

WYŚWIETLACZE DO WYMAGAJĄCYCH APLIKACJI

www.ep.com.pl

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA + FTP

● Międzynarodowy magazyn elektroników konstruktorów ● Marzec ● 3/2021 ●

ELEKTRONIKA
PRAKTYCZNA

EP W TOKU
NA EP.COM.PL

tylko Prenumeratorzy
mają dostęp do artykułów przed ich publikacją w EP

inspirujące, użyteczne projekty

Dotykowy wyświetlacz TFT do komputera PC • Monitor poziomu CO₂ w powietrzu • Flames • Energooszczędny woltomierz • Dekoder DCC trakcji i dźwięku do modeli kolejowych • Mikrofalowy czujnik ruchu RCWL-0516 • Dwukanałowy port szeregowy dla Raspberry • Interfejs wyświetlacza TFT-RGB dla RPi Zero • Minimoduł z mikrokontrolerem LPC845 • Płytki bazowa dla Arduino Nano Every • Izolator magistrali I²C

podzespoły, sprzęt, aplikacje

Wyświetlacz do wymagających aplikacji • Pierwszy dołączany układ kryptograficzny przeznaczony do aplikacji automotive • Wyświetlacz LCD przystosowany do wymagających aplikacji • Praktyczne aplikacje scalonych układów AFE. Zalety, wady i obszary zastosowań

tutoriale

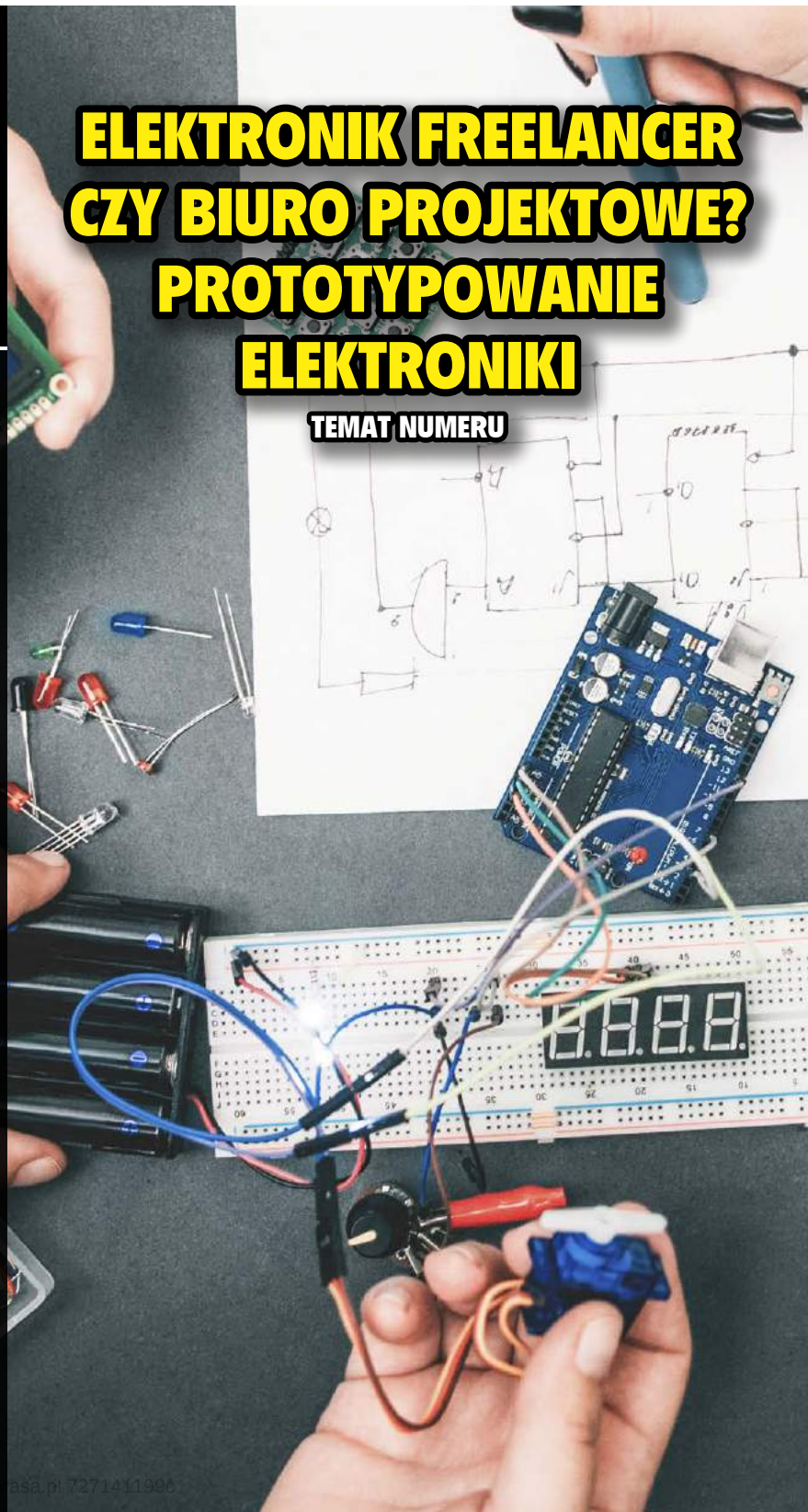
Styki baterii – jak je skutecznie czyścić? • Potrójna współpraca momentu obrotowego, prędkości i precyzji • Dlaczego moduły lutowane CoM/SoM to przyszłość? • Symulacja i pomiar, czyli LTspice i Analog Discovery 2 w rękach konstruktora. Modulacja AM • OpenSTLinux dla procesorów z rodziny STM32MP1 • Projektowanie interfejsów graficznych z użyciem TouchGFX • Prototypowanie – jak to wygląda w praktyce? • Prototypowanie elektroniki. Od pomysłu do wdrożenia

kursy

Systemy dla Internetu Rzeczy. Cyfrowe czujniki ciśnienia • Eksperymenty z FPGA. Pamięć RAM

ELEKTRONIK FREELANCER CZY BIURO PROJEKTOWE? PROTOTYPOWANIE ELEKTRONIKI

TEMAT NUMERU



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

ISSN 1230-3526 Indeks 357677



9 771230 352214

PRENUMERUJ!

Standardowe ceny prenumerat:

- roczna – 207,90 zł (1 wydanie gratis)
- dwuletnia – 340,20 zł (6 wydań gratis)

Po latach nawet ZA PÓŁ CENY!

Wieloletni Prenumerator po kilku latach nieprzerwanej prenumeraty zyskuje **DO 50% ZNIŻKI**. Jeśli prenumerujesz EP, wszystkie dane nt. swojej prenumeraty znajdziesz teraz po zalogowaniu na www.avt.pl/prenumerata. Co szczególnie ważne – znajdziesz tam również propozycje przedłużenia Twojej prenumeraty, które uwzględniają przysługujące Ci zniżki.



PREZENT
do każdej opłaconej
prenumeraty:
koszulka lub płyta
(do wyboru)

Prenumerata	bez zniżki lojalnościowej	ze zniżką lojalnościową, jeżeli prenumerujesz nieprzerwanie			
		od roku	od 2 lat	od 3 lat	od 5 lat
roczna	207,90 zł 1 wydanie gratis	189,00 zł 2 wydania gratis	170,10 zł 3 wydania gratis	151,20 zł 4 wydania gratis	
dwuletnia		340,20 zł 6 wydań gratis		283,50 zł 9 wydań gratis	226,80 zł 12 wydań gratis

E-prenumerata, czyli **NAJSZYBSZY DOSTĘP**

Uzyskaj dostęp do najnowszego numeru – nawet 5 dni przed ukazaniem się pisma w kioskach!

Prenumerata roczna wersji cyfrowej (PDF) kosztuje 151,00 zł (2 e-wydania gratis), dwuletnia – 271,80 zł (6 e-wydań gratis).

Prenumeratory wersji drukowanej za równoległe e-wydania płać jedynie 20% ceny: opłata za e-prenumeratę równoległą wynosi 36,20 zł/rok i 72,40 zł/2 lata.

Korzystaj też z innych **przywilejów PRENUMERATORA**

- **prezent** – każdorazowo opłacenie prenumeraty jest premiowane prezentem. W tym numerze są to do wyboru:
 - koszulka z logo EP (rozm. L, XL)
 - lub
 - płyta Jason Derulo „Tattoos”.Zamów swój prezent mailowo – prenumerata@avt.pl.
- do 50% zniżki w Sklepie AVT (szczegóły na www.avt.pl/klub-elektronika)

- prenumeratory mają od 30 do 50% zniżki na zakupy na www.UlubionyKiosk.pl (wystarczy podczas zamówienia powołać się na swój numer prenumeraty)
- jeśli zamawiasz prenumeratę drukowaną na www.avt.pl po raz pierwszy lub przedłużasz ją po zalogowaniu do swojego Panelu Prenumeratora, otrzymasz kody rabatowe na bezpłatne pobranie e-wydań z oferty www.UlubionyKiosk.pl (szczegóły na www.avt.pl)

Zamów prenumeratę EP w dogodny sposób:

- na www.avt.pl • poprzez wpłatę na konto: AVT-Korporacja sp. z o.o., ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa, ING Bank Śląski 18 1050 1012 1000 0024 3173 1013 • mailowo: prenumerata@avt.pl

Administratorem Twoich danych osobowych jest AVT-Korporacja sp. z o.o., ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa, prenumerata@avt.pl.

Przetwarzamy Twoje dane, aby móc wysłać Ci nasze czasopisma w formie drukowanej lub elektronicznej oraz inne towary (np. prezenty), a także w innych prawnie uzasadnionych celach, w tym marketingu bezpośredniego naszych produktów i usług (tzw. uzasadniony interes administratora). Podanie danych jest dobrowolne, ale niezbędne do zrealizowania zamówienia na prenumeratę.

Twoje dane osobowe przekazujemy Poczcie Polskiej, która dostarcza do Ciebie przesyłki. Bez Twojej zgody nie przekazemy i nie będziemy dokonywać obrotu (nie użyjemy, nie sprzedamy) Twoich danych osobowych innym osobom lub instytucjom. Twoje dane osobowe możemy przekazać jedynie podmiotom uprawnionym do ich uzyskania na podstawie obowiązującego prawa (np. sądy lub organy ścigania) – ale tylko na ich żądanie w oparciu o stosowną podstawę prawną. Będziemy przetwarzać Twoje dane osobowe przez 5 lat od zakończenia roku obrotowego, w którym wystąpiła ostatnia płatność. Dane osobowe do celów marketingowych będziemy przetwarzać do czasu wycofania przez Ciebie zgody na przetwarzanie lub do czasu usunięcia danych.

Informujemy, że masz prawo do żądania od administratora dostępu do Twoich danych, ich sprostowania, usunięcia, ograniczenia ich przetwarzania, wniesienia sprzeciwu wobec przetwarzania Twoich danych lub ich przenoszenia. W każdej chwili możesz odwołać zgodę na przetwarzanie Twoich danych osobowych oraz możesz zażądać, by Twoje wszystkie dane zostały przez nas usunięte.

Rad-hard

W lutym mogliśmy obejrzeć relację z przebiegu lądowania łazika Perseverance. Chociaż to nie pierwsze takie przedsięwzięcie, to i tak bezwarunkowo jest ogromnym sukcesem naukowym i technologicznym. Wieloetapowy przebieg całej misji, od startu po lądowanie, ale też zadania, które dopiero czekają na zrealizowanie, dają wyobrażenie tego, z jak bardzo złożonym systemem mamy do czynienia.

Jednak z drugiej strony może zaskakiwać specyfikacja komputera pokładowego, która wypada dosyć skromnie na tle dostępnych dzisiaj rozwiązań. Procesor RAD750 z architekturą PowerPC 750 (jedna z pierwszych implementacji architektury RISC), który zadebiutował w 1998 roku, działa z prędkością do 200 MHz, do dyspozycji ma 2 GB pamięci FLASH i 256 MB RAM. Taka konfiguracja ma solidne uzasadnienie. NASA wybiera przede wszystkim niezawodne i sprawdzone rozwiązania, ponieważ będą musiały sprawdzić się w ekstremalnych warunkach występujących w przestrzeni kosmicznej. Najważniejszą cechą procesora RAD750 jest możliwość pracy w temperaturach od -55 do $+125^{\circ}\text{C}$ oraz zdolność przyjęcia nawet miliona radów promieniowania jonizującego, bez negatywnych skutków. Sprawdzał się m.in. w łaziku Curiosity oraz w teleskopie Kepler.

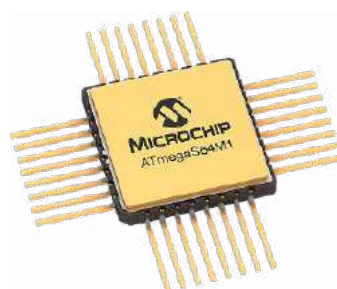
Elektroniczne elementy półprzewodnikowe są podatne na wadliwe działanie i uszkodzenia pod wpływem działania promieniowania kosmicznego. Dociera ono ze wszystkich kierunków, ma postać strumieni wysokoenergetycznych cząstek oraz promieniowania rentgenowskiego i promieniowania gamma. Pojedyncza naładowana cząstka może wytrącić tysiące elektronów, powodując silne zakłócenia i przepięcia. Jest to poważny problem w przypadku projektowania satelitów, statków kosmicznych, komputerów kwantowych, a także elektrowni atomowych i broni jądowej. Do takich aplikacji produkowane są podzespoły o podwyższonej odporności na radiację, opisywane jako **radiation-hardened** lub w skrócie **rad-hard**. W dokumentacjach pojawia się kilka parametrów i terminów, które charakteryzują takie układy, m.in.:

- Całkowita dawka jonizująca **TID** (*Total Ionizing Dose*) lub w skrócie całkowita dawka (*Total Dose*). Jednostką określającą dawkę jest rad (*Radiation Absorber Dose*) lub jednostka większa stosowana w układzie SI – grej (*Gray*) równy 100 radom (odpowiada absorpcji energii 1 J w masie 1 kg). Efekty jonizacji są zwykle przemijające – powodują niewielkie zakłócenia wywołujące jednorazowe błędy. Przekroczenie TID powoduje powolną degradację struktury półprzewodnikowej i zmianę m.in. napięcia progowego i prądu upływu tranzystorów CMOS. Kumulacja powoduje uszkodzenie elementu w wyniku powstania pewnego rodzaju zwarcia (tzw. *Latch-up*);
- Efekt działania dawki niskiej mocy **ELDRS** (*Enhanced Low Dose Rate Sensitive*). Wyższe dawki promieniowania skupione w krótkim czasie powodują częściowe uszkodzenie sieci krystalicznej, co jest zgodne z intuicją. Jednak te same dawki podawane z małą intensywnością przez długi czas (*Low Dose Rate*) mają równie destrukcyjne działanie. To zjawisko jest szczególnie istotne w przypadku tranzystorów bipolarnych, w których powodują zmniejszenie ilości nośników mniejszościowych, pogorszenie właściwości analogowych i zmniejszenie wzmocnienia. Komponenty certyfikowane jako wolne od ELDRS nie wykazują uszkodzeń tego typu.
- Efekt pojedynczego zdarzenia **SEE** (*Single-Event Effects*) to podatność na nagłe zaburzenie, które zakłóca działanie obwodu, gdy cząstki o wysokiej energii uderzają w tranzystor CMOS w jednej chwili. Dotyczy głównie obwodów cyfrowych i pamięci.
- Pojedyncze zdarzenie powodujące zwarcie **SEL** (*Single-Event Latch-up*) może wystąpić w każdym układzie z pasywną strukturą PNP. Ciężki jon lub wysokoenergetyczny proton przechodzący przez jedno z dwóch wewnętrznych złączy może włączyć strukturę podobną do tyrystora, która następnie pozostaje zwarta (efekt znany jako zatrzaśnięcie *Latch-up*) do momentu odłączenia zasilania urządzenia. Ponieważ zwarcie może wystąpić na liniach zasilania, może wywołać destrukcyjnie wysoki prąd i poważną awarię.

Komponenty tego typu powstają przy użyciu różnych technik, np. komórki pamięci są inaczej skonstruowane, zawierają większą liczbę tranzystorów (4T lub 6T), pamięci dynamiczne są zastępowane pamięciami statycznymi, stosowane są różne rodzaje ekranowania, integruje się układy korekcji błędów (ECC) i ostatecznie systemy są powielane i pracują równolegle dla łatwego wykrywania błędów. Warto wiedzieć, że są to technologie osiągalne. Wśród ofert największych producentów podzespołów znajdziemy komponenty o takiej konstrukcji, np. <http://bit.ly/2Px4MZp>.



Fotografia 1. Procesor RAD750



Fotografia 2. Odporna na promieniowanie wersja popularnego 8-bitowego mikrokontrolera

Damian Sosnowski



Dotykowy wyświetlacz TFT do komputera PC
Kontrolowanie komputera za pomocą skrótów klawiszowych i makr to świetny sposób na przyspieszenie pracy np. w oprogramowaniu CAD. Autor opisanego urządzenia, nazwanego FreeTouchDeck, postanowił rozwiązać problem makr klawiatury samodzielnie. Skonstruował proste urządzenie, które umożliwia zaawansowane korzystanie z makr i jednocześnie jest niedrogie, w porównaniu do komercyjnych odpowiedników.



Monitor poziomu CO₂ w powietrzu
W dobie pandemii powstało wiele urządzeń, które mają się przyczyniać (pośrednio i bezpośrednio) do minimalizacji przenoszenia groźnego koronawirusa. Niektóre z nich działają w dość nieoczywisty sposób, na przykład przypominają nam o wietrzeniu pomieszczeń, co jest zaskakująco ważnym środkiem zapobiegawczym.

Nie przeocz

Nowe podzespoły.....	6
Dodaj do obserwowanych	12
Koktajl newsów.....	102

Projekty soft

Dotykowy wyświetlacz TFT do komputera PC.....	60
Monitor poziomu CO ₂ w powietrzu.....	63

Moduły w aplikacjach

Mikrofalowy czujnik ruchu RCWL-0516	30
---	----

Projekty

Flames	18
Energooszczędny woltomierz.....	22
Dekoder DCC trakcji i dźwięku do modeli kolejowych (2).....	27

Miniprojekty

Dwukanałowy port szeregowy dla Raspberry	32
Interfejs wyświetlacza TFT-RGB dla RPi Zero.....	34
Minimoduł z mikrokontrolerem LPC845.....	38
Płytki bazowa dla Arduino Nano Every	40
Izolator magistrali I ² C	42

Temat numeru: Prototypowanie elektroniki

Od pomysłu do wdrożenia	44
Prototypowanie – jak to wygląda w praktyce?	49

Podzespoły

Pierwszy dołączany układ kryptograficzny przeznaczony do aplikacji automotive	54
---	----

Poradnik implementacji

Praktyczne aplikacje scalonych układów AFE (1). Zalety, wady i obszary zastosowań.....	96
--	----

Prezentacje

Styki baterii – jak je skutecznie czyścić?.....	56
Potrójna współpraca momentu obrotowego, prędkości i precyzji	58
Dlaczego moduły lutowane CoM/SoM to przyszłość?	88
Wyświetlacze LCD przystosowane do wymagających aplikacji.....	85

Wybór konstruktora:

Wyświetlacze do wymagających aplikacji	78
--	----

Notatnik konstruktora

OpenSTLinux dla procesorów z rodziny STM32MP1 (4)	68
Projektowanie interfejsów graficznych z użyciem TouchGFX (1).....	72
Symulacja i pomiar, czyli LTspice i Analog Discovery 2 w rękach konstruktora (20). Modulacja AM	90

Kursy

Systemy dla Internetu Rzeczy (46). Cyfrowe czujniki ciśnienia	105
Eksperymenty z FPGA (16). Pamięć RAM.....	110

Prenumerata	2
Od wydawcy.....	3
Konkurs	29
Prenumerata	43
Kramik i rynek	114
Hity następnego numeru	115

Zestawy uruchomieniowe FPGA

Zestaw Basys 3 Artix-7 FPGA Trainer Board

<http://bit.ly/2MW1wFS>



Kod handlowy: FPGA0001
Producent: Digilent



Zestaw Basys 3 jest w szczególności polecany hobbystom i organizatorom kursów poświęconych układowi programowalnemu, oraz uczestnikom tych kursów.

Oryginalny Basys 3 to zestaw do projektowania układów/systemów cyfrowych w środowisku Vivado Design Suite, z układem FPGA w wersji 35-T rodziny Artix 7 firmy Xilinx pozwalającym je praktycznie wdrożyć.

Zestaw ten to najnowsza odsłona linii produktów Basys powstała specjalnie z myślą o osobach początkujących i studentach kierunków elektronicznych. W ich ręce producent oddaje gotowy do użycia produkt o dużej liczbie peryferii zawierający niezbędne obwody. Tym samym nie ma potrzeby dołączania odrębnych komponentów, by stworzyć określone rozwiązanie. Ostatnie może być przy tym proste (np. bramki logiczne) lub bardziej złożone (np. namiastka domu inteligentnego). Zatem to sprzęt do zastosowań domowych oraz profesjonalnych, w tym do układów czasu rzeczywistego (RTOS).

Zestaw Terasic Cyclone V GX Starter Kit

<http://bit.ly/3t05sVE>



Kod handlowy: FPGA0007
Producent: Terasic



Oryginalny Cyclone V GX Starter Kit to funkcjonalny zestaw do projektowania układów/systemów cyfrowych, szczególnie tych absorbujących mnóstwo zasobów logicznych. Zawiera on układ FPGA z rodziny Cyclone V GX firmy Intel, którego pojemność wynosi 77 tysięcy programowalnych bloków logicznych. W oparciu o ten układ możliwe jest tworzenie m.in. złożonych kontrolerów, prostych bramek logicznych, jak również rozwiązań korzystających z szybkiej wymiany danych, dzięki 6 transceiverom o przepustowości 3,125 Gb/s. Sterowanie silnikami, przetwarzanie strumieni wideo, urządzenia przenośne – to tylko niektóre zastosowania zestawu. Architektura przytoczonego układu wręcz do nich zachęca – wszak jest wiodąca w przemyśle. Ich wydajności, pobory mocy i inne parametry są przy tym zgodne z oczekiwaniami projektanta. Do tego sporo peryferii zestawu wzbogacające te zastosowania: przyciski, przełączniki, diody LED (o kolorze czerwonym i zielonym), a także wyjście HDMI i 24-bitowy kodek audio, pamięć LPDDR2 i SRAM, gniazdo kart MicroSD i aż 4 złącza do modułów rozszerzających i innych zestawów niekoniecznie z układami FPGA. Złącza te to: HSMC, SMA, GPIO 40 pinów i Arduino, przy czym ostatnie jest pod moduły typu shield. Dodatkowo płyta plexiglasowa chroni zestaw przed upadkami.

Zestaw Altera MAX 10 FPGA Evaluation Kit

<http://bit.ly/3qB5EsV>



Kod handlowy: FPGA0014
Producent: Digilent



Oryginalny zestaw Altera MAX 10 – minimalistyczny do projektowania prostych układów/systemów cyfrowych, idealny dla osób początkujących, zwłaszcza tych, którym nauka elektroniki cyfrowej sprawia wiele problemów.

Zestaw zawiera układ FPGA z rodziny Max 10 firmy Intel, którego pojemność wynosi 8 tysięcy programowalnych bloków logicznych. Jest w nim obecny tylko nieskomplikowany przetwornik analogowo-cyfrowy z 8 kanałami oraz złącze Arduino Uno R3 do dołączania modułów typu shield, w tym pod platformę Arduino. Oprócz tego MAX 10 zawiera 2 złącza GPIO 40 pinów i jedno odrębne, których wprowadzenia są dołączone do układu FPGA. W ten sposób możliwe jest dołączanie innych komponentów i zestawów, w tym bez układów FPGA. Istnieje możliwość pomiaru napięć i prądów zestawu oraz mocy przez niego pobieranej w punktach do których należy przyłożyć końcówki multimetru. W rezultacie użytkownik, poza światem układów programowalnych, zapozna się również z diagnostyką dostępną na rynku płytek PCB.

Zestaw dla opornych.

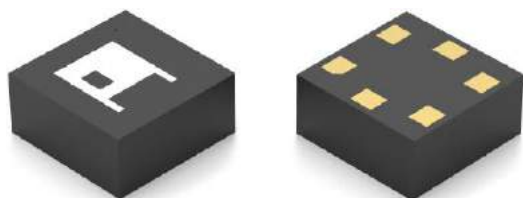


AVT SPV Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
Sklep stacjonarny czynny jest od poniedziałku do piątku w godzinach: 8:00–16:00, tel. 22 257 84 66
e-mail: handlowy@avt.pl, tel. 22 257 84 51 (w godzinach: 9:00–15:00)
eprasa.pl/727141199c

<http://sklep.avt.pl>

nowe podzespoły

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

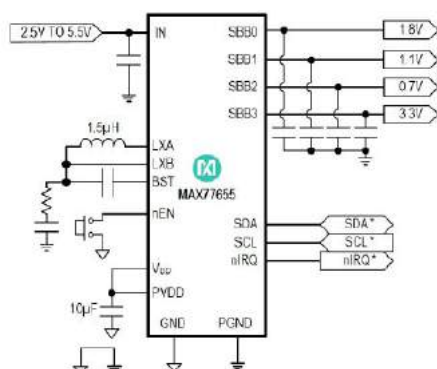


Czujnik wilgotności i temperatury MEMS

Oferta czujników MEMS firmy Würth Elektronik powiększyła się o miniaturowy czujnik wilgotności i temperatury WSEN-HIDS zamykany w obudowie o wymiarach $2 \times 2 \times 0,9$ mm. Jest to układ zrealizowany w technologii MEMS, mogący znaleźć zastosowanie w systemach HVAC i automatyki budynków, lodówkach oraz do monitorowania warunków transportu. Zawiera dielektryk polimerowy, absorbujący i uwalniający molekuly wody proporcjonalnie do zmian wilgotności względnej otoczenia, co zmienia przenikalność magnetyczną jego struktury. Zawiera wbudowany przetwornik A/C i czujnik temperatury, komunikujące się z mikrokontrolerem za pośrednictwem interfejsu I²C/SPI. Dodatkowo został wyposażony w wyjście przerwania, które może być użyte do informowania mikroprocesora np. o przekroczeniu dopuszczalnej wartości progowej.

Czujnik WSEN-HIDS oferuje zakres pomiaru wilgotności od 0 do 100% RH i zakres pomiaru temperatury od -40 do $+120^{\circ}\text{C}$. Zapewnia dokładność pomiaru wynoszącą $\pm 3,5\%$ RH w zakresie 20...80% RH oraz od $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ w zakresie $+15$... $+40^{\circ}\text{C}$. Może pracować w trybie pomiaru pojedynczego (*single shot*) lub w trybie ciągłym przy częstotliwości pomiarów równej 1,7 lub 12,5 Hz. Jest skalibrowany fabrycznie. Poza małymi gabarytami charakteryzuje się też małym poborem prądu, wynoszącym zaledwie $8,9 \mu\text{A}$ w stanie aktywnym przy pomiarach wykonywanych w odstępach jednosekundowych. Zapewnia to 3 lata pracy przy zasilaniu baterią CR2032.

www.we-online.com



Najmniejszy na rynku 4-wyjściowy układ zarządzania mocą

Układ MAX77655 jest czterokanałowym układem zarządzania zasilaniem o architekturze SIMO (*single inductor multiple output*), zaprojektowanym do zastosowań w urządzeniach przenośnych o dużej

gęstości upakowania podzespołów. W porównaniu z najbliższym odpowiednikiem pozwala zmniejszyć nawet o 70% powierzchnię płytki drukowanej. W maksymalnej konfiguracji z 4 kanałami buck-boost o sumarycznej wydajności prądowej 700 mA całkowita powierzchnia układu i komponentów współpracujących wynosi zaledwie 17 mm^2 .

Umożliwia niezależne programowanie 4 napięć wyjściowych w zakresie od 0,5 do 4,0 V. Zapewnia sprawność sięgającą 90% ($3,7 V_{\text{IN}}$, $1,8 V_{\text{OUT}}$) w zakresie średnich i dużych obciążeń, a jego pobór prądu w stanie spoczynkowym wynosi $6,9 \mu\text{A}$. Konfiguracja układu odbywa się poprzez interfejs I²C. Jest zamykany w obudowie WLP o powierzchni $3,95 \text{ mm}^2$. W ofercie Maxim dostępny jest też zestaw ewaluacyjny MAX77655EVKIT#.

Do aplikacji wymagających sumarycznego prądu wyjściowego o natężeniu poniżej 500 mA firma Maxim poleca tańsze, konfigurowalne układy PMIC SIMO o oznaczeniach MAX77643 i MAX77642, zapewniające sprawność sięgającą 93%. Zawierają one 3-wyjściowy regulator napięcia buck-boost oraz regulator LDO/przełącznik zasilania o prądzie wyjściowym 150 mA.

www.maximintegrated.com



Moduły Bluetooth 5.0 ze zintegrowaną anteną

Fujitsu Components America powiększa ofertę modułów komunikacyjnych o serię FWM7BTZ61 obejmującą moduły Bluetooth 5.0 obsługujące dwa tryby pracy: Bluetooth Low Energy i Bluetooth Classic BR/EDR. Zostały one wykonane na bazie scalonego transceivera CYW20819 SoC produkcji Cypress Semiconductor. Obsługują transmisje z szybkością 1 Mbps i 2 Mbps w trybie Bluetooth Low Energy. W trybie klasycznym mogą pracować z szybkością 1 Mbps (BR: *basic rate*) oraz 2 Mbps i 3 Mbps (EDR: *Enhanced Data Rate*).

Moduły serii FWM7BTZ61 akceptują napięcia zasilania z zakresu od 1,71 do 3,63 V. Obsługują profile SPP (*Serial Port Profile*) w trybie Bluetooth Classic oraz GATT w trybie Bluetooth Low Energy. SPP to podstawowy profil do komunikacji szeregowej. Z kolei profil GATT definiuje całą komunikację Bluetooth z modułami innych producentów przy użyciu prostych komend tekstowych przesyłanych przez UART.

Moduły uzyskały certyfikaty FCC, ISCED, CE i Radio Act. Mogą pracować w szerokim zakresie temperatury otoczenia od -30 do $+85^{\circ}\text{C}$. Są produkowane w obudowach o wymiarach $17,6 \times 10,6 \times 1,9$ mm ze zintegrowaną anteną.

www.fujitsu.com

Przetwornik C/A o paśmie 25 GHz do bezpośredniej syntezy sygnałów mikrofalowych

Do oferty firmy Teledyne e2v wchodzi pierwszy na rynku przetwornik C/A o 3-decybelowym paśmie analogowym wynoszącym 25 GHz, zaprojektowany do zastosowań w układach bezpośredniej syntezy sygnałów mikrofalowych. EV12DD700 to przetwornik dwukanałowy o maksymalnej szybkości konwersji 12 GSps i 12-bitowej rozdzielczości. Może znaleźć zastosowanie w radarach/jammerach, aparaturze pomiarowej, naziemnych i satelitarnych systemach telekomunikacyjnych, szybach fazowanych i aplikacjach SDR. Zawiera 32-bitowy oscylator NCO (*numerically-controlled oscillator*) realizujący funkcje bezpośredniej syntezy cyfrowej i konwersji częstotliwości.

Przetwornik jest produkowany w obudowie Hi-TCE o powierzchni 20×20 mm. Nadaje się do pracy w szerokim zakresie temperatury otoczenia od -55 do 125°C.

www.teledyne-e2v.com



Miniaturowy odbiornik GNSS o poborze mocy 12 mW z obsługą 4 konstelacji satelitów

Moduł M10 to najnowszy odbiornik GNSS firmy u-blox. Umożliwia równoczesny odbiór sygnałów z satelitów 4 konstelacji (BeiDou, Galileo, GLONASS, GPS/QZSS), również w wymagających warunkach środowiskowych, np. w wysokiej zabudowie miejskiej. Jest to układ miniaturowy, mogący znaleźć zastosowanie np. w zegarkach sportowych i lokalizatorach dla zwierząt, zapewniający mały pobór mocy i bardzo długi czas pracy na baterii. Dzięki dużej czułości może współpracować z miniaturowymi antenami, zapewniając skuteczne rozróżnianie sygnałów użytecznych z satelitów i szumu tła. Zawiera interfejsy UART, SPI i I2C (zgodny z I²C). Może pracować z napięciem zasilania od 1,0 do 1,8 V w przemysłowym zakresie temperatur pracy.

Moduł M10 pobiera zaledwie 12 mW mocy w trybie śledzenia – pięciokrotnie mniej od wcześniejszego odbiornika z oferty u-blox. Zapewnia też krótki czas identyfikowania położenia po inicjalizacji, co dodatkowo obniża sumaryczny pobór mocy. Układ jest wspierany przez naziemny system zwiększania dokładności lokalizacji AssistNow.

Obecnie w ramach platformy M10 oferowane są dwa pierwsze układy: UBX-M10050 (4×4×0,55 mm) oraz moduł MAX-M10S (10,1×9,7×2,5 mm) z wbudowanym filtrem SAW, wzmacniaczem LNA i pamięcią ROM z oprogramowaniem firmware.

www.u-blox.com

Miniaturowy czujnik wilgotności i temperatury o dużej dokładności

Czujnik wilgotności SHT40 firmy Sensirion jest produkowany w technologii CMO-Sens zapewniającej bardzo mały pobór prądu przy dużej dokładności. Charakteryzuje się korzystnym współczynnikiem parametrów do ceny i nadaje się idealnie do produkcji wielkoseryjnej. Zawiera interfejs konfiguracyjny I²C. Zapewnia zakres pomiaru wilgotności 0...100% RH i temperatury od -40 do +125°C przy dokładności $\pm 1,8\%$ RH i $\pm 0,2^\circ\text{C}$. Sensor SHT40 pracuje z napięciem zasilania od 1,08 do 3,6 V przy średnim poborze prądu 400 nA. Jest produkowany w obudowie DFN. Uzyskał kwalifikację JEDEC JESD47 w zakresie niezawodności.

W 2021 roku firma Sensirion planuje wprowadzenie do oferty dwóch odpowiedników: SHT41 i SHT45 o zwiększonej dokładności pomiaru ($\Delta\text{RH}=\pm 1,5\%$ RH, $\Delta T=\pm 0,1^\circ\text{C}$) i lepszej ochronie przed narażeniami środowiskowymi. Będą one produkowane w obudowach o stopniu ochrony IP67. Opcjonalnie mogą być pokryte powłoką zabezpieczającą przed kondensacją wilgoci.

www.sensirion.com



Miniaturowy czujnik do pomiaru dużych stężeń CO₂

Firma Sensirion wprowadza na rynek miniaturowy czujnik temperatury i stężenia CO₂ o szerokim zakresie pomiarowym, który może znaleźć zastosowanie m.in. do monitorowania warunków transportu żywności. Model STC31 wykorzystuje pomiar



REKLAMA

ZAJRZYSZ NA TE STRONY



www.gamma.pl
info@gamma.pl

PODZESPOŁY ELEKTRONICZNE



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



renex
www.renex.com.pl



renex
www.ipctraining.pl



renex
www.renexpline.pl

All In One

- Projektowanie i wykonywanie
 - modeli kaskasów i obudów na drukarce 3D
 - transformatorów i induktorów
 - prototypów PCB
- Modelowanie 3D modułów i urządzeń
- Projektowanie urządzeń zasilających



FERYSTER



Feryster - producent elementów EMC

www.feryster.pl

przewodności cieplnej, co zapewnia bardzo dobrą powtarzalność, długi czas bezawaryjnej pracy oraz mały pobór mocy, wynoszący 15 μ W przy częstotliwości próbkowania 1 Hz.

Zawiera interfejs I²C do komunikacji z mikrokontrolerem. Zapewnia dokładność pomiaru CO₂ równą 0,5 vol% ($\pm$ 3% odczytu) i czas reakcji krótszy od 1 s. Dzięki zastosowaniu taniej technologii CMOSens doskonale nadaje się do produkcji wielkoseryjnej. Jego zaletą jest też łatwa integracja w systemie docelowym i bardzo mały pobór mocy.

www.sensirion.com



Pierwszy na rynku wskaźnik naładowania ogni w litowych z funkcją monitorowania samorozładowania

W przypadku urządzeń przenośnych z akumulatorami litowymi zapewnienie bezpieczeństwa użytkownika jest priorytetem projektantów. Uszkodzony akumulator może spowodować wyciek, a w konsekwencji pożar lub eksplozję. Stanowi to nie tylko zagrożenie dla konsumentów, ale też może zepsuć wizerunek marki. Rygorystyczne kontrole fabryczne mogą zapobiec wysłaniu nieszczelnych ogni w fabrykę. Jednak do tej pory nie było rozwiązań umożliwiających wykrycie samorozładowania, które pojawia się podczas normalnego użytkownika akumulatora.

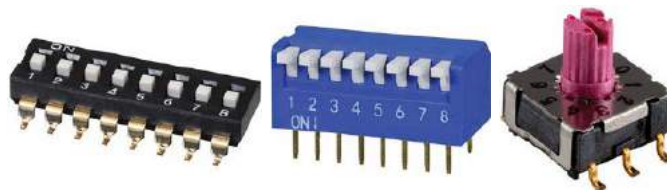
Układ MAX17320 to pierwszy na rynku wskaźnik poziomu naładowania ogni w litowo-jonowych, zawierający wbudowane obwody zabezpieczające i funkcję monitorującą samorozładowanie. Może on współpracować z 2...4 szeregowo połączonymi ogniwami, monitorując ich napięcie, prąd i temperaturę podczas ładowania i rozładowania. W razie stwierdzenia zagrożenia wyłącza potencjalnie niebezpieczny akumulator.

Układ MAX17320 stanowi uzupełnienie rodziny kontrolerów korzystających z opatentowanego przez Maxim algorytmu ModelGauge m5, zapewniającego większą o 40% dokładność pomiaru stanu naładowania od innych metod oraz eliminującą konieczność przeprowadzania charakterystyki większości ogni. Układ charakteryzuje się ponadto mniejszym o 85% poborem prądu w stanie spoczynkowym od najbliższego odpowiednika oraz obsługuje standard autoryzacji SHA-256, pozwalający na zabezpieczenie przed użyciem nieautoryzowanych akumulatorów. W ofercie Maxim dostępny jest też zestaw ewaluacyjny MAX17320X2EVKIT.

www.maximintegrated.com

Mikroprzełączniki o stopniu ochrony IP67 i szerokim zakresie temperatury pracy

CUI Devices wprowadza na rynek nową linię mikroprzełączników DIP dostępnych w wersjach wciskanych, przesuwanych i obrotowych. Są one produkowane w obudowach do montażu przewlekane i powierzchniowego z różnymi wariantami



wyprowadzeń o rozstawie 1,27, 2,54 i 5,08 mm. Zawierają, w zależności od wersji, od 1 do 16 kanałów. Nadają się do pracy w szerokim zakresie temperatury otoczenia od -60 do +125°C. Wszystkie wersje charakteryzują się niepalną konstrukcją (UL94V-0), a niektóre zapewniają stopień ochrony IP67. Ich parametry znamionowe wyglądają się następująco:

- napięcie przełączania: 24 lub 42 V_{DC},
- napięcie w stanie ustalonym: 42 lub 50 V_{DC},
- prąd przełączania: 25 lub 100 mA,
- prąd w stanie ustalonym: 100 lub 400 mA.

www.cuidevices.com



Najszybszy na rynku 50-watowy kontroler ładowania bezprzewodowego WPC Qi

Układ STWLC88 to najszybszy na rynku kontroler ładowania bezprzewodowego pracujący w standardzie WPC Qi 1.2.4 EPP. Jest zamknięty w obudowie WLCPS o wymiarach 4,5×4,0×0,6 mm i rozstawie wyprowadzeń 0,4 mm. Może znaleźć zastosowanie w smartfonach, tabletach i laptopach. Pracuje z maksymalną mocą wyjściową 50 W w standardowym trybie odbiornika. Ponadto może pracować w trybie nadajnika z maksymalną mocą wyjściową 12 W (w zależności od zastosowanej cewki), pozwalając ładować inne urządzenia energią zgromadzoną w akumulatorze. Zawiera szeroki zestaw wewnętrznych funkcji, pozwalających zminimalizować liczbę komponentów współpracujących.

W stosunku do poprzedniej wersji, układ STWLC88 może nawet dwukrotnie skrócić czas ładowania akumulatora. Jest kompatybilny ze wszystkimi dostępnymi na rynku nadajnikami z certyfikatem Qi EPP. Zawiera zabezpieczenie termiczne, nadnapięciowe i nadprądowe oraz funkcję wykrywania obiektów obcych (FOD). Zastosowano w nim opracowany przez STMicroelectronics protokół szybkiego ładowania ST SuperCharge (STSC).

Układ STWLC88 wraz z kontrolerem nadajnika STWBC2 pozwala na realizację szybkiego i bezpiecznego systemu ładowania, spełniającego wymogi specyfikacji Qi. Dzięki synchronicznemu prostownikowi o małej impedancji i sprawności >98% oraz liniowemu regulatorowi LDO wykazuje małe straty i małą emisję ciepła. Wewnętrzna pamięć nieulotna i wbudowany interfejs I²C umożliwiają wielokrotne przeprowadzanie zmian konfiguracji układu. Programowalny regulator LDO umożliwia generowanie napięć do 20 V w krokach co 25 mV. Firma STMicroelectronics oferuje do tego układu płytke ewaluacyjną STEVAL-ISB88RX z kontrolerem i interfejsem GUI.

www.st.com



Tranzystory GaN FET z funkcją sterownika, zabezpieczeniami i aktywnym zarządzaniem mocą

Texas Instruments wprowadza na rynek pierwsze, przeznaczone do elektroniki pojazdowej, tranzystory GaN FET z wbudowanym szybkim (2,2 MHz) sterownikiem bramek, obwodami zabezpieczającymi i funkcją aktywnego zarządzania mocą. Zostały one zaprojektowane do zastosowań w układach ładowania i zasilaczach przemysłowych, gdzie pozwalają dwukrotnie zwiększyć gęstość mocy, ograniczyć o ponad połowę objętość podzespołów magnetycznych i zapewnić sprawność energetyczną sięgającą 99%.

W aplikacjach wysokonapięciowych o dużej gęstości upakowania podzespołów minimalizacja powierzchni zajmowanej na płycie drukowanej jest ważnym aspektem projektowym. Ponieważ urządzenia elektroniczne są coraz mniejsze, ich komponenty również muszą być coraz mniejsze i znajdować się w mniejszej odległości od siebie. Nowe



tranzystory FET GaN z oferty TI zawierają szybki sterownik bramek, obwody zabezpieczające i czujnik temperatury. W połączeniu z dużą gęstością mocy zapewnianą przez technologię GaN pozwala to wyeliminować ponad 10 komponentów wymaganych zwykle w aplikacjach opartych na podzespołach dyskretnych. Ponadto każdy z nowych tranzystorów charakteryzuje się małą rezystancją przewodzenia (od 30 mΩ) i w konfiguracji półmostkowej może realizować konwersję mocy do 4 kW.

Technologia GaN zapewnia krótkie czasy przełączania, co ogranicza wymiary i masę systemów zasilania. W przeszłości odbywało się to kosztem większych strat mocy. Aby uniknąć tego kompromisu, nowe tranzystory FET GaN oferują tryb diody idealnej, który w obwodzie PFC pozwala zmniejszyć straty w trzecim kwadrancie nawet o 66% w porównaniu z typowymi tranzystorami FET GaN i SiC. Tryb diody idealnej eliminuje również potrzebę adaptacyjnej kontroli czasu martwego, co skraca czas projektowania.

Kolejną zaletą jest mniejsza nawet o 23% impedancja termiczna od tranzystorów GaN FET produkowanych w innych typach obudów, pozwalająca na współpracę z mniejszymi radiatorami. Ponadto zintegrowany czujnik temperatury ułatwia realizację aktywnego układu zarządzania mocą, pozwalającego na optymalizowanie parametrów pracy przy różnych obciążeniach.

Nowa oferta obejmuje 4 typy tranzystorów o napięciu przebicia 600 V i rezystancji $R_{DS(on)}$ wynoszącej 30 mΩ (LMG3422R030, LMG3425R030) lub 50 mΩ (LMG3422R050, LMG3425R050). Mogą one pracować z maksymalną częstotliwością taktowania odpowiednio 2,2 MHz i 3,6 MHz. Umożliwiają regulowanie współczynnika *slew rate* w zakresie od 30 do 150 V/ns. Zawierają zabezpieczenie nadprądowe i zwarcioowe o czasie odpowiedzi <100 ns. Modele LMG3425R050 i LMG3425R030 oferują dodatkowo tryb diody idealnej. Wszystkie 4 wersje są produkowane w obudowach QFN o wymiarach 12×12×1 mm.

www.ti.com

REKLAMA

KLUCZOWE PRODUKTY NIEZBĘDNE DLA TWOJEGO BIZNESU



TECHNIKA POMIAROWA

NAJNOWSZE TECHNOLOGIE.
SZEROKI ASORTYMENT. WYSOKA DOSTĘPNOŚĆ.

pl.rs-online.com

Wspieramy Twój biznes





Czujniki ciśnienia gazów o dużej dokładności na obu krańcach zakresu pomiarowego

Do oferty firmy First Sensor wchodzi nowa seria czujników ciśnienia gazów LHD Ultra, zawierających w pojedynczej obudowie dwa sensory o różnych zakresach pomiarowych z 16-bitowymi przetwornikami A/C. Wewnętrzny układ przetwarzania sygnału zapewnia 24-bitową rozdzielczość dla całego zakresu. Czujniki LHD Ultra są produkowane w miniaturowych obudowach o powierzchni 24,5×17,8 mm i grubości 7,4 mm z pionowymi wyprowadzeniami procesowymi. Bazują na termicznych sensorach MEMS z kanałem mikroprzepływowym, realizujących pomiar w zakresie do 5000 Pa.

Czujniki LHD Ultra doskonale sprawdzają się przy pomiarach przepływu, gdy wymagane jest zapewnienie dużej dokładności przy małej różnicy ciśnień. Zawierają wbudowany czujnik temperatury oraz barometr do opcjonalnej kompensacji ciśnienia w czasie rzeczywistym. Oznacza to, że klient może wybierać między pomiarem przepływu objętościowego i masowego bez konieczności stosowania zewnętrznego układu referencyjnego do pomiaru ciśnienia otoczenia. Dodatkowe zalety to bardzo dobra stabilność offsetu i stabilność długoterminowa, uzyskane dzięki opatentowanej technice linearyzacji i kompensacji offsetu w czasie rzeczywistym. Pod tym względem czujniki LHD Ultra znacznie wykraczają poza parametry oferowane przez inne podobne czujniki dostępne obecnie na rynku. Ich dokładność wynosi typowo 1,5% wartości mierzonej w pełnym zakresie od 1% do 100% FS, a długoterminowa zmiana offsetu to $\pm 0,02$ Pa na rok. Do komunikacji z mikrokontrolerem służy interfejs cyfrowy I²C/SPI.

Dzięki czujnikom LHD Ultra użytkownik nie musi się już decydować, czy zamierza prowadzić precyzyjne pomiary w dolnej, czy w górnej części zakresu. Podzespoły te są dostępne w wersjach jedno- i dwukierunkowych o trzech zakresach pomiarowych: 1250 Pa, 2500 Pa i 5000 Pa. Mogą pracować w zakresie temperatury otoczenia od -40 do +85°C (kompensacja od -20 do +85°C). Są odporne na udary i wibracje do odpowiednio 500 g i 20 g.

www.first-sensor.com



Zegar atomowy w obudowie SMD

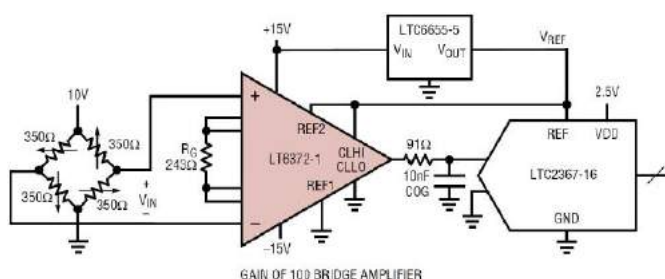
Firma IQD, oddział Würth Elektronik eiSos, zaprezentowała nowy zminiaturyzowany zegar atomowy, produkowany w obudowie SMD rozmiaru 45,0×36,0×14,5 mm. Wykorzystuje on znany z fizyki

kwantowej stan koherentnego uwięzienia populacji (CPT – *coherent population trapping*) przy generowaniu wysokostabilnej częstotliwości wyjściowej.

Podczas gdy typowe oscylatory rubidowe wykrywają przejście kwantowe za pomocą rubidowej lampy wyładowczej (Rb lamp), ICPT-1 wykorzystuje laser do wywoływania przejść kwantowych. Zaletą tej metody jest znacznie mniejszy pobór mocy. Dodatkowo, czas bezawaryjnej pracy lasera jest znacznie dłuższy od żywotności lampy, ograniczonej do około 10 lat.

W przypadku ICPT-1 użytkownicy mają możliwość podłączenia zewnętrznego źródła 1 PPS lub wykorzystania wbudowanego zegara. Układ zawiera interfejs UART umożliwiający cyfrowe dostrajanie częstotliwości wyjściowej oraz zapewniający dostęp do opcjonalnego licznika TOD (*time of day*). Może znaleźć zastosowanie jako źródło częstotliwości wzorcowej w systemach komunikacji satelitarnej, nawigacji, a także w sektorze finansowym, miernikach zużycia mediów itp. Pracuje z napięciem zasilania 3,3 V, pobierając jedynie 500 mA prądu. Pod względem parametrów (tolerancja częstotliwości 0,05 ppb, stabilność krótkoterminowa 0,09 ppb @ $\tau=1$ s, stabilność długoterminowa 0,03 ppb/dobę) jest porównywalny ze standardowymi zegarami rubidowymi.

www.iqdfrequencyproducts.com



Precyzyjny wzmacniacz pomiarowy z przesuwnikiem poziomu i ogranicznikiem wyjściowym

Układ LT6372-1 to programowalny wzmacniacz pomiarowy o dużej dokładności w trybie stałoprądowym, nadający się do pomiaru słabych sygnałów oraz przeprowadzania kalibracji temperaturowej. Stanowi odpowiednik wcześniejszej wersji LT6370, zapewniający większą dokładność oraz ułatwiający połączenie z przetwornikiem A/C. Został wyprodukowany w opatentowanym, wysokowydajnym procesie bipolarnym, zapewniającym bardzo dużą dokładność i stabilność długoterminową. Gwarantuje dryft wzmacnienia poniżej 35 ppm/°C. Dzięki fabrycznemu trymowaniu parametrów charakteryzuje się bardzo małym wejściowym napięciem niezrównoważenia (60 μ V) i dużym współczynnikiem CMRR (86 dB dla $G=1$).

Wewnętrzny wzmacniacz różnicowy w LT6372-1 zawiera dwa wejścia referencyjne, co ułatwia przesunięcie zerowego napięcia wyjściowego wzmacniacza do środka zakresu wejściowego przetwornika A/C. Ponadto wyjścia ograniczające zapobiegają przekroczeniu przez napięcie wyjściowe wzmacniacza zakresu dopuszczalnego napięcia wejściowego przetwornika A/C. Wbudowane filtry EMI zapewniają dużą dokładność również w środowiskach narażonych na silne zaburzenia elektromagnetyczne. Układ LT6372-1 jest produkowany w obudowach MS16E i QFN20 (4×3 mm) w wersjach na dwa zakresy dopuszczalnej temperatury pracy: -40...+85°C i -40...+125°C. Jego zakres zastosowań obejmuje m.in. wzmacniacze mostkowe, systemy akwizycji danych, wzmacniacze do współpracy z termoparami i tensometrami, aparaturę medyczną i konwertery sygnału różnicowego na asymetryczny.

Najważniejsze parametry:

- zakres napięcia zasilania: 4,75...35 V,
- wzmocnienie: od 1 do >1000, ustawiane pojedynczym zewnętrznym rezystorem,

- wejściowe napięcie niezrównoważenia: maks. 60 μV ,
- dryft wejściowego napięcia niezrównoważenia: maks. 0,6 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$,
- błąd wzmacnienia: maks. 0,01% ($G=1$),
- dryft wzmacnienia: maks. 35 ppm/ $^\circ\text{C}$ ($G>1$),
- wejściowy prąd polaryzacji: maks. 800 pA,
- CMRR: min. 86 dB ($G=1$),
- pasmo (-3 dB): 3,1 MHz ($G=1$),
- wyjściowe napięcie szumu: 0,2 $\mu\text{V}_{\text{p.p.}}$ (0,1 Hz...10 Hz),
- gęstość napięcia szumu: 7 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ (1 kHz).

www.analog.com



4-calowe kwadratowe wyświetlacze LCD z interfejsem MIPI DSI

Wyświetlacze o oznaczeniach WF40ETWAA6MNN0 i WF40ESWAA6MNN0 to 4-calowe wyświetlacze LCD o rozdzielczości 480×480 px i proporcjach 1:1. Kluczową różnicą między tymi modelami jest jasność wynosząca 500 cd/m² dla WF40ETWAA6MNN0 i 1000 cd/m² dla WF40ESWAA6MNN0. Uzyskane wartości gwarantują, że prezentowane na nich treści będą wystarczająco czytelne, nawet w przypadku umieszczenia w intensywnie



model	WF40ETWAA6MNN0	WF40ESWAA6MNN0
przekątna	4,0"	4,0"
rozdzielczość	480×480 px	480×480 px
proporcje	1:1	1:1
obszar aktywny	71,856 (H)×70,176 (V) mm	71,856 (H)×70,176 (V) mm
jasność	500 cd/m ²	1000 cd/m ²
kontrast	800:1	800:1
kąt obserwacji	80°/80°/80°/80° (IPS)	80°/80°/80°/80° (IPS)
interfejs	2-torowy MIPI DSI	2-torowy MIPI DSI
wymiary	78,8 (H)×82,95 (W) ×4,77 (D) mm	78,8 (H)×82,95 (W) ×4,77 (D) mm
zakres temperatur pracy	-30...80°C	-30...80°C
podświetlenie	LED	LED
czas życia LED	50 000 godz.	50 000 godz.

oświetlonych przestrzeniach – zarówno w aplikacjach indoorowych (WF40ETWAA6MNN0), jak i outdoorowych (WF40ESWAA6MNN0). Oba modele przystosowano do pracy w temperaturach od -30 do 80°C.

W wyświetlaczach zastosowano interfejs MIPI DSI – to magistrala szeregową korzystająca z sygnałów różnicowych do przekazywania informacji. Najważniejszymi zaletami interfejsu MIPI DSI są: wysoka wydajność przy niskim poborze mocy, a także odporność na zakłócenia elektromagnetyczne.

Najważniejsze parametry opisywanych modeli zestawiono w tabeli.

Wyświetlacze z interfejsem MIPI DSI – choć kojarzone przede wszystkim z urządzeniami przenośnymi, takimi jak, telefony, tablety czy laptopy, coraz częściej stosowane są również w innych obszarach, np.

- w przemyśle – jako ekrany w przenośnych urządzeniach pomiarowych,
- w IoT np. w inteligentnych budynkach mogą być montowane zarówno w urządzeniach służących do zarządzania, np. ogrzewaniem czy oświetleniem, jak i w sprzętach znajdujących się we wspólnej sieci, np. RTV i AGD,
- w motoryzacji – jako ekrany w deskach rozdzielczych samochodów.

Wyświetlacze dostępne są w ofercie Unisystemu.

www.unisystem.pl/pl/winstar.html

REKLAMA

NIE PRZEGAP!

INTERESUJĄCYCH MATERIAŁÓW W SIOSTRZANYM CZASOPIŚMIE



W numerze między innymi:

Moduł precyzyjnego generatora TCXO i synchronizacji z GPS

Projekt dla tych wszystkich Czytelników, dla których najważniejsza jest dokładność. Kontynuacja projektu F-metra z niedawnego, wrześniowego numeru EdW.

Nieco ekstremalny słuchawkowy wzmacniacz lampowy OTL – projektowanie i modyfikacje

Dopiero teraz, w drugiej części artykułu, podane są najcenniejsze informacje o tym, skąd naprawdę bierze się „lampowy dźwięk” oraz o tym, jak można dostosować wzmacniacz do własnych potrzeb.

Odkrywamy schematy. Zasilacze komputerowe

W kolejnym odcinku cyklu analizujemy budowę i działanie sterowników zasilaczy komputerowych, zawierających popularny układ scalony SG6105.

Modułowe mierniki napięcia i prądu stałego

Aktualnie dostępnych jest mnóstwo różnych modułowych mierników panelowych, w tym liczne woltomierze i amperomierze prądu stałego. Niektóre zaskakują bardzo pozytywnie, inne – niestety nie.

...z pracy serwisanta sprzętu audio w czasie pandemii

Dwa bardzo interesujące opisy napraw sprzętu audio, pokazujące aktualne problemy stojące przed każdym, kto chciałby reperować współczesny sprzęt.

Ponadto w numerze:

- Generator kalibracyjny dla każdego, część 2
- Nadajnik kodu Morse'a z klawiaturą PC, czyli o... licencjach oprogramowania
- Modułowe mierniki napięcia i prądu stałego
- Filozofia sieci: protokół DHCP
- Protel99SE – pliki produkcyjne
- Szkoła Konstruktorów:
 - Podświetlenie LED do dowolnej wanny kąpielowej
 - Zaproponuj wykorzystanie dowolnego, częściowo wyeksploatowanego akumulatora

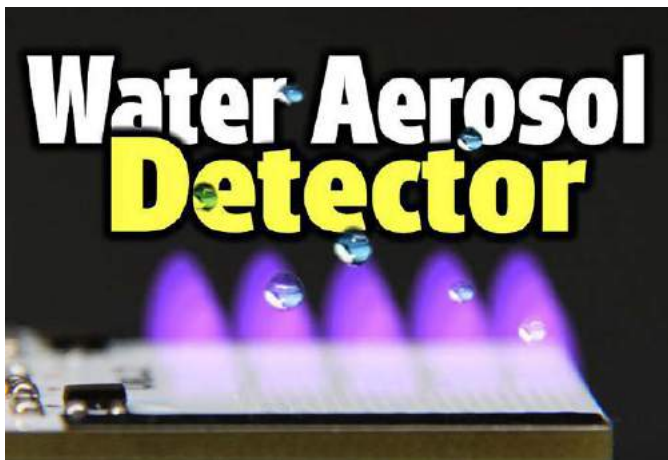
ELPORTAL.pl

EdW możesz zamówić na
www.ulubionykiosk.pl
 lub w Empikach i wszystkich większych kioskach z prasą.

Masz może pomysł na ciekawy artykuł lub projekt? Skonstruowałeś urządzenie, które jest godne zaprezentowania szerszej publiczności? Możesz napisać artykuł edukacyjny? Chcesz podzielić się doświadczeniem? W takim razie zapraszamy do współpracy na łamach Elektroniki dla Wszystkich. Kontakt: edw@elportal.pl

dodaj do obserwowanych

Przedstawiamy redakcyjny wybór najciekawszych projektów spośród ostatnio anonsovanych w internecie. Są to projekty na różnych etapach realizacji. Warto się zapoznać z projektami zakończonymi i śledzić realizację projektów niegotowych, by czerpać z nich inspirację do własnych prac.



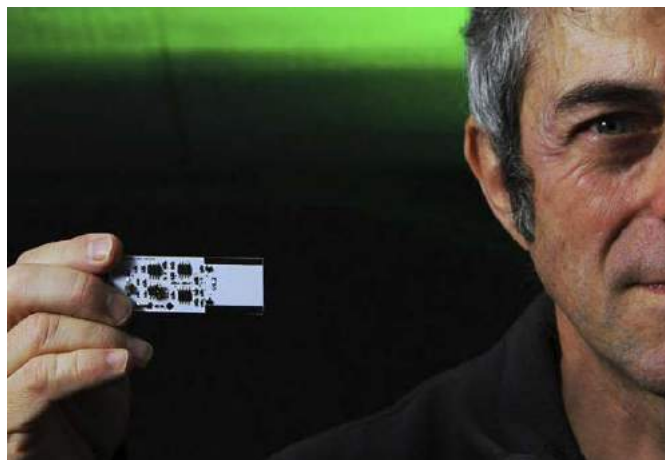
Sensor wody

Czujniki wilgotności są powszechnie używane w połączeniu z czujnikami temperatury do estymacji punktu rosy. Ten parametr pozwala określić, kiedy woda w postaci gazowej wykrapla się na powierzchniach czy w powietrzu. Nie realizowano jeszcze bezpośredniej detekcji kropli wody w powietrzu. Ten projekt rozwiązuje ten problem, zapewniając skuteczny sposób wykrywania rzeczywistej kondensacji wody lub innych par i określania ilościowej zawartości cząstek wody w powietrzu.

Zastosowania czujnika mogą obejmować zapobieganie rozwoju pleśni w budynkach, gospodarstwach rolnych, magazynach żywności, po zapobieganiu rdzewieniu w magazynach narzędzi itp. Może być również używany do wykrywania kondensacji wody w maszynach wrażliwych na wodę. Układ może też wykrywać ludzki oddech, który zawiera w sobie cząstki wody. Możliwa jest nawet charakterystyka oddychania z wykorzystaniem opisanego sensora.

Zasada działania czujnika jest relatywnie prosta. Wykorzystuje on pole elektryczne do wykrywania cząstek wody. Kondensacja wody na powierzchniach to zjawisko, które w zależności od okoliczności i zastosowania może być efektem pożądanym lub niepożądanym. Chociaż urządzenia psychrometryczne mogą dostarczyć informacji o właściwościach termodynamicznych mieszaniny pary wodnej i powietrza, dostępnych jest niewiele urządzeń do wykrywania i określania ilościowego faktycznego gromadzenia się kropelek rosy na powierzchniach. Jeszcze mniej jest w stanie określić ilościowo stężenie wody w stanie ciekłym w aerozolu, to znaczy w sytuacji, gdy wilgotność względna przekracza 100%.

Opisywany czujnik rozwiązuje ten problem, zapewniając sposób wykrywania i określania ilościowego stężenia cząstek ciekłej wody w powietrzu w pobliżu czułej powierzchni czujnika lub wykrywania i określania ilości drobnych kropelek wody osadzonych na jego wrażliwej powierzchni. Projekt ten przeszedł gruntowne testy w celu przetestowania możliwości czujnika, a zwłaszcza



różnych konstrukcji i konfiguracji elektrod, które tworzą wrażliwy obszar czujnika.

Układ działa, wykorzystując dobrze znany efekt pojemnościowy (pojemność własna), gdy na ciało wpływa pole elektryczne. Ostatecznie można go postrzegać jako osobliwą wersję czujnika pojemnościowego. Generowane pola elektryczne dostarczają ładunki do elektrod przez źródło prądu, a komparator wykrywa określony poziom napięcia skalibrowany na granicy obwodu i usuwa ładunki, aby rozpocząć nowy cykl pomiarowy. Zasadniczo jest to źródło prądu stałego, które ładuje kondensator utworzony na PCB i zaprojektowane w taki sposób, aby zwiększyć rzutowanie pól elektrycznych. Układ przetwarza zmierzoną pojemność na sygnał o zmiennej szerokości impulsu, który jest przenoszony przez tę samą linię, która zasila czujnik, do zewnętrznego procesora, który odczytuje ten sygnał i steruje cyklem zasilania czujnika, aby ograniczyć ryzyko samonagrzewania.

<http://bit.ly/3sEWEUV>

Sterownik do komputera bazujący na silniku krokowym

Aplikacje do projektowania i edycji z rozbudowanym GUI mają różne elementy sterujące do powiększania, obracania, przesuwania, itp. w postaci wirtualnych pokręteł. W tym projekcie zastosowano doskonałe uzupełnienie dla tego podejścia, dzięki któremu obsługa takich elementów sterujących jest wygodniejsza i bardziej intuicyjna. Jest to fizyczny kontroler w postaci pokrętła. Po obróceniu kołka urządzenie wysyła sekwencję naciśnięć klawiszy i/lub ruchów myszy do podłączonego komputera, jedną sekwencję obracania w prawo, a drugą w kierunku przeciwnym. Im szybciej kręci się kołem, tym więcej razy układ wysyła sekwencję. Sekwencje są w pełni programowalne.

Pokrętło wykorzystuje bipolarny silnik krokowy jako sensor ruchu. Sprawdza się on zarówno jako czujnik obrotu, jak i jako mechaniczna podstawa. Podobnie jak sam silnik krokowy, większość konstrukcji





składa się z części i rzeczy z odzysku. Sterownik to pokrętło oparte na silniku krokowym używanym nie jako silnik, ale jako czujnik obrotów. Silnik krokowy, taki jak ten, ma magnesy i cewki, które poruszają się względem siebie, gdy wał wyjściowy się obraca. Ten względny ruch powoduje impulsy elektryczne na wyprowadzeniach cewek. „Kroki” silnika w obrocie są lekko

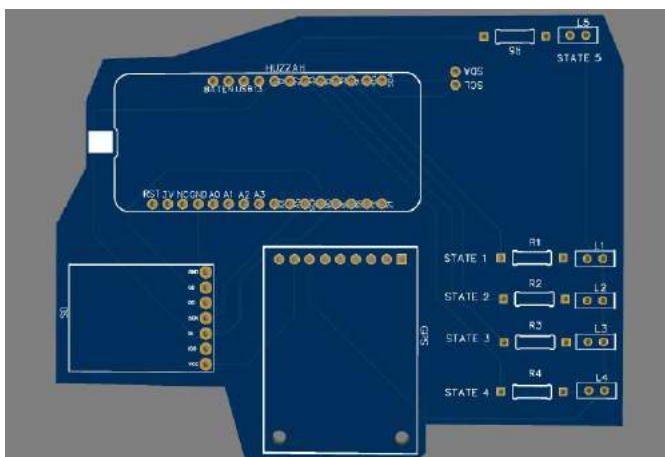
wyczuwalne, co nadaje systemowi przyjemne sprzężenie haptyczne.

Układ podłącza się do portu USB, który służy do wysyłania sekwencji naciśnięć klawiszy lub zdarzeń myszy po obrocie kółka, jednej sekwencji zgodnie z ruchem wskazówek zegara, a drugiej w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara. Układ może mieć wiele zestawów sekwencji i można wybrać, które z nich mają być używane, klikając przyciski urządzenia. Sekwencje i inne informacje konfiguracyjne są zapisywane w pamięci EEPROM, więc nic nie jest tracone po wyłączeniu urządzenia.

Oprogramowanie jest przeznaczone dla bipolarnego silnika krokowego z dwoma uzwojeniami. W tych silnikach końce dwóch cewek, A i B, są wyprowadzone jako cztery przewody: A-, A+, B- i B+. Gdy wał jest obracany zgodnie z ruchem wskazówek zegara, najpierw pojawia się impuls na cewce A, a następnie na B. Gdy jest obrócony w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara, impuls na B poprzedza impuls na A. Prosty pasywny obwód pomocniczy oczyszcza impulsy, doprowadza je do poziomu w zakresie od około -0,6 V do około 4,5 V. Jest to konieczne, aby nie uszkodzić mikrokontrolera, ponieważ amplituda może być dużo wyższa, przy szybkim obrocie pokrętła.

Autor użył płytki podobnej do Arduino Leonardo opartej na ATmega-32U4. Jest to konieczne, aby urządzenie mogło emulować klawiaturę i mysz. Kod programu umieszczony został na repozytorium na GitHubie. Oprócz kodu repozytorium zawiera dodatkową dokumentację: schemat samego urządzenia oraz dokument szczegółowo opisujący sposób, w jaki urządzenie wykorzystuje pamięć EEPROM mikroprocesora.

<http://bit.ly/304GiIN>



Shevek – skaner adresów MAC w sieci

Zaprezentowane urządzenie ma służyć do skanowania adresów MAC w sieci i bezpiecznego przesyłania ich do pomocniczej maszyny. Układ oparty jest na mikrokontrolerze ESP8266, osadzonym na otwartej płytce uruchomieniowej.

Urządzenie skanuje adresy i przesyła je do komputera jednopłytkowego Raspberry Pi lub Vocore2 z odpowiednim oprogramowaniem. Ze skanowanych adresów wczytywane są różne dane, które podaje program. Odczytać można rodzaj urządzenia, producenta itp. Informacje zapisywane są w formacie JSON na karcie SD. Status urządzenia prezentowany jest na diodach LED. Sygnalizują one, czy wykryte adresy MAC są zwykłe, czy przemysłowe oraz czy w urządzeniach tych wykryto jakieś luki.

Autor chce rozbudować system o moduł GPS, aby możliwe było również logowanie lokalizacji, tak by adresy MAC zapisane na karcie SD można było łączyć z fizyczną lokalizacją.

<http://bit.ly/2OcyvPI>



Otwarty miernik przepływu do monitorowania rzek

Zaprezentowany układ to ekonomiczny przepływomierz do pomiaru prędkości wody w rzekach. Obecna wersja pokazuje prędkość wody w km/h, a jej koszt to około 60 dolarów (za wszystkie części), gdy typowe urządzenie tego typu kosztuje około 1000 dolarów.

Przepływomierze są doskonałymi narzędziami do badań rzek, ale często są zbyt drogie, szczególnie w przypadku szkół średnich czy ośrodków studiów terenowych. Firma LabQuest ma w pewnym stopniu monopol na te czujniki do użytku w szkołach (w USA). Autor uważa, że najwyższy czas, aby tego rodzaju pomiary były łatwe do wykonania, za pomocą tanich i otwartych urządzeń. Autor zastosował



REKLAMA

BORNICO Teraz większe MOŻLIWOŚCI

bornico.com.pl

- montaż kontraktowy elektroniki
- projektowanie urządzeń i systemów

Zakład Elektroniczny BORNICO

ul. Małczyńska 25
26-600 Radom
tel. +48 48 365 58 22
bornico@bornico.com.pl





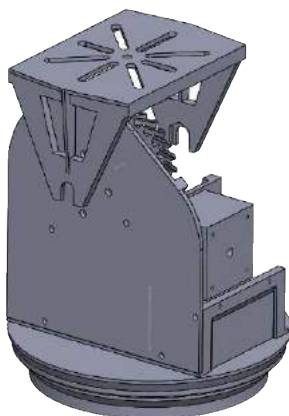
moduł Arduino, a także shield z ekranem dotykowym i czujnik przepływu zaprojektowany do pomiaru przepływu w kanalizacji.

Aktualna wersja wyposażona jest w drukowaną obudowę, w której znajduje się elektronika, bateria i włącznik. Aparat wyposażono w hermetyczne złącze do podłączenia sensora przepływu. Urządzenie może korzystać z sensora DN50 lub DN80. Dalsze poprawki w systemie mają prowadzić do zwiększenia dokładności układu.

<http://bit.ly/3b7RcEe>

SATRAN – tracker do anteny satelitarnej

Przedstawione urządzenie to kompaktowy lokalizator satelitów z trackerem dla anten satelitarnych. Układ wykorzystuje prosty system mechaniczny i aplikację na Androida. Autor planuje niebawem uruchomić sprzedaż zaprojektowanych przez siebie urządzeń, ale cała dokumentacja razem z plikami do druku 3D są również dostępne. „Jest to kontynuacja mojego starego projektu, w ramach którego zbudowałem prosty lokalizator anteny satelitarnej z aplikacją na Androida”, mówi autor. Obliczał on pozycję dowolnego satelity



za pomocą jego parametrów Keplera i kontroluje rotator anteny Az-El, aby śledzić ruch satelity na nieboskłonie. Układ powstał wtedy głównie z elementów z odzysku jako prosty prototyp. „Teraz, kilka lat później, zdecydowałem się przeprojektować go od podstaw jako niedrogi i łatwy w użyciu zestaw”, podsumowuje autor.

Wbudowany mikroprocesor to ESP8266 na płytce NodeMCU z interfejsem Wi-Fi, którą można sterować ręcznie za pośrednictwem interfejsu internetowego lub automatycznie za pomocą aplikacji na Androida. Ruch odbywa się za pomocą dwóch silników krokowych NEMA17. Obrotnica ma platformę pozwalającą na zamontowanie wielu różnych rodzajów anten lub nawet małej anteny satelitarnej.

<http://bit.ly/37Zgdzb>

Cyfrowa bila przepowiadająca przyszłość

Historia tego projektu sięga 2012 roku, kiedy to autor opisał swoją pierwszą konstrukcję w artykule na swoim blogu. Była to magiczna bila „8”, zrealizowana w pełni na płytce stykowej. „Projekt wykonałem spontanicznie, ucząc się programowania nowego ekranu OLED, który kupilem. Ku mojemu zdziwieniu projekt został następnie opublikowany przez portal Hackaday”. „Jednak od tamtej pory nigdy nie byłem zadowolony z tego, jak po prostu zostawiłem pomysł niedokończony i nieoszlifowany. To prowadziło nas do chwili obecnej. Chciałem stworzyć ładną płytkę drukowaną dla projektu i dodać kilka drobiazgów do oprogramowania i interfejsu



użytkownika. Podobnie jak w przypadku wielu małych projektów, po prostu skopiowałem i wkleiłem wymagane moduły z poprzedniego projektu, aby rozpocząć...”

Autor rozpoczął projektowanie od wyboru kształtu płytki drukowanej. Oczywiście, ponieważ projekt był do zamknięcia w kuli, płytka drukowana musiała być okrągła. Dodatkowo, czerpiąc inspirację z zabawek Tamagochi z lat 90., chciał, aby urządzenie miało mniej więcej rozmiar breloczka do kluczy z ładnie wyśrodkowanym ekranem. Na etapie prototypu autor początkowo chciał dodać akcelerometr do wykrywania ruchów użytkownika, aby zainicjować wróżenie, ale zdecydował się odrzucić ten pomysł na rzecz jednego przycisku – rozwiązania zarówno tańszego, jak i prostszego.

Urządzenie zasilane jest pojedynczą baterią CR2032. Projektując samo PCB, autor uzupełnił system o przełącznik suwakowy do ręcznego odłączania baterii w celu uzyskania dłuższego czasu działania i mały głośnik, który emituje sygnał dźwiękowy po naciśnięciu przycisku.

<http://bit.ly/3uIVGbu>



Sterowany przez USB ekran OLED

TinyTerminal to prosty, sterowany przez USB wyświetlacz OLED z interfejsem I²C. Ekran ma rozdzielczość 128×64 pikseli. Wykorzystuje sterownik V-USB do działania jako układ klasy USB CDC z komunikacją szeregową przez USB z ATtiny. Poprzez interfejs USB można przysyłać wszelkiego rodzaju wiadomości tekstowe i wyświetlać je na wyświetlaczu OLED. Zintegrowany brzęczyk daje sygnał dźwiękowy dla każdej odebranej wiadomości.

<http://bit.ly/3b5Yc4f>

Kompaktowy moduł z ESP32 i energooszczędnym ekranem LCD

Ta podręczna płyta jest wyposażona w mikrokontroler ESP32 i zawiera transfleksyjny wyświetlacz LCD z pamięcią firmy Sharp. Podobnie jak w przypadku poprzedniego projektu autora (smartwatch



Chronio), projekt ten koncentruje się na niskim zużyciu energii. Korzystając z rdzenia ULP ESP32, płyta może wejść w głęboki sen z aktywnym wyświetlaczem. Oprogramowanie zawiera interfejs menu z prostym czytnikiem kanałów RSS. Niektóre z kluczowych funkcji układu to:



- wyświetlacz SHARP 2,7" o rozdzielczości 400×240 px,
- akcelerometr MPU6050 do emulacji myszy i klawiatury,
- akumulator Li-Po o pojemności 350 mAh z ładowaniem USB,
- zawsze włączony ekran z poborem mocy 180 µW,
- 4-kierunkowy joystick i przyciski,
- data i czas zachowywane we wbudowanym zegarze czasu rzeczywistego z synchronizacją NTP,
- kanał RSS i parser witryny.

Najnowsza aktualizacja oprogramowania dodaje również obsługę powiadomień systemu iOS. W ten sposób prosty moduł na ESP32 może być używany jako wyświetlacz do powiadomień.

Oprócz Wi-Fi, ESP32 ma zintegrowany Bluetooth i BLE. Podobnie jak w przypadku smartwatcha, umożliwia to odbieranie powiadomień, które są nadawane z telefonu. Na urządzeniach Apple usługa Centrum powiadomień Apple (ANCS) umożliwia to bez konieczności korzystania z oprogramowania innej firmy. Pozostało tylko napisać trochę kodu w ESP32, aby zasubskrybować te wiadomości.



Ponieważ Wi-Fi i Bluetooth mają ten sam interfejs i antenę w module z ESP32, trudno jest sprawić, aby oba działały jednocześnie. W tej chwili połączenie BLE musi zostać zatrzymane, aby włączyć Wi-Fi. Na razie autor ma problem z przełączeniem się z Wi-Fi na Bluetooth, jednakże na pewno, gdy już sobie z nim poradzi, opisze to na stronie. Warto obserwować postępy tego projektu.

<http://bit.ly/3b5Ak0y>
<https://bit.ly/3nTSKWn>



Konkurs Automation 2021

Portal Instructables uruchomił tegoroczną edycję konkursu Automation. Tematem przewodnim tego cyklu konkursów jest szeroko pojęta automatyzacja. Jeśli kiedykolwiek zdarzyło Ci się zautomatyzować jakies



REKLAMA

COMPUTER CONTROLS

Autoryzowany dystrybutor Altium w Polsce

Sprawdź nowe plany Subskrypcji Altium.

Subskrypcja Altium 365 Standard

Przechowywanie i współdzielenie danych w chmurze dla projektantów PCB, a ponadto m.in.

- Wszystkie aktualizacje oprogramowania Altium Designer
- Dostęp do społeczności AltiumLive, w tym forum dyskusyjnego
- Podstawowy interfejs ECAD/MCAD

Subskrypcja Altium 365 Pro

Kompleksowe zarządzanie komponentami i danymi projektowymi PCB, a ponadto m.in.

- Wszystkie aktualizacje oprogramowania Altium Designer
- Priorytetowy dostęp do wsparcia technicznego Altium
- Zaawansowany interfejs ECAD/MCAD



Computer Controls Sp. z o.o.
 Bielsko-Biała, ul. Budowlanych 1

tel.: +48 (33) 485 94 90

e-mail: info@ccontrols.pl
www.ccontrols.pl



zadanie, to możesz opisać to na portalu Instructables i zgłosić swój projekt do konkursu.

W konkursie przewidziano aż 19 nagród. Główna nagroda to bono o wartości 500 dolarów, który zrealizować można na portalu Amazon. Następne trzy nagrody warte są po 250 dolarów (także w bonach). Kolejne nagrody to pięć bonów po 150 dolarów i dziesięć nagród po 50 dolarów. Termin nadsyłania zgłoszeń upływa 29 marca tego roku. Na czas pisania artykułu złożono 31 projektów.

<http://bit.ly/2ZZcDAW>



Demonstrator maszyny Turinga Mk 2

„Byłem naprawdę zadowolony ze sposobu, w jaki prezentował się mój TMD-1. Uważam, że spełnił założone cele – był łatwy do zaprogramowania i łatwy do zrozumienia. Aby pomóc w osiągnięciu tych celów, sama maszyna była ograniczona do 3 symboli i małej taśmy z 10 komórkami. Dobra do celów edukacyjnych, ale trochę anemiczna, jeśli chcesz eksplorować maszyny Turinga z nieco większą głębią”, tak zaczyna opis projektu autor. Dlatego też w kolejnej swojej konstrukcji idzie dalej i za cel stawia sobie system, który pracować będzie z 6 symbolami.

Nowy system oparty jest na Raspberry Pi 4, kamerze i wyświetlaczu o przekątnej 7”. Całość umieszczona jest w obudowie wykonanej w technologii druku 3D. Najlepszą częścią TMD-1, jak zauważa sam autor, jest interfejs w postaci kafelków. Programowanie maszyny przez wypełnienie tabeli przejść stanów „specjalnymi” kafelkami

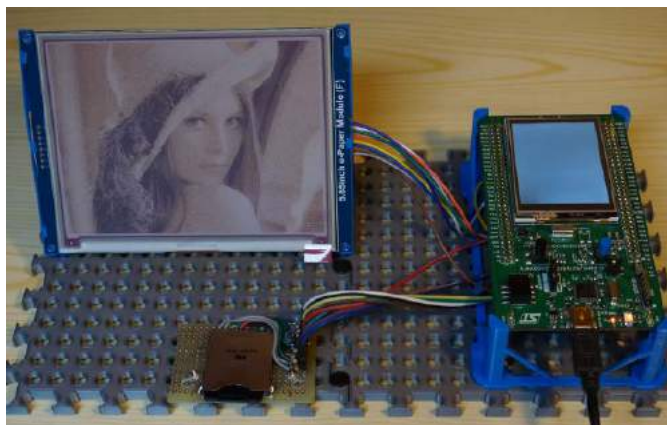


wydać się naturalne, co wynika z dotykowej natury procesu. To także świetna zabawa. „Kilka osób przejrzało Przewodnik Szybkiego Startu dla TMD-1 i wszyscy się zgadzają: to łatwe i przyjemne. Więc jeśli to możliwe, chciałbym nadal używać płytek”, napisał autor na początku projektu.

Utrzymanie interfejsu kafelków na większej maszynie wiązało się jednak z pewnymi problemami. Największym z nich była technologia użyta do odczytu płytek – nie skaluje się dobrze. Zinterpretowanie 24 płytek w tabeli zmian stanów dla TMD-1 wymagało 33 czujników Halla. Maszyna z 4 stanami/4 symbolami wymagałaby 88 czujników, a maszyna z 6 stanami/6 symbolami wymagałaby 252 czujników. Przy około 2 dolarach za sztukę sumuje się to dość szybko do wysokiej kwoty, nie wspominając o problematyce okablowania ich wszystkich. Oczywiście to nie zadziała. Dlatego też autor wybrał inne rozwiązanie.

Po przeanalizowaniu wszystkich dostępnych możliwości zdecydował się na optyczne rozpoznawanie znaków (OCR). Kamera nad tabelą zmian stanów robi zdjęcie i przetwarza obraz na tekst, który jest zrozumiały dla algorytmu. Autor wykorzystał Tesseract – silnik OCR, pierwotnie opracowany przez firmę Hewlett-Packard w latach 80. XX wieku. W 2005 roku został wydany, jako oprogramowanie typu open source, a obecnie jego rozwój jest sponsorowany przez Google. Kod w Pythonie ma wykorzystywać OpenCV oraz biblioteki Tesseract. System pracuje na Raspberry Pi, gdzie bez problemu da się uruchomić wszystkie biblioteki. „Nigdy wcześniej nie tworzyłem programowania w Pythonie, więc będzie fajnie”, zapowiada dalszą część projektu autor.

<http://bit.ly/2PjyWit>



Najwolniejszy ekran z tylko siedmioma kolorami

„Może jest powolny, ale za to ma mało kolorów!”.

Nie jest to najlepsza reklama tego ekranu, jednak należy docenić starania autora, a także zwrócić uwagę na proponowaną przez niego aplikację układu. System działa podobnie do cyfrowej ramki do zdjęć, ale zamiast pokazywać sekwencję zdjęć, odtwarza film klatka po klatce. Obrazy pojawiają się na 7-kolorowym wyświetlaczu typu e-paper. Cały film jest zapisywany jako sekwencja obrazów *jpeg* na karcie SD. Mikrokontroler STM32 odczytuje pliki z karty SD i aktualizuje wyświetlacz z szybkością jednej klatki na minutę.

Celem projektu było skonstruowanie niezależnego urządzenia, zasilanego bateryjnie w ładnej obudowie wydrukowanej w 3D. Ten projekt, jak zaznacza autor, jest dopiero na początkowym etapie: „Będę publikował aktualizacje w miarę jego postępu”, obiecuje. Warto dodać do obserwowanych tę stronę. Dodatkowo cały kod programu jak i modele 3D są dostępne na GitHubie autora.

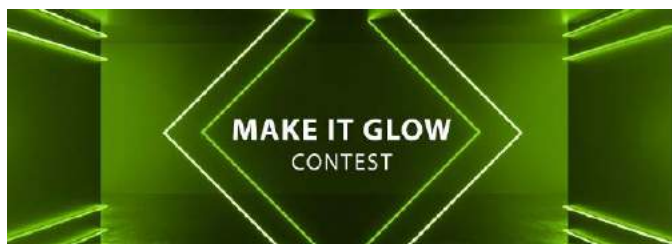
Projektowany układ musi mieć jak najmniejszą moc, ponieważ baterie muszą wystarczyć na co najmniej kilka miesięcy. Autor nie wybrał jeszcze ogniwa do zasilania systemu, ale jeśli będzie to akumulator litowo-jonowy, będzie można go ładować przez USB, natomiast baterie



AA będą musiały zostać wymienione po rozładowaniu. Ostatecznie autor planuje wykonać niestandardową płytkę PCB ze wszystkimi komponentami, ale do wstępnego prototypu i weryfikacji koncepcji użyto płyty uruchomieniowej STM32F4 Discovery.

Wyświetlacze e-paper są idealne do tego zadania, ponieważ pobierają energię tylko wtedy, gdy obraz się zmienia. Moduł wyświetlacza jest zamontowany na płytce drukowanej, która podłączona jest do modułu z mikrokontrolerem. Znajdują się tam także tranzystory, odpowiedzialne za odłączanie zasilania od nieużywanych elementów.

<http://bit.ly/3swuXO2>



Make It Glow – konkurs na „świejące” projekty

Konkurs Make It Glow jest otwarty dla wszystkich, którzy napisali swój własny poradnik na portalu Instructables. Konkurs portalu nie ma żadnych konkretnych wymagań, oprócz tego, że przedstawiony projekt świeci. Wykorzystać można żarówki, diody LED, świejące w nocy barwniki... wszystko, co w jakiś sposób emituje światło. Portal oferuje aż 19 różnych nagród w postaci bonów do Amazona o wartości od 500 dolarów do 50 dolarów. Na czas pisania tego artykułu (5 dni przed zamknięciem zbierania prac) zgłoszono aż 139 różnych projektów.

<http://bit.ly/3kyZbNs>



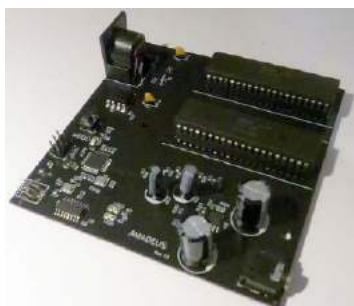
Moduł Amadeus

Celem tego projektu jest umożliwienie osobom niezbyt utalentowanym muzycznie (takim jak autor projektu, jak sam przyznaje) łatwego odtwarzania niesamowitych melodii na klasycznych układach scalonych syntezatorów muzycznych YM2149 z lat 70. czy 80. XX wieku.

Po kilku pierwszych prototypach z jednym AY-3-8910 podłączonym do Arduino autor odkrył, że 3 kanały wchodzące w skład jednego z tych układów to za mało, więc dokupił kolejny podobny moduł, tym razem z dwoma YM2149 i połączył je razem z Arduino. „To nie tylko działało, ale też ładnie brzmiało!”

Tak więc konieczny był kolejny krok, aby uczynić układ samodzielnym (tj. przestać używać płytek stykowych i kabli) i uczynić go trwałym. Po dodaniu kilku ulepszeń, takich jak wzmacniacz i wejście MIDI, narodziła się płytka Amadeus.

<http://bit.ly/3uS7IQD>



Zegar współpracujący z kamertonem

Zegar powstał wiosną 2020 roku zainspirowany innym projektem. Używa on kamertonu o częstotliwości rezonansowej równej 440 Hz do budowy oscylatora, który jest używany przez ATTiny4313 do pomiaru czasu. Dane wejściowe od użytkownika są pobierane poprzez interfejs oparty na enkoderze obrotowym z przyciskiem lub przez interfejs szeregowy. Czas jest wyświetlany



na 5 multipleksowanych, 7-segmentowych wyświetlaczach sterowanych za pomocą rejestru przesuwającego.

