia układu (https://t.ly/HSbHl)

DC stanowią główne źródło zaburzeń promieniowanych, widocznych w testach EMC urządzeń. Od strony układu widoczne są natomiast szerokopasmowe zaburzenia na liniach zasilania i masie. Dlatego też w aplikacjach z bardzo czułymi układami analogowymi zwykle stosuje się podejście hybrydowe:

- przetwornica impulsowa zasila główną część systemu (MCU, radio, peryferia),
- najbardziej wrażliwy front-end analogowy zasilany jest dodatkowo przez LDO, który filtruje szum przełączania.

Wybór między LDO a DC/DC zależy od profilu obciążenia. Jeżeli układ przez większość czasu pobiera kilka...kilkanaście µA – często paradoksalnie lepszy pod względem energetycznym będzie dobry stabilizator LDO, mimo nieporównanie niższej sprawności. Przetwornica okazuje się natomiast niezbędna, jeżeli układ pobiera wyższy prąd przez długi czas lub też mamy do czynienia z szerokim zakresem dynamiki zapotrzebowania na moc.

Źródła napięcia odniesienia o niskim dryfcie

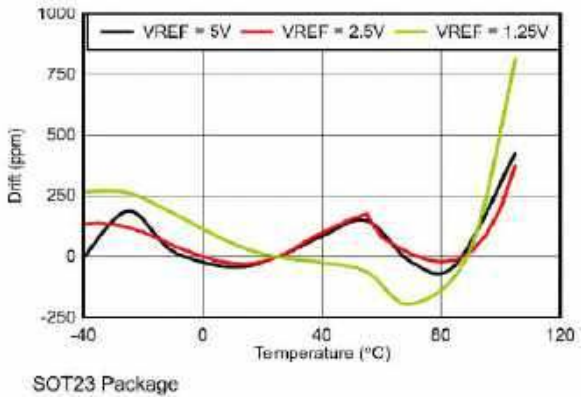
W precyzyjnych torach pomiarowych napięcie odniesienia jest równie ważne jak sam przetwornik ADC. Dodatkowo w systemach niskomocowych oczekujemy, że źródło napięcia referencyjnego zaoferuje:

- dobrą stabilność temperaturową (niski dryft wyrażony ppm/°C),
- niski poziom szumów,
- wysoką dokładność bazową,
- oraz – a jakże! – minimalny pobór prądu.

Przykładowo LT6656 (Analog Devices) to źródło typu bandgap, które przy poborze prądu około 850 nA oferuje dryft na poziomie 10 ppm/°C i dokładność początkową 0,05% (**rysunek 14**) – a przy tym jest w stanie dostarczyć prąd wyjściowy o natężeniu przynajmniej 5 mA. Z kolei typowe układy Texas Instruments z rodziny REF33xx (np. REF3330 – 3,0 V) mają dryft maksymalnie 30 ppm/°C przy poborze prądu na poziomie 3,9 µA i prądzie obciążenia ±5 mA. Nowsza seria TI REF35 schodzi z prądem statycznym jeszcze niżej (650 nA), oferując jednocześnie dryfty rzędu 10...12 ppm/°C (**rysunek 15**).

W aplikacjach niskomocowych często stosuje się niższe napięcia odniesienia (1,2...2,5 V), co pomaga ograniczyć zużycie energii zarówno przez samo źródło, jak i pozostałą część toru sygnałowego (z uwagi na mniejsze napięcia na mostkach pomiarowych czy też mniejsze prądy dzielników napięcia). Warto też pamiętać, że część układów ADC i mikrokontrolerów ma wbudowane źródła odniesienia, często wystarczające w prostych aplikacjach. Gdy jednak wymagamy wysokiej dokładności i stabilności, zewnętrzne źródło odniesienia bywa zdecydowanie lepszym wyborem – oczywiście jeżeli jesteśmy w stanie pogodzić się z faktem, że samo źródło będzie często jednym z najdroższych elementów całego urządzenia...

eprasa.pl e7970affa9



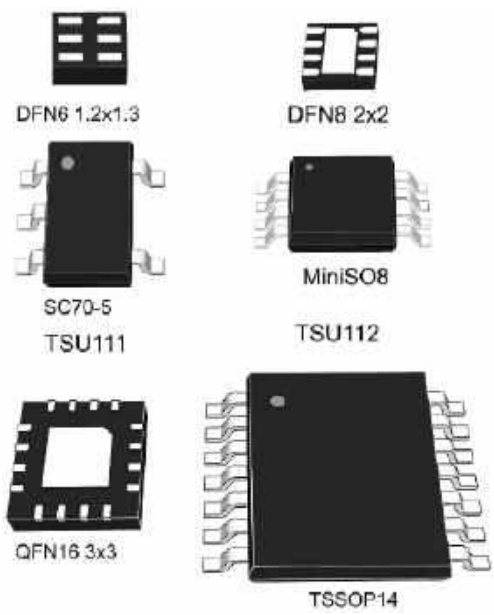
Rysunek 15. Dryft napięcia wyjściowego w funkcji temperatury dla układu REF35 (https://t.ly/K--uN)

Wzmacniacze operacyjne klasy „nano-power"

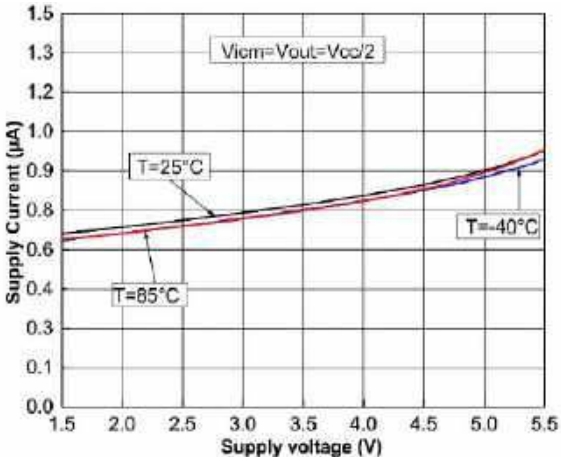
Większość czujników analogowych – termopary, mostki tensometryczne, fotodiody itp. – generuje sygnały o bardzo małej amplitudzie. Przed podaniem na wejście ADC trzeba je zatem wzmocnić, przefiltrować, a niekiedy także przesunąć poziom odniesienia (zwłaszcza w układach zasilanych napięciem niesymetrycznym). Klasyczne, precyzyjne wzmacniacze operacyjne pobierają zwykle od kilkuset mikroamperów do kilku miliamperów, co w systemach zasilanych np. baterią guzikową jest najczęściej całkowicie nieakceptowalne. Dlatego tak ważny okazuje się wybór odpowiedniego wzmacniacza z grupy określanej zwykle jako *nano-power opamp*.

Dobrym przykładem jest produkt marki ST Semiconductor o oznaczeniu TSU111 – wzmacniacz operacyjny pobierający około 900 nA na kanał (**rysunki 16** i **17**), przy napięciu offsetu ok. 150 μV i GBW rzędu 11,5 kHz. Wcześniejsza generacja TSU101 była jeszcze oszczędniejsza pod względem energetycznym (580 nA), ale miała offset rzędu kilku mV – co przy słabych sygnałach z czujników może stanowić istotny problem. TSU111 pokazuje, że wymogi „nano-power" i przyzwoita dokładność dadzą się połączyć, choć to także ma swoją cenę – wąskie pasmo robocze sprawia, że wzmacniacze tego typu nadają się tylko do pracy statycznej (np. jako wtórniki/bufory napięcia DC) lub niskoczęstotliwościowej (np. tensometr w wadze łazienkowej, czujnik temperatury czy też sensor CO).

W ofercie Texas Instruments ciekawą propozycją jest rodzina LPV8xx – wzmacniacze o prądach zasilania rzędu 425 nA,



Rysunek 16. Rodzaje obudów, w których dostępne są wzmacniacze operacyjne z serii TSU111 (https://t.ly/wgwfg)



Rysunek 17. Pobór prądu wzmacniacza TSU111 w funkcji napięcia zasilania (https://t.ly/wgwfg)

offsecie dochodzącym do 300 μV i bardzo małym dryfcie (1 μV/°C). Analog Devices z kolei oferuje m.in. układ LTC2063 – wzmacniacz typu *zero-drift* o poborze prądu do 2 μA i offsecie wejściowym w okolicach kilku μV.

Warto pamiętać o typowych cechach takich układów:

- **niski GBW** – iloczyn wzmocnienia i pasma plasuje się często w zakresie kilku...kilkunastu kHz,
- **mały slew rate** – szybkość narastania i opadania zboczy sygnału jest bardzo niska w porównaniu do klasycznych wzmacniaczy operacyjnych i wynosi np. kilka V/ms,
- **RRIO** – wejścia i wyjścia często mają konstrukcję pozwalającą na pracę w pełnym zakresie napięcia zasilającego, tj. od potencjału GND (a nawet nieco niżej w przypadku wejść), aż do (niemalże) pełnego potencjału dodatniej szyny zasilającej,
- **prądy polaryzacji wejść** są przeważnie bardzo niskie, na poziomie pA lub nawet fA (z uwagi na zastosowaną w niskomocowych wzmacniaczach operacyjnych konstrukcję opartą na tranzystorach FET).

Do wzmacniania i buforowania sygnałów wolnozmiennych – temperatury, ciśnienia, czy nawet niektórych biopotencjałów – takie parametry okazują się w zupełności wystarczające. Ważniejszym kryterium okazuje się zatem niski poziom szumu. Z kolei konstrukcja rail-to-rail pozwala zasilać takie wzmacniacze napięciem 1,8 V czy nawet 1,5 V, co znacznie upraszcza całą topologię zasilania.

Warto wspomnieć w tym miejscu o możliwości wyłączenia niektórych modeli wzmacniaczy za pomocą przeznaczonego do tego celu wejścia cyfrowego. Przykładowo wspomniane wcześniej układy z serii LTC206x umożliwiają zejście z prądem zasilania z typowej wartości 2 μA do zaledwie 170 nA w stanie uśpienia.

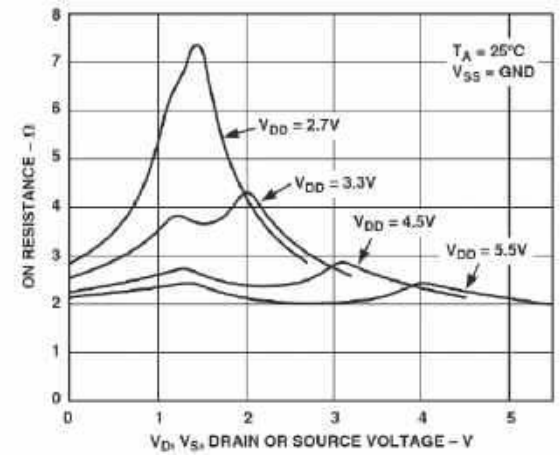
Poza zwykłymi wzmacniaczami operacyjnymi dostępne są też energooszczędne komparatory (np. TLV3691 o IQ na poziomie 75 nA) oraz wzmacniacze pomiarowe o niskim poborze mocy, o których szerzej za chwilę.

Analogowe multipleksery i przełączniki niskostratne

Gdy w systemie jest kilka lub kilkanaście czujników, a przetwornik ADC mamy tylko jeden, naturalnym rozwiązaniem jest zastosowanie przełączników i multiplekserów analogowych. W wersji „klasycznej" (np. stare serie CD405x) rezystancja w stanie przewodzenia (R_{ON}) rzędu kilkudziesięciu omów i nieszczególnie małe prądy upływu nie stanowią wprawdzie problemu w prostych układach, ale w precyzyjnych systemach low-power wnoszą już zauważalnie duży błąd pomiaru.

Dzisiejsze specjalizowane klucze analogowe mogą mieć rezystancję włączenia rzędu co najwyżej kilku omów i to już przy napięciu zasilania 3,3 V. Dla przykładu: Analog Devices oferuje szeroką gamę

eprasa.pl e7970affa9



Rysunek 18. Zależność rezystancji włączenia kluczy analogowych z serii ADG714/715 w funkcji napięć: przełączanego oraz zasilającego (https://t.ly/I-dMy)

układów z serii ADG7xx, która może poszczycić się dość niską rezystancją w stanie włączenia (2,5 Ω – patrz) oraz bardzo małym prądem upływu na poziomie 100 pA. Wprawdzie pobór prądu dochodzi do 20 μA, ale wciąż nie jest to wartość zatrważająco duża, zwłaszcza w przypadku urządzeń pomiarowych dysponujących akumulatorem o nieco większej pojemności.

Zasilanie i sterowanie prostszymi przełącznikami i multiplekserami analogowymi praktycznie nie obciąża energetycznie systemu – układ CMOS pobiera prąd głównie podczas przełączania. Dzięki temu multipleksery są bardzo wygodnym narzędziem do współdzielenia jednego toru pomiarowego pomiędzy wiele czujników, co w ogólnym rozrachunku może obniżyć całkowite zapotrzebowanie energetyczne systemu, zwłaszcza w porównaniu do analogicznego rozwiązania opartego na większej liczbie przetworników ADC czy wzmacniaczy operacyjnych.

Niskoszumne front-endy analogowe dla sensorów

Na końcu łańcucha sygnałowego coraz częściej znajduje się kompletny front-end analogowy – czyli układ scalony integrujący wszystko, co potrzebne do kondycjonowania i przetwarzania sygnału wejściowego. Tego rodzaju układy są zwykle kombinacją:

- wzmacniacza operacyjnego lub instrumentalnego, często o regulowanym wzmocnieniu,
- filtrów analogowych i/lub cyfrowych,
- multipleksera (w większości przypadków),
- przetwornika ADC,
- interfejsu komunikacyjnego (zwykle SPI i/lub I²C),
- źródła napięcia odniesienia (w większości przypadków),
- wewnętrznego oscylatora (jw.).

Jeżeli jednak żaden gotowy układ AFE nie odpowiada naszym wymogom (chociażby ze względu na rozmiary obudowy czy cenę), jesteśmy zmuszenia pójść ścieżką klasyczną i zbudować układ kondycjonowania „od zera". Poniżej prezentujemy kilka typowych scenariuszy, z jakimi mają do czynienia projektanci układów ULP.

Termometr z termoparą

Termopara typu K ma czułość około 41 μV/°C, czyli przy różnicy temperatur 100°C otrzymujemy raptem 4,1 mV. Oprócz wzmocnienia i digitalizacji sygnału napięciowego, w systemie trzeba też uwzględnić konieczność kompensacji temperatury odniesienia („zimnego" końca termopary). Idealnie nadaje się tu wzmacniacz klasy *nano-power* o „zerowym" dryfcie – np. LPV821 w konfiguracji ze wzmocnieniem rzędu 100...200 V/V. Niski offset (rzędu 10 μV) i mały dryft powodują, że błędy własne toru są znacznie mniejsze niż użyteczny sygnał z czujnika, a pobór prądu całości front-endu (przed samym przetwornikiem ADC) pozostaje w zakresie pojedynczych mikroamperów.

Tor termoparowy zwykle uzupełniamy o:

- filtr dolnoprzepustowy (temperatura przeważnie zmienia się dość wolno, więc można mocno ograniczyć pasmo, redukując przy tym szumy wejściowe),
- czujnik temperatury otoczenia (np. scalony sensor cyfrowy lub dokładny termistor), który służy do kompensacji zimnego końca termopary,
- ADC o możliwie wysokiej rozdzielczości (16...24 bity, topologia ΔΣ) lub ostatecznie dobry przetwornik wbudowany w MCU, pracujący w trybie nadpróbkowania.

Jeżeli zależy nam na maksymalnej prostocie urządzenia, możemy skorzystać ze specjalizowanego układu typu AD8495 – kompletny przetwornik scalony (termoparowy) pobiera prąd rzędu 180 μA, a zawiera w sobie różnicowy wzmacniacz wejściowy i czujnik temperatury do kompensacji zimnego końca. Z uwagi na znacznie większy pobór prądu, układ ten nadaje się jednak głównie do okresowego pomiaru (np. raz na minutę), niż do częstych pomiarów o wysokiej częstotliwości próbkowania.

Tor dla mostka tensometrycznego (czujnik ciśnienia)

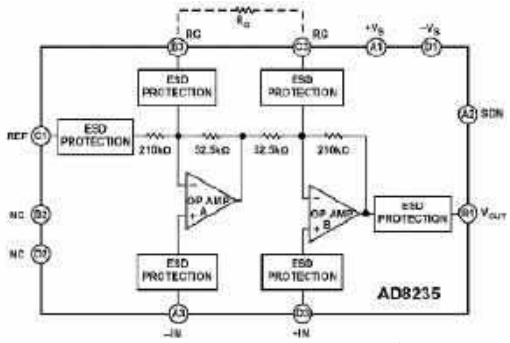
Większość czujników ciśnienia, siły czy wagi to mostki Wheatstone'a o rezystancji np. 5...10 kΩ, dające różnicę napięcia rzędu kilku...kilkudziesięciu mV na tle offsetu wspólnego, równego zazwyczaj połowie napięcia zasilającego. Tu naturalnym wyborem jest wzmacniacz pomiarowy o możliwie wysokim CMRR (przede wszystkim dla DC oraz pasma sieciowego, czyli 50/60 Hz), niskim szumie i – w wersji low-power – możliwie małym IQ.

Przykładowy układ AD8235 pobiera maksymalnie około 40 μA, pracuje już przy napięciu 1,8 V, a jego CMRR przy typowych wzmocnieniach utrzymuje się na poziomie powyżej 100 dB w zakresie częstotliwości do kilkuset miliherców i spada do 60 dB przy 50/60 Hz. Wzmocnienie ustawia się jednym rezystorem, a wyjście można podłączyć bezpośrednio do ADC. Co więcej, ponieważ w systemach niskomocowych często stosuje się kluczowanie zasilania czujnika (mostek jest zasilany tylko na czas pomiaru, po czym napięcie jest odcinane tranzystorem MOSFET), wzmacniacze takie jak AD8235 często są wyposażone w wejście pozwalające na uśpienie układu. W stanie wyłączenia wzmacniacz pobiera prąd rzędu pojedynczych nanoamperów.

Zasilanie front-endu czujnika z baterii guzikowej

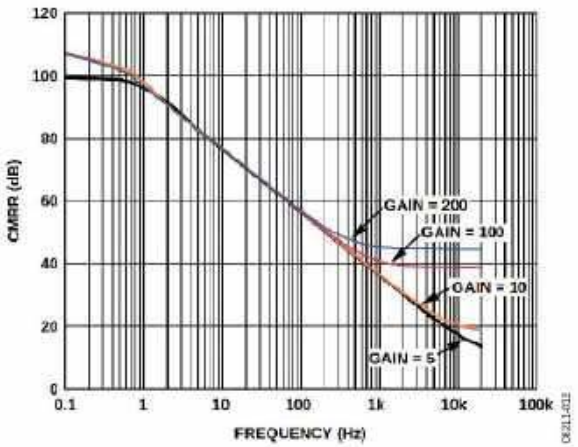
Typowy scenariusz: mały czujnik środowiskowy (temperatura, wilgotność, ciśnienie) zasilany jest za pomocą baterii CR2032. Mikrokontroler i radio mogą być zasilane bezpośrednio z baterii, ale dla domeny analogowej potrzebne jest zwykle stabilniejsze napięcie – np. 1,8 lub 2,5 V. Do tego celu świetnie nadają się niskomocowe stabilizatory LDO, np. wspomniany NCP171.

Jeśli front-end w czasie pomiaru potrzebuje chwilowo większych prądów (np. dla krótkotrwałego zasilenia czujnika, ładowania



Rysunek 19. Schemat blokowy wzmacniacza AD8235 (https://t.ly/Rjgyo)

eprasa.pl e7970affa9



Rysunek 20. CMRR w funkcji częstotliwości – dane dla układu AD8235 (https://t.ly/Rjgyo)

kondensatorów, rozpoczęcia transmisji radiowej itp.), można przełączać LDO w tryb „aktywny", w którym rosną parametry dynamiczne i wydajność prądowa, kosztem dodatkowych mikroamperów prądu własnego. Alternatywnie, przy bardziej „skokowym" profilu obciążenia, można użyć przetwornicy typu buck (jak TPS62840) i zasilać z niej zarówno MCU, jak i tor analogowy, a najbardziej czułe fragmenty sygnału odsprzęgać za pomocą dodatkowych filtrów i ew. małego stabilizatora LDO.

W projektowaniu układów ULP (*ultra-low power*) kluczowe jest zaplanowanie, co naprawdę musi być zasilane ciągle, a co można odcinać tranzystorem lub za pomocą wejścia sterującego (EN, SHDN itp.). Nierzadko okazuje się, że ciągłego zasilania wymaga tylko niewielki fragment toru (np. komparator wykrywający zdarzenie), a resztę można wybudzać tylko co pewien czas.

Bezprzewodowy czujnik ciśnienia

Kolejny przykład to czujnik ciśnienia atmosferycznego z bezprzewodową transmisją (np. LoRa), zasilany z baterii litowej 3,6 V typu 1/2AA. Pomiar co 5 minut, transmisja raz na godzinę lub rzadziej.

Przykładowy front-end może wyglądać następująco:

- Mostkowy (niewzmocniony) czujnik ciśnienia jest zasilany z precyzyjnego LDO 3,0 V, ale tylko w czasie pomiaru (załączany przez tranzystor P-MOS lub wejście sterujące samego stabilizatora).
- Sygnał z mostka wzmacnia precyzyjny, niskoszumny wzmacniacz instrumentalny (scalony lub zbudowany na bazie osobnych wzmacniaczy operacyjnych, np. OPA333) – tym razem pobór prądu to przynajmniej 20 µA, ale tylko przez kilkanaście milisekund.
- ADC (np. wbudowany w mikrokontrolerze lub osobny układ typu ΔΣ) działa wyłącznie w czasie pomiaru, przez pozostały okres pozostaje w stanie głębokiego uśpienia.

Średni pobór prądu front-endu to suma krótkich impulsów kilkudziesięciu µA co kilka minut, plus prąd spoczynkowy elementów, które muszą pracować ciągle (zwykle bardzo niewielki). Pod względem bilansu energetycznego układ taki prezentuje się zdecydowanie lepiej niż alternatywna wersja z ciągłym podtrzymywaniem zasilania mostka i wzmacniacza. Co ważne, dokładność pomiaru pozostaje wysoka, bo w czasie pracy toru analogowego korzystamy z dobrej jakości wzmacniacza i precyzyjnego źródła napięcia odniesienia.

Uwagi projektowe dla układów niskomocowych

Na koniec zebraliśmy kilka praktycznych wskazówek, które warto mieć z tyłu głowy przy projektowaniu systemów low-power z torami analogowymi.

- **Dopasowanie typu regulatora do profilu obciążenia**

  Jeżeli układ przez 99% czasu śpi, to kluczowy okazuje się statyczny pobór prądu IQ – najlepiej rzędu dziesiątek lub co najwyżej setek nA. Jeżeli obciążenie ma charakter bardziej ciągły niż impulsowy, konieczna okaże się zwykle przetwornica impulsowa o dobrej sprawności. To samo dotyczy także układów o wysokiej dynamice poboru prądu, np. gdy sporadyczna transmisja odbywa się z użyciem prądożernego modułu GSM. Im mniejszy jest dopuszczalny spadek napięcia na LDO (określany mianem *drop-out voltage*), tym lepiej wykorzystana pojemność baterii lub akumulatora, zwłaszcza gdy pod koniec rozładowywania napięcie drastycznie spada, a rezystancja wewnętrzna ogniwa rośnie.
- **Rozdzielenie zasilania analogowego od cyfrowego**

  Gwałtowne skoki prądu po stronie cyfrowej (MCU, radio, pamięć) potrafią bardzo skutecznie „wstrząsnąć" czułą domeną analogową. Warto stosować osobne gałęzie zasilania (np. LDO dla toru pomiarowego, przetwornica dla reszty systemu), filtry RC, dławiki ferrytowe i przemyślane prowadzenie mas oraz płaszczyzn zasilania.
- **Uwaga na prądy upływu i polaryzacji!**

  Przy stosowaniu rezystorów rzędu megaomów każdy nanoamper zaczyna być widoczny. Warto zatem wybierać wzmacniacze o prądach wejściowych na poziomie pikoamperów, stosować pierścienie ekranujące (tzw. *guard rings*) w newralgicznych węzłach, a także zadbać o czystość PCB i stosowanie odpowiednich powłok konformalnych. W specyfikacji tranzystorów, przełączników analogowych i ADC zawsze trzeba sprawdzić prądy upływu w najwyższej spodziewanej temperaturze pracy.
- **Świadomy wybór pasma i szumu**

  Im szersze pasmo i mniejszy poziom szumów własnych, tym z reguły większy pobór prądu – dotyczy to głównie (ale nie tylko) wzmacniaczy operacyjnych. Dla wielu czujników środowiskowych wystarczy GBW dochodzący do kilku lub kilkunastu kiloherców. Co ważne, lepiej użyć wolniejszego, ale oszczędnego wzmacniacza i dodatkowo ograniczyć szum przez filtrację, niż „na wszelki wypadek" zastosować szumiący i prądożerny wzmacniacz o iloczynie wzmocnienia i pasma na poziomie 1...10 MHz.
- **Znaczenie temperatury i dryftów**

  Parametry podawane w środku zakresu (25°C) mogą prezentować się świetnie, ale system IoT w terenie będzie pracował w zakresie od –20 do +60...70°C. Trzeba zatem sprawdzić, jak zmieniają się wartości I_Q, R_{ON}, prądy upływu i polaryzacji, napięcia odniesienia czy offsety wzmacniaczy w pełnym zakresie temperatur i ocenić, czy sumaryczny błąd jest akceptowalny. Często opłaca się przewidzieć prostą procedurę kalibracji fabrycznej lub okresowej.
- **Optymalne wykorzystanie trybów uśpienia**

  Większość współczesnych elementów analogowych jest wyposażona w piny sterujące zasilaniem (EN/SHDN). Warto z nich korzystać i wyłączać wszystko, co nie jest bezwzględnie potrzebne w danym momencie: wzmacniacze, źródła napięcia odniesienia, przetworniki, mostki itp. Trzeba tylko uwzględnić czasy „wybudzania" – np. stabilizacji napięcia odniesienia, ustalania parametrów pracy mostka czy kalibracji czujnika. Osobny temat, którym jednak nie będziemy się bliżej zajmować w ramach tego artykułu, to optymalizacja poboru energii przez sam mikrokontroler – tutaj możliwości są potężne, zwłaszcza w ramach rodzin ULP (np. STM32L4), o czym traktuje osobny artykuł w tym wydaniu „Elektroniki Praktycznej".

Podsumowanie

Projektowanie niskomocowych torów zasilania i front-endów analogowych to sztuka zachowania kompromisu między poborem mocy, szumem, dokładnością, kosztami i złożonością systemu. Dzisiejsza oferta LDO, przetwornic, nanoamperowych wzmacniaczy operacyjnych i źródeł odniesienia daje konstruktorowi bardzo bogaty zestaw „klocków". Od tego, w jaki sposób je połączymy, zależy to, czy nasze urządzenie będzie wymagało wymiany baterii co kilka miesięcy, czy też poradzi sobie z niezawodną i nieprzerwaną pracą przez wiele lat.

inż. Przemysław Musz, EP

eprasa.pl e7970affa9

Sieć cyfrowych rozwiązań, ludzi, usług i partnerów

Już od ponad stu lat Conrad – rodzinna firma z siedzibą w Niemczech – z pasją operuje na rynku technologii i elektroniki jako czołowy dystrybutor komponentów, materiałów i sprzętu oraz wyposażenia warsztatowego. Od lat 90. działa także na rynkach międzynarodowych, nieustannie rozwijając swoją ofertę i kompetencje, zaś od 2021 roku stery tego renomowanego przedsiębiorstwa dzierży Ralf Bühler – doświadczony ekspert w dziedzinie B2B. W publikowanym przez nas wywiadzie opowiada, czym powinien charakteryzować się nowoczesny dystrybutor B2B, a także co oznacza efektywne zaopatrzenie.

Fotografia 1. Ralf Bühler, od 2021 roku dyrektor generalny firmy Conrad Electronic (fot. Daniel Tkatsch)

Conrad działa w Niemczech od 100 lat i od 15 lat w Polsce. Jakie wartości i elementy DNA firmy pozwoliły jej utrzymać się na rynku przez ponad stulecie?

Już nasz założyciel, Max Conrad, wyznaczył myśl przewodnią, która do dziś stanowi fundament naszego sukcesu: nie chcemy być jedynie sprzedawcą, lecz tworzyć realną wartość dodaną dla naszych klientów. Zaufanie do zmian jest częścią naszego DNA. Świat nieustannie się zmienia, podobnie jak potrzeby klientów, a naszą siłą jest umiejętność szybkiego i trafnego reagowania na te zmiany. Zmiana jest więc niejako motywem przewodnim historii naszej firmy.

Conrad to dziś znacznie więcej niż tylko sprzedawca technologii. Co jest kluczowe, aby utrzymać silną pozycję na rynku zdominowanym przez cyfrowych gigantów? Jakie strategie stosujecie, by budować przewagę konkurencyjną? Jakie konkretne korzyści oferujecie klientom B2B korzystającym z Waszej platformy?

Jako dystrybutor oferujący usługi na wysokim poziomie i zgodnie z DNA firmy Conrad nie chcemy po prostu sprzedawać artykułów technicznych, ale optymalizować procesy zaopatrzenia naszych klientów biznesowych i zwiększać ich efektywność. Warunki do tego tworzymy dzięki naszej platformie, która łączy wszystkie elementy naszej oferty. Dzięki asortymentowi dopasowanemu do potrzeb klientów B2B, spersonalizowanym usługom w zakresie zakupów i produktów oraz indywidualnemu doradztwu w obszarze optymalizacji procesów zakupowych, oferujemy kompleksowe rozwiązanie, które umożliwia firmom sprawne i efektywne zaspokajanie potrzeb technicznych – wszystko w jednym miejscu.

Jakie branże czerpią największe korzyści z Państwa rozwiązań i dlaczego?

Zasadniczo z Conrad Sourcing Platform mogą korzystać firmy z każdej branży i o różnej wielkości, które mają potrzeby techniczne do zaspokojenia. Naszą główną grupą docelową są jednak profesjonaliści oraz osoby odpowiedzialne za zakupy w sektorze przemysłowej produkcji i automatyzacji. To właśnie dla nich tworzymy kompleksowe rozwiązania, łącząc szeroki wybór produktów, w tym komponentów elektronicznych, systemów sterowania, aparatury pomiarowej, narzędzi oraz usług, które usprawniają cały proces zakupowy. Szczególnie mocną pozycję zajmujemy w obszarze elektroniki i komponentów elektronicznych. W ostatnich latach do grupy Conrad dołączyła również firma Electronic Direct, specjalizująca się w niestandardowych dostawach elementów elektronicznych. Dzięki temu możemy jeszcze skuteczniej wspierać klientów w realizacji nawet najbardziej wymagających projektów.

Jak Conrad Sourcing Platform wspiera optymalizację procesów zakupowych w firmach?

Indywidualnie dostosowana infrastruktura cyfrowa stanowi podstawę do dostarczania naszym klientom dokładnie tego, czego potrzebują: odpowiedniego produktu, we właściwym czasie i w odpowiedniej cenie. Współczesne przedsiębiorstwa funkcjonują pod coraz większą presją, dlatego oczekiwania wobec partnerów biznesowych są dziś wyższe niż kiedykolwiek wcześniej. Naszym głównym celem jest zapewnienie klientom biznesowym prawdziwego doświadczenia One-Stop-Shop, czyli kompleksowej obsługi w jednym miejscu. Oznacza to, że to my dopasowujemy się do procesów naszych klientów, a nie odwrotnie. Dzięki integracji z ich systemami cyfrowymi usprawniamy codzienną współpracę w obszarze eProcurement, wykorzystując różnorodne interfejsy i rozwiązania techniczne, które zapewniają płynność i efektywność całego procesu zakupowego.

Współczesne firmy coraz częściej skupiają się na eProcurement. Jakie znaczenie ma to podejście we współczesnych zakupach korporacyjnych?

Niezależnie od wielkości przedsiębiorstwa, w Conrad wciąż można robić zakupy w tradycyjny sposób, bezpośrednio w sklepie internetowym, korzystając ze specjalnych udogodnień dla klientów biznesowych. Jednak wdrożenie elektronicznego systemu

eprasa.pl e7970affa9

zakupowego, zwłaszcza przy zamawianiu tzw. części C, pozwala zaoszczędzić ogromną ilość czasu i pieniędzy. Celem jest przede wszystkim uproszczenie procesów i przyspieszenie przepływu pracy. Dzięki rozwiązaniom eProcurement można w pełni dostosować procesy zakupowe do struktury organizacyjnej firmy, przesyłać dane w czasie rzeczywistym, minimalizować ryzyko błędów oraz zapewnić szybką realizację zamówień. W efekcie dział zakupów zyskuje przestrzeń na to, co naprawdę ważne, czyli negocjowanie warunków z dostawcami, analizę cen i trendów rynkowych czy poszukiwanie nowych partnerów biznesowych.

Czy digitalizacja procesów zakupowych to konieczność, czy jedynie trend? Jakie wyzwania stoją przed firmami wdrażającymi cyfrowe rozwiązania zakupowe i w jaki sposób Conrad może im w tym pomóc?

Bardzo ważne jest, aby procesy po stronie klienta można było wdrożyć w możliwie najprostszy sposób. Jako dystrybutor klasy High Service doskonale rozumiemy te potrzeby i oferujemy dopasowane do nich, elastyczne rozwiązania. Mniejsze firmy mogą w prosty sposób zdigitalizować swoje zakupy techniczne dzięki Conrad Smart Procure – bezpłatnemu narzędziu eProcurement, działającemu w przeglądarce internetowej. Większym przedsiębiorstwom z własnymi systemami ERP proponujemy z kolei różnorodne interfejsy elektroniczne, pozwalające zintegrować nasz asortyment z ich infrastrukturą zakupową i zapewnić bezproblemowe połączenie z Conrad Sourcing Platform.

Technologie sztucznej inteligencji w coraz większym stopniu zmieniają procesy zakupowe. Jakie miejsce zajmuje sztuczna inteligencja w strategii Conrad i jaką rolę – mimo rosnącej automatyzacji – wciąż odgrywa czynnik ludzki we współczesnych zakupach?

Sztuczna inteligencja to bez wątpienia jeden z najgorętszych tematów ostatnich lat – trochę tak, jak niegdyś e-commerce, o którym mówił cały rynek. Dla mnie kluczowe pozostaje jednak pytanie: w jakich obszarach AI rzeczywiście tworzy realną wartość dodaną? Faktem jest, że miliony ofert produktowych na jednej platformie to skala, której człowiek nie jest w stanie samodzielnie przetworzyć. Dlatego właśnie potrzebujemy sztucznej inteligencji, by dane odpowiednio kategoryzować i optymalizować. Oczywiście analizujemy również, w jaki sposób AI może wspierać nas w obsłudze klienta. Czy chatbot ma w tym przypadku sens, czy może większą wartość stanowi po prostu łatwiejszy dostęp do funkcji samoobsługowych? W moim przekonaniu Conrad może skutecznie działać tylko w symbiozie człowieka i technologii. Postrzegamy siebie jako sieć cyfrowych rozwiązań, ludzi, usług i partnerów, dzięki której dostarczamy naszym klientom wszystkie elementy potrzebne do osiągnięcia sukcesu.

Automatyka odgrywa istotną rolę w wielu sektorach przemysłowych. Jaką wartość może wnieść firma Conrad, oferując rozwiązania i usługi dopasowane do indywidualnych potrzeb firm działających w tym sektorze?

Technika automatyzacji to jeden z najważniejszych obszarów, w którym od lat konsekwentnie rozwijamy nasz asortyment. Utrzymujemy wieloletnie partnerstwa z wiodącymi producentami, takimi jak Siemens, Schneider Electric, Wago, Molex, Phoenix Contact, Weidmüller, Festo, Puls czy Rittal. Obecnie nasi klienci mają do dyspozycji ponad 180 000 produktów z zakresu automatyki, a w całej ofercie Conrada znajduje się niemal milion artykułów, obejmujących kompletny wybór komponentów automatyzacji i pneumatyki. Jednak szeroki asortyment i szybka dostępność to dopiero początek. Oferujemy również szereg specjalistycznych usług, które wspierają codzienną pracę firm przemysłowych, takich jak kalibrację, produkcję płytek PCB, druk 3D czy serwis kablowy, umożliwiający zamawianie przewodów na dokładny wymiar.

Na koniec, czy mógłby Pan podzielić się swoją wizją przyszłości Conrada w nadchodzących latach?

Fotografia 2. Zautomatyzuj i ruszaj pełną parą – z Conrad jako partnerem (fot. Westend61/Getty Images)

Dostrzegamy znaczący potencjał wzrostu w dynamicznie rozwijającym się sektorze przemysłowym w Polsce i jesteśmy zaangażowani, aby być kluczowym czynnikiem umożliwiającym jego dalszy sukces. Oznacza to dla nas dalsze dostosowywanie naszej oferty do specyficznych potrzeb polskich branż, szczególnie w sektorach: produkcyjnym i automatyzacji. Dążymy do wzmocnienia naszych partnerstw z kluczowymi graczami w Polsce oraz poszerzenia naszego zakresu usług i wsparcia. Platforma cyfrowa to fundament, ale nasza siła w Polsce opiera się przede wszystkim na ludziach i procesach. Dysponujemy tu, na miejscu, wykwalifikowanym zespołem sprzedaży, który doskonale rozumie specyfikę polskiego przemysłu i potrafi doradzić optymalne rozwiązania techniczne, a nie tylko przyjąć zamówienie. Równie ważne jest dla nas profesjonalne, lokalne wsparcie klienta, gwarantujące szybką i merytoryczną pomoc na każdym etapie – od zapytania po obsługę posprzedażową. Całość spina nasz zaawansowany proces logistyczny. Dla klienta B2B oznacza to nie tylko dostęp do milionów produktów, ale przede wszystkim pewność, szybkość i niezawodność dostaw, co jest kluczowe dla zachowania ciągłości produkcji czy prac badawczo-rozwojowych. To właśnie ta kombinacja cyfrowej technologii, lokalnej ekspertyzy i sprawnej logistyki – stanowi naszą realną przewagę i wartość dla polskich klientów.

Partner wywiadu: Ralf Bühler, CEO Conrad Electronic

eprasa.pl e7970affa9

Uwaga na czas!

Czy można pozwolić na to, by napięcie na wejściach układów cyfrowych zmieniało się bardzo, bardzo wolno? Czy mogą wyniknąć z tego problemy? O tym, jakie mogą być konsekwencje i czy sezon ogórkowy to czas wypoczynku dla każdego? Zapraszamy do lektury!

Każda karta katalogowa układu uważanego za cyfrowy (przerzutnik, bramka, mikrokontroler, pamięć itd.) zawiera informację o maksymalnym czasie narastania napięcia wejściowego. Przykładowo dla układów z rodziny HC (**rysunek 1**) wartość ta mierzona jest w setkach nanosekund i zależy od napięcia zasilającego. Dlaczego tak jest? To żadna tajemnica: przełączające się tranzystory PMOS i NMOS, tworzące struktury CMOS, przez krótki czas stanowią zwarcie dla linii zasilającej – jeden z nich jeszcze nie otworzył się w pełni, zaś drugi – nie w pełni zatkał. **Rysunek 2** pokazuje zależność między pobieranym prądem a napięciem wejściowym dla układów z rodziny HC i HCT.

Piszę o nich dlatego, że tych pierwszych używam bodaj najczęściej, a ponadto wiąże się z nimi pewna historia, która była przyczynkiem do powstania tego artykułu: jej bohaterem jest układ 74HC595, czyli ośmiobitowy rejestr przesuwny z wyjściem równoległym. Bardzo lubię te układy i polecam je wielu osobom, ponieważ w stanie spoczynku pobierają prąd o zerowym (niemal) natężeniu i łatwo można je łączyć w kaskady. Jedno z opartych na nich rozwiązań zostało dawno temu zaprojektowane przeze mnie do tego,

Characteristics	Symbol	Rating	Unit
Supply voltage	V_{CC}	2 to 6	V
Input voltage	V_{IN}	0 to V_{CC}	V
Output voltage	V_{OUT}	0 to V_{CC}	V
Operating temperature	Topr	-40 to 85 (Note 1) -40 to 125 (Note 1)	°C
Input rise and fall time	tr, tf	0 to 1000 (Note 2) 0 to 500 (Note 3) 0 to 400 (Note 4)	ns

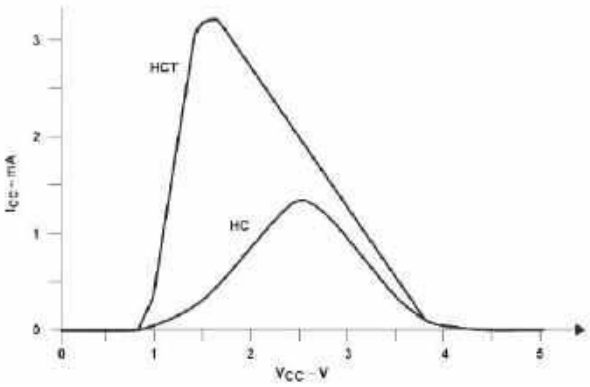
Note 1: Different by products

Note 2: V_{CC} = 2.0 V

Note 3: V_{CC} = 4.5 V

Note 4: V_{CC} = 6.0 V

Rysunek 1. Dopuszczalny czas narastania napięcia dla układów z rodziny HC [1]



Rysunek 2. Prąd pobierany przez układ w funkcji napięcia wejściowego [1]

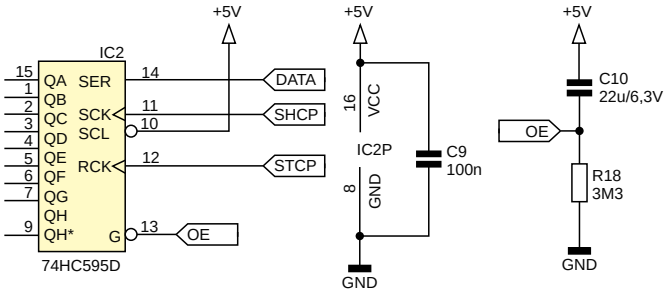
eprasa.pl e7970affa9

by skonfigurować stanami logicznymi odpowiednie wejścia większego systemu, po czym układ miał się uśpić i pobierać w tym stanie minimalną ilość energii – odpowiedzialny był za to mikrokontroler ATmega8. Tylko czemu ten mały układzik tyle prądu żre?!

Wszystko było zrobione prawidłowo, z jednym małym „ale". Otóż przez kilkadziesiąt sekund od włożenia baterii wyjścia 74HC595 miały znajdować się w stanie wysokiej impedancji, aby operator miał czas na włożenie tego urządzenia-konfiguratora do przeznaczonego dlań gniazda. Dlatego też, niewiele myśląc, dodałem stosowny układ RC, który miał to opóźnić – **rysunek 3** zawiera fragment schematu istotny dla wyjaśnienia tego zagadnienia. Wszystkie wejścia układu cyfrowego są spolaryzowane, więc w czym problem? Odpowiedź jest oczywista: w układzie RC opóźniającym załączenie wyjść.

Specjalnie dałem rezystor (ładujący kondensator) o wysokiej rezystancji, by zapewnić jak najmniejszy pobór prądu. I to było w porządku. Ale już nie w porządku było zastosowanie takiego obwodu do sterowania wejściem, które nie jest zaopatrzone w przerzutnik Schmitta. Liczyłem się z tym, że moment zmiany stanu logicznego, czyli załączenia wyjść, nie zostanie dokładnie ustalony, ale z tym, że układ zacznie pobierać ponad 4 mA – kiedy mikrokontroler jest już dawno uśpiony – ani trochę. Ostatecznie przerobiłem ten układ tak, by linią Output Enable sterować z mikrokontrolera, co załatwiło problem. Spędziłem jednak na tym sporo czasu zarezerwowanego na wakacyjny wypoczynek.

