

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA + FTP

● Międzynarodowy magazyn elektroników konstruktorów ● Kwiecień ● 4/2020 ●



Niezbędnik elektronika na DVD

inspirujące, użyteczne projekty

Robot do teleprezencji sterowany poprzez Wi-Fi • MudPi – automatyczny system ogrodniczy do irygacji roślin
• Prosta kamera termowizyjna • Cyfrowy wzmacniacz mocy z interfejsem Bluetooth • Magnetometr GaussMeter
• Magnetometr QMC5883 jako kompas elektroniczny
• Bateriajny mini wzmacniacz mocy • Czterokanałowy moduł przekaźnikowy sterowany I²C • Przetwornica napięcia dla mikrofonów phantom • Podświetlany przycisk dotykowy

podzespoły, sprzęt, aplikacje

Silniki BLDC. Określanie położenia wirnika • Wyświetlacze. Najnowsze technologie

tutoriale

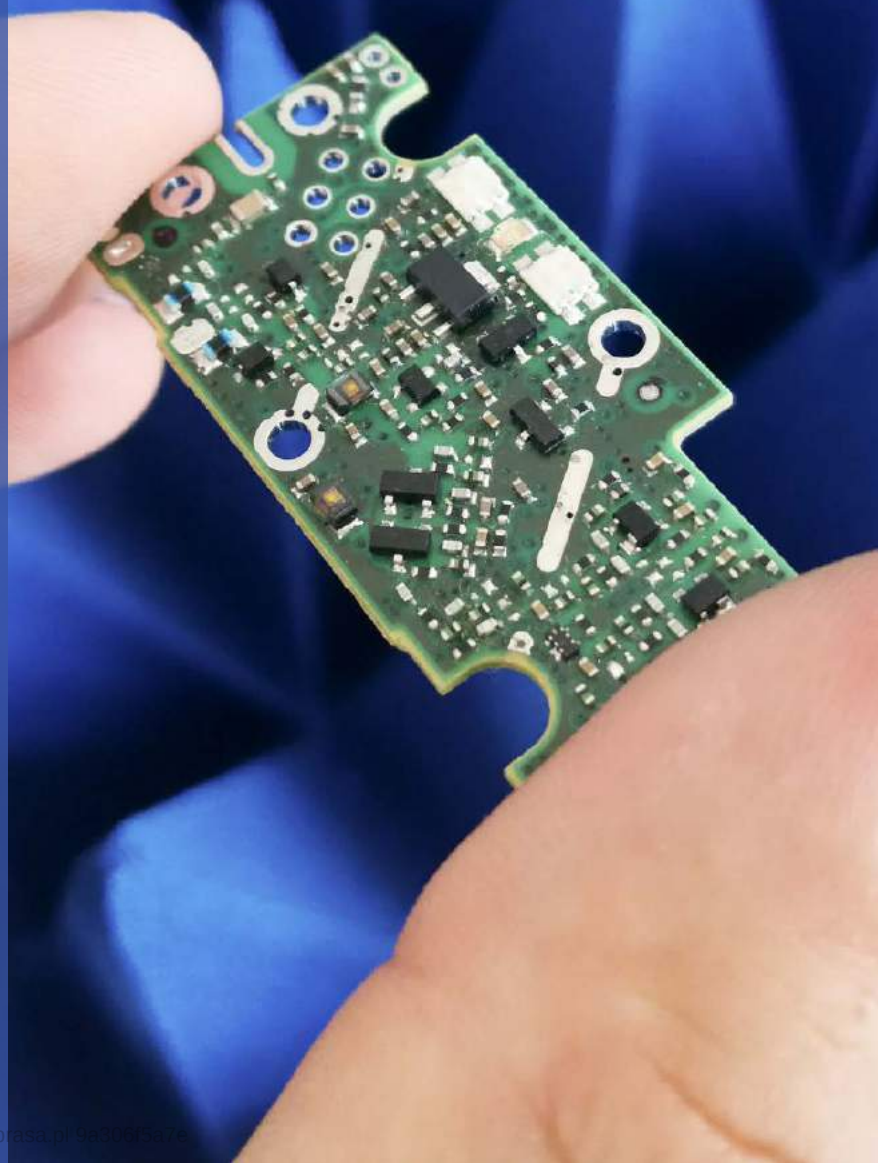
Mistrzostwa Polski Programistów PLC • Debugowanie projektów w środowisku Keil MDK. Charakterystyka Debuggera Arm Keil MDK • Systemy wbudowane: dokąd zmierzamy? Spojrzenie na trendy, innowacje i wyzwania w świecie systemów wbudowanych • Jak napisać aplikację mobilną poprzez... UART • Symulacja i pomiar czyli LTspice i Analog Discovery 2 w rękach konstruktora. Harmoniczne • Projektowanie i prototypowanie

kursy

Eksperymenty z FPGA • Systemy dla Internetu Rzeczy. Pomiar jakości powietrza, ciśnienia, wilgotności i temperatury czujnikiem BME680 dołączonym do zestawu startowego CC1352R1 LaunchPad

KOMPATYBILNOŚĆ ELEKTROMAGNETYCZNA EMC I CERTYFIKAT CE

TEMAT NUMERU



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

ISSN 1230-3526 Indeks 357677



9 771230 352207

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 Prenumerat 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

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).

Prenumerat wersji drukowanej za równoległe e-wydania płacić 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 (rozmiar: L, XL)
 - lub
 - płyta muzyczna Thelonious Monk „Paris 1969”. Zamów swój prezent mailowo – prenumerata@avt.pl.
- do 50% zniżki w Sklepie AVT (szczegóły na www.avt.pl/klub-elektronika)
- prenumeratorki 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)
- z każdym numerem swojej prenumeraty otrzymasz DVD Niezbędnik Elektronika

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 usprawiedliwionych 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 prześlemy i nie będziemy dokonywać obrotu (nie użyczymy, 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.

Houston, we've had a problem

Piszę ten tekst w niedzielę 15.03.2020 r. W Polsce jest 120 osób zainfekowanych koronawirusem. Kiedy będziecie czytać te słowa w kwietniu być może będą to tysiące. A może już są tysiące tylko nie zostali zidentyfikowani. Wirusolodzy twierdzą, że hospitalizowana jest jedna na dziesięć, a może nawet na sto zainfekowanych osób. W niemieckich i brytyjskich raportach rządowych ocenia się, że zachoruje 60÷80% populacji. Armagedon. Trudno o optymizm, ja jednak mam nadzieję, że za miesiąc, gdy będziecie czytać ten tekst znajdziemy się już na zboczu wygasającym pandemii, albo nastąpi jej banalizacja, jak to ma obecnie miejsce w Niemczech i Wielkiej Brytanii, gdzie koronawirus jest bagatelizowany (widziałem dziś w telewizji wyścigi konne w Anglii z trybunami wypełnionymi szczególnie publicznością). Trzeba mieć nadzieję i zachować spokój.

Wszyscy jesteśmy jak załoga Apollo 13. W kwietniu mija dokładnie 50 lat od tego pamiętnego lotu. Ja go pamiętam, a Wy oglądaliście zapewne film z 1995 roku. Ja tego filmu nie widziałem i dam krótką relację z raportu NASA.

Był to trzeci z serii lotów Amerykanów na Księżyc. Od początku pechowy. Najpierw w ostatniej chwili trzeba było wymienić astronautę, który miał kontakt z dzieckiem chorym na różyczkę. Już w pierwszej fazie lotu nie działał jeden z pięciu silników trzeciego stopnia rakiety. Z tym poradzano sobie wydłużając czas pracy pozostałych czterech silników. W drugim dniu lotu, po przebyciu około 4/5 trajektorii do Księżyca, miał miejsce wybuch

zbiornika z ciekłym tlenem. Przyczyną było uszkodzenie izolacji teflonowej i w konsekwencji zwarcie w przewodzie zasilającym wentylator umieszczony wewnątrz zbiornika w celu mieszania ciekłego tlenu. Zniszczone zostały dwie z trzech baterii tlenowo-wodorowych zasilających moduł dowodzenia (Command Module – CM), w którym przebywali 3 astronauty. Tlen w zniszczonym zbiorniku potrzebny był do zasilania baterii i do oddychania. W tym momencie dowódca Jim Lovell, meldując naziemnej obsłudze lotu o wypadku, wypowiedział słynne słowa zacytowane w tytule tego felietonu.

Dalej nastąpił ciąg improwizacji i podejmowania niestandardowych decyzji. Stało się oczywiste, że nie będzie lądowania na Księżycu i pozostaje tylko jedno zadanie – uratowanie astronautów. Dla zachowania resztek resursów modułu CM, niezbędnego dla wylądowania na Ziemi, podjęto decyzję o przejściu załogi do modułu księżycowego (*Lunar Module – LM*) i zamknięciu modułu CM z wyłączeniem jego zasilania, by nie rozładować jedynej pozostałej baterii. Moduł LM był zaprojektowany dla dwóch osób z rezerwami na dwa dni, a znalazły się w nim trzy osoby z zamiarem przeżycia czterech dni.



Radość w Centrum Kontroli Misji po udanym wodowaniu modułu dowodzenia z załogą (źródło: Wikipedia)

Trzeba było obniżyć pobór prądu, co oznaczało, że astronauty mają przetrwać cztery dni w temperaturze 3°C przy znikomych racjach wody pitnej. Dali radę, choć był to ciąg improwizacji i decyzji podejmowanych pod ekstremalną presją czasu. Kreatywnie rozwiązano problem usuwania nadmiaru CO₂ z modułu LM, zmieniono trajektorię lotu, miejsce lądowania, itd. Zziębnięci i odwodnieni astronauty wylądowali szczęśliwie na Pacyfiku. Przeżycie zawdzięczają nie tylko sobie, ale również naziemnej obsłudze lotu. Wszyscy sprostali wyzwaniu.

Po co ja to opowiadam? Bo jest okazja – 50-ta rocznica tego wydarzenia. I chciałbym bardzo tym przykładem pokrzepić serca czytelników.

Pamiętajmy. Co nas nie zabije to nas wzmocni.

Niestan Kurawski

Nie przeocz

Nowe podzespoły.....	8
Koktajl niusów.....	12
Mistrzostwa Polski Programistów PLC.....	16
Dodaj do obserwowanych.....	18
Niezbędnik elektronika.....	21

Projekty soft

Robot do teleprezencji sterowany poprzez Wi-Fi.....	22
MudPi – automatyczny system ogrodniczy do irygacji roślin.....	28

Projekty

Prosta kamera termowizyjna.....	32
Cyfrowy wzmacniacz mocy z interfejsem Bluetooth.....	37
Magnetometr GaussMeter.....	40

Moduły w aplikacjach

Magnetometr QMC5883 jako kompas elektroniczny.....	45
--	----

Miniprojekty

Baterijny mini wzmacniacz mocy.....	48
Czterokanałowy moduł przekaźnikowy sterowany I ² C.....	49
Przetwornica napięcia dla mikrofonów phantom.....	51
Podświetlany przycisk dotykowy.....	52

Temat numeru: Kompatybilność elektromagnetyczna EMC i oznakowanie CE

Wprowadzanie produktu elektronicznego na rynek UE, czyli przychodzi elektronik do inżyniera ds. zgodności produktu.....	54
---	----

Prezentacje

Debugowanie projektów w środowisku Keil MDK.	
Charakterystyka Debuggera Arm Keil MDK.....	60
Systemy wbudowane: dokąd zmierzamy?	
Spojrzenie na trendy, innowacje i wyzwania w świecie systemów wbudowanych.....	68

Notatnik konstruktora

Jak napisać aplikację mobilną poprzez... UART (1).....	62
Symulacja i pomiar czyli LTspice i Analog Discovery 2 w rękach konstruktora (8). Harmoniczne.....	72



MudPi – automatyczny system ogrodniczy do irygacji roślin

Lubisz ogrodnictwo, ale nie masz czasu na jego podlewanie? Być może Twoje rośliny domowe, wyglądają na trochę spragnione, albo po prostu szukasz sposobu na automatyzację systemu przydomowej hydroponiki? Prezentowany projekt – system MudPi, pomoże rozwiązać te problemy.

Wybór konstruktora:

Wyświetlacze. Najnowsze technologie.....	80
Artronic.....	88
Projektowanie i prototypowanie.....	90

Poradnik implementacji

Silniki BLDC (2). Określanie położenia wirnika.....	66
---	----

Kursy

Eksperymenty z FPGA (5).....	99
Systemy dla Internetu Rzeczy (36). Pomiar jakości powietrza, ciśnienia, wilgotności i temperatury czujnikiem BME680 dołączonym do zestawu startowego CC1352R1 LaunchPad.....	105

Od wydawcy.....	3
Prenumerata.....	2
Kramik i rynek.....	71
Hity następnego numeru.....	115

Pierwsze STM32 z rdzeniem Cortex-M33



STM32L5

Arm TrustZone w STM32

STM32L5 w skrócie:

- Cortex-M33 @110MHz (CoreMark 442/370 ULPMark-CP)
- zintegrowany Arm TrustZone
- architektura low-power STM32L
- dual bank Flash do 512 kB
- SRAM 256 kB
- zintegrowana przetwornica DC/DC
- szeroki zakres temperatur pracy -40...+125°C
- obudowy od 48 do 144 pinów
- programowe biblioteki kryptograficzne
- pakiet TF-M do implementacji Trusted Execution Environment
- zintegrowane: AES256, PKA, SHA-1, SHA-256, TRNG



life.augmented

st.com/stm32l5

eprasa.pl 9a306f5a7e



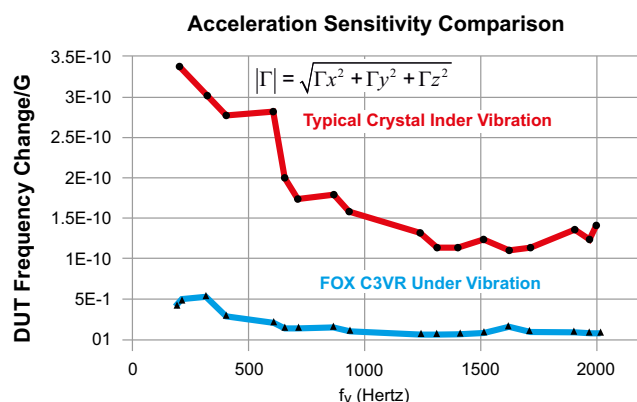
nowe podzespóły

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



Rezonatory kwarcowe o bardzo dużej odporności na wibracje

Firma Fox Electronics opracowała serię rezonatorów kwarcowych C3VR, wyróżniających się dużą odpornością na wibracje. Mają one za zadanie poprawić



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



parametry dynamiczne urządzeń projektowanych do pracy w trudnych warunkach środowiskowych. Spośród innych podobnych rezonatorów wyróżniają się maksymalną wrażliwością wynoszącą zaledwie 0,2 ppb/g, jednakową dla wszystkich trzech osi. Pracują na częstotliwości podstawowej, która może wynosić od 33 do 52 MHz. Występują w wersjach na dwa zakresy dopuszczalnych temperatur pracy: -20...+70°C i -40...+85°C. Są zamykane w ceramicznych obudowach SMD o wymiarach 3,2×2,5×0,7 mm. Pozostałe parametry:

- klasy tolerancji: od 10 do 50 ppm,
- klasy stabilności: od 20 do 50 ppm,
- pojemność obciążenia: od 7 do 16 pF,
- pojemność bocznikowa: 3 pF,
- ESR: maks. 60.

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

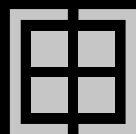


Cewki SMD do pracy w temperaturach otoczenia do +155°C

Do oferty firmy Vishay Dale wchodzi trzy nowe cewki rodziny IHLP, zaprojektowane do zastosowań w aplikacjach narażonych na ekstremalne temperatury otoczenia od -55 do +155°C. Są to cewki odporne również na wilgoć, udary mechaniczne i gwałtowne zmiany temperatury, mogące przewodzić duże impulsy prądowe bez wchodzenia w nasycenie.

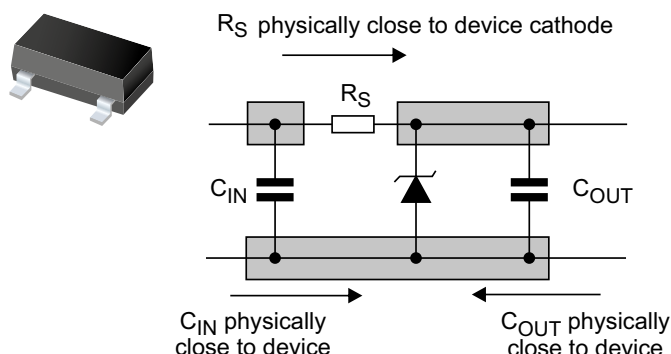
IHLP-1212AZ-51, IHLP-1212AB-51 i IHLP-1212BZ-51 wyróżniają się niskoprofilową konstrukcją. Są zamykane w obudowach SMD

	IHLP-1212AZ-51	IHLP-1212AB-51	IHLP-1212BZ-51
Grubość (mm)	1,0	1,2	2,0
Indukcyjność (µH)	0,10...1,0	0,10...1,2	0,10...3,3
DCR typ. (mΩ)	7,31...26,66	7,01...53,49	6,58...88,38
DCR maks. (mΩ)	8,81...29,92	7,50...57,65	6,95...96,79
Prąd znamionowy (A)	5,35...11,13	3,98...11,50	3,26...12,26
Prąd nasycenia (A)	4,43...7,38	3,84...11,79	2,52...13,46
SRF typ. (MHz)	152...440	82...455	40...380



rozmiaru 1212 o grubości już od 1,0 mm i powierzchni 3,3×3,3 mm. Zostały zoptymalizowane do gromadzenia energii w przetwornicach DC-DC pracujących z częstotliwością taktowania do 5 MHz oraz zapewniają bardzo dobre tłumienie szumu w filtrach wysokoprądowych, aż do częstotliwości SRF.

<http://bit.ly/2kulw4r>

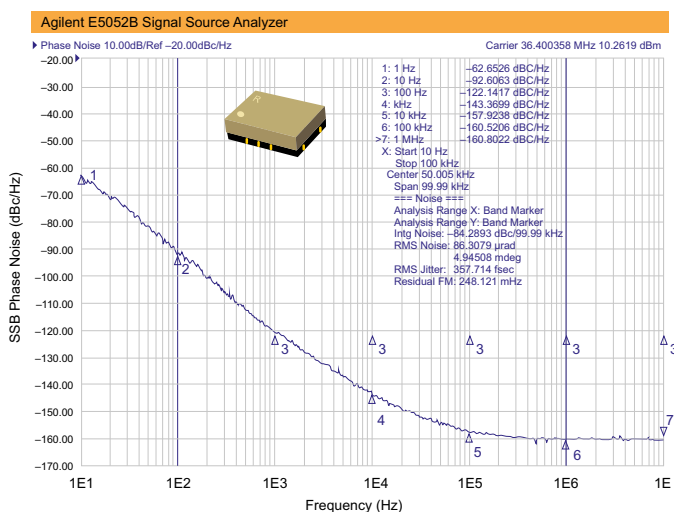


Miniaturowe źródło napięcia referencyjnego o stabilności temperaturowej 100 ppm/°C

LM4040-N to precyzyjne źródło napięcia referencyjnego dostępne w wersjach o napięciu wyjściowym 2,048 V, 2,5 V, 3 V, 4,096 V, 5 V, 8,192 V i 10 V, polecane do zastosowań na płytkach drukowanych o dużej gęstości upakowania podzespołów. Układ charakteryzuje się dokładnością od 0,1% @ 25°C w przypadku wersji „A” i współczynnikiem temperaturowym od 100 ppm/°C. Jest produkowany na dwa zakresy dopuszczalnych temperatur pracy: -40...+85°C i -40...+125°C. Nie wymaga zewnętrznego kondensatora stabilizującego i pracuje stabilnie z dowolnym obciążeniem pojemnościowym. Jego minimalny prąd polaryzacji wynosi w zależności od wersji od 60 do 100 A.

LM4040-N jest zamykany w trzech wariantach miniaturowych obudów SMD: TO-92 (4,3×4,3 mm), SOT-23 (2,92×1,30 mm) i SC70 (2,00×1,25 mm). Występuje również w wersji z kwalifikacją AEC Q-100.

<http://bit.ly/2kuoTZ9>



Ultrastabilne oscylatory TCXO do zastosowań w telekomunikacji

Firma Rakon dodała do oferty nową rodzinę ultrastabilnych oscylatorów TCXO RNT7050A produkowanych na 8 częstotliwości wyjściowych z zakresu od 10 do 50 MHz. Charakteryzują się one stabilnością ± 50 ppb w zakresie temperatur otoczenia od -40



REKLAMA

- Półprzewodniki
- Elementy elektroniczne bierne
- Elementy elektromechaniczne
- Wyświetlacze i tablice
- Technologie pamięci
- Technologie bezprzewodowe

Informacje o RUTRONIK: +48 (32) 461 2000

Committed to excellence



www.rutronik.com

do +85°C, co stanowi jeden z najlepszych wyników w tej klasie podzespołów i pozwala na zastosowania w sieciach 5G i innych aplikacjach telekomunikacyjnych, w których krytycznymi parametrami są czułość na wahania temperatury, stabilność długoterminowa i szumy fazowe.

Oscylatory rodziny RNT7050 zapewniają zgodność z wymogami specyfikacji IEEE 1588v2, ITU-T G.813, G.8273.2 oraz G.8262 & G.8262.1. Są zamykane w obudowach SMD o powierzchni 7×5 mm. Ich strukturę oparto na opracowanej przez firmę Racon technologii rezonatorów XMEMS, bazującej na procesie fotolitografii NanoQuartz. Całkowity błąd częstotliwości wyjściowej, obejmujący dokładność kalibracji, zmiany po lutowaniu przepływowym, wahania temperatury, napięcia zasilającego i prądu obciążenia oraz zmiany długoterminowe po 10-letnim czasie pracy, nie przekracza ±4 ppm.

Pozostałe parametry:

- częstotliwości wyjściowe: 10, 19,2, 20, 25, 26, 30,72, 38,4 i 40 MHz,
- kalibracja częstotliwości: ±1 ppm @ 25°C,
- stabilność temperaturowa: ±50 ppb w zakresie -40...+85°C (±100 ppb w zakresie -40...+105°C),
- stabilność długoterminowa: <1,5 ppm @ 10 lat,
- podłoga szumowa: -160 dBc/Hz.

<http://bit.ly/3ayYnC9>



Najmniejsze na rynku sprzągacze optyczne o drodze upływu 8,2 mm

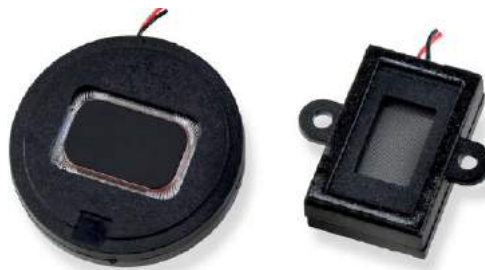
Firma Renesas wprowadza do oferty serię najmniejszych na rynku sprzągaczy optycznych o drodze upływu 8,2 mm, zaprojektowanych specjalnie do zastosowań w automatyce przemysłowej i instalacjach fotowoltaicznych. Sprzągacze RV1S92xxA i RV1S22xxA, zamykane w obudowach o szerokości 2,5 mm, charakteryzują się mniejszą o 35% powierzchnią montażową od wcześniejszych wersji. Sprzągacz komunikacyjny RV1S9260A o przepustowości 15 Mbps i sterownik modułów IPM RV1S9213A są pierwszymi na rynku tego typu układami zamykanymi w obudowach LSS05 o rozstawie wyprowadzeń 0,65 mm – mniejszym o połowę od konwencjonalnych odpowiedników. Dzięki bardzo małej grubości, zmniejszonej do 2,1 mm, mogą być montowane od spodu płytki drukowanej, zwalniając przestrzeń na górnej powierzchni dla innych komponentów. Wykazują współczynnik CMR równy 50 kV/μs, zapewniając skuteczną ochronę mikrokontrolerów i układów I/O przed impulsami wysokonapięciowymi.

RV1S2281A i RV1S2211A to sprzągacze z wejściem DC o prądzie polaryzacji odpowiednio 5 mA i 1 mA oraz z wyjściem tranzystorowym, a RV1S2285A to sprzągacz z wejściem AC i wyjściem tranzystorowym. Wszystkie one zapewniają drogę upływu 8,2 mm. Są zamykane w obudowach LSSOP o szerokości 2,5 mm, wysokości 2,1 mm i rozstawie wyprowadzeń 1,3 mm.



Wszystkie sprzągacze z nowej oferty charakteryzują się wzmocnioną izolacją do 5000 Vrms i szerokim zakresem dopuszczalnych temperatur pracy od -40 do +115°C. Spełniają wymogi standardów UL61800-5-1 dla układów napędowych i UL61010-2-201 dla systemów sterowania, w tym sterowników PLC.

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



Miniaturowe zabudowane głośniki o ciśnieniu akustycznym 89...104 dB @ 0,1 m

Oddział produktów audio firmy CUI prezentuje nową rodzinę miniaturowych, zabudowanych głośników HYPERLINK CES, generujących ciśnienie akustyczne od 89 do 104 dB @ 0,1 m. W zależności od wersji charakteryzują się one znamionową mocą wejściową 0,1, 1,0, 1,2 lub 2,0 W oraz impedancją 4, 6 lub 8 Ω. Są zamykane w niskoprofilowych (od 4,87 mm), prostokątnych lub okrągłych obudowach z korpusem wykonanym z tworzywa ABS lub PC-ABS, magnesem neodymowym i membraną z tkaniny, mylaru lub papieru. Dostępne są wersje z wyprowadzeniem na kabel lub na złączu. Niektóre zostały wyposażone z kołnierz montażowy ułatwiający instalację.

Ze względu na obudowaną konstrukcję, głośniki HYPERLINK CES nadają się idealnie do zastosowań prototypowych, eliminując czasochłonne projektowanie obudów. Ich ceny zaczynają się od 2,03 USD przy zamówieniach 100 sztuk.

<http://bit.ly/2uZcj9r>



Pierwsze 100-woltowe samochodowe tranzystory n-MOS w obudowach SOP Advance (WF)

Do oferty samochodowych tranzystorów MOSFET firmy Toshiba, przeznaczonych do zastosowań samochodowych, wchodzi dwa nowe tranzystory n-kanalowe: XPH4R10ANB i XPH6R30ANB o dopuszczalnym ciągłym i impulsowym prądzie drenu wynoszącym odpowiednio 70 A/210 A i 45 A/135 A. Są to pierwsze tego typu tranzystory w ofercie Toshiba, zamykane w obudowach SOP Advance (WF) o wymiarach 6,0×5,0×0,95 mm,



umożliwiających automatyczną inspekcję optyczną połączeń. Są polecane do zastosowań w 48-woltowych instalacjach samochodowych, m.in. w konwerterach DC-DC boost generatorów ISG i reflektorów LED oraz w układach napędowych i przełącznikach zasilania. Charakteryzują się napięciem V_{DSS} równym 100 V, maksymalną temperaturą pracy złącza $+175^{\circ}\text{C}$ i bardzo małą rezystancją $R_{DS(ON)}$, wynoszącą nawet 4,1 m Ω dla XPH4R10ANB. Uzyskały kwalifikację AEC-Q101.

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



Pierwsze na rynku akcelerometry z wbudowaną funkcją filtracji szumu

Wraz z tendencją do ograniczania kosztów pracy i zwiększania wydajności, coraz powszechniej są stosowane systemy konserwacji predykcyjnej, stosowane w celu wykrycia nieprawidłowości działania sprzętu na wczesnym etapie, jeszcze przed wystąpieniem awarii. Zwiększyło to potrzebę monitorowania stanu maszyn z wykorzystaniem czujników do wykrywania warunków pracy urządzeń, w tym wibracji silników.

Do tego typu zastosowań firma Kionix opracowała dwa pierwsze na rynku akcelerometry z wbudowaną funkcją filtracji szumu, KX132-1211 i KX134-1211. Są to akcelerometry 3-osiowe, oparte na architekturze ADP (Advanced Data Path) umożliwiającej realizację zespołu wewnętrznych filtrów do eliminacji szumu oraz zapewniającej przetwarzanie danych pomiarowych (np. obliczanie RMS) przez sam czujnik – jeszcze przed przesłaniem sygnału do współpracującego mikrokontrolera. Pozwala to zmniejszyć obciążenie MCU i obniżyć pobór mocy przy zachowaniu dużej dokładności pomiaru.

Oba akcelerometry mogą pracować w szerokim zakresie temperatur otoczenia od -40 do $+105^{\circ}\text{C}$ i charakteryzują się małym poborem prądu, wynoszącym odpowiednio 0,67 μA i 148 μA w trybie low-power i high-performance. Dodatkowo, aby spełnić wymogi aplikacji przemysłowych, pasmo pracy i zakres pomiarowy zwiększono w przypadku modelu KX134-1211 do 8500 Hz i ± 64 g. Posiadają funkcję Wake Up, sygnalizującą przekroczenie zaprogramowanej przez użytkownika wartości przyspieszenia oraz Back to Sleep, powodującą automatyczne przejście do trybu uśpienia przy braku występowania przyspieszeń przez ustalony czas. Ta druga funkcja może być przydatna w przypadku zastosowań w miniaturowych urządzeniach mobilnych, np. pilotach samochodowych, pozwalając wydłużyć czas pracy na baterii. Zamykane są w 12-wyprowadzeniowych obudowach SMD o wymiarach 2,0x2,0x0,9 mm.

<http://bit.ly/39rUmiQ>

Zminiaturyzowany czujnik temperatury, wilgotności i stężenia CO_2

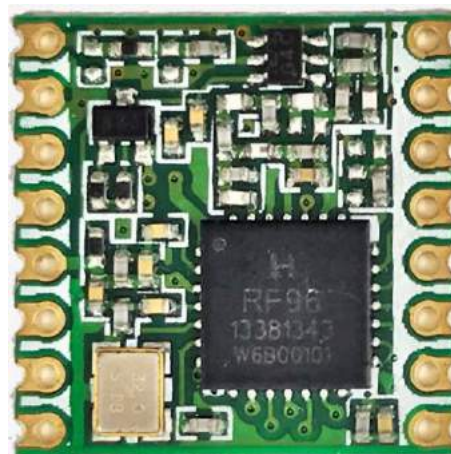
Na tegorocznych targach Sensor + Test 2019 w Norymberdze i SensorsExpo 2019 w San José, firma Sensirion zaprezentowała zminiaturyzowany czujnik temperatury, wilgotności i stężenia CO_2 , produkowany



w obudowie o objętości 1 cm³. Jest to czujnik fotoakustyczny o szerokim zakresie zastosowań. Ze względu na niespotykany stosunek ceny do parametrów i bardzo łatwą integrację w urządzeniach docelowych, jest szczególnie polecany do tanich aplikacji produkowanych w dużych seriach. Przy wymiarach wynoszących zaledwie 12x12x7 mm, model SCD40 wyznacza nowe standardy w pomiarach CO_2 . Charakteryzuje się 5-krotnie mniejszą objętością od wcześniejszego modelu SCD30. Wykorzystanie fotoakustycznej zasady pomiaru pozwoliło na znaczne zmniejszenie objętości optycznej komory pomiarowej bez pogorszenia parametrów czujnika.

SCD40 może znaleźć zastosowanie w aplikacjach IoT, motoryzacji, systemach HVAC i urządzeniach konsumenckich.

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



RFM95W czyli LoRa od HopeRF

Modem firmy HopeRF to moduł nadawczo odbiorczy pracujący w standardzie LoRa. Korzystając z opatentowanej przez HopeRF techniki modulacji moduł RFM95W może osiągnąć ponad -148 dBm. Wysoka czułość w połączeniu ze zintegrowanym wzmacniaczem mocy $+20$ dBm gwarantuje optymalne parametry, zasięg i pewność transmisji. RFM95W zapewnia niski szum fazowy, selektywność, liniowość odbiornika i IIP3 dla znacznie niższego zużycia prądu niż urządzenia konkurencyjne dostępne na rynku.

Główne cechy modułu RFM95W:

- modem LoR,
- $+14$ dBm dzięki wysokiej wydajności PA,
- programowalna przepustowość do 300 kb/s,
- wysoka czułość: do -148 dBm,
- doskonała odporność na blokowanie,
- niski prąd RX wynoszący 10,3 mA oraz 200 nA podczas wstrzymania rejestru.

<http://bit.ly/39sfwgA>





Sterowniki diod LED o małych wymiarach i dużym stopniu integracji

Dwa najnowsze sterowniki diod LED, MAX25610A i MAX25610B z oferty firmy Maxim, ułatwiają realizację systemów zasilania diod o wysokiej jasności w elektronice samochodowej, przemyśle i komercyjnych systemach oświetleniowych. Mogą pracować w konfiguracji buck, buck-boost lub boost, wybieranej optymalnie do rodzaju zastosowanych diod i topologii obwodu zasilania. Zapewniają dużą sprawność energetyczną, sięgającą 90% w konfiguracji buck-boost wobec 85% uzyskiwanych w typowych sterownikach dostępnych obecnie na rynku.

Dzięki zastosowaniu modulacji spread spectrum układy te spełniają wymogi specyfikacji CISPR 25 w zakresie poziomu generowanych zaburzeń elektromagnetycznych, co eliminuje problemy z uzupełnianiem obwodu o dodatkowe komponenty niezbędne do obniżenia poziomu emisji EMI do wartości dopuszczalnej. Kolejną zaletą są małe wymiary obudów. MAX25610A i MAX25610B, zawierające wbudowane tranzystory MOSFET high-side/low-side i czujnik prądu wyjściowego, są zamykane w obudowach TQFN o wymiarach zaledwie 5x5 mm.

Umożliwiają sterowanie do 8 diod LED wysokiej jasności bezpośrednio z akumulatora samochodowego. Ich duży stopień integracji pozwala do minimum obniżyć liczbę elementów współpracujących, a duża częstotliwość taktowania (2,2 MHz w przypadku wersji MAX25610B) pozwala dodatkowo ograniczyć ich wymiary.

Ceny hurtowe MAX25610A/B zaczynają się od 2,10 USD przy zamówieniach 1000 sztuk. Producent oferuje do tych układów zestaw ewaluacyjny MAX25610EVKIT# w cenie 100 USD.

Pozostałe cechy:

- zakres napięć wejściowych: od 5 do 36 V,
- maksymalny prąd wyjściowy: 2,85 A,
- dokładność regulacji prądu wyjściowego: 3% dla MAX25610A i 6% dla MAX25610B,
- częstotliwość taktowania: 400 kHz dla MAX25610A i 2,2 MHz dla MAX25610B,
- regulacja jasności: sygnał analogowy i PWM,
- zakres temperatur pracy: od -40 do +125°C,
- zabezpieczenie: zwarciove, nadnapięciowe i termiczne,
- kwalifikacja AEC-Q100.

<http://bit.ly/2PgfsJ6>

Moduły Wi-Fi i Bluetooth 5.0 w jednym

SparkLan wprowadza moduł AP6345SD łączący w sobie najbardziej popularne standardy komunikacji bezprzewodowej. W pełni funkcjonalne moduły Wi-Fi i Bluetooth z możliwościami płynnego roamingu i zaawansowanymi zabezpieczeniami znajdującymi się na jednej płycie.



Moduł wspiera MU-MIMO dzięki czemu zwiększa pojemność kanału. Zawiera interfejsy takie jak SDIO dla Wi-Fi i UART/PCM dla Bluetooth. Stanowi niewielkie, kompaktowe rozwiązanie pozwalające na zmniejszenie rozmiarów urządzenia i obniżenie kosztów przy jednoczesnym poszerzeniu funkcjonalności. Moduł został zaprojektowany z zachowaniem wymagań dotyczących zużycia energii w urządzeniach przenośnych.

Kluczowe cechy:

- interfejs Wi-Fi SDIO V3.0/2.0,
- interfejs Bluetooth UART/PCM,
- 802.11a/b/g/n/ac dual-band,
- klasa Bluetooth 1 lub 2.

<http://bit.ly/39sfwgA>



Miniaturowe czujniki ultradźwiękowe do wykrywania dotyku przez dowolny materiał

Firma UltraSense Systems opracowała nową, rewolucyjną metodę wykonywania interfejsów użytkownika do smartfonów, sprzętu AGD, samochodów oraz urządzeń konsumenckich i medycznych. Najmniejszy na świecie czujnik ultradźwiękowy TouchPoint umożliwia wykrywanie dotyku przez praktycznie dowolny materiał (metal, szkło, drewno, ceramikę, plastik) o dowolnej grubości, zapewniając przy tym odporność na wilgoć, zanieczyszczenia, oleje itp. Jego wymiary wynoszą 2,4x1,4x0,49 mm. Obecnie dostępny w wersjach próbnych, a do produkcji masowej ma trafić już na początku 2020 roku.

Zaletą TouchPoint jest bardzo łatwa integracja i praktycznie brak ograniczeń projektowych. Wymaga przeprowadzenia jedynie kilkusekundowej kalibracji, pobiera bardzo mały prąd zasilania (<20 µA @ 1,8 V) i działa niezależnie od procesora host, gdyż zawiera wbudowany algorytm przetwarzania sygnału. Jest niewrażliwy na interferencje akustyczne i elektromagnetyczne. Nadaje się do pracy w szerokim zakresie temperatur otoczenia od -40 do +105°C.

W aplikacjach, w których niskie zużycie energii nie jest wymagane, czujniki TouchPoint mogą być realizowane również w wersjach o większych napięciach roboczych, umożliwiających przesyłanie wiązki ultradźwiękowej przez bardzo grube materiały np. z lity metal o grubości nawet 25 mm.

<http://bit.ly/32UZA45>

Czujnik przepływu tlenu i podtlenku azotu o dużej czułości i dokładności

Na targach Compamed w Düsseldorfie firma Sensirion zaprezentowała nowy typ czujnika przepływu, oznaczonego symbolem SFM4300. Jest to czujnik zaprojektowany do zastosowań medycznych, który dzięki nowo opracowanej geometrii kanału zapewnia precyzyjny pomiar przepływu nie tylko powietrza, ale też tlenu i podtlenku azotu. W porównaniu z poprzednią wersją SFM4100, w modelu SFM4300 zwiększono czułość i dokładność, w tym również





w zakresie małych prędkości przepływu. Czujnik mierzy przepływ powietrza, O_2 i N_2O w zakresie do 20 lpm i jest dostępny z różnymi wariantami połączeń mechanicznych (downmount, Legris, O-ring). Skalibrowany i skompensowany temperaturowo sygnał pomiarowy jest przesyłany za pomocą interfejsu I²C. Dokładność pomiaru dla SFM4300 wynosi 0,005 slm w punkcie zerowym, a jego maksymalne ciśnienie robocze to 6 barów.

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



Moduł inercyjny IMU z 3-osiowym żyroskopem i 3-osiowym akcelerometrem

ADIS16500 to kolejny z serii miniaturowych i precyzyjnych modułów inercyjnych IMU z oferty firmy Analog Devices, produkowanych w procesie MEMS. Został zaprojektowany do zastosowań w pojazdach autonomicznych, maszynach budowlanych i rolniczych oraz w robotyce. Zawiera skalibrowany fabrycznie 3-osiowy żyroskop i 3-osiowy akcelerometr oraz układ kondycjonowania sygnału optymalizujący parametry dynamiczne. Komunikuje się z mikroprocesorem za pomocą interfejsu SPI. Jest odporny na narażenia środowiskowe, w tym temperatury z zakresu od -25 do +85°C i uderzenia mechaniczne do 14700 m/s². Kalibracja fabryczna parametrów układu została przeprowadzona dla zakresu temperatur otoczenia od -10 do +75°C.

ADIS16500 jest zamykany w obudowie BGA o wymiarach 15×15×5 mm.

Pozostałe cechy:

- żyroskop:
- zakres dynamiczny: $\pm 2000^\circ/\text{s}$,
- stabilność początkowa: $8,1^\circ/\text{godz.}$,
- błąd dopasowania osi: $\pm 0,25^\circ$,
- szumy (oś X i Y, 1 σ): $0,29^\circ/\sqrt{\text{godz.}}$,
- akcelerometr:
- zakres dynamiczny: $\pm 392 \text{ m/s}^2$,
- stabilność: $125 \mu\text{m/s}^2$,
- zakres napięć zasilania: 3,0...3,6 V,
- korekcja automatyczna i manualna,
- wskaźnik data ready do synchronicznej akwizycji danych,
- autotest pamięci Flash i czujników inercyjnych.

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

Bardzo małe switchy na szynę produkcji Moxa

Nowa seria switchy niezarządzalnych na szynę DIN – EDS-2000 pojawiła się niedawno w ofercie producenta Moxa. Urządzenia wyróżniają się niewielkimi wymiarami – porównywalnymi z rozmiarami karty kredytowej.

Przemysłowa seria przełączników EDS-2000 to następca popularnych modeli EDS-205 oraz EDS-208. Urządzenia posiadają 5 lub 8 portów 10/100M, które idealnie nadają się do zastosowań wymagających najprostszyc połączeń Ethernet w instalacjach przemysłowych o niewielkim narażeniu na uszkodzenie. Opcjonalnie, urządzenie może być wyposażone w port światłowodowy ze złączami SC lub ST. Umożliwia włączanie obsługi kolejowania ruchu (QoS) oraz ochronę przed burzą broadcastową (BSP) za pomocą przełączników DIP na obudowie.

Seria EDS-2000 posiada pojedyncze wejście zasilania 12/24/48 VDC, jest przystosowane do montażu na szynie DIN i charakteryzuje się odpornością EMS. Urządzenia mogą pracować w zakresie temperatur od -10 do 60°C, a wybrane modele (z „-T” w nazwie) w rozszerzonym zakresie od -40 do 75°C.

Najważniejsze parametry serii EDS-2000:

- Małe wymiary idealne do większości maszyn i szaf,
- Konfiguracja QoS i BSP za pomocą przełącznika DIP,
- Wysoka odporność na EMS,
- Łatwy montaż na szynie DIN
- Obsługiwane 10/100BaseTX/FX
- Szeroki zakres temperatur pracy od -40 do 75°C (modele -T)
- Urządzenia w metalowej obudowie: EDS-2005-EL oraz EDS-2008-EL
- Urządzenia w plastikowej obudowie: EDS-2005-ELP oraz EDS-2008-ELP.

<https://bit.ly/2xfN6II>



REKLAMA

OBWODY DRUKOWANE

- płytki jednostronne i dwustronne
- płytki na podłożu aluminiowym
- testy elektryczne płytek
- pokrycia płytek: cyna, cyna/olów, złoto



Faldruk S.c.

Faldruk s.c., 05-462 Emów, ul. Wiązowska 2E
tel. +48 22 872 43 01, 612 67 76, +48 698 468 850
biuro@faldruk.pl, www.faldruk.pl

SITODRUK NA
OBUDOWACH



koktajl niusów



Największa niejednopaliwowa elektrownia ciepła na świecie

Jest nią położony w dzielnicy Longjing tajwańskiego miasta Taizhong kompleks o łącznej mocy wytwórczej 5824 MW (ok. 1,5 razy więcej niż elektrownia jądrowa w Czarnobylu), na który składa się: 10 bloków węglowych o mocy 550 MW każdy, 4 bloki gazowe o mocy 70 MW każdy, i 22 turbiny wiatrowe o mocy 2 MW każda. Tym samym to inna niż pozostałe elektrownia opalana dwoma paliwami: węglem kamiennym (udział większościowy) i gazem ziemnym, a dokładniej LNG (udział mniejszościowy), dodatkowo zasilania wiatrem (udział najmniejszy). Użyte tu słowo „pozostałe” odnosi się do elektrowni ciepłych opartych tylko o „jedno źródło energii” – względem nich poruszany kompleks zajmuje dopiero trzecie miejsce na świecie, ustępując elektrowni węglowej Dangjin w Korei Południowej o mocy wytwórczej 6040 MW, i elektrowni węglowej Tuoketuo w Chinach kontynentalnych (czytaj: „komunistycznych”) o mocy wytwórczej 6720 MW. W związku z tym to wyjątkowy obiekt!

Zużywa rocznie 12 milionów ton węgla wysokoenergetycznego oraz 2,5 miliona ton węgla niskoenergetycznego (brak przy tym danych na temat rocznego zużycia gazu, które jednak na pewno można liczyć w milionach ton). Emituje przy tym ok. 40 milionów ton dwutlenku węgla do atmosfery, uchodząc za największego „truciciela” na świecie. Co ciekawe jest mimo to planowane zwiększenie jej mocy do 7424 MW, przed 2030 rokiem.

Jak widać „demokratyczni” Chińczycy (czytaj: „z Tajwanu”), podobnie jak ich „komunistyczni” pobratymcy, nie przejmują się kwestiami ekologicznymi jak choćby Unia Europejska, i stawiają na rozwój ponad wszystko (na zasadzie „po trupach do celu”). Na tyle zresztą, że pomalowali kominy elektrowni na „fantazyjne” kolory, przybierając dobrą minę do złej gry.

Elektrownia funkcjonuje od 1990 roku, kiedy to oddano do użytku wspomniane na początku bloki gazowe (bloki węglowe, tak jak farma wiatrowa, zaczęły działać później). Może byłaby nawet „lekarstwem” na nasze polskie problemy energetyczne, i to jeszcze zadowalającym obecne władze, „po uszy” zakochane w węglu i gazie ziemnym? Skoro Chińczycy mogą, to dlaczego nie my?

The Phones With the Longest-Lasting Batteries

Phones with longest use duration* and biggest battery capacity (in milliampere hours)

	Use duration	Battery capacity
Motorola Moto G7 Power	20h8min	5,000
Xiaomi Mi Max 2	17h22min	5,300
LG X Power	15h18min	4,100
Motorola Moto E5 Plus	15h8min	5,000
BLU Studio Energy	14h53min	5,000
Motorola Moto G8 Plus	14h29min	4,000
Huawei Mate 20	14h26min	4,000
Asus ROG Phone II	14h11min	6,000
Motorola Moto Z Play Droid	13h43min	3,510
Xiaomi Redmi 3S	13h39min	4,100
Apple iPhone 11	13h29min	3,110

*duration measured by custom web script replicating real-life use (Phone Arena)
Source: Phone Arena



statista

Smartfony o „najwytrzymalszej” baterii

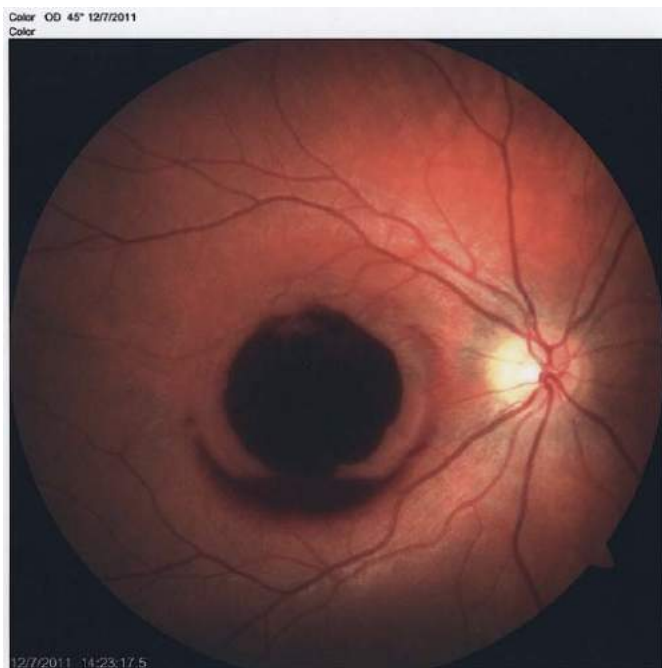
Jeżeli poszukujecie smartfonów o baterii z jak największą pojemnością, „trzymającej” przy tym jak najdłużej po każdym ładowaniu, to spójrzcie na pokazane zestawienie dziesięciu w tym względzie „najlepszych”. Jak można zauważyć przodują tu wyroby firm: Motorola, Huawei, Xiaomi, oraz LG, BLU i Asus. Wśród nich najdłuższym czasem użytkowania, na poziomie 20 godzin, odznacza się model Moto G7 Power firmy Motorola, o baterii z pojemnością 5000 mAh. Natomiast największą pojemnością baterii, przy mniejszym czasie użytkowania, na poziomie 14 godzin, charakteryzuje się model ROG Phone II firmy Asus. Tym samym nie pozostaje nic innego jak zamówić jeden z nich, bądź któryś z pozostałych, jeżeli funkcjonalności wspomnianych są niezadowolające

źródło: <http://bit.ly/2Tx2GrY>

Laser, a siatkówka oka

Z pewnością niejedną raz słyszeliście, że nie wolno patrzeć na wiązki laserów niezależnie od ich mocy (nawet jeżeli to pojedyncze miliwaty) oraz źródła światła takie jak światłowodowy, wskaźniki prezentacyjne, myszki komputerowe itp. W ten sposób można „wypalić sobie oczy”. Oczywiście jest to prawda, ale co to dokładnie znaczy? Otóż nic innego jak uszkodzenie siatkówki gałki ocznej w sposób taki jak na fotografii – jest to siatkówka oka kilkuletniego dziecka bawiącego się podręcznym wskaźnikiem laserowym. Takiego zdjęcia na pewno nie widzieliście!

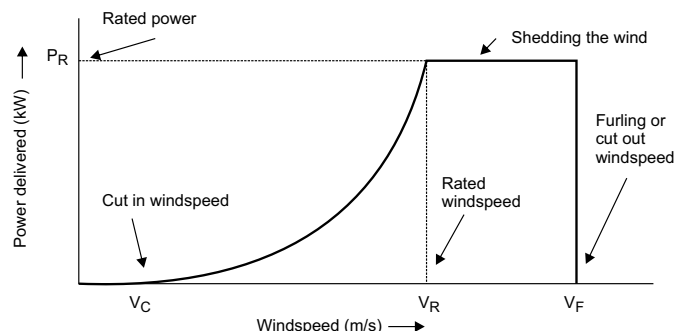
W wyniku ekspozycji (trwającej nawet ułamki sekund) powstaje charakterystyczna plamka (czarna bądź jaśniejsza) stanowiąca



oparzenie takie jak na skórze (w takim kontekście zresztą jest rozpatrywane przez lekarzy). Oparzenie to prowadzi zarówno do fizycznego uszkodzenia czopków, pręcików i zakończeń nerwowych siatkówki, jak i do zmian morfologicznych wywołanych wzrostem temperatury na siatkówce. Objawy jakie mogą towarzyszyć to m.in: ból gałki, światłowstręt, nieostre widzenie, plamki, mroczki, olśnienia oraz inne zaburzenia widzenia, krwotoki wewnętrzne, czy w najgorszym wypadku utrata większości bądź całości wzroku.

Wbrew pozorom nie są to odosobnione przypadki. Zawsze warto zapoznać się z klasą i mocą lasera z jakim mamy styczność, a także przestrzegać zasad BHP, w tym stosować specjalne okulary. W szczególności należy uważać również w trakcie pokazów laserowych, by żadna z wiązek laserów nie trafiła w którekolwiek z oczu – czasem bowiem organizatorzy kierują je w niewłaściwe strony (w mniej bądź bardziej świadomy sposób).

Lasery mają także wiele pożytecznych zastosowań, takich jak operacje oczu wykonywane przy użyciu lasera, którego wiązka ma nie tylko precyzyjnie dobrane parametry, ale i jest precyzyjnie wystęrowana. Skutkami negatywnymi mogą być co najwyżej powikłania pooperacyjne wskutek celowego, choć delikatnego naruszenia struktury gałki ocznej, które też nie zawsze muszą wystąpić. Zatem nie ma co się bać – trzeba tylko zachować zdrowy rozsądek!



Elektrownie wiatrowe, a prędkość wiatru

Jak prędkość wiatru przekłada się na wytwarzanie energii elektrycznej standardowej turbiny wiatrowej? Odpowiedź odczytamy z rysunku – jest to suma zależności wykładniczej i stałej charakteryzowana przez:

- dolną prędkość odcięcia VC, tzn. najmniejszą prędkość wiatru, przy której rozpoczyna się generacja mocy (np.: 20 km/h),

- nominalną prędkość VR, czyli prędkość wiatru, przy której nie następuje dalszy przyrost generowanej mocy, osiągnąwszy wartość szczytową PR (np.: 70 km/h),
- górną prędkość odcięcia VF, tj. maksymalną prędkość wiatru, przy której generacja mocy nadal trwa (typowo 90-100 km/h).

Zatem im większa prędkość wiatru, tym więcej wyprodukowanej mocy, lecz w określonym przedziale. Natomiast przy bezwietrznej pogodzie, lub pogodzie o porywistym wietrze (wichury, huragany, orkany itp.) mocy tej brak. Warto dodać, że same turbiny są zaprojektowane na większe prędkości wiatru, choć bardziej ma to związek już z wytrzymałością mechaniczną, niż z generacją mocy elektrycznej. Typowo prędkości te wynoszą od 140 do 250 km/h, więcej niż prędkość VF.



Bankomatów dawnych czar...

W grudniu 1989 roku rozpoczęła się sławna „transformacja” w Polsce, a bank PKO BP nabył i uruchomił na pierwszy bankomat, w I Oddziale w Warszawie. Był to NCR 5070 znany już w tamtym czasie w krajach Europy Zachodniej. Automat do wypłat gotówkowych był czynny tylko w godzinach 8...20 (mimo, że to urządzenie mogło pracować całą dobę). Niektórzy śmieli się, że za urządzeniem tym było na pewno „ukryte okienko”, poprzez które przysłowiowa pani Kryśka wkładała banknoty, albo nawet sama wchodziła do bankomatu i wydawała banknoty. Nikomu nie przeszkadzał mały, 9-calowy, kineskopowy wyświetlacz monochromatyczny o słabym kontraście, ważniejszy bowiem był fakt samego posłużenia się kartą z paskiem magnetycznym, i wypłacenia nią nawet najmniejszej sumy. Była to prawdziwa nowość, coś po prostu wspaniałego dla obywatela, który 45 lat spędził w „izolacji od zagranicy”.

Najważniejsze parametry:

- waga bankomatu: 600 kg,
- wymiary bankomatu: 70×80×120 cm,
- zastosowany mikroprocesor: 8-bitowy układ firmy Intel (brak przy tym informacji o jego oznaczeniu),
- pamięć RAM o pojemności 768 kB,
- system operacyjny: RMX,
- zapis operacji bankomatu na dyskietkę 3,5 cala, lub 5,25 cala,
- sejf z czterema kasetkami, każda mogąca pomieścić 3 tysiące banknotów,
- wytrzymałość na uderzenie młotem o wadze do 7 kg,
- obecność fotooptycznego systemu kontroli wydawanych banknotów, w celu zapobiegania wydawaniu sklejonnych,
- pobór bankomatów z kasetek na zasadzie pneumatycznej.

W stosunku do dzisiejszych bankomatów jest to urządzenie duże i technologicznie ograniczone. Ale nie to jest ważne – ważne, że od tego się zaczęło. Dla starszych osób to zapewne wspomnienie, zwłaszcza dla tych, które być może nawet miały okazję skorzystać

z pokazanego bankomatu. Natomiast dla młodych to lekcja historii pozwalająca zrozumieć skąd wynika to co można spotkać obecnie jeśli chodzi o technologie i urządzenia elektroniczne (warto z tego powodu czasem wrócić do dawniejszych czasów i zobaczyć jak to „kiedyś było”, włączając bankomaty).



O słupie pewnym słów parę

Któż nie widział tego charakterystycznego, pokazanego na fotografii słupa, do dziś obecnego w wielu wsiach i miastach? Jest to SŻT tzn. Słup Żelbetowy Teletechniczny, dostępny w wersji pojedynczej (jeden słup), i zespolonej (dwa połączone ze sobą słupy, jak na fotografii), o wysokości 7 metrów (przy wadze pojedynczego słupa 360 kg), lub 8,5 metra (przy wadze pojedynczego słupa 520 kg). Pojawił się dopiero po II wojnie światowej, i choć nadal jest oferowany, to jest jednak sukcesywnie zastępowany przez słupy jednolite oraz instalacje podziemne – aczkolwiek powoli, i przeważnie w ramach przebudów infrastruktury np.: w ramach budowy lub poszerzania dróg.

Cechują się nie podrabialną trwałością, która byłaby nawet lepiej zauważalna, gdyby nie karbowacenie obecnego w nich betonu, co jednak nie jest w stanie im poważnie zagrozić. Tym samym jeszcze przez długie lata będą stałym elementem niejednego polskiego krajobrazu.



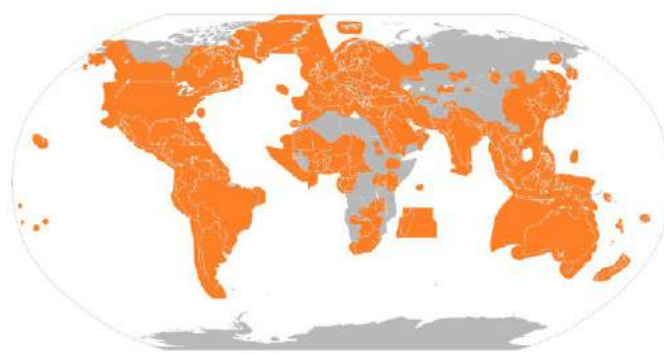
Pojazd uprzywilejowany w radiu

Istnieje pomysł, by o nadjeżdżającym pojeździe uprzywilejowanym (tzn. karetka pogotowia ratunkowego, pojazd straży pożarnej, radiowóz policji itp.) informowały nie tylko emitowane przez niego sygnały dźwiękowe i świetlne, ale i komunikaty głosowe oraz tekstowe czyli tzw. „trzeci sygnał”. W tym celu powołano Parlamentarny Zespół ds.

Trzeciego Sygnału dla Pojazdów Uprzywilejowanych zajmujący się przygotowaniem zmian w prawie umożliwiających jego stosowanie.

Działania te spowodowane są coraz bardziej dostrzegalną tendencją do niezauważania na drogach wspomnianych pojazdów, pomimo innych niedawnych zmian nakazujących m.in.: tworzenie „korytarzy życia”. Sam pomysł jest całkiem nowy, wobec czego nie jest jeszcze znana data jego wdrożenia. Niemniej wiadomo już, że przy zbliżaniu się pojazdu, sygnał odbieranej w samochodzie radiostacji FM z pasma CCIR (87,5...108 MHz), włączając obecny w niej sygnał RDS, ma zostać na chwilę zakłócony w celu nadania treści: „Uwaga! Pojazd na sygnale. Proszę ułatwić przejazd”. Treść ma być zarówno wyraźnie słyszana, jak i widziana na wyświetlaczu radia w promieniu 200 metrów od pojazdu uprzywilejowanego – cztery razy więcej niż w przypadku pozostałych sygnałów.

W szczególności znajdzie tu zastosowanie rzadko obecnie stosowana, przewidziana w standardzie RDS funkcjonalność TP/TA (*Traffic Programme/Traffic Announcement*), automatycznie przełączająca radio na odbiór, np.: gdy jest włączone odtwarzanie muzyki. Oprócz tego planuje się, by samochodowy odbiornik miał się samoczynnie włączać przy rozpoczęciu emisji „trzeciego sygnału” (nie wiadomo jednak jeszcze w jaki sposób miałyby to następować). Jak dotąd opisane rozwiązanie przetestowano już wstępnie w województwie wielkopolskim, zarówno w jednostkach policji, jak i straży pożarnej. Testy te zakończyły się sukcesem i rozwiązanie zyskało aprobatę służb. W dodatku jest już stosowane m.in.: w Szwecji jako system Evam od 2018 roku (system ten jest zresztą inspiracją dla przytoczonego na samym początku zespołu).



Pokrycie świata radarami

Chodzi tu o radary śledzące samoloty pasażerskie, obejmujące zasięgiem ponad połowę lądu ziemskiego i trochę wód planety (zatem nie są brane pod uwagę radary wojskowe i radary specjalnego przeznaczenia). Rysunek pokazuje, że samolot nie jest cały czas namierzany, szczególnie w obszarze wód międzynarodowych, na których po prostu nie ma stałego miejsca na lokowanie radarów. Wszelkie luki doskonale wypełnia, mający pokrycie na całej planecie oraz znacznie tańszy w utrzymaniu, system GPS obecny w praktyce we wszystkich współczesnych samolotach pasażerskich.

źródło: <https://wikimedia.org>

Druk 3D w służbie weterynarii

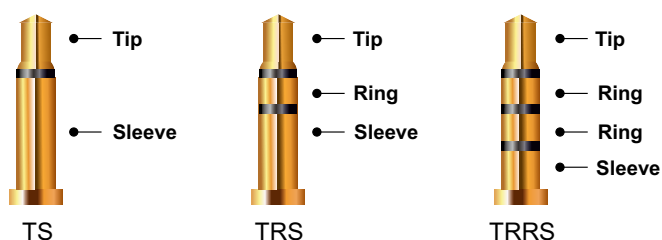
Jak donoszą wieści, rosyjski weterynarz Siergiej Gorszkow wykonał techniką druku 3D cztery tytanowe protezy dla kotki imieniem Dimka. Wszystko po to, by pomóc jej wrócić do sprawności po amputacji kończyn, które zostały odmrożone. Protezy wykonano przy współpracy z Politechnicznym Uniwersytetem w Tomsku, w oparciu o zdjęcia tomografii komputerowej nóg kotki. Protezy przymocowano do jej kończyn w ramach pomyślnie wykonanej operacji chirurgicznej. Następnie doczepiono czarne, zdejmowalne „stópkę” zapewniającą w miarę „przyczepny” kontakt z podłożem.

Operację przeprowadzono w lipcu 2019 roku. Od tamtej pory kotka czuje się doskonale, choć musiała nauczyć się chodzić na nowo,



z czym sobie doskonale poradziła, czego dowodzi ten oto materiał filmowy: <http://bit.ly/2xmK99b>.

Okazuje się, że to nie pierwszy kot, któremu wspomniany weterynarz udzielił w ten sposób pomocy. To szczytny cel jeszcze bardziej upodabniający naszych czworonożnych przyjaciół do człowieka (takie czasy, że i zwierzęta już mogą liczyć na taką samą opiekę co ludzie, szczególnie dzięki drukarkom 3D).



Wtyk Jack – szybkie wyjaśnienie

TS, TRS i TRRS – cóż to za skróty spotykane przy dobrze znanym wtyku Jack? Jeżeli nie wiecie, to spójrzcie na rysunek, który wszystko wyjaśnia! Słowo tip to z ang. końcówka, ring to z ang. pierścień, a sleeve to z ang. tulejka. Choć to bardzo łatwe nadal wiele osób tego nie rozróżnia. Inny wtyk służy do transmitowania dźwięku mono, inny do dźwięku stereo, a jeszcze inny jest potrzebny aby dołączyć do tego mikrofon (jak nietrudno zauważyć, do pierwszego jest przeznaczony typ TS, do drugiego typ TRS, natomiast do trzeciego typ TRRS). Żeby było ciekawiej, występuje jeszcze wtyk TRRRS o czterech pierścieniach – jest on jednak rzadziej spotykany od przedstawionych.

Oto ojciec blokad reklam w przeglądarkach internetowych (czyli Adblocka)

Jego imię i nazwisko to Henrik Aasted Sørensen, to duński programista, który wpadł na ten pomysł jeszcze w 2002 roku, w ramach projektu na Kopenhaskim Uniwersytecie Informatycznym w Kopenhadze w trakcie studiów. Dokładniej rzecz biorąc rozpoczął on w tym roku prace nad rozszerzeniem Adblock na przeglądarkę Firefox (zwaną wówczas jeszcze jako Phoenix), którego jednak nie dokończył (zrobił to za niego trzy lata później Michael McDonald, tworząc ostatecznie wtyczkę Adblock Plus mającą obecnie zastosowanie w wielu przeglądarkach).

Była to odpowiedź na istniejące już wówczas próby blokowania reklam, które jednak skupiały się tylko na wyszukiwaniu obrazków na stronie. Dla Sørensenia było to podejście beznadziejne i uznał, że o wiele lepsza jest choćby identyfikacja adresów, z których pochodzą reklamy, a następnie po prostu ich odrzucanie. Jednak na początek skupił się bardziej na nieładowaniu reklam na stronie, tzn. nie blokował ich pobierania (dopiero później zaczął to implementować).

Nie zarobił na tym nawet grosza, ale sam pomysł spodobał się wielu osobom na świecie, i to z dwóch powodów: pierwszy to fakt, że w latach 2000...2005 nie było jeszcze rozpowszechnionego szerokopasmowego internetu, a przez to „prędkość transferu” była niska. Co więcej trzeba było jeszcze za nią płacić dużo pieniędzy. Skoro tak, to reklamy były tylko niepotrzebnym „balastem” i trzeba było je



jakość wyrugować. Natomiast drugi powód to popularne w tym czasie i zarazem irytujące wyskakujące reklamy pop-up, które w pewnym momencie potrafiły zdenerwować niejednego użytkownika i odebrać mu przyjemność z „surfowania po sieci” (inaczej niż teraz, gdy te nie są już spotykane).

Wynalazek Sørensenia przyjął się błyskawicznie, choć obecnie stanowi problem dla mnóstwa portali, które narzekają, że nie mogą przez to zarabiać na sobie w sieci (ile to jest teraz stron, które wyświetlają komunikaty, że Adblock jest włączony, a przez to zawartość strony nie zostanie załadowana).

Adblock jest bardzo popularny – na koniec 2019 roku był stosowany przez ok 2 miliardy użytkowników na świecie. Z kolei sam Sørensen spełnia się obecnie jako szef duńskiej firmy e-Money A/S związanej z technologiami płatności w internecie (karierę tego pana można zresztą prześledzić na jego oficjalnym profilu na portalu LinkedIn dostępnym pod adresem: <http://bit.ly/2TL435c>

REKLAMA

ZAJRZYJ NA TE STRONY





Mistrzostwa Polski Programistów PLC

Celem wydarzenia jest popularyzacja programowania sterowników PLC pośród przyszłych programistów automatyki przemysłowej oraz integracja środowiska akademickiego z przedstawicielami przemysłu. W finale zostaną wyłonieni i nagrodzeni najlepsi i utalentowani programiści PLC.

Finał trzeciej edycji Mistrzostw Polski Programistów PLC został przesunięty na dzień 30 maja (pierwotny termin to 14 marca). Jednocześnie przedłużono kwalifikacje do dnia 28 marca. Aby zgłosić chęć udziału należy wejść na stronę mistrzostw i pobrać zadania kwalifikacyjne. Wypełnione dokumenty wraz z rozwiązaniami zadań należy przesłać na adres mailowy: mistrzostwaplc@pwr.edu.pl.