Oprogramowanie zostało napisane w języku C i pozwala na ustawienie czasu i precyzyjne dostrojenie szybkości działania. Mała płytka z tyłu zegara wyposażona jest w sterownik MAX232 i złącze DB-9, które umożliwia podłączenie zegara do komputera.

Kluczowym elementem tej konstrukcji, który wyróżnia ją na tle innych zegarów, jest oscylator. Układ mierzy vibracje kamertonu za pomocą uzwojenia cewki (magnetycznej). Oczywiście kamerton nie ma własnego pola magnetycznego, więc autor zaprojektował drukowany w 3D uchwyt, który zawiera cewki indukcyjne, używane jako cewki sterujące i czujnikowe, oraz magnes neodymowy, który generuje pole zewnętrzne. Podobnie jak w przypadku przetwornika gitarowego, ruch kamertonu wewnątrz tego pola generuje zakłócenia, które mogą być wychwytywane przez cewkę czujnika. Następnie sygnały te są wzmacniane.

Konieczne było dodanie dodatkowego sprzężenia zwrotnego między cewką zwrotną a cewką sterującą, aby utrzymać kamerton w stanie pracy. Autor opracował prosty obwód wzmacniacza tranzystorowego, który integruje filtrowanie w celu zminimalizowania zakłóceń harmonicznych.

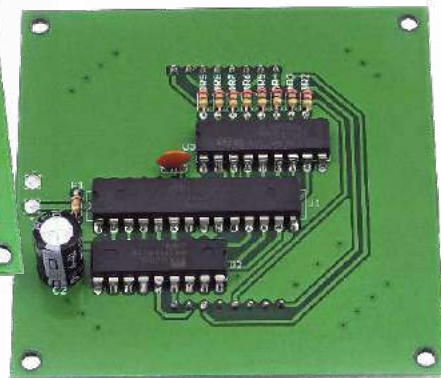
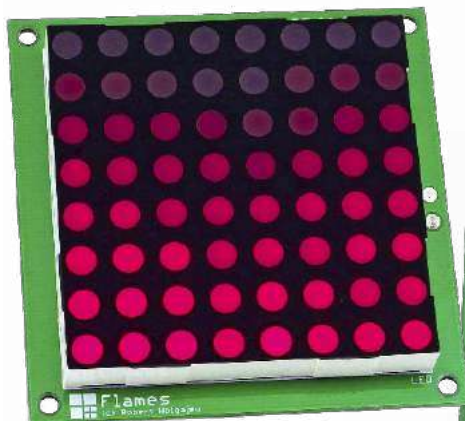
Sygnał wyjściowy cewki czujnikowej jest wzmacniany przez jednostopniowy wzmacniacz ze wspólnym emiterem i filtrowany przez pasywny filtr pasmowoprzepustowy wyśrodkowany w przybliżeniu przy 440 Hz. Stamtąd sygnał jest podawany do drugiego wzmacniacza tranzystorowego, który zasila cewkę napędową. Obwód ten jest zaskakująco skuteczny i jest w stanie utrzymać oscylacje widelce na poziomie poniżej trzech woltów przy poborze prądu około 1 mA. Podczas pracy z napięciem 5 V, tak jak w gotowym zegarze, jest on również wystarczająco czuły, aby uruchamiać się samoczynnie, eliminując potrzebę manualnego „uruchamiania” kamertonu, aby zegar zaczął działać.

Sygnał z cewki czujnikowej jest również podawany do układu 555, co powoduje, że sygnał analogowy ze wzmacniacza cewki czujnikowej jest odpowiedni dla cyfrowego pinu wejściowego mikrokontrolera, gdzie finalnie trafia.

<http://bit.ly/3b5y5uk>

Flames

W mojej długoletniej praktyce elektro-nika-konstruktora wielokrotnie podejmowałem wyzwanie konstruowania różnorodnych systemów mikroprocesorowych, które zawierały wszelkiego rodzaju wyświetlacze. Nie powinno to specjalnie dziwić, gdyż elementy tego typu realizują niezwykle efektywny i efektowny sposób współpracy urządzenia z użytkownikiem. Tym razem zaprojektowałem bardzo prosty, lecz niezmiernie efektowny gadżet, którego jedynym zadaniem jest prezentacja dość wyszukanej animacji imitującej płomień.



Wyświetlacze matrycowe są bardzo ciekawe, jednak trzeba uczciwie przyznać, że zakres ich zastosowań jest dość specyficzny. Zwykle znajdują one zastosowanie we wszelkiego rodzaju systemach prezentacji danych, banerach reklamowych czy też systemach wielkoformatowej wizualizacji. Niestety żaden taki system w ostatnich latach nie stał się źródłem moich inspiracji. Postanowiłem to jednak zmienić. Tak powstał projekt, który nazwałem w dość wymowny sposób, a mianowicie flames.

Budowa i działanie

Schemat systemu został pokazany na rysunku 1. Jest to bardzo prosty system

mikroprocesorowy, którego sercem a zarazem elementem odpowiedzialnym za realizację całej, założonej funkcjonalności jest niewielki mikrokontroler firmy Microchip (dawniej Atmel) o oznaczeniu ATmega48. Wybór tego konkretnego modelu z szerokiej palety układów mikroprocesorowych wspomnianego producenta podyktowany był wyłącznie potrzebą zastosowania komponentu w obudowie przewlekanej mającego wymaganą liczbę wyprowadzeń (portów komunikacyjnych).

Mikrokontroler jest odpowiedzialny wyłącznie za realizację jednego zadania, a mianowicie za obsługę wyświetlacza matrycowego o organizacji 8x8 diod LED. Zadanie to realizuje z użyciem przerwań systemowych, których potrzeba stosowania wynikała z multipleksowanego mechanizmu sterowania pracą wyświetlacza. Sterowanie takie polega na okresowym wystawianiu na port wierszy (PORTB, aktywny stan wysoki) kombinacji stanów odpowiadających poszczególnym diodom LED w wybranej kolumnie i odpowiednim, cyklicznym sterowaniu portem kolumn (PORTD, aktywny stan wysoki) tak, aby sekwencje wystawione na port wierszy odpowiadały żądanej kolumnie. Mikrokontroler jest taktowany wewnętrznym, wysokostabilnym generatorem RC o częstotliwości 8 MHz. To wystarczy, aby cykliczne przełączanie portu kolumn odbywało się 400 razy na sekundę (co 2,5 ms), co implikuje częstotliwość odświeżania każdej kolumny na poziomie 50 Hz. To w zupełności wystarczy, aby zjawisko migotania diod LED (będącego wynikiem ciągłego ich przełączania) nie było widoczne.

Opisany mechanizm jest niezwykle prosty i stosowany bardzo często, gdy zachodzi potrzeba sterowania wieloma wyświetlaczami

LED (7-segmentowymi czy matrycowymi) przy użyciu ograniczonej liczby wyprowadzeń mikrokontrolera. Wszystko wyglądałoby dokładnie tak, jak opisano powyżej, gdyby nie jeden szczegół. Sytuacja komplikuje się, gdy zachodzi potrzeba regulacji jasności każdej z diod LED wymuszona chęcią jak najbardziej realistycznej symulacji efektu płomienia. Załóżmy, że chcemy, aby istniała możliwość regulacji jasności każdej diody LED w wierszu, powiedzmy w 16 krokach. Co należy zrobić? To całkiem proste, a rozwiązanie nasuwa się automatycznie. Cały czas, przez jaki procesor steruje wyświetlaczem matrycowym, podzielono na 8 następujących po sobie slotów, każdy o długości 2,5 ms, powtarzanych 50 razy na sekundę. Należy każdy taki slot podzielić na 16 mniejszych slotów, każdy trwający ok. 156 µs. W ramach tych mniejszych slotów trzeba zdecydować, jak długo wystawiany jest na port wierszy każdy ze stanów logicznych poszczególnych bitów wybranej kolumny wyświetlacza. Stosowne przerwanie systemowe, w naszym przypadku od porównania licznika Timer0 z rejestrem porównania OCR0A, musi być wywoływane nie 400, a 6400 razy na sekundę (wspomniane wcześniej 400 Hz × 16 poziomów jasności). W ramach funkcji

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.media.avt.pl

W ofercie AVT* AVT5846

Podstawowe parametry:

- efektowny gadżet świetlny - imitacja płomienia,
- obsługa wyświetlacza matrycowego LED o organizacji 8x8,
- niezależne sterowanie jasnością każdej z diod matrycy, w 16-stopniowej skali,
- zasilanie 5 V, min. 0,5 A.

Projekty pokrewne na www.media.avt.pl:

- AVT-5606 Magic Matrix (EP 10-11/2017)
- AVT-3184 Zegar/termometr z wyświetlaczem matrycowym (Edw 11/2017)
- AVT-5561 Efektowny sterownik oświetlenia EP 12/2016
- AVT-2784 Zegar matrycowy (Edw 4/2006)

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 wstawić 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 wstawione w płytkę PCB)
- wersja [A] - płytkę drukowaną bez elementów i dokumentacji Kity w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [A+] - płytkę drukowaną [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 <http://sklep.avt.pl>, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.

Wykaz elementów:

Rezystory: miniaturowe 0,25 W

R1: 22 kΩ

R2...R9: 120 Ω (wartości rezystorów należy dobrać z zakresu 62...120 Ω w zależności od oczekiwanej, maksymalnej jasności diod LED)

Kondensatory:

C1: 100 nF ceramiczny

C2: 470 µF/10 V

Półprzewodniki:

LED: wyświetlacz matrycowy KWM-50881CSB

U1: ATmega48 (DIL-28)

U2: MIC2981 (DIL-18)

U3: ULN2803A (DIL-18)

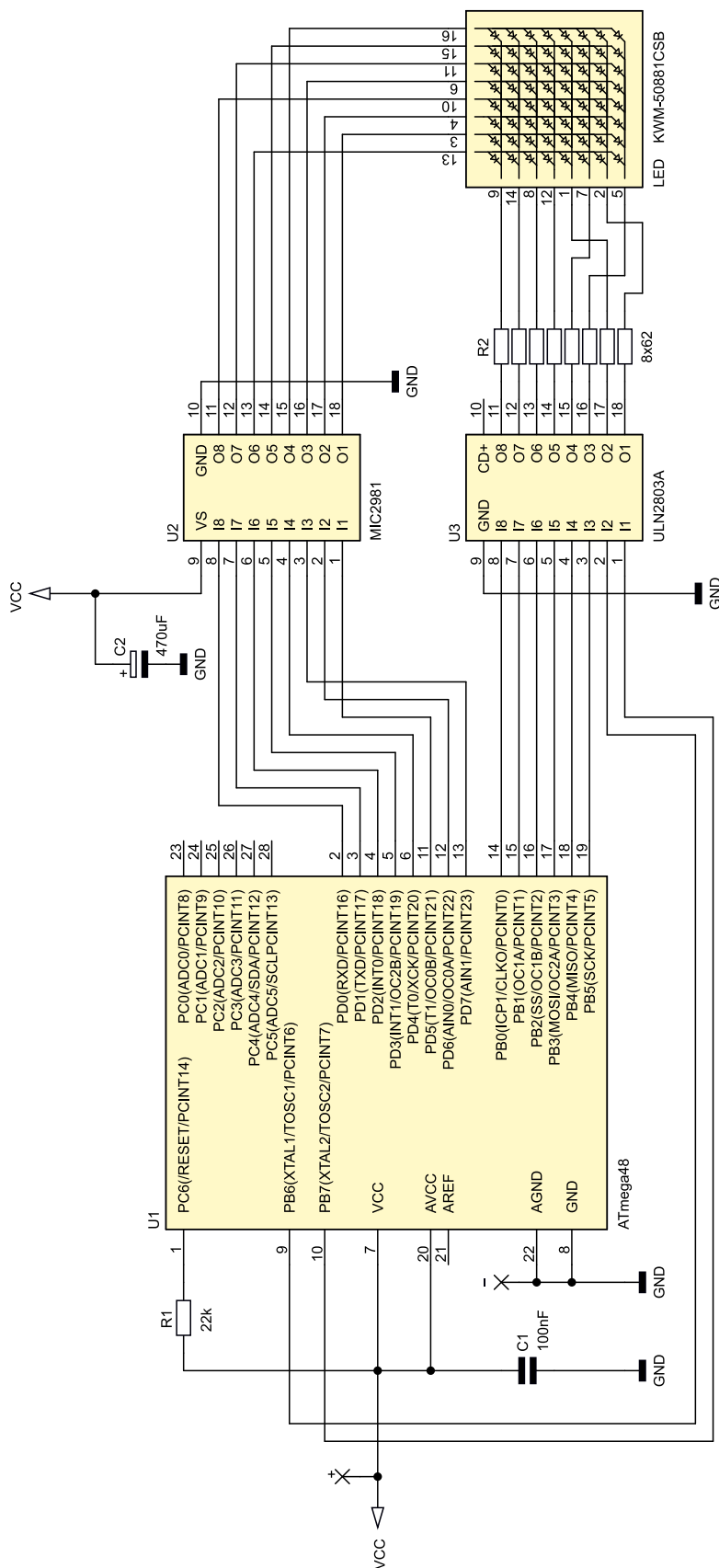
obsługi przerwania każde 16 kolejnych wywołań obsługuje jedną kolumnę wyświetlacza LED, realizując regulację jego jasności w zakresie od 0/16 do 15/16 (osobno dla każdego z bitów portu).

Wspomniane 16 kolejnych wywołań składa się na jeden 2,5 ms slot powtarzany

400 razy na sekundę. Jeśli brzmi to trochę zawile, to **rysunek 2** wyjaśni wszelkie wątpliwości. Jak widać, dla przykładowej, pierwszej kolumny wyświetlacza matrycowego pokazano sygnały sterujące na porcie kolumn i wierszy dla przypadku, gdy każda kolejna dioda tej kolumny ma coraz większą

jasność (od 0/16 do 7/16). Podobnie dla drugiej kolumny pokazano sygnały sterujące na porcie kolumn i wierszy dla przypadku, gdy każda kolejna dioda tej kolumny ma coraz większą jasność (od 8/16 do 15/16). Myślę, że dalszy komentarz jest zbędny.

Pozostaje jeszcze jedna ważna kwestia. Każda kolumna wyświetlacza jest załączana maksymalnie na 125 ms ($2,5 \text{ ms} \times 50$). Każda z jej diod świeci z jasnością średnią odpowiadającą 1/8 wartości, gdyby była załączona na stałe. Wynika z tego, że aby nie pogorszyć znacząco i tak niezbyt jasnych diod matrycy LED (8...12 mcd), należy sterować je większym prądem. To z kolei oznacza, że możliwości portów I/O mikrokontrolera są w tym przypadku niewystarczające i to nawet biorąc pod uwagę fakt, że wartość tego



Rysunek 1. Schemat ideowy urządzenia

Listing 1. Definicje połączeń portów oraz tablic umieszczonych w pamięci Flash ułatwiających dostęp do tych portów

```
//Definicje połączeń portów wierszy i kolumn
#define ROWS 8
#define COLS 8
#define GRAYSCALE_LEVELS 16

#define ROW_PORT_REG PORTB
#define ROW_DDR_REG DDRB
#define COL_PORT_REG PORTD
#define COL_DDR_REG DDRD

#define ROW0 PB5
#define ROW1 PB7
#define ROW2 PB4
#define ROW3 PB6
#define ROW4 PB3
#define ROW5 PB2
#define ROW6 PB1
#define ROW7 PB0

#define COL0 PD2
#define COL1 PD5
#define COL2 PD6
#define COL3 PD0
#define COL4 PD7
#define COL5 PD1
#define COL6 PD3
#define COL7 PD4
```

```
//Definicje zmiennych operujących
//na portach wierszy i kolumn
const uint8_t rowBits[ROWS] PROGMEM = {
    (1<<ROW0), (1<<ROW1), (1<<ROW2), (1<<ROW3),
    (1<<ROW4), (1<<ROW5), (1<<ROW6), (1<<ROW7)};

const uint8_t colBits[COLS] PROGMEM = {
    (1<<COL0), (1<<COL1), (1<<COL2), (1<<COL3),
    (1<<COL4), (1<<COL5), (1<<COL6), (1<<COL7)};
```

Listing 2. Definicje tablic opisujących zawartość ekranu wyświetlacza matrycowego

```
//Bufor wyświetlanych danych
uint8_t displayBuffer[ROWS][COLS];
//Bufor edytowanych danych
uint8_t editBuffer[ROWS][COLS];
```

Listing 3. Funkcja inicjująca mechanizm obsługi wyświetlacza matrycowego

```
void initPWM(void){
    //Port kolumn, jako wyjściowy
    //z nieaktywnym stanem 0x00
    COL_DDR_REG = 0xFF;
    //Port wierszy, jako wyjściowy
    //z nieaktywnym stanem 0x00
    ROW_DDR_REG = 0xFF;
    //Konfigurujemy Timer0
    //by przepełniał się ok. 6400 razy na sekundę
    //Tryb CTC
    TCCR0A = (1<<WGM01);
    //Porównanie ok. 6400 razy na sekundę
    OCR0A = 155;
    //Preskaler = 8
    TCCR0B = (1<<CS01);
    //Zezwolenie na przerwanie
    //Timer0 compare match A
    TIMSK0 = (1<<OCIE0A);
}
```

prądu ustawiono na niewiele, bo tylko 50 mA (z dostępnych i bezpiecznych dla wyświetlacza 100 mA, przy wypełnieniu równym 1/10). Dotyczy to zarówno portu wierszy (PORTB), jak i tym bardziej portu kolumn (PORTD), gdzie sumaryczny prąd może sięgać wartości 400 mA. Z tego powodu zastosowano drivery (U2 i U3), które rozwiązują ten problem. Dla dociekliwych Czytelników podpowiem, iż maksymalną jasność wbudowanych diod LED możemy regulować poprzez zmianę wartości rezystorów R2...R9 z zakresu 62...120 Ω , co jednocześnie wpłynie na sumaryczny prąd pobierany przez urządzenie ze źródła zasilania.

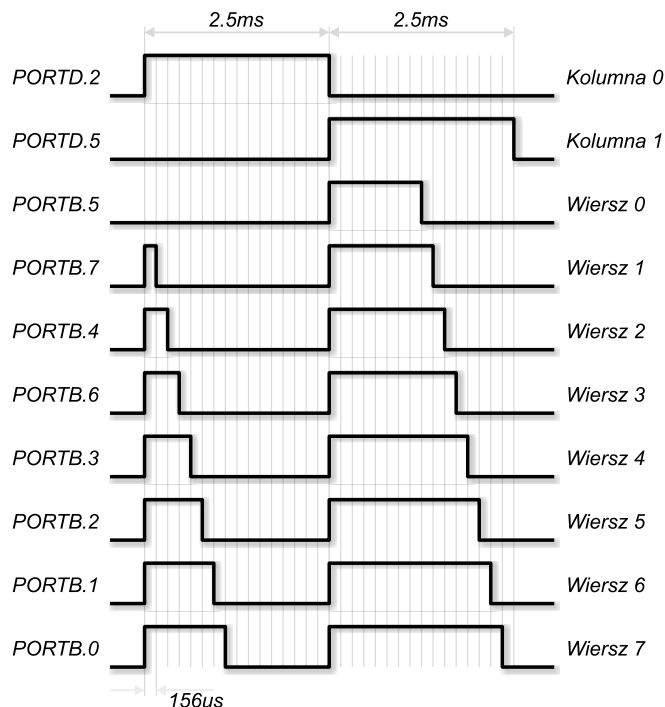
Program sterujący

Definicje połączeń portów oraz tablic umieszczonych w pamięci Flash ułatwiających dostęp do portów zostały pokazane na **listingu 1**.

Teraz powołamy do życia dwie zmienne tablicowe (tzw. bufor) opisujące zawartość pokazywaną przez wyświetlacz matrycowy. Dlaczego dwie? Pierwsza z nich to tablica, na której operuje funkcja obsługi przerwania odpowiedzialna za obsługę wyświetlacza matrycowego. Jest to bieżąca zawartość ekranu, do której dostęp z poziomu funkcji *ISR* dokonywany jest dość często, bo 6400 razy na sekundę. Druga tablica służy do wykonywania wszelkich operacji obliczeniowych, które utworzą nową zawartość ekranu. Jednym ruchem, za pomocą prostej funkcji narzędziowej, możemy przepisać jej zawartość do tablicy bieżącej (pierwszej). Definicje obu tablic pokazano na **listingu 2**. Warto podkreślić, że choć typ elementów tablicy jest zadeklarowany, jako *uint8_t* (czyli bajt bez znaku), to zakres ich wartości musi się mieścić w przedziale 0...15, gdyż opisuje on jasność każdej z diod wyświetlacza.

Na **listingu 3** została pokazana prosta funkcja inicjująca mechanizm obsługi wyświetlacza matrycowego. Ustawia ona odpowiednie kierunki portów wierszy i kolumn oraz inicjuje układ czasowo-licznikowy Timer0 mikrokontrolera, który jest odpowiedzialny za mechanizm multipleksowania.

Najważniejsza funkcja, czyli funkcja obsługi przerwania od porównania wartości licznika Timer0 z rejestrem porównania OCR0A, jest odpowiedzialna za obsługę multipleksowania wyświetlacza matrycowego oraz regulację jego jasności. Kod funkcji został pokazany na **listingu 4**.



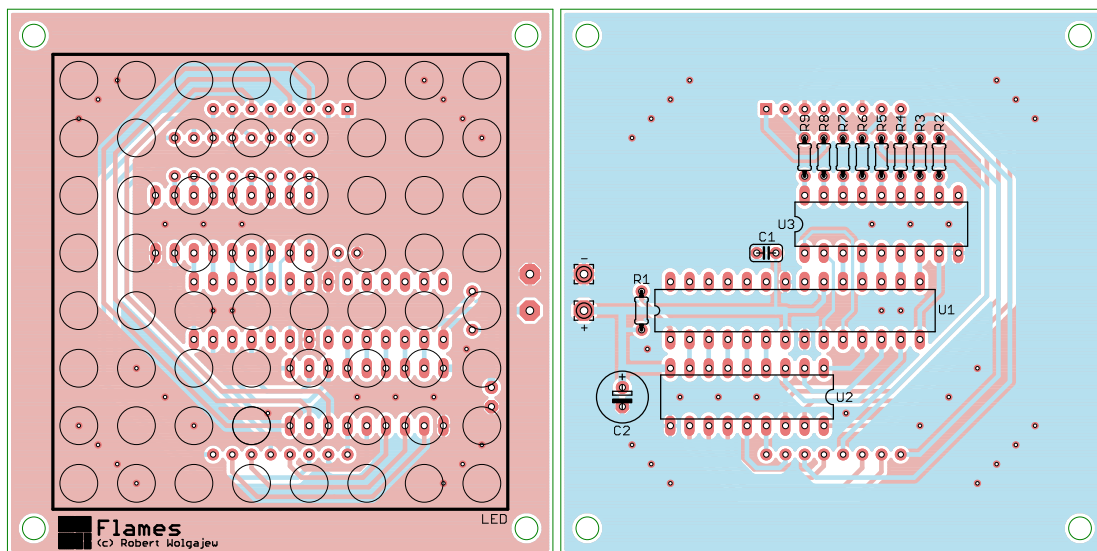
Rysunek 2. Diagram prezentujący sposób regulacji jasności poszczególnych diod matrycy LED

Listing 4. Funkcja obsługi przerwania odpowiedzialna za obsługę multipleksowania wyświetlacza matrycowego oraz regulację jego jasności

```
ISR(TIMER0_COMPA_vect){
    static uint8_t Column;
    static uint8_t Counter;
    uint8_t rowValue = 0;

    //Obliczenie wartości portu wierszy
    //na podstawie wartości PWM
    //dla poszczególnych diod wyświetlanej kolumny
    for(uint8_t Row=0; Row < ROWS; ++Row){
        if(Counter < displayBuffer[Row][Column]){
            rowValue |= pgm_read_byte(&rowBits[Row]);
        }
    }
    //Wystawienie wartości na port wierszy
    ROW_PORT_REG = rowValue;
    //Załączenie odpowiedniej kolumny
    //na początku każdego slotu 2.5ms
    if(Counter == 0){
        COL_PORT_REG = pgm_read_byte(&colBits[Column]);
    }

    if(++Counter == GRAYSCALE_LEVELS){
        Counter = 0;
        if(++Column == COLS) Column = 0;
        //Wyłączenie portu kolumn,
        //gdyż za chwilę będziemy pokazywać kolejną kolumnę
        COL_PORT_REG = 0x00;
    }
}
```



Rysunek 3. Schemat płytki PCB

Listing 5. Funkcja narzędziowa operująca na buforach obrazu wyświetlacza matrycowego

```
void showFrame(void){
    ATOMIC_BLOCK(ATOMIC_RESTORESTATE){
        memcpy(displayBuffer, editBuffer, sizeof(editBuffer));
    }
}
```

Ustawienia Fuse-bitów:

```
SUT1: 1          CKSEL1: 1
SUT0: 0          CKSEL0: 0
CKSEL3: 0        CKDIV8: 1
CKSEL2: 0
```

Listing 6. Funkcja generująca imitację płomienia na wyświetlaczu matrycowym

```
void drawFlames(void){
    uint8_t Brightness;

    //Animacja ognia
    for(uint8_t Row=0; Row<ROWS-1; ++Row){
        for(uint8_t Col=0; Col<COLS; ++Col){
            Brightness = editBuffer[Row+1][Col] << 1;
            Brightness += editBuffer[Row][Col] >> 1;
            Brightness += (Col? editBuffer[Row+1][Col-1] : editBuffer[Row+1][COLS-1]) >> 1;
            Brightness += (Col == COLS-1? editBuffer[Row+1][0] : editBuffer[Row+1][Col+1]) >> 1;
            Brightness >= 2;
            editBuffer[Row][Col] = Brightness;
        }
    }

    //Dodanie przypadkowych punktów na górze animacji
    for(uint8_t Col=0; Col<COLS; ++Col){
        Brightness = (rand()>0xB0)? rand()&0x0F : (editBuffer[ROWS-1][Col]? editBuffer[ROWS-1][Col]-1 : 0);
        editBuffer[ROWS-1][Col] = Brightness;
    }
}
```

Wreszcie na **listingu 5** pokazano prostą funkcję narzędziową umożliwiającą przepisanie zawartości bufora obrazu poddawanego edycji do bufora pamięci ekranu wyświetlacza matrycowego, na którym operuje funkcja obsługi przerwania, pokazana wcześniej na **listingu 4**. Jak widać, przepisanie zawartości buforów ujęto w sekcję `ATOMIC_BLOCK`, przez co cała operacja ma charakter atomowy z punktu widzenia programu aplikacji (nie zostanie przerwana przez jakiegokolwiek przerwanie systemowe).

Mamy już wszystkie funkcje pozwalające na obsługę wyświetlacza matrycowego zastosowanego w naszym projekcie. Brakuje wyłącznie jednej bardzo ważnej funkcji, a mianowicie funkcji generującej imitację płomienia na wspomnianym wyświetlaczu LED. Funkcja bazuje na materiale źródłowym dostępnym pod adresem: <http://bit.ly/2YWbMR1>, a jej kod został pokazany na **listingu 6**. Uważny i bardziej doświadczony Czytelnik zauważy zapewne, że w mechanizmach

sterowania jasnością wyświetlacza matrycowego, które bazują na modulacji PWM, nie zaimplementowano korekcji gamma. Funkcjonalność ta poprawiłaby rozróżnienie poszczególnych odcieni czerwieni diod LED przez oko ludzkie. Nie została zastosowana z prostego powodu. Efekt płomienia wydawał się zdecydowanie lepszy dla wersji bez korekcji gamma, więc ostatecznie porzucono to opcjonalne rozwiązanie.

Montaż i uruchomienie

Schemat montażowy urządzenia został pokazany na **rysunku 3**. Zaprojektowano dwustronną, niewielką płytkę drukowaną z zastosowaniem wyłącznie elementów przewlekanych montowanych po obu stronach obwodu drukowanego. Budowę urządzenia rozpoczynamy od warstwy BOTTOM, gdzie w pierwszej kolejności montujemy wszystkie rezystory, następnie kondensatory, a na samym końcu układy scalone. Następnie przechodzimy na warstwę TOP, gdzie montujemy

nasz wyświetlacz matrycowy, pamiętając o odpowiednim jego pozycjonowaniu (pin oznaczony jako 1 wyróżniono kwadratowym kształtem pola lutowicznego). Poprawnie zmontowany układ nie wymaga żadnych regulacji i powinien działać od razu po włączeniu zasilania. Dobierając stosowny zasilacz, należy mieć na uwadze niezbędną wydajność prądową (minimum 410 mA, w przypadku rezystorów R2...R9=62 Ω) oraz dostarczany poziom napięcia (5 V). Fotografie nie oddają prawdziwego efektu działania urządzenia, dlatego warto zobaczyć nagranie dołączone do materiałów dodatkowych.

W tym miejscu warto podkreślić, iż urządzenie flames oprócz swojej podstawowej funkcji gadżetu wizualnego może być niezłą bazą układową do własnych eksperymentów z tak sterowanym wyświetlaczem matrycowym, zwłaszcza że wprowadzono możliwość niezależnego sterowania jasnością każdej z diod matrycy.

Robert Wołgajew, EP

REKLAMA



KITY AVT na wideo: [HTTP://BIT.LY/2SCLZTY](http://bit.ly/2SCLZTY)

O KIT-ach AVT przeczytasz również na Facebooku:
[HTTP://BIT.LY/2BJVMN7](http://bit.ly/2BJVMN7)



Energooszczędny woltomierz

Gotowe moduły służące do pomiaru napięcia zazwyczaj cechują się relatywnie wysokim natężeniem pobieranego przez nie prądu – rzędu kilku miliamperów lub więcej. Jeżeli uda się znaleźć taki, który ma niskie zapotrzebowanie na energię, to zachodzi konieczność ręcznego ustawienia odpowiedniego zakresu. Prezentowany układ rozwiązuje oba te problemy.

Pomiar napięcia stałego przy użyciu przyrządu cyfrowego to dzisiaj zagadnienie oczywiste. Staje się ono bardziej złożone, kiedy przyrząd ma samodzielnie decydować o doborze odpowiedniego zakresu pomiarowego. Taka funkcja nie jest standardem nawet w nowych multimetrach. Ale została zaimplementowana w prezentowanym projekcie.

Jeszcze większy problem pojawia się, kiedy nie możemy pozwolić sobie na doprowadzenie stałego zasilania, np. sieciowego. Chcąc uzyskać bezobsługowy (niewymagający np. wciskania przycisku) podgląd monitorowanej wartości, trzeba radykalnie ograniczyć

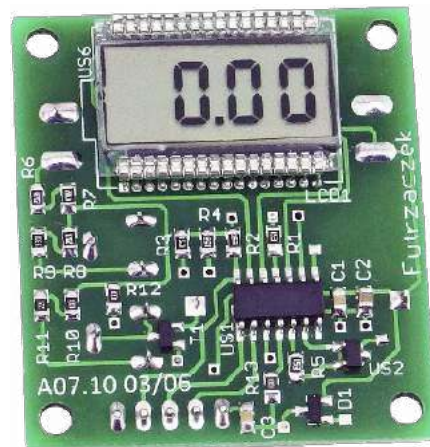
pobór prądu. Z tym problemem udało się wygrać, uzyskując ponad pół roku pracy na typowej baterii CR2032.

Budowa i działanie

Schemat ideowy energooszczędnego woltomierza został pokazany na **rysunku 1**. Źródłem zasilania dla tego układu może być bateria typu CR2032, której gniazdo znajduje się na płytce, albo zewnętrzny zasilacz napięcia stałego o wartości 3 V, podłączany do zacisków złącza J1. Tętnienia napięcia, spowodowane niezerową rezystancją wewnętrzną wyżej wymienionych źródeł zasilających układ, redukują kondensatory C1...C3.

Cykliczny pomiar oraz odświeżanie wartości wyświetlacza realizuje mikrokontroler typu ATtiny44A. Nie wykonuje zadań krytycznych czasowo, dlatego jest taktowany wbudowanym oscylatorem RC. Ponieważ pomiar napięcia przez przetwornik analogowo-cyfrowy wymaga stabilnego źródła napięcia referencyjnego o znanej wartości, został do tego wybrany zewnętrzny układ US1 typu MCP1501T-20E/CHY zamiast źródła, jakie oferuje mikrokontroler. Powód jest bardzo prosty: dokładność źródła referencyjnego zawartego w strukturze mikrokontrolera nie zachwyca. Błąd rzędu $\pm 10\%$ oraz nieznaną stabilność czasowa i temperaturowa dyskwalifikują je do realizacji pomiarów napięcia, nawet przy zastosowaniu kalibracji. **Rysunek 2** pokazuje fragment noty katalogowej układu ATtiny44A, na którym znajduje się minimalna, typowa i maksymalna wartość wewnętrznego napięcia referencyjnego.

Można zastosować źródło zewnętrzne, podłączone do wejścia ADC0, ale musi być spełniony jeden warunek. Otóż wbudowane źródło napięcia odniesienia ma wartość około 1,1 V, natomiast zewnętrzne musi mieć nie mniej niż 2 V (**rysunek 2**). Powodów producent nie podaje, lecz można sądzić, że chodzi o zapewnienie poprawnej pracy np. wtórnika napięciowego. Układ typu MCP1501T-20E/CHY idealnie nadaje się do tego zastosowania, ponieważ jego napięcie wyjściowe wynosi 2,048 V, co spełnia wymagania stawiane przez ATtiny44A. Tolerancja



wartości to zaledwie $\pm 0,1\%$, co jest wynikiem rewelacyjnym w odniesieniu do niskiej ceny (ok. 3 zł netto).

Dodatkowym atutem jest wejście wyłączające, które w tak energooszczędnej aplikacji jest bardzo istotne. Przez większość czasu napięcie referencyjne jest zbędne, wystarczy je włączyć na chwilę przed rozpoczęciem pomiaru przez przetwornik analogowo-cyfrowy i zaraz potem wyłączyć. Wówczas pobór prądu przez ten układ zasadniczo maleje – z około 140...550 μA do niecałych 200 nA (**rysunek 3**).

Mierzone napięcie jest dzielone przy użyciu dzielnika rezystancyjnego. Jego uproszczony schemat został pokazany na **rysunku 4**. Rozszerzenie zakresu pomiarowego następuje poprzez dołączenie drugiego rezystora (R9+R10+P2) równolegle do włączonego na stałe „dolnego” rezystora dzielnika

Wykaz elementów:

Rezystory (SMD 0805):

R1...R4: 47 k Ω
R5, R6: 47 k Ω 1%
R7: 6,8 k Ω 1%
R8: 15 k Ω 1%
R9: 680 Ω 1%
R10: 1,2 k Ω 1%
R11, R12: 1 k Ω
P1: 5 k Ω potencjometr THT montażowy leżący
P2: 500 Ω potencjometr THT montażowy leżący

Kondensatory (SMD 0805):

C1, C3, C4: 100 nF
C2: 10 μF 16 V

Półprzewodniki:

D1: BAT54S (SOT23)
T1: IRLML2502 (SOT23)
US1: MCP1501T-20E/CHY (SOT23-6)
US2: ATtiny44A-SSU (S014)
US3...US6: 74HC595 (S016)

Pozostałe:

B1: gniazdo baterii CR2032 THT leżące
J1, J3: ARK2/500
J2: goldpin 5 pin męski 2,54 mm THT
LCD1: DE 117-RS-20/7,5/V

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.media.avt.pl

W ofercie AVT* AVT5844

Podstawowe parametry:

- pomiar napięcia stałego w przedziale 0...99,99 V lub 0...99,8 V,
- automatyczna zmiana zakresu,
- sygnalizacja przekroczenia zakresu,
- wyświetlacz LCD 3 cyfry 7-seg.,
- rezystancja wejściowa ok. 100 k Ω ,
- napięcie zasilania 3 V (z baterii CR2032 lub złącza),
- średni pobór prądu 40 μA (ponad pół roku pracy na typowej baterii CR2032).

Projekty pokrewne na www.media.avt.pl:

- AVT-5828 Volta – miniaturowy woltomierz (EP 11/2020)
- Projekt 233 3-fazowy woltomierz TRMS (EP 10/2017)
- AVT-5367 Miernik UIPTR (EP 7/2015)
- AVT-5399 Dwukanałowy multimetr panelowy (EP 6/2013)
- AVT-5386 Podwójny woltomierz i amperomierz (EP 3/2013)
- AVT-5383 Miernik tablicowy UIPT (EP 2/2013)
- AVT-5339 Woltomierz cyfrowy (EP 4/2012)
- AVT-5333 Multimetr panelowy (EP 3/2012)
- AVT-5300 VMOD – Uniwersalny miernik napięcia (EP 7/2011)
- AVT-5233 3-kanałowy woltomierz (EP 5/2010)
- AVT-5182 Wielokanałowy rejestrator napięć (EP 4/2009)
- AVT-2857 Moduł woltomierza/amperomierza (Edw 3/2008)
- AVT-5086 Programowany 4-kanałowy komparator/woltomierz (EP 11/2002)

* Uwaga! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu. Wymagana umiejętność lutownictwa!

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 wzlutować w dołączoną płytkę drukowaną (PCB). Wykaz elementów znajduje się w dokumentacji, która jest podlinkowana w opisie kitu.

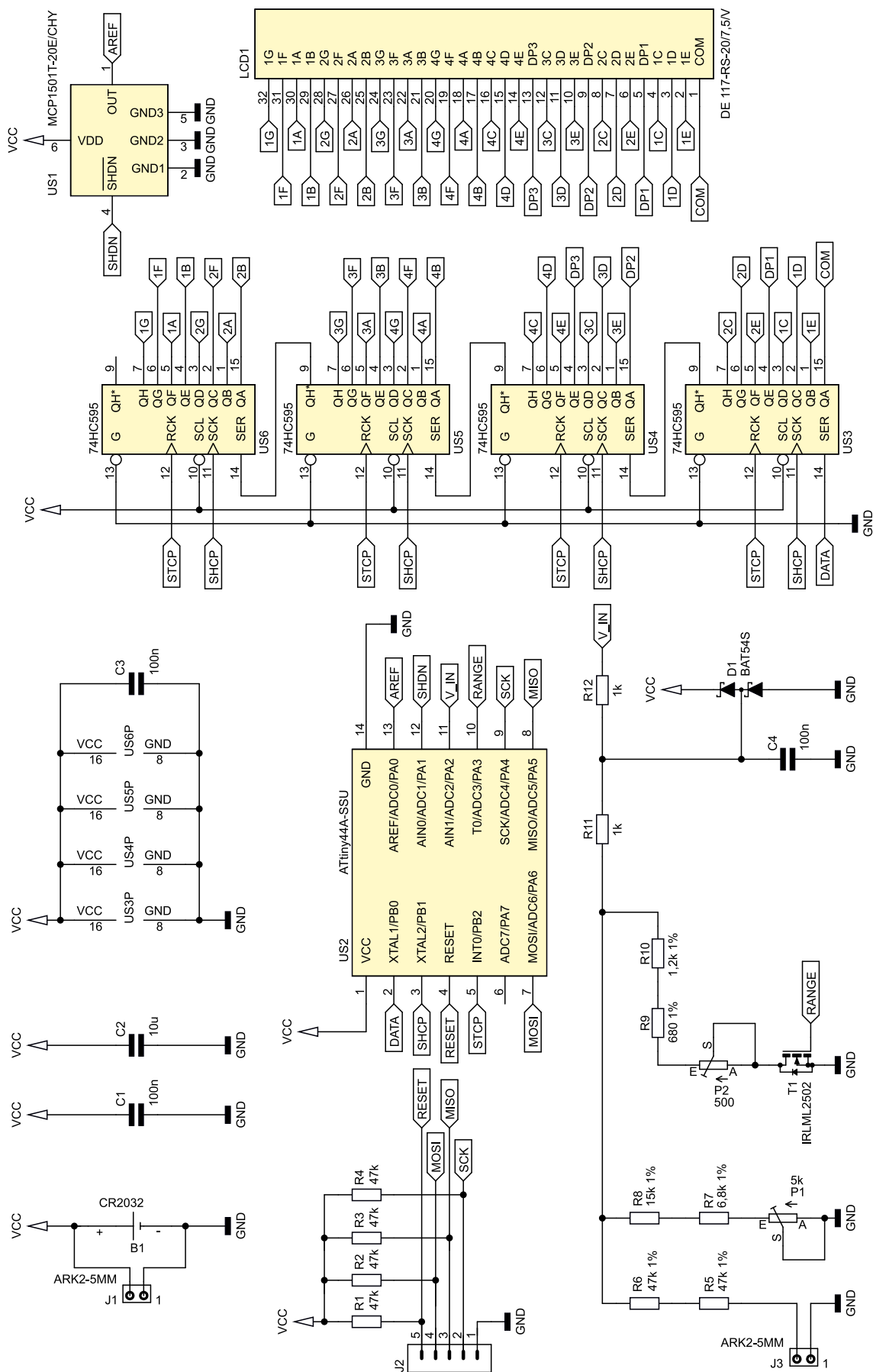
Mając na uwadze różne potrzeby naszych klientów, oferujemy dodatkowe wersje:

- wersja [C] – zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw [B] (elementy wzlutowane w płytkę PCB)
 - wersja [A] – płytkę drukowaną bez elementów i dokumentacji Kity w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
 - wersja [A+] – płytkę drukowaną [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 <http://sklep.avt.pl>, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.

(R7+R8+P1). Rysunek ten zawiera również alternatywne nazwy tych elementów, w kolorze czerwonym, co zostanie wyjaśnione w dalszej części artykułu.

Dołączanie rezystora w dzielniku umożliwia tranzystor MOSFET o niskiej rezystancji włączonego kanału. Takie rozwiązanie zostało wybrane z dwóch powodów. Pierwszym

z nich jest włączenie w szereg z R9+R10+P2 rezystancji R_{DSon} , którą łatwo można skompensować podczas kalibracji. W przypadku tranzystora bipolarnego byłoby to źródło



Rysunek 1. Schemat ideowy energooszczędnego woltomierza

napęciowe o wydajności równej jego napięciu nasycenia, co mogłoby zaburzać wyniki pomiarów prowadzonych w szerokim zakresie. Drugim powodem jest oszczędność energii elektrycznej, ponieważ bramka tranzystora MOSFET nie pobiera prądu w stanie ustalonym.

Wartości rezystorów dzielnika zostały obliczone z poniższego wzoru. Dla uproszczenia zapisu wzorów przyjęto wspomniane wcześniej nazwy alternatywne. Na zakresie do 10 V działa tylko rezystor R1, zaś do 100 V równoległe połączenie R1 i R2. Należy pamiętać, że napięcie wyjściowe U_{wy} powinno wynosić 2,048 V przy maksymalnym napięciu wejściowym U_{we} dla danego zakresu. Dla rezystorów R5 i R6 przyjęto wartości 47 kΩ, a do nich dobrano pozostałe:

$$R_{we} = 47 \text{ k}\Omega + 47 \text{ k}\Omega = 94 \text{ k}\Omega$$

$$U_{we} = 2,048 \text{ V}$$

$$R = R_{we} \cdot \frac{U_{wy}}{U_{we} - U_{wy}}$$

$$U_{wy} = 10 \text{ V}:$$

$$R_1 = 94 \text{ k}\Omega \cdot \frac{2,048 \text{ V}}{10 \text{ V} - 2,048 \text{ V}} \approx 24,209 \text{ k}\Omega$$

$$U_{wy} = 100 \text{ V}$$

$$R_1 \parallel R_2 = 94 \text{ k}\Omega \cdot \frac{2,048 \text{ V}}{100 \text{ V} - 2,048 \text{ V}} \approx 1,965 \text{ k}\Omega$$

Można teraz obliczyć rezystancję samego R2:

$$R_2 = \frac{R_1 \cdot (R_1 \parallel R_2)}{R_1 - (R_1 \parallel R_2)} \approx 2,139 \text{ k}\Omega$$

Wystarczy dobrać oporności rezystorów spośród dostępnych wartości. Warto przy tym pamiętać, że ślizgacze potencjometrów powinny znajdować się w połowie ich zakresu dla nominalnego ustawienia, tak aby była możliwa regulacja zarówno w jedną, jak i drugą stronę:

$$R_1 = R_7 + R_8 + P_1 =$$

$$6,8 \text{ k}\Omega + 15 \text{ k}\Omega + \frac{5 \text{ k}\Omega}{2} = 24,3 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = R_9 + R_{10} + P_2 =$$

$$680 \text{ k}\Omega + 1,2 \text{ k}\Omega + \frac{500 \Omega}{2} = 2,13 \text{ k}\Omega$$

Napięcie wyjściowe z opisanego dzielnika jest filtrowane przez rezystor R11 i kondensator C4, który dodatkowo zawęża pasmo szumowe. Dioda D1 ogranicza zakres napięcia, jaki może być podany na wejście przetwornika analogowo-cyfrowego. Rezystor R12 zmniejsza natężenie prądu płynącego przez diody zabezpieczające wejście mikrokontrolera, o ile taki popłynie. Może tak się zdarzyć, kiedy napięcie przewodzenia D1 byłoby wyższe.

Podczas projektowania dzielnika napięciowego konieczne było uwzględnienie prądu płynącego przez zaporowo spolaryzowane diody znajdujące się w strukturze BAT54S. Może to mieć znaczenie, ponieważ

Table 20-9. ADC Characteristics, Single Ended Channels, $T = -40^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$

Symbol	Parameter	Condition	Min	Typ	Max	Units
A_{REF}	External Voltage Reference		2.0		V_{CC}	V
V_{INT}	Internal Voltage Reference		1.0	1.1	1.2	V

Rysunek 2. Fragment noty katalogowej układu ATtiny44A pokazujący parametry wewnętrzne i zewnętrznego źródła napięcia odniesienia

TABLE 1-1: DC CHARACTERISTICS (CONTINUED)

Electrical Characteristics: Unless otherwise specified, $V_{DD(MIN)} \leq V_{DD} \leq 5.5 \text{ V}$ at $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$.						
Characteristic	Sym.	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
Supply Current	I_{DD}	—	140	550	μA	No Load
		—	—	350		No Load, $T_A = +25^\circ\text{C}$
Shutdown Current	I_{SHDN}		205		nA	$T_A = +25^\circ\text{C}$
	MCP1501-10					
	MCP1501-20		185			
	MCP1501-40		185			

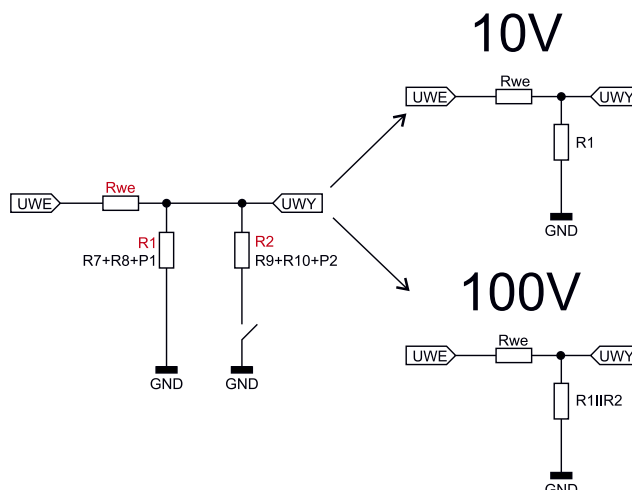
Rysunek 3. Fragment noty katalogowej układu MCP1501-20 pokazujący typowy pobór prądu przez układ

są to diody ze złączem Schottky'ego (rysunek 5). Wartość napięcia polaryzującego zaporowo nie będzie wysoka (nie więcej niż 3 V dla jednej z diod), za to możliwy jest szeroki rozrzut temperatur, co przełoży się na szeroki zakres wartości prądu wstecznego – od około 70 pA przy -25°C do nawet 2 μA przy 75°C . Dlatego rezystancja obwodu polaryzującego diody nie może być bardzo wysoka, ponieważ ten dodatkowy prąd mógłby zakłócać pomiar. Nie ma też gwarancji, że przez obie diody będzie płynął prąd o dokładnie takim samym natężeniu, co rozwiązywałoby problem.

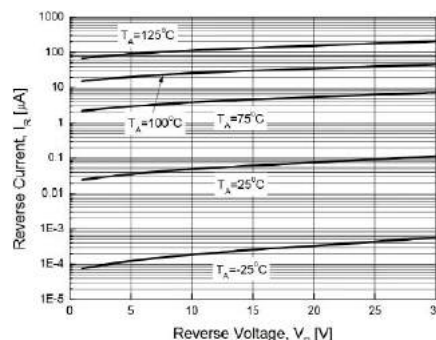
Sterowanie wyświetlaczem LCD musi odbywać się poprzez jednoczesną kontrolę wszystkich jego segmentów, ponieważ nie ma wbudowanego sterownika. Był to celowy wybór, gdyż umożliwia samodzielną budowę kontrolera, uwzględniającego wysoką energooszczędność. Służą do tego cztery rejestry przesuwne typu 74HC595. Struktura wykonana w technologii CMOS gwarantuje niskie zapotrzebowanie na energię w stanie statycznym, a dodatkowo seria HC może pracować prawidłowo zasilana napięciem już nawet 2 V.

Rejestry zostały połączone w łańcuch, aby możliwa była aktualizacja ich zawartości przy użyciu jedynie trzech wyprowadzeń mikrokontrolera. Są to linie:

- DATA – linia danych;
- SHCP – zegar danych, na zboczu narastającym następuje przesunięcie zawartości o jedną pozycję;
- STCP – zegar równoległego rejestru wyjściowego, na zboczu narastającym



Rysunek 4. Uproszczony schemat dzielnika napięcia wejściowego dla dwóch zakresów pomiarowych

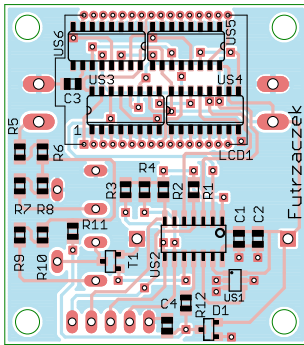


Rysunek 5. Charakterystyka prądu wstecznego w funkcji napięcia oraz temperatury dla diody BAT54S

następuje aktualizacja stanów logicznych na wyjściach QA...QH.

Obsługa wyświetlacza sprowadza się do okresowej zmiany stanów logicznych jego wyprowadzeń. Jeżeli segment ma być załączony (czarny), to stany logiczne między wyprowadzeniem tego segmentu a elektrodą wspólną (COM) muszą być odmiennie. W przypadku chęci wyłączenia segmentu wystarczy nadać mu ten sam chwilowy stan logiczny, który ma elektroda wspólna.

Mikrokontroler przez większość czasu pozostaje w stanie uśpienia. Do działania



Rysunek 6. Schemat montażowy i wzór ścieżek płytki

wybudza go układ watchdog, który generuje przerwy co ok. 64 ms. Za każdym razem dochodzi do aktualizacji zawartości rejestrów, aby segmenty wyświetlacza nie uległy elektrolizie wskutek wystąpienia składowej stałej między nimi a elektrodą wspólną. Co dwadzieścia takich wybudzeń następuje pomiar i aktualizacja zawartości ekranu.

Montaż i uruchomienie

Układ został zmontowany na niewielkiej, dwustronnej płytce drukowanej o wymiarach 45×40 mm. Jej wzór ścieżek oraz schemat montażowy został pokazany na **rysunku 6**. W odległości 3 mm od krawędzi płytki znalazły się otwory montażowe, każdy o średnicy 3,2 mm. Szczegóły dotyczące wymiarów płytki oraz lokalizacji otworów i wyświetlacza pokazuje **rysunek 7**.

Montaż warto rozpocząć od elementów lutowanych powierzchniowo, które znajdują się tylko na wierzchniej stronie płytki. Po ich zamontowaniu zalecane jest szczegółowe skontrolowanie wszystkich lutowań, ponieważ część z nich zostanie zakryta przez wyświetlacz, więc ich poprawienie będzie bardzo utrudnione.

W drugim etapie montażu należy zamontować elementy lutowane w sposób przewlekany, które znajdują się na spodniej stronie płytki – złącza J1, J2 i J3, gniazdo baterii B1 oraz potencjometry P1 i P2. Płytke z tymi elementami pokazuje **fotografia 1**.

Jako ostatni należy wlutować wyświetlacz LCD1. Nie ma on żadnej ramki ani obudowy i jest stosunkowo kruchy, a przez to podatny na uszkodzenia. Kierunek prawidłowego montażu wskazuje kropka szkła spajająca jego strukturę z boku oraz występ z lewej strony obrysu na płytce. Jego wyprowadzenia należy delikatnie dogiąć, o ile zajdzie

taka konieczność, a potem włożyć w przeznaczone dla niego miejsce (nad układami US3...US6 i kondensatorem C3) i przylutować z drugiej strony. Znajdujące się pod nim układy scalone wydzielają znikome ilości ciepła, więc może do nich dotykać, nie ma potrzeby zapewniania wentylacji.

Po zakończeniu montażu należy ustawić fuse-bity mikrokontrolera Attiny44A na następujące wartości:

Low Fuse = **0xE2**
High Fuse = **0xDE**

Spowoduje to wyłączenie preskalera sygnału zegarowego oraz ustawienie zabezpieczenia Brown-Out Detector na napięcie 1,8 V. Rdzeń układu będzie od tej chwili taktowany z częstotliwością 8 MHz, a uaktywnione zabezpieczenie zapobiegnie jego zawieszeniu w momencie włączania zasilania. Szczegóły tej konfiguracji zostały pokazane na **rysunku 8**, zawierającym zrzut okna z programu BitBurner.

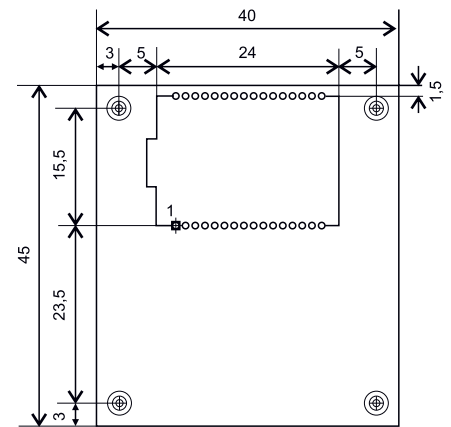
Oprócz tego należy również zaprogramować pamięć Flash przygotowanym do tego celu gotowym plikiem wynikowym w formacie .hex.

Eksploatacja

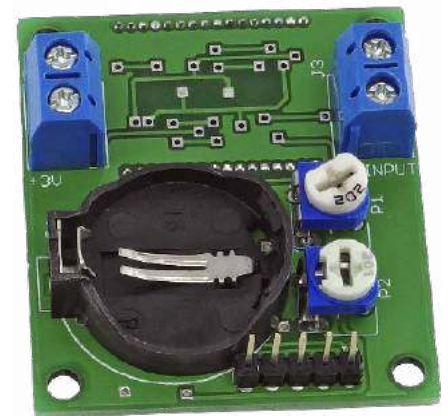
Prawidłowo zmontowany i zaprogramowany układ jest gotowy do działania. Po dołączeniu zasilania o wartości 3 V na zaciski złącza J1 lub włożeniu baterii CR2032 do kostryki zaczyna wyświetlać wartość napięcia stałego przyłożonego do złącza J3. Obie masy – zasilająca i mierzonego napięcia, są ze sobą połączone.

Aby wskazania były możliwie dokładne, należy przeprowadzić kalibrację. Jako pierwszego należy użyć napięcia o wartości mniejszej niż 10 V (ale możliwie wysokiej dla tego zakresu) i dokonać regulacji potencjometrem P1. Potem napięcie na złączu J3 należy zwiększyć, ale do wartości mniejszej niż 100 V i wyregulować wskazania potencjometrem P2. Potencjometr P1 musi pozostać nieruchomy, ponieważ jego położenie ma wpływ na oba zakresy pomiarowe.

Pomiary wykonywane są cyklicznie co około 1 s, niezależnie od zakresu, w jakim układ mierzy. Jeżeli musi dojść do jego zmiany (np. napięcie wzrosło z 9,52 V do 10,5 V), czas ten jednorazowo wydłuża



Rysunek 7. Lokalizacja wyświetlacza i otworów montażowych na powierzchni płytki



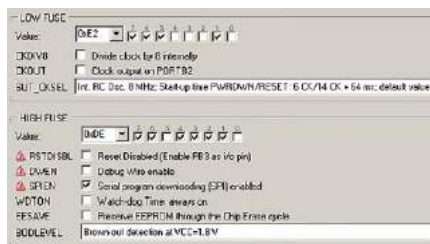
Fotografia 1. Widok zmontowanego układu – strona BOTTOM

się dwukrotnie, ponieważ pierwszy pomiar jest wykonany przy nieprawidłowym ustawieniu zakresu. Dopiero na podstawie uzyskanego wyniku jest podejmowana decyzja o przełączeniu zakresu i wykonaniu ponownego pomiaru.

Przyłożenie napięcia większego niż 100 V (a dokładniej: większego lub równego 99,9 V) spowoduje wyświetlenie komunikatu o przekroczeniu zakresu w postaci napisu „ovF”. Jeżeli napięcie wynosiłoby więcej niż 150 V, może dojść do przegrzania rezystorów R5 i R6, a w efekcie do ich uszkodzenia.

Rezystancja wejściowa układu wynosi około 100 kΩ. Wartość ta jest przybliżona, ponieważ na zakresie do 10 V wyniesie około 118 kΩ, a na zakresie do 100 V około 96 kΩ. Wejście układu jest zabezpieczone przed wyładowaniami elektrostatycznymi oraz zakłóceniami o charakterze impulsowym.

Średni pobór prądu wynosi 40 μA przy zasilaniu układu napięciem o wartości 3 V. Zakładając pojemność baterii CR2032 na poziomie 200 mAh, daje to prawie 7 miesięcy pracy. Minimalne napięcie zasilające układ wynosi 2,25 V i jest podyktowane koniecznością zapewnienia prawidłowych warunków pracy dla źródła napięcia odniesienia US1. Podnoszenie napięcia zasilającego znacznie powyżej 3 V może negatywnie wpłynąć na wyświetlacz LCD1.



Rysunek 8. Konfiguracja bitów zabezpieczających w programie BitBurner

Jeżeli źródłem zasilania byłby zasilacz, musi on mieć możliwość „wciągania” prądu lub mieć dołączone inne zasilane układy albo chociaż diodę typu transil. Ma to związek z potencjalnym otwarciem się górnej diody D1, przez który może płynąć prąd w kierunku linii zasilającej. Jeżeli jego wartość byłaby większa niż zapotrzebowanie układu, wówczas napięcie zasilania mogłoby wzrosnąć.

Dla dociekliwych

Ciągła praca przetwornika analogowo-cyfrowego byłaby niekorzystna z powodu relatywnie wysokiego poboru prądu przez układ. Trzeba go włączać tylko na czas wykonywania pomiaru, a ten odbywa się co około sekundę. Na **listingu 1** znajdują się fragmenty kodu programu, napisanego w języku C, który odpowiada za obsługę tego przetwornika i dopasowanie zakresu pomiarowego.

Po pobraniu i przeskalowaniu wyniku układ wyłącza zarówno sam przetwornik, jak i zewnętrzne źródło napięcia odniesienia. Następnie podejmuje jedną z pięciu akcji:

1. Ustalono zakres do 10 V, a wynik mieści się w przedziale, zatem następuje jego wyświetlenie;
2. Ustalono zakres do 10 V, a wynik wskazuje na przekroczenie zakresu. Podczas następnego pomiaru zostanie zmieniony zakres na 100 V;
3. Ustalono zakres do 100 V, a wynik mieści się w przedziale, zatem następuje jego wyświetlenie;
4. Ustalono zakres do 100 V, a wynik jest mniejszy niż 10 V. Podczas następnego pomiaru zostanie zmieniony zakres na 10 V;
5. Ustalono zakres do 100 V, a wynik wskazuje na przekroczenie zakresu. Wyświetlony zostanie komunikat informujący o przekroczeniu możliwości pomiarowych tego przyrządu.

Punkt 4 wyjaśnia istnienie pewnej histerazy, jaką można zauważyć przy zmniejszaniu napięcia. Otóż raz ustawiony zakres do 100 V nie będzie zmieniany tak długo, jak długo zachodzi taka potrzeba. Zatem powoli opadające napięcie zostanie odczytane, na przykład jako: 10,1 V, potem 10,0 V, a później, na przykład, 9,83 V.

Powód jest prosty: na tym zakresie rozdzielczość pomiaru wynosi 0,1 V. Układ nie ma zatem możliwości rozróżnienia napięcia, przykładowo, 10,03 V od 9,97 V. Dopiero wynik zinterpretowany jako 9,9 V (lub niższy) przyczyni się do automatycznej zmiany zakresu. Jeżeli napięcie rośnie, efekt ten nie wystąpi.

Automatyczna zmiana zakresu „zabiera” jeden pomiar, ponieważ prawidłowy wynik zostanie pobrany przy następnym załączeniu przetwornika, z docelowo ustawionym dzielnikiem napięcia. Uznano jednak, że będzie to zjawisko na tyle rzadko występujące, że nie stanie się dokuczliwe.

Listing 1. Wybrane najistotniejsze fragmenty kodu programu

```
#define CNT_READ 20 //co tyle wybudzeń będzie odczytywany ADC
volatile uint8_t cyfry[4] = {10, 10, 10, 10}; //cyfry do wystawienia na LCD
//pozycja załączonej kropki: 0 - pierwsza, 1 - druga,
//2 - trzecia, coś innego - brak
volatile uint8_t poz_kropki = 3;
volatile uint8_t cnt_read = CNT_READ; //aby natychmiast odczytać ADC
volatile uint32_t adc; //wartość pobrana z ADC
volatile uint8_t range = 0; //0 - zakres do 10V, 1 - zakres do 100V
//jeżeli 1, to wynik pomiaru był już wykorzystany
volatile uint8_t measure_good = 0;

//Przerwanie od zakończonej konwersji ADC
//pusta obsługa przerwania, aby nie pozostało nieobsłużone
ISR(ADC_vect){ }

//Główna funkcja programu

int main(void){
//...
while(1){
    cnt_read++; //inkrementacja zmiennej do odczytania ADC
    if(cnt_read >= CNT_READ){
        cnt_read = 0; //przygotowanie do następnego odliczenia
        PORTA |= (1<<PORTA1); //załączenie AREF
        //zewnętrzny AREF + ADC2 jako wejście
        ADMUX = (1<<REFS1) | (1<<MUX1);

        //załączenie tranzystora modyfikującego dzielnik wejściowy
        if(range){
            PORTA |= (1<<PORTA3); //do 100V: załączony
        }else{
            PORTA &= ~(1<<PORTA3); //do 10V: wyłączony
        }

        measure_good = 0; //wyzeroowanie flagi
        ADCH = 0; //wyczyszczenie rejestrów
        ADCL = 0;
        //oczekiwanie na ustabilizowanie źródła napięcia odniesienia
        delay_ms(1);
        //załączenie przetwornika ADC
        ADCSRA = (1<<ADEN) | (1<<ADSC) | (1<<ADIF) | (1<<ADPS2) | (1<<ADATE);

        while(bit_is_clear(ADCSRA,ADIF)); //oczekiwanie na koniec pomiaru

        adc = ADCL | (ADCH << 8); //pobranie wyniku pomiaru
        PORTA &= ~(1<<PORTA1); //wyłączenie źródła napięcia odniesienia
        //wyłączenie ADC przez wyzerowanie rejestrów sterujących jego pracą
        ADMUX = 0;
        ADCSRA = 0;
        adc *= 1000; //bardzo prosta konwersja z przedziału 0-1023 na 0-999
        adc /= 1024;

        //1 - jeżeli mierzono na zakresie do 10V i wynik jest poprawny
        if(adc < 999 && range == 0){
            poz_kropki = 1; //załącz kropkę w odpowiednim miejscu
            cyfry[0] = 10; //wyłącz cyfrę najbardziej na lewo
            cyfry[1] = adc / 100; //rozbicie jednej liczby na trzy cyfry
            adc -= cyfry[1] * 100;
            cyfry[2] = adc / 10;
            adc -= cyfry[2] * 10;
            cyfry[3] = adc;
            measure_good = 1; //wynik pomiaru został wykorzystany
        }

        //2 - jeżeli przekroczono zakres do 10V
        if(adc >= 999 && range == 0){
            range = 1; //zmień zakres na 100V
            //oraz zablokuj możliwość użycia tego wyniku pomiaru
            measure_good = 1;
        }

        //3 - jeżeli mierzono na zakresie do 100V i wynik jest poprawny
        if(adc < 999 && adc > 99 && range == 1 && measure_good == 0){
            poz_kropki = 2; //załącz kropkę w odpowiednim miejscu
            cyfry[0] = 10; //wyłącz cyfrę najbardziej na lewo
            cyfry[1] = adc / 100; //rozbicie jednej liczby na trzy cyfry
            adc -= cyfry[1] * 100;
            cyfry[2] = adc / 10;
            adc -= cyfry[2] * 10;
            cyfry[3] = adc;
            measure_good = 1; //wynik pomiaru został wykorzystany
        }

        //4 - jeżeli na zakresie 100V podano napięcie do 10V
        if(adc <= 99 && range == 1 && measure_good == 0){
            range = 0; //zmień zakres na 10V
            //oraz zablokuj możliwość użycia tego wyniku pomiaru
            measure_good = 1;
        }

        //5 - jeżeli na zakresie do 100V został przekroczony zakres
        if(adc >= 999 && range == 1 && measure_good == 0){
            poz_kropki = 3; //wyłącz kropkę
            //napisz 0vf, jeżeli wynik pomiaru przekracza 100V
            cyfry[0] = 10;
            cyfry[1] = 11;
            cyfry[2] = 16;
            cyfry[3] = 13;
            //zablokuj możliwość użycia tego wyniku pomiaru
            measure_good = 1;
        }
    }
}
return 0;
}
```

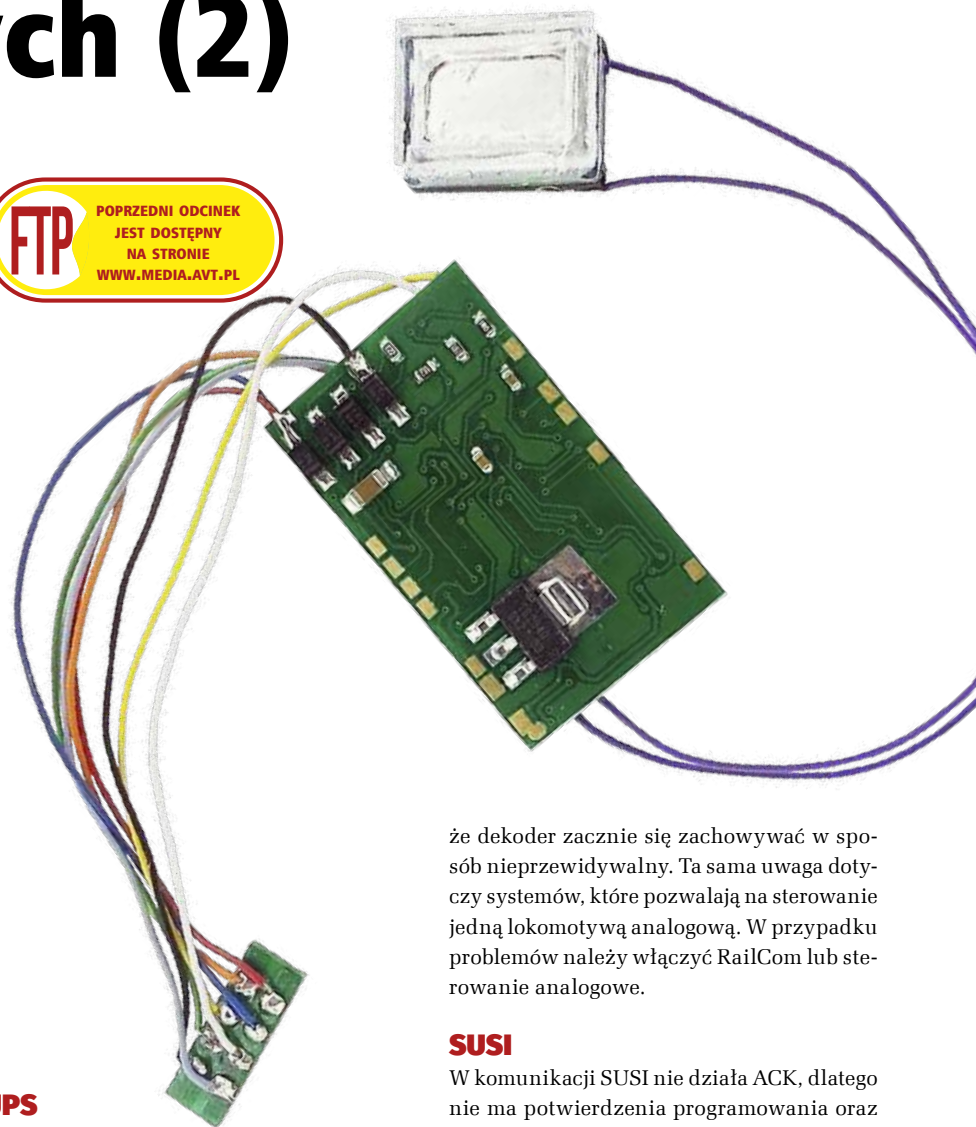
Na podstawie 5 punktu można wywnioskować, dlaczego najwyższa wskazywana przez ten układ wartość napięcia może wynosić 99,8 V. Jeżeli wynosiłoby ono 99,9 V, przetwornik analogowo-cyfrowy nasyci się, czyli wystawi maksymalną możliwą liczbę

na swoim wyjściu. Nie będzie zatem wiadome, czy przyłożone napięcie to 99,9 V, czy np. 105 V, ponieważ zawartość rejestrów przechowujących wynik pomiaru będzie dokładnie taka sama dla obu sytuacji.

Michał Kurzela, EP



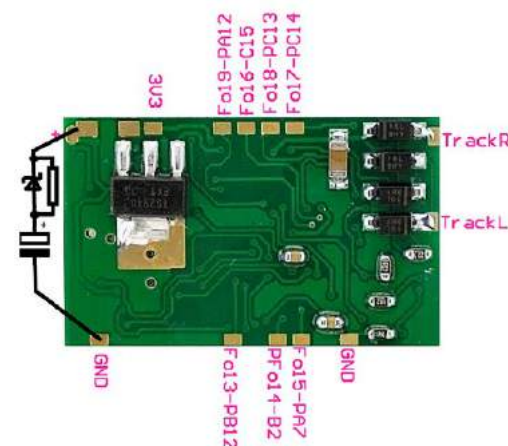
**POPZREDNI ODCINEK
JEST DOSTĘPNY
NA STRONIE
WWW.MEDIA.AVT.PL**



W komunikacji SUSI nie działa ACK, dlatego nie ma potwierdzenia programowania oraz możliwości odczytu CV z dekodera przyłączonego przez SUSI.

Ze względu na znaczny pobór prądu przez układ zdźwiękowy praca dekodera bez układu podtrzymania zasilania nie ma większego sensu. Kondensator UPS można podłączyć tak, jak to zostało naszkicowane na **rysunku 8**. Zalecane parametry kondensatora to 1000 μF /25 V lub więcej (minimalnie 220 μF). Konieczny jest prosty układ ładowania – wartość rezystora to 47...100 Ω , dioda dowolna 1 A, najlepiej Schottky'ego.

Dekoder nie wysyła informacji w standardzie RailCom, ale przerwy w transmisji/zasilaniu, generowane na potrzeby tego systemu, nie przeszkadzają w komunikacji. Ze względu na to, że opcję wprowadzono niedawno i nie została przetestowana na dużej liczbie systemów, nie można zagwarantować, że funkcja działa bezbłędnie. Może ona powodować,



27

Wykaz elementów:**Rezystory:**

R1: 0,22 Ω SMD1206
 R2, R3, R8, R11: 22 kΩ SMD0603
 R4, R6: 47 kΩ 1% SMD0603
 R5, R7: 6,8 kΩ 1% SMD0603
 R9, R10: 1 Ω SMD0603

Kondensatory:

C1: 10 μF/25 V SMD1206 ceramiczny
 C2: 220 μF/6,3 V tantalowy
 C3, C10: 47 μF/10 V SMD1206 ceramiczny
 C4, C5, C6, C9: 100 nF SMD0603 ceramiczny
 C7, C8: 2,2 μF* SMD0603 patrz tekst

Półprzewodniki:

D1...D6: SS16L-R2 (SMA)
 T1, T2: 2N7002DWH6327XTSA1 (SC-88)
 U1: TS2940CW-3.3 (SOT-223)
 U2: A4952ELYTR-T (MSOP-10)
 U3: TPA2005D1DGN (MSOP-8)
 U4: STM32F091CCT6 (LQFP-48)



Rysunek 9. Zalecany sposób dołączania diod LED

Pewny odczyt CV

Innowacyjna funkcja powoduje, że silnik praktycznie stoi przy odczycie rejestrów, mimo że płynnie przez niego maksymalny prąd. Dzięki temu ryzyko przzerwiania odczytu (słaby styk) jest zmniejszone do minimum (<https://bit.ly/2OIeZl9>). Przy okazji jest to korzystniejsze dla układów mechanicznych niż szarpanie w jedną i drugą stronę.

Wyjścia funkcyjne

Dekoder ma 21 wyjścia (modyfikując oprogramowanie, można zwiększyć do 25), w tym 13 PWM, cztery mocy i cztery wyjścia serwomechanizmów. Wyjścia cyfrowe TTL-LV sterujące obciążeniem w postaci diod LED najlepiej wykorzystywać z inwersją (ustawienie domyślne), sterując katodą diody, jak to zostało pokazane na **rysunku 9**. Podstawową zaletą takiego połączenia jest uzyskanie

na wyjściu wyższego napięcia, co ma znaczenie dla białych i niebieskich diod LED. Dodatkowo, dioda nie pobiera prądu z kondensatora UPS. Trzeba pamiętać o ograniczeniu prądu pobieranego z wyjścia cyfrowego do 25 mA na jedno wyjście i 80 mA dla wszystkich wyjść razem.

Oświetlenie do jazdy manewrowej, światła PKP E1

Dekoder umożliwia dla jazdy manewrowej włączenie obu (FR i FH) wyjść sterujących światłami (konfiguracja w CV24). Powoduje to niestety świecenie zarówno białych, jak i czerwonych światel, jeśli lokomotywa jest w nie wyposażona. Ponadto świecą oba czołowe, a powinno jedno. Dekoder ma możliwośćysterowania wyjścia w czasie jazdy manewrowej. Budując prosty układ z **rysunku 10**, składający się z kilku diod, można zapewnić oświetlenie po części zgodne z instrukcją PKP E1. Działanie układu jest bardzo proste, niepotrzebne diody są zwierane przez tranzystor wyjściowy w dekodzie, za pośrednictwem diod Schottky'ego. Skonfigurowanie wyjścia blokady światel w CV24 powoduje, że wyjście to nie pracuje w trybie PWM, lecz ma stabilny aktywny poziom. Tę samą funkcjonalność można osiągnąć mapując klawisz F3 na wybrane wyjście, jednocześnie ustawiając na nim PWM=255.

Oświetlenie PKP E1 dostępne jest w dwóch wariantach, pełnym, wymagającym 10 wyjść

funkcyjnych, w tym dwóch FR i FH, oraz Basic, do którego wystarczy 6 wyjść razem z FR i FH. Basic ma pewne ograniczenia, brak Pc2, Pc6, manewrowe tylko z jednej strony, a przy postoju świeci także górny reflektor. Oświetlenie PKP włącza się w rejestrze CV24. Przypisanie wyjść do światel PKP realizują rejestry 303–310.

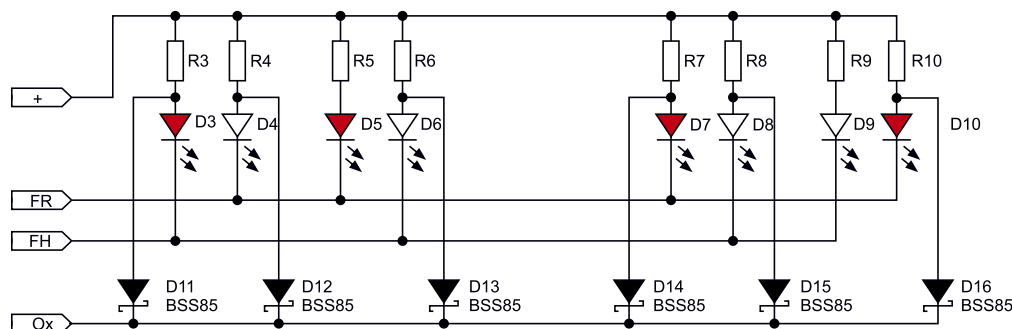
Głośnik

Do dekodera można podłączyć miniaturowy głośnik w wymiarach 15×11×3,5 mm, a z komorą rezonansową (zalecane rozwiązanie) 15×11×7 mm. Najlepsze rezultaty osiągnięto z głośnikiem typu Mini 1511 (<https://bit.ly/37sVtzR>), jego podstawowe parametry to: moc: 500 mW, impedancja: 8 Ω, pasmo: 650 Hz...16,5 kHz, poziom głośności: 73 dB.

Zadowalające efekty osiągnięto na głośniku o średnicy 23 mm i mocy 1,5 W. Ze względu na rozmiary nie w każdej lokomotywie można go zamontować. Wiele modeli, jak BR118 czy SM42 firmy PIKO, ma miejsce na odpowiedni głośnik. Wtedy efekty dźwiękowe są bardzo dobre (<https://bit.ly/2Zx4W4I>).

Konfiguracja programu terminala

W poprzedniej części artykułu został pokazany sposób dołączenia przejściówki USB-UART. Gdy centralka ma galwaniczne połączenie z komputerem, do którego podłączona jest przejściówka USB (na przykład



Rysunek 10. Schemat dołączenia oświetlenia do jazdy manewrowej

Tabela 4. Problemy, na które można natknąć się w czasie użytkowania dekodera

Problem	Przyczyna	Rozwiązanie
Lokomotywa jeździ dobrze w jedną stronę, a w drugą nie rusza i zatrzymuje się.	Niesymetryczny sygnał DCC powoduje uaktywnienie funkcji ABC.	- Wyłączyć ABC w CV27, jeśli nie jest używane. - Przeprowadzić kalibrację przetwornika ADC.
	Niskiej jakości zasilacz zakłóca działanie funkcji ABC. Problem dotyczy w szczególności tanich centralek PIKO i ROCO.	- Wyłączyć ABC w CV27, jeśli nie jest używane. - Wymienić zasilacz na inny o lepszych parametrach. Dobrze sprawdzają się zasilacze od laptopów.
Dekoder resetuje się lub dźwięk bardzo zniekształcony.	Problemy z zasilaniem.	Dodać kondensator UPS. Bez kondensatora, na niektórych boostach dekodek może się resetować zwłaszcza podczas odtwarzania głośnych dźwięków.
Nie działają wyjścia Fo3, Fo4, Fo9, Fo10.	Włączony tryb pracy z serwomechanizmami.	Wyłączyć serwomechanizmy w CV200.
Niewłaściwe zachowanie światel przy adresowaniu długim.	Włączona jazda analogowa.	Wyłączyć tryb DC w CV29 (bit nr 2).

```

COM3 - Tera Term VT
File Edit Setup Control Window Help
*** START ***

Bod Pin
ID: f8007:4e4e4319:20303036
SN: 40.243.113.110 21 / [0x6e71f328 15]
DCC Sound dekodery TS.f091-i256 v 3.7 Sep 22 2020 13:50:51
sas@elportal.pl
DCC-Sound
Sep 22 2020 13:50:51timSys=4

Read CFG...OK! AdrShort=6
bod=0 wdg=0 timSys=5

Read EEprom Fx... Reading record 231
timSys=7
timSys=8 RUN.
Cnt=1 HL=166 H=61 L=57
AdresH=0 AdresL=0 cmd=0 DataH=0 DataL=0
0 0 0 0 0

```

Rysunek 11. Informacje, które pokaże terminal po połączeniu z dekodery

przez USB centralki), komunikacja będzie zakłócona. W takiej sytuacji trzeba odizolować galwanicznie USB lub odłączyć centralkę od komputera. W niektórych przypadkach transmisja może być zakłócana przez pętlę masy związaną z uziemieniem zasilacza komputera czy centralki a w szczególnych przypadkach przez pojemności zasilaczy (filtrów przeciwzakłóceń w zasilaczach). W takim przypadku niezbędna jest izolacja

galwaniczna, np. za pomocą huba USB z izolacją.

Dzięki podłączeniu konwertera USB-UART w terminalu można zobaczyć informacje diagnostyczne. Terminal musi obsługiwać co najmniej VT-100, polecam TeraTerm. Po ustaleniu numeru portu COM przejściówki, w programie należy w menu *Setup* wskazać *Serial port*, a w oknie, które się pokaże, ustawić numer portu COM i parametry transmisji – prędkość transmisji

921600, pozostałe parametry 8N1. Po włączeniu zasilania pokaże się ekran podobny do tego z **rysunku 11**. Po pięciu sekundach ukażą się informacje docierające do dekodera, o ile dekodery został zaadresowany (wysyłane są do niego ramki DCC).

Konfiguracja dekodera

Duże możliwości dekodera są okupione dużą liczbą rejestrów konfiguracyjnych (**tabela 2**), ale przeważnie wystarczy skonfigurować kilka z nich, aby uzyskać pożądane efekty. Dostępnych jest pięć zestawów dźwięków (**tabela 3**), które pozwalają na uzyskanie dźwięków jedenastu różnych lokomotyw. Obecna wersja programu ma na stałe przypisane adresy lokomotyw. W sprawie nowych wersji oprogramowania, umożliwiających zmianę adresu, nowszych wersji dźwięków jak ST44, EU07 itp., proszę pisać na podany e-mail.

Uwaga: tabele 2 i 3 nie zostały zamieszczone w artykule ze względu na ich znaczne objętości, ale są dostępne na stronie ep.com.pl oraz w materiałach dodatkowych do projektu.

Problemy i rozwiązania

W **tabeli 4** zestawiono podstawowe problemy, na które można natknąć się w czasie użytkowania dekodera.

SaS
sas@elportal.pl

KONKURS

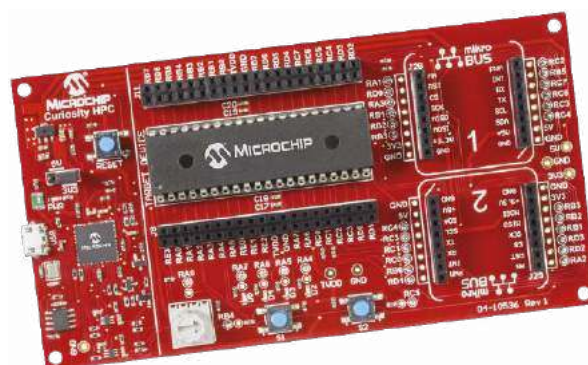
WYGRAJ PŁYTKĘ DEWELOPERSKĄ MICROCHIP CURIOSITY HPC DEVELOPMENT BOARD

Firma Microchip organizuje konkurs dla czytelników „Elektroniki Praktycznej”, w ramach którego można wygrać płytkę rozwojową Curiosity HPC (Curiosity High Pin Count). Jest to ekonomiczna, w pełni zintegrowana platforma do szybkiego prototypowania z użyciem 8-bitowych mikrokontrolerów PIC. Przeznaczona jest do pracy ze środowiskiem programistycznym Microchip MPLAB X. Zawiera zintegrowany programator/debugger, dzięki czemu nie wymaga dodatkowego sprzętu.

Płytkę stanowi idealną bazę do wykorzystania mocy nowoczesnych 8-bitowych mikrokontrolerów PIC w 40- i 28-pinowych obudowach DIL. Układ połączeń zewnętrznych zapewnia łatwy dostęp do podstawowych niezależnych urządzeń peryferyjnych CIP (Core Independent Peripherals). Są one dostępne w wielu nowszych 8-bitowych mikrokontrolerach PIC i umożliwiają użytkownikowi integrację różnych funkcji w jednym układzie, upraszczając projekt, utrzymując niewielkie zużycie energii i niski koszt elementów.

Zapewnia dużą elastyczność eksperymentowania. Zawiera diody sygnalizacyjne, przyciski i potencjometr. Dwa gniazda mikroBUS umożliwiają podłączenie różnych modułów Click Board, które mogą być przydatne podczas tworzenia aplikacji, a na złączach dostępne są wszystkie wyprowadzenia mikrokontrolera. Dla ułatwienia programowania każdy sygnał jest oznaczony nazwą portu mikrokontrolera.

Płytkę rozwojową Curiosity HPC może również obsługiwać nową rodzinę układów Microchip PIC18Q84. Jest to pierwsza seria mikrokontrolerów PIC18, która może być używana do przesyłania i odbierania danych przez magistralę CAN FD, wraz z szeroką gamą peryferiów



CIP, które obsługują różne zadania bez konieczności interwencji procesora. Układy Microchip PIC18Q84 skracają czas i redukują koszty systemów dotaczanych do sieci CAN FD.

Aby mieć szansę na wygraną płyty rozwojowej Microchip Curiosity HPC lub otrzymanie kuponu rabatowego 20% i bezpłatną wysyłkę, należy wypełnić formularz zgłoszeniowy na stronie: <http://bit.ly/3pc7Tlq>.

<http://bit.ly/3d1qaj2>



Mikrofalowy czujnik ruchu RCWL-0516

Wśród dostępnych na rynku czujników ruchu dominują urządzenia wykorzystujące promieniowanie podczerwone. Jednak dostępne są także inne rozwiązania. Na uwagę zasługuje moduł RCWL-0516, określany w niektórych opisach jako „radar Dopplerowski”, który do wykrywania ruchu wykorzystuje promieniowanie mikrofalowe.

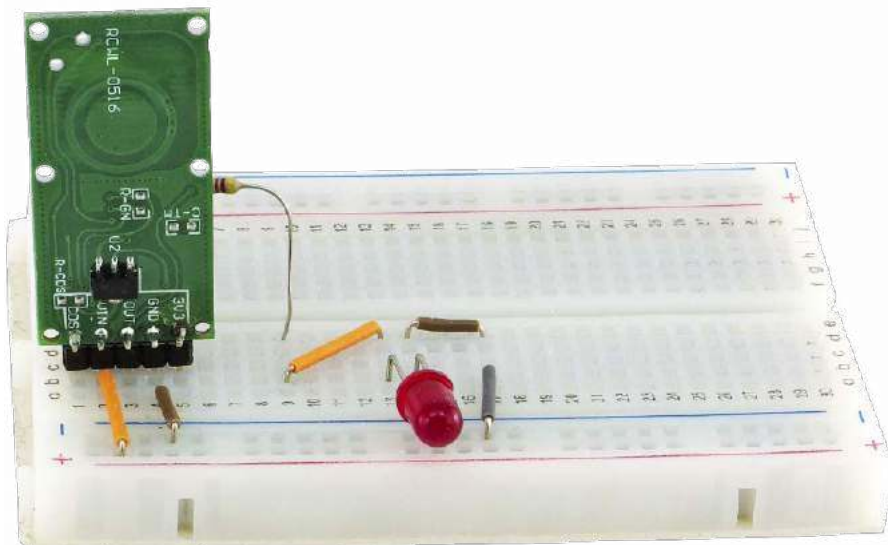
Podstawowe parametry czujnika:

- wykrywanie ruchu obiektu takiego jak człowiek czy zwierzę,
- zasięg ok. 7 metrów, jeżeli między czujnikiem a obiektem nie ma dodatkowych przeszkód, a sam obiekt jest dostatecznie duży,
- częstotliwość generowanego promieniowania: ok. 3,1 GHz,
- napięcie zasilania: 4...28 V,
- pobór prądu: 2,5 mA przy zasilaniu napięciem 5 V,
- wymiary modułu: 36×17 mm.