Piszę o tym, ponieważ podobny błąd jest powielany w wielu miejscach. Jednak czasem godzę się na niego, gdy: takie działanie jest jednorazowe podczas działania urządzenia, przetestowałem to już wielokrotnie, utrzymuję czas narastania nie dłuższy niż kilkadziesiąt milisekund (choć nadal dłuższy niż zaleca nota katalogowa) oraz wiem, że źródło zasilania bez problemu to wytrzyma. Trzeba być świadomym, że się coś takiego robi i jakie to może mieć konsekwencje – najpoważniejszą jest uszkodzenie podzespołu. Najlepiej byłoby stosować w takich miejscach przerzutniki Schmitta, choć nie zawsze jest na to powierzchnia na płytce; ponadto układy



Rysunek 3. Fragment schematu omawianego urządzenia

Features

- Wide Supply Voltage Range from 2.0V to 6.0V
- Sinks or sources 8mA at V_{CC} = 4.5V
- CMOS low power consumption
- Schmitt Trigger Action at All Inputs
- Inputs accept up to 6.0V
- ESD Protection Tested per JESD 22
  - Exceeds 200-V Machine Model (A115-A)
  - Exceeds 2000-V Human Body Model (A114-A)
  - Exceeds 1000-V Charged Device Model (C101C)
- Latch-Up Exceeds 250mA per JESD 78, Class II
- **Totally Lead-Free & Fully RoHS Compliant (Notes 1 & 2)**
- **Halogen and Antimony Free. "Green" Device (Note 3)**

Rysunek 4. Informacja o wejściach Schmitta w układzie 74HC595 [3]

DYNAMIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

At T_A = 25°C, Input t_r, t_f = 20 ns, C_L = 50 pF, R_L = 200 kΩ

CHARACTERISTIC	CONDITIONS V_{DD} (V)	LIMITS Min.	Typ.	Max.	UNITS
CLOCKED OPERATION					
Propagation Delay Time, t_{PHL}, t_{PLH} Decode Out	5	–	325	650	ns
	10	–	135	270	
	15	–	85	170	
Carry Out	5	–	300	600	
	10	–	125	250	
	15	–	80	160	
Transition Time, t_{THL}, t_{TLH} Carry Out or Decode Out Line	5	–	100	200	ns
	10	–	50	100	
	15	–	40	80	

Rysunek 5. Czasy przełączania wyjść układu z serii CD [4]

tego typu pobierają dodatkowe, niekiedy cenne mikroampery w stanie ustalonym. Dlatego w urządzeniach, od których nie wymaga się wysokiej niezawodności, czasem decyduję się uproszczone, choć nieidealne rozwiązanie.

Jeszcze inną kwestią jest fakt, że nawet układy z tej samej rodziny czasem mogą mieć wejścia Schmitta… albo ich nie mieć. Przykładowo SN74HC595 od Texas Instruments zawiera w swojej nocie katalogowej [2] tabelkę identyczną, jak ta z rysunku 1. Z kolei układ 74HC595 produkcji Diodes Incorporated ma dopisek informujący o tym, że wszystkie wejścia są wyposażone w przerzutniki Schmitta – **rysunek 4**. Który jednak uda się kupić w hurtowni – nie wiadomo, czasem nawet sami dostawcy wysyłają „analogiczne" zamienniki innego producenta, bez wcześniejszego uprzedzenia. Projektant nie ma więc gwarancji, że układ 74HC595 ma wejścia Schmitta – w przeciwieństwie do, na przykład, CD4093, dla którego jest to natywna cecha.

Wykres znajdujący się na rysunku 2 obrazuje również, dlaczego nie warto zostawiać „wiszących" wejść układów CMOS. Poza tym, że ich stan logiczny będzie wówczas nieustalony (a ładunki elektrostatyczne również „nie śpią"), to dzięki diodom zabezpieczającym potencjał tychże wejść ustali się mniej więcej w połowie napięcia zasilającego. Wynika to z prądu upływu tych diod, który jest w przybliżeniu jednakowy zarówno dla dolnej, jak i dla górnej diody, więc napięcia na nich będą praktycznie takie same. Zaś akurat w połowie napięcia zasilającego wypada maksimum poboru prądu przez układy z rodziny HC. Nieco mniejsza wartość natężenia prądu jest rejestrowana w przypadku HCT, bowiem ich górny próg przełączania wypada niżej niż w układach z serii HC, z uwagi na dostosowanie go do parametrów rodziny TTL.

Nie ma problemów z utrzymaniem żądanych czasów przełączania w przypadku sterowania wejść układów cyfrowych bezpośrednio z mikrokontrolerów czy innych układów cyfrowych. Układy z „mocarnymi" wyjściami, jak popularna ATmega8, dostarczają sygnałów o zboczach trwających pojedyncze nanosekundy, nie mówiąc o tak szybkich układach, jak chociażby FPGA. Jednak nawet tacy „słabeusze" (jak popularna seria CD) są w stanie wygenerować – przy napięciu 5 V – zbocze o czasie trwania wystarczającym do prawidłowego wysterowania układu z serii HC, na co dowód znajduje się na **rysunku 5**. Przy dostatecznie krótkich połączeniach oraz małej pojemności pasożytniczej ścieżek możemy mieć pewność, że te czasy nie ulegną nadmiernemu wydłużeniu.

Michał Kurzela, EP

Źródła:
[1] https://toshiba.semicon-storage.com/info/74HC4049D_application_note_en_20210131_AKX00107.pdf?did=63521&prodName=74HC4049D
[2] https://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74hc595.pdf
[3] https://docs.rs-online.com/81fa/0900766b812cd41f.pdf
[4] https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd4017b.pdf

eprasa.pl e7970affa9

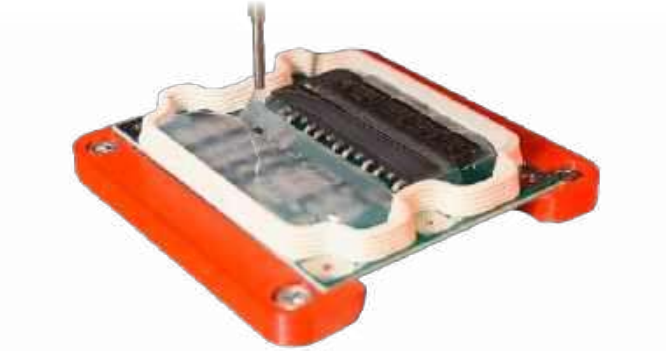
Metoda DAM & FILL – kiedy sięgać po to rozwiązanie

Płytki drukowane, stanowiące podstawę współczesnej elektroniki, występują w urządzeniach codziennego użytku – od smartfonów i sprzętu AGD, po systemy samochodowe, lotnicze czy militarne. Ich skomplikowane konstrukcje oraz delikatne komponenty są jednak podatne na zagrożenia środowiskowe, takie jak wilgoć, kurz, chemikalia czy ekstremalne temperatury. Bez odpowiedniego zabezpieczenia czynniki te mogą prowadzić do korozji, zwarć, a nawet całkowitej awarii, znacząco obniżając niezawodność urządzenia. Wraz ze wzrostem wymagań dotyczących jakości oraz trwałości urządzeń elektronicznych coraz częściej okazuje się, że standardowa, cienka powłoka lakiernicza nakładana na płytki drukowane nie zapewnia wystarczającej ochrony. Choć lakier skutecznie ogranicza wpływ wilgoci i podnosi niezawodność oraz żywotność układów, w wielu zastosowaniach konieczne staje się zastosowanie hermetyzacji z użyciem grubszej, odporniejszej warstwy materiału ochronnego.

Jednym z rozwiązań odpowiadających na te potrzeby jest technologia znana jako **DAM & FILL**, co można swobodnie przetłumaczyć jako „bariera i wypełnienie". W pierwszym etapie materiał o wysokiej lepkości, najczęściej jednoskładnikowy klej silikonowy o konsystencji pasty, jest dozowany jako „ściana" (dam) wzdłuż krawędzi lub wokół chronionego obszaru płytki PCB. Działa to jak mur oporowy lub tama zapobiegająca rozlewaniu się rzadszej zalewy, która zostanie użyta w drugim etapie. W kolejnym kroku przestrzeń wewnątrz tej bariery jest wypełniana materiałem o niskiej lepkości (fill) – może to być płynna zalewa silikonowa jedno lub dwuskładnikowa. Grubość warstwy zalewy wypełniającej zwykle wynosi około 5…10 mm, ale przy zastosowaniu zalew 2-składnikowych grubość może wynosić kilka centymetrów. Metoda **DAM & FILL**, chociaż wymaga dwóch oddzielnych etapów aplikacji, jest ceniona i często obecnie stosowana jako skuteczny sposób na hermetyzację elektroniki.

Oto główne korzyści wynikające z jej zastosowania:

- **Precyzyjna, selektywna ochrona**: Umożliwia zabezpieczenie wybranych, wrażliwych obszarów lub pojedynczych komponentów na płytce PCB, w przeciwieństwie zalewania (potting) całego modułu elektronicznego.
- **Kontrolowane wypełnienie (fill)**: Materiał wypełniający o niskiej lepkości dobrze penetruje małe przestrzenie pod i wokół komponentów, zapewniając pełną ochronę bez pozostawiania pęcherzy powietrza.
- **Zwiększona wytrzymałość**: Znacznie wyższa odporność na uszkodzenia mechaniczne, wstrząsy i wibracje.
- **Lepsza ochrona przed warunkami środowiskowa**: Skuteczniejsze zabezpieczenie przed korozją, chemikaliami oraz innymi niekorzystnymi czynnikami zewnętrznymi (wilgoć, kurz).
- **Optymalizacja kosztów i wagi**: Oszczędność materiału i redukcja całkowitej wagi urządzenia w porównaniu do pełnego zalewania.
- **Zarządzanie temperaturą**: Możliwość poprawy odprowadzania i rozpraszania ciepła (przy użyciu zalew termoprzewodzących).



DAM (tama) – Novasil S800 OTTO CHEMIE, FILL (wypełnienie) – Novasil S803 OTTO CHEMIE, film wykonany na maszynach firmy APCom)

- **Gwarantowana izolacja**: Zapewnienie wyższej, stabilnej izolacji elektrycznej.
- **Serwisowalność**: Możliwość lokalizacji uszkodzonego elementu oraz mechanicznego usunięcia powłoki w celu naprawy lub konserwacji.

W omawianej technologii najczęściej stosowane są preparaty silikonowe, zarówno jako tama, jak i wypełnienie. Należy jednak pamiętać o kilku podstawowych zasadach. Preparaty silikonowe RTV całkowicie bezpieczne dla elektroniki to silikony na bazie alkoholu lub acetonu, natomiast bezwzględnie należy unikać wariantów octowych. Natomiast w aplikacjach typu **DAM & FILL**, gdzie wypełniaczem jest dwuskładnikowy silikon addycyjny, do wykonania tamy należy stosować wyłącznie wyspecyfikowane **silikony RTV na bazie alkoholu**, aby zapewnić prawidłowe utwardzenie. Katalizator platynowy stosowany w dwuskładnikowych silikonach addycyjnych jest wrażliwy na niektóre substancje chemiczne, które mogą zahamować proces utwardzania.

W ofercie firmy BL elektronik znajdują się proste w dozowaniu preparaty jedno- i dwuskładnikowe, które mogą być nakładane automatycznie na liniach montażowych lub, w przypadku mniejszej skali produkcji, za pomocą ręcznych aplikatorów. Poniżej kilka wybranych preparatów z naszej oferty polecanych do metody **DAM &FILL**. Do tworzenia ściany:

- NOVASIL 800 firmy OTTO CHEMIE
- SilSo Bond 14000 firmy CHT – certyfikat UL94V0

Do wypełnienia:

- **NOVASIL 7605, NOVASIL 803** firmy OTTO Chemie, **AS1740** firmy CHT (certyfikat UL) – jednoskładnikowe zalewy silikonowe utwardzane wilgocią, płynna konsystencja, samopoziomujące.
- **QSIl553, SE3000** firmy CHT – dwuskładnikowe zalewy silikonowe addycyjne o podwyższonych właściwościach termoprzewodzących, certyfikaty UL94V0
- **NOVASIL 832, NOVASIL 835** firmy OTTO Chemie – dwuskładnikowe żele silikonowe addycyjne, bardzo miękkie po utwardzeniu.

Wybór właściwej metody hermetyzacji elektroniki wymaga szczegółowej analizy założeń projektowych, wymagań procesu produkcyjnego oraz skali produkcji. Odpowiednio dobrana powłoka może mieć kluczowe znaczenie w ochronie modułów elektronicznych przed czynnikami środowiskowymi, zapewniając tym samym niezawodność i trwałość urządzeń – od elektroniki konsumenckiej po systemy lotnicze.

BL elektronik
tel. 12 35 76 378, 696 483 020, www.blelektronik.com.pl

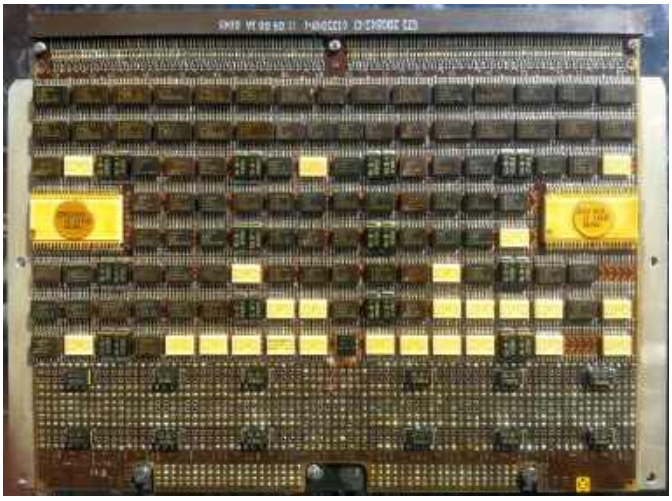
eprasa.pl e7970affa9

Powłoki konformalne, masy zalewowe i inne zabezpieczenia dla elektroniki

Elektronika użytkowa relatywnie rzadko wymaga szczególnej ochrony przed warunkami środowiskowymi. Zwykle nawet nie jest potrzebna szczelna obudowa. Gdy jednak okazuje się konieczne dodatkowe zabezpieczenie płytek drukowanych i komponentów przed warunkami środowiskowymi czy też zapewnienie lepszej izolacji, elektronicy mają do wyboru cały szereg powłok konformalnych i mas zalewowych.

Powłoka konformalna pełni dwie podstawowe funkcje. Po pierwsze zabezpiecza płytkę drukowaną i komponenty przed wpływem szkodliwych warunków środowiskowych (jak duża wilgotność czy reaktywne gazy) – najczęściej chodzi o ochronę przed zalaniem lub zanurzeniem w wodzie, a także przed substancjami żrącymi, jak wyciek elektrolitu z baterii lub akumulatorów. Po drugie powłoki konformalne dodają warstwę izolacyjną, która zmniejsza ryzyko zwarcia układów pracujących pod wysokim napięciem. W warunkach przemysłowych, górniczych czy w pojazdach chroni nie tylko przed zwarciem, gdyby do wnętrza urządzenia dostały się przewodzące prąd pyły (na przykład opiłki metalu), ale też redukuje ryzyko zapłonu gazów i cieczy łatwopalnych. Powłoka konformalna ma też właściwości „oddychające" – pozwala uwięzionej pod nią wilgoci na wydostanie się na zewnątrz. Dodatkowo w ostatnich latach zauważono, że powłoki konformalne ograniczają zjawisko tworzenia się cynowych „wąsów" i utleniania stopów lutowniczych, co wydłuża żywotność urządzenia i zmniejsza jego awaryjność. **Fotografia 1** prezentuje płytkę drukowaną z powłoką konformalną spełniającą wymogi pracy w kosmosie.

Masy zalewowe realizują te same funkcje, co powłoki konformalne, ale dodatkowo znacząco zwiększają wytrzymałość mechaniczną płytki i komponentów na niej umieszczonych. Są też znacznie lepszymi izolatorami, pozwalają bowiem na pracę z napięciami mierzonymi w dziesiątkach kilowoltów. Z drugiej strony znacząco pogarszają zdolność odprowadzania ciepła z układu, co może być przydatne, gdy urządzenie pracuje w ekstremalnie niskich temperaturach, ale raczej nie jest wskazane w normalnych warunkach. Dodatkowo, o ile powłokę konformalną można usunąć mechanicznie (lub niekiedy chemicznie) bez szkody dla urządzenia, to masy zalewowe zwykle są permanentne – zalane urządzenie staje się nienaprawialne.



Fotografia 1. Płytka drukowana jednego z komputerów (IBM AP-101S) promu kosmicznego NASA. Powłoka konformalna musi spełniać szczególnie surowe wymagania do pracy w kosmosie, nawet jeśli nie będzie narażona na działanie próżni

Powłoki konformalne – materiały i metody aplikacji

Istnieje szereg różnych powłok konformalnych. Jedną z historycznie istotnych jest kalafonia rozpuszczona w stężonym alkoholu, stosowana jako zabezpieczenie płytek drukowanych, a przy tym ułatwiająca lutowanie do miedzi. Została wyparta przez procesy cynowania i złocenia PCB oraz nakładania powłok fotorezystowych. Czasami jeszcze spotykana jest w konstrukcjach amatorskich, choć w obecnych czasach nawet hobbyści mogą sobie pozwolić na profesjonalnie wykonane płytki drukowane. Kalafonię rozpuszczano w spirytusie lub denaturacie, a następnie nakładano pędzelkiem na „gołą" płytkę drukowaną przed lutowaniem. Po lutowaniu można było nałożyć drugą warstwę, by zabezpieczyć połączenia.

Współcześnie stosuje się różne materiały do wykonywania powłok konformalnych. Jednym z prostszych do stosowania jest akryl. Polimetakrylan metylu (PMMA) jest bezbarwnym, transparentnym polimerem organicznym, stosowanym głównie jako zamiennik szkła. Rozpuszcza się w szeregu różnych rozpuszczalników i w tej formie stosowany jest jako lakier bądź farba, a także jako płynna powłoka konformalna. Akryl jest materiałem trwałym, odpornym na warunki atmosferyczne, o niskiej higroskopijności (0,4% masy), dość wytrzymałym i o niedużej elastyczności, ale za to miękkim i podatnym na zarysowania. Powłoka akrylowa zwykle zawiera różne dodatki, w tym pigment reagujący na światło UVA, co znacząco ułatwia kontrolę jakości po nałożeniu powłoki, choć sam akryl też ma słabe właściwości fluorescencyjne. Powłoki konformalne akrylowe można nakładać na wiele sposobów, od malowania pędzlem przez natryskiwanie pistoletem, aż po zanurzanie płytki w zbiorniku z płynną powłoką. Zaletą tej formy zabezpieczania PCB jest łatwość, z jaką można dobrać jej lepkość zależnie od potrzeb – dokonuje się tego przez zmianę stężenia rozpuszczalnika. Powłoki bardziej płynne łatwiej wnikną w najróżniejsze zakamarki, tworząc przy tym w miarę jednolitą, choć cienką warstwę. Przy większej lepkości warstwa będzie grubsza, ale powłoka nie wniknie aż tak dokładnie pod komponenty. Czas zastygania powłoki (odparowania rozpuszczalnika) to typowo nawet 24 godziny, choć okres ten ulega znacznemu skróceniu w wyższych temperaturach. Warstwy akrylu można usunąć tym samym rozpuszczalnikiem, który był składnikiem oryginalnej mieszaniny. Producenci powłok akrylowych (i innych) oferują dedykowane rozpuszczalniki, które nie uszkodzą komponentów. Relatywnie niska temperatura topnienia pozwala też przebić się przez powłokę grotem lutownicy, co producenci podkreślają w swoich notach katalogowych – nie ma zatem konieczności usuwania powłoki z całej płytki celem dokonania prostej naprawy.

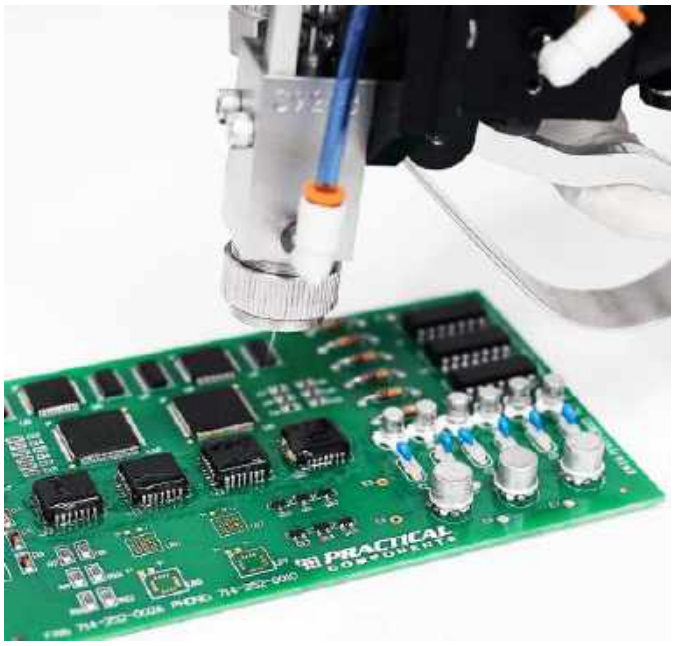
Poliuretan jest kolejnym, popularnym materiałem na powłokę konformalną. Jest to również polimer organiczny o wysokiej odporności na różne związki chemiczne, dlatego też nadaje się do stosowania w elektronice narażonej na kontakt z różnymi agresywnymi

eprasa.pl e7970affa9

substancjami. Dla ścisłości warto dodać, że poliuretan to nie jeden, specyficzny materiał, ale grupa polimerów uzyskiwana w wyniku różnych reakcji chemicznych. Poliuretan o niskiej gęstości (spieniony) znajduje zastosowanie jako wypełnienie meblarskie, element obuwia, a także jako podłoże dla roślin w ogrodach ściennych i dachowych, a także jako zwykłe gąbki do użytku w gospodarstwie domowym. Elastomery poliuretanowe mają zastosowanie jako paski i taśmy, a twarde poliuretany (niespienione) mają szereg zastosowań w najróżniejszych branżach, od rolniczej po motoryzacyjną. W budownictwie poliuretan jest wykorzystywany jako wypełniacz – w tym wypadku mieszanka dwóch składników jest rozpylana na podłoże, gdzie tworzy pianę, która szybko twardnieje w litą masę, jednocześnie zwiększając objętość. Termoplastyczne poliuretany (TPU) są z kolei popularnymi filamentami dla drukarek 3D, pozwalającymi na wydruk elementów o różnym stopniu elastyczności, zależnym od rodzaju filamentu i grubości detalu. Istnieją też warianty, które zawierają dodatkowe substancje spieniające, pozwalające modyfikować elastyczność zależnie od temperatury wydruku. Jako powłoka konformalna poliuretan zapewnia doskonałą odporność chemiczną i mechaniczną dzięki różnym dodatkom. Choć sam materiał jest higroskopijny, to powłoka zwykle nie przepuszcza wilgoci i chroni przed korozją. Podobnie jak w przypadku powłok akrylowych, poliuretan nie wymaga usuwania w celu dokonania napraw, a w dodatku pokrycia konformalne mogą być nanoszone na różne sposoby. W sprzedaży dostępne są zarówno w formie płynów, jak i aerozoli, ponadto na rynku można znaleźć rozpuszczalniki do tych powłok.

Powłoki konformalne oparte na żywicach epoksydowych są nieco bardziej skomplikowane w użyciu od wcześniej opisanych pokryć. Są to preparaty dwuskładnikowe: jeden z nich to właściwa żywica, zawierająca bazowe grupy funkcjonalne, zwane epoksydami. Drugi składnik to katalizator polimeryzacji, często zawierający inne polimery – pod jego wpływem grupy epoksydów zaczynają tworzyć sieć połączeń między sobą oraz z innymi polimerami lub związkami, z którymi mogą reagować. Żywice epoksydowe, ze względu na mnogość kombinacji i proporcji składników, oferują bardzo szeroką gamę właściwości fizycznych. W połączeniu z włóknem szklanym lub węglowym tworzą lekkie, acz wytrzymałe materiały kompozytowe, z których wykonuje się wszystko: od kajaków po lampy uliczne, od wanien i brodzików po łopaty turbin wiatrowych i karoserię samochodów. Żywice epoksydowe znalazły też szerokie zastosowanie w roli klejów (na przykład kotwy w płynie stosowane w budownictwie) i wypełniaczy. Powłoki konformalne oparte na żywicach epoksydowych są odporne chemicznie i fizycznie, wytrzymałe mechanicznie (zwłaszcza na ścieranie) i nieprzepuszczalne dla wody. Względną wadą tych materiałów jest trudność usuwania wykonanych z nich powłok, więc płytka pokryta epoksydem jest raczej nienaprawialna. Powłoka epoksydowa sprawdzi się natomiast doskonale wszędzie tam, gdzie panują trudne warunki pracy. Warto też pamiętać, że powłoka epoksydowa ma zbliżone właściwości termiczne do laminatu szklano-epoksydowego, z którego wykonuje się większość płytek drukowanych, więc przy zmianach temperatury nie będzie się deformować w tak dużym stopniu, jak inne powłoki.

Silikony to kolejna grupa materiałów stosowanych w roli powłok konformalnych. Są to polimery łączące grupy organiczne, krzem i tlen w bloki, które w wyniku polimeryzacji tworzą długie łańcuchy. Ze względu na duży wybór grup organicznych można uzyskać silikony o różnych właściwościach: od klejów przez smary i lubrykanty, aż po termoizolację. Można je znaleźć dosłownie wszędzie wokół nas – od narzędzi i naczyń kuchennych po elementy wyrobów medycznych (na przykład wkładki douszne do aparatów słuchowych). Silikony stosowane są też jako uszczelniacze, na przykład w przemyśle motoryzacyjnym występują w formie uszczelek



Fotografia 2. Pistolet do ręcznego nakładania powłoki konformalnej metodą natryskową. Sposób ten pozwala na nakładanie selektywne, a precyzyjna regulacja dozowania zapewnia równomierność powłoki

w płynie. W elektronice termoprzewodzące podkładki silikonowe zastąpiły kruche i bardzo delikatne podkładki mikowe. Powłoka konformalna z silikonu zapewnia dobrą izolację od środowiska, ale jednocześnie – ze względu na swoją elastyczność – pochłania wibracje, dzięki czemu jest rekomendowana do elektroniki stosowanej w branży motoryzacyjnej, lotniczej i morskiej. Ma też szerszy zakres temperatur pracy, od –40 do 200°C. Pozwala na lutowanie i jest łatwiejsza w usunięciu metodami mechanicznymi. Przez silikonową powłokę konformalną można też prowadzić ostrzejsze sondy bądź igły pomiarowe.

Poli-para-ksylileny (Paryleny) to grupa pokrewnych polimerów powstałych w procesie polimeryzacji para-ksylilenu. Powstały materiał znajduje zastosowanie głównie jako powłoka konformalna dla elektroniki czy ochronna dla implantów medycznych. W przeciwieństwie do polimerów organicznych parylen jest nieprzepuszczalny dla wody, chemicznie niereaktywny, a do tego tworzy jednolitą powłokę niezależnie od geometrii części nim pokrywanych. Wadą, i to znaczącą, jest proces nakładania parylenu: płytki należy umieścić w komorze próżniowej, a następnie pozwolić, by opary powłoki same pokryły płytki w temperaturze pokojowej. Często proces ten przeprowadza się w atmosferze para-ksylilenu. Elementy, które nie powinny być pokryte, jak złącza, należy wcześniej zabezpieczyć. Proces można przeprowadzić na wielu płytkach naraz, jednakże dla mniejszych producentów elektroniki dodanie tej powłoki konformalnej wymaga dodatkowej inwestycji. Hobbyści mogą natomiast zapomnieć o użyciu tej powłoki.

Ostatnią grupą materiałów stosowanych w roli powłok konformalnych są amorficzne fluoropolimery. Fluoropolimery to dość szeroka grupa materiałów stosowanych w najróżniejszych gałęziach przemysłu. Przykładem może być PTFE (poli(tetrafluoroetylen)), Czytelnikom lepiej znany pod nazwą Teflon. Powłoki konformalne są tworzone poprzez rozpuszczenie jednego z fluoropolimerów w bogatym we fluor rozpuszczalniku. Tak powstała, płynna powłoka nakładana jest na płytkę drukowaną, a rozpuszczalnik odparowuje. Warstwa jest hydrofobowa, oleofobowa i odporna na większość rozpuszczalników oraz innych związków chemicznych. Jeden z producentów podkreśla w nocie katalogowej odporność na promieniowanie gamma i wiązki elektronowe, co jest dość nietypową cechą. Powłoki te mają sporo zalet parylenu, ale

eprasa.pl e7970affa9

nie wymagają specjalizowanego procesu nakładania w komorze próżniowej.

Sposób nakładania powłok konformalnych zależy głównie od wielkości produkcji obwodów drukowanych i dostępnych środków finansowych na wyposażenie. W produkcji małoseryjnej czy wręcz pojedynczych sztukach na specjalne zamówienie stosuje się zwykle nakładanie pędzelkiem lub użycie powłoki w aerozolu. Dostępne są też ręczne pistolety do nakładania powłok z dużą precyzją, zapewniające jednolitą grubość warstwy (**fotografia 2**). Do nieco większych wolumenów można stosować nakładanie metodą zanurzeniową. **Fotografia 3** pokazuje maszynę przystosowaną do realizacji tej metody. Warto też rozważyć wygrzewanie pokrytej powłoką płytki w piecu, celem skrócenia czasu utwardzania polimeru. Rekomendowane są temperatury 65...100°C. Można też przeprowadzić wstępne wygrzewanie bądź osuszanie gotowej płytki inną metodą, by powłoka nie uwięziła żadnej wilgoci na płytce – choć dla większości powłok nie jest to konieczne, gdyż mimo wszystko pewną ilość wilgoci same pochłaniają lub przepuszczają.

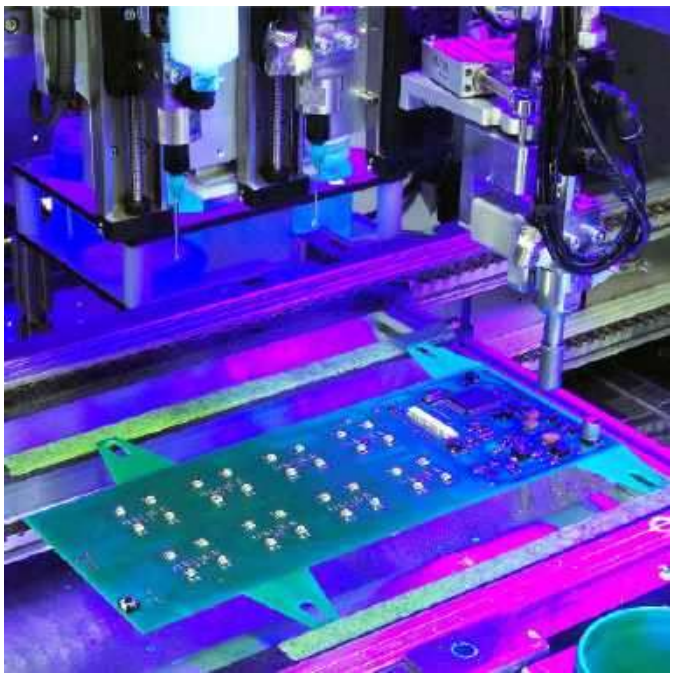
W produkcji wielkoseryjnej stosować można zautomatyzowane maszyny nakładające powłokę w sposób selektywny. Maszyna przemieszcza nad płytką głowicę z dyszą, atomizerem lub igłą i nakłada powłokę kontrolując prędkość przepływu i położenie głowicy. Znając lepkość powłoki, prędkość przepływu i położenie głowicy maszyna jest w stanie nałożyć powłokę w ściśle zdefiniowany przez projektanta sposób, zostawiając otwory montażowe, złącza czy pola stykowe wyeksponowane. Parylen, jak wspomniano wcześniej, wymaga komory próżniowej i zabezpieczenia wybranych obszarów przed nałożeniem jednorodnej, trwałej powłoki przez naparowywanie jej. Użycie komory próżniowej ma tę zaletę, że przy okazji z płytki i komponentów zostanie usunięta cała wilgoć powierzchniowa. Usuwanie wilgoci wchłoniętej przez tworzywa sztuczne obudów w próżni zachodzi powoli, co udowodniły eksperymenty różnych użytkowników druku 3D przy okazji osuszania filamentów. **Fotografia 4** pokazuje maszynę nakładającą selektywnie powłokę konformalną. Światło UV pozwala na inspekcję świeżo nałożonej powłoki, a także moduluje jej krzepnięcie (w przypadku powłok fotoutwardzalnych).

Masy zalewowe

Masy zalewowe radykalnie podnoszą wytrzymałość urządzenia bądź modułu, głównie na uszkodzenia mechaniczne czy wysokie napięcie, ale nie tylko. Masa zalewowa chroni przed wilgocią, korozją i wibracjami o wiele lepiej, niż powłoka konformalna. Odpowiednia masa skutecznie utrudni też proces inżynierii wstecznej. Moduły przetwornic o wysokiej klasie izolacji oraz mniejsze transformatory są zalewane w celu osiągnięcia dobrej separacji galwanicznej i ochrony delikatniejszych uzwojeń. Zalewanie jest stosowane powszechnie jako metoda enkapsulacji układów scalonych, tranzystorów, diod i modułów LED oraz innych, delikatnych półprzewodników. Stopione tworzywo (ABS, poliwęglan lub polipropylen) jest wtryskiwane do formy, w której znajduje się ramka nośna z wieloma układami. Następnie wyprowadzenia komponentów są odcinane od ramki, i w razie potrzeby wyginane maszynowo w pożądany kształt. Nadruki nanoszone są przez grawerowanie laserowe lub gumowym tamponem z farbą. Metoda ta jednak nie jest stosowana dla większych komponentów i gotowych modułów. Na przykład wyświetlacze i matryce LED są umieszczane wewnątrz otwartej z jednej strony obudowy, a następnie zalewane żywicą epoksydową i wygrzewane automatycznie celem przyspieszenia procesu polimeryzacji. Układy scalone w formie struktury umieszczanej bezpośrednio na płytce drukowanej (COB – przyp. red.) zabezpiecza się przez nakropienie wystarczającej ilości polimeru o tak dobranej lepkości, by ten utworzył jednolitą „kropkę" wokół układu. Proces nie jest doskonały, dlatego czasem kształt takiej zalewy nie jest okrągły lub widać niepokryte warstwą fotorezystywną odcinki ścieżek.

Fotografia 3. Maszyna do nakładania powłok konformalnych przez zanurzanie

Płytki i komponenty przeznaczone do zalewania umieszcza się zazwyczaj w obudowie, która jest z jednej strony otwarta – tam właśnie wlewana jest masa zalewowa. Czasami obudowa ta jest metalowa celem zapewnienia ekranowania, może też pełnić rolę radiatora dla komponentów większej mocy. Warto zatroszczyć się wcześniej o dobre wyczyszczenie i wysuszenie płytki (i opcjonalne dodanie pasty termoprzewodzącej, gdy jest potrzebna), by nie uwięzić resztek topnika, brudu czy wilgoci wewnątrz gotowego urządzenia – mogą one pogorszyć właściwości izolacyjne między kluczowymi



Fotografia 4. Automat do selektywnego nakładania powłok konformalnych z oświetleniem UV pozwalającym na automatyczną inspekcję warstwy

eprasa.pl e7970affa9

Fotografia 5. Crystal CMoy, wzmacniacz słuchawkowy zatopiony w akrylu. Po zdjęciu formy odlewniczej taki układ może wymagać dodatkowej obróbki mechanicznej: szlifowania i polerowania

ścieżkami lub wyprowadzeniami wewnątrz obwodu, co czasem skutkuje przebiciem, nawet pomimo użycia odpowiedniej masy. Dużym problemem może być tworzenie się pęcherzyków powietrza w masie zalewowej w trakcie jej wlewania do obudowy. By temu zapobiec można użyć masy o niskiej gęstości lub/i lepkości, zastosować element wibracyjny do zewnętrznej części obudowy (by jego drgania przyspieszyły ruch bąbelków ku górze) lub pracować w próżni w trakcie lub po zalaniu komponentu. Nic nie stoi na przeszkodzie, by zastosować wszystkie trzy metody naraz. W przypadku płytek z komponentami SMD rekomenduje się masy zalewowe o niskiej temperaturze zeszklenia (Tg), gdyż zbyt wysoka temperatura polimeryzacji prowadzi do naprężeń, które mogą spowodować pęknięcie lutów.

Nie zawsze forma, w której płytka jest zalewana, staje się częścią modułu. Z takimi sytuacjami mamy do czynienia w procesie odlewania, gdy forma odlewnicza jest wielokrotnego użytku (metalowa, silikonowa lub z płytek szklanych) albo jednorazowa (wykonana na przykład z papieru). Używając materiału transparentnego, jak na przykład akrylu, można wyeksponować wnętrze układu, jednocześnie chroniąc go przed uszkodzeniem. Jest to technika czasem spotykana w pojedynczych układach, gdy twórca jest dumny z walorów artystycznych konstrukcji, szczególnie konstrukcji przestrzennej (w „pająku"), która z reguły jest delikatniejsza od montażu na płytce. **Fotografia 5** pokazuje układ audiofilskiego (wpasowującego się w kategorię audiovoodoo) wzmacniacza słuchawkowego CMoy zatopionego w akrylu.

Pomijając szczególne przypadki, jak wspomniane wyżej użycie akrylu, do zalewania stosuje się trzy rodzaje mas: żywice epoksydowe, mieszanki poliuretanowe i silikony. Spośród tych trzech kategorii żywice epoksydowe oferują najlepszą wytrzymałość mechaniczną – wykazują analogiczne właściwości do żywic stosowanych w powłokach konformalnych, lecz w przeciwieństwie do nich są często barwione. Do wyboru są masy twarde i elastyczne, zależnie od składu samej żywicy. Istnieją też warianty wysokotemperaturowe. Mieszaniny są optymalizowane w kierunku niskiej lepkości, by lepiej penetrować nawet najmniejsze zakamarki zalewanego obwodu. Masy sztywne zapewniają ekstremalnie wysoką wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie oraz dobrą kleistość do wielu różnych materiałów. Warto jednak zwrócić uwagę na fakt, że w trakcie krzepnięcia (polimeryzacji) żywice się kurczą, co może prowadzić do niepożądanych naprężeń przy dużych płytkach. Przewodnictwo cieplne przykładowej masy epoksydowej wynosi 0,3 W/(m·K), a specyficzna pojemność cieplna to 2,3 J/(g×K). Temperatura zeszklenia wynosi 53°C.

Masy zalewowe oparte na poliuretanie występują zarówno w formie sztywnej, jak i bardziej elastycznej. Poliuretan dobrze przywiera do szeregu materiałów, wliczając w to szkło, metale i ceramikę, nie nadaje się zatem do użycia w większości form odlewniczych. W zamian za to oferuje wysoką odporność na wodę – do tego stopnia, że urządzenia i moduły zalane taką masą mogą bez problemu funkcjonować pod wodą. Masa elastyczna jest rekomendowana tam, gdzie występują komponenty SMD lub zachodzi ryzyko uszkodzeń od naprężeń. Masy poliuretanowe lepiej sobie radzą z wibracjami, kosztem mniejszej wytrzymałości mechanicznej w porównaniu do mas epoksydowych. Kurczliwość masy może być wyższa niż w przypadku epoksydowej, ale jej większa elastyczność rekompensuje to z nawiązką. Porównując przykładową masę poliuretanową i epoksydową, można zauważyć niższe dopuszczalne temperatury pracy tej pierwszej (–50...120°C w porównaniu do –40...140°C dla epoksydu). Przewodnictwo cieplne jest takie samo, ale specyficzna pojemność cieplna okazuje się wyższa i wynosi 2,7 J/(g·K).

Masy silikonowe to dość szczególny przypadek. Materiał tego typu tworzy gumę silikonową, która oferuje wysoką elastyczność, co daje w zamian bardzo dobrą odporność na wibracje i uderzenia, ale niezbyt zadowalającą odporność na ściskanie i rozciąganie. Masy te oferują bardzo szeroki zakres temperatur pracy przy zachowaniu swej elastyczności: –60...200°C, a w niektórych przypadkach nawet –115...200°C. Współczynnik przewodnictwa cieplnego może dochodzić nawet do 3 W/(m·K), a specyficzna pojemność termiczna: 1,25 J/(g·K). Korzystając z mas silikonowych należy zatem pamiętać, że zalany moduł nie tylko nie będzie odporny na stałe naprężenia i deformacje, ale też utrudni odprowadzanie ciepła (w porównaniu do innych rodzajów mas).

Własności elektryczne powłok konformalnych i mas zalewowych

Jednym z zastosowań mas zalewowych i powłok konformalnych jest ochrona przed zwarciami i wyładowaniami elektrycznymi. Przeglądając dane katalogowe można dojść do wniosku, że różne masy i powłoki oferują zbliżony poziom ochrony, zależny jedynie od grubości izolacji. Warto przy tym zaznaczyć, że zastosowanie powłoki konformalnej nie zwalnia konstruktora z konieczności zapewnienia odpowiednich odstępów między sąsiadującymi komponentami albo między komponentami, a metalową obudową. Niezbędne może być także dodanie szczelin izolacyjnych, frezowanych w płytce drukowanej w procesie jej produkcji.

Sprawdźmy zatem, co na ten temat mówi norma IEC-2221A, opisująca ogólne standardy projektowania płytek drukowanych. Tabela 1 zestawia wybrane odległości między przewodnikami dla różnych napięć maksymalnych (stałych i zmiennych), w przypadku płytek bez jakiejkolwiek izolacji, z izolacją podstawową (maską fotorezystywną) i z powłoką konformalną dowolnego typu, a także odstępy między wyprowadzeniami bez i z powłoką konformalną (wg wydania z maja 2003 roku).

Warto zwrócić uwagę, że dla wyższych napięć nie ma różnicy między powłoką konformalną i powłoką fotorezystywną płytki drukowanej. W praktyce powłoka konformalna przede wszystkim chroni pola lutownicze oraz ścieżki pozbawione soldermaski, jak na przykład ścieżki prądowe pokryte dodatkową warstwą cyny lub anteny mikropaskowe. Należy też pamiętać, że to są zalecenia wg standardów IEC. Wytyczne UL oraz normy obowiązujące w Polsce mogą się od nich nieco różnić.

Rozmaite źródła podają też, że dodanie powłoki konformalnej pozwala na zredukowanie minimalnych odstępów o połowę. Norma IEC podaje za to, że powyżej 500 V obecność powłoki nie robi żadnej różnicy dla wyprowadzeń, co wydaje się stać w sprzeczności

eprasa.pl e7970affa9

Tabela 1. Minimalne odstępy między ścieżkami i między wyprowadzeniami zależnie od napięcia maksymalnego i obecności powłok ochronnych lub konformalnych, za normą IEC-2221A (2003)

Napięcie (V)	Odstęp ścieżek bez maski fotorezystywnej [mm]	Odstęp ścieżek z maską fotorezystywną [mm]	Odstęp ścieżek z powłoką konformalną [mm]	Odstęp wyprowadzeń bez powłoki konformalnej [mm]	Odstęp wyprowadzeń z powłoką konformalną [mm]
0...15	0,1	0,05	0,13	0,13	0,13
31...50	0,6	0,13	0,13	0,4	0,16
51...100	0,6	0,13	0,13	0,5	0,13
301...500	2,5	0,8	0,8	1,5	0,8
>500	0,005 mm/V	0,00305 mm/V	0,00305 mm/V	0,00305 mm/V	0,00305 mm/V

Tabela 2. Własności elektryczne wybranych powłok konformalnych

Powłoka (typ)	Rezystywność [Ω·cm]	Napięcie przebicia [V]	Wytrzymałość dieelektryczna [kV/mil] [kV/mm]	Stała dielektryczna	Rezystancja izolacji [Ω·cm]
419D (akryl)	$4{,}6\times10^{14}$	>1500 (ASTM D149)	1 39,4	2,9 (@ 1 MHz)	1×10^{13}
4223F (poliuretan)	$3{,}5\times10^{13}$	>1500 (ASTM D149)	1 39,4	2,86 (@ 1 MHz)	1×10^{13}
EMCAST 1900 (żywica epoksydowa UV)	8×10^{15}	–	5,2 205	3,1 (@ 1 MHz)	–
422B (silikon)	$1{,}2\times10^{15}$	>1500 (ASTM D149)	1,056 41,6	1,99 (@ 1 MHz)	–
LT-8 (fluoropolimer)	–	–	5,2 205	3,0 (@ 1 kHz)	–

z logiką – szczególnie jeśli uwzględnimy to, co twierdzą sami producenci takich materiałów. Wybrane parametry elektryczne różnych powłok zostały zestawione w tabeli 2. Skompilowanie tabeli było o tyle trudne, że nie każdy producent udziela pełni informacji o swoich produktach. W przypadku powłok z parylenu znaleziono głównie odniesienia do norm IPC oraz usługi pokrywania, ale bez konkretnych szczegółów technicznych.