Od początku istnienia partnerem strategicznym Mistrzostw jest firma PROCOM SYSTEM S.A. Wydarzenie zostało objęte patronatem honorowym m.in. przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego,

Ministerstwo Edukacji Narodowej i Ministerstwo Rozwoju. Jednymi z partnerów medialnych wydarzenia są iAutomatyka oraz Klub Automatyka, którzy będą obecni podczas wydarzenia.

Kategorie rywalizacji

W 3 edycji Mistrzostw uczestnicy będą rywalizowali w aż 5-ciu kategoriach. Tradycyjnie zawodnicy zmierza się w kategoriach MASTER, EXPERT, LOGO! i WAGO. Kategorie MASTER i EXPERT będą się rozgrywały na sterownikach Siemens S7-1200 z użyciem oprogramowania TIA Portal. Kategoria MASTER dedykowana jest dla uczniów szkół średnich, a kategoria EXPERT dla studentów i młodych inżynierów. Kategoriami otwartymi dla wszystkich są: LOGO!, które bazuje na oprogramowaniu Soft Comfort oraz WAGO z oprogramowaniem E!COCKPIT.

Nową kategorią jest ALGORITHMIC. Zadaniem będzie napisanie programu spełniającego wymagania aplikacji oraz jak najkrótszego cyklu pracy sterownika Siemens S7-1500. Z zadaniem będzie mógł





zmierzyć się każdy bez ograniczeń i presji czasu. Autorzy najlepszych rozwiązań ukoronowani zostaną tytułami mistrzów i wicemistrzów Polski Programistów PLC oraz innymi cennymi nagrodami.



Nagrody

Tegoroczna wartość puli nagród to ponad 40 tys. złotych. Dla mistrzów kategorii przewidziane są nagrody rzeczowe w formie zestawów startowych wiodących producentów w branży automatyki przemysłowej takich jak Siemens i WAGO.



Ponadto w puli nagród przewidziane są staże od firmy PROCOM SYSTEM oraz vouchery szkoleniowe od EMT Systems i Blumenbecker Engineering Polska. Na wicemistrzów czekają panele operatorskie HMI oraz przełączniki programowalne LOGO! 8. Poza nagrodami każdy uczestnik otrzymuje pakiet startowy z materiałami piśmieniowymi i licznymi gadżetami.

Wystawa Forum Automatyki

Forum Automatyki to wystawa przeznaczona do prezentacji praktycznego zastosowania rozwiązań automatyki przemysłowej, możliwości sterowników PLC i wielu innych rozwiązań technologicznych będących gratką dla inżynierów.

Wystawa, która niewątpliwie będzie pełniła też rolę branżowych targów pracy, będzie oceniana przez odwiedzających. Firmy powalczą o statuetkę najlepszego stoiska Forum Automatyki.

Na uczestników i zwiedzających czekała będzie również strefa chillout, w ramach której będzie można odpocząć po ciężkiej rywalizacji na wygodnych pufach i leżakach. Dla uczestników, w strefie chillout, specjalne atrakcje przygotowują firmy Finder i WAGO.

Wstęp na wystawę FORUM AUTOMATYKI jest wolny dla wszystkich. Zainteresowanych wystawców zapraszamy do kontaktu.

Fotografie stanowią krótką relację z poprzedniej edycji Mistrzostw. Najnowsze informacje o wydarzeniu znajdują się na fanpageu i stronie Mistrzostw Polski Programistów PLC oraz na naszym profilu na portalu iAutomatyka.

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

<http://bit.ly/2IK46sR>



repol® S.A.

Nowe gniazda GZP
w technologii Push-in



GZP80

Do RM84, RM85..., RM87L/P, RMP84, RMP85

GZP4

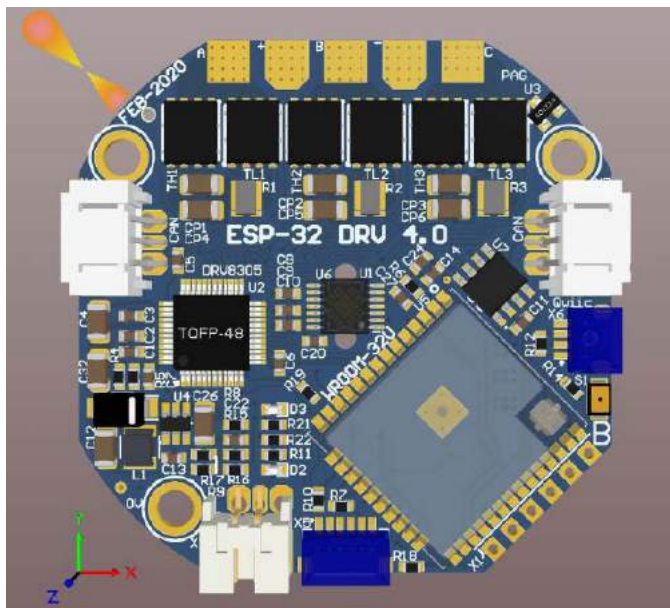
Do R2N, R4N

- unikalny system prowadzenia przełącznika w gnieździe (łatwa instalacja),
- zaciski Push-in pod kątem (w kierunku koryt kablowych),
- przyciski zwalniające zaciski (wciśnięcie/wyjęcie),
- otwory pod sondy pomiarowe (swoboda kontroli),
- płytki opisowe na głęboki wpust (złączki rzędowe),
- przestrzeń do etykietowania (taśmy do 9 mm).

Biuro Obsługi Klienta: tel. 68 47 90 822, 850
sprzedaz@repol.com.pl, www.repol.com.pl

dodaj do obserwowanych

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



Kontroler siłowników z silnikiem BLDC na ESP32

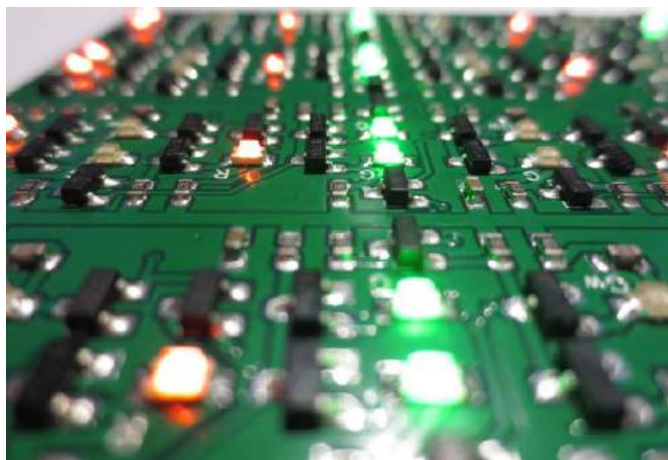
Prezentowany moduł, stworzony przez Paula Goulda, powstał na bazie jego wcześniejszej konstrukcji. Poprzedni sterownik silników, był oparty o dosyć egzotyczny mikrokontroler z rodziny PSoC 4. W nowej konstrukcji zastosowano popularny ESP32 w postaci modułu ESP-32 WROOM-32D, który posiada trzy wyjścia MC-PWM z kontrolą fazy, wiele interfejsów komunikacyjnych (SPI, I²C, UART, CAN) oraz przetwornik analogowo-cyfrowy (ADC) o częstotliwości próbkowania do 2 MHz – to wystarczy, aby stworzyć zaawansowany sterownik silnika bezszczotkowego prądu stałego (BLDC).

Moduł posiada dwa interfejsy do podłączenia absolutnego enkodera magnetycznego poprzez interfejs SPI. Jeden (umieszczony na środku PCB) wykorzystywany jest do monitorowania pozycji złącza mechanicznego, którym steruje silnik (kontroler dedykowany jest do aplikacji robotycznych), a drugi służy do mierzenia pozycji osi silnika BLDC. Dzięki takiej konstrukcji kontroler można w prosty sposób zintegrować z silnikiem.

Za komutację prądu podawanego na uzwojenia silnika odpowiadają trzy pary tranzystorów SIR638ADP-T1-RE3 (40 V, 40 V 0,88 mΩ w obudowie PowerPAK SO-8), sterowane przez inteligentny sterownik bramek MOSFET DRV8305 z trzema zintegrowanymi czujnikami prądu. Układ posiada ponadto termometr do pomiaru temperatury MOSFETów i zewnętrzny termometr, a także wyjście do zasilania wentylatora.

Układ można sterować zewnętrznym napięciem (mierzoną przez ADC w ESP32) lub z poprzez interfejsy CAN, RS485, sieć Wi-Fi lub połączenie Bluetooth. Dodatkowo można do modułu podłączyć, poprzez I²C Qwiic wyświetlacz OLED.

<http://bit.ly/38xL2Zd>



LCPU – dyskretny procesor z tranzystorami i diodami LED

„Wiele lat temu rzuciłem sobie wyzwanie, aby dopasować projekt procesora do najmniejszego dostępnego na rynku układu CPLD, tak powstał MCPU. Od tego czasu zastanawiałem się nad nowym wyzwaniem w minimalizmie w projektowaniu procesorów. Ukończyłem procesor oparty na TTL jeszcze przed MCPU.

Najwyraźniej jedynym kierunkiem jest teraz wykonanie w pełni dyskretnie i zbudowanie minimalnego procesora z dyskretnych tranzystorów” opisuje swój projekt Tim na portalu Hackaday. Aby uczynić projekt bardziej interesującym i dodać mu nowoczesny format, autor postanowił wykorzystać dosyć egzotyczną rodzinę systemów logicznych, która wykorzystuje diody elektroluminescencyjne (LED), jako elementy aktywne. LTL to technologia z dalekiej przeszłości, która tak naprawdę nigdy się nie wydarzyła. Łączy logikę tranzystorową (TTL) z lat '50 XX wieku z niskoprądowymi, zielonymi diodami LED InGaP, które zostały wynalezione w latach '90 tego samego stulecia.

Autor ukończył już większą część projektu sprzętu i obecnie jest na etapie testowania hardware. W zapisie projektu na portalu Hackaday można śledzić, krok po kroku, jego poczynania.

<http://bit.ly/2W0PPzR>





Konkurs na DIY moduł elektroniki noszonej

Na portalu Instructables.com zakończono właśnie (na dzień pisania artykułu) zbieranie projektów w konkursie na urządzenia elektroniki noszonej. Konkurs ten ma świętować „wspaniały świat technologii noszonej”. Urządzenia określane z angielskiego, jako „wearables” to zazwyczaj ubrania i inne akcesoria zawierające w sobie zaawansowane urządzenia elektroniczne, czy nawet całe komputery. Systemy te stanowią jeden z przykładów implementacji Internetu Rzeczy – zazwyczaj podłączone są do Internetu i tworzą sieć fizycznych obiektów, które wyposażone są w sensory czy oprogramowanie, umożliwiające wymianę informacji między sobą oraz z systemami w Chmurze, bez potrzeby ingerencji noszącej je osoby.

Według prognoz analityków, wartość sektora elektroniki noszonej w tym roku ma osiągnąć ponad 31 miliardów dolarów. Najpopularniejszymi urządzeniami tego rodzaju są obecnie na rynku smartwatche i opaski fitnessowe, służące do kontroli aktywności fizycznej itp. Coraz częściej prezentuje się jednak konstrukcje takie jak inteligentne okulary czy inteligentne tkaniny, integrujące komputery z ubraniami.

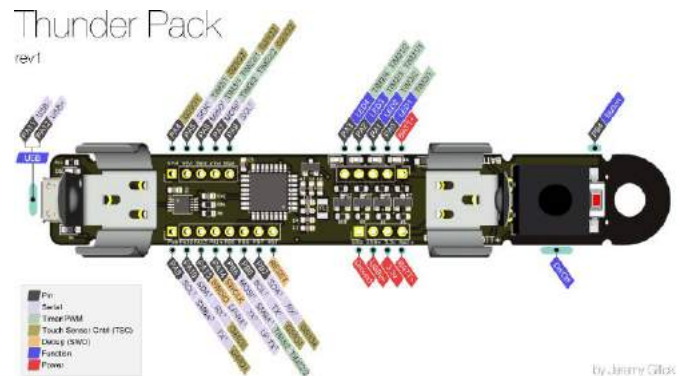
W konstrukcję tego typu systemów zaangażowani są obecnie najwięksi gracze sektora elektronicznego – firmy takie jak Google, Apple, Samsung czy Sony, ale także producenci ubrań jak Nike czy Adidas. Sektor ten jest równie ciekawy dla elektroników-hobbystów. To do nich jest właśnie adresowany ten konkurs. „Chcemy poznać



Twoje techniki osadzania obwodów elektronicznych w odzieży i na tkaninach. Pochwal się swoimi miękkimi obwodami, czujnikiem lub przełącznikiem realizowanym za pomocą przewodzących włókien lub atramentu (lub innego materiału, o którym nawet jeszcze nie wiemy!)” czytamy na portalu.

Do konkursu nadesłano prawie 50 różnych prac, pośród których znaleźć możemy konstrukcje takie, jak naszpikowane sensorami rękawiczki m.in. do sterowania systemami rozszerzonej i wirtualnej rzeczywistości, diody LED i wyświetlacze integrowane z ubraniami jak i np. zegarek ukryty w krawacie. Portal nie podał jeszcze informacji o wynikach konkursu. Nagrodami są karty podarunkowe Amazona o wartości do 500 dolarów oraz gadżety portalu Instructables.

<http://bit.ly/3327CIt>

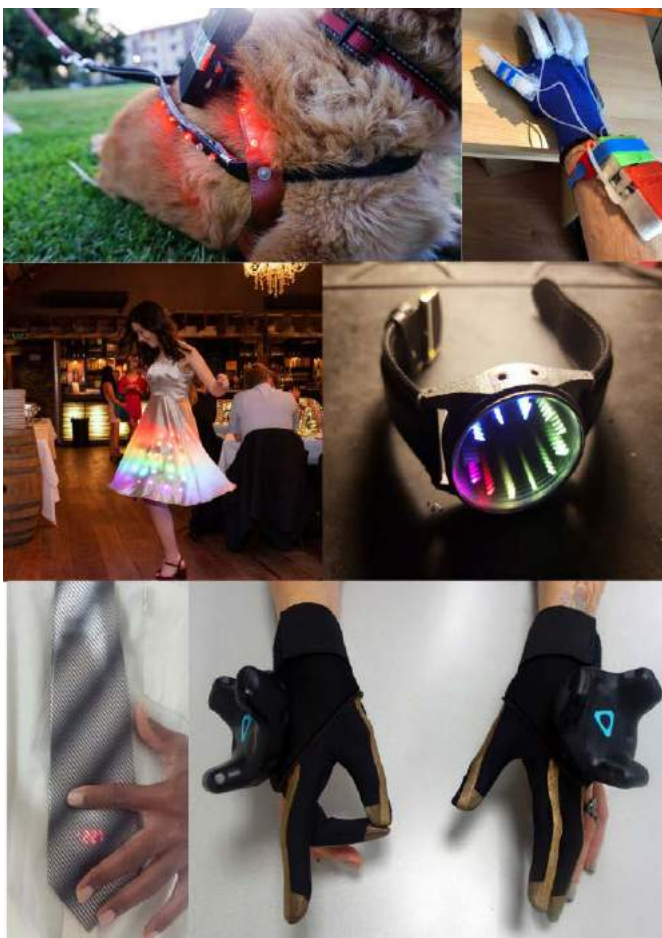


Kompaktowy moduł uruchomieniowy – kieszonkowa płytko z układem ARM

Thunder pack to kompaktowa płytko uruchomieniowa z mikrokontrolerem z rdzeniem ARM, zintegrowana z systemem zarządzania zasilaniem i energią oraz akumulatorem. Wszystko w niewielkim systemie, mieszczącym się w kieszeni. Skąd pomysł na taką integrację? „Zbudowałem wiele projektów do noszenia i zmęczyłem się łączeniem zawsze tych samych 3 części: Arduino, kontrolera ładowania i baterii. Dodatkowo, zawsze czułem, że płaskie baterie litowo-polimerowe mogą eksplodować, jeśli zostaną uszkodzone (szczególnie, jeśli nosi się je w kieszeni)” tłumaczy Jeremy Gillick, twórca opisywanego modułu.

Plan budowy urządzenia był dosyć prosty. Z jednej strony autor założył sobie, że ma to być kompaktowe urządzenie, które będzie na tyle wytrzymałe, aby móc nosić je w kieszeni. Dlatego też wykorzystano cylindryczne ogniwa litowo-jonowe, które są znacznie odporniejsze na uszkodzenia mechaniczne. Z drugiej strony, z uwagi na to, że najczęściej tworzył on systemy związane z sterowaniem oświetlenia, chciał zaimplementować w module jak największe wsparcie dla tego rodzaju systemów. Dlatego też w systemie wbudowano aż cztery tranzystory MOSFET, podłączone do wyjść PWM mikrokontrolera. Każdy z tych tranzystorów może kluczować prąd do 2,3 A.

System oparto o mikrokontroler z rodziny STM32L072xx firmy ST Microelectronics. Dzięki temu jest kompatybilny z wieloma środowiskami programistycznymi. Można go oprogramować korzystając



z Arduino IDE, zainstalować na nim ChibiOS czy też oprogramować wykorzystując libopencm3 lub generator inicjalizacji STM32Cube. Autor pracuje również nad możliwością uruchamiania na mikrokontrolerze skryptów napisanych w Micro Pythonie.

Układ posiada zintegrowane wszystkie kluczowe podzespoły potrzebne do testowania, debugowania i rozwijania aplikacji. Oprócz mikrokontrolera, akumulatora i ładowarki (z zasilaniem USB) w systemie znajdziemy także dwa przyciski (z czego jeden dostępny dla użytkownika) oraz diody LED – dwie statusowe i cztery podłączone do wyjść PWM, aby usprawnić testowanie aplikacji. Mikrokontroler może być programowany poprzez interfejs USB lub SWD.

Jeremy nie podaje informacji, kiedy jego projekt będzie w pełni gotowy. Obecnie moduł deweloperski jest na bardzo zaawansowanym poziomie, a dalsze postępy śledzić można na portalu Hackaday. Dokumentacja projektu dostępna jest na repozytorium autora na portalu GitHub.

<http://bit.ly/334RhD2>



Konkurs na najciekawszą konstrukcję opartą o komputer jednopłytkowy Raspberry Pi

Pojawienie się komputera jednopłytkowego Raspberry Pi zrewolucjonizowało projekty hobbystyczne. Podobnie jak ekosystem Arduino, ten komputer zmienił sposób, w jaki amatorzy mogą realizować swoje projekty jak i to, jak bardzo mogą być skomplikowane.

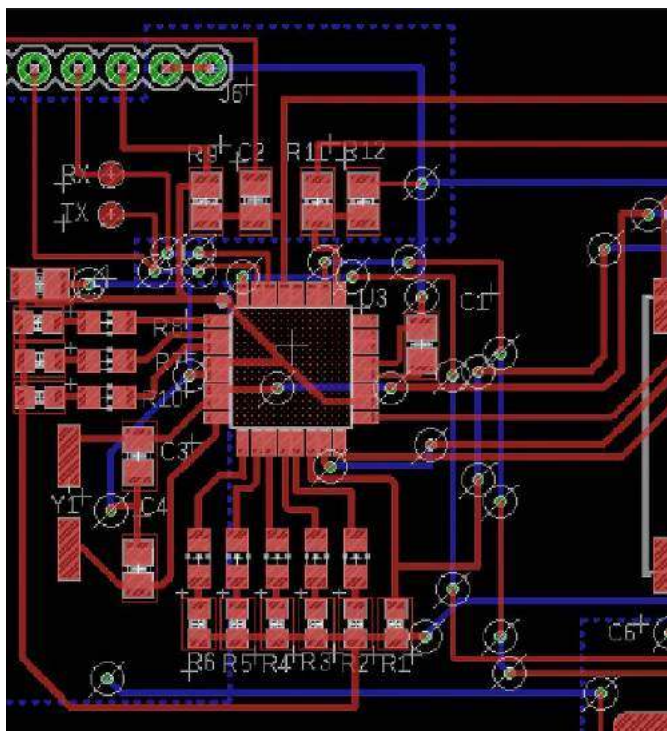
Komputery jednopłytkowe nie są niczym nowym. Od dawna wykorzystywane są m.in. w systemach automatyki przemysłowej. Urządzenia te jednakże są bardzo drogie, a co za tym idzie niedostępne dla hobbystów. Pojawienie się niedrogiego komputera jednopłytkowego – Raspberry Pi – zrewolucjonizowało świat hobbystów, dając im możliwość stosowania tych urządzeń w swoich projektach.

Raspberry Pi zamontowano chyba już w każdym urządzeniu w domach i warsztatach. Doskonale widać to po nadesłanych na zorganizowany przez Instructables konkurs projektach. Portal zakończył już przyjmowanie zgłoszeń (na dzień pisania tego artykułu); finalnie otrzymał ich niemalże sto. Pośród nich znaleźć można różnego rodzaju roboty, systemy automatyki domowej (zdalnie sterowane bramy, urządzenia do monitorowania ogródka, wyświetlacze etc.) oraz urządzenia elektroniki noszonej.



W konkursie organizowanym przez portal Instructables wygrać można jedną z aż 19 nagród. Za zajęcie pierwszego miejsca przewidziano nowoczesną drukarkę 3D firmy Dremel. Dalsze miejsca nagradzane będą kartami podarunkowymi do Amazona i gadżetami portalu Instructables.

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



Moduł komunikacyjny pracujący w paśmie 900 MHz

Na portalu Hackaday Sophi Kravitz prezentuje zapis zmagania z swoim najnowszym projektem – platformą komunikacyjną, pracującą w paśmie 900 MHz. Układ ten dopiero powstaje, a obecnie Sophi dysponuje wstępnym prototypem. Docelowo moduł ten ma zapewnić komunikację wszystkim urządzeniom, które potrzebują szybkiej wymiany danych na duże odległości.

Mózgiem tej konstrukcji jest mikrokontroler od Microchipa – ATmega 328PB. Steruje ona działaniem całego systemu i może być kontrolowany m.in. przez pojedynczy przycisk pojemnościowy. Za komunikację bezprzewodową odpowiada moduł RFM69HCW. Urządzenie może być, na obecnym etapie, zasilane z baterii AA, AAA lub ogniwa litowo-polimerowego. Autorka testuje obecnie, które z tych źródeł jest najlepsze w tej aplikacji.

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



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.

niezbędnik elektronika

1. Labcenter-EDA-demo

Oprogramowanie do projektowania i symulacji obwodów drukowanych. Obejmuje wszystkie funkcje oferowane przez profesjonalny system, w tym projektowanie płytek drukowanych na podstawie listy sieci z automatycznym umieszczaniem, automatycznym routingiem i symulacją opartą na wykresach.

2. Microchip-MPLAB-IDE-5.35

To rozszerzalny, wysoce konfigurowalny program, który zawiera potężne narzędzia pomagające odkrywać, konfigurować, rozwijać, debugować i kwalifikować projekty bazujące na większości mikrokontrolerów Microchip i cyfrowych sterowników sygnałów. MPLAB X IDE współpracuje płynnie z ekosystemem rozwoju oprogramowania i narzędzi MPLAB, z których wiele jest całkowicie darmowych.

3. NXP-MCUXpresso-IDE-11.1.1

W pełni funkcjonalne środowisko programistyczne dla MCU firmy NXP. Zawiera wszystkie narzędzia niezbędne do opracowania wysokiej jakości oprogramowania. Bazuje

na Eclipse IDE i obejmuje standardowy łańcuch narzędzi. Daje programistom łatwe w użyciu i nieograniczone środowisko programistyczne dla MCU NXP opartych na rdzeniach Cortex-M (LPC, Kinetis i iMX RT).

4. SD-Memory-Card-Formatter

Program do formatowania kart pamięci zgodnie ze specyfikacją systemu plików SD utworzoną przez SD Association (SDA). Narzędzie do formatowania dostarczane z systemami operacyjnymi mogą formatować różne nośniki pamięci, w tym karty SD/SDHC/SDXC, ale mogą nie być zoptymalizowane dla kart pamięci. Ponadto karty SD mają „obszar chroniony” dla celów bezpieczeństwa karty SD, Formatter nie formatuje chronionego obszaru na kartach SD.

5. Segger-Embedded-Studio

Kompletne rozwiązanie typu „wszystko w jednym” do zarządzania, budowania, testowania i wdrażania aplikacji wbudowanych: od generatora projektów, który ułatwia rozpoczęcie pracy ze zwykłymi mikrokontrolerami,

po potężny menedżer projektu i edytor kodu źródłowego. Posiada zintegrowany debugger z zaawansowanymi oknami informacji o debugowaniu oraz bezpośrednią integrację J-Link.

6. STM32CubeIDE

Zaawansowana platforma programistyczna C/C++ z konfiguracją urządzeń peryferyjnych, generowaniem kodu, kompilacją kodu i funkcjami debugowania dla mikrokontrolerów i mikroprocesorów STM32. Opiera się na frameworku ECLIPSE/CDT i łańcuchu narzędzi GCC do programowania oraz GDB do debugowania. Umożliwia integrację setek istniejących wtyczek, które uzupełniają funkcje ECLIPSE™ IDE.

7. STM32CubeMonitor

Pozwala użytkownikom tworzyć niestandardowe okna monitorowania w celu dokładnego i płynnego śledzenia oprogramowania układowego aplikacji w czasie rzeczywistym.

EP 3/2020

1. Intel-Quartus-Prime-19.4
Oprogramowanie zawiera wszystko, co potrzebne do projektowania układów Intel FPGA, SoC i złożonych programowalnych urządzeń logicznych CPLD.

2. Lattice-FPGA-Diamond
Kompletne środowisko projektowania oparte na GUI dla układów FPGA firmy Lattice.

3. Lattice-FPGA-Radiant
Oferuje wszystkie najlepsze w swojej klasie narzędzia i funkcje, które pomagają użytkownikom efektywnie i wydajnie tworzyć aplikacje oparte na układach FPGA firmy Lattice.

4. NXP-IMX-Pin-Tool-v7
Nowe narzędzie Pins sprawia, że konfiguracja pinów jest łatwiejsza i szybsza dzięki intuicyjnemu i łatwemu interfejsowi użytkownika, który następnie generuje normalny kod C.

5. STM32CubeMX-v5.0
Narzędzie ułatwiające konfigurację mikrokontrolerów STM32 za pomocą interfejsu graficznego.

EP 2/2020

1. Autodesk Eagle 9.5.2
Dobrze znany i ceniony program do projektowania i optymalizacji płytek PCB, także wielowarstwowych.

2. Libre PCB 0.13
Bezpłatne wieloplatformowe oprogramowanie EDA do opracowywania płytek drukowanych. Posiada intuicyjny, nowoczesny i łatwy w obsłudze graficzny interfejs użytkownika.

3. Microchip Atmel Studio 7.0 build 2397
Zintegrowane środowisko programistyczne (IDE) do pisania i debugowania aplikacji dla układów AVR i ARM w systemach Windows.

4. Netpad++ 7.8.2
Darmowy edytor kodu źródłowego i zamiennik Notatnika, który obsługuje kilka języków programowania. Jego działanie w środowisku MS Windows podlega licencji GPL.

5. Siemens LOGO! Soft Comfort 8.2 SP1
Oprogramowanie LOGO! Soft Comfort jest intuicyjne i łatwe w obsłudze. Wspiera pracę w trybie sieciowym, symulacja projektu, tworzenie programu i dokumentacja są łatwo dostępne dzięki funkcjonalności drag&drop.

6. Silabs Simplicity Studio 4
Simplicity Studio upraszcza proces tworzenia IoT, umożliwiając dostęp do wszystkiego, czego potrzebują programiści, aby zrealizować swoje projekty za pomocą zintegrowanego środowiska

programistycznego (IDE) opartego na Eclipse 4.5.

7. TI Clock Tree Tool
Narzędzie programowe do konfiguracji drzewa zegarowego. Dostarcza informacje o zegarach i modułach w układach TI.

8. TI Code Composer Studio 9.2.0.13
Zintegrowane środowisko programistyczne (IDE), które obsługuje portfolio mikrokontrolerów i procesorów Embedded firmy TI.

9. TI Pin Mux Tool 4.0.1537
Narzędzie programowe, które zapewnia graficzny interfejs użytkownika do konfiguracji ustawień multiplexowania pinów, rozwiązywania konfliktów i określania charakterystyki konkretnego we/wy dla jednostek MPU TI.

10. Zsoft PCB 3D Gerber Viewer
Zsoft PCB jest darmową przeglądarką plików Gerber, która pokaże więcej niż tylko to, jak będzie wyglądać płytkę po wykonaniu w fabryce. Pozwala na realistyczną, trójwymiarową wizualizację plików CAD/CAM.

EP 1/2020

1. Arduino 1.8.10
Środowisko programistyczne, które umożliwia wykorzystanie języków C oraz C++ do pisania kodów współpracujących z mnożstwem gotowych płytek i modułów. Oferuje bazę gotowych bibliotek jak EEPROM, Firmata, GSM, Servo, TFT, WiFi, itp.

2. Microchip-MPLAB-X-IDE
Zintegrowane środowisko programistyczne MPLAB X IDE to rozszerzalny, wysoce konfigurowalny program, który zawiera potężne narzędzia pomagające odkrywać, konfigurować, rozwijać i debugować projekty na układach firmy Microchip.

3. Segger-Embedded-Studio-for-ARM
Embedded Studio to potężne IDE (zintegrowane środowisko programistyczne) bazujące na języku C/C++ dla systemów wbudowanych.

4. Segger-Embedded-Studio-for-RISC-V
Embedded Studio for RISC-V to środowisko programistyczne dla układów opartych na otwartej architekturze RISC-V.

5. STM32Cube-MX-Packs
STM32Cube to podstawowy zestaw komponentów oprogramowania, takich jak HAL, interfejs API LL, oprogramowanie pośrednie i przykłady aplikacji. Pakiety rozszerzeń zawierają wbudowane komponenty oprogramowania, które uzupełniają funkcje STM32Cube.

6. ST-MCU-Finder
Aplikacja umożliwia eksplorację pełnego

portfolio mikrokontrolerów STM32 Arm Cortex-M i STM8 oraz płyt rozwojowych z dowolnego urządzenia mobilnego lub bezpośrednio ze środowiska komputerowego programisty.

EP 12/2019

1. LTSpiceXVII
LTSpice XVII jest prosty w obsłudze program, przeznaczony do projektowania i przeprowadzania symulacji analogowych i mieszanych układów elektronicznych.

2. Espressif-ESP32-IDF
Platforma programistyczna Espressif IDF jest przeznaczona do tworzenia aplikacji internetu rzeczy (IoT) z Wi-Fi, Bluetooth, zarządzania energią i kilkoma innymi funkcjami systemu dla modułów serii ESP32.

3. FTDI-FTHx-Toolchain
Bezpłatne narzędzie do programowania i debugowania kodu dla układów serii FTHx, oparte na wtyczkach do darmowego popularnego IDE używającego kompilatora GCC.

4. Microchip-MPLAB-MindI
Program przeznaczony do komputerowej symulacji i analizy analogowych układów elektronicznych.

5. Microchip-MPLAB-X-IDE
Zintegrowane środowisko programistyczne MPLAB X IDE, które zawiera potężne narzędzia pomagające odkrywać, konfigurować, rozwijać i debugować projekty na układach firmy Microchip.

6. STM32CubeIDE-11.0
Zaawansowana platforma programistyczna C/C++ z konfiguracją urządzeń peryferyjnych, generowaniem kodu, kompilacją i debugowaniem kodu dla mikrokontrolerów i mikroprocesorów STM32.

7. STM32CubeMX-5.4.0
Najnowsza wersja narzędzia ułatwiającego konfigurację mikrokontrolerów STM32 za pomocą interfejsu graficznego.

EP 11/2019

1. Intel-Quartus-Prime-19.3
Rewolucyjne oprogramowanie Intel Quartus Prime Design zawiera wszystko, czego potrzebujesz do projektowania układów Intel FPGA i SoC.

2. NXP-IMX-Pins-Tool
Narzędzie Pins konfiguruje sygnały pinów multiplexowanych, a także tworzy pliki wyników drzewa urządzeń.

3. ST-STM32CubeIDE
Zaawansowana platforma programistyczna C/C++ z konfiguracją urządzeń peryferyjnych, generowaniem kodu, kompilacją kodu i funkcjami debugowania

dla mikrokontrolerów i mikroprocesorów STM32.

4. TI-MSP430-tools
Pakiet zawiera kompletne narzędzia do debugowania i kompilatora C/C++ typu open source do aplikacji opartych na mikrokontrolerach MSP430.

EP 10/2019

1. Lattice Radiant Software 1.1
Oferuje wszystkie najlepsze w swojej klasie narzędzia i funkcje, które pomagają użytkownikom efektywnie i wydajnie tworzyć aplikacje oparte na układach FPGA firmy Lattice.

2. CodeWarrior Development Studio for Microcontrollers V11.1
Zintegrowane środowisko programistyczne (IDE) od NXP Semiconductors

3. LPCpresso v8.2.2
Zintegrowane środowisko programistyczne (IDE) od NXP bazujące na Eclipse

4. S32 Design Studio for Power Architecture v2.1
Bezpłatne zintegrowane środowisko programistyczne (IDE) dla motoryzacyjnych i bardzo niezawodnych mikrokontrolerów opartych na architekturze Power Architecture (rdzeń e200) i ARM

5. ST-TrueStudio-9.3.0
Elastyczne i rozszerzalne środowisko, z wbudowanymi funkcjami edycji, kompilacji i debugowania kodu dla programistów mikrokontrolerów STM32

EP 9/2019

1. ADI-LTSpice-XVII-9-2019
Program do projektowania i testowania analogowych i mieszanych układów elektronicznych.

2. Autodesk-AE-2019.8.09
Pakiet narzędzi do projektowania płytek drukowanych.

3. Intel-Quartus-Prime-19.2
Bezpłatny pakiet oprogramowania przeznaczony do projektowania FPGA firmy Intel.

4. STM32CubeMX-5.3.0
Narzędzie ułatwiające konfigurację mikrokontrolerów STM32 za pomocą interfejsu graficznego.

EP 8/2019

1. Infineon-DaVE-4.4.2
Pakiet programistyczny DaVE firmy Infineon, w wersjach dla Win64. Generuje kod dla najnowszych mikrokontrolerów XMCxxx i XMC4xxx.

2. Lattice Semiconductor-Diamond-FPGA
Kompletne środowisko projektowania

oparte na GUI, dla układów FPGA firmy Lattice.

3. Microchip MPLAB Harmony
Najnowsza wersja Środowiska programistycznego firmy Microchip wspierająca programowanie mikrokontrolerów z rdzeniem PIC32 tej firmy

4. NXP-IMX-Pin-Tool
Konfigurator graficzny przeznaczony dla procesorów iMX.

EP 7/2019

1. ADI-LTSPICE
LTSpice to program do projektowania i testowania analogowych i mieszanych układów elektronicznych.

2. ADI-SigmaStudio
Graficzne narzędzie programistyczne dla procesorów SigmaDSP. Pozwala inżynierom bez doświadczenia w pisaniu kodu DSP na łatwe wdrożenie DSP do swoich projektów.

3. CodeWarrior for QorIQ LS Series ARMv8 ISA
Środowisko programistyczne (IDE) opracowane przez Freescale dla procesorów serii QorIQ LS. Układatek oferuje wyjątkową wydajność obliczeniową i energetyczną, dedykowane są do aplikacji sieciowych.

4. Infineon-ModusToolbox
Nowy pakiet narzędzi programistycznych opracowany przez Cypress, który ma usprawnić projektowanie produktów dla Internetu Rzeczy.

5. Infineon-PSoC-Software
Pakiet narzędzi programistycznych opracowanych przez Cypress, który na pełnym wykorzystaniu możliwości układów PSoC. Zawiera PSoC Creator, PSoC Designer i PSoC Programmer.

6. SiliconLabs-SimplicityStudio4
Simplicity Studio to zintegrowane środowisko programistyczne (IDE) oparte na Eclipse. Zawiera zestaw narzędzi do profilowania energii, konfiguracji i analizy sieci bezprzewodowej.

7. TI-Code Composer Studio Version 9
Code Composer Studio to zintegrowane środowisko programistyczne (IDE), które obsługuje portfolio mikrokontrolerów TI i procesorów wbudowanych.

EP 6/2019

1. Labcenter-Proteus
Pakiet oprogramowania EDA, zawiera aplikacje wspomagające tworzenie schematów, projektowanie płytek i narzędzia do symulacji.

2. NXP-MCUXpresso-Config-Tools
Oprogramowanie służące do konfiguracji mikrokontrolerów zamontowanych na płytkach MCUXpresso.

3. NXP-MCUXpresso-IDE
Środowisko IDE MCUXpresso oparte na Eclipse dla mikrokontrolerów NXP w tym mikrokontrolerów LPC.

4. ST-STM32CubeIDE
Konfigurator graficzny wspomagający programowanie mikrokontrolerów STM32.

5. ST-TouchGFXDesigner
Oprogramowanie ułatwiające tworzenie interfejsu graficznego w systemach z STM32.

6. ST-TrueSTUDIO-9.2.0
Elastyczne i rozszerzalne środowisko, z funkcjami edycji, kompilacji i debugowania dla mikrokontrolerów STM32.

EP 05/2019

1. FlexGUI Mixed Signal Audio Software
Oprogramowanie firmy Cirrus Logic przeznaczone do obsługi płytek ewaluacyjnych do budowania zaawansowanych torów obróbki sygnałów audio.

2. WISCE Development Tools Suite
Narzędzie programowe firmy Cirrus Logic służące do wspierania procesów konstrukcyjnych oraz produkcji urządzeń.

3. Intel Quartus Prime Pro Edition 19.1.0.240
Bezpłatny pakiet oprogramowania, środowisko projektowe dla układów FPGA.

4. EasyEDA wersja 3.0.11
Program do projektowania i symulowania obwodów oraz projektowania płytek drukowanych.

EP 03/2019

1. Atollic TrueSTUDIO for STM32
Pakiet IDE do tworzenia programów dla mikrokontrolerów STM32.

2. Siemens LOGO! Web Editor
Edytor stron internetowych dla sterownika LOGO! v8

3. Analog Devices LTSpice XVII
Popularny symulator układów elektronicznych, teraz rozwijana przez firmę Analog Devices.

4. Siemens LOGO!Soft Comfort v8.1
Środowisko projektowe przeznaczone do tworzenia aplikacji dla procesorów firmy Texas Instruments.

5. WaveDrom Editor v1.6.3
WaveDrom tworzy wykres czasowy lub przebieg na podstawie opisu tekstowego.

6. Tina 9 TI
Symulator układów elektronicznych wspierany i rozwijany przez firmę TI.

7. TI Code Composer Studio 8.3 for Win
Pakiet oprogramowania służący do tworzenia aplikacji dla procesorów firmy Texas Instruments.



Robot do teleprezencji sterowany poprzez Wi-Fi

Teleprezencja – zwana „zdalną obecnością” to w robotyce określenie na ogół systemów, pozwalających przemieścić naszą osobę w zdalne miejsce. Zazwyczaj działa to w dwie strony, szerzej niż w przypadku np. wideokonferencji, gdyż nie tylko widzimy i jesteśmy widziani, to możemy także oddziaływać z swoim otoczeniem i często poruszać się.

Prezentowany w artykule prosty robot służy do realizowania zdalnej obecności – pozwala na częściowe przeniesienie się w oddalony od nas obszar. Wystarczy, że zapewnione będzie połączenie robota z siecią Internet poprzez Wi-Fi.

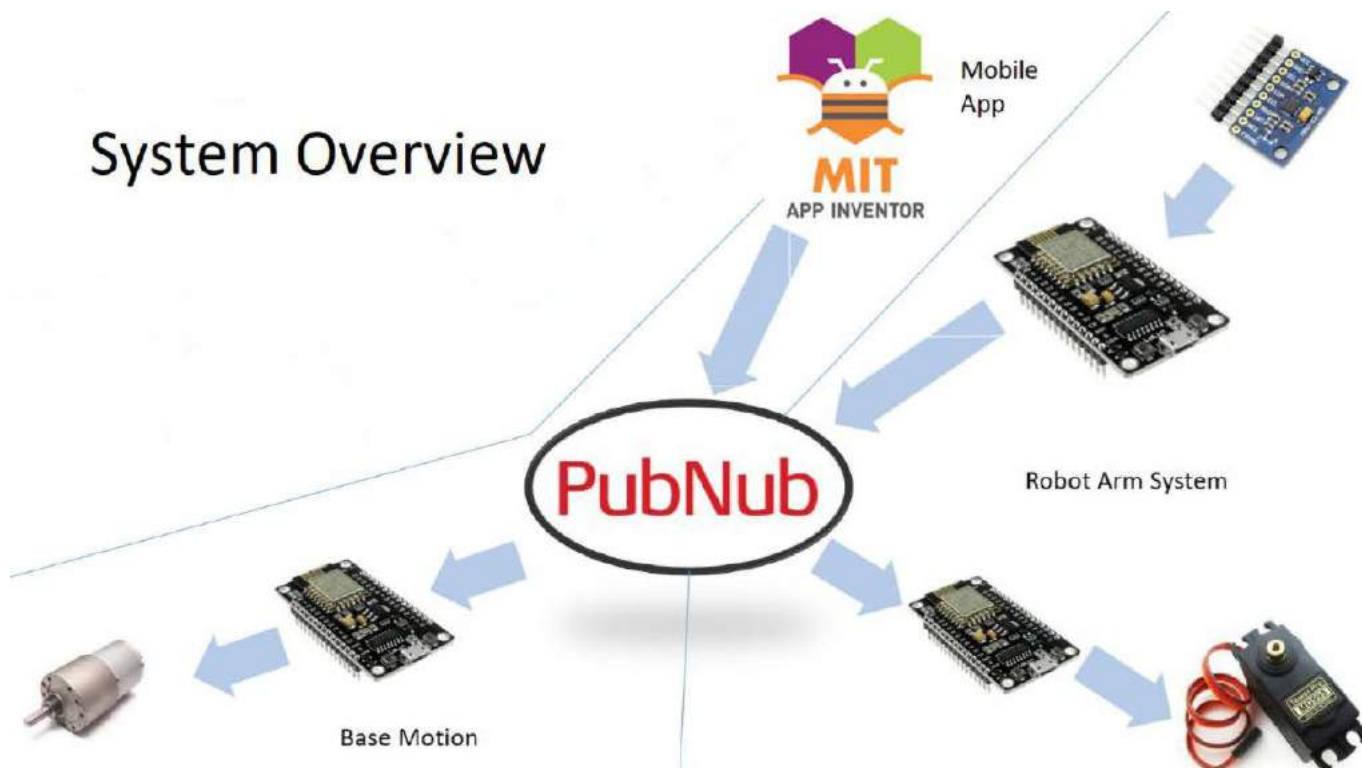
Koncepcja teleprezencji może wydawać się abstrakcyjna, jednakże, to, co do niedawna było, co najwyżej pomysłem z książek science-fiction, obecnie jest proste do zrealizowania nawet we własnym domu. Jeszcze niedawno wideorozmowy pojawiały się tylko w filmach SF, a teraz każdy z nas może komunikować się w ten sposób z dowolną osobą na całym świecie. Teleprezencja jest rozszerzeniem idei telekonferencji. Aby mówić o zdalnej obecności, oprócz transmitowania (w obie strony) dźwięku i obrazu, musimy także mieć możliwość, chociażby podstawowych, interakcji z otoczeniem po drugiej stronie łącza.

Opisany projekt to sposób budowy prostego robota do zdalnej obecności, który może być kontrolowany poprzez sieć bezprzewodową Wi-Fi. Potrzebuje Internetu do komunikacji, ale może być sterowany z pomocą prostej aplikacji z dowolnego miejsca na świecie, dzięki wykorzystaniu sieci PubNub do przesyłania danych. Robot taki to nie tylko narzędzie do zaawansowanej komunikacji. Przede wszystkim system ten przydać może się osobom niepełnosprawnym. Dzięki możliwości poruszania się i interakcji z otoczeniem, może zrobić wiele czynności, chociażby pozwolić na samodzielne podanie sobie czegoś do łóżka, z którego chorzy nie są w stanie wstać.

Alternatywnym wykorzystaniem systemów teleprezencji, jest praca w miejscu, gdzie ludzie nie mogą się dostać, albo warunki tam panujące mogłyby być dla nich szkodliwe. Sztandarowym przykładem mogą tutaj być zdalnie sterowane sondy kosmiczne – marsjański łazik nie jest niczym innym, niż bardzo zaawansowanym systemem do zdalnej obecności człowieka na Marsie.

Potrzebne elementy

Robot składa się z kilku niezależnych systemów, które współpracują ze sobą, by umożliwić robotowi pełne działanie. Do jego budowy potrzebować będziemy, oprócz zestawu narzędzi czy komputera, następujące elementy i moduły elektroniczne i mechaniczne:



Rysunek 1. Schemat przepływu danych w robocie do zdalnej obecności

- trzy moduły NodeMCU,
- sterownik silnika DC z L298N,
- zasilacz 12 V,
- moduł ze stabilizatorem napięcia LM2596,
- dwa moduły z sensorami inercyjnymi (IMU) MPU9250,
- cztery serwomotory (moment 1...2 Nm),
- silnik elektryczny prądu stałego 12 V (moment, co najmniej 2,5 Nm),
- elementy konstrukcyjne do robota – może być fragment ok. 1×1 m sklejk,
- pręty gwintowane do skręcenia konstrukcji (dwa kawałki po 1 m),
- elementy z druku 3D (opisane w tekście),
- koła dla robota.

Komunikacja

Na **rysunku 1** zaprezentowano schemat przepływu danych, który pozwala zrozumieć, w jaki sposób poszczególne komponenty robota komunikują się ze sobą. W systemie wykorzystana jest sieć do przesyłu danych o nazwie PubNub. Jest to platforma IoT, która może wysyłać wiadomości w czasie rzeczywistym z opóźnieniami na poziomie zaledwie 0,5 sekundy. To najszybszy czas reakcji, jaki możemy uzyskać, wykorzystując łączność przez sieć Internet. Jest to bardzo ważne, ponieważ sterowanie ramieniem robota musi działać w czasie rzeczywistym.

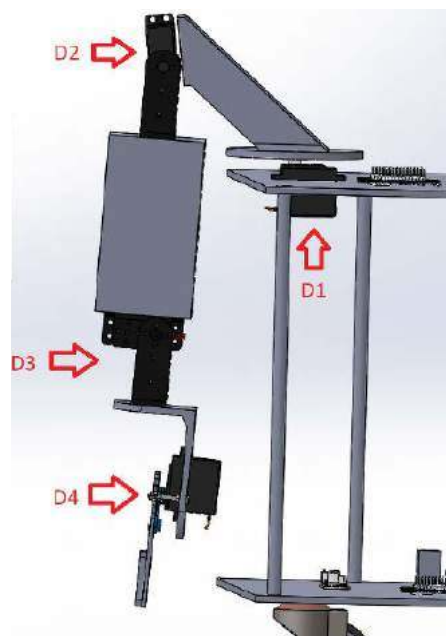
Wszystkie NodeMCU w systemie służą do wysyłania i odbierania danych. W urządzeniu znajdują się dwa osobne systemy, korzystające niezależnie od siebie z sieci PubNub. Moduł NodeMCU na ramieniu robota wysyła dane z czujnika ruchu do PubNub, które są następnie odbierane przez drugie NodeMCU w ramieniu. Drugi system steruje ruchem podstawy robota – gdy aplikacja mobilna wysyła dane z joysticka, jako współrzędne X i Y, są one odbierane przez NodeMCU w podstawie, która może sterować silnikiem poprzez dedykowany sterownik.

Projekt mechaniczny

Na **fotografii tytułowej** pokazano wizualizację projektu robota – daje ona dobre wyobrażenie o tym, jak ma wyglądać całe urządzenie. Wszystkie pliki CAD można pobrać z portalu GrabCAD. Podstawa

robota wsparta jest na trzech kołach, z których dwa podłączone są do silników prądu stałego z tyłu. Trzecie, przednie koło obraca się swobodnie. Taka konstrukcja może powodować niestabilność ruchu, z uwagi na obciążenie ramieniem z przodu. W takiej sytuacji pojedyncze przednie koło można zastąpić dwoma.

Dolne i górne 'piętra' konstrukcji robota wykonane są ze sklejek. Są połączone ze sobą z pomocą gwintowanych prętów i kontrujących nakrętek. Montując system należy upewnić się, że używa się



Lokacja w robocie	Wykorzystany serwomotor	Początkowy kąt	Zakres ruchów serwa
D1	JX servo	90	140-30
D2	Kuman	10	10-110
D3	Kuman	90	0-180
D4	MG995	90	0-180

Rysunek 2. Schemat ustawień poszczególnych serwomotorów ramienia podczas montażu

Listing 1. Prosty skrypt Arduino pozwalający ustawić serwomotor do zadanego kąta

```
#include <Servo.h>
Servo servo;
// wpisz zamiast X numer pinu,
// do którego podłączone jest serwo
int pin = X;

void setup() {
  servo.attach(pin);
}

void loop() {
  // wpisz zamiast Y kąt
  // jaki należy ustawić
  int angle = Y;
  servo.write(angle);
}
```

nakrętek zabezpieczających, dzięki temu robot będzie pewnie pracował przez długi czas.

Cały projekt robota pobrać można tutaj – <https://bit.ly/2U5htui>. Wiele z elementów urządzenia jest wykonanych w technologii druku 3D. Autor udostępnia wszystkie potrzebne do druku pliki na stronie projektu.

Ramię robota do teleprezencji ma prostą konstrukcję. Elementy zostały zoptymalizowane pod kątem druku 3D przy minimalnej ilości potrzebnego filamentu. Długość ramienia wynosi około 40 cm – w przybliżeniu tyle, ile wynosi ludzkie ramię. Długość ramienia robota zależy od momentu obrotowego generowanego przez serwosilniki. Dokładne obliczenie momentu obrotowego wymaganego w tej konstrukcji znaleźć można na stronie z projektem na portalu instructables.com. Dzięki temu można dostosować projekt do własnych potrzeb. Należy jednak unikać wykorzystywania maksymalnego momentu obrotowego danego serwowym, ponieważ w dłuższej perspektywie spowoduje to jego uszkodzenie.

Montaż robota jest bardzo prosty i ogranicza się do kilku kroków:

1. Przytnij gwintowane pręty na odpowiadającą Tobie długość.
2. Wytnij 2 kawałki sklejk o wymiarach 40×30 cm każdy.

3. Wywierć niezbędne otwory w górnej i dolnej podstawie, jak na rysunku.
4. Zamontuj silniki prądu stałego i kółka na dolnej podstawie.
5. Aby wykonać prostokątny otwór w górnej podstawie, najpierw wykonaj wiertarką okrągły otwór, a następnie wyrzynarką dotnij go wzdłuż krawędzi, aby utworzyć prostokąt.

Rozmieszczenie otworów do montażu gwintowanych prętów należy dobrać do miejsca montażu ramienia tak, aby zachować najlepszą równowagę masy na robocie.

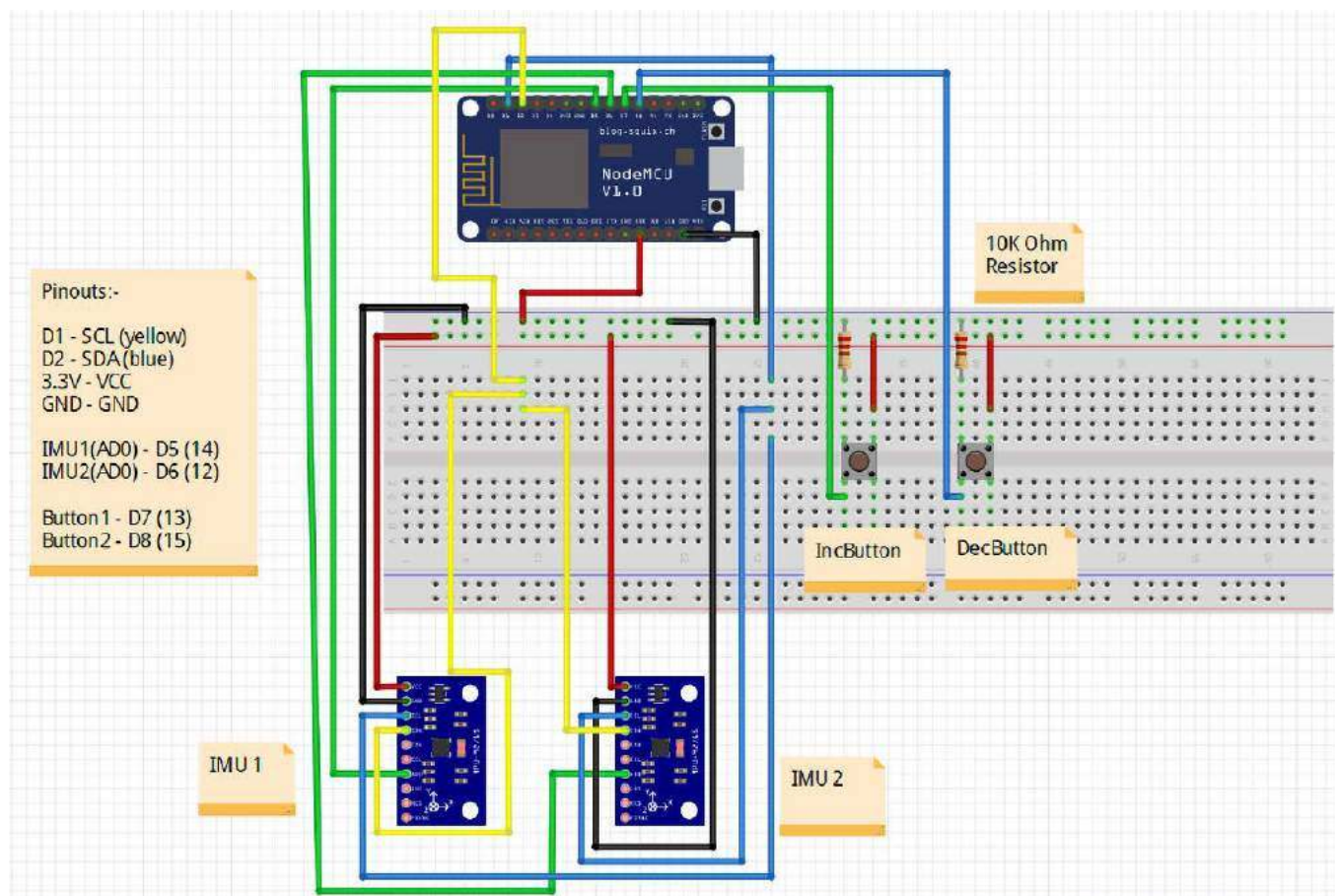
Montaż ramienia robota wymaga szczególnej uwagi. Poza montażem mechanicznym należy upewnić się, że serwa są ustawione pod odpowiednim kątem podczas montażu – zgodnie ze schematem pokazanym na **rysunku 2**. Do ustawienia kąta silników można skorzystać z kodu z **listingu 1**, i modułu Arduino lub NodeMCU. Dużo informacji na temat połączenia serwomechanizmów z modułami Arduino można znaleźć w Internecie, więc nie ma sensu szczegółowe omawianie tego prostego skryptu i sposobu podłączenia serwa.

Układ kontroli ramienia

Układ elektroniczny sterujący ramięm robota jest dosyć prosty. Składa się z dwóch modułów inercyjnych, które służą do pomiaru położenia ręki operatora. Jej ruch jest następnie tłumaczony, na ruch zdalnego ramienia. Schemat tego kontrolera pokazano na **rysunku 3**.

Kontroler wykonano w oparciu o moduł NodeMCU oraz moduły z sensorami IMU, które wszyte zostały w elastyczny, tekstylny rękaw. Montując sensory na rękawie, koniecznie należy upewnić się, że sensory inercyjne wszyte są w rękaw w poprawnej orientacji.

Finalnie, można podłączyć moduł z mikrokontrolerem do komputera i załadować do niego kod programu poprzez Arduino IDE. Skrypt, który należy załadować do modułu NodeMCU w sterowniku ramienia znajduje się na **listingu 2**. W kodzie programu należy uzupełnić nazwę sieci Wi-Fi, z jaką ma się łączyć moduł i inne dane do logowania, a także dane konta PubNub (o nim w dalszej części artykułu).



Rysunek 3. Schemat kontrolera ramienia robota

Listing 2. Szkic Arduino dla sterownika ramienia

```

void setup() {
  // Wpisz prędkość portu szeregowego do debugowania
  Serial.begin(115200);
  pinMode(imu1, OUTPUT);
  pinMode(imu2, OUTPUT);
  pinMode(IncButton, INPUT);
  pinMode(DecButton, INPUT);

  Serial.println("Connecting to ");
  Serial.println(ssid);

  WiFi.begin(ssid, pass);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi connected");
  // Uruchomienie biblioteki PubNub z zadanymi kluczami
  PubNub.begin(pubkey, subkey);
  // Uruchomienie komunikacji z IMU
  IMU.begin();
}

void loop() {
  digitalWrite(imu1, LOW);
  digitalWrite(imu2, HIGH);
  IMU.readSensor();
  int shoulder_yaw = map(IMU.getMagY_uT(), -15, 60, 30, 140);
  int shoulder_pitch = map(IMU.getAccelX_mss(), -10, 10, 180, 0);
  digitalWrite(imu1, HIGH);
  digitalWrite(imu2, LOW);
  IMU.readSensor();
  int arm_pitch = map(IMU.getAccelX_mss(), -8, 8, 0, 180);

  IncGripper = digitalRead(IncButton);
  DecGripper = digitalRead(DecButton);
  Serial.print(IncGripper);
  Serial.print(DecGripper);

  if (IncGripper == HIGH) {
    pos += 5;
  }
  if (DecGripper == HIGH) {
    pos -= 5;
  }
  if (pos < 0) pos=0;
  if (pos > 90) pos=90;

  Serial.print("shoulder yaw: ");
  Serial.print(shoulder_yaw);
  Serial.print("shoulder pitch: ");
  Serial.print(shoulder_pitch);
  Serial.print("arm pitch: ");
  Serial.println(arm_pitch);
  Serial.print("Gripper Position: ");
  Serial.println(pos);

  char buf[500] = {};
  const int capacity = JSON_OBJECT_SIZE(100);
  StaticJsonDocument<capacity> doc;

  doc["servo1"] = shoulder_yaw;
  doc["servo2"] = shoulder_pitch;
  doc["servo3"] = arm_pitch;
  doc["grip"] = pos;

  serializeJson(doc, buf);
  PubNubSubClient *pclient = PubNub.publish(pubchannel, buf);
  if (!pclient) return;
  PublishCracker cheez;
  cheez.read_and_parse(pclient);

  Serial.print("Outcome: "); Serial.print(cheez.outcome());
  Serial.print(" "); Serial.println(cheez.to_str(cheez.outcome()));
  Serial.print("description: "); Serial.println(cheez.description());
  Serial.print("timestamp: "); Serial.println(cheez.timestamp());
  Serial.print("state: "); Serial.print(cheez.state());
  Serial.print(" "); Serial.println(cheez.to_str(cheez.state()));

  pclient->stop();
}

```

Listing 3. Szkic Arduino kontrolera ramienia

```

void setup() {
  ...

  myservo1.attach(D1);
  myservo1.write(90);
  myservo2.attach(D2);
  myservo2.write(60);
  myservo3.attach(D5);
  myservo3.write(0);
  myservo4.attach(D6);
  myservo4.write(90);
}

void loop() {
  PubSubClient *sclient = PubNub.subscribe(subchannel);
  if (!sclient) return; // błąd
  String msg;
  SubscribeCracker ritz(sclient);
  while (!ritz.finished()) {
    ritz.get(msg);
    if (msg.length() > 0) {
      Serial.print("Received: ");
      Serial.println(msg);

      DynamicJsonDocument json(200);
      deserializeJson(json, msg);

      int angle1 = json["servo1"];
      int angle2 = json["servo2"];
      int angle3 = json["servo3"];
      int angle4 = json["grip"];

      Serial.println("Servo angles:- ");

      Serial.println(angle1);
      Serial.println(angle2);
      Serial.println(angle3);
      Serial.println(angle4);

      myservo1.write(angle1);
      myservo2.write(angle2);
      myservo3.write(angle3);
      myservo4.write(angle4);
    }
  }
  sclient->stop();
}

```

uruchomieniem systemu, należy sprawdzić czy nigdzie nie ma zwarcia i ustawić napięcie wyjściowe przetwornicy buck na 7 V. Będzie ona zasilala serwosilniki.

Po wykonaniu połączeń elektrycznych i uruchomieniu systemu można załadować firmware do poszczególnych modułów NodeMCU. Do układu sterującego ramieniem należy wgrać szkic z **listingu 3**, a do drugiego z modułów, który steruje silnikiem podstawy, kod z **listingu 4**. W obu szkicach należy uzupełnić wartości zmiennych, związane z danymi sieci Wi-Fi (SSID oraz hasło) oraz sieci PubNub.

Aplikacja na telefon komórkowy

Do sterowania ruchem robota w osiach X oraz Y. Na **rysunku 5** pokazano widok aplikacji, uruchomionej na smartfonie. Do sterowania pozycją robota służy znajdujący się w środku

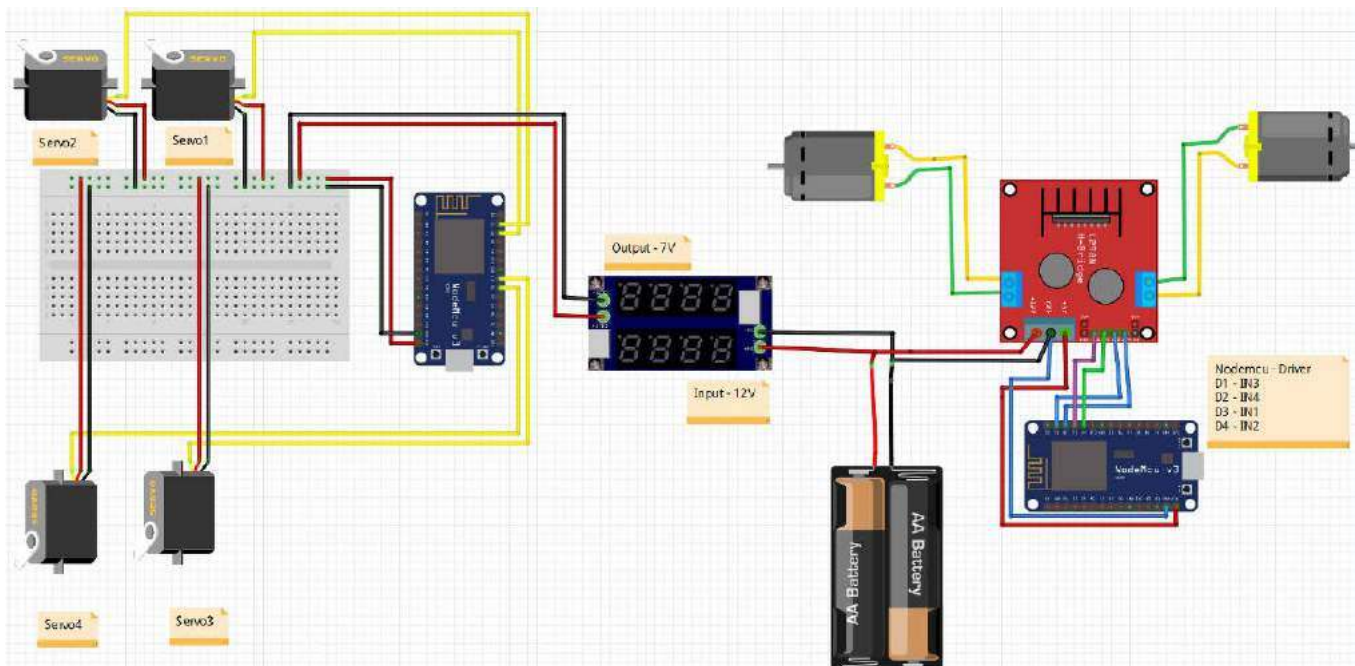
joystick. Kiedy użytkownik porusza joystickiem, aplikacja wysyła współrzędne X, Y do PubNub, skąd dane są pobierane przez moduł NodeMCU w robocie. Następnie współrzędna są konwertowane na kąt i na tej podstawie robot ustala, w którym kierunku ma się poruszyć. Ruch odbywa się poprzez włączenie/wyłączenie i zmianę kierunku obrotów dwóch silników prądu stałego. Jeśli na przykład polecenie nakazuje ruch do przodu, to oba silniki poruszają się do przodu z pełną prędkością, jeśli w lewo, lewy silnik będzie się cofał, a prawy silnik poruszał do przodu i tak dalej.

Na stronie projektu można pobrać plik źródłowy aplikacji w formacie *.aia, który można edytować za pomocą narzędzia do tworzenia aplikacji MIT. W aplikacji należy wykonać pewne kroki konfiguracji, zanim będzie można z niej w pełni korzystać.

Elektronika sterująca

Pozostałe dwa moduły NodeMCU znajdują się na pokładzie robota i służą do sterowania jego silnikami. Jeden moduł odpowiada za sterowanie silnikiem poruszającym całą platformą, a drugi kontroluje serwomotory ramienia. Schemat połączeń obu modułów ze sterownikami silników pokazano na **rysunku 4**. Postępuj zgodnie z tym schematem, aby połączyć w odpowiedni sposób poszczególne moduły składowe robota.

Wszystkie połączenia można wykonać z pomocą zworek nasadzanych na goldpiny modułów. Jedynym miejscem, gdzie należy wykonać połączenie lutowane są zaciski silników prądu stałego. Pobiera on sporo prądu i należy zagwarantować niską rezystancję styku. Po wykonaniu wszystkich połączeń, przed pierwszym



Rysunek 4. Schemat połączeń elektroniki robota do teleprezencji



Rysunek 5. Widok aplikacji, uruchomionej na smartfonie

Sieć PubNub

Ostatni krok to skonfigurowanie platformy IoT. PubNub jest tutaj bardzo dobrym wyborem, ponieważ jak pisano powyżej, oferuje bardzo niskie opóźnienia – na poziomie zaledwie 500 ms. Dodatkowo, jest darmowy (do miliona punktów danych miesięcznie), więc nie zwiększa budżetu projektu ani nie wprowadza stałych kosztów eksploatacji systemu.

Zakładanie konta

W pierwszej kolejności należy utworzyć na portalu PubNub (www.pubnub.com) nowe konto użytkownika, jeśli jeszcze takiego nie posiadamy. Następnie, przechodzimy do menu aplikacji (po lewej stronie) i klikamy przycisk podpisany „+Create New App” (utwórz nową aplikację) po prawej stronie. Po nadaniu nazwy aplikacji otworzy się menu, tak jak pokazano na **rysunku 6**, gdzie znaleźć możemy obraz klucza wydawcy i subskrybenta. Tego będziemy używać do łączenia urządzeń z siecią.