Ponieważ promieniowanie mikrofalowe przenika przez cienkie przeszkody z materiałów nieprzewodzących prądu, daje to wiele nowych możliwości zastosowania tego rozwiązania. W odróżnieniu od typowych czujek na podczerwień, moduł będzie prawidłowo działał np. ukryty za przegrodą z papieru lub cienkiego drewna.

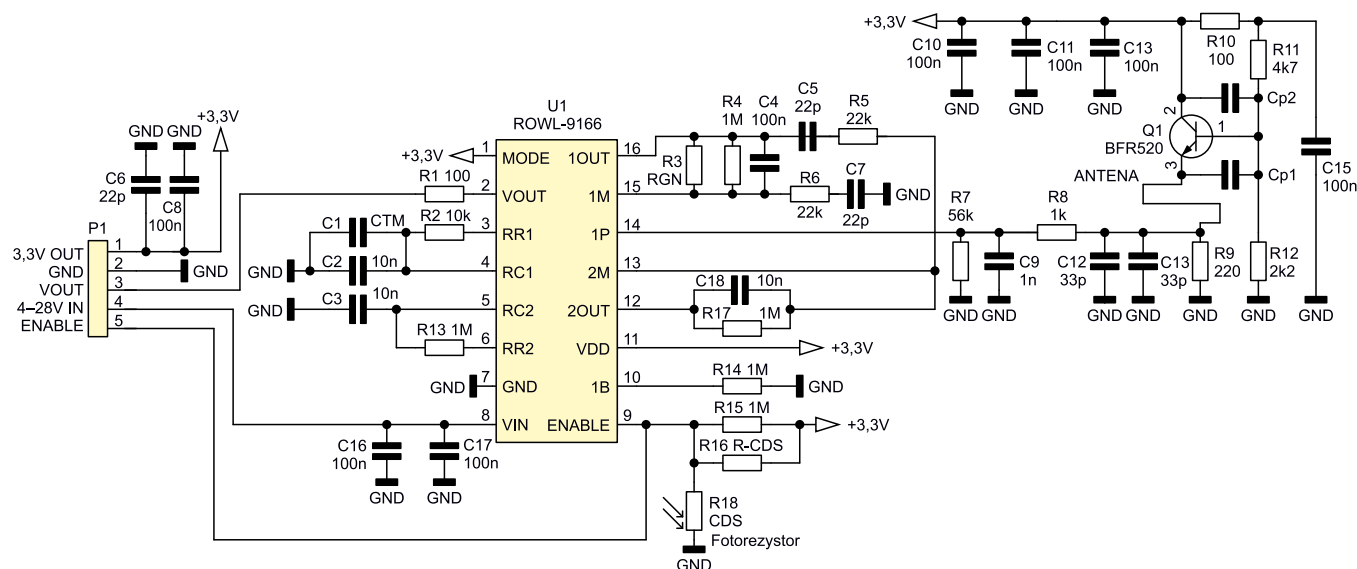
Budowa czujnika

Wygląd dwu stron płytki czujnika pokazany został na **fotografii 1**. Z kolei na **rysunku 1**



zaprezentowano schemat ideowy czujnika. Widać na nim, że na moduł składają się dwa bloki funkcjonalne. Generator mikrofal zbudowano z użyciem tranzystora Q1 pracującego w zmodyfikowanym układzie oscylatora Colpittsa. Włączona w obwodzie emitera antena została wykonana na płycie drukowanej jako ścieżka w kształcie litery „S” (widoczna na fotografii 1). Antena tworzy układ rezonansowy z pojemnościami wykonanymi jako ścieżki na płycie. Umieszczona po przeciwnej stronie płytki ścieżka w kształcie pierścienia oznaczona została na schemacie symbolem Cp2, zaś Cp1 to pojemność okrągłego pola.

Generator pracuje z podstawową częstotliwością równą około 3,1 GHz. Wytworzone mikrofałe wypromieniowywane są przez antenę. Po odbiciu od przeszkody powracają do czujnika i anteny. Jeżeli obiekt jest w ruchu, w obwodzie nadawczo-odbiorczym pojawiają się fluktuacje modulujące amplitudę generowanego sygnału. Poprzez filtr dolno-przepustowy sygnał podawany jest na wejście 1P układu scalonego U1. Układ ten tworzy drugi blok funkcjonalny czujnika. W jego skład wchodzi wzmacniacze, detektory i logika przetwarzające modulacje fali nośnej powstałe na skutek odbicia na impulsy logiczne sygnalizujące wykrycie obiektu.



Rysunek 1. Schemat modułu RCWL-0516

Podłączenie modułu

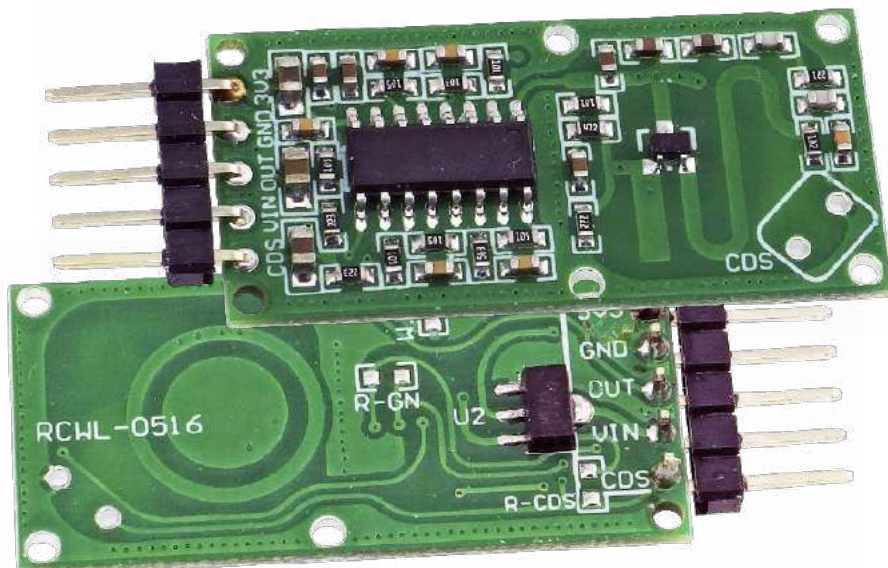
Złącze P1 ma pięć styków o następujących funkcjach:

1. 3,3 V OUT – wyjście wytworzonego w U1 napięcia stabilizowanego. Obciążalność do kilkudziesięciu mA;
2. GND – masa modułu;
3. VOUT – wyjście sygnału logicznego o poziomach 0, 3,3 V. Poziom wysoki sygnalizuje wykrycie poruszającego się obiektu;
4. 4...28 VIN – wejście napięcia zasilającego moduł;
5. ENABLE – wejście zezwolenia na pracę modułu. Gdy niepodłączone lub poziom wysoki, sygnalizacja włączona. Gdy poziom niski, sygnalizacja wykrycia obiektu pozostaje nieaktywna.

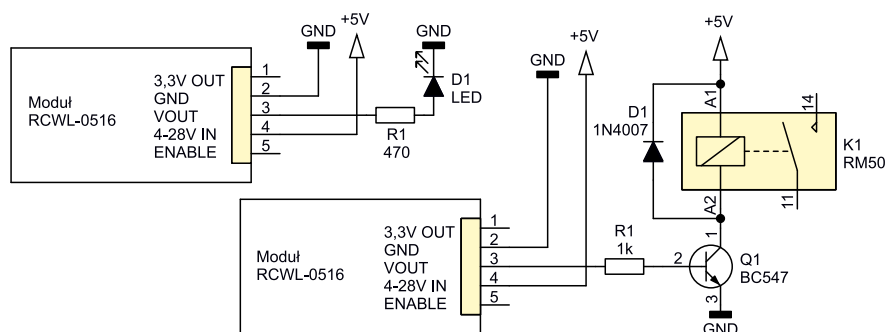
Elementy dodatkowe

Na płytce pozostawiono miejsce do wlutowania dodatkowych elementów, które zmieniają tryb funkcjonowania czujnika.

- Miejsce na kondensator CTM oznaczony na schemacie jako C1 – standardowy czas powtarzania sygnalizacji wykrycia ruchu wynosi ok. 2 s. Wlutowanie w tym miejscu pojemności rzędu nF wydłuży ten czas.
- Miejsce na opornik RGN oznaczony na schemacie jako R3 – ograniczenie zasięgu wykrywania poruszających się obiektów. Przeciętny maksymalny zasięg czujnika to ok. 7 m. Wlutowanie w tym miejscu opornika 1 MΩ zmniejszy zasięg do ok. 5 m.
- Miejsce na fotorezystor CDS oznaczony na schemacie jako R18 – jeżeli na fotorezystor będzie padało światło, sygnalizacja wykrycia obiektu będzie blokowana. Wlutowanie elementu ma sens, jeżeli chcemy, by układ zaczął funkcjonować dopiero po zmroku. Dodatkowy opornik R-CDS R16 pozwala dobrać próg



Fotografia 1. Wygląd modułu RCWL-0516



Rysunek 2. Schemat dotychczasowych układów wykonawczych

włączenia czujnika w zależności od poziomu oświetlenia.

Praca z czujnikiem

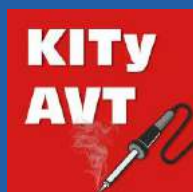
Moduł mikrofalowego czujnika ruchu można wykorzystać do sterowania różnych układów wykonawczych. Na rysunku 2 pokazano, jak podłączyć do wyjścia VOUT diodę sygnalizacyjną LED oraz przekaźnik. W momencie detekcji ruchu sterowane stanem wysokim

zarówno dioda, jak i przekaźnik zadziałają. Jeżeli zasilimy układ napięciem wyższym niż podane na rysunku 5 V, należy dobrać przekaźnik o odpowiednim napięciu znamionowym.

Ponieważ charakterystyka czułości modułu jest niemal dookólna, nie ma większego znaczenia, która strona płytki będzie zwrócona w kierunku obszaru, który ma podlegać dozorowi.

Ryszard Szymaniak
biuro@ars.info.pl

REKLAMA



KITY AVT na wideo: [HTTP://BIT.LY/2SCLZTY](http://bit.ly/2SCLZTY)

O KIT-ach AVT przeczytasz również na Facebooku:
[HTTP://BIT.LY/2BJVMN7](http://bit.ly/2BJVMN7)



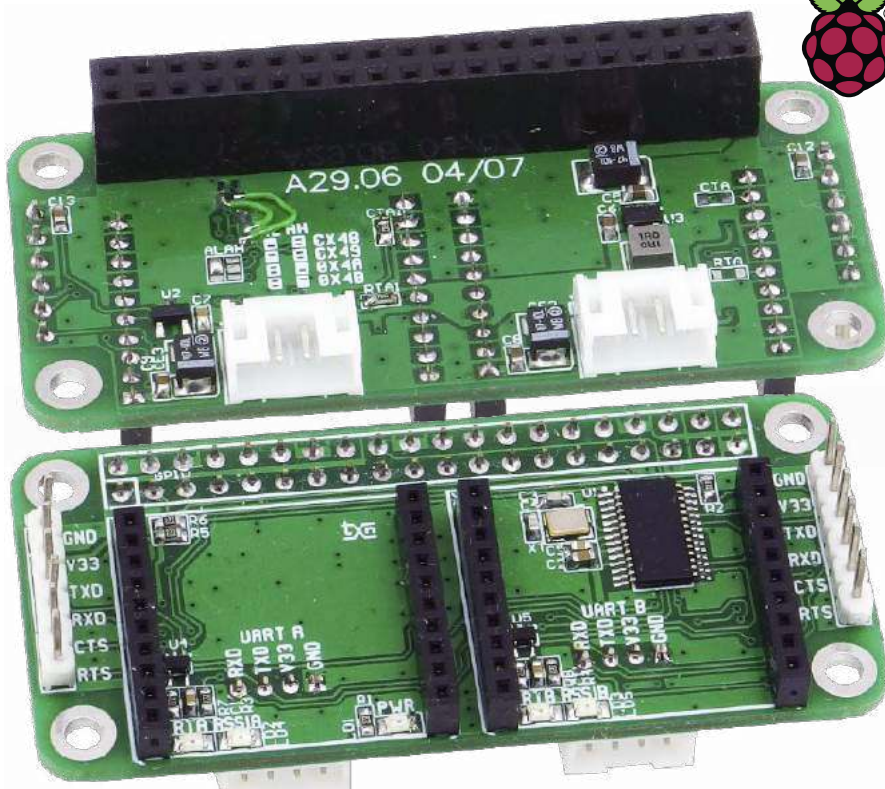
Dwukanałowy port szeregowy dla Raspberry

Dzięki zastosowaniu opisanego ekspandera możemy uzupełnić Raspberry Pi Zero lub podobne płytki o dwa dodatkowe porty szeregowy przydatne np. w aplikacjach automatyki domowej lub IoT. Dodatkowo płytka zawiera dwa gniazda dla modułów komunikacyjnych zgodnych z Xbee, co ułatwia realizację transmisji zarówno przewodowej, np. RS232/485, jak i bezprzewodowej np. Bluetooth, za pomocą opisanych na łamach EP minimodułów.

W module zastosowano sprzętowy, dwukanałowy UART dla magistrali I²C o oznaczeniu SC16IS752 firmy NXP, którego schemat wewnętrzny został pokazany na **rysunku 1**. Układ jest wspierany przez dystrybucję Linuksa dla Raspberry Pi i umożliwia realizację transmisji z typowymi prędkościami, także w trybie z potwierdzeniem sprzętowym i elastyczną konfiguracją ramki przy zachowaniu niewielkiego poboru mocy.

Budowa i działanie

Schemat ideowy modułu został pokazany na **rysunku 2**. Układ przetwornicy obniżającej U3, typu ADP2108-3.3, dostarcza napięcia zasilającego kluczowe elementy płytki. Zastosowanie dodatkowej przetwornicy 3,3 V/400 mA podyktowane jest koniecznością dostarczenia stabilnego zasilania, także dla radiowych modułów XBEE. Układ U2 gwarantuje prawidłowe



uruchomienie układu U1 po włączeniu zasilania.

Kontroler SC16IS752, dla wytworzenia sygnału zegarowego transmisji, wymaga stabilnego generatora, który został zrealizowany poprzez obwód XT, C3, C4. Zwory AL/AH umożliwiają wybór jednego z czterech adresów magistrali I²C 0x48...0x4B. Przy wyborze adresu SC16IS752 należy zwrócić uwagę, czy nie dojdzie do kolizji w aplikacji z popularnymi termometrami I²C. Ponadto,

do prawidłowej pracy układ wymaga obsługi przerwania IRQ, które doprowadzone jest do GPIO24.

Sygnały portów szeregowych doprowadzone są do złączy UARTA i UARTB, gdzie dostępne są tylko podstawowe sygnały RXD/TXD wraz z zasilaniem. Na złączach UA i UB dostępne są także sygnały CTS i RTS do realizacji transmisji ze sprzętowym potwierdzeniem. Układy bramek U4 i U5 zapewniają sygnalizację aktywności portu szeregowego.

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.media.avt.pl

W ofercie AVT* AVT5851

Podstawowe parametry:

- dwa porty szeregowy UART (sygnały RXD, TXD, RTS, CTS, logika 3,3 V),
- dwa gniazda dla modułów komunikacyjnych zgodnych z Xbee,
- wsparcie ze strony dystrybucji Linuksa dla Raspberry Pi,
- komunikacja z RPi poprzez magistralę I²C i sygnał IRQ na linii GPIO24,
- możliwość wyboru jednego z czterech adresów 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 UKW) - jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie włożyć 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 wmontowane w płytkę PCB)
- wersja [A] - płytka drukowana bez elementów i dokumentacji

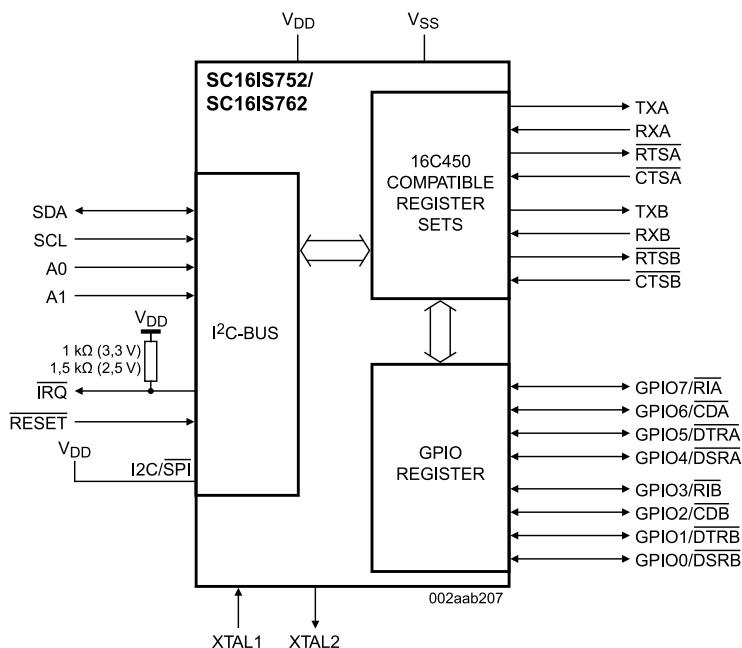
Kity w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:

- wersja [Ae] - płytka drukowana [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
- wersja [UK] - zaprogramowany układ

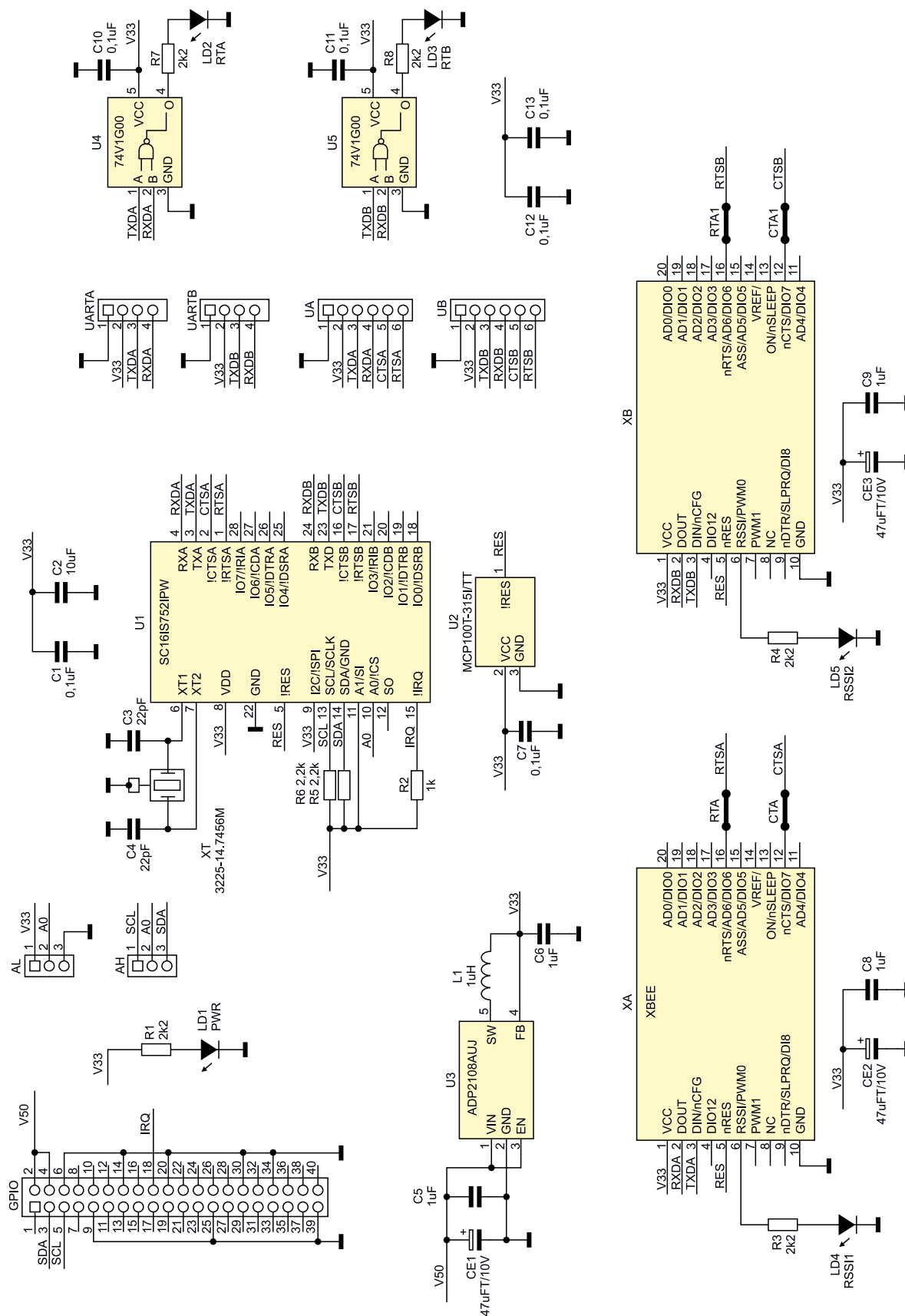
Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz!

<http://sklep.avt.pl>. W przypadku braku dostępności

na <http://sklep.avt.pl>, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.



Rysunek 1. Schemat wewnętrzny układu SC16IS752



Rysunek 2. Schemat modułu

Moduły XBEE XA i XB mają możliwość opcjonalnego doprowadzenia sygnałów RTS i CTS zworami oznaczonymi RTA i CTA i RTB i CTB, ale każdorazowo należy upewnić się, czy dany moduł obsługuje transmisję ze sprzętowym potwierdzeniem i czy na jego

wielofunkcyjnych wyprowadzeniach sygnały potwierdzenia są odpowiednio przypisane. Dodatkowe diody RSSI1/RSSI2 umożliwiają ocenę siły sygnału radiowego, jeżeli moduł XBEE udostępnia odpowiedni sygnał. Dioda LD1 sygnalizuje obecność zasilania 3,3 V.

Montaż i uruchomienie

Moduł zmontowany jest na dwustronnej płytce drukowanej. Schemat płytki i rozmieszczenie elementów pokazuje **rysunek 3**. Sposób montażu jest klasyczny i nie wymaga dokładnego opisu.

Wykaz elementów:**Rezystory:** (SMD 0603, 1%)

R1, R3, R4, R7, R8: 2,2 kΩ

R2: 1 kΩ

R5, R6: 2,2 kΩ

R1, R3, R4, R7, R8: 2,2 kΩ

R2: 1 kΩ

R5, R6: 2,2 kΩ

Kondensatory:

C1, C7, C10, C11, C12, C13: 0,1 μF/16 V

SMD 0603

C2 10 μF/16 V SMD 0603

C3, C4 22 pF/16 V SMD 0603

C5, C6, C8, C9 1 μF/16 V SMD 0603

CE1, CE2, CE3 47 μF/10 V tantalowy

SMD 3528

Półprzewodniki:

LD1, LD5, PWR, RTA, RTX, RSSI1, RSSI2: LED

SMD 0805

U1: SC16IS752IPW128 (TSSOP28_065)

U2: MCP100T-315I/TT (SOT-23)

U3: ADP2108AUJZ (SOT-23-5)

U4, U5: 74V1600 (SC70-5)

Pozostałe:

UA, UB: listwa SIP 6 prosta męska

AH, AL: zwora PCB

CTA, CTA1, RTA, RTA1: zwora SMD 0603

GPIO: złącze żeńskie IDC40

L1: 1 μH dławik SMD MAPI3020

UARTA, UARTB: złącze JST4 1 mm

XA, XB: podstawa XBEE, listwa żeńska

10 pin 2 mm

XT: rezonator kwarcowy 14,7456 MHz CFPX-

180 3,2x2,5 mm

sudo reboot now

Po uruchomieniu systemu, za pomocą polecenia:

i2cdetect -y 1

sprawdzamy, czy w miejscu adresu 0x48, pojawi się tekst UU, świadczący o kontroli urządzenia przez driver. Obecność dodatkowego portu szeregowego w systemie możemy sprawdzić poleceniem:

ls /dev

Pośród urządzeń powinny znaleźć się ttySC0, ttySC1 odpowiadające portom A i B transmisji szeregowej.

Dla sprawdzenia poprawności transmisji można użyć emulatora terminalu minicom lub picocom oraz konwertera USB/UART 3,3 V podłączonego do PC z programem Teraterm lub Terminal. Łącząc odpowiadające sygnały RTX, TXD i GND modułu i konwertera, pamiętając o logice 3,3 V, zestawiamy połączenie szeregowe Pi-PC.

Program minicom lub picocom instalujemy poleceniem:

sudo apt-get install minicom

lub

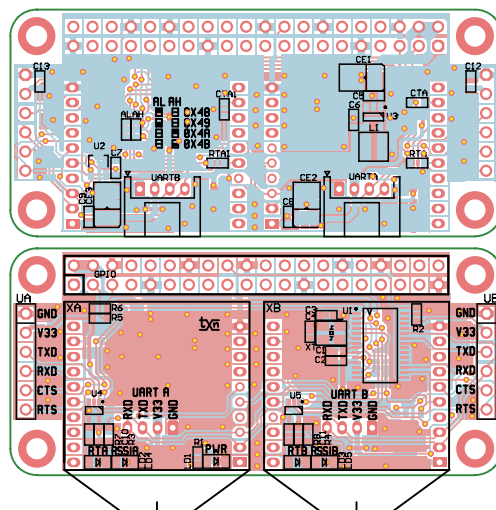
sudo apt-get install picocom

Po instalacji uruchamiamy poleceniem:

sudo minicom

Następnie ustalamy parametry transmisji (ttySC0, ANSI, 115200, 8, N, 1) zarówno w programie minicom, jak i w terminalu PC. Menu minicoma wywołujemy kombinacją klawiszy CTRL A+Z, następnie opcje konfiguracji portu P, ustawień terminala T, konfiguracji minicom O, zgodnie z informacjami z **rysunku 5**. Po konfiguracji, wprowadzone z klawiatury znaki powinny być transmitowane w obu kierunkach pomiędzy Pi i PC, w zależności od aktywnego terminala.

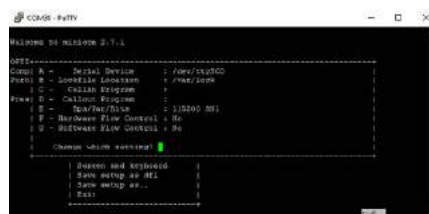
Port ttySC1 sprawdzimy, dla odmiany, emulatorom picocom. Wpisujemy:

sudo picocom -b 115200 /dev/ttySC1

Rysunek 3. Schemat płytki PCB wraz z rozmieszczeniem elementów



Rysunek 4. Detekcja układu SC16IS752 z użyciem i2ctools



Rysunek 5. Konfiguracja programu minicom

W tym przypadku, także powinna być możliwa dwukierunkowa transmisja szeregową.

Jeżeli wszystko działa, możemy moduł zastosować we własnej aplikacji.

Adam Tatuś, EP

Ustawienie adresu na magistrali I²C wykonujemy poprzez zwarcie odpowiednich pól AL i AH kropkami cyny. Domyślny adres modułu to 0x48 (zwora AL=V33, AH nielutowana). Dla szybkiego sprawdzenia działania modułu należy podłączyć do Raspberry Pi i skorzystać z biblioteki i2ctools. Moduł powinien być widoczny po odczycie magistrali poleceniem: **i2cdetect -y 1**, co pokazano na **rysunku 4** (ustawiony adres bazowy 7-bitowy 0x48).

Gdy układ jest widoczny na magistrali I²C, wtedy można zainicjować jego sterownik, w tym celu edytujemy plik **config.txt**. Wpisujemy polecenie:

sudo nano /boot/config.txt

Na końcu pliku dodajemy linię:

dtoverlay=sc16is752-i2c,int_**pin=24,addr=0x48**

Po edycji i zapisaniu zmian należy zrestartować system poleceniem:

Interfejs wyświetlacza TFT-RGB dla RPi Zero

Zaprezentowana płytki rozszerza funkcjonalność komputerka Raspberry Pi Zero (i nie tylko) o możliwość sterowania graficznym wyświetlaczem TFT mającym typowe złącze FFC 40 pin. Umożliwia zastosowanie wyświetlaczy o przekątnych m.in. 3,9" czy 5,6" w tym popularnych w ostatnim czasie wyświetlaczy typu bar o rozdzielczości 480×128.

Płytki jest elektrycznie zgodna z każdą wersją Raspberry Pi, ale mechanicznie dopasowana jest do Pi Zero. Efektem połączenia płytek jest zwarty zestaw o niewielkich rozmiarach. Współpracując z wyświetlaczem o przekątnej 3,9" np. Winstar z serii WF39xx, umożliwia, przy odrobinie inwencji, montaż

w urządzeniach rack 1U. Jeżeli wyświetlacz jest wyposażony też w panel dotykowy, upraszcza się obsługa i podnosi ogólna atrakcyjność urządzenia końcowego.

Moduł współpracuje z wyświetlaczami o standardowym 40-pinowym złączu w postaci taśmy lub płytki elastycznej.

Przyporządkowanie sygnałów złącza wyświetlacza opisano w **tabeli 1**. W porównaniu z wyświetlaczami o przekątnych 7" i więcej (złącze RGB 50 pin), zdecydowana większość dostępnych modeli ma wbudowaną przetwornicę napięć polaryzacji Vcom, Vgh, Vgl upraszczającą konstrukcję modułu. W praktyce, gdy pozyskamy wyświetlacz z uszkodzonej nawigacji lub podobnego urządzenia – moduł nie nadwyżę naszego budżetu.

Budowa i działanie

Schemat elektryczny modułu został pokazany na **rysunku 1**. Układ jest banalnie

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.media.avt.pl

W ofercie AVT* AVT5847

Podstawowe parametry:

- umożliwia dołączenie wyświetlacza TFT wyposażonego w typowe złącze FFC 40 pin,
- korzysta ze złącza GPIO charakterystycznego dla płytek RPi,
- zawiera przetwornicę ze stabilizacją prądu do zasilania podświetlenia ekranu.

Wykaz elementów:

R1: 10 kΩ SMD 0603 1%
 R2: 10 Ω SMD 0603 1%
 C1: 0,1 μF SMD 0603
 C2, C4: 4,7 μF SMD 0603
 C3: 1 μF SMD 0603
 C5: 0,22 μF/50 V SMD 0805
 U1: AP3036BKTR (SOT-26)
 L1: dławik mocy WE-MAPI4020
 GPIO: złącze żeńskie 2x20 pin 2,54 mm
 LCD: złącze FPC40 0,5 mm, styki dolne
 TP: złącze PHSM4TB (opcjonalnie)

* 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 wylutować 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 wylutowane w płytkę PCB)
- wersja [A] – płytkę drukowaną bez elementów i dokumentacji

Kity w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:

- wersja [A+] – płytkę drukowaną [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
- wersja [UK] – zaprogramowany układ

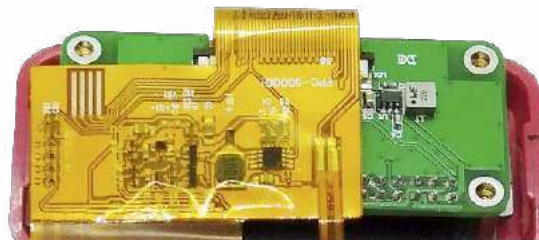
Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz!

<http://sklep.avt.pl>. W przypadku braku dostępności na <http://sklep.avt.pl>, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.

prosty, składa się praktycznie tylko ze złącza LCD typu FFC40 z odpowiednio doprowadzonymi sygnałami interfejsu GPIO. Zastosowana została w tym celu konfiguracja Alt2 przeznaczona do obsługi wyświetlacza LCD RGB w trybie równoległym DPI.

Tabela 1. Przyporządkowanie sygnałów 40-pinowego złącza wyświetlacza

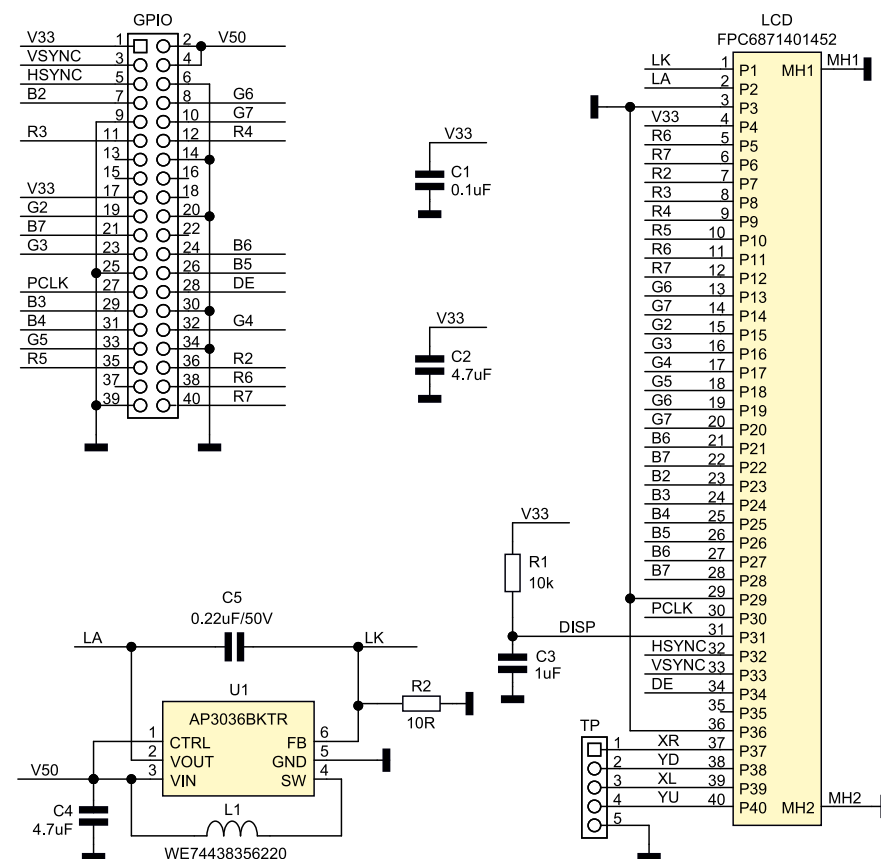
Nr	Oznaczenie	Opis
1	LED C	LED Power C
2	LED A	LED Power A
3	GND	LCD Power GND
4	VCC	LCD Power VCC 3,3 V
5...12	R0...R7	Red (R0 LSB)
13...20	G0...G7	Green (G0 LSB)
21...28	B0...B7	Blue (B0 LSB)
29	GND	LCD Power GND
30	PCLK	Pixel Clock
31	DISP	Display On/Off (Res)
32	HSYNC	Horizontal Sync
33	VSYNC	Vertical Sync
34	DE	Data Enable
35	NC	NC
36	GND	LCD Power GND
37	NC	Rtouch Option (Xr)
38	NC	Rtouch Option (Yd)
39	NC	Rtouch Option (Xl)
40	NC	Rtouch Option (Yu)



Jedynym elementem aktywnym jest przetwornica U1, dostarczająca zasilania dla podświetlenia ekranu. Układ AP3036, oprócz podnoszenia napięcia niezbędnego do zasilania szeregu diod LED podświetlających ekran, stabilizuje ich prąd pracy. Wartość prądu określa rezystor R2, napięcie na wyprowadzeniu FB dla określonego prądu LED

powinno wynosić ok. 200 mV, co w modelu odpowiada 20 mA.

Złącze TP umożliwia wyprowadzenie opcjonalnych sygnałów rezystancyjnego panelu dotykowego w przypadku, gdy jest on zintegrowany z wyświetlaczem. Jako zewnętrzny kontroler dotyku może być zastosowany np. układ AR1100.



Rysunek 1. Schemat elektryczny modułu

Tabela 2. Przyporządkowanie sygnałów złącza GPIO do interfejsu DPI

GPIO	Alt2
GPIO0	PCLK
GPIO1	DE
GPIO2	VSYNC
GPIO3	HSYNC
GPIO4...11	DPI_D0...7
GPIO12...19	DPI_D8...15
GPIO20...27	DPI_D16...23

Pomimo prostego interfejsu, obsługa LCD w trybie równoległym DPI, w przypadku Raspberry Pi, generuje jeden bardzo poważny problem – zajmuje praktycznie wszystkie linie złącza GPIO i wymusza podłączenie współpracujących urządzeń przez porty USB. Od tych ograniczeń wolne są aplikacje Compute Module ze znacznie większą liczbą dostępnych wyprowadzeń i elastycznością konfiguracji GPIO.

Przyporządkowanie funkcji wyprowadzeń GPIO w trybie DPI zestawiono w tabeli 2. Oprócz sygnału zegarowego PCLK, sterującego DE, synchronizacji VSYNC, HSYNC tryb DPI używa wyprowadzeń DPI_D0...D23 do sterowania poziomem kolorów składowych RGB. Kodowanie kolorów, w zależności od wybranego trybu, jest zgodne ze standardem RGB565, RGB666, RGB888 i może zajmować różne wyprowadzenia GPIO. Dostępnych jest 7 trybów kodowania, co zestawiono w tabeli 3. Moduł pracuje w trybie 5. z kodowaniem RGB666, z którym zgodna jest większość wyświetlaczy.

Montaż i uruchomienie

Układ zmontowany jest na niewielkiej dwustronnej płytce drukowanej, której schemat wraz z rozmieszczeniem elementów został pokazany na rysunku 2. Montaż nie jest skomplikowany i nie wymaga opisu, gotowy moduł został pokazany na fotografii 1.

W zależności od posiadanego wyświetlacza należy ustawić prąd podświetlenia poprzez dobranie rezystora R2. Złącze TP jest opcjonalne i montujemy je tylko w przypadku podłączenia kontrolera rezystancyjnego panelu dotykowego zintegrowanego z wyświetlaczem.

Przed włączeniem wyświetlacza należy zapoznać się z jego kartą katalogową, sprawdzić zgodność sygnałów ze złączem FPC oraz ustalić zależności czasowe niezbędne do prawidłowej konfiguracji. Przed użyciem interfejsu DPI należy wyłączyć obsługę I²C i SPI, wprowadzając następujące modyfikacje w pliku `/boot/config.txt`:

```
dtoverlay=i2c_arm=off
dtoverlay=spi=off
```

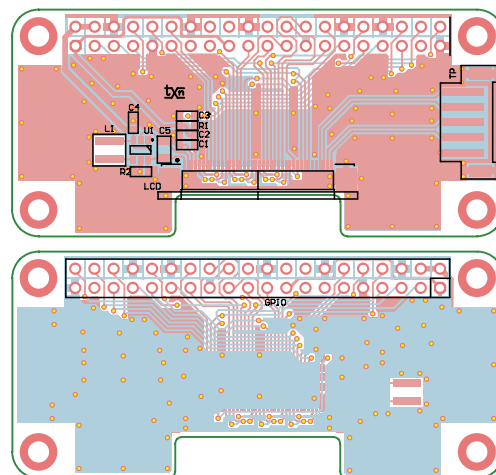
Do współpracy z LCD RGB przeznaczone są w systemie operacyjnym konfiguracje `dtoverlay=dpi18` lub `dtoverlay=dpi24`. Niestety, ze względu na brak kanału informującego o parametrach wyświetlacza i dostępnych trybach pracy, jak ma to miejsce w przypadku HDMI, w każdym przypadku konieczna jest indywidualna i szczegółowa parametryzacja interfejsu DPI oraz dostosowanie częstotliwości zegara, kodowania koloru, synchronizacji i rozdzielczości przez użytkownika. Przed konfiguracją wyświetlacza należy poinformować system o niestandardowym trybie pracy „custom mode DPI” poprzez wpis:

```
dpi_group=2
dpi_mode=87
```

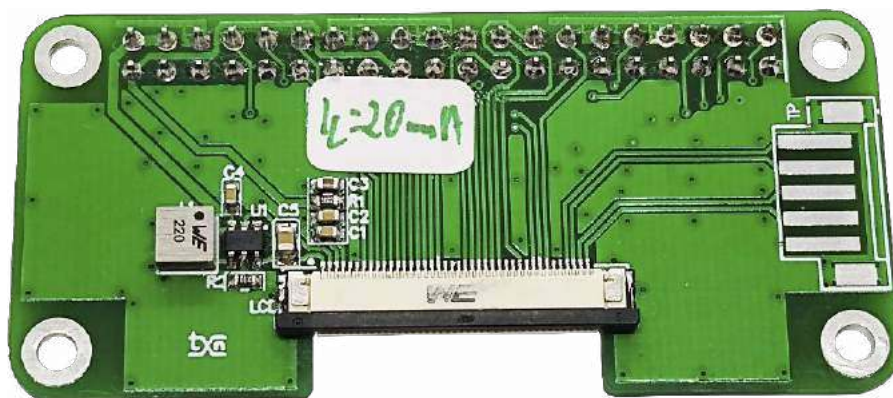
oraz o współpracy z wyświetlaczem DPI:

```
enable_dpi_lcd=1
display_default_lcd=1
```

Format wyjściowy DPI ustalany jest parametrem `dpi_output_format` w postaci liczby szesnastkowej o następującym znaczeniu bitów:

**Rysunek 2. Schemat płytki PCB wraz z rozmieszczeniem elementów**

```
output_format = (dpi_
output_format >> 0) & 0xf;
rgb_order = (dpi_
output_format >> 4) & 0xf;
output_enable_mode = (dpi_
output_format >> 8) & 0x1;
invert_pixel_clock = (dpi_
output_format >> 9) & 0x1;
hsync_disable = (dpi_
output_format >> 12) & 0x1;
vsync_disable = (dpi_
output_format >> 13) & 0x1;
output_enable_disable = (dpi_
output_format >> 14) & 0x1;
hsync_polarity = (dpi_
output_format >> 16) & 0x1;
vsync_polarity = (dpi_
output_format >> 17) & 0x1;
```

**Fotografia 1. Zmontowana płytka****Tabela 3. Różne tryby przyporządkowania kodowania kolorów do GPIO**

Tryb	Kodowanie	GPIO																			
		27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	RGB565	-	-	-	-	-	-	-	-	R7	R6	R5	R4	R3	G7	G6	G5	G4	G3	G2	B7
3	RGB565	-	-	-	R7	R6	R5	R4	R3	-	-	G7	G6	G5	G4	G3	G2	-	-	-	B7
4	RGB565	-	-	R7	R6	R5	R4	R3	-	-	-	G7	G6	G5	G4	G3	G2	-	-	B7	B6
5	RGB666	-	-	-	-	-	-	R7	R6	R5	R4	R3	R2	G7	G6	G5	G4	G3	G2	B7	B6
6	RGB666	-	-	R7	R6	R5	R4	R3	R2	-	-	G7	G6	G5	G4	G3	G2	-	-	B7	B6
7	RGB888	R7	R6	R5	R4	R3	R2	R1	R0	G7	G6	G5	G4	G3	G2	G1	G0	B7	B6	B5	B4

```
output_enable_polarity = (dpi_
output_format >> 18) & 0x1;
hsync_phase            = (dpi_
output_format >> 20) & 0x1;
vsync_phase            = (dpi_
output_format >> 21) & 0x1;
output_enable_phase     = (dpi_
output_format >> 22) & 0x1;
```

```
output_format:
1: DPI_OUTPUT_FORMAT_9BIT_666
2:
DPI_OUTPUT_FORMAT_16BIT_565_CFG1
3:
DPI_OUTPUT_FORMAT_16BIT_565_CFG2
4:
DPI_OUTPUT_FORMAT_16BIT_565_CFG3
5:
DPI_OUTPUT_FORMAT_18BIT_666_CFG1
6:
DPI_OUTPUT_FORMAT_18BIT_666_CFG2
7: DPI_OUTPUT_FORMAT_24BIT_888
```

```
rgb_order:
1: DPI_RGB_ORDER_RGB
2: DPI_RGB_ORDER_BGR
3: DPI_RGB_ORDER_GRB
4: DPI_RGB_ORDER_BRG
```

```
output_enable_mode:
0:
DPI_OUTPUT_ENABLE_MODE_DATA_VALID
1: DPI_OUTPUT_ENABLE_MODE_
COMBINED_SYNCNS
```

```
invert_pixel_clock:
0: RGB Data changes on rising
edge and is stable at falling
edge
1: RGB Data changes
on falling edge and is stable at
rising edge.
```

hsync/vsync/

output_enable_polarity:

```
0: default for HDMI mode
1: inverted
```

hsync/vsync/oe phases:

```
0: DPI_PHASE_POSEDGE
1: DPI_PHASE_NEGEDGE
```

Parametry czasowe i rozdzielczość wyświetlacza ustalane są poleceniem `dpi_timings`:

```
dpi_timings=<h_active_pixels>
<h_sync_polarity> <h_front_
porch> <h_sync_pulse> <h_
back_porch> <v_active_lines>
<v_sync_polarity> <v_front_porch>
<v_sync_pulse> <v_back_porch>
<v_sync_offset_a> <v_sync_
offset_b> <pixel_rep> <frame_
rate> <interlaced> <pixel_freq>
<aspect_ratio>
```

```
<h_active_pixels> = horizontal
pixels (width)
<h_sync_polarity> = invert hsync
polarity
<h_front_porch>   = horizontal
forward padding from DE active
edge
<h_sync_pulse>    = hsync pulse
width in pixel clocks
<h_back_porch>    = vertical back
padding from DE active edge
<v_active_lines>  = vertical
pixels height (lines)
<v_sync_polarity> = invert vsync
polarity
<v_front_porch>   = vertical
forward padding from DE active
edge
<v_sync_pulse>    = vsync pulse
width in pixel clocks
<v_back_porch>    = vertical back
padding from DE active edge
<v_sync_offset_a> = leave at zero
<v_sync_offset_b> = leave at zero
<pixel_rep>       = leave at zero
<frame_rate>      = screen
refresh rate in Hz
<interlaced>      = leave at zero
<pixel_freq>      = clock
frequency (width*height*framerate)
<aspect_ratio>    = *
```

gdzie `aspect_ratio` może przyjmować następujące wartości:

```
HDMI_ASPECT_4_3 = 1
HDMI_ASPECT_14_9 = 2
HDMI_ASPECT_16_9 = 3
HDMI_ASPECT_5_4 = 41`
```

```
HDMI_ASPECT_16_10 = 5
HDMI_ASPECT_15_9 = 6
HDMI_ASPECT_21_9 = 7
HDMI_ASPECT_64_27 = 8
```

Jeżeli z przyczyn mechanicznych wyświetlacz wygodniej zamontować w pozycji pionowej lub odwróconej, parametrem `display_rotate=x` ustalamy wymaganą orientację, gdzie `x=0...3`, a odpowiadająca orientacja wyświetlacza to 0, 90, 180, 270°.

Przykładowa konfiguracja ustalona dla wyświetlacza SH0050GB30 o przekątnej 5" i rozdzielczości 800×480 zdemontowanego z uszkodzonej nawigacji:

```
dtoverlay=dpi24
display_rotate=2
overscan_left=0
overscan_right=0
overscan_top=0
overscan_bottom=0
framebuffer_width=800
framebuffer_height=480
enable_dpi_lcd=1
display_default_lcd=1
dpi_group=2
dpi_mode=87
dpi_output_format=0x6f015
dpi_timings=800 0 40 48 88 480 0
13 3 32 0 0 0 60 0 32000000 6
```

Czasami do ustalenia prawidłowych parametrów, szczególnie w przypadku braku wyświetlania lub zakłóceń w obrazie, konieczny jest oscyloskop lub analizator logiczny. Warto też przeszukać zasoby sieci, czy nie jest dostępna gotowa konfiguracja dla posiadanego wyświetlacza, pozwala to zaoszczędzić sporo czasu. Obowiązkowo trzeba też zapoznać się z dokumentacją Raspberry Pi dostępną pod adresem: <http://bit.ly/2PuEiHZ>.

Adam Tatuś
adam.tatus@ep.com.pl

Chcesz czytać nasze najnowsze artykuły jeszcze przed wydrukowaniem w EP? Zajrzyj na

www.ep.com.pl/
EPwtoku



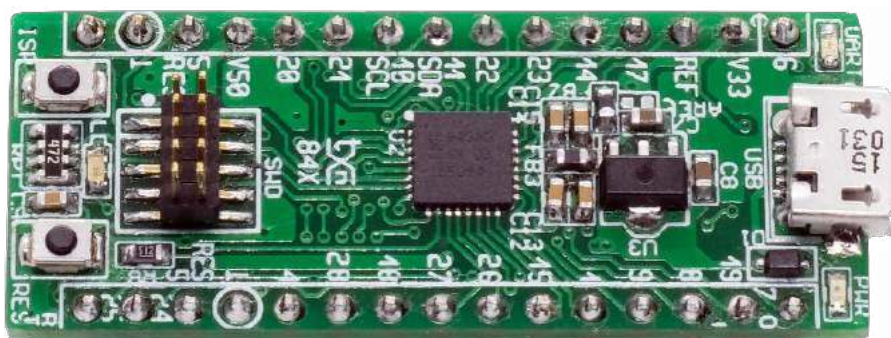
Minimoduł z mikrokontrolerem LPC845

Moduł z procesorem NXP typu LPC845 może być ciekawą alternatywą dla popularnych płytek z procesorami AVR (ArduinoEveryy), STM (Nucleo), szczególnie wtedy, gdy nie mamy zbyt wiele miejsca, a nie chcemy rezygnować z wydajności i dobrego wyposażenia procesora.

Struktura wewnętrzna układów rodziny LPC84x została pokazana na **rysunku 1**. Są to najbardziej rozbudowane układy z serii LPC8xx z rdzeniem Cortex M0+. Wybrany typ – LPC845, pracuje z taktowaniem do 30 MHz, został wyposażony w 64 kB pamięci Flash, 16 kB pamięci RAM i elastycznie konfigurowane 29 wyprowadzeń GPIO (obudowa HVQFN33). Ponadto zawiera układy peryferyjne, takie jak USART, I²C, SPI, ADC i DAC. Dzięki wbudowanemu bootloaderowi procesor można programować w systemie, korzystając z portu szeregowego UART. Bootloader jest umieszczony w wydzielonej części pamięci i nie ma ryzyka jego przypadkowego skasowania. Moduł mechanicznie i po części elektrycznie jest zgodny z Arduino Everyy.

Budowa i działanie

Schemat minimodułu został pokazany na **rysunku 2**. Na niewielkiej płytce drukowanej umieszczono wszystkie elementy niezbędne do rozpoczęcia pracy z LPC845. Oprócz procesora U2 istotnym elementem jest konwerter USB-USART typu FT234XD. Pełni on funkcję programatora współpracującego z wbudowanym bootloaderem i aplikacją FlashMagic

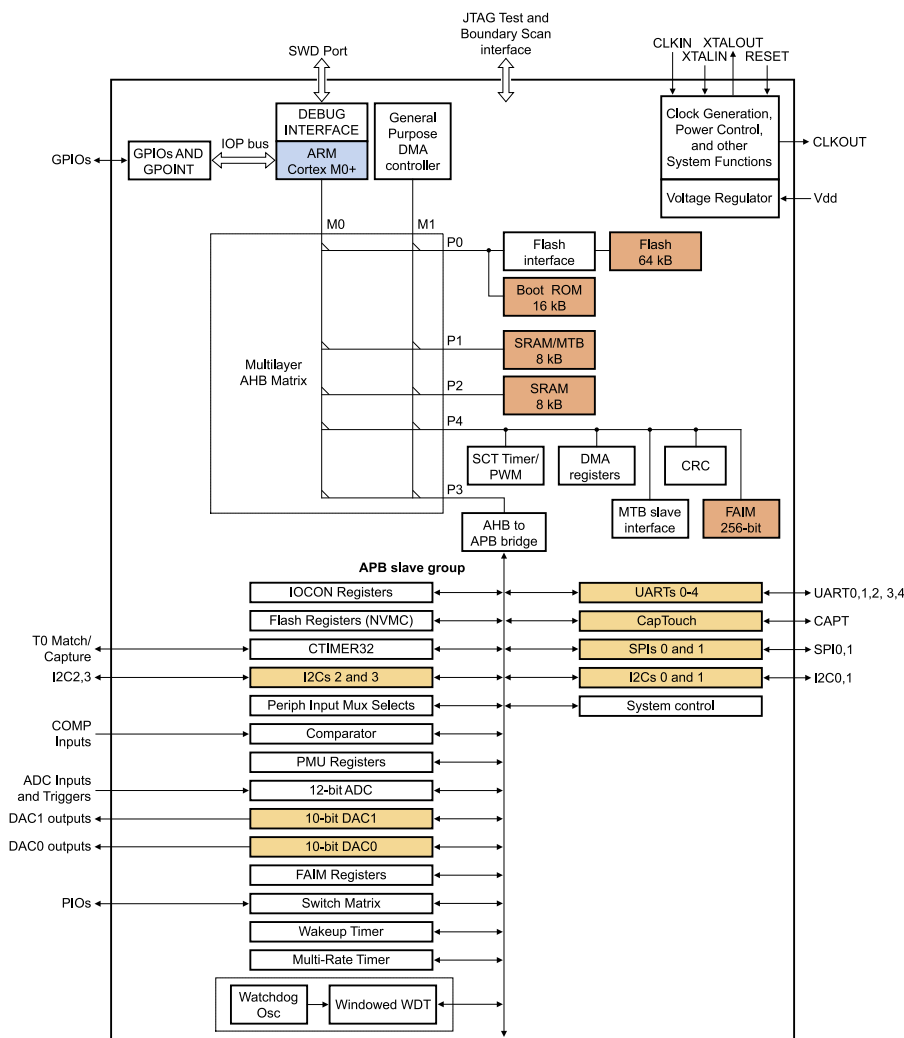


lub konwertera USB-UART łączącego LPC845 z komputerem nadrzędnym. Układ FT234XD pracuje w typowej aplikacji, dioda LD1 sygnalizuje aktywność portu szeregowego niezależnie od kierunku transmisji.

Płytkę może być zasilana na dwa sposoby, pierwszy to zasilanie poprzez gniazdo USB, drugi, przez złącze szpilkowe na PCB napięciem 5 V. Dioda D1 separuje dostępne źródła, stabilizator U3 dostarcza napięcia 3,3 V do zasilania mikrokontrolera. Obecność zasilania sygnalizuje dioda LD2 oznaczona PWR. Napięcie odniesienia VREF dla przetwornika

AD podlega dodatkowej filtracji przez elementy FB2, C14, C15 i może zostać pobrane z wyprowadzenia AREF-3 złącza na PCB lub z wewnętrznego napięcia 3,3 V po instalacji zwory AREF.

Wszystkie wyprowadzenia GPIO są w standardzie 3,3 V, wyprowadzono je na listwy szpilkowe o rozstawie zgodnym z płytkami stykowymi i prototypowymi. Wbudowane złącze SWD umożliwia programowanie i debugowanie także poprzez zewnętrzny programator, np. ZL33PRG. Płytkę uzupełniają dwa przyciski: RES dla restartu procesora i ISP



Rysunek 1. Struktura wewnętrzna układów LPC84x

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.media.avt.pl

W ofercie AVT* AVT5848

Podstawowe parametry:

- zawiera procesor LPC845 (30 MHz, 64 kB Flash, 16 kB RAM, 29 GPIO),
- dzięki wbudowanemu bootloaderowi procesor można programować w systemie, korzystając z portu szeregowego UART,
- mechanicznie i po części elektrycznie moduł jest zgodny z Arduino Everyy.

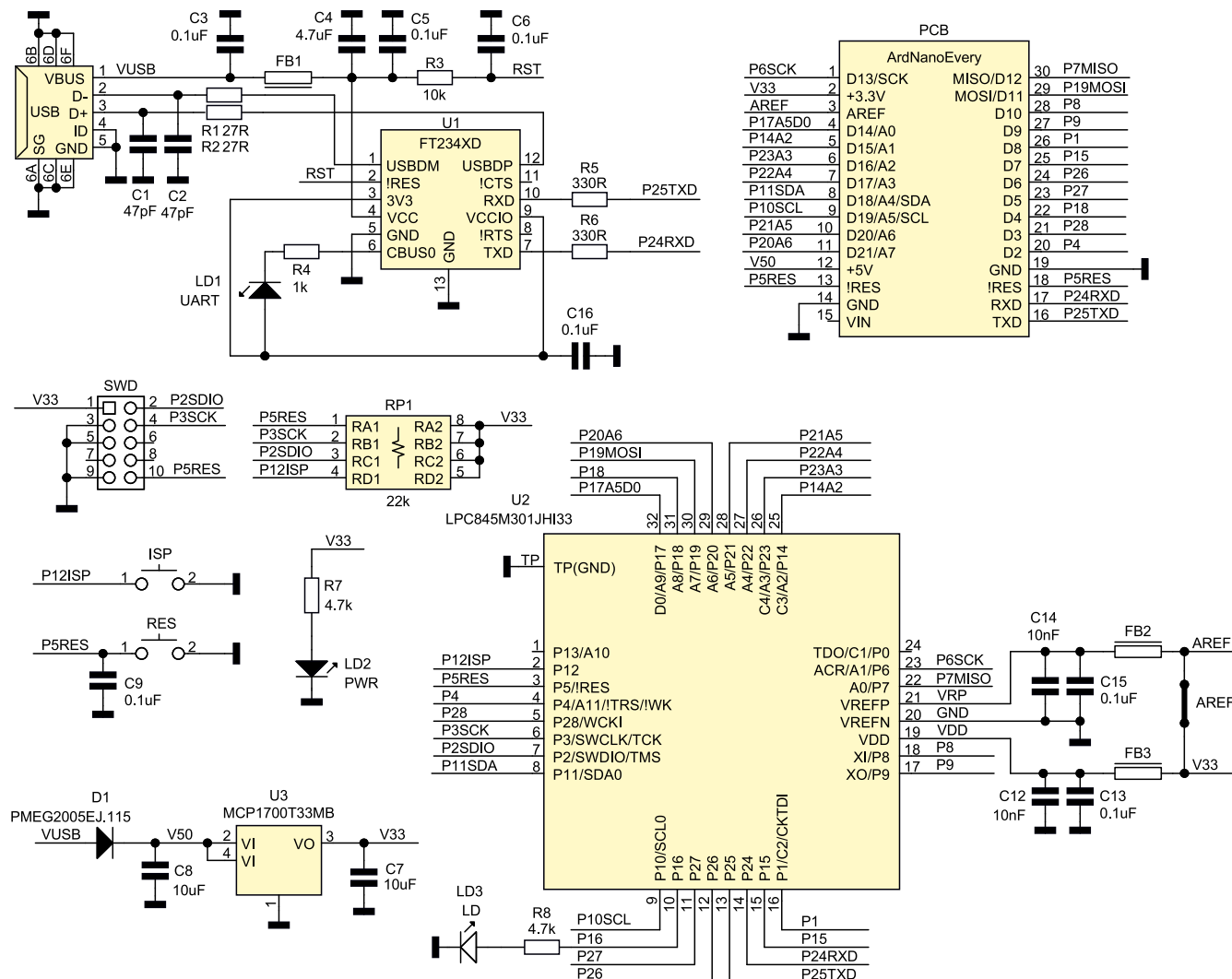
Uwaga! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu.

Wymagana umiejętność lutownicza!

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 wstawić 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 wstawione w płytkę PCB)
 - wersja [A] – płytkę drukowaną bez elementów i dokumentacji
 - wersja [Av] – płytkę drukowaną [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 <http://sklep.avt.pl>, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.



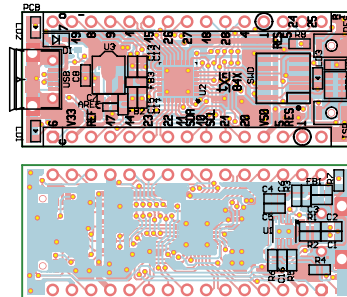
Rysunek 2. Schemat ideowy minimodułu

dla wprowadzenia U2 w tryb programowania. Do wyprowadzenia P16 podłączona jest dodatkowa dioda LED LD3. Rezystor RP1 polaryzuje wyprowadzenia interfejsu SWD i ISP.

Montaż i uruchomienie

Moduł zmontowany jest na dwustronnej płytce drukowanej, dokładny opis montażu jest zbędny. Rozstaw złączy umożliwia montaż modułu na płytkach prototypowych lub stykowych o rozstawie 100 milów. Aby zachować mały rozmiar, elementy montowane są dwustronnie. Schemat płytki PCB wraz z rozmieszczeniem elementów pokazano na rysunku 3.

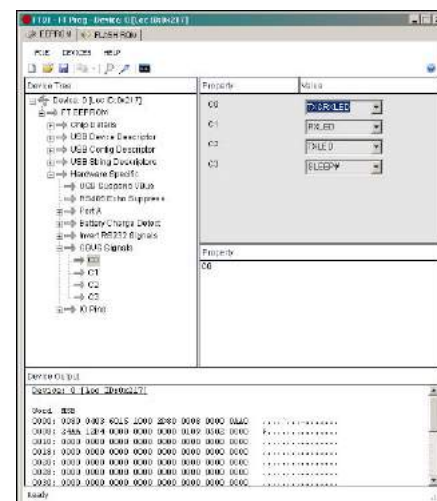
Moduł zmontowany ze sprawnych elementów nie wymaga uruchamiania. Za pomocą oprogramowania FT_Prog należy skonfigurować tylko wyprowadzenia GPIO układu FT232XL zgodnie z rysunkiem 4.



Rysunek 3. Schemat płytki PCB wraz z rozmieszczeniem elementów

Należy ustawić pin C0 na sygnalizację sumy sygnałów RXLED+TXLED. Przykładowa konfiguracja dołączona jest do materiałów dodatkowych. Po restarcie FT232XL można już używać modułu we własnej aplikacji.

Wprowadzenie modułu w tryb programowania (uruchomiony bootloader) odbywa się poprzez przytrzymanie przycisku



Rysunek 4. Konfiguracja układu FT232XL

Wykaz elementów:

Rezystory: (SMD 0603)

R1, R2: 27 Ω
R3: 10 k Ω
R4: 1 k Ω
R5, R6: 330 Ω
R7, R8: 4,7 k Ω
RP1: 22 k Ω drabinka SMD CRA06S08

Kondensatory: (SMD 0603)

C1, C2: 47 pF
C3, C5, C6, C9, C13, C15, C16: 0,1 μ F
C4: 4,7 μ F
C7, C8: 10 μ F
C12, C14: 10 nF

Półprzewodniki:

D1: dioda Schottky'ego PMEG2005EJ (SOD323F)
LD1: LED SMD0603 żółta
LD2: LED SMD0603 zielona
LD3: LED SMD0603 czerwona
U1: FT232XL (DFN12_045)
U2: LPC845M301JHI33 (QFN32)
U3: MCP1700T-3302MB (SOT-89)

Pozostałe:

FB1, FB2, FB3: ferryt 600 R/200 mA
AREF: zwora 0R 402
ArduEvery: złącze SIP15, 2 szt.
SWD: złącze 2x5 1,25 mm męskie SMD
ISP: mikroprzełącznik
USB: złącze micro-USB



Rysunek 5. Odczyt sygnatury układu w oprogramowaniu FlashMagic

ISP w trakcie restartu procesora przyciskiem RES. Po uruchomieniu programu

FlashMagic, wybraniu typu procesora LPC845M301JHI33 i aktywnego portu szeregowego konwertera USB-UART, warto sprawdzić sygnaturę układu, wybierając ISP → Read Signature (rysunek 5). Jeżeli odczytuje się prawidłowo, można przejść do programowania układu.

Do szybkiego rozpoczęcia pracy z modulem można użyć darmowego środowiska MCUXpresso i przykładów przygotowanych dla procesora LPC845. Po niewielkiej modyfikacji przykładów można dostosować je do płytki Every. W materiałach dodatkowych udostępniony jest plik *LPC845_PWM_LED*.

bin przygotowany na podstawie przykładu: *LPC845_PWM_LED*, dostosowany do procesora LPC845M301JHI33. Po zaprogramowaniu modułu i uruchomieniu terminalu portu szeregowego z ustawieniami 9600, 8, N, 1 możliwa jest zmiana wypełnienia PWM sterującego LED poprzez naciśnięcie dowolnego klawisza, każdorazowo zwrócona zostanie aktualna wartość PWM, a dioda LD3 zmieni jasność świecenia. Aktywna transmisja potwierdzana jest świeceniem diody UART, a obecność zasilania sygnalizuje dioda PWR.

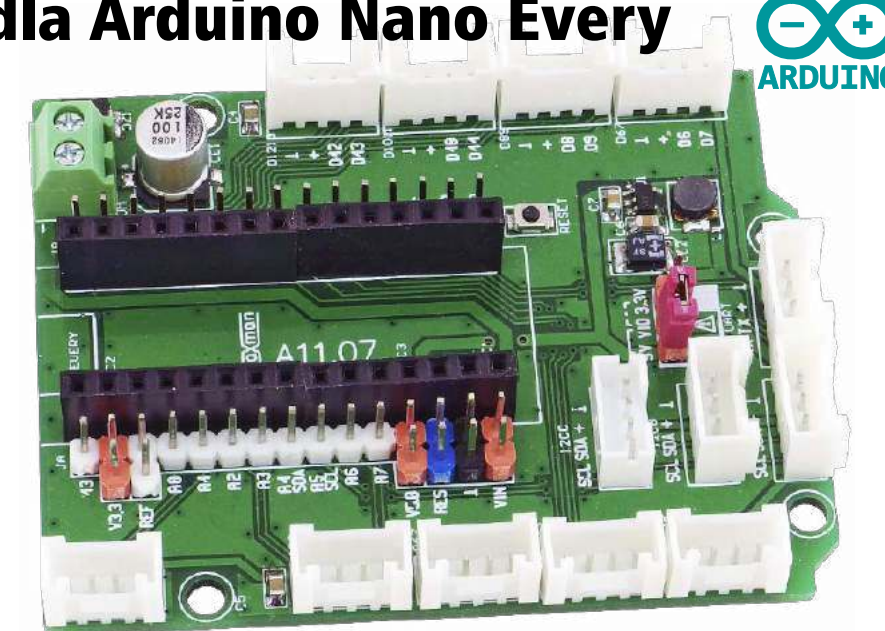
Adam Tatuś, EP

Płytki bazowa dla Arduino Nano Every



W ofercie płytek Arduino dostępne są niewielkie, proste w zastosowaniu, ale odznaczające się wyjątkową funkcjonalnością, odpowiedniki Arduino Nano: Nano Every, Nano 33 IoT, Nano 33 BLE, Nano 33 BLE SENSE. Zaprezentowana płytka ułatwia szybkie podłączenie nowej rodziny Nano z czujnikami i elementami wykonawczymi, zapewniając zgodność z systemami 3,3 V i 5 V oraz starszym Arduino Nano.

Schemat modułu został pokazany na rysunku 1. Zasilanie płytki bazowej jest standardowo połączone z wbudowanym złączem USB płytek serii Nano. Dodatkowe złącze zasilania na płycie bazowej jest oznaczone jako VM i pozwala na dołączenie napięcia z przedziału 5...18 V. Transil DZ1 zabezpiecza



Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.media.avt.pl

W ofercie AVT* AVT5850

Podstawowe parametry:

- ułatwia szybkie podłączenie nowej rodziny płytek serii Nano,
- pozwala na dołączenie napięcia zasilania z przedziału 5...18 V,
- zapewnia zgodność z systemami 3,3 V i 5 V oraz starszym Arduino Nano.

Uwaga! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu.

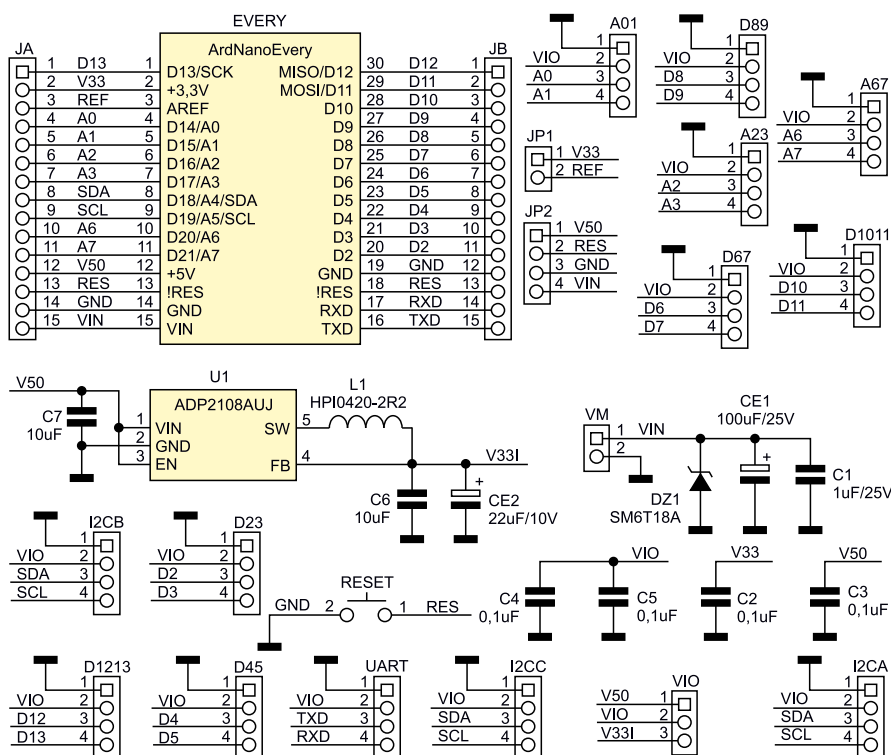
Wymagana umiejętność lutowania!

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 wstawić w dołączoną płytkę drukowaną (PCB). Wykaz elementów znajduje się w dokumentacji, która jest podlinkowana w opisie kitu.

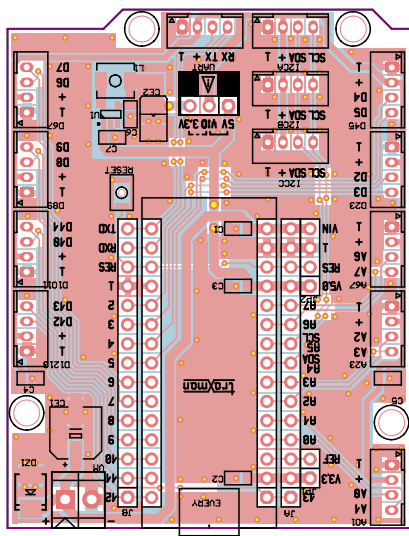
Mając na uwadze różne potrzeby naszych klientów, oferujemy dodatkowe wersje:

- wersja [C] – zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw [B] (elementy wstawiane w płytke PCB)
 - wersja [A] – płytka drukowana bez elementów i dokumentacji
 - wersja [UK] – płytka drukowana z elementami elektronicznymi, mające 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 <http://sklep.avt.pl>, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.



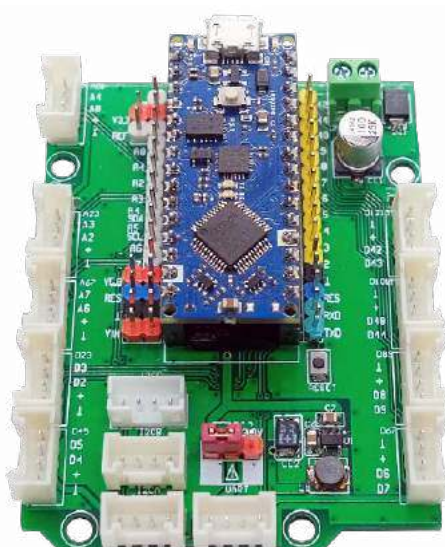
Rysunek 1. Schemat płytki bazowej



Rysunek 2. Schemat płytki PCB wraz z rozmieszczeniem elementów

Arduino przed odwrotną polaryzacją zasilania oraz przepięciami.

Na złącza szpilkowe JA i JB wyprowadzone są wszystkie sygnały z płytki Nano. Złącze JP zawiera zasilania VIN, V50, V33V i sygnał Reset. Do złączy czujników typu JST PH4, 2,00 mm lub Grove, w zależności od preferencji, doprowadzone są wszystkie sygnały z Nano pogrupowane parami oraz zasilanie VIO. Złącza magistrali I²C, dla wygody podłączenia większej liczby czujników, zostało powielone. Ze względu na zapewnienie zgodności z płytkami BLE/IoT pracującymi



Fotografia 1. Zmontowana płytka bazowa z zamontowanym modułem Arduino

w standardzie 3,3 V płytka bazowa umożliwia wybór napięcia VIO pomiędzy 5 V dla NanoEvery i 3,3 V dla pozostałych płytek za pomocą zwory VIO. Napięcie 3,3 V dostarczane jest przez układ przetwornicy obniżającej U1 typu ADP2108.

Montaż i uruchomienie

Moduł zmontowany jest na niewielkiej dwustronnej płytce drukowanej, której schemat wraz z rozmieszczeniem elementów został pokazany na rysunku 2. Montaż nie jest skomplikowany i nie wymaga dokładnego opisu.

Wykaz elementów:

Kondensatory:

C1: 1 µF/25 V SMD0805
C2, C3, C4, C5: 0,1 µF SMD0805
C6, C7: 10 µF SMD0805
CE1: 100 µF/25 V CESMD6,3 elektrolityczny Low ESR np. EEEFPE101XAP
CE2: 22 µF/10 V SMD3528 tantalowy B

Półprzewodniki:

DZ1: Transil SM6T18A SMD
U1: ADP2108AUJZ (SOT-23-5)

Pozostałe:

A01, A23, A67, D23, D45, D67, D89, D1011, D1213, I2CA, I2CB, I2CC, UART: złącze JST 2 mm 4 pin lub Grove
EVERY: złącze żeńskie 1x15 pin 2,54 mm
JA, JB: listwa męska 1x15 pin 2,54 mm
JP1: listwa męska 1x2 pin 2,54 mm
JP2: listwa męska 1x4 pin 2,54 mm
L1: dławik SMD Ferrocere HPI0420-2R2
RESET: przycisk SMD
VIO: listwa męska 1x3 pin 2,54 mm + zwora
VM: złącze śrubowe DG381-3,5-2

Zmontowaną płytkę, z zamontowanym modułem Arduino, pokazuje fotografia 1. Płytkę nie wymaga uruchamiania, po podłączeniu źródła zasilania do złącza VM lub USB, należy tylko sprawdzić obecność napięcia VIO, które powinno wynosić 3,3 V, ±5%. Podczas montażu warto wyróżnić grupy sygnałów zasilania, wejść analogowych, cyfrowych oraz transmisji różnokolorowymi listwami kołkowymi – ułatwia to szybkie i bezbłędne połączenia ze współpracującymi układami. Zamiennie ze złączami PH 2,00 mm mogą być stosowane złącza o oznaczeniu 110990030 zgodne z płytkami Grove.

Adam Tatuś, EP

REKLAMA

m.ty
m.technik
Ciekawi świata są zawsze młodzi
w prezencie na każdą okazję



<http://bit.ly/2DKGsBJ>



przejrzyj i kupisz na
www.ulubionykiosk.pl

Izolator magistrali I²C

Prezentowany minimoduł, oprócz buforowania sygnałów magistrali I²C, zapewnia izolację galwaniczną komponentów dołączonych do tej magistrali. Dzięki zestawowi złączy dla najpopularniejszych standardów płytek prototypowych (Grove, Qwiic, Arduino Brick, Pmod) pełni funkcję huba pomiędzy systemami, zwalniając z konieczności posiadania przejściówek.

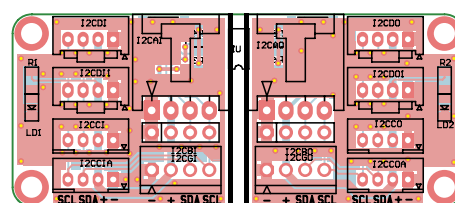
Moduł ma nieskomplikowaną konstrukcję dzięki zastosowaniu specjalizowanego układu izolatora magistrali I²C typu ADuM1250 firmy Analog Devices. Budowa wewnętrzna układu została pokazana na **rysunku 1**. W swej strukturze układ zawiera izolatory sygnałów SDA i SCL magistrali I²C, a wbudowana logika zapewnia automatyczne przełączanie kierunku transmisji. Umożliwia on dwukierunkową transmisję sygnału SCL. Jego



uproszczona wersja zgodna z wyprawdzeniami to ADuM1251, który transmituje sygnał SCL w jednym kierunku (wejście na wyprowadzeniu 3, wyjście na wyprowadzeniu 6). W modelu zastosowano ADuM1250, co pozwala na umieszczenie układu master z dowolnej „strony” izolatora.

Budowa i działanie

Schemat modułu został pokazany na **rysunku 2**. Oprócz układu U1 zawiera jedynie rezystory podciągające sygnały magistrali do zasilania oraz kondensatory odsprężające zasilanie. Sygnały wejściowe (umownie) I²C doprowadzone są do bloku złączy I2CxI, izolowane sygnały wyjściowe (umownie) I²C dostępne są na złączach I2CxO. Diody LD1 i LD2 sygnalizują obecność zasilania po obu stronach izolatora.



Szczepionka na nieprzychylność



**Zadeklaruj
nam decyzję
o zaszczepieniu się
przeciwko COVID-19**

**i otrzymaj ZA DARMO
wydanie drukowane
lub elektroniczne**

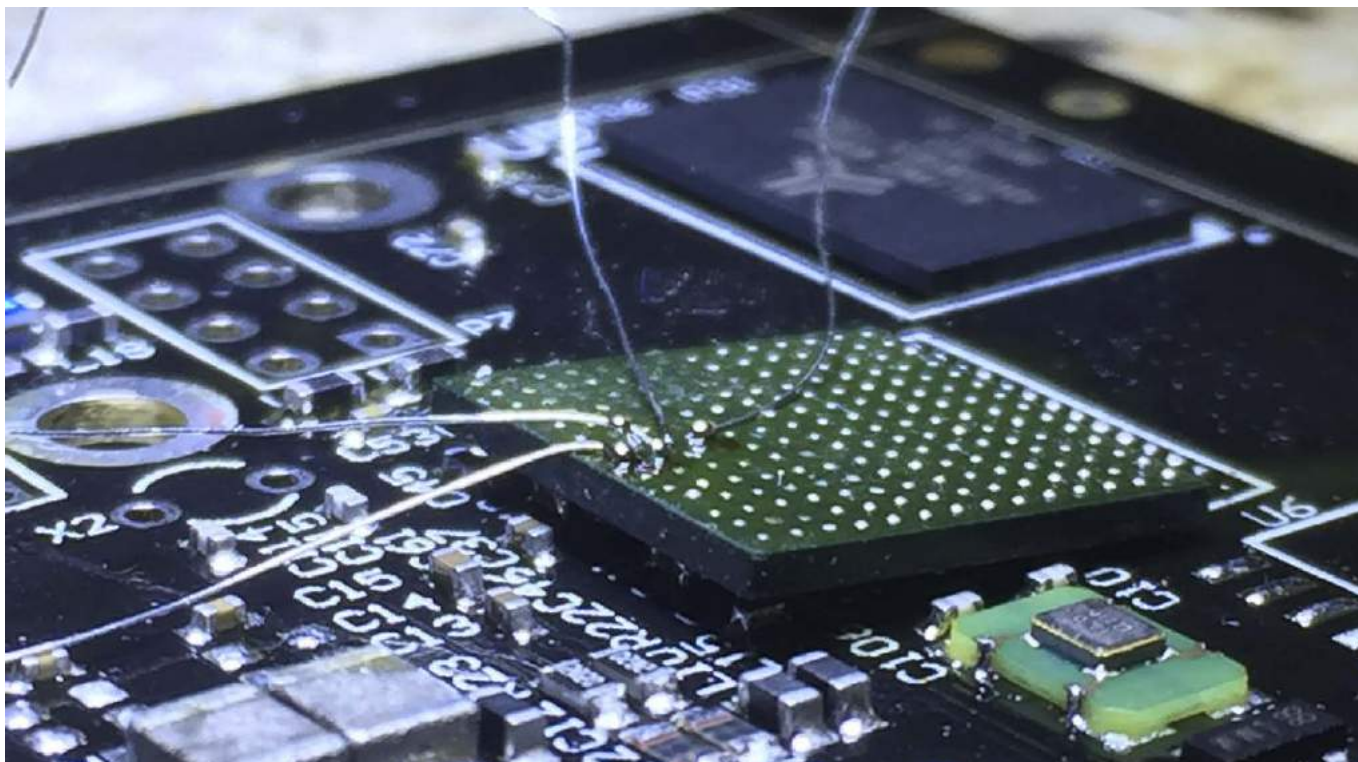
HOLISTIC
HEALTH

Szczegóły akcji i formularz z deklaracją znajdziesz na stronie internetowej:

ktociewyleczy.pl/deklaracja_szczepienia

Po otrzymaniu Twojej deklaracji wyślemy Ci gratis bieżący numer Holistic Health. W razie wyczerpania nakładu, wyślemy Ci następne wydanie drukowane, a numer bieżący otrzymasz w wersji elektronicznej (PDF).

Akcja trwa do 31.03.2021.



Od pomysłu do wdrożenia

Droga od pomysłu do produktu, który można wdrożyć na rynek, jest wyboista i usiana pułapkami. I choć nie ma jednej uniwersalnej ścieżki dla tego procesu, to pewne etapy muszą się tam znaleźć, niezależnie od tego, czy realizacją zajmuje się zespół biura projektowego, czy zadania podjął się freelancer.

W artykule omówimy przebieg tego procesu i wskażemy, na co należy zwrócić szczególną uwagę. Dowiemy się także, na podstawie relacji właściciela firmy działającej od dawna w tej branży, jak to wygląda w praktyce.

Cykl życia produktu został pokazany schematycznie na **rysunku 1**. Pierwszy zawsze musi być pomysł, a zaraz po nim konieczne następuje analiza rynku i określenie wymagań. Następnie projekt urządzenia musi zostać zwalidowany, czyli należy sprawdzić, czy spełnia wymagania. Jeśli projekt spełnia wymagania, to może być wdrożony, czyli np. wprowadzony do sprzedaży. Jeśli nie, wracamy do deski kreślarskiej. Na samej sprzedaży życie urządzenia się nie kończy. Musimy zapewnić możliwość serwisowania, początkowo w ramach serwisu gwarancyjnego, a następnie napraw pogwarancyjnych. Zakończenie wsparcia następuje, kiedy urządzenie przestaje być użyteczne.

Pomysł

Wszystko zaczyna się od pomysłu. Od tego, na ile jest on określony, zależy to, w jaki sposób realizowane będą kolejne kroki. Pomysłem może być chęć stworzenia urządzenia jakiegoś rodzaju, nowa technologia czy sposób realizacji jakichś czynności procesowych czy

technologicznych. Pomysłem może też być tzw. potrzeba biznesowa, czyli zaobserwowane na rynku zapotrzebowanie na konkretny produkt, którego obecnie na nim brakuje. Im lepiej określimy nasz pomysł, tym łatwiej będzie nam w kolejnych krokach powstawania produktu. Pomysł najprościej jest określić, opisując wymagania – zajmujemy się tym w dalszej części artykułu. Teraz założmy, że mamy pewien pomysł na urządzenie. Jest pewna potrzeba na rynku i pewna metoda jej zaspokojenia poprzez układ elektroniczny.

Nie mniej istotne niż sam pomysł są pewne założenia biznesowe, bo przecież zakładamy, że na naszym produkcie chcemy zarabiać. Opracowanie nowego produktu, czyli zmiana pomysłu w coś, co realnie i legalnie możemy sprzedać na rynku, jest inwestycją. Czasami nawet bardzo dużą, pochłaniającą wiele naszych oszczędności bądź innych środków. Dlatego też ważne jest, aby opracowany przez nas produkt zapewnił co najmniej zwrot tej inwestycji, a najlepiej przyzwoity zarobek.

Zanim przystąpimy do budowania prototypów i przekształcania ich w urządzenia produkcyjne, konieczne jest przeprowadzenie tzw. analizy rynku. W najprostszym ujęciu musimy po prostu odpowiedzieć na szereg istotnych pytań:

- Czy na dany towar jest na rynku zapotrzebowanie?
- Jaka będzie potencjalna sprzedaż?
- Ile nasz potencjalny klient będzie w stanie za taki towar zapłacić?
- Ile będzie nas kosztowało to przedsięwzięcie w pełnym cyklu życia urządzenia?

W pierwszej kolejności musimy określić rynek docelowy. Tak zwany target, czyli te osoby (lub firmy czy inne podmioty), które mogą zostać naszymi klientami. Tutaj jest wiele podejść, możemy po prostu oprzeć się na swojej znajomości rynku, skorzystać ze statystyk np. GUS-u,

czy przygotowujących przez inne ośrodki lub wręcz sporządzonych na nasze zlecenie albo zlecić tzw. badania fokusowe, na ogół przeprowadzane na nasze zlecenie przez firmy, które po prostu się na tym znają (dodatkowe zlecenia to coś, do czego powinniśmy się przyzwyczaić, szczególnie jeśli produkt wprowadzamy jako mała firma lub freelancer).

Gdy wyznaczmy grupę naszych potencjalnych klientów, musimy oszacować, ilu z nich realnie stanie się nabywcami naszego urządzenia. W tym celu określamy tzw. wskaźnik penetracji rynku. Jest on uzależniony od wielu czynników – kosztu urządzenia w porównaniu do zarobków naszego targetu, polityki cenowej, obecności konkurencji na rynku, naszego marketingu itp. Ciężko podać jednoznaczny i prosty sposób na estymację tego wskaźnika, dlatego dobrze jest oszacować go dość zachowawczo. Mówiąc wprost – lepiej zostać pozytywnie zaskoczonym sukcesem naszego biznesu, niż się przeliczyć, ponieważ każde przedsięwzięcie wymaga zainwestowania kapitału i czasu. Załóżmy, że wskaźnik wyniesie np. 5% rocznie w odniesieniu do wyznaczonej liczby nabywców.

Wymagania

Po określeniu pomysłu na nasze urządzenie i przeprowadzeniu związanej z nim analizy biznesowej możemy przystąpić do kluczowego etapu powstawania urządzenia – prototypowania. Pierwszym krokiem tego procesu jest spisanie wymagań jakie stawiamy naszemu projektowi. Jest to zestaw funkcji i parametrów, jakie musi spełnić prototyp, żeby został on zaakceptowany i stał się finalnym produktem. Dokument taki pomoże nam później, na etapie walidacji, upewnić się, że to, co zaprojektowaliśmy, jest tym, co zaprojektować chcieliśmy (tym, co uwzględnialiśmy w analizie rynku).

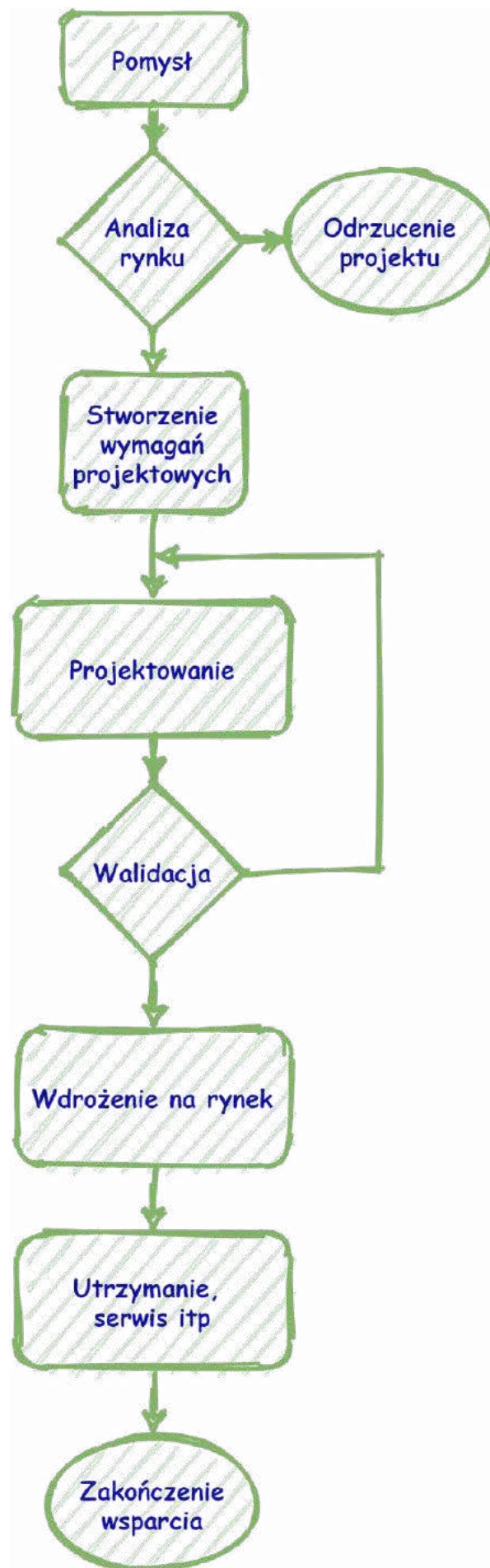
Kilka przykładowych wymagań, podobnych do tych, które mogą się znaleźć w wymaganiach rzeczywistych urządzeń, zebrano w **tabeli 1**. Opisują one, jakie funkcje ma spełniać urządzenie i jakie mają być jego parametry. Oprócz samych wymagań w tabeli znajduje się także kolumna nazwana *priorytet*, w której zaznaczamy, jak ważne jest wymaganie. Jedne będą krytyczne, inne oczekiwane, a jeszcze inne opcjonalne. Tak zapisane wymagania są elastyczne, a jednocześnie dobrze opisują kluczowe aspekty urządzenia.