Według parametrów dodanie warstwy konformalnej o grubości 1 mil (0,0254 mm) powinno znacznie podnieść odporność na zwarcia i wyładowania. W praktyce jednak należy zakładać, że warstwa nie będzie miała jednolitej grubości na całej powierzchni, a do tego wszelkiego rodzaju zanieczyszczenia uwięzione pod nią mogą dodatkowo pogorszyć jej właściwości izolacyjne – stąd surowsze wymogi normalizacyjne. Dlatego w sytuacjach, gdy ważniejsza jest izolacja elektryczna, stosuje się masy zalewowe. Należy przy tym zaznaczyć, że nawet w przypadku mas zalewowych może dojść do pogorszenia własności izolacyjnych, jeśli na przykład zalewany moduł nie będzie czysty, a w masie uwięzione zostaną pęcherzyki powietrza. **Tabela 3** zestawia wybrane parametry elektryczne mas zalewowych (dla akrylu dane są orientacyjne). W **tabeli 4** ujęto natomiast parametry parylenów jako materiałów na masy zalewowe i powłoki konformalne, na bazie danych zebranych przez Google Gemini z dostępnej dokumentacji technicznej. Pod względem parametrów elektrycznych paryleny plasują się jako wręcz idealne materiały do zabezpieczania elektroniki. Szkoda jedynie, że ich dostępność jest ograniczona.

Inne formy zabezpieczenia przeciwzwarciowego

Zachowując bezpieczne odstępy i używając innych materiałów izolacyjnych można uzyskać wysoki stopień ochrony przeciwprzepięciowej i przeciwzwarciowej. Na podstawie tabeli 1 można wysnuć wniosek, że dodanie szczelin izolacyjnych o szerokości 1...1,5 mm przy marginesie odległości od szczeliny wynoszącym kolejny milimetr z każdej jej strony zapewnia adekwatną ochronę dla różnicy napięć do 1 kV. Zwiększenie marginesów o kolejny milimetr może tylko pomóc. Osobnym aspektem jest konieczność zachowania odstępów między płytką drukowaną a metalową obudową. Można przyjąć taką samą odległość, jak dla dystansu między wyprowadzeniami, czyli około 3 mm na kV. W praktyce jednak montaż płytki na tulejach dystansowych 5 mm nie gwarantuje tej ochrony, jeśli wyprowadzenia elementów przewlekanych nie zostaną odpowiednio skrócone. W takich przypadkach można zastosować przekładkę z materiału izolacyjnego między płytką a obudową. W tanich zasilaczach (szczególnie ATX) spotyka się przekładki z bezbarwnego tworzywa sztucznego (prawdopodobnie PET). Mimo przypuszczalnej wytrzymałości elektrycznej powyżej 25 kV/mm autor natrafił na przypadek, gdy ta izolacja została przebita pod wyprowadzeniem uzwojenia pierwotnego transformatora w zasilaczu SMPS. Prawdopodobnie najpierw nastąpiło uszkodzenie mechaniczne izolatora, zanim doszło do przebicia elektrycznego.

Historycznym materiałem izolacyjnym, stosowanym wciąż w transformatorach i silnikach elektrycznych, jest preszpan. Materiał ten jest rodzajem tektury wykonanej z czystej celulozy, która została sprasowana pod dużym naciskiem. Preszpan ma świetne własności izolacyjne i dlatego wciąż jest wykorzystywany. W transformatorach wysokiego napięcia preszpan jest ponadto nasycany olejem mineralnym, co dodatkowo poprawia jego własności ochronne. Wytrzymałość na przebicia ma typowe wartości 12...20 kV/mm, zależnie od ilości warstw. Po nasyceniu olejem wartość ta rośnie do 30 kV/mm. W przypadku transformatorów i dławików impulsowych, szczególnie w zasilaczach i przetwornicach impulsowych, inwerterach czy w urządzeniach spawalniczych, jako izolację stosuje się taśmy kaptonowe i poliestrowe, a także taśmy z dodatkiem warstwy włókna szklanego. Typowo przyjmuje się minimalne napięcie przebicia 6 kV na warstwę, ale w przypadku taśm samoprzylepnych trzeba brać poprawkę na wilgoć, która może się dostać między warstwy, dlatego nawija się ich 3...4 na każde z izolowanych uzwojeń. Dodatkowo uzwojenie nie powinno zajmować całej szerokości karkasu – jego końce są owijane wspomnianą taśmą z izolacją z włókna szklanego. Taśmy poliestrowe i kaptonowe są też używane do trzymania razem połówek

eprasa.pl e7970affa9

Tabela 3. Właściwości elektryczne i przewodnictwo cieplne wybranych mas zalewowych

Powłoka (typ)	Rezystywność [Ω·cm]	Napięcie przebicia [kV/3,175 mm]	Wytrzymałość dieelektryczna [kV/mil] [kV/mm]	Stała dielektryczna	Przewodnictwo cieplne [W/(m·K)]
832C (żywica epoksydowa)	$6{,}7 \cdot 10^{12}$	60,4	0,483 19	2,8 (@ 1 MHz)	0,3
8800 (poliuretan)	$6{,}4 \cdot 10^{12}$	46,2	0,37 14,8	3,4 (@ 1 MHz)	0,3
RTV615 (guma silikonowa)	$1{,}8 \cdot 10^{15}$	62,5	0,5 19,7	2,7 (@1 kHz)	0,188
RTV31 (guma silikonowa HT)	$1{,}6 \cdot 10^{14}$	54	0,43 17	4,4 (@1 kHz)	0,31
Akryl jako masa zalewowa	$10^{13}...10^{15}$	47,6...95,2	0,381...0,762 V 15...30	3,0...5,0 (@ 1 MHz)	0,15...0,3

rdzenia ferrytowego, nawet jeśli ten zostanie dodatkowo sklejony lakierem. W przypadku transformatorów wysokiego napięcia karkas bywa podzielony na sekcje, a cały transformator często jest zalany żywicą epoksydową lub poliuretanem.

Samoprzylepne taśmy kaptonowe znalazły też zastosowanie jako izolatory dla metalowych osłon RF, choć często spotyka się w tych miejscach preszpan lub inne odmiany wyrobów celulozowych. W tych przypadkach chodzi jedynie o ochronę przeciwzwarciową, a nie przeciwprzepięciową. W urządzeniach mobilnych często puszki ekranujące nie są niczym zabezpieczone lub zabezpieczone jedynie warstwą lakieru izolacyjnego. Taśmami kaptonowymi okleja się też wyprowadzenia ogniw litowych ze zintegrowanymi modułami zabezpieczającymi, a w praktyce elektronicznej stosuje się je także jako taśmy samoprzylepne ogólnego przeznaczenia. Z doświadczenia można stwierdzić, że nie nadają się one jednak do zabezpieczania połączeń przewodów – klej nie jest wystarczająco odporny na naprężenia mechaniczne, powstałe przy silnym zwijaniu taśmy.

Osobną klasę materiałów izolacyjnych stanowią podkładki termoprzewodzące. W teorii użycie pasty termoprzewodzącej między komponentem a radiatorem zapewnia najlepszą zdolność do odprowadzenia ciepła, ale w wielu układach to rozwiązanie jest niepraktyczne, gdyż pasta termoprzewodząca nie zapewnia wymaganej izolacji elektrycznej. W takich sytuacjach stosuje się właśnie podkładki termoprzewodzące. Podkładki mikowe, wyglądem przypominające lekko zabarwione szkło, oferują dobre przewodnictwo cieplne przy typowym napięciu przebicia na poziomie 1 kV, wymagają jednak obustronnej aplikacji pasty termoprzewodzącej. Podkładki silikonowe mają napięcie przebicia wynoszące typowo 10 kV/mm, minimalnie zaś 5 kV/mm. Pasta termoprzewodząca nie jest konieczna, gdyż po dokręceniu komponentu do radiatora sama podkładka wypełnia mikroszczeliny w radiatorze i w komponencie, poprawiając przewodnictwo cieplne. Niektóre komponenty, szczególnie tranzystory i układy scalone mocy oraz układy FPGA, ASIC i mikroprocesory, występują w obudowach z tworzywa lub mają pady termiczne, które są elektrycznie odizolowane od struktury lub połączone z masą układu. W tych wypadkach wystarczy zastosowanie pasty termoprzewodzącej lub dwustronnej taśmy termoprzewodzącej do przyklejenia małych radiatorów bezpośrednio na układ.

Ostatnią grupę materiałów izolacyjnych stanowią wszelkiego rodzaju tuleje dystansowe, podkładki i izolowane elementy montażowe. Wykonane są z różnych tworzyw, najczęściej z nylonu, poliestru i polipropylenu. Spotyka się też podkładki z preszpanu i silikonu. Kołki dystansowe z gumy silikonowej pozwalają uzyskać nie tylko izolację elektryczną, ale też mechaniczną płytki drukowanej od reszty urządzenia – szczególnie przydatne okazuje się to w sytuacji, gdy urządzenie jest narażone na wibracje. W tych wypadkach nadal wskazane jest zastosowanie powłoki konformalnej, która zwiększy odporność mechaniczną na drgania. W większości przypadków tuleje dystansowe będą miały znacznie wyższe napięcie przebicia, niż napięcie przebicia bariery powietrznej między elementami metalowymi obudowy lub mechanizmu urządzenia, a samą płytką. W tych sytuacjach przyjmuje się odległość wg tabeli 1 dla niezaizolowanych wyprowadzeń.

Zakończenie

Zabezpieczanie elektroniki to dość szerokie i złożone zagadnienie, dlatego autor ma nadzieję, że ten skromny przewodnik przybliży ów temat Czytelnikom i zachęci ich do stosowania przynajmniej powłok konformalnych. Praktyka pokazuje, że powłoki takie skutecznie chronią urządzenia przed przypadkowym uszkodzeniem i zabezpieczają je przed szkodliwymi warunkami otoczenia, wilgocią i kurzem. W przypadku szczególnie trudnych warunków wskazane jednak będą masy zalewowe, które zapewniają niezwykłą trwałość, odporność mechaniczną i elektryczną, kosztem braku możliwości naprawy. Warto dodać, że nieprzezroczyste masy zalewowe i powłoki konformalne mogą też utrudnić inżynierię wsteczną urządzenia, co również bywa pożądane.

Paweł Kowalczyk, EP

Tabela 4. Typowe parametry parylenów jako mas zalewowych (za Google Gemini, na podstawie dostępnej dokumentacji technicznej)

Parametr	Parylene N	Parylene C	Parylene HT	Jednostka
Rezystywność objętościowa	$10^{16}...10^{17}$	$10^{16}...10^{17}$	$10^{16}...10^{17}$	Ω·cm
Napięcie przebicia (grubość 25 µm)	280	230	210	kV/mm
Wytrzymałość dielektryczna (krótki czas, grubość 25 µm)	275	220	200	V/µm
Stała dielektryczna (@ 1 kHz)	2,65	3,10	2,35	–
Stała dielektryczna (@ 1 MHz)	2,65	2,95	2,35	–
Współczynnik strat dielektrycznych (@ 1 kHz)	0,0002	0,013	0,0006	–
Przewodnictwo cieplne	0,084	0,082	~0,07	W/(m·K)
Maksymalna temp. pracy ciągłej	130	130	350	°C

eprasa.pl e7970affa9

Syntezatory dźwięku (4)

Zaawansowane oscylatory VCO i generatory LFO

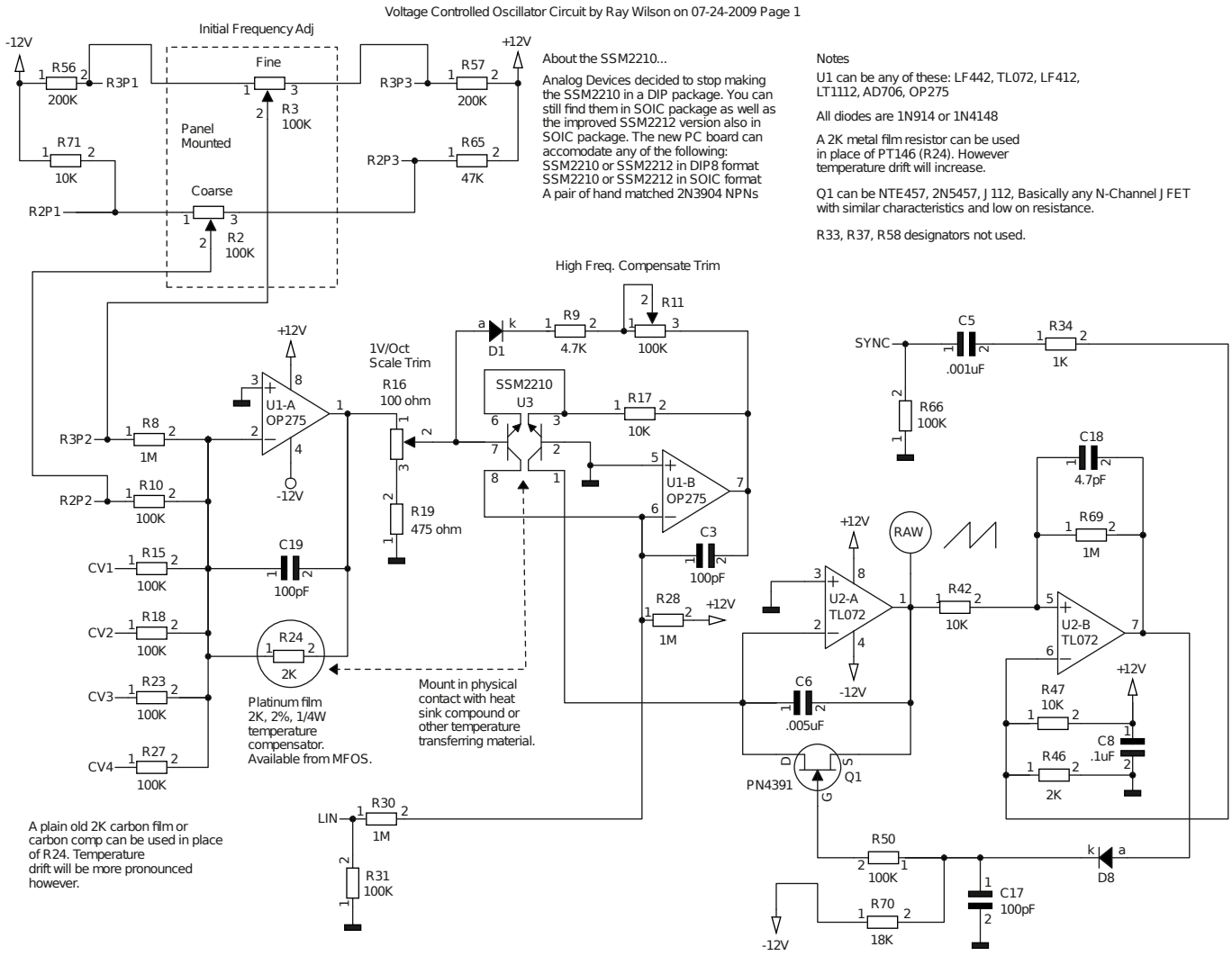
W poprzedniej części cyklu zapoznaliśmy się z układami konwertującymi sygnał napięcia sterującego (CV) i poznaliśmy podstawowe układy oscylatorów sterowanych napięciowo, pracujących w paśmie akustycznym. Układy te pozwalały uzyskać przebiegi trójkątny i prostokątny. Przydałyby się jednak też inne przebiegi, jak sinusoidalny i piłokształtny, a to wymaga rozbudowania oscylatora. Tym razem przyjrzymy się właśnie takiemu układowi, zapoznamy się też z dwoma oscylatorami LFO.

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

Oscylatory VCO na pasmo akustyczne są często układami skomplikowanymi i wymagającymi regulacji, dlatego też producenci syntezatorów i keyboardów odeszli od nich na rzecz syntezy cyfrowej lub banków próbek PCM. Pojedynczy układ DDS potrafi zaoferować wszystkie przebiegi w zakresie częstotliwości od miliherców do megaherców, z wysoką stabilnością częstotliwości. Jednakże podejście analogowe ma swój urok wynikający z niezwykłej płynności pracy, znacznie większych możliwości tworzenia brzmień w syntezatorach modularnych, a także z... niedoskonałości układów. Dlatego też syntezatory te tak naprawdę nigdy nie zniknęły, a obecnie są bardzo poszukiwane. Spójrzmy zatem na rozbudowany oscylator VCO do syntezatora modularnego.

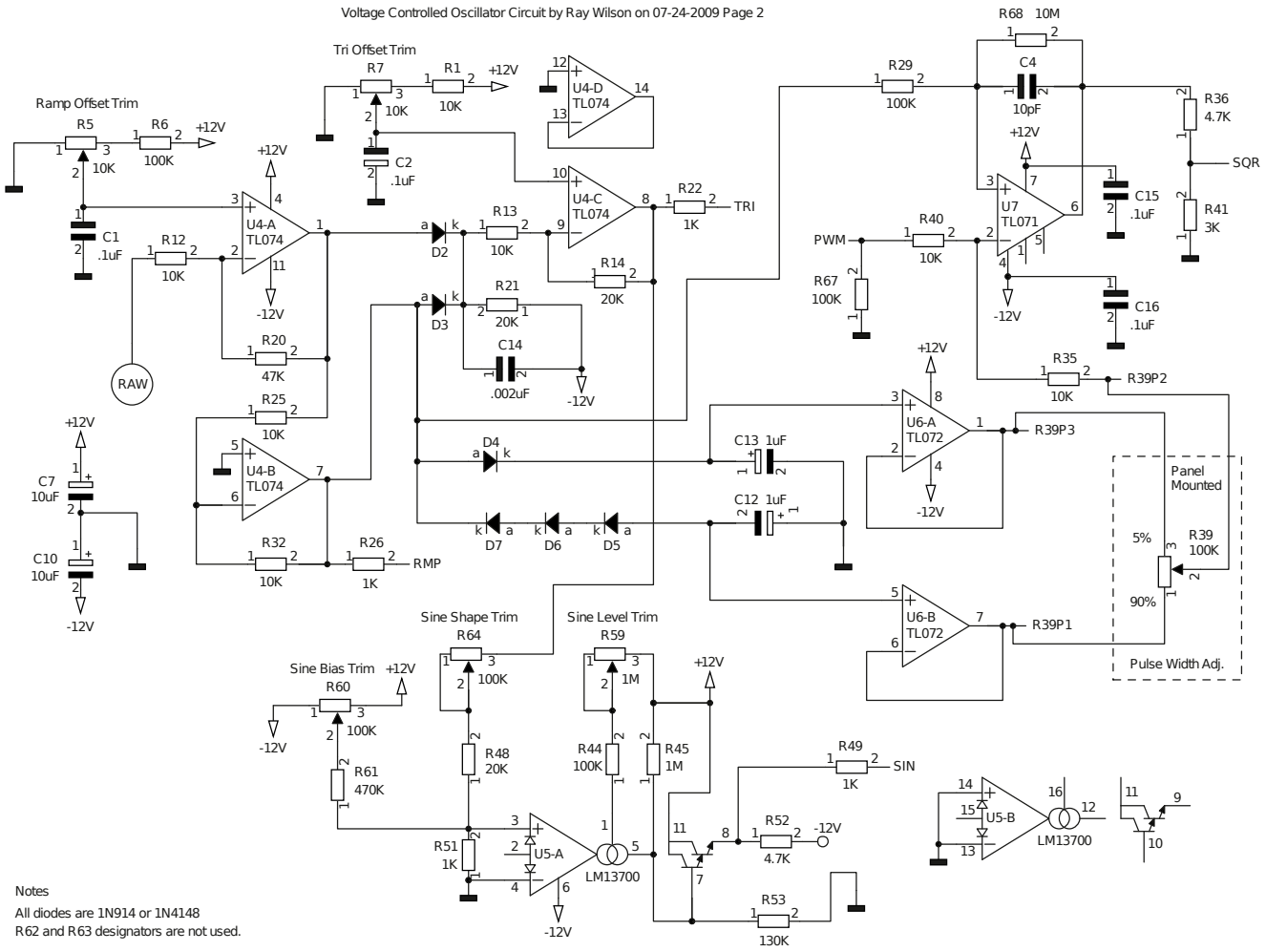
Oscylator „z kosmosu"

Omawiany układ oscylatora pochodzi ze strony Music From Outer Space [1] i został opracowany przez Raya Wilsona w 2009 roku. Układ ten oferuje szereg przebiegów do wyboru, a także wejście synchronizacji. **Rysunek 1** pokazuje pierwszą część oscylatora: stopień wejściowy



Rysunek 1. Zaawansowany oscylator VCO, część 1: sekcja konwertera napięcia na prąd wykładniczy oraz generator surowego przebiegu piłokształtnego

eprasa.pl e7970affa9



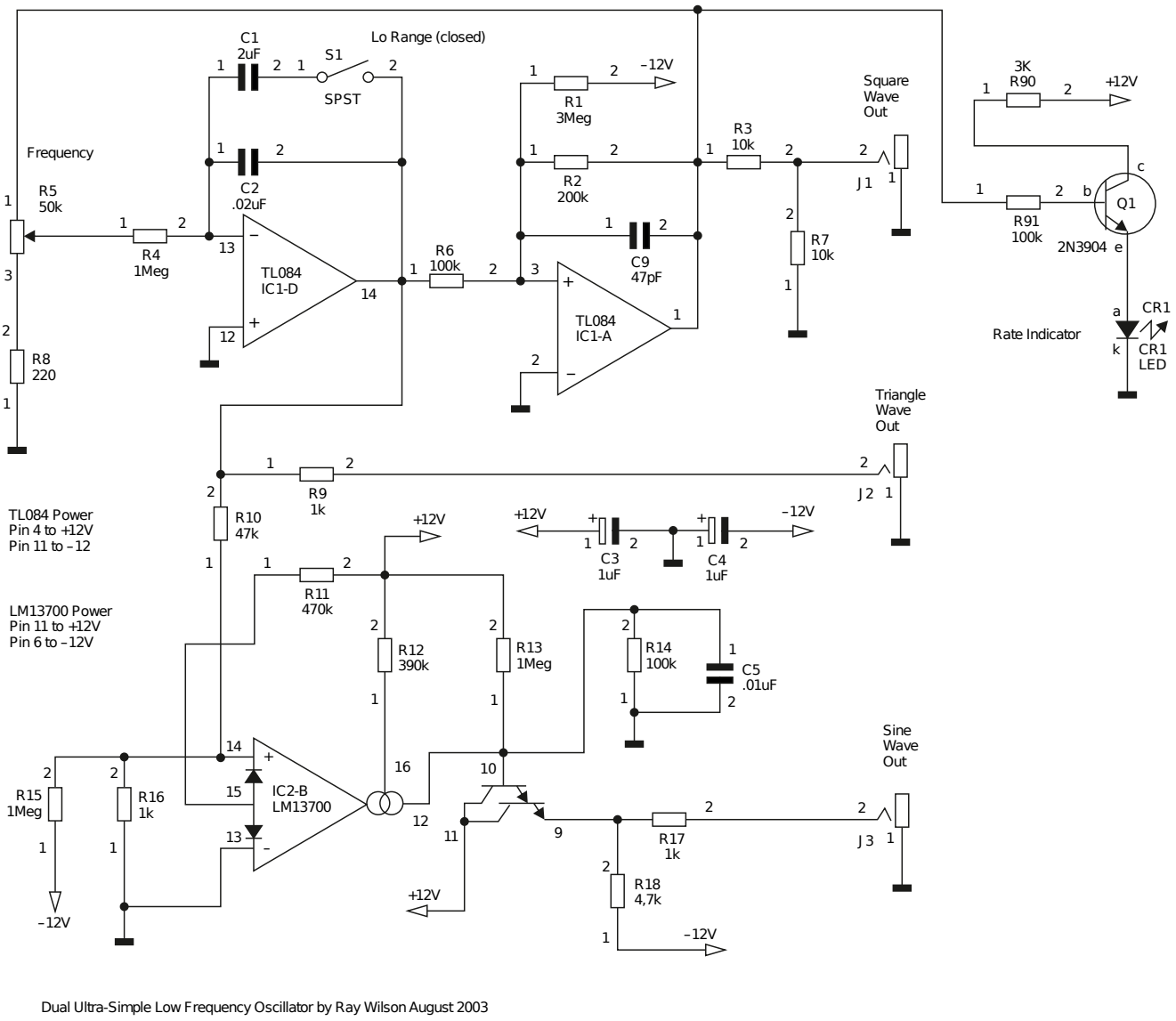
Rysunek 2. Zaawansowany oscylator VCO, część 2: sekcja generowania poszczególnych przebiegów wyjściowych

z mieszaczem czterech wejść CV, wejściem liniowym, konwerterem wykładniczym i oscylatorem generującym przebieg piłokształtny. Wzmacniacz U1A, wraz z towarzyszącymi komponentami, sumuje i redukuje napięcie sterujące do wartości 20 mV/V. Napięcie to trafia na bazę jednego z tranzystorów w układzie SSM2210, które pracują jako para różnicowa w pętli sprzężenia zwrotnego układu U1B. Ponieważ para różnicowa ma sprzężenie termiczne z rezystorem R24 (o specjalnie dobranym współczynniku termicznym), układ naturalnie kompensuje zmiany temperatury tranzystorów, zmieniając nieznacznie swoje wzmocnienie. Potencjometr R16 pozwala wyregulować skalowanie napięcia kontrolnego względem częstotliwości wyjściowej. Wzrost napięcia sterującego o 1 V powoduje dwukrotny wzrost prądu płynącego przez prawy tranzystor pary SSM2210. Elementy D1, R9 i R11 umożliwiają pobór większego prądu z dalszej części obwodu przy wyższych napięciach sterujących.

Prąd płynący do pinu 1 układu U3 powoduje, że układ U2A z kondensatorem C6 (w konfiguracji integratora) zaczyna podnosić liniowo napięcie na swoim wyjściu od 0 V do V+. Układ U2B pracuje jako komparator porównujący napięcie z wyjścia U2A z napięciem ustalonym przez dzielnik złożony z rezystorów R46 i R47. Wyjście U2B ma wartość bliską ujemnemu napięciu zasilania V– tak długo, jak sygnał na wyjściu U2A jest poniżej wartości około 2,2 V. Gdy jednak napięcie to zostanie przekroczone, na wyjściu pojawi się napięcie około 10,8 V, które przez diodę D8 ładuje kondensator C17, a zarazem poprzez R50 otwiera tranzystor Q1. Ten ostatni zwiera kondensator C6, resetując integrator. Ponieważ bramka Q1 ma bardzo wysoki opór, a prąd wsteczny D8 jest pomijalnie mały, kondensator C17 rozładowywany jest przez R70. Proces resetowania układu całkującego trwa około 1 μs, a przełączanie komparatora z napięcia ujemnego na dodatnie i z powrotem na ujemne – około 3 μs. Wejście LIN umożliwia liniową zmianę częstotliwości oscylacji układu poprzez modyfikację wartości prądu płynącego przez układ U3. Gdy na wejściu SYNC pojawia się sygnał, kondensator C5 i współtowarzyszące elementy wymuszają zresetowanie układu całkującego przy zboczu narastającym. Potencjometry R2 i R3 (umieszczone na panelu urządzenia) pozwalają na zgrubne i dokładne ustawienie częstotliwości oscylacji dla zadanego poziomu sygnału CV.

Rysunek 2 prezentuje dalszą część układu oscylatora, w której surowy sygnał piłokształtny (RAW) podlega wzmocnieniu i konwersji na przebiegi o innych kształtach. Układ U4A pracuje jako wzmacniacz odwracający o regulowanym przesunięciu (offsecie). Konwertuje on surowy sygnał piłokształtny 2,2 V na przebieg o amplitudzie 10 Vp-p, a R5 pozwala ustawić przesunięcie tak, by sygnał oscylował między –5 V a 5 V. Sygnał ten trafia następnie na bufor odwracający (U4B). Potem sygnały wyjściowe U4A i U4B trafiają przez diody D2 i D3 na wejście układu U4C, który ma wzmocnienie ustalone na wartość –2 V/V. Po odpowiedniej regulacji R7 i R5 na wyjściu U4C uzyskany zostanie przebieg trójkątny. Z powodu sposobu działania tego układu w przebiegu występują drobne zniekształcenia, które jednak nie są słyszalne. Zniekształcenie to wynika

eprasa.pl e7970affa9



Rysunek 3. Połowa schematu prostego, podwójnego oscylatora LFO. Druga połowa jest identyczna

z ograniczonej prędkości narastania i opadania zboczy w układach U4A i U4B i trwa 6 µs na szczytach przebiegu trójkątnego. Źle ustawiona wartość R5 spowoduje pojawienie się przesunięcia między dodatnimi zboczami narastającymi i opadającymi przebiegu trójkątnego, R7 zaś ustala wyśrodkowanie przebiegu względem masy. Wzmacniacz U4D nie jest używany i – by nie generował zbędnych strat czy oscylacji – pracuje jako bufor.

Sygnał trójkątny trafia do wzmacniacza transkonduktancyjnego U5A (LM13700), z którym spotkaliśmy się w poprzedniej części tego cyklu. W opisywanym układzie wzmacniacz ów dodaje do przebiegu trójkątnego zniekształcenie, które zmienia go na aproksymowany przebieg sinusoidalny. Potencjometr R60 ustala napięcie odniesienia układu, a przez to symetrię zniekształcenia. Wartość za wysoka powoduje, że dodatnia strona przebiegu przypomina bardziej prostokąt, a ujemna trójkąt, zaś zbyt niska da efekt odwrotny. R64 ustala kształt przebiegu wyjściowego między przypominającym przebieg trójkątny a zbliżonym do fali prostokątnej. Tę regulację, według zaleceń Raya Wilsona, należy wykonać za pomocą miernika zniekształceń lub oscyloskopu i wzmacniacza audio metodą „na ucho i oko". Autor sugeruje jednak ustawić stałą częstotliwość wyjściową oscylatora i taką samą częstotliwość w generatorze funkcyjnym, zsynchronizować oba za pomocą wejść SYNC i wizualne porównać oba sygnały ze sobą na oscyloskopie (ewentualnie można sygnał z generatora odwrócić i odjąć od sygnału z oscylatora, a następnie regulować oscylator aż do uzyskania płaskiej linii na oscyloskopie). Potencjometrem R59 trzeba natomiast ustawić wartość międzyszczytową sygnału wyjściowego na 10 V.

Sygnał piłokształtny z U4B trafia też przez diodę D4 na kondensator C13, a przez diody D5...D7 na kondensator C12. Na C13 mamy więc napięcie dodatnie z U4B (pomniejszone o napięcie przewodzenia D4), a na C12 napięcie ujemne, ale pomniejszone tym razem o spadek na trzech diodach D5...D7. Oba te napięcia są buforowane odpowiednio przez wtórniki U6A i U6B, po czym trafiają na potencjometr R39 zamontowany na panelu oscylatora. Napięcie to jest porównywane przez wzmacniacz U7 (pracujący jako komparator) z niezmienionym sygnałem z U4B. Na wyjściu uzyskujemy sygnał prostokątny o wypełnieniu regulowanym w zakresie 10...90%. Dodatkowo wejście PWM, doprowadzone do odwracającego wejścia U7, pozwala na modulację sygnału innym oscylatorem. I to już wszystko – opisany został cały układ oscylatora sterowanego napięciem. Niestety, Ray Wilson nie udostępnia wzorów PCB do samodzielnego wykonania, więc Czytelnik chcący wykonać ten oscylator zmuszony będzie

eprasa.pl e7970affa9

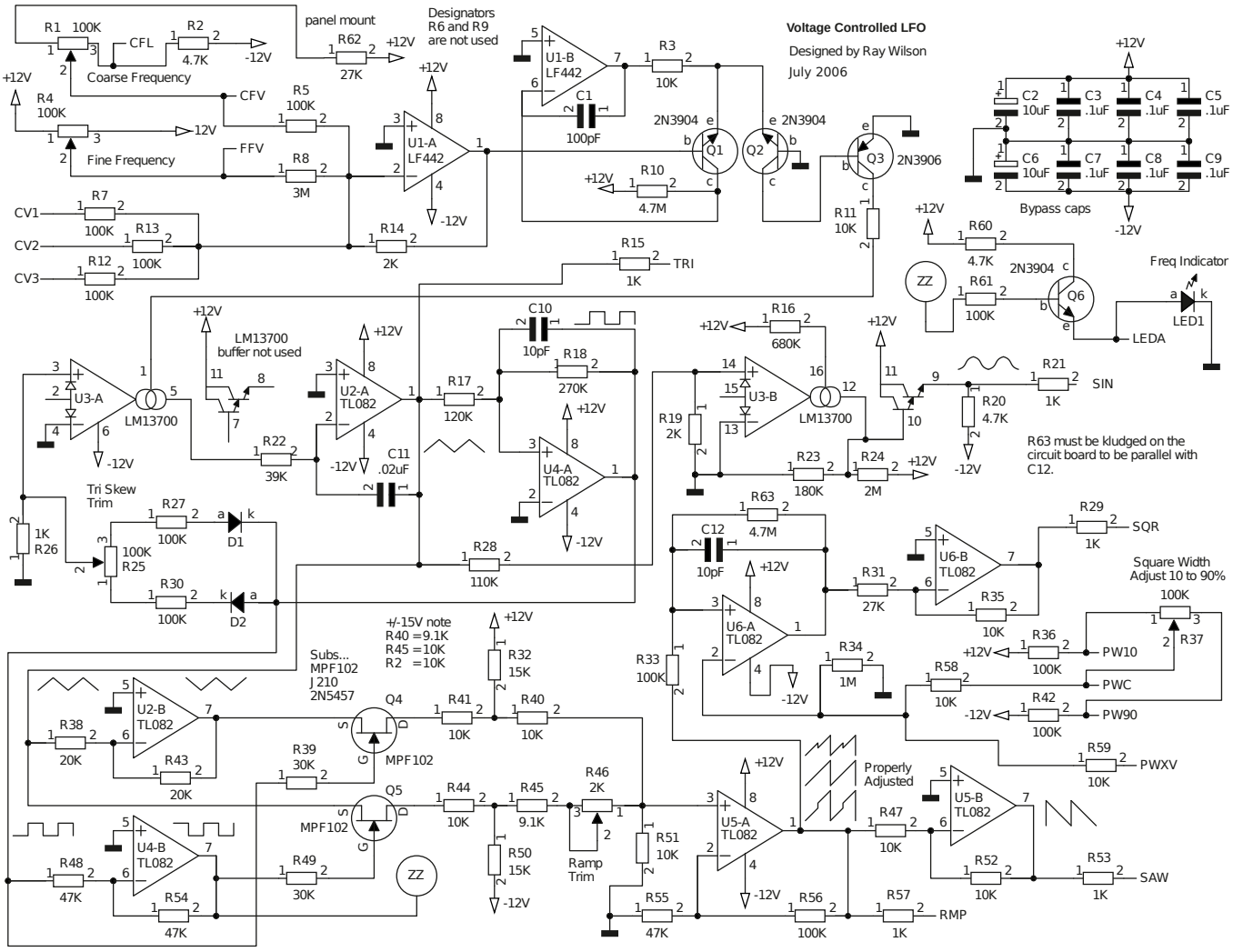
zaprojektować płytkę od zera, opierając się na dostępnych rysunkach poglądowych rozmieszczenia elementów i wzorów ścieżek (co prawda, wzory ścieżek można wykorzystać w metodzie termotransferowej lub fototransferowej, ale wykonywanie płytek tymi metodami, a szczególnie płytek dwustronnych, jest kłopotliwe).

Oscylatory LFO

Oscylatory LFO można zbudować nieco prościej, gdyż w większości przypadków nie potrzebują one innej kontroli, niż prosty potencjometr lub dwa. Eliminuje to konieczność posiadania skompensowanej termicznie i specjalnie dobranej pary różnicowej, a układ konwersji z przebiegu trójkątnego do sinusoidalnego także może być uproszczony, gdyż częstotliwość pracy oscylatora zwykle nie sięga pasma akustycznego. Przykładowy obwód wg projektu Raya Wilsona [2] pokazuje **rysunek 3**. Warto pamiętać, że oscylatory LFO zwykle są stosowane do modulowania oscylatorów VCO lub do kontrolowania filtrów sterowanych napięciem (VCF). Niekiedy jednak zachodzi potrzeba posiadania układu LFO z wejściami kontrolnymi i jednym ze sposobów na jego zbudowanie jest użycie układu VCO i zmiana wartości elementów ustalających bazową częstotliwość pracy. Teoretycznie mając wystarczająco dużo oscylatorów VCO i LFO połączonych między sobą można uzyskać bardzo bogate brzmienie, przypominające klasyczne układy syntezy FM.

Ray Wilson zaprojektował też rozbudowany oscylator LFO z wejściami kontrolnymi [3], którego schemat pokazuje **rysunek 4**. Znajdziemy tu wiele podobnych elementów, co w oscylatorze VCO, ale zakres częstotliwości pracy jest dużo niższy i sięga nawet jednego cyklu na kilka minut. W połączeniu z filtrem sterowanym napięciem pozwala to na subtelną zmianę brzmienia syntezatora przez cały czas trwania utworu.

Wzmacniacz U1A i U1B oraz towarzyszące im komponenty tworzą konwerter napięcia na prąd rosnący logarytmicznie. Czytelnik zauważy iż zamiast dopasowanej pary różnicowej układ wykorzystuje dwa oddzielne tranzystory Q1 i Q2, przy czym Q2 kontroluje kolejny tranzystor Q3, który z kolei steruje napięciem polaryzacji wzmacniacza transkonduktancyjnego U3A. Wzmacniacz ten kontroluje oscylator zbudowany z użyciem U2A, który jest typowym wzmacniaczem całkującym. Gdy prąd wpływa do wyjścia U3A, napięcie na wyjściu U2A rośnie, a gdy płynie w drugą stronę, napięcie na wyjściu U2A maleje. Sygnał z tego wyjścia trafia do komparatora U4A, a potem na wejście nieodwracające U3A przez diody D1 i D2, rezystory R27 i R30, oraz potencjometr R25 regulujący symetrię przebiegu trójkątnego przez zmianę balansu prądu płynącego z i do wejścia nieodwracającego U3A. W ten sposób możliwe jest sterowanie wartością prądu płynącego z/do wyjścia tego wzmacniacza – jego prąd polaryzacji jest kontrolowany przez logarytm napięcia sterującego, co z kolei określa czas ładowania i rozładowywania kondensatora C11. Autor projektu zaleca dość prostą metodę regulacji



Rysunek 4. Rozbudowany generator LFO z wejściami CV i szerokim zakresem częstotliwości wyjściowych

eprasa.pl e7970affa9

symetrii przebiegu trójkątnego przez podłączenie wejścia wyzwalania oscyloskopu do wyjścia U4A, wyjścia U2A zaś do wejścia przyrządu. Sam oscyloskop trzeba natomiast ustawić tak, by szczyty przebiegu były widoczne na skrajnych działkach ekranu. Potencjometrem R25 reguluje się balans prądu do momentu, aż „dolina" przebiegu znajdzie się na środkowej działce.

Wzmacniacz U2B odwraca sygnał trójkątny, podczas gdy wzmacniacz U4B czyni to samo z sygnałem wyjściowym komparatora U4A. Przebiegi z wejścia i wyjścia U4A sterują tranzystorami Q4 i Q5 pracującymi jako przełączniki analogowe, co pozwala mieszać sygnały z U2A i U2B celem stworzenia przebiegu piłokształtnego. Tranzystory Q4 i Q5 pracują w taki sposób, by sygnał minimalnego napięcia na drenie Q4 „spotykał się" z sygnałem maksymalnej wartości na drenie Q5, by następnie spaść do minimalnej wartości napięcia na drenie Q5 w bardzo krótkim czasie. Suma tych sygnałów trafia na wejście U5A, który je łączy, a sygnał wyjściowy jest odwracany przez wzmacniacz U5B. Potencjometr R46 pozwala doregulować ten przebieg, by nie miał zbędnego „schodka". Sygnał z wyjścia wzmacniacza U5A trafia do wzmacniacza U6A, który pracuje jako kolejny komparator i wytwarza przebieg prostokątny. Potencjometr R37 reguluje napięcie przełączania komparatora, a tym samym szerokość impulsu. Sygnał z U6A jest odwracany przez wzmacniacz U6B głównie dlatego, że bez takiego zabiegu trzeba by było zamienić połączenia potencjometru na panelu frontowym. Druga połowa wzmacniacza transkonduktancyjnego U3 (U3B) pracuje jako układ zniekształcający przebieg trójkątny do aproksymacji przebiegu sinusoidalnego. Tranzystor Q6 steruje diodą LED wskazującą częstotliwość oscylatora – jego baza jest w tym celu sterowana sygnałem z wejścia U4B. Przy podanych wartościach komponentów częstotliwość oscylacji tego układu mieści się w zakresie od około 8,3 mHz do około 600 Hz.

Alternatywą dla opisanych układów jest wykorzystanie osobnych, prostych oscylatorów generujących tylko jeden rodzaj przebiegu, np. sinus, trójkąt czy prostokąt. Można też zastosować układ ICL8038, który występuje często jako serce prostych generatorów funkcyjnych sprzedawanych jako zestawy do samodzielnego montażu. Przykładem może być generator funkcyjny AVT823 opisany w EP 09/1999. Takie rozwiązanie pozwala na stworzenie modułu oscylatora o szerokim zakresie częstotliwości, który doskonale się sprawdzi jako modulator dla innych oscylatorów, filtrów i wzmacniaczy sterowanych napięciem.

Zakończenie

Temat oscylatorów sterowanych napięciem oraz oscylatorów niskiej częstotliwości został dokładnie omówiony w tej i poprzedniej części niniejszej serii. W następnym odcinku zajmiemy się wzmacniaczami sterowanymi napięciem, które pozwalają połączyć oscylatory w układy modulacji amplitudy, a ponadto stanowią podstawę generatorów obwiedni.

Paweł Kowalczyk, EP

Źródła:
[1] https://musicfromouterspace.com/analogsynth_new/VCO20120618REV0/VCO20120618REV0.html
[2] https://musicfromouterspace.com/analogsynth_new/OLDIESBUTGOODIES/LFO/lfo-3.html
[3] https://musicfromouterspace.com/analogsynth_new/VCLFO200607/VCLFO200607.php

Słownik cyberbezpieczeństwa (3). Secure Boot

Zagrożenia ze strony cyberprzestępców niestety nie ograniczają się tylko do konwencjonalnych rodzajów złośliwego oprogramowania, takich jak trojan, wirus czy robak. Czasami mamy do czynienia z o wiele bardziej podstępnymi atakami na dużo głębszym poziomie, które dotykają nie tylko naszego systemu operacyjnego, ale także rozruchowego. Jednym z takich ataków może być bootkit, który stanowi rodzaj złośliwego oprogramowania stworzonego w celu uzyskania kontroli nad komputerem, jeszcze zanim zostanie on w pełni uruchomiony.

Zagrożenia związane z bootkitem

Dla bootkita może nie mieć znaczenia, czy system operacyjny zostanie bootowany (boot – uruchomienie się komputera i ładowanie systemu operacyjnego do pamięci operacyjnej) na nowo, czy też przeinstalowany. Złą wiadomością dla użytkowników może być też fakt, że bootkity mogą ukrywać się przed tradycyjnymi narzędziami służącymi do zapewnienia bezpieczeństwa [1]. Na szczęście powstało rozwiązanie, które ma temu wszystkiemu zaradzić, a jest nim Secure Boot (tryb bezpiecznego rozruchu), którego sposób działania i sens przybliżymy krótko w tej części „Słownika cyberbezpieczeństwa".