Konfiguracja konta w oprogramowaniu

Do skonfigurowania firmware potrzebujemy 4 rzeczy, aby urządzenia mogły się ze sobą komunikować: – klucz publiczny (public key), podklucz (subkey), kanał (channel) i dane Wi-Fi (SSID oraz hasło). Klucz i podklucz pozostaną takie same we wszystkich aplikacjach NodeMCU i aplikacjach mobilnych. Dwa urządzenia, które się komunikują, powinny mieć tę samą nazwę kanału. Ponieważ aplikacja mobilna i baza komunikują się ze sobą i muszą



Rysunek 6. Okno z kluczami na stronie PubNub

Listing 4. Szkic Arduino kontrolera silników podstawy

```

void loop() {
  PubSubClient *sclient = PubNub.subscribe(subchannel);
  if (sclient) {
    String msg;
    SubscribeCracker ritz(sclient);
    if (!ritz.finished()) {
      ritz.get(msg);
      if (msg.length() == 0) {
        Serial.println("motor stop");
        return;
      } else {
        Serial.print("Received: "); Serial.println(msg);

        String X = getStringPartByNr(msg, ':', 0);
        String Y = getStringPartByNr(msg, ':', 1);

        X.remove(0,1);
        Y.remove(0,1);

        int Xcord = X.toInt();
        int Ycord = Y.toInt();

        Serial.print("X: "); Serial.println(Xcord);
        Serial.print("Y: "); Serial.println(Ycord);

        int angle;
        int throttle = (Xcord + Ycord)/2;

        if ((Xcord > 100) && (Ycord > 100)) {
          angle = round(atan2(Ycord-100,Xcord-100)*(180/3.14));
        }
        else if ((Xcord < 100) && (Ycord > 100)) {
          angle = 180 - round(atan2(Ycord-100,100-Xcord)*(180/3.14));
        }
        else if ((Xcord < 100) && (Ycord < 100)) {
          angle = 180 + round(atan2(100-Ycord,100-Xcord)*(180/3.14));
        }
        else if ((Xcord > 100) && (Ycord < 100)) {
          angle = 270 + round(atan2(Xcord-100,100-Ycord)*(180/3.14));
        }

        Serial.print("Angle: "); Serial.println(angle);

        if ((45 <= angle) && (angle < 135)) {
          motorR.forward();
          motorL.forward();
          Serial.println("forward");
        }
        else if ((135 <= angle) && (angle < 225)) {
          motorR.forward();
          motorL.backward();
          Serial.println("Left");
        }
        else if ((225 <= angle) && (angle < 315)) {
          motorR.backward();
          motorL.backward();
          Serial.println("Back");
        }
        else if ((315 <= angle) || (angle < 45)) {
          motorR.backward();
          motorL.forward();
          Serial.println("Right");
        }
      }
    }
    sclient->stop();
  }
}

String getStringPartByNr(String data, char separator, int index){
  // zmienna do zliczania numerów partii danych
  int stringData = 0;
  // zmienna do zwracania tekstu z funkcji
  String dataPart = "";
  // Parsowanie tekstu po literze
  for(int i = 0; i<data.length()-1; i++) {
    if(data[i]==separator) {
      // Zlicza ile razy w tekście napotka separator
      stringData++;
    } else if(stringData==index) {
      // Skopiuje tekst, gdy separator jest odpowiedni
      dataPart.concat(data[i]);
    } else if(stringData>index) {
      // Zwróć tekst, gdy pojawi się kolejny separator
      // oszczędza czas CPU
      return dataPart;
      break;
    }
  }
  // Zwraca tekst
  return dataPart;
}

```

mieć tą samą nazwę kanału dla aplikacji na smartfona i robota. Tak jak wspominaliśmy powyżej, firmware należy także uzupełnić o dane Wi-Fi – hasło i nazwę sieci.

W załączonych na listingach szkicach Arduino kanały są już domyślnie nazwane, więc jedyne linijki, które należy uzupełnić to Wi-Fi oraz klucz i podklucz. W każdym skrypcie wyglądają one tak samo:

```

const char *ssid = "";
// Wpisz swój SSID i klucz sieci Wi-Fi
const char *pass = "";
const char *pubkey = "";
// Wpisz swoje klucze PubNub
const char *subkey = "";

```

Uwaga: NodeMCU może łączyć się tylko z Wi-Fi, do którego można uzyskać dostęp bezpośrednio, bez np. strony do logowania się.

Podsumowanie

Kompletny robot pozwala poruszać się po całym terenie, znajdującym się w zasięgu sieci Wi-Fi i manipulować znajdującymi się tam przedmiotami. Konstrukcja jest cały czas rozwijana przez jej autora, ale obecnie ma pewne ograniczenia. Ruchy ramienia, z uwagi na opóźnienie, nie są tak płynne, jak można by wymagać – należy powoli ruszać ręką, sterującą ramieniem, by uzyskać płynny ruch. Podobnie ma się sprawa z sterowaniem ruchami platformy – zalecana jest ostrożność, tym bardziej, że robot nie posiada żadnych sensorów, które mogłyby zapobiegać zderzeniom z przeszkodami.

Robot nie został wyposażony w żaden kanał wideo – nie jest możliwe transmitowanie obrazu do i z robota, jednakże w aplikacji, do jakiej pomyślana jest konstrukcja – pomaganie osobom chorym i starszym nie jest to niezbędne. Można oczywiście do urządzenia dodać kamerę, która transmitować będzie, również przez Wi-Fi, obraz z punktu widzenia robota.

Nikodem Czechowski, EP

Źródło: <https://bit.ly/2WvcDrN>

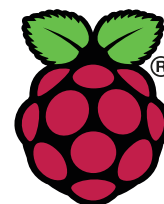
Chcesz czytać nasze najnowsze artykuły jeszcze przed wydrukowaniem w EP?

Zajrzyj na

www.ep.com.pl/EPwtoku



MudPi – automatyczny system ogrodniczy do irygacji roślin



Lubisz ogrodnictwo, ale nie masz czasu na jego podlewanie? Być może Twoje rośliny domowe, wyglądają na trochę spragnione, albo po prostu szukasz sposobu na automatyzację systemu przydomowej hydroponiki? Prezentowany projekt – system MudPi, pomoże rozwiązać te problemy.

MudPi to otwarty system automatyki ogrodowej, zaprojektowany do zarządzania i utrzymywania zasobów ogrodowych zarówno wewnątrz domu, jak i na zewnątrz, np. w ogrodzie. Został zbudowany na bazie Raspberry Pi i posiada szerokie możliwości dostosowania go do konkretnych potrzeb danego ogrodu czy domu.

W artykule opisana jest podstawowa konfiguracja, której można użyć np. w domu, aby sprawdzić jak wdrożyć MudPi lub zarządzać ogrodem na zewnątrz i kontrolować nawadnianie. Poniższy opis pozwoli nam dowiedzieć się jak zainstalować MudPi na komputerze jednopłytkowym Raspberry Pi i zastosować ten system do kontroli zautomatyzowanej irygacji w domu czy przydomowym ogródku. Nic nie stoi na przeszkodzie, aby później rozbudować system do nawadniania całego ogrodu, lub stworzenia systemu automatyki ogrodowej o bardziej zaawansowanej konstrukcji. MudPi można skonfigurować na bardzo wiele sposobów, które opisano na stronie z dokumentacją aplikacji (<https://mudpi.app/docs>).

Potrzebne materiały

Do budowy opisanego systemu irygacji będzie potrzebny szereg elementów elektronicznych i elektromechanicznych, a także elementy do wykonania klasycznego systemu irygacji. Potrzebne będą także podstawowe narzędzia.

Potrzebne komponenty

- komputer jednopłytkowy Raspberry Pi z łącznością Wi-Fi (wersja z wbudowaną kartą sieciową, lub z dodaną zewnętrzną kartą

na USB). Na komputerze powinien być już zainstalowany system operacyjny, preferowany jest Debian 9 lub 10 (Raspbian),

- monitor, klawiatura i mysz – potrzebne będą tylko w czasie konfiguracji komputera,
- karta microSD dla Raspbiana, co najmniej 8 GB,
- moduł z sensorem wilgotności i temperatury (DHT11),
- czujnik poziomu wody w zbiorniku,
- podwójny przekaźnik,
- pompka na 12 V i zasilacz do niej lub pompka na 230 V,
- zasilacz 5 V,
- rezystory 10 kΩ do podciągania linii cyfrowych,
- przewód czterożyłowy, który nadaje się do umieszczenia na dworze,
- wodoodporna obudowa z dławnicami do kabli,
- rukry do nawadniania roślin.

Rozplanowanie systemu irygacji

Pierwszym krokiem, przed rozpoczęciem montażu systemu, jest rozplanowanie tego gdzie i jak przebiegać będą rurki systemu irygacyjnego – niezależnie czy podlewamy w ten sposób pojedynczą roślinę czy cały ogród, to planowanie pozwoli nam uniknąć problemów i komplikacji później. Ważne jest, aby mieć przygotowane wszystkie rzeczy potrzebne do budowy systemu, a aby tak się stało, musimy z gotowym projektem przysiąc do zamówienia. Potrzeby naszej instalacji mogą się zmieniać z czasem, a dobrą praktyką jest przygotowywanie się na przyszłość. Zatem należy wziąć pod uwagę możliwość późniejszej rozbudowy instalacji.

Planując system irygacji musimy podjąć szereg decyzji projektowych. Pierwszą z nich jest wybór systemu dostarczania wody. Dwie główne opcje to użycie pompy w zbiorniku wody, albo wąż podłączony do instalacji wodnej z elektrozaworem do sterowania przepływem. Większy, bardziej złożony system może nawet wykorzystywać oba te elementy (np. do wydzielania stref różnego nawadniania w ogrodzie). W opisywanym projekcie zastosowano pompkę do dostarczania wody do linii irygacyjnej.

MudPi idealnie nadaje się do skalowania i testowania wielu różnych rozwiązań. Projekt systemu można zacząć od butelki wody i pompki na 3,3 V do podlewania kwiatka w doniczce. Projektując system należy dobrać odpowiednie rozwiązania dla naszych roślin. Na rynku dostępnych jest wiele różnych systemów podawania wody – tryskacze, kroplówki, zraszacze etc. Każdy z nich ma swoje konkretne aplikacje, ale jako że Elektronika Praktyczna nie jest czasopiśmie ogrodniczym, a elektronicznym, to tematyki tej nie będziemy zgłębiać na jej łamach. Zakładamy tylko, że rozpoczynając budowę elektronicznej części systemu, każdy ma już przygotowany system nawadniania, dobrany do potrzeb swojego ogrodu.

MudPi może również sterować oświetleniem roślin w pomieszczeniach za pomocą przełącznika. Możliwości dalszej rozbudowy systemu są nieograniczone, więc jeśli potrzebujecie zautomatyzować coś, oprócz samego systemu irygacji, to MudPi idealnie się do tego nada.

Sensory i inne elementy elektroniczne w systemie

Kolejnym ważnym aspektem planowania, są dane, które zbieramy z ogrodu, aby sterować systemem irygacji. Przydatne informacje to temperatura i wilgotność gleby. Pomiar wilgotności gleby to świetny sposób wykrywania deszczu, aby uniknąć nadmiernego nawodnienia naszego ogrodu. Oczywiście, w domu taka funkcja może nie być potrzebna – to od Ciebie i potrzeb Twoich roślin zależy docelowy kształt systemu.

W ramach opisywanej w artykule konfiguracji system monitorować będzie:

- temperaturę,
- wilgotność powietrza,
- poziom wody w zbiorniku.

Do pomiaru poziomu wody w zbiorniku zastosowano pływakowy czujnik poziomu, który jest w stanie podawać poziom napełnienia zbiornika. Poziomy zostały zdefiniowane, jako: 10%, 25%, 50%, 75% i 95%, gdzie 10% to poziom krytycznie niski, a 95% przyjmuje się za pełen zbiornik.

Do układu podłączone są, także przełączniki. Pozwalają one kontrolować wszystkie systemy, które nie są kompatybilne z napięciem 3,3 V, jakie może dawać Raspberry na liniach GPIO. Przełącznik umożliwia sterowanie obwodami o wyższym napięciu i prądzie. W omawianym projekcie urządzeniem takim jest pompka do wody, która wymaga wyższego napięcia, a przy tym pobiera znaczny prąd. Do sterowania pompą potrzebny jest tylko jeden przełącznik. W systemie zainstalowano dwa przełączniki, aby zapewnić możliwość rozbudowy sterownika w przyszłości.

Najważniejszą rzeczą do zaplanowania jest zasilanie. W pierwszej kolejności konieczne jest ustalenie, z czego zasilanie będzie Raspberry Pi i inne podzespoły. Zwykle Pi jest zasilany z zasilacza USB, ale to wymaga osobnej wtyczki. Jeśli zasilamy inne urządzenia o wyższym napięciu, można zastosować zasilacz prądu stałego np. z przetwornicą impulsową DC/DC, aby obniżyć napięcia do 5 V. Pamiętajmy, aby dobrać odpowiedni moduł zasilacza, który zapewni dostateczny prąd do pracy komputera jednopłytkowego (co najmniej 1 A) i innych elementów, w zależności od tego, co podłączymy w naszej konfiguracji.

Raspberry Pi domyślnie współpracuje jedynie z cyfrowymi liniami GPIO. Oznacza to, że nie można po prostu podłączyć czujnika wilgotności gruntu bezpośrednio do komputera. Potrzebny jest moduł z przetwornikiem analogowo-cyfrowym lub dedykowany mikrokontroler z obsługą wejść analogowych, np. Arduino lub ESP32. Na szczęście MudPi obsługuje sterowanie takimi urządzeniami, jako podrzędnymi węzłami sieci. Potrafi wydawać polecenia tym urządzeniom z głównego kontrolera (Raspberry Pi). Umożliwia to posiadanie kontrolera z wieloma jednostkami z czujnikami, którymi może sterować wraz z podłączonymi do nich komponentami analogowymi.

Instalacja MudPi na komputerze jednopłytkowym

Po przygotowaniu projektu i zgromadzeniu wszystkich elementów czas przygotować sprzęt. Na początek należy zainstalować na MudPi najnowszą wersję Raspbiana – robi się to pobierając obraz systemu z oficjalnej strony Raspberry Pi i wgrywając go na kartę microSD. W naszym przypadku karta o pojemności 8 GB będzie wystarczająca. Po wgraniu obrazu na kartę SD i umieszczeniu jej w Raspberry Pi, możemy uruchomić komputer. Uruchomi się automatyczny instalator, który przeprowadzi nas przez cały proces instalacji. Po zainstalowaniu należy tylko połączyć komputer do sieci Wi-Fi – jeśli mamy zainstalowany system z GUI, możemy zrobić to z poziomu pulpitu. Jeśli mamy do dyspozycji tylko terminal, konieczne jest edytowanie pliku `/etc/wpa_supplicant/wpa_supplicant.conf` dowolnym edytorem tekstowym (nano lub vim).

Następną rzeczą, którą trzeba wykonać zaraz po podłączeniu komputera do Wi-Fi jest aktualizacja systemu zainstalowanego na Raspberry Pi. W tym celu w terminalu wpisujemy następujące komendy:

```
sudo apt-get update
sudo apt-get upgrade
```

Po zakończeniu aktualizacji uruchom ponownie komputer:

```
sudo restart
```

Po ponownym uruchomieniu Raspberry Pi można zainstalować oprogramowanie MudPi. Możesz to zrobić za pomocą Instalatora MudPi przy pomocy następującego polecenia:

```
curl -sL https://install.mudpi.app | bash
```

Instalator zajmie się pobraniem wszystkich potrzebnych pakietów oraz konfiguracją systemu do współpracy z MudPi. Oprogramowanie domyślnie jest instalowane w katalogu `/etc/mudpi` z głównymi pakietami znajdującym się w katalogu `/etc/mudpi/core`. Oprogramowanie można uruchomić ręcznie, wpisując w terminalu:

```
cd / etc / mudpi / core
python3 mudpi.py
```

Pakiet MudPi wyposażony jest w specjalnego nadzorcę – zadanie które uruchomi MudPi automatycznie. Przed pierwszym uruchomieniem trzeba będzie jeszcze uzupełnić plik konfiguracyjny programu, ale aby było to możliwe trzeba wiedzieć do którego pinu Raspberry Pi podłączone są poszczególne sensory, przełączniki i inne elementy.

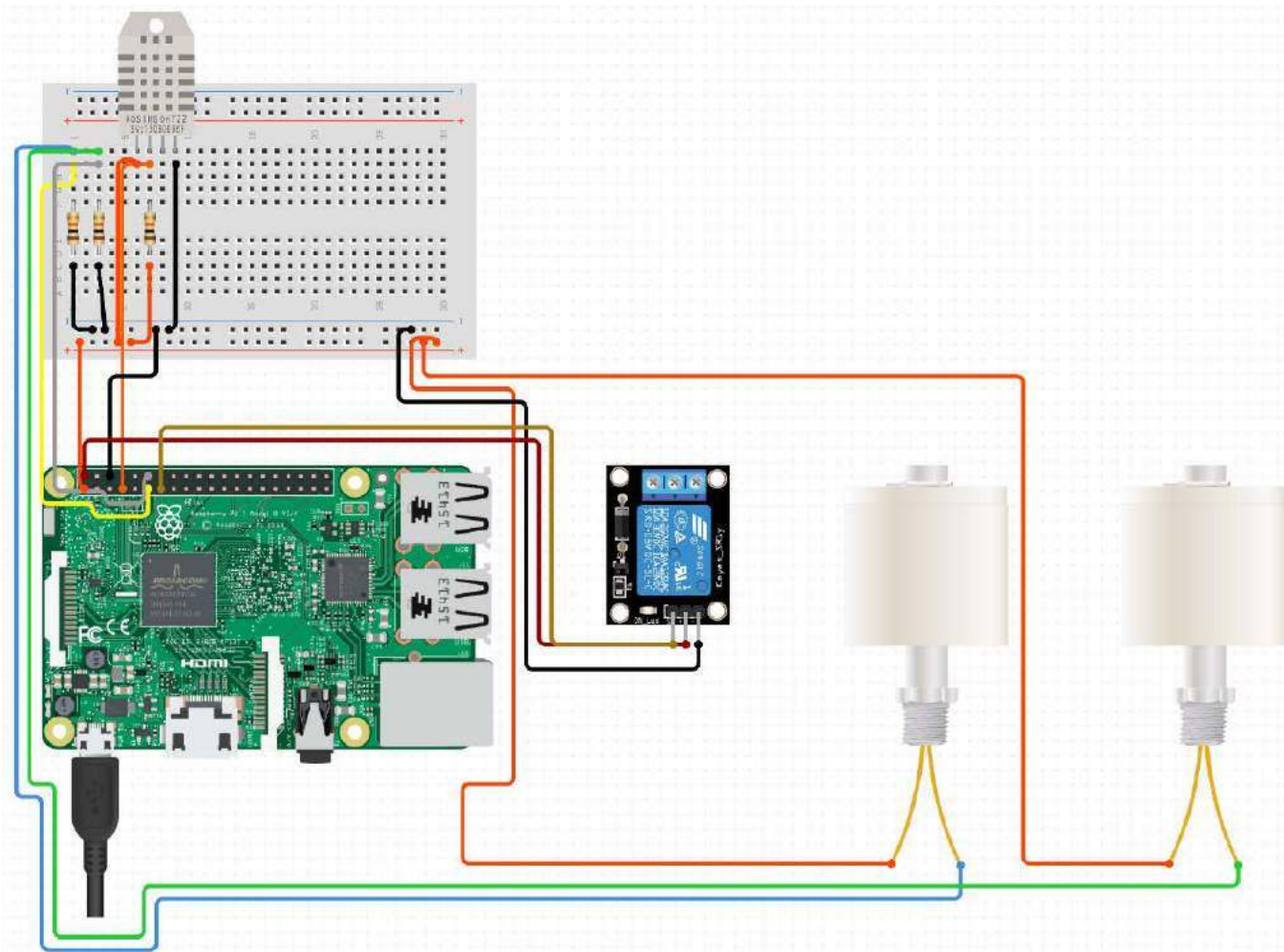
Podłączenie sensorów i innych komponentów do Raspberry Pi

Możemy teraz podłączyć do Raspberry Pi wszystkie wykorzystane w systemie sensory i układy wykonawcze. Moduły do Raspberry Pi podłączyć można na wiele sposobów – możliwe jest wykorzystanie płytki stykowej, kabli do goldpinów czy normalnego lutowania przewodów. Wszystko zależy od tego, czy budujemy system do instalacji na stałe czy np. tylko testujemy MudPi czy nową konfigurację.

W pierwszej kolejności do komputera jednopłytkowego podłączamy sensory. W przypadku omawianego systemu jest to skalony higrometr-termometr oraz czujnik poziomu wody w zbiorniku. Sensor wilgotności – DHT11 lub DHT22 – podłączamy do pinu numer 25 Raspberry Pi. Do tego układu musimy podłączyć także masę i zasilanie. Tak samo zasilanie 3,3 V musimy podłączyć do czujnika pływakowego, zainstalowanego w zbiorniku. W systemie znajdują się dwa takie czujniki podłączone do wejść 12 i 22 GPIO Raspberry Pi poprzez oporniki 10 kΩ służące do ściągania wyjścia do masy. W ten sposób, gdy czujnik pływakowy zamyka się, podaje on na wyjściu napięcie 3,3 V, a gdy jest rozarty, opornik ściąga go do potencjału masy.

Następnie do Raspberry Pi możemy podłączyć układy wykonawcze. W tym przypadku są to dwa przełączniki podłączone do linii 13 i 16 oraz zasilania (5 V i masa). Przełączniki posłużą do przełączania wyższych napięć i większych prądów.

Napięcie zasilające pompę (w opisywanym przypadku 230 V) podłączymy w dalszym etapie budowy. Teraz należy sprawdzić poprawność



Rysunek 1. Schemat ideowy pokazujący połączenie poszczególnych elementów opisywanego systemu MudPi

montażu poszczególnych komponentów. Na **rysunku 1** pokazano schemat testowego systemu do irygacji. Kolejnym krokiem jest odpowiednie skonfigurowania oprogramowania.

Konfiguracja MudPi

Po podłączeniu czujników i innych komponentów do Raspberry Pi można utworzyć plik konfiguracyjny i przetestować, czy wszystko działa poprawnie przed ostatecznym zakończeniem montażu urządzenia w obudowie. Aby skonfigurować MudPi konieczne jest zaktualizowanie pliku *mudpi.config*, który znajduje się w katalogu */etc/mudpi/core*. Jest to plik tekstowy w formacie JSON. Można edytować go ręcznie, na przykład z pomocą edytora tekstu lub przy użyciu dedykowanego programu przygotowanego przez autora projektu.

Plik konfiguracyjny dla opisanej powyżej konfiguracji sprzętu w systemie pokazany jest na **listingu 1**. Podzielono go na kilka podstawowych sekcji: *name*, *version*, *debug*, *redis*, *relays*, *workers*, *triggers* i *actions*. Pierwsze cztery pola są obowiązkowe w konfiguracji, pozostałe są opcjonalne. Obowiązkowe pola opisują, odpowiednio, nazwę systemu, jego wersję, wejście w tryb do debugowania oraz dane do połączenia z siecią bezprzewodową. Warto zwrócić uwagę, że ostatnie pole nie jest jedną wartością, a samo w sobie jest kolejnym JSONem, w którym zawarte są dwa pola – *host* oraz *port*.

Kolejne pola, także są bardziej złożone – każde z nich jest grupą JSONów, z których każdy opisuje pojedynczy wpis. Nazwy poszczególnych sekcji - *relays*, *workers*, *triggers* i *actions* – dosyć dobrze opisują ich zawartość. W pierwszej znajdziemy definicje podłączonych do systemu przekaźników, w drugiej źródeł danych (od prostych sensorów cyfrowych, podłączonych do linii GPIO Raspberry Pi po wykorzystujące zewnętrzne mikrokontrolery zaawansowane urządzenia pomiarowe. Trzecia i czwarta sekcja opisują behawioralny model

systemu. Sekcja triggers konfiguruje wyzwalacze akcji (*actions*) w układzie. Mechanizm tego opisu jest bardzo prosty – w sekcji actions zawarte są opisy poszczególnych działań systemu – w przypadku omawianego układu – włączenia i wyłączenia pompy do wody.

System, w momencie wystąpienia zdarzenia opisanego w sekcji triggers uruchamia następnie zapisaną w danym opisie akcję. Parametrem wyzwalającym w przypadku konfiguracji opisanej na listingu 1 jest czas, ale równie dobrze może to być np. wartość mierzonej zmiennej, wejście cyfrowe etc. Wyzwalacz czasowy w tym projekcie pobiera ciąg sformatowany zgodnie z wymaganiami cron, aby określić, kiedy powinien zostać aktywowany. W tej konfiguracji jest on ustawiony do uruchamiania się, co 12 godzin (dwa razy dziennie). Wyzwalacze przesunięte są w czasie o 15 minut, dzięki czemu pompa za każdym razem wyłącza się po 15 minutach.

Dokładny opis składni plików konfiguracyjnych MudPi znaleźć można w dokumentacji. Zapoznanie się z nią pozwoli uzyskać więcej szczegółowych informacji. Po skonfigurowaniu MudPi można ponownie uruchomić oprogramowanie, informując supervisor o chęci ponownego uruchomieniu programu. W tym celu w terminalu wpisujemy:

```
sudo supervisorctl restart mudpi
```

System MudPi powinien teraz ponownie załadować konfigurację i działać w tle, odczytując czujniki i nasłuchując zdarzeń w celu przełączenia przełączników. Można sprawdzić, czy MudPi działa wpisując w terminalu:

```
sudo supervisorctl status mudpi
```

MudPi będzie przechowywać pliki dziennika w katalogu `/etc/mudpi/logs`. W przypadku problemów z działaniem MudPi, w pierwszej kolejności to w dzienniku szukać trzeba przyczyny awarii.

Po zakończeniu testów MudPi w docelowej konfiguracji, można zainstalować system w docelowej lokalizacji – szczelnej, wodoodpornej obudowie zainstalowanej w ogrodzie.

Listing 1. Plik konfiguracyjny oprogramowania do automatyzacji ogrodu dla opisywanej konfiguracji

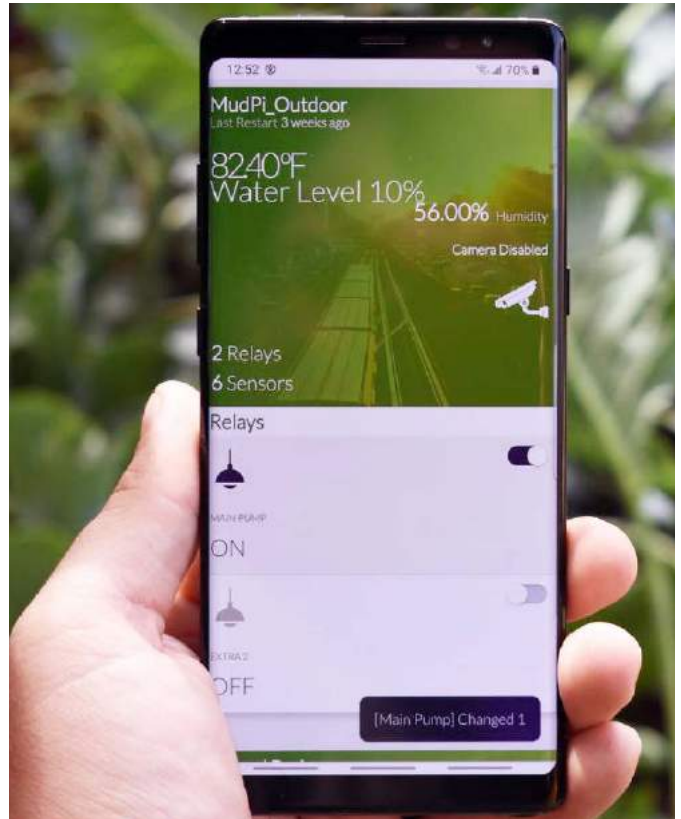
```
{
  "name": "MudPi",
  "version": 0.8,
  "debug": false,
  "redis": {
    "host": "127.0.0.1",
    "port": 6379
  },
  "relays": [
    {
      "pin": 13,
      "normally_open": true,
      "group": "",
      "name": "Pump",
      "topic": "garden/pi/relays/1",
      "tag": "relay1"
    },
    {
      "pin": 16,
      "normally_open": true,
      "group": "",
      "name": "Extra",
      "topic": "garden/pi/relays/2",
      "tag": "relay_extra"
    }
  ],
  "workers": [
    {
      "type": "sensor",
      "sensors": [
        {
          "pin": 25,
          "is_digital": true,
          "type": "Humidity",
          "name": "dht"
        },
        {
          "pin": 17,
          "is_digital": true,
          "type": "Float",
          "name": "float1"
        },
        {
          "pin": 27,
          "is_digital": true,
          "type": "Float",
          "name": "float2"
        }
      ]
    }
  ],
  "triggers": [
    {
      "type": "time",
      "key": "turn_on_pump",
      "name": "Daily Pump 12 Hours",
      "schedule": "0 *12 * * *",
      "actions": ["turn_on_pump"]
    },
    {
      "type": "time",
      "key": "turn_off_pump",
      "name": "Daily Pump Off",
      "schedule": "15 *12 * * *",
      "actions": ["turn_off_pump"]
    }
  ],
  "actions": [
    {
      "type": "event",
      "name": "Turn on Pump",
      "key": "turn_on_pump",
      "action": { "event": "Switch", "data": 1 },
      "topic": "garden/pi/relays/1"
    },
    {
      "type": "event",
      "name": "Turn off Pump",
      "key": "turn_off_pump",
      "action": { "event": "Switch", "data": 0 },
      "topic": "garden/pi/relays/1"
    }
  ]
}
```

Monitorowanie działania systemu

Gdy MudPi działa, można zastanawiać się nad sposobami monitorowania tego działania. Najłatwiejszym i najbardziej bezpośrednim sposobem jest monitorowanie pliku dziennika MudPi. Aby to zrobić, po zalogowaniu się do terminala należy wpisać:

```
tail -f /etc/mudpi/logs/mudpi.out.log
```

Inną opcją jest interfejs w postaci strony internetowej (fotografia 1). Obecnie MudPi nie jest wyposażony w pełnoprawny interfejs webowy,



Fotografia 1. Interfejs systemu

ale z łatwością można pobrać z Redisa z pomocą skryptów PHP stany czujników oraz innych komponentów. Dokładniej jak to zrobić opisano w dokumentacji projektu MudPi. Najnowsze odczyty czujników przechowywane są w polu Redisa pod nazwą lub opcją klucza ustawioną w pliku konfiguracyjnym. Korzystając z tego, można napisać prosty skrypt w PHP, który pobiera wartości z pól Redisa podczas ładowania strony i je wyświetla. Przy każdym odświeżeniu uzyskać można najnowsze dane.

Możliwe jest również nasłuchiwanie zdarzeń MudPi bezpośrednio przez Redisa. Jest to najlepsza opcja, aby otrzymywać aktualizacje dotyczące systemu w czasie rzeczywistym. Zdarzenia z Redisa odczytywać można bezpośrednio poprzez `redis-cli`. W terminalu wpisujemy:

```
redis-cli psubscribe '**'
```

Podsumowanie

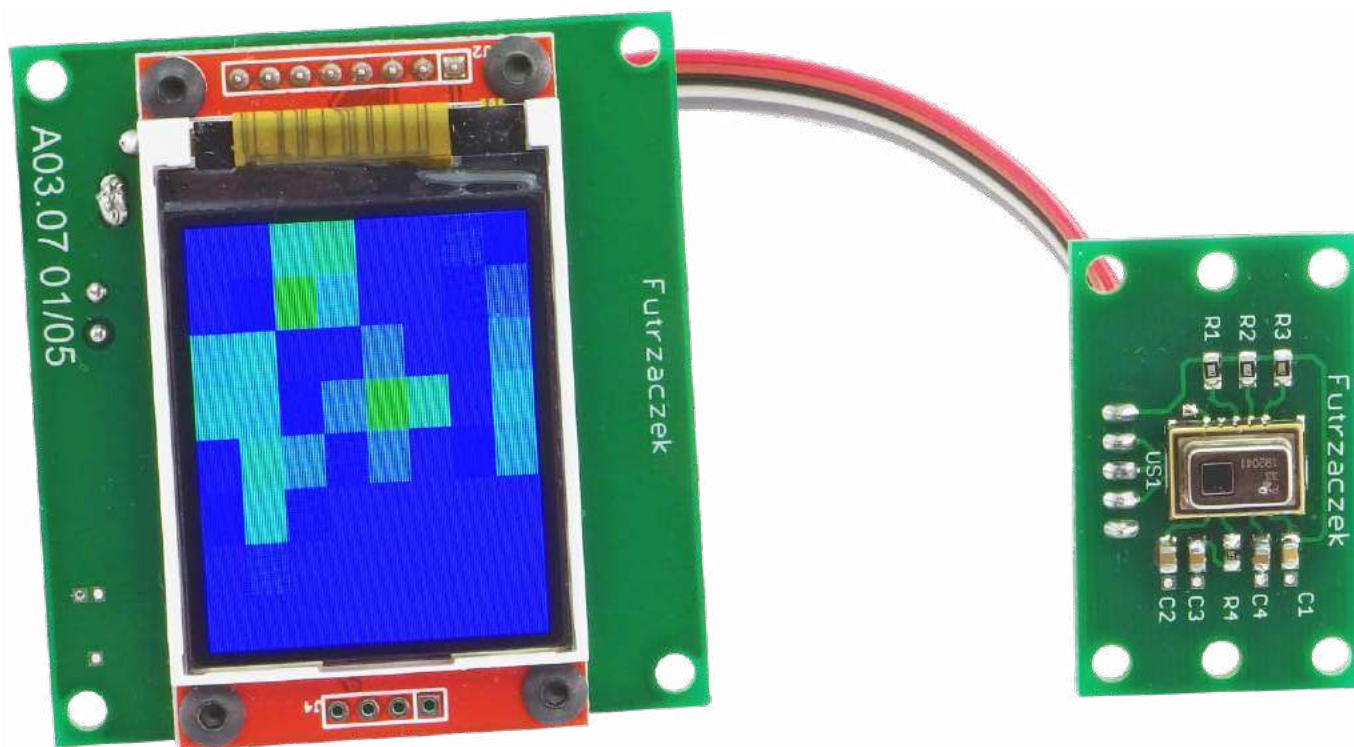
Autor konstrukcji poszedł jeszcze krok dalej i zaprojektował dedykowane dla systemu płytki drukowane. Nie jest to konieczne do budowy systemu, ale bardzo pomaga, jeżeli konstruuje się więcej niż jeden taki moduł. Są one również znacznie bardziej niezawodne. Generalnie MudPi nie wymaga żadnych niestandardowych płytek drukowanych, po prostu pomagają one w montażu urządzenia.

Ten zautomatyzowany system ogrodowy, można dowolnie rozbudowywać i skalować. Możliwe jest zbudowanie większej ilości takich urządzeń lub rozbudowanie pojedynczego układu. Więcej informacji na temat systemu znaleźć można na stronie projektu pod adresem <https://mudpi.app>. MudPi wciąż jest aktualizowane – dodawane są nowe funkcje i ulepszenia. Warto, zatem monitorować postępy w rozwijaniu aplikacji.

Nikodem Czechowski, EP

Źródło: <https://bit.ly/3aqljcx>

<http://forum.ep.com.pl>



Prosta kamera termowizyjna

Termowizja pozwala na szybkie wyznaczenie temperatury wielu punktów jednocześnie. Taka prosta kamera umożliwia obejrzenie rozkładu temperatury np. na radiatorze. Można też zbadać, którędy wydostaje się najwięcej gorącego powietrza z obudowy. Zastosowań jest naprawdę mnóstwo – począwszy od czysto technicznych, po te mniej poważne.

Prezentowany układ jest kompletną kamerą termowizyjną: zawiera odpowiedni czujnik, wyświetlacz oraz kontroler zarządzający. Czujnik odbiera informacje o temperaturze i dokonuje konwersji na postać cyfrową. Dane są następnie reprezentowane na wyświetlaczu w postaci różnobarwnych punktów. Kamera działa w czasie rzeczywistym,

opóźnienie pomiędzy pomiarem a wyświetleniem jest stałe i pomijalnie małe.

Budowa

Podstawowym elementem składowym prezentowanego urządzenia jest czujnik typu AMG8833, produkowany przez firmę Panasonic. Zestawienie najważniejszych

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

W ofercie AVT* AVT-5760

Podstawowe parametry:

- pomiar temperatury w 64 punktach, ułożonych w matrycy 8x8,
- reprezentacja temperatury każdego punktu przy użyciu barw,
- zakres wyświetlanych temperatur 22...34°C,
- kolorowy wyświetlacz TFT o przekątnej 1,8",
- częstotliwość odświeżania obrazu ok. 10 Hz,
- zasilanie napięciem 5...18 V.

Projekty pokrewne na www.media.avt.pl:

- AVT-5749 Termometr tęczowy (EP 3/2020)
- Projekt 243 Pirometr tęczowy (EP 6/2019)
- AVT-5635 Bezprzewodowy, energooszczędny system pomiaru temperatury (EP 8-9/2018)
- AVT-5623 4-kanalowy termometr z interfejsem Wi-Fi (EP 4/2018)
- AVT-5566 THPStation – rozbudowany termometr z Wi-Fi (EP 1/2017)
- AVT-5535 Termometr 2-kanalowy z interfejsem Bluetooth (EP 4/2016)
- AVT-5518 Termometr bezprzewodowy (EP 11/2015)
- AVT-1863 Termometr z interfejsem Bluetooth (EP 8/2015)
- AVT-1790 Termometr XXL (EP 2/2014)
- AVT-5489 8-kanalowy termometr z alarmem i wyświetlaczem LCD (EP 11/2013)
- AVT-5420 Wielopunktowy termometr z rejestracją (EP 10/2013)
- AVT-1734 Termometr do wędzarni (EP 4/2013)

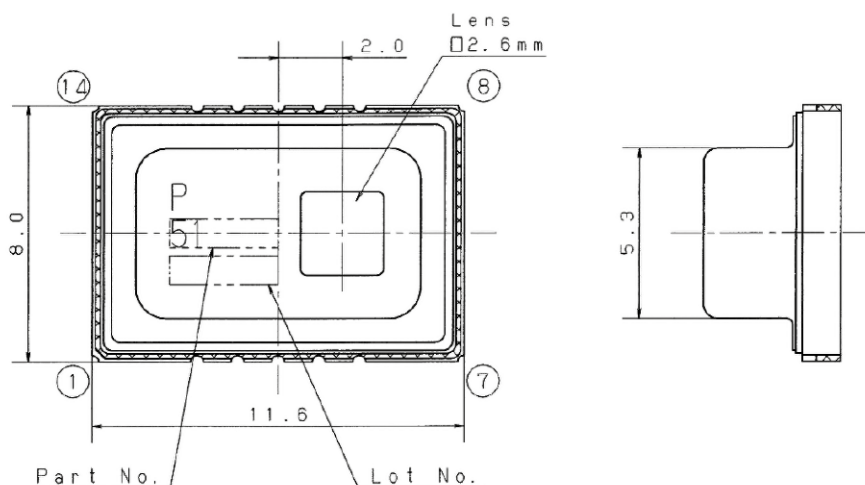
Uwaga! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu. Wymagana umiejętność lutowania!

Podstawową wersją zestawu jest wersja [B] nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji [B] zawiera elementy elektroniczne (w tym [UK] – jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wlutować w dołączoną płytkę drukowaną (PCB). Wykaz elementów znajduje się w dokumentacji, która jest podlinkowana w opisie kitu.

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

- wersja [C] – zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw [B] (elementy wlutowane w płytkę PCB)
- wersja [A] – płytkę drukowaną bez elementów i dokumentacji
- 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.



Rysunek 1. Rysunek obudowy czujnika AMG8833

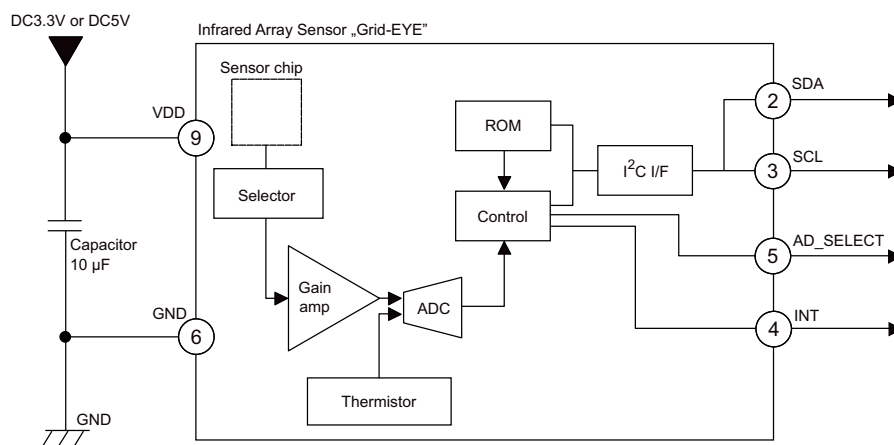
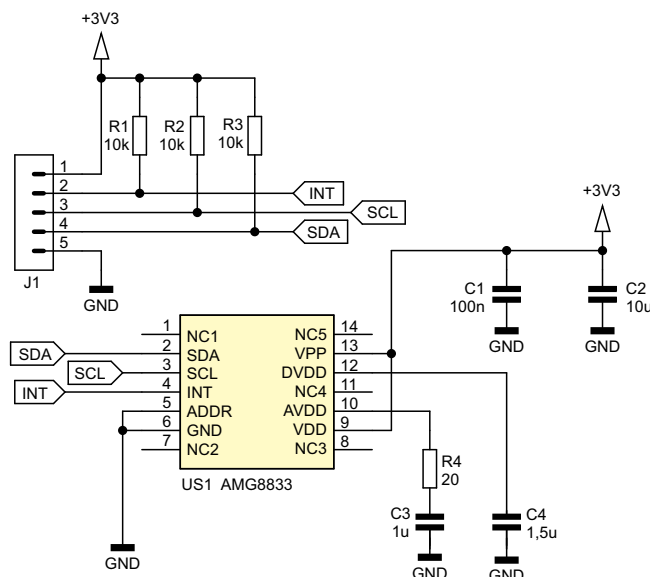
Tabela 1. Zestawienie najważniejszych parametrów czujnika AMG8833 (Panasonic)

Parametr	Wartość
Rozdzielczość	8×8 punktów
Zakres mierzonych temperatur	0...80°C
Zakres temperatur pracy	0...80°C
Interfejs	I ² C
Kąt widzenia	60°
Częstotliwość odświeżania	1 lub 10 Hz
Możliwość sprzętowej obróbki obrazu	filtracja średnią ruchomą
Czas stabilizacji po włączeniu zasilania	15 s
Adres na magistrali I ² C	1101000 (ADDR = GND) 1101001 (ADDR = VDD)
Dokładność pomiaru temperatury	±2,5°C

parametrów znajduje się w **tabeli 1**, zaś rysunek obudowy samego czujnika pokazano na **rysunku 1**. W niewielkiej obudowie, o wymiarach 8×11,6 mm, został zawarty kompletny system umożliwiający realizację termowizji – brakuje tylko wyświetlacza.

Pomiar temperatury odbywa się na zasadzie pirometrycznej, czyli poprzez zmierzenie natężenia promieniowania podczerwonego. Temperatura ma bezpośredni wpływ na długość emitowanej fali elektromagnetycznej oraz jej natężenie. W czujniku

znajduje się światłoczuła matryca wychytująca ten rodzaj fal. Sam czujnik również posiada pewną temperaturę, więc sam jest źródłem takiego promieniowania. Do prawidłowej pracy takiego czujnika potrzebna jest również informacja o jego własnej temperaturze, którą należy zmierzyć inną metodą. W przypadku AMG8833, odbywa się to przy użyciu termistora. Szczegóły można zobaczyć na schemacie blokowym, widocznym na **rysunku 2**. Sensor termistorowy został skalibrowany fabrycznie i ma znacznie

**Rysunek 2. Schemat blokowy struktury wewnętrznej AMG8833****Rysunek 3. Schemat ideowy płytki z czujnikiem**

większą rozdzielczość niż matryca, aby możliwe było dokładniej kompensować wpływ temperatury otoczenia na wynik pomiaru.

Czujnik został wyposażony w interfejs I²C do komunikacji z kontrolerem. Dla większej wygody obsługi, został zamontowany na oddzielnej płytce, której schemat ideowy można zobaczyć na **rysunku 3**. Nie zawiera wielu elementów, najważniejsze z nich są kondensatory filtrujące napięcia zasilające poszczególne obwody. Rezystory R1...R3 podciągają linie sygnałowe do dodatniego bieguna zasilania, co jest warunkiem koniecznym prawidłowej pracy magistrali I²C. Ponadto, odprowadzają z nich ładunki elektrostatyczne po wyłączeniu zasilania.

Wśród linii sygnałowych znajduje się jeszcze jedna, oznaczona jako INT. Pełni rolę przerwanienia, sygnalizuje kiedy któryś ze mierzonych punktów ma zbyt niską lub zbyt wysoką temperaturę, lub różnica między punktami będzie zbyt duża. W opisywanym urządzeniu ta funkcja nie jest używana, ponieważ czujnik prowadzi cykliczne pomiary i nie nadzoruje konkretnego obiektu. Stanem wyprowadzenia ADDR można ustawić 7-bitowy adres czujnika na magistrali, szczegóły zawiera tabela 1.

Bardziej rozbudowana jest płytka zawierająca wyświetlacz, której schemat ideowy pokazuje **rysunek 4**. Układem zarządzającym pracą samego czujnika oraz wyświetlacza jest mikrokontroler typu STM32F105RBT6. Został wybrany z powodu pojemnej pamięci RAM, aż 64 kB, która jest niezbędna do szybkiego odświeżania obrazu.

Zasilanie mikrokontrolera jest wyprowadzone na pięć par wyprowadzeń, z czego jedna para służy zasilaniu układów analogowych. Wszystkie muszą być odsprężnione przy użyciu kondensatorów o różnych pojemnościach, dlatego w bezpośrednim otoczeniu mikrokontrolera jest ich aż 9. Warunkuje to jednak stabilną i niezawodną pracę całego systemu.

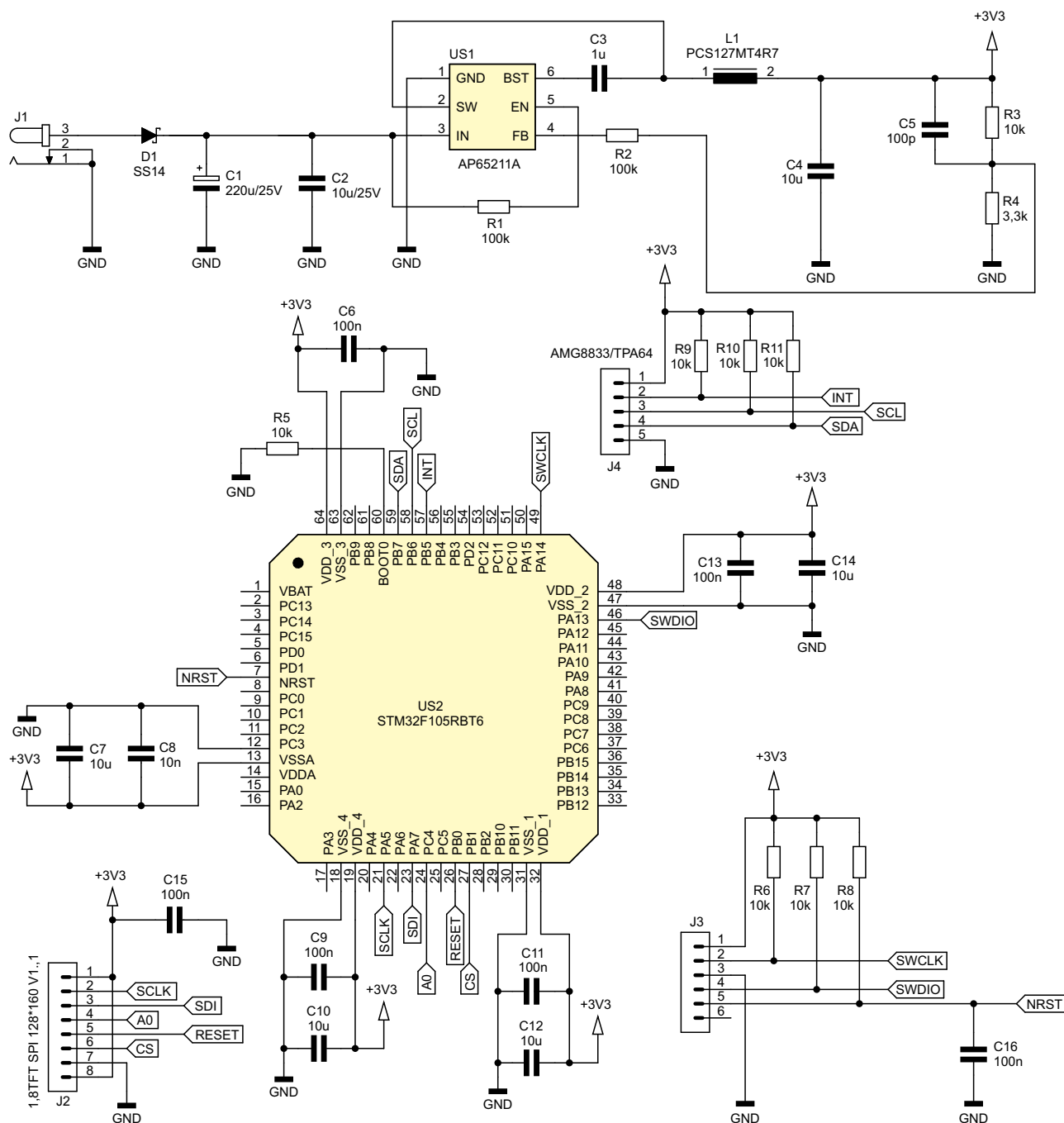
Kolorowy wyświetlacz ciekłokrystaliczny jest podłączony do złącza J2. Wyprowadzenia SCLK (zegar danych) i SDI (dane cyfrowe) są zarządzane sprzętowo, przez interfejs SPI mikrokontrolera, co umożliwia szybkie

REKLAMA

SoMLabs
www.somlabs.com

nowość!

VisionSOM-STM32MP1
Moduły serii VisionSOM z procesorem STM32MP1, z rdzeniami Cortex-A7 oraz Cortex-M4



Rysunek 4. Schemat ideowy płytki z wyświetlaczem

przetansferowanie nowej zawartości do pamięci RAM wyświetlacza. Pozostałe linie, czyli CS (wybór układu), A0 (dane/komenda) i RESET (zerowanie układu podrzędnego) są sterowane programowo.

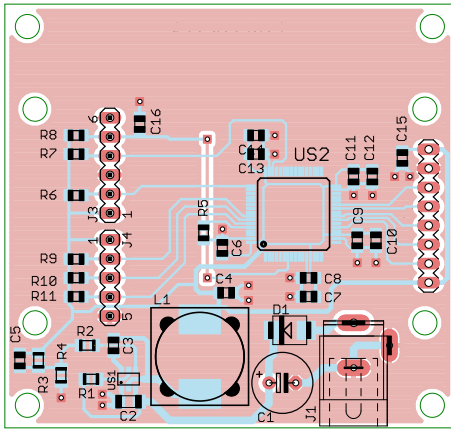
Płytkę zawierającą czujnik AMG8833 podłącza się do wyprowadzeń złącza J4. Jak wspomniano wcześniej, komunikacja z nim odbywa się poprzez interfejs I²C, więc po stronie mikrokontrolera użyto dedykowanego do tego peryferium. Rezystory podciągające dublują się z tymi, które można znaleźć przy czujniku, lecz nie stanowi to problemu: przyspieszają przeładowywanie pojemności połączeń oraz również odprowadzają ładunki elektrostatyczne po odłączeniu przewodów połączeniowych. Zamiast dedykowanej płytki z czujnikiem, której schemat

przedstawiono wyżej, można zastosować gotowy moduł typu TPA64 lub pokrewny. Układ wyprowadzeń modułu TPA64 jest taki sam, jak w złączu J4.

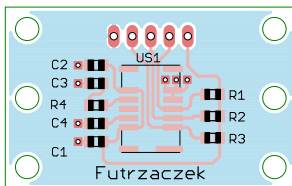
Do programowania mikrokontrolera przewidziano złącze J3, na którym wyprowadzono najważniejsze linie interfejsu SWD, przeznaczonego m. in. do programowania pamięci Flash mikrokontrolerów STM32. Są to: SWDIO, SWCLK, NRST i oczywiście GND. Wyprowadzono również napięcie zasilające mikrokontroler, gdyż niektóre programatory dokonują kontroli jego wartości. Linie sygnałowe nie są używane w czasie pracy układu, toteż zostały podciągnięte rezystorami do dodatniego bieguna zasilania.

Wszystkie użyte w układzie podzespoły wymagają zasilania napięciem stałym,

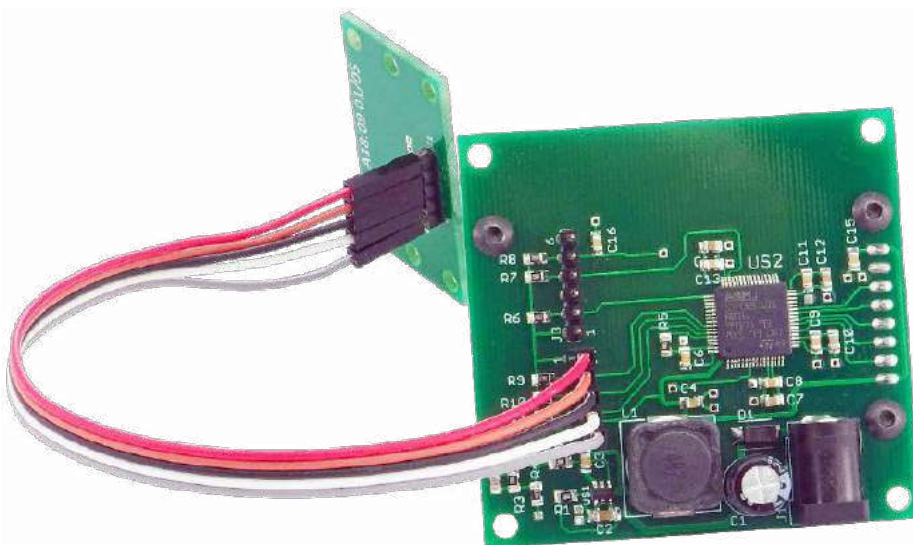
dobrze stabilizowanym, o wartości 3,3 V. Do jego wytworzenia została przewidziana przetwornica obniżająca typu buck, zrealizowana przy użyciu układu AP65211A. To nowoczesny układ w niewielkiej (SOT23-6) obudowie, który pracuje z wysoką częstotliwością, rzędu 500 kHz. Jego dużą zaletą, oprócz niskiej ceny (około 1,20 zł), jest wysoka sprawność, ponieważ wewnątrz znajdują się dwa tranzystory NMOS pracujące synchronicznie. Jeden z nich jest kluczem ładującym dławik prądem ze źródła zasilania (HS), a drugi pełni funkcję diody, która otwiera się podczas jego rozładowywania (LS). Taka modyfikacja zmniejsza straty wynikające z relatywnie wysokiego spadku napięcia na przewodzącej diodzie – nawet, jeżeli jest to dioda ze złączem Schottky'ego.



Rysunek 5. Schemat montażowy i wzór ścieżek płytki z wyświetlaczem



Rysunek 6. Schemat montażowy i wzór ścieżek płytki z czujnikiem



Fotografia 1. Widok zmontowanego układu

Kolejnym usprawnieniem, w stosunku do dobrze znanego układu MC34063A, jest wbudowanie w strukturę układu obwodu do pomiaru natężenia prądu płynącego przez tranzystor kluczujący.

Pozostałe bloki układu AP65211A służą realizacji typowej przetwornicy o zmiennym wypełnieniu impulsów sterujących. Do poprawnej pracy wymaga kondensatora dołączonego do nóżki BST. Gromadzony ładunek służy do otwierania górnego tranzystora NMOS, w którym potencjał bramki musi być wyższy od potencjału źródła.

Montaż i uruchomienie

Układ kamery termowizyjnej został zmontowany na dwóch płytkach drukowanych. Większa, zawierająca wyświetlacz, ma wymiary 60×56,5 mm, a jej schemat ścieżek oraz

schemat montażowy pokazuje **rysunek 5**. W odległości 3 mm od krawędzi płytki znalazły się otwory montażowe. Mniejsza, na której jest czujnik AMG8833 i okalające go elementy, ma wymiary 40×25 mm, a jej schemat montażowy widać na **rysunku 6**.

Wszystkie elementy na płytce zawierającej wyświetlacz powinny znaleźć od spodniej (Bottom) strony, przy czym wyjątkiem jest tu złącze żeńskie J2 pod sam wyświetlacz – ono, jako jedyne, powinno zostać przylutowane od strony wierzchniej (Top). Podobna sytuacja zachodzi na płytce z czujnikiem, ponieważ złącze J1 należy wlutować od tyłu, aby przewody nie przesłaniały pola widzenia czujnika.

Wyświetlacz posiada cztery otwory w rogach, którymi można przykręcić go do płytki z mikrokontrolerem. Polecam to zrobić, aby delikatne złącza typu goldpin nie zostało przypadkowo wyłamane. Najlepsze będą tuleje dystansowe M3 o długości 11 mm, gwintowane wewnątrz. Połączenie płytek należy wykonać przewodem 5-żyłowym o długości nieprzekraczającej kilkudziesięciu

centymetrów. W układzie prototypowym posłużono się w tym celu przewodem taśmowym do płytek stykowych, obustronnie zakończonym wtykami żeńskimi. Zmontowany i gotowy do działania układ można zobaczyć na fotografii tytułowej oraz na **fotografii 1**.

Jedyną czynnością uruchomieniową, jakiej wymaga ten układ, jest zaprogramowanie pamięci Flash mikrokontrolera używając do tego specjalnie przeznaczonego złącza J3. Znajdują się na nim wyprowadzenia protokołu SWD, ułożone według kolejności opisanej w **tabeli 2**. Należy w tym celu zasilić płytkę napięciem stałym o wartości z przedziału od 5 do 18 V, podłączając zasilacz do złącza J1. Pobór prądu zależy od napięcia zasilającego: przy 5 V jest to ok. 50 mA, zaś przy 12 V już tylko 22 mA.

Wykaz elementów:

Płytki z wyświetlaczem

Rezystory:

R1, R2: 100 kΩ SMD0805
R3, R5...R11: 10 kΩ SMD0805
R4: 3,3 kΩ SMD0805

Kondensatory:

C1: 220 μF/25 V THT raster 3,5 mm
C2: 10 μF/25 V SMD1206
C3: 1 μF/25 V SMD0805
C4, C7, C10, C12, C14: 10 μF/10 V SMD0805
C5: 100 pF SMD0805
C6, C9, C11, C13, C15, C16: 100 nF SMD0805
C8: 10 nF SMD0805

Półprzewodniki:

D1: SS14
US1: AP65211A SOT23-6
US2: STM32F105RBT6 TQFP 64

Inne:

J1: gniazdo 2,1/5,5 mm do druku THT
J2: goldpin 8 pin żeński THT 2,54 mm
J3: goldpin 6 pin męski THT 2,54 mm
J4: goldpin 5 pin męski THT 2,54 mm
L1: PCS127MT4R7
wyświetlacz LCD 1.8TFT SPI 128×160 V1.1
4 tuleje dystansowe M3 11 mm (opis w tekście)
8 śrub M3 5 mm (opis w tekście)

Płytki z czujnikiem

Rezystory:

R1...R3: 10 kΩ SMD0805
R4: 20 Ω SMD0805

Kondensatory:

C1: 100 nF SMD0805
C2: 10 μF/10 V SMD0805
C3: 1 μF/25 V SMD0805
C4: 1,5 μF/25 V SMD0805

Półprzewodniki:

US1: AMG8833

Inne:

J1: goldpin 5pin męski THT 2,54 mm
Przewód połączeniowy 5 żył (opis w tekście)(128×64)

Znajomość rozmieszczenia krawędzi płytki, otworów montażowych oraz najważniejszego podzespołu, jakim jest czujnik, jest niezbędna do prawidłowego zamontowania jej w obudowie. **Rysunek 7** zawiera wymiarowanie płytki z czujnikiem oraz lokalizację okienka czujnika AMG8833. Czujnik w prawidłowym położeniu znajduje się metalowym korpusem skierowanym do góry, a okienkiem w dół. Obrócenie tej płytki spowoduje, że obraz również będzie tworzony „do góry nogami”. Na rysunku 7 zostało to uwzględnione.

Eksplatacja

Po włączeniu zasilania, następuje inicjalizacja wyświetlacza: jego zawartość stanowi

REKLAMA



Tabela 2. Rozmieszczenie linii interfejsu SWD w złączu J3

Numer wyprowadzenia	Nazwa linii
1	VDD (zasilanie 3,3 V)
2	SWCLK
3	GND
4	SWDIO
5	NRST
6	SWO (niepodłączone)

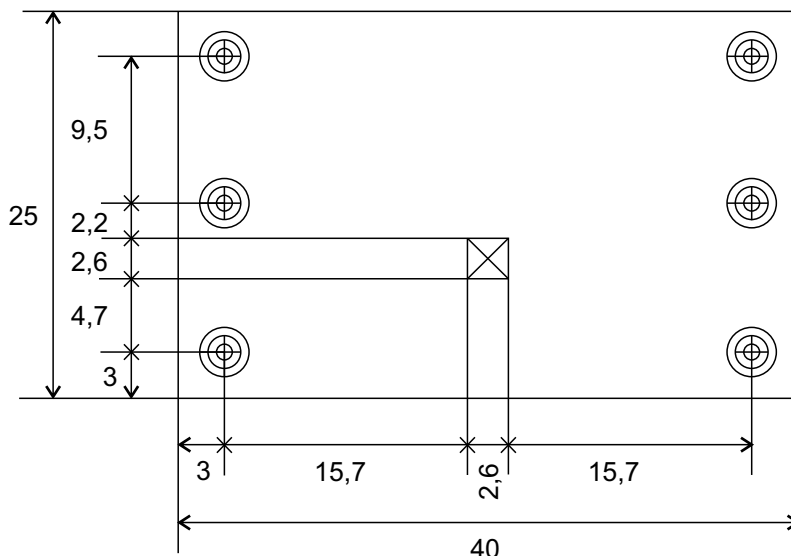
najpierw kolorowy szum, potem zostaje wypełniony równomiernie czernią, a dopiero później przełącza się na wyświetlanie obrazu z czujnika. Służy to również do przetestowania prawidłowego działania wyświetlacza.

Czujnik ma kwadratowe pole widzenia, a wyświetlacz jest prostokątny (128×160 pikseli). Uznano, że zostawianie po bokach wyświetlacza czarnych pasów byłoby marnotrawstwem jego powierzchni, toteż punkty z czujnika są reprezentowane przez prostokąty o rozmiarach 16×20 pikseli. Nie stwarza to niewygodny w użytkowaniu, ponieważ odstępstwo od kwadratowego kształtu jest nieznaczne.

Skala barw, którą odwzorowywana jest temperatura zarejestrowana przez czujnik, jest ułożona w powszechnie spotykany sposób: kolor niebieski to obiekty o najniższej temperaturze, następnie jest zielony, żółty, pomarańczowy, czerwony i na końcu purpurowy – dla obiektów najcieplejszych. Występują między nimi kolory pośrednie, ponieważ rozdzielczość pomiaru temperatury tym czujnikiem to 0,25°C. Z fizycznego punktu widzenia, niższą temperaturę ma obiekt emitujący światło czerwone (większa długość fali, czyli mniejsza energia fotonów), a wyższą ciało, które świeci na niebiesko (mniejsza długość fali, czyli fotony mają większą energię). Jednak przyrząd ten nie jest zdolny do rejestracji takich wartości temperatury, toteż przyjęto „ludzki” sposób pojmowania barw: czerwony – ciepły, niebieski – zimny.

Kolorem niebieskim reprezentowana jest temperatura wynosząca 22°C i mniej, a purpurowym 34°C i więcej. Dzięki takiemu zakresowi jest możliwe wykrycie ciała człowieka w pomieszczeniu o temperaturze pokojowej, jak również rozkładu temperatury powietrza wydostającego się z kwadratowego otworu wentylacyjnego w obudowie – **fotografia 2**. Widać na nim, że przepływ tego powietrza nie odbywa się równomiernie całym przekrojem otworu – są obszary cieplejsze (czerwony), chłodniejsze (żółte) i bardzo chłodne (żółtozielone i zielone)

Częstotliwość odświeżania obrazu przez czujnik wynosi 10 Hz, a kolejne odświeżenie zawartości wyświetlacza następuje co ok. 110 ms. Na pojedynczy cykl odświeżania składają się: pobranie z czujnika informacji o temperaturze wszystkich punktów,

**Rysunek 7. Wymiary płytki z czujnikiem oraz położenie okienka czujnika**

konwersja temperatury na kolor pikseli i wysyłanie nowej zawartości pamięci RAM do wyświetlacza.

Czujnik posiada możliwość uśredniania rejestrowanego obrazu za pomocą algorytmu średniej ruchomej. Została ona włączona, ponieważ taki rodzaj filtracji dołnoprzepustowej obrazu znacząco zmniejsza poziom jego zaszumienia.

Dla ciekawskich

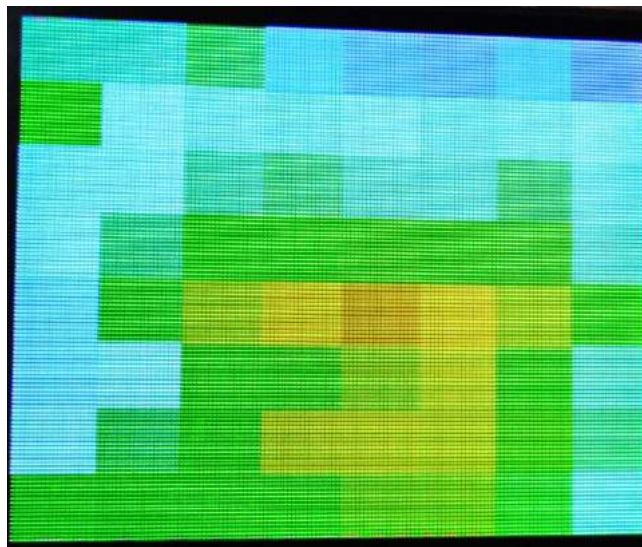
Użyty wyświetlacz posiada ośmiobitowe komendy sterujące. Natomiast kolor pojedynczego piksela jest reprezentowany przez ciąg o długości 16 bitów. Można wprowadzić użyć innego trybu sterowania, gdzie jeden piksel jest sterowany przez 12 lub 18 bitów, ale byłoby to niewygodne do realizacji przy użyciu sprzętowego interfejsu SPI wbudowanego w mikrokontroler, który obsługuje dane o długości 8 lub 16 bitów.