Kolejnym ważnym elementem, szczególnie w niektórych branżach, są normy branżowe. Musimy zastanowić się, czy nasze urządzenie musi je spełniać, abyśmy np. mogli mu nadać znak CE i sprzedawać na terenie Unii Europejskiej. Dodatkowo, jeśli planujemy ekspansję na inne rynki, musimy przeanalizować także tamte, lokalne normy, które nierzadko różnią się od tych, które obowiązują w Polsce czy Europie.

W przypadku naszego urządzenia wydającego jakiś dźwięk należy sprawdzić, czy nie jest on w jakiś sposób znormalizowany. Wtedy nasze urządzenie musiałoby spełniać wymagania takiej normy. Poza tym może nas dotyczyć np. norma PN-EN 61305-3: 2001 „Urządzenia i systemy elektroakustyczne powszechnego użytku o wysokiej wierności odtwarzania – Specyfikacja parametrów i metody ich pomiaru

Tabela 1. Przykładowe wymagania stawiane opracowywanym projektom

Wymaganie	Priorytet
Urządzenie wiernie imituje dźwięk „ping”	Musi
Dźwięk musi mieć co najmniej 60 dB mierzone w odległości 1 metra od urządzenia	Powinno
Urządzenie ma pracować miesiąc na pojedynczej baterii AA przy założeniu, że będzie uruchamiane 7 razy dziennie	Musi
Urządzenie o niewielkich wymiarach, aby mieściło się w kieszeni	Dobrze by było
Obudowa w kolorze zielonym	Powinno
Koszt produkcji nie może przekroczyć 21,37 zł	Musi



Rysunek 1. Typowy cykl życia produktu – od pomysłu aż do zakończenia wsparcia

– Wzmacniacze” czy też PN-EN 61329: 2002 „Urządzenia i systemy akustyczne – Metody pomiarów i specyfikacja parametrów sygnalizatorów akustycznych (przetworników elektroakustycznych do emisji dźwięku)”. Dodatkowo, jeśli chcemy nadać urządzeniu stopień ochrony przed wnikaniem do środka cieczy i ciał stałych IP, to musimy powołać się na normę PN-EN 60529: 2003. Jeśli chcemy wykazać się mechaniczną wytrzymałością, to możemy nadać „stopień ochrony przed zewnętrznymi uderzeniami mechanicznymi zapewnianej przez obudowy urządzeń elektrycznych”, czyli kod IK, zgodnie z normą PN-EN 50102.

Norm może być bardzo dużo. Same wymagania mogą nie być szczególnie trudne do spełnienia albo mogą wymagać sporych nakładów projektowych. Wiele zależy od rodzaju urządzenia czy też sektora, w którym się poruszamy. Łatwo domyślić się, że np. urządzenie medyczne musi spełnić o wiele bardziej wymagające normy niż np. termometr domowy. Trzeba pamiętać, że spełnianie norm wiąże się z kosztami. Z jednej strony może to wymagać droższych rozwiązań konstrukcyjnych, z drugiej strony badania, które często trzeba zrealizować, aby potwierdzić w certyfikowanym ośrodku spełnianie normy, także nie należą do tanich.

Projektowanie

Istnieje wiele paradygmatów projektowania, z których znaczna część może być zastosowana przy projektowaniu układów elektronicznych. Trzeba mieć spore doświadczenie, aby wybrać odpowiedni sposób zarządzania projektem i konsekwentnie się go trzymać, nie żałując swojej decyzji. Projektując kompletne urządzenie elektroniczne, które ma trafić na rynek, trzeba poruszać się w kilku dziedzinach. W dużym uproszczeniu, współczesne urządzenie elektroniczne składa się z następujących segmentów:

- Sprzętu elektronicznego, na który składa się cały elektroniczny hardware naszego systemu – płytką drukowaną wraz z elementami, sekcją zasilania etc.
- Oprogramowania, które może być oprogramowaniem układowym mikrokontrolera (firmware) lub opisem sprzętu dla układu programowalnego.
- Elementów mechanicznych, czyli obudowy oraz wszystkich innych elementów, które potrzebne są do działania urządzenia.

W zwięzły sposób nie da opisać wszystkich detali projektowania, ale każdy inżynier czytający te słowa z pewnością wie, jak do tego podejść. Jedno, o czym chciałbym wspomnieć, to paradygmat DFM (*Design for Manufacturing* – projektowanie pod wytwarzanie). Jest to zestaw reguł projektowych, które pozwalają zagwarantować, że opracowywane zgodnie z nimi urządzenie będzie się dało wyprodukować. To znaczy, że jego wykonanie, metodami produkcji masowej będzie łatwe i niedrogi. W pewnym stopniu zwiększa to koszty projektowania, ale pozwala zaoszczędzić bardzo dużo środków na znajdującym się dalej w cyklu życia produktu etapie industrializacji. Również warto wspomnieć o paradygmacie DFA (*Design for Assembly* – projektowanie pod montaż) – jest to kolejny zestaw reguł, który w swoim założeniu ma się przyczynić do tego, że urządzenie będzie proste w montażu.

Co w praktyce, przy projektach elektronicznych, oznacza DFM i DFA? Najprostszym przykładem DFM jest projektowanie płytek zgodnie z regułami projektowymi (takimi, jak minimalna szerokość ścieżek, odstęp pomiędzy nimi, wielkości otworów itp.), jakie będzie oferował producent naszego docelowego urządzenia. Dla wielu elektroników to może wydawać się oczywiste, jednak już np. stosowanie docelowych elementów na etapie prototypu nie jest tak oczywiste. Szczególnym przykładem może być np. używanie oporników o tolerancji 1% w prototypie i 5% w urządzeniu produkcyjnym czy też zmiana dostawcy kondensatorów. Wymagania dotyczą także złączy lub stosowania kablowych połączeń lutowanych.

Wyobraźmy sobie, że nasze urządzenie zawiera dwie płytki drukowane, które musimy ze sobą połączyć. Najtańszym rozwiązaniem może być ich połączenie lutowanymi z obu stron przewodami, jednak

może okazać się, że nie jest to rozwiązanie najprostsze w produkcji – wymaga ręcznego lutowania przez człowieka. Jeśli zdecydujemy się na zastosowanie złączy, to można oba moduły połączyć za pomocą wiązki kablowej, której produkcję łatwo da się zautomatyzować. Co zastosować? Oczywiście to, co będzie tańsze w produkcji. Paradygmaty DFM i DFA oraz reguły z nich wynikające narzucają na konstruktora konieczność myślenia o produkcji i montażu urządzeń od samego początku procesu projektowania.

Jest jeszcze wiele różnych podejść do projektowania i wiele metodologii, szczególnie takich dotyczących oprogramowania. Artykuł nie pozwala opisać tego w wyczerpujący sposób. Dodatkowo, jeżeli pracujemy samodzielnie, jako freelancer lub jedyny projektant-elektronik w zespole, podejście do projektowania jest wynikiem osobistych preferencji.

W zakresie projektowania urządzeń elektronicznych (i nie tylko) warto wspomnieć o pewnych istotnych, zwłaszcza w ostatnim czasie, zagadnieniach. Chodzi tutaj o zwinne zarządzanie projektem oraz o tak zwane TDD (*Test Driven Development* – rozwój kontrolowany testami). Zwinne zarządzanie projektem, określane terminem *agile*, stawia na elastyczne podejście do projektowania. Pozwala np. dynamicznie zmieniać pewne elementy w wymaganiach, umożliwiając konstruktorom dostosowywanie ich do np. możliwości technicznych. Bardzo często jest tak, że wymagania są listą życzeń dotyczącą idealnego produktu. Dopiero próba jego zaprojektowania weryfikuje możliwość realizacji tych założeń. W przypadku naszego urządzenia może się okazać, że nie da się pogodzić wymagania dotyczącego odpowiedniej głośności z założonym zużyciem energii. Na etapie projektowania można podjąć odpowiednią decyzję dotyczącą tego, jaki kompromis należy przyjąć – czy poświęcić energooszczędność, by uzyskać odpowiednią głośność, czy też ważniejszy jest długi czas pracy na baterii.

TDD zakłada, że równolegle z samym projektem urządzenia powstają również testy, sprawdzające jego parametry. Przy każdej iteracji projektu, np. przy każdym konkretnym prototypie, testuje się go zgodnie z przyjętymi założeniami. Jeżeli prototyp zdaje dany test, to konkretne wymaganie z nim związane uznaje się za spełnione. W momencie, gdy wszystkie wymagania są spełnione, produkt uważa się za gotowy. TDD jest szczególnie praktyczne, gdy kolejne prototypy powstają szybko, co jest możliwe np. na etapie pisania oprogramowania. Metoda jest rzadziej praktykowana przy systemach, których iterowanie nie jest ani szybkie, ani też tanie. Zmiana w oprogramowaniu i jego ponowna kompilacja zasadniczo nie pociąga za sobą kosztów, czego nie można powiedzieć o wykonaniu kolejnego prototypu. Dlatego też w przypadku projektów elektronicznych czy mechanicznych z TDD należy korzystać rozsądnie i elastycznie.

Finalnie powstaje ostateczny prototyp, który powinien spełniać wszystkie stawiane wymagania. Na tym etapie można mówić o zamknięciu etapu projektowania danego urządzenia i o możliwości przejścia do kolejnego etapu w rozwoju produktu, jakim jest jego walidacja.

Walidacja

Ten etap wydaje się najprostszy ze wszystkich. Sprawdzamy, czy prototyp spełnia wszystkie wymagania. Zależnie od tego, jak dokładnie spisaliśmy wymagania na etapie uruchamiania projektu, tak dokładnie przebadamy teraz prototyp. Jeśli spełnia wszystkie wymagania projektowe, możemy przystąpić do badania zgodności z wymaganiami norm. Możemy to zrobić sami, jednakże na ogół, w zakresie sprawdzenia zgodności z normami, posiłkować będziemy się specjalistycznymi firmami czy instytucjami, które są w stanie sprawdzić zgodność z wymaganiami norm i jednocześnie wystawić nam odpowiedni certyfikat.

Mając prototyp po pozytywnej walidacji oraz wszystkie wymagane prawem certyfikaty mamy pewność, że urządzenie, które będziemy wdrażać na rynek (a zatem ponosić kolejne koszty), jest, po pierwsze zgodne z naszymi założeniami technicznymi i biznesowymi,

a po drugie, jest zgodne z prawnymi wymaganiami nakładanymi przez normy itp., więc nie narazi nas na problemy prawne i dalsze, ewentualne koszty w cyklu życia urządzenia.

Wdrożenie

Wdrożenie na rynek nie jest etapem łatwym. Można napotkać szereg problemów związanych, z jednej strony, z wymaganiami prawnymi, a z drugiej strony, z przejściem do produkcji masowej. Dla uproszczenia, cały ten proces możemy nazwać industrializacją, chociaż jej definicja nie wyczerpuje wszystkich kroków, jakie musimy wykonać, aby z etapu finalnego prototypu przejść do gotowego, produkcyjnego urządzenia.

W pierwszej kolejności konieczne jest dostosowanie prototypu do wymagań produkcji masowej. Odbyna się to na kilku poziomach. Pierwszym i najprostszym jest przygotowanie dokumentacji produkcyjnej, która w dużym stopniu zależy od tego, co składa się na nasze urządzenie. Dla elektroniki jest to dokumentacja samej płytki drukowanej i sposobu montażu elementów. Dokumentacja PCB na ogół przygotowana jest w postaci plików w formacie gerber oraz plików wierceń, a czasami także plików frezowania itp. dokumentacja montażowa płytki drukowanej składa się z listy materiałowej – tak zwanej BoM (*Bill of Materials*) oraz pliku dla maszyny typu *pick and place*, który wskazuje, gdzie poszczególne elementy z BoM znajdują się na płytce drukowanej.

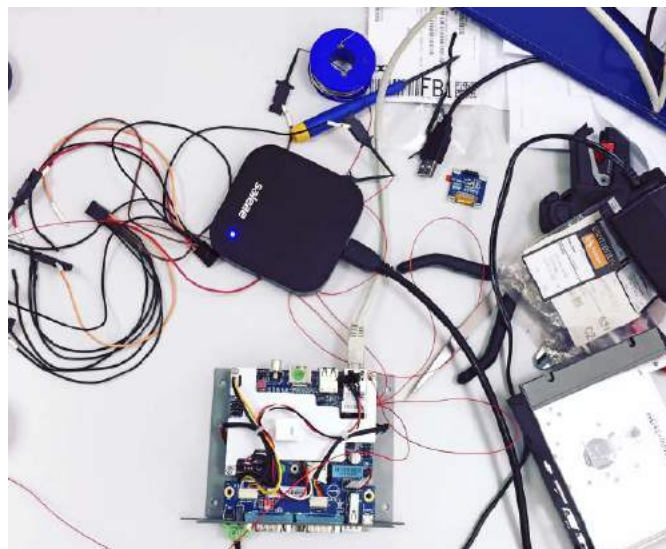
Jeśli zaniedbaliśmy DFM na etapie projektowania systemu, to zaprojektowany układ może wymagać pewnych zmian, np. wybrania elementów, które są popularniejsze w handlu, dopasowania wspólnych wartości elementów (dzięki czemu mamy mniej rodzajów elementów na PCB, a to przekłada się na niższy koszt montażu) oraz wyeliminowanie wszystkich zbędnych elementów, które wymagają montażu ręcznego. Oczywiście wszystko zależy od skali produkcji. Inaczej produkuje się 10 płytek miesięcznie, a inaczej 50 tysięcy modułów w tym samym czasie. Przy założeniu wysokiej sprzedaży można z łatwością zamawiać płytki drukowane z montażem w partiach po kilka tysięcy, co pozwala istotnie obniżyć koszty, dzięki tzw. prawu skali (cena skuluje się wraz z ilością, np. ten sam opornik 1 kΩ może kosztować 0,149 zł przy zakupie 10 sztuk i 0,014 zł przy zakupie 5000 sztuk). Zakładając, że w jednym urządzeniu mamy 10 takich oporników, różnica w cenie na jednym urządzeniu wynosi aż 1,35 zł, a w skali sprzedaży przekłada się na ponad 1550 zł, dzięki skalowaniu zakupu tylko jednego elementu. Szacunki tego typu można realizować na etapie industrializacji prototypu albo wcześniej, już na etapie projektowania w ramach podejścia DFM.

Następnym krokiem jest uruchomienie produkcji i dystrybucji urządzeń. W dzisiejszych czasach, gdy zlecenia tego rodzaju załatwia się drogą online, jest to stosunkowo proste. Przesyłamy dokumentację, opłacamy fakturę i po jakimś czasie otrzymujemy gotowe płytki z elementami. Płytki instalujemy w obudowach, pakujemy, wysyłamy gotowe urządzenia do klientów i wreszcie widzimy pierwsze wymierne efekty naszej pracy.

Finansowanie

Skąd brać na to wszystko pieniądze? Odpowiedzi na to pytanie jest wiele i wszystkie one zależą od tego, w jakich warunkach powstaje urządzenie. Poniższe przemyślenia w żaden sposób nie aspirują do wyczerpania tego tematu, ale mogą nakierować na rozwiązanie niektórych problemów.

Najprostszym sposobem jest sfinansowanie wszystkiego z własnej kieszeni. Jest to również sposób najtrudniejszy, przynajmniej dla początkującego przedsiębiorcy, którego firma nie przynosi jeszcze dochodów, a co za tym idzie, nie ma jak finansować rozwoju nowych produktów z bieżących przychodów. Jednak jeśli jesteśmy w 100% pewni naszego produktu, wiemy, że osiągniemy sukces (a przynajmniej zwróci nam kwotę włożoną w projekt), to możemy finansować całość z naszych oszczędności. Ponosimy wtedy całe ryzyko projektowe



i biznesowe, związane z nowym produktem, ale jeżeli okaże się, że urządzenie będzie sprzedażowym hitem, to wszystkie zyski z jej produkcji i sprzedaży trafią do nas. Jeśli nasze wyliczenia i szacunki z początku realizacji były poprawne, to osiągamy sukces i stabilnie zarabiamy na stworzonym przez siebie urządzeniu.

Jeżeli nie mamy odpowiednio dużych oszczędności, możemy poszukać o pożyczkę. Nie chodzi tutaj oczywiście o zwykły kredyt, a o tak zwaną pożyczkę inwestycyjną. Taką ofertę posiadają np. Bank Gospodarstwa Krajowego [1], Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości [2] czy Polska Fundacja Przedsiębiorczości [3]. Często są to niskoprocentowane kredyty, dofinansowane z funduszy europejskich, czy też kredyty w ogóle nieoprocentowane, udzielane przedsiębiorcom w ramach pomocy de minimis [4].

Innym rozwiązaniem jest znalezienie inwestora. Jest to osoba fizyczna lub prawna, która jest w stanie przekazać nam pewne środki w zamian za np. udziały w spółce, tworzącej nowe urządzenie czy też w zamian za część zysków lub jakąś formę licencji na produkcję urządzenia. Nie ma uniwersalnego sposobu na pozyskanie inwestora. Można poszukać tak zwanego anioła biznesu – inwestora prywatnego, na ogół osoby fizycznej, która dysponuje środkami finansowymi, a także ogromnym wyczuciem biznesowym i znajomością rynku. Anioł biznesu inwestuje często w rozwijające się, młode spółki w zamian za udziały w nich, a potem zarabia na takich inwestycjach. Gdy już dana młoda spółka rozwinie się, to może sprzedać swoje udziały lub zarabiać na przychodach firmy w postaci dywidendy. Podobnie działają fundusze typu venture capital (VC), w odróżnieniu od nich biznesu inwestuje swoje prywatne środki, a VC inwestują środki powierzone im przez ich udziałowców czy inne podmioty (np. banki, które w ten sposób zarabiają). VC chętniej poszukują spółek, na których da się w szybkim czasie (od kilku miesięcy do kilku lat) zarobić, najczęściej sprzedając pozyskane na skutek inwestycji udziały. VC rzadziej opierają się na wyczuciu biznesowym, a częściej na statystykach i innych elementach, które można matematycznie opisać.

Niezależnie od tego, czy skorzysta się z pomocy anioła biznesu, czy inwestycji VC, oprócz samych pieniędzy uzyskujemy dostęp do wsparcia menedżerskiego czy też pomocy w zakresie optymalizacji procesów biznesowych. Osoby, które stoją za tego rodzaju inwestycjami, zajmują się tym zawodowo i posiadają ogromną wiedzę w zakresie zarządzania młodymi, rozwijającymi się spółkami, czego często brakuje inżynierom czy konstruktorom. Jednak jest to także pewna pułapka. Zdarzają się fundusze, które inwestują w bardzo agresywny sposób, więc mając do czynienia z funduszem VC czy aniołem biznesu, należy każdorazowo dokładnie przeanalizować oferowane nam warunki. Nie wolno doprowadzić do sytuacji, w której oddajemy udziały za bezcen – pieniądze, które otrzymujemy teraz, na starcie, mogą wydawać się duże, ale po rozwinięciu się spółki,

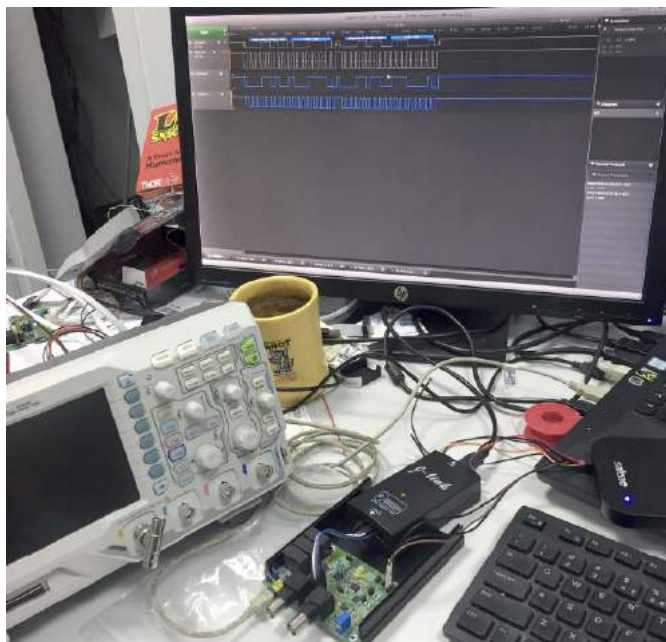
udziały, które przypadną VC mogą być znacznie więcej warte, nawet kilka rządów wielkości!

Trzecią drogą na pozyskanie inwestorów jest wejście na giełdę. Sprzedaż udziałów w firmie w postaci emisji akcji odbywa się na trochę innych zasadach, a tacy udziałowcy, jeśli zachowamy sobie odpowiednio duży pakiet akcji, mają mniejszy udział w kierowaniu poczynaniami spółki. Niestety, wejście na giełdę nie jest rzeczą prostą i związane jest z dużą ilością formalności, jakie należy spełnić (i kosztów, które należy ponieść, na przykład zewnętrznych audytów). Dlatego też nie jest to najlepsze rozwiązanie dla małego start-upu czy freelancera, tworzących spółki samodzielnie.

Innym sposobem na uzyskanie środków na badania przemysłowe i rozwój produktu jest skorzystanie z szerokiej oferty dofinansowań, jakie udzielane są przez np. Narodowe Centrum Badań i Rozwoju [5] czy Polską Agencję Rozwoju Przedsiębiorczości [6]. Podmioty te prowadzą liczne konkursy o różnym profilu, które pozwalają na uzyskanie bezzwrotnych dofinansowań np. na wprowadzenie nowych produktów na rynek, udoskonalenie starych pomysłów, opracowanie nowych technologii itp. Obecnie dostępnych jest wiele konkursów, o różnym zakresie – od bardzo niszowych (systemy dla wojska), poprzez szersze konkursy (na design produktu, opracowanie nowego wzoru użytkowego itp.), na bardzo szerokich dofinansowaniach kończąc (badania przemysłowe). Krajobraz sektora dofinansowań jest bardzo szeroki i dynamicznie się zmienia, więc jeśli napisałbym tutaj cokolwiek na temat konkretnych projektów, to wiedza ta byłaby nieaktualna najdalej po roku. Szczególnie obecnie, gdyż jesteśmy w okresie przejściowym horyzontu budżetowego UE (skąd pochodzi większość środków na tego rodzaju dofinansowania). Właśnie zakończył się siedmioletni Horyzont 2020, którego budżet wynosił 80 miliardów euro, a zaczął się nowy Horyzont Europa z jeszcze większym budżetem – 95,5 miliarda euro na kolejne siedem lat. Oficjalne otwarcie programu ramowego Horyzont Europa miało miejsce 2 lutego 2021 roku, więc na tyle niedawno, iż nie do końca jeszcze ustalone są wszystkie instytucje, przez które przejść muszą środki, by finalnie trafić do potrzebujących ich firm, prowadzących badania przemysłowe i wdrażających nowe rozwiązania na rynek.

Staranie się o dofinansowanie na innowacyjny produkt nie jest proste. Musimy spełnić wiele wymagań, które często wydawać się mogą irracjonalne. Sam wniosek, jaki składamy np. do NCBiR, nie jest najprostszy do wypełnienia, szczególnie dla inżyniera, który nie posiada doświadczenia biznesowego i w zakresie zarządzania procesem projektowania i wdrażania produktu na rynek. Na rynku egzystuje wiele firm, które komercyjnie są w stanie pomóc w przygotowaniu takiego wniosku i maksymalizacji szans na uzyskanie dofinansowania, co jednak nie gwarantuje, że takie dofinansowanie się otrzyma. W komisjach decydujących o przyznaniu dofinansowania zasiadają eksperci, ale nie mają oni nieskończonej wiedzy o świecie i są tylko ludźmi. Mimo ogromnych starań wymienionych instytucji, aby możliwie w pełni sformalizować decyzję o przyznaniu dofinansowania, nadal jest w niej pierwiastek uznaniowości i subiektywności ekspertów branżowych, decydujących o punktacji w konkursie.

Finalnie, nie sposób wspomnieć o coraz popularniejszym sposobie finansowania, szczególnie nowoczesnych gadżetów – crowdfundingu, czyli finansowaniu społecznemu. Co kryje się za tym terminem? To forma pozyskiwania środków od społeczności, na ogół potencjalnych klientów, którzy wspierają rozwój urządzenia, po to, aby finalnie je otrzymać. W dużym uproszczeniu jest to sprzedaż urządzeń z płatnością (bardzo, bardzo) z góry. Ten rodzaj finansowania ma swoje wady i zalety, tak z punktu widzenia kupującego, jak i sprzedającego. Kupujący nie ma pewności, że otrzyma dokładnie takie urządzenie, jakie opisane jest w projekcie, ani kiedy je otrzyma, mimo zapewnień ze strony zbierającego środki. Z drugiej strony, konstruktor urządzenia musi zebrać odpowiednią liczbę wpłacających środki, aby móc je podjąć. Portale crowdfundingowe [7] wymagają



ustalenia pewnego progu, poniżej którego projekt nie zostanie ufinansowany, a środki wrócą do wspierających.

Podsumowanie

Opracowanie udanego produktu nie jest łatwe, a samo projektowanie urządzenia jest tylko częścią całej, bardziej złożonej ścieżki. Powyższy artykuł ma za zadanie tylko nakreślić pewne podstawowe problemy, jakie można spotkać na tej ścieżce i w żaden sposób nie można go nazwać wyczerpującym. Nie uwzględniono wielu aspektów np. modelu biznesowego – zakładamy w powyższym przykładzie, że będziemy urządzenie sprzedawać, a możemy mieć inne założenia w naszej działalności. Do dyspozycji jest wiele opcji, na przykład dzierżawa/świadczenie usług, z wykorzystaniem naszego urządzenia, sprzedaż licencji na jego produkcję itd. Sam proces projektowania (od przygotowania wymagań do ich walidacji) jest opisany w dużym uproszczeniu, jednak to każdemu konstruktorowi elektronikowi powinno być co najmniej bliskie, nawet jeżeli nie był on dotychczas zaangażowany w projektowanie urządzeń na rynek.

Rozdział dotyczący zdobywania środków finansowych jest pewnym uzupełnieniem pozostałych treści i wyrazem subiektywnych odczuć i doświadczeń autora, a nie przekrojem możliwości zdobywania pieniędzy na rozwój produktu. Tematu pieniędzy nie da się wyczerpać ani w tekście tego formatu, ani też nawet w całej książce.

Mam nadzieję, że powyższy artykuł pomoże przynajmniej jednemu z czytelników przekuć swój pomysł w produkt, który osiągnie sukces na rynku (czego ogromnie życzę!). Najważniejsze jest, aby mieć naprawdę innowacyjny pomysł, na który jest na rynku zapotrzebowanie, wtedy reszta jest już dużo łatwiejsza.

Nikodem Czechowski, EP

Odnośniki:

[1] <http://bit.ly/2LPCWWD>

[2] <https://bit.ly/2ZhlT2R>

[3] <http://bit.ly/3b3LqCh>

[4] Jest to pomoc publiczna, udzielana małym i średnim przedsiębiorcom, która nie musi być zgłaszana do Komisji Europejskiej. Zgodnie z obowiązującymi przepisami, zgłoszeniu nie podlega pomoc publiczna w wysokości nieprzekraczającej 200 tysięcy euro w ciągu 3 lat.

[5] <http://bit.ly/3aiFQwE>

[6] <http://bit.ly/3rTToVb>

[7] np. <https://bit.ly/3u9Q0ro>, <http://bit.ly/2NnIMQG>, <http://bit.ly/3b4rDCA>, <http://bit.ly/3rUpUGR>

Prototypowanie – jak to wygląda w praktyce?

Zbiór zasad i wytycznych jest konieczny do zorganizowania każdego przedsięwzięcia. Jednak czasami nie wyczerpuje to wszystkich zagadnień i nieoceniona staje się relacja opisująca przedsięwzięcie od strony praktycznej. Przeprowadziłem wywiad z Wojtkiem Gołębiowskim, który nauczył mnie bardzo dużo na temat prototypowania urządzeń elektronicznych i ogólnego podejścia do projektowania, kiedy pracowałem w prowadzonej przez niego firmie SKA-Polska.

Jak to się wszystko zaczęło i jak do tego doszło, że kierujesz firmą, zajmującą się projektowaniem prototypów?

Zaczynałem jako konstruktor-mechanik. Projektowałem rzeczy codziennego użytku, zabawki. Potem pojawiały się bardziej złożone urządzenia z elektroniką, silnikami, współpraca w większym multidyscyplinarnym zespole, projekty badawcze. Stopniowo przechodziłem od projektowania do koordynacji zespołu, aż pewnego dnia zorientowałem się, że kieruję firmą zajmującą się doprowadzaniem rzeczy od pierwszych pomysłów, przez prototypy, do produkcji.

Od jak dawna zajmujesz się prototypowaniem, niekoniecznie jako kierownik firmy?

Prototypowaniem zajmuję się od czasu, od kiedy pojawiły mi się pierwsze pomysły na rzeczy, które trzeba zrobić. Więc każda rzecz, jaką robiłem, była na swój sposób prototypem. Gdy robiłem łuk, to najpierw pojawił się pomysł na zrobienie łuku, a potem prototyp. Gdy taki prototyp powstaje, to okazuje się, że jeżeli wytnie się patyk, który jest z jednej strony dwa razy grubszy niż na drugim końcu, to ten łuk nie działa za dobrze, a już na pewno nie wygląda dobrze. W związku z tym powstają kolejne iteracje prototypu, aż do momentu, gdy znajdzie się najbardziej optymalne drewno i najbardziej optymalny sposób jego obróbki, tak żeby ten łuk nie tylko dobrze strzelał, ale też podobał się dziewczynom.

Opowiedz nam coś więcej o prowadzonej przez siebie firmie.

SKA Polska z początku zajmowała się niekoniecznie rozwojem produktu, bardziej usługami badawczymi. Firma rozpoczęła działalność mniej więcej w momencie, gdy Polska weszła do Unii Europejskiej. Zyskaliśmy możliwość udziału w europejskich projektach badawczych i dzięki międzynarodowym kontaktom zostaliśmy zaproszeni do takiego projektu. Potem pojawiły się następne. Miały przeróżne cele badawcze i obejmowały bardzo szerokie branże. Zaczęło się od branży tekstylnej, potem była branża druku i bezpieczeństwa. Od Sasa do lasa, tak naprawdę... Zyskiwaliśmy doświadczenie, które mogliśmy wykorzystać w usługach komercyjnych. I tak doszliśmy do oferowania rozwoju produktów i specjalistycznych usług badawczych.

Kojarzę część z tych badań. Powiedz nam jednak – skąd wzięło się w sektorze tworzenia prototypów? Taki był plan, czy wyszło to przypadkiem?

Prototypy są narzędziem w naszej pracy, które wykorzystujemy do realizacji pewnych celów, na przykład wprowadzania nowych produktów na rynek i przynoszenia zysków. Używamy prototypów



Firma SKA Polska powstała z pasji do nauki i chęci wykorzystywania jej najnowszych zdobyczy w życiu codziennym i współczesnych technologiach. SKA Polska jest niezależną firmą badawczo-rozwojową, działającą w branży wysokich technologii i doradztwa innowacyjnego. Ich szerokie i wszechstronne doświadczenie pozwala na rozwiązywanie problemów technicznych.

Firma współpracuje z renomowanymi uczelniami i instytutami badawczymi z Polski i zagranicą, co gwarantuje, że znalezione rozwiązanie uwzględniacie będzie najnowsze zdobycze nauki i techniki, będąc jednocześnie optymalne kosztowo. Szczególną wagę przywiązuje też do zagadnień prawnych dotyczących ochrony własności intelektualnej.

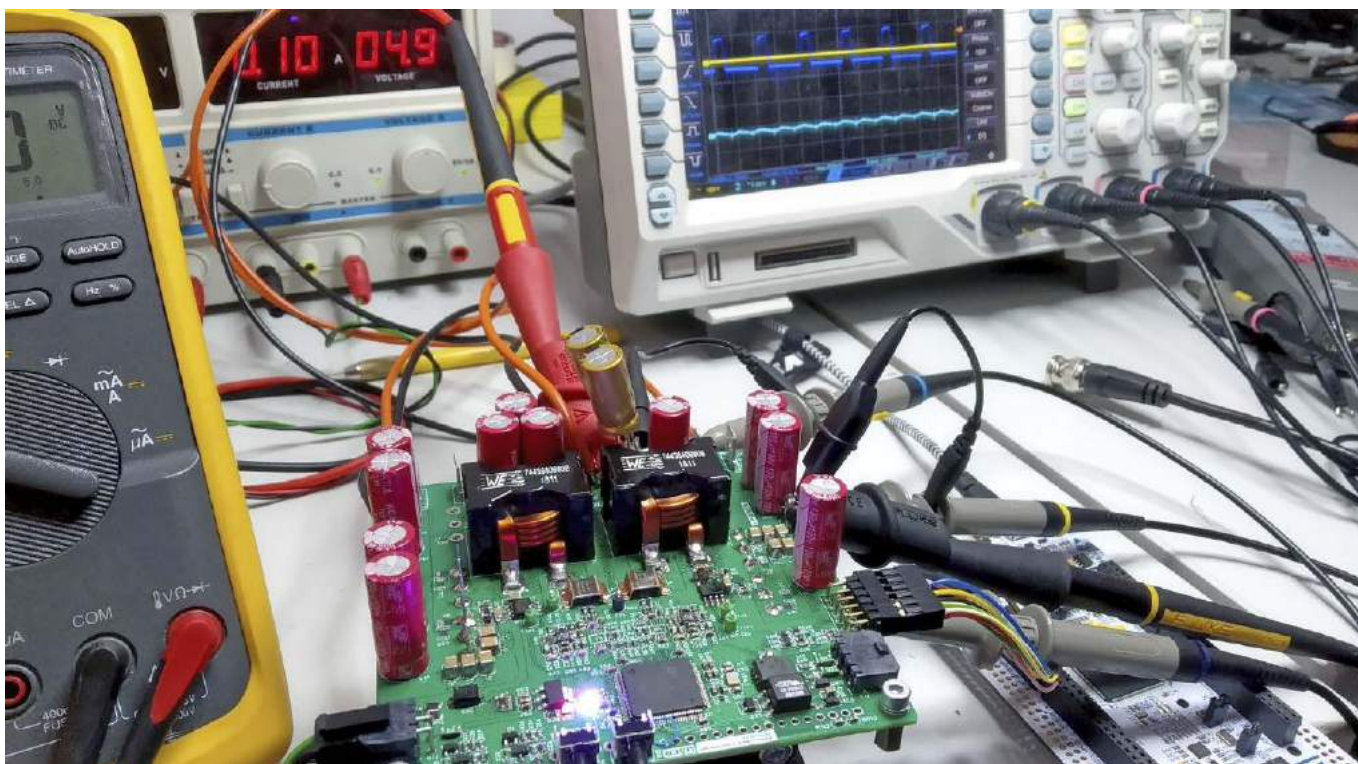
Więcej na <http://www.ska-polska.pl/pl>

SKA Polska
.....

jako narzędzia, aby ktoś swój wymarzony produkt ujrzał na półce w sklepie i był w stanie czerpać z niego korzyści.

Udział w tych projektach pozwolił nam stworzyć bardzo interdyscyplinarną grupę inżynierów, z których każdy, oprócz tego, że ma jakąś swoją specjalizację, robi doktorat z czegoś innego, a w domu w ogóle interesuje się jeszcze czymś innym. Te wszystkie połączone doświadczenia, połączona wiedza pozwala na niekonwencjonalne rozwiązywanie problemów. Bardzo transdyscyplinarne – z wykorzystaniem rozwiązań z jednej dziedziny w drugiej dziedzinie i bardzo nieoczywistych skojarzeń. Okazało się to bardzo skutecznym podejściem do zagadnień badawczych, stawianych w tych międzynarodowych projektach. W związku z tym uzyskaliśmy renomę zespołu, który robi to, co inni naobiecowali. I jest skuteczne także w rozwoju produktów.

Byliśmy zapraszani do projektów badawczych, a równocześnie, w miarę jak zyskaliśmy trochę doświadczenia w robieniu różnych rzeczy – prototypów, urządzeń pomiarowych czy jakichś stanowisk badawczych (bo czasem te projekty dotyczyły tego, że bada się jakieś zjawisko i to jest punktem wyjścia do powstania produktu), stwierdziliśmy, że jesteśmy w stanie oferować takie usługi komercyjnie. Trochę był to skok na głęboką wodę, bo byliśmy nieco nieopierzeni



Fotografia 1. Prototyp podczas testów

biznesowo. Nie wiedzieliśmy, że najpierw należy sprawdzić rynek – czy jest zapotrzebowanie na tego rodzaju usługi, ale wiem, że wiele firm popełnia ten sam błąd. Nam się na szczęście udało – okazało się, że jest rynek na takie usługi, że jest całe mnóstwo firm albo osób, które mają pomysł na produkt, ale nie wiedzą, jak się do tego zabrać. Wiedzą, jak to ma funkcjonować, wiedzą, komu to sprzedadzą, potrafią sobie policzyć biznesplan, że to się im zepnie, ale nie wiedzą, jak zacząć, jak stworzyć pierwszy prototyp, skontaktować się z producentem, rozwiązywać problemy techniczne. Nie chcą się tym zajmować albo już próbowali, ale ich zespół R&D był niezarządzalny i stawał się kulą u nogi. Ilu klientów, tyle przypadków; każdy miał jakiś powód, żeby outsourcować R&D poza swoją firmę, przynajmniej w pewnym zakresie. Nie zawsze od pomysłu do produkcji – czasem od pierwszego prototypu do czwartego prototypu, a czasem od trzeciego prototypu do produkcji albo tylko części urządzenia, bo kluczowy element wolał rozwijać u siebie. Każdy klient współpracuje z nami na troszkę innej zasadzie.

Skąd biorą się Wasi klienci? Rozumiem, że renoma, o której mówiliśmy, poszła za Wami, ale z pewnością potrzebne były i inne działania. Czy dużo czasu poświęcacie reklamie i marketingowi, czy klienci przychodzą do Was sami?

Na samym początku przychodzili do nas klienci głównie z polecenia, ponieważ daliśmy się w świecie akademickim poznać. Częścią z tych partnerów w programach badawczych były polskie uczelnie, więc ten świat akademicki trochę nas znał i wiedział, jak rozwiązuje problemy.

Nasz potencjalny klient, który nie wie, jak rozwiązać jakiś problem techniczny – to nie zawsze są produkty, to czasami są np. zagadnienia procesowe, związane z liniami produkcyjnymi, albo konieczność zrobienia jakiejś maszyny do kontroli jakości – to jego pierwszym odruchem jest pójście na uczelnię i dowiedzenie się, czy są tam jacyś ludzie, którzy są w stanie to zrobić. Czasem taka współpraca się udaje, ale z mojego doświadczenia, z tego, co słyszę od ludzi, którzy zostali moimi klientami, to taka współpraca udaje się rzadko.

Rzadko kiedy ludzie znajdują rozwiązanie na uczelni, zazwyczaj nie z przyczyn merytorycznych, a administracyjnych. Jedną z tego przyczyn jest też to, że naukowcy nie mają dużego doświadczenia

z przemysłem – są w stanie wiele rzeczy zrobić, natomiast nie wiedzą, jak doprowadzić do tego, żeby to było produkowalne, żeby się nie zepsuło, żeby było używalne przez kogoś innego niż osoba, która to zaprojektowała. Słyszę od moich klientów takie historie często – albo przez cztery miesiące nie mogli podpisać umowy, albo nawet, jeśli jakiś naukowiec dochodził do fajnych rozwiązań, to w końcu kończyło się na rozdzielaniu włosów na czworo i dążeniu do perfekcji, zamiast poprzestaniu na czymś, co jest dostatecznie dobre. Siłą rzeczy nie słyszę pozytywnych historii, bo tacy ludzie do mnie nie trafiają, więc nie jest to obraz kompletny, a jedynie fragment mi dostępny.

Pierwsi klienci trafiali do nas albo systemem poleceń, albo właśnie przez rozpущone przez nas po uczelniach wici – część naukowców otwarcie mówiła: „To nie jest dla nas temat, ale znamy taką firmę, która pomoże”.

Finalnie, część ludzi trafia do nas z naszej strony internetowej, chociaż trudno jest zbudować stronę internetową w taki sposób, żeby ludzie do nas trafili. Nie ma takich słów kluczowych, które wystarczająco szeroko opisują naszą działalność. „Prace badawczo-rozwojowe” to kiepskie hasło – nikt tak nie szuka tych usług. Potencjalny klient wpisze w wyszukiwarkę raczej „jak zrobić suszarkę do włosów”, a nie będziemy przecież na stronie pisać każdego z takich haseł. Reklama w tej branży jest skomplikowana.

Mówiłeś sporo o współpracy z przemysłem i pracy w ramach projektów badawczych. Jakie masz odczucia w zakresie dofinansowań, czy to ze środków europejskich, czy ze strony np. Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR)?

To ogromny temat, niemalże na osobną rozmowę. Patrząc na to podwójnie – jako wielkie dobro i wielkie zło. Z jednej strony, na pewno taka dotacja to coś dobrego, sami z nich korzystamy – obecnie pracujemy nad pierwszym własnym projektem, po latach robienia produktów dla innych, który dofinansowywany jest z tego rodzaju dotacji.

Fajnie jest, że ten próg wejścia z innowacyjnym produktem na rynek jest obniżany, bo można na to uzyskać dotację. Krzywa wejścia nie jest taka stroma, nie trzeba posiłkować się kredytem i ponosić ogromnego ryzyka biznesowego. Z drugiej strony te instytucje finansujące często zdają się nie zauważać, że prace te są na ogół obciążone ryzykiem technologicznym. Trudno jest sformułować wygrywający

wniosek (konkursy na dotacje) w taki sposób, że jest np. ryzyko 50%, że to się nie uda (bo tak zwykle jest w innowacjach), ale mamy taki plan, że zrobimy coś innego, trochę mniej innowacyjnego. Taki wniosek już nie wygra, nie udowodnimy tej innowacyjności.

Innym problemem jest to, że mnóstwo innowacyjnych rzeczy to tak naprawdę składanie technologii czy produktów z gotowych klocków i mimo, że jest to innowacyjność obciążona stosunkowo małym ryzykiem, to urzędy nie uznają tego za dostatecznie innowacyjne, aby otrzymać dofinansowanie. Mimo że nikt wcześniej nie pomyślał, żeby te klocki złożyć ze sobą w dokładnie taki sposób i np. zwiększyć wydajność pracy firmy pięciokrotnie, to jednak nie jest to innowacyjne w rozumieniu konkursów, tak bardzo zmienia rynek i zmienia sposób produkcji czy same produkty. Aby uzyskać dofinansowanie, pomysł musi być czymś zupełnie nowym w jakiejś skali, chociażby polskiej, co powoduje, że ci, którzy piszą wnioski o dotacje choć nie piszą tego, co naprawdę chcą zrobić, tylko dorabiają do tego historie, potem prowadzą badania i podwójną buchalterię, aby uzyskać wniosek na to, co naprawdę chcą robić.

Czy to nie jest tak jak z uczelniami, że są po prostu niekompatybilne z realiami biznesowymi?

Tak, jest tutaj taki problem. Może w przypadku dofinansowań jest to inny rodzaj niekompatybilności. Czego innego potrzeba. Myślę, że bardzo dużo dobrego polskim uczelniom zrobiłoby to, gdyby człowiek, przed robieniem doktoratu, musiał przez rok popracować w przemyśle. Takie zobaczenie, że np. czas się liczy, że to jest istotne czy zrobisz coś za miesiąc, czy za dwa, jest ważne, że nauczanie się, co to znaczy „wystarczająco dobre”, jest kluczowe – wystarczy spełnić określone kryteria i już jest to biznesowo super. Nie trzeba ciągle poprawiać. Taki rok w przemyśle to nie jest nic nowego. Podobne rozwiązanie istnieje na przykład w Niemczech. Nie pamiętam, czy dokładnie jest to rok, ale taki obowiązek dla pracowników naukowych na uczelni jest i niemieckie uczelnie są wzorem współpracy pomiędzy uczelniami a biznesem.

To czego potrzebują z kolei polskie dotacje, to lepsze zrozumienie, czym są innowacje w pracach badawczo-rozwojowych w przemyśle. Problem z brakiem tego zrozumienia bierze się często z tego, że eksperci, którzy oceniają te wnioski, to często ta sama grupa, która pracuje na uczelniach i ona może nie do końca odróżniać prace prowadzone na uczelni od prac w przemyśle. Zupełnie inaczej definiują oni innowację – dla akademików to coś, na jaki temat nie było jeszcze artykułu w prasie branżowej, a w przemyśle innowacją jest np. produkt, którego jeszcze nie było w sklepie. Wzorem są dofinansowania przyznawane bezpośrednio przez Komisję Europejską, gdzie ta optyka jest zupełnie inna – koncentruje się na zastosowaniach biznesowych innowacji, a niekoniecznie na definiowaniu innowacji wyłącznie technicznie.

Kolejna rzecz to zaangażowanie. To co jest super w projektach europejskich (czyli takich, które są przyznawane bezpośrednio przez urzędy europejskie, np. KE, a nie ze środków europejskich, jak robi to NCBiR), albo takich, które realizujemy dla Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA). Każdy tego rodzaju projekt dostaje tzw. oficera technicznego, który np. przyjeżdża na spotkania, który rozumie, co się w projekcie technicznie dzieje, który jest w stanie zrozumieć, że coś poszło nie tak i zaakceptować jakiś plan awaryjny, np. przesunięcie funduszy z jednego zadania na inne albo zredefiniowanie oceny. To wszystko w ramach dobrze sformułowanej umowy. To jest zupełnie nie do pomyślenia w polskich projektach. Piszemy tam raporty merytoryczne, ale mam wrażenie, że rzadko kiedy ktokolwiek je czytał. Urzędy w Polsce tylko sprawdzają faktury, czy zgadza się plan zakupów i czy to, co było wpisane we wniosku, zostało zrealizowane.

Teraz troszeczkę lżejsze pytanie. Jaki był Twój najciekawszy projekt?

Absolutnie nie mam tutaj żadnej wątpliwości, że to był projekt, jaki realizowaliśmy dla ESA...

Tego się spodziewałem... tylko który projekt, bo z tego, co pamiętam, realizowałeś ich wiele?

Celem było stworzenie programu do symulacji sieci do łapania kosmicznych śmieci, których jest mnóstwo na orbicie i z którymi trzeba coś zrobić. Jedną z metod jest doprowadzenie do usunięcia z orbity największych i najgroźniejszych z nich za pomocą sieci, które byłyby wystrzeliwane w kierunku śmieci. Żeby taką sieć zaprojektować i użyć w kosmosie, inżynierowie potrzebują symulacji, ponieważ nie są w stanie na bieżąco testować prototypów, jak to jest realizowane na Ziemi. Można przetestować jakiś przeskalowany, późny prototyp, ale musi tutaj już być duża doza pewności, że się uda, ponieważ koszty testów w kosmosie są ogromne. Więc pozostają symulacje.

Jedną z najbardziej skomplikowanych rzeczy do symulacji, jaką można sobie wyobrazić, są tekstylia. Większość komercyjnego oprogramowania po prostu sobie z nimi nie radzi, a jak już sobie radzi, to np. pojedyncza symulacja (taka, jaka byłaby potrzebna do naszej sieci) zajmuje dwa tygodnie. Nie da się w ten sposób zaprojektować sieci, bo wymaga to dziesiątków czy setek symulacji działania. Potrzebny był program, który może nie będzie tak dokładny, jak komercyjny soft, ale wystarczająco dobrze odzwierciedli to, co dzieje się z siecią w kosmosie, a jednocześnie możliwe będzie ich modelowanie w czasie zbliżonym do rzeczywistego.

Nie wystarczy jednak napisanie takiego symulatora, nawet jak zna się bardzo dobrze mechanikę tekstyliów, a mieliśmy już takie doświadczenia z poprzednich projektów. Trzeba taki program zwalidować – udowodnić, że rzeczywiście jest on dostatecznie dobry. W tym przypadku konieczne było wykonanie szeregu eksperymentów i było to bardzo ciekawe. Charakter tego, jak ta sieć pracowała, wymagał, aby eksperymenty te były przeprowadzone w warunkach sztucznej nieważkości (braku grawitacji). Zrealizowaliśmy to w samolocie w locie parabolicznym. Całość tego projektu – zbudowanie symulatora i przygotowanie stanowiska pomiarowego – to była wielka przygoda. Przygoda mojego życia, mogę nawet powiedzieć. Leciałem tym samolotem, czułem tę nieważkość. Nie pochorowałem się, z czego jestem bardzo dumny. Zresztą, przed samym lotem miałem okazję się o tym upewnić – aby zmniejszyć ryzyko podczas eksperymentu, członkowie naszego zespołu przeszli odpowiednie szkolenie w wirowce przeciążeniowej, co przygotowało nas do tego, co spotka nas podczas lotu parabolicznego. Byliśmy prawie jak astronauty.

Rozumiem, że ten symulator był potem stosowany przez ESA?

Tak, był stosowany. Nawet mieliśmy kolejny projekt, w ramach którego przy wsparciu ESA rozszerzaliśmy jego funkcjonalność. Obecnie jednak ESA go nie używa, ponieważ podejście z łapaniem śmieci w siatkę stało się trochę nieaktualne. Nie dlatego, że jest to zły pomysł – inżynierowie z ESA uważają to za jeden z lepszych pomysłów na odławianie śmieci, ale trochę nie ma pieniędzy na tego rodzaju działania. Może jest to spowodowane tym, że dawno nic na orbicie się poważnie nie zderzyło... może wtedy pieniądze na rozwój tej ścieżki by się znalazły?

W tej chwili podejście jest takie, że próbuje się stworzyć uniwersalny pojazd, który ma być w stanie autonomicznie ściągać śmieci z orbity, ale także ma być w stanie serwisować pracujące tam satelity. Tego typu pojazd dużo lepiej wygląda z ekonomicznego punktu widzenia, ale łapanie przez niego kosmicznych śmieci może być trudne. Pojazd ma wykorzystać ramię robotyczne, ale nie było do tej pory w historii kosmonautyki sytuacji, w której jeden kontrolowany obiekt ma zbliżyć się w otoczenie niekontrolowanego obiektu, jakim jest śmieć. Widziałem już symulacje tego rodzaju ramienia i z punktu widzenia sterowania jest to coś niezwykle wymagającego, tym bardziej, że komputery, które latają w kosmos, są na ogół dużo słabsze od tego, czego używa się na Ziemi.

Obecnie symulator może nie jest używany do swojego pierwotnego celu, ale wykorzystujemy go do symulowania... sieci rybackich. Pozwala to na optymalizację ich projektów i na przykład zmniejszenie ilości paliwa spalane przez kutry rybackie albo zmniejszenie



Fotografia 2. Przygotowania do testów sieci w stanie nieważkości

degradacji dna, które powodują tego rodzaju sieci lub też poprawę selektywności połowów i jest to bardzo obiecujący kierunek naszej działalności. W ten sposób zatoczyliśmy fajne koło – idea łowienia śmieci wzięła się z morza, trafiła do kosmosu, a teraz sama technologia symulacji sieci trafiła z powrotem do morza.

Na tym przykładzie widzimy, że często prace badawcze nie prowadzą do powstania produkcyjnego urządzenia. Jak więc często prototyp zmienia się w coś dostępne np. na sklepowej półce?

Ciężko tak podać jedną liczbę. Wydaje mi się, że trochę mniej niż połowa. Przyczyny tego są bardzo różne. Często jest tak, że w trakcie rozwoju okazuje się, że koszty są większe, niż początkowo zakładano. Bardzo często spowodowane jest to tym, że na początku nie oszacowano poprawnie albo kosztów produkcji, albo dodatkowych kosztów, o których wiele osób na początku nie myśli. Na przykład koszty związane z koniecznością spełniania różnych norm. Zostawia się to na ogół na później, ale ja teraz kładę każdemu klientowi do głowy, że trzeba przeanalizować, jakie normy urządzenie musi spełniać. Należy przeczytać kilka norm i zobaczyć, jakie warunki stawiają one urządzeniom. To jest szczególnie istotne przy urządzeniach, które mogą być w jakiś sposób niebezpieczne – przyciąć palec, porazić prądem. W przypadku urządzeń medycznych, czy nawet zbliżających się do tego tematu, jest to szczególnie ważne. Również modny teraz Internet Rzeczy. Często są to urządzenia, w których nosi się baterie przy skórze, tutaj też są pewne wymagania bezpieczeństwa. Nie każdy o tym na początku myśli, a przeczytanie norm często powoduje, że połowa pomysłów na pewne funkcjonalności po prostu odpada. Nagle wyparowuje chęć na całe mnóstwo fajerek, bo się okazuje, ile potem to będzie kosztować – i rozwój i utrzymanie. Dobrze jest robić to na początku, bo jeśli okaże się to dopiero w którejś fazie prototypowania, to taki projekt po prostu czeka śmierć.

Jest dużo uwarunkowań i wymagań, aby stworzyć gotowy produkt. Możesz krok po kroku opisać, co trzeba zrobić? Jak się w ogóle do tego zabrać?

Zaczyna się od pomysłu. Potem z tego pomysłu powstaje dokładniejsza specyfikacja. Potem należy tę specyfikację zderzyć z wymaganiami – tym, co na końcu procesu będzie wymagane, aby móc wprowadzić produkt na rynek. W tle cały czas trzeba modyfikować swoje założenia biznesowe. Od samego początku trzeba wiedzieć, komu to sprzedać. Na tym etapie, zanim zacznie się projektować, trzeba określić, w jakiej skali chce się produkować, ile tego ma powstawać rocznie. Trzeba też ustalić, ile klient jest w stanie za urządzenie zapłacić i trzymać się tej nieprzekraczalnej granicy. Musimy mieć strategię i monitorować koszty produkcji. Dodajemy funkcjonalność, zmieniamy materiał, ale cały czas musimy wiedzieć, że nie przekraczamy maksymalnego kosztu produkcji, bo inaczej produkt może czekać biznesowa śmierć. To jedna z przyczyn, dla których nie wszystkie podejścia do projektowania kończą się produktem na półce.

Mając projekt, który jest niedrogi, na który jest zapotrzebowanie na rynku i który spełnia wszystkie wymagania, co trzeba zrobić?

Przede wszystkim produkt musi dać się wyprodukować. Może nie od samego początku, ale od drugiej czy trzeciej iteracji prototypów trzeba koniecznie uwzględniać wymagania produkcyjne. Należy projektować takie części, które dadzą się wytworzyć. Wejść we współpracę np. z producentem kontraktowym i potwierdzić u niego wycenę oraz możliwości techniczne. To proces, który nazywamy industrializacją – proces przerabiania urządzenia prototypowego na coś, co daje się wyprodukować przy użyciu wielkoskalowych technik produkcyjnych. Musimy taki zindustrializowany prototyp dalej testować, produkować w krótkiej serii i testować, testować, testować... aby znaleźć wszystko, co może pójść nie tak, zwłaszcza jeśli ma to być urządzenie elektroniki konsumenckiej, bo użytkownicy mogą zrobić z tym wszystko. Testy należy prowadzić tak, żeby nie doszło do sytuacji, w której połowa produktów wraca do nas na reklamacji. Nawet jeśli jest ona nieuznana, to obsługa samego procesu też nas kosztuje.

Z jakich narzędzi i oprogramowania korzysta Twój zespół podczas projektowania prototypów?

Przede wszystkim są to dwie podstawowe grupy narzędzi CAD (Computer Aided Design). Jednym jest CAD mechaniczny, my używamy głównie SolidWorksa. Z drugiej strony jest CAD elektroniczny – my używamy Altium Designera. Do tego dochodzą środowiska programistyczne, bo elektronika nie obędzie się bez oprogramowania. I przeróżne narzędzia do analizy, symulacji i pomiarów.

Wymieniłeś całkiem sporo narzędzi, a czy jesteś w stanie wymienić, które z nich są najważniejsze np. z punktu widzenia początkujących inżynierów?

Żadne. Nic nie jest ważniejsze niż mózg. Zależy oczywiście o jakiego rodzaju urządzeniach mówimy, ale jeśli myślimy o pracach koncepcyjnych, na które mamy czas, to jesteśmy w stanie za pomocą umownej kartki i ołówka naprawdę dużo rzeczy wymyślić i bardzo dużo problemów rozwiązać, wyłącznie przeprowadzając analizy myślowe. CAD-y tylko trochę to ułatwiają, natomiast myślenia za nas nie wykonają. Oczywiście, programy te są w realnych, komercyjnych zastosowaniach niezastąpione, bo oszczędzają mnóstwo czasu, dają narzędzia wizualizacyjne itd., ale nie zrobią projektu za nas, nie ma guzika „dokończ projekt”, przynajmniej na razie. Może kiedyś takich czasów doczekamy, ale to byłoby raczej smutne...

Wielu początkujących inżynierów, szczególnie freelancerów, nie może pozwolić sobie na profesjonalne oprogramowanie. Co sądzisz o programach open source? Czy są realnym zamiennikiem komercyjnego oprogramowania?

Jeśli chodzi o CAD-y do komercyjnego zastosowania, czyli przede wszystkim CAD mechaniczny i elektroniczny, to nie ma obecnie otwartego oprogramowania, które jest w stanie zapewnić projektowy workflow, który jest sprawny czasowo. W warunkach komercyjnych nie mamy czasu na próby znalezienia, dlaczego coś w programie nie działa. Natomiast jeśli mamy na to więcej czasu, a mamy ograniczone finanse, to jest parę narzędzi, które mogą nam pomóc. Jest na przykład FreeCAD, w którym wiele rzeczy da się narysować. Jest bardzo fajny, mający darmową wersję przeglądarkową CAD Onshape, w którym robię swoje hobbystyczne projekty i on się doskonale sprawdza. Jeśli chodzi o CAD elektroniczny, to KiCad jest całkiem spoko.

Jest też całe mnóstwo otwartego oprogramowania „z okolicy” projektowania, którym weryfikuje czy symuluje się projekty, zarówno mechaniczne, mechaniki płynów czy symulacji elektronicznych. Są one wykorzystywane również w przemyśle, na przykład doskonały OpenFOAM do mechaniki płynów albo Code-Aster do obliczeń wytrzymałościowych. Pewnym ograniczeniem jest np. uboższa dokumentacja, czy gorszy interfejs użytkownika – krzywa wejścia jest dużo bardziej stroma. Na przykład część dokumentacji do Code-Aster jest tylko po francusku. Na pewno wymaga to więcej pracy, ale wyniki są jak najbardziej porównywalne do komercyjnego oprogramowania. Z czasem oczywiście nasza efektywność z korzystania z darmowego oprogramowania wzrośnie. Doświadczony użytkownik open source będzie lepszy niż świeżak na oprogramowaniu komercyjnym.

Obecnie często mówi się nie tylko o prototypie, ale o demonstratorze technologii, urządzeniu przedprodukcyjnym, MVP itd. Czy to sztywne i potrzebne podziały, czy modna nowomowa?

Jak każda klasyfikacja, przydaje się to wtedy, kiedy jest dobrze określona i konsekwentnie stosowana. Jeśli spotykają się dwie osoby i jedna mówi prototyp, a druga demonstrator technologii, a każda ma na myśli to samo, to nie ma w tym nazewnictwie żadnej systematyczności. Dobrze jest w obrębie organizacji czy grupy projektowej operować takim samym słownikiem, aczkolwiek z mojej praktyki, za najdalej drugim lub trzecim razem, trafi się wyjątek, który wymyka się klasyfikacji. Ja używam po prostu słowa prototyp, numeruję kolejne iteracje i ewentualnie dodaję dodatkowe słowa, korzystając



Fotografia 3. Prototyp gogli holograficznych do systemu rzeczywistości rozszerzonej

z terminów takich, jak prototyp funkcjonalny, prototyp przedprodukcyjny, prototyp użytkowy itp.

Co jesteś w stanie poradzić osobom, które chcą zacząć w tej branży? Szczególnie tym, którzy np. kończą teraz studia i chcą podjąć pracę jako projektanci-freelancerzy.

Zaczynajcie jak najwcześniej robić rzeczy i nie bójcie się robić ich coraz bardziej skomplikowanych. Nie bójcie się wychodzić poza swój zakres specjalności, to znaczy, że np. jeśli jesteś elektronikiem, to nie rób tylko elektroniki, ale zrób też coś dookoła tego – projektuj na przykład też elementy mechaniczne, nie bój się wychodzić poza swoją dziedzinę. Bardzo dużym ograniczeniem w tej pracy jest właśnie takie wąskie spojrzenie, nieświadomość tego, jak np. ta elektronika wpływa na mechanikę.

Spotykałem się z sytuacjami, gdzie są np. dwa duże działy w firmie projektowej – jeden zajmuje się, dajmy na to, mechaniką, a drugi elektroniką. Okazuje się, że w elektronice trzeba coś zmienić, więc jeden zespół wymienia np. kondensator, który jest ciut wyższy – okej, to w niczym nie powinno przeszkadzać... Ale potem okazuje się, że te kilka milimetrów więcej wywraca do góry nogami projekt mechaniczny. Tego rodzaju problem zauważa się jednak dopiero bardzo późno. Gdyby ten elektronik poszedł do mechaników i zapytał: „czy wam to nie przeszkodzi?”, gdyby spróbował zrozumieć, jak zmiany w elektronice będą rzutować na mechanikę, to uniknięto by wielu problemów i w ogóle do opisanej sytuacji by nie doszło. Najważniejszym kierunkiem rozwoju jest rozumienie innych specjalności – każda zmiana wpływa na wszystko, wszystko w urządzeniach jest powiązane z wszystkim innym!

Żeby dobrze wdrożyć się w projektowanie urządzeń, należy zaczynać dużo wcześniej niż na koniec studiów. Wstępujcie do kół naukowych, realizujcie bardzo szalone projekty. To najlepsza nauka.

Dziękuję za rozmowę!

Dzięki również.

Nikodem Czechowski, EP



Pierwszy dołączany układ kryptograficzny przeznaczony do aplikacji automotive

Zabezpieczenia w systemach elektronicznych stały się równie ważne jak ich niezawodność, zwłaszcza gdy dotyczą takich branż jak automatyka czy motoryzacja. Aby zachować zgodność z nowymi specyfikacjami bezpieczeństwa, elektroniczne jednostki sterujące muszą być przebudowane. Zastosowanie nowych kontrolerów z modułami zabezpieczeń wymaga gruntownej przebudowy sprzętu i oprogramowania aplikacji w celu zintegrowania zabezpieczeń. Firma Microchip oferuje producentom branży elektronicznej inny, łatwy w implementacji sposób zapewnienia bezpieczeństwa.

Coraz powszechniejsze stosowanie w systemach samochodowych komunikacji bezprzewodowej, takiej jak Bluetooth czy LTE/5G sprawia, że dzisiejsze pojazdy zawierają więcej luk w zabezpieczeniach niż kiedykolwiek wcześniej. To napędza kreowanie nowych przepisów i specyfikacji dotyczących cyberbezpieczeństwa na rynku motoryzacyjnym. Aby zachować zgodność z nowymi specyfikacjami projektanci branży motoryzacyjnej muszą przebudować elektroniczne jednostki sterujące pojazdów z zastosowaniem bezpiecznych podzespołów.

Więcej informacji:

Arrow Electronics Poland
Warszawa 02-697, ul. W. Rzymowskiego 53
tel. 22 558 82 82, www.arroweurope.com
salesoffice.warsaw@arroweurope.com



Istniejące na rynku rozwiązania obejmują kontrolery z modułami zabezpieczeń sprzętowych, które jednak wymagają od producentów przebudowy oprogramowania aplikacji w celu zintegrowania zabezpieczeń. Wysiłkowi wymaganemu do tej integracji zawsze towarzyszy ryzyko. Istnienie luk we wprowadzonych zabezpieczeniach na różnych etapach implementacji stanowi dodatkową przeszkodę. Oprogramowanie zabezpieczające innych firm może pomóc pokonać tę barierę, ale zwykle tylko częściowo i zawsze wiąże się ze wzrostem kosztów rozwoju. Pomagając producentom i ich dostawcom uprościć modernizację istniejących projektów w celu spełnienia wymagań bezpieczeństwa, firma Microchip zaprezentowała moduł zabezpieczający serii *CryptoAutomotive*.

Nowy układ TrustAnchor100 (TA100) oferuje producentom branży elektronicznej łatwy w implementacji sposób zapewnienia bezpieczeństwa przeznaczony dla systemów automotive. Umożliwia rozbudowanie istniejących aplikacji poprzez dołączenie małego układu na magistrali I²C lub SPI, który obsługuje wiele funkcji

Dla zamawiających, firma Arrow przewidziała 10% rabatu. Wystarczy podać hasło: TA100.

Microchip Security



www.microchip.com/security

zabezpieczających, takich jak bezpieczny rozruch (*secure boot*), obsługa zaufanych aktualizacji oprogramowania układowego (*firmware update*), uwierzytelnianie wiadomości MAC (*Message Authentication Code*) oraz wiele protokołów zarządzania kluczami, w tym TLS (*Transport Layer Security*). Eliminuje wyzwania związane z opracowywaniem i udostępnianiem bezpiecznego kodu, oferując wstępnie zaprogramowany wewnętrzny kod aplikacji zaopatrzonej w unikalne asymetryczne pary kluczy i powiązane certyfikaty X.509. Dzięki tym zasobom układ TA100 umożliwia wdrożenie zabezpieczeń bez konieczności gruntownego przeprojektowania, zmniejszając w ten sposób ryzyko, koszt i czas wprowadzenia na rynek.

Układ TrustAnchor100 zapewnia alternatywną implementację architektury sieci w pojeździe z uwzględnieniem bezpiecznego rozruchu i uwierzytelniania. Został już zatwierdzony przez wielu producentów OEM na całym świecie jako rozwiązanie spełniające wymagania EVITA Medium i EVITA Full HSM. Jego zestaw funkcji został zaprojektowany na podstawie dokładnego przeglądu kilku znanych specyfikacji bezpieczeństwa cybernetycznego, aby ułatwić proces zatwierdzenia produkcji (PPAP – *Production Part Approval Process*). Ponadto, aby pomóc w poprawieniu wskaźnika sukcesu projektów, firma Microchip oferuje usługi przeglądu specyfikacji bezpieczeństwa i zapytania ofertowe (*Request for Quote – RFQ*).

Certyfikaty i narzędzia programistyczne

Układ ma potwierdzoną wysoką odporność na atak poprzez intensywne oceny podatności przeprowadzane przez niezależne firmy. Posiada certyfikat AEC-Q100 Automotive Grade-1, certyfikat FIPS 140-2 CMVP Security Level 2 i Physical Key Protection Level 3, a także uzyskał najwyższą możliwą ocenę podatności w Joint Interpretation Library (JIL) High. Ponadto, zapewnia komponenty oprogramowania, takie jak sterowniki AUTOSAR, MCAL i bibliotekę *CryptoAuthentication* firmy Microchip, które umożliwiają bezproblemową integrację ze standardowym systemem operacyjnym lub niestandardowymi stosami oprogramowania dla funkcji kryptograficznych. Dostępne są również kompatybilne płytki uruchomieniowe z magistralą MikroBUS.

„TrustAnchor100 daje możliwość wytchnienia producentom elektroniki dla branży automotive i pozwala na aktualizację zabezpieczeń tysięcy sterowników ECU” – powiedział Nuri Dagdeviren, wiceprezes grupy produktów zabezpieczonych firmy Microchip. „Połączenie układu TA100 i zintegrowanego stosu oprogramowania zapewnia naszym klientom gotowe do produkcji rozwiązanie, umożliwiając im łatwe dodawanie zabezpieczeń do dowolnego modułu motoryzacyjnego”.

Ceny i dostępność

Układ TA100 jest dostępny w 8- i 14-pinowych obudowach SOIC, w cenie zaczynającej się od 1,50 USD w ilościach 10000 sztuk. Aby uzyskać dodatkowe informacje, należy skontaktować się z przedstawicielem handlowym firmy Microchip, autoryzowanym dystrybutorem lub odwiedzić witrynę internetową firmy Microchip <https://bit.ly/2ZR4ONI>.



TA100 (TrustAnchor100)

Układ kryptograficzny dedykowany
do systemów samochodowych
dla producentów OEM



Ważniejsze cechy:

- secure boot,
- uwierzytelnianie wiadomości i aktualizacji oprogramowania,
- kontroler CAN.

Standardy bezpieczeństwa:

- AEC-Q100 Automotive Grade-1,
- FIPS 140-2 CMVP Security Level 2,
- Physical Key Protection Level 3.



www.arrow.com

Styki baterii – jak je skutecznie czyścić?

Styki baterii oraz klemy akumulatorów narażone są na różne czynniki powodujące ich śniędzenie, zabrudzenia, a także rdzewienie. Najczęściej przyczyniają się do tego czynniki atmosferyczne, ale najgorsze w skutkach są przypadki rozszczelnienia ogniw i wydobywanie się z nich substancji bardzo aktywnych chemicznie.

Wyprowadzenia elektryczne – styki, zaciski i klemy – baterii i akumulatorów wymagają regularnej konserwacji. Czyszczenie klem akumulatora pojazdu spalinowego powinno być przeprowadzane cyklicznie co rok lub ostatecznie co 2 lata. Urządzenia, w których doszło do wyłania baterii, wymagają czyszczenia z użyciem odpowiednich środków. W tym artykule odpowiemy na pytania:

1. Dlaczego styki i klemy śniędziej i korodują?
2. Jak czyścić klemy akumulatora?
3. Jak czyścić styki baterii?

Dlaczego styki i klemy śniędziej i korodują?

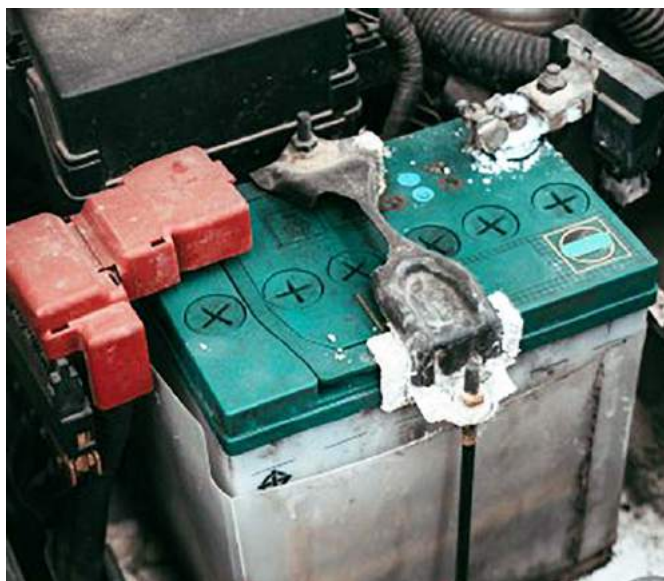
Większość metali w naturalnym środowisku występuje w postaci utlenionej, w rudach metali. Ich stan wolny (metaliczny) podczas eksploatacji dąży do powrotu do trwałego stanu utlenienia – czyli korozji. Co ciekawe, im więcej energii włoży się podczas procesu technologicznego w przekształcenie metalu z rudy (postaci związanej trwalej) do postaci metalicznej (stanu wolnego nietrwałego), tym łatwiej i szybciej będzie ulegał on korozji podczas eksploatacji.

Korozja zachodzi na powierzchni materiałów metalicznych i uwarunkowana jest istnieniem elektrolitu w postaci wilgoci oraz wody wraz z rozpuszczonymi w niej gazami i związkami chemicznymi, a także depolaryzatora w postaci tlenu. To właśnie elektrolit i depolaryzator są podstawowymi zewnętrznymi czynnikami korozyjnymi.

Proces korodowania determinowany jest także poprzez skład chemiczny, stan powierzchni oraz naprężenia powstałe podczas obróbki cieplnej materiału – są to czynniki wewnętrzne. Wewnętrzne czynniki korozyjne materiału określone są przede wszystkim przez sieć krystaliczną, która zawiera atomy pierwiastków o określonych właściwościach i opisanych liczbą elektronów walencyjnych. Podatność na korozję determinowana jest także przez stopień czystości materiału – im większe zanieczyszczenie stopów i im niższy potencjał elektrochemiczny, tym łatwiej o korozję.

Zjawisko śniędzenia występuje na elementach nieocynkowanych i ocynkowanych niezabezpieczonych przed utlenianiem się cynku. Cynk jest pierwiastkiem bardzo reaktywnym w środowisku kwasowym i zasadowym, a w przypadku zetknięcia się niezabezpieczonej powierzchni z elektrolitem powstaje na niej tzw. biała rdza – patyna. W normalnych warunkach atmosferycznych cynk wytwarza tlenek cynku, węglan cynku i wodorotlenek cynku w formie białego i łatwego do usunięcia nalotu. Nalot ten zapobiega korozji elementów metalowych, aczkolwiek znacząco obniża przewodność elektryczną.

Nalot na klemach akumulatora może być powodowany także jego rozszczelnieniem lub zasiarczeniem – wówczas będzie on nieco ciemniejszy. Problem śniędzenia może występować także w przypadku uszkodzenia regulatora napięcia, co powoduje przeładowanie akumulatora, gotowanie się elektrolitu i zwiększone wydzielanie gazów wchodzących w reakcję z klemami, a w konsekwencji powodujących



Więcej informacji:

Transfer Multisort Elektronik Sp. z o.o.
93-350 Łódź, ul. Ustronna 41
tel. +48 42 645 55 55, dso@tme.pl
www.tme.eu



śniędzenie styków. W takim przypadku konieczne jest odpowiednie czyszczenie klem akumulatora.

Jak czyścić klemy akumulatora?

Czyszczenie klem akumulatora należy rozpocząć od odłączenia ich od źródła zasilania. Jeżeli klemy są mocno zaśniedziałe, do ich oczyszczenia można użyć miękkiej szczotki drucianej – np. PG MINI 496.82, a także kostki papieru ściernego lub miękkiego druciaka, a następnie miękkiej ściereczki. Do czyszczenia styków można użyć sody oczyszczonej. Należy jednak pamiętać, aby usunąć jej resztki po oczyszczeniu powierzchni. Poza tym zbyt intensywne mechaniczne ścieranie powierzchni klem i styków może doprowadzić do nadmiernego usunięcia materiału, a w konsekwencji do powiększenia otworu klem lub zmniejszenia średnicy bolców na akumulatorze, co ograniczy powierzchnię styku i zagrazi prawidłowemu przepływowi energii elektrycznej.



Jak czyścić klemy akumulatora, gdy osad jest trudny do usunięcia?



Skutecznym sposobem czyszczenia jest użycie alkoholu izopropylowego IPA – np. AG TERMOPASTY KONTAKT IPA+ 60ML. Nie sprawdzą się natomiast spirytus oraz inne alkohole etylowe, ponieważ zawierają sole salicylanu, które po wyschnięciu pozostawiają biały nalot. Dobrym pomysłem jest także użycie dedykowanych preparatów do czyszczenia styków – np. preparatów KONTAKT. Należy pamiętać o tym, aby czyszczenie klem i styków przeprowadzać bez użycia preparatów i środków zawierających wodę. Z tego względu należy unikać, rekomendowanej w niektórych kręgach, wody utlenionej.

Po czyszczeniu klem akumulatora należy zabezpieczyć ich powierzchnię przed powtórным śniedzeniem lub korodowaniem. W tym celu należy użyć tłustej substancji,

która ograniczy utlenianie się powierzchni styków i jednocześnie nie ograniczy przewodności elektrycznej.

Doskonale sprawdzi się w tym celu wazelina techniczna w sprayu lub smar miedziany, np. AG TERMOPASTY SMAR MIEDZIANY. Uwaga: klemy należy zabezpieczać po ich przykręceniu do bolców akumulatora, a następnie należy dokładnie spryskać zewnętrzne części klem. Wazelina po wywietrzeniu stworzy skorupę, która skutecznie uszczelni połączenie, nie obniżając jego przewodności elektrycznej.

Jak czyścić styki baterii?

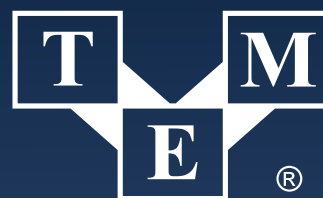
Styki baterii czyści się analogicznie jak klemy w akumulatorach. Zazwyczaj czynność tę wykonuje się po wylaniu baterii, a sam proces uzależnia się od rodzaju ogniwa. Jeśli elektrolit rozlał się wyłącznie na powierzchni baterii i jej styków, jego oczyszczenie będzie szybkie i nieskomplikowane. Bardziej problematyczne będzie usuwanie elektrolitu, który wniknął wewnątrz urządzenia elektrycznego lub elektronicznego i powoduje korozję ścieżek i elementów obwodu drukowanego. Wówczas konieczne jest rozebranie obudowy urządzenia i dokładne zweryfikowanie stanu jego podzespołów.

Dobrym sposobem na oczyszczanie styków z rozlanego elektrolitu jest mycie w wanience ultradźwiękowej. Można też użyć w tym celu bawełnianej szmatki lub wacika nasączonego octem, który usunie sole elektrolitu. Następnie styki można umyć wodą i spirytusem, aczkolwiek skuteczniejszym i bezpieczniejszym rozwiązaniem jest zastosowanie alkoholu izopropylowego lub specjalnego preparatu do czyszczenia styków. Preparaty te nie tylko usuną elektrolit i śniedź, ale również wyciągną wilgoć z układu i zabezpieczą powierzchnię styku przed korozją i śniedzeniem, jednocześnie nie zwiększając rezystywności połączenia.



LS ELECTRIC

koreański producent urządzeń elektroenergetycznych i automatyki przemysłowej



Electronic Components

TRANSFER MULTISORT ELEKTRONIK

USTRONNA 41, 93-350 ŁÓDŹ, POLSKA
TEL. 42 645 55 55, DSO@TME.PL

tme.eu

facebook.com/TME.eu

instagram.com/tme.eu

youtube.com/TMElectroniComponent

REKLAMA

Potrójna współpraca momentu obrotowego, prędkości i precyzji

Wiele zastosowań wymaga napędu mającego centralny otwór, przez który mogą przechodzić np. kable, światło lub części urządzeń. Za przykłady mogą służyć takie dziedziny, jak optyka i fotonika, stosowane w systemach sterowania laserowego oraz automatyka i robotyka z systemami operującymi półprzewodnikami. Dotychczas używane systemy zawsze wymagały pójścia na kompromis. Apertury w wydrążonych wałach zazwyczaj były małe, same napędy powolne i ciężkie, a mechaniczna integracja wymagała mnóstwa pracy. Teraz bezpośredni napęd oferuje obiecującą alternatywę. Jego spora apertura ma średnicę 40 mm, a dzięki technologii silnika krokowego osiąga równowagę pomiędzy prędkością i momentem obrotowym a wielkością i masą.

Istnieje wiele technologii napędów i rozwiązań dostępnych w przypadkach, w których potrzebna jest centralna apertura. W praktyce każde z nich ma swoje wady. Przykładowo, w hybrydowych silnikach krokowych średnica otworu w wale jest zazwyczaj ograniczona do około 10...12 mm ze względu na niezbędne elementy miedziane lub magnetyczne. Z uwagi na ich wielobiegunową konstrukcję silniki obrotowe mogą być konstruowane z większą aperturą, jednak nie mogą osiągać dużych prędkości ze względu na sporą masę. W dodatku są stosunkowo drogie i niejednokrotnie trudne w integracji.

Często stosowane są stoły obrotowe z otworem pośrodku, napędzane klasycznymi silnikami. Takie rozwiązania wymagają przekładni oraz złożonych mechanizmów. Wynikający z tego nieunikniony luz międzyzębowy musi zostać zrównoważony za pomocą wyszukanych środków, jeśli mechanizm ma się nadawać do zastosowań wymagających dużej precyzji. W znaczący sposób wpływa to na integrację systemową. Co więcej, wykorzystuje się w nich wiele zużywających się elementów, w związku z czym mają duże wymagania dotyczące konserwacji.

Stoły obrotowe uruchamiane hybrydowym silnikiem krokowym również są często wybierane, jednak ich wadą jest duża wielkość oraz masa niezbędne do osiągnięcia wysokiej wydajności. Do tej pory nie było łatwe znalezienie praktycznego rozwiązania dla sytuacji, w których niezbędna była odpowiednio duża apertura.



Więcej informacji:

Faulhaber Polska sp. z o.o.
60-204 Poznań, Górki 7
tel. 61 278 72 53, info@faulhaber.pl
www.faulhaber.com



Nowe podejście – nowe możliwości

FAULHABER, specjalista od napędów, podjął się tego wyzwania i opracował kompletnie nowe rozwiązanie napędowe zawierające silnik krokowy z serii DM66200H, zaprojektowany specjalnie do zastosowań wymagających dużej apertury. Przy całkowitej średnicy 66 mm, wał ma bardzo duży otwór o średnicy 40 mm. Jego grubość wynosi jedynie 24 mm, a masa tylko 218 g. Taki kompaktowy napęd jest łatwy w montażu i wymaga niewiele przestrzeni. Wirnik



z otworem bezpośrednio napędza układ mechaniczny, który rozłożony jest naokoło apertury, bez potrzeby transmisji. Dzięki temu nie ma luzu międzyzębowego, który musiałby być kompensowany.

Początkowo stworzony do zastosowań w optyce i fotonice, nowy napęd z drążonym wałem stwarza również interesujące możliwości w wielu innych dziedzinach, takich jak napędy kół, w których wały napędowe muszą przechodzić przez silnik ze względu na ograniczoną przestrzeń lub przy tworzeniu protez kolan lub ramion. Można go użyć, gdy trzeba przeprowadzić kable przez aperturę lub w przypadku, gdy gazy, płyny lub sygnały świetlne mają przechodzić przez środek silnika. Poza zastosowaniem w optyce,

np. do stojaków do mikroskopu, przysłon fotograficznych, obiektywów zmienneogniskowych, sterowników wiązki lasera itd., można go użyć w przypadku wielu innych zadań związanych ze sterowaniem i pozycjonowaniem. Typowe zastosowania obejmują także obrotnice, podstawy anten oraz wywietrzniki gazów i powietrza.



Duża wydajność w optymalnych kombinacjach

Bezpośredni napęd oparty jest na sprawdzonej technologii silników krokowych FAULHABER. Wielobiegunowy, dwufazowy silnik z magnesami stałymi osiąga 200 kroków na obrót. Wysoka rozdzielczość wynosząca $1,8^\circ$ w trybie pełnego kroku umożliwia dokładne wykonanie pozycjonowania podczas działania w pełni otwartej. Silnik osiąga dynamiczny moment obrotowy wynoszący 200 mNm i może przenosić odpowiednio duże obciążenia. Maksymalny statyczny moment obrotowy wynosi 307 mNm, a w przypadku wzmocnienia nawet 581 mNm. Hamulce są więc niepożądane. Osiągane są prędkości do 2000 obrotów na minutę. Kompaktowy napęd bezpośredni oferuje idealną równowagę pomiędzy prędkością a momentem obrotowym do wielu zastosowań. Pozwala na ciągłą pracę bez konieczności konserwacji, gdyż jedynym elementem zużywającym się są łożyska. Dostępne są modyfikacje dostosowane do konkretnych zastosowań, na przykład zastosowanie konkretnych smarów, modyfikacji uzwojeń, kabli i łączników oraz listew mocujących.



FAULHABER Motion Control

Poczuj moc

Ze sterownikami ruchu serii MC 5004/5005/5010, przyszłość produkcji sieciowej jest w twoich rękach.

Więcej na: faulhaber.com/mc/en



WE CREATE MOTION



Dotykowy wyświetlacz TFT do komputera PC

Kontrolowanie komputera za pomocą skrótów klawiszowych i makr to świetny sposób na przyspieszenie pracy np. w oprogramowaniu CAD. Autor opisanego urządzenia, nazwanego FreeTouchDeck, postanowił rozwiązać problem makr klawiatury samodzielnie. Skonstruował proste urządzenie, które umożliwia zaawansowane korzystanie z makr i jednocześnie jest niedrogie, w porównaniu do komercyjnych odpowiedników.

Urządzenie bazuje na mikrokontrolerze ESP32 i wyświetlaczu dotykowym o przekątnej ekranu 3,5 cala. Informacje o naciśnięciu klawisza i potrzebnych makrach przesyłane są poprzez Bluetooth do komputera. Moduł działa z dowolnym systemem operacyjnym – Windows, MacOS i Linuxem.

Autor zapewnia, że jego konstrukcja jest bardzo prosta. Urządzenie da się zmontować w czasie godziny. Zaprojektowane zostało tak, aby elementy były łatwo dostępne, tak na dużych portalach aukcyjnych, jak i w lokalnych sklepach. Do montażu potrzebne są w zasadzie dwa moduły:

- dowolna płytki deweloperska z modulem ESP32-WROOM-32 z 38 pinami wyjściowymi,

- wyświetlacz TFT ze sterownikiem ILI9488 z kontrolerem panelu dotykowego XPT2046,
- opcjonalnie można zastosować zaprojektowaną przez autora płytkę PCB, która ułatwia połączenie tych dwóch elementów.

Ponadto potrzebne będą podstawowe narzędzia, takie jak lutownica wraz z niezbędnym wyposażeniem, szczypce boczne i opcjonalnie drukarka 3D, jeśli chcemy wydrukować obudowę, którą zaprojektował autor.

Budowa urządzenia

Na początku ilość połączeń elektrycznych może wydawać się przytłaczająca, ale nie

należy się zniechęcać. Gdy już przeanalizuje się schemat połączeń, wszystko okazuje się całkiem proste. Do połączenia modułów mikrokontrolera i wyświetlacza można użyć zwykłych przewodów, płytki uniwersalnej bądź specjalnej płytki drukowanej, na której można łatwo zainstalować oba elementy.

Oba moduły działają przy zasilaniu 3,3 V, dzięki czemu nie ma konieczności translacji poziomów. Należy jednak pamiętać, że podłączenie któregoś z nich do 5 V może spowodować uszkodzenie! W tabeli 1 zawarto listę połączeń, jakie trzeba wykonać pomiędzy modulem z ESP32 a wyświetlaczem ze sterownikiem ILI9488. Schemat połączeń zaprezentowano także na rysunku 1, jednakże przy wykorzystaniu innego modułu z mikrokontrolerem ESP32 niż zaprezentowany na schemacie połączenia mogą być inne. Wtedy warto zajrzeć do karty katalogowej zastosowanego modułu przed przystąpieniem do montażu systemu. Ekran nie używa linii SDO (MOSI), ponieważ generalnie nie wysła żadnych danych. Pin ten jest na ogół

Tabela 1. Połączenia pomiędzy mikrokontrolerem a modułem ekranu

ESP32	Ekran	Opis
3,3 V	VCC	Zasilanie
GND	GND	Masa
GPIO15	CS	Chip Select interfejsu SPI ekranu
GPIO4	Reset	Sygnał do resetowania modułów
GPIO2	DC/RS	Sygnał kontrolny transmisji do ekranu – rozróżnia pomiędzy danymi a sygnałami sterującymi
GPIO23	SDI (MOSI) oraz T_DIN	Wejścia danych do ekranu i panelu dotykowego
GPIO18	SCK oraz T_CLK	Sygnał zegarowy dla ekranu i panelu dotykowego
GPIO32	LED	Dioda LED
GPIO21	T_CS	Chip Select interfejsu SPI panelu dotykowego
GPIO19	T_DO	Wyjście danych z panelu dotykowego
GPIO27	T_IRQ	Sygnał przerwania z kontrolera panelu dotykowego

wyprowadzony na płytce, ale nie musimy go podłączać.