Secure Boot

Secure Boot został stworzony dla UEFI (ang. Unified Extensible Firmware Interface), czyli następcy systemu rozruchowego BIOS, aby zwiększyć poziom bezpieczeństwa przed uruchomieniem systemu operacyjnego. Bez Secure Boot napastnicy mogą łatwiej wykorzystać odstęp czasu między inicjalizacją oprogramowania sprzętowego, a załadowaniem systemu operacyjnego. Złośliwe oprogramowanie wprowadzone do bootloadera może stworzyć środowisko, w którym system operacyjny – niezależnie od tego, jak wysoki poziom jego bezpieczeństwa zapewniliśmy – nie będzie mógł działać bezpiecznie. [2]

Przykład:
Po zakupie używanego urządzenia użytkownik powinien upewnić się, że jest ono na tyle bezpieczne, na ile to możliwe. Za przykład może nam posłużyć zakup używanego laptopa, który został wyprodukowany po 2012 roku, co oznacza, że najprawdopodobniej zawiera on UEFI Secure Boot. Nowy użytkownik, po upewnieniu się, że wnętrze komputera nie ma zaimplementowanych żadnych niepożądanych (złośliwych) podzespołów, może przejść od razu do przeinstalowania obecnego systemu operacyjnego na nowy, bez uprzedniego połączenia z siecią internetową, aby zmniejszyć równocześnie ryzyko zainfekowania innych urządzeń w sieci, np. robakiem. Mogłoby się wydawać, że te wszystkie kroki będą wystarczające, ale jak wiemy ze wstępu do tego artykułu, system rozruchowy również może być zainfekowany. Jeśli tak jest, to poprzednie kroki – mające na celu zwiększenie bezpieczeństwa – mogą być nieskuteczne. Aby mieć pewność, że zachowane jest pełne bezpieczeństwo także na tym poziomie, użytkownik włącza Secure Boot przed przeinstalowaniem systemu operacyjnego. W ten sposób zapewnia, że urządzenie uruchamia się wyłącznie przy użyciu zaufanego oprogramowania potwierdzonego przez producenta sprzętu. [3]

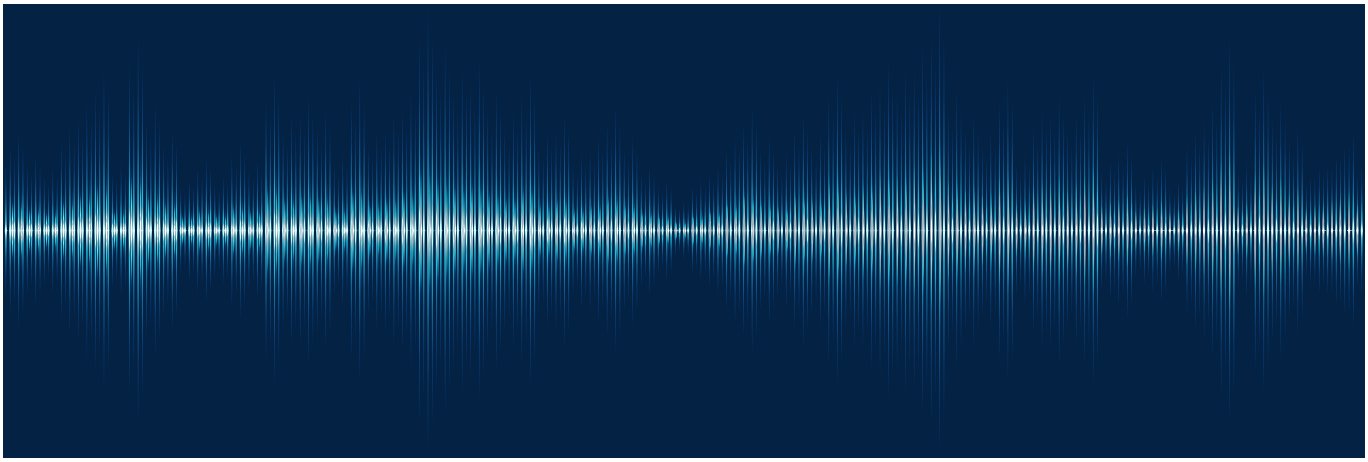
Cyberparanoja

Chociaż Secure Boot nie jest w stanie całkowicie rozwiązać problemu cyberataków, to może istotnie zwiększyć bezpieczeństwo i odporność przed niektórymi z nich. Warto pamiętać, że nie jest możliwe całkowite odizolowanie się od cyberprzestępców – dlatego należy minimalizować ryzyko, dokształcać się w tym zakresie i traktować to poważnie. To, co w oczach niektórych osób może uchodzić za „cyberparanoję", dla wielu użytkowników może stanowić kolejną warstwę zabezpieczenia, która zwiększy ochronę istotnych danych i prywatności oraz uchroni przed potencjalnymi konsekwencjami ataku.

Filip Krzyżański

[1] https://t.ly/9m0Fv
[2] https://t.ly/8yczK
[3] https://t.ly/zCwBR

eprasa.pl e7970affa9



Jak uczynić sygnał zbalansowanym?

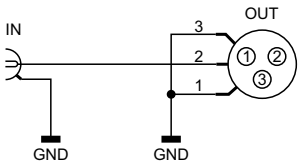
W analogowej technice audio sygnały są przesyłane na dwa sposoby: w postaci asymetrycznej (zwanej niezbalansowaną) albo symetrycznej, określaną mianem zbalansowanej. Jak można przejść z pierwszego rodzaju na drugi i z czym się to wiąże?

Dominujące w technice audio terminy dotyczące sposobów transmisji sygnału (zbalansowany i niezbalansowany) wywodzą się wprost od anglojęzycznych określeń balanced i unbalanced, tudzież single-ended. W polskim języku technicznym dominują określenia symetryczny (lub różnicowy) i asymetryczny. Jednak cały czas chodzi o to samo: przesyłanie sygnału w postaci różnicy potencjałów między dwoma przewodami lub między przewodem a masą, którą typowo jest ekran kabla. W dalszej części tego artykułu będę posługiwał się terminologią znaną ze sprzętów audio, czyli „zbalansowany/niezbalansowany".

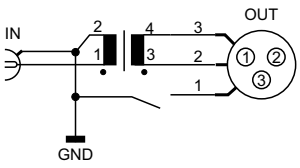
Skoro o kablach mowa, to najczęstszym medium realizującym połączenia zbalansowane jest kabel ze złączami XLR. Z kolei do połączeń niezbalansowanych używa się kabli z wtykami chinch (często występującymi pod nazwą RCA od firmy, która wprowadziła je na rynek) albo Jack (monofoniczne lub stereofoniczne), kiedyś również DIN – obecnie będące na wymarciu. Jakie jednak złącza nie byłyby używane, zasada działania jest taka sama: w połączeniu zbalansowanym mamy dwie identyczne żyły, którymi transmitowany jest sygnał w postaci różnicowej. Żyły te są ze sobą możliwie mocno związane, aby zakłócenia pochodzące z zewnątrz działały na oba przewodniki w możliwie jednakowym stopniu – dzięki temu odbiornik wyeliminuje zaburzenia na drodze odejmowania potencjałów żył. Oplot (zwany ekranem) kabla jest ważny, ale nie odgrywa żadnej roli we właściwej transmisji sygnału. Z kolei sygnał niezbalansowany jest przesyłany żyłą wewnętrzną przewodu ekranowanego, zaś oplot stanowi drogę powrotną dla tego prądu. W tej wersji jakość oplotu ma duże znaczenie dla przesyłanego sygnału, gdyż nie tylko go przewodzi, ale także ekranuje żyłę wewnętrzną przed oddziaływaniem zewnętrznych pól elektromagnetycznych.

Tyle teorii – teraz czas na praktykę. Wielu producentów dokonuje „konwersji" (choć należałoby to określenie ująć w podwójny lub potrójny cudzysłów) sygnału niezbalansowanego na zbalansowany poprzez zwykłe podłączenie do masy żyły zanegowanej (nazywanej ujemną, odwróconą lub zimną), zaś sygnał podają na żyłę „prostą" (dodatnią, nieodwróconą, czy też gorącą – nazw jest sporo). Schemat tej konstrukcji znajduje się na **rysunku 1**. Do jej zalet można zaliczyć niski koszt i prostotę – prościej i taniej już być nie może. Na tym lista zalet jednak się kończy. Wadą jest fakt, że sygnał w żaden sposób nie został zbalansowany, więc tylko dobry odbiornik sygnału zbalansowanego, który faktycznie realizuje odejmowanie sygnałów, może jakkolwiek tę sytuację uratować. Dalsza część krytyki: żyły są sterowane różną impedancją, co ma wpływ na odbicia sygnału w długich połączeniach. Przebieg ma również o 6 dB mniejszy poziom w stosunku do sygnału zbalansowanego. W ramach modyfikacji można co najwyżej wyrównać impedancje włączając odpowiednie rezystory szeregowo z zaciskami 2 i 3 złącza XLR.

Starczy, nie kopie się leżącego. Bardzo skuteczne w realizacji połączeń zbalansowanych są transformatory (**rysunek 2**), które w naturalny sposób potrafią wymusić różnicę potencjałów między żyłami, w ogóle nie angażując w to masy układu. Pozwala to na przecinanie pętli masy (która potrafi się tworzyć między urządzeniami poprzez oploty kabli), jak również na pracę urządzeń zasilanych z różnych źródeł, bez obawy o przepływ prądów wyrównujących przez ekrany okablowania – stąd też widoczny na schemacie przełącznik. Jednak transformatory mają sporo ograniczeń: głównie pod względem pasma przenoszenia, charakterystyki amplitudowej (zniekształconej przez rezonans własny) oraz nierównej charakterystyki fazowej. Przez to mają swój wpływ na finalne brzmienie systemu, które nie każdemu się podoba. Wymagają też, choć to mniejszy problem, źródła sygnału

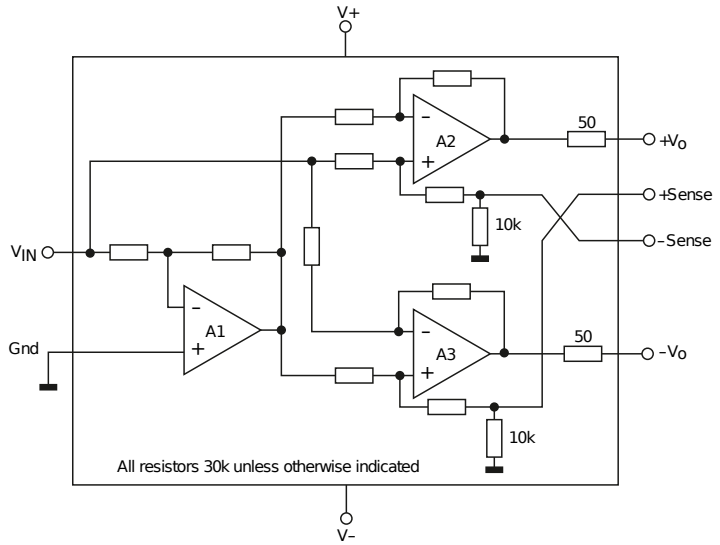


Rysunek 1. Najprostsze podłączenie wyjścia zbalansowanego do wejścia niezbalansowanego

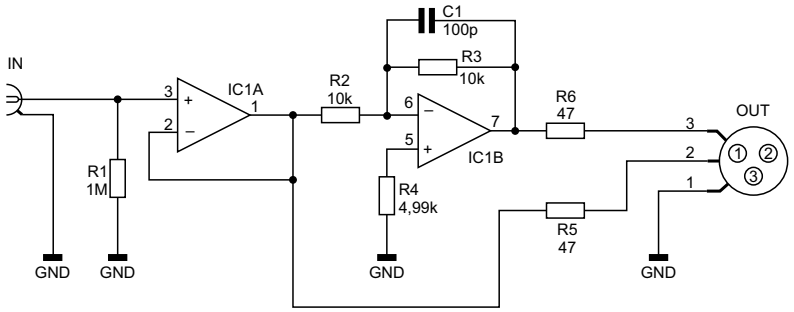


Rysunek 2. Użycie transformatora do balansowania sygnału

eprasa.pl e7970affa9



Rysunek 3. Uproszczony schemat wewnętrzny układu z rodziny DRV13x [1]



Rysunek 4. Schemat ideowy konwertera sygnału niezbalansowanego na zbalansowany bazującego na wzmacniaczach operacyjnych

niezbalansowanego zupełnie pozbawionego składowej stałej, która mogłaby podmagnesowywać rdzeń. Transformatora można również użyć do zwiększenia amplitudy sygnału, wystarczy odpowiednio dobrać jego przekładnię. Można też łatwo odwrócić fazę sygnału, zamieniając wyprowadzenia po jednej ze stron. Ale to nadal transformatory – relatywnie ciężkie i drogie.

Pozostałe metody uzyskiwania sygnału zbalansowanego są już czysto elektroniczne. Jedną z nich, najprostszą w użyciu, choć mało podatną na modyfikacje, jest zastosowanie specjalizowanego układu scalonego, tzw. sterownika linii. Przykładem jest układ z rodziny DRV13x (DRV134 lub DRV135, różnią się obudową), którego uproszczony schemat można zobaczyć na **rysunku 3**. Zawiera on obwody mogące kompensować rezystancję połączeń, których użycie nie jest jednak obowiązkowe i można ich wejścia po prostu zewrzeć z wyjściami. Zaletą jest z pewnością prostota aplikacji, bowiem jedynymi niezbędnymi elementami są dwa kondensatory odsprzęgające zasilanie. Bardzo szerokie pasmo przenoszenia, wysoka liniowość i niskie zniekształcenia to kolejne atuty tego układu. Dodatkowo jego topologia zapewnia możliwie małe przesunięcie czasowe między kanałami. Do wad tego układu zaliczyłbym relatywnie wysoką cenę (choć jest to dyskusyjne), brak możliwości ingerencji w poszczególne elementy oraz zupełny brak zamienników, które mogłyby być użyte w razie niedoborów tego układu na rynku bądź zaprzestania jego produkcji.

Dlatego, pomimo niezaprzeczalnych zalet układu DRV134/DRV135, sam stosuję od lat obwód pokazany na **rysunku 4**. W przeciwieństwie DRV13x, nie ma tak znakomitych parametrów, które z pewnością doceniliby profesjonaliści, za to umożliwia użytkownikowi dosyć swobodne „grzebanie" w układzie i jego modyfikację, zwłaszcza poprzez wymianę wzmacniacza operacyjnego. Część użytkowników systemów audio bardzo sobie to ceni, więc czemu by im tego nie umożliwić? W swoich urządzeniach, po stronie nadawczej, nie stosuję przełączników odłączających oplot kabla, czyli wyprowadzenie numer 1 złącza XLR.

Od strony układowej opisywany układ to bardzo proste rozwiązanie. Pierwszy stopień – wtórnik napięciowy – redukuje impedancję źródła niemal do zera. Rezystor R1 nie jest konieczny, bo źródło sygnału z reguły ma dosyć niską rezystancję wyjściową, która zapewnia polaryzację wejścia nieodwracającego, ale wolę dodać go na płytce, aby wzmacniacz operacyjny nie utracił polaryzacji nawet na chwilę, co mogłoby się przytrafić podczas np. rozpinania urządzenia na bloki podczas naprawy. Drugi stopień to wzmacniacz odwracający o wzmocnieniu –1 V/V, który wytwarza sygnał odwrócony w fazie w stosunku do pierwotnego. Dlatego wtórnik napięciowy, poza ustaleniem impedancji sterującej żyłą „gorącą" kabla XLR, gwarantuje również, że wzmacniacz oparty na układzie IC1B będzie miał wzmocnienie dokładnie –1 V/V, a nie mniej, co mogłoby mieć miejsce w sytuacji, gdyby rezystancja R2 została zsumowana z istotną impedancją wyjściową źródła sygnału niezbalansowanego. Dodanie C1 pozytywnie wpływa (według testów) na ograniczenie poziomu szumów w układzie przy jednoczesnym zachowaniu szerokiego pasma przenoszenia i szybkiej odpowiedzi impulsowej. Rezystory R5 i R6 ustalają impedancję wyjściową układu, co z jednej strony umożliwia dopasowanie do impedancji kabla XLR, zaś z drugiej utrudnia wzbudzenie się wzmacniaczom operacyjnym, które bez nich sterowałyby obciążeniem pojemnościowym (patrz Notatnik Konstruktora, EP 09/2023).

Najczęściej w opisywanym układzie stosuję popularny, podwójny wzmacniacz operacyjny typu TL082, a to z dwóch względów. Po pierwsze, jest on stabilny przy wzmocnieniu jednostkowym (unity gain stable), więc nie sprawia problemów przy pracy w konfiguracji wtórnika napięciowego – uczulam na to, gdyż niektóre „audiofilskie" wzmacniacze operacyjne mają z tym problemy, objawiające się głównie przez uporczywe wzbudzanie. Drugą zaletą TL082 i podobnych mu układów są wejścia JFET, więc nie ma potrzeby przejmowania się kompensacją prądów polaryzujących wejścia. Choć i tak, przy takiej topologii układu, wyjściowa składowa stała sygnału różnicowego będzie niemal równa zeru, ponieważ ewentualny offset napięciowy, wynikający z braku wyżej wymienionej kompensacji, doda jedynie wtórnik – drugi stopień, czerpiący sygnał z pierwszego, jest już bardzo dobrze skompensowany. Jedynym realnym źródłem składowej stałej między żyłami „gorącą" i „zimną" może być zatem tylko wejściowy offset napięciowy wzmacniacza operacyjnego.

Michał Kurzela, EP

Źródła:
[1] https://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv134.pdf

eprasa.pl e7970affa9

Internet Rzeczy w pomiarach środowiskowych (24)

Wykrywanie pożaru z użyciem kamery termowizyjnej

Wykrywanie pożaru z zastosowaniem czujników pojedynczych cech, takich jak temperatura lub dym, ma poważne ograniczenia. Użycie do tego celu prostej kamery termowizyjnej obiecuje znaczną poprawę działania, zwłaszcza przy jednoczesnym zastosowaniu dobrego czujnika parametrów środowiska.

Podziękowania dla pana Macieja Michny z Centrum Badań i Rozwoju Nordic Semiconductor w Krakowie za udostępnienie zestawów sprzętowych Power Profiler Kit II (PPK2).

Proste i stosunkowo tanie kamery termowizyjne oferują spore możliwości przy niskim poborze mocy zasilania. Jednak wymaga to sporego nakładu pracy w celu uzyskania dobrej obsługi programowej. Zastosowanie platformy Raspberry Pico 2 i języka MicroPython ułatwia to zadanie.

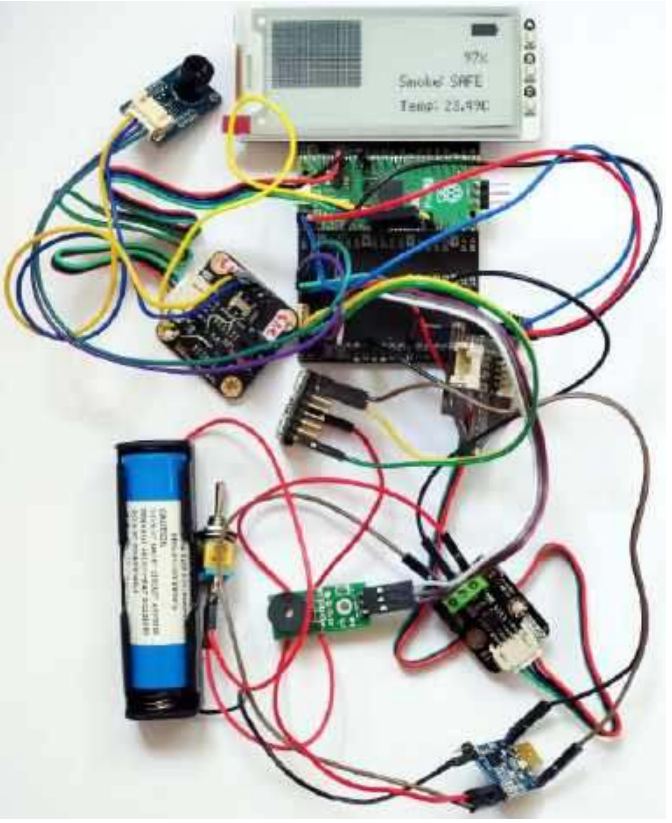
Moduł kamery termowizyjnej z układem MLX90641

MLX90641 firmy Melexis to w pełni skalibrowana matryca termowizyjna IR o rozdzielczości 16×12 (192) pikseli, umieszczona w standardowej, 4-wyprowadzeniowej obudowie TO39 z cyfrowym interfejsem. Pomiary są wykonywane w sposób ciągły. Kamera ma zintegrowany czujnik temperatury otoczenia oraz czujnik zasilania, mierzący napięcie VDD. Wyniki pomiaru wszystkich czujników IR, Ta i VDD są przechowywane w wewnętrznej pamięci RAM i dostępne przez interfejs I²C. W projekcie został zastosowany moduł firmy Waveshare [3] (**fotografia 1**).

Parametry kamery MLX90641 [3]:

- zakres pomiaru: od –40°C do 300°C,
- rozdzielczość: 16×12 px,
- dokładność: ±2°C (temperatura otoczenia od 0°C do 50°C),
- częstotliwość odświeżania: od 0,5 Hz do 64 Hz,
- napięcie zasilania: 3,3 V lub 5 V,
- pobór prądu podczas pracy (typ): 12 mA,
- pole widzenia FoV: 55°×35° oraz 110°×75°,
- interfejs: I²C,
- temperatura pracy: od –40°C do 125°C,
- wymiary: 25×16 mm.

Fotografia 1. Kamera termowizyjna IR MLX90641 firmy Waveshare [3]



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

Czujnik BME688

Czujnik gazu BME688 firmy Bosch jest wytwarzany w technologii MOX [12]. Lista gazów, które mogą być wykrywane przez BME688, obejmuje niemal wszystkie lotne związki organiczne, lotne związki siarki oraz inne gazy, w tym tlenek węgla (CO) i wodór (H_2) na poziomie ppb (parts per billion). Czujnik ma w obudowie otwór o średnicy mniejszej niż 1 mm. Dyfuzja gazu do środka i na zewnątrz obudowy trwa kilka sekund, nie ma potrzeby stosowania wymuszonego przepływu powietrza.

Moduł BME688 Breakout Board firmy pi3g zawiera układ BME688 firmy Bosch skonfigurowany do pracy z szyną I²C. Układ scalony BME688 jest zamontowany daleko od złączy płytki, co pozwala na poprawną pracę czujnika z daleka od źródeł ciepła. Moduł pobiera z zasilania 50 mA prądu.

Płytka RPi Pico 2 firmy Raspberry Pi

Nowe płytki Pico 2 i Pico 2W firmy Raspberry Pi z procesorem RP2350 są zgodne elektrycznie z płytkami Pico z pierwszej serii (Pico/Pico W) [1]. Na płytkach zostały zastosowane układy pamięci NOR Flash z serii W25Q (Winbond) o częstotliwości pracy do 133 MHz (przepustowość do 66 MB/s). Płytka Pico 2 zawiera

eprasa.pl e7970affa9

przetwornicę buck-boost, która dostarcza napięcie 3,3 V do zasilania RP2350 i obwodów zewnętrznych z szerokiego zakresu napięć wejściowych (od 1,8 do 5,5 V). Umożliwia to znaczną elastyczność w zasilaniu urządzenia z różnych źródeł, takich jak pojedyncze ogniwo litowo-jonowe lub 3 ogniwa AA połączone szeregowo. W dokumentacji płytki pokazano, jak poprzez dodanie tranzystora P-MOSFET (np. IRF7425) można zrealizować potrzymanie bateryjne zasilania płytki [2].

Pico Inky Pack – moduł z wyświetlaczem e-Paper

Pico Inky Pack (PiM634) firmy Pimoroni to moduł z czarno-białym wyświetlaczem e-Paper o przekątnej 2,9" i rozdzielczości 296×128 px, przeznaczony do płytek z serii Raspberry Pi Pico. Ma wbudowany kontroler, który realizuje komunikację za pomocą interfejsu SPi. Pico Graphics to zunifikowana biblioteka grafiki i wyświetlania firmy Pimoroni, umożliwiająca sterowanie wyświetlaczami z Pico w języku MicroPython [8].

Cyfrowy miernik zużycia energii z układem INA219

INA219 firmy Texas Instruments to bocznik prądowy i monitor mocy z interfejsem zgodnym z I²C. Układ monitoruje zarówno spadek napięcia na boczniku, jak i napięcie zasilania magistrali, z programowalnymi czasami konwersji i filtrowaniem. Moduł cyfrowego miernika mocy I²C Digital Wattmeter (SEN0291) firmy DFRobot zawiera tylko układ INA219 z zewnętrznym rezystorem bocznikującym 0,01 Ω, złącze do zasilania i komunikacji I²C oraz złącze pomiarowe. Dokładny opis jest zamieszczony w artykule „UPS do Raspberry Pico/Pico 2" [11].

Moduł ładowarki akumulatora Li-Ion z układem TP4056

Układ TP4056 to scalona ładowarka pojedynczego ogniwa litowo-jonowego lub litowo-polimerowego (3,7 V), chroniąca akumulator przed nadmiernym ładowaniem lub rozładowaniem [6]. Ma dwa wyjścia stanu wskazujące ładowanie w toku (LED czerwona) i zakończenie ładowania (LED niebieska) oraz możliwość programowania wartości prądu ładowania do 1 A. Obsługuje pracę w trybie stałego prądu (CC) oraz stałego napięcia 4,2 V (CV). Obsługuje automatyczne przejście do uśpienia z prądem poniżej 2 μA.

Akumulator Li-Ion

Akumulator Li-Ion XTAR 18650 ma nominalne napięcie 3,7 V i pojemność 2600 mAh [9]. Dysponuje wbudowanymi zabezpieczeniami przed przeładowaniem, nadmiernym rozładowaniem, przeciążeniem i zwarciem.

Zmodyfikowany moduł DFRobot I²C ADS1115

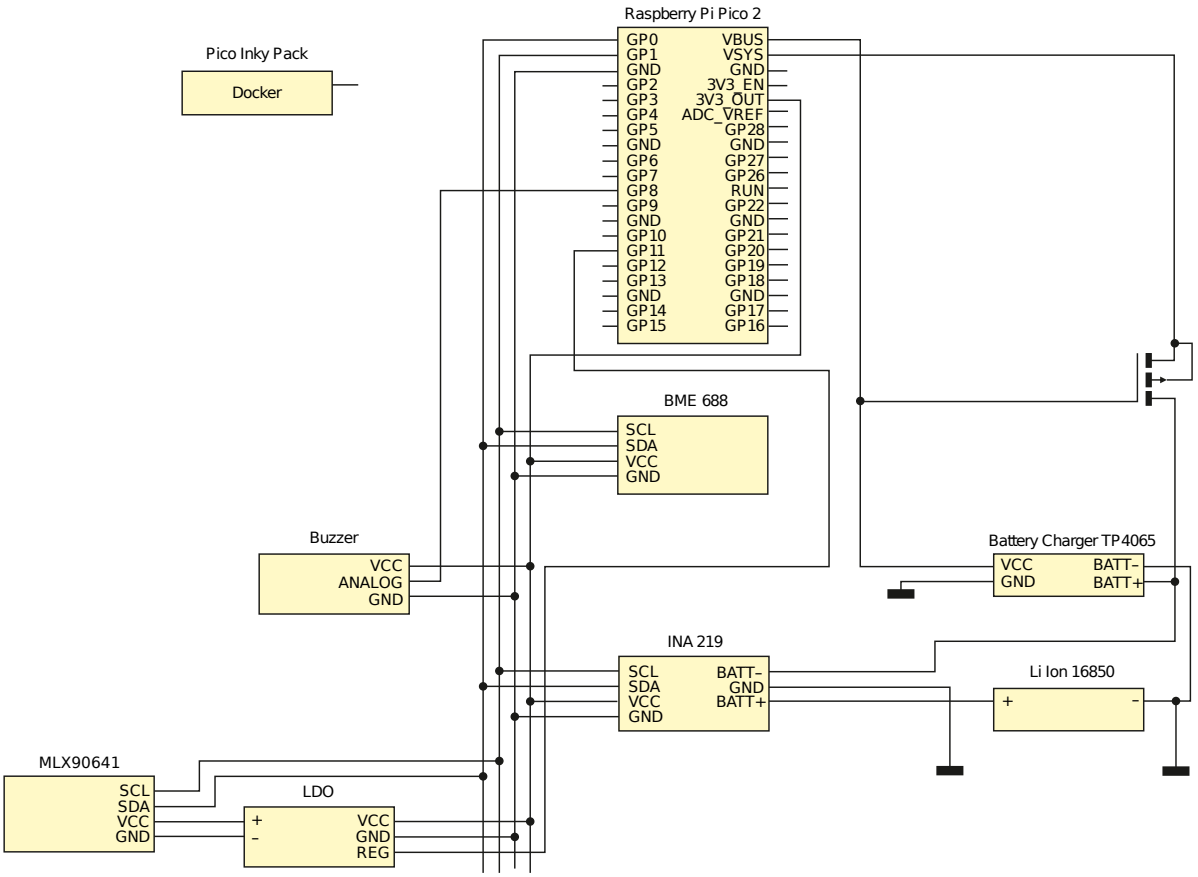
Moduł I²C ADS1115 (DFR0553) firmy DFRobot [14] zawiera układ przetwornika analogowo-cyfrowego ADS1115. W celu zapewnienia optymalnych warunków zasilania, płytkę należy zmodyfikować zgodnie z opisem, który zamieściliśmy w poprzednich odcinkach niniejszego cyklu.

Ekspander szyny Pico

Ekspandery szyny Pico firmy Pimoroni są przeznaczone do płytek z serii Raspberry Pi Pico. Wyposażone zostały w jedno standardowe złącze żeńskie do bezpośredniego wpięcia modułu Pico oraz zestawy męskich listew 2×20 pinów, które umożliwiają podłączenie dodatkowych modułów rozszerzeń. Etykiety pinów umieszczone na górnej stronie płytki znacznie ułatwiają prototypowanie. Ekspander Pico Decker (Quad Expander) (PiM555) ma cztery zestawy męskich listew, a Pico Omnibus (Dual Expander) PiM556 – dwa zestawy.

Konfiguracja pomiarowa

Układ pomiarowy (**fotografia tytułowa**) został skompletowany w następującej konfiguracji (**rysunek 1**):



Rysunek 1. Konfiguracja pomiarowa [13]

eprasa.pl e7970affa9

- płytka Raspberry Pi Pico 2 [1],
- moduł kamery MLX90641 [3],
- wyświetlacz Pico Inky Pack (PiM634),
- ekspander Pico Decker (PiM555),
- czujnik środowiskowy BME688 [12],
- DFRobot Gravity v2.1.0 (INA219) (I²C) [11],
- akumulator Li-Ion 18650 XTAR 2600 mAh [9],
- ładowarka TP4056 [6],
- moduł buzzera z aktywnym generatorem [5],
- tranzystor PMOSFET DMG2305UX.

Zmodyfikowany moduł DFRobot I²C ADS1115 (DFR0553) firmy DFRobot [14] (oznaczenie LDO na rysunku 1) został zastosowany jako LDO 3,3V z funkcją kluczowania zasilania modułu kamery.

Przygotowanie środowiska programowego

Interpreter MicroPython firmy Pimoroni dla Pico 2 [7] zawiera dodatkowo sterowniki wielu czujników oraz wyświetlaczy, w tym Pico Inky Pack [8].

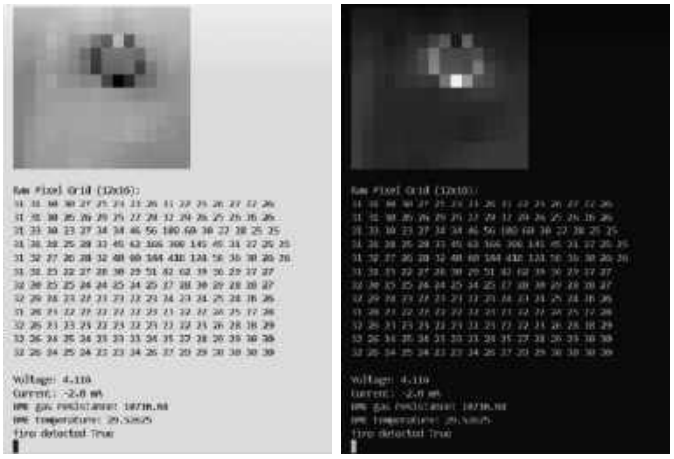
1. Zmontuj elementy zgodnie z opisem.
2. Pobierz najnowszy interpreter MicroPythona w pliku *rpi_pico2-v0.1.0-micropython.uf2* ze strony firmy Pimoroni [7].
3. Trzymając wciśnięty biały przycisk BOOTSEL podłącz płytkę Raspberry Pi Pico2 do komputera kablem microUSB. Jest ona widoczna jako dysk RP2350 w eksploratorze plików Windows.
4. Skopiuj pobrany plik *.uf2* na Raspberry Pi Pico2.
5. W komputerze zainstaluj najnowszą wersję programu Thonny.
6. Uruchom program Thonny.
7. Kliknij na ikonkę trzech linii w prawym dolnym rogu i wybierz *Configure interpreter*.
8. Ustaw typ interpretera na *MicroPython* (*Raspberry Pi Pico*).
9. Z menu w prawym dolnym rogu wybierz *MicroPython* (*Raspberry Pi Pico*) · *Board CDC @COMxx*.
10. Interpreter w polu Shell wyświetli informację o wersji:
11. *MicroPython pico2_w_2025_04_09, on 2025-04-15; Raspberry Pi Pico2 with RP2350*
12. Pobierz folder *code* z kodem aplikacji z repozytorium https://ep.com.pl/files/cst/13770-internet_rzeczy_w_pomiarach_srodowiskowych_24._wykrywanie_poaru_z_uyciem_kamery_termowizyjnej.zip.
13. Otwórz w oknie *Files* folder *code*.
14. Kliknij prawym klawiszem myszy na plik *main.py* i wybierz *Upload to*.
15. Tak samo załaduj do płytki Pico 2 drugi plik *ina219.py* z tego folderu.

Oprogramowanie

Oprogramowanie zrealizowane w języku MicroPython bazuje na płytce Raspberry Pi Pico 2, kamerze MLX90641, czujniku środowiskowym BME688, wyświetlaczu Pico Inky Pack, płytce miernika prądu z układem INA219 oraz akumulatorze Li-Ion i ładowarce.

Projekt składa się z następujących plików:

- **main.py** – pomiar wywoływany jest przerwaniem z użyciem timera, następnie uruchamiane jest zasilanie kamery. Po ustabilizowaniu działania kamery następuje zapis odczytanych danych oraz wywołanie algorytmu obróbki danych. Potem procesor odczytuje dane z BME688 oraz INA219, a zasilanie kamery zostaje wyłączone. Kolejnym etapem działania programu jest obróbka wszystkich danych oraz sprawdzenie, czy konieczne jest wywołanie alarmu. Wszystkie uzyskane dane są wyświetlane na ekranie e-Paper i w terminalu.
- **display.py** odpowiada za poprawne wyświetlanie różnych ekranów i aktualizowanie ich zawartości.
- **data_holders.py** zawiera własne klasy systemu, w tym: GatheredOverallData, Settings oraz AlarmHandler.



Rysunek 2. Kamera MLX90641 skierowana na słońce [13]

- **data_processing.py** zawiera część funkcji obróbki danych, w tym algorytm wykrywania pożaru catch_fire, funkcje do wyświetlania odpowiednich danych na terminalu oraz obliczania poziomu naładowania akumulatora, zgodnie z przykładową charakterystyką napięciowo–pojemnościową akumulatora 18650.
- **mlx90641.py** stanowi bibliotekę do obsługi kamery, umożliwiającą pobranie z niej potrzebnych danych.
- **ina219.py** to sterownik układu miernika mocy INA219.

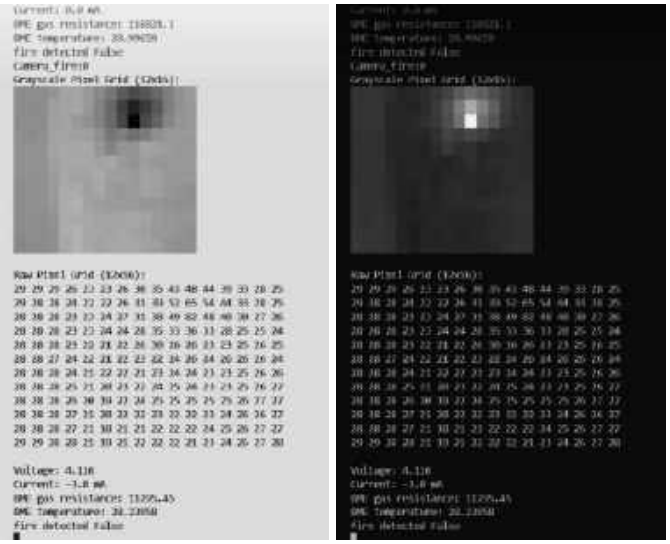
Po inicjalizacji procesora system przechodzi do stanu *sleep* z aktywnymi timerami. Cała funkcjonalność jest obsługiwana za pomocą przerwań.

Testy działania kamery

Zastosowany model kamery termowizyjnej MLX90641 nie doczekał się jak dotąd wsparcia w języku MicroPython. Dlatego też została stworzona własna biblioteka w języku MicroPython, bazująca głównie na dokumentacji kamery. Przydatne były również fragmenty biblioteki układu MLX90640 [4], która znajduje się w repozytorium projektu (https://ep.com.pl/files/cst/13770-internet_rzeczy_w_pomiarach_srodowiskowych_24._wykrywanie_poaru_z_uyciem_kamery_termowizyjnej.zip).

Układ jest w stanie odczytywać dosyć dokładną wartość temperatury każdego piksela. Możliwe jest również zastosowanie korekty zakresu mierzonej temperatury. Zmierzona przez czujnik wartość temperatury otoczenia wydaje się jednak nie być precyzyjna.

W projekcie zaimplementowany został również przykładowy algorytm wykrywania obszarów o podwyższonej temperaturze, wraz z możliwością dostosowywania parametrów.



Rysunek 3. Reakcja układu MLX90641 na obecność płomienia i dymu – aktywacja alarmu [13]

eprasa.pl e7970affa9

Mimo wąskiego kąta widzenia, czujnik pozwala na przetestowanie różnych sposobów wykrywania pożaru. Gdy obszar podwyższonej temperatury (ciemny kolor na **rysunek 3**) obejmie zbyt duży obszar, zostanie aktywowany alarm.

Celem przeprowadzonych testów było sprawdzenie skuteczności działania zbudowanego układu, wyposażonego w kamerę termowizyjną MLX90641. Badania miały na celu ocenę jego działania w różnych warunkach. Sprawdzano również zdolności alarmowania w przypadku wykrycia źródeł ciepła o wysokiej temperaturze (innych niż płomień).

Testy odległościowe z użyciem świeczki

Kamera sprawnie wychwytuje podwyższenie temperatury, którego źródłem jest mały płomień w odległości 30 cm oraz 50 cm, zajmujący od 1 do 3 pól matrycy odczytywanej z kamery. W odległości 100 cm od kamery urządzenie nie jest w stanie wskazać ani jednego piksela kamery z temperaturą ponad 50°C, co skutkuje brakiem możliwości detekcji takiego źródła.

Testy z użyciem grilla

Testy z użyciem grilla polegały na powolnym oddalaniu się z układem do momentu, kiedy kamera przestanie wykrywać gorącego grilla o rozmiarach 25×35 cm (**fotografia 2**). Kamera wykrywała grilla na każdej odległości do 3 m. Następnie zwiększano odległość aż do momentu, kiedy grill przestał być wykrywany jako pożar – stało się to przy dystansie około 6 metrów.

Testy kątowe (pole widzenia)

Kamera sprawnie wychwytuje podwyższenie temperatury w zakresie 43° w pionie (21° w górę i 22° w dół) oraz 85° w poziomie (43° w lewo, 42° w prawo). W podanych kątach granicznych płomień wychwytywany jest w skrajnych kolumnach lub wierszach matrycy czujnika (**fotografia 3**).

Test wykrywania pożaru

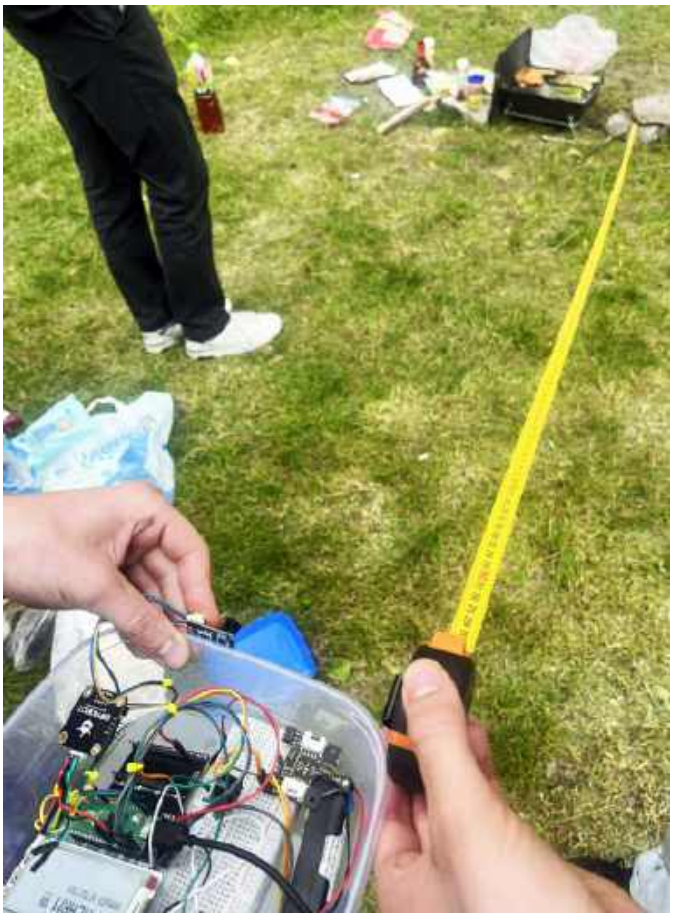
Na koniec sprawdzono, czy urządzenie aktywuje alarm w sytuacji wykrycia nagłego wzrostu temperatury z innego źródła niż płomień. W tym celu przed urządzeniem postawione zostały kubki z wrzątkiem. Dobór symulacji miał odwzorować przykładową sytuację, gdy użytkownik przestrzeni, których monitorowanie było celem projektu (pracownie, stolarnie, warsztaty) wchodzi do pomieszczenia z ciepłym napojem.

Test zakończył się przewidywanym efektem – urządzenie wykryło podwyższoną temperaturę i uruchomiło alarm. Taka sytuacja mogłaby wystąpić, gdyby użytkownik znalazł się z takim obiektem zbyt blisko kamery.

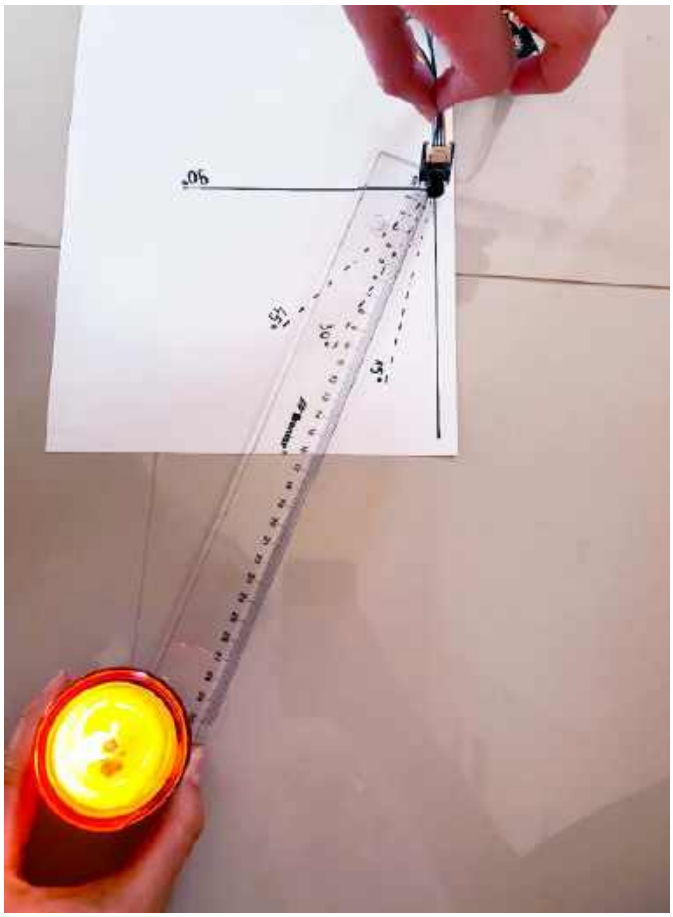
Sprawdzono także, jak kamera zareaguje, gdy skierowana zostanie na rozgrzany do 80°C stół drukarki 3D. Zgodnie z założeniami projektu alarm się aktywował, a kamera wykryła bardzo duży obszar rozgrzany do 80°C. Co ciekawe, po zamknięciu drzwiczek w obudowie drukarki 3D pożar nie jest już wykrywany.

Z przeprowadzonych testów płyną następujące wnioski.

- Kamera MLX90641 poprawnie wykrywa płonącą świeczkę odległości do 100 cm.
- System wykrywa gorący grill do odległości 6 metrów. Świadczy to o poprawnym działaniu systemu. Dodatkowo system informuje o zjawisku skalowania rozmiaru wykrywanego źródła emitowanego promieniowania podczerwonego. Układ nie wykryje małego źródła ciepła z większych odległości, co eliminuje problem fałszywego wykrywania pożarów. Warto jednak uniknąć sytuacji w postaci zbyt bliskiego umiejscowienia kamery w stosunku do przestrzeni roboczej.
- Pole widzenia kamery (kąty graniczne) pozwala na wiarygodne monitorowanie przestrzeni ograniczonej kątami 43° w pionie oraz 85° w poziomie.
- System skutecznie reaguje na nagłe zmiany temperatury – alarm aktywował się w momencie dostrzeżenia wrzątku.