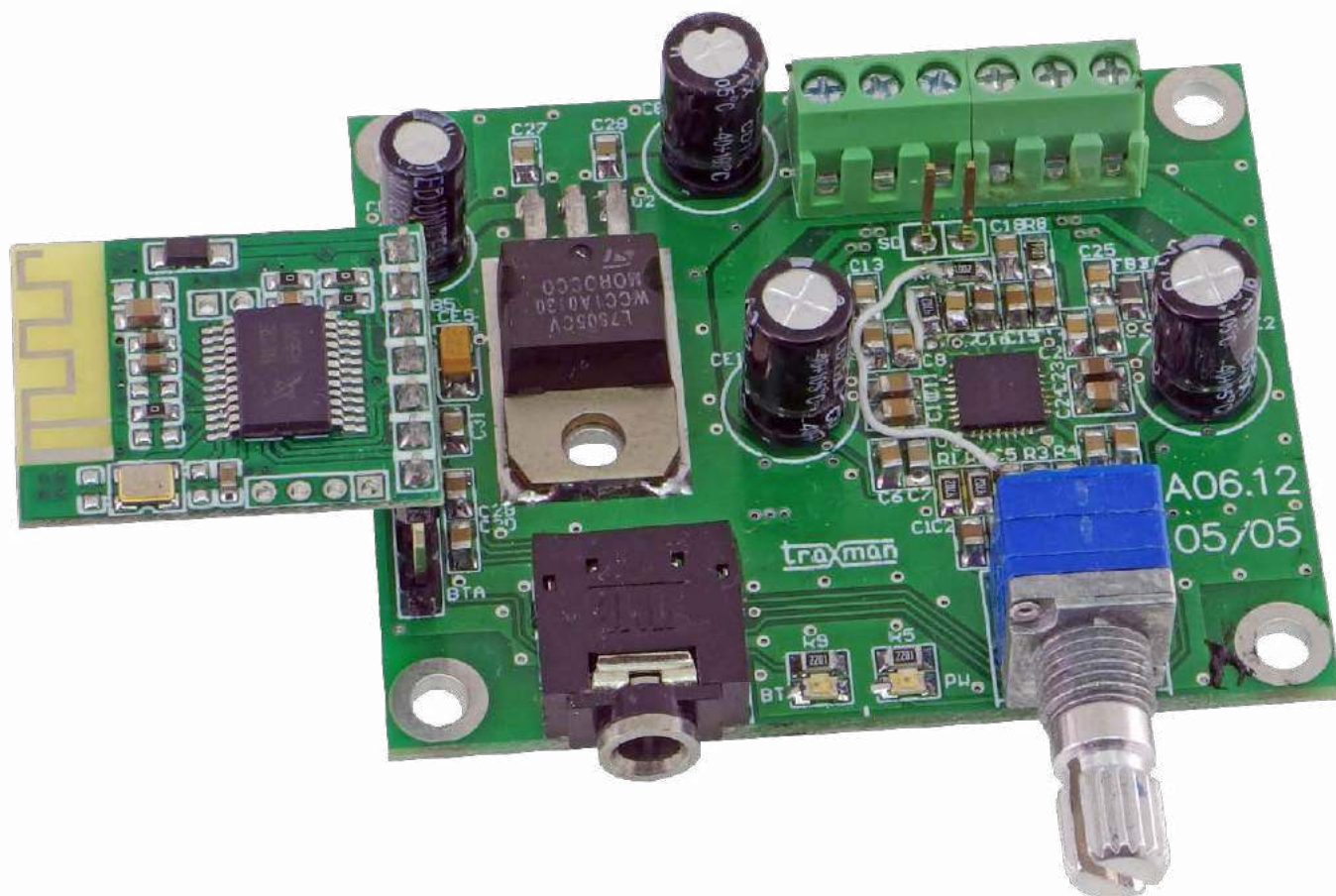
Można posłużyć się 8-mio bitowym interfejsem SPI do wysyłki ciągów 16-to bitowych, lecz byłaby to strata cennego czasu: sprawdzanie flag zajętości bufora odbywałoby się dwukrotnie częściej. Dlatego wysyłka nowej zawartości ekranu odbywa się w dwojaki sposób. Komendy sterujące, ustalające zakres pikseli do odświeżenia i rozpoczynające zapis do pamięci RAM, wysyłane są przy użyciu 8-bitowego interfejsu SPI ze sterowaniem programowym, gdzie sprawdzanie zajętości bufora odbywa się w pętli *while()*, wstrzymującej działanie programu. Następnie wyłączany jest

sprzętowy interfejs SPI, przełączany do pracy ze słowami o długości 16 bitów i na sterowanie poprzez DMA (*Direct Memory Access*). Dalej inicjowane jest samo DMA, którego zadaniem jest przesłanie 20480 wartości o długości 16 bitów. Te dane to nowa zawartość obrazu, stworzona uprzednio w pamięci RAM mikrokontrolera. Po zakończeniu wysyłki, DMA jest wyłączane, a SPI przechodzi z powrotem na sterowanie programowe ze słowami o długości 8 bitów.

Użyty mikrokontroler ma 64 kB pamięci RAM, co pozwala na tworzenie całego obrazu, mieszczącego się w odpowiednio długiej tablicy 16-to bitowych zmiennych. Raz zainicjowane DMA pobiera jedynie zawartość odpowiednich komórek pamięci i przesyła je do odpowiedniego rejestru w SPI, bez konieczności dodatkowej konwersji – daje to największą możliwą szybkość obsługi wyświetlacza. Fragmenty programu, które realizują opisane wyżej czynności, znajdują się na listingu 1 – dostępnym na FTP i stronie www.ep.com.pl.

Michał Kurzela, EP

**Fotografia 2. Przykład użycia kamery**



Cyfrowy wzmacniacz mocy z interfejsem Bluetooth

Prezentowany moduł, jest kompletną cyfrową końcówką mocy audio pracującą w klasie D i pozwalającą osiągnąć moc do 2×10 W przy zasilaniu 12 V. Może posłużyć do realizacji mobilnych systemów nagłośnieniowych współpracujących z interfejsem Bluetooth Audio.

Zastosowany w module układ PAM8106 firmy Diodes Inc. integruje w sobie dwukanałową mostkową końcówkę mocy 2×10 W/8 Ω (12 V) pracującą w klasie D. Umożliwia pracę z modulacją rozproszoną, zmniejszającą generowane zaburzenia EMI, posiada układ zabezpieczeń oraz konfigurowany limiter mocy przydatny przy pracy bateryjnej. Układ osiąga sprawność ponad 92%, co umożliwia w większości przypadków pracę bez zewnętrznego radiatora. Zamykany jest w obudowie QFN5050-32 z padem termicznym. Sporą zaletą PAM8106 jest niska cena, która nawet przy jednostkowych zamówieniach oscyluje poniżej 1,5 \$. Strukturę wewnętrzną układu pokazano na **rysunku 1**.

Budowa i działanie

Schemat układu wzmacniacza pokazano na **rysunku 2**. Aplikacja nie odbiega od noty katalogowej PAM8106, proponowanej dla wzmacniacza stereo. Analogowy sygnał wejściowy doprowadzony jest do złącza IN typu mini jack stereo 3,5 mm. Gniazdo posiada dwa wyłączniki, odcinające automatycznie sygnał audio z modułu Bluetooth, gdy dołączony jest wtyk mini jack. Sygnał po regulacji poziomem potencjometrem VOL, doprowadzony jest do wejścia U1, gdzie podlega wzmocnieniu. Sygnał wyjściowy po filtracji dostępny jest na zaciskach SPKP/SPKL.

Zasilanie układu dostarczone jest poprzez złącze PWR i powinno mieścić się w zakresie 9...14,4 V, co odpowiada napięciu akumulatora żelowego lub pakietu 3xLiPo w zastosowaniach przenośnych. Dzielnik R7, R8 ustala próg

REKLAMA

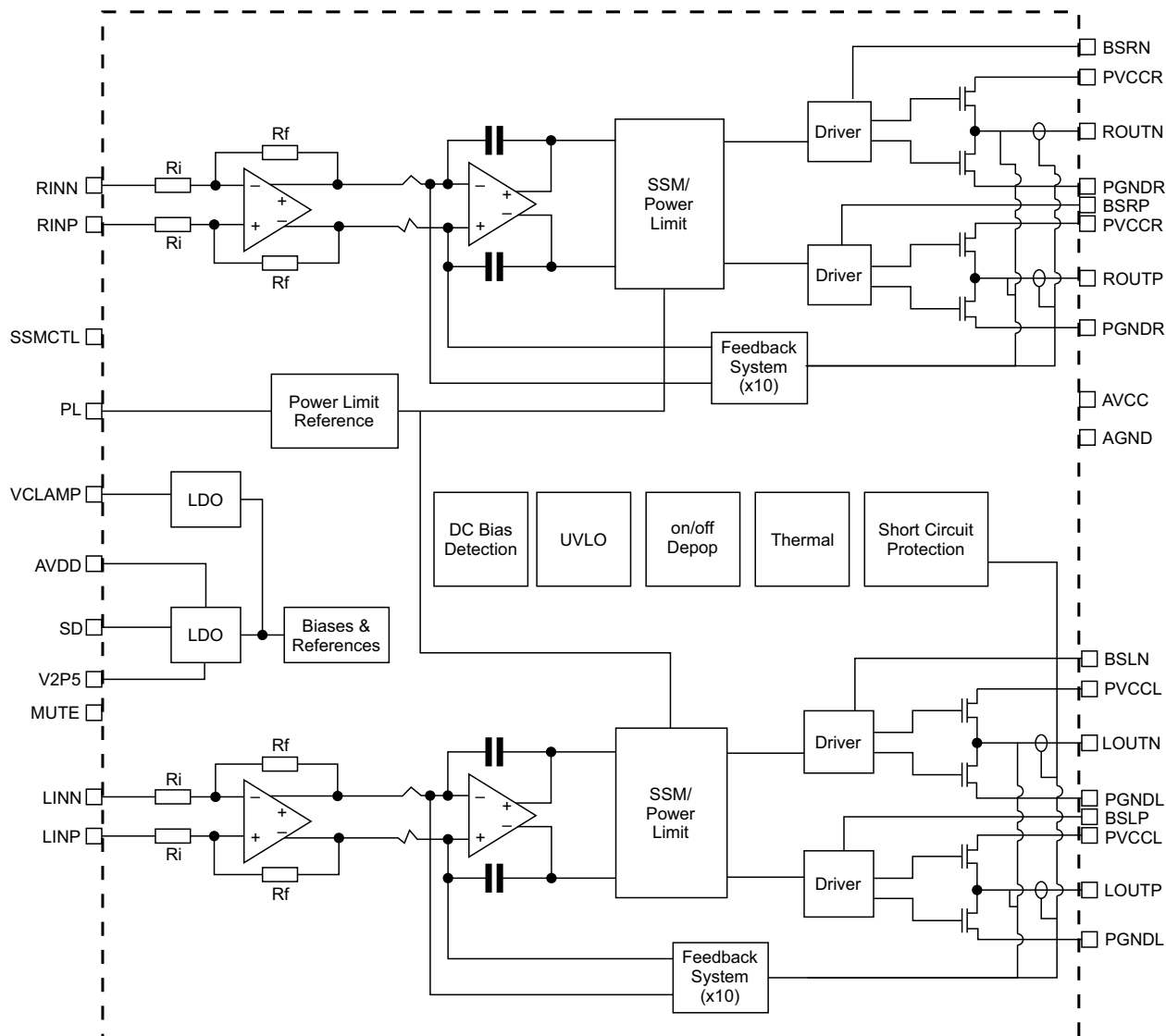
www.kamami.pl

wszystko o mikrokontrolerach

STM32

sprawdź naszą ofertę

na **KSIAŻKI** i **eBOOKI**



Rysunek 1. Struktura wewnętrzna PAM8106 (za notą Diodes Inc.)

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

W ofercie AVT* AVT-5756

Podstawowe parametry:

- moc 2x10 W przy 8 Ω i zasilaniu 12 V,
- praca w klasie D z modulacją rozproszoną,
- sprawność ponad 92%,
- zasilanie 9...14,4 V,
- wejście sygnału: liniowe lub radiowe Bluetooth.

Projekty pokrewne na www.media.avt.pl:

- AVT-5717 Opóźniacz dołączania głośników zasilany 230 V (EP 9/2019)
- AVT-5669 Wzmacniacz mocy audio 4x48 W/4 Ω (EP 4/2019)
- Wzmacniacz z kanałem basowym 2.1 (EP 1/2019)

* Uwaga! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu.

Wymagana umiejętności lutownicza!

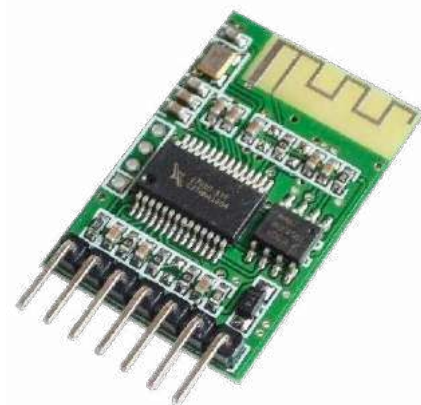
Podstawową wersją zestawu jest wersja [B] nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji [B] zawiera elementy elektroniczne (w tym [UK] - jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wzlutować w dołączoną płytkę drukowaną (PCB). Wykaz elementów znajduje się w dokumentacji, która 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.

zadziałania limitera na ok. 8 W. Zwarcie zwory SD, wprowadza układ w tryb obniżonego poboru mocy. Stabilizator U2 7805 zapewnia zasilanie modułu Bluetooth. Po wymianie U2 na wersję LDO, możliwe jest obniżenie dolnej granicy napięcia zasilania do ok. 6 V, gdyż sam układ PAM8106 pracuje poprawnie do 4,5 V.

W roli odbiornika Bluetooth Audio zastosowano tani moduł ze złączem 7-pinowym dostępny na aukcjach internetowych. Wygląd



Fotografia 1. Wygląd modułu Bluetooth

Wykaz elementów:

Płytkę z wyświetlaczem

Rezystory:

- R1...R4, R6: 47 k Ω 1% SMD0805
- R5, R7: 10 k Ω 1% SMD0805
- R8: 9,1 k Ω 1% SMD0805
- R9: 1 k Ω 1% SMD0805

Kondensatory:

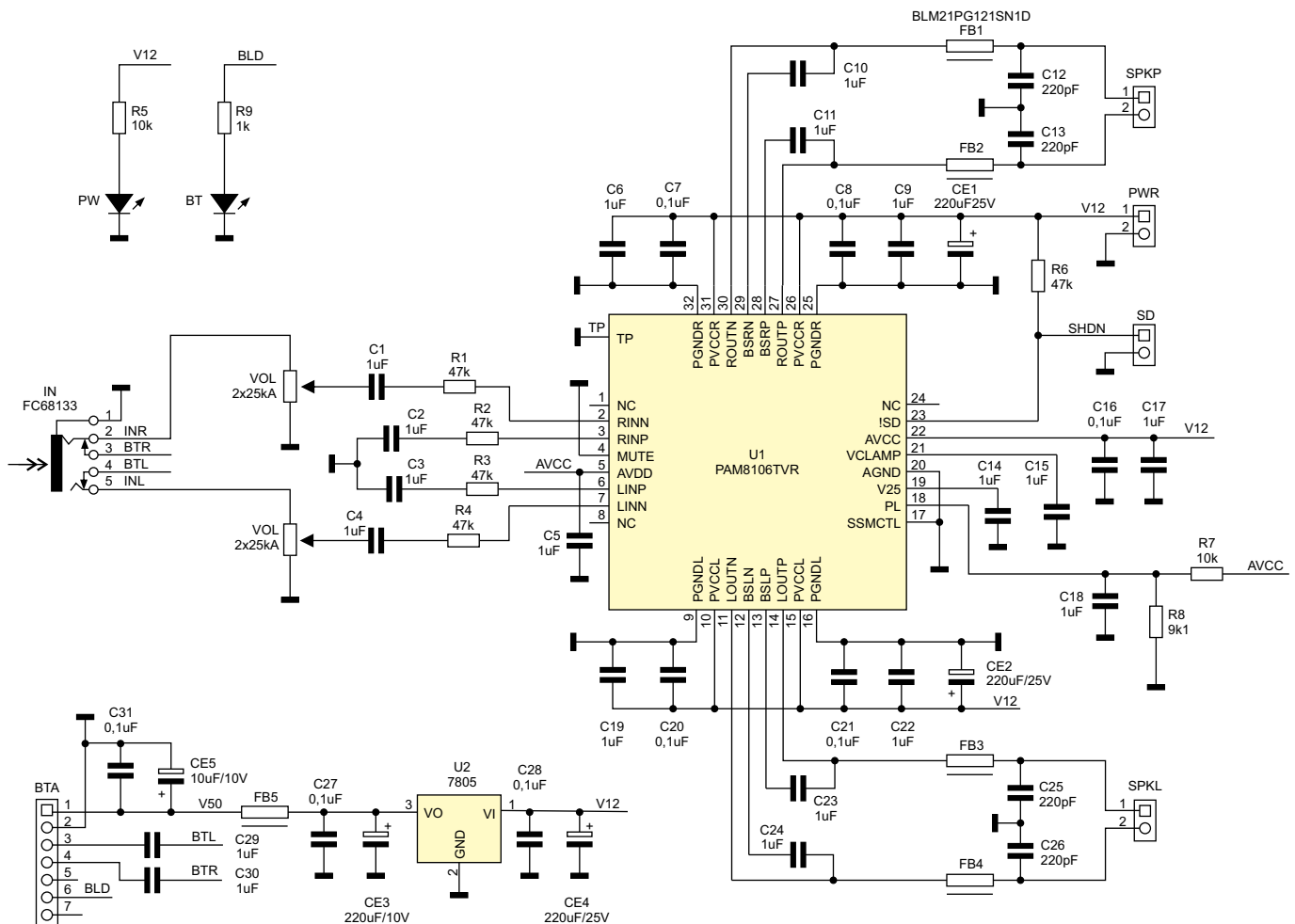
- C1...C6, C9...C11, C14, C15, C17...C19, C22...C24, C29, C30: 1 μ F SMD0805
- C7, C8, C16, C20, C21, C27, C28, C31: 100 nF SMD0805
- C12, C13, C25, C26: 220 pF SMD0805
- CE1, CE2, CE4: 220 μ F/25 V
- CE3: 220 μ F/10 V
- CE5: 10 μ F/10 V tantalowy SMD3216

Półprzewodniki:

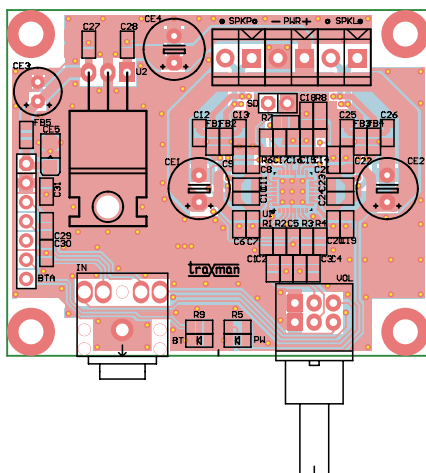
- BT: Led SMD0805 zielona
- PW: Led SMD0805 czerwona
- U1: PAM8106TVR
- U2: 7805 TO-220

Pozostałe:

- BTA: Złącze szpilkowe SIP7 2.54+F20
- SD: Złącze szpilkowe SIP2 2.54+F20
- FB1...FB5: Koralik ferrytowy SMD BLM21PG121SN1D
- IN: Złącze mini jack stereo z wyłącznikiem FC68133
- PWR, SPKL, SPKR: Złącze śrubowe 2 pin 3,81 mm DG381-3.5-2
- VOL: 2x25 k Ω A potencjometr stereo 9 mm+F75Alpha 9-PC-STE-25k log



Rysunek 2. Schemat ideowy wzmacniacza



Rysunek 3. Schemat płytki PCB oraz rozmieszczenie elementów płytki wzmacniacza

odbiornika pokazano na **fotografii 1**. Nie wymaga on żadnej konfiguracji, a uruchomienie interfejsu sprowadza się do sparowania z nadajnikiem. Dioda PW sygnalizuje obecność zasilania, dioda BT stan odbiornika Bluetooth. Szybkie miganie BT oznacza oczekiwanie na sparowanie, a świecenie ciągle oznacza pracę modułu połączonych z nadajnikiem.

Montaż i uruchomienie

Wzmacniacz zmontowany jest na dwustronnej płytce drukowanej. Rozmieszczenie elementów pokazano na **rysunku 3**, a zmontowany moduł pokazuje fotografia tytułowa. Montaż nie wymaga opisu, moduł Bluetooth wlotowany jest do płytki wzmacniacza mocy przy pomocy listwy szpilkowej. Po montażu warto sprawdzić obecność zasilania 5 V.

Układ zmontowany ze sprawdzonych elementów nie wymaga uruchamiania, jego działanie można szybko sprawdzić podłączając sygnał liniowy audio bezpośrednio do wejścia IN oraz drogą radiową ze smartfona lub tableta. Po sparowaniu – moduł zgłasza się pod nazwą WIN668. Przy umieszczaniu urządzenia w obudowie należy pamiętać, aby w okolicach anteny nie było elementów metalowych, które mogłyby zakłócić odbiór. W modelu na wbudowanej antenie uzyskano stabilny zasięg w okolicach 8 m. Przyjemnego odsłuchu.

Adam Tatus
adam.tatus@ep.com.pl

REKLAMA

Kameleon
STM32L4 Board

Kompletna platforma do nauki programowania



www.kameleonboard.org STM32

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

www.ep.com.pl/EPwtoku

Magnetometr GaussMeter

Urządzenie powstało w odpowiedzi na potrzebę badania magnesów stałych w przetwornikach gitarowych, jednak może być użyte do badania pola magnetycznego emitowanego przez dowolny obiekt. Oprócz wskazania siły pola magnetycznego (indukcji magnetycznej) wskaże także jego biegunowość.

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

W ofercie AVT* AVT-----

Podstawowe parametry:

- pomiar wielkości indukcji magnetycznej,
- pomiar biegunowości magnetycznej (S lub N),
- zasilanie z akumulatora litowego lub poprzez złącze USB,
- wbudowany kontroler ładowania akumulatora litowego.

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 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
 - 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.

W roli czujnika pola magnetycznego zastosowano precyzyjny przetwornik Halla pod postacią układu scalonego A1308 firmy Allegro MicroSystems. Przetwarza on siłę pola magnetycznego na proporcjonalny sygnał napięciowy (wykorzystując efekt Halla) z rozdzielczością 1,3 mV/Gauss. Aby zapewnić deklarowaną przez producenta dokładność pomiaru przetwornik musi być zasilany ze stabilnego źródła napięcia o wartości 5 V, co biorąc pod uwagę przenośny charakter urządzenia narzuciło dość wysokie wymagania dotyczące bloku zasilającego.

Budowa urządzenia

Zaprojektowano średnio skomplikowany system mikroprocesorowy, którego schemat pokazano na **rysunku 1**. Za funkcjonowanie urządzenia odpowiada mikrokontroler ATmega88 firmy Microchip (Atmel) taktowany wewnętrznym, wysokostabilnym oscylatorem o częstotliwości 1 MHz.

Ustawienia Fuse-bitów:

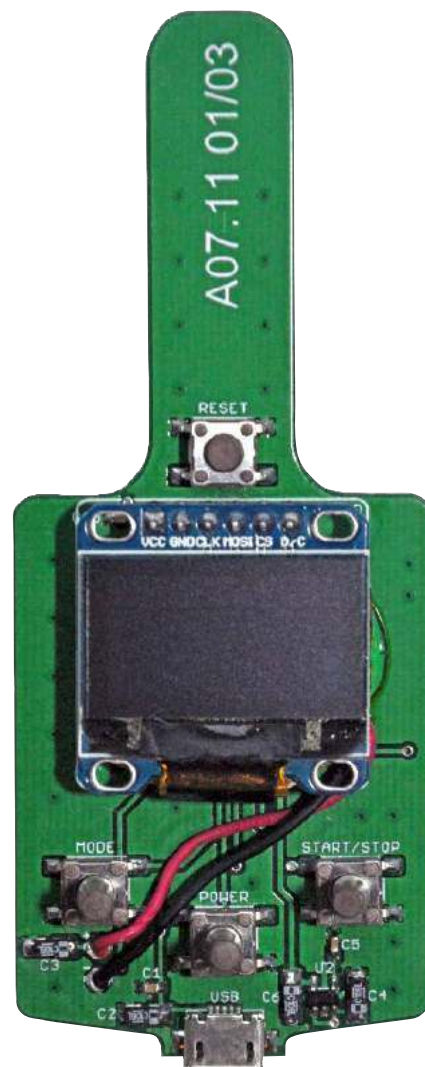
```
CKSEL3..0: 0010
SUT1..0: 10
CKDIV8: 0
CKOUT: 1
DWEN: 1
```

Napięciem zasilania systemu mikroprocesorowego jest napięcie 2,8 V dostarczane przez liniowy stabilizator LDO pod postacią układu scalonego AP2127K-2.8TRG1 (U2). Napięcie to, poprzez prosty klucz z tranzystorami MOSFET (T2, T3) trafia na wejście przetwornicy DC/DC (tzw. pompy ładunku) zbudowanej na bazie układu scalonego MCP1252-ADJ (U6), na wyjściu której dostępne jest napięcie 5,5 V. Zastosowanie klucza tranzystorowego wynika z wymagań dotyczących energooszczędności urządzenia, a co za tym idzie potrzeby załączania/wyłączania bloku zasilającego przetwornik Halla. Co więcej, przetwornicę MCP1252-ADJ wyposażono w wyprowadzenie PGOOD, dzięki czemu system mikroprocesorowy może zaczekać na ustabilizowanie się napięcia wyjściowego.

Napięcie z przetwornicy trafia na wejście stabilizatora LDO – układu scalonego TPS76350DBVT (U5), na którego wyjściu pojawia się pożądane 5 V zasilające czujnik Halla. Ponadto, układ U5 wyposażono w wejście EN (Enable), dzięki któremu możemy włączyć/wyłączyć stabilizator, co ma znaczenie w aplikacjach o niskim poborze mocy.

Stabilizator AP2127K-2.8TRG1 (U2) jest źródłem napięcia zasilania całego systemu, zaś źródłem napięcia zasilania tego stabilizatora jest z kolei, albo wbudowany akumulator litowo-polimerowy (BATT), albo napięcie pozyskiwane z wbudowanego gniazda USB. Ta część bloku zasilającego jest również nieco bardziej rozbudowana, dlatego należy napisać kilka słów wyjaśnienia. Blok zasilający system mikroprocesorowy zbudowano z użyciem specjalizowanego układu ładowania akumulatorów litowo-jonowych i litowo-polimerowych – układu MCP73832 produkcji firmy Microchip. Układ ten integruje w sobie kompletny system ładowania, który charakteryzuje się następującą funkcjonalnością:

- szeroki zakres napięć zasilania 3,75...6 V,
- duża dokładność regulacji rzędu $\pm 0,75\%$,
- programowany prąd ładowania szybkiego w zakresie 15...500 mA (tylko jeden rezystor, w naszym wypadku R1),
- możliwość wyboru wartości prądu ładowania wstępnego (w odniesieniu



do prądu ładowania szybkiego): 10%, 20%, 40% lub opcja nieaktywna,

- możliwość wyboru poziomu naładowania akumulatora (a dokładnie „reszty” do 100% pojemności), po którym układ przechodzi do trybu ładowania konserwacyjnego: 5%, 7.5%, 10% lub 20%,
- wbudowany mechanizm wykrywania podłączonego akumulatora,
- trójstanowe wyjście statusu procesu ładowania STAT,
- automatyczne przejście do trybu power-down o niskim poborze mocy.

Z przytoczonych właściwości wynika, że układ MCP73832 idealnie nadaje się do zastosowania w prostych aplikacjach ładowarek ogniwi litowo-jonowych i litowo-polimerowych. W pełni automatycznie nadzoruje proces ładowania akumulatora wybierając odpowiedni tryb ładowania oraz mechanizm kontroli, zaś jedynym „zmarzwieniem” użytkownika jest wybór prądu szybkiego ładowania, którego dokonujemy dobierając wartość rezystora podłączonego pomiędzy wyprowadzenie PROG a masę. Wartość prądu dobieramy według poniższej zależności:

$$I_{REG} = \frac{1000V}{R_{PROG}}$$

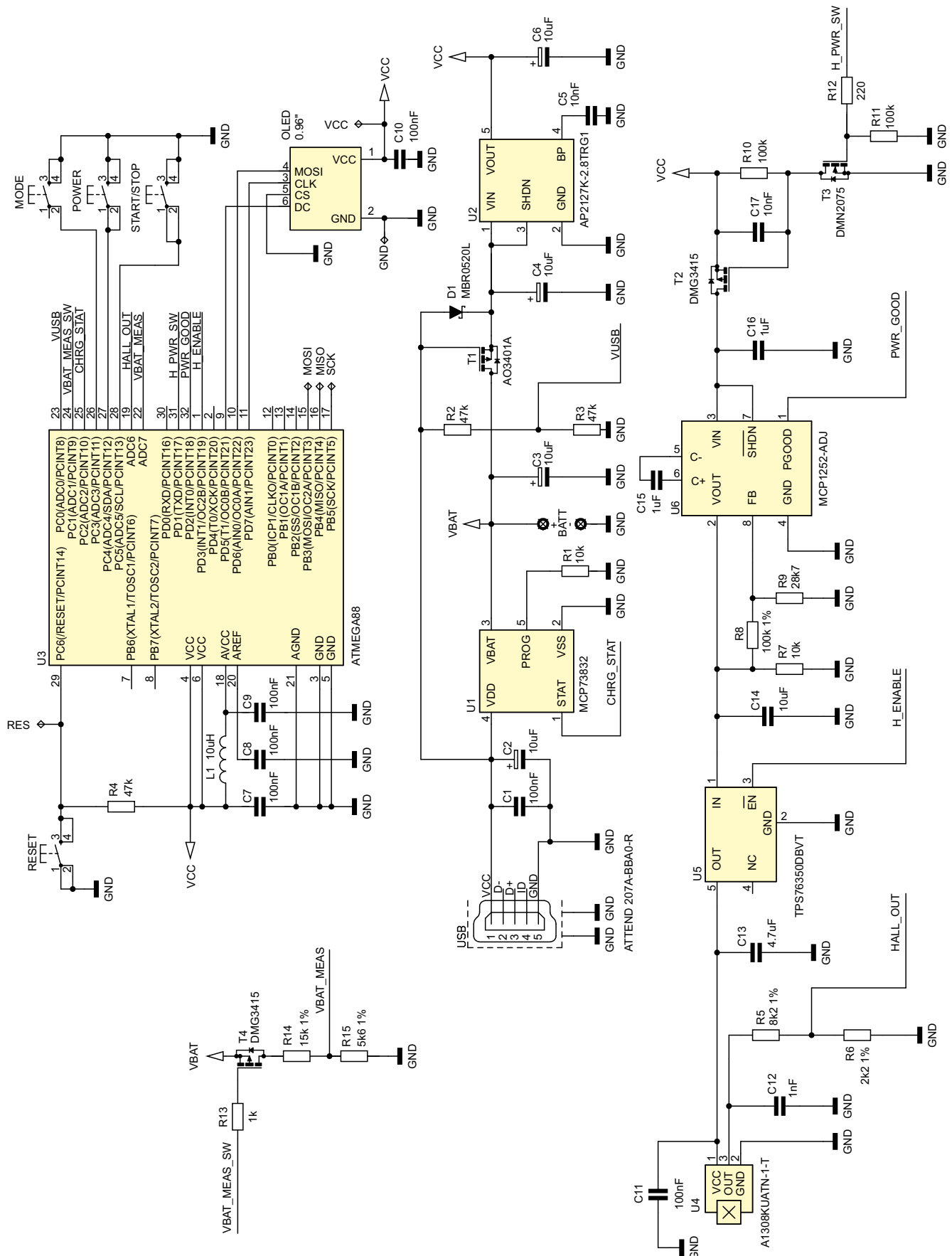
gdzie wielkości: I_{REG} wyrażono w mA, zaś R_{PROG} w $k\Omega$.

W naszym urządzeniu rezystor RPRO-G(R1) ma wartość 10 kΩ, co ustawia prąd ładowania szybkiego na wartość 100 mA.

Celowo ustawiono taką wartość, ponieważ zasilanie naszego urządzenia może być dołączone z portu USB komputera (lub popularnego zasilacza sieciowego z portem USB przeznaczonego do ładowania telefonów

komórkowych) zaś ten pozwala na maksymalny pobór prądu rzędu 500 mA w trybie high-power, zaś typowo 100 mA.

Układ MCP73832 nie posiada w swojej strukturze bloków funkcjonalnych



Rysunek 1. Schemat ideowy magnetometru

odpowiedzialnych za współdzielenie obciążenia, to znaczy odpowiedzialnych za uwzględnienie w procesie ładowania tego, że akumulator zasila urządzenie. Taka sytuacja, powoduje wydłużenie procesu ładowania, zaś w skrajnych wypadkach może go zaburzyć czy też spowodować, że proces ładowania nigdy nie dobiegnie końca (gdyż odbiornik pobierając nieustannie prąd z ogniwa, a więc de facto z układu nadzorującego nie pozwoli tym samym na skuteczną detekcję końca procesu ładowania).

Aby temu zapobiec zastosowano prosty „przełącznik” w postaci tranzystora MOSFET, którego bramkę podłączono bezpośrednio do napięcia USB zasilającego ładowarkę. W przypadku obecności napięcia USB (czyli de facto stanu wysokiego na bramce tranzystora) tranzystor T1 przechodzi w stan wyłączenia (brak przewodzenia pomiędzy drenem a źródłem) odłączając tym samym ładowany akumulator od obciążenia. W tym samym czasie obciążenie, jakim jest w naszym wypadku system mikroprocesorowy, zostaje zasilone z napięcia portu USB poprzez diodę D1.

W przypadku odłączenia naszego urządzenia od napięcia zasilającego USB, bramka tranzystora T1 zostaje ściągnięta do masy (poprzez rezystory R2 i R3) powodując przewodzenie tranzystora, a więc zasilenie naszego urządzenia z akumulatora. W tym przypadku dioda D1 zabezpiecza przed przepływem prądu wstecznego tj. z akumulatora

Wykaz elementów:

Rezystory: (SMD0603)

R1, R7: 10 kΩ
R2...R4: 47 kΩ
R5: 8,2 kΩ 1%
R6: 2,2 kΩ 1%
R8, R10, R11: 100 kΩ
R9: 28,7 kΩ 1%
R12: 220 Ω
R13: 1 kΩ
R14: 15 kΩ 1%
R15: 5,6 kΩ 1%

Kondensatory: (SMD0603, jeśli nie zapisano inaczej)

C1, C7...C11: ceramiczny 100 nF
C2...C4, C6: elektrolityczny 10 μF/10 V (A/3216-18W)
C5: ceramiczny 10 nF
C12: ceramiczny 1 nF
C13: ceramiczny 4,7 μF
C14: ceramiczny 10 μF
C15, C16: ceramiczny 1 μF
C17: ceramiczny 10 nF

Półprzewodniki:

U1: MCP73832 (SOT-23-5)
U2: AP2127K-2.8TRG1 (SOT-23-5)
U3: ATmega88 (TQFP32)
U4: A1302 lub A1308 (SIP3)
U5: TPS76350DBVT (SOT-23-5)
U6: MCP1252-ADJ (MSOP8)
T1: A03401A (SOT23)
T2, T4: DMG3415 (SOT23)
T3: DMN2075 (SOT23)
D1: MBR0520L (SOD123)
OLED: wyświetlacz OLED 0.96" 128×64 niebiesko-żółty SPI

Pozostałe:

L1: dławik 10 μH (SMD 0603)
RESET: mikroprzełącznik SMD typu DTSM-61N-V-B
MODE, POWER, START/STOP: mikroprzełącznik SMD typu DTSM-66N-V-B
USB: gniazdo USB
ACCU: akumulator Li-po typu ACCU-LP403035/CL

Tabela 1. Funkcjonalność ważniejszych wyprowadzeń mikrokontrolera

Nazwa	Pin	Typ	Funkcja
CHRG_STAT	PC2	Wejście	Sprawdzanie statusu ładowania akumulatora. LOW oznacza ładowanie w toku. Używane w połączeniu z linią VUSB pozwala wykryć zakończenie ładowania akumulatora.
VUSB	PC0	Wejście	Sprawdzanie czy gniazdo USB jest podłączone.
HALL_OUT	ADC6	Wejście	Pomiar napięcia z czujnika Halla poprzez dzielnik 8.2k/2.2k
VBAT_MEAS	ADC7	Wejście	Pomiar napięcia akumulatora poprzez dzielnik 15k/5k6. Przed pomiarem trzeba włączyć VBAT_MEAS_SW.
H_ENABLE	PD3	Wyjście	Włączanie stabilizatora zasilającego czujnik Halla. Stan LOW – włączenie, stan HIGH – wyłączenie.
PWR_GOOD	PD2	Wejście	Sygnał z przetwornicy MCP1252-ADJ (5,5 V), że napięcie wyjściowe jest poprawne (do zasilania czujnika Halla). PGOOD = LOW oznacza poprawne napięcie. PGOOD = HIGH oznacza brak poprawnego napięcia
H_PWR_SW	PD1	Wyjście	Włączanie przetwornicy MCP1252 do zasilania czujnika Halla. HIGH – włączona, LOW – wyłączona.
VBAT_MEAS_SW	PC1	Wyjście	Włączanie zasilania dzielnika napięciowego 15k/5k6 do pomiaru napięcia baterii. Włączenie następuje przy stanie LOW. Stan HIGH dzielnik pomiarowy wyłączony.

w kierunku źródła napięcia zasilającego (USB). W ten prosty sposób zbudowano prosty i w pełni funkcjonalny układ współdzielenia obciążenia, który czasami występuje w innych typach scalonych kontrolerów ładowania produkcji firmy Microchip.

Wyjście z układu ładowania wprowadzono na wejście wspomnianego wcześniej stabilizatora LDO typu AP2127K-2.8TRG1, który zapewnia stały poziom napięcia zasilającego system mikroprocesorowy (2,8 V) niezależnie od stanu układu ładowania. Dla porządku dodam, że aplikacja magnetometru korzysta również z wbudowanego w strukturę mikrokontrolera przetwornika ADC (wejście ADC7), przy udziale którego (poprzez prosty dzielnik napięciowy R14, R15) mierzony jest poziom napięcia akumulatora zasilającego co pozwala na „zgrubne” określenie stanu naładowania. Jest to oczywiście rozwiązanie uproszczone, dokładne określenie stanu naładowania akumulatora wymagałoby zastosowania specjalizowanego kontrolera wielkości gromadzonego i traconego ładunku, jednak w tak prostym systemie wydaje się w zupełności wystarczające. Co więcej, wspomniany dzielnik napięcia jest „odłączany” od napięcia zasilającego (tranzystor T4 typu MOSFET) w czasie, gdy pomiar nie jest wykonywany, a to wszystko dla oszczędzania energii akumulatora zasilającego.

Magnetometr wyposażono w ciekawy i niezmiernie prosty interfejs użytkownika złożony z 3 przycisków funkcyjnych umownie oznaczonych MODE, POWER i START/STOP oraz niewielkiego, lecz bardzo efektywnego graficznego wyświetlacza OLED o rozdzielczości 128×64 piksele i wielkości 0,96". Ponadto, urządzenie nie jest wyposażone w „sprzętowy” wyłącznik zasilania, który fizycznie odłączałby

system mikroprocesorowy od napięcia zasilającego, lecz posiada programowy wyłącznik zasilania.

Działanie i obsługa

Standardowo całe urządzenie jest w stanie uśpienia z wyłączonymi wszystkimi niezbędnymi peryferiami mikrokontrolera sterującego oraz wyłączonym wyświetlaczem OLED. W tym stanie pracy zasilanie przetwornicy DC/DC jest wyłączone co dezaktywuje czujnik Halla.

Wybudzenie urządzenia następuje po naciśnięciu przycisku POWER. Po wybudzeniu włączane jest zasilanie przetwornicy MCP1252 (sygnałem H_PWR_SW=HIGH) i po jego ustabilizowaniu się (PWR_GOOD=LOW) wykonywany jest pomiar napięcia akumulatora zasilającego. Jeśli zmierzone napięcie jest zbyt małe, wyświetlany jest piktogram informujący o zbyt niskim stanie akumulatora zasilającego, zaś urządzenie jest ponownie usypiane.

Jeśli napięcie akumulatora mieści się w wymaganym zakresie wyświetlany jest ekran powitalny (animacja logo EA) po czym wykonywana jest kalibracja czujnika Halla (mierzone jest jego napięcie wyjściowe, zakładając, że czujnik nie znajduje się w polu magnetycznym – standardowo jest to 2,5 V). Następnie urządzenie dokonuje cyklicznych pomiarów zgodnie z wybrany trybem pracy, a wyniki pokazywane są na wyświetlaczu OLED. Pomiary napięcia czujnika Halla (poprzez dzielnik R5 i R6) dokonywane są co 100 ms według następującego scenariusza:

1. Włączany jest stabilizator TPS76350DBVT (LDO) sygnałem H_ENABLE=LOW,
2. Wykonywanych jest 20 pomiarów napięcia czujnika Halla (wejście ADC6 mikrokontrolera),



Rysunek 2. Ekran graficznego interfejsu użytkownika

3. Wynik jest uśredniany po czym pokazywany na wyświetlaczu OLED,
4. Wyłączany jest stabilizator TPS-76350DBVT (LDO) sygnałem $H\_ENABLE=HIGH$.

Wynik pomiaru obliczany jest na podstawie następującej zależności:

$$B = (V_m - V_{ref}) \cdot h$$

gdzie:

B – siła pola magnetycznego,

V_m – napięcie mierzone w trakcie pomiaru,

V_{ref} – napięcie referencyjne czujnika zmierzane w momencie wykonywania kalibracji,

h – współczynnik obliczeniowy równy 3,91006843.

Z kolei występujący we wzorze powyżej współczynnik obliczeniowy h wyznaczany jest z następującej zależności:

$$h = \frac{\frac{(R5 + R6)}{R6} \cdot 1,1}{1023} \cdot 10000$$

gdzie:

$R5, R6$ – wartości rezystorów w dzielniku napięcia czujnika Halla,

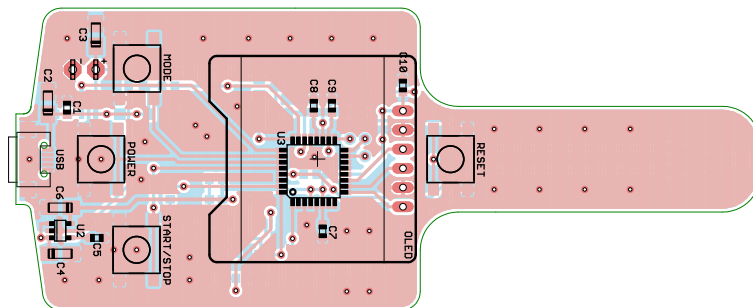
10000 – czułość czujnika Halla (odwrotność) przeliczona na Volty (rzeczywista czułość to 1,3 mV/Gauss),

1,1

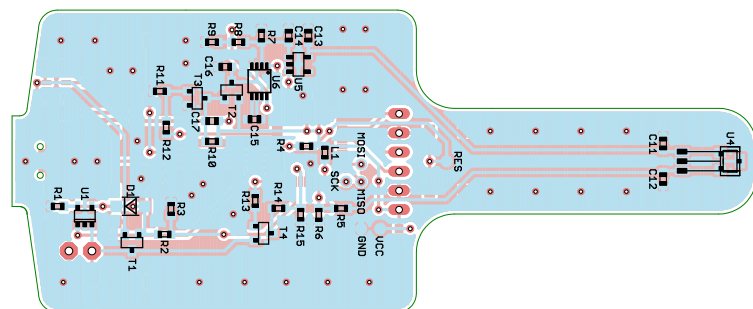
1023 – to wartość LSB przetwornika ADC.

Zastosowany czujnik Halla ma skończony zakres przetwarzania i w przypadku jego przekroczenia (>1690) na wyświetlaczu pojawi się napis „OVER” razem z oznaczeniem bieguna magnesu (N lub S w zależności od napięcia). Z kolei wyświetlana biegunowość magnesu zależy tutaj od znaku różnicy napięć $V_m - V_{ref}$. Co ważne, dla zaoszczędzenia energii akumulatora zasilającego urządzenie przechodzi w stan uśpienia po 1 minucie nieużywania lub po długim wciśnięciu przycisku POWER (z wyświetleniem napisu „OFF” przez 3 sekundy).

Aby w pełni zrozumieć funkcje poszczególnych wyprowadzeń mikrokontrolera



Rysunek 3. Schemat płytki PCB wraz z rozmieszczeniem elementów, strona TOP



Rysunek 4. Schemat płytki PCB wraz z rozmieszczeniem elementów, strona BOTTOM

w zakresie implementacji programu obsługi aplikacji poniżej, w tabeli 1, przedstawiono funkcjonalność ważniejszych wyprowadzeń mikrokontrolera.

GaussMeter może pracować w kilku trybach pracy. Podstawowym trybem pracy urządzenia jest tryb oznaczony jako CURR, w przypadku którego pomiar jest wykonywany i wyświetlany 10 razy na sekundę. Oprócz wielkości indukcji magnetycznej pokazywana jest również biegunowość (S lub N).

Kolejnym trybem pracy jest tryb AVG, w którym możliwe jest uśrednianie wyników pomiaru. Podstawowo uśrednianie jest wyłączone (pokazywany jest wtedy symbol kwadracika – tj. stop) i wtedy ekran pokazuje te same wartości, jak w trybie CURR. Każdorazowe przyciśnięcie klawisza START/STOP powoduje włączenie/wyłączenie uśredniania wyników pomiaru. Włączeniu towarzyszy pokazanie się symbolu trójkątka – tj. play na ekranie urządzenia. Podczas uśredniania pomiar wykonywany jest również 10 razy na sekundę ale wynik jest akumulowany a na ekranie urządzenia pokazywana jest bieżąca średnia wartość indukcji magnetycznej (średnia od czasu włączenia uśredniania). Po wyłączeniu uśredniania pokazywana jest ponownie bieżąca wartość (i biegun) indukcji magnetycznej (średnia jest zerowana).

Ostatnim trybem pracy jest tryb PEAK. W tym trybie pracy na ekranie urządzenia

pokazywana jest najwyższa zmierzona wartość indukcji magnetycznej. Każdorazowe przyciśnięcie klawisza START/STOP powoduje wyzerowanie zapamiętanej, najwyższej wartości pomiaru. Ekran graficznego interfejsu użytkownika urządzenia GaussMeter pokazano na rysunku 2, zaś w tabeli 2 pokazano funkcjonalność poszczególnych klawiszy.

Dodatkowy przycisk RESET służy do sprzętowego zresetowania urządzenia w przypadku, gdyby przestało odpowiadać. Raz na sekundę dokonywany jest pomiar napięcia akumulatora zasilającego, po czym stosowna informacja wyświetlana jest w ramach graficznego interfejsu użytkownika (symbol kabla USB w przypadku podłączenia urządzenia do kabla USB lub symbol baterii w przypadku pracy na zasilaniu akumulatorowym – wypełnienie baterii wskazuje wtedy stan naładowania akumulatora).

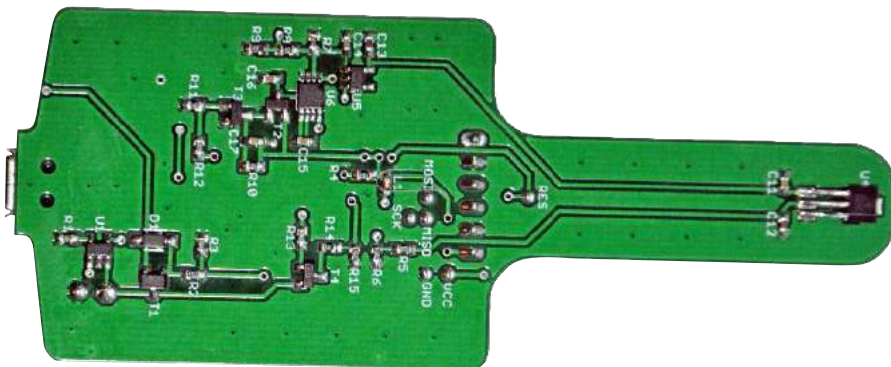
Montaż i uruchomienie

Schemat montażowy urządzenia pokazano na rysunkach 3 i 4. Zaprojektowano zwarty obwód drukowany ze zdecydowaną przewagą elementów typu SMD. Dodatkowo kształt płytki drukowanej oraz rozmieszczenie elementów regulacyjnych sprzyja wygodzie użytkownika.

Montaż urządzenia rozpoczynamy od warstwy BOTTOM, gdzie w pierwszej kolejności przylutujemy półprzewodniki. Następnie lutujemy elementy bierne po czym przechodzimy na warstwę TOP. Tutaj postępujemy w analogiczny sposób lutując jako pierwsze elementy półprzewodnikowe, następnie rezystory i kondensatory a na samym końcu elementy mechaniczne jak przyciski MODE, START/STOP, POWER i RESET oraz złącze USB. Z uwagi na zagęszczenie wyprowadzeń

Tabela 2. Funkcjonalność poszczególnych klawiszy urządzenia

Nazwa klawisza	Funkcja
MODE	Krótkie naciśnięcie → zmiana trybu pracy urządzenia (CURR/AVG/PEAK)
START/STOP	Krótkie naciśnięcie → w trybie AVG: włączenie/wyłączenie uśredniania pomiarów. W trybie PEAK: wyzerowania wartości maksymalnej
POWER	Długie naciśnięcie → wyłączenie urządzenia Krótkie naciśnięcie → włączenie urządzenia



Fotografia 1. Widok zmontowanej płytki urządzenia od strony BOTTOM.

niektórych elementów przed pierwszym podłączeniem urządzenia do zasilania należy jeszcze raz sprawdzić jakość wykonanych połączeń by nie dopuścić do ewentualnych zwarców. Wspomniana kontrola będzie znacznie łatwiejsza, jeśli zmontowaną płytkę przeemyjemy alkoholem izopropylowym. Widok

zmontowanego urządzenia GaussMeter od strony BOTTOM pokazano na **fotografii 1**.

Na samym końcu, montujemy wyświetlacz OLED, zwyczajnie lutując jego wyprowadzenia w przeznaczone do tego celu pola lutownicze (należy sprawdzić polaryzację zasilania), gdyż połączenia te zapewniają mu jednocześnie

wystarczający montaż mechaniczny. Wybierając wyświetlacz należy zakupić wersję wyposażoną w następujące sygnały sterujące: CLK (sygnał zegarowy magistrali SPI), MOSI (wejście danych magistrali SPI), CS (wejście wyboru sterownika SSD1306) oraz DC (wejście, decydujące o charakterze wysyłanych danych: 1 → dane pamięci obrazu, 0 → rozkaz sterujący). Ważne jest rozmieszczenie sygnałów zasilających, ponieważ moduły dostępne w handlu często mają zamienione miejscami sygnały zasilania (VCC) i masy (GND).

Akumulator zasilający podłączamy do wyprowadzeń +/- po stronie TOP (zachowując odpowiednią polaryzację) i umieszczamy pomiędzy modułem wyświetlacza OLED a płytką naszego urządzenia. Poprawnie zmontowany układ powinien działać od razu po podłączeniu zasilania.

Robert Wołgajew
robert.wolgajew@ep.com.pl

Klub Aplikantów Próbek

to inicjatywa redakcji „Elektroniki Praktycznej”. W kontaktach z firmami redakcja często otrzymuje do przetestowania próbki podzespołów, modułów, a nawet całych urządzeń elektronicznych. Są to zwykle najnowsze typy/modeli produktów na rynku. Z chęci podzielenia się z Czytelnikami tymi próbkami zrodziła się inicjatywa pod nazwą Klub Aplikantów Próbek. Członkiem KAP staje się każdy, kto zgłosi chęć przetestowania próbki. Wykaz i krótki opis próbek, którymi dysponuje redakcja EP, można znaleźć na stronie <http://bit.ly/339j0Sb>. Wystarczy wybrać rodzaj próbek i zwrócić się majlmem na adres: Szef Pracowni Konstrukcyjnej: grzegorz.becker@ep.com.pl z prośbą o przesłanie bezpłatnych próbek, podając ich nazwę i adres wysyłki. Warto dopisać jaki jest plan zastosowania tych próbek. Nie jest to konieczne, ale może mieć znaczenie przy podziale próbek w przypadku większej liczby zgłoszeń. Mile widziane, choć nieobowiązkowe, jest też przysłanie do redakcji EP opisu wykonanej aplikacji próbek, oczywiście po jej wykonaniu z zastosowaniem otrzymanej próbki. Autorom przysłanych opisów przyznamy punkty, które będą im dawały pierwszeństwo przy ubieganiu się o kolejne próbki. Najciekawsze opisy aplikacji opublikujemy na forum ep.com.pl lub na łamach „Elektroniki Praktycznej”.

Dla pełnej jasności jeszcze raz podkreślamy, że próbki przekazujemy bezpłatnie i nie trzeba ich zwracać do redakcji. Z uwagi na ograniczoną liczbę dostępnych próbek i niemałe zainteresowanie nimi, prosimy o opisanie swojego pomysłu na projekt na naszym forum internetowym, w dziale poświęconym Klubowi Aplikantów Próbek <http://bit.ly/2qeN28e>. Ponadto, by zwiększyć swoje szanse na bycie wybranym do realizacji projektu w oparciu o nasze próbki, należy polubić fanpage Elektroniki Praktycznej na Facebooku (<http://bit.ly/2WygFO9>) oraz udostępnić post, w którym opisujemy rozdawane próbki. W przypadku podobnie interesujących pomysłów na projekty, będziemy uwzględniać to jako dodatkowe kryterium wyboru.



www.ep.com.pl/kap

eprasa.pl 9a306f5a7e

- niektóre rodzaje modułów mają także zamontowane dodatkowe układy dopasowujące poziomy sygnałów. W takim przypadku możliwa jest praca z zasilaniem i sygnałami magistrali w zakresie od 3,3 do 5 V.

Sposób działania i sterowanie magnetometrem

Na **rysunku 1** pokazana została wewnętrzna budowa układu QMC5883L. Rolę elementów pomiarowych pełnią 3 wewnętrzne czujniki magneto-rezystywne. Napięcie z czujników proporcjonalne do natężenia pola magnetycznego, jest sekwencyjnie podawane na wejście przetwornika analogowo-cyfrowego. Wynik przetwarzania zostaje zapisywany w rejestrach dla każdego czujnika oddzielnie. Zawartość rejestrów można odczytać poprzez magistralę I²C. Wbudowany sensor temperatury zależnie od jej poziomu koryguje wynik pomiarów.

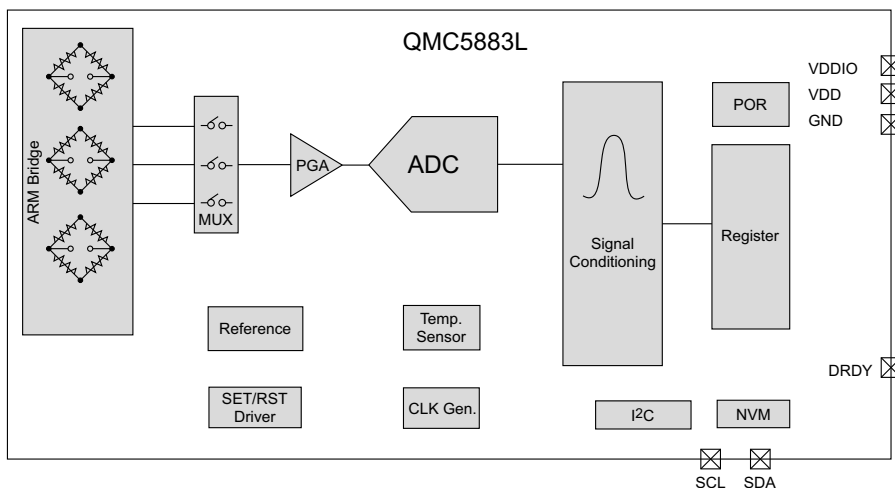
Pracę magnetometru synchronizuje sygnał zegarowy wytwarzany przez wewnętrzny generator. O zakończeniu cyklu pomiarów i uaktualnieniu danych informuje ustawienie flag w dostępnym do odczytu rejestrze stanu sensora. Czujniki magneto-rezystywne rozmieszczone są w obudowie tak, aby umożliwić pomiar pola w 3 płaszczyznach X, Y, Z. Na **rysunku 2** zaznaczono osie pomiarów względem obudowy.

Po włączeniu zasilania układ magnetometru znajduje się w stanie wstrzymania pobierając minimalny prąd rzędu 3 μ A. W tym trybie oczekuje na transmisję magistralą I²C, która zmieni ustawienia rejestrów i zainicjuje pomiary. Dołączony do magistrali jako slave, czujnik reaguje na adres 0x0D (zapis 7 bitowy). W trybie zapisu każda transmisja rozpoczyna się sekwencją Start, adresem slave z wyzerowanym 8 bitem jako dopełnieniem adresu, wysyłany jest bajt z numerem rejestru i bajt danych zakończony sekwencją Stop. W trybie odczytu po sekwencji Start, wysłaniu adresu slave z wyzerowanym 8 bitem i bajtu z numerem rejestru do odczytu, master ponownie wysyła sekwencję Start i adres slave tym razem z ustawionym 8 bitem. Czujnik rozpoczyna przesyłanie zawartości rejestru.

Rejestry magnetometru

Czujnik reaguje na adresy rejestrów od 00H do 0DH (heksadecymalnie).

- 00H – 05H rejestry danych pomiarowych z czujników magneto-rezystywnych. Dane z każdego czujnika zajmują 2 rejestry, w kolejności: XYZ. Rejestr o młodszym adresie zawiera bity b.7 – b.0, w kolejnym rejestrze są bity b.15 – b.8. Dane są zapisane w kodzie uzupełnienia do 2, b.15 ustawiony oznacza wartość ujemną. Rejestry danych są tylko do odczytu. Możliwy jest odczyt grupowy wszystkich 6 rejestrów.



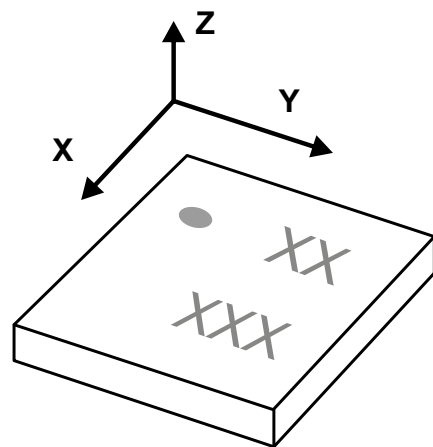
Rysunek 1. Budowa sensora QMC5883L

- 06H rejestr flag statusu, rejestr tylko do odczytu,
 - b.0 (DRDY) flaga sygnalizuje umieszczenie nowych danych w rejestrach. Flaga jest automatycznie kasowana po odczycie rejestrów danych 00H – 05H.
 - b.1 (OVL) gdy flaga jest ustawiona sygnalizuje, że dane w rejestrach mogą być błędne. Automatycznie kasowana gdy w rejestrach danych czujnik umieści nowe dane bez błęd.
 - b.2 (DOR) flaga sygnalizuje utracenie nie odczytanych danych przez nadpisanie nowymi wynikami pomiarów. Flaga jest automatycznie kasowana po odczycie rejestrów danych pomiarowych.
- 07H – 08H rejestry wewnętrznego czujnika temperatury. Młodszy i starszy bajt temperatury w kodzie uzupełnienia do 2, rejestry tylko do odczytu,
- 09H rejestr sterujący 1, rejestr do zapisu i odczytu,
 - b.1-0 (MODE) bity sterujące trybem pracy: 00 – tryb wstrzymania z obniżonym poborem mocy, 01 – tryb normalnych pomiarów.
 - b.3-2 (ODR) bity wyboru częstotliwości pomiarów: 00 – 10 Hz, 01 – 50 Hz, 10 – 100 Hz, 11 – 200 Hz
 - b.5-4 (RNG) bity wyboru zakresu pomiarowego: 00 – 2G (Gauss), 01 – 8G
 - b.7-6 (OSR) wybór ilości kolejnych pomiarów do uśrednienia wyniku: 00 – 512, 01 – 256, 10 – 128, 11 – 64
- 0AH rejestr sterujący 2, rejestr do zapisu i odczytu,
 - b.0 (INT_ENB) gdy bit wyzerowany, wyjście DRDY czujnika będzie sygnalizowało nowe dane do odczytu (odpowiednik flagi DRDY). Wyjście pozostaje w stanie wysokim dopóki nowe dane nie zostaną odczytane.
 - b.6 (ROL_PNT) gdy bit ustawiony włączony tryb automatycznego przewijania adresu rejestru do odczytu w zakresie 00H – 06.
 - b.7 (SOFT_RST) programowy reset wpisujący do rejestrów wartości predefiniowane.
 - 0BH rejestr Period, rejestr do zapisu i odczytu, typowa wartość to 1.
 - 0DH rejestr identyfikacji układu, rejestr tylko do odczytu, odczytywana wartość to FFH.

Przykładowa sekwencja uruchomienia pomiarów po podłączeniu czujnika do zasilania z ustawieniami: OSR=512, RNG=8G, ODR=200 będzie wyglądała tak: zapis do rejestru 0BH wartości 0x01, zapis do rejestru 09H wartości 0x1D. Czujnik rozpocznie pomiary i umieszczanie w rejestrach danych wyników pomiarów.

Użycie magnetometru jako kompasu

Dzięki wysokiej czułości i możliwości dokonywania pomiarów w 3 płaszczyznach można moduł magnetometru zastosować do detekcji północnego bieguna magnetycznego czyli po prostu jako kompas. W dobie powszechnej dostępności GPS-u i darmowych aplikacji symulujących kompas w komórce nie brzmie ekscytująco. Ale niewielkie rozmiary modułu: 15×13 mm, niskie zużycie energii i względna prostota obliczeń pozwalają go wykorzystać w urządzeniach



Rysunek 2. Osie pomiarów sensora

i automatach do lokalizacji i określania kierunku ruchu.

Do obliczeń wykorzystuje się pomiary pola w płaszczyźnie X i Y. Podstawiając zmierzone wartości do wzoru:

```
float kierunek_rad = atan2((float)Ypomiar, (float)Xpomiar);
```

Otrzymujemy odchylenie osi X sensora od linii pola magnetycznego wskazujących północ. Otrzymany kąt jest wyrażony w radianach. Jeżeli chcemy na końcu obliczeń otrzymać wynik w stopniach kątowych z przedziału 0...360° należy skorygować wynik w radianach tak, aby mieścił się w zakresie $0\pi - 2\pi$ (Podstawiony do obliczeń symbol M_{PI} oznacza w języku programowania C nieśmiertelną stałą π czyli 3,14... z odpowiednią dokładnością po przecinku).

```
if (kierunek_rad < 0){
    kierunek_rad += 2 * M_PI;
}
if (kierunek_rad > 2 * M_PI){
    kierunek_rad -= 2 * M_PI;
}
```

Na koniec zamieniamy otrzymany wynik z radianów na bardziej czytelne stopnie kąta pełnego.

```
float pozycja_stopnie = pozycja_rad * 180/M_PI;
```

Otrzymujemy wynik będący kątem wyrażonym w stopniach pomiędzy osią X zamontowanego na module sensora a magnetyczną północą. Wynik prawdopodobnie bardzo... niedokładny. W największym stopniu przyczyną błędu będzie asymetria wskazań sensorów osi X i osi Y. Tą przyczynę fałszowania wskazań dosyć łatwo jest wyeliminować przeprowadzając wstępną kalibrację przyrządu. Polega ona na obrocie płytki sensora dookoła osi w tej samej płaszczyźnie i zapamiętania dla osi X i Y skrajnych, minimalnych i maksymalnych odczytów. Następnie należy obliczyć ich średnią arytmetyczną a otrzymane wyniki zapamiętać i stosować do korekcy danych pomiarowych X_{pomiar} i Y_{pomiar} użytych do obliczeń kąta.

```
offsetX = (pomiarX_max + pomiarX_min) / 2 ;
```

Tabela 1. Sposób połączenia modułu sensora z płytą rozwojową

Moduł magnetometru	Płyta STM32F746G-DISCO
SCL linia magistrali I ² C	CN7-10 PB8
SDA linia magistrali I ² C	CN7-9 PB9
VCC zasilanie 3,3 – 5 V	CN7-8 AVDD 3,3 V
GND	CN7-7 GND
DRDY wyprowadzenie sygnalizacyjne	Nie podłączone

```
offsetY = (pomiarY_max + pomiarY_min) / 2 ;
//korekta kalibracyjna danych pomiarowych
```

```
Ypomiar = danaY - offsetY;
```

```
Xpomiar = danaX - offsetX;
```

Kolejną przyczyną fałszowania wskazań modułu jest konieczność utrzymywania podczas pomiaru pozycji równoległej do powierzchni ziemi. Przechyliły moduły będą fałszować wskazania magnetometru. Podobnie jak obecność w pobliżu przedmiotów wykonanych z materiałów ferromagnetycznych. Jest to taki sam efekt jak w przypadku tradycyjnego kompasu, gdy wychylenie igły ulega zaburzeniu w pobliżu przedmiotu wykonanego z żelaza bądź stali. Z drugiej strony ta cecha magnetometru może być wykorzystana do śledzenia pozycji sensora względem obiektów wykonanych z materiałów ferromagnetycznych, zakłócających pole magnetyczne.

Oprogramowanie do testowania modułu

Do testowania magnetometru QMC5883L opracowano oprogramowanie dla płyty rozwojowej STM32F746G-DISCO. Oprogramowanie pozwala obserwować zachowanie sensora przy różnych wartościach parametrów pomiarowych. Moduł sensora połączony jest z płytą 4 przewodami (tabela 1).

Na płytce modułu powinny być zamontowane oporniki podciągające linie magistrali I²C do poziomu napięcia zasilającego i w takim przypadku nie ma potrzeby dodawania jakichkolwiek zewnętrznych elementów. Długość przewodów łączących płytę z modułem nie powinna przekraczać 20 cm.