Dokumentacja płytki drukowanej, która realizuje opisane w tabeli 1 połączenia, dostępna jest na repozytorium autora na GitHubie, pod linkiem: <http://bit.ly/3uIBS8T>. Można użyć jej do wyprodukowania płytek samodzielnie bądź zamówić je z wyznaczonego zakładu, zgodnie z informacjami, jakie zawarto w repozytorium. Wygląd płytki został pokazany na **fotografii 1**.

Obudowa w technologii druku 3D

Po połączeniu wszystkich elementów elektronicznych można zdecydować się na wykonanie dla urządzenia obudowy w technice druku 3D. Jest to w pełni opcjonalny krok, a urządzenie można umieścić w dowolnej innej obudowie. Obudowa mieści zarówno ekran TFT, jak i moduł z ESP32. Została wykonana z myślą o PCB dla ESP32 i ekranu, opisywanej wcześniej, ale będzie odpowiednia także wtedy, gdy układ FreeTouchDeck znajdzie się na płytce prototypowej.

Obudowę z druku 3D pokazano na **rysunku 2**. Składa się metodą na wcisk, ale jeśli drukarka nie jest dostatecznie precyzyjna i nie planujemy rozbierać urządzenia, do połączenia elementów można użyć odrobiny kleju cyjanoakrylowego.

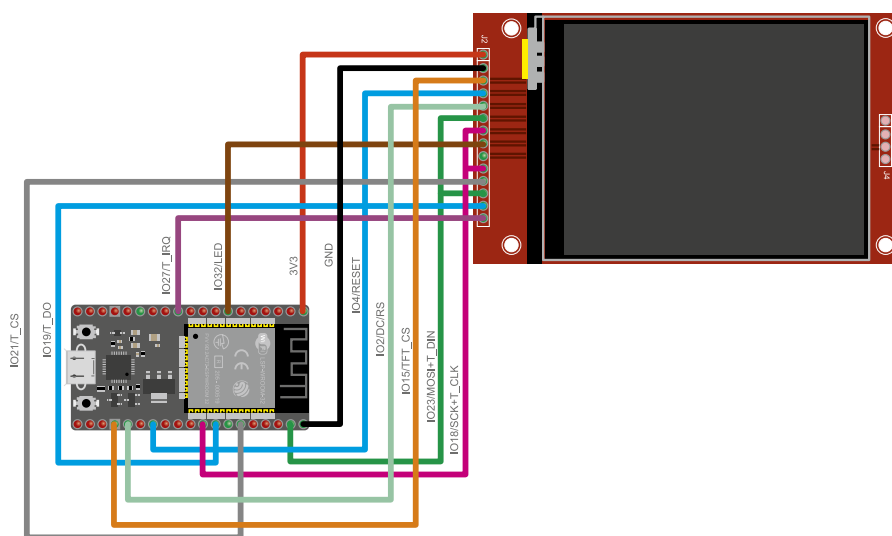
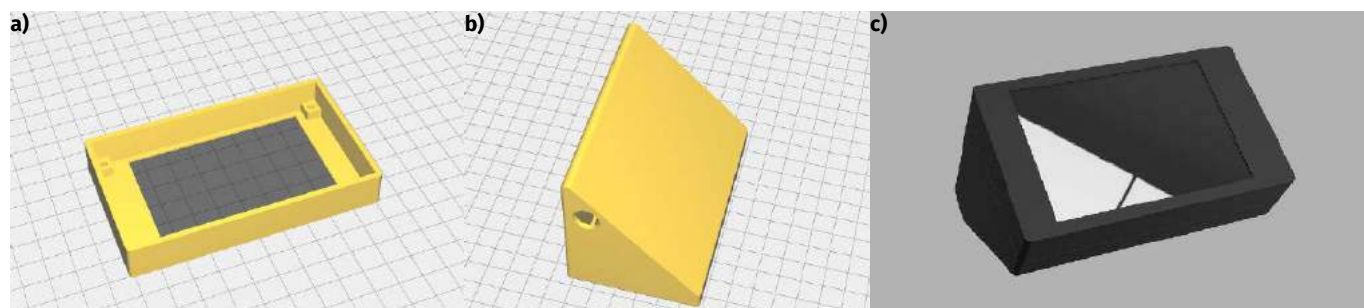
Projekt obudowy w postaci plików STL, można znaleźć w repozytorium na GitHubie: <http://bit.ly/3dQqbqC>. W zasobach znajdują

się dwie wersje górnej części – jedna jest odrobinę wyższa, aby zmieścić ekran wyposażony w żeńskie złącza do podłączenia do PCB. W takim przypadku należy wybrać model *Top_for_TFT_with-Headers.stl*.

Autor projektu, oprócz samych projektów modeli, dostarcza także optymalne parametry druku 3D dla nich. Proponowane parametry są następujące:

Górna część (top), obie wersje:

- orientacja: płaską częścią w dół,
- wysokość warstwy: 0,2 mm,
- infill: 100%,
- wsporniki: brak.

**Rysunek 1. Schemat połączeń pomiędzy modułem mikrokontrolera i ekranem w urządzeniu****Rysunek 2. Model obudowy do druku 3D: a) górna część, b) dolna część, c) obudowa zmontowana w całość****Fotografia 1. Opcjonalna płytka do połączenia ekranu i mikrokontrolera**

Dolna część (bottom):

- orientacja: element łączący się z górną częścią ustawiony do dołu,
- wysokość warstwy: 0,2 mm,
- infill: 20%,
- wsporniki: wszystkie możliwe,
- kąt dodawania wsporników: 70°.

Skonfigurowanie kąta dodawania wsporników na 70° zapewni, że otwory na złącza USB itp. otrzymają potrzebne wsporniki, ale nie zostaną one dodane w miejscach, które nie wymagają podparcia w czasie druku 3D.

Oprogramowanie

Autor udostępnia szkic Arduino na swoim repozytorium: <http://bit.ly/2ZQ6bfq>. Jednak zanim przystąpimy do kompilacji oprogramowania i programowania mikrokontrolera ESP32, wymagane jest przygotowanie środowiska i odrobina konfiguracji.

W pierwszej kolejności konieczne jest zainstalowanie Arduino IDE oraz dodanie do niego wsparcia dla rdzenia ESP32. Należy wejść w ustawienia Arduino IDE i otworzyć menedżer płytek, który pozwala dodać wsparcie dla innych mikrokontrolerów. Po uruchomieniu menedżera wpisujemy ścieżkę dla układów ESP32 Espressifa (**rysunek 3**): <https://bit.ly/2MA5KTC>.

Potwierdzamy, wciskając OK i ponownie OK, a następnie wybieramy najnowszą wersję bibliotek dla układu ESP32 i instalujemy ją. Teraz możemy zamknąć menedżer płytek w Arduino.

Kolejnym krokiem jest zainstalowanie bibliotek wymaganych przez skrypt urządzenia. Układ korzysta z sześciu zewnętrznych bibliotek. Trzy z nich mogą być wbudowane w Arduino IDE:

- Adafruit-GFX-Library,
- TFT_eSPI,
- ArduinoJson.

Kolejne trzy trzeba zainstalować manualnie, ściągając je z sieci. Pobieramy pliki z bibliotekami (w formacie zip) z następujących lokalizacji:

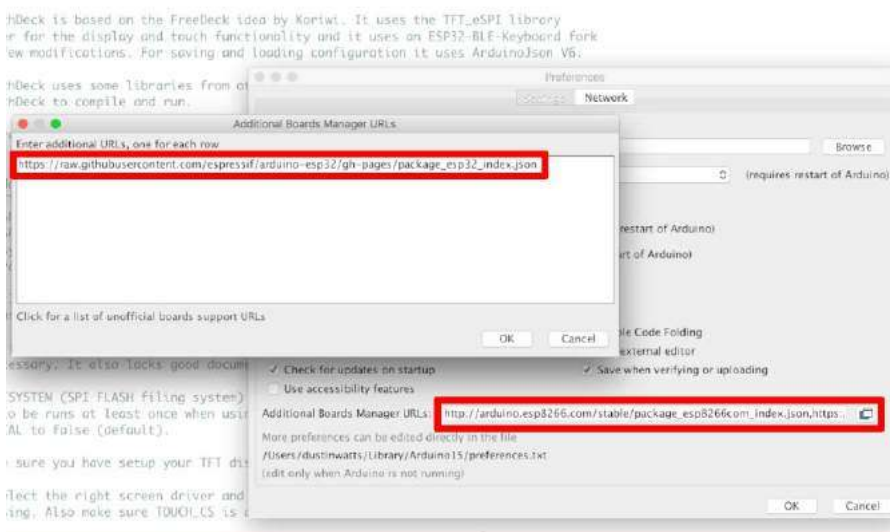
- <http://bit.ly/3sw1d3G>,
- <http://bit.ly/33L1DH5>,
- <http://bit.ly/3ksP2lj>.

Po pobraniu biblioteki wchodzimy w menu Szkic, gdzie z menu dodawania bibliotek wybieramy opcję pozwalającą na dodanie biblioteki w formacie pliku zip.

Ostatnim krokiem przed skompilowaniem szkicu *FreeTouchDeck.ino* jest konfiguracja systemu poprzez edycję pliku nagłówkowego *User_Setup.h*, który znajduje się w bibliotece TFT_eSPI. Najprościej jest podmienić ten plik na taki, jaki znajduje się w repozytorium autora pod nazwą *ESP32_Dev_Kit_V1_ILI9488_Resistive.h*. Wystarczy zmienić nazwę na *User_Setup.h* i zapisać w folderze wspomnianej biblioteki. Uwaga, wielkość liter ma znaczenie.

Teraz można przejść do zasadniczego szkicu urządzenia. FreeTouchDeck używa SPIFFS (pamięci Flash w ESP32) do przechowywania konfiguracji i obrazków, jakie są wyświetlane na ekranie. Trzeba załadować je do ESP, zanim załaduje się skrypt kontrolujący jego pracę. W tym celu stosuje się specjalny program, który jest dostępny na GitHubie Arduino dla ESP32: <http://bit.ly/3r1M5uw>. Wystarczy, krok po kroku, wykonywać instrukcje instalacji i użytkowania tego programu.

Kod szkicu *FreeTouchDeck.ino* należy pobrać z repozytorium autora. Po pobraniu można otworzyć skrypt w Arduino IDE i dokonać kilku ostatnich zmian, jakie są wymagane do poprawnej konfiguracji programu. Przede wszystkim konieczne jest ustawienie



Rysunek 3. Konfiguracja Arduino IDE – dodawanie bibliotek dla ESP32

danych sieci Wi-Fi, w jakiej będzie pracowało urządzenie. W folderze, w którym znajduje się plik *FreeTouchDeck.ino*, odnajdujemy w podfolderze plik */data/config/wificonfig.json*. W tym miejscu możemy wpisać dane sieci, do której ma się podłączyć urządzenie na czas konfiguracji. Są tutaj dwa istotne parametry, jakich wartość zmieniamy:

- *YOUR_WIFI_SSID* – identyfikator SSID sieci bezprzewodowej,
- *YOUR_WIFI_PASSWORD* – hasło logowania do sieci.

Możemy teraz przejść do ostatniego etapu programowania urządzenia – konfiguracji folderów i wgrania szkicu. W pierwszej kolejności ustawiamy schemat partycjonowania pamięci ESP32 jako: No OTA (2 MB APP/ 2 MB SPIFFS). Następnie możemy skompilować i wgrać program do pamięci modułu.

Uruchomienie i konfiguracja

Po załadowaniu szkicu i wszystkich plików do ESP, przy pierwszym uruchomieniu pojawia się dotykowy ekran kalibracji (**fotografia 2**). Dzieje się tak, aby program nauczył się parametrów ekranu dotykowego i aby mógł określić, czy dotknięcie mieści się w granicach przycisku. Plik kalibracyjny jest zapisywany w systemie plików ESP. Tak więc, jeśli ponownie załadowane zostaną pliki do ESP za pomocą programu, który był użyty do jego programowania, plik kalibracji zostanie usunięty i ponownie pojawi się ekran kalibracji.

Ekran główny ma 6 przycisków, które przenoszą do menu dodatkowego. Przyciski te mają inny kolor niż przyciski funkcyjne w menu. Na ekranie głównym znajduje się również menu Ustawienia, które umożliwia skonfigurowanie działania urządzenia.

Po załadowaniu ekranu głównego uruchamiany jest również moduł Bluetooth Low



Fotografia 2. Ekran kalibracyjny, dostępny przy pierwszym uruchomieniu urządzenia

Energy, umożliwiający połączenie z komputerem. Aby FreeTouchDeck znajdował się na liście dostępnych urządzeń, może być konieczne odświeżenie listy urządzeń Bluetooth na komputerze. Po utworzeniu połączenia, aby sprawdzić, czy Bluetooth działa poprawnie, można np. przejść do menu Muzyka i wybrać Wycisz.

Urządzenie udostępnia witrynę internetową na samym ESP32, na której można skonfigurować menu i przyciski, które zawiera każde menu. Można także dostosować kolory i przesłać własne logo. Aby uruchomić konfigurator, należy kliknąć prawy dolny przycisk, przejść do strony Ustawienia, a następnie kliknąć przycisk „Wi-Fi” w lewym górnym rogu. Po uruchomieniu konfiguratora można otworzyć przeglądarkę internetową i przejść do witryny *freetouchdeck.local* w sieci lokalnej.

Więcej informacji o tym, jak korzystać z konfiguratora, można znaleźć na Wiki projektu na GitHubie: <http://bit.ly/2Pho0C7>.

Nikodem Czechowski, EP

Źródła:

- <http://bit.ly/3aWUrhF>
- <https://bit.ly/2ZQ6bfq>
- <https://bit.ly/2Pho0C7>



Monitor poziomu CO₂ w powietrzu

W dobie pandemii powstało wiele urządzeń, które mają się przyczyniać (pośrednio i bezpośrednio) do minimalizacji przenoszenia groźnego koronawirusa. Niektóre z nich działają w dosyć nieoczywisty sposób, na przykład przypominają nam o wietrzeniu pomieszczeń, co jest zaskakująco ważnym środkiem zapobiegawczym.

Od początku 2020 roku pandemia covid-19 wywarła głęboki wpływ na codzienne życie miliardów ludzi na całym świecie. Perspektywa dostępności szczepionek rzuciła promyk światła na tę sytuację. Warunkiem jest, aby zaszczepiło się ok. 70% populacji kraju, wtedy możliwe będzie powstrzymanie rozprzestrzeniania się wirusa. Nawet dla krajów posiadających doskonałą infrastrukturę medyczną osiągnięcie tego celu stanowi trudne wyzwanie. W takich okolicznościach różne środki, które zostały podjęte na całym świecie przeciwko rozprzestrzenianiu się wirusa (takie jak dystans społeczny, częste mycie rąk, noszenie masek itp.), będą utrzymywane przez długi czas. Każda nowa strategia czy rozwiązania technologiczne, które pomogą w walce z wirusem, mogą mieć istotny wpływ na nasz świat.

W poniższym artykule opisujemy otwarty projekt przenośnego, autonomicznego,

taniego i łatwego w obsłudze urządzenia do monitorowania i rejestrowania stężenia CO₂ w otaczającym powietrzu w czasie rzeczywistym. Autorem tej konstrukcji jest Pierre Carlès, pracujący na co dzień na paryskiej Sorbonie jako dyrektor wydziału inżynierii mechanicznej. W ostatnim czasie, po pracy często zajmuje się zagadnieniami, związanymi z pandemią koronawirusa, statystyką zachorowań itp. Teraz zaproponował proste urządzenie, które wykorzystuje stężenie CO₂ jako estymator zastępujący pomiar ilości innych aerozoli oddechowych. Urządzenie to może pomóc w zdefiniowaniu najlepszych praktyk w zakresie wentylacji przestrzeni zamkniętych, co jak wspomniano, jest ważnym środkiem zapobiegającym rozprzestrzenianiu się covid-19. To prosty pomysł, który pozwala rozwiązać dosyć złożone zagadnienie.

Wirus odpowiedzialny za covid-19 przenosi się między innymi drogą powietrzną (kropelkową), poprzez tzw. aerozole oddechowe – mikroskopijne kropelki, które wydychane są jako normalny produkt uboczny oddychania. Na zewnątrz lub w dużych, otwartych przestrzeniach najlepszą strategią łagodzenia skutków skażenia z powietrza jest zachowanie dystansu. Utrzymanie odległości od jednego do dwóch metrów między ludźmi jest uważane za łatwy sposób na zabezpieczenie przed wymianą wirusów poprzez aerozole. Z kolei w zamkniętych przestrzeniach aerozole oddechowe przemieszczają się na duże odległości i równomiernie rozpraszają w całej objętości pomieszczenia, jeśli mają wystarczająco dużo czasu. W takich okolicznościach zachowanie dystansu społecznego traci skuteczność. W takim pomieszczeniu powietrze może stać się wektorem przenoszącym patogeny. Rozwiązanie tego problemu jest w zasadzie łatwe i polega na zapewnieniu dobrej wentylacji zamkniętych pomieszczeń. Jednak utrudnieniem jest brak odpowiednich mierników, które pozwoliłyby wybrać najlepszą strategię działania wentylacji. W uproszczeniu chodzi o to, jak

często należy otwierać okna lub drzwi oraz na jak długo?

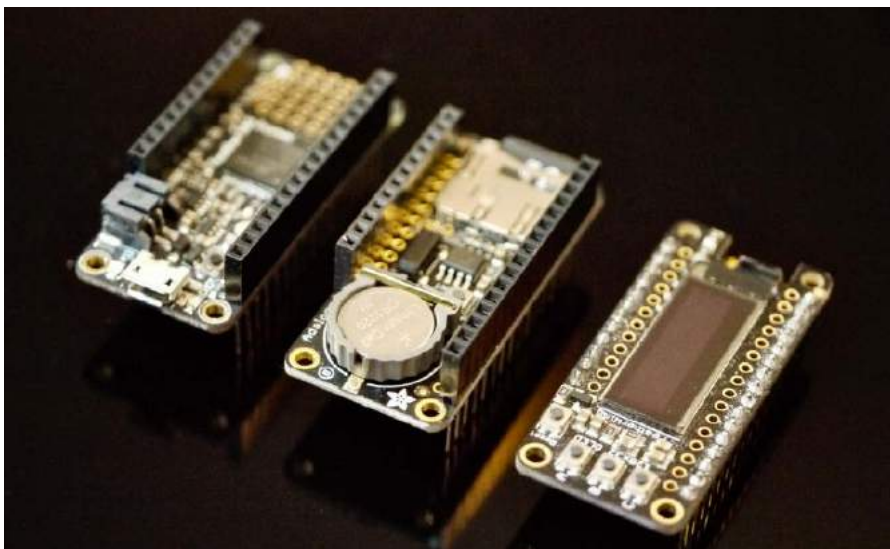
Autor konstrukcji proponuje użycie łatwego sposobu, który polega na monitorowaniu poziomu CO₂ w pomieszczeniu. Pełni on funkcję wskaźnika zastępczego, aby zapewnić ilościowy pomiar, ile powietrza w pomieszczeniu jest potencjalnie wypełnione aerozolami oddechowymi. W tym celu zaprojektował prosty system do pomiaru zawartości dwutlenku węgla w powietrzu.

Potrzebne elementy

Do zmontowania systemu użyto szeregu gotowych elementów. Dzięki temu, że układ oprogramowany jest w Arduino IDE, łatwo jest wymieniać je na inne, w razie potrzeby. Całkowity koszt elementów to około 100 euro. Autor zastosował następujące moduły:

- sensor dwutlenku węgla SEN0219, osadzony na module Gravity,
- moduł Adafruit Feather 328P lub dowolny inny moduł, kompatybilny z Arduino (Feather M0, M4, 32u4 itp.),
- moduł Adafruit Featherwing Adalogger lub dowolny inny moduł (moduły), umożliwiający podłączenie karty SD poprzez interfejs SPI i zegara czasu rzeczywistego przez I²C,
- moduł Adafruit Featherwing OLED z ekranem 128×32 pikseli lub dowolny inny ekran OLED, sterowany poprzez I²C,
- karta microSD,
- diody LED RGB o średnicy 5 mm (wersja ze wspólną katodą),
- opornik 120 Ω
- power bank z wyjściem USB o pojemności 1500 mAh lub więcej,
- krótki kabel USB A – micro-USB,
- bateria CR1220,
- piny i złącza (męskie i żeńskie),
- przewody do wykonania połączeń, koszulka termokurczliwa,
- dowolna obudowa, jej wymiary podyktowane są głównie wielkością power banku.

Wymieniony wcześniej moduł z mikrokontrolerem – Feather 328P, jest odpowiednikiem płytki Arduino, dostosowanej do formatu Feather i działającej na poziomie logicznym 3,3 V. Jeśli wymiary nie są problemem, to można go zastąpić dowolną płytką z rodziny Arduino. Wymogiem dla mikrokontrolera do tego projektu jest możliwość komunikowania się z urządzeniami peryferyjnymi zarówno przez SPI, jak i I²C oraz co najmniej jeden pin wejściowy wyposażony w przetwornik analogowo-cyfrowy (ADC). Zamiast wymienionego tutaj modelu 328P można zastosować dowolny inny moduł kompatybilny z Arduino, jak na przykład płytki Feather M0, M4 lub 32u4 albo dowolny inny model kompatybilny z tym środowiskiem programistycznym. Autor uzasadnia wybór modelu 328P niskim kosztem – moduł



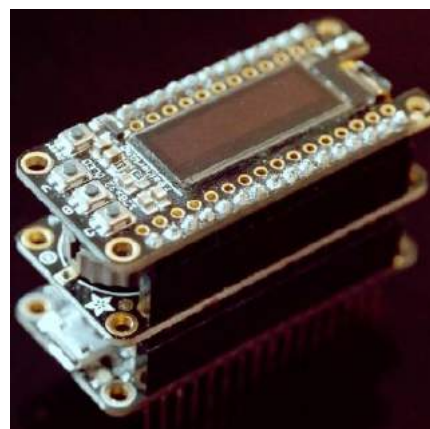
Fotografia 1. Moduły składające się na miernik poziomu CO₂

ten jest najtańszą dostępną na rynku płytką w formacie Feather.

Płytki Featherwings są odpowiednikiem shieldów, znanych z klasycznych modułów ekosystemu Arduino. Jeśli moduł z mikrokontrolerem zastąpimy typową płytką ekosystemu Arduino, to wtedy wymienione płytki Featherwings muszą zostać zastąpione równoważnymi shieldami.

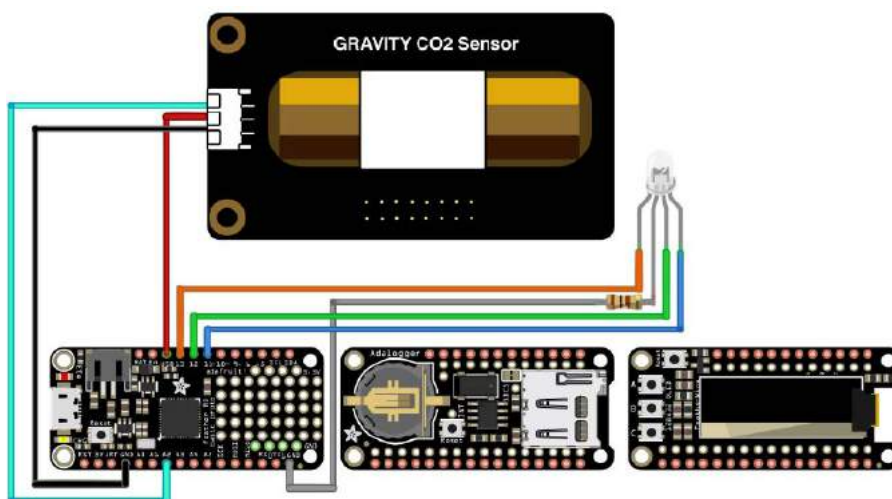
Opis modułów

Moduły zastosowane w urządzeniu zostały pokazane na **fotografii 1**. Featherwing OLED, jak sama nazwa wskazuje, to mały ekran OLED, który komunikuje się przez I²C z mikrokontrolerem. Ciekawą cechą zalecanego tutaj modelu wyświetlacza jest obecność trzech przycisków (A, B i C), które służą w systemie do interakcji z interfejsem urządzenia. W razie potrzeby można je łatwo zastąpić niezależnymi przyciskami. Featherwing Adalogger to połączenie zegara czasu rzeczywistego z interfejsem I²C i czytnika kart SD SPI. Służy do rejestrowania pomiarów oraz odpowiadającej im godziny i daty.



Fotografia 2. Zmontowane moduły

Power bank można zastąpić dowolną ładowarką ze złączem micro-USB w przypadku, gdy urządzenie ma być używane jako urządzenie stacjonarne zasilane z gniazdka. Należy pamiętać, że power banki często są dostarczane z własnym kablem USB. W wielu przypadkach kable takie mają tylko przewody zasilające i nie można ich używać do programowania ani przesyłania danych.



Rysunek 1. Schemat połączeń modułów w systemie

Listing 1. Kod szkicu dla Arduino IDE

```

#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <Wire.h>
#include <RTClib.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>

Adafruit_SSD1306 display = Adafruit_SSD1306(128, 32, &Wire);
RTC_PCF8523 rtc;
// Piny, do których dołączone są przyciski
#define BUTTON_A 9
#define BUTTON_B 6
#define BUTTON_C 5
// Piny do których dołączone są diody LED
#define Blue 13
#define Red 12
#define Green 11
// Poziomy napięcia w systemie
float CO2_V = 0.;
float logic_V = 3.3;

unsigned int CO2_ppm;
// Domyślny próg CO2
unsigned int Threshold = 1000;
// Czas rozgrzewania sensora
unsigned int preheat = 120;
unsigned int Count = 0;
// Pin wejścia CS karty SD
const int chipSelect = 10;

unsigned long t,t0;
boolean Status_A = LOW;

String dataString = "";
String fileString = "LOG";

void setup() {
  SD.begin(chipSelect);
  // Konieczne by używać 12 bit ADC
  analogReadResolution(12);
  pinMode(Red, OUTPUT);
  pinMode(Green, OUTPUT);
  pinMode(Blue, OUTPUT);
  pinMode(BUTTON_A, INPUT_PULLUP);
  pinMode(BUTTON_B, INPUT_PULLUP);
  pinMode(BUTTON_C, INPUT_PULLUP);
  display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C);
  display.display();
  // Czas na uruchomienie modułów
  delay(1000);
  analogWrite(Red, 0);
  analogWrite(Green, 0);
  analogWrite(Blue, 5);
  display.clearDisplay();
  display.setTextColor(SSD1306_WHITE, 0x0000);
  display.setTextSize(2);
  display.println("Preheating");
  display.setTextSize(1);
  display.println();
  display.println("Please wait ...");
  display.display();
  analogWrite(Blue, 0);
  analogWrite(Red, 2);
  display.clearDisplay();
  display.display();
}

void loop () {
  // Pobiera czas z RTC
  DateTime now = rtc.now();
  // Nadaje unikatowe nazwy logom
  fileString += String(now.unixtime()).substring(4,9);
  fileString += ".txt";
  while (HIGH) {
    t0 = millis();
    CO2_V = 0;
    CO2_ppm = 0;
    Count = 0;
    while (millis() - t0 < 10000) {
      // 4095 należy zasrtąpić 1023 przy 10-bit ADC
      CO2_V = logic_V * analogRead(A2) / 4095.;
      CO2_ppm += int((CO2_V - 0.4) * 3125);
      Count += 1;
      Serial.print(Count);
      Serial.print(' ');
      Serial.println(CO2_ppm);
      t = millis();
    }
    while (millis() - t < 2000) {
      if (digitalRead(BUTTON_A) == LOW) {
        Status_A = HIGH;
        displayThreshold();
      }
      if (Status_A == HIGH) {
        if (digitalRead(BUTTON_B) == LOW && Threshold < 5000) {
          Threshold = Threshold + 250;
          displayThreshold();
          delay(200);
        }
        else if (digitalRead(BUTTON_C) == LOW && Threshold > 0) {
          Threshold = Threshold - 250;
          displayThreshold();
          delay(200);
        }
      }
    }
  }
  Status_A = LOW;
  CO2_ppm = CO2_ppm / Count;
}

```

Montaż modułów

Pierwszym zadaniem jest zainstalowanie goldpinów w poszczególnych modułach – mikrokontrolerze Feather i modułach Featherwings. Trzy PCB można następnie ułożyć w stos lub umieścić obok siebie na płytce prototypowej lub w module Featherwing Tripler. W przypadku tych ostatnich rozwiązań wystarczy wyposażyć każdą płytkę w dołączone do niej proste goldpiny. Do układania płytek w bardziej zwartą i bardziej praktyczną konstrukcję należy stosować żeńskie piny do układania w stosy. Trzeba tylko pamiętać, że niezależnie od wybranej konfiguracji, OLED Featherwing zawsze wymaga męskich złączy, znajdując się na szczycie stosu.

Złącza są instalowane poprzez wlutowanie ich do odpowiednich otworów w każdej płytce. Niektórzy dystrybutorzy oferują nawet płytki z lutowanymi złączami, co znacznie upraszcza montaż. Należy jednak zachować ostrożność, jeśli chodzi o typ goldpinów, które są instalowane domyślnie. W większości przypadków są to zwykłe męskie piny, przystosowane do płytek stykowych i nie umożliwiające instalowania wielu płytek jedna na drugiej.

Gdy wszystkie trzy moduły zostaną wyposażone w odpowiednie złącza, wystarczy je ułożyć w stos i cały zestaw będzie gotowy. Zmontowane moduły Feather i Featherwing pokazano na **fotografii 2**.

Pozostała część obwodu jest dosyć prosta. Trzy ułożone w stos płytki łączą się ze sobą w naturalny dla siebie sposób. Do nich pozostaje nam podłączyć tylko diodę LED RGB oraz czujnik CO₂ i zasilanie. Dioda LED jest podłączona do pinów I/O nr 13 (czerwona), 12 (niebieska) i 11 (zielona), a jej wspólna katoda jest podłączona do masy. Można wybrać inne piny, ale ten konkretny wybór był uzasadniony potrzebą uniknięcia stosowania pinu 10, na który wpływa komunikacja sprzętowa SPI między mikrokontrolerem a płytką Adaloggera. Poza tym na płytkach Feather (i w większości płytek Adafruit) pin numer 13 jest połączony z czerwoną diodą LED SMD znajdującą się na samej płytce. Przy tym wyborze połączenia czerwony kanał zewnętrznej diody LED RGB zawsze naśladuje czerwoną diodę LED na płycie, co może być wygodne przy debugowaniu. Ważne jest, aby dokładnie sprawdzić, które piny są domyślnie używane przez shieldy lub moduły Featherwings, z którymi łączy się z płytą główna, aby uniknąć konfliktów.

Wybrany przez autora czujnik CO₂ działa na zasadzie pomiarów w bliskiej podczerwieni (NDIR) do estymacji poziomu CO₂ w powietrzu. Moduł produkowany jest przez firmę Gravity. Na rynku dostępnych jest kilka innych modeli tego rodzaju, jednakże większość z nich jest droższa. Ten konkretny model ma wyjście analogowe, z sygnałem

zawierającym się w przedziale 0...2 V, w zależności od stężenia dwutlenku węgla w analizowanym powietrzu. Wyjście miernika jest podłączone do pinu A2 na płytce Feather. Ten pin jest używany jako wejście analogowe, a instrukcja w kodzie aktywuje podłączony do niego 12-bitowy przetwornik analogowo-cyfrowy. Wybór pinu A2 ma na celu uwolnienie innych potencjalnie ważnych pinów analogowych. Autor wskazuje tutaj szczególnie na piny A0 i A1, które są powiązane z dwoma przetwornikami cyfrowo-analogowymi na wielu płytkach Feather. Jest to istotne, na wypadek gdyby potrzebne było podłączenie innych modułów do układu.

Na koniec należy podłączyć zasilanie do wszystkich modułów – do płytki Feather, z USB, a do pozostałych modułów zasilanie 3,3 V, które jest dostępne na płytce z mikrokontrolerem. Na **rysunku 1** zaprezentowano schemat połączeń poszczególnych modułów systemu, ale bez źródła zasilania. Dla uproszczenia budowy systemu zasilanie podawane jest np. z power banku wprost do portu micro-USB na płytce Feather. W ten sposób nie jest potrzebny żaden dodatkowy moduł do np. zwiększania napięcia z 3,3 V do 5 V, wymagane przez niektóre moduły w systemie.

Układ charakteryzuje się stosunkowo niewielkim zużyciem prądu, dzięki czemu power bank o pojemności 2000 mAh może zasilać urządzenie, zapewniając jego nieprzerwaną pracę przez ponad 24 godziny.

Ponieważ płytka z mikrokontrolerem i dwa podłączone do niej moduły ułożone są w stos, styki na płytkach nie są bezpośrednio dostępne do dolutowania przewodów. Istnieje jednak kilka sposobów, które pozwalają rozwiązać ten problem. Jeśli na płycie Feather zostały zainstalowane długie żeńskie złącza do łączenia pionowego (jak na fotografii 2), to połączenia można łatwo przyłutować do pinów wystających z dolnej części płytki. Większość płytek Featherwing jest wyposażona w podwójny rząd pinów, które mają umożliwić użytkownikowi podłączenie przewodów do pinów, a jednocześnie umożliwiają układanie modułów w stos. Samą płytkę Feather można przyłutować na małej płytce uniwersalnej, do której można łatwo przyłutować inne przewody.

Obudowa

Gdy wszystko jest już okablowane i podłączone, jedyne, co pozostaje do zrobienia, to znaleźć pudełko o odpowiednich wymiarach, np. takie jak na **fotografii 3**, aby zmieścić w nim wszystkie elementy. Następnie należy wykonać w nim wymagane otwory tam, gdzie jest to potrzebne i na koniec zabezpieczyć wszystkie elementy elektroniczne i power bank w środku. Łatwym i praktycznym sposobem ich mocowania jest użycie dwustronnej piankowej taśmy samoprzylepnej. Pozwala ona na połączenie ze sobą

Listing 1. cd.

```
DateTime now = rtc.now();
display.setCursor(0,0);
display.clearDisplay();
display.display();
display.setTextSize(1);
if (CO2_V==0) {
  display.println("Error");
  display.println(" ");
}
else if (CO2_V < 0.4) {
  display.println("Preheating...");
  display.println(" ");
  display.setTextSize(2);
  display.print(CO2_V);
  display.println(" V");
}
else {
  displayhour(now.day());
  display.print('/');
  displayhour(now.month());
  display.print('/');
  display.print(now.year(), DEC);
  display.print(" ");
  displayhour(now.hour());
  display.print(':');
  displayhour(now.minute());
  display.println();
  display.println(" ");
  display.setTextSize(2);
  display.print(CO2_ppm);
  display.println(" ppm");
  dataString = String(now.day());
  dataString += '/';
  dataString += String(now.month());
  dataString += '/';
  dataString += String(now.year());
  dataString += ',';
  dataString += String(now.hour());
  dataString += ':';
  dataString += String(now.minute());
  dataString += ',';
  dataString += String(now.second());
  dataString += ',';
  // Zapisuje aktualny czas w sekundach
  dataString += String(now.unixtime());
  dataString += ',';
  dataString += String(CO2_ppm);
  File dataFile = SD.open(fileString, FILE_WRITE);
  // Zapisuje wartość CO2 w ppm na SD
  dataFile.println(dataString);
  dataFile.close();
}
display.display();
if (CO2_ppm <= Threshold) {
  analogWrite(Red,0);
  analogWrite(Green,3);
}
else {
  analogWrite(Green,0);
  analogWrite(Red,2);
}
}
}

void displayhour(int number) {
  // Funkcja zapisania godziny,
  // pozwala na wyświetlenie '0'
  if (number < 10) {
    display.print('0');
    display.print(number);
  }
  else {
    display.print(number);
  }
}

void displaythreshold() {
  display.setCursor(0,0);
  display.clearDisplay();
  display.setTextSize(1);
  display.println("Choose Threshold");
  display.println(" ");
  display.setTextSize(2);
  display.print(Threshold);
  display.println(" ppm");
  display.display();
}
```

nawet nierównych elementów, takich jak płytki drukowane. Na **fotografii tytułowej** pokazano układ w obudowie autora.

Oprogramowanie

Ostatnim etapem realizacji projektu jest załadowanie do modułu z mikrokontrolerem odpowiedniego oprogramowania. Wystarczy podłączyć płytkę z mikrokontrolerem do komputera i wgrać szkic, który został pokazany na **listingu 1**. Należy to zrobić za pomocą Arduino IDE.

Adalogger Featherwing ma dwie funkcje – obsługuje kartę micro-SD i dostarcza czas z układu RTC. Przed załadowaniem kodu programu do płytki Feather ważne jest, aby zainicjować ten zegar aktualnym czasem. Należy to zrobić tylko raz w całym okresie eksploatacji urządzenia (a dokładnie w okresie życia baterii Adaloggera, czyli kilku lat). Aby to zrobić, należy włożyć baterię do modułu, a następnie wgrać i uruchomić specjalny skrypt na mikrokontrolerze w układzie. Można go znaleźć w Arduino



Fotografia 3. Elektronika w obudowie

IDE w przykładach, a dokładniej mówiąc, w menu RTCLib. Nosi on nazwę układu zegara czasu rzeczywistego, jaki chcemy zaprogramować. W przypadku Adaloggera jest to PCF8523. Po załadowaniu i uruchomieniu tego programu (może być konieczne otwarcie w tym celu monitora szeregowego) zegar w Adaloggerze jest ustawiony na aktualny czas zdefiniowany przez komputer. Po zostanie zsynchronizowany z tym czasem tak długo, jak działa bateria.

Po zainicjowaniu zegara czasu rzeczywistego można już wgrać docelowy szkic Arduino do płytki Feather. Proponowany kod jest napisany dla Arduino IDE. Bazuje na następujących bibliotekach, które należy najpierw zaimportować do Arduino IDE za pomocą menedżera bibliotek:

- SPI,
- SD,
- Wire,
- RTCLib,
- Adafruit_GFX,
- Adafruit_SSD1306.

Kod pokazany na listingu 1 można pobrać z następującego repozytorium GitHub: <http://bit.ly/301mdmA>. Struktura tego programu jest bardzo prosta. Po włączeniu urządzenia rozpoczyna dwuminutową fazę nagrzewania wstępnego, podczas której dioda LED świeci na niebiesko. Jest to konieczne, aby sensor CO₂ działał poprawnie. W tym czasie

tworzony jest też plik na karcie microSD, na której zapisywane będą poziomy dwutlenku węgla. Nazwa pliku jest generowana automatycznie podczas rozruchu jako: LOG ****.TXT, gdzie gwiazdki są zastępowane unikalnym, 5-cyfrowym indeksem. Ułatwia to porządkowanie plików w czasie i chroni system przed nieumyślnym nadpisaniem starszych plików w przypadku ponownego uruchomienia urządzenia.

Następnie rozpoczyna się normalny cykl pracy, w którym pomiar stężenia CO₂ dokonywany jest co dwie sekundy. Po serii pięciu takich pomiarów szacunkowa wartość stężenia CO₂ jest obliczana jako średnia. Następnie jest ona zapisywana na karcie microSD wraz z datą i godziną. Te same dane są również wyświetlane na ekranie wyświetlacza OLED.

Zmierzone stężenie dwutlenku węgla jest porównywane z progiem zdefiniowanym przez użytkownika. Jeśli wartość przekroczy ten próg, dioda LED zmienia kolor na czerwony, w przeciwnym razie świeci w kolorze zielonym. Następnie rozpoczyna się nowy cykl pomiarowy.

Pomiędzy dwoma pomiarami program sprawdza jeszcze, czy przycisk A jest wciśnięty. Jeśli tak, przechodzi do menu, w którym użytkownik może zwiększać lub zmniejszać próg sygnalizacji z krokiem ± 250 ppm za pomocą przycisków B i C.

Domyślny próg jest ustalony na 1000 ppm, zgodnie z zaleceniami kilku międzynarodowych organizacji zdrowotnych.

Uwagi

Zaprezentowane urządzenie jest niewielkie, ponieważ monitor CO₂ ma być przenośny, umożliwiając użytkownikowi łatwe używanie go w różnych pomieszczeniach, a nawet na zewnątrz. Umieszczenie magnesów po stronie przeciwnej do ekranu OLED pozwala na łatwe ustawienie urządzenia na metalowych powierzchniach. Zaleca się, aby czujniki CO₂ były umieszczane na wysokości od 1 do 1,5 metra, z dala od drzwi i okien.

Przy tak niewielkich rozmiarach wizualna sygnalizacja informująca użytkownika o nadmiernym stężeniu CO₂ (tj. czerwona dioda LED i liczba na ekranie) jest stosunkowo dyskretna. Może się to wydawać złym wyborem projektowym, jeśli celem jest ostrzeżenie o potrzebie przewietrzenia pomieszczenia. Jednak w istocie jest wręcz przeciwnie. Dyskretnie wskazania są celowym wyborem projektowym. Autor wskazuje, że działania profilaktyczne powinny być przemyślane, z uwzględnieniem potencjału w przypadku nieodpowiednich i wywołujących niepokój wiadomości. Duży, migający wyświetlacz informujący, że poziom CO₂ jest zbyt wysoki, z pewnością kwalifikowałby się jako urządzenie wywołujące niepokój, które mogłoby przynieść efekt przeciwny do zamierzonego, powodując niepotrzebne napięcie. Wentylacja pomieszczenia trwa kilka minut i musi być powtarzana co kilkadziesiąt minut, jeśli w pomieszczeniu przebywają ludzie. W takich warunkach i biorąc pod uwagę, że ryzyko skażenia powietrznego jest niewielkie, nawet w zamkniętych przestrzeniach (pod warunkiem, że ludzie noszą maseczki) traktowanie wentylacji jako natychmiastowej konieczności awaryjnej byłoby nadmierne.

Przedstawione urządzenie należy postrzegać raczej jako sposób określenia ilościowych wytycznych dotyczących wentylacji, aby zapewnić możliwie najwyższą jakość powietrza w pomieszczeniach zamkniętych. Tego rodzaju układ powinien być raczej monitorowany przez jedną wyznaczoną osobę, a nie używany jako publiczny sygnał ostrzegawczy.

Nikodem Czechowski, EP

Źródła:

- <http://bit.ly/37VvFa>
- <https://bit.ly/301mdmA>

O projektach, mini, soft i wielu innych diskutuj
na <https://forum.ep.com.pl>

OpenSTLinux

dla procesorów z rodziny STM32MP1 (4)



Od czasu, kiedy powstała pierwsza część cyklu, firma ST opublikowała nową wersję ekosystemu do procesorów z rodziny STM32MP. Dlatego w tej części omówimy krótko budowanie nowej wersji – dunfell oraz przyjrzymy się uruchamianiu aplikacji na rdzeniu Cortex-M4.

Do tej pory pracowaliśmy na wersji systemu **thud** i ekosystemie 1.2.0, natomiast najnowsza dostępna wersja w chwili pisania tego artykułu to **dunfell** z ekosystemu 2.1.0. Budowanie nowej wersji systemu wygląda analogicznie jak poprzednia, jednak należy pamiętać o aktualizacji wszystkich używanych komponentów. W pierwszej kolejności powinniśmy upewnić się, że mamy najnowszą dostępną wersję narzędzia *repo*, które z kolei wymaga zainstalowanego Pythona w wersji co najmniej 3.6. Najnowsze *repo* możemy pobrać ze strony projektu i umieścić w katalogu `/usr/bin`, pamiętając o nadaniu mu uprawnień do wykonywania:

```
wget https://storage.googleapis.com/
git-repo-downloads/repo
sudo mv repo /usr/bin/repo
sudo chmod a+x /usr/bin/repo
```

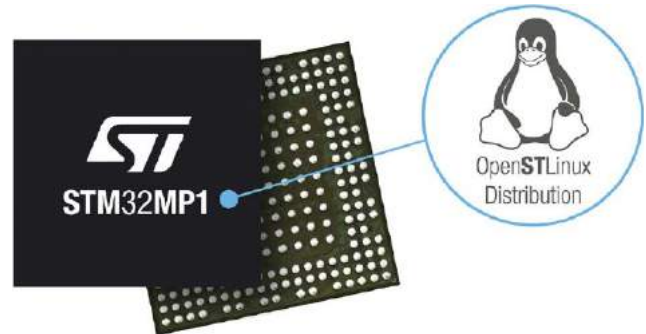
Teraz możemy powtórzyć omawiane wcześniej kroki kompilacji systemu OpenSTLinux, tym razem dla wersji **dunfell**:

```
cd <working directory path>/Distribution-Package
mkdir openstlinux-5.4-dunfell-mp1-20-11-12
cd openstlinux-5.4-dunfell-mp1-20-11-12
repo init -u https://github.com/
STMicroelectronics/oe-manifest.git -b refs/tags/
openstlinux-5.4-dunfell-mp1-20-11-12
repo sync
cd layers/meta-st
git clone -b dunfell https://github.com/SoMLabs/
openst-meta-somlabs.git meta-somlabs
cd ../../
```

Szczegóły dotyczące nowego ekosystemu można znaleźć na stronie Wiki ST: <http://bit.ly/3kzOBGh>. Główne zmiany w stosunku do wersji **thud** dotyczą aktualizacji jądra oraz *u-boota*. **Dunfell** oferuje je odpowiednio w wersjach 5.4.56 i 2020.01. Modyfikacjom uległa również warstwa *meta-somlabs*. W wersji **dunfell** jądro oraz *u-boot* pobierane są z repozytoriów na stronie <http://bit.ly/3dLunHX>. Dostępne tam źródła zawierają już niezbędne łaty dla modułów Vision-SOM, dzięki czemu nie są one już potrzebne w plikach warstwy. Repozytoria te są definiowane w plikach *bbappend* jądra i *u-boota*: *recipes-kernel/linux/linux-stm32mp_5.4.bbappend* oraz *recipes-bsp/u-boot/u-boot-stm32mp_2020.01.bbappend*. Oprócz tego, w warstwie *meta-somlabs* są dostępne używane podczas kompilacji pliki konfiguracyjne jądra i *u-boota*, dzięki czemu można dodać wymagane opcje bez potrzeby zmieniania źródeł, co miało miejsce w przykładach z poprzedniego odcinka.

Na koniec warto wspomnieć, że zmieniły się też nazwy dostępnych urządzeń, ponieważ wprowadzona została obsługa pamięci eMMC. Możemy więc zbudować system dla modułu z pamięcią eMMC lub SD i jednym z interfejsów wyświetlacza: DSI lub RGB:

```
stm32mp157a-visionsom-rgb-emmc-mx
stm32mp157a-visionsom-rgb-sd-mx
stm32mp157a-visionsom-dsi-emmc-mx
stm32mp157a-visionsom-dsi-sd-mx
```



Budowanie nowej wersji systemu OpenSTLinux

W przykładzie użyjemy modułu z pamięcią SD i wyświetlaczem RGB. Wywołujemy więc następujące polecenia, które rozpoczynają budowanie obrazu systemu:

```
DISTRO=openstlinux-weston MACHINE=stm32mp157a-
visionsom-rgb-sd-mx source layers/meta-st/scripts/
envsetup.sh
bitbake st-image-weston
```

Podobnie jak poprzednio, musimy użyć skryptu tworzącego obraz dla karty SD, jednak tym razem musimy użyć konfiguracji *trusted*, która jest od tej pory jedyną dostępną:

```
cd tmp-glibc/deploy/images/
stm32mp157a-visionsom-rgb-sd-mx
./scripts/create_sdcard_from_flashlayout.sh
./flashlayout_st-image-weston/trusted/FlashLayout_
sdcard_stm32mp157a-visionsom-rgb-sd-mx-trusted.tsv
```

Plik obrazu możemy skopiować na kartę SD poleceniem `dd`:

```
sudo dd if=FlashLayout_sdcard_stm32mp157a-
visionsom-rgb-sd-mx-trusted.raw of=/dev/sdX bs=1M
```

Obsługa Cortex-M4

W pierwszej części cyklu przygotowaliśmy program w języku C, który był następnie uruchamiany w systemie Linux działającym na rdzeniu aplikacyjnym Cortex-A7. Tym razem przekonamy się, w jaki sposób uruchomić rdzeń Cortex-M4, a następnie załadować i uruchomić przygotowaną dla niego aplikację.

Zmiany opisane w tym rozdziale można wprowadzić, korzystając z opisanego projektu *openst-cube-mx* dla STM32CubeMX, jednak tym razem musimy pamiętać o pobraniu wersji **dunfell** z repozytorium:

```
git clone https://github.com/SoMLabs/openst-cube-mx.
git -b dunfell
```

Listing 1. Sekcja konfigurująca rdzeń Cortex-M4 w *device tree*

```
&m4_rproc{
    status = "okay";
    /* USER CODE BEGIN m4_rproc */
    memory-region = <&retram>, <&mcuam>, <&mcuam2>,
    <&vdev0vring0>, <&vdev0vring1>, <&vdev0buffer>;
    mboxs = <&ipcc 0>, <&ipcc 1>, <&ipcc 2>;
    mbox-names = "vq0", "vq1", "shutdown";
    interrupt-parent = <&exti>;
    interrupts = <68 1>;
    wakeup-source;
    /* USER CODE END m4_rproc */
    m4_system_resources{
        status = "okay";
        /* USER CODE BEGIN m4_system_resources */
        /* USER CODE END m4_system_resources */
    };
};
```

Listing 2. Sekcje pamięci używane przez rdzeń Cortex-M4

```

reserved-memory {
    #address-cells = <1>;
    #size-cells = <1>;
    ranges;
    /* USER CODE BEGIN reserved-memory */
    fb_reserved: fb@fd000000 {
        reg = <0xfd000000 0x800000>;
        no-map;
    };
    mcuram2: mcuram2@10000000 {
        compatible = "shared-dma-pool";
        reg = <0x10000000 0x40000>;
        no-map;
    };
    vdev0vring0: vdev0vring0@10040000 {
        compatible = "shared-dma-pool";
        reg = <0x10040000 0x1000>;
        no-map;
    };
    vdev0vring1: vdev0vring1@10041000 {
        compatible = "shared-dma-pool";
        reg = <0x10041000 0x1000>;
        no-map;
    };
    vdev0buffer: vdev0buffer@10042000 {
        compatible = "shared-dma-pool";
        reg = <0x10042000 0x4000>;
        no-map;
    };
    mcuram: mcuram@30000000 {
        compatible = "shared-dma-pool";
        reg = <0x30000000 0x40000>;
        no-map;
    };
    retram: retram@38000000 {
        compatible = "shared-dma-pool";
        reg = <0x38000000 0x10000>;
        no-map;
    };
    /* USER CODE END reserved-memory */
};

```

Listing 3. Wpis konfiguracyjny moduł IPCC

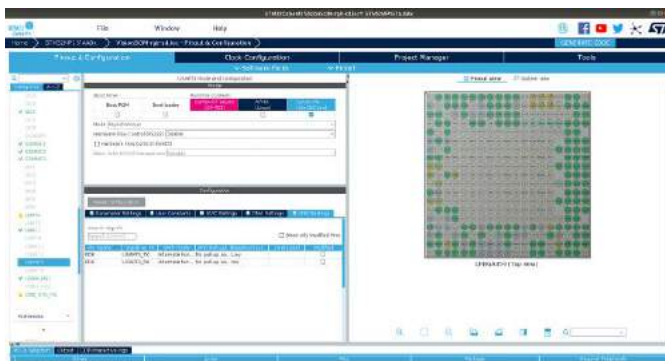
```

&ipcc {
    status = "okay";
};

```

Konfiguracja Cortex-M4 sprowadza się do dodania odpowiednich wpisów w device tree. Musimy uzupełnić sekcję `m4_rproc` z pliku `CA7/DeviceTree/VisionSOM-rgb-sd/kernel/stm32mp157a-visionsom-rgb-sd-mx.dts` projektu `openst-cube-mx`, w której definiujemy m.in. obszary pamięci oraz tzw. skrzynki pocztowe, dzięki którym aplikacja na Cortex-M4 będzie komunikować się z systemem Linux. Wpis został pokazany na **listingu 1**.

Kolejnym krokiem jest dodanie dopisanych przed chwilą obszarów pamięci do sekcji `reserved memory` w tym samym pliku, tak jak zostało to pokazane na **listingu 2**.



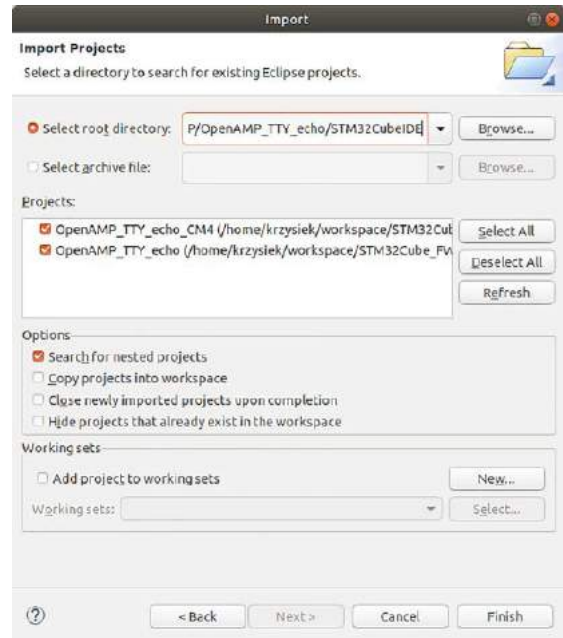
Rysunek 1. Konfiguracja USART3 dla rdzenia Cortex-M4

```

[ 51.697447] remoteproc remoteproc0: powering up m4
[ 51.794724] remoteproc remoteproc0: Booting fw image OpenAMP_TTY_echo.elf, size 2001996
[ 51.820287] rproc-srn-core mlahb:m4@10000000:m4_system_resources: bound mlahb:m4@10000000:m4_system_resources:serial@400f000 (ops 0xc0bf84d4)
[ 51.855694] rproc-srn-core mlahb:m4@10000000:m4_system_resources: bound mlahb:m4@10000000:m4_system_resources:dma@4801000 (ops 0xc0bf84d4)
[ 51.886067] remoteproc0#vdev0buffer: assigned reserved memory node vdev0buffer@10042000
[ 51.895294] virtio_rpmsg_bus virtio0: creating channel rpmsg-tyt-channel addr 0x0
[ 51.901540] virtio_rpmsg_bus virtio0: rpmsg host is online
[ 51.907625] rpmsg-tyt virtio0.rpmsg-tyt-channel.1:0: new channel: 0x400 -> 0x0 : ttyRPMSG0
[ 51.915185] virtio_rpmsg_bus virtio0: creating channel rpmsg-tyt-channel addr 0x1
[ 51.926968] remoteproc0#vdev0buffer: registered virtio0 (type 7)
[ 51.931628] remoteproc remoteproc0: remote processor m4 is now up

```

Rysunek 2. Komunikaty po włączeniu rdzenia Cortex-M4 i uruchomieniu przykładowej aplikacji



Rysunek 3. Importowanie przykładowego projektu z pakietu STM-32CubeMP1

Na koniec uruchamiamy IPCC do komunikacji pomiędzy rdzeniami, dodając do device tree sekcję `&ipcc` na końcu pliku pomiędzy znacznikami `USER CODE`, tak jak na **listingu 3**.

Skonfigurowany w ten sposób rdzeń Cortex-M4 będzie w stanie wykonać skompilowaną dla niego aplikację, jednak aby móc skorzystać z jakiegokolwiek peryferium, musimy uruchomić je tak jak poprzednim razem, jednak tym razem przydzielając je do rdzenia Cortex-M4. W przykładzie użyjemy portu USART3, który musimy skonfigurować, używając narzędzia STM32CubeMX, tak jak zostało to pokazane na **rysunku 1**.

Tak przygotowane pliki device tree możemy skopiować do odpowiedniego miejsca w katalogu warstwy meta-somlabs (`meta-somlabs/mx/visionsom-rgb-sd-mx`), podmieniając znajdującą się tam konfigurację domyślną. Po przebudowaniu obrazu i uruchomieniu systemu możemy zweryfikować działanie rdzenia Cortex-M4, używając do tego przygotowanej wcześniej aplikacji demo. W tym celu musimy pobrać spakowany plik `elf` i poinformować system, aby użył go jako programu dla rdzenia Cortex-M4:

wget https://wiki.somlabs.com/images/9/94/OpenAMP_TTY_echo.zip

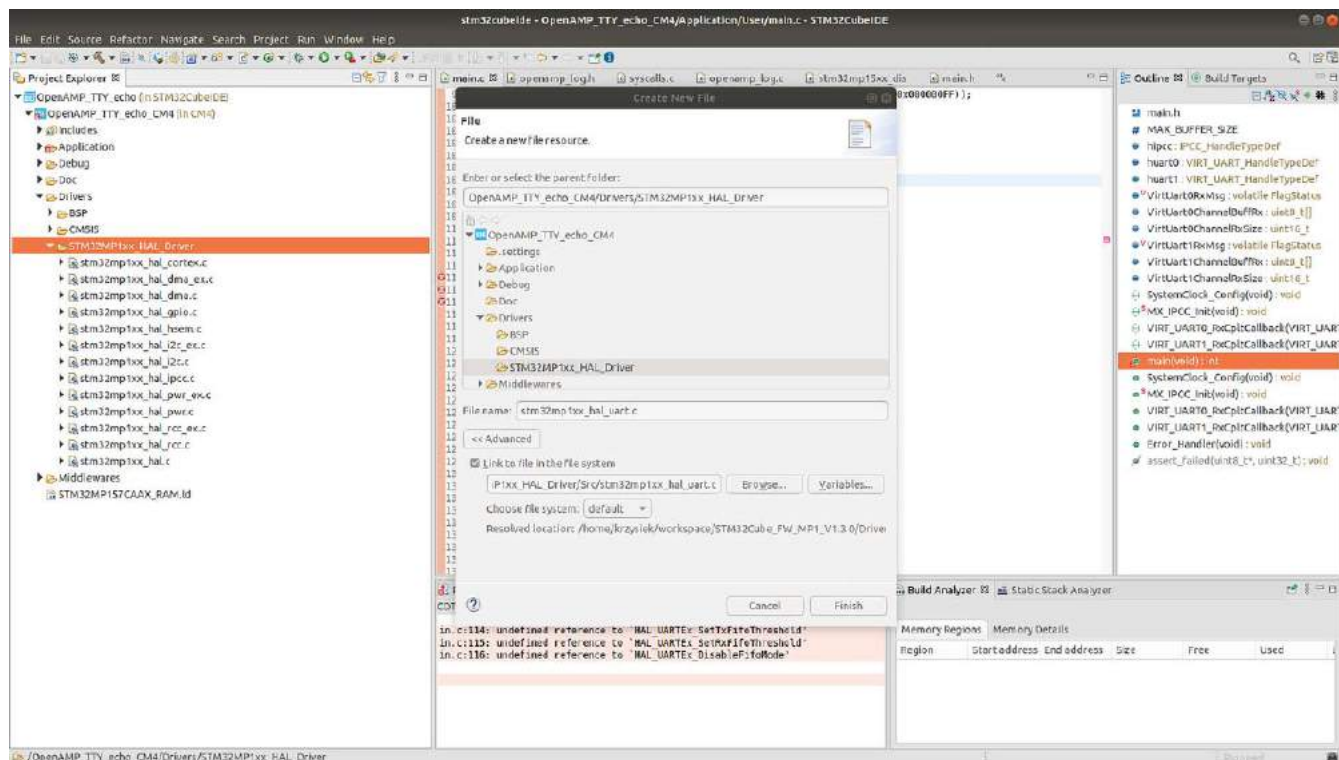
```

unzip OpenAMP_TTY_echo.zip -d /lib/firmware
cd /sys/class/remoteproc/remoteproc0
echo "OpenAMP_TTY_echo.elf" > firmware
echo start > state

```

System Linux domyślnie szuka plików z programem dla Cortex-M4 w katalogu `/lib/firmware`, dlatego to właśnie tam należy rozpakować plik `OpenAMP_TTY_echo.elf`. Ostatnie z podanych powyżej poleceń uruchamia rdzeń, który po załadowaniu systemu jest domyślnie wyłączony.

Po uruchomieniu przykładu, w terminalu zobaczymy kilka komunikatów świadczących o włączeniu rdzenia Cortex-M4 i utworzeniu dwóch kanałów komunikacji RPMSC (**rysunek 2**). Są to specjalnie



Rysunek 4. Dodanie źródeł sterownika UART z biblioteki STM32CubeMP1



Rysunek 5. Działanie przykładowej aplikacji – po lewej stronie terminal systemu Linux, po prawej wyjście portu szeregowego USART3

zdefiniowane obszary pamięci, które służą do wymiany danych pomiędzy rdzeniami aplikacyjnymi pod kontrolą systemu Linux a rdzeniem czasu rzeczywistego. Z punktu widzenia użytkownika systemu Linux można traktować je jako zwykłe porty szeregowo. Przekonamy się o tym, używając poleceń `echo` i `cat`, którymi możemy odpowiednio wysyłać i odbierać dane z każdego z tych portów:

```
cat /dev/ttyRPMSC0 &
echo "Hello Cortex-M4" >/dev/
ttyRPMSC0
```

Dodatkowo, komunikacja pomiędzy rdzeniami w przykładzie jest logowana w systemie i możemy ją odczytać z pliku `/sys/kernel/debug/remoteproc/remoteproc0/trace0`.

Kompilacja aplikacji dla Cortex-M4

W poprzednim rozdziale uruchomiliśmy gotową aplikację, przygotowaną dla rdzenia Cortex-M4. Teraz zobaczymy, w jaki sposób skompilować jej zmodyfikowaną wersję, która dodatkowo będzie używała skonfigurowanego przez nasz wcześniej portu USART3.

Zaczynamy od pobrania pakietu STM32CubeMP1 w wersji 1.3.0 (<https://bit.ly/3uA956m>) oraz środowiska STM32CubeIDE (<http://bit.ly/2XsPW1H>) ze strony producenta. W pakiecie STM32CubeMP1 znajdują się gotowe przykłady, które możemy skompilować i uruchomić na rdzeniu Cortex-M4

Listing 4. Funkcja MX_USART3_UART_Init wygenerowana przez STM32CubeMX

```
void MX_USART3_UART_Init(void) {
    huart3.Instance = USART3;
    huart3.Init.BaudRate = 115200;
    huart3.Init.WordLength = UART_WORDLENGTH_8B;
    huart3.Init.StopBits = UART_STOPBITS_1;
    huart3.Init.Parity = UART_PARITY_NONE;
    huart3.Init.Mode = UART_MODE_TX_RX;
    huart3.Init.HwFlowCtl = UART_HWCONTROL_NONE;
    huart3.Init.OverSampling = UART_OVERSAMPLING_16;
    huart3.Init.OneBitSampling = UART_ONE_BIT_SAMPLE_DISABLE;
    huart3.Init.ClockPrescaler = UART_PRESCALER_DIV1;
    huart3.AdvancedInit.AdvFeatureInit = UART_ADVFEATURE_NO_INIT;
    if (HAL_UART_Init(&huart3) != HAL_OK) {
        Error_Handler();
    }
    if (HAL_UARTEx_SetTxFifoThreshold(&huart3, UART_TXFIFO_THRESHOLD_1_8) != HAL_OK) {
        Error_Handler();
    }
    if (HAL_UARTEx_SetRxFifoThreshold(&huart3, UART_RXFIFO_THRESHOLD_1_8) != HAL_OK) {
        Error_Handler();
    }
    if (HAL_UARTEx_DisableFifoMode(&huart3) != HAL_OK) {
        Error_Handler();
    }
}
```

Listing 5. Funkcja HAL_UART_MspInit wygenerowana przez STM32CubeMX

```
void HAL_UART_MspInit(UART_HandleTypeDef* huart) {
    GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStruct = {0};
    RCC_PeriphCLKInitTypeDef PeriphClkInit = {0};
    if(huart->Instance==USART3) {
        if(IS_ENGINEERING_BOOT_MODE()) {
            PeriphClkInit.PeriphClockSelection = RCC_PERIPHCLK_UART3;
            PeriphClkInit.Uart35ClockSelection = RCC_UART35CLKSOURCE_PCLK1;
            if (HAL_RCCEx_PeriphCLKConfig(&PeriphClkInit) != HAL_OK) {
                Error_Handler();
            }
        }
        HAL_RCC_USART3_CLK_ENABLE();
        HAL_RCC_GPIOC_CLK_ENABLE();
        GPIO_InitStruct.Pin = GPIO_PIN_8;
        GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_AF_PP;
        GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
        GPIO_InitStruct.Speed = GPIO_SPEED_FREQ_LOW;
        GPIO_InitStruct.Alternate = GPIO_AF7_USART3;
        HAL_GPIO_Init(GPIOC, &GPIO_InitStruct);
        GPIO_InitStruct.Pin = GPIO_PIN_9;
        GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_AF;
        GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
        GPIO_InitStruct.Alternate = GPIO_AF7_USART3;
        HAL_GPIO_Init(GPIOC, &GPIO_InitStruct);
    }
}
```

procesora STM32MP1. My użyjemy projektu o nazwie OpenAMP_TTY_echo, który służył nam do testów w poprzednim punkcie.

Po zainstalowaniu środowiska STM32CubeIDE importujemy projekt za pomocą opcji File → Import, a następnie wybierając w oknie dialogowym General → Existing Projects into Workspace. W kolejnym oknie musimy wskazać katalog z projektem (*STM32Cube_FW_MP1_V1.3.0/Projects/STM32MP157C-DK2/Applications/OpenAMP/OpenAMP_TTY_echo/STM32CubeIDE*) tak jak na **rysunku 3**, a następnie przyciskiem Finish kończymy cały proces.

W kodzie aplikacji są inicjalizowane dwa kanały RPSMG, a następnie rozpoczyna się pętla *while*, w której otrzymane wiadomości są wysyłane z powrotem na odpowiedni port. Zmodyfikujemy kod, aby dodatkowo wysyłał dane na port USART3. Na początku będziemy potrzebować funkcji konfigurujących port szeregowy oraz przypisane do niego wyprowadzenia. Odpowiednie funkcje możemy napisać własnoręcznie lub skorzystać z kodu wygenerowanego przez narzędzie STM32CubeMX, które oprócz plików *device tree*, tworzy także kod dla Cortex-M4, który znajdziemy w katalogu CM4 projektu *openst-cube-mx/VisionSOM-rgb-sd*. Skopiujemy więc funkcje *MX_USART3_UART_Init* z pliku *CM4/Src/main.c* oraz *HAL_UART_MspInit* z pliku *CM4/Src/stm32mp1xx_hal_msp.c* do pliku *main.c* w otwartym projekcie w katalogu Application/User. Obie funkcje zostały pokazane na **listingach 4 i 5**. Na początku pliku *main.c* musimy także umieścić deklaracje dodanych funkcji i zmienną *huart3*, co zostało zawarte na **listingu 6**. Możemy teraz zmodyfikować funkcję *main()*, dodając wywołanie funkcji konfigurującej port szeregowy oraz przekierowując na niego otrzymane pakiety danych za pomocą funkcji bibliotecznej *HAL_UART_Transmit*. Wspomniane zmiany są widoczne na **listingu 7**.

Do poprawnej kompilacji powinniśmy dodać do projektu nagłówki z definicjami i deklaracjami dla portu UART przez odkomentowanie linii *#define HAL_UART_MODULE_ENABLED* w pliku

Listing 6. Deklaracje nowych funkcji i zmienna *huart3*

```
UART_HandleTypeDef huart3;
static void MX_USART3_UART_Init(void);
void HAL_UART_MspInit(UART_HandleTypeDef* huart);
```

Listing 7. Konfiguracja portu szeregowego i główna pętla aplikacji

```
MX_USART3_UART_Init();
while (1) {
    OPENAMP_check_for_message();
    if (VirtUart0RxMsg) {
        HAL_UART_Transmit(&huart3, (uint8_t*)"CM4 RX RPSMG0: ", 8, 1000);
        HAL_UART_Transmit(&huart3, VirtUart0ChannelBuffRx, VirtUart0ChannelRxSize, 1000);
        VirtUart0RxMsg = RESET;
        VIRT_UART_Transmit(&huart0, VirtUart0ChannelBuffRx, VirtUart0ChannelRxSize);
    }
    if (VirtUart1RxMsg) {
        HAL_UART_Transmit(&huart3, (uint8_t*)"CM4 RX RPSMG1: ", 8, 1000);
        HAL_UART_Transmit(&huart3, VirtUart1ChannelBuffRx, VirtUart1ChannelRxSize, 1000);
        VirtUart1RxMsg = RESET;
        VIRT_UART_Transmit(&huart1, VirtUart1ChannelBuffRx, VirtUart1ChannelRxSize);
    }
}
```

Inc/stm32mp1xx_hal_conf.h. Musimy także uwzględnić w projekcie niezbędne pliki sterowników z biblioteki STM32Cube – klikamy prawym przyciskiem myszy na katalog *STM32MP1xx_HAL_Driver* w drzewie projektu po lewej stronie i wybieramy opcję New → File. W oknie dialogowym, które się pojawiło, wybieramy opcję Advanced i podajemy ścieżkę do pliku sterownika UART: *\$(PARENT-7-PROJECT_LOC)/Drivers/STM32MP1xx_HAL_Driver/Src/stm32mp1xx_hal_uart.c*, tak jak na **rysunku 4**. W podobny sposób musimy dodać także plik *\$(PARENT-7-PROJECT_LOC)/Drivers/STM32MP1xx_HAL_Driver/Src/stm32mp1xx_hal_uart_ex.c*.

Teraz możemy przebudować projekt i skopiować plik *OpenAMP_TTY_echo_CM4.elf* na płytke VisionSOM. Plik *elf* znajduje się w katalogu z przykładem: *OpenAMP_TTY_echo/STM32CubeIDE/CM4/Debug*. Po uruchomieniu nowej wersji programu na rdzeniu Cortex-M4, wszystkie wiadomości odebrane z kanałów RPSMG0 i RPSMG1 będą również wysyłane na port USART3, którego wyprowadzenia znajdziemy na pinach 8 (TX) i 10 (RX) złącza Raspberry Pi. Efekt działania nowej wersji programu jest widoczny na **rysunku 5**.

Krzysztof Chojnowski

REKLAMA

K L U B
AVT
ELEKTRONIKA

Wstęp do Klubu AVT Elektronika

będziesz miał prawo do korzystania z szeregu przywilejów:

- do 50% zniżki w Sklepie AVT
- darmowe prenumeraty Wydawnictwa AVT
- do 50% zniżki w Ulubionym Kiosku
- Zapraszamy do zapoznania się z zasadami Klubu!



[HTTP://BIT.LY/2GADWTQ](http://bit.ly/2GADWTQ)



Projektowanie interfejsów graficznych z użyciem TouchGFX (1)

Standardy komunikacji pomiędzy urządzeniem a operatorem są wyznaczane przez producentów smartfonów. Wiele użytkowników całkiem słusznie postrzega stosowane tam rozwiązania za atrakcyjne i wygodne. TouchGFX oferuje możliwość tworzenia podobnych rozwiązań: przeciągania, przewijania, wstawiania efektów 3D, przezroczystości, mieszania czcionek itd., a dodatkowo położono nacisk na bardzo szybką reakcję aplikacji na dotyk ekranu wyświetlacza.

Problem prawidłowej interakcji operator–maszyna zaprzętał głowy projektantów od zarania ery przemysłowej. Początkowo stosowane ręczne dźwignie sterujące i mechaniczne wskaźniki położenia były stopniowo zastępowane elektrycznymi układami kontrolno-pomiarowymi. Nadzór nad procesami przemysłowymi zapewniały tablice kontrolne z wieloma przełącznikami, lampkami i miernikami wskazówkowymi nazywanymi potocznie zegarami. Były one postrzegane przez współczesnych jako przejaw postępu technicznego i nowoczesnej techniki. Pierwsze generacje komercyjnych komputerów również miały panele kontrolne z lampkami sygnalizacyjnymi i przyciskami sterującymi. Takie rozwiązania nikogo nie dziwiły nawet w latach 80. XX wieku.

Obsługa urządzeń bardziej lub mniej skomplikowanych ewoluowała razem z rozwojem techniki i mocno przyspieszyła wraz z rozpowszechnianiem się mikroelektroniki. Komputery wyposażano

w monitory ekranowe, najpierw tylko znakowe, potem również graficzne, klawiatury, później myszki, czy zapomniane już trackballe. W mikroprocesorowych układach wbudowanych królowały proste klawiatury numeryczne, przyciski i 7-segmentowe wyświetlacze LED. Dużym skokiem jakościowym było pojawienie się alfanumerycznego wyświetlacza LCD wyposażonego w sterownik HD44780. To do dzisiaj chętnie stosowany element w budżetowych rozwiązaniach.

Kolejny skok w rozwoju interfejsów użytkownika w układach sterowników mikroprocesorowych umożliwił następny element: wyświetlacz graficzny. Początkowo był to bardzo drogi element, najczęściej monochromatyczny, z niewielką rozdzielczością i przekątną ekranu. Obecnie takie komponenty są stosunkowo tanie i dostępne w kolorowymi matrycami o szerokim zakresie rozdzielczości, najczęściej wyposażane w ekran dotykowy rezystancyjny lub w najnowszych rozwiązaniach – pojemnościowy.

Równoległe z możliwościami sprzętowymi ewoluowała idea interfejsu użytkownika. Kiedy wydawało się, że maksimum możliwości daje konfiguracja z kolorowym monitorem, klawiaturą i myszką, pojawił się interfejs dotykowy. Idea sterowania urządzeniem za pomocą przyciskania ikon na ekranie wydawała się od początku uszyta na miarę potrzeb systemów wbudowanych. Wielka elastyczność interfejsów zbudowanych z ekranów z dedykowanymi elementami sterującymi rekompensowała niezbyt komfortowe działanie pierwszych rezystancyjnych paneli dotykowych. Współczesne panele pojemnościowe pracują nieporównywalnie bardziej precyzyjnie, ale rewolucja w branży smartfonów spowodowała, że znacznie wzrosły oczekiwania

użytkowników w zakresie estetyki, szybkości działania i ergonomii interfejsów użytkownika w systemach wbudowanych. Żeby sprostać takim wymaganiom, projektanci oprogramowania muszą stosować narzędzia umożliwiające szybkie tworzenie graficznych interfejsów użytkownika. Jednym z nich są gotowe biblioteki z funkcjami graficznymi. Kiedyś potrafiły być bardzo drogie i stać na nie było tylko bardziej zamożne firmy. Dlatego, podobnie jak z podstawowymi narzędziami: środowiskami IDE i kompilatorami C/C++, producenci mikrokontrolerów zaczęli dostarczać nieodpłatnie biblioteki wspierane konfiguratorami grafiki. Jednym z takich rozwiązań jest STM32 TouchGFX przeznaczony do projektowania interfejsów graficznych dla systemów wyposażonych w mikrokontrolery rodziny STM32.

TouchGFX jest dystrybuowanym bezpłatnie zaawansowanym programem przeznaczonym do projektowania interfejsów graficznych zoptymalizowanym dla mikrokontrolerów STM32. Jego podstawowym zadaniem jest wydajne wspieranie projektowania interfejsów użytkownika w urządzeniach wbudowanych opartych na mikrokontrolerach STM32. Zależnie od wymagań interfejsy te mogą wykorzystywać zarówno wyświetlacze o małej rozdzielczości i małej głębi koloru, jak i zaawansowane technicznie wyświetlacze z dużą głębią koloru, dużą rozdzielczością i wspomaganie (akceleracja) sprzętowa. TouchGFX jest zintegrowany z całym ekosystemem STM32 i zapewnia użytkownikom łatwy i szybki proces rozwoju aplikacji z użyciem znanych narzędzi projektowych.

Zaczynamy

Każdy, kto próbował samodzielnie programować graficzne interfejsy wie, że jest to żmudna i trochę niewiedziecna praca. Jeżeli do uzyskania nawet najprostszego efektu trzeba napisać sporo kodu i często dodatkowo przekopać się przez sporą dokumentację wyświetlacza i układów peryferyjnych mikrokontrolera, to jest to najlepszy sposób do zniechęcenia i w konsekwencji szukania innych rozwiązań. Z drugiej strony, kiedy pierwsze efekty przychodzą prawie natychmiast, to nabieramy ochoty na dalsze eksperymentowanie i eksplorowanie coraz bardziej zaawansowanych możliwości.

W przypadku programu TouchGFX przyjęto zasadę, że pierwsze działające aplikacje można sobie zaprojektować i wykonać szybko i przy początkowej nikłej wiedzy na temat całego środowiska projektowego. Jest jeden warunek – jeżeli program ma działać na sprzęcie, musimy dysponować jednym z wielu firmowych modułów ewaluacyjnych z mikrokontrolerami STM32, wyposażonych w kolorowe wyświetlacze LCD. Zwalnia to nas na początku z konieczności zaprojektowania, sprawdzenia i uruchomienia swojej platformy sprzętowej. Wydaje się, że jest to dość niska cena, którą przychodzi nam zapłacić za możliwość szybkiego opanowania podstaw projektowania własnych interfejsów i ocenienia, czy takie rozwiązanie jest dla nas przydatne.

Dla niecierpliwych przewidziano symulacje działania projektowanego interfejsu na ekranie komputera, ale jest to ograniczone tylko do warstwy wizualnej i z oczywistych względów nie obejmuje symulowania rozwiązań sprzętowych na przykład obsługi interfejsów komunikacyjnych czy szeroko rozumianej interakcji z pozostałymi elementami systemu wbudowanego.

Od wersji 4.13.0 TouchGFX, jest dystrybuowany jako pakiet X-CUBE-TOUCHGFX zawierający 2 elementy:

1. Generator TouchGFX przeznaczony do tworzenia niestandardowych bibliotek HAL TouchGFX za pomocą CubeMX.
2. TouchGFX Designer przeznaczony do budowania projektu użytkownika za pomocą programu Windows GUI Builder.

Oprogramowanie można pobierać poprzez stronę st.com lub wykorzystując do tego celu CubeMX. Ponieważ my będziemy testować działanie TouchGFX Designer na jednej z płyt ewaluacyjnych ST, wykonamy instalację przez pakiet CubeMX.

Po otwarciu CubeMX trzeba wejść w zakładkę *Help* → *Manage Embedded Software Package* → *STMicroelectronics*, wybrać *X-Cube-TouchGFX* i kliknąć na *Install*. CubeMX zainstaluje TouchGFX Generator oraz pobierze wersję instalacyjną Touch GFX Designer i umieści ją w katalogu: *C:\Użytkownik\STM32Cube\Repository\packs\STMicroelectronics\X-Cube-TouchGFX\3.13.0\Utilities\PC_software\TouchGFXDesigner*.

Instalowanie TouchGFX Designer przebiega standardowo i nie wymaga komentarza.

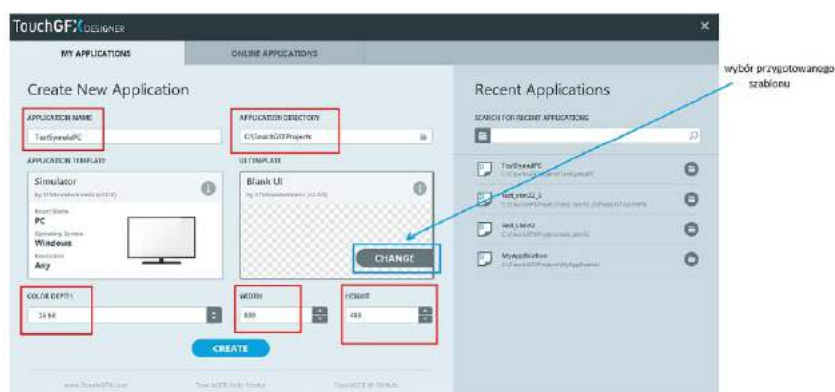
W tym momencie nie będziemy się zajmować generatorem TouchGFX przeznaczonym do generowania bibliotek warstwy HAL łączących aplikacje Touch GFX ze sprzętem. Dla modułów ewaluacyjnych STM32 takie biblioteki są przygotowane. Możemy ten etap pominąć i skupić się na projektowaniu interfejsu graficznego.

TouchGFX Designer

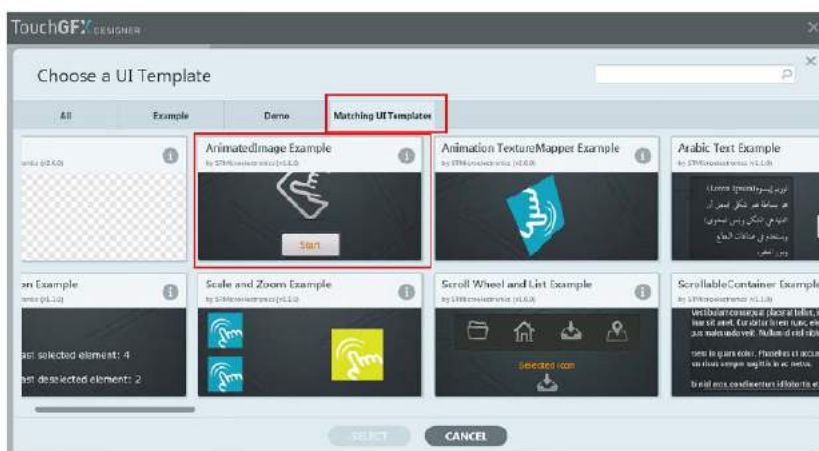
Przykładowe aplikacje interfejsu użytkownika można uruchamiać i testować na dwa sposoby. Pierwszy z nich to symulowanie projektowanych ekranów w symulatorze uruchamianym na komputerze pracującym w systemie Windows. Nie jest wymagany żaden dodatkowy sprzęt, ale jest to tylko symulacja. Drugi sposób polega na wygenerowaniu kodu na podstawie projektu interfejsu. Potem ten kod jest kompilowany i przesyłany do pamięci mikrokontrolera modułu ewaluacyjnego. W tym przypadku interfejs użytkownika jest uruchamiany i pracuje na docelowym sprzęcie.

Przykładowa aplikacja w symulatorze

Po uruchomieniu TouchGFX Designer rozpoczynamy nowy projekt. W oknie *Application Name* nadajemy mu nazwę na przykład



Rysunek 1. Okno kreatora nowego projektu



Rysunek 2. Okno wyboru przykładowych interfejsów

TestSymulatPC. Ścieżka dostępu do folderów z plikami projektów jest określana w oknie *Application Directory*. Foldery mają taką samą nazwę jak projekty. Kreator nowej aplikacji umożliwia na tym etapie określenie bitowej głębi kolorów i rozmiaru wyświetlacza (**rysunek 1**).

Po kliknięciu na okno szablonu *UI Template* pojawia się przycisk *CHANGE* pozwalający wybrać przygotowane przykładowe szablony interfejsy użytkownika (**rysunek 2**). Z listy u góry wybieramy opcję *MatchnigUITemplate*, po , by na liście były tylko szablony pasujące do ustawień projektu (rozdzielczości wyświetlacza). Wybieramy pierwszy z listy *AnimateImage Example* i klikamy na *Select*. Teraz wybrany szablon pojawi się w okienku *Template* okna *Create New Application* (**rysunek 3**).

Po kliknięciu na przycisk *CREATE* TouchGFX komunikuje się z serwerami ST, łączy wybrany szablon interfejsu z domyślnym szablonem aplikacji i tworzy przykładowy gotowy projekt. Okno projektu zostało pokazane na **rysunku 4**. U góry okna z prawej strony jest umieszczony przycisk *Run Simulator*. Po jego przyciśnięciu TouchGFX kompiluje nasz projekt i uruchamia symulację w oknie systemu Windows (**rysunku 5**).

Po kliknięciu na przycisk *Start* jest wyświetlana animacja ruchu ikony umieszczonej nad przyciskiem *Start*. Po kliknięciu na przycisk *Browse Code* otwiera się katalog z plikami projektu wygenerowanymi przez TouchGFX.

Przykładowa aplikacja działająca na module ewaluacyjnym

Symulowanie działania przykładowych interfejsów w okienku Windows pozwala na szybkie poznanie możliwości przygotowanych przykładów. Funkcja symulatora może też pomagać przy projektowaniu grafiki na własne potrzeby bez powiązania z konkretnym sprzętem. Jednak dla konstruktora ważniejsze jest uruchomienie aplikacji na konkretnej platformie sprzętowej. Jak już wspominałem, TouchGFX umożliwia tworzenie interfejsów użytkownika na modułach ewaluacyjnych oferowanych przez ST.

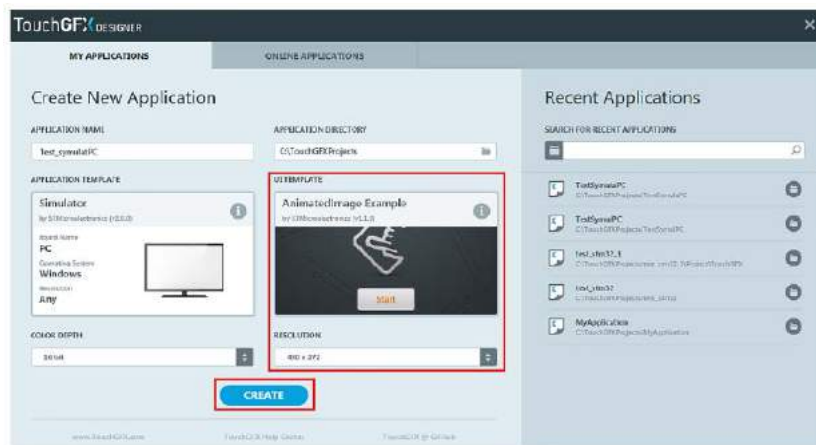
Kreator nowego projektu automatycznie ustawia domyślnie w oknie *APPLICATION TEMPLATE* opcję symulatora PC, a w oknie *UI TEMPLATE* na *AnimateImage Example* tak jak to zostało pokazane na rysunku 2. Żeby możliwe było wygenerowanie szablonu projektu współpracującego z jednym z modułów ewaluacyjnych, trzeba go wybrać w oknie *APPLICATION TEMPLATE* (**rysunek 6**). Klikamy na przycisk *CHANGE* w oknie *APPLICATION TEMPLATE* i z listy *Choose an Application Template* wybieramy jeden z modułów.

Niestety w trakcie pisania tego artykułu była dostępna wersja TouchGFX 4.13, w której generowanie szablonów nie działało dla wszystkich modułów z listy. Na stronie <http://bit.ly/3rGaeXr> jest umieszczona informacja, że poprawnie działają szablony w wersji V3.0 i wyższej. Program jest ciągle rozwijany i kolejne moduły są prawidłowo wspierane. Dostępne wersje szablonu można wybrać, klikając na ikonkę i wybieranego modułu (**rysunek 7**).