Fotografia 2. Testy zasięgu kamery z zastosowaniem grilla [13]



Fotografia 3. Testy zakresu kątowego kamery [13]

eprasa.pl e7970affa9

Testy działania czujnika BME688

Czujnik BME688 skutecznie sygnalizuje obecność różnych substancji lotnych, czego dowodem są znaczące zmiany wartości jego rezystancji w obecności wykrywanego gazu. Najsilniejszą reakcję zaobserwowano w przypadku dymu z kartki papieru oraz oparów izopropanolu. Warto zauważyć, że:

- im niższa rezystancja „gazowa", tym większe stężenie wykrytych związków lotnych,
- po dłuższym nieużywaniu czujnik wymaga czasu na stabilizację odczytu po włączeniu zasilania,
- reakcja jest natychmiastowa, ale powrót do wartości bazowej może być powolny.

Czujnik z powodzeniem zastosowano do detekcji oparów izopropanolu, zmywacza do paznokci oraz dezodorantu. W kolejnym teście została zbadana reakcja na dym powstały przy tleniu się kartki papieru. Wystąpiła silna odpowiedź sensora: im więcej dymu, tym niższa rezystancja.

Testy całego układu – czujnik BME688 + kamera MLX90641

Następnie zostały wykonane testy całościowego działania układu w dwóch scenariuszach środowiskowych:

- **nasłonecznienie** – obecność silnego źródła ciepła (słońca) bez obecności gazów.
- **palnik + dym** – obecność źródła wysokiej temperatury oraz gazów (dymu).

Celem testów było sprawdzenie, czy:

- alarm nie zostaje wywołany w przypadku jedynie wysokiej temperatury (np. promieniowania słonecznego),
- alarm aktywuje się poprawnie w przypadku jednoczesnej detekcji ciepła i obecności gazów (dymu),
- reakcja układu jest wystarczająco szybka,
- powrót do wartości normalnych po ustąpieniu zagrożenia następuje w rozsądnym czasie.

Nasłonecznienie – brak gazu, wysoka temperatura

Opis: Kamera termowizyjna MLX90641 została skierowana w kierunku słońca.

Na wyświetlaczu układu wyraźnie widoczna była wysoka temperatura w centralnym punkcie obrazu. W tym samym czasie czujnik BME688 nie wykazał obecności żadnych gazów w otoczeniu (rezystancja utrzymywała się na wysokim poziomie).

Obserwacja: Pomimo widocznego źródła wysokiej temperatury, system alarmowy nie został aktywowany.

Wnioski: Układ poprawnie rozpoznaje, że wysoka temperatura nie zawsze oznacza zagrożenie, jeśli nie towarzyszy jej obecność gazów.

Dodatkowo, aby zabezpieczyć układ przed rozpoznawaniem słońca jako ognia, zmieniono algorytm tak, aby nie wykrywał słońca jako ogień, ale palnik – już tak.

Palnik + dym – wysoka temperatura i obecność gazów

Opis: Kamera została skierowana w stronę zapalonego palnika w odległości 20 cm, zbliżono także do czujnika źródło dymu. W ciągu kilku sekund od wystawienia układu na działanie tej kombinacji bodźców wartość rezystancji gazowej gwałtownie spadła, a kamera wykazała wzrost temperatury w polu widzenia.

Obserwacja: System aktywnie zareagował – uruchomił się alarm dźwiękowy oraz wyświetlony został komunikat o zagrożeniu pożarowym.

Wnioski: Układ skutecznie rozpoznaje sytuację zagrożenia, gdy obecne są oba czynniki: wysoka temperatura i gazy.

Pomiary zużycia energii

Do dynamicznego pomiaru prądu zasilania zastosowano zestaw Power Profiler Kit II (PPK2) firmy Nordic Semiconductor [10].

Układ bez optymalizacji pobiera średnio 35 mA prądu z akumulatora o napięciu 3,7 V. Po zaimplementowaniu kluczowania zasilania kamery nastąpiło znaczne obniżenie poboru prądu do wartości około 20 mA.

Obecnie MicroPython nie udostępnia funkcji usypiania procesora RP2350. Jako rozwiązanie pomocnicze zastosowano obniżenie taktowania rdzenia, co dało następujące wyniki średniego poboru prądu całego układu:

- 96 MHz, na poziomie 14 mA,
- 36 MHz, na poziomie 10 mA,
- 24 MHz, praca niestabilna.

Kompromis pomiędzy funkcjonalnością a zużyciem energii uzyskano dzięki zastosowaniu taktowania procesora sygnałem 18 MHz w stanie bezczynności oraz dynamicznego podbijania częstotliwości do 36 MHz tylko podczas pracy. Osiągnięto w ten sposób znaczącą redukcję poboru energii, głównie dzięki ograniczeniu częstotliwości taktowania CPU, zasilaniu elementów jedynie w czasie pracy, a także uproszczeniu logiki działania układu

Rysunek 4. Pomiar zasilania układu

eprasa.pl e7970affa9

w trybie spoczynku. Pobór energii przez elementy peryferyjne został skutecznie zmarginalizowany – wyświetlacz, czujniki i inne komponenty zastosowano tak, aby pobierały jak najmniej mocy. Finalnie osiągnięto średni pobór prądu z pomiarami co 30 s o wartości 8,17 mA.

Profil poboru prądu zasilania przy napięciu akumulatora równym 3,719 V i przy pomiarach co 12 s pokazano na **rysunku 4**. Widoczne są piki prądu podczas włączania zasilania elementów składowych systemu. Zastosowano taktowanie procesora 128 MHz i 18 MHz. Czas pomiarów jest stosunkowo długi i wynosi ok. 2,5 s. Średni pobór prądu pozostaje stosunkowo niski, pomimo zwiększenia częstotliwości pomiarów.

Podsumowanie

Kamera termowizyjna MLX90641 oraz czujnik gazów BME688 dobrze współpracują, by dokładnie wykrywać realne zagrożenie pożarem – nawet w sytuacjach, w których sam czujnik temperatury mógłby dać fałszywy alarm (np. w bezpośrednim nasłonecznieniu).

Testy potwierdziły poprawne działanie zintegrowanego systemu czujnikowego. Układ błyskawicznie reaguje na pojawienie się zagrożenia, dając odpowiedź w czasie najbliższego pomiaru. Sygnalizacja nie uruchamia się przy samym wzroście temperatury, co zapobiega fałszywym alarmom. Powrót do wartości bazowych po ustąpieniu dymu jest stosunkowo wolny – czujnik gazowy potrzebuje czasu, by oczyścić się z pozostałości wykrywanych substancji.

Aby uzyskać poprawną pracę całości, kamera nie może zostać zablokowana przez jakikolwiek obiekt, choć duże pożary powinny skutecznie zostać wykryte ze względu na ogrzanie otoczenia oraz zjawisko odbijania promieniowania podczerwonego. Pożary tlące się powoli mogą zostać wykryte po długim czasie, ponieważ nie będą emitować znacznego promieniowania podczerwonego.

Poprawna implementacja głębokiego uśpienia procesora (deep sleep) może jeszcze bardziej ograniczyć zużycie energii – nawet do pojedynczych mikroamperów w stanie bezczynności.

Możliwa jest też dalsza optymalizacja kodu, w szczególności w zakresie obsługi kamery. Proces odczytu danych generuje wyraźne skoki poboru energii – można spróbować je obniżyć, redukując wykonywane operacje i nie obliczając dokładnej wartości temperatury, a zamiast tego porównując surowe dane. Usprawnienie tego procesu może przyczynić się do dalszego ograniczenia strat energetycznych.

Literatura:

[1] Raspberry Pi Pico 2, https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-pico-2/

[2] RP2350 Datasheet, 2024-10-16, Raspberry Pi, https://datasheets.raspberrypi.com/rp2350/rp2350-datasheet.pdf

[3] MLX90641 IR Array Thermal Imaging Camera, 16×12 Pixels, 55° FOV, I²C SKU:20465, Waveshare, https://www.waveshare.com/mlx90641-d55-thermal-camera.htm

[4] MicroPython Driver for MLX90640 IR Camera, Michael-Sulyak, https://github.com/michael-sulyak/micropython-mlx90640

[5] Moduł z buzzerem aktywnym z generatorem – zielony Indeks: MOD-04526, Botland, https://botland.com.pl/buzzery-generatory-dzwieku/4526-modul-z-buzzerem-aktywnym-z-generatorem-zielony-5904422300654.html

[6] Moduł ładowarki akumulatora Li-Ion z układem TP4056 i złączem microUSB, Kamami, https://kamami.pl/ladowarki-li-po-moduly/562280-modul-ladowarki-akumulatora-li-ion-z-ukladem-tp4056-i-zlaczem-microusb-5906623455461.html

[7] Pimoroni Pico MicroPython for RP2350/Pico 2 boards, https://github.com/pimoroni/pimoroni-pico-rp2350

[8] Pico Graphics, Pimoroni, https://github.com/pimoroni/pimoroni-pico/tree/main/micropython/modules/picographics

[9] Akumulator Li-Ion Xtar 18650 3,7 V 2600 mAh z zabezpieczeniem, Kamami, https://kamami.pl/akumulatory/579126-akumulator-li-ion-xtar-18650-37v-2600mah-z-zabezpieczeniem-6952918340263.html

[10] Profilowanie mocy z zastosowaniem Power Profiler Kit II, Henryk A. Kowalski, EP 5/2022, https://ep.com.pl/kursy/15267-systemy-dla-internetu-rzeczy-60-profilowanie-mocy-z-zastosowaniem-power-profiler-kit-ii

[11] UPS do Raspberry Pico/Pico 2, Henryk A. Kowalski, EP 11/2025, https://ep.com.pl/projekty/moduly-w-aplikacjach/16653-internet-rzeczy-w-pomiarach-srodowiskowych-23-ups-do-raspberry-pico-pico-2

[12] Bosch gas sensor BME688, Bosch Sensortec, https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/gas-sensors/bme688/#documents

[13] Autonomiczny układ wykrywania pożaru, Raport projektowy, Łukasz Gójski, Piotr Wawrzonkowski, Zuzanna Fabisiak i Weronika Przybył, 2025

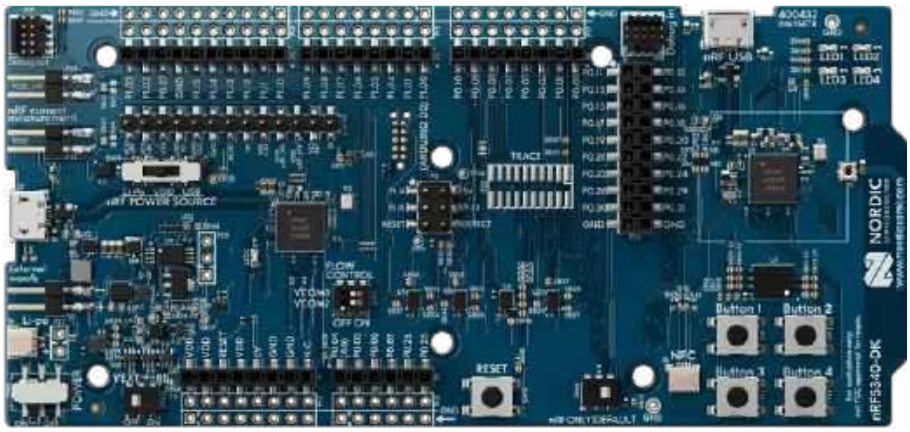
[14] Gravity: I²C ADS1115 16-Bit ADC Module, DFR0553, DFRobot, https://www.dfrobot.com/product-1730.html

Opis i realizacja oprogramowania bazuje na projekcie „Autonomiczny układ wykrywania pożaru", wykonanego w ramach przedmiotu „Systemy dla Internetu Rzeczy" na Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej przez zespół w składzie: Łukasz Gójski, Piotr Wawrzonkowski, Zuzanna Fabisiak i Weronika Przybył.

Henryk A. Kowalski
Instytut Informatyki
Politechnika Warszawska

REKLAMA

KURS Nordic nRF z BT



Zanurzymy się w konfigurację środowiska z nRF Connect SDK i przyjrzymy się, co sprawia, że płyta deweloperska nRF5340 DK jest tak wszechstronna. Przygotuj się na ekscytującą podróż przez konfigurację, programowanie oraz testowanie, które otworzą przed Tobą nowe możliwości w technologii Bluetooth Low Energy i systemie Zephyr.

ulubionykiosk.pl

eprasa.pl e7970affa9

Właściwa obudowa gwarancją bezpieczeństwa i niezawodności systemu

Wraz z rozszerzaniem obszarów zastosowań elektroniki przemysłowej rosną również wymagania stawiane urządzeniom. Poszczególne gałęzie przemysłu mają własne normy i przepisy, których celem jest zagwarantowanie bezpieczeństwa pracy oraz niezawodności instalacji. W sektorze chemicznym priorytetem jest ochrona przed wybuchem, chroniąca przed zainicjowaniem zapłonu substancji palnych. W branży spożywczej natomiast szczególny nacisk kładzie się na wysoką szczelność konstrukcji oraz odporność na agresywne środki myjące, co pozwala utrzymać odpowiednią higienę produkcji. Instalacje fotowoltaiczne, zamieniające energię słoneczną na elektryczną, muszą wytrzymywać zmienne i często trudne warunki pogodowe – od opadów deszczu i śniegu po silne promieniowanie UV. Urządzenia realizujące komunikację bezprzewodową, takie jak anteny czy routery, wymagają z kolei odporności na zakłócenia elektromagnetyczne oraz stabilności transmisji.

Wybór odpowiedniej obudowy, która zabezpieczy urządzenie przed wpływem warunków zewnętrznych, jest złożonym zadaniem. Obudowy muszą spełniać szereg wymagań, takich jak odporność na kurz, brud, wodę, a także wytrzymałość w ekstremalnych temperaturach. Solidne obudowy z serii OCS, ECS i MCS firmy Phoenix Contact oferują kompleksową ochronę wrażliwej elektroniki. Dzięki stopniowi ochrony IP66/68/69 oraz szerokiemu zakresowi temperatury pracy są idealnym rozwiązaniem do pracy w zmiennych i wymagających warunkach, zarówno w aplikacjach wewnętrznych, jak i zewnętrznych.

Stopnie ochrony obudów wg IEC/EN 60529

Zgodnie z normą IEC/EN 60529, stopień ochrony przed ciałami obcymi oraz wodą oznaczany jest symbolem IP (International Protection) oraz dwoma cyframi. Pierwsza z nich określa ochronę przed dotykiem i ciałami obcymi, druga – przed przenikaniem wody do wnętrza urządzenia. W Ameryce Północnej standaryzacja ochrony dla urządzeń o napięciu roboczym do 1000 V opisana jest w normie NEMA 250. W odróżnieniu do EN 60529, standard ten bierze również pod uwagę czynniki, takie jak korozja, rdza, mróz, smary oraz czynniki chłodzące. Dla przykładu:

- obudowy z serii OCS charakteryzują się stopniem ochrony NEMA 250 i IP66/68/69,
- obudowy z serii ECS są klasyfikowane na poziomie NEMA klasy 6 i IP69,
- obudowy z serii MCS oferują stopień ochrony IP40 i IP65/67.

Oznacza to, że wymienione powyżej modele zapewniają skuteczną ochronę przed opadającym kurzem, strumieniem wody oraz zanurzeniem w wodzie. Dzięki temu stanowią niezawodną i trwałą ochronę przed szkodliwym wpływem środowiska.

Urządzenia pracujące na zewnątrz wystawione są na działanie nie tylko wilgoci. W suchych środowiskach powietrze przenosi bardzo małe cząsteczki pyłu i zanieczyszczeń środowiskowych, takich jak sól czy kwas siarkowy, które osadzają się na obudowie. Może to prowadzić do korozji części metalowych. Ciągłe promieniowanie słoneczne i światło ultrafioletowe mogą z kolei powodować przyspieszenie starzenia się materiałów, zwłaszcza plastikowych. Obudowy wykonane ze specjalnie wzmocnionego poliwęglanu, odporne na wysokie temperatury i promienie UV, mogą pracować w omówionych, szczególnie ciężkich warunkach nawet do 20 lat.

Wytrzymałość mechaniczna

Wibracje, wstrząsy i uderzenia są kluczowymi czynnikami wpływającymi na działanie urządzeń elektronicznych. Odporność na te narażenia jest określana przez kod EKP zgodnie z normami IEC 62262 i EN 50102. W ramach testów przeprowadza się zderzenia na każdej powierzchni obudowy, która jest narażona na kontakt podczas normalnego użytkowania. Testy te powtarza się pięciokrotnie, przy czym naprężenia nie mogą być stosowane więcej niż trzy razy w pobliżu tego samego miejsca.

eprasa.pl e7970affa9

Fotografia 1. Membrana wyrównująca ciśnienie zapewnia odpowiednią wymianę powietrza

Obudowy OCS mają stopień ochrony przed uderzeniami IK10, co oznacza, że są w stanie wytrzymać energię uderzenia wynoszącą 20 J w kluczowych punktach, bez degradacji uszczelnienia ani stopnia ochrony. Obudowy ECS oferują odporność IK08 i energię uderzenia 5 J. Dzięki temu wymienione serie obudów zapewniają niezawodną ochronę w wymagających warunkach pracy, minimalizując ryzyko uszkodzeń mechanicznych i zapewniając wyjątkową trwałość urządzeń.

Zarządzanie ciepłem i redukcja kondensacji

Urządzenia instalowane na zewnątrz, wystawione na czynniki pogodowe przez cały rok, pracują w temperaturach otoczenia wahających się nawet od –40 do +85°C. Dodatkowo praca elektroniki powoduje nagrzewanie się wnętrza obudowy w wyniku oddawania ciepła przez komponenty i PCB. Wpływa to negatywnie zarówno na materiał i uszczelnienie obudowy, jak i na zastosowane złącza.

Rozwiązaniem umożliwiającym kompensację różnicy ciśnień między wnętrzem urządzenia a otoczeniem może być zastosowanie odpowiednich membran (**fotografia 1**). Redukują one ryzyko przedostania się wilgoci z atmosfery, niwelują ponadto odkształcenia mechaniczne spowodowane trwałymi wahaniami ciśnienia.

Fotografia 2. Modułowa obudowa ECS z panelem frontowym

Fotografia 3. Obudowa OCS do rozwiązań POS (Pico-Off-Grid System)

Aspekty konstrukcyjne obudów

Obudowa OCS dostępna jest w sześciu rozmiarach. Każdy z nich ma wersję z pełną lub przezroczystą pokrywą, z możliwością plombowania oraz zintegrowaną uszczelką. Ścianki obudowy o grubości 4 mm gwarantują dużą odporność mechaniczną. Obudowa ma zintegrowane, regulowane mocowanie panelu lub PCB, co ułatwia jej elastyczne dostosowanie do projektu.

Obudowa ECS dostępna jest w trzech rozmiarach. Moduł składa się z dwóch części. Korpus o budowie kubełkowej umożliwia montaż płytek PCB o grubości od 1,6 do 2,4 mm oraz mechaniczną blokadę zabezpieczającą płytkę PCB przed wysunięciem. Jest to dodatkowe ułatwienie w trakcie prac serwisowych lub w niewygodnym otoczeniu. Obudowę dopełnia zatrzaskiwany lub dokręcany front z możliwością plombowania (**fotografia 2**). Dostępny jest on w wersji pełnej, którą można dowolnie otworować w celu wykorzystania szczelnych złączy sygnałowych (np. M12) lub szczelnych złączy do transmisji danych.

Obudowy MCS dostępne są w 3 rozmiarach. Ukośna krawędź dwóch części obudowy umożliwia wygodny, poziomy montaż PCB z już obsadzonymi gniazdami wejść/wyjść, wykorzystując całą powierzchnię obudowy. Opcjonalny zawias zapewnia wygodną instalację i prace serwisowe.

Systemy OCS, ECS i MCS mogą być przykręcone bezpośrednio do płaskich powierzchni lub zostać zamontowane na słupie za pomocą dedykowanych akcesoriów.

Optymalne wyposażenie do rozwiązań off-grid

Wykorzystaj oparty na panelach PV system POS (Pico-Off-Grid System) do stworzenia samowystarczalnych energetycznie systemów o kilku klasach mocy do 190 Wp. Dzięki solidnej obudowie OCS i mocowaniu na słupie ze stali nierdzewnej z regulowanym kątem nachylenia panelu fotowoltaicznego można zrealizować niezawodne i trwałe rozwiązanie do dostarczania energii na odległych terenach i w wymagających środowiskach (**fotografia 3**). Obszary aplikacyjne obejmują rejestrację danych środowiskowych, infrastrukturę przemysłową o wysokich wymaganiach i wiele innych zastosowań zewnętrznych.

Nawet w ekstremalnych środowiskach obudowy Phoenix Contact niezawodnie ochronią znajdujące się wewnątrz komponenty elektroniczne przed wilgocią, ciepłem, promieniowaniem UV i naprężeniami mechanicznymi. Certyfikowane obudowy z poliwęglanu są lekkie i wytrzymałe, mogą przetrwać duże obciążenia mechaniczne w szerokim zakresie temperatur. Obudowy oferują wysoki stopień elastyczności i mogą być indywidualnie dostosowywane oraz rozszerzane za pomocą szerokiej gamy akcesoriów.

Paweł Zientarski
Menedżer Obszaru Biznesu
– złącza i obudowy do elektroniki
pzientarski@phoenixcontact.pl
tel. 694 485 087

eprasa.pl e7970affa9

Obudowy na miarę XXI wieku

Pojęcie „obudowa uniwersalna" wielu elektronikom kojarzy się zapewne z prostym, tworzywowym pudełkiem, złożonym z dwóch pokryw i wstawionych pomiędzy nimi paneli. Tego rodzaju klasyczne konstrukcje doskonale nadają się do budowy prototypów czy też jednostkowej produkcji urządzeń warsztatowych bądź laboratoryjnych. W przypadku urządzeń komercyjnych – zwłaszcza w segmentach elektroniki konsumenckiej czy aparatury specjalistycznej – najprostsza estetyka okazuje się niewystarczająca. Czy jesteśmy zatem skazani na inwestycje rzędu co najmniej dziesiątków tysięcy złotych w dedykowane formy wtryskowe?

Najkrótsza odpowiedź na postawione powyżej pytanie jak zwykle brzmi: to zależy. O ile bowiem w przypadku produkcji wielkoseryjnej – liczonej w tysiącach sztuk – forma wtryskowa (**fotografia 1**) zdecydowanie okaże się rozwiązaniem godnym rozważenia, to mając zamówienia na kilkanaście czy nawet kilkadziesiąt sztuk rocznie, wiele firm zdecydowanie nie odważy się zaryzykować tak sporej inwestycji. Wprawdzie na rynku wytwórców form wtryskowych, jak i firm świadczących usługi wtrysku tworzyw sztucznych na zasadzie outsourcingu, konkurencja znacznie wzrosła w ostatnich latach – głównie za sprawą dalekowschodnich „fabryk od wszystkiego" – to wytwarzanie obudów na potrzeby konkretnego projektu wciąż jest raczej dość ryzykowną częścią biznesu. I nie chodzi tu nawet o (jakkolwiek spory) koszt wykonania pojedynczej formy czy jej późniejszej eksploatacji. Problem polega na tym, że dobre zaprojektowanie formy oraz jej właściwe wyprodukowanie wiążą się z szeregiem pułapek. Znaczenie mają najmniejsze detale, których odwzorowanie na modelach wykonywanych metodami druku 3D czy też w symulacjach komputerowych może być niewystarczające. A każdy błąd to ryzyko, że proces produkcji trzeba będzie powtórzyć od zera, więc koszt frezowania i postprocessingu formy łatwo ulegnie zwielokrotnieniu.

W tym miejscu trzeba jasno powiedzieć, że tego rodzaju dylematy dotyczą przede wszystkim małych i średnich przedsiębiorstw, gdyż w przypadku największych graczy takie ryzyko jest po prostu wkalkulowane w sens istnienia działów R&D. Jeżeli zaprojektowanie i produkcja formy (bądź zlecenie tych procesów na zewnątrz) nie wchodzi w grę, uzyskanie wysokiej jakości produktu o doskonałej estetyce wciąż pozostaje jednak w zasięgu mniejszych przedsiębiorstw. Uwaga projektantów skupia się wtedy bowiem na obudowach uniwersalnych – najlepiej na tych, które dostępne są w magazynach dostawców od ręki lub przynajmniej na zamówienie, ale z relatywnie krótkim terminem realizacji.

Fotografia 1. Przykładowa forma wtryskowa (https://t.ly/DKcDX)

Na rynku dostępne są obecnie tysiące modeli przeróżnych obudów – od prostych, biurkowych lub wieszanych na ścianie, poprzez kompaktowe obudowy do pilotów zdalnego sterowania czy czujników, aż po warianty w wymyślnych, wręcz futurystycznych kształtach (**fotografia 2**). Produkty z ofert czołowych, międzynarodowych wytwórców znajdują zastosowania w najbardziej wymagających urządzeniach, w tym aparaturze medycznej czy sprzęcie pomiarowym. Udział klientów z tych branż skutecznie stymuluje zresztą producentów obudów uniwersalnych do opracowywania swego rodzaju „evergreenów" – modeli, które za sprawą charakterystycznej formy, szerokiej gamy akcesoriów i przemyślanych wersji wymiarowych nadają się idealnie np. do konstrukcji przenośnych mierników, analizatorów, urządzeń laboratoryjnych czy wreszcie aparatury medycznej. Pewne doświadczenie i wyrobione oko konstruktora nierzadko pozwala już przy pierwszym kontakcie z urządzeniem rozpoznać, od jakiego producenta, a nawet z której linii

Fotografia 2. „Artystyczna" obudowa z serii Blob marki OKW (https://t.ly/DKQ_D)

Fotografia 3. Seria obudów Carrytec marki OKW (https://t.ly/Q5uMZ)

eprasa.pl e7970affa9

Fotografia 4. Kieszenie transportowe – dedykowane akcesoria do obudów z serii CARRYTEC (https://t.ly/Q5uMZ)

Fotografia 5. Hak do zawieszania obudów z serii CARRYTEC marki OKW (https://t.ly/Q5uMZ)

Fotografia 6. Przykładowy wysięgnik ścienny do obudów CARRYTEC (https://t.ly/Q5uMZ)

produktowej pochodzi oryginalna obudowa uniwersalna zastosowana w danym urządzeniu.

Obudowy do urządzeń przenośnych i ubieralnych

Obudowy przeznaczone do urządzeń przenośnych należą do najbardziej zróżnicowanych wśród wszystkich obudów uniwersalnych dostępnych na rynku. Charakteryzują się dość znacznym rozrzutem rozmiarów i kształtów korpusu, ale punktem wspólnym jest duży nacisk na ergonomię oraz dostępność licznych opcji montażowych dla elektroniki i baterii. Szczególnie ciekawie prezentuje się na tle konkurencji seria CARRYTEC marki OKW (**fotografia 3**), przeznaczona do budowy przenośnych urządzeń medycznych, aparatury pomiarowej czy oprzyrządowania specjalistycznego, stosowanego np. w lotnictwie i innych pracach terenowych. O nacisku przede wszystkim na zastosowania medyczne świadczy jednak fakt, że producent przewidział szereg typowych dla tej branży akcesoriów dodatkowych – zwłaszcza kieszenie boczne (stosowane np. do przenoszenia elektrod defibrylacyjnych bądź kabli EKG – patrz **fotografia 4**) czy haki do zawieszenia obudowy na poręczy łóżka pacjenta (**fotografia 5**). Konstrukcja tylnej komory obudowy umożliwia ponadto łatwą adaptację urządzenia np. do montażu na wysięgniku ściennym – rozwiązanie takie jest powszechnie stosowane m.in. w kardiomonitorach stacjonarnych (**fotografia 6**).

Serie takie jak OKW Hand-Terminal (**fotografia 7**) zostały z kolei zaprojektowane z myślą o urządzeniach obsługiwanych jedną ręką, często wykorzystywanych w serwisie, warsztatach, pomiarach terenowych, medycynie lub automatyce przemysłowej (w tym zwłaszcza robotyce). Charakterystyczne są w nich obłe krawędzie chwytu oraz specjalnie ukształtowane powierzchnie pod ekran lub klawiaturę membranową.

W ofercie innego producenta – japońskiej marki Takachi – w oczy rzuca się zwłaszcza seria obudów o nazwie LCT (**fotografia 8**), wyposażona w dobrze dopasowane, gotowe osłony silikonowe. Zapewniają one nie tylko doskonałą ochronę przed upadkami (co ma znaczenie m.in. w przenośnych multimetrach i innych urządzeniach pomiarowych do pracy w terenie), ale także pewny chwyt za sprawą antypoślizgowej powierzchni.

W ofertach polskich producentów także można znaleźć interesujące przykłady obudów opracowanych z myślą o kompaktowych urządzeniach przenośnych. Wśród bardziej futurystycznych modeli znalazły się m.in. warianty z serii KM130 marki Maszczyk – w tym Maszczyk KM-130KL (**fotografia 9**) czy Maszczyk KM-130N (**fotografia 10**). Pierwszy z nich jest wyposażony w dedykowaną obudowę membranową, zaś drugi wariant producent dostarcza w zestawie z uniwersalnym zestawem klawiszy, które można dopasować do klawiatury „wprojektowanej" w płytkę drukowaną urządzenia (**fotografia 11**). Zarówno w samej pokrywie, jak i we wkładce

REKLAMA

eprasa.pl e7970affa9

Fotografia 7. Seria obudów Hand-Terminal marki OKW (https://t.ly/0n9wC)

Fotografia 8. Nowoczesne obudowy z osłoną silikonową – seria LCT marki Takachi (https://t.ly/dP2kh)

Fotografia 9. Obudowa z serii KM-130KL marki Maszczyk (https://t.ly/-1naf)

pełniącej rolę elastycznie zawieszonych klawiszy, projektanci przewidzieli liczne otwory pozwalające wyprowadzić światło ze wskaźników LED przez przednią powierzchnię obudowy. W zestawie znajdują się ponadto kompatybilne blaszki pozwalające na podłączenie trzech baterii (w tylnej części umieszczono gniazdo z klapką zatrzaskową).

Inna znana marka – firma Gainta – opracowała natomiast serię ergonomicznych obudów oznaczonych G500 i GP503, także wyposażonych w wybranie pod klawiaturę membranową lub wklejany panel frontowy (**fotografia 12**). Co ciekawe, w tym przypadku konstruktor ma do wyboru dwa zestawy blaszek stykowych do baterii AA, pozwalających na zasilanie urządzenia z dwóch lub czterech szeregowych ogniw.

Urządzenia ubieralne stanowią specyficzną niszę w segmencie sprzętu przenośnego. Choć oferta produktów pozwalających na budowę np. mobilnych gadżetów w stylu smartwatcha jest bardzo ograniczona, to jednak da się znaleźć odpowiednie modele nawiązujące wymiarami i estetyką do inteligentnych zegarków.

Sztandarowym przykładem obudowy nadającej się do budowy urządzenia nadgarstkowego jest model SMW marki Takachi (**fotografia 13**). W tym przypadku producent zadbał o dokładne uszczelnienie wnętrza, co pozwoliło spełnić wymogi stopnia ochrony IP67, czyli pełnej wodo- i pyłoszczelności (oczywiście przy odpowiednim zaprojektowaniu dodatkowych otworów, które w większości przypadków będą konieczne do wyprowadzenia elementów interfejsu użytkownika, złączy bądź czujników.

Seria OKW MINITEC (**fotografia 14**) jest jednym z najbardziej rozpoznawalnych (a zarazem nielicznych) rozwiązań w tym segmencie – ergonomiczny kształt oraz kompaktowe rozmiary obudów predestynują je do zastosowań w miniaturowych czujnikach aktywności, niewielkich urządzeniach medycznych, lokalizatorach GPS bądź systemach przywoławczych (SOS) dla osób starszych. Obudowy te zapewniają odpowiednią trwałość mechaniczną i są przystosowane do różnych opcji mocowania na ciele użytkownika – głównie

Fotografia 10. Kompletna obudowa KM-130N firmy Maszczyk (https://t.ly/lCbFA)

Fotografia 11. Elementy obudowy KM-130N firmy Maszczyk wraz z dedykowaną klawiaturą i stykami baterii (https://t.ly/lCbFA)

eprasa.pl e7970affa9

Fotografia 12. Obudowy z serii G5xx A marki Gainta wraz z dedykowanymi akcesoriami (https://t.ly/k46T2)

za pośrednictwem pasków nadgarstkowych, ramiennych czy biodrowych albo pojedynczych tasiemek do zawieszenia. Podstawowe elementy (dno oraz pokrywa górna) występują w trzech barwach (biały, czarny oraz ciemnoszary – „lava") natomiast uszczelki (zintegrowane z opcjonalnymi uszami do przewleczenia paska) są dostępne w szerokiej gamie kolorów (biały, jasnoszary, ciemnoszary, czarny, pomarańczowy, zielony, błękitny) i to zarówno w wersji cienkiej (standardowej), jak i poszerzonej, umożliwiającej rozsunięcie obu połówek obudowy w celu uzyskania dodatkowej objętości wewnętrznej komory.

Wśród niewielkich obudów do urządzeń przenośnych można wyróżnić także inną specyficzną podkategorię, czyli obudowy do pilotów. Znajdują one zastosowanie głównie w radiowych systemach automatyki bramowej, instalacjach oświetleniowych oraz rozwiązaniach z zakresu inteligentnego domu, ale równie dobrze mogą być użyte w układach zdalnego sterowania pracujących w paśmie w podczerwieni. Większość z nich jest już fabrycznie wyposażona w kilka klawiszy gotowych do zintegrowania z przyciskami typu tact switch. W tym segmencie polskiego rynku od lat

a)

b)

Fotografia 13. Seria obudów typu smartwatch – SMW marki Takachi – (a) widok z zewnątrz, (b) przykładowe użycie z płytką zawierającą gniazdo baterii typu CR2032 lub podobnej – https://t.ly/zWGjz

REKLAMA

Profesjonaliści w zastosowaniach zewnętrznych

- Temperatury: - 40 do +80°C
- Dopuszczenia: UL 508A i EN 62208
- Stopnie ochrony: IP66/68/69, IEC 60529 lub NEMA 250, Type 4X, 12, 13, 6P
- Odporność na uderzenia: klasa IK10, EN 50102

Odwiedź naszą stronę internetową i dowiedz się więcej!

www.phoenixcontact.pl/Obudowy

lub zeskanuj kod QR swoim telefonem

PHOENIX CONTACT
INSPIRING INNOVATIONS

© Phoenix Contact 2020

eprasa.pl e7970affa9

Fotografia 14. Zróżnicowana kolorystycznie i wymiarowo seria obudów MINITEC marki OKW (https://t.ly/2DJgL)

Fotografia 15. Przykładowe obudowy do pilotów radiowych i IR – model Kradex Z132J w dwóch wersjach kolorystycznych (https://t.ly/oH1z0)

Fotografia 16. Stalowe obudowy przyrządowe z serii MSY marki Takachi (https://t.ly/IRCeC)

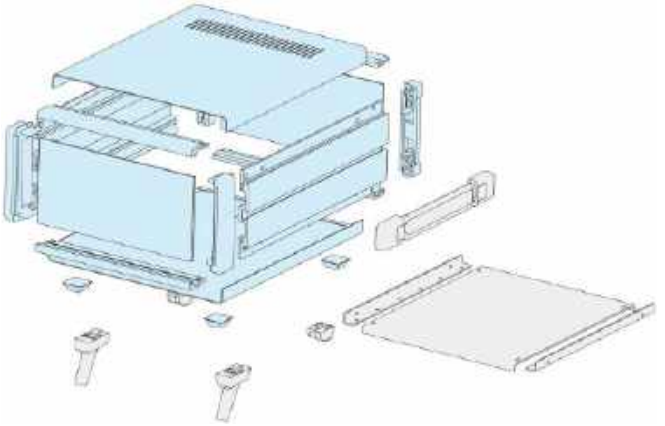
królują rodzime firmy – przykład estetycznej obudowy czteroprzyciskowej typu Z132J marki Kradex w dwóch wersjach kolorystycznych można zobaczyć na **fotografii 15**.

W kontekście urządzeń przenośnych niezwykle ważne jest skrupulatne dostosowanie projektowanej elektroniki do wnętrza obudowy. Warto zwrócić uwagę, że ergonomiczny kształt zewnętrzny – tak pożądany z punktu widzenia użytkownika końcowego – często wymusza skomplikowany układ wewnętrznej komory, co niekiedy znacznie utrudnia dostosowanie kształtu PCB. Dlatego też konstruktorzy szczególnie doceniają te obudowy, do których dostępna jest kompletna dokumentacja CAD bezpośrednio od producenta. Szczególnie przydatne są modele 3D (zwykle w formacie .STEP), których zaimportowanie do środowiska EDA bądź pakietu CAD pozwala znacząco skrócić proces projektowania i zmniejszyć ryzyko konfliktów wymiarowych. Takie modele udostępnia większość liczących się na rynku producentów, w tym wspomniane wcześniej wielokrotnie firmy OKW, Kradex, Maszczyk, a także Hammond czy Bopla.

Konfigurowalne obudowy przyrządowe

Producenci stacjonarnej aparatury pomiarowej także mają pole do popisu pod względem wyboru gotowej obudowy do projektowanego urządzenia. W tego typu sytuacjach najchętniej stosowane są klasyczne rozwiązania w postaci kilkuczęściowych, poziomych obudów wyposażonych w (często składane) nóżki, a nierzadko także w obrotową rączkę do wygodnego i bezpiecznego przenoszenia oraz pozycjonowania przyrządu pod optymalnym kątem względem blatu. Choć w zdecydowanej większości przypadków obudowy takie plasują się raczej na górnej lub przynajmniej średniej półce cenowej, to zwykle inwestycja w lepszej jakości obudowę i tak się zwraca – użytkownicy profesjonalni, przyzwyczajeni do najwyższej jakości obudów stosowanych w topowej aparaturze laboratoryjnej, oczekują tego samego także od mniejszych producentów.

Do rozwiązań wartych rozważenia zdecydowanie należy seria MSY marki Takachi (**fotografia 16**, **rysunek 1**), obejmująca aż 160 różnych rozmiarów obudów w 3 odmianach kolorystycznych, z pokrywami wykonanymi z jednomilimetrowej blachy stalowej. Podobne, ale wykonane w całości z aluminium modele z serii MOY dobrze nadają się do budowy urządzeń lżejszych, podobnie jak w przypadku MSY także wyposażonych w boczną rączkę do wygodnego przenoszenia (**fotografia 17**). Ten sam producent oferuje ponadto solidne, metalowe obudowy MCG (**fotografia 18**) wyposażone



Rysunek 1. Widok rozstrzelony obudowy z serii MSY marki Takachi (https://t.ly/IRCeC)

w charakterystyczne, gumowe narożniki ochronne i rączkę umieszczoną centralnie na górnej pokrywie obudowy. Podobne obudowy są chętnie stosowane m.in. w niektórych stacjach lutowniczych, niewielkich spawarkach, zasilaczach laboratoryjnych i innych urządzeniach warsztatowych oraz pomiarowych.

Do aparatury kontrolno-pomiarowej doskonale dobrze nadają się obudowy z obrotową rączką – w ofercie Takachi znajdują się dwie główne serie takich produktów: MSN

Fotografia 17. Przykładowe zastosowanie aluminiowej obudowy przyrządowej Takachi z serii MOY (https://t.ly/JKMdH)

eprasa.pl e7970affa9

Fotografia 18. Przenośne obudowy przyrządowe MCG marki Takachi (https://t.ly/RNN_o)

Fotografia 20. Obudowa przyrządowa z serii 110 marki Evatron (https://t.ly/PrrV6)

Fotografia 19. Przykładowe urządzenie laboratoryjne zbudowane w oparciu o obudowę z serii MSN/MON marki Takachi (https://t.ly/F8GBY)

(stalowe pokrywy, konstrukcja aluminiowa) oraz MON (w pełni aluminiowe). Przykładowe zastosowanie jednej z nich można zobaczyć na **fotografii 19**.

Innym przykładem linii produktowej obudów przyrządowych o nieco rzadziej spotykanej konstrukcji jest seria 110 marki Evatron (**fotografia 20**). W tym przypadku do przenoszenia służą dwie wmontowane na stałe rączki, rozmieszczone przy pionowych krawędziach panelu przedniego. Niestety, w tym przypadku producent nie udostępnia na swojej stronie modeli 3D – do pobrania jest jedynie rysunek wymiarowy.

Jeżeli wymagania wytrzymałościowe w danym projekcie są nieco mniej krytycznym warunkiem, to godne rozważenia mogą być także tworzywowe obudowy przyrządowe. Szczególnie ciekawie prezentuje się w tej kategorii oferta marki Bopla – seria Internorm (**fotografia 21**) należy do rozbudowanego systemu tego producenta, przystosowanego do współpracy ze standardowymi mocowaniami typu rack 19". Odpowiednie szyny montażowe (**fotografia 22**) pozwalają na zbudowanie przyrządu biurkowego na bazie urządzenia

REKLAMA

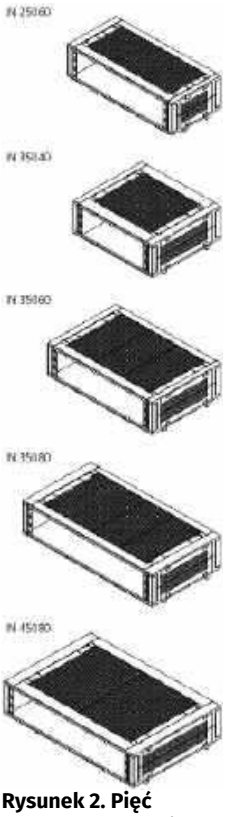
eprasa.pl e7970affa9

Fotografia 21. Obudowa przyrządowa z serii Internorm marki Bopla (https://t.ly/9TjsI)

pierwotnie przeznaczonego do montażu w szafach 19". Producent przewidział także możliwość implementacji pasywnych oraz aktywnych systemów chłodzenia, np. z wentylatorami umieszczonymi pod górną pokrywą obudowy (**rysunek 3**). Przemyślane rozwiązania zastosowane w konstrukcji obudów Internorm ułatwiają ponadto tworzenie systemów typu backplane (**rysunek 4**).

Niekończąca się opowieść

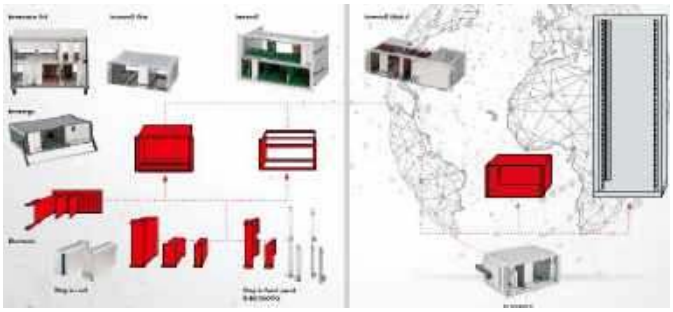
O obudowach można byłoby pisać jeszcze długo – wszak nie omówiliśmy w tym artykule chociażby modeli do tak specyficznych zastosowań, jak np. samochodowe urządzenia diagnostyczne. Co ciekawe, także do takich projektów firma Kradex opracowała bardzo ciekawą obudowę ZOBD, w której zamiast jednego z paneli znajduje się zintegrowane gniazdo zgodne z interfejsem OBD (**fotografia 23**). Firma Maszczyk wdrożyła z kolei specjalną obudowę ZM4.3J ABS (**fotografia 24**) przeznaczoną do budowy estetycznych urządzeń wieszanych na ścianie. Niskoprofilowa konstrukcja składa się z dwóch pokryw: przedniej, zawierającej obniżenie pod klawiaturę membranową lub panel samoprzylepny oraz tylnej, w której umieszczono cztery rzędy otworów wentylacyjnych oraz specjalnie ukształtowane otwory montażowe.