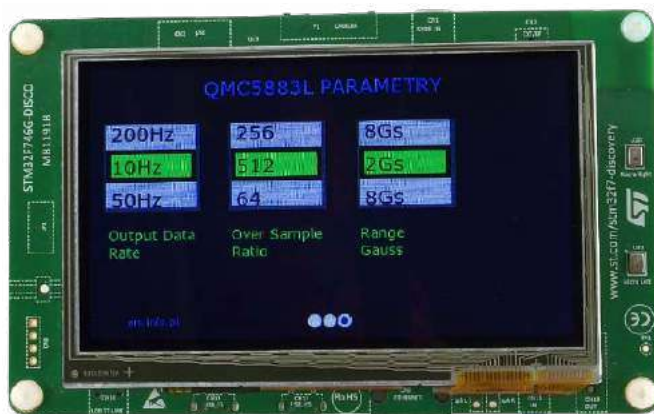
Program testowy składa się z 3 ekranów. Zaraz po włączeniu pojawia się ekran

z polami do wyświetlania danych surowych z czujników w osiach X, Y, Z. Pomiary inicjuje ustawienie widocznego na ekranie przełącznika w pozycji ON. Jeżeli brak będzie prawidłowej komunikacji z czujnikiem, wyświetlony zostanie stosowny komunikat. Jeżeli sensor zostanie wykryty i komunikacja będzie prawidłowa, zostaną wyświetlone parametry ustawień sensora, a w polach danych pojawią się mierzone przez czujniki wartości natężenia pola (fotografia tytułowa).

Drugi ekran służy do zmiany ustawień parametrów sensora (fotografia 1). Na listach przewijanych można wybrać ustawienia: częstotliwości pomiarów, ilości pomiarów używanych do uśrednienia wyniku i zakresu pomiarowego. Zmienione ustawienia przesyłane są do sensora natychmiast po wyborze.

Trzeci ekran nazwany testem pozycjonera (fotografia 2), wykorzystuje odczyty z sensora do lokalizacji pozycji modułu względem północnego bieguna magnetycznego Ziemi. Ten prosty kompas działa przy ustawionym zakresie pomiarowym 2Gs. Dla poprawienia dokładności wskazań, przed pomiarami konieczna jest kalibracja. Po ustawieniu przełącznika kalibracji w pozycję ON, należy moduł obrócić dookoła osi o 360° lub w lewo i prawo o 180°. W czasie kalibracji moduł powinien być cały czas ustawiony równoległe do powierzchni ziemi. Kalibrację kończy ustawienie przełącznika w pozycji OFF. Z prawej strony wyświetlone zostaną uzyskane wyniki kalibracji: wartości minimalne i maksymalne pomiarów czujników X, Y, Z. Wyniki przeprowadzonej kalibracji używane są do korekcy bieżących odczytów i obliczana kąta pomiędzy biegunem północnym a zaznaczoną na płytce modułu osią X.

Ryszard Szymaniak
biuro@ars.info.pl



Fotografia 1. Ekran nastaw parametrów



Fotografia 2. Ekran kompasu-pozycjonera

Bateryjny mini wzmacniacz mocy

Niewielki wzmacniacz mocy, który może być zasilany akumulatorem litowym lub pakietem baterii alkalicznych. Doskonale nadaje się do zastosowań mobilnych.

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

W ofercie AVT* AVT-5759

Podstawowe parametry:

- moc $2 \times 2,5$ W przy obciążeniu 4Ω ,
- praca w klasie AB,
- nie zawiera elementów indukcyjnych i nie sprawia problemów z EMC,
- zasilanie napięciem 2,7...5,5 V

Wykaz elementów:

Rezystory:

R1...R5: $22 \text{ k}\Omega$ SMD1206

Kondensatory:

C1, C6, C7: $1 \mu\text{F}$ SMD1206 ceramiczny
C2, C5: 100 nF SMD1206 ceramiczny
CE1: $47 \mu\text{F}/10 \text{ V}$ tantalowy SMD B

Półprzewodniki:

U1: IS31AP4088D

Pozostałe:

J1: Złącze sip 6 2,54 mm
OUTA, OUTB: złącze DG381-3.5-2

* Uwaga! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu.

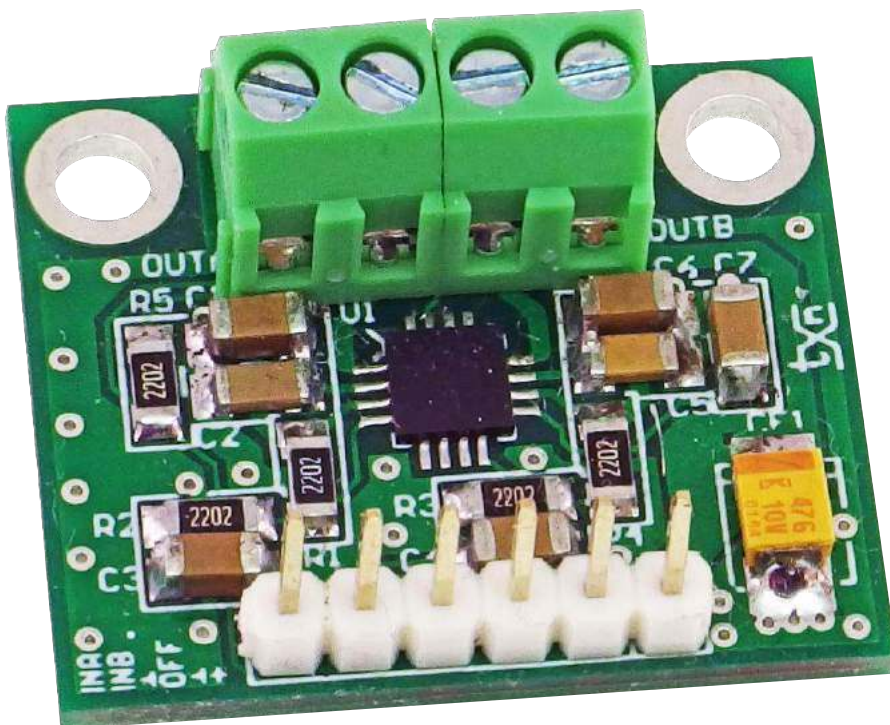
Wymagana umiejętność lutowania!

Podstawową wersją zestawu jest wersja [B] nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji [B] zawiera elementy elektroniczne (w tym [UK] - jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wlutować w dołączoną płytkę drukowaną (PCB). Wykaz elementów znajduje się w dokumentacji, która jest podlinkowana w opisie kitu. Mając na uwadze różne potrzeby naszych klientów, oferujemy dodatkowe wersje:

- wersja [C] - zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw [B] (elementy wlutowane w płytkę PCB)
- wersja [A] - płytkę drukowaną bez elementów i dokumentacji
- wersja [A+] - płytkę drukowaną bez elementów i dokumentacji, w której 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.



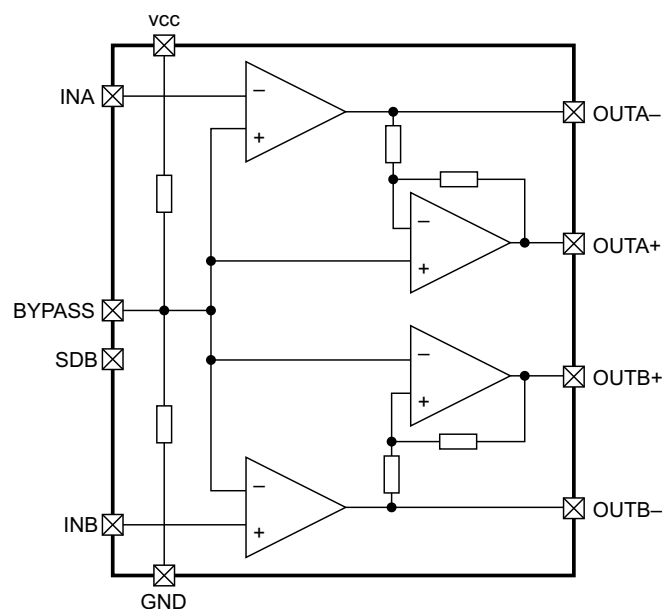
do obciążenia 4Ω moc $2 \times 2,5$ W przy zasilaniu z 5 V. Strukturę wewnętrzną układu przedstawiono na **rysunku 1**. Układ składa się z dwóch wzmacniaczy operacyjnych w każdym kanale. Pierwszy z nich objęty pętlą sprzężenia zwrotnego (zewnętrzne rezystory) wzmacnia sygnał wejściowy odwracając jego fazę. Sygnał po wzmacnieniu doprowadzony jest do wyjścia OUTA-. Drugi wzmacniacz, także odwracający fazę ale o wzmacnieniu 1 V/V wypracowuje sygnał dla wyjścia OUTA+. Głośnik podłączony pomiędzy OUTA+/- zasilany jest sygnałem o praktycznie podwójnej amplitudzie

w porównaniu z klasyczną konfiguracją SE. Największą zaletą układu mostkowego jest możliwość osiągnięcia większej mocy wyjściowej z niższego napięcia zasilania oraz brak konieczności stosowania kondensatorów separujących głośnik. Drugi kanał działa identycznie.

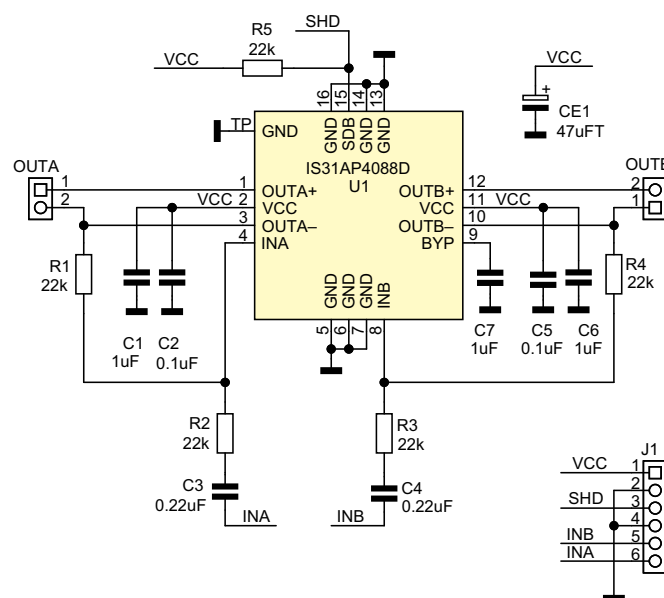
Ze względu na zastosowanie wzmacniaczy liniowych, pracujących w klasie AB, aplikacja nie zawiera drogich elementów indukcyjnych i nie sprawia problemów z EMC, ale posiada nieco niższą sprawność energetyczną. Schemat układu wzmacniacza pokazany jest na **rysunku 2**. Sygnał wejściowy

Budowa i działanie

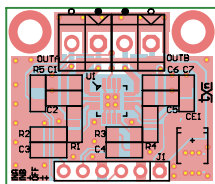
Moduł bazuje na układzie IS31AP4088D, który zawiera stereofoniczny mostkowy wzmacniacz mocy zdolny dostarczyć



Rysunek 1. Struktura wewnętrzna IS31AP4088D (za notą ISSI)



Rysunek 2. Schemat modułu wzmacniacza



Rysunek 3. Schemat i rozmieszczenie elementów na płycie PCB

INA/INB ze złącza J1, poprzez kondensatory separujące C3, C4 wyznaczające dolną granicę pasma przenoszenia, doprowadzony jest do wejść wzmacniacza U1. Rezystory R1, R2 i R3, R4 ustalają wzmocnienie różnicowe układu $A_v = 2 \cdot (R1/R2)$. Wzmocniony sygnał dostępny jest na złączach OUTA, OUTB.

Zasilanie układu 2,7...5,5 V doprowadzone jest także przez złącze J1-1 (VCC) J1-2 (GND).

Sygnał SHD umożliwia wprowadzenie U1 w tryb obniżonego poboru mocy, poprzez zwarcie wyprowadzenia J1-3 do masy.

Montaż i uruchomienie

Wzmacniacz zmontowany jest na dwustronnej płycie drukowanej, której schemat i rozmieszczenie elementów pokazano na rysunku 3. Montaż jest klasyczny i nie wymaga opisu. Należy zadbać o poprawne przylutowanie wkładki radiatorowej U1, gdyż rozpraszanie ciepła odbywa się poprzez miedź płytki drukowanej. W przypadku silnego obciążenia układu odprowadzanie ciepła należy polepszyć poprzez doklejenie niewielkiego radiatora BGA bezpośrednio do obudowy U1. Zmontowany moduł wzmacniacza pokazano na fotografii tytułowej.

Uruchomienie wzmacniacza warto przeprowadzić z zasilacza laboratoryjnego z ograniczeniem prądu. Po podłączeniu głośników o impedancji 4...8 Ω i mocy większej niż 3 W, źródła sygnału i zasilacza, należy sprawdzić pobór prądu oraz poprawność funkcjonowania wzmacniacza U1 w trybie obniżonego poboru mocy i aktywnym, w całym zakresie zasilania 2,7...5,5 V.

Podczas praktycznych testów wzmacniacz obciążony głośnikami 4 Ω , pracował poprawnie, oczywiście z obniżoną mocą, także z jednego ogniwa AA. Nie jest to cecha udokumentowana, ale przy zasilaniu bateryjnym pozwoli wykorzystać ogniwa do ostatniego elektronu...

Adam Tatus

adam.tatus@ep.com.pl

Czterokanałowy moduł przekaźnikowy sterowany I²C

Minimoduł z czterema przekaźnikami sterowanymi poprzez magistralę I²C dla Raspberry Pi, Arduino, STM32 i nie tylko...

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

W ofercie AVT* AVT-5761

Podstawowe parametry:

- cztery przekaźniki jako elementy wykonawcze,
- sterowanie poprzez interfejs I²C,
- zasilanie napięciem 3.5 V,
- przystosowany do obciążen niskonapięciowych 24 V/8 A.

Wykaz elementów:

Rezystory: (SMD0805)

- R1, R6, R7, R8, R9: 2,2 k Ω
- R2, R3: 10 k Ω
- R4: 100 k Ω
- R5: 360 k Ω

Kondensatory: (SMD0805)

- C1: 100 nF ceramiczny
- C2, C3: 10 μ F ceramiczny
- C2: 100 μ F/10 V elektrolityczny

Półprzewodniki:

- LD: Led czerwona SMD0805
- LED1, LED2, LED3, LED4: Led zielona SMD0805
- D1, D2, D3, D4: BAT54WS
- Q1, Q2, Q3, Q4: BCR521E6327 (SOT-23)
- U1: PCA9536D (S08)
- U2: AP3417CKTR (SOT-23-5)

Pozostałe:

- L1: 2,2 μ H dławik SMD HPI0530-2R2
- RL1, RL2, RL3, RL4: Przekaźnik RM50P-3.3V
- OUT1, OUT2, OUT3, OUT4: Złącze DG126-5.0-3
- I2CB: Złącze SIP4, 2,54 mm
- I2CC: Złącze JST 1 mm

Uwaga! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu.

Wymagana umiejętność lutownia!

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.

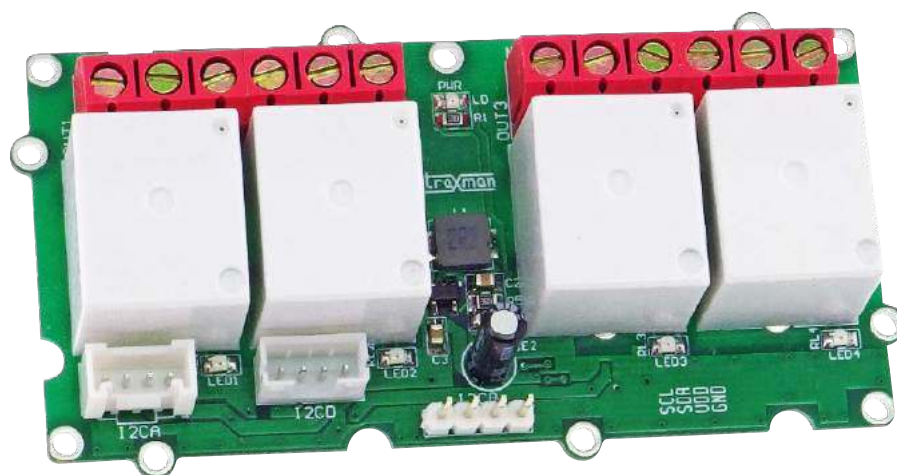
Mając na uwadze różne potrzeby naszych klientów, oferujemy dodatkowe wersje:

- 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 [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.



Podczas budowy prototypów urządzeń sterujących, czy to dla IoT czy domowej automatyki, jednym z podstawowych bloków funkcjonalnych są wyjścia przekaźnikowe. Jeżeli używamy kilku platform uruchomieniowych, warto mieć moduł który pracuje nie tylko w szerszym zakresie napięć zasilania 3...5 V, ale wyposażony jest w kilka najpopularniejszych rodzajów złącz dla magistrali I²C dla szybkiego prototypowania.

Budowa i działanie

Moduł bazuje na układzie PCA9536D, który jest ekspanderem 4xI/O magistrali I²C o ustalonym programowo kierunku działania. Schemat układu pokazano na rysunku 1.

Oprócz układu U1 typu PCA9536D zawiera przetwornicę obniżającą U2 typu AP3417, odpowiedzialną za dostarczanie napięcia ok. 2,8 V do zasilania cewek przekaźników RL1...4. Zastosowano przekaźniki miniatury typu RM50 z cewką 3,3 V, która posiada roboczy zakres napięć zasilania 2,25...3,9 V,

dzięki czemu moduł pracuje stabilnie w zakresie zasilania 3,3...5 V, bez przeciążania cewek przekaźników.

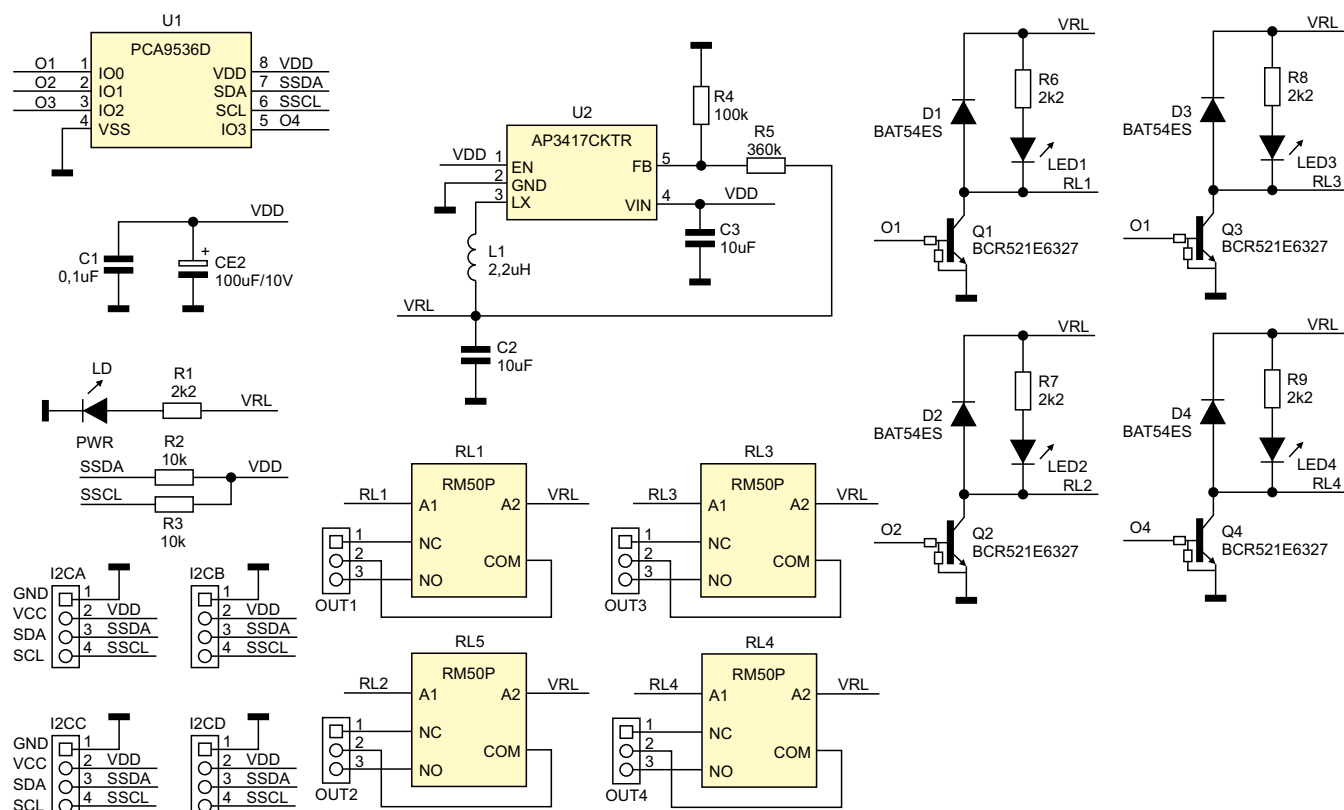
Jako drivery sterujące zastosowano tranzystory Q1...4 typu BCR521, które posiadają wbudowany dzielnik w obwodzie bazy, zmniejszający liczbę niezbędnych elementów. Wysterowanie przekaźnika sygnalizowane jest świeceniem odpowiedniej LED1...4.

Przełączne styki RL1...4 doprowadzone są do złącz śrubowych OUT1...4 typu ARK. Moduł przystosowany jest do obciążeń niskonapięciowych 24 V/8 A. Obecność zasilania sygnalizuje dioda LD.

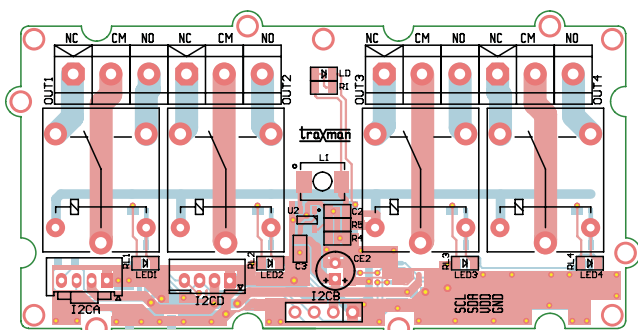
Złącza I2CA...D, służą do podłączenia magistrali I²C w standardzie Qwiic, Grove, JST 2 mm oraz przy pomocy złącza SIP4 zgodnego z Arduino Brick.

Montaż i uruchomienie

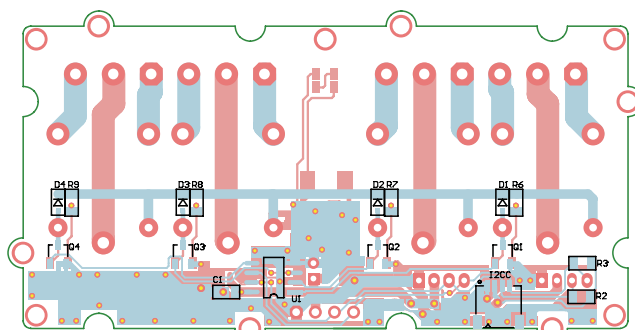
Układ zmontowany jest na dwustronnej płycie drukowanej. Rozmieszczenie elementów pokazano na rysunkach 2 i 3. Sposób



Rysunek 1. Schemat ideowy układu



Rysunek 2. Schemat i rozmieszczenie elementów na płycie PCB, strona TOP



Rysunek 3. Schemat i rozmieszczenie elementów na płycie PCB, strona BOTTOM

Listing 1. Skrypt testowy

```
#!/bin/bash
echo 'I2C_RLY4 - test'
i2cset -y 1 0x41 0x03 0x00
i2cset -y 1 0x41 0x01 0x00

echo 'Relay test'
x=1;
while [ $x -le 3 ] ; do

echo 'OUT1'
i2cset -y 1 0x41 0x01 0x01
sleep 1.0

echo 'OUT2'
i2cset -y 1 0x41 0x01 0x02
sleep 1.0

echo 'OUT3'
i2cset -y 1 0x41 0x01 0x04
sleep 1.0

echo 'OUT4'
i2cset -y 1 0x41 0x01 0x08
sleep 1.0

x=$((x + 1))
done

echo 'OUT OFF'
i2cset -y 1 0x41 0x01 0x00
```

montażu jest klasyczny i nie wymaga opisu, zmontowany moduł pokazuje fotografia tytułowa.

Przed podłączeniem modułu należy sprawdzić czy system zasilania współpracującego układu dysponuje mocą ok. 1,5 W tyle wynosi maksymalna moc pobierana przez cztery załączone przekaźniki. W samym module należy sprawdzić czy pracuje przetwornica U2 dostarczając napięcia 2,7...2,9 V dla cewek przekaźników.

Do obsługi układu PCA9536 wystarczą zapisy do dwóch z czterech rejestrów układu. Adres bazowy PCA9536D to 0x41, układ posiada cztery rejestry (producent nazywa je poleceniami):

- 0x00 – odczyt stanu wyprowadzeń,
- 0x01 – zapis stanu wyprowadzeń,
- 0x02 – rejestr polaryzacji wejść,
- 0x03 – rejestr kierunku wyprowadzeń.

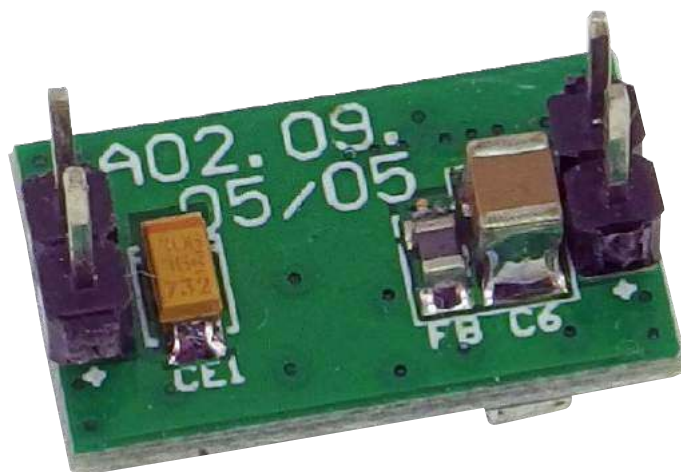
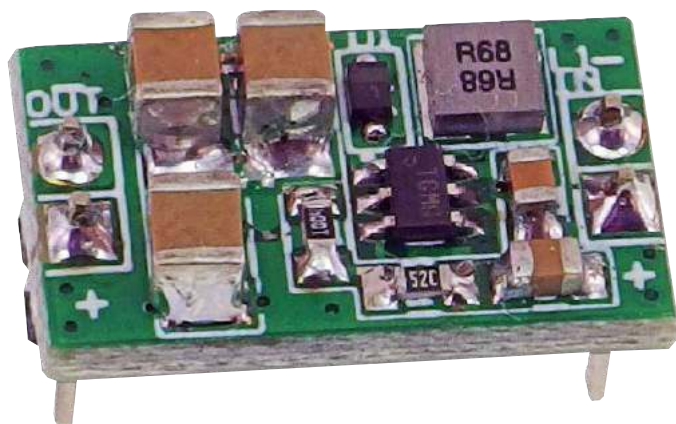
Rejestr pod adresem 0x03 określa konfigurację wyprowadzeń, ustawienie

wartości 0x00 konfiguruje wyprowadzenia jako wyjścia, pod adresem 0x01 mamy dostęp do portów wyjściowych, ustawienie wartości 1 ustawia stan wysoki, wartość 0 stan niski wyprowadzenia. Bit 0 w rejestrach odpowiada wyprowadzeniu IO0, bit 3 wyprowadzeniu IO3, bity 4...7 są niewykorzystane. Prosty skrypt testowy dla Raspberry Pi pokazano na **listingu 1**. Po ustawieniu skryptu jako wykonywalnego poleceniem:

```
sudo chmod +x ./PCA9536.sh
i uruchomieniu:
./PCA9536.sh
```

należy sprawdzić czy przekaźniki załączają się kolejno w cyklu od OUT1 do OUT4 trzykrotnie i wyłączać się wszystkie na zakończenie skryptu. Jeżeli wszystko działa, można moduł zastosować w we własnej aplikacji.

Adam Tatus
adam.tatus@ep.com.pl



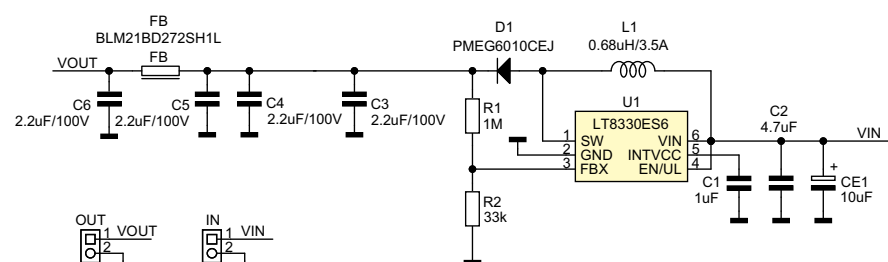
Przetwornica napięcia dla mikrofonów phantom

Przetwornica służy do zasilania mikrofonów wymagających napięcia 48 V w układzie phantom, uzyskiwanego z zasilania 3...6 V. Umożliwia współpracę mikrofonów z układami zasilanymi niskimi napięciami, gdy typowe wkładki pojemnościowe nie spełniają wymogów aplikacji.

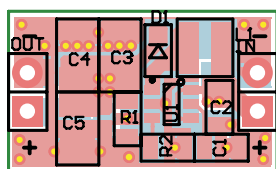
Układ bazuje na przetwornicy podwyższającej, przeznaczonej do zasilania z zasilacza lub pakietu akumulatorów. Prąd wyjściowy przetwornicy to ok. 10 mA, co w zupełności wystarczy do zasilania mikrofonu.

Budowa i działanie

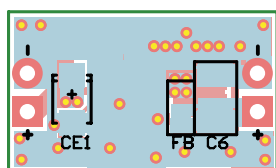
Zastosowany sterownik przetwornicy LT8330 pracuje w konfiguracji podwyższającej boost. Jego budowę wewnętrzną pokazano na rysunku 5, natomiast schemat całego



Rysunek 1. Schemat ideowy przetwornicy



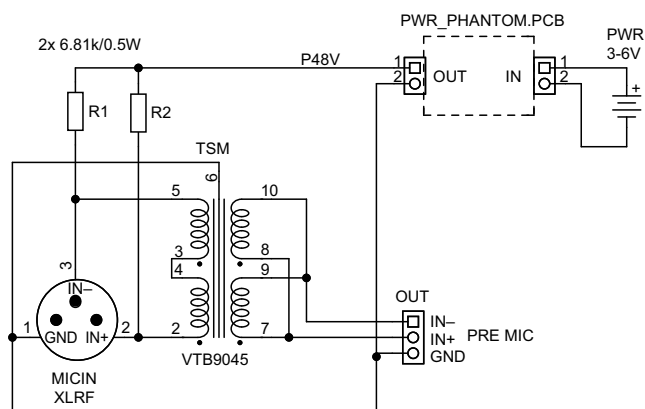
Rysunek 2. Schemat płytki PCB wraz z rozmieszczeniem elementów, strona TOP (skala 2:1)



Rysunek 3. Schemat płytki PCB wraz z rozmieszczeniem elementów, strona BOTTOM (skala 2:1)

układu pokazano na rysunku 1, nie odbiega on od noty aplikacyjnej. Napięcie zasilania ze złącza IN doprowadzone jest do wejścia U1

przetwornicy podwyższającej. Dzielnik R1, R2 określa napięcie wyjściowe o wartości 48 V $\pm 5\%$. Kondensatory C3...C5 filtrują napięcie



Rysunek 4. Sposób podłączenia przetwornicy

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

W ofercie AVT* AVT-5762

Podstawowe parametry:

- napięcie wyjściowe 48 V $\pm 5\%$
- dedykowana do mikrofonów w układzie phantom,
- zasilanie 3...6 V.

Wykaz elementów:

Rezystory: (SMD0805)

R1: 1 M Ω

R2: 33 k Ω

Kondensatory: (SMD0805)

C1: 1 μ F ceramiczny

C2: 4,7 μ F ceramiczny

C3, C5, C6: 2,2 μ F/100 V SMD1206 ceramiczny

CE1: 10 μ F/10 V tantalowy SMD A

Półprzewodniki:

D1: PMEG6010CEJ

U1: LT8330ES6

Pozostałe:

L1: 0,68 μ H/3,5 A SMD WE744383340068

FB: BLM21BD272SH1L dławik ferrytowy SMD0805

IN, OUT: Złącze SIP2

*** 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 wlotować 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

• wersja [A] – płytkę drukowaną bez elementów i dokumentacji

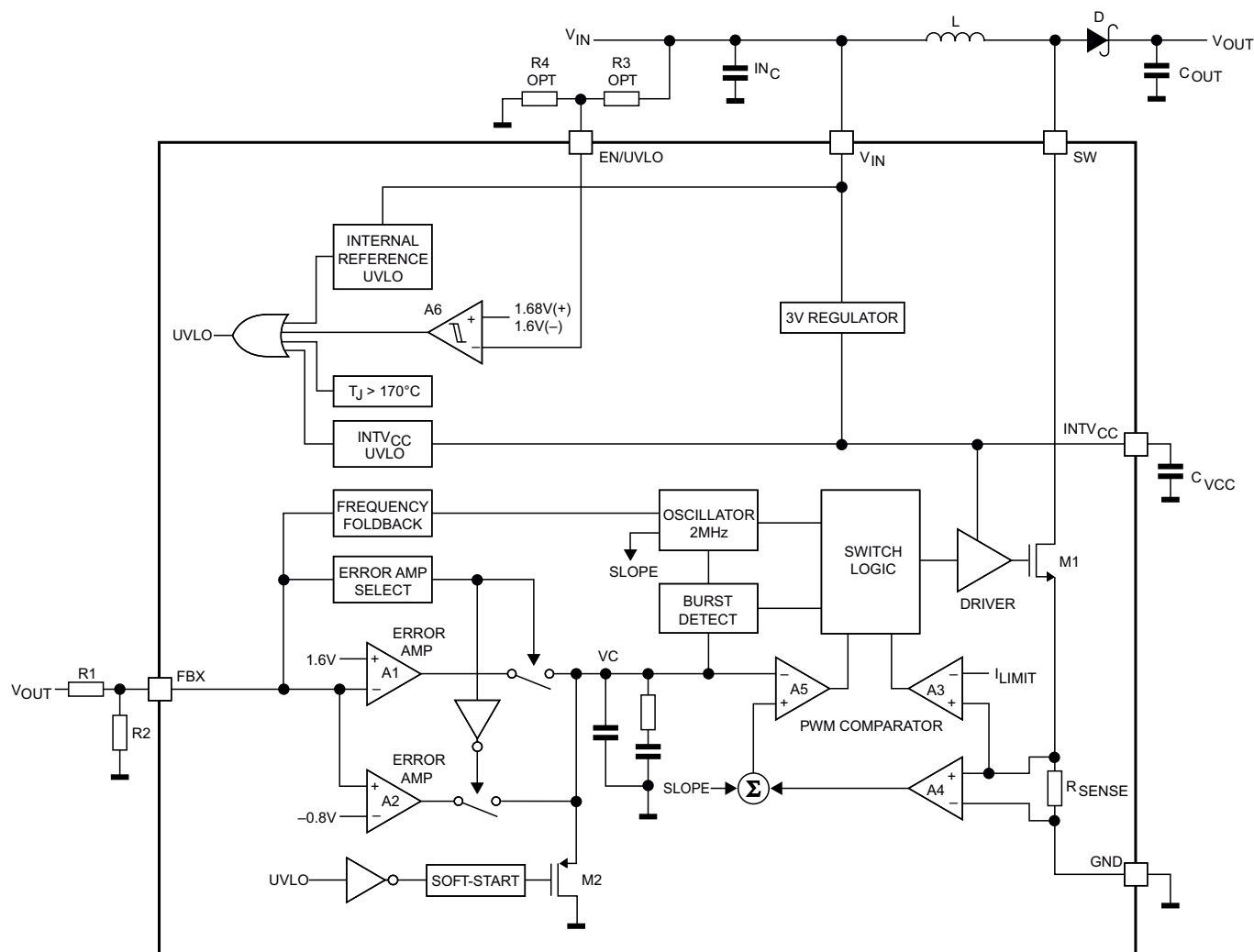
• wersja [A+] – płytkę drukowaną [A] + zaprogramowany układ

• 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 5. Budowa wewnętrzna LT8330 (za notą Analog Devices)

wyjściowe przetwornicy, dodatkowy filtr FB i C6 zapewniają niski poziom szumów, co jest istotne przy zasilaniu mikrofonu.

Montaż i uruchomienie

Układ zmontowany jest na niewielkiej dwustronnej płytce drukowanej, której schemat

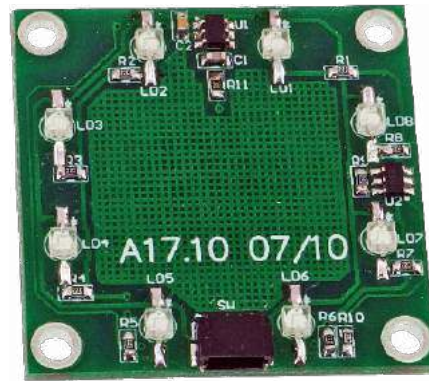
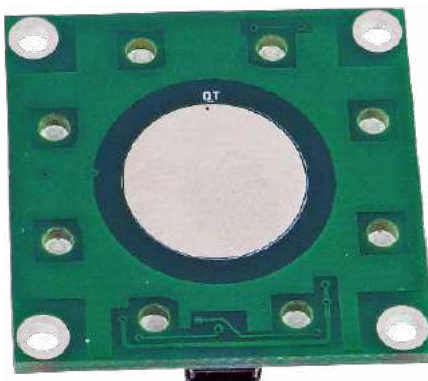
i rozmieszczenie elementów pokazują **rysunki 2 i 3**. Montaż nie wymaga opisu, zmontowany układ pokazuje fotografia tytułowa. Przetwornica nie wymaga uruchamiania, po podłączeniu do akumulatora lub zasilacza 3...6 V należy skontrolować napięcie wyjściowe, ewentualnej korekty można

dokonać zmianą wartości rezystora R1. Przykładowy sposób włączenia zasilacza w tor mikrofonowy z transformatorem pokazano na **rysunku 4**.

Adam Tatus
adam.tatus@ep.com.pl

Podświetlany przycisk dotykowy

Przycisk dotykowy przydatny jest w aplikacjach, w których styki mechaniczne się nie sprawdzają. Jako sensor służy pole dotykowe o średnicy 15 mm, wykonane bezpośrednio na płytce drukowanej. Otoczone jest 8 diodami LED, które mogą wskazywać aktywne pole i sygnalizować zadziałanie.



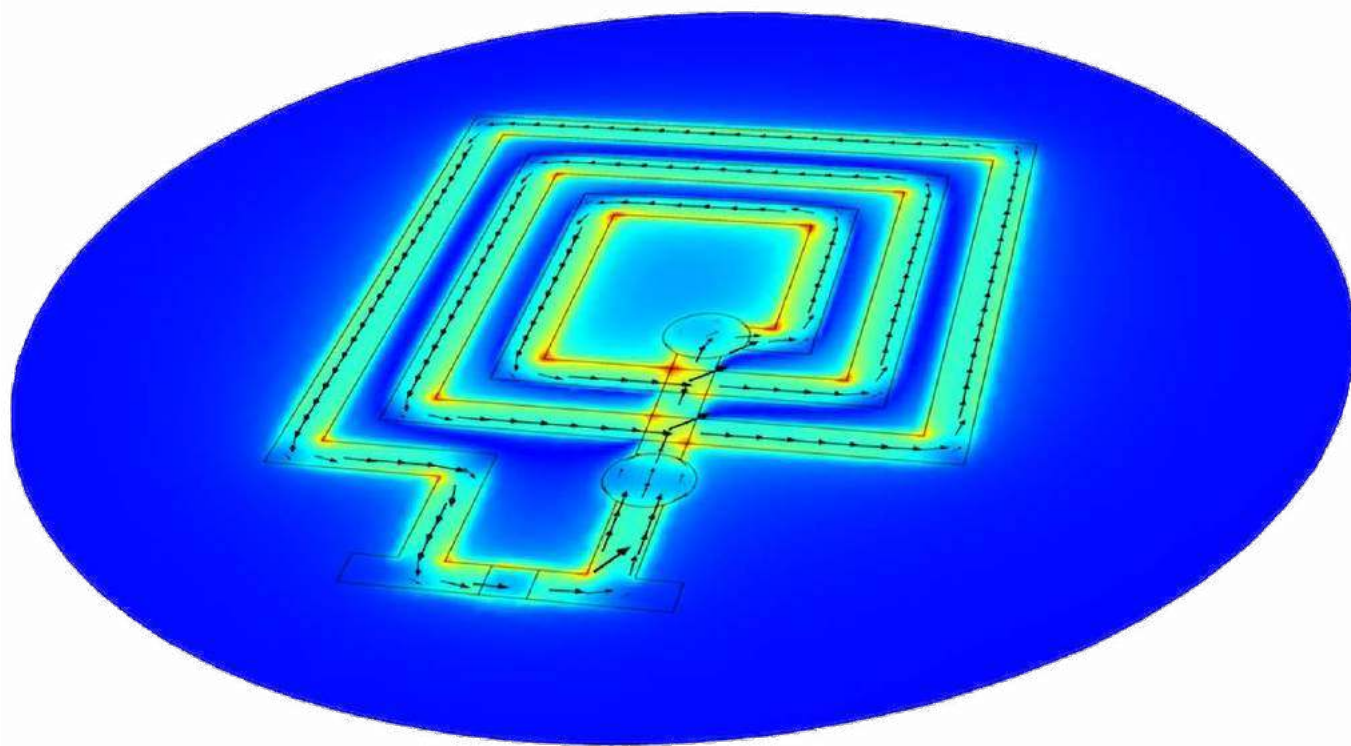


Schemat modułu pokazano na **rysunku 1**. Do obsługi przycisku użyto kontrolera U1 typu AT42QT1011. Jest to dedykowany układ obsługujący jedno pole dotykowe z funkcją przycisku chwilowego. Jako sensor dla U1 służy pole dotykowe o średnicy 15 mm, wykonane bezpośrednio na płytce drukowanej.

Wyprowadzenie S/MU1 określa tryb pracy, w modelu jest to tryb szybki, w którym nacisk położony jest na szybkość detekcji dotknięcia, kosztem pobieranej mocy. AT42QT1011 posiada wyjście typu otwarty dren, wymagające zewnętrznego rezystora podciągającego. Detekcja dotyku pola wymusza stan wysoki na wyprowadzeniu OUT. Z wyjścia można bezpośrednio sterować diodą sygnalizacyjną LED o małym poborze prądu.

Układ zasilany jest napięciem 3,3...5 V poprzez złącze SW (JST 1.00 mm). Do złącza doprowadzone są sygnały KEY z U1 i LED z U2. Sygnały KEY/LED można zewrzeć ze sobą, wtedy diody będą sygnalizować dotknięcie pola. Dodatkową funkcją U1, jest generacja krótkich 15 μ s impulsów *heartbeat* sygnalizujących jego prawidłowe działanie. Gdy nie jest aktywna detekcja dotyku, a wyjście OUT podwieszone jest przez rezystor do plusa zasilania, układ U1 przełącza wyjście na czas 15 μ s ze stanu niskiego w stan wysokiej impedancji, co można, po doprowadzeniu do przerwania lub pinu z detekcją zbocza, wykorzystać do nadzoru działania przycisku.

eprasa.pl 9a306f5a7e



Wprowadzanie produktu elektronicznego na rynek UE

czyli przychodzi elektronik do inżyniera ds. zgodności produktu

Jeśli czytasz ten artykuł to zapewne jesteś projektantem elektroniki. Jeśli podchodzisz do tego profesjonalnie, to albo już budujesz urządzenia wprowadzane na rynek, albo będziesz chciał je wprowadzać do obrotu i to legalnie. Jeśli konstruujesz tylko hobbystycznie dla siebie, to opisane zagadnienia jeszcze Cię nie dotyczą. Artykuł opisuje najważniejsze punkty, które muszą zostać spełnione, aby uniknąć niepowodzenia, dodatkowych kosztów, czy nawet kar związanych z udostępnieniem produktu na rynku.

W projektowaniu elektroniki mamy przynajmniej dwa aspekty związane z wymaganiami:

1. Wymagania funkcjonalne – czyli wytyczne projektu, wymagania użytkownika, specyfikacja produktu. W skrócie: jak wszystkie komponenty elektroniczne mają współdziałać, aby zaspokoić potrzeby użytkownika.
2. Wymagania prawne, normatywne (*product compliance*) – czyli wymagania dotyczące wprowadzenia produktu do obrotu. Wiąże się z tym spełnienie dodatkowych wymagań wynikających z regulacji dla danego rynku. Ponieważ jesteśmy w Unii Europejskiej, odniosę się głównie do tego rynku. Zasady są ujednolicone dla wszystkich krajów członkowskich.

Zanim o wymaganiach – planowanie projektu

Zarządzając projektem rozwoju urządzenia elektronicznego warto zwrócić szczególną uwagę na drugi aspekt. Jeśli do tej pory konstruowałeś urządzenia tylko hobbystycznie lub jesteś początkującym elektronikiem, to pewnie zaplanowałeś sobie jedną, dwie, ostatecznie trzy iteracje (cykle prototypowania). Zwykle tyle wystarczy, aby pomyślnie zakończyć projekt.

Natomiast jeśli mówimy o wprowadzaniu aparatury elektronicznej na rynek, zgodnie z wymaganiami i wynikami potwierdzonymi testami w laboratoriach, może się okazać, że tych cykli prototypowania będzie dużo więcej, zwykle 4...7. Oznacza to, że czas i koszty projektu mogą się znacząco różnić od pierwotnych założeń. Zwłaszcza, gdy dojdzie koszt wynajęcia laboratorium, a być może nawet konsultanta. Dlatego przygotowując plan projektu, weź pod uwagę dodatkowe wymagania związane z bezpieczeństwem, kompatybilnością elektromagnetyczną, zmianami mechaniki itd. Są to znaczące elementy budżetu projektu. Pamiętaj, że sprawa nie jest taka jednoznaczna i wymaga wielu odpowiedzi w kwestiach „to zależy...” i ustaleń po stronie producenta.

W planowaniu projektu uwzględnij:

- czas i koszty testów w laboratorium,
- oczekiwanie na raporty z testów (czas),
- zakup odpowiednich norm,
- czas na plany badań i dokumentację techniczną,
- dodatkowe iteracje, sample,

- dodatkowe komponenty, droższy BOM (*bill of materials* – lista komponentów).

Ocena zgodności

Kto wprowadza produkt na rynek?

Jeśli wprowadzasz produkt na rynek UE po raz pierwszy, to jesteś: producentem lub importerem. Załóżmy, że jesteś producentem. **Aby się nim stać, nie musisz wcale budować urządzenia od podstaw, wystarczy, że produkt (nawet importowany) sprzedajesz pod swoją marką i nie wskazujesz innego producenta.** Oraz w drugą stronę – jeśli wykonujesz projekt i nawet produkujesz go w swojej fabryce, ale na czyjeś zlecenie, możesz być tylko podwykonawcą i nie mieć obowiązków producenta. Wiele kwestii może być zawartych w umowach.

Producent, bez względu na to czy posiada swoją siedzibę w Unii, czy poza nią, jest ostatecznie odpowiedzialny za zgodność wyrobu z unijnym prawodawstwem harmonizacyjnym i za umieszczanie oznakowania CE.

Obowiązki producenta

- posiadanie wiedzy o produkcie,
- identyfikacja dyrektyw,
- przygotowanie dokumentacji technicznej,
- przeprowadzenie procedury oceny zgodności,
- sporządzenie deklaracji zgodności WE (zgodnej ze wzorem w dyrektywach),
- oznakowanie wyrobu CE (uwaga na wzór znaku CE – rysunek 1),
- przechowywanie dokumentacji technicznej (okres zależy od dyrektywy).

Dokumentacja techniczna

Producent sporządza dokumentację techniczną. Zawiera ona dowody na zgodność wyrobu z wymaganiami zasadniczymi, zapewnia m.in.:

- identyfikację wyrobu,
- ogólny opis wyrobu,
- informacje na temat zastosowanych norm zharmonizowanych, które zostały użyte w procesie oceny (wraz z datami ich wydania) oraz otrzymane przy ich zastosowaniu wyniki,
- opis kroków podjętych w celu spełnienia wymagań zasadniczych, w tym opis oceny kompatybilności elektromagnetycznej, jeżeli nie zastosowano w procedurze oceny norm zharmonizowanych lub zastosowano je częściowo (wraz z analizą i oceną ryzyka),
- oświadczenie jednostki notyfikowanej, jeżeli uczestniczyła w procesie oceny.

Ocena zgodności – product compliance

Ocena zgodności to proces przeprowadzany przez producenta w celu wykazania, czy zostały spełnione określone wymagania, dotyczące produktu.

Zapamiętaj:

- **ocena zgodności to proces ciągły i dotyczy różnych faz projektu. Produkt jest poddawany ocenie zgodności zarówno w fazie projektowej, jak i w fazie produkcji,**
- ocena zgodności należy do obowiązków producenta,
- jeśli producent zleca zaprojektowanie lub produkcję innemu podmiotowi, nadal pozostaje odpowiedzialny za przeprowadzenie oceny zgodności,
- oceny zgodności nie należy mylić z nadzorem rynku,

Uwaga na znak **China Export** – to nie jest żart



Rysunek 1. Znak CE zgodny ze wzorem oraz niewłaściwy

- zasadniczym celem procedury oceny zgodności jest wykazanie, że produkty wprowadzone do obrotu są zgodne z wymaganiami określonymi w stosownych przepisach prawa.

Rynki docelowe

Pierwsze pytanie, jakie musisz zadać, gdy już znasz wymagania funkcjonalne, brzmi: na jaki rynek chciałbym wprowadzić urządzenie elektroniczne? Jeśli wybierzesz tylko rynek Unii Europejskiej, nie ma znaczenia, na który kraj, w obrębie wspólnoty chcesz to zrobić. Wymagania będą prawie identycznie, wręcz z technicznego punktu widzenia takie same. Mogą oczywiście różnić się pod kątem języka używanego w dokumentacji technicznej czy instrukcjach i opisach produktu. Natomiast wymagania związane z dyrektywami i normami będą takie same. Właśnie po to zostały wprowadzone jednolite przepisy prawne, aby umożliwić swobodny przepływ towarów i usług.

Swobodny przepływ towarów, osób i kapitału

Państwa UE nie mogą zakazywać, utrudniać ani ograniczać wprowadzania na rynek wyrobów zgodnych ze wszystkimi dyrektywami Nowego Podejścia. Oczywiście działa to, także w drugą stronę – jeśli kontrola rynku w jednym kraju członkowskim wykaże, że któryś z Twoich produktów nie spełnia wymagań, to wszystkie kraje będą o tym poinformowane i nie uda się wprowadzić niezgodnego urządzenia w innym porcie, jeśli w jednym zostało cofnięte.

Niespełnienie wymagań

Jestem inżynierem EMC, lecz także, od pewnego czasu, zajmuje się oceną zgodności produktu. Oznacza to, że doradzam zespołom R&D i szkole ich na temat tego: jak przygotować produkt, aby uwzględnić wymagania formalne. Jak w projekcie opracowywać i gromadzić wszelką potrzebną dokumentację, aby legalnie wprowadzić produkt na rynek. Podkreślam słowo legalnie, bo można wystawić swoją ofertę i próbować sprzedaży bez dbania o te aspekty, ale wiąże się z tym spore ryzyko:

1. Klasyczne ryzyko związane z kontrolą urzędu i karami administracyjnymi,
2. Duży odbiorca, który jest dystrybutorem lub przedstawicielem pewnej grupy produktów ma obowiązek zadbać o to, aby dokumentacja związana z deklaracją zgodności była kompletna. W jego obowiązku leży sprawdzenie punktów dokumentacji technicznej, powiązanych z danymi dyrektywami. Nie kupi produktu, jeśli nie otrzyma odpowiednich dokumentów, potwierdzających deklarację zgodności,
3. Ryzyko pojawia się, gdy już sprzedamy urządzenie, jest ono użytkowane i w pewnym momencie zdarza się wypadek losowy. Komuś dzieje się krzywda lub instalacja przestaje działać. Zaczyna się szukanie przyczyn i osób odpowiedzialnych, rodzą się pytania. Dlaczego system zawiódł? Kto popełnił błąd? Czy można było temu zapobiec? Czy mamy komplet wymaganych dokumentów?

Możliwe działania organów nadzoru rynku w przypadku niespełnienia wymagań:

- kary pieniężne, nakładane w drodze decyzji organu nadzoru rynku prowadzącego postępowanie,
- nakaz usunięcia niezgodności,
- wycofanie wyrobu z obrotu lub użytku,
- odzyskanie wyrobu,
- zniszczenie wyrobu,
- powiadomienie konsumentów lub innych użytkowników o stwierdzonych niezgodnościach.

Więcej informacji zawiera:

- Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej, Warszawa, dnia 19 kwietnia 2016 r. Poz. 542,
- Ustawa z dnia 13 kwietnia 2016 r. o systemach oceny zgodności i nadzoru rynku.

Jak nad tym zapanować?

Wstęp artykułu miał na celu pokazać, że zadbanie o aspekty oceny zgodności mają ważny cel, którego nie należy bagatelizować. Teraz można przygotować dalsze działania. Nadrzędnym celem oceny zgodności jest bezpieczeństwo użytkowników, osób trzecich, zwierząt i mienia. Ważne jest, aby urządzenia elektryczne wprowadzone na rynek były bezpieczne i niezawodne. Do tego dochodzą, także aspekty ekologii i dbania o środowisko. Wszystko zostało opisane w dyrektywach Komisji Europejskiej, przyjętych przez każde państwo członkowskie. Są to dokumenty ogólne, które pokazują i podkreślają najważniejsze aspekty, jakie trzeba wziąć pod uwagę przy projekcie urządzenia.

Dyrektywy Nowego Podejścia odnoszą się do zagadnień:

- bezpieczeństwa użytkownika wyrobów i obrotu nimi na wewnętrznym rynku UE,
- ochrony zdrowia i ochrony środowiska,
- zagrożeń, które producent powinien wykryć i wyeliminować.

Dyrektywy dotyczą:

- produktów produkowanych w Unii i wprowadzanych po raz pierwszy do obrotu,
- nowych i używanych produktów importowanych,
- produktów modyfikowanych i naprawianych, gdy przeróbki są duże i zmieniają funkcje.

Dyrektywy nie dotyczą:

- produktów wprowadzonych przed ich publikacją,
- produktów naprawianych, których funkcje nie zostały zmienione,
- złożonych produktów, składających się z podzespołów podlegających dyrektywom lub podzespołów, uzyskanych poprzez rozłożenie produktów złożonych (mogą nie podlegać, ale często jednak podlegają jakiejś dyrektywie).

Najważniejsze: EMC i LVD

Aby ten artykuł był dla Ciebie praktyczny i konkretny zawęź materiał do dwóch podstawowych dyrektyw, z którymi powinieneś się zapoznać. Mają one największy wpływ na projektowanie elektroniki i są absolutną podstawą:

- **Dyrektywa EMC** – 2014/30/UE – Dyrektywa Kompatybilności Elektromagnetycznej EMC
- **Dyrektywa LVD** – 2014/35/UE – Dyrektywa Niskonapięciowa LVD (bezpieczeństwa).

Gdy już zaznajomisz się z ich treścią, to zapewne zaczniesz się zastanawiać, jak spełnić cel nadrzędny, podyktowany tymi dyrektywami? Oraz, co to znaczy, że urządzenie ma być kompatybilne pod kątem elektromagnetycznym, kiedy jest bezpieczne?

Jak postępować?

Czy istnieją jakieś procedury lub bardziej szczegółowe wytyczne?

Oczywiście, że są, to **normy zharmonizowane**. Są to standardy przyjęte przez Komisję Europejską na podstawie norm międzynarodowych i ustaleń poszczególnych komisji. To właśnie w normach zharmonizowanych jest napisane, jakie aspekty należy wziąć pod uwagę, zbadać, przeanalizować, aby spełnić nadrzędne wymagania dyrektywy (**rysunek 2**). Dlatego do każdej dyrektywy, czyli nadrzędnego dokumentu, są publikowane listy norm zharmonizowanych, jednolitych na całym rynku Unii Europejskiej. To właśnie z nich będziemy odczytywać wymagania dla naszego urządzenia.

Domniemanie zgodności

Wyroby, które spełniają wymagania zawarte w normach krajowych (tożsame z normami zharmonizowanymi), są uznawane za zgodne z wymaganiami zasadniczymi (wynikające z dyrektyw). To oznacza, że jeśli spełniasz wymagania norm zharmonizowanych to jesteś zgodny z wymaganiami dyrektywy – następuje tzw. domniemanie zgodności.

Jeśli nie korzystasz z norm zharmonizowanych (czy odpowiedników krajowych), musisz udowodnić spełnienie wymagań poszczególnych



Rysunek 2. Elementy związane z oceną zgodności produktu

dyrektyw na inne sposoby. Zastosowanie norm zharmonizowanych w zakresie dyrektyw Nowego Podejścia jest dobrowolne, a producenci mogą wybrać dowolne rozwiązanie techniczne, zapewniające zgodność z zasadniczymi wymaganiami. **Bardzo często okazuje się, że postępowanie zgodnie z normami zharmonizowanymi jest dużo łatwiejsze.**

Szukamy norm zharmonizowanych

No tak, ale które normy wybrać? Przecież są ich setki. Należy odpowiedzieć na kolejne, bardzo ważne pytania:

1. Co nasze urządzenie będzie robiło?
2. W jakim środowisku będzie pracowało?

To właśnie środowisko, bardzo często determinuje wymagania dla danego urządzenia.

Dyrektywy odpowiednie do naszego urządzenia wybieramy spośród zakresu dostępnego za darmo na stronie komisji europejskiej [1]. Sporządzamy listę norm zharmonizowanych, adekwatnych do każdej dyrektywy, a następnie wybieramy te, dotyczące naszego produktu i środowiska.

Tworzymy folder dokumentacji technicznej, gdzie będziemy zbierać wszystkie elementy, jakie wymagane są przez dotyczące nas dyrektywy. Przykładowe elementy dokumentacji technicznej:

1. Rysunki, schematy, wyjaśnienia działania urządzenia, BOM,
2. Obliczenia, analizy, oceny, założenia, szczególnie aspekty bezpieczeństwa,
3. Analiza i ocena ryzyka, sposoby minimalizacji, wpływ na otoczenie,
4. Przywołane normy, standardy, dokumenty,
5. Raporty z badań, wyniki testów, opinie,
6. Instrukcje obsługi (w odpowiednim języku),
7. Zalecenia montażowe, dane aplikacyjne,
8. Deklaracja zgodności,
9. Oznakowania, wzory, tabliczki znamionowe.

Pamiętajmy, że dopiero, gdy zaopiekujemy się każdym z podpunktów, możemy wystawić deklarację zgodności, która musi być podpisana przez odpowiednią osobę. Następnie należy odpowiednio opisać i oznakować nasz produkt.

Kolejność działań, jakie należy wykonać, pokazuje **tabela 1**. Teraz wiesz, co należy zrobić, aby legalnie wprowadzić produkt na rynek. Pamiętaj jednak, że jest to pewne uproszczenie i wymaga zapoznania się z poszczególnymi dokumentami.

Dyrektywa EMC

Co uwzględnić w projekcie elektroniki?

Dyrektywa EMC obejmuje zdecydowaną większość urządzeń elektrycznych i elektronicznych, bez względu na to, przy jakim napięciu są użytkowane. Do bardzo wielu urządzeń, podlegających dyrektywie EMC ma jednocześnie zastosowanie dyrektywa LVD – niskonapięciowa. Dyrektywę EMC stosuje się też do znacznej części maszyn, które podlegają dyrektywie dotyczącej bezpieczeństwa maszyn.

Zadaniem dyrektywy EMC jest zapewnienie współpracy różnych urządzeń i systemów tak, aby mogły działać jednocześnie w danym środowisku elektromagnetycznym. Dotyczy dwóch ważnych aspektów – pierwszym jest emisja, a drugim odporność urządzeń elektronicznych (**rysunek 3**).

Przykładowe skutki braku kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń i systemów to:

- niewłaściwe wskazanie przyrządów czy czujników, skutkujące niewłaściwą pracą urządzeń, w tym brakiem zadziałania mechanizmów zabezpieczających,
- zakłócenia systemów łączności radiowej eksploatowanych w otoczeniu urządzenia,
- zwiększone ilości napraw i koszty serwisu,
- kary administracyjne, w tym nakaz wycofania urządzeń z rynku,
- rozwiązanie umowy lub/i odszkodowania (np. za utracone korzyści kontrahenta).

Emisja i odporność

Emisja, a właściwie limit emisji, czyli dopuszczenie tylko pewnego natężenia pola, jakie może wygenerować urządzenie elektroniczne. Ma za zadanie zapewnić czysty odbiór systemów radiowych w pasmach do tego przeznaczonych, a w drugiej kolejności ograniczenie wpływu zakłóceń na inne urządzenia pracujące w pobliżu potencjalnego agresora. Zakres częstotliwości może zawierać się w przedziale nawet od 9 kHz do 6 GHz.

Odporność ma zapewnić niezawodne działanie urządzenia pod wpływem zjawisk, które mogą pojawić się w jego środowisku pracy. Będą to m.in. inne urządzenia, nadajniki radiowe, a także stany przejściowe, powstające zarówno w sieci zasilającej, jak i na przyłączach urządzenia (rysunek 4).

Gdy spojrzymy na normy zharmonizowane z dyrektywą EMC to zobaczymy, że dotyczą one albo danego środowiska, albo grupy produktów. Wskazują głównie urządzenia elektroniczne powszechnego użytku (domowe, przemysłowe). Choć zasady są dość ogólne, to bardzo mocno różnią się wymagania odnośnie różnych branż (mam tu na myśli specjalne wymagania np. dla urządzeń branży automotive, wojskowej czy lotniczej).

Program badań

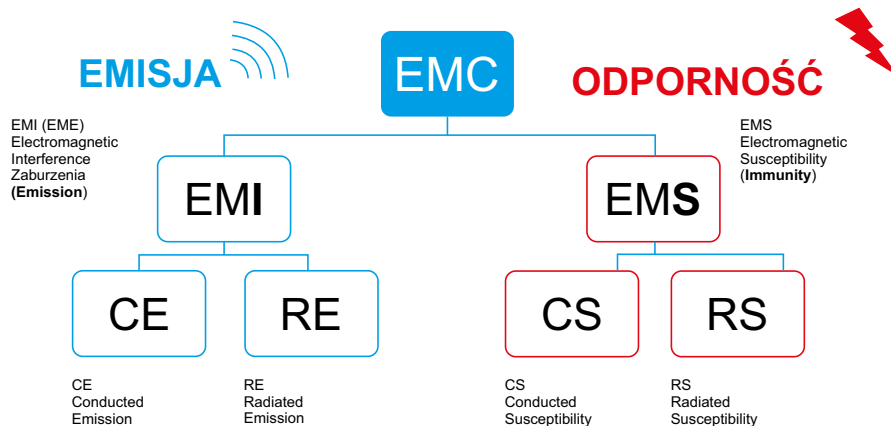
Aby potwierdzić zgodność z dyrektywą, przygotujemy listę badań (testów), jakie musi przejść urządzenie. Będzie to podstawa do stworzenia programu badań. Program badań oprócz listy testów będzie zawierał szereg innych elementów (jeśli chcesz dowiedzieć się więcej, zobacz nasz wpis na blogu dotyczącym programu badań [2]).

Program badań powinien zawierać:

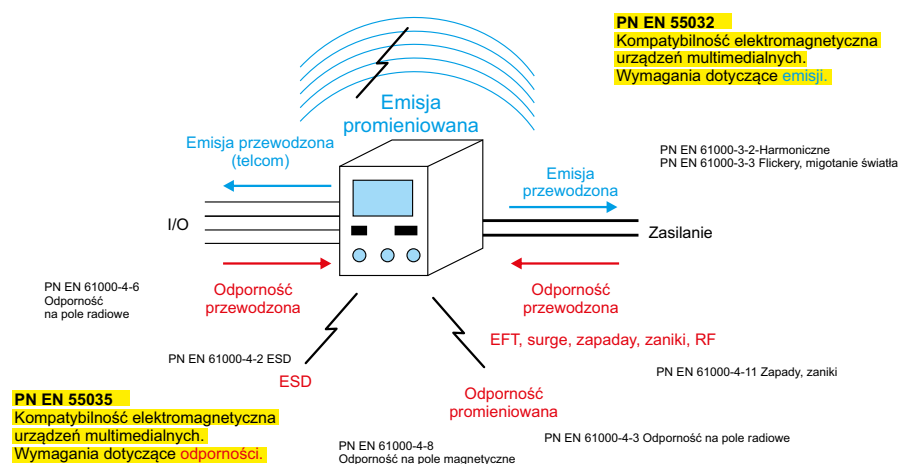
- dane firmy,
- opis i rysunki badanego obiektu,
- wykaz połączeń i przewodów (długości i typy),
- charakterystyki urządzeń dodatkowych,
- opis trybów i warunków pracy,
- kryteria oceny,
- wymagania,
- lista testów.

Tabela 1. Kolejność działań, jakie należy przeprowadzić do wykonania oceny zgodności

Kroki do oceny zgodności	
1	Identyfikacja adekwatnych dyrektyw
2	Identyfikacja norm i wymagań poszczególnych dyrektyw, mających zastosowanie dla produktu
3	Określenie strategii uzyskania zgodności produktu ☐ Moduł oceny zgodności ☐ Wybór standardów (zharmonizowane, inne) ☐ EMC assessment (gdy brak standardów zharmonizowanych) ☐ Validacja i weryfikacja ☐ Dokumentacja ☐ Deklaracja ☐ Oznaczenie
4	Ocena zgodności produktu ☐ BOM ☐ Analiza kart katalogowych ☐ Projekt, rysunki, obliczenia ☐ Testy weryfikacyjne
5	Utworzenie folderu dokumentacji technicznej
6	Utworzenie deklaracji oraz przypisanie znaku CE
7	Odpowiednie oznakowanie dodatkowe i tabliczka znamionowa



Rysunek 3. Różne aspekty kompatybilności elektromagnetycznej



Rysunek 4. Zjawiska, które mogą pojawić się w środowisku pracy urządzenia

Zestaw testów składa z kilkunastu pozycji. Pierwsze 4 dotyczą emisji: emisja harmonicznych i flicker'ów, emisja przewodzona oraz emisja promieniowania. Kolejne testy dotyczą odporności urządzenia na zjawiska związane mniej lub bardziej z elektrycznością i magnetyzmem: ESD, burst, surge, zapady, zaniki, pole radiowe. Ważne jest, abyś zdawał sobie sprawę z tego, jakie zjawiska musisz wziąć pod uwagę w projekcie urządzenia jeszcze przed testami. Istotną kwestią

Tabela 2. Szacunkowe koszty w polskim laboratorium EMC

Emisja	Szacunkowy koszt
Emisja promieniowana (SAC) 30MHz –1GHz	2500 zł
Emisja promieniowana (FAR) > 1 GHz (do 6 GHz)	1500 zł
Emisja przewodzona 150 kHz–30 MHz na zasilaniu	600 zł/800 zł
Emisja harmonicznych prądu	600 zł/800 zł
Flickery. Ograniczanie zmian napięcia, wahań napięcia i migotania światła w publicznych sieciach zasilających niskiego napięcia	600 zł/1000 zł

Odporność	Szacunkowy koszt
Odporność na pole magnetyczne o częstotliwości sieci	600 zł
Odporność na pole elektromagnetyczne w zakresie częstotliwości 80 MHz–1 (2,7) GHz	3000 zł
Odporność na wyładowanie elektrostatyczne (ESD)	750 zł
Indukowane napięcia wspólne o częstotliwości radiowej	600 zł
Zapady napięcia, przerwy napięcia	600 zł/750 zł
Udary (Surge)	600 zł/1000 zł
Szybkie elektryczne stany przejściowe (Burst)	600 zł

Dzień testów inżynierskich: ~2600 zł–3600 zł za 8 h

Suma: **13 000 zł netto**

jest poznanie ich natury i przygotowanie projektu tak, aby radził sobie z odpornością oraz nie emitował za dużo.