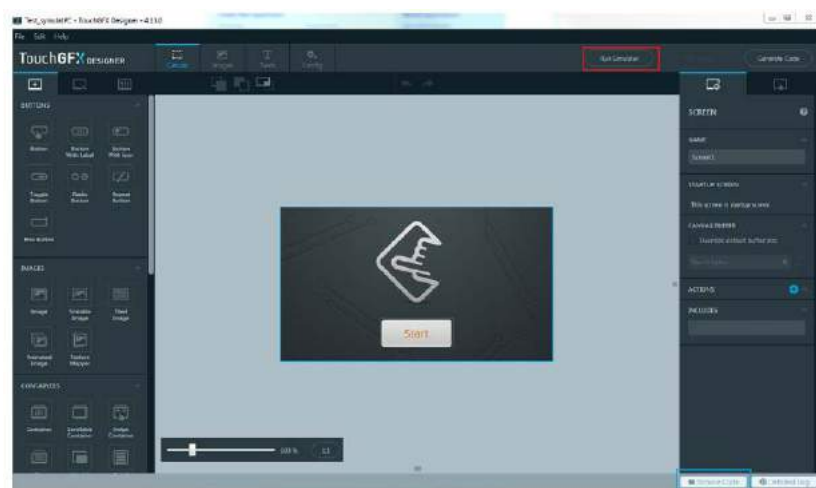
W trakcie prób dysponowałem modulem STM32F7508-DK. Początkowo można



Rysunek 5. Okno symulacji ekranu interfejsu użytkownika



Rysunek 3. Okno kreatora projektu z wybranym przykładowym szablonem



Rysunek 4. Okno przykładowego projektu

go było wybrać, program wygenerował szablon, ale projektu nie dało się skompilować, bo były błędy w poleceniach kompilacji oraz w samym wygenerowanym kodzie. Nie można było użyć STM32F7508-DK i TouchGFX Designera ani do uruchomienia gotowych przykładów, ani do tworzenia własnej aplikacji z użyciem *UI TEMPLATE BLANK UI*. W kolejnej wersji TouchGFX szablon dla STM32F7508-DK otrzymał wersję V3.0.0 i wszystko zaczęło działać.

Po tych niepowodzeniach postanowiłem początkowo spróbować z dość starym modulem STM32F429I Discovery również umieszczonym na liście modułów, ale w starej wersji V1.1.0. I tu się okazało, że dla tego modułu TouchGFX Designer generuje działające projekty zarówno przykładowe, jak i własne, wykonane na podstawie pustego szablonu *BLANK UI*. Na początek postanowiłem uruchomić program demonstracyjny przygotowany przez twórców TouchGFX. Ponieważ wyświetlacz zamontowany w STM32F429I Discovery ma relatywnie małą rozdzielczość, okazało się, że dla niego można wybrać tylko szablon *BLANK UI* i program demonstracyjny TouchGFX Demo3 w wersji V1.1.0 (**rysunek 8**).

Po kliknięciu na przycisk *CREATE* TouchGFX komunikuje się z serwerami ST i generuje projekt widoczny na ekranie Designera. W tym momencie powinniśmy móc skompilować wygenerowany kod i po kompilacji przesłać go do pamięci mikrokontrolera. Projekt jest kompilowany po kliknięciu na przycisk *Generate Code*. Przebieg kompilacji możemy obserwować w oknie otwieranym po kliknięciu na *Detailed Log* (**rysunek 9**).

Jeżeli kod zostanie prawidłowo skompilowany, a w przypadku tego programu demonstracyjnego tak się dzieje, to można go przesłać do pamięci modułu, klikając na przycisk *Run Target*. Kod jest ponownie kompilowany, a wynik jest przysyłany do pamięci modułu. Do programowania pamięci TouchGFX Designer uruchamia program STM32 ST_LINK Utility. Program ten musi być wcześniej zainstalowany w domyślnej lokalizacji. W przeciwnym przypadku programowanie pamięci nie może się

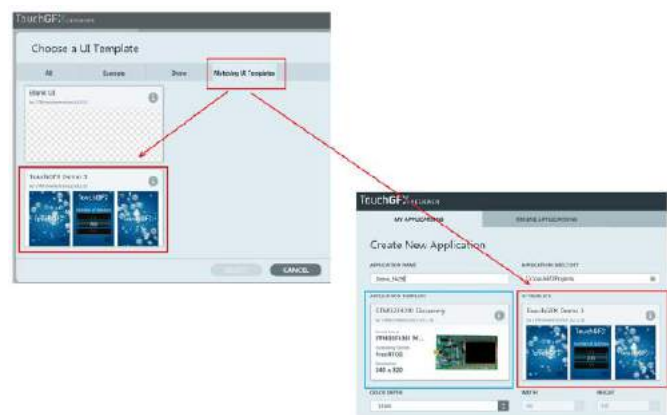
wykonać i zgłaszany jest błąd. Ten sposób programowania pamięci Flash nie sprawdził się w dalszych testach modułu, który oprócz pamięci Flash mikrokontrolera wymagał zaprogramowania wbudowanej zewnętrznej pamięci Flash używanej przez TouchGFX do przechowywania swoich danych, na przykład kroiów czcionek, bitmap itp.

Po załadowaniu i uruchomieniu projektu można ustawiać ile „bąbelków” będzie wyświetlanych przez program testowy (**fotografia 1**). Uruchomienie aplikacji testowej pozwoliło nam na sprawdzenie poprawności wyboru obsługiwanego modułu testowego, co jak się okazało, nie jest takie oczywiste. Poza tym sprawdziliśmy kompilowanie projektu i ładowanie pliku wynikowego do pamięci. Przyczyna początkowych niepowodzeń wynikająca z użycia modułu, dla którego nie przygotowano jeszcze gotowego szablonu, została usunięta w kolejnych wersjach programu TouchGFX Designer.

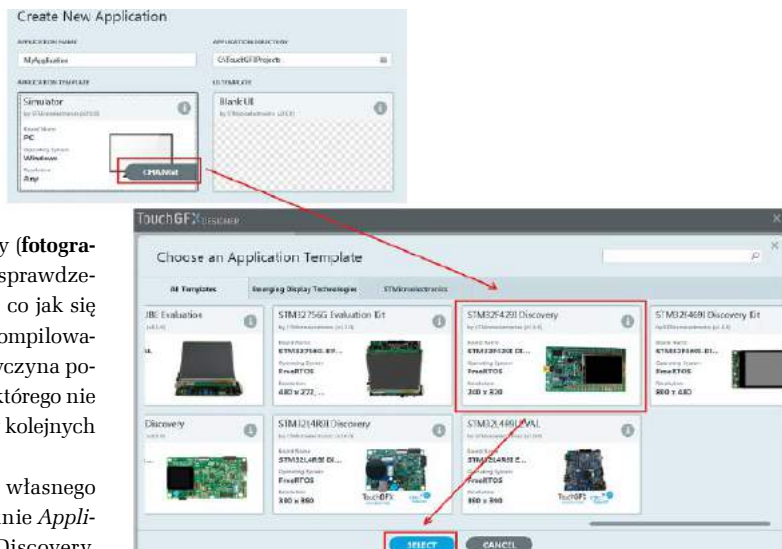
Kolejnym krokiem będzie zaprojektowanie i wykonanie własnego prostego interfejsu w programie TouchGFX Designer. W oknie *Application Template* wybieramy testowy moduł STM32F429I Discovery, a w oknie *UI TEMPALTE* czysty szablon *Blank UI* i klikamy na przycisk *CREATE* (**rysunek 10**). W głównym oknie edytora wyświetlany jest pierwszy ekran interfejsu (można potem dodawać następne) o rozdzielczości równej rozdzielczości wyświetlacza. Umieszczony w lewym dolnym rogu pasek narzędzia powiększania pozwala powiększyć wyświetlany ekran. Powiększenie pomaga przy projektowaniu, na przykład przy precyzyjnym umieszczaniu widżetów na ekranie. Po kliknięciu w pasek narzędzi przycisku *Config* można wybrać opcję *Display* (**rysunek 11**). Jest tu wyświetlana rozdzielczość ekranu (nie można jej zmienić), orientacja, do wyboru pozioma lub pionowa, i bitowa głębia koloru. To dobre miejsce wyboru orientacji wyświetlacza, bo obie opcje pionowa i pozioma mogą być stosowane zależnie od potrzeb. My zmienimy orientację na poziomą.



Rysunek 7. Sprawdzenie i wybór wersji szablonu



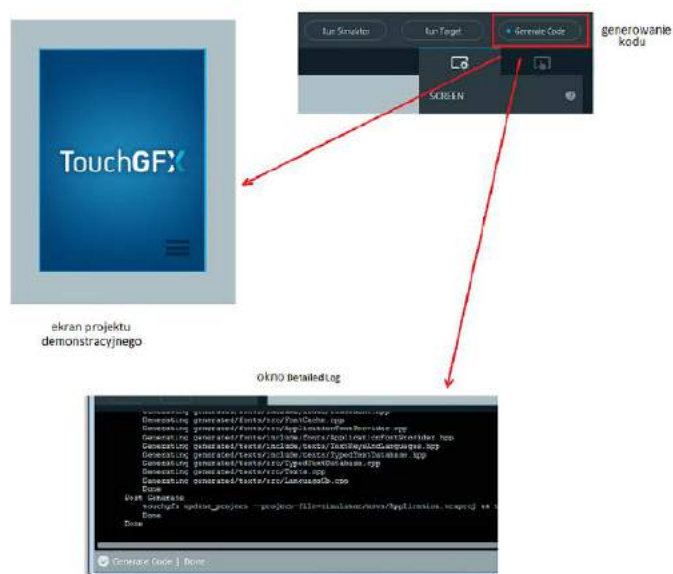
Rysunek 8. Wybór aplikacji demonstracyjnej dla modułu STM32F429I



Rysunek 6. Wybór modułu ewaluacyjnego

Każdy ekran jest identyfikowany przez swoją nazwę. Kreator pustego szablonu generuje jeden ekran startowy o domyślnej nazwie *Screen1*. Ponieważ jest to ekran, który będzie wyświetlany po uruchomieniu aplikacji (startup screen) zmienimy jego nazwę na *main*. Na **rysunku 12** zostało pokazane zarządzanie ekranami. Okno *Screens* z lewej strony ekranu głównego wyświetla wszystkie ekrany projektu (w tym momencie tylko jeden główny *main*). Ikona + (*plus*) umożliwia dodawanie do listy kolejnych ekranów według potrzeb. Okno *SCREEN* z prawej strony ekranu głównego TouchGFX Designer umożliwia zmianę nazwy okna (pole *NAME*). Na dole okna *SCREEN* umieszczono pole *ACTIONS*, w którym dodaje się akcje powiązane z ekranem.

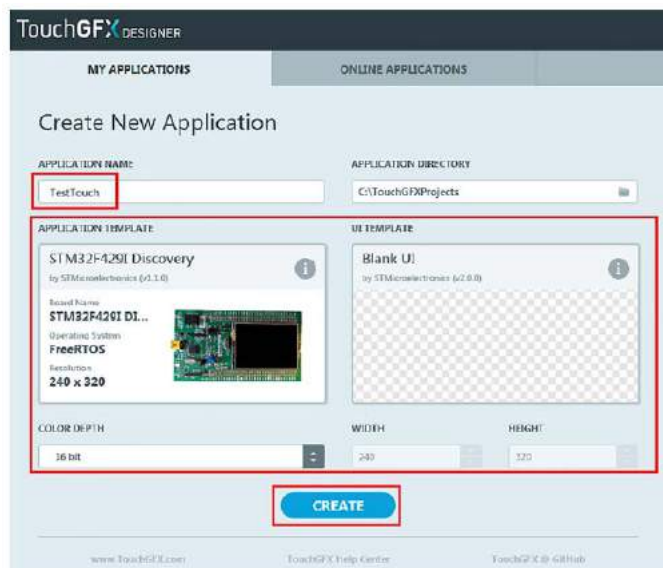
Kolejnym krokiem będzie dodanie tła ekranu. Możemy użyć do tego celu obrazka o rozmiarze w pikselach nie większym niż rozdzielczość ekranu LCD, który jest zapisany w formacie *.png* (tylko taki format jest akceptowany przez TouchGFX Designer). Istnieje też możliwość wyboru jednolitego tła (stylu), czyli przygotowanego pliku *.dng* jednolicie białego. Obrazek o żądanej rozdzielczości przygotowujemy sobie wcześniej i zapisujemy w folderze na dysku. Z otwartego okna *Screens* przechodzimy do okna dodawania widżetów z lewej strony ekranu głównego i z listy *Images* wybieramy *Image*. W oknie ekranu pojawi się ikona, którą możemy przesuwać po ekranie (**rysunek 13**). Dodaliśmy widżet obrazka i w kolejnym kroku trzeba określić, co to za obrazek, czyli wybrać jego lokalizację



Rysunek 9. Kompilowanie kodu wygenerowanego przez TouchGFX Designer



Fotografia 1. Program testowy uruchomiony na module STM32F429I Discovery



Rysunek 10. Tworzenie własnego pustego projektu

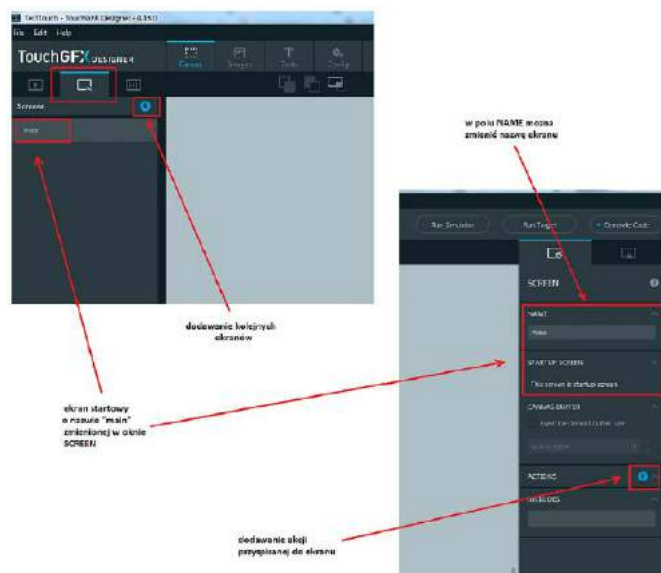


Rysunek 11. Konfiguracja orientacji wyświetlania i bitowej głębi kolorów TouchGFX Designer

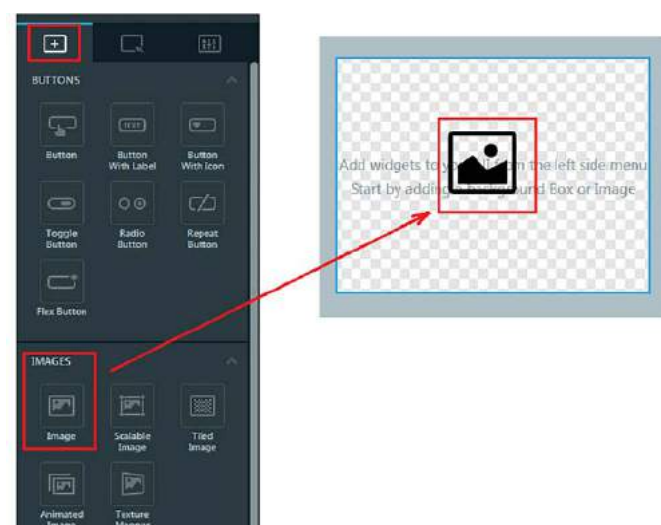
na dysku. Klikamy na ikonę obrazka i z prawej strony okna Designera pojawia się okno właściwości **IMAGE**.

W polu *Name* można zmienić nazwę widżetu. Pole *Style* służy do wybrania przygotowanego białego tła (alternatywnie dla własnego obrazka). W polu *Image* wybieramy własny obrazek (bitmapę) tła o rozdzielczości równej rozdzielczości ekranu LCD, wcześniej zapisany na dysku. Można tu dodawać wiele bitmap, nie tylko służących jako tło, ale na przykład wykorzystywanych do wyświetlania widżetów przycisków (button). Kolejne obrazki dodajemy, klikając na ikonę + (plus) pola *Image*, a potem wybieramy jeden z nich. Na **rysunku 14** zostało pokazane okno właściwości widżetu *Image* z dodaniem własnego obrazka tła. Efekt dodania tła na ekranie został pokazany na **fotografii tytułowej artykułu**.

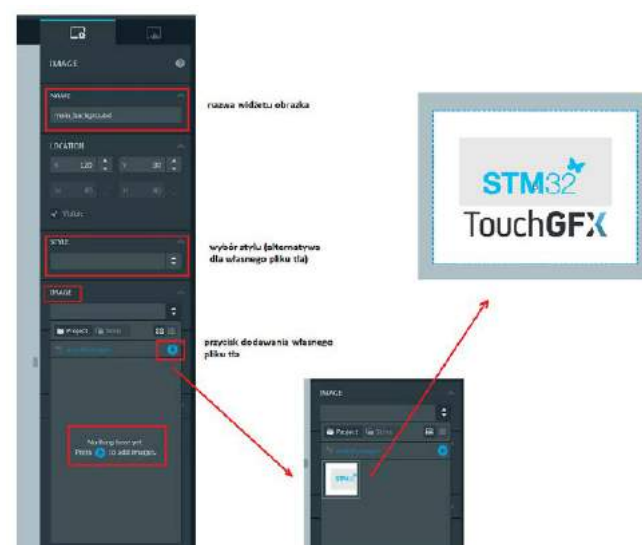
W ten sposób możemy ustawiać dowolne tło ekranu. Na potrzeby dalszej części przykładowej aplikacji zmieniłem tło na bardziej jednolite, żeby kolejne elementy dodawane do interfejsu były lepiej widoczne. Kolejną czynnością w budowaniu naszego prostego przykładowego interfejsu



Rysunek 12. Zarządzanie ekranami: zmiana nazwy i dodawanie kolejnych ekranów



Rysunek 13. Dodanie obrazka jako tła



Rysunek 14. Dodawanie obrazka – pliku .png

będzie dodanie dwóch widżetów przycisków (button), nadanie im odpowiedniego wyglądu i przypisanie wykonywanej akcji. Od tego zaczniemy kolejną część artykułu.

Tomasz Jabłoński, EP

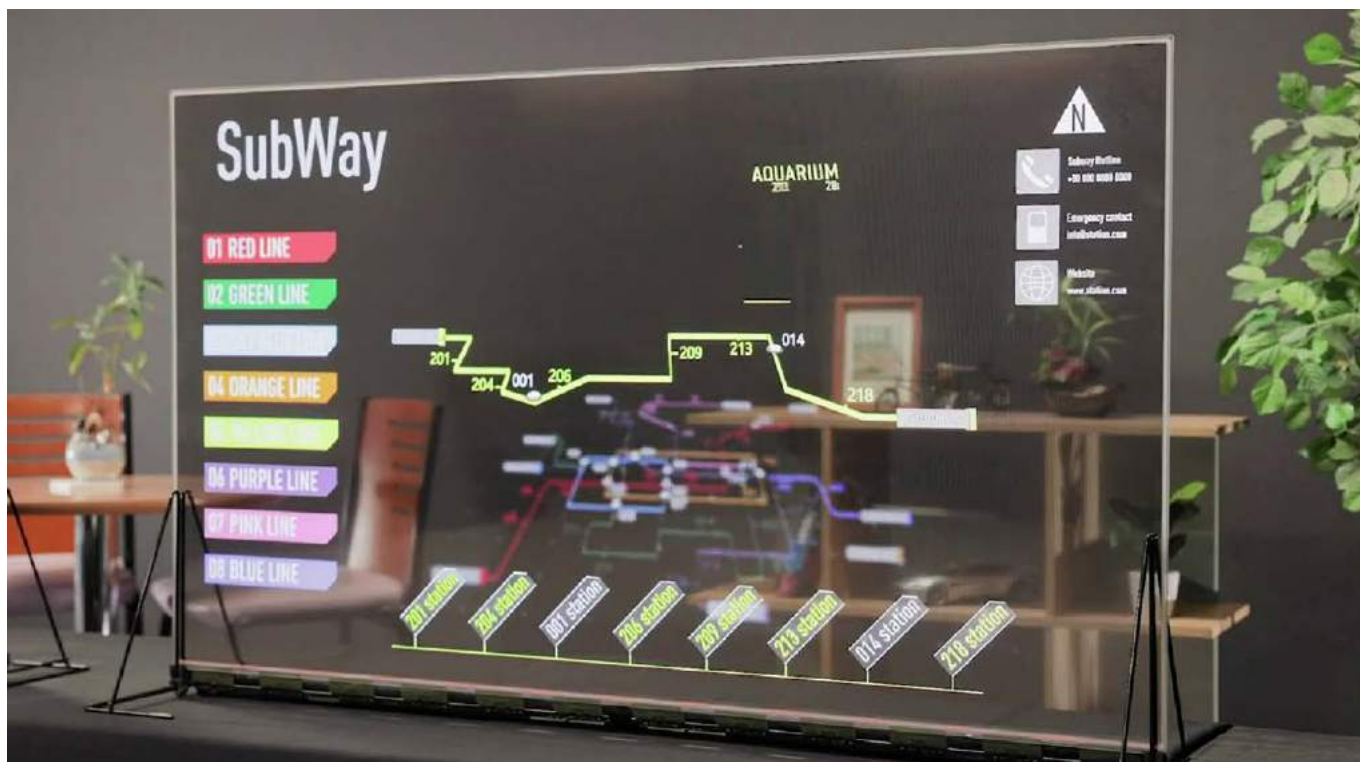
Ulubiony Kiosk zmienił się na lepsze!



Nowy, lepszy Ulubiony Kiosk stał się faktem! Nowy layout został zaprojektowany zgodnie z wiodącymi trendami, ale przede wszystkim w taki sposób, by jak najbardziej ułatwić przeglądanie i nawigowanie po serwisie.

Jednak nowy Ulubiony Kiosk to także zastosowanie nowych technologii. Nasz serwis będzie teraz właściwie skalował się na ekranach o różnej rozdzielczości oraz lepiej wyświetlał na urządzeniach mobilnych.

Nie czekaj i wejdź na
www.UlubionyKiosk.pl!



Wyświetlacze do wymagających aplikacji

Wyświetlaczom towarzyszy nieustanny postęp. Dzieje się tak albo za sprawą wdrażania nowych technologii, albo poprzez istotne ulepszanie już znanych rozwiązań. Duże zaangażowanie producentów z tej branży ma swoje uzasadnienie. To wyświetlacz w przeważającym stopniu odpowiada za komunikację z użytkownikiem i w efekcie za to, jaka jest jego ogólna opinia o urządzeniu. Ale jest też inna przyczyna, która nie pozwala na wytchnienie w tej branży. Wyświetlacze zyskują coraz nowsze zastosowania i stawiane są im nowe wymagania.

W dziedzinie wyświetlaczy mamy do czynienia z szerokim wachlarzem stosowanych technologii. Nawet te najstarsze, jak LED czy VFD, znajdują dziś swoje zastosowanie. Dzieje się tak, ponieważ nie ma takiej technologii, która realizuje wszystkie kluczowe parametry na najkorzystniejszym poziomie. Każda wyróżnia się jakimiś zaletami a jednocześnie ma słabsze strony.

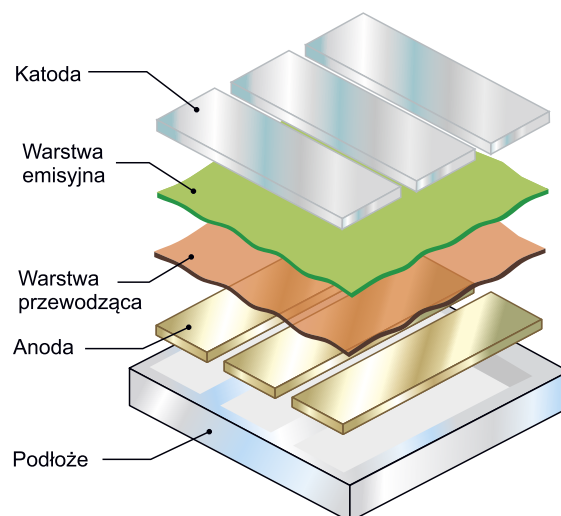
O ile ogólna zasada działania i cechy różnych technologii są dobrze znane, o tyle zwykle nie potrafimy określić szczegółowych właściwości poszczególnych wersji. W artykule scharakteryzujemy najczęściej stosowane rodzaje wyświetlaczy, skupiając się na omówieniu ich różnych wersji. To właśnie modyfikacje bazowych technologii sprawiają, że wyświetlacze spełniają kryteria nawet wymagających aplikacji.

OLED

Wyświetlacze wykonane w technologii OLED w ostatnim czasie są intensywnie stosowane w wielu urządzeniach elektroniki

konsumenckiej. Do niedawna wysoka cena i problemy z krótką żywotnością matryc OLED skutecznie powstrzymywały ich rozpowszechnienie. Wraz z udoskonaleniem procesów i wzrostem skali produkcji cena zeszła do akceptowalnego poziomu, a żywotność została znacznie przedłużona.

Termin OLED oznacza Organic Light-Emitting Diode, czyli dioda LED, w której elektroluminescencyjne warstwy emitujące światło są wykonane z organicznych związków umieszczonych pomiędzy dwiema elektrodami (**rysunek 1**). Zwykle przynajmniej jedna z tych elektrod jest przezroczysta. Po przyłożeniu napięcia do elektrod każdy



Rysunek 1. Schemat budowy pasywnej matrycy OLED



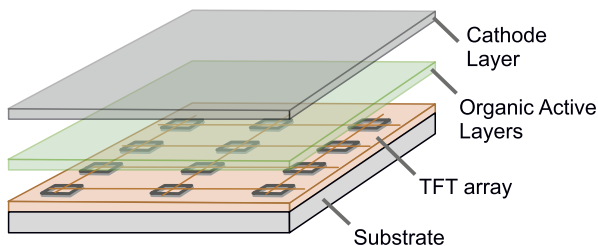
Fotografia 1. Różne rodzaje małych wyświetlaczy OLED

piksel świeci własnym światłem, nie jest wymagane dodatkowe podświetlenie jak w przypadku ekranów LCD, dzięki czemu ekrany OLED są wyjątkowo cienkie.

Istnieją dwa typy wyświetlaczy OLED. Pierwszy to tzw. **PMOLED** (Passive-Matrix Organic Light-Emitting Diode), czyli wyświetlacze z matrycą pasywną. Zarówno katoda, jak i anoda mają kształt pasków, ale ułożone są prostopadłe (rysunek 1). Miejsca przecięcia katody i anody tworzą piksele, z których emitowane jest światło. Obwody zewnętrzne doprowadzają prąd do wybranych pasków anody i katody, określając, które piksele zostaną włączone, a które pozostają wygaszone. Jasność każdego piksela jest proporcjonalna do płynącego przez strukturę organiczną prądu.

Wyświetlacze PMOLED są stosunkowo łatwe do wykonania, ale ich zastosowanie w praktyce ogranicza się do prezentacji jednobarwnego tekstu, ikon czy prostych grafik i najlepiej nadają się do małych ekranów o przekątnej do ok. 3 cali (fotografia 1).

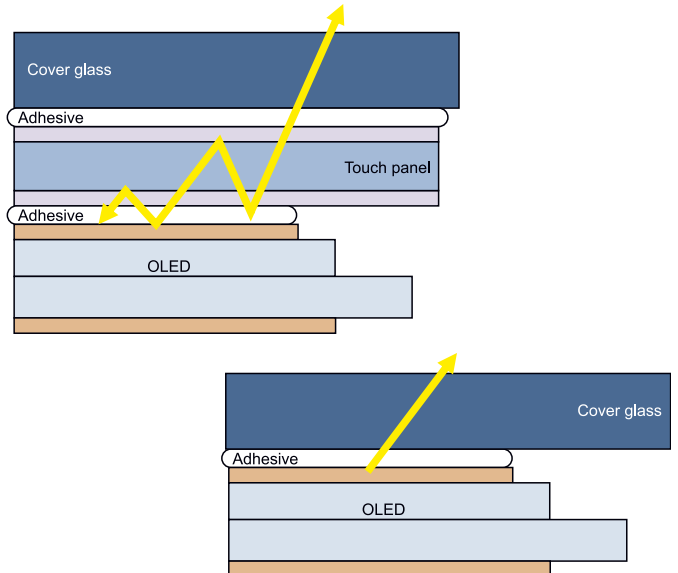
Drugim typem wyświetlaczy OLED jest **AMOLED** (Active Matrix Organic Light-Emitting Diode lub Advance Matrix OLED), czyli ekran z aktywną matrycą. Katoda i anoda stanowią pełne warstwy, ale



Rysunek 2. Schemat budowy aktywnej matrycy OLED z siatką tranzystorów TFT



Fotografia 2. Wyświetlacz kolorowy OLED



Rysunek 3. Różnica pomiędzy klasyczną matrycą a matrycą AMOLED

na powierzchni anody naniesiona jest siatka tranzystorów cienkowarstwowych TFT (Thin-Film Transistor), które umożliwiają zaświecenie poszczególnych pikseli tworzących obraz (rysunek 2). Wyświetlacze tego typu oferują lepszą jakość obrazu niż wyświetlacze OLED i dysponują pełną paletą barw (fotografia 2). Dzięki wysokiej częstotliwości odświeżania są odpowiednie dla treści wideo, a dodatkowo zużywają mniej energii niż klasyczne wyświetlacze OLED. Najlepsze zastosowania wyświetlaczy AMOLED to smartfony, monitory komputerowe czy telewizory o dużej przekątnej ekranu.

Warto wspomnieć o ulepszonej wersji wyświetlaczy AMOLED określanych jako Super AMOLED. Najistotniejsza różnica w budowie wersji ulepszonej to zintegrowany z matrycą panel dotykowy. W wersji klasycznej panel dotykowy stanowi dodatkową warstwę umieszczoną przed matrycą (rysunek 3). Dzięki tej modyfikacji wyświetlacze Super AMOLED są jaśniejsze nawet o 20% i odznaczają się zdecydowanie słabszym odbijaniem światła słonecznego, nawet o 80%.

Wśród najnowszych rozwiązań technologii OLED intensywne prace badawczo rozwojowe prowadzone są w zakresie elastycznych wyświetlaczy OLED-FOLED. Od razu trzeba wyjaśnić, że zagadnienie to może dotyczyć dwóch pokrewnych, ale różnych typów wyświetlaczy:

- **Flexible OLED** – wyświetlacz OLED elastyczny. Odnosi się do ekranów, które mogą być w pewnym zakresie swobodnie odkształcane oraz formowane na etapie produkcji, następnie umieszczane są w sztywnej oprawie (fotografia 3). Nie przewiduje się możliwości zmiany ich kształtu podczas eksploatacji produktu.



Fotografia 3. Przykład zastosowania wyświetlacza Flexible OLED



Fotografia 4. Przykład zastosowania wyświetlacza Foldable OLED

- **Foldable OLED** – wyświetlacz OLED składany. Dotyczy ekranów cechujących się pewnym stopniem swobody ruchu już na etapie ich eksploatacji. Jest to najczęściej możliwość składania ich wzdłuż określonej osi (fotografia 4).

Obie wersje wyświetlaczy tego typu mają podłoża wykonane z bardzo elastycznych folii metalicznych lub tworzyw sztucznych. Struktury diod OLED są bardzo lekkie i wytrzymałe. Układy sterujące bazują na cienkowarstwowych tranzystorach organicznych (OTFT – Organic Thin-Film Transistor), czyli elementach elektronicznych wykonanych ze związków organicznych o właściwościach półprzewodnikowych. Zastosowanie takich wyświetlaczy nie tylko nadaje urządzeniom nowe funkcjonalności, ale może przyczynić się do zmniejszenia liczby uszkodzeń, które są główną przyczyną zwrotów czy napraw.

Drugim typem wyświetlaczy OLED, które są intensywnie rozwijane, są wyświetlacze przezroczyste **transparent OLED** – TOLED (fotografia tytułowa). Każda warstwa takiej matrycy (podłoże, katoda i anoda) jest wykonana z materiału o wysokim stopniu przepuszczania światła, co pozwala uzyskać wypadkową przezroczystość na poziomie 85%. Każdy włączony piksel takiego wyświetlacza emituje światło w obu kierunkach. Matryca może być aktywna lub pasywna. Naturalne zastosowanie to wyświetlacze typu head-up, coraz częściej używane, np. w motoryzacji.

Parametry, zalety i wady wyświetlaczy OLED

Wyświetlacze OLED mają wiele zalet, najważniejsze z nich to:

- Bardzo mała grubość wynikająca z tego, że technologia OLED nie wymaga stosowania podświetlania. Wynosi poniżej 1 mm dla podłoży szklanych i nawet 100 μm dla podłoży z tworzyw sztucznych. Z tego wynika także mała waga oraz szacunkowy niski koszt produkcji masowej.
- Bardzo wysoki kontrast, który wynosi od 2000:1 do niemal 1 000 000:1. Najwyższy spośród obecnie dostępnych technologii. To właśnie brak emisji światła na poziomie subpiksela (najmniejszego elementu wyświetlacza) sprawia, że mają zdolność do wyświetlania doskonalej czerni emisyjnej, tzn. zerowej emisji światła na całym ekranie lub jego części. Występuje praktycznie zerowy spadek kontrastu przy obserwacji pod kątem.
- Wysoka jakość obrazu dzięki doskonałemu odwzorowaniu barw i szerokim kątom obserwacji. Dodatkowo odznaczają się bardzo krótkim czasem reakcji, na poziomie 0,01 ms (1...12 ms

w przypadku LCD). Taki wynik daje możliwość wyświetlenia na ekranach OLED płynnych animacji – nawet 100 klatek na sekundę oraz niweluje efekt smużenia w zbyt niskich temperaturach, nawet bez wbudowanych układów kompensacyjnych.

- Konstrukcja panelu OLED jest lekka i hermetyczna, co sprawia, że wyświetlacze są szczelne i odporne na wstrząsy. Umożliwiają bezawaryjną pracę przez długi czas w szerokim zakresie temperatur, zwykle $-40...+80^{\circ}\text{C}$. Tym samym, rozpiętość temperaturowa dla wyświetlaczy OLED jest znacznie szersza niż dla większości szerokotemperaturowych wyświetlaczy LCD. Żywotność waha się w granicach od 20 do ponad 100 tys. godzin.

Spośród wad wyświetlaczy OLED należy wymienić:

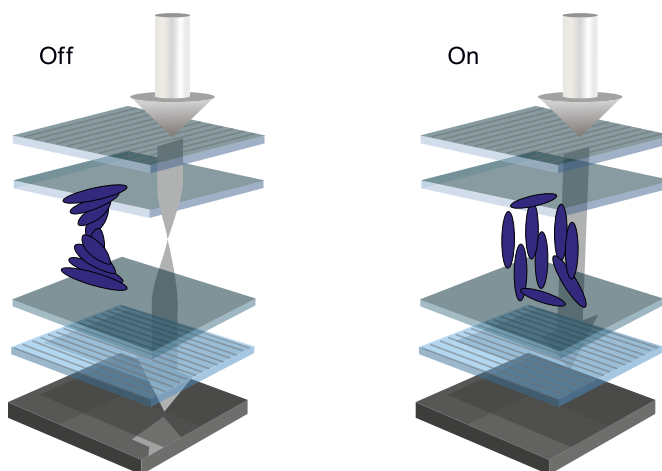
- Żywotność nowoczesnych wyświetlaczy. Choć osiągnęła akceptowalny poziom, to zależy od różnych czynników, np. od barwy. Niebieski OLED ma najkrótszą żywotność – około 15 tys. godzin. Czerwone i zielone diody OLED mogą działać 50...100 tys. godzin. Najdłużej może pracować barwa żółta, nawet ponad 200 tys. godzin. Barwa niebieska OLED stanowi wyzwanie dla dzisiejszego świata naukowców. Warto także zadbać o korzystne temperatury pracy wyświetlacza OLED. Zależność pomiędzy temperaturą a czasem życia jest logarytmiczna.
- Nie jest możliwe długie wyświetlanie obrazów statycznych, bez negatywnych efektów dla wyświetlacza. Z powodu tego, że każdy piksel jest oddzielnym źródłem światła, ich żywotność spada indywidualnie, w zależności od tego, jak długo świeciły. Z czasem spada jasność pikseli, które pracowały najdłużej.
- Stosunkowo niska jasność, oscylująca w okolicy 100 cd/m^2 . Wyświetlacze LCD dają dużo większe możliwości, pozwalają osiągnąć jasność nawet 1000 cd/m^2 .
- Dostępność i cena. Wyświetlacze OLED o większych przekątnych i z pełną paletą barw są kosztowne i trudno dostępne.

LCD

Technologia LCD jest jedną z najpowszechniej stosowanych w branży wyświetlaczy i interfejsów. Ekrany są dostępne w różnych rozdzielczościach i rozmiarach, oferują różne palety barw i kąty obserwacji, mogą mieć matową lub błyszczącą powierzchnię, mogą oferować specjalne funkcje, takie jak wysoka częstotliwość odświeżania czy tzw. obraz 3D.

Nazwa LCD (Liquid-Crystal Display) oznacza wyświetlacz ciekłokrystaliczny. Ciekłe kryształy to substancje, których stan skupienia wykazuje zarówno cechy cieczy, którą charakteryzuje zdolność do płynięcia, jak i cechy struktury krystalicznej, która charakteryzuje się uporządkowaniem tworzących ją cząstek. Zatem cząsteczki ciekłych kryształów mają pewną swobodę ruchu i jednocześnie są uporządkowane.

Zasada działania jest bardzo podobna dla wszystkich rodzajów wyświetlaczy LCD, uproszczony schemat budowy i działania został



Rysunek 4. Sposób działania wyświetlacza LCD

pokazany na **rysunku 4**. Od dołu i od góry znajdują się polaryzatory światła ustawione prostopadłe względem siebie, a pomiędzy nimi znajduje się warstwa ciekłych kryształów. Światło podświetlenia dochodzi do panelu przez pierwszy polaryzator. W stanie nieaktywnym (Off) ciekłe kryształy są ustawione w taki sposób, że powodują zmianę polaryzacji światła o 90° , dzięki czemu zostaje ono przepuszczone przez drugi polaryzator. W stanie aktywnym (On), po przyłożeniu napięcia do elektrod sterujących, kryształy ustawiają się zgodnie z liniami sił pola elektrycznego i nie powodują zamiany polaryzacji światła. W efekcie światło zatrzymuje się na drugim polaryzatorze. W przypadku wyświetlaczy kolorowych światło na koniec trafia na warstwy barwnych filtrów, które nadają mu konkretny kolor.

Rodzaje matryc LCD

Podobnie jak poprzednie wyświetlacze OLED, wyświetlacze LCD również mają matryce pasywne i aktywne. W przypadku **PMLCD** (Passive Matrix LCD) sterowanie pikselami odbywa się poprzez sterowanie elektrodami wierszy i kolumn z cyklicznym odświeżaniem stanów pikseli. Taki sposób sterowania jest charakterystyczny dla wszystkich wyświetlaczy monochromatycznych (**fotografia 5**). Wyjątkiem są wyświetlacze o niewielkiej liczbie pikseli-segmentów (**fotografia 6**), mają one wyprowadzone niezależne elektrody sterujące każdym pikselem.

Wśród wyświetlaczy tego typu na uwagę zasługują wyświetlacze ciekłokrystaliczne bistabilne (**fotografia 7**). Każdy piksel takiego wyświetlacza zachowuje swój stan, nie ma potrzeby odświeżania. Treść może być zachowana przez bardzo długi czas (nawet rok) przy zerowym poborze energii.

W wyświetlaczach LCD zachodzi zjawisko zmiany polaryzacji światła przez ciekłe kryształy, tak jak zostało to pokazane na rysunku 4.



Fotografia 5. Monochromatyczny pasywny wyświetlacz LCD



Fotografia 6. Wyświetlacz segmentowy LCD



Fotografia 7. Wyświetlacz bistabilny LCD

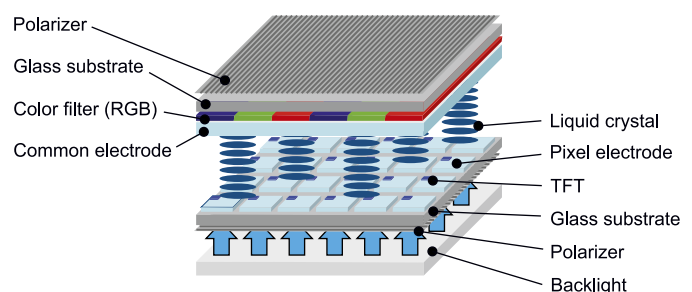
Kryształy te są określane mianem nematyków (kryształów nematycznych) i stąd nazwa **TN** – Twisted Nematic. Technologia ta pozwala na tworzenie wyświetlaczy monochromatycznych, w których zwykle czarne znaki wyświetlane są na tle, którego kolor zależy od rodzaju zastosowanego podświetlenia. Charakteryzuje się małym kontrastem i małymi kątami widzenia. Zaletami tego rozwiązania jest przede wszystkim niski koszt produkcji, poza tym wyróżnia się małym poborem mocy – praktycznie nie wymagają przepływu prądu w trakcie wyświetlania statycznego obrazu, a napięcie potrzebne do zmiany ustawienia kryształów wynosi zaledwie ok. 1 V.

W celu usprawnienia działania wyświetlaczy TN opracowano technologię **STN** (Super Twisted Nematic). Matryce tego typu zbudowane są podobnie jak TN, z tą różnicą, że kryształy w STN transformują polaryzację przechodzącego światła o większy kąt, w praktyce $180...270^\circ$. Dzięki temu reakcja na pobudzenie zewnętrzne jest szybsza i uzyskiwany jest większy kontrast niż w wyświetlaczach TN. Istnieją również podwójne i potrójne wyświetlacze STN, w których kąt obrotu wiązki światła jest dwu- lub trzykrotnie większy. W ofertach dystrybutorów znacznie łatwiej można znaleźć wyświetlacze **FSTN** (Film Compensated STN). Mają one polaryzator frontowy, który jest pokryty od strony wewnętrznej warstwą cienkiego filtra. Powoduje on zmianę koloru wyświetlacza, zwiększając jego kontrast i kąty widzenia oraz kompensuje efekty związane ze zjawiskiem podwójnego załamania światła. W praktyce zastosowanie filtra sprawia, że zamiast niebieskawych znaków na żółtozielonym tle możliwe jest uzyskanie czarnych znaków na jasnym, szarosrebrnym tle. Możliwe jest też użycie dwóch warstw filtra, dzięki czemu kontrast dodatkowo wzrasta. Tak zbudowane wyświetlacze określa się mianem **FFSTN** (Double Film STN) (**fotografia 8**).

Wyświetlacze LCD kolorowe i o większych przekątnych zawierają matryce aktywne **AMLCD** (Active Matrix LCD). Piksele sterowane są za pośrednictwem tranzystorów cienkowarstwowych (TFT), a dodatkowo zawierają pewnego rodzaju komórki pamięci na bazie kondensatorów, dzięki czemu podtrzymują swój stan do czasu kolejnego cyklu odświeżania. Typowym przykładem wyświetlacza należącego do grupy AMLCD jest **TFT LCD** (Thin-Film Transistor LCD), którego uproszczona budowa została pokazana na **rysunku 5**. Matryce tego typu są znacznie droższe w produkcji niż ich pasywne odpowiedniki i zużywają więcej energii elektrycznej, jednak cechują się znacznie lepszymi parametrami, a zastosowanie tej techniki pozwala budować



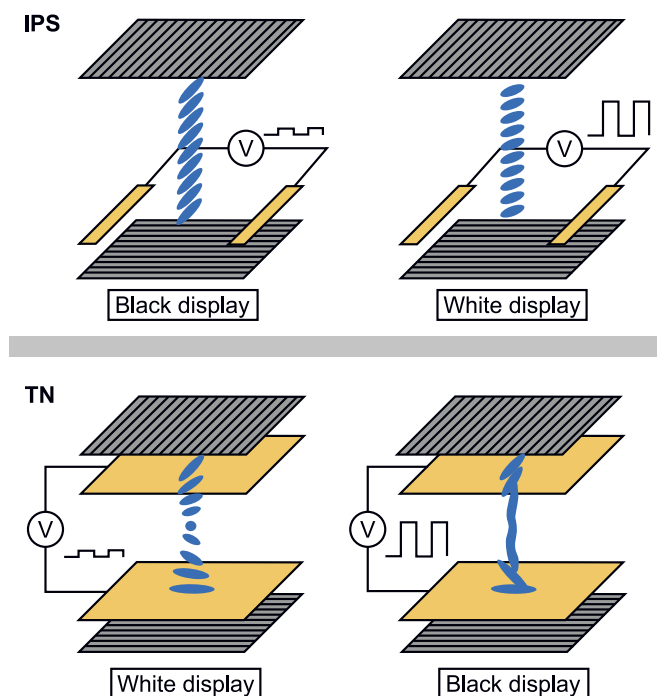
Fotografia 8. Wyświetlacz LCD FFSTN



Rysunek 5. Schemat budowy aktywnej matrycy LCD typu TFT



Fotografia 9. Wyświetlacz TFT TN



Rysunek 6. Porównanie budowy i działania wyświetlaczy LCD TN i LCD IPS

matryce o dużych rozmiarach i zarazem o krótkim czasie reakcji na sygnał sterujący.

Najpopularniejszymi panelami TFT są panele w technologii **TFT TN**. Oferują typowo 6 bitów na kolor, co daje paletę 262 tys. kolorów. Ponieważ standardem jest 24-bitowe przetwarzanie obrazu, pozostałe kolory uzyskuje się zazwyczaj albo poprzez dithering albo za pomocą techniki szybkiego włączania i wyłączania pikseli, tak by lepiej odwzorowywały zadany kolor. Na uwagę zasługuje krótki czas reakcji, co pozwala na budowę wyświetlaczy o wysokich częstotliwościach odświeżania (np. 120 Hz), dobrze prezentujących ruchome treści, a także odpowiednich do technologii 3D. Jasność matryc może być ustalana w bardzo szerokim zakresie, dzięki czemu mogą pracować w miejscach oświetlonych światłem dziennym, a treść pozostanie czytelna. W odniesieniu do nowszych rozwiązań, słabą stroną jest niezbyt perfekcyjne odwzorowanie barw, mały kontrast i wąskie kąty widzenia (**fotografia 9**).

Technologie, które powstały w celu poprawy parametrów matryc TFT LCD, są droższe w produkcji i w efekcie stosowane zazwyczaj w dużych wyświetlaczach. Różnią się one głównie układem elektrod i ukierunkowaniem kryształów nematycznych w matrycy.

Wyświetlacze LCD IPS

Bardzo obiecującą technologią matryc jest **LCD IPS** (*In-Plane Switching*). Podczas gdy w matrycach typu TN ciekłe kryształy

są ustawione tak, że w dużej mierze są prostopadłe do płaszczyzny ekranu, w matrycach typu IPS ułożone są zawsze równolegle do powierzchni ekranu. Porównanie konstrukcji i działania zostało pokazane w uproszczony sposób na **rysunku 6**. Nowa technologia niesie ze sobą wiele zalet i jest obecnie najbardziej popularnym typem ekranów LCD. Matryce IPS stosowane są często jako ekrany do smartfonów oraz w monitorach komputerowych, gdzie zyskały wielu zwolenników. Coraz częściej dostępne są jako moduły do płytek uruchomieniowych i systemów embedded (**fotografia 10**).

Jedną z głównych zalet tej technologii są szerokie kąty widzenia. Ten parametr w dużej mierze decyduje o komforcie użytkowania. Pozwala dostrzec wyraźny obraz, bez zmiany barw i utraty kontrastu, nawet podczas obserwacji pod znacznym kątem. Kolejną zaletą jest szeroka paleta realistycznych barw, pozwalająca na wyświetlanie 24-bitowego koloru bez potrzeby korzystania z ditheringu ani innych metod interpolacji barw.

Słabszą stroną matrycy IPS jest dłuższy czas reakcji, w porównaniu z matrycami TN. Zatem nie są optymalnym rozwiązaniem do prezentowania dynamicznej treści. Co prawda najnowsze modele matryc już nie mają z tym problemu, ale są stosunkowo drogie. Również odwzorowanie czerni może być gorsze – chociaż monitor z matrycą IPS pokaże miliony żywych kolorów, należy wziąć pod uwagę, że odwzorowanie czerni jest nieco słabsze niż w innych matrycach. Czarna barwa może mieć odcień szarości.

Od czasu powstania pierwszych wyświetlaczy IPS minęło już trochę czasu i opracowano ich zmodyfikowane wersje, takie jak: **S-IPS** (Super IPS), **AS-IPS** (Advanced Super IPS) i **IPS-Pro** (IPS Provetus). Różnią się one drobnymi szczegółami, dzięki którym uzyskują krótsze czasy reakcji na sygnał sterujący, a także lepszy kontrast czy odwzorowanie czerni. Ze względu na inny sposób ułożenia ciekłych kryształów konieczne jest stosowanie odmiennego układu elektrod sterujących ich położeniem. Specyficzny układ elektrod zwiększa koszty produkcji i zmniejsza efektywną powierzchnię świecąca subpikseli, wpływając negatywnie na jasność.

Parametry, zalety i wady wyświetlaczy LCD

Wyświetlacze LCD nie bez powodu są najbardziej powszechnym typem wyświetlaczy. Do ich podstawowych zalet należą:

Szeroki wybór matryc o różnych wielkościach i parametrach. Choć nie jest to cecha technologii, może mieć decydujący wpływ na wybór właśnie tego typu wyświetlacza. Oprócz parametrów samych matryc możemy wybierać np. sposób obudowania i mocowania wyświetlacza, interfejs sterujący, dodatkowe powłoki ochronne, antyrefleksyjne czy panele dotykowe.

Duża szybkość reakcji charakterystyczna dla paneli typu TN pozwala na prezentację animacji, ruchomych przewijanych napisów bez pogorszenia ich czytelności. Nieco gorszy wynik w przypadku paneli typu IPS kompensowany jest innymi zaletami.

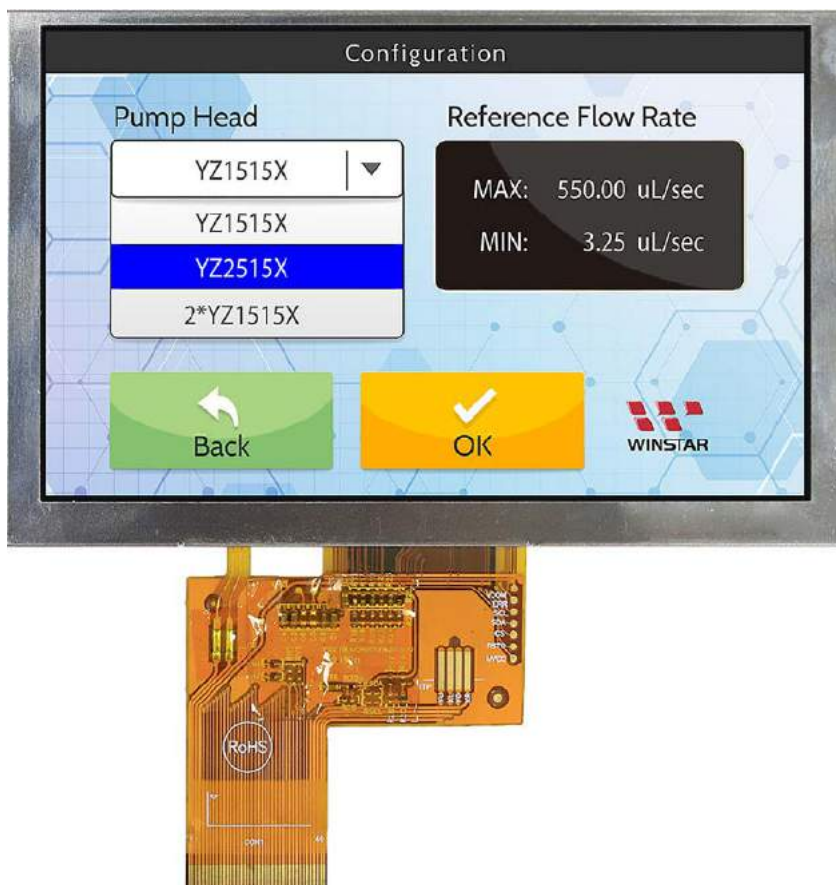
Wysoka jasność, która jest uwarunkowana wyłącznie parametrami zastosowanego podświetlenia. Uzyskanie jasności na poziomie powyżej 1000 cd/m², zalecanej dla wyświetlaczy pracujących w miejscach o intensywnym oświetleniu np. wystawach sklepowych, nie jest problemem.

Dobre odwzorowanie barw charakterystyczne dla matryc typu IPS. Wyświetlanie 24-bitowego koloru nie wymaga ditheringu ani innych metod interpolacji barw.

W przeciwieństwie do wyświetlaczy OLED, wyświetlacze LCD pozwalają na wyświetlanie statycznego obrazu bez niekorzystnych efektów dla matrycy. Efekty zużycia dotyczą równomiernie całej powierzchni ekranu. Żywotność zależy od trwałości podświetlenia i zwykle zaczyna się od 50 tys. godzin.

Wady wyświetlaczy LCD to przede wszystkim:

Słaby kontrast, zwłaszcza w odniesieniu do wyświetlaczy OLED. Dodatkowo pogarszający się wraz ze wzrostem jasności lub kąta



Fotografia 10. Wyświetlacz TFT IPS

obserwacji. Wyświetlacz o niskim kontraście będzie prezentował mało wyraźny obraz.

Małe kąty obserwacji w przypadku wyświetlaczy TN. Zwykle oscylują w zakresie 45...80°. Dla niektórych zastosowań ma to bardzo istotne znaczenie, np. w przypadku tablic informacyjnych. W innych zastosowaniach, jak urządzenia RTV czy sprzęt pomiarowy, który jest obsługiwany przez operatora siedzącego naprzeciwko, jest mniej istotne. Znaczną poprawę w tym zakresie oferują wyświetlacze IPS.

Niekorzystny wpływ temperatury. Zakres temperatur pracy dla wielu wyświetlaczy LCD wynosi od -20 do +70°, a dla wersji specjalnych jest jeszcze szerszy. Jednak w wielu modelach widoczne jest spowolnienie reakcji przy niskich temperaturach.

Wysokie zapotrzebowanie na energię, w odniesieniu do wyświetlaczy OLED, ponieważ zawsze działa podświetlanie całej matrycy. W ekranach o dużych przekątnych, stosowanych w monitorach i TV, podświetlanie matrycy jest podzielone na sekcje sterowane niezależnie, co znacznie poprawia zarządzanie poborem energii. W przypadku małych ekranów, podświetlanie jest zwykle realizowane za pomocą kilku diod LED, oświetlających warstwę rozpraszającą równomiernie światło dla całej matrycy. Nawet przy niewielkim wypełnieniu wyświetlacza treścią, takie podświetlanie musi działać stale z pełną mocą.

Podsumowanie

W artykule skupiłem się na opisanu tych rodzajów wyświetlaczy, które są powszechnie stosowane i dostępne w szerokiej ofercie. Wśród nowych rozwiązań interesujące są wyświetlacze EPD. Jednak pomimo wyjątkowej jakości obrazu i przy minimalnym zapotrzebowaniu na energię mają one wiele wad (przede wszystkim wąski zakres temperatur i wysokie koszty) i ich zastosowania są mocno ograniczone. Istnieje jeszcze jeden typ wyświetlaczy, które mogą sprawdzić się w wymagających aplikacjach – wyświetlacze LED. Dzięki bardzo wysokiej jasności, wynoszącej nawet kilkadziesiąt tysięcy cd/m², doskonale sprawdzają się w aplikacjach outdoorowych. Poza tym mają duże zapotrzebowanie na energię, często wymagają odpowiedniego chłodzenia, a ze względu na specyficzną konstrukcję praktyczne zastosowanie znajdują tylko bardzo duże ekrany.

Damian Sosnowski, EP

Bibliografia:

1. <http://bit.ly/3kh6lWC>
2. <https://bit.ly/2Mg1J6s>
3. <http://bit.ly/3pMhqQv>
4. <http://bit.ly/3dl4F7c>
5. <http://bit.ly/2ZLibyA>
6. <https://bit.ly/37HE5Hx>
7. EP 10/2011 „Technologie wyświetlaczy elektronicznych”
8. <http://bit.ly/2NPZPtK>



**BiStable
Zero Power
LCD**



UART TFT



OLED



ARTRONIC Sp.j.
ul. Parkowa 6
81-549 Gdynia
(58)668-57-83
(58)668-57-84



www.artronic.pl

AVT PSE - Pakiet Startowy Elektronika



Elementy pakietu:

- Wysokiej jakości lutownica elektryczna kolbowa 25W/230V
- Podstawka pod lutownicę z gąbką czyszczącą
- Kalafonia aktywna ułatwiająca lutowanie
- Cyna 1mm we fiolce
- Szczypce tnące boczne ze stali narzędziowej nierdzewnej
- 3 zestawy do samodzielnego montażu:
 - AVT720 Błękitno biały mrygacz
 - AVT721 Klaskacz - akustyczne zdalne sterowanie
 - AVT793 Generator dźwięków alarmowych
- Pudełko zbiorcze

Pomysł
na prezent!



kod handlowy: AVTPSE
80 zł



sklep.avt.pl

AVT-Korporacja Sp. z o.o., 03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
Dział Handlowy tel.: (22) 257 84 50 e-mail: handlowy@avt.pl

eprasa.pl 727141199c



Wyświetlacze LCD przystosowane do wymagających aplikacji

Czym są wymagające aplikacje? W dużym skrócie można je opisać jako wszelkie urządzenia, które narażone są na działanie niepożądanych czynników, takich jak zakłócenia elektromagnetyczne, silne zapylenie i zawilgocenie środowiska czy zmieniające się w szerokim zakresie warunki atmosferyczne. Każdy z tych czynników może wpływać na funkcjonowanie elektroniki, skutkując nawet uszkodzeniem modułu.

Każdy, kto korzystał ze smartfona w ekstremalnych warunkach pogodowych, np. w szczególnie upalne lub mroźne dni, z pewnością zaobserwował, jak te czynniki wpłynęły na działanie urządzenia. Wolniejsza praca, szybsze rozładowywanie baterii, oporne sterowanie – to tylko niektóre objawy, a dodatkowo rośnie podatność na uszkodzenia mechaniczne. Tego typu problemy dotyczą wszelkiej elektroniki,

Więcej informacji:

UNISYSTEM Sp. z o.o.
80-299 Gdańsk, ul. Nowy Świat 36
tel. +48 58 761 54 20, biuro@unisystem.pl
www.unisystem.pl



nie pozostając obojętnymi dla takich komponentów, jak wyświetlacze LCD. Na przykładzie wybranych aplikacji w przemyśle i digital signage wskażę, co zrobić, aby zapewnić jak najsprawniejsze działanie modułów LCD w skrajnych środowiskach.

Wyświetlacze LCD dla przemysłu

Przenośne urządzenia pomiarowe. Do tej grupy możemy zakwalifikować różnego rodzaju mierniki, rejestratory czy detektory, które są powszechnie stosowane w przemyśle, np. przy wydobywaniu kopalin czy w branży stoczniowej. Sprzęt tego typu zwykle wymaga rozwiązań o podwyższonej jasności (co najmniej 1000 cd/m²) oraz jak najszerzym

zakresie temperatur pracy (co najmniej $-20...70^{\circ}\text{C}$). Wskazane jest również zachowanie szerokich kątów obserwacji, aby ułatwić dostęp do prezentowanych treści, bez względu na płaszczyznę obserwacji.

W tego typu aplikacjach może znaleźć zastosowanie m.in. 5-calowy model **WF50DSYA3MNN0#** produkcji Winstara (**fotografia 1**). Jego podstawowe parametry to: 1100 cd/m^2 , $-20...70^{\circ}\text{C}$, $80^{\circ}/80^{\circ}/80^{\circ}/80^{\circ}$. To model z interfejsem MIPI, który – choć kojarzony przede wszystkim z telefonami, tabletami czy laptopami – jest powszechnie stosowany również w innych przenośnych urządzeniach, np. służących do pomiarów. Jego najważniejszymi atutami jest zapewnianie wysokiej wydajności przy niskim poborze mocy, a także odporność na zakłócenia elektromagnetyczne.

Panele sterownicze HMI. Obecny standardem w urządzeniach typu HMI są wyświetlacze z panelem dotykowym o przekątnych od 5 do 10 cali. Doskonale nadają się do usprawniania nadzoru nad procesami, np. w halach produkcyjnych. Aby zapewnić jak najlepszą jakość prezentowanych treści, warto wybierać modele o jasności minimum 750 cd/m^2 i temperaturze pracy w zakresie od -20 do 70°C . Użytkownicy na pewno docenią również szerokie kąty obserwacji.

Do takich aplikacji klienci Unisystemu chętnie sięgają np. po 7-calowy model **WF70A8SYAHLNN0#** dostarczany przez Winstara o jasności 1100 cd/m^2 , temperaturze pracy od -20 do 70°C i kątach obserwacji $85^{\circ}/85^{\circ}/85^{\circ}/85^{\circ}$; sterowany za pomocą interfejsu LVDS. Już od kilku miesięcy na rynku elektroniki doświadczamy niedoboru niektórych komponentów, co jest związane z pandemicznym zapotrzebowaniem na sprzęty konsumenckie, np. tablety (których jednym z najpopularniejszych rozmiarów jest właśnie 7 cali). Według analityków taka sytuacja może utrzymać się nawet do końca 2021 roku. Aby uniknąć opóźnień, zachęcamy klientów do składania zamówień ramowych, zwłaszcza dla projektów, w których kluczowy jest czas realizacji.

W wypadku rozwiązań dotykowych stosowanych w przemyśle warto rozważyć również inne szczególne okoliczności, które mogą mieć kluczowe znaczenie dla wygody użytkowników, jak możliwość obsługi urządzenia w roboczych rękawicach osiągnięta poprzez odpowiednią kalibrację modułu.

Wyświetlacze LCD dla digital signage

Rozwiązania stosowane w systemach digital signage są zwykle przeznaczone do pracy w trybie ciągłym – 24 godziny na dobę przez 7 dni w tygodniu. W tego typu aplikacjach warto zwracać uwagę na parametr określany jako *LED life time*, czyli czas życia LED. Jest to średni okres bezawaryjnej pracy diod LED zastosowanych w podświetleniu matrycy LCD, wyrażony jako liczba godzin, po której następuje stopniowa degradacja diod LED. W rozwiązaniach dla systemów digital signage ten parametr powinien osiągać jak najwyższe wartości – przeważnie jest to 70 000 godzin.

Reklama w przestrzeni miasta. Kategoria obejmuje szeroką gamę nośników umieszczanych w obszarach zurbanizowanych. To m.in. bilbordy, panele na stacjach i przystankach, interaktywne kioski i totemy itp. W wypadku wyświetlaczy LCD, instalowanych w naszej strefie klimatycznej, jedną z kluczowych kwestii będzie nieprzerwane funkcjonowanie modułu zarówno w niskich, jak i wysokich temperaturach. Można przyjąć, że zakres temperatur pracy dla tego



Fotografia 1. 5-calowy model WF50DSYA3MNN0# od Winstara

typu rozwiązań powinien mieścić się w przedziale co najmniej od -20 do 60°C . Aby prezentowane treści były wystarczająco czytelne, konieczne jest zapewnienie odpowiedniej jasności – minimum 1000 cd/m^2 , a także kątów obserwacji – najlepiej $89^{\circ}/89^{\circ}/89^{\circ}/89^{\circ}$. Ponadto, jeśli urządzenie będzie znajdowało się w nasłonecznionej lokalizacji, warto zastosować model z technologią hiTNI, która zapobiega występowaniu tzw. czarnych plam pojawiających się na ekranach w wyniku czasowej utraty pierwotnych właściwości przez ciekłe kryształy pod wpływem intensywnego promieniowania słonecznego.

Właściwymi parametrami cechuje się m.in. 31,5-calowy wyświetlacz **P320HVN07.0** produkcji AUO (**fotografia 3**) o jasności 2500 cd/m^2 , temperaturze pracy od -20 do 60°C i kątach obserwacji $89^{\circ}/89^{\circ}/89^{\circ}/89^{\circ}$; obsługiwany za pomocą interfejsu LVDS. Czas życia zamontowanych w nim LED-ów oszacowano na 70 000 godz. Warto nadmienić, że w tym modelu zaimplementowano również technologię hiTNI.

Ekran w pojazdach. Do tej grupy należą różnego rodzaju rozwiązania, z którymi możemy zetknąć się w transporcie zbiorowym. Prezentowane są na nich m.in. rozkłady jazdy, przebiegi tras ze spodziewanym czasem dojazdu do kolejnej stacji/przystanku, a także dodatkowe informacje, np. o aktualnym stanie pogody czy treści reklamowe. W tego typu aplikacjach kluczowy nie będzie zakres temperatur pracy (z pewnością wystarczy przedział $0...50^{\circ}\text{C}$), warto jednak zwrócić uwagę na parametry, które wpływają na czytelność prezentowanych treści, tj. jasność (optymalnie ok. 1000 cd/m^2) czy kąty obserwacji (optymalnie $89^{\circ}/89^{\circ}/89^{\circ}/89^{\circ}$). Należy pamiętać, że są to urządzenia, które muszą spełniać również szereg innych wymogów, aby mogły być dopuszczone do użytku w transporcie. W przypadku np. pojazdów szynowych reguluje je norma PN-EN 50155, wskazując m.in. wymaganą odporność urządzeń na wstrząsy i zakłócenia.

W ofercie Unisystemu dostępny jest m.in. 28-calowy wyświetlacz **SSH2845-E** dostarczany przez Litemaxa (**fotografia 4**) o jasności 1000 cd/m^2 , temperaturze pracy od 0 do 50°C i kątach obserwacji $89^{\circ}/89^{\circ}/89^{\circ}/89^{\circ}$; sterowany za pomocą interfejsu VGA lub DVI. Producent deklaruje spełnienie normy PN-EN 50155, a panoramiczny kształt doskonale wpasuje się w ograniczoną przestrzeń przedziałów w pociągach.

Dodatkowe metody zabezpieczania wyświetlaczy LCD

Opisane dobieranie parametrów wyświetlacza LCD zapewnia ochronę jedynie przed takimi czynnikami, jak np. niskie i wysokie temperatury. Pozostaje jeszcze szereg innych szkodliwych czynników m.in. pył i woda. Najlepszą formą zabezpieczenia przed zapyleniem i zalaniem będzie umieszczenie modułu w odpowiednio szczelnej obudowie, której stopień ochrony określany jest za pomocą kodów IP zdefiniowanych w normie PN-EN 60529.

Warto rozważyć zastosowanie technologii *optical bonding* w wypadku urządzeń, w których wyświetlacze łączone są z sensorami



Fotografia 2. 7-calowy model WF70A8SYAHLNN0# od Winstara

dotykowymi i szkłem ochronnym. Polega ona na spajaniu poszczególnych warstw przezroczystymi klejami lub foliami, które są utwardzane np. promieniowaniem UV. W efekcie usuwa się powietrze występujące pomiędzy poszczególnymi komponentami, ograniczając możliwość występowania zamglenia powstających na skutek wnikania zanieczyszczeń w szczeliny modułu.

Na rynku są dostępne również powłoki nakładane na moduły, które mogą przysłużyć się użytkownikom urządzeń. Dość powszechnym rozwiązaniem są powłoki *anti-glare* (AG) i *anti-reflective* (AR). Redukują one odbicia świetlne docierające do ekranu. W wypadku urządzeń zlokalizowanych w przestrzeni publicznej, np. kiosków czy totემów, wskazane może być zastosowanie powłoki *anti-shatter* (AS), która przy uszkodzeniu ekranu, np. jego rozbiciu, zapobiega rozprzestrzenianiu się odłamków szkła. W tego typu aplikacjach istotne znaczenie może mieć także powłoka *anti-microbial* (AM), która redukuje ilość drobnoustrojów nanoszonych na powierzchnię ekranów przez użytkowników.

Podsumowanie

W artykule wskazuję wybrane parametry i zabiegi, od których może zależeć sprawne funkcjonowanie urządzenia przeznaczonego do pracy w trudnych warunkach. Zawsze powtarzam, że każdy koncept wymaga indywidualnego podejścia i tak samo jest w wypadku tego typu modułów. Powinniśmy uważnie

przeanalizować wszystkie czynniki, które mogą na nie oddziaływać – to pomoże w wyborze wyświetlacza LCD na miarę projektowanej wymagającej aplikacji.

Jacek Marcinkowski
Project Manager
www.unisystem.pl/pl



Fotografia 3. 31,5-calowy model P320HVN07.0 od AUO. Doskonale sprawdzi się jako m.in. nośnik reklam



Fotografia 4. 28-calowy model SSH2845-E od Litemaxa

REKLAMA

UNI SYSTEM
PASSION FOR DISPLAYS

wyświetlacze przemysłowe od **Riverdi**



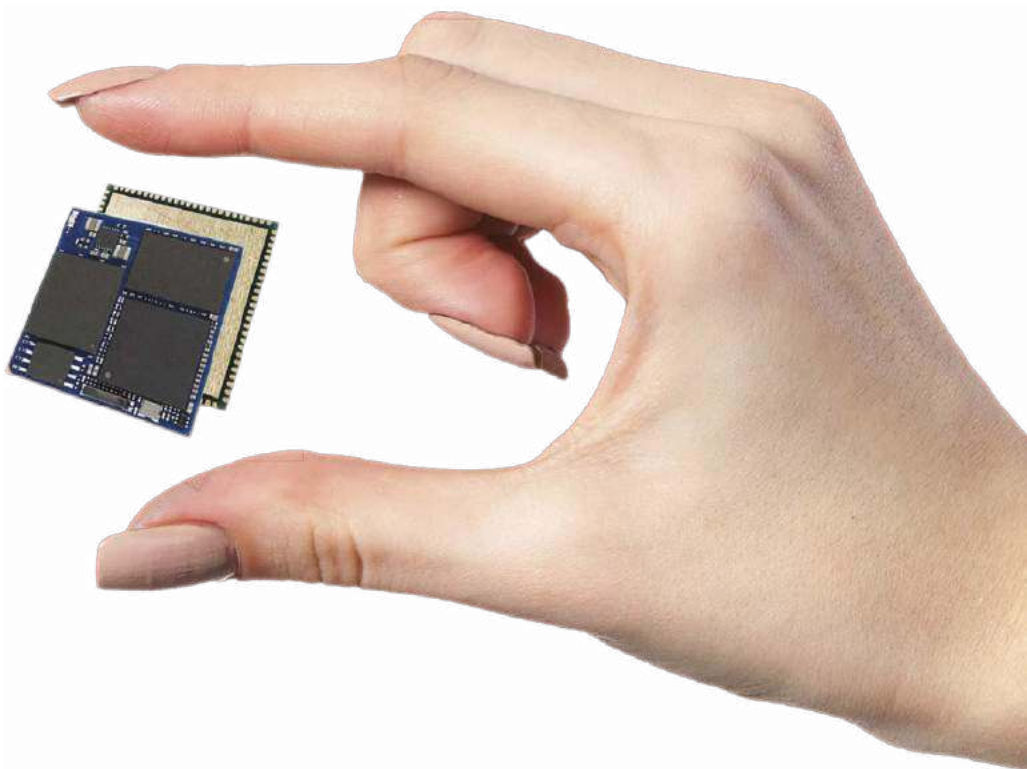
RVT101HVLNWC00-B

- ✓ doskonała czytelność prezentowanych treści w intensywnie oświetlonych przestrzeniach
- ✓ przystosowany do pracy w szerokim zakresie temperatur (-20~70°C)
- ✓ możliwość obsługi w gumowych rękawicach

*gwarantowany brak defektów produkcyjnych w postaci uszkodzonych pikseli

Dlaczego moduły lutowane CoM/SoM to przyszłość?

Ze względu na nieustannie rosnące wymagania stawiane nowoczesnym aplikacjom wbudowanym wydajne mikroprocesory coraz częściej zastępują klasyczne mikrokontrolery. Jednym z powodów z pewnością jest potrzeba współlistnienia w jednym projekcie interfejsów komunikacyjnych takich jak Ethernet, USB, PCIe oraz wyświetlacza TFT wymagane go do sterowania i prezentowania treści. Przykładowo – najnowsze procesory popularnej serii i.MX8 firmy NXP są taktowane zegarem do 1,8 GHz i mają obudowę FCBGA o rozmiarach zaledwie 14×14 mm. Zaprojektowanie własnej płytki PCB od podstaw stanowi w tym przypadku nie lada wyzwanie. Lutowane moduły SoM znacznie upraszczają projekt, pozwalając na skupienie się jedynie na docelowej, nośnej płycie PCB. Ponadto dla modułów SoM często dostępne są bogate pakiety oprogramowania w postaci BSP (Board Support Package) oraz wsparcie techniczne producenta/dystrybutora.



Więcej informacji:

Więcej informacji można uzyskać, kontaktując się z firmą Glyn, dystrybutorem i partnerem firmy Ka-Ro Electronics:
GLYN Poland:
tel. +48 71 7828-758, biuro@glyn.pl, www.glyn.pl



Moduł SoM przeznaczony do lutowania zawiera wszystkie istotne jednostki funkcjonalne niezbędne w każdym projekcie. Te podstawowe jednostki to procesor, pamięć robocza RAM, pamięć Flash przeznaczona na aplikację oraz układ zarządzania energią/zasilania. Samodzielny projekt PCB dla obecnych mikroprocesorów wymaga płytek drukowanych przekraczających nawet 10 warstw. Przy zastosowaniu gotowego modułu SoM można skupić się jedynie na projekcie 2...4-warstwowej, docelowej płyty nośnej PCB przeznaczonej dla klienta, zawierającej już tylko niezbędne moduły peryferyjne, złącza, elementy zasilające. Zaletą lutowanych modułów SoM, w porównaniu do ich odpowiedników w postaci krawędziowej płytki SO-DIMM, jest przede

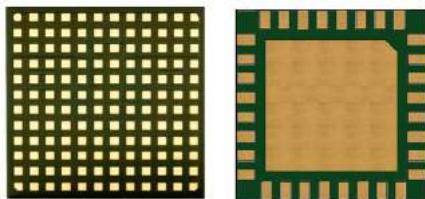
wszystkim wyeliminowanie dodatkowego złącza na sam moduł oraz znaczna oszczędność powierzchni na PCB.

Przykładem producenta lutowanych modułów SoM jest firma Ka-Ro Electronics oraz jej komputery serii **QSx**. Rodzina ta oparta jest na procesorze STM32MP1 oraz NXP i.MX 8M Mini/Nano/Plus. Sama „obudowa” w postaci płytki QFN ma wymiary 27×27×2,6 mm lub 29×29×2,6 mm. Moduły mają wyprowadzone wszystkie ważniejsze interfejsy, takie jak USB, Gigabit Ethernet, interfejsy szeregowy, MIPI/LVDS. Do ich działania potrzebne jest jedno napięcie zasilania 3,3 V.

Zalety obudowy QFN

W przeciwieństwie do innych modułów dostępnych na rynku, rodzina QSx firmy

Ka-Ro Electronics odznacza się bardzo kompaktową konstrukcją płytki QFN. Projekt ten ma wiele zalet w porównaniu do innych lutowanych modułów SoM, które w większości przypadków występują w postaci płytek LGA (*Land Grid Array*). Punkty połączeń dla obudowy LGA nie są kuliste jak w przypadku obudowy BGA, ale płaskie. Produkcja modułów zaprojektowanych w postaci płytki LGA wymaga dwukrotnego przejścia przez piec lutowniczy (położenie elementów i cynowanie). Trzeci raz komputer jest silnie nagrzewany przy montażu na docelowym PCB. Producenci płytek PCB zalecają natomiast, żeby płytki drukowane były nagrzewane maksymalnie dwa razy. Wymóg ten można spełnić dzięki konstrukcji komputera w postaci płytki QFN.



LGA

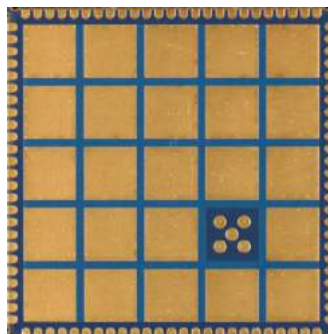
QFN

Rysunek 1. Porównanie obudowy LGA oraz QFN

Inne problemy mogą wynikać podczas montażu z powodu samego ciężaru modułów LGA, gdzie skompresowany lut może powodować zwarcia. Przy obudowie QFN problem ten nie występuje, wyprowadzenia są jedynie na krawędzi płytki. Kolejną zaletą obudowy QFN jest łatwość inspekcji po montażu – wystarczy prosta inspekcja optyczna.

Wymagania EMC w projekcie

Im wyższe częstotliwości przełączania, tym więcej niepożądanego promieniowania może wygenerować moduł. Przy odpowiednim projekcie i układzie komponentów na PCB można wyeliminować wiele problemów związanych z kompatybilnością EMC. Jeżeli ścieżka powrotna, głównie uziemienie nie może być podłączone w pobliżu pinu sygnałowego, może to wydłużyć pętle prądowe oraz ich powierzchnię. Im większa powierzchnia takiej pętli, tym większe natężenie niepożądanych zakłóceń. Dlatego moduły Ka-Ro Electronics rodziny QS mają duży pad uziemiający, zapewniający dobrą ścieżkę powrotną dla wszystkich sygnałów. Pod obudową nie ma żadnych pinów sygnałowych, jedynie pad GND. Jego duża powierzchnia zapewnia dodatkowo bardzo dobre odprowadzanie ciepła. Zoptymalizowane rozłożenie pinów umożliwia projekt płytki nośnej PCB bez krzyżowania ścieżek sygnałów.



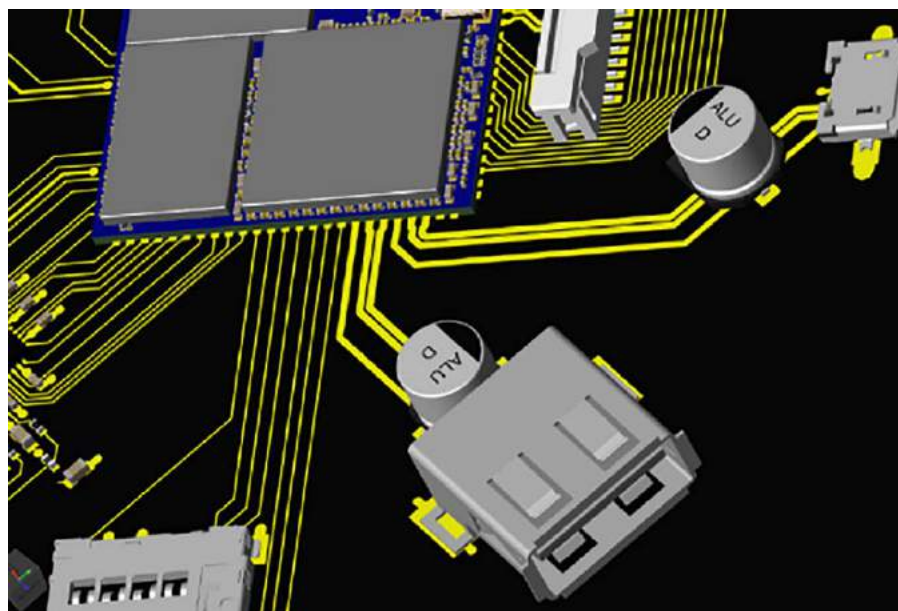
Rysunek 2. Pad GND oraz rozstaw pinów modułów rodziny QS

Zalety automatycznego lutowania

Moduły Ka-Ro serii QS pakowane są na taśmie, co umożliwia zautomatyzowanie procesu ich montażu i lutowania. Samo lutowanie modułów na docelowym PCB zwiększa niezawodność działania w trudnych warunkach. Dzięki jednostronnej konstrukcji nie są już potrzebne dodatkowe złącza, punkty mocowań, dodatkowy proces frezowania. Moduły nie muszą już być ręcznie wpinane i przykręcane, co również oszczędza czas i koszty w trakcie montażu końcowego oraz eliminuje błędy powodowane czynnikiem ludzkim. Nic nie stoi też na przeszkodzie do wdrożenia produkcji masowej.

Wnioski

Coraz wyższe wymagania wobec aplikacji sprawiają, że częstym wyborem wśród konstruktorów są moduły komputerów SoM/CoM. Moduły tego typu istnieją od dawna, ale ich integracja w nowym projekcie nigdy nie była tak łatwa jak w przypadku rodziny komputerów QS firmy Ka-Ro Electronics. Całkowicie zrezygnowano z połączeń pod modulem, koncentrując się na prostej integracji we własnym projekcie, co pozwala na uniknięcie wielu problemów projektowych.



Rysunek 3. Przykładowy projekt ścieżek dla komponentów peryferyjnych

Tianma Display-Duo



7" i 10" z TIANMA zapewni Ci elastyczność

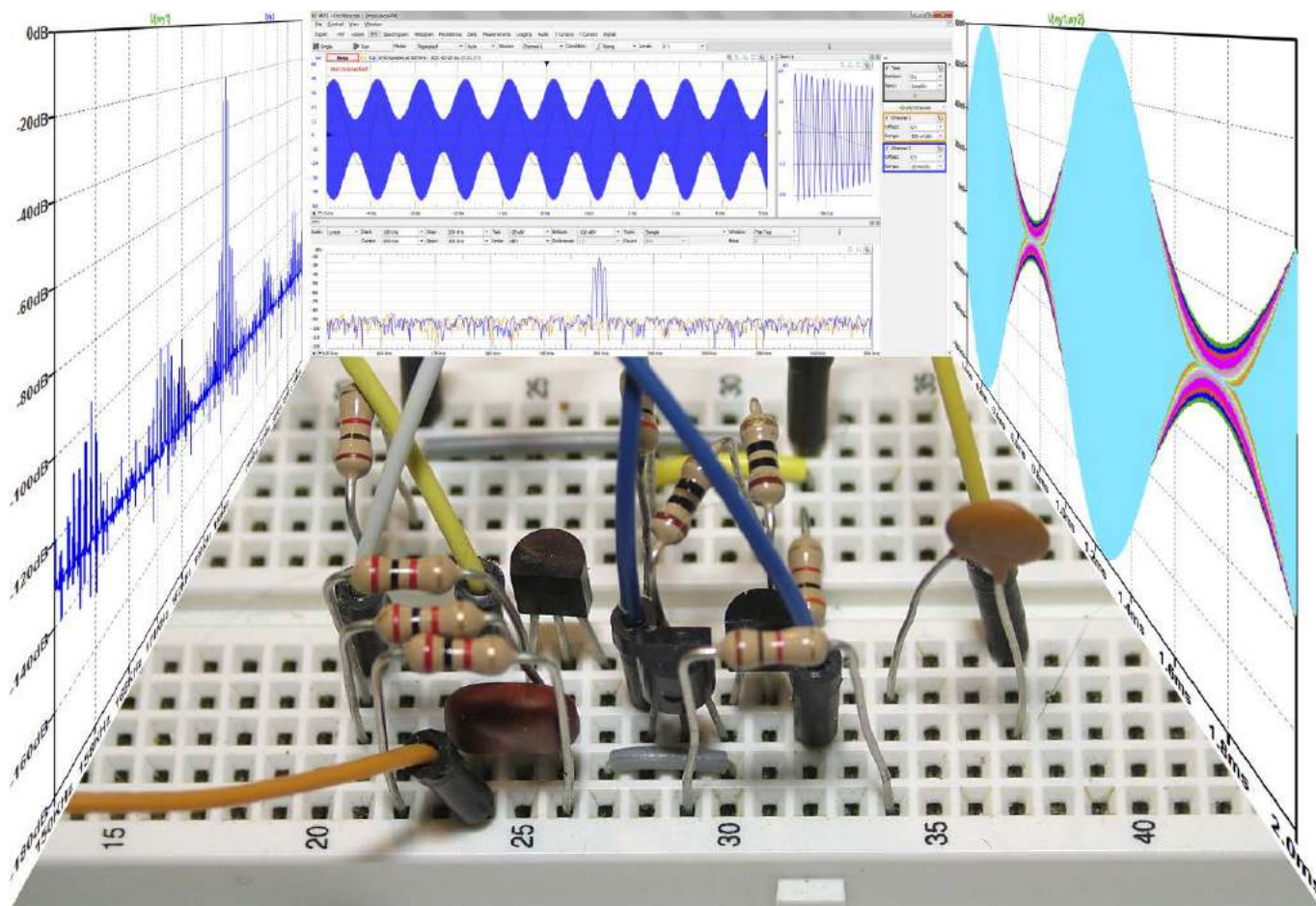
- ▶ PCAP Touch Technology
- ▶ Kompatybilne dzięki zastosowaniu koncepcji jednego złącza
- ▶ cover glass 1,1mm
- ▶ WXGA, IPS, do 850cd/ m2, Ilitek 2511
- ▶ podświetlenie LED 50.000 h
- ▶ dostępne już w małych ilościach

Skorzystaj z GLYN SUPPORT

biuro@glyn.pl | www.glyn.com



GLYN
High-Tech Distribution



Symulacja i pomiar, czyli LTspice i Analog Discovery 2 w rękach konstruktora (20)

Modulacja AM



Zawsze zastanawiałem się, czy różne rozwiązania układów elektronicznych powstawały w wyniku wcześniejszych rozważań np. matematycznych, czy też najpierw powstawał jakiś pomysł urządzenia, do którego później dorabiano teorię. Modulacja amplitudowa mogłaby być takim przykładem. Wydaje się, że na pomysł budowy takiego modulatora można było wpaść, zupełnie nie znając teorii, ale też pasjonat matematyki mógłby podsunąć pomysł budowy urządzenia kole-dze elektronikowi.

Teorię modulacji AM poznałem zdecydowanie wcześniej niż jej opis matematyczny. Pierwszy kontakt z modulacją, w moim przypadku, nie wymagał głębokiej wiedzy teoretycznej, gdyż w zasadzie wykonywałem tylko polecenia mojego instruktora, i to bez głębszego zastanawiania się nad ich sensem. A było to dawno, dawno temu w kółku radiotechnicznym w osiedlowym ośrodku kultury. Tak, tak kiedyś było. Ów instruktor tłumaczył oczywiście najprościej, jak mógł, o co w ogóle chodzi z tą modulacją. Zrozumiałem to chyba dopiero, jak moje pierwsze radio zaczęło grać – na falach długich i średnich. Wtedy wystarczyła mi wiedza, że jeden sygnał wpływa na amplitudę drugiego sygnału, a o widmie nie było ani słowa, bo po co? Wystarczyło zrozumieć, że falę o wysokiej częstotliwości można przesyłać

na wielkie odległości w odróżnieniu od fali akustycznej, której za rogiem już by nikt nie odbierał. Żeby jednak ta fala w.cz. niosła jakąś informację, musi być zmodulowana.

Wzmocnienie tranzystorowego wzmacniacza różnicowego

Rozpatrzmy układ z **rysunku 1**. Jest to typowy wzmacniacz różnicowy zbudowany na tranzystorach dyskretnych 2N3904. Nazwa „różnicowy” mogłaby sugerować, że wejście powinny tworzyć dwie linie, do których są podawane dwa sygnały, a na wyjściu pojawia się wzmocniona ich różnica. Rzeczywiście, w ogólnym przypadku tak jest, o czym świadczą przykład z **rysunku 2**. Mamy tu tranzystorowy wzmacniacz różnicowy. Do jego wejść doprowadzono sygnały prostokątne o takich samych amplitudach, lecz przesunięte w fazie. Rozpatrujemy je jako sygnały cyfrowe, których poziom ok. 55 mV ma wartość cyfrową „1”, a poziom 0 V ma wartość cyfrową „0”. Dzięki przesunięciu fazowemu możemy wykonać cztery operacje arytmetyczne odejmowania z różnymi kombinacjami argumentów. Wynik jest oczywiście wzmocniony, więc dla wyjścia przyjmujemy, że poziom „1” odpowiada napięciu ok. 4 V. Szybka analiza wyników dowodzi, że rzeczywiście układ można traktować jako wzmacniacz różnicowy. Nic jednak nie stoi na przeszkodzie, aby jedno wejście dołączyć do jakiegoś stałego, niezmiennego potencjału – może nim być na przykład masa (0 V), a sygnał podawać tylko do jednego wejścia. Jasne jest, że w takiej konfiguracji nie chodzi nam o obliczanie różnicy sygnałów, tylko o wzmocnienie jednego sygnału. Układ przecież nadal pozostaje wzmacniaczem. Wykorzystamy natomiast inną jego cechę, jaką jest możliwość regulacji wzmocnienia za pomocą zmiany wydajności źródła prądowego zrealizowanego na tranzystorze Q3 (**rysunek 1**). Paradoksalnie, nie zależy nam nawet na wzmocnianiu sygnału wejściowego, lecz na możliwości wpływania w pewnym zakresie na jego amplitudę. W kontekście omawianego tematu, jakim jest modulacja amplitudowa, wydaje się to jak najbardziej uzasadnione.