Rysunek 2. Pięć dostępnych rozmiarów obudów z serii Internorm marki Bopla (https://t.ly/9TjsI)

Fotografia 22. Szyny montażowe 19" kompatybilne z obudowami z serii Internorm (https://t.ly/qP4zc)

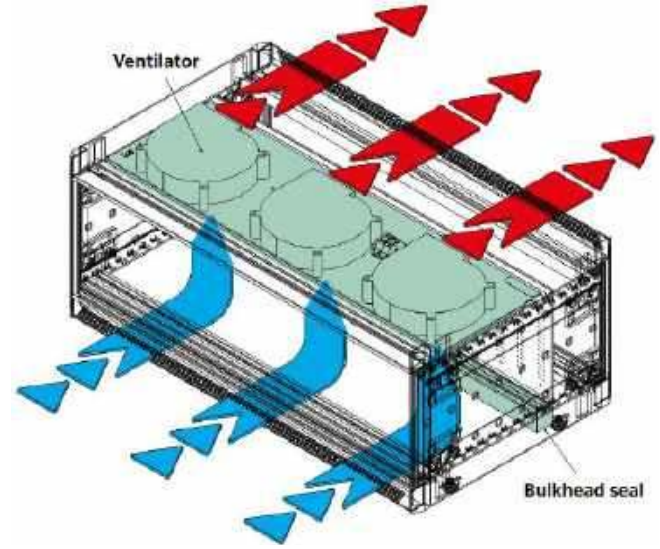
Fotografia 23. Obudowa ZOBD marki Kradex (https://t.ly/tqZ9_)



Rysunek 4. Ekosystem modułowy 19" marki Bopla (https://t.ly/9TjsI)

Takich mniej standardowych obudów, które są w stanie uratować niejeden projekt o specyficznych wymaganiach, na rynku jest zaskakująco wiele. Zanim przystąpimy więc do projektowania własnej obudowy pod kątem formy wtryskowej lub druku 3D, warto rozejrzeć się wśród ofert polskich i zagranicznych producentów – być może bowiem ktoś już wcześniej zaprojektował i wprowadził do sprzedaży model, dzięki któremu produkcja naszego urządzenia będzie nie tylko nieporównanie tańsza (przynajmniej w przypadku małych i średnich serii, o prototypach nie wspominając), ale także łatwiejsza do wdrożenia pod względem logistycznym.

Jakub Nowicki, EP



Rysunek 3. Przykład aktywnego chłodzenia urządzenia zmontowanego w obudowie 19" marki Bopla (https://t.ly/9TjsI)

Fotografia 24. Obudowa Kradex ZM4.3J ABS z otworami do montażu ściennego (https://t.ly/n5N3u)

eprasa.pl e7970affa9

TAWOIA Glass (szkło kwarcowe)

https://sklep.avt.pl/pl/menu/tawoia-glass-4505.html

BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

3 unikalne serie gniazdek i włączników

Rabat dla Czytelników EP
przy zakupie podaj kod **EP2505GW**

-5%

Rabat dla Prenumeratorów EP
przy zakupie podaj numer prenumeraty

-10%

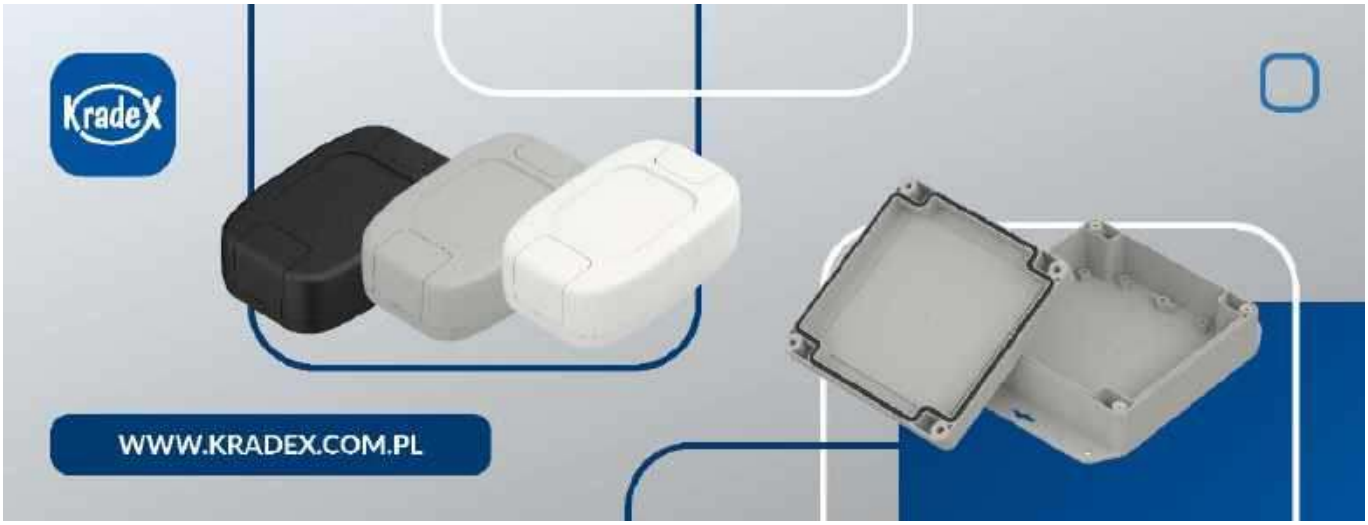
Ceramic Loft (ceramika)

https://sklep.avt.pl/pl/menu/seria-ceramic-loft-4190.html

Retro PRL (bakelit)

https://sklep.avt.pl/pl/series/retro-prl-3237.html

eprasa.pl e7970affa9



Obudowy w nowoczesnym wydaniu

Współczesna elektronika stawia przed konstruktorami coraz większe wymagania – zarówno pod względem funkcjonalności, jak i estetyki urządzeń. W efekcie obudowa przestaje być jedynie ochronną „skorupą", a staje się jednym z kluczowych elementów całej architektury projektu. Dziś wymaga się od niej o wiele więcej – ergonomicznego kształtu, spersonalizowanego koloru, odporności na różne czynniki środowiskowe oraz innych istotnych cech. Odpowiednio dobrana i zaprojektowana obudowa może przesądzić o sukcesie produktu lub jego porażce – od etapu prototypowania, aż po produkcję seryjną. W końcu źle zaprojektowana obudowa może oznaczać wysoki koszt narzędzia (formy) oraz produkcji, trudności w procesie wytwarzania czy też rozmaite problemy techniczne, braki bądź niestabilność procesu.

W obecnych czasach należy tak projektować formy wtryskowe, aby uzyskać możliwie najniższe koszty produkcji obudów. Dzięki temu mogą one wygrywać rywalizację nawet z tanią, azjatycką konkurencją. Kluczowe w tym aspekcie są koszty energii elektrycznej. Dzięki inwestycji w własną farmę PV i magazyn energii KRADEX zarabia więcej na sprzedaży prądu, niż na niego wydaje. To sprawia, że już od 2026 r. przestajemy doliczać zużycie prądu do kosztów wytworzenia obudów. Daje to naszym klientom odczuwalną przewagę nad konkurencją, która używa obudów od innych producentów.

Kolejnym elementem, który pozytywnie wpłynął na ponoszone przez KRADEX koszty energii, była modernizacja zaplecza produkcyjnego. Zainstalowanie nowoczesnych wtryskarek elektrycznych i hybrydowych pozwoliło zaoszczędzić nawet 60% kosztów na wybranych procesach produkcyjnych.

W tym kontekście warto zwrócić uwagę na właśnie takie firmy jak KRADEX – polskiego producenta obudów spełniającego rygorystyczne wymogi norm europejskich oraz posiadającego certyfikaty ISO 9001:2015 oraz ISO 14001:2015, które potwierdzają wysoką jakość oraz odpowiedzialne podejście do zarządzania środowiskowego.

Materiały i konstrukcje – od ABS po aluminium i rozwiązania hybrydowe

Na rynku dominują dziś cztery podstawowe grupy obudów:

- **Obudowy z tworzyw sztucznych** (ABS, PC, PC/ABS, PA) – lekkie, łatwe w obróbce, dostępne w szerokiej gamie kształtów i kolorów. Idealnie nadają się do elektroniki użytkowej, urządzeń IoT oraz projektów, w których duże znaczenie ma design.
- **Obudowy aluminiowe i stalowe** – oferują wysoką odporność mechaniczną, doskonałe odprowadzanie ciepła oraz unikalne właściwości ekranujące pod względem EMC. Chętnie stosowane w automatyce przemysłowej, systemach sterowania czy aplikacjach outdoorowych.
- **Konstrukcje hybrydowe** – łączą zalety metalu i tworzyw, pozwalając projektantom osiągnąć optymalny kompromis między wagą, sztywnością i termoizolacją.
- **Konstrukcje drukowane 3D** – coraz większą rolę odgrywa również wytwarzanie przyrostowe, szczególnie podczas budowy prototypów, krótkich serii oraz obudów o nietypowej geometrii. Pozwala ono szybko testować koncepcje ergonomiczne i montażowe bez konieczności inwestowania w formy wtryskowe.

eprasa.pl e7970affa9

Odporność środowiskowa – uszczelnienia i ochrona EMC

Funkcjonalna obudowa musi chronić elektronikę w warunkach, na jakie będzie ona narażona w docelowej eksploatacji. To właśnie dlatego tak ważne jest właściwe dobranie uszczelnień o klasie IP54, IP65 czy IP66/67, które zapewniają odporność na kurz, zachlapania, a nawet całkowite zanurzenie.

Równie istotne jest ekranowanie elektromagnetyczne. Stosowane są tu m.in.:

- uszczelki EMC,
- lakiery i powłoki RFI,
- metalizowane wkładki,
- konstrukcje aluminiowe z precyzyjnym spasowaniem.

Dzięki nim urządzenie spełnia wymagania kompatybilności elektromagnetycznej, co ma kluczowe znaczenie zarówno w elektronice użytkowej, jak i przemysłowej.

Warto podkreślić, że producenci tacy jak KRADEX – dzięki procesom zgodnym z europejskimi normami oraz certyfikacji ISO – gwarantują powtarzalną jakość i stabilność parametrów obudów, które stosowane są w projektach wrażliwych na kwestie EMC.

Montaż płytek i złączy – detale, które robią różnicę

Dopracowana organizacja wnętrza obudowy jest również niezwykle istotna – wpływa nie tylko na wygodę montażu, ale także na niezawodność urządzenia. W projektach wykorzystuje się m.in.:

- szyny i prowadnice do montażu PCB,
- tuleje dystansowe, normalia oraz elementy złączne,
- dławnice i przepusty kablowe,
- uchwyty i akcesoria montażowe,
- okna i filtry do wyświetlaczy,
- przyciski i przełączniki hermetyczne,
- zawory kompensacyjne pozwalające na wyrównywanie ciśnienia wewnątrz obudowy.

Właściwe rozmieszczenie tych elementów wpływa na odporność na wibracje, bezpieczeństwo połączeń oraz komfort serwisowania.

Od prototypu do produkcji – praktyczna ścieżka projektowa

W praktycznym projekcie warto kierować się kilkoma zasadami.

- **Prototypowanie** – wczesne opracowanie modeli, również 3D, pozwala zweryfikować ergonomię, dostęp do złączy, sztywność konstrukcji oraz możliwości montażowe. Otwiera to także drogę do stworzenia małej serii do testów czy prezentacji na targach.
- **Testy środowiskowe** – na dalszych etapach projektu konieczne jest sprawdzenie szczelności, odporności mechanicznej i temperatury pracy przed przejściem do produkcji.
- **Standaryzacja elementów** – korzystanie z gotowych profili, złączy, dławnic czy zaworów kompensacyjnych znacząco skraca czas wdrożenia.
- **Przystosowanie do produkcji** – już na etapie projektowania warto uwzględniać sposób montażu, dostępy serwisowe, a także potencjalne modyfikacje wersji urządzenia.

Firmy o stabilnych procesach jakościowych, takie jak KRADEX, dzięki certyfikacji ISO 9001:2015 mogą zagwarantować przewidywalność i powtarzalność produkcji seryjnej, co jest kluczowe w całym cyklu życia urządzenia.

Środowiskowe aspekty produkcji, czyli wpływ materiałów na certyfikację i globalną sprzedaż

Coraz większe znaczenie w konstrukcji obudów ma kwestia oddziaływania na środowisko – zarówno na etapie pozyskiwania surowców, jak i podczas procesu produkcyjnego oraz późniejszego recyklingu.

Wybór materiału, metoda wytwarzania czy możliwość ponownego przetworzenia komponentów wpływają nie tylko na ślad

węglowy produktu, ale także na jego zgodność z międzynarodowymi normami oraz dostępność certyfikacji.

W praktyce oznacza to konieczność spełniania wymagań m.in.:

- dyrektyw środowiskowych (np. RoHS, REACH),
- norm związanych z bezpieczeństwem materiałowym i palnością (np. UL94),
- standardów dotyczących zrównoważonej produkcji.

KRADEX, posiadając certyfikat ISO 14001:2015 oraz własną farmę solarną i instalacje fotowoltaiczne, które generują więcej energii, niż wynika z wewnętrznego zużycia, jest przykładem producenta aktywnie realizującego zasady ekologicznej i odpowiedzialnej produkcji.

Spełnienie wymagań środowiskowych oraz posiadanie odpowiednich certyfikatów otwiera drogę do rynków globalnych – coraz częściej jest to warunek konieczny, aby produkt mógł zostać dopuszczony do sprzedaży. Dodatkowo klienci chętniej wybierają obudowy produkowane w sposób zrównoważony.

Podsumowanie

Nowoczesne obudowy dla elektroniki to dziś zaawansowane konstrukcje, które muszą jednocześnie spełniać wymagania techniczne, użytkowe i wizualne. Ich projektowanie obejmuje dobór odpowiednich materiałów – od lekkich, estetycznych tworzyw po wytrzymałe metale – oraz określenie niezbędnej odporności środowiskowej, w tym poziomu szczelności czy ochrony EMC.

Coraz większe znaczenie zyskują także aspekty zrównoważonej produkcji. Przykładem jest KRADEX, polski producent działający zgodnie z europejskimi normami, realizujący produkcję w systemach ISO 9001:2015 i ISO 14001:2015 oraz wykorzystujący energię pochodzącą z własnej farmy solarnej i instalacji fotowoltaicznych.

Takie podejście umożliwia tworzenie obudów przyjaznych środowisku, zgodnych z międzynarodowymi normami oraz gotowych do sprzedaży na rynkach globalnych. Odpowiednio zaprojektowane uszczelnienia, detale montażowe i infrastruktura wewnętrzna obudowy decydują o trwałości urządzenia, a symulacje i szybkie prototypowanie pozwalają wykrywać i eliminować problemy konstrukcyjne już na wczesnym etapie.

W rezultacie nowoczesne obudowy umożliwiają projektowanie urządzeń niezawodnych, funkcjonalnych i atrakcyjnych wizualnie – zgodnych z oczekiwaniami użytkowników oraz rygorystycznymi normami jakościowymi i środowiskowymi.

www.kradex.com.pl

eprasa.pl e7970affa9

Programowanie w środowisku MicroPython (8)

Serwer HTTP

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

W dzisiejszym odcinku zobaczymy, jak w ESP32 można zrobić interfejs użytkownika, dostępny w przeglądarce na dowolnym urządzeniu obsługującym Wi-Fi. Opracujemy serwer HTTP, który będzie udostępniał stronę internetową umożliwiającą odczyt temperatury. Poprzez przeglądarkę internetową będzie można także zmienić kolor diody WS2812 umieszczonej na płytce testowej.

Router Wi-Fi tworzy lokalną sieć, w ramach której mogą komunikować się różne urządzenia. Każde z nich, łącznie z routerem, ma swój unikalny adres IP w obrębie lokalnej sieci (nie należy go mylić z publicznym adresem IP, który jest przydzielany przez dostawcę usług internetowych). Taki adres składa się z czterech bajtów, a zwykle pierwsze dwa bajty mają wartości 192 i 168.

Zdecydowana większość urządzeń w sieci lokalnej komunikuje się z routerem Wi-Fi po to, by uzyskać dostęp do Internetu. Jednak urządzenia w ramach tej samej sieci mogą także przesyłać pomiędzy sobą różne informacje, również za pośrednictwem routera. Typowym przykładem jest drukarka bezprzewodowa, do której polecenia wydruku przesyłać mogą komputery lub smartfony – pod warunkiem, że pracują w tej samej sieci lokalnej.

Każde urządzenie w sieci Wi-Fi może mieć swój własny serwer HTTP, dzięki któremu jest w stanie generować strony internetowe, które mogą być odczytane w przeglądarce internetowej na innym urządzeniu. Tutaj klasycznym przykładem jest strona konfiguracyjna routera Wi-Fi, którą możemy otworzyć wpisując w pasku adresu przeglądarki adres http://192.168.0.1. Jeżeli ten adres nie działa, sprawdź instrukcję na obudowie Twojego routera, bo najprawdopodobniej należy wywołać inny adres.

W tym odcinku kursu opracujemy w MicroPythonie prosty serwer HTTP. Jego zadaniem będzie udostępnianie strony index.html, zapisanej w pamięci ESP32. Widzimy ją na **rysunku 1**. Jest ona bardzo prosta i ma za zadanie zademonstrować, w jaki sposób możemy wyświetlać jakieś dane, np. temperaturę procesora czy moc sygnału, a także jak można zbudować interfejs człowiek-maszyna (HMI) za pomocą takiej technologii.

Rysunek 1. Przeglądarka Chrome ze stroną internetową wygenerowaną przez ESP32

```
<html>
    <head>
        <title>MicroPython ESP32</title>
        <meta charset="UTF-8">
        <link rel="icon" href="
            goAAAANSUhEUgAAAAEAAAABCAIAAACQd1PeAAAADElEQVQI12P
            4//8/AAX+Av7czFnnAAAAAElFTkSuQmCC">
        <style>
            html {
                font-family: Arial;
                display: inline-block;
                margin: 0px auto;
                text-align: center;
                color: white;
            }

            body {
                background: -webkit-radial-gradient(#7b0191, #26002f);
            }

            h1 {
                font-size: 250%;
                padding: 20px;
            }

            h2 {
                font-size: 200%;
                margin-top: 0.5em;
                margin-bottom: 0.5em;
            }

            h3 {
                font-size: 175%;
                margin-top: 0.5em;
                margin-bottom: 0.5em;
            }

            button {
                border: 1px solid;
                background-color: #3b0043;
                border-radius: 40px;

                color: white;
                font-size: 200%;

                display: flex;
                flex-direction: column;
                align-items: center;

                text-align: center;
                text-decoration: none;
                display: inline-block;
                padding: 20px 20px 20px 20px;
                margin: 0px 10px 0px 10px;

                cursor: pointer;
                width: 100%;
                -webkit-box-shadow: 0 0 5px 5px #fcf584;
            }

            button:hover {
                background-color: #5b0467;
                -webkit-box-shadow: 0 0 5px 5px #ffffff;
            }

            .row {
                display: flex;
                flex-direction: row;
                justify-content: space-between;
                align-items: center;
                max-width: 1000px;
                margin: 20px auto;
            }

            .cell {
                display: flex;
                flex-direction: column;
                align-items: center;
                border: 1px solid;
                border-radius: 40px;
```

Listing 1. Kod pliku index.html

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

eprasa.pl e7970affa9

Przy użyciu ośmiu przycisków na stronie WWW użytkownik może wybrać kolor diody WS2812, która znajduje się na devboardzie ESP32-S3-DevKit-C. Oczywiście możemy stworzyć bardziej zaawansowany interfejs webowy z użyciem plików CSS i JavaScript. Jedyne, co nas ogranicza, to miejsce w pamięci – ale nic nie stoi na przeszkodzie, by wykorzystać także kartę MicroSD, co omówiliśmy już w 4. odcinku kursu MicroPythona (EP 08/2025).

Strona index.html

Zacznijmy od omówienia kodu strony internetowej zaprezentowanego na **listingu 1**. Ponieważ jest to kurs MicroPythona, a nie HTML, chciałem, by strona była możliwie jak najprostsza, ale przy zachowaniu ładnego wyglądu. Omówimy skrótowo najważniejsze elementy naszej strony.

Strona ma układ tabelaryczny. Każdy wiersz rozpoczyna się instrukcją `<div class="row">` i kończy `</div>`, a wewnątrz każdego wiersza możemy umieścić dowolną liczbę komórek objętych tagami `<div class="cell">` oraz `</div>`. Szerokość komórek dostosuje się automatycznie w zależności od tego, ile ich jest w wierszu.

Pola, które mają się zmieniać, tzn. odczyty temperatury, mocy sygnału oraz koloru diody, w kodzie są reprezentowane przez znaki AA, BBB i CCCCCCCCC. Dlaczego tak dziwnie? Zanim strona zostanie przesłana przez Wi-Fi, w miejsce tych znaków zostaną bowiem wstawione rzeczywiste wartości. Jest to metoda bardzo prymitywna, bo odświeżenie tych zmiennych wymaga wygenerowania i przesłania całej strony od nowa. Bardziej doświadczeni programiści mogliby tu zastosować JavaScript, który cyklicznie wysyła zapytania o konkretne zmienne i aktualizuje tylko wybrane fragmenty strony.

Komunikacja od użytkownika do ESP32 zrealizowana jest przy pomocy formularza, który zaczyna się od `<form class="row">`. Przyciski tworzone są za pomocą instrukcji o następującej budowie:

```
<button type="submit" name="color" value="red">.
```

Kliknięcie takiego przycisku sprawi, że aktualne wyświetlana strona zostanie załadowana ponownie, ale do adresu strony zostaną doklejone wartości name i value z kliknięto przycisku. W tym przypadku zostałby wywołany adres **index.html?color=red**. Jak już zapewne się domyślasz, program w MicroPythonie będzie sprawdzał, czy w adresie strony występuje słowo-klucz **color** oraz jaka jest mu przypisana wartość i na podstawie tego odpowiednio wysteruje diodę WS2812.

Serwer HTTP

„Własny serwer" – choć brzmi to poważnie, to w rzeczywistości całość będzie ograniczała się tylko do jednego pliku z kodem. Nasz program jest zrealizowany w sposób wielowątkowy, przy pomocy tasków z modułu **_thread**. Taki sposób pisania programu ułatwia podział zadań – różne czynności mogą być dzięki temu wykonywane równolegle i niezależnie od siebie. W naszym przykładzie jeden task będzie pełnił funkcjonalność serwera HTTP, a cztery taski zajmą się mruganiem diodami LED z różną częstotliwością.

Serwer HTTP powinien jak najszybciej odpowiadać na zapytania. Jednak pewne czynności, jak np. uruchomienie

```
                padding: 0px 20px 0px 20px;
                margin: 0px 10px 0px 10px;
                width: 100%;
                -webkit-box-shadow: 0 0 5px 5px #fcf584;
            }
        </style>
    </head>

    <body>
        <h1>MicroPython ESP32</h1>

        <div class="row">
            <div class="cell">
                <h2>Temperatura CPU</h2>
                <h3>AA &deg;C</h3>
            </div>
            <div class="cell">
                <h2>Moc sygnału WIFI</h2>
                <h3>BBB RSSI</h3>
            </div>
        </div>

        <div class="row">
            <div class="cell">
                <h2>Aktualny kolor diody WS2812</h2>
                <h3>CCCCCCCCC</h3>
            </div>
        </div>

        <form class="row">
            <button type="submit" name="color" value="red">Czerwony</button>
            <button type="submit" name="color" value="yellow">Żółty</button>
            <button type="submit" name="color" value="green">Zielony</button>
            <button type="submit" name="color" value="white">Biały</button>
        </form>

        <form class="row">
            <button type="submit" name="color" value="cyan">Błękitny</button>
            <button type="submit" name="color" value="blue">Niebieski</button>
            <button type="submit" name="color" value="magenta">Fioletowy</button>
            <button type="submit" name="color" value="black">Czarny</button>
        </form>

    </body>
</html>
```

Listing 1. Kod pliku index.html – cd.

```
# Plik http_server.py

import _thread                                                  # 1
import esp32
import gc
import neopixel
import network
import socket
import sys
import time
import wifi_config
from machine import Pin

def led_task(gpio_num, delay_ms):                               # 2
    led = Pin(gpio_num, Pin.OUT)                                # 3

    while True:                                                 # 4
        led(not led())                                          # 5
        time.sleep_ms(delay_ms)                                 # 6

def wifi_connect():                                             # 7
    global station
    station = network.WLAN(network.STA_IF)
    station.active(True)
    if not station.isconnected():
        print("Łączenie z siecią", end="")
        station.connect(wifi_config.ssid, wifi_config.password)
        while not station.isconnected():
            print(".", end="")
            time.sleep_ms(250)
        print()

    global ip                                                   # 8
    ip = station.ifconfig()[0]
    print(f"Adres IP: {ip}")

def index_html():                                               # 9
    gc.collect()                                                # 10
    content = ""
    with open("index.html", encoding="utf-8") as file:          # 11
        content += file.read()

    if led[0] == (0x10, 0x00, 0x00):                            # 12
        color = "Czerwony"
    elif led[0] == (0x10, 0x10, 0x00):
        color = "Żółty"
    elif led[0] == (0x00, 0x10, 0x00):
        color = "Zielony"
    elif led[0] == (0x00, 0x10, 0x10):
        color = "Błękitny"
    elif led[0] == (0x00, 0x00, 0x10):
        color = "Niebieski"
    elif led[0] == (0x10, 0x00, 0x10):
        color = "Fioletowy"
    elif led[0] == (0x10, 0x10, 0x10):
        color = "Biały"
    else:
```

Listing 2. Kod pliku http_server.py

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

eprasa.pl e7970affa9

Zobacz więcej:
- Repozytorium kursu na GitHubie https://github.com/leonow32/micropython
- Dokumentacja modułu network https://docs.micropython.org/en/latest/library/network.html

pomiaru w czujniku i pobranie wyniku, mogą zająć pewien czas. W takiej sytuacji dobrze jest zastosować taski. W jednym z nich umieszczamy czasochłonny, cykliczny proces – task przetwarza dane i ich wynik zapisuje w pamięci, aby był zawsze dostępny. Jeżeli drugi task będzie potrzebował tych danych, wówczas po prostu je odczyta, a tymczasem pierwszy może kontynuować pracę zupełnie niezależnie.

Przejdźmy do analizy pliku **http_server.py**, którego kod pokazano na **listingu 2**. Przeskoczmy od razu do linii 31, gdzie rozpoczynamy inicjalizację naszego programu, tworząc instancję klasy obsługującej diody **WS2812** (Neopixel to nazwa handlowa firmy Adafruit), a następnie ustawiając wszystkie składowe koloru RGB na zero, co daje kolor czarny (czyli całkowite wygaszenie diody). Przy pomocy metody **write** wysyłamy do diody żądany kolor.

W linii 32 uruchamiamy funkcję **wifi_connect**, której zadaniem jest połączenie się z routerem Wi-Fi. Po połączeniu modułu z siecią, funkcja wyświetla uzyskany adres IP na konsoli. Ta funkcja jest bardzo podobna do używanej w poprzednim odcinku kursu, a jedyną różnicą jest to, że adres IP zapisywany jest także do zmiennej globalnej, aby dało się go użyć w innych miejscach programu.

W linii 33 rozpoczynamy dodawanie tasków przy pomocy funkcji **start_new_thread**, które mają się wykonywać w trakcie pracy programu. Pierwszym argumentem tej funkcji jest nazwa tasku, a drugim – krotka lub lista, która jest przekazywana do wskazanej wcześniej funkcji jako argument. W taki sposób tworzymy cztery wątki **led_task**, które mają mrugać diodami oraz wątek serwera **http_task**.

Przejdźmy do linii 2, gdzie tworzymy **led_task**. W gruncie rzeczy jest to zwykła funkcja, która przyjmuje dwa argumenty – numer pinu, który ma sterować diodą LED oraz czas oczekiwania pomiędzy włączeniem a wyłączeniem diody. Te dwa argumenty funkcja otrzymuje z listy, którą przekazaliśmy do funkcji **start_new_thread**. W linii 3 inicjalizujemy wskazany pin jako wyjście. Następnie mamy pętlę nieskończoną (linia 4), w której zmieniamy jedynie stan diody LED (linia 5) i usypiamy task funkcją **sleep_ms** (linia 6).

W linii 14 rozpoczynamy funkcję, która realizuje funkcjonalność serwera HTTP. W tej funkcji będziemy wykorzystywać sockety odpowiedzialne za nasłuchiwanie zapytań, które mogą zostać przesłane poprzez port o wskazanym numerze. Następnie musimy wygenerować odpowiedź i odesłać ją do nadawcy przy pomocy socketa.

Tworzymy instancję klasy **socket** i zapisujemy ją do zmiennej **sock**. W konstruktorze podajemy dwa argumenty. **AF_INET** oznacza, że zamierzamy stosować „stare" adresy IP w standardzie IPv4. Drugi argument **SOCK_STREAM** oznacza, że skorzystamy z protokołu TCP. Aby użyć w tym miejscu protokołu UDP, należałoby wpisać **SOCK_DGRAM**.

W linii 16 konfigurujemy socket tak, aby nasłuchiwał zapytań przychodzących ze wskazanego adresu i portu. W naszym przypadku interesują nas wszystkie adresy, zatem pierwszym argumentem jest pusty ciąg znaków "". Drugi argument to numer portu – w przypadku serwerów HTTP domyślnym portem jest ten o numerze 80. Pozostaje już zatem tylko wywołać metodę **listen**, która uaktywnia socket.

```
        color = "Czarny"

    content = content.replace("AA", str(esp32.mcu_temperature()))   # 13
    content = content.replace("BBB", str(station.status("rssi")))
    content = content.replace("CCCCCCCCC", color)

    return content

def http_task():                                                    # 14
    sock = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)        # 15
    sock.bind(("", 80))                                             # 16
    sock.listen()

    while True:
        try:                                                        # 17
            gc.collect()                                            # 18

            conn, addr = sock.accept()                              # 19
            request = conn.recv(1024)                               # 20

            if request == b"":                                      # 21
                conn.send("HTTP/1.1 400 Bad Request\r\n")
                conn.send("Connection: close\r\n")
                conn.sendall("\r\n")
                conn.close()
                continue

            request = request.splitlines()[0]                       # 22
            print(f"HTTP Request from {addr[0]}: {request}")

            if b"GET / HTTP" in request:                            # 23
                conn.send(f"HTTP/1.1 307 Temporary Redirect\r\n")
                conn.send(f"Location: http://{ip}/index.html\r\n")
                conn.send("Connection: close\r\n")
                conn.sendall("\r\n")

            elif b"index.html " in request:                         # 24
                conn.send("HTTP/1.1 200 OK\r\n")
                conn.send("Content-Type: text/html\r\n")
                conn.send("Connection: close\r\n")
                conn.send("\r\n")
                conn.sendall(index_html())                          # 25

            elif b"color" in request:                               # 26
                if b"red" in request:
                    led[0] = (0x10, 0x00, 0x00)
                elif b"yellow" in request:
                    led[0] = (0x10, 0x10, 0x00)
                elif b"green" in request:
                    led[0] = (0x00, 0x10, 0x00)
                elif b"cyan" in request:
                    led[0] = (0x00, 0x10, 0x10)
                elif b"blue" in request:
                    led[0] = (0x00, 0x00, 0x10)
                elif b"magenta" in request:
                    led[0] = (0x10, 0x00, 0x10)
                elif b"white" in request:
                    led[0] = (0x10, 0x10, 0x10)
                else:
                    led[0] = (0x00, 0x00, 0x00)

                conn.send("HTTP/1.1 200 OK\r\n")
                conn.send("Content-Type: text/html\r\n")
                conn.send("Connection: close\r\n")
                conn.send("\r\n")
                response = index_html()
                conn.sendall(response)

                led.write()                                         # 27

            else:                                                   # 28
                print("Unknown request")
                conn.send("HTTP/1.1 404 Not Found\r\n")
                conn.sendall("\r\n")

            conn.close()                                            # 29

        except Exception as e:                                      # 30
            sys.print_exception(e)

led = neopixel.NeoPixel(Pin(38, Pin.OUT), 1)                        # 31
led[0] = (0, 0, 0)
led.write()

wifi_connect()                                                      # 32

_thread.start_new_thread(led_task, [21, 1000])                      # 33
_thread.start_new_thread(led_task, [47, 500])
_thread.start_new_thread(led_task, [48, 250])
_thread.start_new_thread(led_task, [45, 100])
_thread.start_new_thread(http_task, ())                             # 34
```

Listing 2. Kod pliku http_server.py

Rozpoczynamy pętlę nieskończoną **while True**. Znajduje się w niej duży blok **try-except** (linia 17). Jest to spowodowane tym, że niektóre operacje związane z socketami mogą zgłaszać wyjątki. Jeżeli nie zostaną obsłużone, wówczas task zakończy się, czyli w rezultacie serwer HTTP przestanie działać. W razie wystąpienia jakiegoś wyjątku, po prostu wyświetlimy informację na konsoli i go ignorujemy (linia 30).

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

eprasa.pl e7970affa9

```
# Plik config.py
ssid = ""
password = ""
```

Listing 3. Kod pliku config.py

W linii 18 uruchamiamy funkcję **collect** z modułu **gc**. Jest to tzw. garbage collector, czyli funkcja, która wyszukuje w pamięci nieużywane zmienne i je kasuje. Zwykle proces ten uruchamia się automatycznie, gdy w pamięci mamy już dużo różnych zmiennych, jednak oczyszczanie jej zajmuje trochę czasu. Uruchomienie odśmiecacza w trakcie generowania odpowiedzi spowodowałoby, że klient czekałby na odpowiedź serwera dłużej niż powinien. Dlatego też uruchamiamy go ręcznie na początku pętli, aby później pracować na pamięci odciążonej z niepotrzebnych zmiennych.

W linii 19 wywołujemy metodę **accept**. Domyślne działanie tej funkcji polega na zawieszeniu wykonywania tasku i oczekiwaniu tak długo, aż do wskazanego portu zostanie przesłane jakieś zapytanie. Kiedy to nastąpi, metoda zwróci dwie zmienne: **conn** zawierającą kolejny socket z otrzymanymi danymi (i którym trzeba przesłać odpowiedź) oraz **addr**, w której znajdzie się adres IP urządzenia przysyłającego zapytanie.

Interesuje nas otrzymanie samego tekstu zapytania. Pobieramy go za pomocą metody **recv** z obiektu **conn** (linia 20). Poprzez argument podajemy maksymalną liczbę bajtów, jaką chcemy odczytać. W taki sposób zapisujemy zapytanie w postaci tekstu do zmiennej **request**.

Może się zdarzyć, że otrzymamy puste zapytanie. Sprawdzamy to w linii 21. W takiej sytuacji wysyłamy odpowiedź *400 Bad Request*. Zwróć uwagę, że do formułowania odpowiedzi używamy metody **send** dla każdej linijki odpowiedzi, za wyjątkiem ostatniej, gdzie korzystamy z **sendall**. Na koniec musimy jeszcze wywołać metodę **close**.

Zobaczmy teraz, jak może wyglądać zapytanie, które otrzymuje ESP32 od przeglądarki internetowej. Poniżej przykład zapytania, którego celem jest pobranie pliku index.html.

```
GET /index.html HTTP/1.1\r\n
Host: 192.168.0.112\r\n
Connection: keep-alive\r\n
Upgrade-Insecure-Requests: 1\r\n
User-Agent: Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64;
x64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/140.0.0.0
Safari/537.36\r\n
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;
q=0.9,image/avif,image/webp,image/apng,*/*;
q=0.8,application/signed-exchange;v=b3;q=0.7\r\n
Accept-Encoding: gzip, deflate\r\n
Accept-Language: pl,en-US;q=0.9,en;q=0.8,pl-PL;q=0.7\r\n
\r\n
```

Jest tu całkiem sporo różnych informacji, ale wystarczy nam tylko pierwsza linijka zapytania. Dlatego w 22 linii kodu wywołujemy metodę **splitlines**, która powyższy kod konwertuje na listę. Każdym jej elementem są osobne linie, czyli ciągi znaków rozdzielone znakami \r\n. Skoro nas interesuje tylko pierwszy z nich, możemy od razu wybrać go przy pomocy operatora [ ], gdzie podajemy indeks 0, czyli pierwszy element listy. Tak otrzymaną pierwszą linijkę zapytania zapisujemy do zmiennej **request**.

Następnie sprawdzamy zawartość zapytania, stosując instrukcję a in b. Sprawdza ona, czy badany string a znajduje wewnątrz b. W takiej sytuacji funkcja zwraca True, a w przeciwnym wypadku False.

W linii 23 sprawdzamy, czy w treści zapytania znajduje się ciąg znaków „GET / HTTP". Takie zapytanie otrzymamy wtedy,

REKLAMA

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

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

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

KLUB AVT ELEKTRONIKA

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

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

eprasa.pl e7570afa9

gdy użytkownik wpisze w przeglądarce adres IP naszego urządzenia. W takiej sytuacji możemy od razu odesłać mu plik index.html lub zastosować przekierowanie. Aby program miał więcej walorów edukacyjnych, postanowiłem pokazać, w jaki sposób można wygenerować odpowiedź 307, zawierającą przekierowanie do strony http://{ip}/index.html, gdzie oczywiście w miejscu {ip} wstawiamy adres IP modułu ESP32, jaki został nadany przez router Wi-Fi. Kiedy przeglądarka otrzyma taką odpowiedź, automatycznie wyśle kolejne zapytanie o adres podany w odpowiedzi.

W linii 24 szukamy w zapytaniu napisu „index.html „. Zwróć uwagę na to, że ostatnim znakiem w badanym stringu jest spacja. To zabieg celowy, ponieważ przeglądarka internetowa może chcieć pobrać plik index.html bez żadnych dodatkowych parametrów lub z nimi. Zatem pierwsza linia zapytania może przyjmować jedną z następujących postaci:

```
1. GET /index.html HTTP/1.1\r\n
2. GET /index.html?color=red HTTP/1.1\r\n
```

Póki co interesuje nas wykrywanie tego pierwszego przypadku. Formułując odpowiedź na zapytanie, odpowiadamy kodem 200 OK, po czym wstawiamy kilka dodatkowych informacji i przesyłamy treść pliku index.html (linia 25). Generujemy go funkcją **index_html**, która rozpoczyna się w linii 9. Zadaniem funkcji jest odczytanie pliku index.html (linia 9), który zapisany jest w systemie plików MicroPythona tak samo, jak wszystkie pliki z kodem. Zawartość tego pliku ładujemy do zmiennej **content**. Musimy w niej podmienić trochę danych. Są to: aktualnie ustawiony kolor diody LED, temperatura procesora oraz moc sygnału RSSI.

Kolor diody odczytujemy ze zmiennej **led**, która jest listą, przechowującą składowe RGB wszystkich diod WS2812. Każdy z nich składa się z krotek, zawierających trzy składowe: czerwoną, zieloną i niebieską, w zakresie od 0 do 255. Mamy tylko jedną taką diodę, więc sprawdzamy zerowy element tej listy, czyli **led[0]**. Badamy te składowe przy pomocy drzewka decyzyjnego if-elif-else i słowną nazwę wybranego koloru zapisujemy do zmiennej **color**.

W kodzie HTML naszej strony pozostawiliśmy napisy takie jak „AA", „BBB" oraz „CCCCCCCCC". W ich miejsce musimy wstawić odpowiednio temperaturę procesora, moc sygnału oraz kolor diody WS2812. Aby to zrobić, wykorzystamy metodę **replace**. Jej działanie polega na znalezieniu napisu, podanego w pierwszym argumencie i zastąpieniu go przez napis z drugiego argumentu. Nowy string jest zwracany przez wartość, ale nic nie stoi na przeszkodzie, by zapisać go w zmiennej, która przechowywała modyfikowany napis.

W linii 13 korzystamy z metody **replace**, aby w miejscu „AA" wstawić wartość temperatury procesora zwróconą przez funkcję **mcu_temperature** z modułu **esp32**. Należy pamiętać, że **replace** operuje na stringach, a temperatura procesora jest liczbą całkowitą. Dlatego musimy skorzystać jeszcze z funkcji **str**, która konwertuje liczbę na string. W kolejnych dwóch liniach analogicznie wstawiamy moc sygnału oraz kolor diody do treści kodu HTML, który finalnie funkcja zwraca instrukcją **return**.

Wróćmy teraz do serwera HTTP, a dokładniej do linii 26. W tym miejscu generujemy odpowiedź na zapytanie, które zawiera informację o tym, jaki kolor diody WS2812 ma zostać ustawiony. Najpierw sprawdzamy, czy w zapytaniu pojawia się ciąg znaków „color", a następnie analizujemy po kolei wszystkie możliwe kolory. Składowe RGB wybranego koloru zapisujemy do zerowego elementu listy **led**. Pamiętaj, że taka operacja nie powoduje jeszcze zmiany koloru. Przesłanie informacji o kolorze do diody WS2812 zajmuje trochę czasu, a zależy nam na tym, aby odpowiedź na zapytanie odesłać jak najszybciej. Generujemy ją dokładnie tak samo, jak odpowiedź na pytanie o plik index.html. Dopiero po odesłaniu odpowiedzi wywołujemy metodę write z obiektu led, która inicjuje transmisję i aktualizuje kolor diody (linia 27).

Jeżeli do serwera przyjdzie zapytanie, jakiego nasz program nie potrafi obsłużyć, wówczas w linii 28 generujemy odpowiedź *404 Not Found*. Na zakończenie każdego zapytania musimy jeszcze wywołać metodę close (linia 29) z obiektu **conn**.

Testujemy!

Pamiętaj, aby najpierw przegrać do pamięci ESP32 pliki index.html, a także wifi_config.py, gdzie musisz podać nazwę oraz hasło sieci Wi-Fi, do której nasz mikrokontroler ma się podłączyć. Dopiero wtedy możesz uruchomić plik http_server.py, wciskając przycisk F5 w edytorze Thonny.

Na konsoli powinieneś zobaczyć takie komunikaty:

```
>>> %Run -c $EDITOR_CONTENT

MPY: soft reboot
Łączenie z siecią...............
Adres IP: 192.168.0.112
>>>
```

Adres IP oczywiście może być inny. Skopiuj go i wklej w pasku adresu przeglądarki internetowej na komputerze, telefonie, tablecie lub jakimkolwiek innym urządzeniu zdolnym do połączenia z Wi-Fi i obsługi stron internetowych (może być nawet smart TV). Pamiętaj, że urządzenie oraz ESP32 muszą być połączone z tą samą siecią Wi-Fi. Powinieneś zobaczyć stronę taką, jaką widać na rysunku 1. Tymczasem w konsoli pokażą się następujące komunikaty:

```
HTTP Request from 192.168.0.173: b'GET / HTTP/1.1'
HTTP Request from 192.168.0.173: b'GET /index.html HTTP/1.1'
```

To znaczy, że komputer chciał pobrać stronę „/" czyli stronę główną. W odpowiedzi dostał informację, że ma wysłać ponowne zapytanie o plik index.html. W kolejnej linii widzimy, że urządzenie faktycznie wysłało kolejne zapytanie, tym razem o plik index.html.

Na stronie, która ukazała się w przeglądarce, wybierz jeden z kolorów. Dioda powinna zaświecić się na wybrany kolor – wtedy w konsoli zobaczysz, że nazwa koloru przekazywana jest jako parametr zmiennej **color**, która znajduje się w zapytaniu zaraz po nazwie żądanego pliku.

```
HTTP Request from 192.168.0.173:
b'GET /index.html?color=green HTTP/1.1'
HTTP Request from 192.168.0.173:
b'GET /index.html?color=red HTTP/1.1'
HTTP Request from 192.168.0.173:
b'GET /index.html?color=blue HTTP/1.1'
```

Podsumowanie

W tym odcinku kursu MicroPythona zaprezentowaliśmy, w jaki sposób można stworzyć bardzo prosty HMI w oparciu o interfejs webowy. Nic nie stoi na przeszkodzie, by zrobić to w sposób bardziej profesjonalny, korzystając z JavaScript, AJAX czy innych technologii.

W kolejnym odcinku odwrócimy role. To nie ESP32 będzie łączył się do access pointa, lecz sam stanie się access pointem, do którego będzie mógł się podłączyć komputer lub telefon. Aby było ciekawiej, opracujemy serwer DNS i wykorzystamy Captive Portal, aby otworzyć stronę internetową na komputerze lub telefonie samoczynnie zaraz po tym, jak urządzenie nawiąże połączenie przez Wi-Fi.