Tematyka projektowania urządzeń pod kątem EMC jest szeroka, złożona i wymaga wiedzy na temat komponentów, zjawisk oraz technik projektowania. Oczywiście możliwe jest skorzystanie z odpowiednich narzędzi lub szkoleń w tym zakresie, które pozwolą odświeżyć i uporządkować wiedzę [3]. Natomiast ten artykuł zobrazuje kolejne kroki, które musisz podjąć i wskazać co powinieneś uwzględnić.

Koszty testów w laboratorium EMC

Mamy dwa typy testów EMC:

- **Full compliance** – testy końcowe, walidacyjne – rozliczane za liczbę testów, a nie za czas, zakończony raportem z badań,
- **Pre compliance** – testy inżynierskie, konstruktorskie – rozliczane za czas w laboratorium, bez oficjalnego raportu na koniec testów.

W tabeli 2 zestawiono szacunkowe koszty w polskim laboratorium EMC (jest to tylko rząd wielkości, dotyczy urządzenia, w którym jest jeden tryb pracy, jeden interfejs do 3 m długości i zasilanie).

Przygotuj elektronikę do walki

Jeśli projektujesz urządzenie przygotuj się na to, że będzie testowane. Warto, abyś poznał „wroga”, czyli zjawiska z jakimi wiąże się kompatybilność elektromagnetyczna:

1. Emisja promieniowania o częstotliwości poniżej 200 MHz pochodzi z kabli. Przewody i kable są lepszymi antenami dla niższych częstotliwości, gdzie długości fali są dłuższe,
2. Emisja promieniowania o częstotliwościach powyżej 200 MHz pochodzi z obudowy i elementów urządzenia,
3. Należy się upewnić, że ekranowanie kończy się bezpośrednim połączeniem z obudową lub złączem. Należy unikać pigtaili,
4. Upewnij się, że metalowe części obudowy są idealnie połączone między sobą (rezystancja 10 mΩ lub mniejsza),
5. Upewnij się, że każda linia wychodząca z urządzenia jest filtrowana i że filtr położony jest obok miejsca wyjścia tej linii z urządzenia,
6. Kontroluj „dzwonienia” – jest to podstawowe źródło zaburzeń,

7. Nigdy nie wolno stracić kanału powrotnego prądu, jest to podstawowy powód generowania zaburzeń typu „common mode”,
8. Kontroluj przesłuchy i utrzymuj sygnały z dala od „anten”,
9. Filtruj wszystkie sygnały, które wchodzą i opuszczają system. Jest wiele metod, aby to zrobić, sam musisz wybrać, która jest najbardziej odpowiednia w Twojej sytuacji,
10. Projektuj dostarczenie zasilania tak, aby warstwy były „ciche” i stabilne,
11. Utrzymuj nieprzerwaną płaszczyznę uziemienia, dzięki czemu wszystkie miejsca uziemienia będą wspólne (ten sam potencjał dla wszystkich częstotliwości),
12. Umieszczaj złącza blisko siebie, co pozwoli uzyskać ten sam potencjał na ziemi dla każdego kabla z osobna. Nie twórz dipolowych anten z głośnym szumem pośrodku,
13. Niech ktoś inny sprawdzi Twój „design, layout” (review),
14. Wykonuj testy cząstkowe (testy inżynierskie),
15. Staraj się zrozumieć zjawiska i przewidzieć najgorsze warunki pracy,
16. Nie przeszacuj komponentów (np. warystora).

Filtrowanie powinno odbywać się w szerokim zakresie częstotliwości, gdyż impulsy na jakie narażamy obiekt, mogą mieć szerokie widmo. Przykładem jest impuls ESD, który ma mniej niż 1 ns czasu narastania czyli jego widmo sięga kilkuset megaherców (prawie 1 GHz). EFT Burst to impuls o czasie narastania 5 ns, czyli widmo ok. 200 MHz. Z drugiej strony weź pod uwagę energię impulsu Surge, który choć wolny, to trwa dosyć długo i może uszkodzić urządzenie (liczy się energia impulsu).

Dyrektywa niskonapięciowa LVD Bezpieczeństwo

Niniejsza dyrektywa ma zastosowanie do sprzętu elektrycznego przeznaczonego do użytku przy napięciu z zakresu:

- 50...1000 V prądu przemiennego (AC),
- 75...1500 V prądu stałego (DC),

z wyjątkiem sprzętu i zjawisk wymienionych w załączniku II do dyrektywy. To oczywiste, że kompatybilność elektromagnetyczna jest

związana z bezpieczeństwem i wpływa na niezawodność urządzenia, ale czynników bezpieczeństwa jest więcej i o tym głównie jest ta dyrektywa. Mówi o kilku aspektach, których celem jest spełnianie przez sprzęt elektryczny (i elektroniczny) znajdujący się w obrocie na terenie UE, wymagań zapewniających wysoki poziom ochrony zdrowia i bezpieczeństwa osób i zwierząt domowych oraz mienia, przy jednoczesnym zagwarantowaniu funkcjonowania rynku wewnętrznego.

Przykładowy zakres testów dla urządzenia elektrycznego, zgodny z jedną z norm zharmonizowanych z dyrektywą LVD, dotyczy:

- prądu znamionowego,
- nagrzewania,
- odporności na gorąco i ogień,
- prądu upływu do ziemi,
- rezystancji połączeń uziemienia ochronnego,
- wytrzymałości elektrycznej izolacji,
- szczeliny powietrznej i odległości tworzonej przez izolację,
- wytrzymałości mechanicznej obudów,
- badania klimatyczne (temperatura, wilgotność).

Te aspekty są łatwiejsze do oceny nawet gołym okiem, niż te związane z EMC. Chociaż zwykle też wymagają testów.

Ciekawostką jest rejestr produktów niebezpiecznych – HERMES. Jest to strona, na której organy nadzoru publikują urządzenia niebezpieczne [4].

Gdzie badać?

Gdy już masz przygotowaną listę testów, jakie musi przejść urządzenie to masz podstawowy wkład do planu badań. Należy przygotować min. dwa plany badań: jeden dotyczący kompatybilności elektromagnetycznej (EMC), drugi dotyczący bezpieczeństwa urządzenia (LVD). Badania może wykonać każda jednostka posiadająca odpowiedni sprzęt. Natomiast, żeby mieć pewność, że zostały wykonane faktycznie zgodnie z normą, dobrze jest skorzystać z jednostek akredytowanych. Nie zawsze jest to konieczne, ale aby móc rzetelnie zweryfikować procedury testowe i używany sprzęt, wymagana jest bardzo dobra wiedza na temat norm i standardów testowych, nie tylko zharmonizowanych.

Przed przystąpieniem do badań, warto porozmawiać na ich temat bezpośrednio w siedzibie laboratorium. W przypadku początków współpracy lub nowych projektów, taki kontakt jest bardzo ważny.

Listę jednostek akredytowanych znajdziesz na stronie Polskiego Centrum Akredytacji [5], gdzie są wymienione laboratoria w poszczególnych dziedzinach. Jeśli chodzi o akredytację, to laboratoria powinny powoływać się na normę: PN-EN ISO/IEC 17025:2018-02 – Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorujących. Akredytacja powinna zapewnić:

- potwierdzenie jakości (system),
- zgodność ze standardami (normy),
- odpowiednie metody badań,
- kwalifikacje personelu,
- odpowiednie wyposażenie,
- porównania z innymi laboratoriami.

Podsumowanie

Wprowadzenie nowego produktu na rynek jest procedurą bardzo złożoną. Pomimo tego, że w Unii Europejskiej wprowadzenie do obrotu

następuje na podstawie deklaracji (dobrowolnej deklaracji) producenta, to nie może być to „goła” kartka. Deklaracja musi być podparta dokumentacją techniczną, która zawiera wszystkie elementy, o których mówiłem wyżej.

Aby spełnić wymagania dokumentacji technicznej musisz mieć rzetelne raporty z badań, bo nie raz widzieliśmy raporty z Chin, które dotyczyły urządzenia prawie takiego samego... a wiemy, że „prawie” robi ogromną różnicę.

Mysząc o wprowadzeniu nowego urządzenia na rynek, weź pod uwagę dodatkowe koszty (rzędu kilkudziesięciu tysięcy zł) z tym związane i czas, jaki poświęcasz na poprawianie i testowanie tego urządzenia. Aby realistycznie zaplanować wprowadzenie nowego produktu, musisz się przygotować na przynajmniej rok pracy. Oczywiście wszystko zależy od skomplikowania układu czy systemu. Na czas projektu będą wpływały dodatkowo aspekty zewnętrzne, takie jak dostępność laboratorium, oczekiwanie na raport z testów i dodatkowe iteracje, czyli zamówienie kolejnych prototypów. Wiemy, że oczekiwanie na dostawę nowych PCB i zamontowanie zwykle zajmuje sporo czasu.

Koszty wynikają nie tylko z naszej pracy inżynierskiej czyli roboczogodzin, liczą się także koszty komponentów. W zależności od wolumenu, jeśli chcesz produkować kilka lub kilkanaście sztuk rocznie, to nie odczujesz ceny poszczególnych komponentów, które musisz dołożyć do swojego urządzenia (czy to w postaci common mode chock’ów, czy dodatkowych kondensatorów). Natomiast jeśli masz zamiar produkować wielko-seryjnie (masowo) to z arkusza kalkulacyjnego zobaczysz, że dodanie kolejnych komponentów znacząco zwiększa koszt urządzenia. Jest to uciążliwe i wymagane jest optymalizacja.

Dodatkowo może być tak, że produkcja przyczyni się do rozrzutu parametrów, a weryfikacja i dotrzymanie jakości urządzeń należy do ciebie, jako producenta.

Lepiej zapobiegać niż „leczyć”

Analizując powyższe kroki i wszelkie założenia, na początku z pewnością trochę się wystraszysz. To normalne. Pamiętaj, że wszystko jest do przejścia. Moim celem było rzetelnie pokazać Ci, jakie są realia i zagrożenia, z którymi możesz się spotkać.

Jeśli uwzględniś wymagania od początku projektu, a do tego zrozumiesz zjawiska z jakimi się wiąże testy, wtedy dużo szybciej i łatwiej będzie spełnić te wymagania. Rzecz jasna, także i taniej.

Zachęcam do korzystania z naszych szkoleń, ale oprócz tego znajdziesz dużo darmowych materiałów na naszym blogu, czy kanale YouTube oraz mediach społecznościowych. Blog EMC i dostępne szkolenia znajdziesz na stronie internetowej <https://www.emc4b.com>.

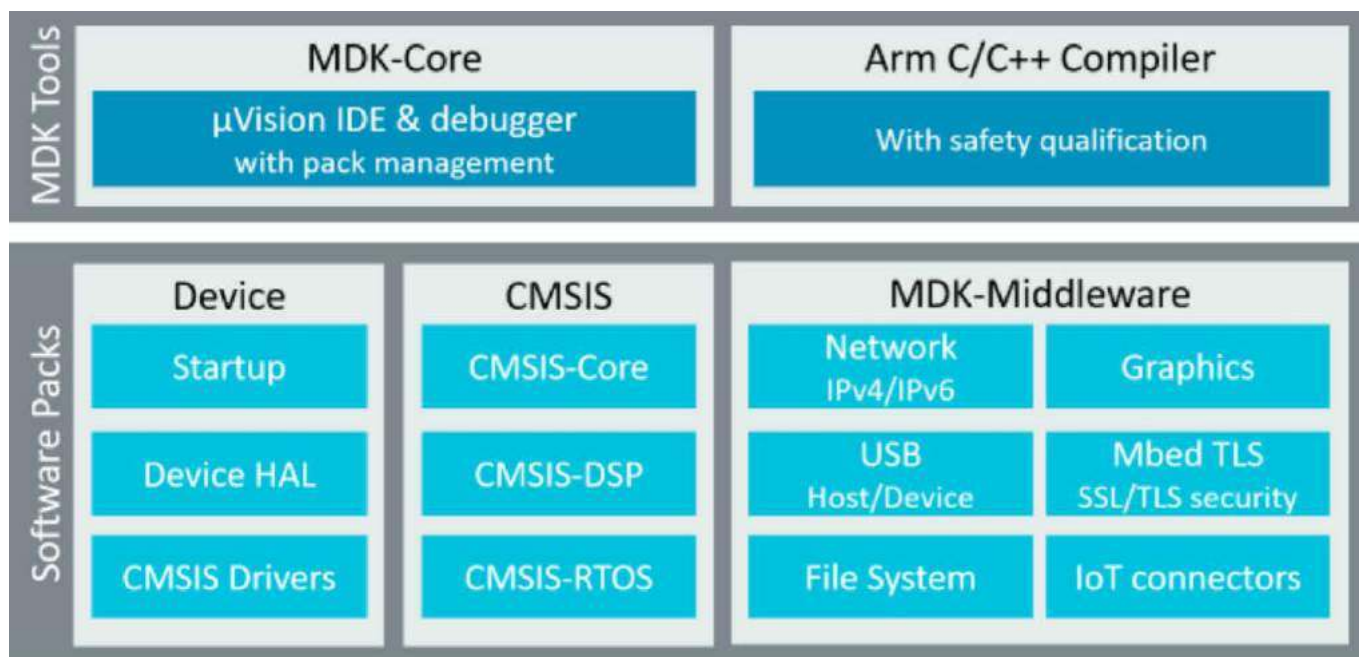
Tomasz Utkowski
Inżynier ds. testów i oceny zgodności
w EMC for Business

Linki:

- [1] <http://bit.ly/2wImkbj>
- [2] <http://bit.ly/39BqKiV>
- [3] <http://bit.ly/39zofOj>
- [4] <http://bit.ly/2TM3mZy>
- [5] <http://bit.ly/38wrxAf>

REKLAMA

www.ep.com.pl

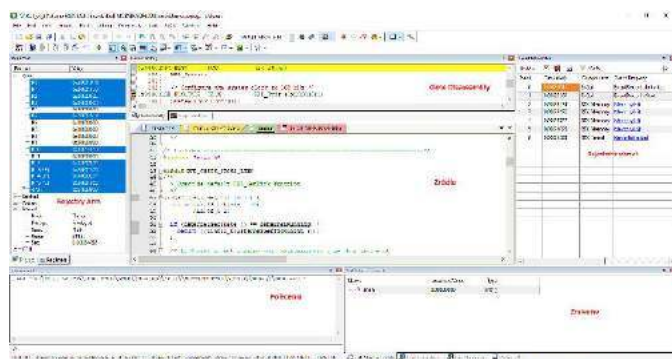


Debugowanie projektów w środowisku Keil MDK

Charakterystyka Debuggera Arm Keil MDK

Debugger jest częścią środowiska Arm Keil MDK i służy do analizy kodu programów w celu znalezienia i wyeliminowania błędów. Program ten sprawuje kontrolę nad wykonaniem kodu tworzonego przez programistę. Pozwala na śledzenie obiektów, atrybutów i kontrolowanie wykonania programu.

Celem debugowania jest rozpoznanie błędu w programie, znalezienie jego miejsca i przyczyny powstania, a następnie usunięcie go. Okno debugowania w Keil MDK jest takie samo, bez względu na to, czy debuguje się w sprzęcie docelowym, czy w symulatorze. Debugger umożliwia uruchamianie, zatrzymywanie, wykonywanie kroków programu, używanie punktów przerwania, monitorowanie wybranych elementów programu i zasobów mikrokontrolera (rysunek 1).



Rysunek 1. Widok różnorodności funkcji narzędzia do debugowania

Więcej informacji:

Computer Controls Sp. z o.o.
43-300 Bielsko-Biała, ul. Budowlanych 1
tel. +48 33 485 94 90, info@ccontrols.pl
01-797 Warszawa, ul. Powązkowska 15
tel. +48 22 718 31 90, components@ccontrols.pl
<https://www.ccontrols.net>



Aby rozpocząć debugowanie w środowisku programistycznym należy przycisnąć ikonę w pasku zadań. Aby zatrzymać sesję debugowania należy ponownie tę czynność wykonać. Po wyjściu z sesji debugowania wszystkie ustawienia okna zostaną automatycznie zapisane. Ustawienia zostaną przywrócone przy następnym uruchomieniu sesji dla tego projektu.

Okno „Źródło”

Okno znajdujące się w środku okna debugowania wyświetla kod programu w wybranym pliku projektu, w języku używanym przez programistę (C, C++, Asembler itp.). Kliknięcie zakładki u góry okna wyświetla kod źródłowy tego pliku. Istnieje również możliwość wyświetlenia pliku źródłowego, który nie ma zakładki w tym oknie. Można dodać go z paska menu, wybierając *Plik → Otwórz*, a następnie wybierając żądany plik.

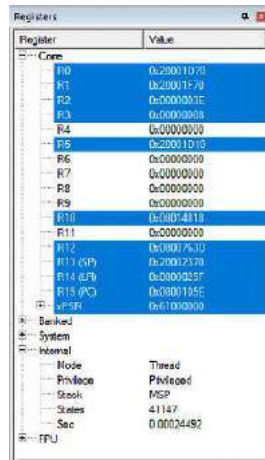
Okno „Demontaż” (Disassembly)

Okno znajdujące się bezpośrednio nad oknem „Źródło” wyświetla „zdemontowany” kod odpowiadający plikowi aktualnie otwartemu. Jeśli źródłem jest plik C, plik zdemontowany pokazuje kod w języku Asemblera wygenerowany przez kompilator dla każdej

instrukcji C. Wyświetlany jest także szesnastkowy adres pamięci i kod obiektu dla wszystkich instrukcji języka Asemblera.

Uruchamianie programu

Program może być wykonywany w sposób „instrukcja po instrukcji”, wykonywany do punktu przerwania lub po prostu bez zatrzymywania się. Przebieg programu kontrolowany jest za pomocą ikon w lewej części paska narzędzi, bezpośrednio nad oknem „Rejestrów”.



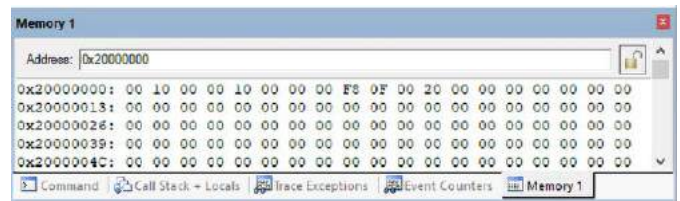
Rysunek 2. Narzędzia pozwalają na podgląd różnych parametrów mikrokontrolera

Monitorowanie zmiennych programu i zasobów systemowych

Istnieje kilka okien debugowania, które wyświetlają przydatne informacje podczas realizacji programu, w tym zmienne, rejestry procesora, pamięć systemową i funkcje peryferyjne mikrokontrolera (rysunek 2). Okna te będą dynamicznie się aktualizować, aby można było określić ich stan i monitorować, czy program działa zgodnie z oczekiwaniami.

Okna „Pamięci”

Służą do wyświetlania zawartości wybranych adresów w pamięci. Maksymalnie mogą być otwarte cztery okna. Każde z nich, co zostało pokazane na rysunku 3, ma określony początek adresu bloku pamięci, który ma zostać wyświetlony. Wpisuje się go w polu „Adress”,



Rysunek 3. Widok okna obrazującego zawartość pamięci

pamiętając o tym, że wartości szesnastkowe zaczynają się od „0x”. W przeciwnym razie adres będzie interpretowany jako wartość dziesiętna. Format danych można dowolnie zmieniać, aby ułatwić ich badanie, klikając prawym przyciskiem myszy.

Wnioski

Debugger, będąc bardzo pomocnym komponentem oprogramowania, jest integralną częścią środowiska MDK. Z założenia służy do szukania błędów podczas tworzenia aplikacji. Moim zdaniem oprócz tej podstawowej funkcjonalności, posiada on wiele dodatkowych zalet. Jedną z nich jest możliwość podglądu zmiennych w danym momencie wykonywania programu, inną – opcja dokonywania analiz, przy zatrzymaniu programu w dowolnym momencie. Są to funkcje, które znacząco mogą wpłynąć na jakość kodu, poprzez dostarczenie wielu danych, między innymi o czasie wykonania programu, czy wartościach chwilowych rejestrów. Podsumowując, Debugger MDK jest przydatnym oprzyrządowaniem w pracy programisty, które może wpłynąć dodatkowo zarówno na optymalizację tworzonego kodu, jak również na skrócenie czasu trwania projektu.

Grzegorz Cuber
FAE Computer Controls

REKLAMA

COMPUTER CONTROLS

Computer Controls zaprasza na:

Roadshow Altium Designer 20

19.05.2020 Sopot

20.05.2020 Warszawa

21.05.2020 Katowice

Functional Safety Seminar Arm & LDRA

02.06.2020 Warszawa

03.06.2020 Kraków

szczegóły dostępne na: www.ccontrols.pl

Altium

arm

LDRA

maxim
integrated.

SILICON LABS

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

tel.: +48 (33) 485 94 90

e-mail: info@ccontrols.pl
<http://www.ccontrols.pl>



Jak napisać aplikację mobilną poprzez... UART (1)

W trakcie procesu tworzenia urządzeń elektronicznych projektanci napotykają szereg zdawałoby się nierozwiązywalnych problemów, z którymi muszą sobie sprawnie poradzić. Wracającym niezwykle często, niczym bumerang kłopotem jest zorganizowanie interfejsu użytkownika (HMI – Human Machine Interface). Wymagania są niejednokrotnie sprzeczne: wysoki poziom estetyki, ergonomia użytkowania i elastyczność funkcjonalna w opozycji do minimalnych kosztów oraz krótkiego czasu wdrożenia. Skłania to do poszukiwania nowych rozwiązań będących optymalnym kompromisem rozcinającym ten gordyjski węzeł.

Ciekawym pomysłem jest użycie dotykowych ekranów urządzeń mobilnych w roli HMI. Idea zobrazowana na **rysunku 1** jest niezwykle oczywista: programowanie i obsługa bezprzewodowych aplikacji mobilnych poprzez nieskomplikowany, popularny interfejs UART. Takie rozwiązanie otworzyłoby na oścież zamknięte dotąd drzwi do estetycznych i zaawansowanych interfejsów graficznych dla niemal każdego projektu opartego o mikrokontroler. Jeśli dołożyć do tego bezprzewodowość i niezwykle energooszczędność układu z Bluetooth SMART to można pokusić się o stwierdzenie, że mamy mały przełom.

Sprzęt

Schemat modułu pokazuje **rysunek 2**. Mikrokontroler z Bluetooth Low Energy i interfejsem UART (typu NRF51822) realizuje funkcję mostu

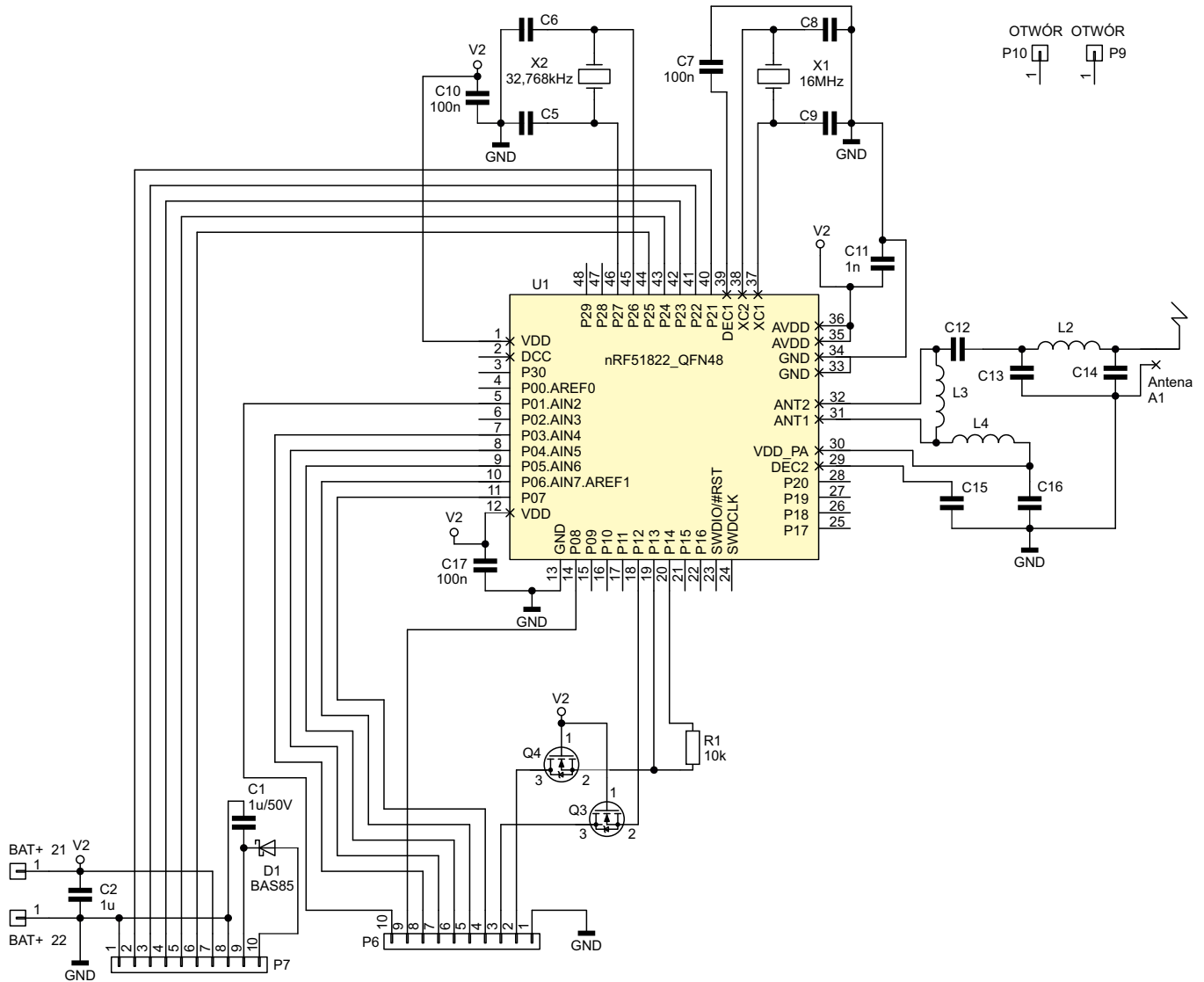


Rysunek 1. Idea zastosowania modułu

pomiędzy dowolnym mikrokontrolerem posiadającym funkcjonalność asynchronicznej komunikacji szeregowej (UART), a urządzeniem mobilnym z interfejsem Bluetooth w wersji minimum 4.0 (smartfon, tablet).

Zasilanie projektowanego systemu można zorganizować na kilka sposobów:

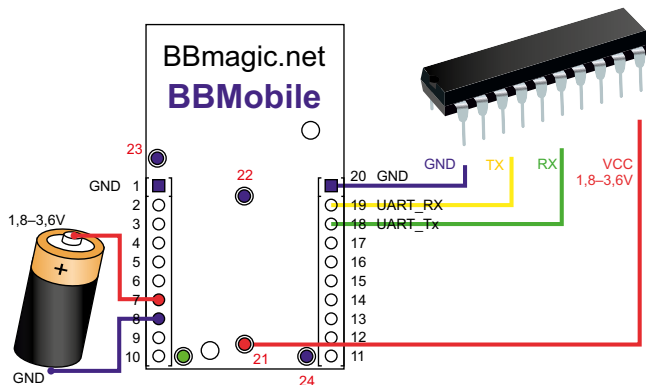
1. W aplikacjach ultra low power (**rysunek 3**) – bezpośrednio z baterii podłączonej do pinów 7 i 8 złącza P7. Możliwe jest też podłączenie źródła energii do padów 21 i 22 (np. wlutowanie gniazda pastylkowej baterii CR 2032). Zakres możliwych napięć zasilających waha się od 1,8 do 3,6 V.
2. W przypadku gdy mikrokontroler potrzebuje napięcia 5 V (**rysunek 4**) – zastosowanie stabilizatora na napięcie 3,3 V zainstalowanego w złączu P7 (pin 7 – wyjście stabilizatora, pin 8 – masa stabilizatora, pin 9 – wejście stabilizatora).



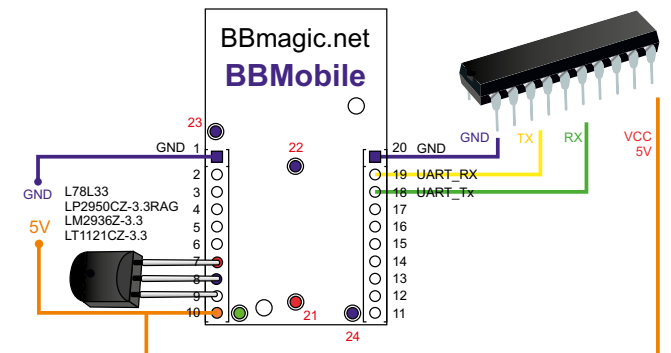
Rysunek 2. Schemat modułu

3. W aplikacjach gdzie dostępne są jedynie wyższe napięcia (**rysunek 5**) – przez stabilizator podłączony jak poprzednio. Jeśli użyć np. L78L33, LP2950CZ3.3RAG, LM2936Z-3.3 lub LT1121CZ-3.3 od do pinu 10 złącza P7 możemy podłączyć napięcie w granicach od 5 do 30 V. Wejście to jest zabezpieczone przed pomyłką odwrotnej polaryzacji za pomocą diody D1.

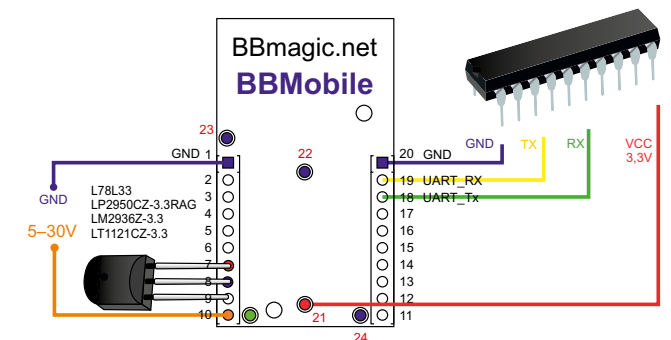
W komunikacji UART pośredniczą unipolarne tranzystory Q3 i Q4 umożliwiając dopasowanie poziomów napięć jeśli byłyby one różne w układzie mikrokontrolera i modułu. Dzięki nim port komunikacyjny można bez obawy łączyć z systemami zasilanymi napięciem 5 V, np. Arduino.



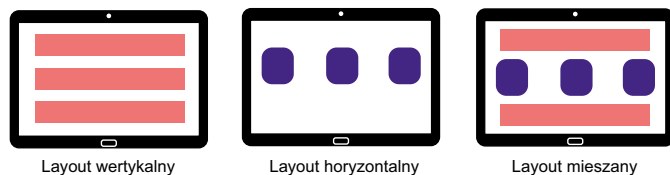
Rysunek 3. Konfiguracja dla aplikacji ultra low power



Rysunek 4. Konfiguracja dla mikrokontrolera zasilanego napięciem 5 V



Rysunek 5. Konfiguracja dla aplikacji zasilanych napięciem powyżej 5 V



Rysunek 6. Przykłady layoutów

Software

Ogólny schemat działania nie jest skomplikowany:

- uruchamiamy aplikację BBMobile,
- klikamy przycisk 'START' – na ekranie pojawia się lista dostępnych urządzeń znajdujących się w zasięgu,
- wybieramy urządzenie z którym chcemy zestawzić połączenie,
- w wyniku nawiązania łączności na ekranie smartfona buduje się interfejs użytkownika – przyciski, pola tekstowe, przełączniki i inne kontrolki zgodnie z poleceniami przesłanymi przez port szeregowy UART modułu (rysunek 1).

Nasuwa się pytanie – w jaki sposób „upchnąć” tak złożony i wielowymiarowy proces jak tworzenie i obsługa aplikacji do tak prostego interfejsu jak UART? Aplikacja składa się przecież z głównego okna (layout) w którym obiekty (kontrolki) mogą być różnie rozmieszczone w zależności od potrzeb funkcjonalnych konkretnej aplikacji (**rysunek 6**): wertykalnie – pionowo jedna pod drugą lub horyzontalnie – obok siebie. Mogą też oczywiście występować dowolne kombinacje tych dwóch układów.

Dostępne są kontrolki realizujące wiele funkcji: pola wyświetlające informacje (TextView), przyciski (Button), paski postępu (ProgressBar), edytowalne pola tekstowe (EditText), pola wyboru (Spinner) i inne. Każda kontrolka posiada swoje własne cechy jak np. rozmiar, treść wyświetlanego tekstu, kolor tła, kolor tekstu, rozmiar czcionki itd. Cechy te muszą zostać zdefiniowane podczas tworzenia interfejsu, a potem mogą być modyfikowane podczas pracy aplikacji. Dodatkowo kontrolki wyjściowe takie jak buttony, switche czy edytowalne pola tekstowe i numeryczne muszą mieć możliwość przekazywania informacji o akcjach wykonywanych przez użytkownika. Wpisanie danych do pola edytowalnego, przełączenie kontrolki switch czy naciśnięcie buttona powinno powodować przesłanie przez UART informacji jednoznacznie identyfikującej kontrolkę i wywołaną akcję.

Wobec tak szerokiego spektrum możliwych działań konieczne jest podzielenie komunikacji na elementy:

1. Po włączeniu zasilania modułu BBMobile, gdy połączenie Bluetooth SMART nie jest zestawione (lub po zamknięciu połączenia) komunikacja umożliwia ustawienie lub zmianę parametrów pracy. Dokonujemy tego wysyłając komendy rozpoczynające się znakiem '<' i kończące znakami nowej linii i powrotu karetki: '\n' i '\r'.
2. Po zestawieniu połączenia Bluetooth SMART konieczne jest wysłanie w formacie JSON opisu struktury interfejsu, który ma zostać stworzony na ekranie. Blok tych danych rozpoczyna się znakiem '{' i kończy znakiem '}'.
3. Gdy interfejs użytkownika zostanie już zbudowany na ekranie urządzenia mobilnego, komunikacja jest kontynuowana za pomocą krótkich komend rozpoczynających się od znaku '\$' i kończących się znakami nowej linii i powrotu karetki: '\n' i '\r'.

JSON

JavaScript Object Notation czyli JSON to lekki, tekstowy format wymiany danych pochodzący od języka Java Script, który w czytelny dla człowieka sposób porządkuje informacje w struktury zwane obiektami. Ponadto:

- obiekty zamknięte są w nawiasach klamrowych '{...}',
- dane wewnątrz obiektów zorganizowane są w pary "atribut":wartość,
- obiekty oraz pary "atribut":wartość rozdzielone są przecinkami,

- obiekty mogą być zagnieżdżane,
- dane typu tablicowego zamknięte są w nawiasach kwadratowych '[...]',
- wielkość liter, spacje, tabulacje i znaki końca linii (enter) nie mają znaczenia informacyjnego, a używane są jedynie dla uzyskania większej przejrzystości kodu.

Dla lepszego zrozumienia formatu JSON przeanalizujmy element interfejsu jakim jest kontrolka TextView. Jest to pole tekstowe, którego zawartości użytkownik nie może modyfikować. Służy po prostu do wyświetlenia informacji. Oto jak pary "atribut":wartość definiują taką kontrolkę jako obiekt JSON zawarty wewnątrz nawiasów: { „ty”:”TextView”, „n”:”text_1”, „te”:”HELLO WORLD”, „bg”:”0,0,0” }

Pierwszy nawias '{' i ostatni nawias '}' obejmują całą strukturę obiektu – oznaczają jego początek i koniec. Kolejne rozdzielone przecinkami pary "atribut":wartość mają następujące znaczenie:

- „ty”: „TextView” – definiuje typ kontrolki – w tym przykładzie jest to TextView; skrót od type:TextView,
- „n”:”text_1” – określa unikalną, wybraną przez projektanta nazwę obiektu pozwalającą odwołać się do niego podczas działania aplikacji, skrót od name:text_1,
- „te”:”HELLO WORLD” – definiuje tekst, który ma zostać wyświetlony w polu kontrolki, skrót od: text: HELLO WORLD,
- „bg”:”0,0,0” – określa składowe RGB koloru tła kontrolki. Tutaj wybrano kolor czarny; skrót od: background:0,0,0.

Struktura JSON opisująca layout

Pokazany powyżej krótki kod zdefiniował jedną kontrolkę. Cały interfejs użytkownika tworzony na ekranie może zawierać wiele kontrollek. Konieczne jest zatem niewielkie rozbudowanie kodu JSON, aby zdołał opisać nie tylko same kontrolki, ale również ich układ. Na **listingu 1** pokazano najprostszy, kompletny kod definiujący layout, który zawiera dwie kontrolki: TextView oraz Button ułożone horyzontalnie, jedna obok drugiej. **Rysunek 7** pokazuje ekran z interfejsem utworzonym po przesłaniu kodu do modułu.

Kod jako obiekt JSON ograniczony jest oczywiście nawiasami '{ }'. W drugiej linii zdefiniowano jego typ – jest to layout, czyli obiekt zawierający inne obiekty (jak stwierdziliśmy wcześniej, obiekty mogą być zagnieżdżone). Komponenty wewnątrz layoutu będą w układzie horyzontalnym o czym informuje linia 3. W linii 4 określono tło layoutu jako czarne.



Rysunek 7. Wygląd okna aplikacji z listingu 1



Rysunek 8. Wygląd okna aplikacji z listingu 2

Listing 1. Kod JSON definiujący layout horyzontalny z dwiema kontrolkami: TextView i Button

```

1 {
2   "ty": "lout",
3   "or": "H",
4   "bg": "0,0,0",
5   "cs": [
6     {
7       "ty": "TextView",
8       "n": "tv_1",
9       "te": "Hello World",
10      "w": "2",
11      "tc": "255,255,255",
12      "bg": "0,0,0",
13      "ts": "40",
14      "tl": "bold"
15     },
16     {
17       "ty": "Button",
18       "n": "btn_1",
19       "te": "OK",
20       "w": "1",
21       "tc": "0,0,0",
22       "bg": "254,127,0",
23       "ts": "30",
24       "tl": "bold"
25     }
26   ]
27 }

```

Linia piąta rozpoczyna definicję tablicy obiektów znajdujących się wewnątrz layoutu głównego. Tablice komponentów definiowane są w następujący sposób:

```
cs: [ {obiekt_1}, {obiekt_2}, ... , {obiekt_n} ]
```

Skrót cs pochodzi od angielskiego components, a wewnątrz nawiasów kwadratowych znajdują się rozdzielone przecinkami kolejne obiekty. Obiektem może być kontrolka (Button, TextView, Switch, EditText, itd) lub inny layout.

W tym przykładzie tablica komponentów zawiera dwie kontrolki: TextView („ty”:”TextView”) oraz Button („ty”:”Button”). Kontrolka TextView nosi nazwę „tv_1” i wyświetla tekst „Hello World” w kolorze białym („tc”:”255,255,255”) na czarnym tle („bg”:”0,0,0”). Rozmiar tekstu ustalono na 40 („ts”:”40”), a czcionka jest pogrubiona („tl”:”bold”). Kontrolka tekstowa będzie zajmowała dwie trzecie szerokości ekranu ponieważ jej wielkość określono na 2 („w”:”2”), a suma wielkości obu kontrolki to 3.

Przyjrzyjmy się teraz Button’owi: nosi nazwę btn_1 („n”:”btn_1”), a wyświetlany na nim napis w kolorze czarnym („tc”:”0,0,0”) to OK („te”:”OK”). Napis ma rozmiar mniejszy o 10 punktów niż ten z pola tekstowego („ts”:”30”), ale czcionka jest również pogrubiona („tl”:”bold”). Tło buttona pokolorowano na pomarańczowo definicją z linii 22 („bg”:”254,127,0”). Button zajmie jedną trzecią szerokości

Listing 2. Definicja layoutu wertykalnego z trzema kontrolkami

```

{
  "ty": "lout",
  "or": "V",
  "bg": "255,255,255",
  "cs": [
    {
      "ty": "TextView",
      "n": "tv_1",
      "te": "\nCOUNTER",
      "w": "2",
      "tc": "150,0,0",
      "ts": "25"
    },
    {
      "ty": "TextView",
      "n": "tv_1",
      "te": "2549",
      "w": "2",
      "tc": "0,0,0",
      "ts": "30",
      "tl": "bold"
    },
    {
      "ty": "button",
      "n": "btn_1",
      "te": "RESET",
      "w": "1",
      "tc": "0,0,0",
      "bg": "150,150,150",
      "ts": "25"
    }
  ]
}

```

ekranu ponieważ jego rozmiar zdefiniowano na 1 („w”:”1”), a suma wielkości obu kontrolki to 3. Aby zmienić układ layoutu na wertykalny (elementy ułożone jeden pod drugim) wystarczy zmodyfikować kod odpowiedzialny za orientację w trzeciej linii na „or”:”V”.

Poniżej pokazano przykład layoutu wertykalnego z trzema kontrolkami, którego analizę pozostawiamy czytelnikowi. Wskazówką weryfikującą poprawność niech będzie zrzut ekranu smartfona po uruchomieniu kodu, który pokazuje **rysunek 8**.

Co dalej?

W kolejnych odcinkach zajmiemy się opisaniem kontrolki wraz z ich cechami. Sprawdzimy również w jaki sposób najszybciej zaprojektować i przetestować nowy interfejs użytkownika. Zajmiemy się też interakcją z zaprojektowanym interfejsem, bo przecież działanie aplikacji mobilnych nie kończy się tylko na wyświetleniu informacji na ekranie.

Mariusz Żądło
iram@poczta.onet.pl

REKLAMA

Wstąp 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>

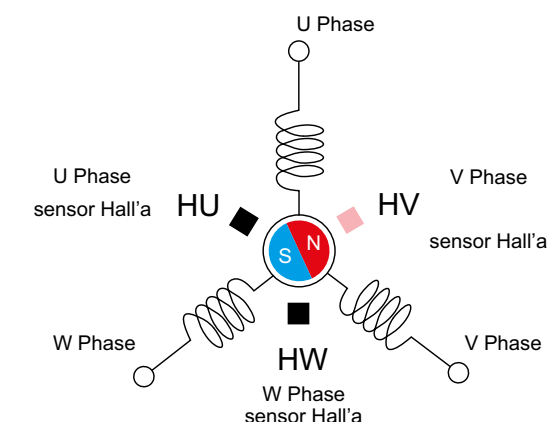
Silniki BLDC (2)

Określanie położenia wirnika



Odkąd nauczyliśmy się wytwarzać, magazynować i przesyłać energię elektryczną stało się jasne, aby z niej korzystać w praktyce musi być przekształcona na inny rodzaj energii na przykład ciepłą lub mechaniczną. Silnik elektryczny jest urządzeniem, które pobiera energię elektryczną do wytworzenia siły mechanicznej. Wynalezienie silnika elektrycznego, a potem jego ciągle udoskonalanie umożliwiło szybki postęp w wielu dziedzinach techniki. Prezentujemy kolejną część cyklu artykułów o działaniu i sposobach sterowania silnikami BLDC.

Aby moment obrotowy wału silnika, wynikający ze wzajemnego oddziaływania pola magnetycznego magnesu trwałego wirnika i pola magnetycznego stojana, był jak największy, sterownik musi przełączać zasilanie cewek stojana w odpowiednim momencie. Do uzyskania informacji o położeniu wirnika względem uzwojeń stojana często stosowane są czujniki Halla rozmieszczone w obudowie silnika co 120°, w połączeniu z trzema magnesami zamocowanymi na wirniku, również rozmieszczonymi co 120°. Wirujący wirnik sygnalizuje swoje położenie względem stojana tak, jak to zostało pokazane na **rysunku 10**. Sygnały z czujników Halla są oznaczone jako H1, H2 i H3. Napięcia na uzwojeniach stojana (fazach) komutowane na podstawie sygnałów z czujników Halla zostały oznaczone jako U, V i W.



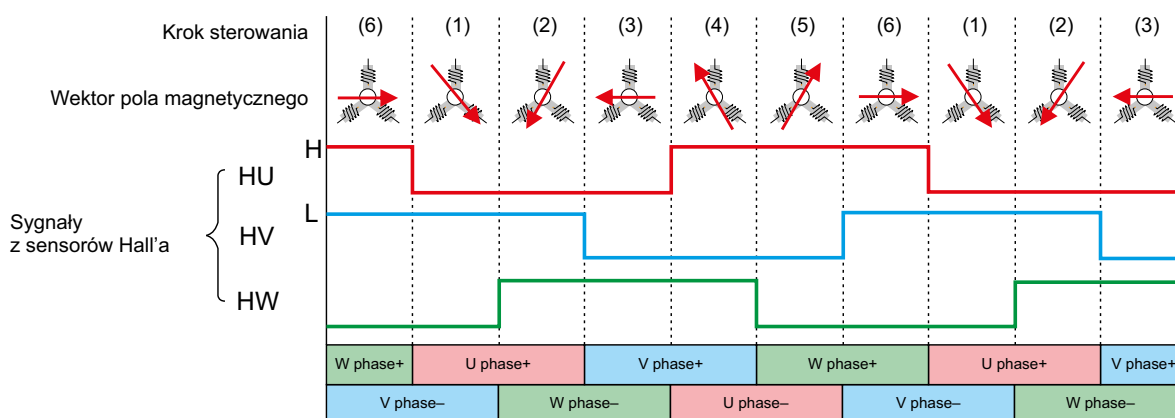
Sygnały z czujników Halla wykorzystywane w układach regulacji do określania położenia wirnika względem stojana dodatkowo pozwalają na określenie prędkości wirowania wirnika. Układy sterowania mają wbudowane algorytmy sterowania PI, gdzie parametrem wejściowym jest sygnał błędu zadanej prędkości obrotowej. Blokowy układ sterowania z czujnikami Halla został pokazany na **rysunku 11**. Pętla regulacji najpierw porównuje zmierzoną prędkość wirowania wirnika z prędkością zadaną. Jeżeli prędkość wirowania jest mniejsza, to układ regulacji PI zwiększa współczynnik wypełnienia sygnału PWM, silnik jest zasilany wyższym napięciem i prędkość obrotowa wzrasta. Kiedy prędkość jest zbyt duża to współczynnik wypełnienia maleje i prędkość obrotowa maleje. Odpowiednio dobrane parametry sterowania regulatora PI (proporcjonalno-całkującego) pozwalają optymalnie wyregulować pętlę regulacji prędkości tak, aby uniknąć oscylacji zmian prędkości silnika.

Idea sterowania trapezowego ma także wady. Niezbyt dobrze sprawdza się przy małych prędkościach obrotowych. Moment obrotowy z zasady działania podlega fluktuacjom (szarpnięciom). Ponadto czujniki położenia powodują, że silnik ma bardziej skomplikowaną budowę i potrzebuje większej liczby przewodów do połączenia ze sterownikiem i wymaga czyszczenia i przeglądów.

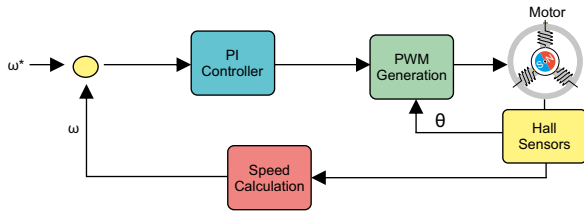
Metoda nie wymagająca czujników

Wymyślono metodę wykrywania położenia wirnika nie wymagającą czujników. Wymaga bardziej rozbudowanego oprogramowania i zastosowania dodatkowych układów peryferyjnych, ale za to silniki są tańsze i bardziej niezawodne w eksploatacji. Wykorzystuje się tutaj ogólnie znane zjawisko indukowania napięcia w uzwojeniu, które jest przenikane przez zmienne w czasie pole magnetyczne (**rysunek 12**). Zgodnie z regułą Lenza indukowane napięcie wymusza przepływ prądu w uzwojeniu stojana i powstanie pola magnetycznego przeciwdziałającego

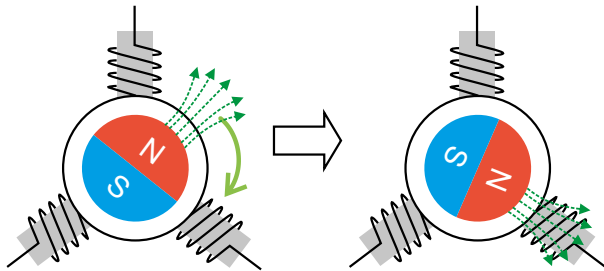
Sensor Hall'a	HU	HV	HW
Sygnał	L	H	L



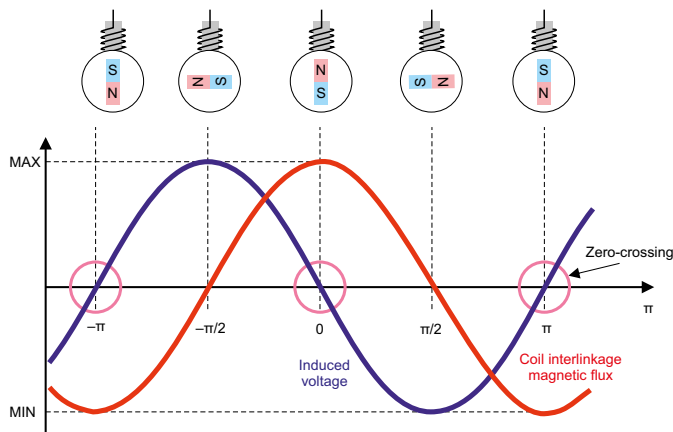
Rysunek 10. Sterowanie uzwojeniami stojana z użyciem sygnałów z czujników Halla



Rysunek 11. Blokowy układ sterowania silnikiem BLDC z czujnikami Halla



Rysunek 12. Indukowanie napięcia w uzwojeniu stojana



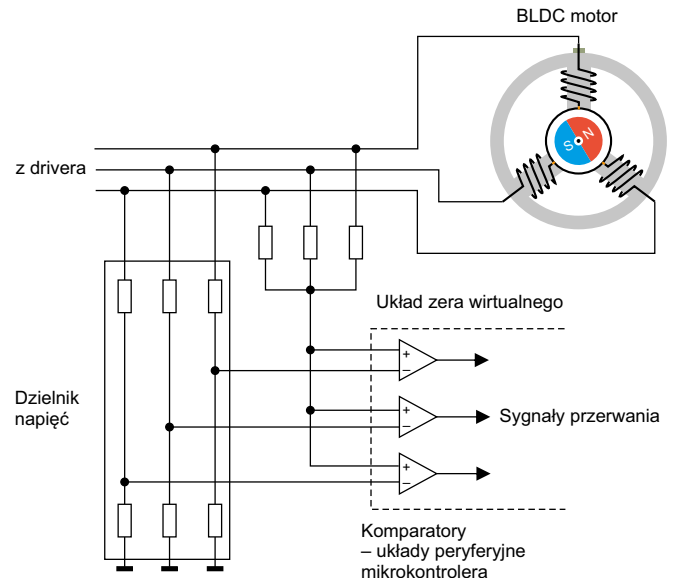
Rysunek 13. Wykres zmian strumienia magnetycznego i indukowanego napięcia w fazie U

strumieniowi magnetycznemu wprawiającemu wirnik w ruch. To szkodziące zjawisko nazwane BEMF (*Back Electromotive Force*) jest wykorzystywane do monitorowania położenia wirnika względem stojana. Na **rysunku 13** pokazano wykres strumienia magnetycznego przenikającego uzwojenie fazy U (kolor czerwony) i indukowanego napięcia (kolor niebieski). Oś pozioma określa kąt pomiędzy biegunami magnesu i uzwojeniem fazy.

Schemat sterowania trapezowego zakłada, że w każdym momencie są zasilane uzwojenia dwu faz. W zasilanych fazach nie możemy wykryć indukowanego napięcia BEMF, bo są one zwierane przez obwód zasilania fazy. Ale zawsze jest jedna faza nie zasilana i w niej można wykryć położenie wirnika przez detekcję przejścia indukowanego napięcia przez zero tak, jak to zostało pokazane na **rysunku 13**.

W naszym silniku trójfazowym to przejście przez zero występuje łącznie sześć razy, tj. dwa razy w każdej fazie przy pełnym obrocie. Daje to rozdzielczość położenia co 60° i jest ekwiwalentem rozdzielczości uzyskiwanej przez czujniki Halla.

Ponieważ silnik jest połączony w topologii gwiazdy, a punkt środkowy nie jest podłączony do żadnego wyprowadzenia, to nie można bezpośrednio mierzyć napięcia indukowanego na nie zasilanym uzwojeniu silnika. Do tego



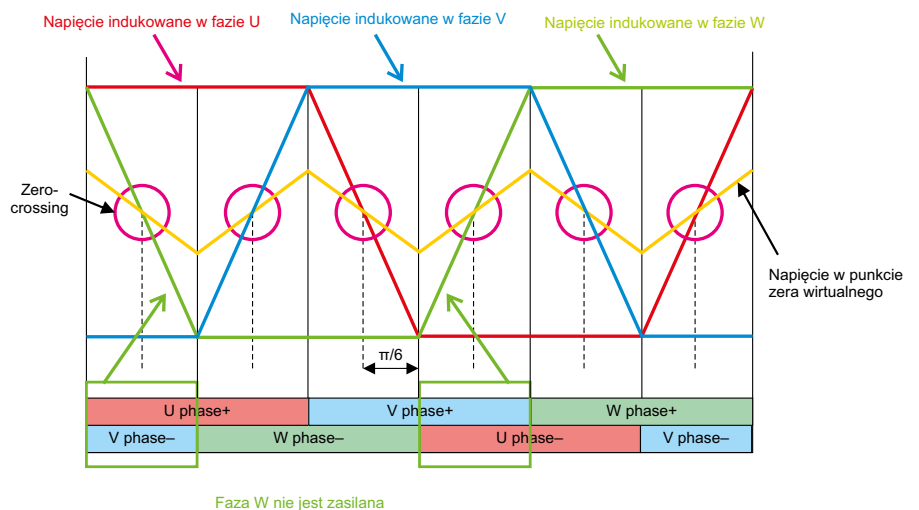
Rysunek 14. Układ do wykrywania przejścia przez zero napięcia BEMF

celu stosuje się dodatkowy układ wirtualnego zera zbudowany z trzech rezystorów. Na **rysunku 14** pokazano układ do wykrywania przejścia przez zero, z układem wirtualnego zera i komparatorami.

Wykres napięć indukowanych w uzwojeniach faz w czasie pełnego obrotu silnika pokazano na **rysunku 15**. Kolorem zielonym zaznaczono zmiany napięcia BEMF w fazie W. Kiedy napięcie indukowane w uzwojeniu nie zasilanym jest równe napięciu wirtualnego zera, to wykrywane jest przejście przez zero. Punkt przejścia przez zero jest przesunięty o względem momentu w którym trzeba włączyć zasilanie kolejnej pary faz. W przypadku rozpatrywanej fazy W na **rysunku 15** będzie to wyłączenie fazy V i włączenie fazy W przy cały czas zasilonej fazie U. Mamy tu „prosty” przepis na sterowanie silnikiem BLDC bez czujników położenia. Odliczanie czasu pomiędzy kolejnymi przejściami przez zero pozwala na wyliczanie na bieżąco rzeczywistej prędkości obrotowej silnika.

Sterowanie pracą silnika BLDC nie jest zadaniem łatwym. Jeżeli mamy możliwość swobodnej regulacji napięcia w każdej z faz, to można regulować prędkość obrotową silnika zmniejszając, lub zwiększając prąd wszystkich faz. Można też kształtować przebieg prądów w fazach po to, aby prąd sterujący miał przebieg sinusoidalny i stosować sterowanie trójfazowe. Wtedy każda z faz silnika jest zasilana napięciem sinusoidalnym przesuniętym w fazie o 120° . Wtedy silnik pracuje płynniej i jest cichszy, ale znacznie komplikują się algorytmy sterowania i regulacji. Te zagadnienia będą tematem następnej części artykułu.

Tomasz Jabłoński, EP



Rysunek 15. Napięcia BEMF indukowane w nie zasilanych uzwojeniach faz



Systemy wbudowane: dokąd zmierzamy?

Spojrzenie na trendy, innowacje i wyzwania w świecie systemów wbudowanych

Rynek systemów wbudowanych jest w kluczowym momencie swojej ewolucji. Inteligentne urządzenia elektroniczne stają się produktami niezbędnymi w codziennym życiu ludzi. Rozmawialiśmy z ekspertami, pracującymi u największych dostawców mikroprocesorów i mikrokontrolerów. Wierzą oni, że aktualna sytuacja niesie ze sobą wiele okazji, ale także i wiele wyzwań.

Systemy wbudowane są obecnie nieodłączną częścią codzienności. Mikroprocesory i mikrokontrolery można znaleźć w praktycznie każdym zasilanym elektrycznie urządzeniu, z którego korzystamy. Ten stopień rozpowszechnienia pomaga ukształtować niektóre z najważniejszych trendów w rozwoju systemów wbudowanych, napędzając tak rozbudowywanie funkcji, jak i zwiększając łatwość użytkowania sprzętu.

„Urządzenia będą uczyły się od innych urządzeń” – mówi **Geoff Lees, Senior Vice President and General Manager, odpowiadający za mikrokontrolery w firmie NXP**. Wskazuje tym samym na sposób wykorzystania sieciowych interfejsów komunikacyjnych, w jakie

wyposażona jest obecnie znacząca część urządzeń. Systemy mogą skorzystać z faktu, że są w stanie komunikować się ze sobą nie tylko by zwiększyć liczbę realizowanych funkcji, ale też by uczyć się w oparciu o interakcje z użytkownikami. Wykorzystanie inteligencji opartej o sieć będzie kształtować przyszłość systemów wbudowanych w wielu sektorach rynku. Niemniej będą istniały kluczowe rynki, które będą napędzały ten rozwój.

Andy Harding, Director of Broad-Based Solutions w firmie Renesas Electronics uważa, że inteligentne domy to jedne z podstawowych aplikacji dla sieciowych systemów wbudowanych, w których będą mogły się uczyć. „Są one podłączone do Internetu oraz do smartfona użytkownika. Stąd system wie, kiedy użytkownik wchodzi i wychodzi z mieszkania. Zna też aktualną prognozę pogody.” Inteligentne domy mogą wykorzystać te informacje by podejmować praktyczne decyzje, np. ustalając kiedy najlepiej uruchomić czy wyłączyć system ogrzewania i tym samym zaoszczędzić całkiem duże kwoty na kosztach energii.

Urządzenia takie jak Google Home reprezentują nową klasę inteligentnych systemów wbudowanych, ale co ciekawe, inteligencja elektroniczna dotrze też do istniejących produktów, które aktualnie mają bardzo prostą budowę. Te zmiany sprawią, że pojawiają się nowe sposoby podejścia do rynku – mówi **Oivind Loe, Senior Manager of**

Strategic Marketing w firmie Silicon Labs. „Oświetlenie to obszar zastosowań, w którym spodziewamy się pojawienia się nowych modeli biznesowych”.

Oświetlenie nowej generacji

Technologia LED sprawiła, że żarówka została wymyślona na nowo – tłumaczy Loe. Z pewnego punktu widzenia stanowi to duże wyzwanie dla producentów oświetlenia, bo aktualnie ludzie nie kupują już tak wielu żarówek. Jest to jednak równocześnie szansa. Dzięki technologiom takim jak Bluetooth czy LiFi, producenci nowych żarówek mogą stać się najważniejszymi elementami rewolucji, jaka odbywa się w odniesieniu do inteligentnych budynków, tak mieszkalnych, jak i użyteczności publicznej. Elektryczna sieć oświetleniowa, dzięki technologiom komunikacji bezprzewodowej, może stanowić bazę dla sieci, która obejmuje swoim zakresem cały budynek i zapewnia dostęp do czujników IoT, niezależnie od tego, gdzie dokładnie są zlokalizowane. Ponadto wytwórcy oświetlenia mogą sięgnąć po nowe modele biznesowe, w ramach których będą świadczyć różnorodne usługi cyfrowe, realizowane na zasadzie subskrypcji i odnoszące się np. do precyzyjnego pozycjonowania lub zapewniania bezpieczeństwa.

„Bardzo ciekawym obszarem zastosowań są też inteligentne miasta. Przykładowo, inteligentne mierniki pozwalają mieszkańcom Wielkiej Brytanii na podejmowanie lepszych decyzji odnośnie zużycia energii, np. wyłączając światła, gdy nikt nie znajduje się w okolicy” – dodaje Loe, zaznaczając, że inteligentne miasta mogą skorzystać z rozpoznawania się sensorów by poprawić bezpieczeństwo publiczne.

Inteligencja sieciowa

Laurent Vera, EMEA Marketing Director w firmie STMicroelectronics mówi, że potencjał do rozwoju nowatorskich systemów wbudowanych widać w trendzie do tworzenia instalacji Przemysłu 4.0. „Fabryki obecnie rozwijają się w bardzo szybkim tempie. Widzę ogromny potencjał tego rynku.”

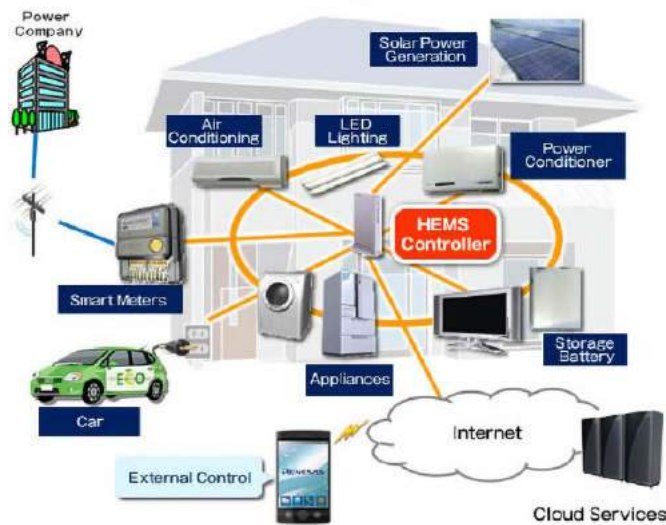
Dla Geoffa Leesa kluczowa jest możliwość wykorzystania inteligencji sieciowej do monitorowania stanu sprzętu przemysłowego w czasie rzeczywistym. Informacje te pozwolą zmniejszyć przestoje produkcyjne poprzez konserwację predykcyjną i zaawansowaną diagnostykę, prowadzoną z wyprzedzeniem. „Ze względu na wysokie koszty wszelkiego rodzaju przerw w działaniu linii produkcyjnych, myślę że liczba różnych diagnostyk, jakie będą prowadzone w ten sposób, będzie faktycznie duża.”

Diagnostyka i usługi realizowane przez sterowniki przemysłowe będą obsługiwane przez znacznie bardziej intuicyjne interfejsy użytkownika, a więc wymagające krótszego szkolenia operatorów. Interfejsy te będą wymagać z takich samych mechanizmów rozpoznawania mowy i ruchu, jakie obecnie pojawiają się w różnych urządzeniach domowych. Dobrymi przykładami tego trendu są systemy takie jak Alexa, Cortana i Google Home. O ile pierwsza generacja urządzeń domowych opartych o rozpoznawanie mowy koncentruje się głównie na inteligentnych głośnikach, technologia ta z czasem na pewno zostanie wykorzystana w wielu innych produktach. Termostaty i pralki staną się znacznie prostsze w użyciu, jeśli wyposażą się je w mechanizmy rozpoznawania mowy.

Sztuczna Inteligencja (AI – *Artificial Intelligence*) nie ogranicza się tylko do interfejsu użytkownika. Podobne technologie będą użyte w urządzeniach przemysłowych, celem rozpoznawania sytuacji, w których możliwe jest pojawienie się usterek.

„Jak dotąd nie widzieliśmy zbyt wielu przykładów użycia uczenia maszynowego w systemach wbudowanych, poza samym rozpoznawaniem głosu lub twarzy.” – mówi Geoff Lees. Ale sytuacja ta powinna się zmienić wraz z popularyzacją wykorzystania heurystyki i uczenia maszynowego. NXP wspiera tę transformację, już od początku obsługując funkcje rozpoznawania głosu.

„Współpraca z wieloma dostawcami usług przetwarzania danych w chmurze pozwoliła nam zapewnić klientom NXP funkcje głosowe,



Rysunek 1. Renesas Smart Home

realizowane z użyciem naszych układów. Pracujemy także nad projektami referencyjnymi, które pomogą tworzyć aplikacje oparte o uczenie maszynowe oraz opracowujemy zestawy deweloperskie wykorzystujące AI. Sztuczna inteligencja stanie się częścią programowania, a nie oddzielną dziedziną. Niemniej może odmienić sposób, w jaki tworzy się oprogramowanie” – mówi Geoff Lees.

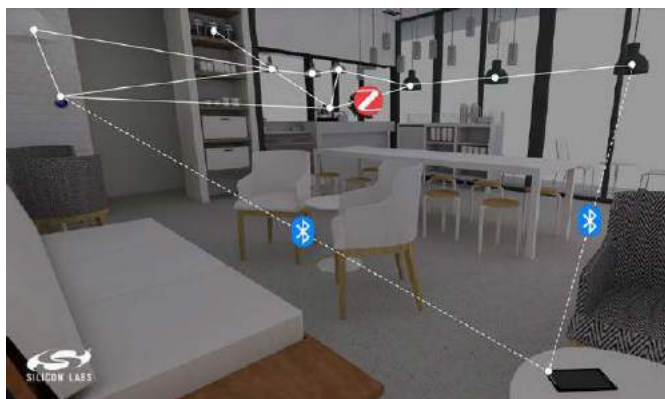
Bezpieczeństwo

Oprócz różnych korzyści, istnieją także potencjalne problemy, wynikające z rosnących możliwości i z dostępności inteligentnych urządzeń sieciowych. **Jack Ogawa, Senior Director of Marketing w dziale mikrokontrolerów w firmie Cypress Semiconductor** mówi: „Teraz, gdy łączność jest wszechobecna, bezpieczeństwo danych i sieci stało się niezwykle ważne.”