Niestety, jak na złość wzmacniacz różnicowy w proponowanej konfiguracji ma dość znaczne wzmocnienie. Do obliczeń inżynierskich można przyjąć, że jest ono równe:

$$k_u = g_m R_c = \frac{I_c R_c}{u_T}$$

gdzie:

R_c – rezystancja kolektorowa,

I_c – prąd kolektora,

u_T – potencjał termiczny, który w temperaturze pokojowej jest w przybliżeniu równy:

$$u_T = \frac{kT}{q} \approx 26 \text{ mV}$$

k – stała Boltzmanna,

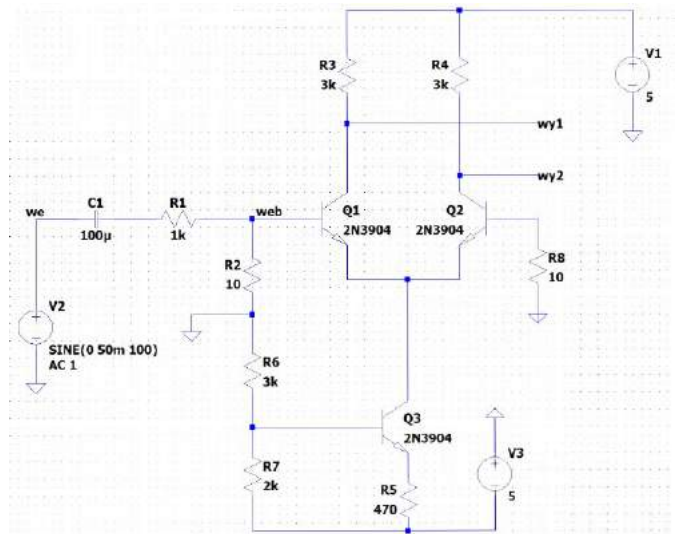
T – temperatura,

Q – ładunek elektronu.

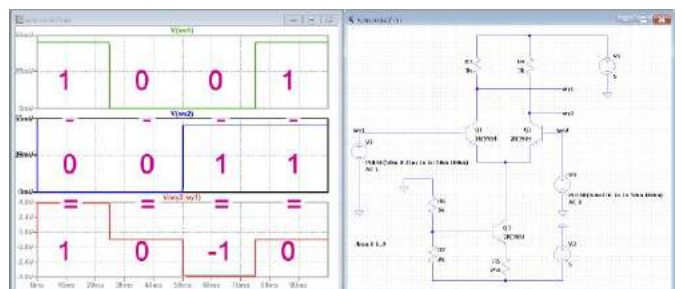
Z powyższego wyrażenia wynika, że wzmocnienie wzmacniacza jest proporcjonalne do prądu kolektora. Dla tranzystorów bipolarnych mających współczynnik wzmocnienia prądowego β równy kilkaset można przyjąć, że prąd kolektora jest równy prądowi emitera. Mamy więc to, co chcieliśmy uzyskać. Zmieniając prąd źródła Q3, zmieniamy prądy kolektorów tranzystorów Q1, Q2, a zatem wpływamy również na wzmocnienie układu.

Załóżmy, że wzmacniacz będzie zasilony dwoma napięciami: +5 V i -5 V. Przyjmujemy, że spoczynkowe napięcie na kolektorach powinno być równe mniej więcej 2,5 V. Przyjmujemy również rezystory kolektorowe równe 3 k Ω , z czego wynika, że prądy kolektorów Q1 i Q2 są równe 0,833 mA. Prąd źródła Q3 jest więc równy sumie tych prądów i wynosi 1,67 mA. Jeśli w dzielniku polaryzującym bazę tranzystora zastosujemy rezystory 3 k Ω i 2 k Ω , jak na **rysunku 1**, to napięcie na bazie Q3 względem masy będzie równe:

$$U_B = -U_Z + U_Z \cdot \frac{R_7}{R_7 + R_6} = -5 + 5 \cdot \frac{2k}{2k + 3k} = -5 + 2 = -3 \text{ V}$$



Rysunek 1. Tranzystorowy wzmacniacz różnicowy



Rysunek 2. Odpowiedź wzmacniacza różnicowego na wymuszenia przebiegiem cyfrowym

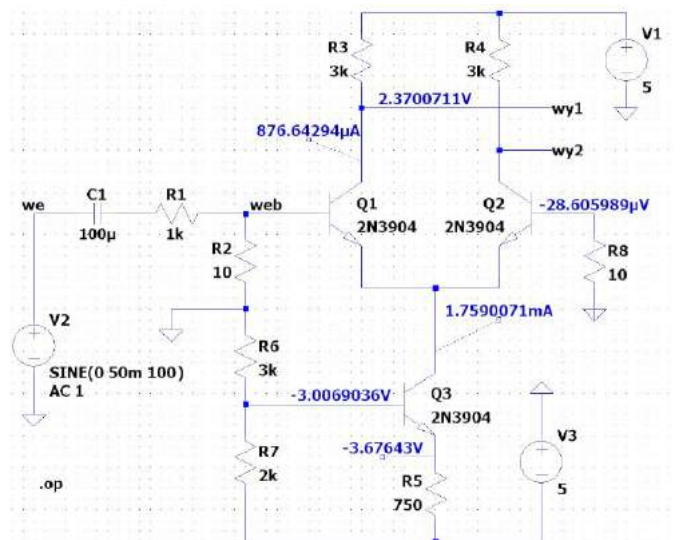
Rezystancja rezystora emiterowego powinna więc być równa:

$$R_5 = \left| \frac{-U_Z + U_B + U_{BEP}}{2I_c} \right| = \left| \frac{-5 + 3 + 0,7}{2 \cdot 0,833 \text{ mA}} \right| = \left| \frac{-1,3}{2 \cdot 0,833 \text{ mA}} \right| = \frac{1,3}{1,667 \text{ mA}} = 778 \Omega$$

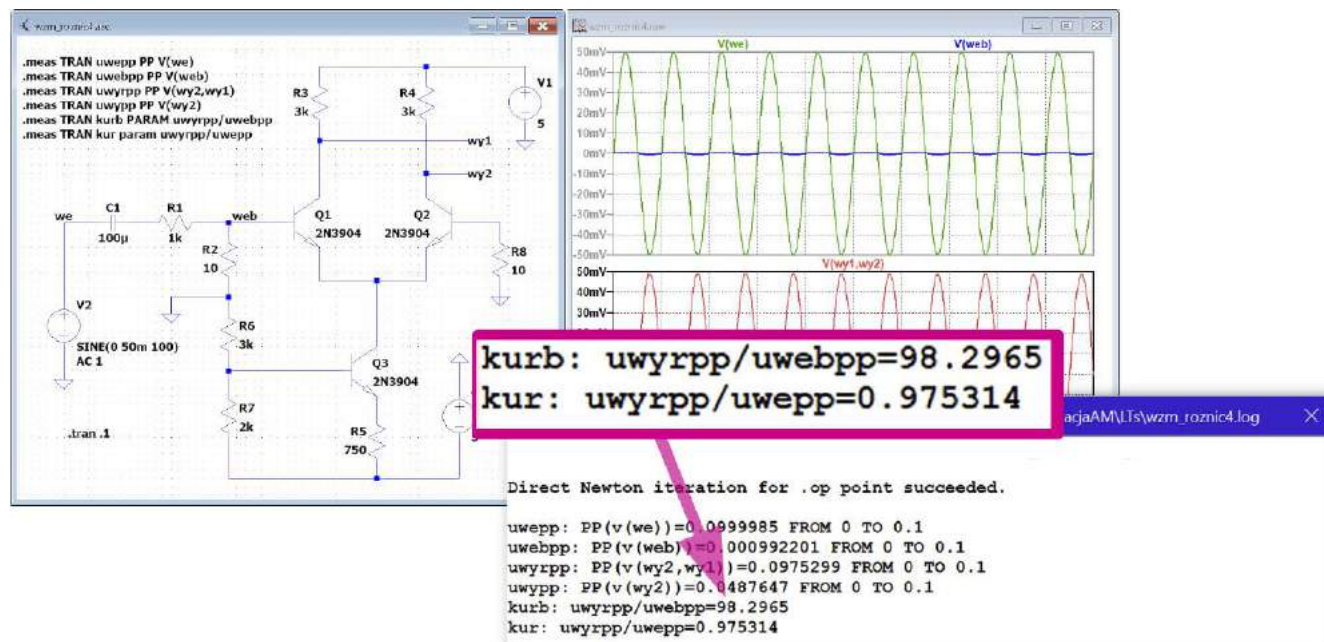
Można przyjąć z szeregu 750 Ω .

Ostatecznie punkt pracy wzmacniacza weryfikujemy w symulacji **.op** (**rysunek 3**). Okazuje się, że rozbieżności są w akceptowalnych granicach. Najważniejszy jest prąd kolektora, gdyż od niego zależy wzmocnienie. Z symulacji wynika, że prąd ten jest równy 877 μA , a więc wzmocnienie układu powinno być równe ok.:

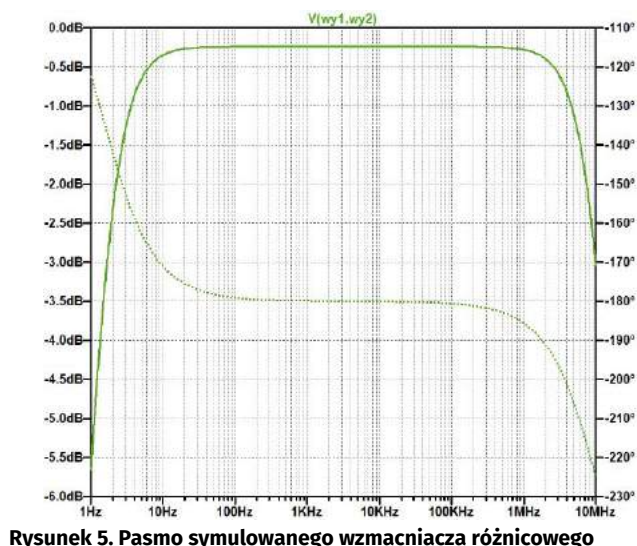
$$k_u = \frac{I_c R_c}{u_T} = \frac{877 \mu\text{A} \cdot 3k}{26 \text{ mV}} = 101 \text{ V/V}$$



Rysunek 3. Wyniki symulacji **.op** potwierdzającej założony punkt pracy tranzystorów wzmacniacza różnicowego



Rysunek 4. Wyniki symulacji .TRAN z obliczeniem wzmocnienia układu



Rysunek 5. Pasma symulowanego wzmacniacza różnicowego

Ponieważ na wzmocnieniu nam nie zależy, zastosujemy na wejściu tłumik, który zmniejszy napięcie doprowadzone do bazy tranzystora Q1 100-krotnie. Tłumikiem tym będzie dzielnik napięciowy R1=1 kΩ i R2=10 Ω. Przepływający przez rezystor R2 prąd powinien być jak najmniejszy, aby nie zaburzał punktu pracy tranzystora Q1. Idealnie byłoby, gdyby baza Q1 była na potencjale masy. Wówczas nie byłby potrzebny kondensator wejściowy, ale mimo niewielkiego spadku napięcia na rezystorze R2 z kondensatora tego nie rezygnujemy. Rezystor R8 teoretycznie wydaje się niepotrzebny, jednak ze względu na zachowanie symetrii baz obu tranzystorów Q1 i Q2 uwzględniamy go na schemacie.

Układ wzmacniacza jest już kompletny,

pozostaje tylko sprawdzić, czy wzmocnienie jest zgodne z obliczeniami. W tym celu definiujemy polecenia obliczające napięcia peak-to-peak na wejściu (uwepp), na bazie tranzystora Q1 (uwebpp) i na wyjściu różnicowym pomiędzy kolektorami (uwyrpp)

```

.meas TRAN uwepp PP V(we)
.meas TRAN uwebpp PP V(web)
.meas TRAN uwyrpp PP V(wy2,wy1)

```

Mając te dane, można obliczyć wzmocnienie mierzone jako stosunek różnicowego napięcia wyjściowego do napięcia wejściowego występującego na bazie tranzystora Q1:

```

.meas TRAN kurb PARAM uwyrpp/uwebpp

```

Wzmocnienie to powinno być równe obliczonemu, czyli wynosić ok. 101 V/V. Interesujące będzie ponadto całkowite wzmocnienie wzmacniacza z tłumikiem. Spodziewamy się, że będzie ono równe ok. 1 V/V. Wzmocnienie to obliczamy komendą:

```

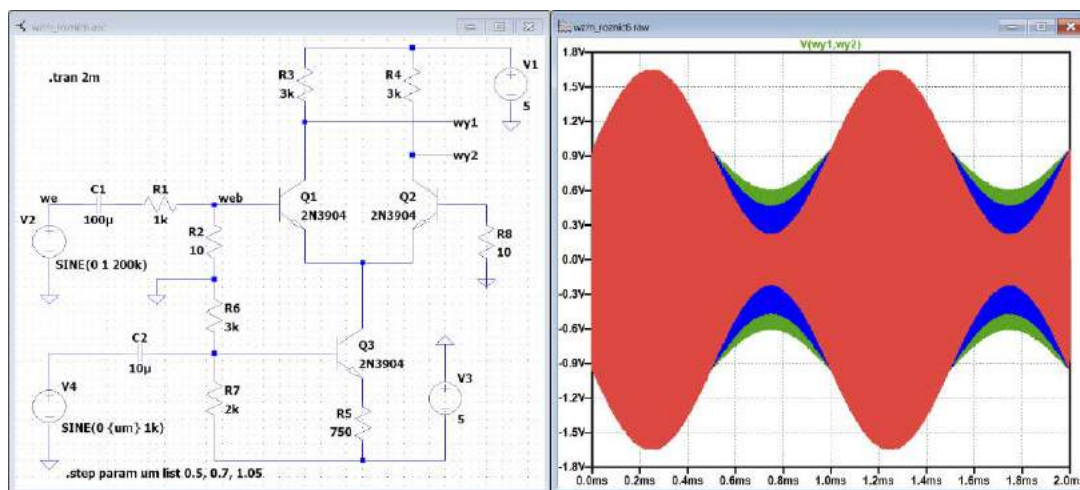
.meas TRAN kur param uwyrpp/uwepp

```

Pokazane na **rysunku 4** wyniki chyba powinny zadowolić. Są w dobrym stopniu zgodne z oczekiwaniami.

Sterowane źródło prądowe

Jesteśmy już o krok od realizacji modulatora AM. W emiterach tranzystorów Q1 i Q2 mamy źródło prądowe zbudowane z tranzystora Q3 i jego rezystora emiterowego R5. W modulatorze będziemy mieli



Rysunek 6. Przebieg wyjściowy modulatora amplitudy zrealizowanego na tranzystorowym wzmacniaczu różnicowym dla różnych napięć modulujących

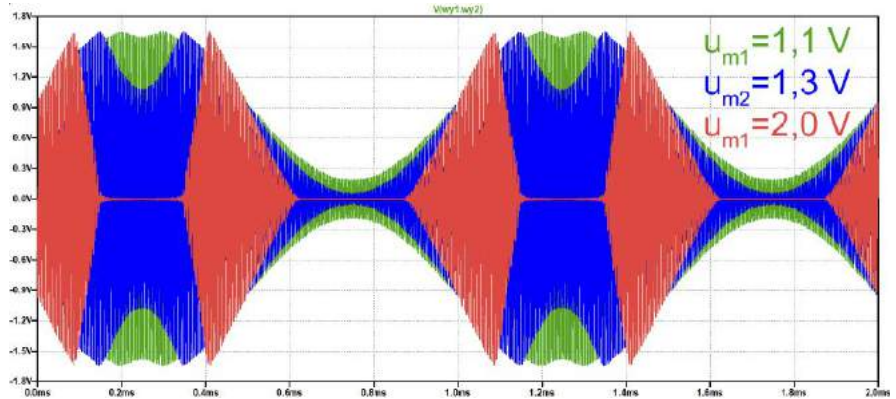
do czynienia z dużymi częstotliwościami. Założmy, że częstotliwość modulowana będzie równa 200 kHz. Musimy więc mieć pewność, że wzmacniacz przeniesie takie częstotliwości. Zanim weźmiemy lutownicę do ręki, wykonujemy oczywiście symulację „AC Analysis”. Układ badamy w zakresie częstotliwości od 1 Hz do 10 MHz. Ustalamy 200 punktów na oktawę. Wynik upewnia nas, że wszystko powinno się udać. 3-decybelowe pasmo wzmacniacza zawiera się w przedziale od ok. 2 Hz do ok. 10 MHz (**rysunek 5**).

Przed nami najważniejszy eksperyment. Musimy tak zmodyfikować układ, aby można było zmieniać wydajność źródła prądowego Q3. Nie jest to zadanie bardzo trudne, wystarczy za pośrednictwem kondensatora doprowadzić jakiś sygnał zmienny. Będzie on modulował sygnał w.c.z. podawany na bazę tranzystora Q1. Modulator jest gotowy. Aby sprawdzić jego działanie, wykonujemy symulację **.TRAN 2m**. Powinniśmy zobaczyć przebieg 200 kHz zmodulowany przebiegiem 1 kHz. Wynik symulacji został pokazany na **rysunku 6**. Uwzględniono tu 3 różne amplitudy sygnału modulującego. Uzyskaliśmy w ten sposób przebiegi o różnych głębokościach modulacji. Dane zostały dobrane tak, aby nie przesterować wzmacniacza. Co się jednak stanie, gdy do wejścia modulującego zostanie doprowadzony zbyt duży sygnał? Przekroczymy dozwolony zakres pracy, a skutek dla kilku zbyt dużych napięć wejściowych jest widoczny na **rysunku 7**.

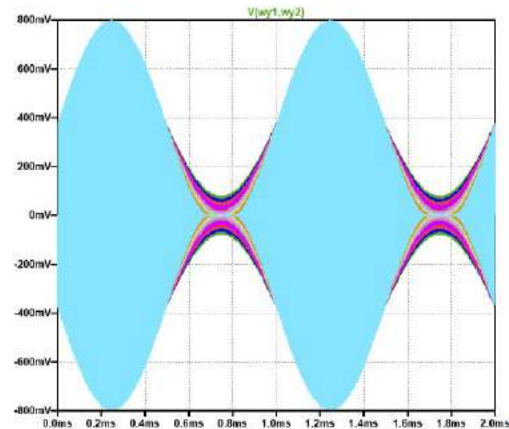
Niestety, okazało się przy okazji, że został nie najlepiej dobrany prąd kolektora przy założonych rezystancjach kolektorowych albo rezystancje te zostały niezbyt dobrze dobrane do prądu kolektora. W wyniku takich założeń nie jest możliwe uzyskanie 100-procentowej głębokości modulacji, gdyż sygnał modulowany jest wcześniej ucinany. Zwiększenie rezystancji R5, np. do 2 kΩ eliminuje tę wadę (**rysunek 8**). Taką więc poprawkę wprowadzamy.

Widmo modulacji AM

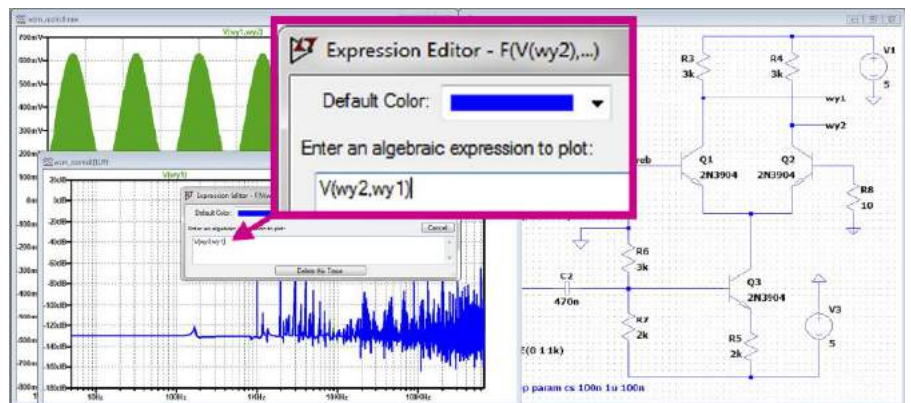
Nie będziemy tu wnikać w matematyczny opis modulacji amplitudy. Wynikałyby z niego wnioski dotyczące produktów modulacji zarówno w dziedzinie czasu, jak i częstotliwości. Przyjmijmy więc na wiarę, może trochę na intuicję, że musi się w nim znaleźć składowa związana z częstotliwością nośną (modulowaną) i składowa związana z sygnałem modulującym. Faktycznie, okazuje się, że widmo zawiera składową częstotliwości nośnej i odbite po obu jej stronach częstotliwości wynikające z różnicy częstotliwości nośnej i modulującej. W naszym przypadku będą to więc częstotliwości: 1 kHz (modulująca), 200 kHz (modulowana) i listki boczne $200 \pm 1 \text{ kHz}$ oraz $200 \pm 1 \text{ kHz}$. Sprawdźmy to w symulacji **.TRANSIENT**, przy czym dla zapewnienia dużej rozdzielczości analizy FFT wydłużamy czas symulacji do 200 ms. W wyniku tej symulacji uzyskujemy wykres czasowy. Ze względu na długi czas symulacji efekt modulacji nie będzie widoczny aż do momentu, gdy zostanie powiększony jego niewielki wycinek. Wykres widma uzyskujemy po kliknięciu prawym przyciskiem myszki na przebiegu czasowym, a następnie wybraniu poleceń: View → FFT. Następnie w oknie zawierającym wszystkie węzły obwodu wybieramy węzły wyjściowe V(wy1) i V(wy2). Konieczne jest jeszcze wskazanie tych węzłów spośród wybranych do analizy, które mają być wyświetlone. Wybieramy oba węzły, tj. V(wy1) i V(wy2). Omawiany modulator ma jednak wyjście różnicowe, więc klikamy prawym przyciskiem myszki na opis np. wykresu V(wy2) i modyfikujemy go tak, jak to pokazano na **rysunku 9** – V(wy2,wy1). Na ekranie zostaje



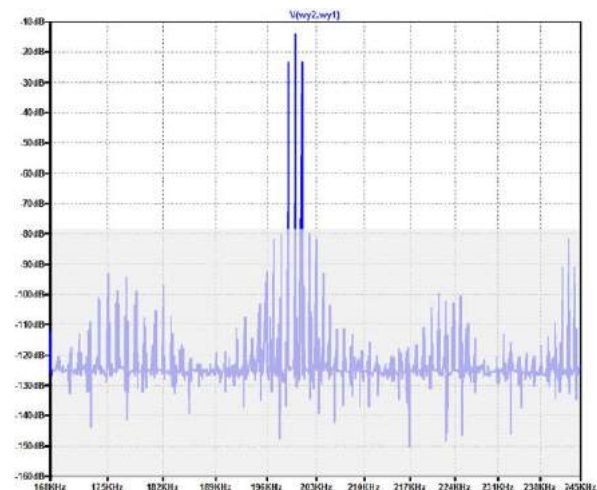
Rysunek 7. Przesterowanie modulatora



Rysunek 8. Przebieg wyjściowy modulatora po korekcie wydajności źródła prądowego



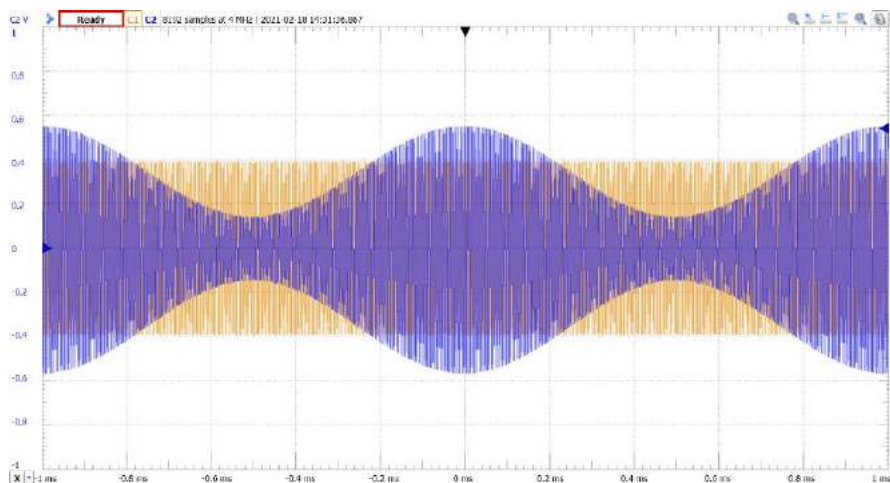
Rysunek 9. Definiowanie wyjścia różnicowego dla wykresu widma



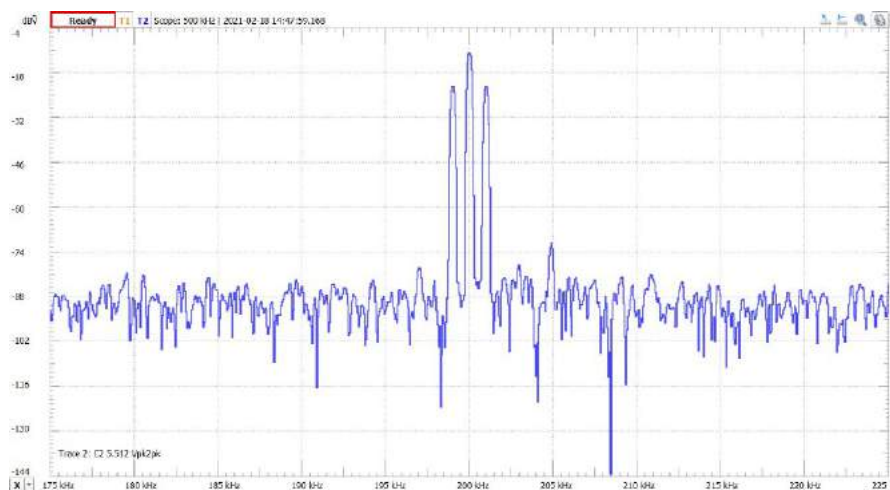
Rysunek 10. Powiększony fragment widma w okolicach częstotliwości nośnej 200 kHz



Rysunek 11. Widmo układu rzeczywistego zmierzone zestawem Analog Discovery 2



Rysunek 12. Zmodulowany przebieg układu rzeczywistego

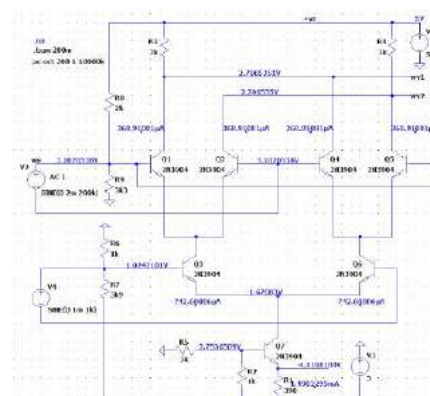


Rysunek 13. Widmo rzeczywistego modulatora AM

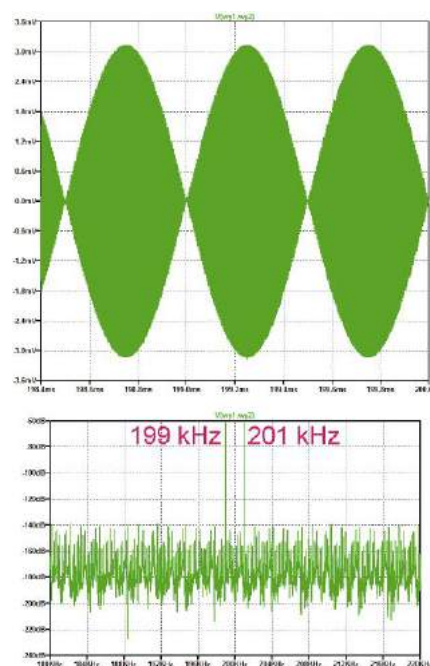
wyświetlony wykres widma zmodulowanego sygnału występującego na wyjściu różnicowym. Powiększamy jego fragment w okolicach 200 kHz i wycinamy przyciskiem *F5* przebieg *V(wy1)* (rysunek 10). Rzeczywiście, w widmie widoczne są wyraźnie składniki modulacióni 199 kHz, 200 kHz i 201 kHz, ale też szereg jakichś harmonicznych. Wynikają one prawdopodobnie ze zniekształceń wnoszonych przez wzmacniacz. Na rysunku zostały one przykryte szarą maską.

Weryfikacja praktyczna modulatora AM

Symulacja na wszystkich etapach projektu wypadła nieźle. Z pozytywnym nastawieniem możemy przystąpić do montażu i pomiarów modulatora rzeczywistego. Jak zwykle używamy do tego



Rysunek 14. Schemat modulatora w układzie Gilberta



Rysunek 15. Widmo symulowanego modulatora w układzie Gilberta

płytki stykowej, która przy częstotliwościach 200 kHz i plątaninie kabelków pomiędzy układem a zestawem pomiarowym Analog Discovery 2 może jednak powodować nieprzewidziane w symulacji problemy. Zobaczmy.

Pierwszy pomiar pasma przenoszenia od wejścia sygnału nośnej do wyjścia różnicowego potwierdza obawy. Górna 3-decybelowa częstotliwość graniczna jest znacznie niższa od uzyskanej w symulacji i wynosi ok. 1,15 MHz (rysunek 11). Nie dyskwalifikuje to jednak układu, gdyż pracujemy w zakresie

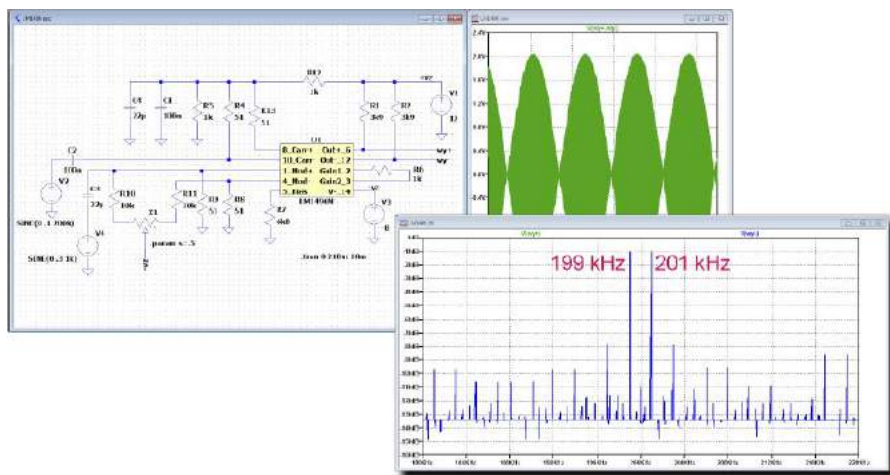
częstotliwości do ok. 200 kHz. Statyczny pomiar pracy punktu pokrył się niemal idealnie z wynikami symulacji. Pora więc na sprawdzenie, czy układ działa zgodnie z zamierzeniami. W takich chwilach emocje zwykle sięgają zenitu. Do wejścia nośnej doprowadzamy sygnał sinusoidalny o częstotliwości 200 kHz i amplitudzie 1 V z 1. kanału generatora arbitralnego Analog Discovery 2. Drugi kanał będzie źródłem sygnału modulującego. Jest to więc sinusoida o częstotliwości 1 kHz i amplitudzie 1 V. Kanał 2. oscyloskopu dołączamy różnicowo do wyjścia modulatora, czyli do kolektorów tranzystorów Q1 i Q2. Możliwość pomiaru różnicowego jest nieocenioną zaletą Analog Discovery 2, co wielokrotnie już podkreślałem. Po chwili w oknie oscyloskopu pojawia się wynik zgodny z oczekiwanym (rysunek 12).

Oddychamy z ulgą. Układ działa podręcznikowo. Widmo sygnału jest również takie, jakiego oczekiwaliśmy (**rysunek 13**).

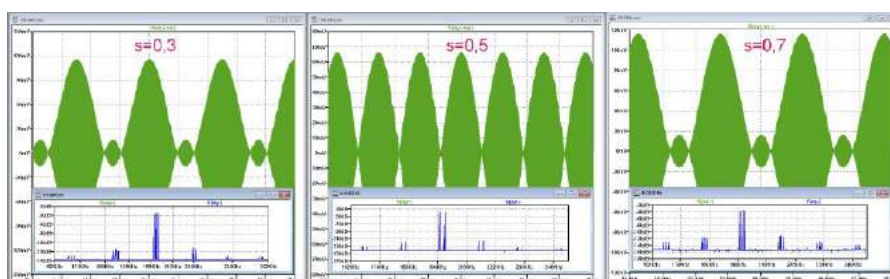
Układ działa, można powiedzieć – wręcz rewelacyjnie. Nie bójmy się tego słowa, ale jedna jego cecha bywa czasami dość uciążliwa. Jest nią obecność w widmie składowej o częstotliwości nośnej. Odfiltrowanie jej w przypadku małych częstotliwości modulujących może być bardzo kłopotliwe. Wady tej są pozbawione modulatory zrównoważone. Jednym z możliwych rozwiązań jest modulator w układzie Gilberta, składający się z dwóch wzmacniaczy różnicowych o połączonych równolegle wyjściach. Przykład takiego wzmacniacza pokazano na **rysunku 14**, zaś wynik badania zmodulowanego przez niego widma sygnału na **rysunku 15**. Jak widać, w widmie nie występuje składowa nośnej 200 kHz. Budowa takiego układu zrealizowanego na elementach dyskretnych zajęłaby sporo miejsca na płycie drukowanej. Znacznie lepszym rozwiązaniem jest zastosowanie scalonego modulatora, jakim jest popularny LM1496.

Po ściągnięciu spice'owego modelu tego układu (będzie dołączony w materiałach dodatkowych do artykułu) można przeprowadzić symulację. Korzystamy ze schematu zawartego w nocie aplikacyjnej LM1496. Nie jest to najwygodniejsze do praktycznego zastosowania rozwiązanie, gdyż wymaga zasilania napięciem +12 V i -8 V. Ograniczymy się więc jedynie do symulacji. Pozostawiamy te same częstotliwości: nośną 200 kHz i modulującą 1 kHz. Wynik symulacji przedstawiono na **rysunku 16**. I w tym przypadku długi czas symulacji (210 ms) wynika z chęci uzyskania dobrej rozdzielczości widma FFT.

Widoczny na schemacie potencjometr X1 służy do wytłumienia nośnej w widmie sygnału. Składowa ta pojawia się w przypadku, gdy układ nie jest dokładnie zrównoważony. Na **rysunku 17** pokazano



Rysunek 16. Modulator amplitudy zrealizowany na układzie LM1496 – schemat, wykres czasowy i widmo



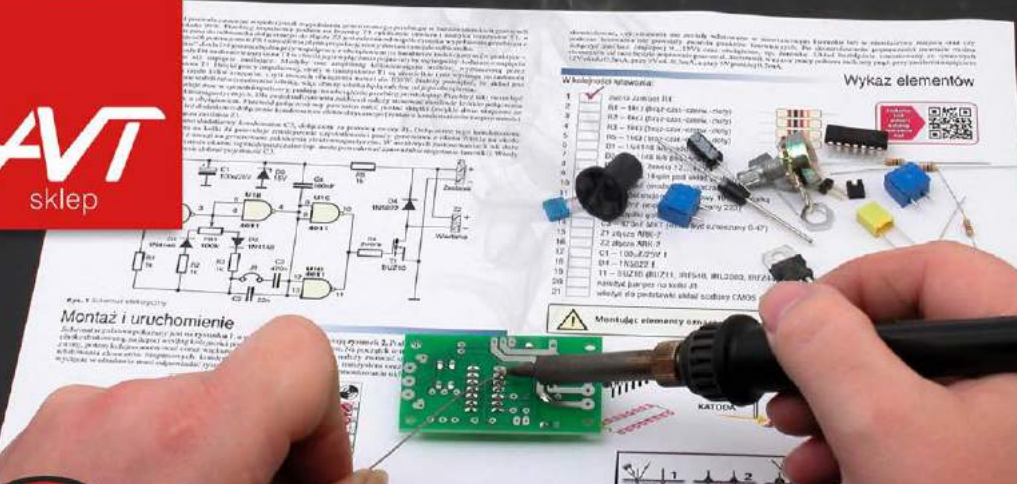
Rysunek 17. Wpływ regulacji równoważenia na przebieg wyjściowy i widmo sygnału zmodulowanego

przypadki dla trzech położenia suwaka potencjometru. Położenia są określone liczbą z przedziału 0...1, przy czym 0 i 1 są położeniami skrajnymi. Jak widać, idealne zrównoważenie układu symulowanego odpowiada pozycji środkowej suwaka, czyli $s=0,5$. W układach rzeczywistych mogą wystąpić pewne asymetrie, które spowodują konieczność ich korekcji poprzez inne ustawienie suwaka niż w pozycji środkowej. Jak już było wspomniane, badanie układu modulatora scalonego LM1496 ograniczamy tylko do symulacji.

Jarosław Doliński, EP

REKLAMA





Wykaz elementów

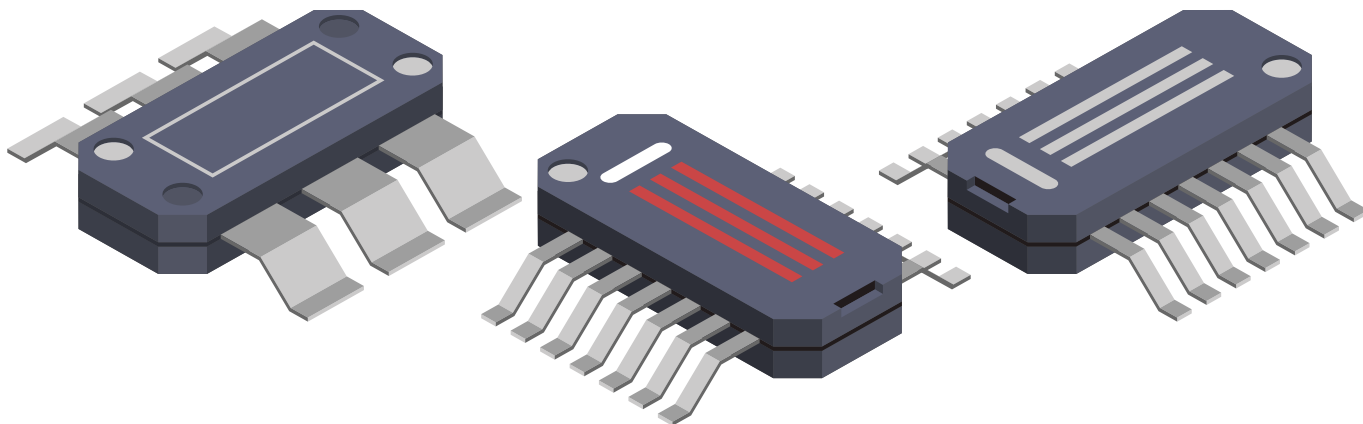
W katalogu elementów:

- 1. R1 – 10k
- 2. R2 – 10k
- 3. R3 – 10k
- 4. R4 – 10k
- 5. R5 – 10k
- 6. R6 – 10k
- 7. R7 – 10k
- 8. R8 – 10k
- 9. R9 – 10k
- 10. R10 – 10k
- 11. R11 – 10k
- 12. R12 – 10k
- 13. R13 – 10k
- 14. R14 – 10k
- 15. R15 – 10k
- 16. R16 – 10k
- 17. R17 – 10k
- 18. R18 – 10k
- 19. R19 – 10k
- 20. R20 – 10k
- 21. R21 – 10k



KITY AVT
@KITYAVT · Elektronika

<http://bit.ly/2BjVMN7>



Praktyczne aplikacje scalonych układów AFE (1)

Zalety, wady i obszary zastosowań

Przywykliśmy do zgrubnego podziału układów scalonych na kilka kategorii – analogowe, cyfrowe, mieszane (w tym przede wszystkim przetworniki A/C i C/A), a także radiowe (RF). Istnieje też szczególna kategoria produktów – mowa o układach AFE (analog front-end), niezwykle przydatnych i atrakcyjnych zarówno z finansowego, jak i użytkowego punktu widzenia. W niniejszym cyklu zaprezentujemy najważniejsze podgrupy tych układów, przykłady klasycznych oraz nietypowych aplikacji, a także wskażemy praktyczne aspekty wyboru AFE do określonego zastosowania.

Nie ulega wątpliwości, że współczesna elektronika została bezpowrotnie zdominowana przez technologię cyfrową. Co więcej – da się zauważyć, że liczba elektroników specjalizujących się w projektowaniu i optymalizacji układów analogowych, radiowych, a nawet mieszanych (*mixed signal*) jest mniejsza niż ekspertów ds. projektowania i programowania systemów wbudowanych. Trudno już dziś znaleźć pozostające w ciągłej produkcji urządzenia, których działanie opierałoby się w całości lub przeważającej części na układach analogowych – wyjątkiem są głównie systemy audio, ale i tutaj przecież technika cyfrowa coraz mocniej wypiera klasyczne układy przetwarzania sygnału.

Z drugiej strony elektronika nie może istnieć bez części analogowej – większość zjawisk fizycznych w otaczającym nas świecie ma przecież charakter ciągły, stąd wszelkie elementy i urządzenia pracujące na styku rzeczywistości oraz świata zer i jedynek muszą się opierać na domenę analogowej.

Domena cyfrowa vs. analogowa – konflikt czy współpraca?

Producenci półprzewodników doskonale zdają sobie sprawę z przemian zachodzących na rynku technologii i z wyprzedzeniem reagują na nowe trendy. Jednym z nich jest postępująca miniaturyzacja oraz idąca za nią integracja coraz większego zakresu funkcjonalności

w pojedynczych układach scalonych. Nikogo nie dziwią już przetworniki A/C i C/A, komparatory, a nawet wzmacniacze operacyjne, które znajdujemy w nowoczesnych mikrokontrolerach. Choć w prostszych zastosowaniach takie bloki funkcjonalne doskonale spełniają swoje zadanie, to w przypadku bardziej wymagających aplikacji 10-, 12-, a nawet 16-bitowe przetworniki albo pojedyncze wzmacniacze operacyjne o dość przeciętnych parametrach nie są w stanie zastąpić złożonych układów analogowych, zoptymalizowanych pod kątem konkretnego problemu pomiarowego. Stąd konieczność wprowadzenia bardziej zaawansowanych rozwiązań, takich jak coraz popularniejsze AFE.

AFE – definicja

Mianem analog front-end (AFE) nazywamy w ogólności wszelkiego rodzaju układy, integrujące kilka lub więcej bloków funkcjonalnych, które mają za zadanie pośredniczyć pomiędzy źródłem (lub odbiornikiem) sygnałów analogowych a resztą urządzenia, a które zwykle wymagały zastosowania szeregu osobnych układów scalonych i elementów dyskretnych. Zdecydowanie najczęściej nazwy AFE używamy w stosunku do układów scalonych w technologii mieszanej (*mixed-signal*), tj. zawierających zarówno bloki analogowe, jak i cyfrowe. W większości przypadków AFE przeznaczone są do ściśle określonego, przeważnie wąskiego zakresu zastosowań w danej branży.

Zalety AFE w porównaniu z układami dyskretnymi

Za wyborem konkretnej ścieżki projektowej stoi zwykle (a przynajmniej powinien stać) szereg decyzji i analiz, prowadzących do zidentyfikowania optymalnego rozwiązania. Konstruktor, który może zastosować w swoim urządzeniu gotowy front-end analogowy, jest przecież w stanie zbudować analogiczny układ z pojedynczych układów scalonych i garści elementów dyskretnych. Co zatem sprawia, że produkty z kategorii AFE stały się jednym z głównych pól wyścigu technologicznego światowych potentatów z branży półprzewodników? Zbierzmy najważniejsze argumenty przemawiające (w większości przypadków) za wyborem gotowego układu zamiast konstruowania własnego front-endu.

1. **Koszty** – integracja wielu bloków funkcjonalnych w ramach jednej struktury krzemowej przynosi zarówno bezpośrednie, jak i pośrednie oszczędności. Pierwsze z nich dotyczą kosztów samych elementów – pojedynczy, nawet dość mocno rozbudowany układ scalony jest zwykle wielokrotnie tańszy niż komplet prostszych układów o zbliżonych parametrach, a przecież należałoby jeszcze doliczyć spory zestaw elementów dyskretnych. Oszczędności pośrednie wiążą się natomiast z kolejną zaletą układów AFE – miniaturyzacją.

2. **Miniaturyzacja** – drastyczne zmniejszenie powierzchni płytki drukowanej w przypadku przejścia z rozwiązań dyskretnych na AFE jest kluczowe ze względów użytkowych. Przykładowo, budowa ubieralnych urządzeń z funkcją pomiaru szybkości akcji serca – w tym opasek sportowych (smartband), zegarków (smart-watch) i pasów piersiowych – okazałaby się niemożliwa, gdyby cały tor akwizycji i kondycjonowania biosygnalów był budowany z pojedynczych elementów. W tym przypadku miniaturyzacja samego układu AFE jest jednym z istotnych motorów napędowych dla ekspansji całego segmentu urządzeń.

Z drugiej strony, zmniejszenie płytki drukowanej pociąga za sobą mniejsze wymiary obudowy, co przekłada się na kolejne oszczędności – nie jest tajemnicą, że ceny wielowarstwowych płytek o dużej gęstości upakowania elementów rosną dramatycznie wraz z powierzchnią, identyczne zjawisko dotyczy zresztą kubatury samej obudowy. Przykładem układu o niebywałych wprost możliwościach funkcjonalnych w stosunku do fizycznych rozmiarów może być zintegrowany front-end ADPD4100/4101, przeznaczony do wieloparametrowych pomiarów biomedycznych lub przemysłowych. Za pomocą pojedynczego układu scalonego o wymiarach 2,14×3,11 mm (WLCSP w rastrze 0,4 mm – **rysunek 1**) możliwa jest jednoczesna obsługa tak wysoce zaawansowanych funkcji, jak akwizycja sygnałów EKG, pomiary bioimpedancji, ciśnienia oraz saturacji krwi tętnicznej i wielu innych.

3. **Oszczędność energii** – integracja bloków funkcjonalnych pozwala w wielu przypadkach zaoszczędzić na energii, pobieranej przez część analogową ze źródła zasilania. I znów: także w tym przypadku oszczędności opierają się na różnych mechanizmach. Z jednej strony, uwspólnienie niektórych bloków układu w jednej strukturze krzemowej pozwala zmniejszyć ogólny stopień skomplikowania układu, z drugiej strony, zastosowanie niskomocowej technologii CMOS i wysoce zoptymalizowanych struktur analogowych umożliwia dalszą redukcję zarówno statycznego, jak i dynamicznego poboru prądu.

Co więcej, niektóre front-endy odciążają mikrokontroler, oferując wbudowaną pamięć typu FIFO – dzięki temu procesor nie jest zobligowany do ciągłego odczytywania kolejnych próbek sygnału, może bowiem co pewien czas wybudzić się z trybu niskiego poboru mocy w celu odczytania całej zawartości bufora.

4. **Powtarzalność i korzyści metrologiczne** – kolejną niewątpliwą przewagą scalonych AFE nad samodzielnie budowanymi układami to maksymalizacja dokładności i stabilności pomiarowej. Dobrym przykładem są tu wejściowe wzmacniacze pomiarowe określane skrótem INAMP (instrumentation amplifier). W ich przypadku jednym z kluczowych parametrów wpływających na jakość pomiarów jest współczynnik tłumienia

sygnału wspólnego (CMRR). Parametr ten omówimy szerzej przy okazji opisu front-endów do zastosowań biomedycznych, teraz wspomnimy jedynie, że na CMRR wpływa symetria wartości rezystorów ustalających wzmacnienie tego typu wzmacniacza. Im bardziej zrównoważone są poszczególne pary rezystorów, tym lepiej wzmacniacz radzi sobie z tłumieniem składowej wspólnej sygnału, która zwykle w dużej mierze wynika z niepożądanych zakłóceń (głównie sieciowych).

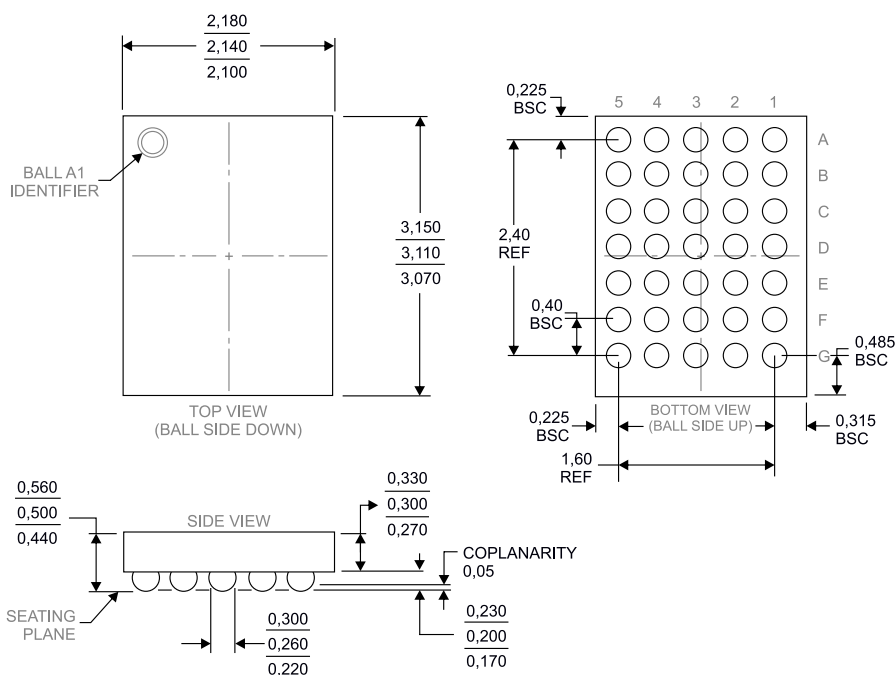
Scalone wzmacniacze pomiarowe utrzymują nieporównanie lepsze parametry niż jakiegokolwiek rozwiązania dyskretnie, a w przypadku układów AFE dodatkowe znaczenie ma obecność wszystkich wzmacniaczy (i innych elementów wymagających wysokiej symetrii) w tej samej strukturze półprzewodnikowej. Wszelkie zmiany temperatury otoczenia układu wpływają jednakowo na wszystkie elementy struktury, co umożliwia uzyskanie bardzo wysokiej stabilności termicznej poprzez odpowiednią kompensację wewnętrzną. Na marginesie warto dodać, że wiele obecnych na rynku front-endów ma wbudowany czujnik temperatury, który pozwala dodatkowo zwiększyć niezawodność urządzenia, dając możliwość monitorowania warunków pracy płytki drukowanej i to bez ponoszenia kosztów montażu dyskretnego sensora termicznego.

5. **Czas wdrożenia** – parametr określany angielskim wyrażeniem time-to-market, szczególnie istotny w niemal wszystkich modelach biznesowych, począwszy od niewielkich spółek typu start-up, aż po duże korporacje i biura projektowe. Zastosowanie gotowego AFE pozwala drastycznie skrócić czas pracy nad produktem, nie tylko poprzez integrację dużej części układu niezbędnego do pracy urządzenia, ale także dzięki dostępności zestawów ewaluacyjnych, projektów referencyjnych, not aplikacyjnych czy wreszcie gotowych bibliotek programistycznych.

AFE – rozwiązanie bez wad?

Opisane zalety układów AFE, jakkolwiek niezwykle ważne i cenne, nie oznaczają jednak, że idea scalonych front-endów pozbawiona jest wad. Jak to zwykle bywa, wybór określonego rozwiązania wiąże się z pewnymi kompromisami, które warto mieć na uwadze, by móc w porę zmodyfikować ścieżkę projektową, jeżeli okaże się to konieczne.

Ograniczenia konstrukcyjne – jednym z istotnych ograniczeń zakresu zastosowań AFE jest brak dostępu do poszczególnych stopni



Rysunek 1. Obudowa WLCSP układu AFE typu ADPD4100/4101

przejściowych i co za tym idzie, także brak możliwości wpływania na parametry bloków analogowych. Przykładem mogą być wbudowane wzmacniacze PGA. Konstruktor nie ma możliwości wymiany wzmacniacza na inny model o szerszym zakresie dostępnych wzmocnień, dlatego w przypadku zastosowania scalonego AFE musi zaakceptować parametry oferowane przez układ. Za inny przykład mogą posłużyć charakterystyki wbudowanych filtrów, choć w niektórych front-endach istnieje możliwość modyfikacji działania wewnętrznych układów (zwykle dolnoprzepustowych) poprzez dołączenie zewnętrznego kondensatora do przeznaczonych do tego celu wyprowadzeń. Oczywiście ograniczeniom podlegają także dostępne dla programisty konfiguracje wejściowych multiplexerów analogowych.

Mała uniwersalność – konstruktorzy decydujący się na korzystanie z gotowych AFE mogą napotykać pewne trudności, gdy próbują zastosować dany front-end w nieco innej aplikacji niż podstawowy zakres zastosowań przewidziany przez producenta. Warto jednak pamiętać, że w wielu przypadkach istnieje możliwość wyłączenia bloków funkcjonalnych specyficznych dla danej aplikacji i użycia jedynie przetworników ADC oraz podstawowych układów kondycjonowania sygnałów. Rozważmy tutaj np. zintegrowane stopnie wejściowe elektrokardiografów, które po wyłączeniu funkcji dodatkowych, np. wzmacniacza RLD czy też źródeł prądowych do pomiarów bioimpedancyjnych, mogą służyć za wysokiej jakości układy akwizycji dowolnych sygnałów napięciowych (wiecej informacji na ten temat przedstawujemy w kolejnej części cyklu, poświęconej układom AFE przeznaczonym dla celów medycznych).

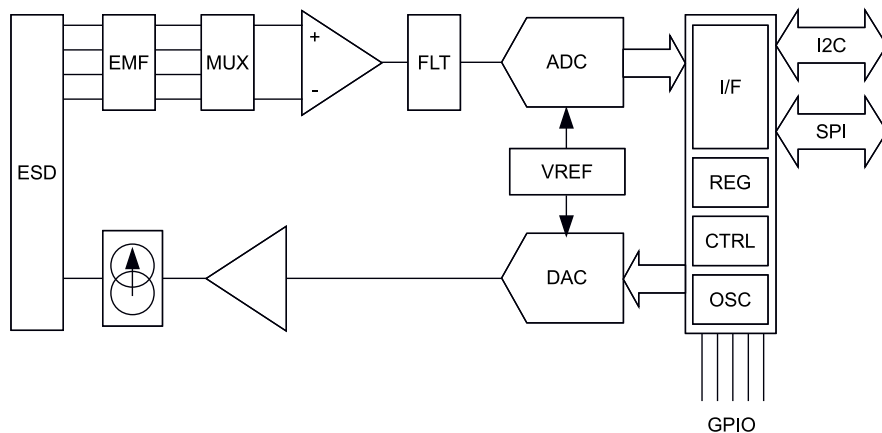
Uzależnienie od producenta – rynek układów AFE jest dość dynamicznie rozwijającym się segmentem branży półprzewodnikowej, dlatego niektóre produkty znikają z rynku, zastąpione przez nowsze, niekoniecznie zachowujące kompatybilność wsteczną. Co więcej, praktycznie nie sposób znaleźć przykładów wzajemnie kompatybilnych front-endów pochodzących od różnych producentów. Firma decydująca się na zastosowanie danego układu zostaje niejako automatycznie przywiązana do oferty jego producenta – nie istnieje bowiem możliwość łatwej i względnie taniej podmiany układu na zamiennik, jak ma to miejsce w przypadku wzmacniaczy operacyjnych, wielu układów cvfrowych, a nawet niektórych kontrolerów przetwornic DC/DC.

Typowe bloki funkcjonalne układów AFE

Choć każdy front-end scalony różni się od pozostałych szczegółami konstrukcyjnymi, warto przeanalizować uogólniony schemat większości układów tego typu, pozwalający lepiej zrozumieć prezentowaną tematykę. Zwróćmy jedynie uwagę, że wyjątkiem diametralnie różniącym się od omówionego diagramu są front-endy radiowe, w których stosuje się zupełnie inne bloki funkcjonalne (wzmacniacze mocy i LNA, detektory poziomu mocy, miksery, modulatory i demodulatory, syntezyzerzy częstotliwości itp.). Tej grupie poświęćmy jednak osobny artykuł.

Uproszczoną konstrukcję „typowego” AFE zaprezentowano na **rysunku 2**. Jak można łatwo zauważyć, składa się on zasadniczo z trzech torów (w nawiasach podano skróty zastosowane na schemacie):

1. **Tor wejściowy** – jest odpowiedzialny za akwizycję i kondycjonowanie sygnałów analogowych pochodzących ze źródła (czujnika, zestawu elektrod, itp.). Zwykle, oprócz filtrów wejściowych (EMF) i multiplexerów (MUX), zawiera także wzmacniacz, wewnętrzne filtry (FLT) i przetwornik analogowo-cyfrowy (ADC), wyposażony w wewnętrzne źródło napięcia odniesienia (VREF).
2. **Tor wyjściowy** – najczęściej służy do generowania sygnałów pobudzających (excitation signal) w układach wymagających



Rysunek 2. Ogólny schemat front-endu analogowego (AFE)

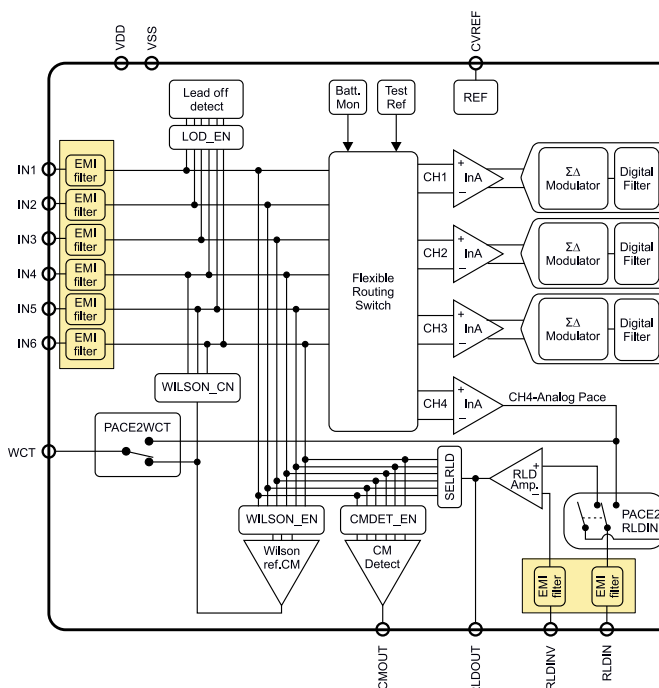
dostarczenia do badanego obiektu określonej energii. Przykładami mogą być układy AFE do pomiaru rezystancji, indukcyjności, pojemności czy impedancji, a także front-endy do badań biochemicznych. Często spotykanymi blokami są przetworniki DAC o zróżnicowanej rozdzielczości, źródła prądowe oraz wzmacniacze operacyjne.

3. **Kontroler** – typowo wszystkie układy AFE mają rozbudowany kontroler cyfrowy (CTRL), zapewniający zarówno taktowanie wszystkich synchronicznych bloków układu (OSC), jak i zestaw rejestrów (REG) konfiguracyjnych oraz wyjściowych (czasem też pamięć FIFO), a także interfejs szeregowy (I/F – zwykle SPI lub I²C).

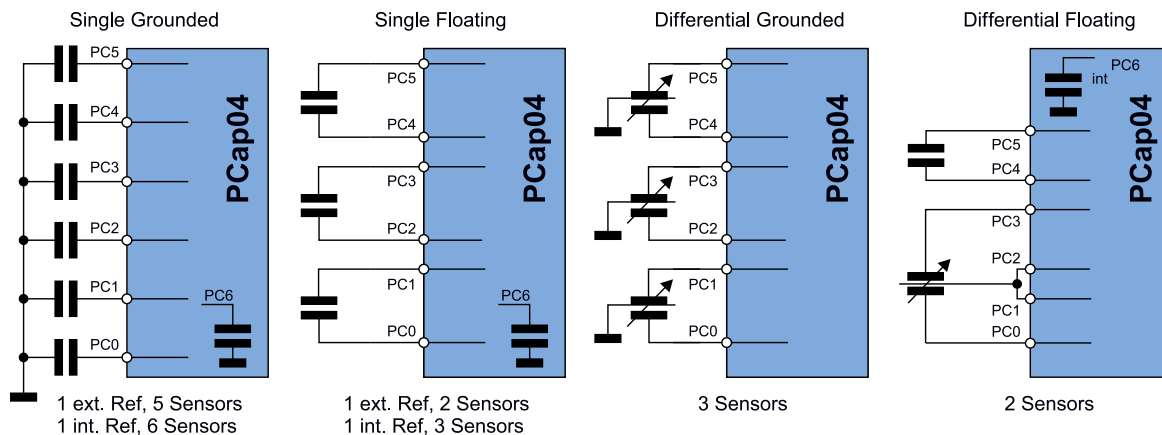
W dalszej części artykułu omówimy skrótowo najważniejsze bloki funkcjonalne, wchodzące w skład trzech wymienionych wyżej torów.

Zabezpieczenia ESD i filtry EMI

Niektóre układy, przeznaczone do pracy z bezpośrednim podłączeniem do badanego obiektu (tj. w sposób galwaniczny), mają wzmożone zabezpieczenia ESD o parametrach wyższych niż typowo spotykane w klasycznych układach scalonych. Ponadto, wiele front-endów zawiera także zintegrowane filtry przeciwzakłóceńowe, za którymi znajduje się właściwa część układu odpowiedzialna za kondycjonowanie sygnałów pomiarowych w celu dostosowania ich



Rysunek 3. Fragment schematu blokowego układu ADS1293, gdzie żółtymi ramkami oznaczono wejściowe filtry EMI



Rysunek 4. Przykładowe konfiguracje podłączenia czujników, dostępne dzięki zastosowaniu multipleksera wejściowego

poziomu (a często nawet charakteru mierzonej wielkości) do wymagań przetwornika lub znajdujących się przed nim wzmacniaczy. Na **rysunku 3** został pokazany fragment schematu blokowego front-endu ADS1293, przeznaczonego do zastosowania w niewielkich elektrokardiografach. Jak widać, wszystkie wejścia współpracujące z elektrodami pacjenta zostały wyposażone we wbudowane filtry RFI, odcinające wysokoczęstotliwościowe zakłócenia w paśmie radiowym.

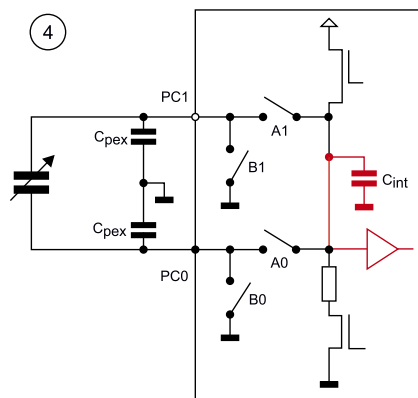
Multipleksery analogowe

W większości wielowejściowych front-endów stosowane są różnego rodzaju przełączniki sygnałów analogowych, spełniające zwykle jedną lub dwie spośród następujących funkcji.

Multipleksowanie wielu wejść (najczęściej różnicowych) w celu wyboru kanału, który ma być dołączony do wzmacniacza wejściowego (lub bezpośrednio do przetwornika ADC). Takie rozwiązanie umożliwia znaczne uproszczenie konstrukcji układu i obniżenie jego kosztów. Multipleksowanie w dziedzinie czasu jest jednak możliwe tylko w tych urządzeniach, które nie wymagają ściśle synchronicznego (jednoczesnego) próbkowania wszystkich kanałów albo częstotliwość próbkowania jest na tyle wysoka, że przemiatanie kanałów nie stanowi większego problemu od strony jakości pomiarów. Warto dodać, że w tego typu zastosowaniach najlepiej sprawdzają się przetworniki umożliwiające pracę w trybie zerowej latencji (tj. zdolne do uzyskiwania właściwych wyników pomiaru w sytuacji, w której każda kolejna próbka pochodzi z innego kanału pomiarowego).

Wybór odpowiedniej konfiguracji elektrod w układzie MIMO – taka sytuacja jest charakterystyczna dla front-endów biosygnalowych, stosowanych w rejestratorach EKG, EEG, itp. Choć zestaw elektrod pozostaje stały, urządzenie wykorzystuje rozmaite układy ich połączeń w celu realizacji pomiarów w poszczególnych odprowadzeniach (odprowadzeniem nazywamy w medycynie parę elektrod lub elektrodę wraz ze wspólnym punktem odniesienia, pomiędzy którymi dokonywany jest pomiar różnicy potencjałów). Innymi słowy, zastosowanie multipleksera nie ma tutaj na celu wprowadzenia oszczędności na liczbie wzmacniaczy INAMP/PGA i przetworników ADC (każdy kanał wejściowy otrzymuje osobny tor przetwarzania), ale służy realizacji konkretnych procedur pomiarowych.

Innym ciekawym zastosowaniem multiplexera jest zwiększenie liczby możliwych konfiguracji stopnia wejściowego front-endu, co umożliwia współpracę z różnego rodzaju czujnikami – przykładem może być układ PCap04 firmy AMS, mający sześć wyprowadzeń wejściowych, umożliwiających podłączenie od 1 do 6 czujników oraz (w zależności od konfiguracji) także dodatkowych pojemności odniesienia (**rysunek 4**). Warto też dodać, że multiplexery dostarczają prostą i niezawodną metodę autokalibracji bez potrzeby użycia jakichkolwiek dodatkowych elementów zewnętrznych (tj. wyłącznie w obrębie struktury front-endu). Przykład, znów zaczerpnięty z noty katalogowej PCap04, zaprezentowano na **rysunku 5**. Rozwarcie kluczy (tranzystorów polowych) łączących wejścia układu z przetwornikiem



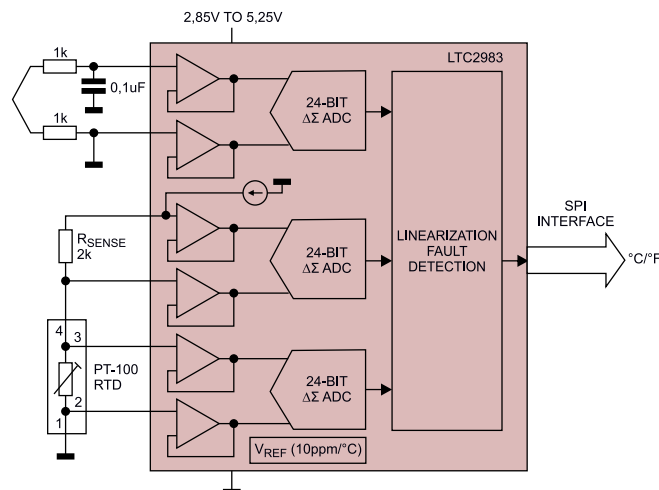
Rysunek 5. Użycie multipleksera do celów autokalibracji AFE

CDC (Capacitive-to-Digital Converter) umożliwia pomiar wewnętrznej pojemności kalibracyjnej C_{INT} .

Wzmacniacze

Sygnały wyjściowe multiplekserów doprowadza się do wzmacniacza przystosowanego do rodzaju prowadzonego pomiaru. Najczęściej spotykane rodzaje wzmacniaczy wejściowych to:

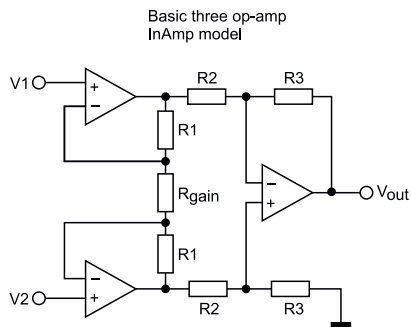
- **Bufory (wtórniki napięcia)** – stosowane w większości front-endów, zarówno na wejściach pomiarowych, jak i w roli buforów dla przetworników DAC oraz wewnętrznych lub zewnętrznych źródeł napięcia odniesienia. W układach bazujących na przetwornikach ADC o wysokiej rozdzielczości (zwykle 24 bity, choć czasem można spotkać układy o jeszcze lepszych osiągnięciach) wtórniki napięcia mogą bezpośrednio łączyć wejścia przetworników różnicowych



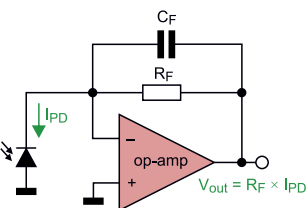
Rysunek 6. Przykład zastosowania buforów do sprzęgania wejść przetworników o wysokiej rozdzielczości bezpośrednio z wejściami front-endu

z wyprowadzeniami front-endu. Przykładem może być układ LTC2983 (rysunek 6).

- **Wzmacniacze pomiarowe** (INAMP – instrumentation amplifier) – cechując się dość wysoką impedancją wejściową, dużą wartością współczynnika CMRR (szczególnie w zakresie do drugiej harmonicznej częstotliwości sieciowej, czyli do ok. 100 Hz) oraz stałym lub regulowanym programowo wzmocnieniem, jak również stosunkowo niewielkim pasmem przeniesienia (zwykle na poziomie kiloherców). Klasyczna konfiguracja wzmacniacza typu INAMP została pokazana na rysunku 7.



Rysunek 7. Podstawowy schemat wzmacniacza pomiarowego



Rysunek 8. Schemat wzmacniacza transimpedancyjnego w aplikacji do pomiaru prądu fotodiody

- **Wzmacniacze transimpedancyjne** (TIA – transimpedance amplifier) – konwertują niewielkie prądy wejściowe na napięcie, podawane następnie na przetwornik ADC. Wzmacniacze tego typu są stosowane najczęściej w układach AFE współpracujących z fotodiodami lub (bio)sensorymi elektrochemicznymi. Podstawowy schemat wzmacniacza transimpedancyjnego zastosowanego do pomiaru prądu fotodiody pokazano na rysunku 8. Wzmocnienie układu ustala wartość rezystora R_F w pętli sprzężenia zwrotnego, a równoległy do niego kondensator C_F o niewielkiej wartości zapewnia niezbędną stabilność układu.
- **Wzmacniacze niskoszumne** (LNA – low noise amplifier) – są stosowane w niektórych front-endach wymagających szczególnie dużych wzmocnień i (zwykle) szerokiego pasma. Przykładem mogą być układy akwizycji sygnałów ultradźwiękowych.
- **Wzmacniacze o programowalnym wzmocnieniu** (PGA – programmable gain amplifier) – mogą występować jako dalsze stopnie wzmocnienia (tj. podłączone do wyjść przedwzmacniaczy) lub jako bloki spełniające funkcję wzmacniacza pomiarowego (czyli pracujące bezpośrednio z sygnałem wejściowym).
- **Wzmacniacze o zmiennym wzmocnieniu** (VGA – variable-gain amplifier) – stosowane są głównie w układach pracujących z wyższymi częstotliwościami (zwykle od kilku megaherców do pasma mikrofalowego włącznie). Wzmocnienie może być ustawiane w różny sposób, jak choćby z użyciem przeznaczonych do tego celu wyprowadzeń układu. Przykład takiego rozwiązania, pochodzący ze schematu blokowego front-endu ultradźwiękowego MAX2079, został pokazany na rysunku 9.

Filtry

W większości układów AFE można także znaleźć filtry analogowe lub cyfrowe o charakterystykach zależnych od konkretnego zastosowania. Popularną praktyką jest użycie filtrów

dolnoprzepustowych, redukujących poziom zakłóceń wysokoczęstotliwościowych oraz pracujących w roli filtrów antyaliasingowych.

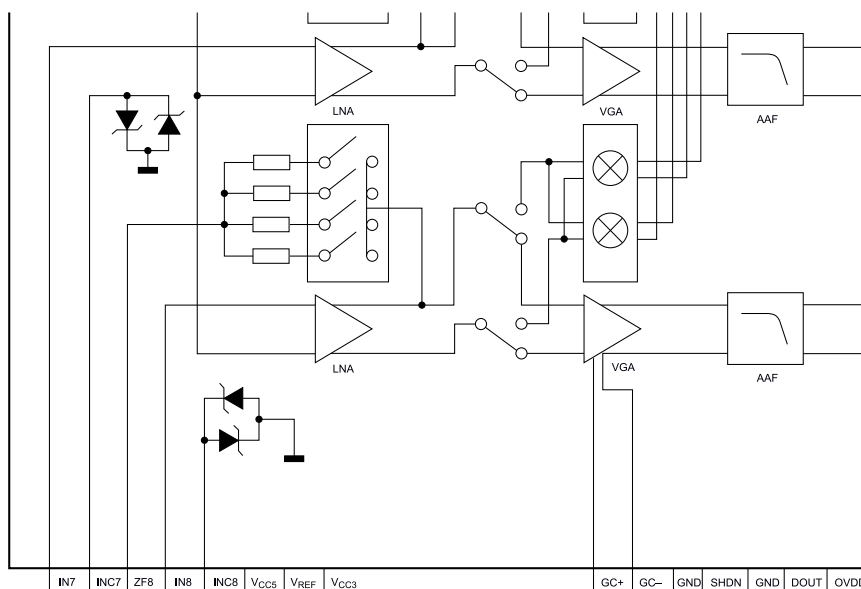
Szczególnie istotne miejsce pod względem technik filtracji zajmują filtry cyfrowe, będące nieodłącznym elementem przetworników typu delta-sigma. Zwykle są to filtry o charakterystyce SINC (np. sinc^3), co umożliwia uzyskanie bardzo stromych i stabilnych zboczy w ściśle określonych punktach osi częstotliwości. Możliwość precyzyjnego dostrajania ułatwia dostosowanie charakterystyk filtra do częstotliwości napięcia sieciowego (50 Hz lub 60 Hz), co pozwala na silne wytłumienie niepożądanego przydźwięku, będącego jednym z najpoważniejszych artefaktów w większości pomiarów o bardzo niskim poziomie sygnałów i niskim zakresie częstotliwości (jak np. pomiary tensometryczne czy precyzyjne pomiary temperatury w wysokiej rozdzielczości).

W niektórych przetwornikach wyboru tłumionej częstotliwości dokonuje sam użytkownik (np. poprzez zmianę szybkości taktowania modulatora), w innych charakterystyka jest fabrycznie dostosowana do tłumienia zarówno 50 Hz, jak i 60 Hz. Przykład takiego układu stanowi przetwornik ADS1244, którego fragment charakterystyki w rejonie częstotliwości sieciowych pokazano na rysunku 10.

Przetworniki ADC

Bez zbędnej przesady można stwierdzić, że przetwornik analogowo-cyfrowy jest sercem niemal każdego front-endu. To od niego zależy optymalne wykorzystanie niskiego poziomu szumów, szerokiego pasma przepustowego wzmacniaczy i filtrów czy wreszcie – szybkości przemiatania kanałów z pomocą multiplexerów. Standardem jest stosowanie w układach AFE przetworników 24-bitowych, choć w wielu implementacjach można spotkać przetworniki 14-, 16- czy 18-bitowe.

Architektura przetwornika zależy od wymaganych parametrów i co ważne, zawsze optymalizowana jest przez producenta układu pod kątem danego zastosowania. Wiele front-endów bazuje na przetwornikach delta-sigma ($\Sigma\Delta$), które oferują szereg istotnych zalet – w tym wysoką rozdzielczość (przeważnie powyżej 20 bitów) i wspomnianą wcześniej, natywną filtrację dolnoprzepustową. Wadą konwerterów $\Sigma\Delta$ jest jednak (w większości przypadków) dość długi czas latencji, a także silna zależność efektywnej liczby bitów (ENOB) od częstotliwości próbkowania. Dlatego też w niektórych front-endach stosowane są inne rodzaje przetworników, np. SAR (successive approximation register). Przykładem może być jeden z najnowocześniejszych (w momencie pisania niniejszego artykułu) układów, przeznaczonych do pomiarów biomedycznych – AD5940/AD5941, oferujący wbudowany przetwornik SAR o rozdzielczości aż 800 kSps.



Rysunek 9. Przykładowe rozwiązanie sterowania wzmocnieniem wzmacniacza VGA poprzez zewnętrzne wyprowadzenia układu AFE

Warto w tym miejscu wspomnieć o zintegrowanych w strukturach większości układów AFE źródłach napięcia odniesienia, wykorzystywanych zarówno przez przetworniki ADC, jak i inne bloki funkcjonalne (np. DAC). Źródła te są zoptymalizowane pod kątem wykorzystania możliwości danego układu, jednak w wielu przypadkach istnieje możliwość przełączenia na zewnętrzne źródło jeszcze stabilniejszego i dokładniejszego napięcia referencyjnego.

Przetworniki DAC i układy wyjściowe

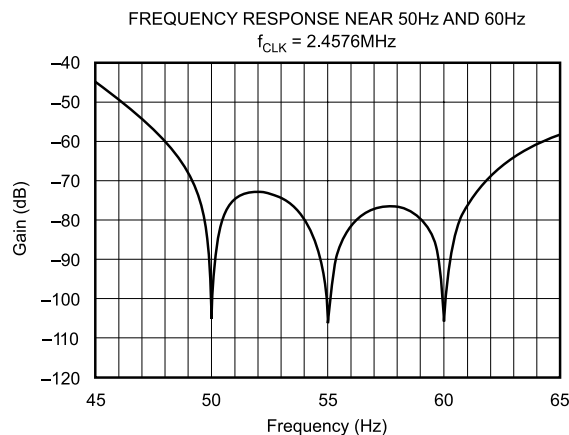
Przeglądając noty katalogowe rozmaitych układów AFE, można odnieść wrażenie, że jeszcze większe różnicowanie niż w przypadku torów wejściowych, znajdujemy w konstrukcjach torów wyjściowych (pobudzających). Nic dziwnego, wszak każda kategoria aplikacji wymaga innego rodzaju przebiegów zasilających badany obiekt. Często spotykanymi elementami są sterowane cyfrowo źródła prądowe (za pomocą przetwornika DAC lub skokowo, tj. tylko w kilku predefiniowanych zakresach prądu wyjściowego), choć niejednokrotnie mamy do czynienia także z całymi pętlami sprzężenia zwrotnego, bazującymi na wzmacniaczach operacyjnych i przetwornikach cyfrowo-analogowych. Niektóre układy AFE, np. służące do prowadzenia pomiarów indukcyjności, są wyposażone w specjalne oscylatory, współpracujące z wejściowym obwodem rezonansowym (zwanym LC tank), zaś przetwarzanie sygnału odbywa się poprzez pomiar częstotliwości (a nie napięcia, jak ma to miejsce w większości typowych front-endów).

Dobrym przykładem stosunkowo złożonego toru wyjściowego jest sterownik diod LED w układzie AFE4490 firmy Analog Devices, przeznaczony do budowy pulsoksymetrów klinicznych (**rysunek 11**). Diody LED, służące do oświetlania (lub prześwietlania) tkanki pacjenta są podłączone do mostka H, sterowanego przez zintegrowany kontroler i zasilanego przez regulowane cyfrowo źródło prądowe. Do zadawania określonej nastawy źródła służy 8-bitowy przetwornik DAC oraz układ zarządzania wartościami natężenia prądu dla poszczególnych diod. Użycie mostka H jest konieczne z uwagi na powszechnie stosowane, przeciwsobne połączenia diod LED w standardowych czujnikach SpO_2 – więcej informacji na ten temat przedstawimy w artykule poświęconym front-endom przeznaczonym do aplikacji pulsoksymetrycznych.

Bloki kontrolne

Każdy front-end wymaga odpowiednio rozbudowanego bloku sterowania, którego celem jest zarówno kontrola wszystkich nastaw wewnętrznych podsystemów analogowych (np. wzmocnienia PGA, konfiguracji multiplexera czy też sekwencji przemiatania wejść), jak i komunikacja z układem nadrzędnym (hostem), zazwyczaj mikrokontrolerem. Dlatego też niemal każdy klasyczny front-end zawiera interfejs SPI lub I²C (rzadziej można spotkać inne rodzaje lokalnych interfejsów szeregowych lub magistralne równoległe) i blok wewnętrznej pamięci rejestrów, służących do przechowywania nastaw podczas pracy urządzenia. Poprzez rejestry możliwe są ponadto odczyty bitów statusu, wyników pomiaru czy też wersji układu.

Bloki sterowania często wyposaża się w wewnętrzne oscylatory, zapewniające niezbędne taktowanie dla przetworników oraz układów sekwencyjnych. Wyposażenie wielu front-endów stanowią dodatkowe linie GPIO sterowane za pomocą osobnych rejestrów i dające projektantowi pewną elastyczność (np. poprzez umożliwienie zastosowania mikrokontrolera o mniejszej liczbie wyprowadzeń I/O).



Rysunek 10. Przykładowa charakterystyka częstotliwościowa filtra cyfrowego w przetworniku delta-sigma typu ADS1244

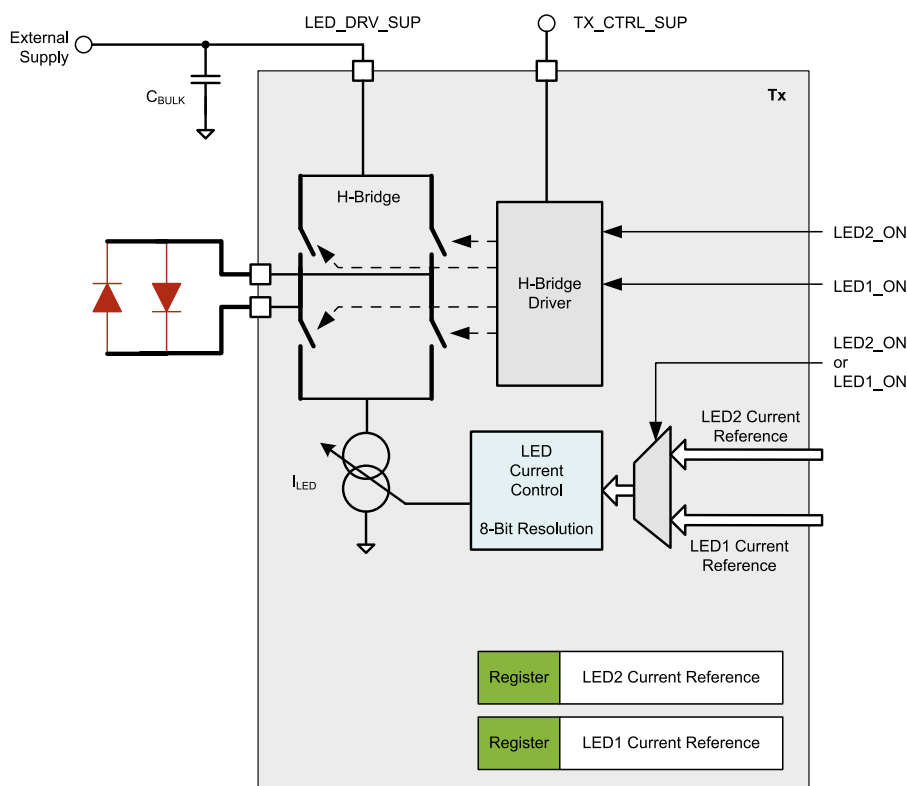
Nierzadko można także spotkać się z wbudowanymi czujnikami temperatury, które, choć zwykle nie nadają się do precyzyjnych pomiarów, doskonale spełniają swoją funkcję jako jeden z elementów autodiagnostyki urządzenia w bardziej zaawansowanych aplikacjach.

Podsumowanie

W niniejszym artykule zawarliśmy podstawowe informacje o budowie i zastosowaniach układów AFE. Omówiliśmy zarówno najważniejsze zalety przejścia z dyskretnych układów analogowych na rozwiązania scalone, jak i pewne nieodłączne wady front-endów, które należy mieć na uwadze podczas wyboru ścieżki projektowej opracowywanego urządzenia.

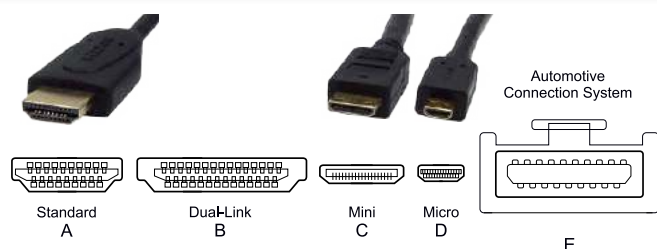
W kolejnych odcinkach niniejszego cyklu dokonamy podziału funkcyjnego układów AFE oraz opiszemy reprezentatywne przykłady układów scalonych należących do poszczególnych kategorii, zwrócimy też uwagę na praktyczne aspekty implementacji AFE w rzeczywistych urządzeniach. Dodatkowo, gdzie będzie to możliwe, wskażemy, jak poprawnie zastosować konkretne front-endy w niestandardowych aplikacjach.

inż. Przemysław Musz



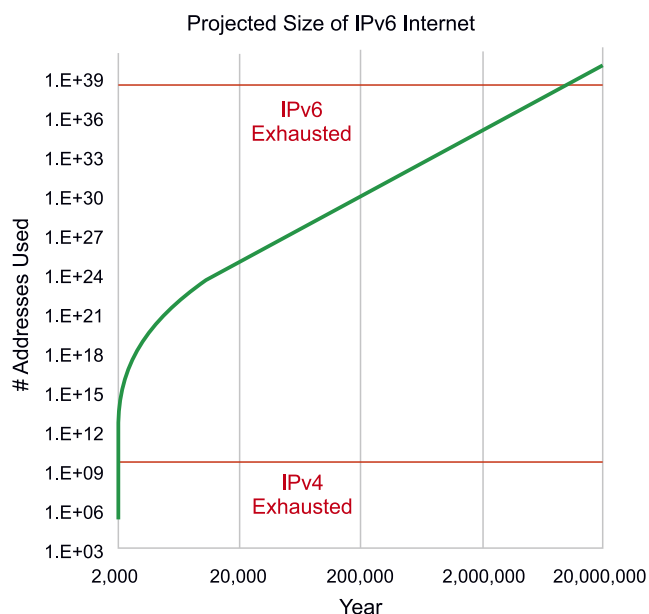
Rysunek 11. Przykładowy stopień wyjściowy – front-end AFE4490

koktajl niusów



Standard HDMI z mnóstwem wtyków

Na rysunku pokazano 5 rodzajów wtyków dostępnych dla tego standardu. Są to (od lewej): typ A – Standard, Dual Link – typ B, Mini – typ C, Micro – typ D i złącze do zastosowań motoryzacyjnych – typ E. Taki asortyment sprostą wymaganiom każdego użytkownika (oraz projektanta, zwłaszcza tego od płytek PCB). Przykładowo, komputer jednopłytkowy Raspberry Pi 4 ma dwa złącza typu D. Natomiast zestaw maXimator z układem FPGA pojedyncze złącze typu A. W większości typów (poza złączem typu B i E) istota jest ta sama, tylko inne rozmiary. Ciekawostką tę można traktować jako ściągawkę dla standardu HDMI. Może się przydać, ponieważ teraz o pomyłkę bardzo łatwo, ze względu na dużą liczbę standardów bardzo podobnych do siebie.



Nieprędko wyczerpią się adresy protokołu IPv6

Na rysunku zobrazowano teoretyczne zapotrzebowanie na adresy IP w funkcji czasu. Zgodnie z nim pula adresów standardu IPv6 zostanie w całości zajęta dopiero za 10...15 milionów lat (linia ciemnozielona). Protokół IPv6 to naprawdę długowieczne rozwiązanie. Liczba wszystkich adresów wynosi $3,4 \cdot 10^{38}$, w stosunku do 2^{32} dla protokołu IPv4, który już jest na wyczerpaniu.