Dominik Bieczyński
leonow32@gmail.com

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

eprasa.pl e7970affa9

FN-SWM10
Zgrzewarka do ogniw – spawarka punktowa z kolorowym wyświetlaczem i funkcją powerbank FNIRSI SWM10

FN-DPOS-350P
Dwukanałowy oscyloskop 350 MHz, FNIRSI DPOS350P

FN-2C53T
Dwukanałowy oscyloskop z multimetrem i generatorem 50 MHz FNIRSI 2C53T

BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

Mierniki Testery FNIRSI

Rabat dla Czytelników EP
przy zakupie podaj kod **EP2505FN** **-3%**

Rabat dla Prenumeratorów EP
przy zakupie podaj numer prenumeraty **-6%**

FN-LCR-ST1
Miernik pęsetowy, tester elementów FNIRSI LCR-ST1

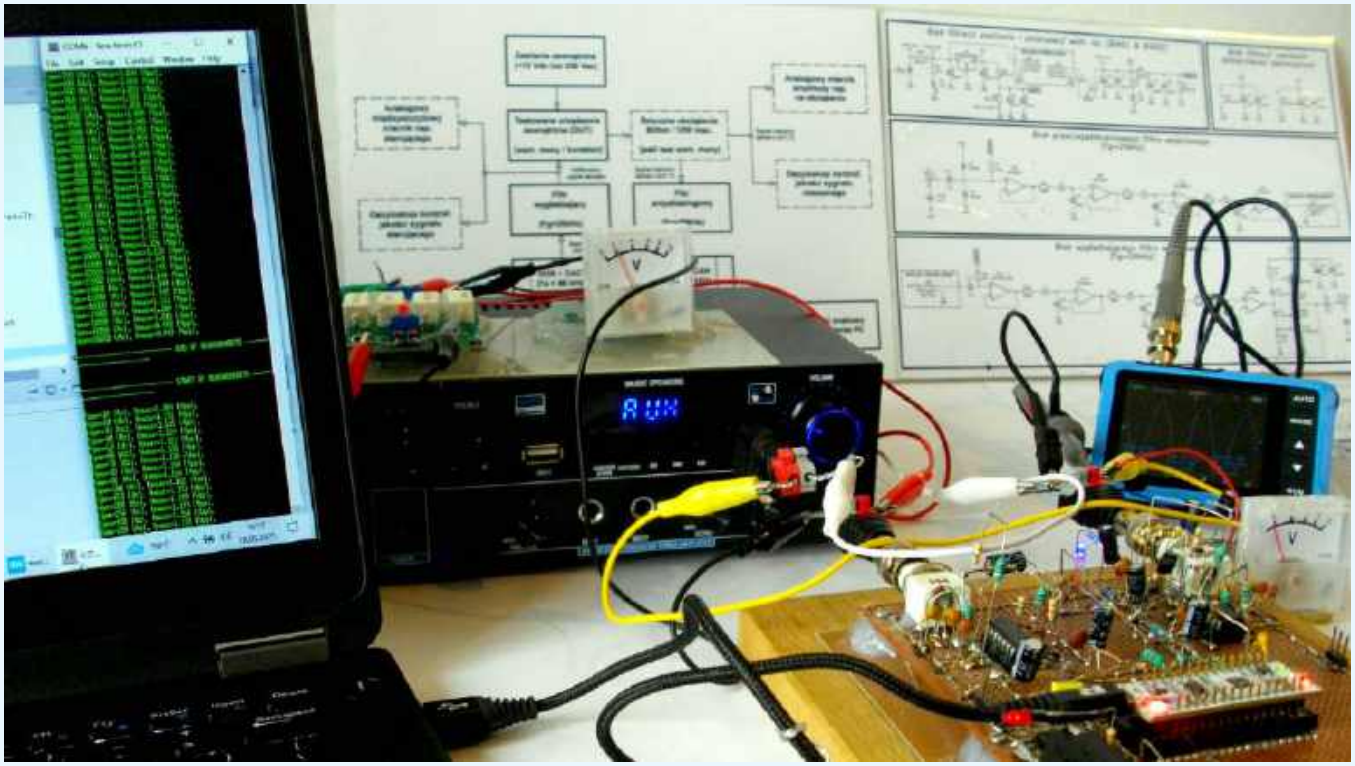
FN-LCR-P1
Tester elementów FNIRSI LCR-P1

FN-HRM10
Tester rezystancji wewnętrznej akumulatorów FNIRSI HRM-10

FN-G1200
Mikroskop cyfrowy G1200 z wyświetlaczem 7 cali, powiększenie ×1200, tryb foto/video

FN-DWS200-F245
Stacja lutownica 200 W z kolbą F245, FNIRSI DWS200

FN-1014D
Oscyloskop dwukanałowy 100 MHz; Generator sygnału DDS, FNIRSI 1014D



Pomiary charakterystyk częstotliwościowych (6)

Komercyjne układy m.cz.

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

Po dłuższej przerwie wracamy do edukacyjno-projektowego cyklu publikacji o pomiarach charakterystyk częstotliwościowych. W jego kolejnych odsłonach nadszedł czas na spotkanie z fabrycznymi urządzeniami analogowymi małej częstotliwości. Będą to przede wszystkim różnorodne wzmacniacze mocy audio – ale nie tylko. W tym artykule skupimy się na częściowo zautomatyzowanym, autorskim środowisku pomiarowym, które posłużyło twórcy tego materiału do wykonania większości opisanych dalej pomiarów komercyjnych liniowych układów m.cz.

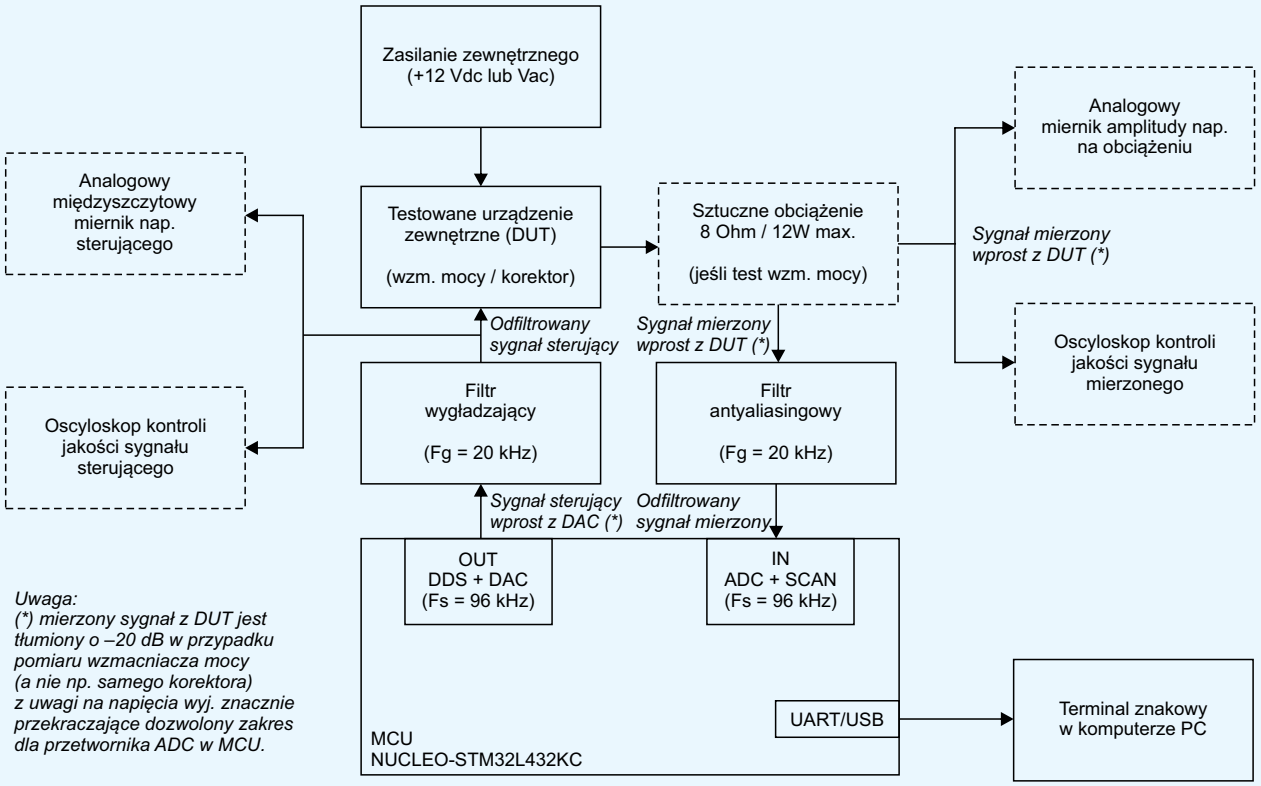
Podstawowe środowisko pomiarowe

Część sprzętowa podstawowego środowiska pomiarowego, wykorzystanego do przeprowadzenia opisanych dalej testów, została oparta na koncepcji platformy sprzętowej zaimplementowanej w testach filtrów cyfrowych FIR oraz filtrów IIR, przedyskutowanych w poprzednich dwóch częściach tego cyklu publikacji. W szczególności do cyfrowego przetwarzania sygnałów zastosowano ponownie moduł NUCLEO z mikrokontrolerem STM32L432KC oraz bloki analogowych filtrów: wygładzającego i antyaliasingowego, które zostały istotnie zmodernizowane.

Schemat blokowy sprzętowej części podstawowego środowiska pomiarowego pokazano na **rysunku 69**. Z zasobów oferowanych przez mikrokontroler, oczywiście poza jednostką centralną i układami taktującymi, wykorzystano przede wszystkim: przetwornik cyfrowo-analogowy (DAC), przetwornik analogowo-cyfrowy (ADC) oraz blok interfejsu UART – który za pomocą dostępnego na zastosowanej płytce NUCLEO konwertera UART-USB – posłużył do wyprowadzania rezultatów pomiarów na terminal znakowy w komputerze PC. Algorytm i dalsze szczegóły działania zaimplementowanego oprogramowania sterującego pracą mikrokontrolera zostały opisane w końcowej części artykułu. W tym miejscu skupiono się przede wszystkim na sprzętowych aspektach funkcjonowania omawianego środowiska pomiarowego. Na wspomnianym wcześniej rysunku 69 zaprezentowano kilka bloków funkcjonalnych, połączonych strzałkami, które ilustrują kierunki przepływu sygnałów pomiędzy nimi. Bloki narysowane linią ciągłą reprezentują niezbędne elementy minisystemu pomiarowego, natomiast bloki nakreślone linią przerywaną obrazują elementy opcjonalne. Do bloków obowiązkowych, oprócz wymienionego wcześniej, kluczowego w tym zastosowaniu, modułu NUCLEO wraz z towarzyszącymi filtrami analogowymi, należą oczywiście: blok testowanego urządzenia zewnętrznego DUT (ang. *Device Under Test*) oraz blok zewnętrznego zasilania przedmiotowego urządzenia DUT (+12 VDC albo 230 VAC – w zależności od konkretnego DUT). Jakkolwiek w przeprowadzonych doświadczeniach pomiarowych przetestowano także jedno urządzenie aktywne, które z zasady nie wymagało zasilania. Do obligatoryjnych bloków w przyjętym rozwiązaniu systemu pomiarowego należy m.in. terminal znakowy w komputerze PC, na który mikrokontroler STM32L432KC wysyłał przez interfejs UART/USB rezultaty pomiarów w prostym formacie

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

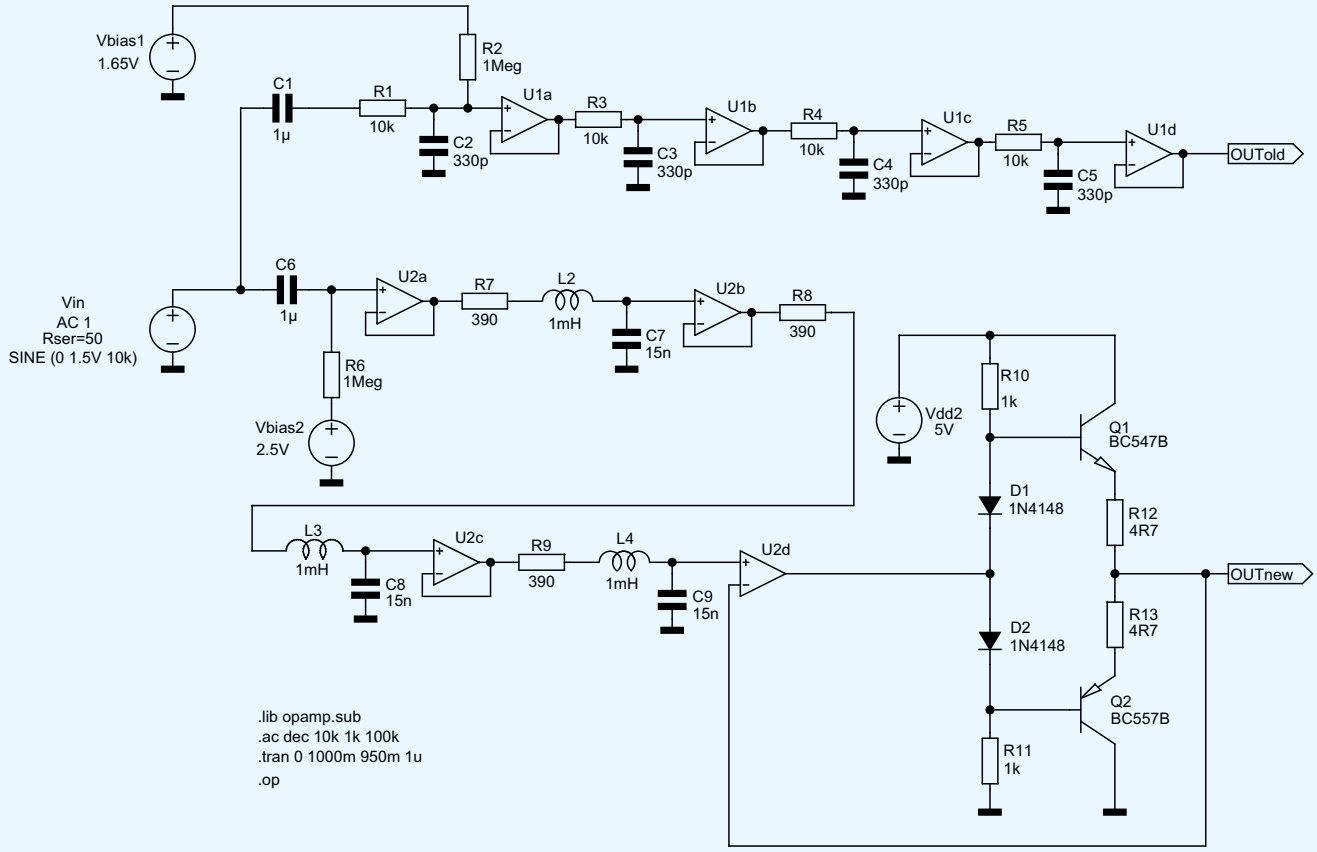
eprasa.pl e7970affa9



Rysunek 69. Schemat blokowy sprzętowej części podstawowego środowiska pomiarowego

tekstowym (do dalszej obróbki – np. w arkuszu kalkulacyjnym lub za pomocą dedykowanego skryptu w języku perl, python itp.)

Do bloków opcjonalnych należy w pierwszej kolejności sztuczne obciążenie 8 Ω/12 W (max.), które było niezbędne wyłącznie do testowania wzmacniaczy mocy m.cz., ale nie było potrzebne np. do testów samodzielnego korektora audio (bez wzmacniacza mocy). Mniej istotnymi, chociaż w ocenie autora tego opracowania, bardzo przydatnymi w trakcie przeprowadzonych pomiarów blokami, są: analogowe, zgrubne mierniki napięcia sterującego oraz napięcia na obciążeniu (wraz



Rysunek 70. Schematy filtrów FDP na potrzeby symulacji w LTspice

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

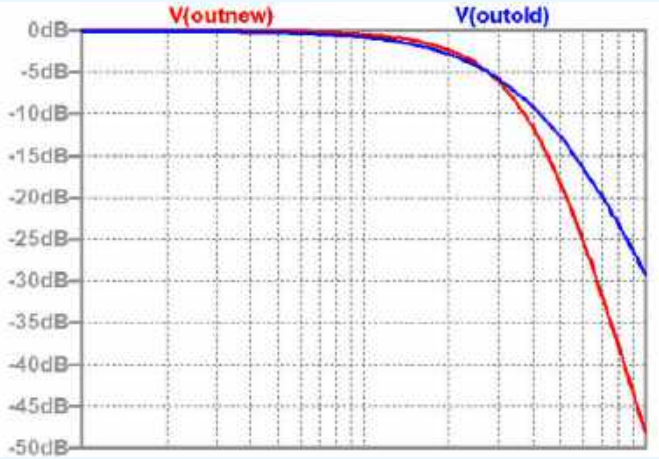
eprasa.pl e7970affa9

z dedykowanymi układami prostowniczymi) a także oscyloskopy, przeznaczone do wizualnej kontroli jakości tychże napięć. Sygnał wytworzony w wewnętrznym, programowym generatorze DDS, pracującym z częstotliwością próbkowania Fs=96 kHz, przekonwertowany na sygnał analogowy w przetworniku DAC (zlokalizowanym w MCU STM32L432KC na płytce NUCLEO) jest podawany na filtr wygładzający górnej częstotliwości granicznej Fg=20 kHz. Stamtąd dalej trafia na wejście testowanego urządzenia zewnętrznego (DUT). Z wyjścia urządzenia DUT sygnał mierzony dociera na wejście filtra antyaliasingowego (istotnego m.in. z uwagi na możliwość powstawania w DUT pasożytniczych częstotliwości harmonicznych) i dalej na wejście przetwornika ADC (także zlokalizowanego w MCU STM32L432KC na płytce NUCLEO), pracującego z tą samą częstotliwością próbkowania (Fs=96 kHz). W przypadku pomiaru sygnałów na wyjściu wzmacniaczy mocy, przebiegi te były wstępnie tłumione o –20 dB, by nie przekroczyły dozwolonego zakresu przetwarzania napięć przez przetwornik ADC. Następnie zmierzone przez ADC próbki sygnału były skanowane i analizowane pod kątem wyznaczenia ich minimalnych i maksymalnych wyników (osobno dla każdej częstotliwości pomiarowej Fpom), wartości skrajne były z kolei wykorzystywane do wyliczenia napięcia [Vp-p] na wyjściu testowanego DUT. Finalnie, kolejne pary wartości: (Fpom [Hz], Upom [Vp-p]), gdzie zachodziło Upom=f(Fpom), były wysyłane do terminala tekstowego w komputerze PC – celem ich wizualizacji i dalszej obróbki przez operatora opisanego minisystemu pomiarowego.

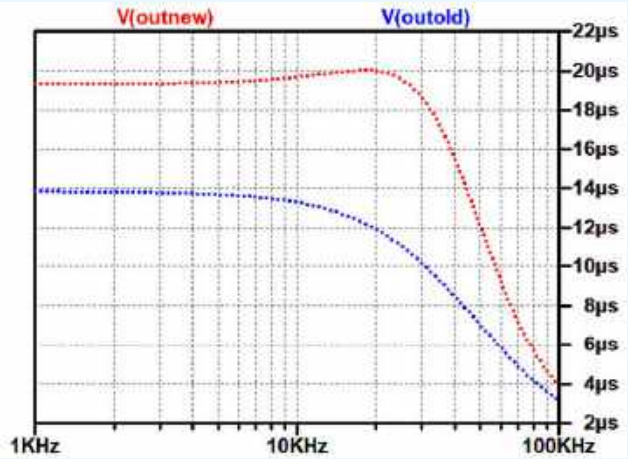
Jak wspomniano wcześniej, wykorzystane tutaj środowisko pomiarowe w części sprzętowej zostało w znacznej mierze oparte o koncepcję platformy sprzętowej, użytej w testach filtrów cyfrowych, jednak istotnej modernizacji zostały poddane przede wszystkim bloki analogowych filtrów: wygładzającego i antyaliasingowego. W szczególności czterostopniowe, połączone łańcuchowo, proste filtry RC (czwartego rzędu) zastąpiono trzystopniowymi, połączonymi łańcuchowo filtrami RLC (szóstego rzędu). Zabieg ten pozwolił jednocześnie zwiększyć impedancje wejściowe omawianych bloków filtrów (z uwagi na brak obciążających źródła sygnałów członów RC na wejściach filtrów), a także poprawić stromość opadania ich charakterystyk częstotliwościowych w okolicach górnych częstotliwości granicznych Fg=20 kHz tychże filtrów. Dodatkowo na wyjściu układu filtra wygładzającego dodano niskoimpedancyjny wtórnik z komplementarną parą tranzystorów, pracującą w klasie 2×AB. Zabieg ten miał na celu zmniejszenie impedancji wyjściowej i zwiększenie wydajności prądowej układu, którego przeznaczeniem było wysterowanie testowanego urządzenia zewnętrznego DUT o nieznanej impedancji wejściowej. **Rysunek 70** prezentuje schematy dwóch wariantów omawianych filtrów dolnoprzepustowych, przygotowanych na potrzeby wykonania symulacji porównawczych w środowisku LTspice: starej wersji „4×RC" z filtrów cyfrowych oraz nowej wersji „3×RLC" z omawianego tutaj minisystemu pomiarowego. Oba tory filtrów były pobudzane z tego samego źródła sygnału sinusoidalnego, a ich napięcia wyjściowe były dostępne na portach oznaczonych etykietami: OUTold oraz OUTnew. Na **rysunku 71** przedstawiono charakterystyki amplitudowe przenoszenia obu torów w zakresie częstotliwości od F=1 kHz do F=100 kHz. Rezultaty symulacji komputerowych jednoznacznie potwierdziły zasadność wprowadzonych modyfikacji: zmodyfikowany projekt filtra miał nieco bardziej płaską charakterystykę amplitudową w pasmie przenoszenia, a także oferował znaczącą poprawę tłumienia poza tym pasmem (przy niezmiennie zachowanej monotoniczności tej charakterystyki). Z kolei na **rysunku 72** zaprezentowano charakterystyki opóźnienia grupowego obu filtrów. Co prawda nowe rozwiązanie wprowadza nieco większe opóźnienia

Tabela 10. Dane pomiarowe do charakterystyki amplitudowej filtru FDP

F [Hz]	Ku [dB]	F [Hz]	Ku [dB]
10	0,00	11 000	–1,00
20	0,00	12 000	–1,16
30	0,00	13 000	–1,32
40	0,00	14 000	–1,48
50	–0,08	15 000	–1,64
60	0,08	16 000	–1,98
70	0,00	17 000	–2,20
80	0,00	18 000	–2,42
90	0,00	19 000	–2,68
100	0,00	20 000	–2,89
200	0,00	21 000	–3,18
300	0,00	22 000	–3,54
400	0,00	23 000	–3,80
500	0,00	24 000	–4,24
600	0,00	26 000	–4,82
800	0,00	28 000	–5,83
1 000	0,00	30 000	–6,68
2 000	–0,09	32 000	–7,87
3 000	–0,16	34 000	–9,01
4 000	–0,10	36 000	–10,20
5 000	–0,26	38 000	–11,46
6 000	–0,33	40 000	–12,70
7 000	–0,40	42 000	–14,33
8 000	–0,55	44 000	–15,90
9 000	–0,70	46 000	–17,42
10 000	–0,77	48 000	–18,80



Rysunek 71. Charakterystyki amplitudowe obu wariantów filtrów FDP

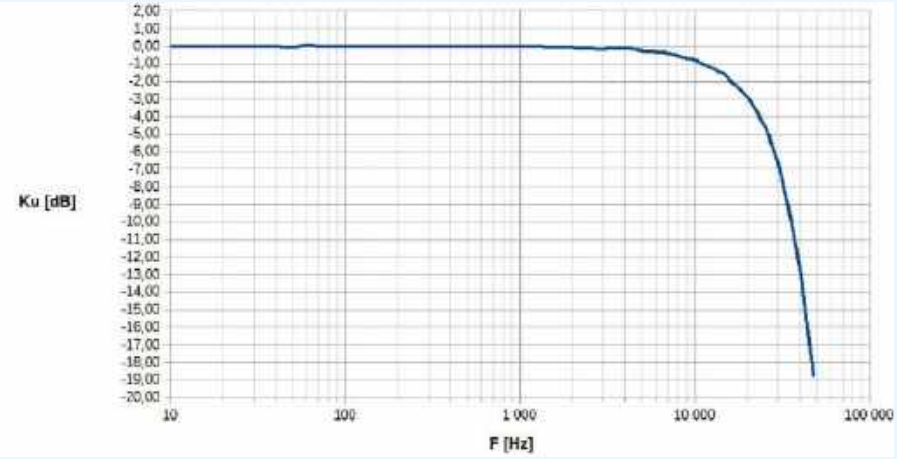


Rysunek 72. Opóźnienie grupowe dla obu wariantów filtrów FDP

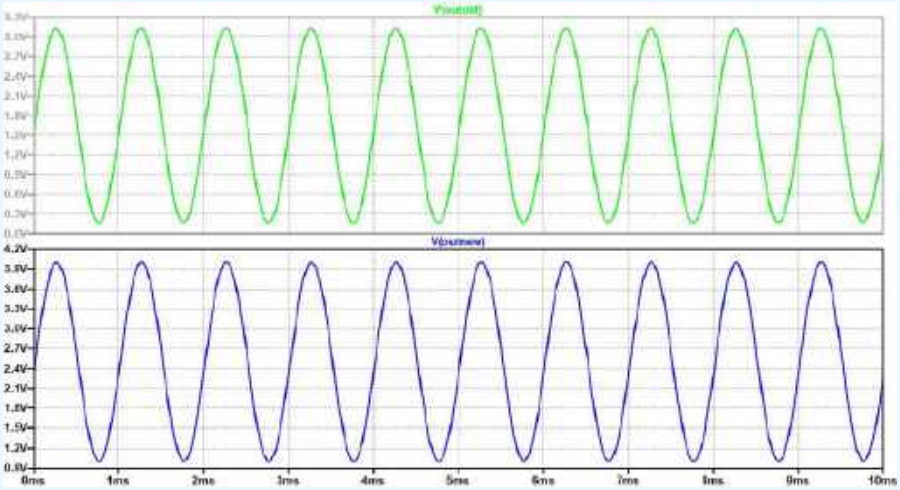
Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie https://ulubionykiosk.pl/media

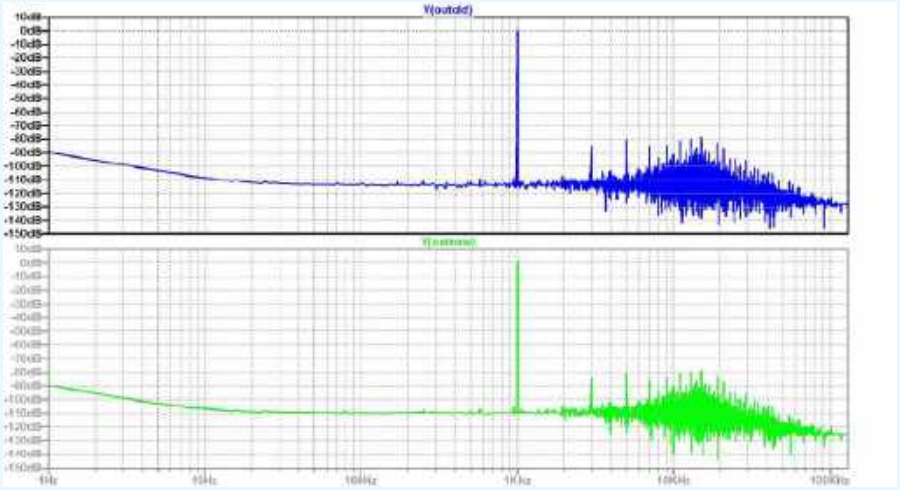
eprasa.pl e7970affa9

grupowe do toru przetwarzania sygnału, jednak nie ma to żadnego istotnego wpływu na uzyskiwane w systemie pomiarowym wyniki. Natomiast opóźnienie grupowe w pasmie przenoszenia dla nowego rozwiązania filtra jest nawet nieco bardziej wyrównane, niż to miało miejsce w przypadku filtra stosowanego wcześniej, co należy uznać za korzystną zmianę. **Rysunek 73** prezentuje wykres uzyskanej pomiarowo charakterystyki amplitudowej jednego z nowo zaprojektowanych filtrów (dane źródłowe do tego wykresu zawiera **tabela 10**). Jak nie trudno zauważyć, obie charakterystyki (symulowana oraz zdjęta pomiarowo) są ze sobą zgodne, co dodatkowo potwierdza poprawność nowego projektu pomocniczych filtrów analogowych. Ponieważ w torze filtra wygładzającego na wyjściu dodano wtórnik z komplementarną parą tranzystorów bipolarnych (stopień z zasady nieliniowy) pracujących w klasie 2×AB, autor postanowił dodatkowo przeprowadzić symulację komputerową w dziedzinie czasu. I tak oba tory filtrów, stary i nowy, były pobudzane tym samym sygnałem sinusoidalnym Vin o amplitudzie 1,5 V (3,0 Vp-p) i częstotliwości F=1 kHz. **Rysunek 74** prezentuje 10-cio milisekundowe wycinki sinusoidalnych przebiegów napięć wyjściowych V(OUTold) oraz V(OUTnew). Co prawda wizualna ocena ich czystości widmowej nie budzi żadnych zastrzeżeń, ale powszechnie przyjmuje się, że harmoniczne zniekształcenia nieliniowe przebiegów sinusoidalnych na poziomie ≤5% są niezwykle trudne do wychwycenia gołym okiem. Mając na uwadze szczególnie wysokie wymagania jakościowe stawiane torom pomiarowym, uzyskane pełne, jednosekundowe przebiegi wyjściowe V(OUTold) oraz V(OUTnew) poddano dodatkowo obliczeniowej analizie Fouriera, której wyniki pokazano na **rysunku 75**. Wnioski z nich są takie, że przyjmując główne składowe widma obu przebiegów V(OUTold) oraz V(OUTnew) na umownym poziomie 0 dB, w obu przypadkach otrzymano widma sygnałów pasożytniczych (zniekształceń nieliniowych) o bardzo zbliżonych kształtach i na poziomach praktycznie nieprzekraczających –80 dBc (względem poziomu podstawowej harmonicznej). Dodatkowo w widmie zakłóceniowym występują praktycznie jedynie nieparzyste harmoniczne (3 kHz, 5 kHz, 7 kHz, …), co korzystnie świadczy o symetrycznej pracy obu instancji filtrów (także nowego projektu – ze wzmacniaczem tranzystorowym na wyjściu).



Rysunek 73. Charakterystyka amplitudowa filtru FDP (pomiar)

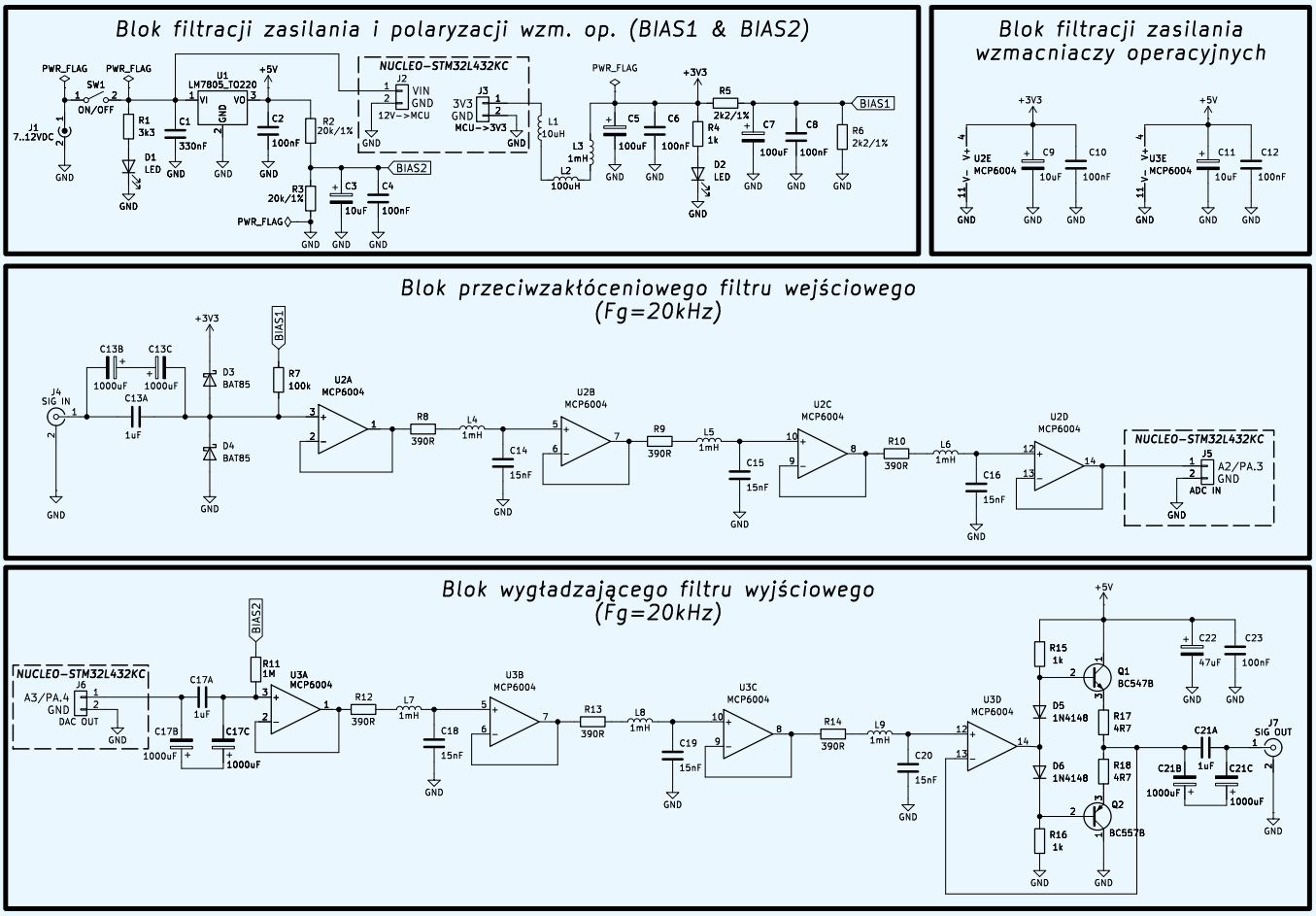

Rysunek 74. Przebiegi sinusoidalne na wyjściach obu wariantów filtrów FDP


Rysunek 75. Widma częstotliwościowe przebiegów z rysunku 74 (analiza Fouriera)

Rysunek 76 przedstawia schemat elektryczny opracowanych filtrów wraz z towarzyszącymi obwodami zapewniającymi prawidłowe zasilanie całego systemu pomiarowego. Układ zasilany jest z zewnętrznego źródła stałoprądowego o napięciu Uzas=7...12 VDC i wydajności prądowej nie mniejszej niż 1 A (bezpieczna wartość) przez złącze koncentryczne J1. Zasilanie jest załączane przełącznikiem SW1, a obecność napięcia sygnalizuje dioda LED D1, której maksymalny prąd roboczy ogranicza rezystor R1. Napięcie Uzas jest podawane wprost na złącze wejścia zewnętrznego zasilania na płytce NUCLEO, oznaczone na schemacie jako J2 (piny VIN oraz GND na płytce NUCLEO), a także na wejście stabilizatora scalonego U1 (LM7805), który – wraz z rekomendowanymi przez producenta tego układu kondensatorami C1 i C2 – zapewnia napięcie stabilizowane +5 VDC, niezbędne do zasilenia niskoimpedancyjnego wtórnika wyjściowego z komplementarną parą tranzystorów Q1-Q2. Elementy R2, R3, C3 i C4 zapewniają wysokostabilne, precyzyjne i dobrze odfiltrowane źródło napięcia +2,5 VDC

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

eprasa.pl e7970affa9



Rysunek 76. Schemat zaimplementowanych filtrów FDP

(oznaczone etykietą BIAS2 na omawianym schemacie), niezbędne do prawidłowej polaryzacji wzmacniaczy operacyjnych i wspomnianego stopnia wyjściowego w bloku wygładzającego filtra wyjściowego. Aby uprościć omawianą konstrukcję, napięcie zasilające +3,3 VDC, niezbędne do prawidłowego zasilania bloku przeciwzakłóceniowego filtra wejściowego, zostało pobrane wprost z płytki NUCLEO (piny 3V3 i GND, oznaczone jako złącze J3 na schemacie). Jest to jak najbardziej prawidłowe rozwiązanie, zgodne z zaleceniami producenta zastosowanej płytki NUCLEO (obciążenie prądowe wyjścia 3V3 modułu NUCLEO przez zaimplementowane obwody zewnętrzne jest znacznie poniżej wartości dozwolonych, podanych w nocie katalogowej tegoż modułu). Napięcie zasilające +3,3 VDC zostało wyprowadzone poprzez rozbudowany bierny zespół filtra dolnoprzepustowego z dławikami L1, L2 i L3 oraz kondensatorami C5 i C6, by zakłócenia impulsowe z modułu NUCLEO nie przedostawały się do obwodów zasilania i polaryzacji wzmacniaczy operacyjnych U2A...U2D. Dioda LED D2 z rezystorem szeregowym R4 sygnalizuje obecność zasilania +3,3 VDC w minisystemie pomiarowym. Natomiast precyzyjne rezystory R5 i R6 z pojemnościami C7 i C8, blokującymi do masy szczątkowe zakłócenia impulsowe, realizują układ dzielnika oporowego i dostarczają napięcie +1,65 VDC (na schemacie oznaczone etykietą BIAS1) polaryzujące wzmacniacze operacyjne U2A...U2D. Pojemności C9...C12 blokują zakłócenia i szumy w napięciach +3,3 VDC oraz +5 VDC zasilania wzmacniaczy operacyjnych U2 i U3 i zgodnie z obowiązującymi regułami projektowania, są umieszczone w bezpośrednim sąsiedztwie wyprowadzeń zasilania (piny nr 4) i masy (piny nr 11) wymienionych wcześniej układów scalonych.

Sygnał mierzony jest wprowadzany na wejście bloku przeciwzakłóceniowego filtra wejściowego poprzez koncentryczne złącze BNC J4, które jest sprzężone z resztą układu zespołem kondensatorów C13A/C13B/C13C (rozwiązanie podyktowane potrzebą zapewnienia odpowiednio niskiej impedancji sprzężenia pojemnościowego w całym pasmie akustycznym). W przypadku pomiaru urządzeń DUT (przede wszystkim wzmacniaczy), w których żadne z wyprowadzeń wyjściowych (mocy) nie pracuje na potencjale masy badanego układu, może być konieczne dodatkowe zastosowanie szerokopasmowego transformatora separującego. Aspekt ten został poruszony szczegółowo w dalszej części tego opracowania.

Diody Schottky'ego D3 i D4 mają zadanie zapobiegać przesterowaniu (czy wręcz uszkodzeniu) obwodu pomiarowego przez sygnał wejściowy o zbyt dużej amplitudzie. Rezystor R7 podaje napięcie BIAS1, polaryzujące wejście nieodwracające wzmacniacza operacyjnego U2A i – wobec stałoprądowych sprzężeń pomiędzy kolejnymi stopniami wtórnikowymi ze wzmacniaczami operacyjnymi U2A...U2D – ustala także punkty pracy wszystkich tych wzmacniaczy. Pomiędzy czterema stopniami wtórników-separatorów z U2A...U2D wstawiono trzy czwórniki RLC (z elementami: R8-L4-C14, R9-L5-C15 oraz R10-L6-C16), które stanowią dolnoprzepustowe filtry RLC drugiego stopnia. Ostatecznie uzyskano wypadkowy, dolnoprzepustowy filtr RLC szóstego stopnia – zgodnie z koncepcją i charakterystykami przedstawionymi na rysunkach 70...73 – omówionymi szczegółowo we wcześniejszej części artykułu. Odfiltrowany dolnoprzepustowo sygnał z wyjścia wzmacniacza operacyjnego U2D jest podawany wprost na pin A2 modułu NUCLEO (sprzężenie stałoprądowe – złącze oznaczone na schemacie jako J5), czyli pin PA.3 mikrokontrolera STM32L432KC, który z kolei jest fizycznym wejściem przetwornika ADC. Warto w tym miejscu podkreślić fakt, że zastosowane sprzężenie stałoprądowe sprawia, że stałe napięcie polaryzujące BIAS1 przeniesione wprost na wejście ADC,

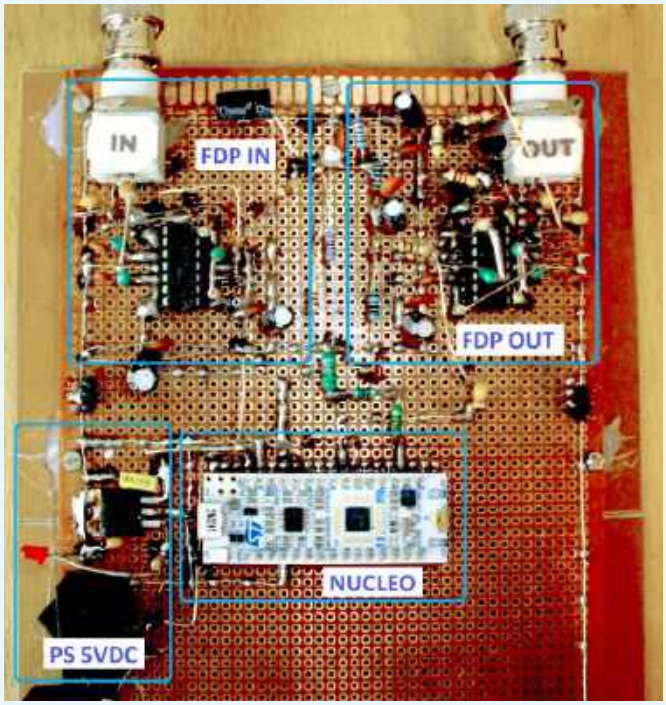
Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl e7970affa9

ustala punkt pracy przetwornika w bardzo bliskim sąsiedztwie połowy (środka) zakresu przetwarzania tego przetwornika.

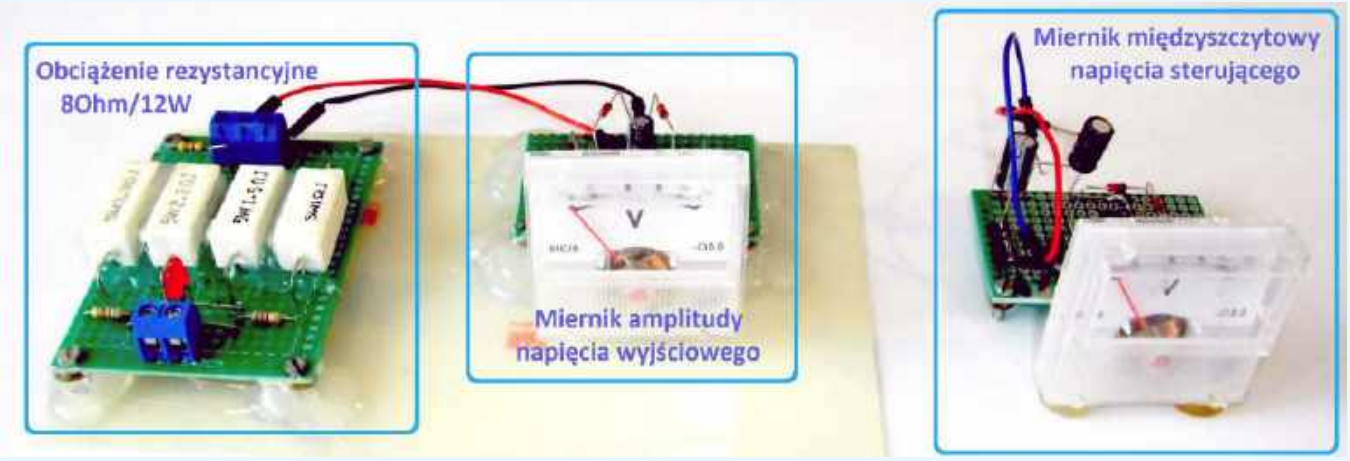
Na wejście bloku wygładzającego filtra wyjściowego podano sygnał z wyjścia przetwornika DAC mikrokontrolera (złącze NUCLEO oznaczone na schemacie jako J6 – pin A3 NUCLEO i jednocześnie pin PA.4 MCU). W tym przypadku zastosowano sprzężenie pojemnościowe (kondensator C17), ponieważ zakres przetwarzania DAC w MCU, mieszczący się w zakresie od 0 V do 3,3 V (napięcie zasilania MCU), jest mniejszy od napięcia zasilania bloku wygładzającego filtra wyjściowego (+5 V). Punkt pracy tego bloku jest ustalany przez napięcie polaryzujące BIAS2 (+2,5 V), podawane przez rezystor R11 na wejście nieodwracające pierwszego w łańcuchu wtórnika-separatora ze wzmacniaczem operacyjnym U3A. Podobnie, jak w przypadku przeciwzakłóceniowego filtra wejściowego, wyjściowy filtr wygładzający składa się z czterech wzmacniaczy operacyjnych, pracujących w konfiguracji wtórników-separatorów (U3A...U3D), pomiędzy którymi włączone zostały trzy ogniwa dolnoprzepustowych filtrów RLC drugiego rzędu (z elementami: R12-L7-C18, R13-L8-C19 oraz R14-L9-C20) – zatem finalnie otrzymano filtr szóstego rzędu.