Zgadza się z tym Oivind Loe: „W najbliższych pięciu latach będziemy widzieć znaczącą koncentrację uwagi na bezpieczeństwie”. Zaznacza, że będzie bardzo ważne by myśleć o bezpieczeństwie w kontekście całego cyklu życia produktu oraz o tym, jak można wdrożyć odpowiednie rozwiązania w praktyce. „Ważne jest tak samo rozwiązanie techniczne, jak i łatwość jego implementacji.”

Jack Ogawa mówi, że świadomość w temacie bezpieczeństwa musi obejmować układy scalone, firmware i oprogramowanie aplikacyjne, nie tylko lokalne, ale też to umieszczone w chmurze. Co więcej, możliwość programowania urządzeń jest kluczowym wymaganiem, by móc efektywnie instalować systemy.

„Istnieją trzy obszary bezpieczeństwa systemów wbudowanych: zasady działania, kryptografia i bezpieczne przechowywanie zasobów. Zasady (tzw. polityki) są definiowane przez użytkownika,



Rysunek 2. Silicon Labs usprawnia automatyzację domową i budynkową poprzez wprowadzanie komponentów korzystających z wielu bezprzewodowych interfejsów komunikacyjnych jednocześnie

a więc konieczna jest możliwość programowania, by móc je zaimplementować.” Pomocne w zapewnieniu bezpieczeństwa będą również czujniki. „Wiele aktualnie stosowanych zasad bezpieczeństwa opiera się o wieloskładnikową autentykację, np. z użyciem tradycyjnej metody (choćby certyfikatu) i czynnika fizycznego – lokalizacji, bliskości, lub odcisku palca”, wyjaśnia Jack Ogawa.

Wsparcie realizowane przez obwody elektroniczne, sprzętowo przetwarzające operacje kryptograficzne pozwalają zapewnić urządzeniom odpowiednią wydajność, potrzebną do obsługi bezpiecznych funkcji. Ale ogólnie rzecz ujmując, konieczne jest podejście holistyczne. „Byłoby bardzo cenne, gdyby istniał prosty sposób na ocenę bezpieczeństwa urządzenia IoT i wskazanie czynności, które ten poziom mogą podnieść, nie kosztując przy tym zbyt wiele, ani nie zwiększając nadto wymagań co do wydajności podzespołów” – zaznacza Jack Ogawa.

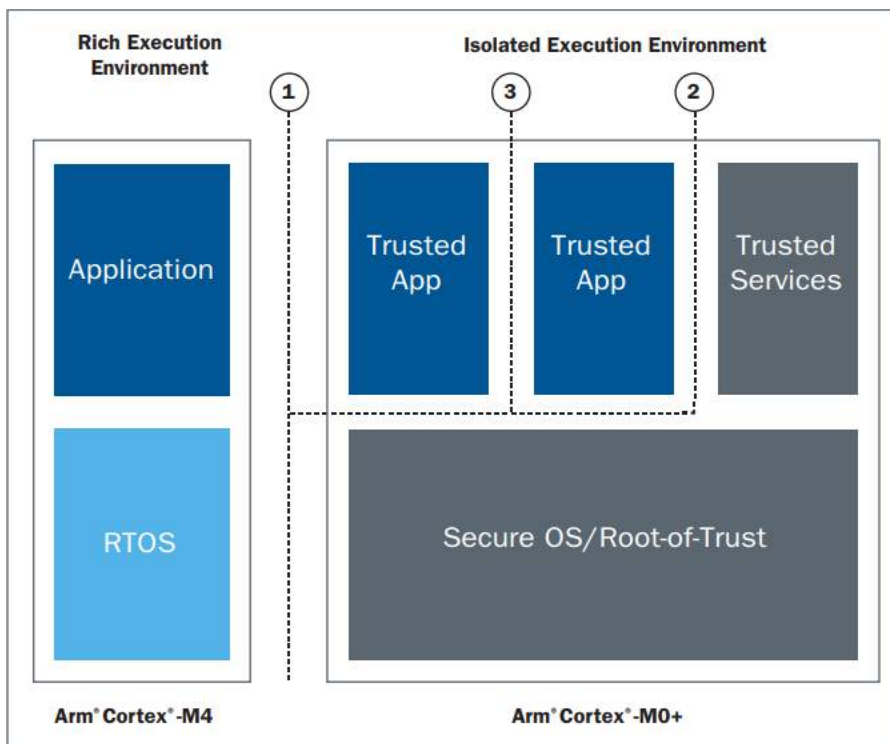
Geoff Lees twierdzi, że bardzo ważna będzie standaryzacja. „To problem całej branży: indywidualni producenci nie poradzą sobie sami. Potrzebna jest też certyfikacja.”

Zapotrzebowanie na energię

Wraz z wzrostem liczby funkcji realizowanych przez urządzenia z systemami wbudowanymi, ich zapotrzebowanie na energię generalnie zwiększa się, a co pewne – staje się bardziej skomplikowane w swej naturze. Przykładowo, przetwarzanie mowy musi zostać odpowiednio podzielone tak, by kod algorytmu sztucznej inteligencji, który wymaga bardzo dużej mocy obliczeniowej, nie próbował analizować ciszy ani szumu, generowanego przez różne urządzenia domowe. Ważne jest też, by zapewnić pewien poziom świadomego kontrolowania urządzenia przez użytkowników, ponieważ nie chcą oni by główny procesor systemu cały czas słuchał wszystkiego, co mówią. Komendy takie jak „Alexa” lub „OK Google” są często rozpoznawane za pomocą układu o małej mocy i wydajności, pozwalając tym samym pozostałym procesorom na pozostanie w trybie uśpienia by zaoszczędzić energię.

Geoff Lees mówi: „W dzisiejszych czasach mały pobór mocy musi być zaimplementowany w urządzeniach od samego początku – to niezbędna cecha. Ale jednocześnie trzeba spełnić szereg celów wydajnościowych. Dla każdego z nich da się znaleźć taki, wystarczający poziom niskiej mocy, który da się osiągnąć. W tym celu stosujemy techniki projektowania, używane dla wszystkich naszych rodzin produktów i w efekcie otrzymujemy odpowiednio zbalansowane cechy układów.”

Skoncentrowanie się na osiągnięciu bardzo niskiego poboru mocy pozwoli na stworzenie urządzeń, które będą pobierały energię z otoczenia, zaspokajając tym samym wszelkie własne potrzeby energetyczne – dodaje Geoff Lees. Systemy te będą korzystać z bardzo precyzyjnie dostrojonych mechanizmów oszczędzania energii, by



Rysunek 3. Trójwarstwowy, sprzętowy mechanizm izolacji bezpieczeństwa, stosowany w układach z rodziny PSoc 6

mieć pewność, że nie zużywają jej ani trochę więcej, niż absolutne minimum, jakie jest potrzebne do realizacji ich zadań.

Większa złożoność algorytmów przetwarzania, realizowanych w urządzeniach wbudowanych przyszłości, wcale nie musi się przekładać na podwyższoną trudność programowania. Dostawcy bardzo starają się poszerzyć swoją bazę użytkowników właśnie poprzez upraszczanie programowania ich komponentów.

„Chciałbym oferować narzędzia, które pozwoliłyby programować nasze komponenty każdemu, bez potrzeby wcześniejszej nauki języków programowania, takich jak C i C++” – mówi Laurent Vera.

Producenci już teraz czynią tworzenie kodu łatwiejszym, a to za sprawą wykorzystania mocy chmury. Sprawiają, że nie trzeba kupować licencji, instalować oprogramowania na lokalnych komputerach, ani prowadzić czasochłonnych konfiguracji. Zamiast tego programiści mogą po prostu wywołać usługę w chmurze. Ten łatwiejszy dostęp do środowisk programistycznych, wraz z bardziej zaawansowanym sprzętem i algorytmami sztucznej inteligencji, pozwoli otworzyć nowe rynki.

Geoff Loe podsumowuje: „Widzimy dopiero sam wierzchołek góry lodowej tego, co da się zrealizować. W ciągu następnych dziesięciu lat będziemy mieli okazję zobaczyć rzeczy, jakich teraz sobie nawet nie umiemy wyobrazić. Potencjał jest bardzo duży: większa wygoda i wartość dla klientów oraz lepszy zwrot z inwestycji w aplikacje przemysłowe.”

Cliff Ortmeier

Global Head of Technical Marketing w firmie Farnell

*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 Krzykowski, tel. 22 257 84 60**, e-mail: grzegorz.krzykowski@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 2019 łącznie PC/Mac) z próbnym wydrukiem. Małe reklamy mogą być przygotowane w redakcji (gratis) na podstawie odręcznego 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

www.delta.poznan.pl



► APTI-54C4-2812WP

Wielkość matrycy: 5 Mpx (Sony Starvis)
Obiektyw: 2,8 - 12 mm (kąt widzenia 86° - 24°)
Rozdzielczość: 2592 x 1944 (5 Mpx)
Zasięg oświetlacza 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



► APTI-84C6-3611WP-Z

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



► APTI-54VA3-2812P

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

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

Magnesy neodymowe oraz ferrytowe
Ceny od 1.10zł

Przełączniki klawiszowe wodoodporne/pyluszczalne
Ceny od 2.40zł

Druty oporowe od 0.16 do 0.51mm
Ceny od 5.70zł

Przewodniki do przewodów
Ceny od 11.00zł

Kostki elektryczne zaciskowe
Ceny od 0.22zł

Szczetki węglowe do elektromaszyn
Ceny od 2.60zł/kpl

Przełączniki do elektronarzędzi zwykłe i elektromagnetyczne
Ceny od 7.00zł

Podkładki/organizery
Ceny od 0.95zł

Złącza termistyczne Superseal
Ceny od 1.10zł/kpl

Zestawy śrubek M2, M3 z nakrętkami i podkładkami
Ceny od 2.50zł

Uwaga!!! 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, przełączniki, elementy akustyczne, rezystory, kondensatory, kwarce, podstawki, moduły Arduino
Zapraszamy do kontaktu: INFO@aksotronik.com.pl, tel: (22) 783-20-51

www.ep.com.pl

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

ELMAX 1988

OBWODY DRUKOWANE
Produkcja, Projektowanie, Montaż

Certyfikat Underwriters Laboratories
UL 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

QR code

Płytki jednostronne

Płytki dwustronne

Płytki na podłożu aluminium

Płytki czolowe 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

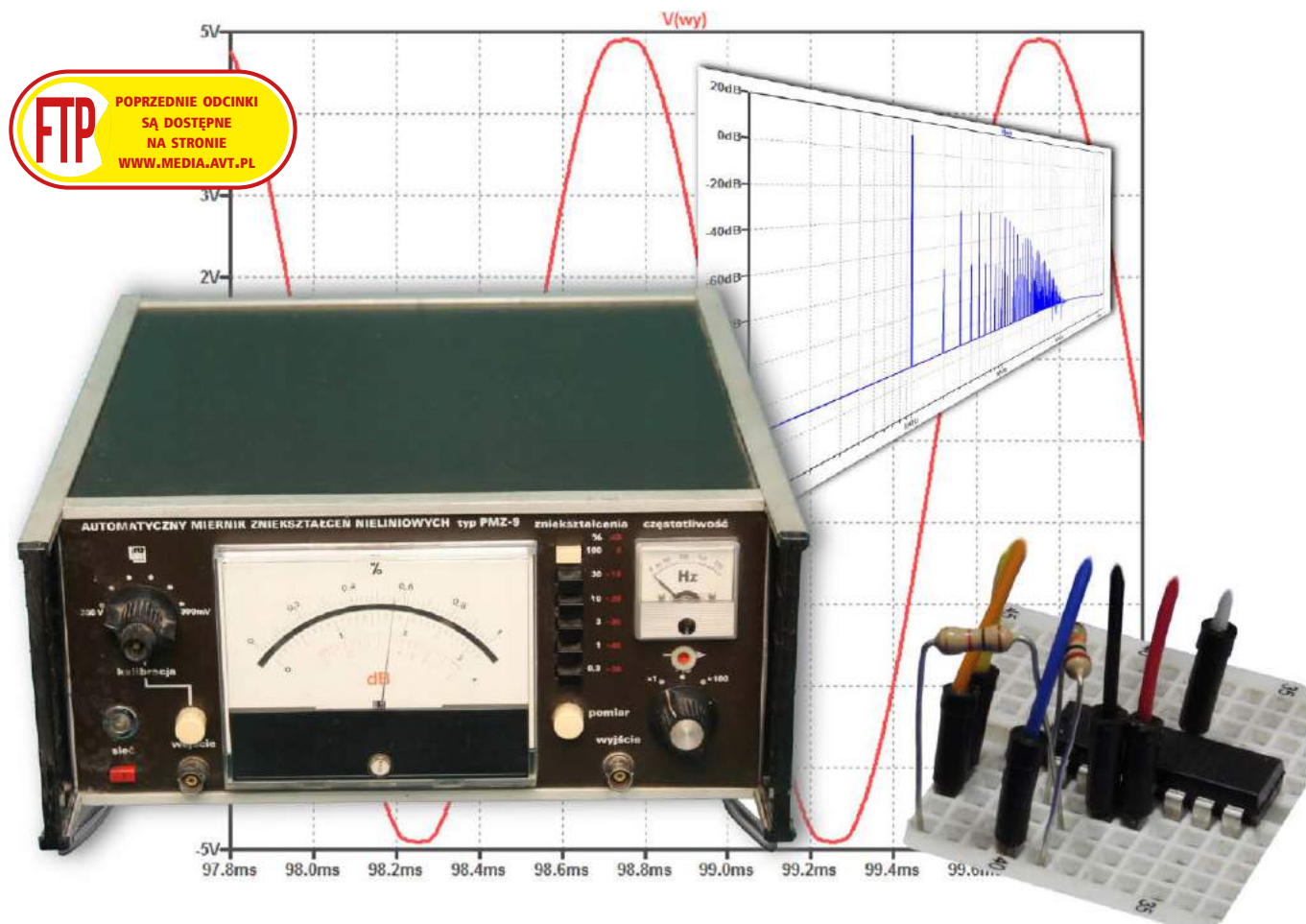
Wykonania super expresowe

Pokrycie Sn lub SnPb inne na życzenie

Maski, opisy montażowe w różnych kolorach

KITY AVT

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



Symulacja i pomiar czyli LTspice i Analog Discovery 2 w rękach konstruktora (8)

Harmoniczne

Termin „harmoniczne” jest dobrze znany każdemu elektrykowi, elektrykowi czy akustykowi. Jedni cieszą się z powodu ich istnienia, innym spędzają sen z powiek. Bezpośredni pomiar harmonicznym jest dość trudnym wyzwaniem dla konstruktorów aparatury pomiarowej, ale osiągnięcia XVIII-wiecznych naukowców okazują się skuteczne nawet dziś. Co my byśmy bez nich zrobili?

Człowiekiem, któremu w dużej mierze zawdzięczamy dzisiejszą wiedzę o harmonicznym jest fizyk i matematyk Jean Baptiste Joseph Fourier (21.03.1768 - 16.05.1830, **fotografia 1**). Nie jest to zresztą pierwsza

okazja do wspomnienia tego naukowca. Za życia nie mógł zdawać sobie sprawy z tego, jak wielkie będą kiedyś jego zasługi w dziedzinie, która w jego czasach jeszcze nie istniała. Opracowaną przez siebie teorię związaną z szeregiami wykorzystywał w badaniach nad przewodzeniem ciepła. Do Fouriera jeszcze wrócimy

Definicje

Zanim przystąpimy do symulacji i pomiarów poznamy definicje i znaczenia niektórych terminów. Zaczniemy od podstaw, czyli wyjaśnienia co to są harmoniczne. Założmy, że rozpatrujemy jakiś sygnał w dziedzinie częstotliwości. Jeśli w jego widmie występują składowe o całkowitych wielokrotnościach częstotliwości podstawowej,



Fotografia 1. Jean Baptiste Joseph Fourier

to nazywamy je harmonicznymi. Załóżmy, że analizujemy sygnał, w którym występują składowe np.: 100 Hz, 300 Hz i 500 Hz. Mówimy, że sygnał o częstotliwości podstawowej 100 Hz ma harmoniczne 300 Hz i 500 Hz, a więc są to harmoniczne: 3. i 5. Gdyby w widmie pojawiła się jakaś składowa o częstotliwości np. 217 Hz, to nie byłaby harmoniczną rozpatrywanego sygnału.

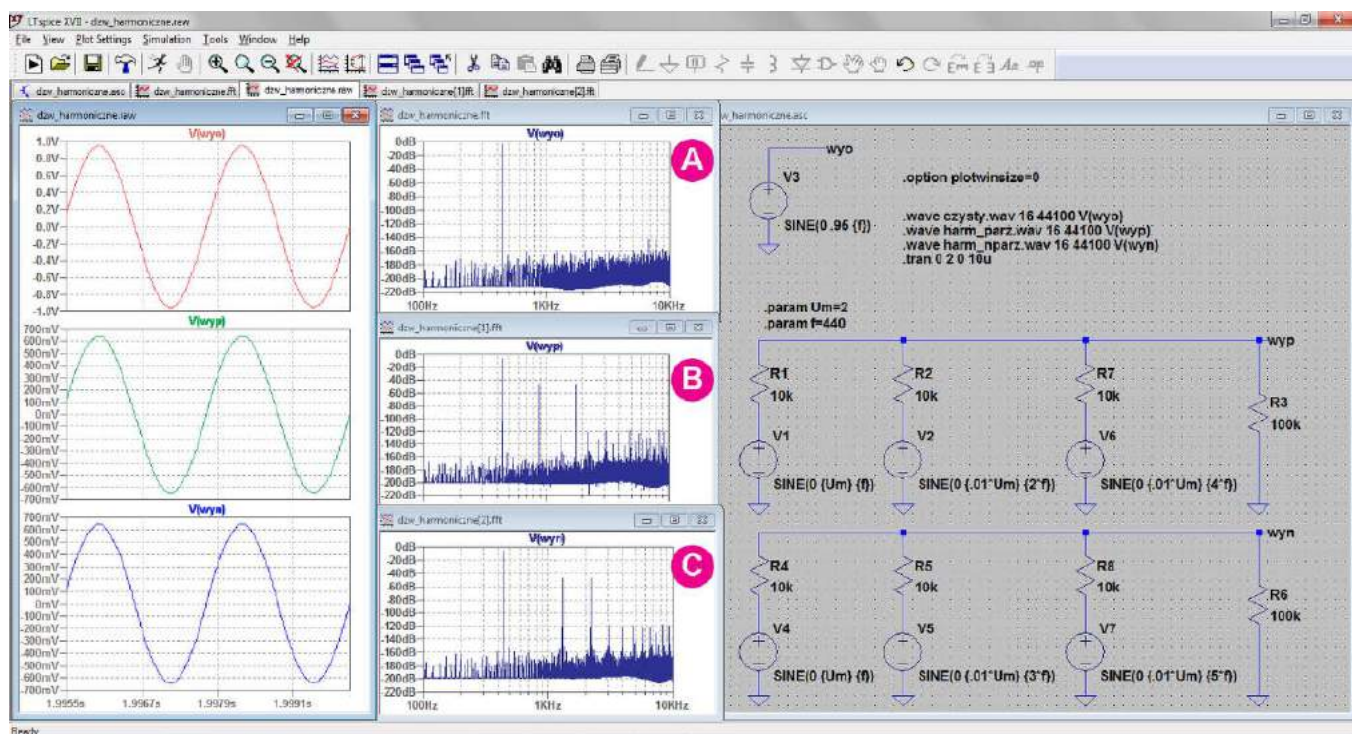
W kontekście harmonicznym często mówimy o zniekształceniach nieliniowych. Można więc odnieść wrażenie, że jest to parametr raczej niepożądany. Czy tak jest na pewno? Wróćmy do rozważań Fouriera. Doprowadziły one do wniosku, że każdy przebieg okresowy można złożyć z przebiegów sinusoidalnych o odpowiednio dobranych amplitudach i częstotliwościach harmonicznym. Naturalne jest więc, że sygnały prostokątne, piłokształtne czy większość innych występujących w naszym otoczeniu będą zawierały harmoniczne. Co więcej, gdyby ich nie miały, byłyby zniekształcone, gdyż ich istota polega właśnie na zawieraniu harmonicznym. W technice stosowany jest

termin „sygnały odkształcone” określający przebiegi okresowe inne niż sinusoidalne. Zwróćmy uwagę na to, że nazywamy je odkształconymi, nie zniekształconymi. W pewnych sytuacjach, o których jeszcze będzie mowa, przebiegi odkształcone mogą ulec zniekształceniu, i wtedy zaczynają się prawdziwe problemy.

Bez harmonicznym nie istniałaby muzyka. Zaręczam, że słuchanie muzyki np. tworzonej przez syntezatory generujące dźwięki będące idealnymi sinusoidami na dłuższą metę byłoby nie do zniesienia. To właśnie harmoniczne nadają barwę dźwiękom, sprawiają że różniamy poszczególne instrumenty i nasze własne głosy. To właśnie, jak twierdzą audiofile, parzyste harmoniczne wnoszone przez wzmacniacze lampowe decydują o ich miękkim i przyjemnym dla ucha brzmieniu. Zauważmy, że parzyste harmoniczne oznaczają wprowadzanie dźwięków przesuniętych o oktawę i jej wielokrotność w stosunku do dźwięku podstawowego. Z czysto muzycznego punktu widzenia dźwięki przesunięte o oktawę nie brzmią fałszywie, nie tworzą dysonansów. Może właśnie na tym polega magia wzmacniaczy lampowych.

Aby przekonać się jak osobiście odczuwamy obecność harmonicznym w odsłuchiwanym dźwiękach wykonamy symulację, w której wygenerujemy ton a-razkreślne (440 Hz), do którego są strojone instrumenty w orkiestrach symfonicznych. Dodamy też dwa identyczne generatory, których dźwięki zostaną wzbogacone o dwie harmoniczne. W pierwszym przypadku będą to harmoniczne 2. i 4. o amplitudach równych 1% amplitudy dźwięku podstawowego, w drugim będą to harmoniczne 3. i 5. o takich samych amplitudach jak dla harmonicznym parzystych. Harmoniczne parzyste są sumowane z sygnałem podstawowym na rezystorze R3, a kompletny przebieg jest wyprowadzony na wyjście „wyp”. Dla harmonicznym nieparzystych są to odpowiednio rezystor R5 i wyjście „wyn”. Czysty przebieg jest dostępny na wyjściu „wyo” (rysunek 1). W trakcie symulacji tworzone są pliki dźwiękowe: *czysty.wav*, *harm_nparz.wav* i *harm_parz.wav*, które można odsłuchać po zakończeniu symulacji. Pliki te wraz z plikiem symulacji (*dzw_harmoniczne.asc*) są dostępne w materiałach dodatkowych do artykułu.

Do widocznych na rysunku w wykresów czasowych dodano wykresy FFT przedstawiające widmo każdego z trzech sygnałów. Wykres taki jest tworzony przez kliknięcie prawym przyciskiem myszki na danym wykresie czasowym i wybraniu opcji: *View* → *FFT*. Przyjmujemy



Rysunek 1. Sygnał 440 Hz a) czysty, b) z harmonicznymi 2. i 4., c) z harmonicznymi 3. i 5.

parametry domyślne proponowane przez symulator. Uruchamiając symulację czasową, TRAN z jej domyślnymi parametrami może okazać się, że widmo będzie miało wysoko umieszczoną podłogę szumów, pojawiają się w nim ponadto składniki, których raczej być nie powinno (**rysunek 2**). Artefakty te powstają w wyniku algorytmów obliczania szybkiej transformaty Fouriera, liczby punktów branych do analizy, zastosowanych okien itp. Istnieje kilka środków poprawiających wynik analizy FFT. Pierwszym z nich jest skrócenie parametru Maximum Timestep instrukcji TRAN. Optymalną wartość tego parametru można ustalić metodą prób, pamiętajmy jednak, że wpływa on znacząco na całkowity czas symulacji. Drugim środkiem poprawiającym jakość wykresu FFT jest zablokowanie kompresowania punktów wyświetlanych w oknie FFT. W tym celu w dogodnym miejscu na schemacie należy umieścić komendę:

```
.option plotwinsize=0
```

Można jednak zastanawiać się jak daleko podobne optymalizacje mają sens? Czy na przykład potrafilibyśmy określić podłogę szumu w jakimś urządzeniu jeśli byłaby ona poniżej powiedzmy 120 dB, a nawet wyżej? Gdyby jednak z jakichś powodów zależało nam na uzyskaniu wyników o jak największej dokładności, można wykonać jeszcze jeden zabieg polegający na zwiększeniu precyzji obliczeń wykonywanych przez procesor komputera. Wpisując poniższą komendę uzyskujemy podwójną precyzję takich obliczeń:

```
.option numdgt=7
```

Na harmoniczne zupełnie inne spojrzenie mają energetycy, dla których stanowią one istny ból głowy. Jak wiemy, napięcie w naszych gniazdkach elektrycznych teoretycznie ma kształt sinusoidy. Osiągnięcie takiego ideału jest w większości przypadków praktycznie niemożliwe, ale zarówno dostawcy, jak i odbiorcy energii powinni podejmować działania ograniczające wprowadzanie do sieci zakłóceń ujawniających się jako harmoniczne 50 Hz. Mogą być one przyczyną zakłóceń pracy innych urządzeń elektrycznych, a nawet powodować ich uszkodzenia. Istnieją normy określające dopuszczalne poziomy poszczególnych harmonicznych do 40. włącznie.

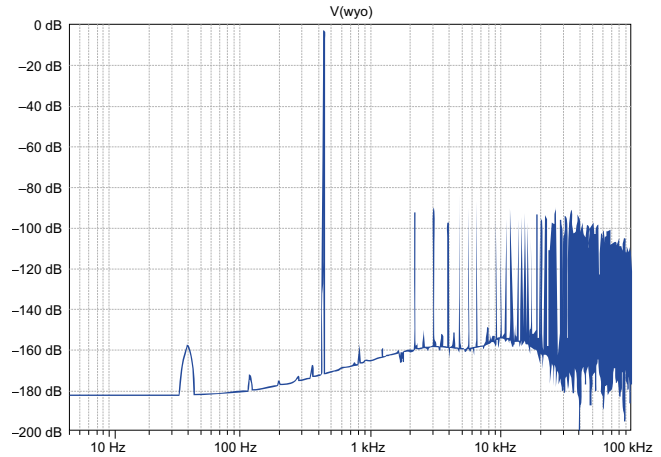
Wróćmy jeszcze do definicji. Podstawowym parametrem określającym zawartość harmonicznych w sygnale jest współczynnik zawartości harmonicznych (zniekształceń nieliniowych). W praktyce spotykamy najczęściej jego angielską nazwę: *Total Harmonic Distortion* – THD. No i tu ujawniają się prawa Murphy'ego. Jedno z nich mówi, że jeśli gdzieś może wystąpić jakiś problem, to na pewno wystąpi. W tym przypadku problemem jest sama definicja. Jedna z nich określa współczynnik zawartości harmonicznych jako stosunek wartości skutecznych harmonicznych (bez częstotliwości podstawowej) do wszystkich składowych z częstotliwością podstawową włącznie. Tak definiowany współczynnik THD wyrażany jest zatem zależnością:

$$THD_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=2}^{\infty} U_i^2}{\sum_{i=1}^{\infty} U_i^2}} \cdot 100\% = \sqrt{\frac{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 \dots}{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 \dots}} \cdot 100\%$$

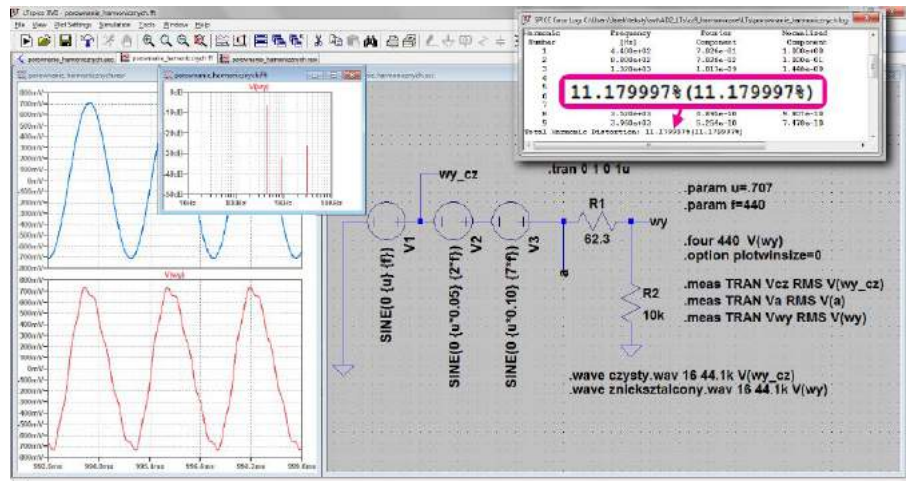
Często dla podkreślenia tak sformułowanej definicji, do oznaczenia THD dodawany jest indeks r. Inna definicja, spotykana znacznie częściej, odnosi stosunek wartości skutecznych samych harmonicznych (bez częstotliwości podstawowej) do składowej o częstotliwości podstawowej. Do tak zdefiniowanego współczynnika dopisywany jest zwykle indeks F:

$$THD_F = \sqrt{\frac{\sum_{i=2}^{\infty} U_i^2}{U_1^2}} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} U_i^2}}{U_1} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 \dots}}{U_1} \cdot 100\%$$

(1)



Rysunek 2. Widmo sygnału utworzone z domyślnymi parametrami LTspice



Rysunek 3. Sygnał 440 Hz z dodaną harmoniczną 2. i 7. o różnych poziomach

Występujący w powyższych wyrażeniach parametr określający górną granicę sumowania jest równy nieskończoności, co jest zgodne z definicją, lecz trudne do spełnienia w praktyce, szczególnie w aplikacjach, w których parametr ten jest obliczany numerycznie. W programie LTspice THD_r jest obliczany poleceniem:

```
.four <częstotliwość> [liczba_harmoniczych] [liczba_okresów] <węzeł_badany1> [<węzeł_badany3> ...]
```

Domyślna liczba harmonicznych jest równa 9. Jeśli chcemy uwzględnić ich więcej (lub mniej), parametr *liczba_harmoniczych* musi być podany.

Wrażenia subiektywne

Współczynnik zawartości harmonicznych jest parametrem często podawanym w danych technicznych urządzeń akustycznych, ale czy na pewno dobrze oddaje jakość urządzenia? Rozpatrzmy sygnał, w którym składowa o częstotliwości podstawowej ma amplitudę U_m . Niech sygnał ten w pierwszym przypadku zawiera 2. harmoniczną o amplitudzie 5% U_m i 7. harmoniczną o amplitudzie 10% U_m . W następnym kroku zamienimy amplitudy: 2. harmoniczna będzie miała amplitudę 10% U_m , a 7. harmoniczna 5% U_m . Zawartość harmonicznych jest taka sama w obu przypadkach i równa ok. 11,2%. Wygenerujmy te sygnały w celu odsłuchania i porównania. Najpierw zrobimy to w symulatorze. Na **rysunku 3** pokazano schemat układu testowego. Źródło napięciowe V1 generuje składową podstawową o częstotliwości 440 Hz i amplitudzie 0,707 V. Harmoniczne są generowane przez źródła V2 (druga) i V3 (siódma). Sygnały akustyczne są tworzone znaną już instrukcją .WAVE. Zawsze generujemy ton o częstotliwości podstawowej, który jest dostępny na wyjściu „wy_cz”, natomiast sygnał z harmonicznymi występuje na wyjściu „wy”. Dzielnik napięciowy

R1 i R2 dobrano tak, aby napięcie skuteczne sygnału zawierającego harmoniczne było takie samo jak sygnału bez harmonicznych. Poziomy napięć są mierzone instrukcjami .MEAS. Na wykresach czasowych przedstawiono przebieg oryginalny i zniekształcony, dodatkowo dodano wykres widma. Do zmierzenia współczynnika THD zastosowano instrukcję .FOUR. Jej wyniki oglądamy w oknie „SPICE Error Log” i jak widać są one zgodne z przewidywanymi teoretycznie, obliczonymi z zależności (1). W oknie wyników dostrzegamy jeszcze jedną wartość podaną w nawiasie. Jest to też parametr często podawany w specyfikacjach technicznych, w którym do wartości skutecznych wszystkich harmonicznich dodawane jest skuteczne napięcie szumów. Wszystko jest odnoszone do napięcia skutecznego częstotliwości podstawowej. Współczynnik ten jest oznaczany THD+N i jest opisany wzorem:

$$THD_F + N = \sqrt{\frac{U_n^2 + \sum_{i=2}^{\infty} U_i^2}{U_1^2}} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{U_n^2 + \sum_{i=2}^{\infty} U_i^2}}{U_1} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{U_n^2 + U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}}{U_1} \cdot 100\%$$

w którym U_n jest skutecznym napięciem szumu w paśmie pomiaru (pamiętajmy, że szum zależy od pasma).

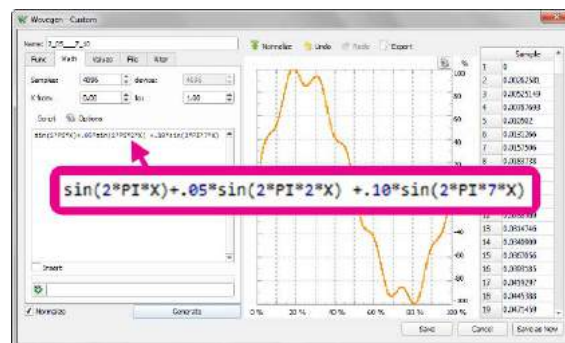
W wyniku symulacji na dysku zostają zapisane pliki *czysty.wav* i *zniekształcony.wav*. Drugiemu z nich warto zmienić nazwę, np. na *zniekształcony_2_10__7_5.wav*, co oznacza, że jest to przypadek dla amplitudy 2. harmonicznnej równej 10% U_m i 7. harmonicznnej 5% U_m . Następnie we właściwościach źródeł V2 i V3 zmieniamy amplitudy odpowiednio na: {u*0,10} i {u*0,05} i powtarzamy symulację. Tym razem w pliku *zniekształcony.wav* mamy sygnał z tak ustawionymi amplitudami. Współczynnik zawartości oczywiście się nie zmienia, czy nie zmienia się też subiektywne wrażenia odsłuchu? Pozostawiam do oceny Czytelnikom.

Podobną ocenę przeprowadzimy teraz odsłuchując sygnały generowane przez Analog Discovery 2. Użyjemy do tego pierwszego kanału generatora arbitralnego. Powstaje pytanie, jak zmusić urządzenie do tego, by generowało dokładnie takie same przebiegi jak w symulacji? W tym celu wybieramy tryb pracy generatora „Custom” i przystępujemy do definiowania własnego przebiegu naciskając ikonkę „New”. Otwiera się okno edytora przebiegu, w którym wybieramy zakładkę „Math”, co oznacza, że przebieg utworzymy opisując go wyrażeniem matematycznym (**rysunek 4**). Wyrażenie to ma postać:

$$\sin(2\pi X) + .05\sin(2\pi X^2) + .10\sin(2\pi X^7)$$

Mamy w nim 3 składniki opisujące kolejno: składową podstawową, 2. harmoniczną i 7. harmoniczną. Tak opisany przebieg zostanie utworzony po naciśnięciu przycisku ekranowego *Generate*, w wyniku czego w oknie edytora pojawia się jego wykres. W polu „Name” wprowadzamy nazwę, np. *2_05__7_10* i zapisujemy w nowym pliku (*Save as New*). Analogicznie postępujemy z drugim przebiegiem, w którym zamieniamy wartości amplitud składowych harmonicznnych. Po wygenerowaniu zapisujemy jako nowy pod nazwą np. *2_10__7_05*. Podobnie możemy utworzyć czysty przebieg bez harmonicznnych, albo użyć standardowego przebiegu sinusoidalnego o odpowiednio dobranych parametrach. Aby zachować zgodność z symulacją wybieramy częstotliwość 440 Hz i amplitudę 645 mV.

Wszystko jest już gotowe, możemy przystąpić do odsłuchu. Warto przy tym zapewnić sobie możliwość oglądania przebiegów na ekranie oscyloskopu. W tym celu wystarczy połączyć wyjście generatora (W1) z wejściem 1. kanału oscyloskopu (1+). Druga końcówka wejścia różnicowego (1-) powinna



Rysunek 4. Definiowanie przebiegu zawierającego złożone harmoniczne w generatorze arbitralnym Analog Discovery 2

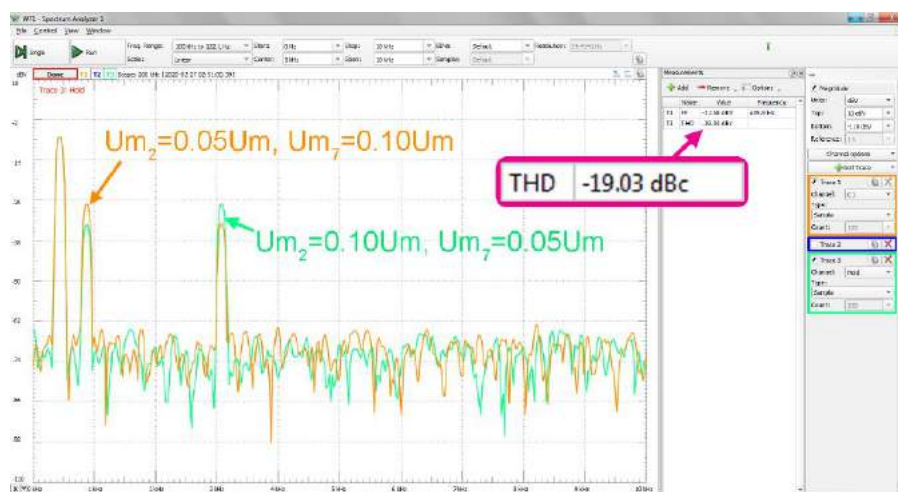
być dołączona do masy. Po upewnieniu się, że przebieg przypomina swym kształtem ten z symulacji korzystne będzie uruchomienie narzędzia Spectrum. Pozwoli ono dokładnie obejrzeć widmo sygnału oraz zmierzyć parametr THD (**rysunek 5**). Aby wykres widma był dobrze widoczny wybieramy parametr *Frq Range*=100 kHz to 122.1 Hz i zakres częstotliwości: *Start*=0, *Stop*=10 kHz. Współczynnik zawartości harmonicznnych uzyskamy po wybraniu opcji: *View* → *Measurements*, a następnie *Add* → *Trace1* → *Dynamic* → *THD*. Jak widać na rysunku 5 zmierzony parametr THD osiągnął wartość –19,03 dBc, gdy tymczasem LTspice podawał ją w procentach. Do przeliczenia decybeli na procenty korzystamy z zależności:

$$THD_F [\%] = 10^{\frac{THD_F [dB]}{20}} \cdot 100\% \quad (2)$$

$THD_F = -19,03$ dBc odpowiada więc $THD_F = 11,2\%$, co jest zgodne z symulacją. Przebiegi odsłuchujemy w słuchawkach dołączonych bezpośrednio do gniazda słuchawkowego Analog Discovery 2.

Istota powstawania harmonicznnych

Zniekształcenia harmonicznne inaczej zwane nieliniowymi powstają w wyniku przetwarzania sygnału przez elementy o charakterystyce nieliniowej. Zasadę powstawania zniekształceń przedstawiono na **rysunku 6**. Widzimy na nim charakterystykę elementu wzmacniającego (np. tranzystora lub lampy) z zaznaczono punktem pracy „PP”. Jest on ustawiony na pograniczu odcinka, który można w przybliżeniu uznać za liniowy (A) i kolana charakterystyki (B). Taki dobór punktu pracy powoduje, że wzmacniony sygnał wyjściowy (krzywa zielona) jest bardzo zniekształcony. Przedstawiony tu przypadek jest mocno przerysowany. Zabieg ten zastosowano, aby wyraźnie zilustrować mechanizm powstawania zniekształceń. Jak widać, górna połówka sinusoidy wzmacniana na liniowym odcinku charakterystyki pozostaje prawie niezniekształcona, dolna natomiast uległa znacznej deformacji. Przebieg wyjściowy nie jest więc już sinusoidą, a jedynie



Rysunek 5. Pomiary z zastosowaniem narzędzia Spectrum Analog Discovery 2

przebiegiem odkształconym. Z teorii Fouriera wiemy, że muszą pojawić się w nim harmoniczne.

Powyższy przykład ilustruje mechanizm powstawania zniekształceń nieliniowych. W tym miejscu można zadać pytanie, jaki jest sens podawania parametru THD np. dla wzmacniaczy akustycznych, skoro prawie nigdy nie wzmacniają czystych sygnałów sinusoidalnych. Trzeba jednak mieć na uwadze, że zniekształcenia nieliniowe powstają niezależnie od tego czy sygnałem wejściowym jest sinusoida czy dowolny inny przebieg – mechanizm pozostaje ten sam. Zatem skoro w efekcie zniekształceń nieliniowych jest dodanie do sygnału harmonicznym, to te harmoniczne dodane do sygnału akustycznego zmieniają subiektywne odbieranie barwy dźwięku.

Pozostając w tematyce akustycznej powstaje pytanie, jaki poziom zniekształceń harmonicznym jesteśmy w stanie tolerować, czyli traktować tak, że nie zmienia subiektywnie odczuwanej barwy dźwięku. Audiofile będą walczyć o każdy ułamek procenta, twierdząc że go słyszą, gdy tymczasem popularna niegdyś norma HiFi dopuszczała aż 1%. Obecnie produkowane wzmacniacze wyższej klasy osiągają THD rzędu 0,001%.

Przesterowanie

Jeżeli założymy, że odcinek A charakterystyki przedstawionej na rysunku 6 jest liniowy i przesunęlibyśmy punkt pracy PP nieco wyżej, to przy podaniu na wejście sygnału sinusoidalnego o niewielkim napięciu uzyskalibyśmy na wyjściu sygnał niezniszczony, a więc nie zawierający harmonicznym. Istnieje jednak niebezpieczeństwo, że zwiększając napięcie wejściowe wejdziemy w strefę kolana charakterystyki (B), co jak już wiemy powoduje zniekształcenie sygnału wyjściowego i wzrost zawartości harmonicznym. Ale nawet gdy napięcie wejściowe mieści się w liniowym zakresie charakterystyki, to przy odpowiednio dużym wzmocnieniu wzmacniacza lub dużym napięciu wejściowym może dojść do jego przesterowania. Napięcie wyjściowe, które teoretycznie jest równe iloczynowi napięcia wejściowego i wzmocnienia nie może jednak rosnąć do nieskończoności.

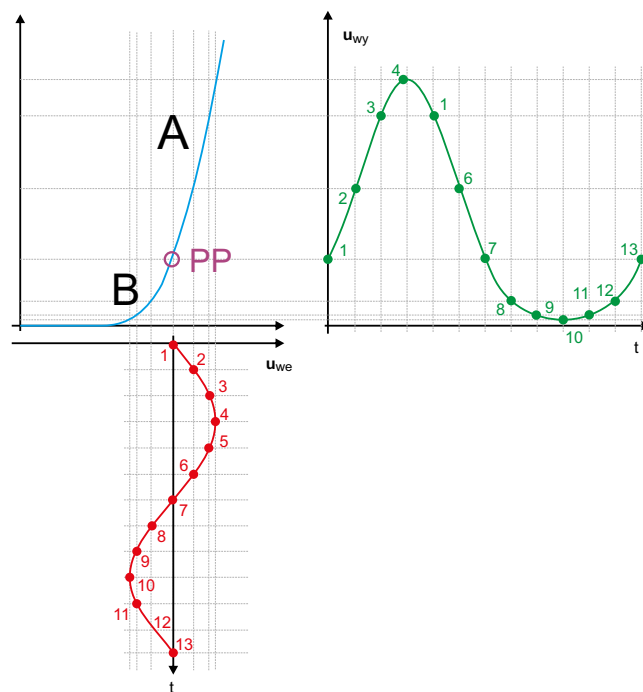
Barierę wyznacza napięcie zasilające. W stanie przesterowania górne lub dolne fragmenty sygnału (lub oba jednocześnie) są obcinane. Na oscyloskopie efekt ten będzie widoczny, ale harmoniczne zaczną szybko rosnąć zanim zauważymy obcinanie przebiegu. Czy jest jakaś metoda, która pozwoliłaby wykryć krytyczny moment, w którym harmoniczne zaczynają gwałtownie rosnąć? Okazuje się, że jest, i to niewiarygodnie wręcz skuteczna.

Rozważmy układ z **rysunku 7**. Jest to wzmacniacz odwracający o wzmocnieniu 10 V/V zasilany symetrycznym napięciem ± 5 V. Teoretycznie, gdyby wzmacniacz był idealny, napięcie wyjściowe mogłoby osiągać wartość 10 Vpp (amplituda 5 V), co odpowiadałoby napięciu wejściowemu 1 Vpp. Zastosowany wzmacniacz OP491 jest typu *rail-to-rail*, jednak nawet dla takiego wzmacniacza potrzebny jest pewien margines napięcia od góry i od dołu. Sprawdźmy najpierw w przybliżeniu jakie maksymalne napięcie wejściowe można podać, aby nie przesterować wzmacniacza. Źródło sygnału wejściowego będzie generowało przebieg sinusoidalny o częstotliwości 1 kHz i amplitudzie {um} zadanej parametrycznie. Zakres zmian jest określony instrukcją:

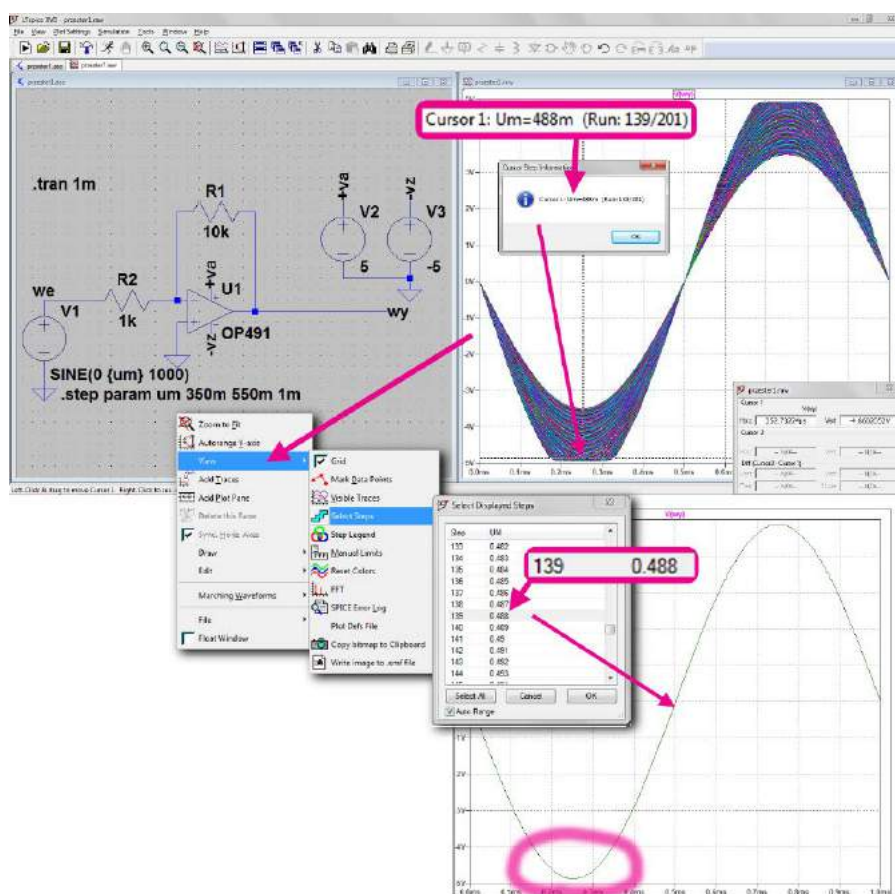
.step param um 350m 550m 1m

co oznacza, że amplituda będzie się zmieniała od 350 mV do 550 mV co 1 mV. Pamiętajmy,

że w symulatorze podajemy amplitudę, nie wartość międzyszczytową. Zastosujemy symulację .TRAN 1m, która obejmie dokładne jeden okres przebiegu. W celu określenia maksymalnej amplitudy wejściowej ustawiamy kursor na wykresie w pozycji minimum sygnału, naciskamy prawy przycisk myszki i używając kursorów „góra”, „dół” wybieramy ten przebieg, który wydaje się pierwszym zniekształconym. Nie jest to zadanie łatwe, a odpowiedź nie jest jednoznaczna i przesądająca. Według mnie krytyczna amplituda to ok. 488 mV. Aby zobaczyć jak wygląda przebieg odpowiadający $U_{we}=488$ mV możemy



Rysunek 6. Ilustracja zasady powstawania zniekształceń nieliniowych



Rysunek 7. Obserwacja przesterowania wzmacniacza w symulatorze LTSpice

go wyodrębnić klikając prawym przyciskiem myszki na wykresie, a następnie wybrać opcje: View → Select Steps i z wyświetlonego zestawu zaznaczyć pozycję odpowiadającą 488 mV. Na wykresie pozostanie tylko jedna sinusoida, której można dokładniej się przyjrzeć. Dostrzegamy minimalne zniekształcenie dolnego fragmentu przebiegu, w samym minimum, ale jest ono bardzo subtelne.

Znacznie dokładniejsze wskazanie otrzymamy, gdy po wcześniejszym przywróceniu wyświetlania wszystkich pozycji zmienimy wykres czasowy $V(wy)$ na $V(wy)+10 \cdot V(we)$. Wystarczy kliknąć prawym przyciskiem myszki na górny opis wykresu („ $V(wy)$ ”) i wpisać powyższą formułę (rysunek 8). W ten sposób uzyskujemy możliwość obserwowania różnicy między sygnałem wyjściowym a wzmacnionym sygnałem wejściowym. Znak „plus” zamiast minusa wynika z tego, że analizujemy wzmacniacz odwracający opisany zależnością:

$$U_{wy} = -U_{we} \cdot k_u,$$

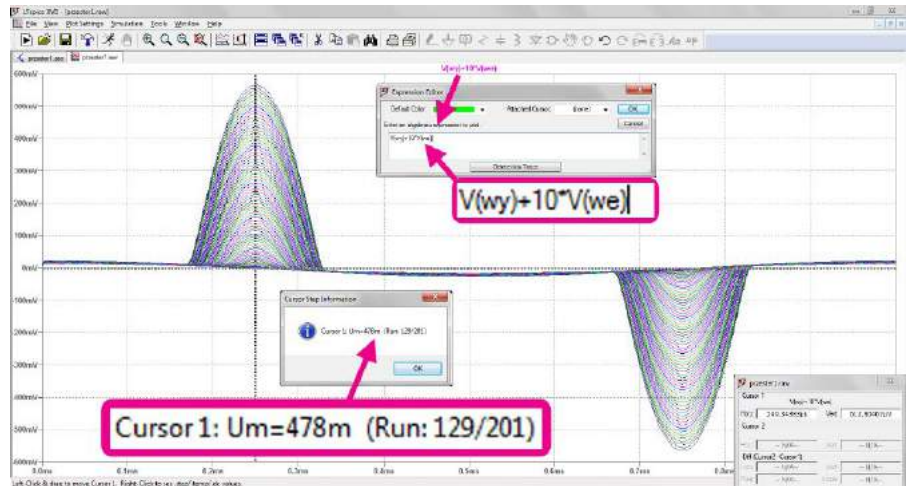
gdzie $k_u = -10 \text{ V/V}$.

W przypadku liniowej pracy wzmacniacza różnica ta powinna być stała, jednak już przy minimalnym przesterowaniu ujawniają się zmiany. Metoda diagnozowania krytycznego napięcia wejściowego jest podobna jak w poprzednim przykładzie. Przyjmujemy zmiany napięcia wejściowego w zakresie od 350 mV do 550 mV z krokiem 1 mV i obserwujemy zależność $V(wy)+10 \cdot V(we)$. Ustawiamy kursor np. w punkcie odpowiadającym maksimum wykresu i za pomocą kursorów „góra”, „dół” znajdujemy ten krok, w którym uwiidacznia się wyraźny skok wskazywanej wartości. W naszym przykładzie można przyjąć, że sytuacja ta występuje dla $U_{we}=478 \text{ mV}$.

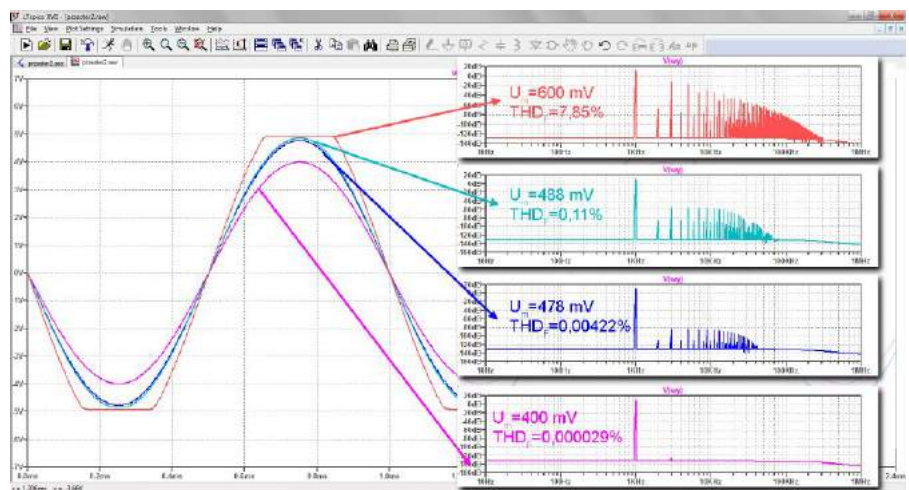
Sprawdźmy, jakim wartościom THD odpowiadają wykryte dwiema metodami stany wejścia w przesterowanie. Parametr THD jest obliczany w programie LTspice funkcją .FOUR. Ważne jest zadbanie o jak największą dokładność obliczeń, co zapewni odpowiednią czystość widma. W obliczeniach zwiększymy standardową liczbę harmonicznych analizowanych przez funkcję .FOUR z 9 do 15. Zadbamy ponadto o zwiększoną dokładność symulacji .TRAN nadając parametrowi „Maximum Timestep” wartość 1 μs . Pamiętajmy ponadto, że rozdzielczość szybkiej transformaty Fouriera zależy od analizowanego czasu. Minimalna odległość między prążkami widma FFT jest równa odwrotności tego czasu. Rozpatrujemy sygnał o częstotliwości 1 kHz. Jego harmoniczne są więc wielokrotnością tej częstotliwości, z czego wynikałoby, że minimalna rozdzielczość powinna być równa co najmniej 1 kHz, ale ponieważ chcielibyśmy również obejrzeć widmo decydujemy się na rozdzielczość 10 Hz. Wynika z tego, że czas symulacji powinien być równy 0,1 s. Ostatecznie do obliczeń wpisujemy instrukcje:

```
.TRAN 0 .1 0 0.1u
.OPTION plotwinsize=0
.FOUR 1k 15 V(wy)
.STEP PARAM um LIST 400m 478m 488m 600m
```

Podsumowując: czas analizy jest równy 0,1 s, parametr „Maximum Timestep”=0,1 μs , wyłączona kompresja danych, analiza sygnału o częstotliwości 1 kHz obserwowanego na wyjściu układu. Uwzględniamy 4 przebiegi o amplitudach 400 mV, 478 mV, 488 mV i 500 mV. Sygnał 400-miliwoltowy powinien być czysty, gdyż mieści się w liniowym zakresie pracy wzmacniacza, sygnał 478 mV to ten, który



Rysunek 8. Detekcja wejścia w stan przesterowania na podstawie obserwacji zależności $U_{wy}-k_u \cdot U_{we}$



Rysunek 9. Przykładowe sygnały o różnej zawartości harmonicznym i ich widma

uznaliśmy jako graniczny w drugiej, bardziej precyzyjnej metodzie. Sygnał 488 mV wybraliśmy jako graniczny na podstawie obserwacji wykresu czasowego, natomiast sygnał o amplitudzie 600 mV powinien już czysto teoretycznie przesterować wzmacniacz. Zwiększyliśmy ponadto liczbę analizowanych harmonicznych do 15. Przyjęte opcje powodują znaczne spowolnienie pracy symulatora, ale jest to cena za uzyskanie dużej dokładności obliczeń. Wyniki zestawiono w tabeli 1, natomiast na rysunku 9 pokazano kształt przebiegów i ich widma.

Z pomiarów wynika, że ocena zniekształceń na podstawie wzrokowej obserwacji kształtu przebiegu pozwoliła na wychwycenie zawartości harmonicznym na poziomie ok. 0,1%, ale taki wynik uzyskano porównując jednocześnie przebiegi zniekształcony i czysty. Metoda oceny przesterowania przez obserwację wyniku wyrażenia $U_{wy}-k_u \cdot U_{we}$ (w rozpatrywanym przypadku $k_u=-10 \text{ V/V}$) wykazała niespodziewanie wysoką dokładność. W tym przypadku stan wejścia

Tabela 1. Wyniki symulacyjnego określenia napięcia wejściowego powodującego przesterowanie wzmacniacza

Um [mV]	THD, %	opis
0,4	0,000029	czysty, niezniekształcony sygnał
0,478	0,004224	sygnał, w którym zdiagnozowano początek zniekształceń metodą obserwacji przebiegu $U_{wy}-k_u \cdot U_{we}$
0,488	0,109689	sygnał, w którym zdiagnozowano początek zniekształceń metodą obserwacji wykresu czasowego
0,6	7,852812	sygnał świadomie mocno przesterowany

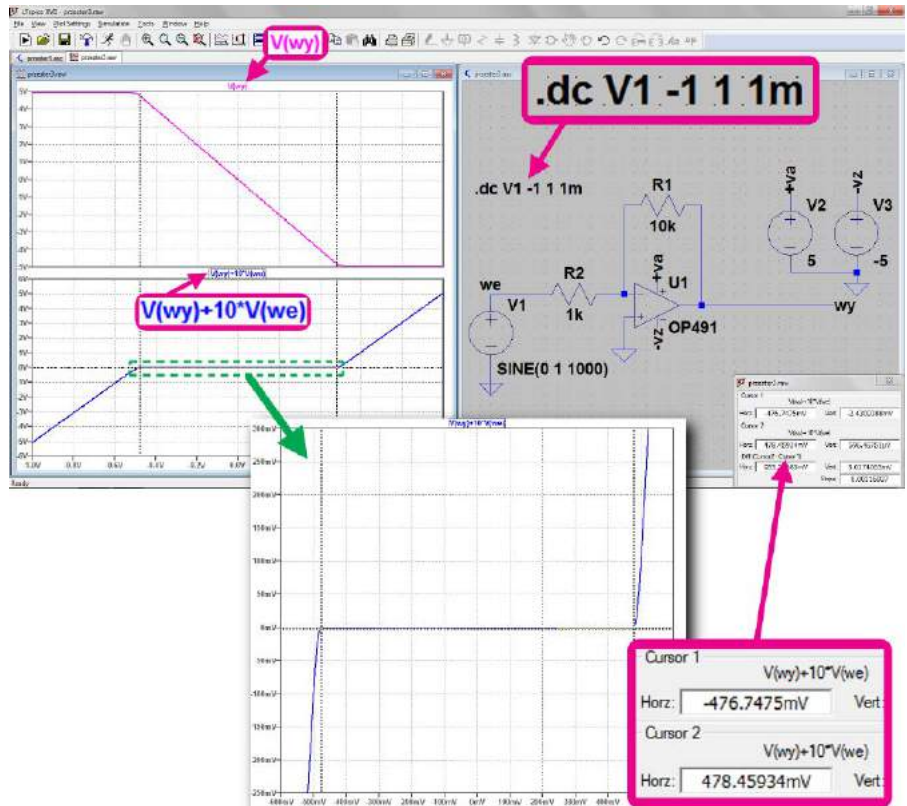
w przesterowanie zdiagnozowano przy wartościach harmonicznych rzędu 0,004% (sic!). Ale to jeszcze nie wszystko. Istnieje jeszcze jedna metoda pozwalająca określić maksymalne napięcie wejściowe zapewniające liniową pracę wzmacniacza. Jest to charakterystyka przejściowa: $U_{wy}=f(U_{we})$, która w programie LTspice jest ukryta pod analizą DC sweep. Jako parametry należy wskazać źródło sygnału wejściowego oraz podać typ zmian napięcia (liniowe, dekadowe, oktafowe, wyszczególniane), zakres zmian „Start value”, „Stop value” i krok zmian „Increment”. Po uruchomieniu symulacji należy wskazać punkt pomiarowy (np. $V(wy)$). Symulator wykreśla charakterystykę przejściową $U_{wy}=f(U_{we})$, którą podobnie jak w poprzednich symulacjach można zmodyfikować na $(U_{wy}-ku-U_{we})=f(U_{we})$. Ustalenie punktu załamania charakterystyki przejściowej odznacza się wówczas dużą precyzją, szczególnie po powiększeniu zakresu obejmującego tylko punkty załamania. Taki pomiar pokazano na rysunku 10.

Pomiary układu rzeczywistego

Po sporej dawce pracy z symulatorem LTspice nadszedł moment weryfikacji pomiarów wirtualnych. Sprawdzimy, jak będzie zachowywał się dokładnie taki sam układ elektroniczny zbudowany z elementów rzeczywistych. Źródłem sygnału wejściowego będzie 1. kanał generatora arbitralnego Analog Discovery 2. Układ zasilamy napięciami +5 V i -5 V. Kanał 1. oscyloskopu dołączamy do wejścia, w tym samym punkcie, w którym dołączony jest generator, kanał 2. dołączamy do wyjścia układu. W generatorze wybieramy przebieg sinusoidalny o częstotliwości 1 kHz i regulowanej amplitudzie. Zakres regulacji ograniczamy do 400...600 mV.

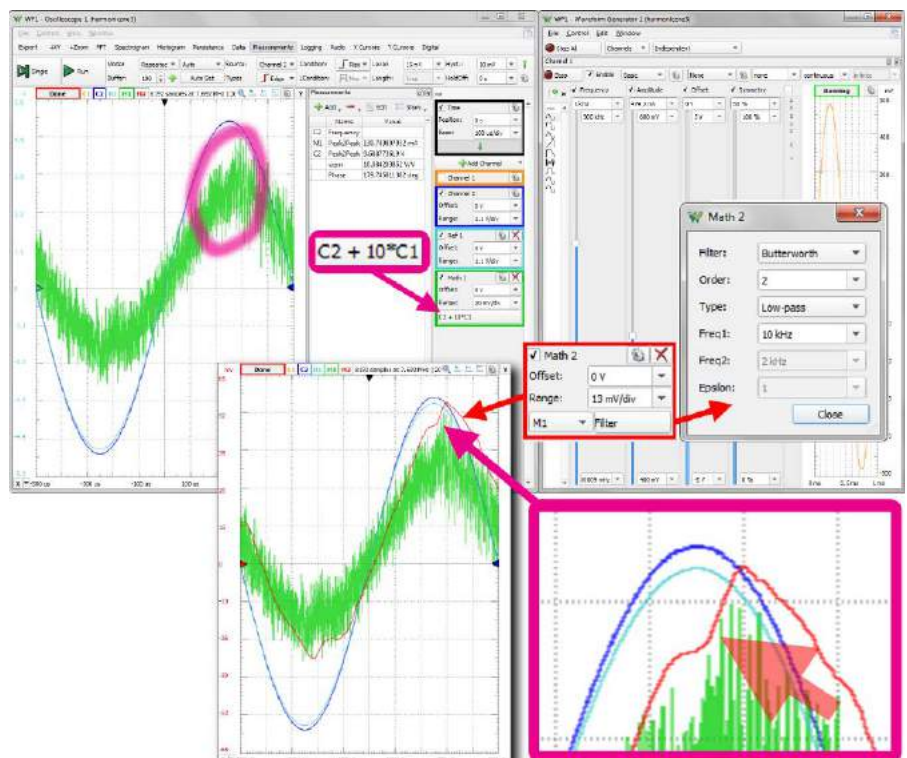
Najpierw obserwujemy przebiegi na oscyloskopie. Aby były dobrze widoczne ustawiamy czułość kanału 2. na 1,1 V/dz, podstawę czasu na 100 μ s/dz, dla której będzie widoczny tylko jeden okres przebiegu. Pozwoli to dokładnie przyglądać się jego szczegółom. Zmieniając napięcie generatora w całym zakresie upewniamy się, że wzmacniacz wchodzi w stan przesterowania. Podobnie jak w symulacji określenie tego momentu tylko na podstawie obserwacji oscylogramu nie jest zbyt precyzyjne.

Przed przystąpieniem do dalszych działań warto zapisać oscylogram z kanału 2. jako przebieg referencyjny w stanie, gdy wzmacniacz pracuje jeszcze liniowo, np. dla $U_{we}=460$ mV. Klikamy prawym przyciskiem myszki w polu pod opisem kanałów i z sekcji „Reference” wybieramy „Channel 2”. Aktualny przebieg z kanału 2. zostanie zamrożony na ekranie pod nazwą „Ref 1”. W kolejnym kroku tworzymy kanał użytkownika: klikamy prawym przyciskiem myszki pod opisem kanałów, a następnie wybieramy opcję: Custom $\rightarrow$ Math. Po kliknięciu w pole definiujące kanał („Math 1”) otwiera się okno, w którym możemy zapisać formułę matematyczną dla tego kanału. Wpisujemy analogiczną formułę, jakiej używaliśmy w symulatorze, a więc: $C2+10\cdot C1$

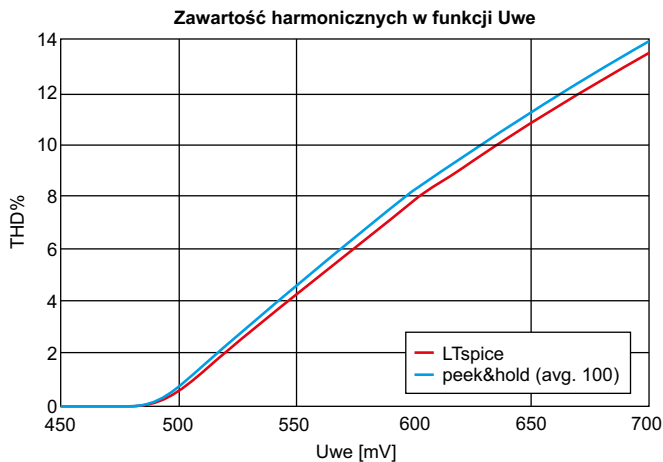


Rysunek 10. Charakterystyka przejściowa jako narzędzie do wyznaczania liniowego zakresu pracy wzmacniacza

Na ekranie oscyloskopu pojawi się przebieg wyznaczający różnicę między sygnałem wyjściowym wzmacniacza a wzmacnionym sygnałem wejściowym (rysunek 11). Przypominam, że wzmacniacz ma wzmocnienie 10 i pracuje w konfiguracji odwracającej, stąd znak plus w wyrażeniu. Przebieg z kanału „Math 1” wygląda jak zaszufloną sinusoida, ale mimo tego jest dość dobrym wskaźnikiem wejścia w stan przesterowania. Wskaźnik ten można jeszcze ulepszyć



Rysunek 11. Detekcja wejścia w stan przesterowania układu rzeczywistego na podstawie obserwacji zależności $U_{wy}-ku-U_{we}$



Rysunek 12. Porównanie charakterystyk $THD=f(U_{we})$ uzyskanych w symulatorze i w pomiarze układu rzeczywistego

kopiarując z kanałem „Math 1” kolejny kanał filtrujący. Znowu klikamy prawym przyciskiem myszki w pole pod opisem kanałów i z sekcji „Math” wybieramy „Filter”. Następnie ustawiamy parametry filtru: **Filter=Butterworth**, **Order=2**, **Tupe=Low-pass**, **Freq1=10 KHz**

Nie zapomnijmy wskazać sygnału filtrowanego. Będzie nim oczywiście „M1”, a więc sygnał z kanału „Math 1”. Teraz już bardzo dobrze widoczny jest artefakt ujawniający się w stanie przesterowania.