Era radia w Polsce

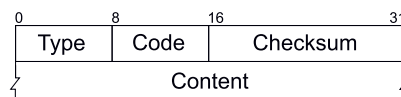
Dnia 1 lutego 1925 roku o godzinie 18.00, Polskie Towarzystwo Radiotechniczne (PTR) nadało kilkuminutową audycję na paśmie o długości fali 385 metrów z siedziby przy ulicy Narbutta 25 w Warszawie



(widok współczesny pokazuje fotografia). Inauguracji dokonał dyrektor PTR inż. Roman Rudniewski, wypowiadając słowa: „Tu próbna stacja radionadawcza Polskiego Towarzystwa Radiotechnicznego w Warszawie, fala 385 metrów...”, po których zapowiedział stałą emisję w godzinach 18...19. Tym sposobem rozpoczęła się praca radiostacji stanowiącej załączek Polskiego Radia. Fakt ten wywołał poruszenie w kraju (by nie powiedzieć sensację).

Funkcję spikerki pełniła Halina Wilczyńska – pracowniczka Towarzystwa. Natomiast ramówka obejmowała m.in. codzienne komunikaty Państwowego Instytutu Meteorologii i depesze Polskiej Agencji Telegraficznej oraz wykonawców, aktorów, artystów estradowych, muzyków i prelegentów zafascynowanych nowym sposobem prezentacji (na tyle zresztą, że występowali oni bezpłatnie, traktując radio jako ciekawostkę). Jej rozkład był przy tym drukowany w ówczesnej prasie warszawskiej.

Emisja radiostacji PTR miała charakter testowy. Trwała do 18 kwietnia 1926 roku, do godziny 17.00, gdy na fali o długości 480 metrów rozpoczęło nadawanie wspomniane wcześniej Polskie Radio. Wtedy dziennikarka Janina Sztompkówna wypowiedziała słowa: „Halo, halo, Polskie Radio Warszawa, fala 480”, które są uważane za oficjalny początek radiofonii w Polsce – tak samo jak przytoczona data (choć niesłusznie, bowiem wykazaliśmy, że ta miała miejsce co najmniej rok wcześniej).



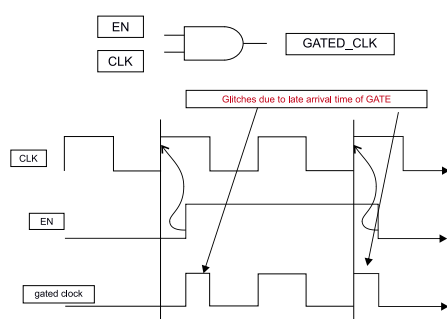
Pakiet którego protokołu sieciowego odznacza się najmniejszą liczbą pól?

Chodzi o protokół ICMP (*Internet Control Message Protocol* – Protokół Internetowych Komunikatów Kontrolnych) w wersji 4 i 6 (tzn. ICMPv4 i ICMPv6). Na rysunku pokazano cztery pola tworzące ten pakiet, są to: typ komunikatu (*Type*), kod komunikatu (*Code*), suma

kontrolna pakietu (*checksum*) i dane (*content*). Pierwsze trzy są obowiązkowe a ostatni opcjonalny (może występować, lecz nie musi). Ich długości są następujące (zgodnie z kolejnością): 1 bajt, 1 bajt, 2 bajty oraz długość dowolna (z góry nieokreślona). Razem 4 bajty danych do diagnostyki i trasowania sieci (oczywiście, co najmniej). Tylko tyle trzeba dla obydwu celów.

Dokładne wartości wspomnianych pól (szczególnie dwóch pierwszych) są wyjaśnione na: <http://bit.ly/3sRI24P> (protokół ICMPv4) oraz <http://bit.ly/2Pr6zz5> (protokół ICMPv6).

Opisy protokołu ICMP (obydwu wersji) zawierają zalecenia: RFC 792 (wersja 4) i RFC 4443 (wersja 6), których opis jest dostępny pod adresami: <http://bit.ly/2ZZAYGI> oraz <http://bit.ly/2Ob5xqr>.



Dlaczego bramkowanie sygnału zegarowego to zły pomysł?

Na rysunku pokazano sytuację, w której zastosowano dwuwejściową bramkę AND, z czego do jednego jej wejścia jest dołączony sygnał zegarowy (CLK), a drugie to wejście aktywacji (EN). Takie rozwiązanie powoduje zniekształcanie sygnału zegarowego. W jaki sposób? Otóż część impulsów na wyjściu ulega skróceniu, co prowadzi do występowania zboczy narastających i opadających w innych punktach czasu niż spodziewane. Pojawiają się szybciej bądź później w stosunku do sygnału zegarowego doprowadzonego do bramki. W rezultacie praca układów bazujących na tym sygnale staje się nieprawidłowa. Tak jak w przypadku transformaty Fouriera, gdzie okienkowanie sygnału prowadzi do wycieku częstotliwościowego zniekształcającego widmo analizowanego sygnału, tak tutaj skutkiem jest zmiana postaci sygnału na niepożądaną. Warto o tym pamiętać, tak jak to robią środowiska do projektowania obwodów cyfrowych w układach programowalnych, które częstokroć zwracają uwagę na omówione bramkowanie.

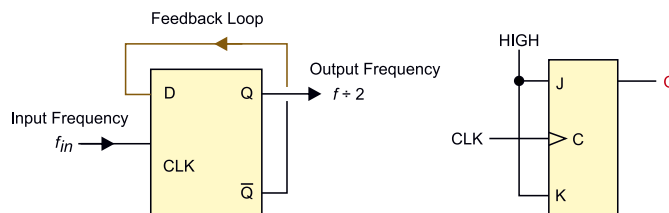


A gdyby policzyć sztuczne satelity Ziemi

Tych działających jest 2787 (stan na 31 lipca 2020 roku): 1425 należących do Stanów Zjednoczonych, 382 do Chin, 172 do Rosji i 808 do reszty świata (w tym do Polski). 2032 z nich znajduje się na niskiej orbicie okołoziemskiej LEO (Low Earth Orbit), 560 na orbicie geostacjonarnej GEO (Geosynchronous Equatorial Orbit lub

Geostationary Orbit), 137 na średniej orbicie okołoziemskiej MEO (Medium Earth Orbit) lub ICO (Intermediate Circular Orbit), a 58 na orbitach eliptycznych.

Wśród nich są satelity komercyjne, wojskowe, rządowe oraz cywilne. W przypadku Stanów Zjednoczonych jest ich kolejno: 1011, 208, 173 i 33. Natomiast pozostałe kraje pozostawiamy Wam do odnalezienia. Listę wspomnianych satelitów można znaleźć pod adresem: <http://bit.ly/3r8GYJg>.

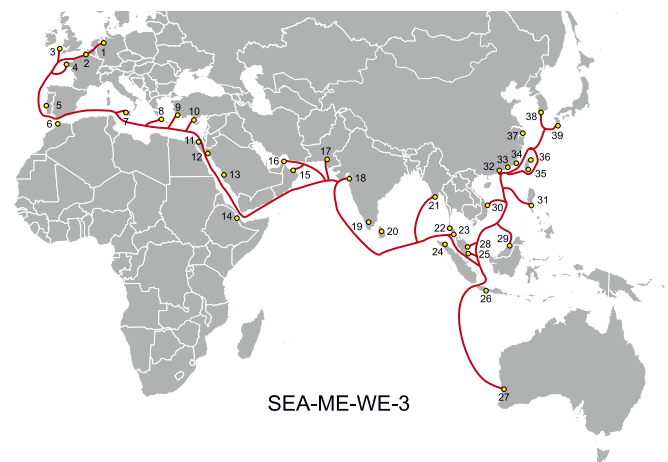


Dwójka licząca – co to oznacza?

Na pewno nie matematykę. Jest to elektronika, układy cyfrowe, w dodatku sekwencyjne. Chodzi o:

- dzielnik częstotliwości (preskaler) przez dwa,
- 1-bitowy licznik synchroniczny (niezależnie od kierunku zliczania),
- liczniku modulo 2 (niezależnie od kierunku zliczania).

Są to trzy sposoby jednego rozwiązania, którego nazwa nawiązuje do zliczania cyfr 0 i 1 z każdym następnym zboczem narastającym lub opadającym sygnału zegarowego. Zastosowanie „dwójki” jest dwójakie: zliczające oraz częstotliwościowe. O wariantach budowy układu tylko wspomnimy. Najpopularniejsze wersje pokazuje rysunek: pierwszy to przerzutnik typu D, natomiast drugi to przerzutnik typu JK.



Najdłuższy kabel telekomunikacyjny na świecie

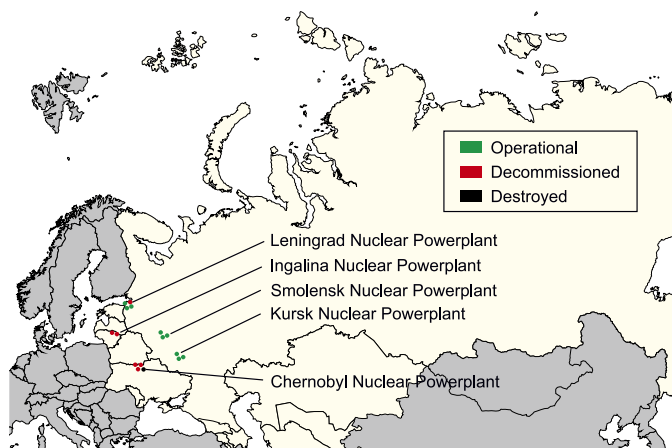
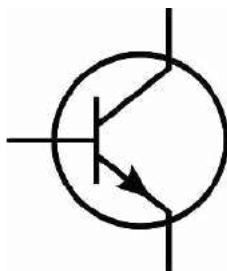
Jest nim położony na dnach mórz i oceanów SEA-ME-WE 3 (pełna nazwa: South-East Asia – Middle East – Western Europe 3) o przebiegu pokazanym na rysunku. Długość kabla: 39 tys. km (prawie tyle co równik). Data oddania do użytku: 2000 rok. Oferowana przepustowość transmisji: 4,6 Tb/s. Stosowana technika multipleksacji sygnałów: DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*). Operatorzy: indyjska firma Tata Indicom i 92 inwestorów z branży telekomunikacyjnej. Łączna liczba styków kabla z lądem: 39, ich lista jest dostępna pod adresem: <http://bit.ly/2OdTxo4>, przy zachowaniu numeracji z rysunku.

W przypadku awarii paraliż gwarantowany (choć nie całkowicie, są bowiem jeszcze inne, podobne kable przejmujące ruch w razie awarii). Jak dotąd doszło do tego kilkukrotnie. Przykładowo 26 grudnia 2006 roku, gdy doszło do trzęsienia Ziemi o sile 7,1 w skali Richtera w pobliżu Tajwanu (pełna lista zdarzeń jest dostępna pod adresem: <http://bit.ly/3b3AQMO>).

Niezależnie od tego kabel ten stanowi istotną część światowej infrastruktury telekomunikacyjnej, by nie powiedzieć, że to „globalna autostrada danych” od Niemiec do Australii i Japonii.

Kółeczko w symbolu tranzystora

To oczywiście obudowa tranzystora (*sink*, *case* lub *housing*) rozpraszająca ciepło wytwarzane podczas jego pracy (*heat dissipation*). Dotyczy to wszystkich rodzajów tego podzespołu (bipolarne, polowe itd.) na schematach elektrycznych niezwiązanych z układami scalonymi IC (*Integrated Circuits*). Tym samym to również wskaźnik (*indicator*) tych schematów – w układach scalonych jest nieobecny, gdyż nie ma na niego fizycznie miejsca.



Czy są na świecie czynne reaktory atomowe takie, jak ten w Czarnobylu?

Reaktor atomowy w Czarnobylu przyczynił się do najpoważniejszej w historii awarii (katastrofy) jądrowej (o największych na świecie skutkach), do której doszło 26 kwietnia 1986 roku na terenie Związku Radzieckiego (obecnie Ukrainy). Jest to model projektu RBMK-1000 (Reaktor Kanałowy Dużej Mocy-1000 – inaczej RKDN-1000) będący lekkowodnym, wrzącym reaktorem atomowym o mocy 925 MW, który zawiera moderator grafitowy i nie potrzebuje wzbogaconego uranu jako paliwa, przeznaczony zarówno do zastosowań cywilnych, jak i wojskowych (w tym do produkcji plutonu).

Odpowiedź została pokazana na rysunku. Jest to mapa wskazująca położenie rzeczonych reaktorów. Jak widać, funkcjonują do dziś (stan na luty 2021 roku). Znajdują się w Rosji, dokładnie w: Sankt Petersburgu (dawniej Leningrad), Smoleńsku i Kursku (pomijając litewską Ignalinę, w której wybudowano reaktory RBMK-1500). Reaktory te zaznaczono kolorem zielonym (dla porównania kolor czerwony oznacza reaktory wyłączone, a czarny – reaktory zniszczone).

W pierwszym przypadku jest ich dwa (Leningrad-3 i Leningrad-4). W drugim trzy (Smoleńsk-1, Smoleńsk-2 i Smoleńsk-3). Natomiast w ostatnim cztery (Kursk-1, Kursk-2, Kursk-3 i Kursk-4). Razem dziewięć czynnych reaktorów RBMK-1000.

Pewne jest ich wygaszanie. To przestarzałe i wysłużone konstrukcje, których bezpieczeństwo co prawda zwiększono po zdarzeniu opisanym na wstępie, lecz nie przeprowadzono w nich modernizacji. Poza tym opracowano ich następcę, tzn. MKER (Wielooobiegowy Kanałowy Reaktor Energetyczny) niemal podobny do współczesnych, zachodnich reaktorów atomowych. Nie ma się czego obawiać, awaria raczej się nie powtórzy. Ostatnio, w listopadzie 2020 roku został wyłączony reaktor Leningrad-2 w Sankt Petersburgu. A jeszcze wcześniej, w 2018 roku, reaktor Leningrad-1 (w tym samym mieście).

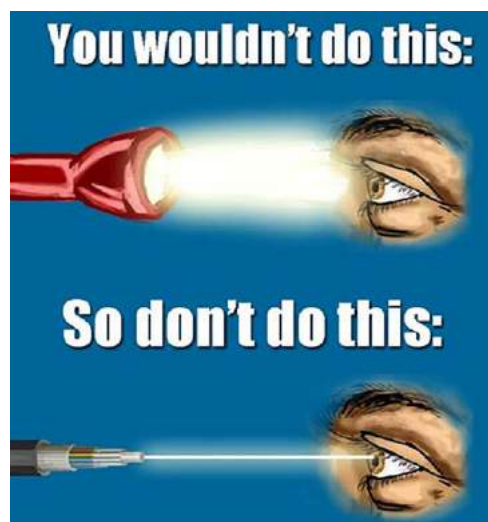
Może doczekamy budowy choć jednej nowoczesnej (bezpiecznej) elektrowni atomowej w Polsce. Dodajmy, że jest ich planowanych aż sześć.



Internet Rzeczy (IoT) to nie tylko pożytek

IoT niesie również niebezpieczeństwo, i to całkiem realne. Co może pójść nie tak w tym względzie? Otóż sprawa dotyczy erotycznego gadżetu dla mężczyzn Cell Mate firmy Qiui stanowiącego męską wersję pasa cnoty. Jak się okazuje (za portalem niebezpiecznik.pl), ktoś próbował zhackować (przejąć) kilka takich gadżetów, stosując złośliwe oprogramowanie. Na ślad tego oprogramowania wpadł Smelly, twórca znanego w branży bezpieczeństwa repozytorium z malwarem (vx-underground), który odkrył w nim następujący komunikat (oryginalna pisownia angielska): *hahaha i have your cock now. send 0.02 BTC (Bitcoin) to %s by %s or you'll be locked forever*. Brzmi groźnie, prawda? Typowe wymuszenie okupu. Sprawą zainteresowali się dziennikarze portalu Vice, którzy dotarli do kilku ofiar hakera. Jeden z nich stwierdził, że w chwili ataku nie nosił urządzenia, ale potem zauważył, że jest zablokowane.

Sprawca ataku pozostaje nieznany, tak samo jak liczba jego ofiar. Wystarczyło skorzystać z niedopracowanego API wspomnianego gadżetu, przez które ten łączy się z chmurą producenta. Okazało się ono na tyle dziurawe, że pozwoliło przejąć komunikację z Cell Mate i doprowadzić do oglupienia aplikacji sterującej instalowanej na smartfonach. Co ciekawe, już jakiś czas temu odkryto wspomniany problem, jednak producent nie dokonał żadnych zmian.



Nigdy nie patrz w światłowód

Wiemy, że nie należy bez powodu patrzeć w światło latarki z bliska. To samo dotyczy światłowodu. Tam świeci laser, taki sam jak ten stosowany we wskaźnikach czy napędach CD i DVD, który błyskawicznie wypali siatkówkę oka. W dodatku robi to dość trwale, co może doprowadzić do utraty wzroku. W przypadku latarki oślepienie może być tylko chwilowe. Na rysunku pokazano plakat podsumowujący te rozważania. Niech on będzie dla Was przestrogą. To elementarne zasady BHP, o którym jednak nie zawsze się pamięta (świadomie lub nieświadomie).

Jakub Tyburski

jakub.tyburski@wat.edu.pl

Systemy dla Internetu Rzeczy (46)

Cyfrowe czujniki ciśnienia



Czujnik ciśnienia to urządzenie zawierające element czujnikowy, którego fizyczna odpowiedź, zależna od zastosowanego ciśnienia, jest przekształcana na sygnał elektryczny. Następnie wymagane jest kondycjonowanie tego sygnału, aby powstał odpowiedni sygnał użyteczny. Zwykle czujniki są wykonywane w technologii MEMS i umieszczane w obudowach razem ze strukturami ASIC. Tak przygotowane elementy są montowane w modułach oraz całych systemach użytkowych. Znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach, należą do nich m.in.: motoryzacja, medycyna, nawigacja, technika lotnicza oraz różne urządzenia użytkowe.

Czujnik ciśnienia jest ogólnym terminem opisującym urządzenie wykrywające ciśnienie, którym może być czujnik, przetwornik lub transponder, w zależności od konstrukcji. Wytwarzają napięcie wyjściowe, które zmienia się wraz z ciśnieniem, którego doświadcza element czujnikowy podatny na tę siłę fizyczną. Czujniki ciśnienia w obudowach przeznaczonych do montowania na płytkach drukowanych wymagają od projektanta rozważenia problemu kalibracji. Zwrot „czujnik ciśnienia” jest czasami używany do ogólnego opisu przetworników i transponderów.

Przetworniki (*transducer*) ciśnienia, podobnie jak czujniki ciśnienia, wytwarzają napięcie wyjściowe, które zmienia się wraz z ciśnieniem. Przetwornik w tym kontekście jest elementem czujnikowym z dołączonym obwodem kondycjonującym sygnał, np. w celu kompensacji wahań temperatury i ze wzmacniaczem umożliwiającym transmisję sygnałów dalej od źródła. Ma też odpowiednią obudowę wymaganą ze względu na zastosowanie.

Transmitery (*transmitter*) ciśnienia są podobne do przetworników, ale generują sygnał prądowy na obciążeniu o niskiej impedancji. Zwykle wyjście będzie to standardowe wyjście przemysłowe 4...20 mA.

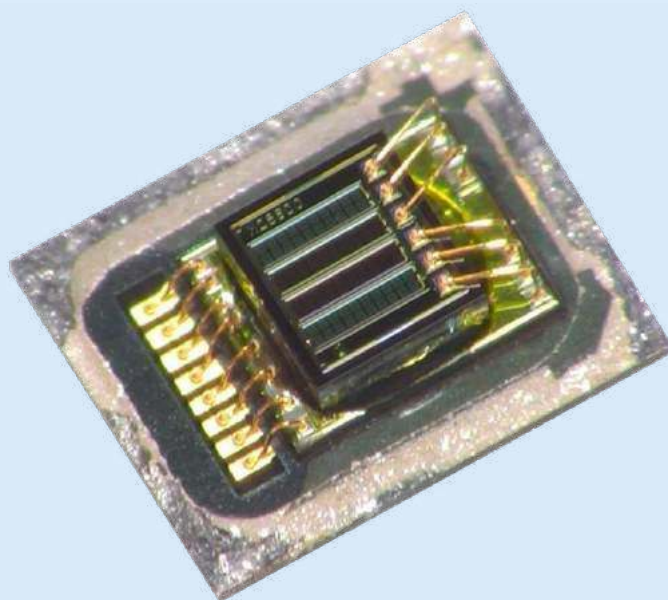
Istnieje wiele różnych zastosowań czujników ciśnienia, dlatego dostępnych jest wiele typów czujników o szerokiej gamie charakterystyk, niezależnie od tego, czy są to trudne lub korozyjne środowiska, sprzęt medyczny czy urządzenia mobilne. Wybór czujnika ciśnienia oznacza wybór spośród szerokiej gamy technologii, pakietów, poziomów wydajności i funkcji w celu spełnienia wielu wymagań dotyczących dokładnego pomiaru ciśnienia.

Czujnik ciśnienia jest przydatny w stacjach meteorologicznych, monitoringu środowiska lub do wspomagania nawigacji w obszarach braku nawigacji GPS lub triangulacji komórek. Ze względu na technologię wyróżniamy następujące rodzaje czujników ciśnienia:

- pojemnościowe,
- piezorezystancyjne,
- czujniki w technologii powierzchniowej fali akustycznej (SAW),
- czujniki w technologii krystal bond.

Obecnie produkowane są głównie układy czujnikowe wykorzystujące technologię piezorezystancyjną lub pojemnościową.

Obudowy i zakresy urządzeń ciśnieniowych MEMS różnią się znacznie w zależności od zastosowania. Konstrukcje i technologie wytwarzania czujników ciśnienia stale się rozwijają i układy nowych generacji mają parametry wyraźnie lepsze. Ostatnio czujniki ciśnienia zaczynają być integrowane w jednej obudowie z czujnikami innych parametrów fizycznych. Przykładem są układy firmy Bosch:



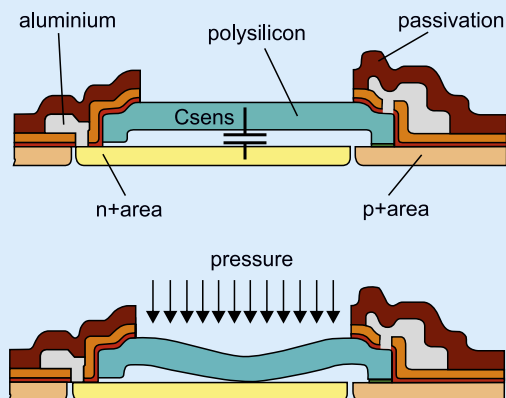
czujnik ciśnienia, temperatury i wilgotności względnej BME280 oraz czujnik jakości powietrza BME680 [2].

Aby zrozumieć typy powszechnie używanych czujników, ich zasady działania i tryby użytkowania, został opracowany przez firmę Avnet Abacus podręcznik inżyniera projektanta dotyczący czujników ciśnienia „Pressure sensors: The design engineer's guide” [3]. Przewodnik zapewnienia kompleksowy przegląd technologii, wgląd w różne zastosowania i pomoc w znalezieniu odpowiedniego czujnika.

Spośród wielu producentów czujników ciśnienia firma Bosch jest wyraźnie dominującym liderem zarówno na rynku motoryzacyjnym, jak i konsumenckim. Firmy Infineon, Sensata, Denso i Melexis koncentrują się głównie na motoryzacji, podczas gdy ST Microelectronics i Alps Alpine obsługują rynek konsumencki. Tylko firmy TE Connectivity i NXP mają również obecność na wielu rynkach. Jest też wielu innych producentów czujników ciśnienia, jak Omron, Amphenol, Bourns czy Maxim.

Czujniki MEMS

Mechanizm piezoelektryczny lub pojemnościowy czujnika ciśnienia może być wykonany na krzemie jako urządzenie MEMS (Micro Electro Mechanical System) i zapakowany jako kompaktowy układ do montażu powierzchniowego, zwykle o rozmiarach tylko



Rysunek 1. Konstrukcja pojemnościowych czujników ciśnienia [5]

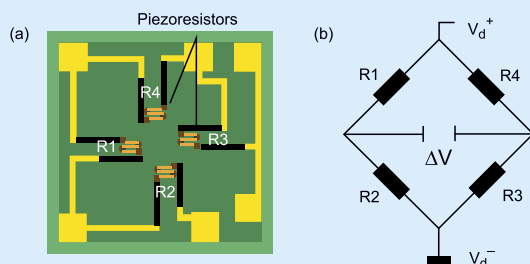
około 2...3 mm z każdej strony. Urządzenia MEMS są wytwarzane z krzemu przy użyciu procesów domieszkowania i trawienia. Procesy te są wykonywane w skali struktury scalonej, czego wynikiem jest małe urządzenie, które może być połączone z elektroniką kondycjonującą sygnał. Obwód elektroniczny może zawierać wzmacniacz w celu uzyskania wyjścia analogowego, a także przetwornik analogowo-cyfrowy w celu wygenerowania wyjścia cyfrowego. Wyjście analogowe może być przydatne, jeśli sygnał czujnika ma być obsługiwany całkowicie w domenie analogowej lub jeśli projektant chce użyć przetwornika AC o szczególnie wysokiej rozdzielczości lub dokładności, lub jeśli mikrokontroler zawiera odpowiedni zintegrowany przetwornik AC.

Pojemnościowe czujniki ciśnienia

Pojemnościowy czujnik ciśnienia zawiera kondensator z jedną sztywną płytą i jedną elastyczną membraną jako elektrody (rysunek 1, górna część). Elektroda dolna czujnika ciśnienia wykonana jest z krzemu domieszkowanego n+, natomiast elektroda górna z elastycznej membrany polikrzemowej. Pojemność jest proporcjonalna do odległości między elektrodami. Mierzone ciśnienie jest przykładane po stronie elastycznej membrany, a wynikające z tego ugięcie powoduje zmianę pojemności (rysunek 1, część dolna), którą można zmierzyć za pomocą obwodu elektrycznego.

Piezorezystancyjne czujniki tensometryczne MEMS

Piezorezystancyjne czujniki tensometryczne były pierwszymi udanymi czujnikami ciśnienia typu MEMS i są szeroko stosowane m.in. w motoryzacji, medycynie i sprzęcie gospodarstwa domowego. Przewodzące elementy czujnikowe są wytwarzane bezpośrednio na membranie. Zmiana rezystancji tych przewodników jest proporcjonalna do odkształcenia i reprezentuje miarę przyłożonego ciśnienia. Rezystory są połączone w sieć mostka Wheatstone'a, co pozwala na bardzo dokładny pomiar zmian rezystancji. Elementy piezorezystancyjne można ustawić tak, aby podlegały przeciwnemu naprężeniu (połowa była rozciągnięta, a druga połówka ściśnięta), żeby zmaksymalizować sygnał wyjściowy dla



Rysunek 2. Rozmieszczenie elementów piezorezystancyjnych czujnika MEMS [3]

danego ciśnienia (rysunek 2). Napięcie wyjściowe jest proporcjonalne do zmiany rezystancji.

Czujniki ciśnienia w technologii krystal bond

Technologia krystal bond to technologia czujnika ciśnienia MEMS. Tensometry są dyfundowane molekularnie na powierzchnię metalowej membrany przy użyciu materiałów nieorganicznych i wysokich temperatur (rysunek 3). W miarę obniżania się temperatury nieorganiczny materiał wiążący krzepnie i mocuje silikonowy tensometr do pozycji powyżej środka czujnika, tworząc w ten sposób jednocześnie element czujnikowy. Przy odkształceniach roboczych mniejszych niż 15% granicy plastyczności metalu



Fotografia 3. Tensometry krzemowe na metalowej membranie struktury w technologii krystal bond [8]

czujnik ciśnienia wykazuje mniejsze zmęczenie, wyższą odporność na nadciśnienie i doskonałą długoterminową stabilność. Dzięki zastosowaniu materiałów nieorganicznych w procesie łączenia tensometrów z membraną, element czujnikowy ciśnienia ma praktycznie nieskończoną trwałość. Tensometry zapewniają również wysoki sygnał wyjściowy z małymi błędami termicznymi [8].

Czujniki w technologii SAW

Czujnik powierzchniowej fali akustycznej (SAW) działa na zasadzie przesyłania drgań przez cienką warstwę materiału piezoelektrycznego. Fale są wychwytywane przez inny przetwornik i przekształcane z powrotem w sygnał elektryczny. Zmiany amplitudy lub fazy sygnału akustycznego spowodowane odkształceniem powierzchni mogą być mierzone w celu określenia ciśnienia [3].

Czujniki barometryczne

Ciśnienie barometryczne (lub atmosferyczne) to ciśnienie wywierane przez ciężar powietrza w atmosferze ziemskiej. Ciśnienie barometryczne może być mierzone na dwa sposoby:

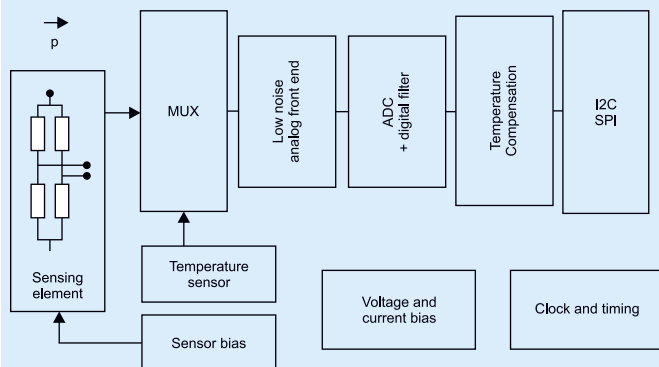
- ciśnienie bezwzględne – mierzone względem próżni;
- ciśnienie względne (manometryczne) – mierzone względem powietrza otoczenia.

Ciśnienie bezwzględne jest związane z wysokością powyżej (umownego) poziomu morza. Ciśnienie od 20 kPa do 110 kPa obejmuje cały zakres wysokości na Ziemi, od najgłębszej kopalni do szczytu Mount Everestu. Na jego podstawie można obliczyć wysokość. Ciśnienie zależy od wysokości i temperatury, ponieważ oba te czynniki zmniejszają gęstość powietrza.

Czujnik LPS25HB firmy STMicroelectronics

Sensor LPS25HB firmy STMicroelectronics to piezorezystancyjny czujnik ciśnienia absolutnego, który działa jak barometr cyfrowy [4]. Jest to jeden z całej listy układów czujników ciśnienia LPS22xx, LPS25HB, LPS27HHW oraz LPS33xx. Różnią się one obudową, zakresem pracy i częstotliwością próbkowania oraz rozdzielczością.

Układ LPS25HB zawiera element czujnikowy i interfejs komunikacyjny z obsługą protokołu I²C lub SPI (rysunek 4). Czujnik ciśnienia jest produkowany przy użyciu zastrzeżonej technologii MEMS, która umożliwia wykonanie czujnika ciśnienia na monolitycznym chipie krzemowym. Element czujnikowy jest oparty na elastycznej membranie silikonowej utworzonej nad komorą powietrzną z kontrolowaną szczeliną i określonym ciśnieniem wewnętrznym. Membrana jest mała w porównaniu do tradycyjnych membran silikonowych poddanych mikroobróbce. Przyłożenie ciśnienia powoduje odkształcenie



Rysunek 4. Schemat blokowy czujnika ciśnienia LPS25HB firmy STMicroelectronics [4]

membrany i zmianę stanu mostka Wheatstone'a, co generuje sygnał pomiarowy. Układ jest kalibrowany fabrycznie i wartości kalibracyjne są przy włączaniu zasilania ładowane do rejestrów, używanych w trakcie normalnej pracy. Cyfrowe dane pomiarowe są wstawiane do 32-miejscowego bufora FIFO, który może pracować w 7 trybach.

LPS25HB jest dostępny w obudowie LGA (HLGA) o wymiarach 2,5×2,5×0,8 mm. Gwarantuje działanie w zakresie temperatur od -30 do +105°C. Obudowa zawiera otwór, aby ciśnienie zewnętrzne mogło dotrzeć do elementu czujnikowego. Parametry układu LPS25HB są następujące [4]:

- zakres ciśnienia bezwzględnego: od 260 do 1260 hPa,
- tryb wysokiej rozdzielczości: 0,01 hPa RMS,
- pobór prądu: 4 µA (tryb niskiej rozdzielczości), 4,5 µA (tryb niskiego prądu i szumów z FIFO),
- odporność na nadciśnienie: 20× pełna skala,
- wbudowana kompensacja temperatury,
- 24-bitowe dane ciśnienia,
- szybkość próbkowania ciśnienia: od 1 do 25 Hz,
- interfejsy SPI oraz I²C,
- wbudowany bufor FIFO,
- funkcje przerwań: Data Ready, znaczniki FIFO, progi ciśnienia,
- napięcie zasilania: od 1,7 do 3,6 V,
- wysoka wytrzymałość na wstrząsy: 10000 g.

Czujnik ciśnienia BMP390L firmy Bosch

BMP390L firmy Bosch to dokładny piezorezystancyjny czujnik ciśnienia barometrycznego z dokładnym pomiarem temperatury [6]. Jest to kolejny układ w całej serii udanych poprzedników BMP280, BMP388, BMP388 i BMP390. Jest wyposażony w matrycę MEMS i strukturę scaloną wzmacniacza analogowego z układem cyfrowym (*mixed – signal ASIC*). Czujnik ciśnienia jest wytwarzany w procesie Advanced Porous Silicon Membrane firmy Bosch, integrującym elastyczną membranę ciśnieniową i diody temperatury na silikonowym podłożu. W kompaktowej 10-pinowej obudowie LGA 2,0×2,0×0,75 mm z metalową pokrywą zmontowany jest układ SiP z dwoma strukturami scalonymi połączonymi drucikami.

Schemat blokowy układu został pokazany na **rysunku 5**. Może pracować w trzech trybach: uśpienia, pracy normalnej (z automatycznym powtarzaniem pomiaru) oraz pomiaru pojedynczego. Pomiar ciśnienia i temperatury jest wykonywany z nadpróbkowaniem 1...32 razy, oddzielnie ustawianym. Pojedynczy pomiar daje wyniki z rozdzielczością 16 bitów. Przy nadpróbkowaniu 32 razy rozdzielczość wynosi 21 bitów. Po wykonaniu pomiaru dane mogą być filtrowane filtrem IIR o długości 2...128 sekcji. Umożliwia on usunięcie krótkotrwałych zakłóceń, jakie wywołuje np. trzaskanie drzwiami. Kombinacja ustawień daje 6 zalecanych trybów pomiaru. Układ ma długi bufor FIFO (512 B) z możliwością przerzedzania danych wejściowych w zakresie 1...128. Układ zawiera pamięć ze współczynnikami kompensacji odczytów temperatury i ciśnienia.

Czujnik ciśnienia obejmuje szeroki zakres pomiarowy, w połączeniu z niskim zużyciem energii i wysoką wydajnością, co pozwala na niski pobór mocy: 3,2 µA przy próbkowaniu 1 Hz. Jest przydatny do implementacji urządzeń zasilanych bateryjnie. Układ zapewnia wysoką stabilność temperaturową, wynoszącą typowo ±0,6 Pa/K, w całym zakresie temperatur i ciśnień, bardzo mały błąd pomiaru na poziomie ±0,03 hPa, a także mały krótko- i długoterminowy dryf.

BMP390L dobrze nadaje się do wymagających zastosowań przemysłowych i IoT (logistyka, sprzęt AGD, precyzyjne maszyny rolnicze, roboty, drony). Jego podstawowe parametry [6] to:

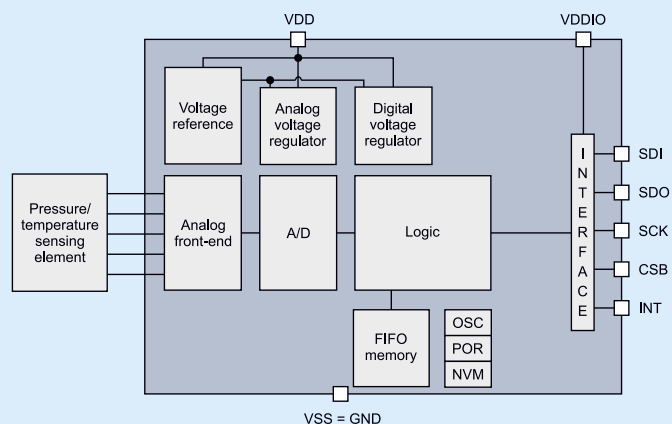
- zakres roboczy ciśnienia (pełna dokładność): 300...1250 hPa,
- napięcie zasilania rdzenia: 1,2...3,6 V,
- napięcie zasilania komunikacji: 1,65...3,6 V,
- interfejs komunikacyjny: I²C i SPI,
- średni typowy pobór prądu (transmisja danych 1 Hz): 3,2 µA,
- dokładność absolutna P=300...1100 hPa, T=0...65°C: ± 0,50 hPa,
- dokładność względna (typ.) P=700...1100 hPa, T=25...40°C: ±0,03 hPa (co odpowiada ±25 cm),
- szum ciśnienia RMS (najmniejsza szerokość pasma, najwyższa rozdzielczość): 0,02 Pa,
- współczynnik przesunięcia temperaturowego (25...40°C przy 900 Pa): ±0,6 Pa/K,
- stabilność długoterminowa (12 miesięcy): ±0,16 hPa,
- maksymalna częstotliwość próbkowania: 200 Hz.

Czujnik jakości powietrza BME680 firmy Bosch

BME680 firmy Bosch to pierwszy układ scalony, który integruje w jednej obudowie czujniki gazu, ciśnienia barometrycznego, wilgotności względnej i temperatury o wysokiej liniowości i dokładności [2]. Został opracowany specjalnie do zastosowań mobilnych i urządzeń do noszenia, w których rozmiar i niskie zużycie energii mają kluczowe znaczenie. BME680 gwarantuje, w zależności od trybu pracy, zoptymalizowane zużycie, długoterminową stabilność i wysoką odporność na zakłócenia elektromagnetyczne.

Układ scalony BME680 to jakby kilka układów w jednym: czujnik ciśnienia i temperatury (jak w układzie BMP280) z rozszerzeniem o czujnik wilgotności (jak w układzie BME280) i z dodatkowym czujnikiem gazu [S35].

Czujnik ciśnienia barometrycznego jest wykonany w technologii MEMS z zastosowaniem pomiaru rezystancji cienkiej membrany. Czujnik wilgotności względnej jest wykonany w technologii MEMS z zastosowaniem pomiaru zmian pojemności kondensatora z polimerową folią [S32]. Czujnik gazu układu BME680 jest wytwarzany w technologii MOX. Pomiar temperatury jest wykonywany poprzez pomiar zmian napięcia diody krzemowej. Każda struktura scalona zastosowana w układzie scalonym BME680 zawiera czujnik temperatury. Podstawowe parametry układu BME680 [2] to:



Rysunek 5. Schemat blokowy i wygląd czujnika ciśnienia BMP390L firmy Bosch [6]



Rysunek 6. Widok wnętrza układu BME680 firmy Bosch [7]

- napięcie zasilania: od 3,3...5 V,
- zakres pomiaru ciśnienia: od 300...1100 hPa,
- maksymalna częstotliwość próbkowania: 182 Hz,
- interfejs komunikacyjny: I²C [S36] i SPI [S37].

Układ BME680 jest zamknięty w metalowej obudowie (LGA8) o rozmiarach 3×3×0,93 mm. Daje to bardzo dobrą odporność na zakłócenia elektromagnetyczne. Widok wnętrza układu BME680 jest pokazany na **rysunku 6** [7]. Układ jest skonstruowany jako SIP (System In Package) z trzema strukturami scalonymi CMOS umieszczonymi na płytce drukowanej (PCB). Układ cyfrowy interfejsu oraz przetwarzania cyfrowego, a także układ analogowo-cyfrowy (wzmacniacze i przetworniki A/C) jest wykonany w postaci dużej struktury układu ASIC. Na górze tej struktury jest umieszczona

Wybrane pozostałe artykuły kursu „Systemy dla Internetu Rzeczy”

- [S31] Nordic Thingy:91 – platforma do prototypowania dla mobilnego IoT, EP 11/2019
- [S32] Scalone czujniki cyfrowe wilgotności i temperatury, EP 12/2019
- [S35] Cyfrowe czujniki gazu, EP 3/2020
- [S36] Pomiar jakości powietrza, ciśnienia, wilgotności i temperatury czujnikiem BME680 dołączonym do zestawu startowego CC1352R1 LaunchPad z transmisją protokołem I²C, EP 4/2020
- [S37] Pomiar jakości powietrza, ciśnienia, wilgotności i temperatury czujnikiem BME680 dołączonym do zestawu startowego CC1352R1 LaunchPad z transmisją protokołem SPI, EP 5/2020

Literatura

- [1] MEMS Pressure Sensor Comparison 2018, System Plus Consulting, <http://bit.ly/37ITgAj>
- [2] BME680 Low power gas, pressure, temperature & humidity sensor, Bosch Sensortec, <http://bit.ly/34hDeJO>
- [3] Pressure sensors: The design engineer's guide, <http://bit.ly/3smC6Aj>
- [4] LPS25HB Piezoresistive absolute pressure sensor, 260-1260 hPa, digital output barometer, I²C, SPI, <https://bit.ly/3pMXih5>
- [5] Sensors, Michał Mazurkiewicz, Arrow MultiSolution Day, Warszawa, 25.09.2018
- [6] BMP390L High-performance longevity pressure sensor, <http://bit.ly/3sAsRgf>
- [7] Bosch Sensortec's BME680, a 4-in-1 integrated environmental sensor, December 12, 2019, Bosch, <http://bit.ly/2HudsBD>
- [8] Pressure Sensors, TE Connectivity, <http://bit.ly/3qOGLus>
- [9] Pressure Sensors, Infineon, <http://bit.ly/3aOSSST>
- [10] Pressure Sensors, NXP, <http://bit.ly/3bxZTq9>

struktura scalona zawierająca czujnik ciśnienia (rysunek 6, duże pole na środku) oraz czujnik wilgotności i temperatury (lewa krawędź). Osobno została umieszczona struktura scalona czujnika gazu (po prawej). Na rysunku 6 doskonale widać druciki (*bond*) dołączone do pół kontaktowych struktur scalonych. Układ scalony BME680 został zastosowany w module komunikacji mobilnej (LTE) Thingy:91 firmy Nordic Semiconductor [S31].

Seria M5600 firmy TE Connectivity

Modułowy bezprzewodowy przetwornik ciśnienia serii M5600 firmy TE Connectivity z linii Microfused jest zamknięty w obudowie ze stali nierdzewnej i poliwęglanu [8]. Czujniki są produkowane jako piezorezystancyjne systemy MEMS i silikonowy czujnik tensometryczny (Microfused, Krystal Bond). Te wysoce dokładne, bezprzewodowe przetworniki z 24-bitowym wyjściem cyfrowym, eliminują okablowanie i zapewniają zdalne sterowanie procesem i monitorowanie poprzez komunikację bezprzewodową Bluetooth 4.0. Bezprzewodowy przetwornik ciśnienia serii M5600 nadaje się do pomiaru ciśnienia cieczy lub gazu, nawet w przypadku trudnych mediów, takich jak zanieczyszczona woda, para i płyny lekko korozyjne.

Rodzina XENSIV firmy Infineon

Rodzina cyfrowych barometrycznych czujników ciśnienia XENSIV firmy Infineon jest przeznaczona do urządzeń mobilnych i noszonych ze względu na niewielkie rozmiary, wysoką precyzję i niskie zużycie energii [9]. Pomiar ciśnienia jest oparty na technologii pojemnościowej, która gwarantuje ultrawysoką precyzję ($\pm 2/\pm 5$ cm) i względną dokładność ($\pm 0,6$ hPa) w szerokim zakresie temperatur. Wewnętrzny procesor sygnału czujnika przekształca dane wyjściowe z elementów czujnika ciśnienia i temperatury na wyniki 24-bitowe. Każdy czujnik ciśnienia został skalibrowany indywidualnie i zawiera współczynniki kalibracji. Współczynniki są używane w aplikacji do konwersji wyników pomiarów na rzeczywiste wartości ciśnienia i temperatury. Wszystkie czujniki mają FIFO, który może przechowywać ostatnie 32 pomiary. Ponieważ procesor hosta może pozostawać w trybie uśpienia przez dłuższy czas między odczytami, FIFO może zmniejszyć zużycie energii przez system. Pomiary czujnika i współczynniki kalibracji są dostępne przez interfejs szeregowy I²C/SPI.

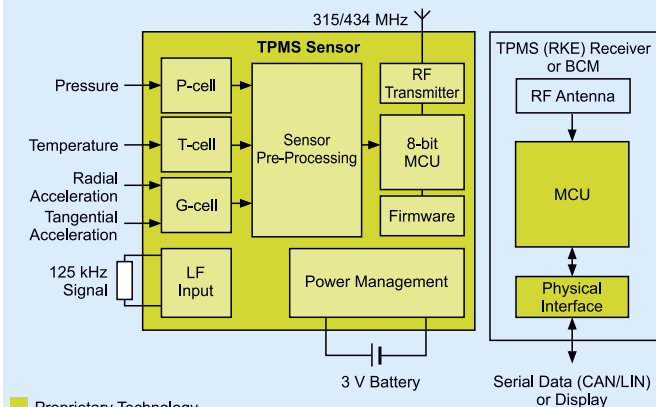
Czujnik ciśnienia barometrycznego DPS310 o bardzo niskim zużyciu energii jest zalecany do zastosowań, w których zużycie energii jest krytyczne i wymagana jest najwyższa precyzja pomiaru ciśnienia. Widok struktury scalonej czujnika ciśnienia DPS310 jest pokazany na zdjęciu tytułowym [1].

Monolityczny układ scalony DPS422 ma bardzo mały obszar krytyczny w bardzo niską obudowę (typ. 0,73 mm). Oprócz precyzyjnego pomiaru ciśnienia DPS422 oferuje również bardzo dokładne wykrywanie temperatury bezwzględnej ($\pm 0,4^{\circ}\text{C}$). Może być używany w aplikacjach takich jak inteligentne stacje pogodowe.

Układ DPS368 oferuje wysoką rozdzielczość (± 2 cm), bardzo dużą prędkość odczytu i niski pobór prądu. Czujnik może być używany w trudnych warunkach, ponieważ jest odporny na wodę (IPx8 – 50 m pod wodą przez 1 godzinę), kurz i wilgoć.

Samochodowe systemy monitorowania ciśnienia firmy NXP

Bardzo duża oferta czujników ciśnienia firmy NXP obejmuje szeroką gamę zakresów ciśnienia i różnorodne opcje obudowy [10]. Czujniki ciśnienia oparte na MEMS zapewniają solidne rozwiązania dla urządzeń, medycyny, konsumentów, przemysłu i motoryzacji. Systemy monitorowania ciśnienia w oponach TPMS (Tire Pressure Monitoring System) mogą poprawić bezpieczeństwo pojazdu i zmniejszyć zużycie paliwa, prowadząc do redukcji emisji dwutlenku węgla. Wraz



■ Proprietary Technology

Rysunek 7. Schemat systemu monitorowania ciśnienia w oponach firmy NXP [10]

ze zmniejszonym zużyciem opon, zapewniającym stałą jakość jazdy, systemy te są promowane przez przepisy rządowe na całym świecie.

Rozwiązanie do monitorowania ciśnienia w oponach firmy NXP integruje czujnik ciśnienia, mikrokontroler, nadajnik RF oraz akcelerometr jedno- lub dwuosiowy w jednym układzie [10]. Czujniki są instalowane w trzonkach zaworów lub w innym miejscu na felgach albo w oponie, aby zapewnić niezależne, częste pomiary ciśnienia powietrza dla każdej opony. Pomiary te są przesyłane do odbiornika systemu TPMS lub systemu sterowania nadwoziem (BCM).

Firma oferuje dwie rodziny układów FXTH87E (QFN 7×7×2,2 mm) oraz mniejsze NTM88 (QFN 4×4×1,98 mm) o podobnych parametrach. Ogólny schemat blokowy systemu monitorowania ciśnienia w oponach został pokazany na **rysunku 7**. Pojemnościowy czujnik ciśnienia wymaga tylko 0,14 μ A prądu zasilania (3 V, 30 kHz). Typowy pobór mocy przez układ FXTH87E wynosi 5 mA przy 434 MHz (5 dBm) i tylko 180 nA w trybie zatrzymania. MCU integruje technologie komunikacji LF i RF. Układ LFR zużywa bardzo mało energii

podczas odbierania sygnałów o niskiej częstotliwości do komunikacji krótkiego zasięgu. Wewnętrzny nadajnik RF 315/434 MHz składa się z modułu RF z oscylatorem kwarcowym, oscylatorem sterowanym napięciem (VCO), fraktalną pętlą synchronizacji fazy (PLL) i wzmacniaczem wyjściowym RF dołączonym do anteny. Zawiera również mały kontroler automatu stanowego, generator czasu losowego i sprzętowy bufor danych do automatycznego nadawania lub bezpośredniego sterowania z MCU.

Układy NBP8 i NBP9 firmy NXP to nowa rodzina zintegrowanych czujników BPMS (Battery Pressure Monitoring Sensor) do monitorowania ciśnienia w akumulatorach. Mają one budowę zbliżoną do czujników TPMS.

Podsumowanie

Zmniejszanie rozmiaru czujników ciśnienia otwiera nowe zastosowania. Inteligentne zegarki i monitory fitness wykorzystują małe, wypełnione żelazem czujniki ciśnienia produkowane przez TE. Pomagają w określeniu wysokości, dzięki czemu zapewniają znacznie dokładniejsze wskazanie lokalizacji w połączeniu z innymi czujnikami, takimi jak odbiorniki GPS i akcelerometry.

Systemy kontroli stabilności w pojazdach mogłyby skorzystać z dodatkowych informacji dostarczanych przez czujniki systemu TPMS. Obecnie dane TPMS są przesyłane w bardzo długich odstępach czasu i są przydatne tylko do określenia spadku ciśnienia w oponach. Integracja danych dotyczących ciśnienia w oponach z kontrolą stabilności wymagałaby częstszego przysyłania większej ilości danych, co znacznie skróciłoby żywotność baterii w istniejących projektach. Technologia pozyskiwania energii, która pozyskuje energię elektryczną z drgań opon, może uniknąć wymiany lub znacznie wydłużyć żywotność akumulatorów zasilających węzły TPMS w każdej oponie.

Henryk A. Kowalski
Politechnika Warszawska
Instytut Informatyki

REKLAMA

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

MATERIAŁY DODATKOWE



MEDIA

Aby skorzystać z materiałów dodatkowych dołączonych do numeru, należy:

1. Wejść na stronę **www.media.avt.pl**,
2. Zarejestrować się lub zalogować,
3. Wybrać wydanie „Elektroniki Praktycznej”, które ma trafić do biblioteki osobistej,
4. Odpowiedzieć na proste pytanie dotyczące bieżącego numeru,
5. Pobrać pliki.





Eksperymenty z FPGA (16)

Pamięć RAM



W poprzednim odcinku rozważaliśmy, w jaki sposób można w układzie FPGA zrealizować obliczenia iteracyjne. Jako przykład użyliśmy transformaty Fouriera. Dzisiaj przygotujemy implementację, a następnie przetestujemy ją w symulacji i sprzęcie. Przy okazji dowiemy się, jak modelować pamięć RAM. Wszystkie przykłady można pobrać z repozytorium https://gitlab.com/rysy_core/fpga-experiments.

Na początku przygotowujemy jedno z głównych bloków nowego projektu, czyli dwuportową pamięć RAM. Tego typu blok nosi po angielsku nazwę *simple dual-port*. Oznacza to, że możliwy jest równoczesny zapis i odczyt. Nie można jednak wykonać dwóch zapisów albo dwóch odczytów. Pamięć o takich możliwościach nazywa się *true dual-port*. Moduły pamięci M9K, w które wyposażony jest nasz układ FPGA, są właśnie tego drugiego typu, jednak nam obecnie nie jest potrzebna jego pełna funkcjonalność.

Kod SystemVerilog z **listingu 1** modeluje zachowanie naszej pamięci. Mamy dwa parametry:

- K – liczbę bitów w słowie,

Listing 1. Implementacja pamięci RAM (14_iterative_fft/ram.sv)

```
10 module ram #(
11     parameter N = 32,
12     parameter LOG_N = $clog2(N),
13     parameter K = 9
14 ) (
15     input wire clk,
16     input wire wr,
17     input wire [LOG_N-1:0] addr_wr,
18     input wire [K-1:0] data_wr,
19     input wire [LOG_N-1:0] addr_rd,
20     output logic [K-1:0] data_rd
21 );
22 logic wr_r;
23 logic [LOG_N-1:0] addr_wr_r;
24 logic [K-1:0] data_wr_r;
25 logic [LOG_N-1:0] addr_rd_r;
26 logic [K-1:0] data[N-1:0];
27
28 always_ff @(posedge clk) begin
29     wr_r <= wr;
30     addr_wr_r <= addr_wr;
31     data_wr_r <= data_wr;
32     addr_rd_r <= addr_rd;
33 end
34
35 always_ff @(posedge clk)
36     if (wr_r)
37         data[addr_wr_r] <= data_wr_r;
38
39 always_ff @(posedge clk)
40     data_rd <= data[addr_rd_r];
41
42 endmodule
```

- N – liczbę słów pamięci.

Dodatkowo obliczamy zmienną `LOG_N`, która oznacza liczbę bitów potrzebnych do przechowania adresu.

Dalej znajdziemy wejścia i wyjścia. Pierwsze z nich (`clk`) to zegar. Dalej znajdziemy port odpowiedzialny za zapis:

- `addr_wr` – adres słowa w pamięci,
 - `data_wr` – dane do zapisania,
 - `wr` – flaga oznaczająca, że dane są poprawne i mają zostać wpisane.
- Pozostałe tworzą port pozwalający na odczyt:

- `addr_rd` – adres w pamięci,
- `data_rd` – odczytane dane.

Następnie znajdziemy pomocnicze sygnały. Najważniejsza z nich jest tablica `data`, w której będą przechowywane dane. Dalej znajdziemy bloki logiki sekwencyjnej. Pierwszy z nich (linia 28...33) realizuje opóźnienie wszystkich wejść o jeden takt zegara. Drugi (wiersze 35...37) realizuje zapis. Jak widzimy, wpis do pamięci zajmuje dwa cykle zegara.

Na samym końcu mamy odczyt. Odpowiednie słowo zostaje wybrane z pamięci i wpisane na wyjście. Widzimy więc, że wybrane dane znajdują się na wyjściu na drugim cyklu zegara po pojawieniu się adresu na wejściu.

Ostatnim problemem, który tylko zasygnalizuję, jest zachowanie, gdy następuje odczyt i zapis pod ten sam adres (*read-during-write*). Informację o wybranym trybie znajdziemy w logach programu Quartus:

Info (286033): Parameter READ_DURING_WRITE_MODE_MIXED_PORTS set to OLD_DATA

Więcej informacji na temat bloków M9K znajdziemy w [1].

Aby sprawdzić działanie naszego kodu, powstał krótki testbench. Jego fragmenty znajdziemy w **listingu 2**. W liniach 27...35 znajdziemy generowanie danych wejściowych. Do każdej komórki pamięci wpisujemy wartość jej adresu. Następnie w drugiej części (45...55) odczytamy każdą z zapisanych wartości. Za pomocą polecenia `assert` (linia 51) sprawdzamy, czy uzyskaliśmy poprawny wynik. Jeżeli nie, zostanie wypisany odpowiedni komunikat o błędzie.

Jak zwykle symulację możemy uruchomić w programie ModelSim za pomocą polecenia:

```
do ./ram.do
```

Dzięki temu, że na jego końcu została dodana linia:

```
coverage report -assert
```

W logach symulacji dostaniemy raport na temat asercji. Jego treść znajdziemy w **listingu 3**.

Skupmy się jednak na **rysunku 1**, który prezentuje przebiegi czasowe. Sygnały zostały podzielone na cztery grupy. Na samej górze mamy zegar, następnie port zapisujący, dane, a na końcu odczyt. Zachęcam do samodzielnego przeanalizowania, na których zboczach zegara następuję zapisanie, a kiedy odczyt danych.

Aby zobaczyć, jak pamięć RAM jest realizowana w sprzęcie, przygotujemy nowy projekt w środowisku Quartus (*14_iterative_fft/ram.qpf*). Zawiera on tylko nasz nowy moduł. Nie pełni więc żadnej sensownej funkcji. Pokaże nam tylko, jak nasz moduł zostanie zaimplementowany.

Na **rysunku 2** został zaprezentowany moduł RAM w widoku RTL. Widzimy tu rejestry na wejściach i wyjściach. Natomiast w środku mamy moduł SYNC_RAM. Widzimy więc, że środowisko poprawnie zinterpretowało nasz kod i wygenerowało blok pamięci RAM. Gdy przejdziemy do widoku Technology Map (Post-Fitting), zobaczymy już tylko jeden moduł. Oznacza to, że zostały wykorzystane jego wewnętrzne rejestry. Możemy się o tym przekonać, otwierając jego wewnętrzną konfigurację (**rysunek 4**). Widzimy na nim, że aby

Listing 2. Fragment testów pamięci RAM (14_iterative_fft/ram_tb.sv)

```
27 initial begin
28   wr = 1'b1;
29   for (int i=0; i<N; i++) begin
30     addr_wr = i;
31     data_wr = i;
32     @(posedge clk);
33   end
34   wr = 1'b0;
35 end
45 initial begin
46   repeat (5) @(posedge clk);
47   for (int i=0; i<N+LAT; i++) begin
48     addr_rd = i;
49     @(posedge clk);
50     if (i >= LAT)
51       assert (data_rd == i-LAT)
52       else $display("Wrong val %d != %d", data_rd, i-LAT);
53   end
54   $stop;
55 end
```

Listing 3. Raport z symulacji

```
# Coverage Report Summary Data by instance
```

```
#
```

```
# === Instance: /ram_tb
```

```
# === Design Unit: work.ram_tb
```

```
#
```

Enabled Coverage	Bins	Hits	Misses	Coverage
Assertions	1	1	0	100.00%

```
#
```

```
# TOTAL ASSERTION COVERAGE: 100.00% ASSERTIONS: 1
```

```
#
```

```
# Total Coverage By Instance (filtered view): 100.00%
```



Rysunek 1. Przepływowa implementacja FFT

uzyskać pełną częstotliwość pracy, powinniśmy jeszcze dodać jeden przerzutnik na wyjściu z naszego modułu.

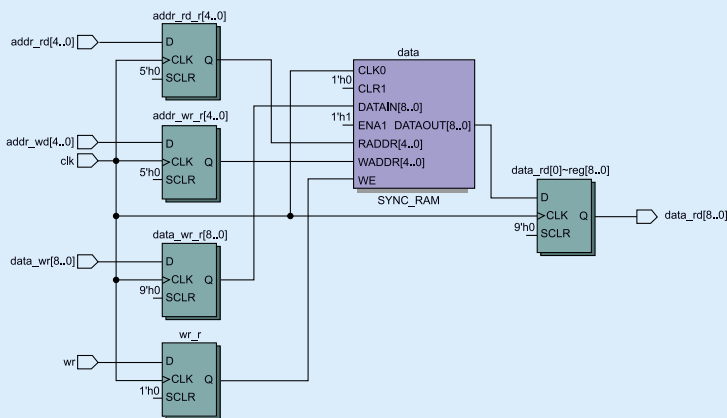
Implementacja FFT

Mamy już gotową pamięć RAM. Możemy więc przystąpić do składania naszego iteracyjnego procesora FFT. Cały kod znajduje się w pliku *14_iterative_fft/fft_iter.sv*. Tutaj przyjrzymy się tylko kilku jego fragmentom.

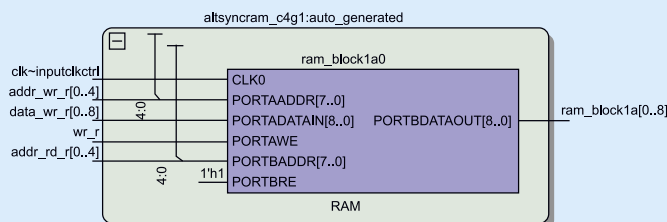
Na **listingu 4** widzimy interfejs naszego modułu. Tak jak w naszej przepływowej implementacji, przyjmuje on dwa parametry: *N* oznaczający długość transformaty oraz *K*, czyli precyzję reprezentacji liczb. Dalej znajdziemy wejścia. Pierwsze dwa są standardowe: zegar *clk* i reset *rst*. Dalej znajdziemy liczbę zespoloną w postaci dwóch liczb *d_in_re* i *d_in_im*. Nowym elementem jest *addr_in*. Jest to adres, pod którym próbka zostanie zapisana w pamięci RAM. Procesowanie danych rozpocznie się przy każdej zmianie stanu sygnału *start* na przeciwny.

W przypadku wyjść dochodzi nam nowy sygnał *ready*, oznaczający, że przetwarzanie się skończyło i można rozpocząć zbieranie danych dla kolejnej transformaty. Dalej mamy po kolei zespolony sygnał *d_out_re*, *d_out_im*, numer próbki *addr_out* oraz sygnał poprawności danych *valid_out*.

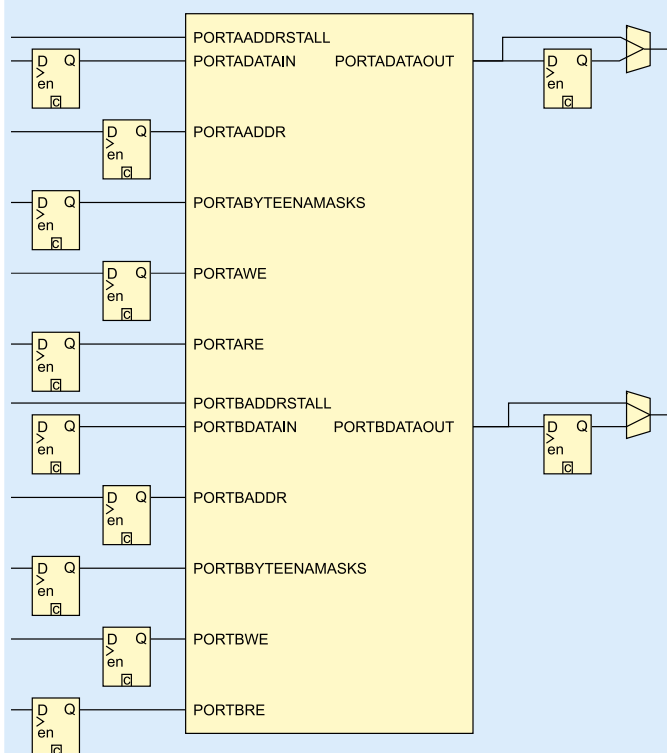
Na **listingu 5** znajdziemy sygnały kontrolne. W pierwszym bloku zatraskujemy w *start1* poprzedni stan sygnału *start*. Zmianę



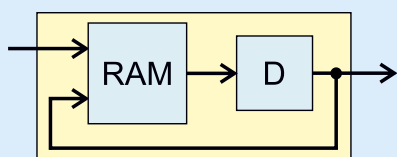
Rysunek 2. Moduł RAM w widoku RTL



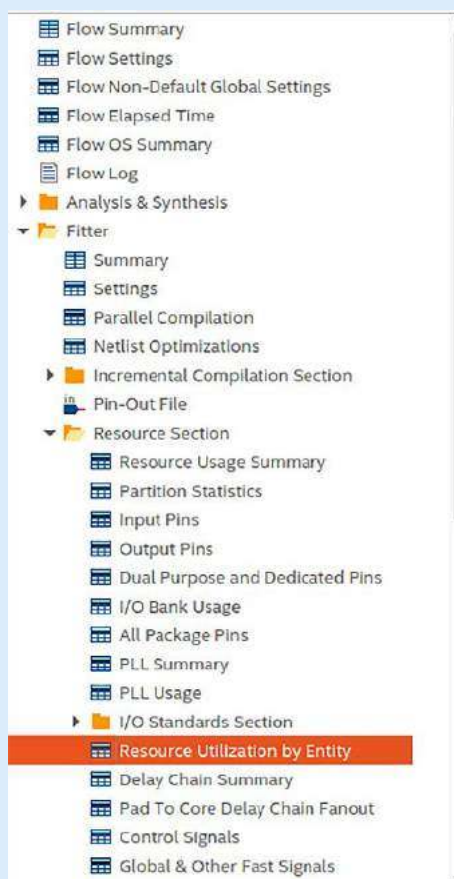
Rysunek 3. Blok RAM w widoku Technology Map (Post-Fitting)



Rysunek 4. Konfiguracja bloku M9K



Rysunek 5. Opóźnienie w pętli



Rysunek 6. Raport o zużyciu zasobów przez poszczególne moduły

Listing 4. Interfejs iteracyjnego procesora FFT (14_iterative_fft/fft_iter.sv)

```

10 module fft_iter #(
11     parameter K = 8,
12     parameter N = 2,
13     parameter LOG_N = $clog2(N),
14     parameter LLOG_N = $clog2(LOG_N)
15 ) (
16     input wire clk,
17     input wire rst,
18     input wire signed [K-1:0] d_in_re,
19     input wire signed [K-1:0] d_in_im,
20     input wire [LOG_N-1:0] addr_in,
21     input wire valid_in,
22     input wire start,
23     output logic ready,
24     output logic signed [K-1:0] d_out_re,
25     output logic signed [K-1:0] d_out_im,
26     output logic [LOG_N-1:0] addr_out,
27     output logic valid_out
28 );

```

Listing 5. Sygnały kontrolne (14_iterative_fft/fft_iter.sv)

```

56 always_ff @(posedge clk)
57 if (!rst)
58     start1 <= '0;
59 else
60     start1 <= start;
61
62 always_ff @(posedge clk)
63 if (!rst)
64     work <= '0;
65 else if (start != start1)
66     work <= 1'b1;
67 else if (work & mod_N_ov & mod_LN_ov)
68     work <= 1'b0;
69
72 counter #(.N(N)) mod_N (
73     .clk(clk),
74     .rst(rst),
75     .ce(work),
76     .q(i),
77     .ov(mod_N_ov));
78
79 counter #(.N(LOG_N)) mod_log_N (
80     .clk(clk),
81     .rst(rst),
82     .ce(work & mod_N_ov),
83     .q(n),
84     .ov(mod_LN_ov));

```

Listing 6. Wyznaczanie adresu odczytu pamięci (14_iterative_fft/fft_iter.sv)

```

86 always_comb
87 for (int ii = 0; ii < LOG_N; ii++)
88 if (ii > LOG_N-1-n)
89     ram_addr[ii] = i[ii];
90 else if (ii == LOG_N-1-n)
91     ram_addr[ii] = i[0];
92 else if (ii < LOG_N-1)
93     ram_addr[ii] = i[ii+1];
94 else
95     ram_addr[ii] = '0;

```

jego stanu wykrywamy za pomocą sprawdzenia, czy stan tych dwóch zmiennych jest różny (linia 65). Następuje wtedy ustawienie wewnętrznego sygnału `work`. Powoduje on, że liczniki `mod_N` i `mod_log_N` rozpoczną pracę. Sygnał `work` jest zerowany, gdy oba liczniki się przepełnią, czyli po $N \log N$ cyklach.

Ostatni fragment kodu, który przeanalizujemy, to generowanie adresu odczytu z pamięci. Znajdziemy go na **listingu 6**. Implementuje on ideę zaprezentowaną w tablicy 3 z poprzedniego odcinka. Korzystamy z bloku `always_comb`, czyli tworzymy logikę kombinacyjną. Za pomocą pętli `for` dokonujemy przypisania kolejnych bitów adresu. Wynik naszej operacji znajdzie się w `ram_addr`.

Musimy jeszcze zastanowić się nad latencją. Uproszczony model naszego procesora został pokazany na **rysunku 5**. W poprzedniej części analizowaliśmy przypadek, gdy latencja obliczeń pomiędzy odczytem i zapisem do RAM-u była zerowa. W praktyce jednak zarówno dostęp do pamięci, jak i wykonywanie działań wymaga kilku cykli zegara. Na rysunku reprezentuje je blok z literą D. W naszym

Tabela 1. Porównanie zużycia zasobów

	Przepływowa	Iteracyjna
Elementy logiczne	661	203
Rejestry	581	174
Bitów pamięci	356	280
Bloki M9K	5	2
DSP 9x9	20	4

przypadku latencja jest równa 6. Oznacza to, że tyle cykli zegara minie, zanim nowa wartość zostanie zapisana do pamięci. Dla naszej implementacji oznacza to, że dopiero po tym czasie kolejna iteracja obliczeń będzie mogła sięgnąć ponownie do tej samej komórki pamięci. Aby to zapewnić, minimalna długość naszej transformaty wynosi 16. I taka też jest użyta w testbenchu `14_iterative_fft/fft_iter_tb.sv`. Uruchamiamy go rozkazem:

```
do ./fft_iter.do
```

W wyniku dostaniemy porównanie wektora testowego z otrzymanymi wynikami oraz błąd średniokwadratowy RMS. Dla zadanych danych wynosi on 1. Otrzymane przebiegi są dość duże i byłyby źle widoczne na wydrukowanym rysunku, dlatego zachęcam do uruchomienia symulacji i ich samodzielnej analizy.

Ostatnim krokiem jest podmienienie wersji przepływowej na iteracyjną. Odpowiedni kod znajdziemy w pliku `14_iterative_fft/fft_top`.

sv. Aby go przetestować, w sprzęcie budujemy projekt `fft.qpf` i programujemy płytkę Rysino.

Na koniec porównamy jeszcze zużycie zasobów pomiędzy naszymi dwoma implementacjami FFT. Skorzystamy z raportu o liczbie elementów wykorzystywanych przez poszczególne komponenty. Jak widzimy na **rysunku 6** znajdziemy go w zakładce Fitter/Resource Section/Resource Utilization by Entity. Zebrane wyniki widzimy w **tabeli 1**. Wersja iteracyjna wymaga ponadtrzykrotnie mniej elementów logicznych. Zużycie pamięci jest mniejsze o ponad połowę. Największą oszczędność mamy jednak w mnożarkach, gdzie używamy ich tylko 4, zamiast 20.

Podsumowanie

Przekonaliśmy się, że nawet to samo zadanie można zrealizować na różne sposoby. Przygotowaliśmy dwie wersje FFT. Pierwsza przepływowa pozwala pracować z dużo wyższą częstotliwością, ale zużywa znacznie więcej zasobów niż podejście iteracyjne. Wybór odpowiedniego rozwiązania zależy od wymaganej szybkości oraz rozmiaru dostępnego układu FPGA.

Rafał Kozik
rafkozik@gmail.com

Źródła:

[1] Intel MAX 10 Embedded Memory User Guide
<http://intel.ly/306j6K8>

REKLAMA

O projektach, mini, soft i wielu innych diskutuj
na <https://forum.ep.com.pl>

Ogłoszenia i reklamy hurtowni, sklepów, importerów, producentów, dealerów, itp. są płatne. Cena podstawowego modułu (35x20 mm) wynosi 66 zł + VAT. Koszt minimalnej ramki dla ogłoszeń o wielkości 3 modułów wynosi 198 zł + VAT. Moduły można łączyć zarówno w pionie jak i w poziomie. Maksymalna szerokość ogłoszenia to 5 modułów, wysokość 12 modułów. Rabaty stosujemy wyłącznie dla reklam powyżej 8 modułów: 4-6 emisji 10%, 7-11 emisji 15% i od 12 emisji 25%.



Oferta specjalna:

- publikacja fragmentów cennika w ramce o wielkości: 8 modułów w pionie cena 264 zł + VAT, 9 modułów w poziomie 305 zł + VAT
 - rabat specjalny dla firm poszukujących pracowników wynosi 25% (wyłącznie dla dużych reklam).
- Wszelkich informacji udziela **Grzegorz Krzykawski, tel. 22 257 84 60**, e-mail: grzegorz.krzykawski@ep.com.pl.

Reklamy do tej rubryki mogą być przygotowane przez Zamawiającego w CMYK, w formacie CDR (wersja do 2018), AI, EPS (tekst zmieniony na krzywe), PSD, PDF (programy Adobe w wersji do CC 2021 wyłącznie PC/Mac) z próbnym wydrukiem. Małe reklamy mogą być przygotowane w redakcji (gratis) na podstawie odrębnego szkicu. Opracowania te nie będą jednak wówczas uzgadniane z Zamawiającym przed oddaniem do druku.

Redakcja nie odpowiada za treść reklam i ogłoszeń zamieszczonych w Elektronice Praktycznej

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

www.ep.com.pl

Hurtownia elementów elektronicznych "AKSOTRONIK" zaprasza do swojego sklepu internetowego
 Zaloguj się i kupuj ON-LINE na naszej stronie:
WWW.AKSOTRONIK.COM.PL

Aksotronik
 ELEMENTY ELEKTRONICZNE

W ofercie mamy: Magnesy neodymowe oraz ferrytowe, Kostki elektryczne zaciskowe, Szereżki węglowe do elektronarzędzi, Pudełka/organizery, Przeliczniki klawiszowe, Przeliczniki do elektronarzędzi, Druty oporowe, Przewodniki do przewodów, Złącza hermetyczne, Zestawy śrubek M2, M3 z nakrętkami i podkładkami.

Ważne!! Powyższe ceny dotyczą zakupów minimalnych ilości hurtowych, poprzez nasz sklep internetowy. W swojej ofercie posiadamy m.in.: półprzewodniki (diody, układy scalone, tranzystory, triaki, elementy optoelektroniczne), elementy dystansowe, złącza, przeliczniki, elementy akustyczne, rezystory, kondensatory, kwarce, podstawki, moduły Arduino.

Zapraszamy do kontaktu: **INFO@aksotronik.com.pl, tel. (22) 783-20-51**

www.delta.poznan.pl



Wielkość matrycy: 5 Mpx (Sony Starvis)
 Obiektyw: 2.8 - 12 mm (kąt widzenia 86° - 24°)
 Rozdzielczość: 2592 x 1944 (5 Mpx)
 Zasięg oświetlania IR: 40 m
 Protokoły sieciowe: TCP/IP, DDNS, NTP, ONVIF 2.4
 PoE 802.3af, Klasa szczelności IP66
 3D-DNR, WDR, DEFOG, H265+, ROI, ...
 Aplikacje dla: Android, iOS
 Bardzo dobra jakość w jeszcze lepszej cenie



Wielkość matrycy: 8,3 Mpx (przetwornik 1/1.8")
 Obiektyw: 3.6 - 11 mm (kąt widzenia 90° - 36°)
 Rozdzielczość: 3840 x 2160 (4K UHD)
 Przepływność (bitrate): 64 ... 12000 kbit/s
 Protokoły sieciowe: TCP/IP, NTP, DNS, ONVIF 2.4
 PoE 802.3af, Klasa szczelności IP66
 3D-DNR, WDR, DEFOG, ROI, H265+, ...
 Aplikacje dla: Android, iOS
 Wysoka rozdzielczość dostępna w atrakcyjnej cenie



Wielkość matrycy: 5 Mpx (przetwornik 1/2.8")
 Obiektyw: 2.8 - 12 mm (kąt widzenia 86° - 24°)
 Rozdzielczość: 2592 x 1944
 Obsługa audio - mikrofon zewnętrzny
 Protokoły sieciowe: TCP/IP, NTP, DDNS, FTP
 PoE 802.3af, Klasa szczelności IP66, H.265+
 3D-DNR, DEFOG, D-WDR, ROI, detekcja ruchu, ...
 Aplikacje dla: Android, iOS
 Bardzo dobry stosunek jakości do ceny

Największy wybór w Polsce

ELMAX 1988
OBWODY DRUKOWANE
 Produkcja, Projektowanie, Montaż

Certyfikat Underwriters Laboratories
 94V-0 E480148 TYPE 1

Zakład produkcyjny:
 05-260 Marki ul. Duża 1
 tel. 22 781 63 95
 22 761 95 80
 fax. 22 781 63 95 w 23
www.elmax.waw.pl
elmax@elmax.waw.pl

Produkty i usługi:

- Płytki jednostronne
- Płytki dwustronne
- Płytki na podłożu aluminium
- Płyty czołowe FR4
- Serie dowolne
- Prototypy
- Maksymalny wymiar płytek 1w 630 mm
- Dokumentacja technologiczna
- Dokumentacja konstrukcyjna
- Trawione szablony SMD
- Aktywny kalkulator prototypów na stronie internetowej
- Montaż elektroniki
- Krótkie terminy
- Wykonania super expresowe
- Pokrycie Sn lub SnPb inne na życzenie
- Maski, opisy montażowe w różnych kolorach

NINIEJSZE OGŁOSZENIA SĄ INFORMACJĄ HANDLOWĄ I NIE STANOWIĄ OFERTY W MYŚL ART. 66, § 1 KODEKSU CYWILNEGO. EWENTUALNIE PODANE CENY MOGĄ ULEC ZMIANIE.



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. Leszczyńska 11
 tel. 22 257 84 99, faks 22 257 84 00

Wydawca:

Wiesław Marciniak

Adres redakcji:

03-197 Warszawa, ul. Leszczyńska 11
 tel. 22 257 84 60
 faks 22 257 84 00
 e-mail: redakcja@ep.com.pl
www.ep.com.pl

Redaktor Naczelny:

Damian Sosnowski

Redaktor Programowy, Przewodniczący Rady Programowej:

Piotr Zbysiński

Menedżer Magazynu:

Katarzyna Gugala

Szef Pracowni Konstrukcyjnej:

Grzegorz Becker

Redakcja strony internetowej www.ep.com.pl

MAD Sp. z o.o.

Zespół marketingu i reklamy:

Katarzyna Gugala, tel. 22 257 84 64
 Bożena Krzykawska, tel. 22 257 84 42
 Grzegorz Krzykawski, tel. 22 257 84 60

Sekretarz Redakcji:

Grzegorz Krzykawski, tel. 22 257 84 60

DTP i okładka:

MAD Sp. z o.o.

Stali Współpracownicy:

Nikodem Czechowski, Jakub Tyburski, Lucjan Bryndza, Jarosław Doliński, Andrzej Gawryluk, Krzysztof Górski, Tomasz Jabłoński, Michał Kurzela, Szymon Panecki, Sławomir Skrzyński, Ryszard Szymaniak, Adam Tatuś, Robert Wołgajew

Uwaga!

Kontakt z wymienionymi osobami jest możliwy via e-mail, według schematu: imię.nazwisko@ep.com.pl

Prenumerata w Wydawnictwie AVT

www.avt.pl/prenumerata

lub tel. 22 257 84 22

e-mail: prenumerata@avt.pl

www.sklep.avt.pl, tel. 22 257 84 66

Prenumerata w RUCH S.A.

www.prenumerata.ruch.com.pl

lub tel. 801 800 803, 22 717 59 59

e-mail: prenumerata@ruch.com.pl



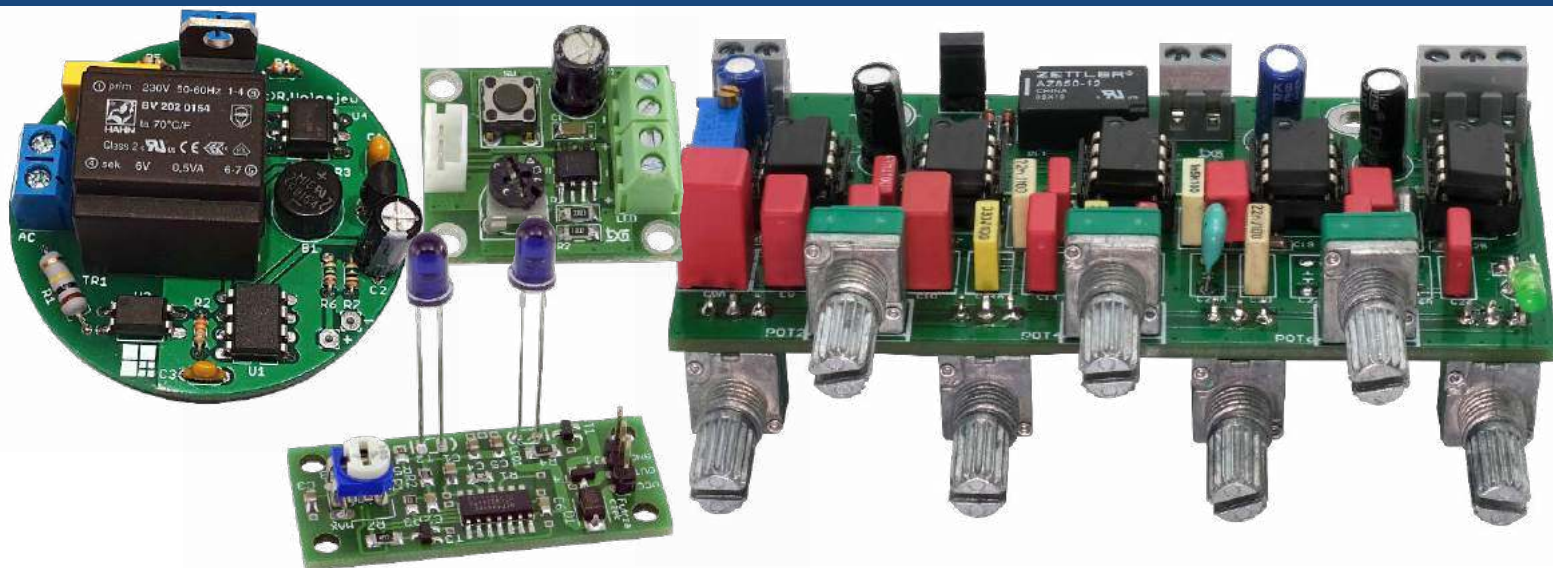
Wydawnictwo
 AVT-Korporacja Sp. z o.o.
 należy do **Izby Wydawców Prasy**

Copyright AVT-Korporacja Sp. z o.o.

03-197 Warszawa, ul. Leszczyńska 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”.





tDimmer

Mikrokontrolery dzisiaj znajdują się prawie wszędzie, od prostych urządzeń AGD po skomplikowane systemy stosowane w wojsku, medycynie czy nauce. Dzięki nim rośnie funkcjonalność urządzeń a jednocześnie maleje cena ich skonstruowania. Zastosowanie tych komponentów staje się oczywiste nawet w urządzeniach, które można byłoby zbudować bez ich udziału. Zaprezentowany ściemniacz oświetlenia sieciowego sterowany dwubiegunowym łącznikiem żaluzjowym (lub zwykłymi mikroprzełącznikami), dzięki zastosowaniu mikrokontrolera zyskał dodatkową funkcjonalność oraz ergonomię obsługi.

7-pasmowy korektor graficzny

Korektor graficzny jest często używanym elementem domowego toru audio lub studyjnego systemu nagłośnienia. Umożliwia kształtowanie charakterystyki częstotliwościowej sygnału w znacznie bardziej precyzyjny sposób niż klasyczny regulator barwy dźwięku, dopasowując brzmienie głosu lub instrumentu pod kątem realizacji nagrania lub korygując charakterystykę pomieszczenia w celu eliminacji rezonansów lub tłumienia sygnału. Opisany moduł jest klasycznym układem korektora graficznego opartego na symulacji indukcyjności za pomocą wzmacniacza operacyjnego w układzie żyratora.

Energooszczędny czujnik odbiciowy

Czujnik odbiciowy jest urządzeniem, które reaguje na przybliżenie przeszkody, np. ręki. Na wyjściu wystawia wówczas odpowiedni sygnał. Prezentowany układ może załączać np. pompkę w automatycznym podajniku płynu dezynfekującego. Można go zasilac bateriami, ponieważ pobiera bardzo mało energii.

Liniowy sterownik LED 3W

W artykule opisano sterownik łańcucha lub pojedynczej diody LED o mocy do 3 W (12 V/400 mA). Układ oprócz stabilizacji i regulacji prądu diody ma funkcję płynnego załączania i wyłączania, a cała aplikacja wymaga zaledwie kilku elementów. Sterownik został zbudowany na bazie specjalizowanego układu IS32LT3120.

a ponadto tematy wiodące EP 4/2021:

KAMERY W SYSTEMACH WBUDOWANYCH

PŁYTKI WIELOWARSTWOWE. PROJEKTOWANIE I PRODUKCJA

Wykaz firm ogłaszających się w tym numerze „Elektroniki Praktycznej”

AKSOTRONIK.....	114
ARMEL	114
ARROW	54, 55
ARTRONIC.....	83
BORNICO.....	13
COMPUTER CONTROLS.....	15
DELTA-OPTI.....	114
ELMAX.....	114
FAULHABER	58, 59
FERYSER	7
GAMMA	7
GLYN	88, 89
MICROCHIP.....	116
PIEKARZ	7
RENEX.....	7
RS COMPONENTS.....	9
TME	56, 57
UNISYSTEM.....	85, 87



Przetrwaj lawinę z Microchip SiC

Nieźrównana wytrzymałość i stabilność

Konwersja dużych mocy może wywołać wielką awarię. Czy Twoje komponenty półprzewodnikowe ją przetrwają?

Twoi klienci tego potrzebują. Dzięki nieźrównanej wytrzymałości i długoterminowej niezawodności, tranzystory MOSFET SiC firmy Microchip to właściwy wybór do bezpiecznego i pewnego zaangażowania w technologię SiC.

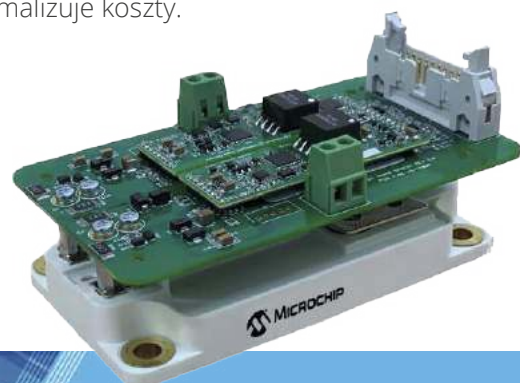
Poza stabilnością parametrów, MOSFET-y SiC firmy Microchip charakteryzują się odpornością na przeciążenia oraz zwarcia w obwodach mocy i przebicia lawinowe, utrzymując działanie krytycznych systemów zgodnie z założeniami.

Aby usprawnić proces projektowania SiC, firma oferuje kompleksowe rozwiązania systemowe, które integrują tranzystory MOSFET SiC z zaawansowanymi rozwiązaniami obudów i programowalnymi sterownikami bramek. Jak zawsze, produkty są wspierane przez światowej klasy pomoc techniczną, niezawodny łańcuch dostaw i ukierunkowaną na klientów politykę wycofywania z produkcji starszych generacji podzespołów.

Microchip oferuje najbardziej niezawodne i wytrzymałe tranzystory MOSFET SiC, zarówno jako elementy dyskretnie, jak i moduły. Zostały one zaprojektowane, aby przetrwać w najbardziej wymagających aplikacjach. Projektuj z Microchip SiC. Projektuj z ufnością.

Charakterystyka

- Tlenek bramki o wysokiej integralności zapewnia stabilną wartość napięcia progowego i zabezpiecza przed awarią przez ponad 100 lat - nawet w podwyższonych temperaturach.
- Zintegrowane z tranzystorami diody podłożowe w naszych tranzystorach SiC MOSFET nie ulegają degradacji, co zapewnia stałą charakterystykę i pozwala na wyeliminowanie kosztownego zabezpieczenia w postaci zewnętrznej diody antyrównoległej.
- Rezystancja w stanie włączenia MOSFET-ów SiC firmy Microchip charakteryzuje się najniższą w branży wrażliwością na temperaturę, co dodatkowo poprawia parametry i optymalizuje koszty.



microchip.com/sic



eprasa.pl 727141199c

Nazwa i logo Microchip oraz logo Microchip są zastrzeżonymi znakami towarowymi firmy Microchip Technology Incorporated w Stanach Zjednoczonych i innych krajach. Wszystkie inne znaki towarowe są własnością ich zarejestrowanych właścicieli.
© 2021 Microchip Technology Inc. Wszelkie prawa zastrzeżone. DS20006490A, MEC2368A-POL-02-21