Istotna różnica względem omawianego wcześniej, wejściowego filtru przeciwzakłóceniowego jest taka, że ostatni z wtórników-separatorów (ze wzmacniaczem operacyjnym U3D) został wykorzystany do wysterowania niskoimpedancyjnego wyjściowego wzmacniacza tranzystorowego z komplementarną parą tranzystorów bipolarnych Q1-Q2. Wzmacniacz ten pracuje w dość popularnej, prostej konfiguracji wtórnikowej w klasie 2×AB (z niewielkim prądem spoczynkowym Q1 i Q2). Wyjście wzmacniacza operacyjnego U3D wysterowuje stopień polaryzacji tranzystorów Q1 i Q2 z elementami: R15-D5-D6-R16. Diody D5 i D6 zapewniają termiczną stabilizację punktów pracy Q1 i Q2, którą dodatkowo poprawiają rezystory R17 i R18 (o względnie niewielkich wartościach), włączone w obwody emiterów Q1 i Q2 jako elementy ujemnego, prądowo-szeregowego sprzężenia zwrotnego. Stabilność punktu pracy omawianego stopnia wyjściowego, a także bardzo dobrą liniowość, zapewnia jednak przede wszystkim silne, ujemne (napięciowe) sprzężenie zwrotne: z wyjścia stopnia z tranzystorami Q1 i Q2 wprost na wejście odwracające wzmacniacza operacyjnego U3D, który wysterowuje tenże stopień. Kondensatory C22 i C23 zapewniają miejscowo odsprzężenie zasilania stopnia z Q1 i Q2 (istotne w przypadku większych obciążeń prądowych tego stopnia), a zespół pojemności C21A/C21B/C21C wyprowadza odfiltrowany pomiarowy sygnał wyjściowy (sterujący DUT) przez złącze BNC (J7). **Fotografia tytułowa** oraz **fotografia 7** przybliżają szczegóły wykonania prototypowej wersji prezentowanej, półautomatycznej platformy pomiarowej.



Fotografia 7. Prototyp platformy pomiarowej (część główna)

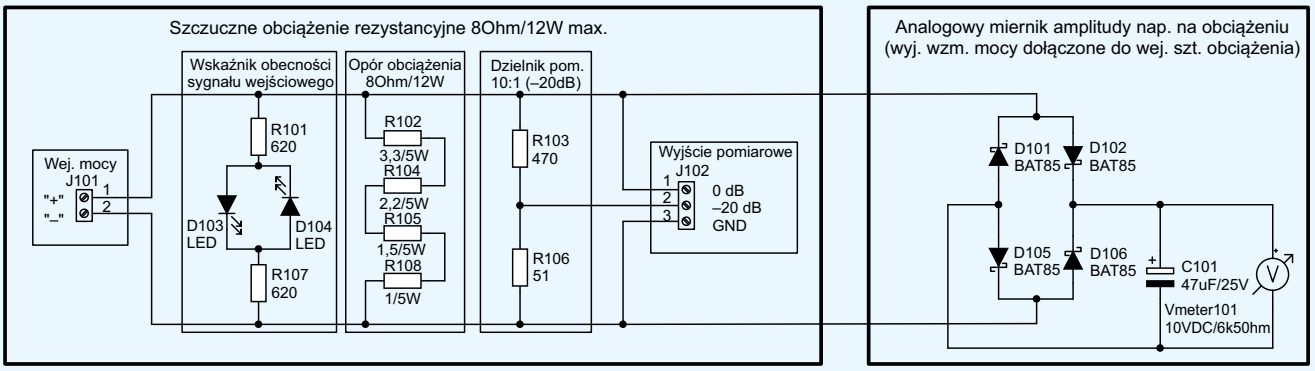
Na potrzeby zaplanowanych pomiarów opracowano trzy proste układy towarzyszące, pokazane na **fotografii 8**: sztuczne obciążenie rezystancyjne 8 Ω/12 W max., dedykowany do tego sztucznego obciążenia analogowy (zgrubny) miernik napięcia szczytowego na obciążeniu oraz analogowy (także zgrubny) miernik międzyszczytowej wartości napięcia sterującego (tzn. na wyjściu filtra wygładzającego sygnał z przetwornika DAC, zlokalizowanego w MCU na płytce NUCLEO). Na **rysunku 77** zaprezentowano schematy elektryczne pierwszych dwóch z trzech wymienionych układów towarzyszących. Zasadniczą część sztucznego obciążenia rezystancyjnego stanowią cztery połączone szeregowo rezystory (R102, R104, R105 i R108) – każdy o maksymalnej dopuszczalnej mocy strat termicznych Pmax'=5 W. Z braku lepszych rozwiązań wykorzystano oporniki o różnych wartościach rezystancji (3,3 Ω, 2,2 Ω, 1,5 Ω oraz 1 Ω), jednak o łącznej wypadkowej wartości równej 8 Ω. Z takiego rozwiązania wynika, że faktyczna maksymalna dopuszczalna moc strat dla całego kwartetu oporników, z uwagi na ich połączenie szeregowe, więc i taki sam prąd w każdym z elementów, jest limitowana przez ten opornik, w którym będzie wydzielała się największa moc strat termicznych. Jest nim rezystor R102 o wartości 3,3 Ω, dla którego maksymalna wartość skuteczna prądu wynosi:



Fotografia 8. Prototyp platformy pomiarowej (układy towarzyszące)

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

eprasa.pl e7970affa9



Rysunek 77. Schemat modułu sztucznego obciążenia z miernikiem mocy

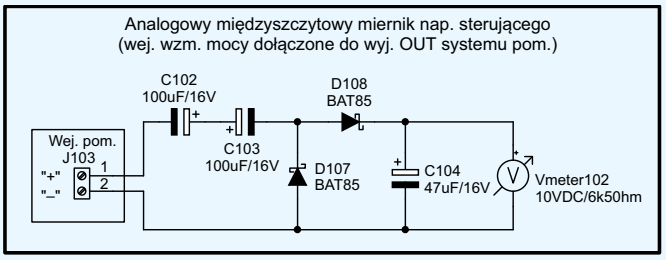
$$I_{max}(R102) = \sqrt{\frac{P_{max'}}{R102}} = \sqrt{\frac{5W}{3{,}3\Omega}} \approx \sqrt{1{,}515A} \approx 1{,}23A \quad (1)$$

I tak, dla całego zestawu oporników szeregowych w omawianym sztucznym obciążeniu, maksymalna dopuszczalna moc strat wyniesie:

$$P_{max} = I_{max(R102)}{}^2 \cdot (R102 + R104 + R105 + R108) \approx$$
$$1{,}515 \cdot 8W \approx 12{,}12W \quad (2)$$

Przyjęto, że całkowita, ciągła moc strat w opracowanym sztucznym obciążeniu nie powinna przekraczać wartości 12 W, choć w opisanej dalej praktyce pomiarów wzmacniaczy elektroakustycznych (długotrwałe, ciągłe testy) celowano w maksymalną wartość wydzielanej mocy czynnej na poziomie zaledwie 5 W. Minimoduł sztucznego obciążenia został wyposażony dodatkowo w: optyczną, prostą sygnalizację obecności wzmocnionego sygnału na wejściu J101 (złącze śrubowe typu ARK-2) z rezystorami R101 i R107 oraz diodami LED D103, D104, a także w dzielnik pomiarowy 10:1 z rezystorami R103 i R106, dzięki któremu na wyjściu pomiarowym J102 (złącze śrubowe typu ARK-3) był dostępny zarówno bezpośredni sygnał mocy, jak i jego replika, stłumiona o 20 dB (do dalszego pomiaru i analizy we wnętrzu omawianego minisystemu pomiarowego).

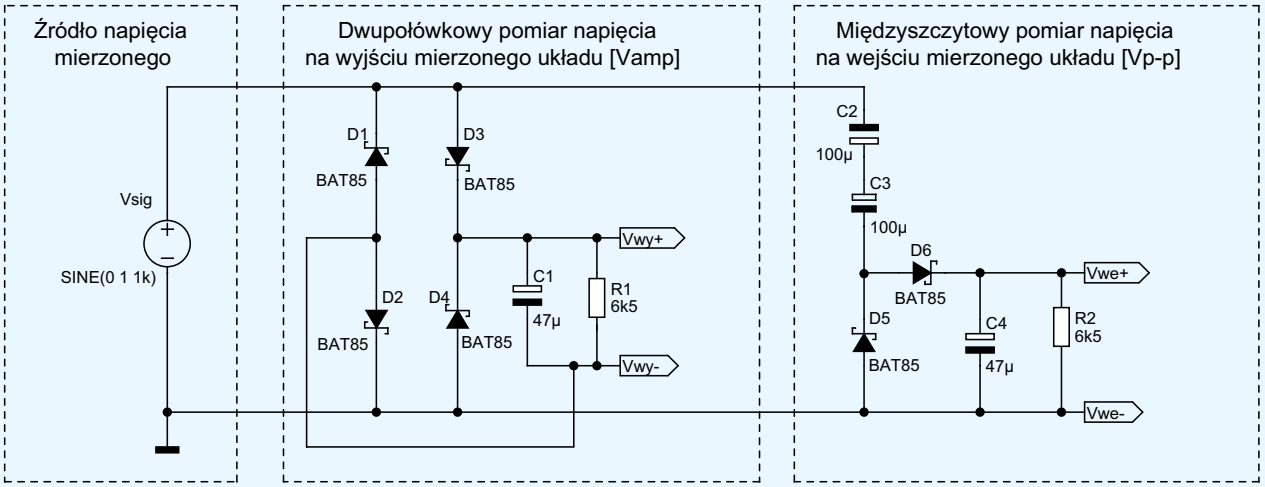
Przeznaczony do sztucznego obciążenia, analogowy miernik przybliżonej wartości napięcia szczytowego (schemat także na rysunku 77) został oparty o kwartet diod Schottky'ego (D101, D102, D105 i D106) w popularnym układzie prostownika dwupołówkowego z mostkiem Graetza i kondensatorem wygładzającym C101 oraz prostym ustrojem wychyłowego woltomierza o zakresie pomiaru 0...10 VDC i rezystancji wewnętrznej 6,5 kΩ. Stała czasowa rozładowania tego prostego miernika, wynikająca przede wszystkim z połączenia równoległego pojemności C101 i rezystancji wewnętrznej zastosowanego ustroju pomiarowego, wynosiła około τ≈47 μF·6,5 kΩ=305,5 ms.



Rysunek 78. Schemat miernika poziomu sygnału sterującego

Do monitorowania obecności i przybliżonego poziomu sygnału sterującego na wyjściu filtra, wygładzającego sygnał z przetwornika DAC, wykorzystano miernik międzyszczytowej wartości tego napięcia (**rysunek 78**). Mierzony sygnał sterujący, doprowadzany na wejście J103 (złącze śrubowe typu ARK-2), poprzez połączoną szeregowo (i z przeciwnymi polaryzacjami) parę kondensatorów elektrolitycznych C102 i C103, trafiał na prosty układ podwajacza amplitudy napięcia wejściowego z diodami D107, D108 oraz kondensatorem wygładzającym C104. Podobnie jak w przypadku omówionego wcześniej ustroju pomiarowego, stała czasowa rozładowania miernika wynosiła około τ≈47 μF·6,5 kΩ=305,5 ms.

Na **rysunku 79** zaprezentowano schemat obu omówionych prostych ustrojów pomiarowych, który posłużył do oszacowania ich charakterystyk przejściowych na drodze symulacji w środowisku LTspice. Dla uproszczenia prac oba układy były zasilane z tego samego źródła sygnału sinusoidalnego, którego amplituda



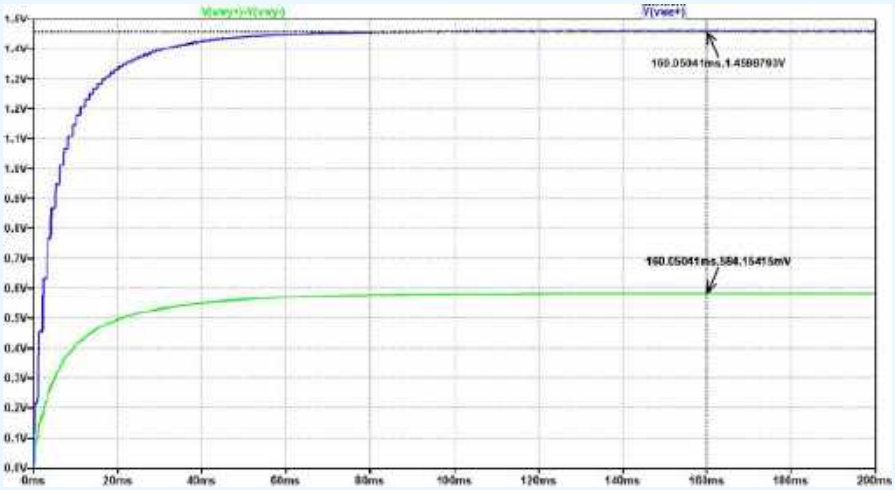
Rysunek 79. Schematy mierników z rysunków 77 i 78 (do symulacji w LTspice)

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

eprasa.pl e7970affa9

Tabela 11. Dane pomiarowe do charakterystyki przejściowej miernika z rysunku 77

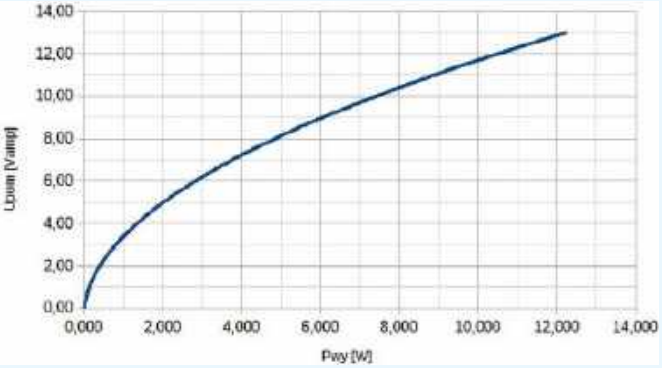
Vsig [Vamp]	Uster [Vp-p]	Upom [Vp-p]
0,10	0,20	0,00
0,20	0,40	0,08
0,30	0,60	0,22
0,40	0,80	0,38
0,50	1,00	0,55
0,60	1,20	0,73
0,80	1,60	1,09
1,00	2,00	1,46
1,50	3,00	2,39
1,65	3,30	2,69



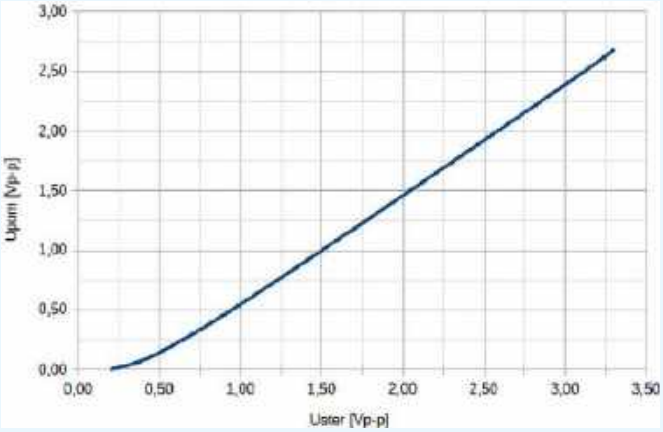
Rysunek 80. Dochodzenie do stanu quasi-ustalonego napięć na wyjściach mierników z rysunków 77 i 78 (symulacja)

Tabela 12. Dane pomiarowe do charakterystyki przejściowej miernika z rysunku 78

Vsig [Vamp]	Pwy [W] @ Rload=8 Ω	Upom [Vamp]
0,10	0,001	0,01
0,20	0,003	0,02
0,30	0,006	0,05
0,40	0,010	0,10
0,50	0,016	0,17
0,60	0,023	0,25
0,80	0,040	0,41
1,00	0,063	0,58
1,50	0,141	1,03
1,65	0,170	1,17
2,00	0,250	1,50
2,50	0,391	1,97
3,00	0,563	2,44
3,50	0,766	2,91
4,00	1,000	3,39
5,00	1,563	4,35
6,00	2,250	5,31
7,00	3,063	6,27
8,00	4,000	7,23
9,00	5,063	8,19
10,00	6,250	9,16
12,00	9,000	11,08
14,00	12,250	13,02



Rysunek 81. Charakterystyka przejściowa miernika z rysunku 77



Rysunek 82. Charakterystyka przejściowa miernika z rysunku 78

była zmieniana ręcznie w trakcie kolejnych symulacji w dziedzinie czasu. Na **rysunku 80** przedstawiono przykładowe przebiegi czasowe podczas dochodzenia do stanu quasi-ustalonego dla sygnałów mierzonych na wyjściach obu układów pomiarowych – przy pobudzeniu ich na wejściach sygnałem sinusoidalnym o częstotliwości 1 kHz i amplitudzie 1,0 V. Jak wynika, z racji obecności w tych układach diod prostowniczych oraz obciążenia rezystancjami samych ustrojów pomiarowych, symulowane napięcia zmierzone są dość dalekie od spodziewanych odpowiednio: 1,0 V i 2,0 V. Właśnie dlatego autor postanowił wykonać dla układów z rysunku 79 szereg symulacji – dla sinusoidalnych napięć sterujących Vsig o amplitudzie zmienianej w zakresie od 0,1 V do 14 V. Rezultaty tych symulacji zostały ujęte w **tabelach 11** i **12**, a także na wykresach na **rysunkach 81** i **82**. W szczególności, wymienione wykresy zostały opracowane w taki sposób, by za ich pomocą dało się w miarę wygodnie, dokładnie i szybko oszacować poziomy: sygnału sterującego na wejściu mierzonego urządzenia DUT oraz mocy na jego wyjściu. Opisana w drugiej części tego artykułu, obszerna praktyka pomiarowa, wykazała znaczną użyteczność opisanych tutaj prostych, zgrubnych ustrojów pomiarowych – głównie w zakresie zapobiegania przesterowaniom.

Do omówienia pozostały jeszcze szczegóły oprogramowania wykorzystanego w trakcie pomiarów – zarówno tego zaimplementowanego w wykorzystywanym mikrokontrolerze jak również w terminalu PC. Aspekty te zostaną poruszone bardziej szczegółowo w kolejnej części tego artykułu, poświęconej samym pomiarom oraz wszelkim warunkom operacyjnym ich realizacji.

Adam Sobczyk, EP

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

eprasa.pl e7970affa9

koktajl niusów

Goodram Core – dysk M.2 PCIe 5.0 ×4 z transferami do 10 300 MB/s

Polska marka Goodram wprowadza model Core, który wyznacza nowy sposób klasyfikacji dysków producenta: oznaczenie „Core" identyfikuje bazową pozycję w segmencie nośników opartych na interfejsie PCIe 5.0 ×4. Bazowe pozycjonowanie nie wyklucza zastosowania rozwiązań i osiągów znanych z najszybszych nośników M.2.

Model Core korzysta z interfejsu PCIe 5.0 ×4 i oferuje transfery sięgające 10 300 MB/s. Deklarowana charakterystyka ma na celu skrócenie czasu pracy z danymi w porównaniu ze standardowymi dyskami oraz utrzymanie wysokiej stabilności pracy, przy niskim poborze mocy istotnym zarówno w laptopach, jak i komputerach stacjonarnych. Dysk zapewnia pełne wsparcie dla technologii Microsoft DirectStorage, której celem jest przyspieszenie ładowania gier i aplikacji poprzez przesyłanie danych z pominięciem procesora – bezpośrednio z nośnika do karty graficznej. Rozwiązanie to ma zwiększać płynność rozgrywki i responsywność oprogramowania.

Goodram Core jest dostępny w czterech wariantach pojemności: 500 GB, 1 TB, 2 TB i 4 TB, co pozwala dobrać konfigurację do konkretnych potrzeb. Producent, Wilk Elektronik, udziela pięcioletniej gwarancji ograniczonej parametrem TBW oraz oferuje bezpłatne wsparcie techniczne.

Na rynku nośników danych rozwój ekosystemu M.2 postępuje szybko; w stosunku do okresu, gdy dyski te postrzegano głównie jako kosztowną alternatywę dla modeli SATA, obecne konstrukcje M.2 osiągają znacznie wyższe, sięgające pięciu cyfr wartości prędkości zapisu i odczytu. W tych realiach Goodram Core plasuje się jako bazowy przedstawiciel klasy PCIe 5.0 ×4, z parametrami charakterystycznymi dla najszybszych nośników tej kategorii.

https://www.goodram.com/blog/goodram-core-ssd-wilk-w-owczej-skorze

LG Electronics zaprezentowało rozwiązania antybakteryjne PuroTec na targach K 2025 w Niemczech

Debiut linii PuroTec stanowi kolejny etap w globalnej ekspansji działalności materiałowej firmy. Rdzeniem oferty jest szklany proszek, który można stosować w tworzywach sztucznych, powłokach, farbach proszkowych oraz różnych typach tekstyliów. Materiał wykazuje właściwości antybakteryjne i przeciwgrzybicze oraz ogranicza powstawanie nieprzyjemnych zapachów, co sprzyja utrzymaniu higieny wyrobów pokrytych tym proszkiem.

Proszek PuroTec znajduje zastosowanie w wielu branżach, w tym w sprzęcie AGD, opiece zdrowotnej, budownictwie, motoryzacji i opakowaniach. W prezentowanej na targach ofercie ujęto łącznie pięć głównych linii produktowych, w tym tworzywa LG Chem.

Rozwiązania PuroTec powstały w wyniku wieloletnich prac badawczo-rozwojowych. Po wdrożeniach w urządzeniach AGD należący do linii PuroTec szklany proszek należy do najlepiej sprzedających się produktów LG Electronics. Firma prowadzi prace nad nowymi zastosowaniami swoich materiałów. Obejmują one m.in. Marine Glass, którego celem jest wspieranie odbudowy ekosystemów wodnych, a także Mineral Wash – ekologiczną technologię prania bez detergentów.

LG Electronics dysponuje 420 patentami związanymi z technologią proszku szklanego i realizuje jego produkcję w zakładzie LG Smart Park w Changwon w Korei Południowej. Moce wytwórcze wynoszą 4500 ton rocznie.

https://lgnews.pl/429161-lg-prezentuje-rozwiazania-antybakteryjne-purotec-na-targach-k-2025-w-niemczech

Przekaźniki czasowe typu TMRTC (z interwałem tygodniowym) i TMAST (z zegarem astronomicznym)

Przekaźniki czasowe TMRTC (interwał tygodniowy) i TMAST (zegar astronomiczny) firmy LOVATO Electric służą do sterowania systemami automatyki w aplikacjach cywilnych i przemysłowych. TMRTC umożliwia aktywację wyjścia przekaźnikowego w odstępach czasu definiowanych przez użytkownika na bieżąco lub wcześniej, co znajduje zastosowanie m.in. przy załączaniu dzwonków i syren oraz sterowaniu oświetleniem czy klimatyzacją. TMAST wykorzystuje zegar astronomiczny obliczający godziny wschodu i zachodu Słońca na podstawie skonfigurowanych współrzędnych, dzięki czemu sprawdza się w aplikacjach wymagających automatycznej aktywacji między zachodem

eprasa.pl e7970affa9

a wschodem Słońca, z możliwością programowania niestandardowych funkcji.

Oba modele automatycznie zarządzają przejściem z czasu letniego na zimowy i odwrotnie według ustawionej strefy czasowej. Anteny do komunikacji NFC umieszczono na panelach przednich, co umożliwia konfigurację za pomocą smartfonów i tabletów z systemami Android oraz iOS i bezpłatną aplikacją LOVATO NFC. Urządzenia mają wyjście przekaźnikowe ze stykiem NO o obciążalności 16 A, zasilanie 220...240 V AC oraz kompaktową obudowę o szerokości 1 modułu (1U), przystosowaną do montażu na szynie DIN 35 mm lub z użyciem śrub. W konstrukcji położono nacisk na niewielkie wymiary, wytrzymałość i prostą obsługę, w tym konfigurację przez aplikację i komunikację NFC.

https://www.lovatoelectric.com/pl_pl/przekazniki-czasowe-typu-tmrtc-interwal-tygodniowy-i-tmast-zegar-astronomiczny

Miernik rezystancji izolacji MIC-30

Miernik rezystancji izolacji MIC-30 firmy Sonel jest przeznaczony do powtarzalnych badań stanu izolacji instalacji elektrycznych w budynkach jedno- i wielorodzinnych, obiektach użyteczności publicznej oraz małych zakładach. Umożliwia nastawę napięcia pomiarowego w zakresie 50...1000 V z krokiem 10 V, co pozwala diagnozować instalacje elektryczne, sterownicze, telekomunikacyjne i teleinformatyczne (z wykorzystaniem dedykowanej sondy PRS-1); zakres nastaw odpowiada wytycznym oceny skuteczności ochrony przewodów zasilających oraz podłóg i ścian w miejscach, gdzie środkiem ochrony przeciwporażeniowej jest izolowanie stanowiska. Miernik pozwala sprawdzić, czy badany obiekt znajduje się pod napięciem do 600 V, także w sieciach napowietrznych, przy kategorii pomiarowej CAT IV 600 V. Umożliwia weryfikację ciągłości przewodów oraz połączeń ochronnych i wyrównawczych prądem ≥200 mA zgodnie z PN-EN 61557-4, a także pomiar pojemności kondensatorów rozruchowych w sprzęcie AGD i napędach do 10 μF. Trzecie gniazdo GUARD służy do kontroli prądów upływu występujących w wyniku uszkodzeń lub zanieczyszczeń izolacji.

Wbudowana pamięć i interfejs bezprzewodowy umożliwiają gromadzenie oraz przesyłanie danych do programu Sonel Reader w celu ich archiwizacji i analizy. Konstrukcja urządzenia jest poręczna i ergonomiczna, a obudowa o stopniu ochrony IP67 ułatwia pracę w wymagających warunkach terenowych. Dzięki tym cechom MIC-30 odpowiada na potrzeby serwisantów realizujących regularne pomiary i obsługę instalacji.

https://sonel.pl/pl/produkt/miernik-rezystancji-izolacji-1kV-sonel-mic-30

Moduł PowerCat 6A UTP Keystone Gen II

Moduł PowerCat 6A UTP Keystone Gen II jest jednym z kluczowych elementów nieekranowanego systemu okablowania PowerCat 6A. Został zaprojektowany tak, aby spełniać wymagania parametrów transmisyjnych normy ANSI/TIA-568.2-D:2018 oraz pozostawać w pełni zgodny z wymogami ISO/IEC 11801:2017 dla kategorii 6A (Augmented Category 6A). Konstrukcja o kompaktowych wymiarach umożliwia zastosowanie modułu w szerokiej gamie produktów i ma zapewniać poziom funkcjonalności wymagany do szybkiej transmisji danych o przepustowości co najmniej 10 Gb/s. Na fotografii pokazano moduł PowerCat 6A UTP Keystone Gen II, który według specyfikacji jest kompatybilny wstecz z systemami okablowania kategorii 6 oraz 5e.

Przed wprowadzeniem na rynek każdy egzemplarz modułu jest poddawany kompleksowym badaniom w niezależnym laboratorium. Testy obejmują w szczególności parametry wydajności transmisji, bezpieczeństwo użytkowania oraz zgodność z technologią zasilania PoE+. Producent przewiduje, że moduł będzie zakończony przy użyciu czteroparowego narzędzia zaprojektowanego specjalnie z myślą o kompatybilności z gniazdem UTP C6A Gen II. Zastosowane rozwiązanie ma umożliwiać szybkie, bezbłędne i gazoszczelne zakończenie wszystkich czterech par przewodów jednocześnie.

Z punktu widzenia instalacji moduł PowerCat 6A UTP Keystone Gen II umożliwia terminowanie w sekwencji 568A lub 568B. Wyposażono go w metalową osłonę tylną, która ma ograniczać wpływ przesłuchów, a cała konstrukcja została zoptymalizowana pod kątem uzyskania wysokiej wydajności transmisyjnej. Zakończenie przewodów może być realizowane zarówno za pomocą standardowego narzędzia typu 110, jak i dedykowanego narzędzia czteroparowego. Moduł jest kompatybilny z szeroką gamą gniazd roboczych oraz paneli krosowych w standardzie Keystone, co pozwala na jego zastosowanie w różnego typu instalacjach okablowania strukturalnego.

https://www.molexces.com.pl/product/modul-powercat-6a-utp-keystone-gen-ii

DuraVision SGX0031 Streaming Gateway: rozwiązanie dla zaawansowanych systemów monitoringu

Postępująca cyfryzacja w wielu obszarach powoduje stały wzrost ilości danych wizualnych oraz złożoności systemów ich obsługi. W środowiskach takich jak porty lotnicze, obszary miejskie objęte monitoringiem czy zakłady przemysłowe wykorzystuje się coraz więcej kamer, z których obraz musi być przesyłany na żywo i bez zakłóceń. W efekcie na pierwszy plan wysuwają się dwa kluczowe wymagania: wysoka przepustowość oraz pełna skalowalność infrastruktury.

W odpowiedzi na te potrzeby firma EIZO opracowała urządzenie DuraVision SGX0031 Streaming Gateway. Jest to bramka streamingowa przeznaczona do transkodowania i transmisji strumieni wideo powiązanych z konkretnymi lokalizacjami. Urządzenie obsługuje protokoły RTPS i SRT i zostało zaprojektowane do współpracy z innymi elementami ekosystemu IP EIZO, zapewniając zintegrowane działanie w ramach rozbudowanych systemów monitoringu.

DuraVision SGX0031 Streaming Gateway służy do wymiany strumieni wideo pochodzących jednocześnie z wielu kamer IP, w szczególności w sieciach o ograniczonej przepustowości lub podatnych na zrywanie połączeń. Urządzenie oferuje tryb Merge Mode, który umożliwia konsolidację strumieni z maksymalnie 32 źródeł. Rozwiązanie to zmniejsza obciążenie sieci przy zachowaniu jakości obrazu.

Zastosowanie Merge Mode wiąże się z koniecznością ponownego kodowania kilku strumieni jednocześnie, co może generować opóźnienia. W celu ich kompensacji przewidziano tryb Low Latency. Zgodnie ze specyfikacją użycie tego trybu pozwala obniżyć opóźnienia nawet o 75%, co umożliwia prezentowanie obrazu w czasie zbliżonym do rzeczywistego. Takie parametry sprawiają,

eprasa.pl e7970affa9

że urządzenie może być wykorzystywane w zastosowaniach wymagających szybkiej reakcji, na przykład przy zdalnej obsłudze maszyn czy serwisowaniu infrastruktury.

Dodatkowo dostępny jest tryb Relay Mode, w którym DuraVision SGX0031 Streaming Gateway przetwarza odbierane strumienie wideo i przekazuje je do miejsc docelowego wyświetlania. Rozwiązanie to ma zwiększać ogólną wydajność systemu, co ma szczególne znaczenie w dużych wdrożeniach, w których niezawodność działania jest jednym z kluczowych parametrów.

Urządzenie jest kompatybilne z ponad 300 modelami kamer. Znaczną część z nich stanowią produkty wspierające standardy ONVIF Profile S lub AXIS VAPIX. Jednocześnie maksymalna liczba urządzeń, które można zarejestrować w systemie, wynosi 48. Według specyfikacji jest to wartość wystarczająca dla typowych zastosowań w systemach monitoringu o średniej i dużej skali.

https://eizo.pl/informacje-prasowe/duravision-sgx0031-streaming-gateway

Najnowsza seria oscyloskopów MHO900

Oscyloskopy z najnowszej serii MHO900 firmy RIGOL, w tym flagowy model MHO98, są przeznaczone do zastosowań badawczo-rozwojowych oraz produkcyjnych. Urządzenia te zaprojektowano z myślą o wysokiej precyzji pomiarów, spełnianiu kluczowych wymogów stawianych w branży oraz wiernym odwzorowaniu przebiegów sygnałowych. Seria MHO900 oferuje szeroki zestaw zaawansowanych funkcji i technologii, których zadaniem jest zwiększenie użyteczności przyrządów, efektywności pracy oraz niezawodności działania w codziennych zastosowaniach.

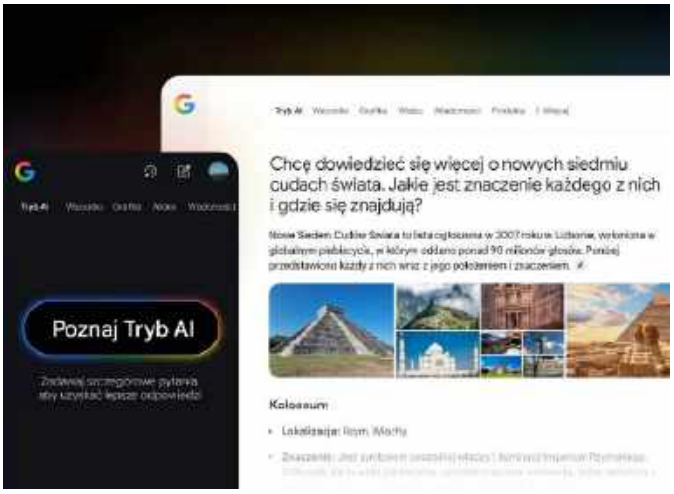
Na konstrukcję oscyloskopów MHO900 składają się rozwiązania ergonomiczne oraz interfejs użytkownika zaprojektowany z myślą o intuicyjnej obsłudze. Dzięki temu przyrządy mogą być wykorzystywane w różnych typach zadań pomiarowych, w tym do testowania systemów komunikacji i analizy sygnałów analogowych. Ułatwiona obsługa i przejrzystość prezentowanych przebiegów pomagają ograniczyć ryzyko przeoczenia istotnych zjawisk.

Oscyloskopy serii MHO900 wyposażono w wyświetlacze o wysokiej rozdzielczości zintegrowane z panelami dotykowymi z funkcją Multi-Touch. Umożliwia ona wygodną nawigację po menu i ustawieniach oraz szybką regulację parametrów pomiaru. Taki sposób obsługi sprzyja zwiększeniu wydajności testów: z jednej strony pozwala na sprawną zmianę konfiguracji, z drugiej skraca czas przygotowania urządzenia w złożonych scenariuszach pomiarowych.

Obudowy oscyloskopów MHO900 zaprojektowano jako wytrzymałe i przystosowane do pracy w wymagających warunkach – zarówno w laboratorium, jak i w innych środowiskach pracy inżynierów i techników. Jednocześnie przyrządy charakteryzują się kompaktowymi wymiarami, co ułatwia ich rozmieszczenie na stanowiskach pomiarowych i integrację z istniejącą infrastrukturą.

Urządzenia wyposażono w interfejsy USB oraz LAN, które pozwalają na zdalne sterowanie z użyciem poleceń SCPI. Ułatwia to płynną integrację oscyloskopów MHO900 z automatycznymi konfiguracjami testowymi oraz ich zdalną obsługę.

https://rigol.com.pl/pl/n/23



Wyszukiwarka Google: tryb AI już dostępny

W wyszukiwarce Google pojawił się dedykowany tryb AI, który rozszerza standardowe działanie usługi o zaawansowane funkcje wnioskowania oraz pogłębiania wyszukiwanych tematów. Tryb ten umożliwia dalsze eksplorowanie zagadnień za pomocą dodatkowych pytań i odsyła do przydatnych linków, pomagając użytkownikowi dotrzeć do bardziej szczegółowych informacji.

Niezależnie od tego, czy chodzi o wyszukiwanie konkretnych produktów, planowanie wyjazdu, czy zgłębianie nowych tematów, tryb AI został zaprojektowany tak, aby lepiej interpretować intencje użytkownika i wspierać go w znajdowaniu możliwie trafnych odpowiedzi. Wykorzystuje on niestandardową wersję najnowszego modelu Gemini. Dzięki niemu użytkownik może formułować bardziej złożone, szczegółowe pytania, które wcześniej wymagałyby serii oddzielnych wyszukiwań.

Tryb AI można włączyć bezpośrednio w interfejsie wyszukiwarki Google, gdy pojawia się potrzeba bardziej zaawansowanej analizy wyników. Rozwiązanie to jest szczególnie przydatne przy zadaniach takich jak porównywanie produktów, planowanie podróży czy interpretacja złożonych instrukcji. Każde zadane pytanie jest dzielone na kilka podtematów, które następnie są wysyłane w imieniu użytkownika jako odrębne zapytania. W ten sposób wyszukiwarka może przeszukiwać Internet bardziej szczegółowo niż w tradycyjnym trybie.

Istotną cechą trybu AI jest jego multimodalność. Użytkownik może zadawać pytania nie tylko w formie tekstowej, lecz także za pomocą głosu czy aparatu fotograficznego. Rozwiązanie bazuje na najważniejszych systemach jakości i rankingu Google oraz korzysta z nowych koncepcji mających zwiększyć wiarygodność prezentowanych informacji.

Jeżeli system oceni, że pewność co do poprawności odpowiedzi generowanej przez AI jest niewystarczająca, użytkownik otrzymuje zestaw tradycyjnych wyników wyszukiwania. Podobnie jak w przypadku innych usług opartych na sztucznej inteligencji, odpowiedzi generowane w trybie AI nie zawsze są w pełni właściwe. Funkcja ta jest jednak stale rozwijana i udoskonalana. Według założeń twórców korzyści płynące z korzystania z trybu AI mają stopniowo przewyższać zidentyfikowane już ograniczenia, co powinno zachęcać użytkowników do testowania nowego sposobu wyszukiwania informacji w Google.

https://blog.google/intl/pl-pl/nowosci-produktowe/wyszukiwarka-google-wprowadzamy-tryb-ai-w-polsce

Jakub Tyburski
jakub.tyburski@elportal.pl

eprasa.pl e7970affa9

Hity następnego numeru • „Elektronika Praktyczna” 1–2/2026

Temat numeru: Kontrolery MIDI

Wraz ze wzrostem popularności domowych studiów nagraniowych oraz oprogramowania DAW sukcesywnie zwiększa się także zapotrzebowanie na kontrolery MIDI – urządzenia, które pozwalają na precyzyjne sterowanie parametrami syntezy dźwięku, efektów i automatyki nagrań. Choć z punktu widzenia użytkownika są to proste w obsłudze interfejsy z pokrętłami, suwakami i padami, konstruktor tego rodzaju elektroniki ma przed sobą znacznie bardziej złożone zadanie. Współczesne kontrolery wymagają niskiej latencji, stabilnej komunikacji USB-MIDI, odporności na zakłócenia EMI oraz dobrze przemyślanej warstwy firmware'u odpowiedzialnej za skanowanie klawiatury, obsługę enkoderów i generowanie komunikatów zgodnych ze standardem MIDI.

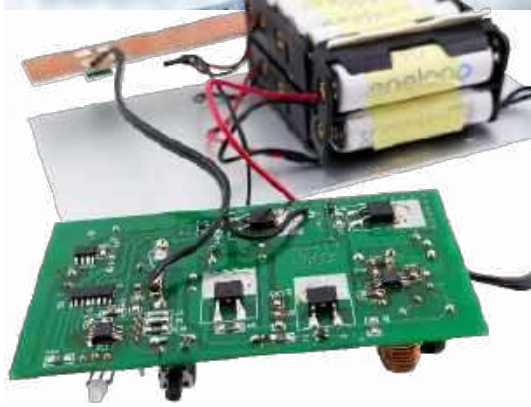
W artykule prezentujemy praktyczne rozwiązania stosowane w popularnych konstrukcjach, omawiamy też wybór najważniejszych podzespołów i technologii. Materiał będzie szczególnie przydatny dla projektantów, którzy planują zbudować własny kontroler lub ulepszyć istniejący prototyp.

Elektronika w praktyce: Zasilacze i sterowniki LED

Oświetlenie LED zdominowało rynek, ale nie tylko same diody decydują o jakości instalacji – niebagatelne znaczenie mają też układy, które je zasilają. W typowym projekcie to właśnie driver LED odpowiada za stabilny prąd, brak migotania, zgodność z normami EMI oraz odporność na warunki środowiskowe. Dobór topologii, właściwe rozmieszczenie elementów mocy, zarządzanie temperaturą czy integracja z systemami sterowania to zagadnienia, które projektant musi analizować znacznie wcześniej niż w momencie prototypowania PCB. W materiale przyglądamy się różnym rozwiązaniom sterowników LED i zasilaczy oraz pokazujemy, jak ich architektura przekłada się na praktyczne parametry systemu.

Temat specjalny: Moduły z certyfikacją – kompendium inżyniera

Gotowe moduły (w tym przede wszystkim radiowe) mogą znacząco skrócić czas wprowadzenia produktu na rynek, jednak tylko wtedy, gdy zostaną właściwie zintegrowane. W praktyce oznacza to nie tylko zapoznanie się z notą aplikacyjną producenta, ale również zrozumienie ograniczeń narzuconych przez certyfikację RF oraz procedury oceny zgodności. W artykule analizujemy, jak interpretować dokumentację modułów „pre-certified”, czego oczekują jednostki testujące podczas audytu oraz dlaczego niewielka zmiana w projekcie anteny potrafi unieważnić cały proces certyfikacji. Omawiamy także przykładowe pułapki konstrukcyjne, sposoby ich uniknięcia oraz metody oceny, czy wykorzystanie certyfikowanego modułu rzeczywiście przyniesie korzyści w danym projekcie.



Zasilacz buforowy do przedwzmacniaczy gramofonowych

Prezentowane urządzenie jest przeznaczone do zasilania przedwzmacniaczy gramofonowych i innych przedwzmacniaczy audio, również lampowych, napięciem 12 V. Układ stanowi alternatywne rozwiązanie wobec tradycyjnych zasilaczy, charakteryzujące się całkowitym brakiem przydźwięku sieciowego lub zakłóceń wyższych częstotliwości. Doskonale nadaje się dla odbiorców o wysokich wymaganiach odsłuchowych. Zasilacz bazuje na zestawie ogniw niklowo-wodorkowych oraz inteligentnym układzie ładowania. Podczas odsłuchu audio urządzenie zasilane jest z baterii akumulatorów, a kiedy użytkownik nie korzysta z przedwzmacniacza (nie słucha muzyki), akumulatory są ładowane. Dzięki takiemu rozwiązaniu nasz przedwzmacniacz, czyli element systemu audio najbardziej wrażliwy na zakłócenia sieciowe, nie jest w żaden sposób podłączony do sieci energetycznej. Podobne rozwiązania stosowane są w sprzęcie audio o najwyższych parametrach.

Wykaz firm ogłaszających się w tym numerze „Elektroniki Praktycznej”

AKSOTRONIK 13
AVT-SPV 5, 11, 46, 75
BL ELEKTRONIK 38
BORNICO 9
COMPUTER CONTROLS 7
CONRAD ELECTRONIC 34, 88
KRADEX 65, 68
MASZCZYK 61
PHOENIX CONTACT 58, 63

Miesięcznik **„Elektronika Praktyczna”** (12 numerów w roku) jest wydawany przez AVT Korporacja Sp. z o.o. we współpracy z wieloma redakcjami zagranicznymi.

Wydawnictwo:
AVT Korporacja Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
tel. 22 257 84 99, e-mail: avt@avt.pl

Wydawca:
Wiesław Marciniak

Adres redakcji:
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
e-mail: redakcja@ep.com.pl, www.ep.com.pl

Redaktor Naczelny:
Przemysław Musz

Redaktor Programowy, Przewodniczący Rady Programowej:
Piotr Zbysiński

Menedżer Magazynu:
Katarzyna Gugała, tel. 22 257 84 64

Szef Pracowni Konstrukcyjnej:
Jakub Sobański

Zespół marketingu i reklamy:
Katarzyna Gugała, Bożena Krzykawska, Grzegorz Krzykawski

Stali współpracownicy:
Lucjan Bryndza, Nikodem Czechowski, Jarosław Doliński, Andrzej Gawryluk, Krzysztof Górski, Tomasz Jabłoński, Paweł Kowalczyk, Henryk Kowalski, Rafał Kozik, Michał Kurzela, Jakub Nowicki, Szymon Panecki, Adam Sobczyk, Damian Sosnowski, Ryszard Szymaniak, Adam Tatuś, Jakub Tyburski

Uwaga!
Kontakt z wymienionymi osobami jest możliwy via e-mail, według schematu: imię.nazwisko@ep.com.pl

DTP, 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

Copyright AVTKorporacja Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11

Projekty publikowane w „Elektronice Praktycznej”. mogą być wykorzystywane wyłącznie do własnych potrzeb. Korzystanie z tych projektów do innych celów, zwłaszcza do działalności zarobkowej, wymaga zgody redakcji „Elektroniki Praktycznej”. Przedruk oraz umieszczanie na stronach internetowych całości lub fragmentów publikacji zamieszczanych w „Elektronice Praktycznej”. jest dozwolone wyłącznie po uzyskaniu zgody redakcji. Redakcja nie odpowiada za treść reklam i ogłoszeń zamieszczanych w „Elektronice Praktycznej”.

eprasa.pl e7970affa9

eprasa.pl e7970affa9