Do pomiaru zniekształceń nieliniowych (zawartości harmonicznych) układu rzeczywistego użyjemy wirtualnego analizatora widma zestawu Analog Discovery 2 – Spectrum. Stanowi on rozwinięcie funkcji FFT dostępnej w oscyloskopie. Przyrząd jest obsługiwany na wzór prawdziwych analizatorów widma, ale dla nas najważniejszą jego cechą jest zestaw funkcji pomiarowych, które zwykle nie występują w funkcji FFT oscyloskopu. Jedną z nich jest THD, a więc dokładnie

to, czego poszukujemy. Trzeba jednak mieć świadomość tego, że Spectrum ma dynamikę ograniczoną do ok. 80 dB, więc pod tym względem dość znacznie ustępuje prawdziwym analizatorom. Mimo ograniczeń pomiar zawartości harmonicznych wykazał dość dobrą zbieżność z wynikami uzyskanymi w symulatorze. O ile lokalizacja wejścia w stan przesterowania wypadła niemal identycznie w symulacji i w pomiarach, o tyle krzywa THD zmierzonego przez Spectrum Analog Discovery 2 jest dla dużych Uwe zaniżona z powodu ograniczenia pomiaru widma do 100 kHz. Zwiększenie szerokości pasma skutkowałoby niestety zmniejszeniem rozdzielczości i gubieniem harmonicznych, co w efekcie dyskwalifikowałoby taki pomiar. Porównanie wyników pokazano na **rysunku 13**. Analizator pracował w trybie *Peak Hold* z uśrednianiem 100 pomiarów. Opcję tę wybiera się z okna parametrów „Trace 2”, należy też wprowadzić parametr Count=100. Pomiar THD jest możliwy po wykonaniu sekwencji poleceń:

View → Measurements → Add → Trace2 → Dynamic → THD

Wyniki są podawane w jednostkach dBc. Do przeliczenia na procenty korzystamy z zależności (2).

Wnioski

Metoda detekcji wejścia w stan przesterowania wykorzystująca obserwację zależności $U_{wy}-ku^*U_{we}$ sprawdza się, dopóki przesunięcie fazowe między U_{we} i U_{wy} jest niewielkie. Dla dużych przesunięć znika charakterystyczny artefakt, a różnica między U_{wy} a ku^*U_{we} ma w dużym zakresie zmian U_{we} kształt sinusoidy, która odkształca się w chwili wyjścia z liniowej pracy wzmacniacza. Dla względnie dużych częstotliwości zaobserwujemy nagły wzrost zawartości harmonicznych na długo przed wejściem w stan nasycenia wzmacniacza. Przebieg wyjściowy nie jest obcinany, zaczyna natomiast przybierać kształt piły, co oczywiście jest równoznaczne ze wzrostem zawartości harmonicznych.

W następnym odcinku zbudujemy charakterograf.

Jarosław Doliński, EP

REKLAMA

100% ELEKTRONIKI NA AVT.PL/PRENUMERATA

[illegible][illegible][illegible]

**Prenumerujesz Elektronikę Praktyczną + Elektronikę dla Wszystkich?
Skorzystaj z promocji 1+1=3 i zamów bezpłatną prenumeratę Elektronika**



Wyświetlacze

Najnowsze technologie

Pomimo nieustannego rozwoju nauki i techniki, telepatia, transfer myśli oraz inne pozazmysłowe sposoby komunikacji maszyny z użytkownikiem nie rozwinęły się dostatecznie. Od lat najpopularniejsze pozostaje przekazywanie informacji za pośrednictwem ludzkiego wzroku. Nie ma powodów do zdziwienia, ponieważ wzrok jest najdoskonalszym z naszych zmysłów i odpowiada za prawie 80% odbieranych ze świata informacji.

Zaczynamy od porannego spojrzenia na niewielki segmentowy wyświetlacz LED budzika. Podczas nerwowego miotania się po domu przed wyjściem do pracy cyklicznie zerkamy na zegarek, a raczej smartwatcha z matrycowym ekranem OLED, który o tej porze jest jak smart-watch-dog odliczający, zdecydowanie zbyt szybko upływający czas. Przed zamknięciem drzwi uzbrajamy alarm korzystając z panelu z klawiaturą i nieśmiertelnym tekstowym wyświetlaczem LCD 2×16 znaków. Teraz jesteśmy gotowi na starcie z inteligentnym miastem (smartcity) atakującym nas kolejnymi technologiami wyświetlania obrazu. Poranne zakupy, oczywiście w markecie z inteligentnymi metkami w technologii e-paper, zakończone w kasie fiskalnej z wyświetlaczem VFD i płatnością smartfonem z ekranem IPS. Dalsza wędrówka to przystanek komunikacji miejskiej z systemem informacji pasażerskiej z matrycowym LED lub kolorowym EPD, dla zmotoryzowanych wizyta na stacji paliw z cennikiem zbudowanym w oparciu

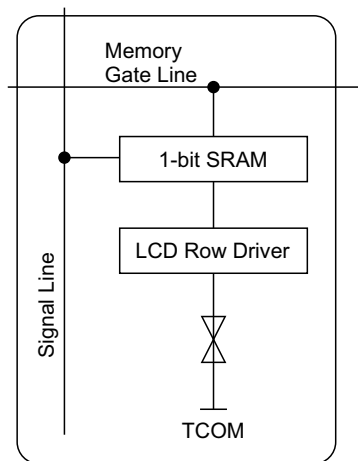
o wyświetlacze elektromechaniczne, a dla cyklistów wyświetlacz MIP w komputerku rowerowym. Mijamy po drodze kilka gigantycznych telebimów reklamowych RGB LED. Poranną gonitwę kończymy przed ekranem służbowego laptopa z ekranem TN lub IPS.

Wyświetlacze stosowane są wszędzie, nawet, gdy nie zwracamy na nie uwagi. Mnogość technologii jest duża, część z nich zakończyła już służbę bezpowrotnie, tak jak magiczne oczka, ekrany kineskopowe, wyświetlacze Nixie oraz ekrany plazmowe, niektóre znalazły swoją niszę jak VFD, a pozostałe czyli LCD, LED i EPD toczą nieustanny bój w dynamicznym segmencie rynku. Warto przynajmniej w skrócie zapoznać się z bieżącymi trendami, aby wybór odpowiedniej technologii wyświetlania nie stanowił problemu, a osiągnięte efekty sprostały oczekiwaniom.

LCD MIP

Technologia ciekłokrystaliczna LCD jest najpopularniejszym sposobem prezentacji obrazu, konstrukcja i zasada działania nie jest chyba nikomu obca. Wyświetlacze LCD poczynając od segmentowych, poprzez monochromatyczne matryce znakowe, aż do kolorowych ekranów graficznych, są powszechne, tanie i łatwe w aplikacji. Rozwój technologii ze względu na rosnącą liczbę zastosowań mobilnych podąża w kierunku minimalizacji poboru mocy. Wyświetlacze LCD wymagają nieustannego odświeżania ekranu, co wiąże się z ciągłym poborem przez układ sterujący. Aby wyeliminować odświeżanie opracowano dwie konkurencyjne technologie, MIP (*Memory In Pixel*, pamięć piksela wbudowana w ekran) i LCD Bistable (dwustanowy).

Pierwszą z nich, promowaną głównie przez firmę Sharp, jest konkurująca bezpośrednio z elektronicznym papierem EPD technologia MIP (pamięć wbudowana w piksel). Budowa matrycy wyświetlającej jest identyczna jak LCD, każdy sterowany piksel znajduje się w przecięciu układu kolumn i wierszy, stan ciekłego kryształu nie jest jednak zmieniany bezpośrednio z kontrolera, lecz jest zapamiętywany w komórce pamięci sterującej driverem piksela. Dzięki integracji pamięci z driverem



Rysunek 1. Budowa komórki wyświetlacza MIP (za notą Sharp)

nie ma potrzeby ciągłego odświeżania ekranu, gdyż stan piksela przechowywany jest w pamięci „podręcznej” samego wyświetlacza. Schematyczną budowę komórki pokazano na **rysunku 1**. **Zaletą technologii MIP jest niewielka pobierana moc, wysoki kontrast i kąty obserwacji, dobra widzialność w oświetleniu naturalnym, niski czas odświeżania obrazu, proste sterowanie poprzez magistralę szeregową i co najważniejsze w urządzeniach przenośnych – szeroki zakres temperatur pracy od -20 do +70°C.**

Jednym z szerzej znanych zastosowań MIP, był zestaw uruchomieniowy Texas Instruments Sharp Memory LCD BoosterPack dla Launchpada. Zastosowano w nim wyświetlacz LS013B4DN04 o rozdzielczości 96×96 i przekątnej 1,3", który dzisiaj nie jest już dostępny. Technologia MIP doskonale współpracuje z energooszczędnymi procesorami MSP430, więc pojawił się odświeżony Sharp 128×128 Memory LCD and microSD Card TI BoosterPack z wyświetlaczem LS013B7DH03 o rozdzielczości 128×128 i przekątnej 1,28", którego wygląd pokazano na **fotografii 1**. Wyświetlacz Boosterpacka cechuje się statycznym poborem mocy 12 μW oraz dynamicznym nie przekraczającym 50 μW przy zasilaniu 3 V. Komunikacja odbywa się poprzez trójprzewodową magistralę szeregową, a aplikacja wyświetlacza wymaga tylko trzech kondensatorów. Komercyjny przykład zastosowania wyświetlacza MIP można ocenić w liczniku rowerowym Garmin Edge 130.

Technologia MIP rozwija się w dalszym ciągu, w handlu dostępne są nie tylko wyświetlacze produkowane przez firmę Sharp, ale także innych producentów np. JDI (*Japan Display Inc*) o zakresie przekątnych od 1,1" do 4,4". Dostępne są modele kolorowe RGB z MIP np. JDI LP-M044M141A o przekątnej 4,4", rozdzielczości 640×480 (183 ppi). Skrót RGB, nie odnosi się do rodzaju interfejsu komunikacyjnego, jak można to błędnie zinterpretować, ale do faktu posiadania pamięci przez każdy piksel matrycy RGB, co bezpośrednio odpowiada ilości możliwych do wyświetlenia kolorów. Wyświetlacz przy odświeżaniu 2 Hz pobiera 250 μW, charakteryzuje się kontrastem 40:1, wyświetla 8 kolorów i ma rozmiary ok. 93×73×1,4 mm. Zmieniając liczbę komórek pamięci obsługujących piksel można zwiększyć liczbę wyświetlanych kombinacji kolorów.

Wygląd kolorowego wyświetlacza MIP LS012B7DD06 o przekątnej 1,2" i rozdzielczości 240×240, z 64-bitowym oddaniem koloru, znajdujący zastosowanie w elektronice noszonej pokazano na **fotografii 2**.



Fotografia 1. Wyświetlacz monochromatyczny MIP LS013B7DH03 w zestawie Booster-pack (z noty TI)

Rozmiar wyświetlacza to 33×34×0,8 mm, dopuszczalna temperatura pracy mieści się w przedziale -20...+70°C, a statyczny pobór mocy wynosi 11 μW.

Stosując wyświetlacze MIP, warto częściej sprawdzać ich dostępność, gdyż ich docelowe aplikacje IoT oraz Wearable cechują się mocnym wpływem mody i silną konkurencją w postaci atrakcyjnych wizualnie OLED. Powoduje to sporą rotację dostępnych produktów, a proponowane zamienniki nie zawsze pasują w 100%.

LCD Bistabilne

Dalsze poszukiwania wyświetlacza LCD o minimalnym poborze mocy, prowadzą do wyświetlaczy wykonanych w technologii bistabilnej (*Bistable LCD*), czasem nazywanych ChLCD (*cholesteric LCD*) lub Zero-Power LCD. Wyświetlacz taki w przeciwieństwie do LCD pasywnego lub aktywnego nie wymaga energii potrzebnej do odświeżania treści. Zapamiętanie stanu piksela nie odbywa się w wewnętrznej komórce pamięci jak w przypadku MIP, lecz wynika z cech zastosowanego materiału, zbliżając zasadę działania do wyświetlaczy e-ink. Wyświetlacz ChLCD pracuje ze światłem odbitym, nie wymagając podświetlenia, co czyni go doskonale czytelnym przy oświetleniu naturalnym (słonecznym) tym bardziej, że zachowuje szeroki kąt obserwacji zbliżony do 80° i to bez uprzywilejowania kierunku. Przykładowy ChLCD z matrycą graficzną o niskiej rozdzielczości pokazano na **fotografii 3**.

Brak konieczności ciągłego odświeżania niweluje zmęczenie wzroku przy długotrwałym korzystaniu z wyświetlacza np. w czytnikach ebook. Wyświetlacze w technologii ChLCD odwzorowują skalę szarości, nie wymagają polaryzatorów i filtrów koloru. Odpowiednio przygotowany ChLCD może wyświetlać obraz nie tylko w skali szarości, ale także w kombinacjach kolorów, w zakresie temperatur ok. -10...+60°C, szerszym niż konkurencyjny EPD. Najczęściej spotykane są zestawienia kolorów białego z niebieskim, czarnego z żółtym lub zielonym. Możliwy jest podział ekranu na fragmenty o różnym zestawieniu kolorów. Czas odświeżania ekranu zależy od wielkości i porównywalny jest z EPD. **Poważną wadą wyświetlaczy ChLCD jest duża wrażliwość na promieniowanie UV, wymagająca zastosowania przed ekranem dodatkowego filtra ochronnego oraz wysokie napięcie polaryzacji 30...40 V wymagające użycia przetwornicy podwyższającej.**

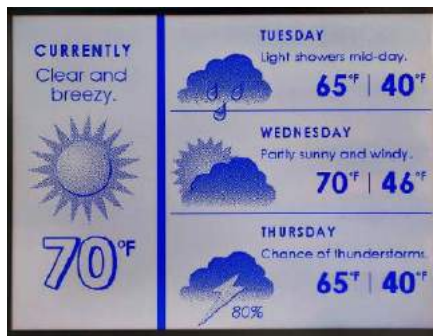
W handlu dostępne są monochromatyczne wyświetlacze graficzne o rozdzielczości od 128×64, np. STG12864BCD z kontrolerem SSD1603 znanym z wyświetlaczy OLED i komunikacji poprzez magistralę SPI, mogące zastąpić moduły STN LCD. Większe wyświetlacze produkowane są w zasadzie tylko na zamówienie i nie są dostępne jednostkowo. Przykładowy ekran 18" o rozdzielczości 800×600 pokazano na **fotografii 4**. ChLCD usiłują konkurować z wyświetlaczami EPD w inteligentnych metkach cenowych



Fotografia 2. Wyświetlacz RGB MIP LS012B7DD06 (z noty Sharp)



Fotografia 3. ChLCD o niskiej rozdzielczości (za notą Tricomtek)



Fotografia 4. ChLCD o wysokiej rozdzielczości (za focuslcd.com)

prawdopodobnie uczyni z ChLCD produkt niszowy nie wytrzymujący konkurencji z EPD.

Z rozwiązań nietypowych warto wspomnieć o pracach nad wyświetlaczem hybrydowym, łączącym zalety EPD i LCD TFT, prace zapoczątkowane przez Apple nie zaskutkowały rewolucją w wyświetlaczach. Wyświetlacze hybrydowe produkuje m.in. Av-display, dostępne są ekrany o przekątnych 3,5...10,1", pracujące w trybie Color TFT, a w trybie oszczędnościowym w skali szarości. Przykładowy wyświetlacz hybrydowy pokazano na **fotografii 5**. Uzupełnieniem wyświetlacza hybrydowego może być klawiatura dotykowa lub wbudowany kontroler, szczególnie przydatny w aplikacjach Smart Home, gdzie wyświetlacz stanowi gotowe urządzenie sterujące.

Wyświetlacze EPD

Dosyć ciekawie rozwija się technologia elektronicznego papieru EPD (*Electronic Paper Display*), zwana także e-paper, a czasem także technologią atramentu elektronicznego e-ink. Została opracowana i wdrożona komercyjnie przez firmę E Ink, która do dziś jest wiodącym producentem szerokiego spektrum wyświetlaczy i w zasadzie zdominowała rynek. Sam EPD jest jedną z młodszych metod wyświetlania obrazu.

Podstawy technologii opracowano w latach siedemdziesiątych, ale komercyjnych aplikacji doczekała się dopiero na początku dwudziestego pierwszego wieku. Powodem prac nad EPD, była chęć minimalizacji pobieranej mocy przez sam wyświetlacz jak i przez sterownik odświeżający jego treść oraz chęć eliminacji zmęczenia oczu jaka występowała podczas długotrwałej pracy z ówczesnie używanymi monitorami kineskopowymi i LCD. Zalety te miały być osiągnięte dodatkowo przy zachowaniu szerokich kątów obserwacji, dużej czytelności w świetle dziennym i zachowaniu niewielkiej grubości ekranu dla ułatwienia konstruowania urządzeń mobilnych.

W momencie udostępnienia pierwszych wyświetlaczy e-papierowych ekrany LCD były jeszcze podświetlane świetłówkami, co wymagało zastosowania regulowanej przetwornicy podwyższającej napięcie, wiązało się to oczywiście ze stratami energii oraz zmniejszeniem niezawodności podświetlenia. Układ podświetlenia niezbędny dla odczytu wyświetlacza LCD wymagał sporej przestrzeni, zarówno w samej matrycy na ukrycie świetłówek i elementów rozpraszających światło, tak aby podświetlenie ekranu było równomierne, jak i zajmował sporo miejsca w samym urządzeniu na pomieszczenie sporych transformatorów podwyższających i kondensatorów obwodów wysokiego napięcia. Te wady utrudniały projektowanie niewielkich urządzeń przenośnych i zostały skutecznie wyeliminowane po wprowadzeniu EPD, np. w pierwszym czytniku książek elektronicznych e-book.

Wyświetlacze EPD wykorzystują do wyświetlania obrazu naturalne światło otoczenia oraz zjawisko elektroforezy. Zjawisko polega na zmianie ruchu cząstek fazy ciekłej

czy systemach informacji pasażerskiej, chociaż w tym zastosowaniu dostępny maksymalny rozmiar pojedynczego wyświetlacza EPD jest aktualnie kilkakrotnie większy (18" vs 42"). Niewielki wybór dostępnych typów, brak wyświetlaczy kolorowych w najbliższym czasie

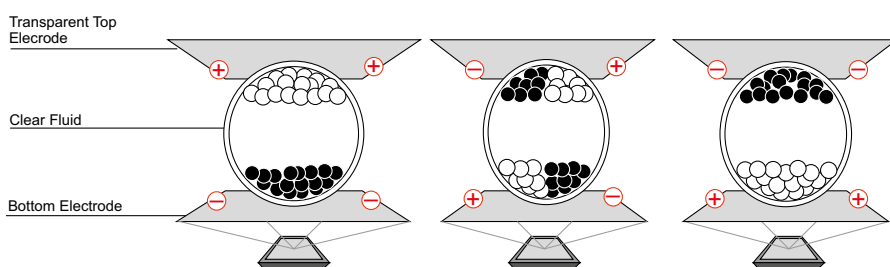


Fotografia 5. Wyświetlacz hybrydowy (za Av-Display)

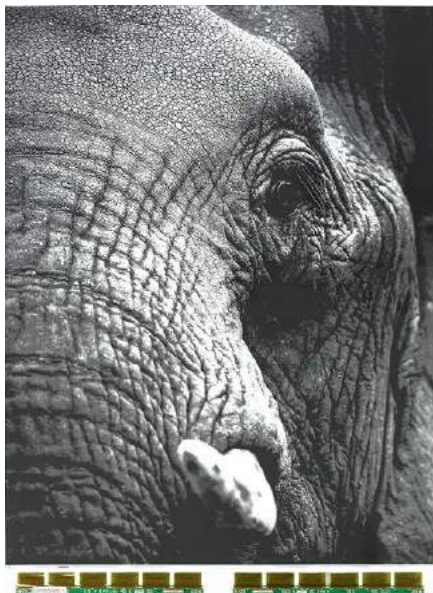
atramentu umieszczonego w mikrokapsułkach pomiędzy elektrodami. W zależności od wytworzonego przez elektrody pola elektrycznego, cząsteczki atramentu zmieniają swoje położenie. Przykładowy sposób wyświetlania obrazu pokazano na **rysunku 2**, w tym przypadku jest to EPD składający się z dwóch pigmentów umieszczonych w przezroczystym płynie. W uproszczeniu zasada działania jest następująca, gdy do elektrod pomiędzy którymi znajduje się mikrokapsułka wypełniona cząsteczkami pigmentu białego (naładowanego ujemnie) i czarnego (naładowanego dodatnio) przyłożymy napięcie, wytworzone pole elektryczne spowoduje zmianę orientacji kapsułek. Wpływając na rozkład tego pola możemy ustawić pigment biały od strony użytkownika, wtedy zobaczy on biały ekran. Zmieniając kolejno rozkład pola możemy zorientować w kierunku użytkownika kapsułki z czarnym atramentem czyniąc ekran czarnym lub odpowiednio sterując polem uzyskać stopniowane wymieszanie kapsułek obserwowane jako gradacja szarości.

Ze względu na bistabilny charakter zachowania się atramentu elektronicznego, nie jest wymagane ciągłe odświeżanie zawartości ekranu, a sam obraz pozostaje na ekranie do czasu kolejnej zmiany wyświetlanej treści. **Z odświeżaniem EPD wiąże się jedna z większych wad utrudniających ich szerokie zastosowanie, szczególnie w aplikacjach zastępujących LCD. Jest to stosunkowo długi czas konieczny do zmiany położenia pigmentów, czyli przejścia od białego do czarnego koloru ekranu.** W pierwszych wyświetlaczach komercyjnych zastosowanych w czytnikach książek elektronicznych cały ekran potrafił odświeżać się nawet kilka sekund przy rozdzielczościach nie przekraczających 800×600. Częściowym rozwiązaniem problemu powolnego odświeżania, było zastosowanie techniki podziału ekranu na mniejsze fragmenty, tj. polaryzacji podlegały tylko te piksele, które musiały zmienić barwę. Niestety takie fragmentaryczne odświeżanie powodowało pojawianie się cieni na ekranie i co kilka odświeżeń częściowych i tak konieczna była czasochłonna regeneracja całego ekranu.

Pomimo rozwoju technologii EPD w dalszym ciągu nie spełniają wymogów płynnej prezentacji materiału video więc wyświetlacze LCD i LED w tym zakresie obecnie nie mają realnego zagrożenia. Naturalną drogą rozwoju wyświetlaczy EPD, jest zwiększanie gęstości pikseli dla uzyskania lepszego oddania szczegółów, zwiększenie rozmiarów samego ekranu oraz uzyskanie kolorów w wyświetlanym obrazie. Pierwsze dwie cechy zaimplementowane zostały bez większych problemów i w handlu dostępny jest wyświetlacz o przekątnej 42" typu VA3200-RBA (E Ink) którego wygląd pokazano na **fotografii 6**. Rozdzielczość ekranu to 2160×2880 pikseli (format 3:4) z możliwością wyświetlania do 16 stopni szarości. Pewnym problemem w aplikacji i upowszechnieniu się tak dużych wyświetlaczy może być cena wynosząca ok. 2500\$ (sam ekran bez kontrolera). Specjalnej uwagi



Rysunek 2. Zasada działania ekranu EPD z dwoma pigmentami (za notą E Ink)



Fotografia 6. VA3200-RBA o przekątnej 42" (za notą E Ink)



Fotografia 7. Prosty wyświetlacz 14 punktowy SC002221 (za notą E Ink)



Fotografia 8. Prosty wyświetlacz 6 cyfrowy SC005221 (za notą E Ink)



Fotografia 9. Wyświetlacz o okrągłym polu odczytowym ET011TJ2 (za notą E Ink)

wymagają też transport i montaż. Ekran VA3200-RBA wykonany na podłożu szklanym ma grubość zaledwie 0,8 mm, co przy tafli o rozmiarze 650×875 mm czyni go wyjątkowo podatnym na uszkodzenia.

Na przeciwnym biegunie mamy dostępne wyświetlacze dla urządzeń noszonych i IoT o przekątnych nie przekraczających 2". Dostępne są zarówno bardzo proste wskaźniki wielopunktowe dla realizacji odczytu typu bargraph np. SC009221, SC002221, których wygląd pokazano na **fotografii 7**, jak i siedmiosegmentowe matryce znakowe zawierające do kilku cyfr np. SC005221. Wygląd SC005221 pokazano na **fotografii 8**.

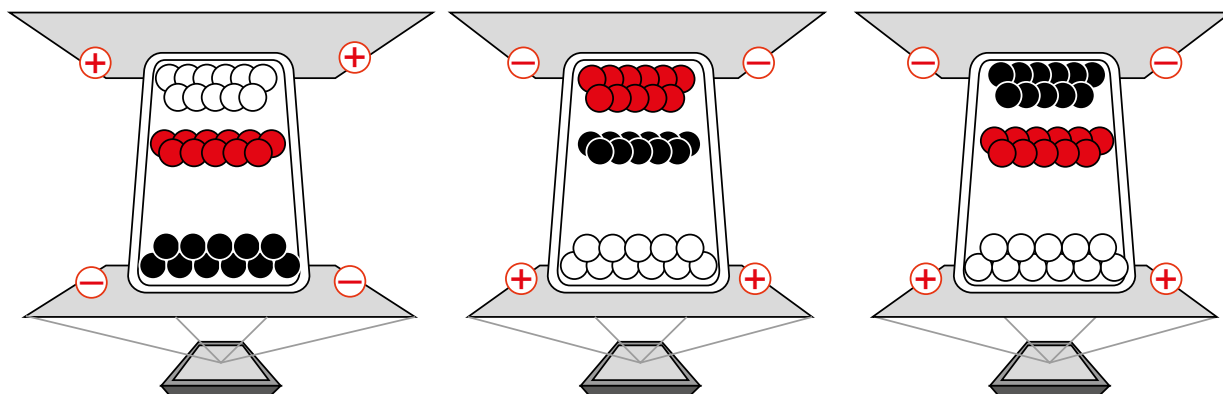
Oczywiście oprócz powszechnych wyświetlaczy o prostokątnym kształcie ekranu coraz popularniejsze stają się wyświetlacze graficzne o okrągłym polu odczytowym. Te ostatnie zaprojektowane są do użycia w monitorach parametrów medycznych, przyrządach pomiarowych lub inteligentnych zegarkach gdzie mogą konkurować z bardziej energochłonnymi wyświetlaczami OLED. Średnica pola odczytowego wyświetlacza ET011TT2 to 1,1" przy rozdzielczości 240×240 pikseli (218 dpi) i czterech stopniach szarości, całkowita grubość wyświetlacza to 0,53 mm przy wadze 0,72 g. Czas odświeżania ekranu wynosi 0,8 s. Ciekawostką jest wyświetlacz ET011TJ2 pokazany na **fotografii 9**, podobny do ET011TT2, ale posiadający otwór pod mocowanie klasycznego wskazówkowego mechanizmu zegarka – czyli z przymrużeniem oka, pierwszy wyświetlacz hybrydowy łączący EPD z wyświetlaczem elektromechanicznym.

EPD kolorowe

Cechą, nad którą prowadzono intensywne prace rozwojowe, było uzyskanie na EPD obrazu kolorowego. Pierwszą grupą wprowadzającą kolor

do wyświetlaczy EPD jest seria E Ink Spectra, opracowana na potrzeby systemów etykiet elektronicznych ESL (*Electronic Shelf Label*). Doskonale sprawdzają się w tych zastosowaniach wyświetlacze o niewielkich przekątnych ekranu z dodatkowym wyróżniającym pigmentem kolorowym, mieszczące się na krawędzi półki magazynowej. Nie obsługują one oczywiście pełnej palety RGB, ale czasem takie proste wyróżnienie wystarczająco podnosi czytelność i atrakcyjność wyświetlacza. Kontrastowy kolor działa na nas jak odbłaskowy gruby marker, a jak wiadomo przykucie uwagi to połowa sukcesu w handlu. Najczęściej, oprócz standardowego pigmentu białego i czarnego, jako wyróżniacz stosowany jest pigment czerwony lub żółty. Zasada pracy wyświetlacza jest podobna do dwubarwnego, dwa pigmenty czarny i biały, zostają uzupełnione pigmentem w kolorze czerwonym lub żółtym (zapowiadane są także inne kolory). Pigmenty zamykane są w pojemnikach nazywanych przez producenta Microcups (**rysunek 3**). Barwnik czerwony podobnie jak biały naładowany jest dodatnio, a sterowanie polem elektrycznym o nieco większej komplikacji w porównaniu z wyświetlaczem monochromatycznym umożliwia ustawianie pigmentów w odpowiedniej kolejności dla uzyskania trójkolorowego obrazu.

Przykładem wyświetlaczy trójpigmentowych mogą być EA2220-BJA (E Ink) o rozdzielczości 296×128 pikseli, przekątnej 2,9" i pigmentcie czerwonym, którego wygląd pokazano na **fotografii 10** lub większy EA2220-EGA o rozdzielczości 600×448 pikseli, przekątnej 5,65" i pigmentcie żółtym (**fotografia 11**). EA2220-EGA posiada także wersję z czerwonym kolorem oznaczoną EA2220-EGB o identycznych parametrach. Mniejszy z wyświetlaczy kosztuje jednostkowo 99\$, większy 149\$ za samą matrycę bez kontrolera obrazu.



Rysunek 3. Budowa wyświetlacza z trzecim pigmentem wyróżniającym (za notą E Ink)



Fotografia 10. Wyświetlacz EA2220-BJA z pigmentem czerwonym (za notą Eink)



Fotografia 11. Wyświetlacz EA2220-EGA z pigmentem żółtym (za notą Eink)

cilo poprzednie kolory. Nie jest to może jakiś miarodajny i autorytarny test, ale jeżeli przez dłuższy czas wyświetlacz nie będzie miał zmienianej treści polecam sprawdzić, czy nie wymaga odświeżenia treści co kilka dni. Niestety kolorowe pigmenty ograniczają i tak już dosyć wąski zakres temperatur pracy wyświetlaczy EPD.

Dalsze prace rozwojowe doprowadziły do uzyskania wyświetlacza o większej liczbie kolorów. Do produkcji wyświetlaczy kolorowych, stosowane są dwie technologie: pierwsza to CFA (Color Filter Array) z dodatkową warstwą filtrów kolorowych umieszczonych przed ekranem EPD, druga to ACeP (Advanced Color ePaper) używająca tylko barwnych pigmentów, bez dodatkowej warstwy filtra, która zmniejsza jasność wyświetlanego obrazu (filtr tłumi światło) i zwiększa grubość ekranu.

Wyświetlacze w technologii CFA nazwanej przez Eink Triton, np. SB1452-QAA o przekątnej 31,2" i rozdzielczości 1280×720 (47 dpi) wyświetlają do 4096 kolorów, nie jest to jakość fotograficzna, lecz do prezentacji, znaków zmiennej treści i tablic reklamowych i informacyjnych jest wystarczająca. Czas odświeżania ekranu wynosi ok. 980 ms. Ze względu na filtr wyświetlacze są nieco grubsze od wykonań standardowych i całkowita grubość SB1452-QAA wynosi 1,35 mm.

Kolorowe wyświetlacze są nieco droższe od odpowiedników monochromatycznych, mają też praktycznie stwierdzoną niższą trwałość zapisanego obrazu, szczególnie dotyczy to wyróżniającego pigmentu. Kilka testowanych w temperaturze pokojowej wyświetlaczy z dodatkowym kolorem czerwonym, po około miesiącu zaczęło się odbarwiać, w efekcie białe tło zrobiło się różowe. Test polegał na zapisaniu treści wyświetlacza i odłączeniu zasilania sterownika. Całkowite odświeżenie ekranu przywróciło poprzednie kolory.

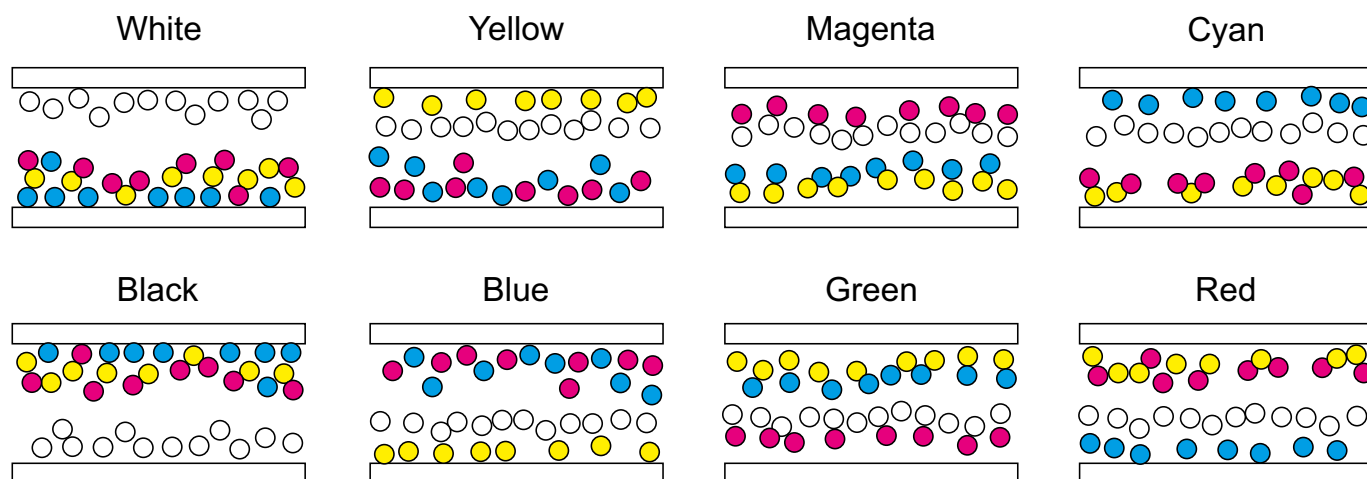


Fotografia 12. Wyświetlacz AC133UT1 w technologii ACeP (za notą Eink)

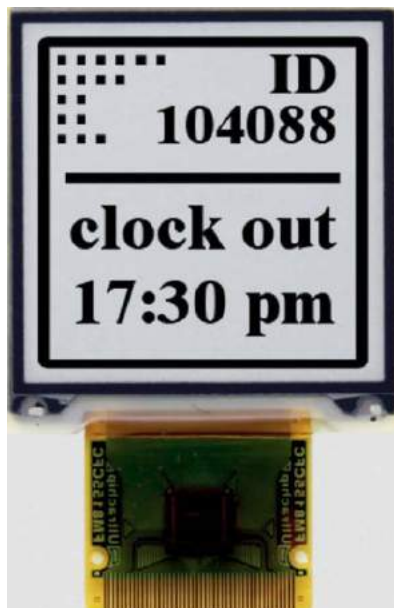
Technologia AceP wykorzystuje cztery pigmenty w kolorach CMYW, zasadę działania przedstawiono na rysunku 4. Zaprezentowany niedawno w postaci próbek inżynierskich wyświetlacz AC133UT1 w cenie 799\$, posiada rozdzielczość 1600×1200 (150 dpi) przy przekątnej 13,3", umożliwia wyświetlenie 32 tys. kolorów. Ze względu na ograniczony zakres temperatur pracy +15...35°C przeznaczony jest do zastosowań wewnętrznych, a prezentowana treść nie powinna zmieniać się zbyt szybko, gdyż czas odświeżenia ekranu to 25 s (tak to nie literówka, więc jeszcze raz słownie, dwadzieścia pięć sekund, szybkość prawie jak w SSTV). Wygląd wyświetlacza AC133UT1 pokazano na fotografii 12. Wraz z nim dostępny jest sterownik T1000 Board zapewniający sterowanie matrycy. Sterownik współpracuje z Raspberry Pi poprzez interfejs USB. Dla Pi w celach testowych przygotowano obraz systemu.

Czy wyświetlacze o tak ograniczonych zakresach temperatur pracy i niemiłosiernie wolnym odświeżaniu znajdą szersze komercyjne zastosowania pokaże czas. Ciekawe czy parametry ulegną poprawie w zapowiadającym ekranie ACeP™ o przekątnej 26,6". Pomimo tych wad, oba wyświetlacze dalej zachowują zalety EPD, pobierają niewiele energii, nie wymagają podświetlania, są czytelne nawet w silnym oświetleniu słonecznym, a zwarta budowa matrycy umożliwia projektowanie ekranów o małej grubości, łatwych do umieszczenia w witrynach, na ścianach itp.

Wyświetlacze EPD wykonywane są na podłożach z tworzyw sztucznych, co jest dobrym punktem wyjścia do stworzenia wyświetlacza



Rysunek 4. Zasada działania wyświetlacza w technologii ACeP (za notą Eink)



Fotografia 13. Elastyczny wyświetlacz AC133UT1 (za notą Eink)

elastycznego. Komercyjnie dostępne są ekrany o przekątnych od 1,1" do 13,3". Przykładem ekranu elastycznego dedykowanego dla urządzeń IoT jest ET013TT1 o rozdzielczości 252×256 przy przekątnej 1,3". Całkowita grubość ekranu to 0,4 mm, a waga 0,2 g. Wygląd ET013TT1 pokazano na **fotografii 13**.

EPD nie-energooszczędne

Czasem zaleta jaką jest brak wymaganego podświetlenia, staje się wadą. Ekran EPD wymaga do pracy oświetlenia zewnętrznego, doskonale radząc sobie w oświetle-

niu naturalnym. Podświetlenie staje się problemem w aplikacjach np.: informacji pasażerskiej, info-kioskach, które funkcjonują są całą dobę, a nie zawsze stoją w miejscach w których dostępne jest oświetlenie. Takie ekrany wymagają zaprojektowania dedykowanego układu podświetlenia, zapewniającego widoczność treści także po zmroku. Podświetlenie EPD nie jest sprawą trywialną, o czym świadczy niewielka ilość dostępnych ekranów z wbudowanym układem podświetlenia. Problem staje się poważny, gdy do podświetlenia mamy przykładowo matrycę o przekątnej 32...42".

W wyświetlaczu e-paper trudno zastosować podświetlenie tylne, gdyż matryca przepuszcza tylko niewielkie ilości światła, konieczne jest podświetlenie krawędziowe lub przednie, przy grubości matrycy, w większości przypadków, znacznie poniżej 1 mm. Zapewnienie odpowiedniej jasności i równomierności podświetlenia jest sporym wyzwaniem inżynierskim, nie wspominając o problemach z podświetleniem matryc elastycznych. Oczywiście układ podświetlenia pobiera określoną moc i tak skonstruowany ekran raczej mistrzem energooszczędności nie zostanie. A w aplikacjach zewnętrznych, także wąski zakres temperatury pracy EPD, może wygenerować sporo problemów i to nie tylko w wyświetlaczach kolorowych. Przeważnie EPD specyfikowane są na temperatury pracy z zakresu 0...50°C, co przy zastosowaniach zewnętrznych w naszych warunkach wymaga, co najmniej systemu podgrzewania. **Ekran EPD poniżej 0°C nie odmówi natychmiast współpracy, ale obniżenie temperatury spowalnia ruch pigmentów, co rodzi problemy z prawidłowym odświeżeniem ekranu.** Przy niższych temperaturach odświeżenie ekranu staje się niemożliwe, pomimo sterowania elektrod, kapsułki pigmentu nie zmieniają swojego położenia – niestety nie mamy tutaj mechanizmu sprawdzającego poprawność ich położenia.

Przy projektowaniu urządzenia należy zastanowić się kompleksowo, czy reklamowana energooszczędność EPD, po dołożeniu podświetlenia i ogrzewania (i/lub chłodzenia) dalej będzie faktyczna. Problem ten znany jest producentom i dostawcom paneli EPD, każda kolejna generacja wyświetlaczy poszerza zakres temperatur pracy, jednak w dalszym ciągu nie jest to pełen przedział na jaki narażone są urządzenia zewnętrzne, czyli minimum -25...+55°C, nie wspominając o -40...+85°C.

Sterowniki dla EPD

Przy projektowaniu urządzenia należy przeanalizować sposób sterowania wyświetlaczem. W przeciwieństwie do matryc LCD, nie ma standardowego interfejsu takiego jak LVDS, DSI, MIPI. Ekrany EPD ze względu na bardzo wolny proces odświeżania nie wymagają super

szybkich magistral komunikacyjnych. Samo sterowanie EPD, wykonywane jest najczęściej przed dwa układy TCON (*EPD Timing Controller*) i sterownik elektrod (*EPD Driver*) uzupełniany przetwornicą generującą napięcia polaryzacji. Większość układów opracowywana jest dla producentów EPD i nie jest dostępna powszechnie, a dostęp do materiałów obwarowany jest co najmniej licencją NDA. Często spotykanymi sterownikami TCON są: układy serii IT8951xx firmy ITE, S1D13521, S1C17F13 Epson, HX8705 Himax, UC8156 UltraChip, LC79451 ON Semi. Jeżeli TCON nie posiada zintegrowanego drivera często wykorzystywane są układy HT16E07 Holtek. Większość tych układów w obudowach COG montowana jest bezpośrednio na elastycznych taśmach wyświetlacza EPD, a sterowana jest w zależności od typu poprzez SPI lub I²C.

Dla większych wyświetlaczy dostępne są gotowe płytki sterowników, zapewniające komunikację poprzez USB, sterowanie polega na wykorzystaniu udostępnionego API lub ograniczone jest do pokazu przygotowanych pod kątem EPD obrazów wgrywanych do pamięci sterownika. Gotowy moduł sterujący jest najszybszym rozwiązaniem przy prototypowaniu urządzenia, należy jednak dokładnie zapoznać się z jego możliwościami i ograniczeniami. Uważnie należy też dobrać dostawcę sterownika, aby nie okazało się, że po zakupie produkt jest wycofany lub nagle urywa się wsparcie. **Samodzielne opracowanie sterownika ma sens chyba tylko wtedy, gdy stosujemy najmniejsze wyświetlacze lub mamy zamiar produkować duże serie urządzeń i koszty na projekt mają szansę się zwrócić.** Sterownik jest dopiero początkiem drogi do gotowego produktu, czeka nas jeszcze bonding optyczny, czyli sklejenie wyświetlacza z szybą ochronną, integracja z panelem dotykowym, hermetyzacja całości (wilgoć nie jest sprzymierzeńcem EPD) i wykonanie estetycznej ramki. Oczywiście podobne problemy spotkamy przy LCD, ale tam wybór gotowych rozwiązań jest znacznie szerszy.

Jeżeli zajmujemy się integracją systemów, a nie projektowaniem urządzeń można wykorzystać gotowe panele serii CREA np. 32" EPS2-C07 (2560×1440) lub 42" EPS2-C06 (2160×2880) z interfejsami HDMI i 16 stopniową skalą szarości. Wygląd panelu EPS2-C07 pokazano na **fotografii 14**. EPD to technologia, która rozwija się systematycznie, warto śledzić ten proces, bo wszystko wskazuje na stały wzrost ilości jej aplikacji.

OLED

Dzięki rozwojowi technologii LED, powstały wyświetlacze OLED (*Organic LED*), które już na dobre zdomowały się w urządzeniach elektronicznych. Spotykane są zarówno w urządzeniach przenośnych takich jak smartwatche i smartfony, gdzie przekątne nie przekraczają kilku cali, jak i w ekranach telewizorów sięgających kilkudziesięciu cali (np. 88" LG Z9). Wyświetlacze OLED zbudowane są z diod elektroluminescencyjnych, które do emisji światła wykorzystują właściwości polimerów organicznych (półprzewodniki organiczne). Zaletami wyświetlaczy OLED są: wysoka jasność, brak podświetlenia, wysoki kontrast i odwzorowanie barw zachowane, także przy szerokim kącie obserwacji oraz krótki czas reakcji. **Największymi wadami OLED, nad których usunięciem w dalszym ciągu pracują producenci, są: ograniczona trwałość oraz nierównomierne zużywanie się kolorów składowych.**

Pomimo szerszego niż w EPD zakresu temperatur pracy (ok. -20...+40°C)



Fotografia 14. Panel Crea EPD typu EPS2-C07 (za notą Eink)



Fotografia 15. Winstar WEH001602ABPP5N0 (z materiałów Unisystem)

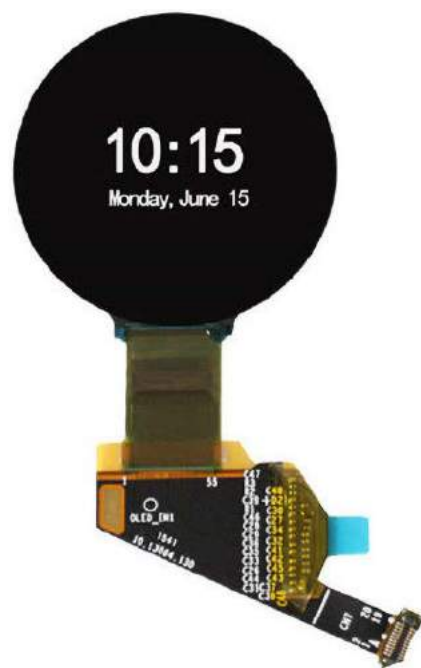


Fotografia 16. Winstar WEO-004864ALPP3N00000 (z materiałów Unisystem)

trzeba być ostrożnym, można udowodnić, że jest odwrotnie, tylko trzeba odpowiednio dopasować warunki pomiaru...). Podobnie jak w przypadku budowy LCD, dostępne są wyświetlacze pasywne PMOLED (*Passive Matrix OLED*) i aktywne AMOLED (*Active Matrix OLED*). Na rynku od dłuższego czasu obecne są wyświetlacze OLED będące zamiennikami typowych modułów znakowych LCD np. Winstar WEH001602ABPP5N00000 (fotografia 15) lub miniaturowe matryce graficzne np. Winstar WEO004864ALPP3N00000 o przekątnej 0,71" i rozdzielczości 48×64 (fotografia 16), które ze względu na przystępną cenę i prostotę aplikacji chętnie stosowane są nie tylko w urządzeniach profesjonalnych.

W technologii OLED, możliwe jest wykonanie wyświetlaczy na podłożach elastycznych, które często znajdują zastosowania w opaskach Smartband i zegarkach Smartwatch. Dostępne są OLED na podłożu przezroczystym służące do wyświetlania informacji np. przed szybą pojazdu. Przykładowy wyświetlacz elastyczny PMOLED Futaba FT-180-16032FL posiada rozdzielczość 160×32, przekątną 1,81" i wyświetla grafikę w kolorze białym, a wykonany w technologii AMOLED elastyczny wyświetlacz o okrągłym polu odczytowym typu Innolux INX140RF-400400 (fotografia 17), posiada rozdzielczość 400×400 pikseli, średnicę 1,39" i 16,7 mln. kolorów (interfejs MIPI DSI). Pewnej ostrożności w przypadku wyświetlaczy elastycznych wymaga ich aplikacja. Wyświetlacz może pracować odkształcony, ale nie oznacza to, że będzie można wyginać go w nieskończoność. Producent określa ilość możliwych do wykonania wygięć ekranu, najczęściej jest to kilka – do kilkunastu, co całkowicie wystarcza do montażu i serwisu ekranu w docelowym urządzeniu. Wymienione modele pracują poprawnie w zakresie temperatur -20...+60°C.

Przykładem modelu z ekranem transparentnym PMOLED, może być Wisechip Wc151-12856Tr o 50% przejrzystości, rozdzielczości 128×56 pikseli przy przekątnej 1,5". Wyświetlacz wyposażony jest w interfejs



Fotografia 17. Elastyczny wyświetlacz AMOLED (z materiałów Innolux)



Fotografia 18. Zestaw uruchomieniowy LC15079 PMOLED (z materiałów Sparkfun)

SPI lub I²C i posiada szeroki zakres temperatury pracy, od -40 do +70°C. Zestaw uruchomieniowy oparty o przeźroczysty PMOLED udostępnił Sparkfun w wersji z wyświetlaczem graficznym 1,51" LCD-15173 lub segmentowym 4,1" LCD-15079 4.1 (fotografia 18).

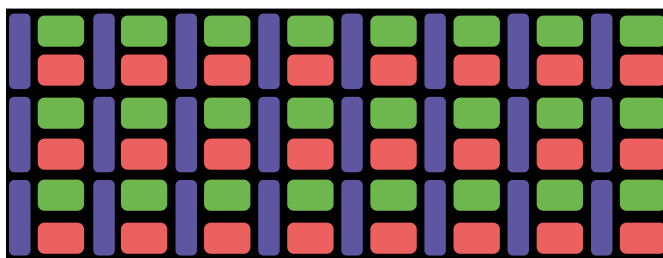
W przypadku wyświetlaczy kolorowych dla uzyskania obrazu o wysokiej jakości, ze względu na zróżnicowaną sprawność emisji kolorów składowych RGB, stosuje się różne kształty i powierzchnie struktur pikseli (np. S-Stripe Samsung, rysunek 5). Następnym etapem dynamicznego rozwoju wyświetlaczy LED, będą najprawdopodobniej układy Micro-Led i QD (*Quantum Dot Display*), napędzane rozwojem telewizji wysokiej rozdzielczości i zwiększeniem wymagań dotyczących wyświetlaczy urządzeń przenośnych.



Fotografia 19. Wygląd prototypowego wyświetlacza Micro-Led (za JDI)

Wyświetlacze Micro-Led

Jak sugeruje nazwa, wykorzystują mikroskopijnych rozmiarów diody LED, wykonane w konwencjonalnej technologii GaN, składające się na matrycę obrazową RGB. Micro-Led oferują zgodnie z zapewnieniami z materiałów informacyjnych, nieskończony kontrast, 30-krotnie wyższą wydajność, szerokie kąty obserwacji, pozbawione są także wady OLED polegającej na „wypalaniu” ekranu w trakcie użytkowania. Przykładowy prototypowy wyświetlacz o przekątnej 1,6" i rozdzielczości 300×300 opracowany został w 2019 roku przez JDI. Wygląd wyświetlacza pokazano na fotografii 19.



Rysunek 5. Struktura ułożenia pikseli S-Stripe Samsunga

Samsung przygotowuje się do rozpoczęcia masowej produkcji ekranów w technologii Micro-Led, ale o przekątnych sięgających 150", w domyśle mających zastąpić tradycyjne ekrany LCD/OLED w telewizorach oraz stanowić silną konkurencję dla ekranów LED wykorzystywanych dzisiaj w aplikacjach reklamowych (Wall-Size). Rekordowy wyświetlacz The Wall jaki został zaprezentowany przez Samsunga ma 292".

Wyświetlacze QD

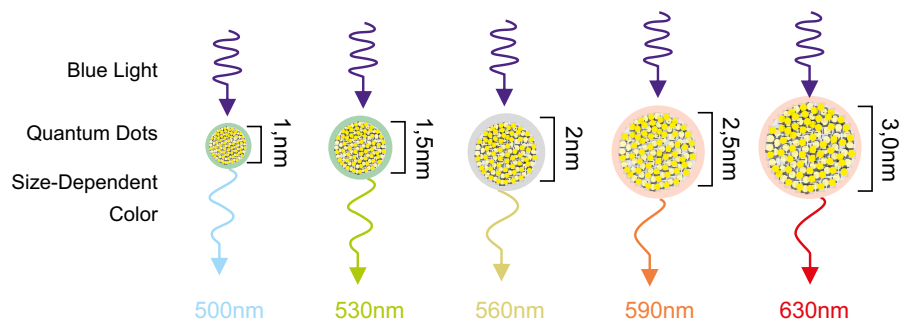
Wyświetlacze *Quantum Dot Display* wykorzystują „nano-kropki” kwantowe, które są zdolne do generowania światła o ściśle określonej długości fali. Dobierając rozmiar kropki, co pokazano na **rysunku 6**, możemy generować składowe RGB konieczne do uzyskania obrazu kolorowego. Ze względu na fakt, że zmiana koloru świecenia nie wymaga zmiany materiału nano-kropki, tak jak ma to miejsce w przypadku klasycznych LED, uproszczony został proces produkcji. Komercyjnie wyświetlacze QD znalazły się w telewizorach 8K. Zaletą QD jest bardzo wierne oddanie koloru, wysoki kontrast i sprawność energetyczna, a także niższe koszty produkcji w porównaniu z OLED.

Ekran wykonany w technologii QD znalazły już zastosowanie komercyjne min. w monitorach ASUS ROG SWIFT PG35VQ o rozdzielczości 3440×1440 i przekątnej 35" lub w HP Pavilion 27 o rozdzielczości 2560×1440 i przekątnej 27", którego wygląd pokazano na **fotografii 20**. Zapowiada się więc bardzo ciekawa rywalizacja pomiędzy technologiami „ledowymi”.

Wyświetlacze VFD

Mogło by się wydawać, że lampowa technologia z połowy ubiegłego wieku nie znajdzie miejsca w nowoczesnej elektronice. Wyświetlacze VFD przeczą takiej tezie i w dalszym ciągu są produkowane i stosowane. Ze względu na pobór mocy nie znajdą one zastosowań w urządzeniach przenośnych, ale szeroki zakres temperatur pracy –40...+85°C, wysoka trwałość (wbrew pozorom) i niezawodność, czyni je bezkonkurencyjne w urządzeniach przemysłowych lub pracujących w niskich temperaturach. Wyświetlacze VFD cechują się doskonałą czytelnością w zmiennych warunkach otoczenia.

Wiodącym producentem jest Noritake-Itron oferujący moduły wyświetlaczy tekstowych, graficznych, zgodnych mechanicznie i mogących zastąpić o ile pozwoli na to źródło zasilania, klasyczne znakowe wyświetlacze LCD. Aby nadążyć za potrzebami rynku, wyświetlacze



Rysunek 6. Wpływ rozmiaru nano-kropki na generowany kolor (z materiałów Nanosysinc)

oferowane są z nakładkami klawiatury dotykowej np. seria GU-D oferując rozdzielczość 128×32 dla najmniejszego GU128×32D-D903S, aż do 256×128 dla GU256×128D-D903M pokazanego na **fotografii 21**. Dla ułatwienia integracji wyświetlacze wyposażone są w interfejsy I²C, SPI oraz port szeregowy UART, szczególnie w przydatny w aplikacjach kasowych POS (*Point Of Sale*), gdzie wyświetlacz może być podłączony bezpośrednio do terminala kasowego.

Sterowniki VFD w większości przypadków posiadają tryby zgodności w typowymi kontrolerami znakowych lub graficznych LCD (np. HD44780, KS0108 itp.). Ciekawostką jest wyświetlacz GU512×32H-3940B, który oprócz nietypowej rozdzielczości 512×32 piksele posiada podświetlane diodami LED RGB tło o zmiennym kolorze zwiększające atrakcyjność wyświetlanej treści. Wygląd wyświetlacza pokazano na **fotografii 22**. Alternatywą dla kolorowego podświetlania mogą być filtry nakładane na wyświetlacz zmieniające jego podstawowy kolor świecenia dostępne w kolorach szarym, zielonym, różowym i niebieskim (pozostałe po uzgodnieniu).

W dalszym ciągu produkowane są wyświetlacze OEM o strukturze segmentowej wg specyfikacji klienta, znajdujące zastosowanie w sprzęcie AV i AGD. Dosyć istotną cechą VFD jest ich określona dostępność czasowa, Noritake zapewnia produkcję wybranych modeli z głównej linii produktowej przez 10 lat.

Podsumowanie

W którym kierunku rozwinie się rynek? Czy QD lub Micro-Led zdominują wyświetlacze? Czy EPD doczeka się wreszcie „prawdziwego” koloru? Do jakiego poziomu zostanie ograniczony pobór mocy wyświetlaczy? Czy może zostanie udostępniona zupełnie inna technologia wyświetlania? Czas pokaże.

Adam Tatuś, EP
adam.tatus@ep.com.pl



Fotografia 20. Monitor HP Pavilion 27 wykorzystujący ekran QD (z materiałów HP)



Fotografia 21. Wyświetlacz graficzny VFD GU256x128D-D903M (z materiałów Noritake-Itron)



Fotografia 22. Wyświetlacz graficzny VFD GU512x32H-3940B z kolorowym podświetleniem (z materiałów Noritake-Itron)

Zdaniem konstruktora

Wyświetlacze w urządzeniach elektronicznych są głównym, a czasami jedynym elementem panelu frontowego. Prezentują efekty pracy urządzenia, ale także stanowią wizytówkę produktu i mogą przyczynić się do rynkowego sukcesu urządzenia. Estetyczna i czytelna treść jest czynnikiem, jaki bierze pod uwagę klient, podejmując decyzję zakupu, jednak niemniej ważny jest nowoczesny design, który wyróżni się na tle konkurencji. Do zaprezentowania ciekawej grafiki, prezentującej jednocześnie parametry urządzenia zalecany jest ekran o wielkości co najmniej od 4,3 cala, z obsługą pełnej palety barw. Sterowanie pracą takiego wyświetlacza nie jest łatwe do zrealizowania – po pierwsze wymaga odpowiedniego interfejsu komunikacyjnego, po drugie układ sterujący musi posiadać odpowiednie zasoby sprzętowe (wystarczająco wydajny μC , odpowiednia ilość pamięci RAM, która pełni rolę pamięci obrazu oraz pamięci Flash, która musi pomieścić wszystkie grafiki do wyświetlenia).

Konstruktor poleca

W sytuacji, gdy konieczna jest rozbudowa systemu o duży kolorowy wyświetlacz TFT, dobrym rozwiązaniem jest zastosowanie wyświetlacza z kontrolerem sterowanym poprzez prosty interfejs. Jedyne zadania układu sterującego sprowadzają się do wysyłania prostych komend.

Wyświetlacz 7" z RS485

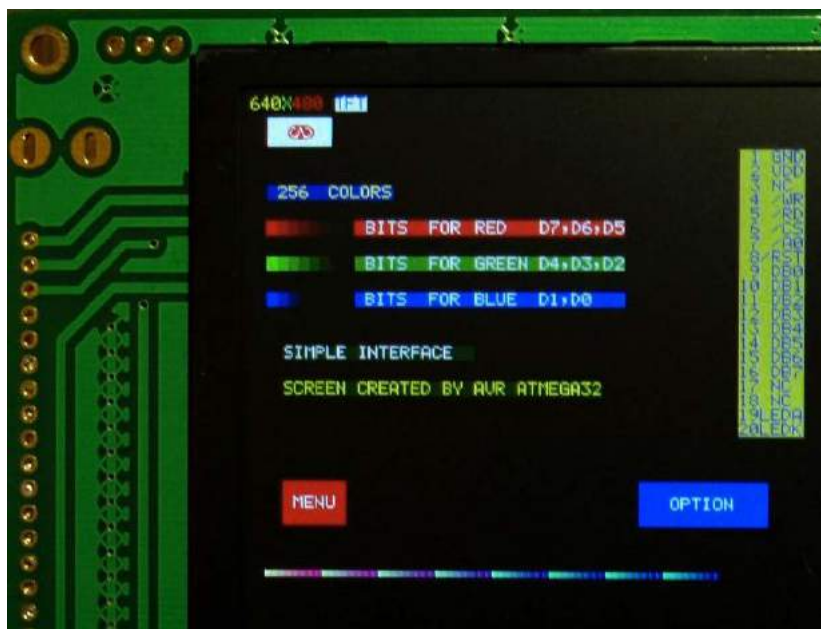
W ofercie firmy Artronic dostępne są wyświetlacze rozbudowane o kontroler z interfejsem szeregowym UART, a najnowsze modele wyposażone będą w interfejs RS485 zgodny z MODBUS.

Taka konfiguracja umożliwia rozszerzenie aplikacji systemów sterowania czy automatyki o dodatkowy monitor procesów. Dzięki nowemu interfejsowi RS485 możliwe jest także monitorowanie procesów w kilku miejscach. Moduł pozwala na łatwe łączenie indywidualnej prezentacji obiektów ze wskaźnikami i wartościami parametrów w intuicyjnej kolorowej grafice i jest ciekawszą alternatywą dla drogich paneli HMI dostępnych na rynku. Seria produktu przewiduje różne rozmiary kolorowych paneli TFT od 4,3 do 10 cali. <https://bit.ly/2WYxoOi>



Wyświetlacz 5,6" z kontrolerem pamięci obrazu

Wyświetlacz może być wyposażony w kontroler ze standardowym 8-bitowym interfejsem równoległym. Taka konfiguracja daje pełną kontrolę nad wyświetlaną treścią i nie wymaga dodatkowej karty pamięci z grafikami, jak w wersji z interfejsem szeregowym. Sterowanie polega na podaniu współrzędnych obszaru do odświeżenia, a następnie treści piksel po pikselu. Zintegrowany kontroler dostarcza odpowiedniego zasilania dla matrycy wyświetlacza i zawiera pamięć obrazu. Wybrany model posiada rozdzielczość 640×480 i 8-bitową paletę kolorów.
<https://bit.ly/2JuxJ1N>



Bistabilne LCD

Oferta firmy Artronic obejmuje wiele innych nowoczesnych produktów. Na uwagę zasługuje bistabilny wyświetlacz LCD typu LCD-BISTABLE-240096. Ma rozdzielczość 240×96 pikseli, pracuje w zakresie temperatur od -20 do +70°C i wyposażony jest kontroler typu SSD1655 z interfejsem SPI 3,3 V. Dzięki technologii bistabilnej charakteryzuje się ekstremalnie niskim poborem prądu.

<https://bit.ly/3dJVhNZ>

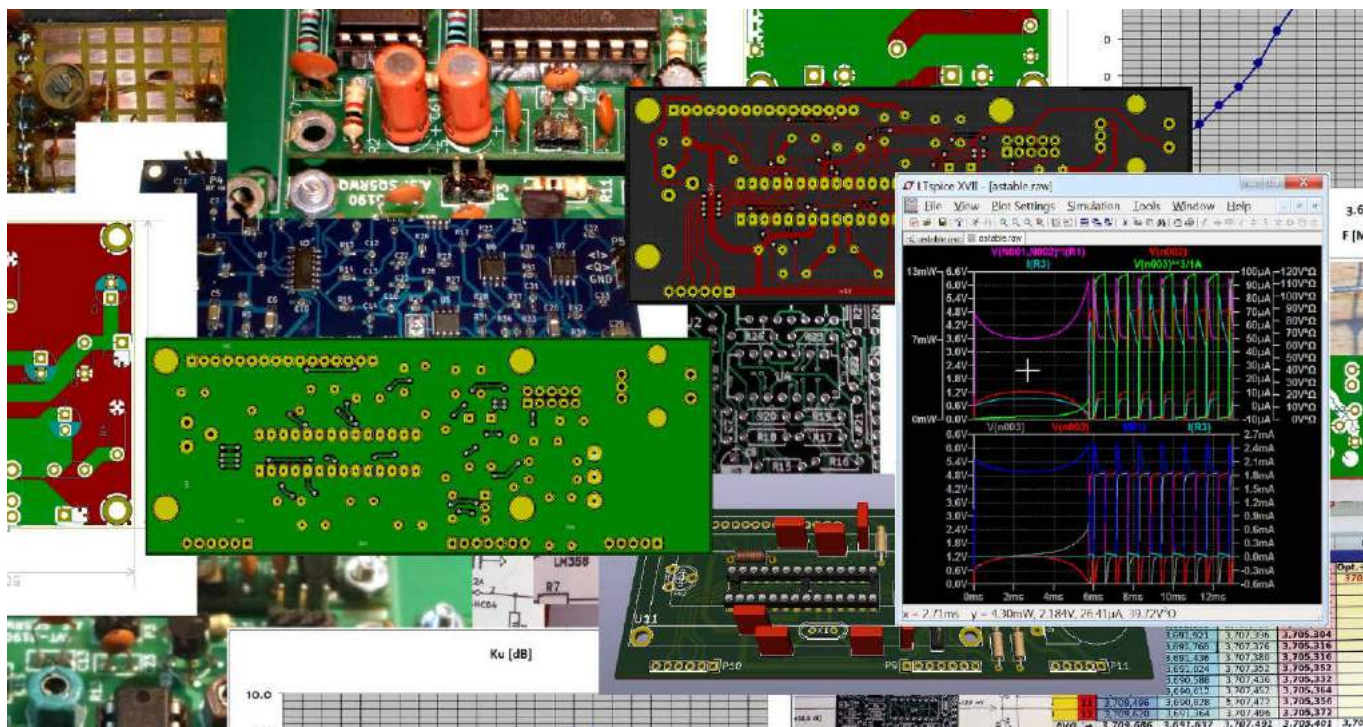


Kontakt:

Artronic Sp. j.
 81-549 Gdynia, Parkowa 6,
 tel. 58 668 57 83

biuro@artronic.pl
www.artronic.pl





Projektowanie i prototypowanie

Projektowanie i prototypowanie układów i urządzeń elektronicznych, to w dzisiejszych czasach przysłowiowy „temat-rzeka”, a może nawet „temat-morze”. Dotyczy zarówno niezwykle obszernego spektrum rozwiązań technologicznych, jak i aplikacyjnych. W dodatku możliwe jest stosowanie metod o znacznym zróżnicowaniu stopnia trudności jak i złożoności. W tym artykule podjęto próbę dokonania przeglądu praktycznie stosowanych rozwiązań – jednak z pełną świadomością, że niektóre z poruszonych zagadnień zostały jedynie zasygnalizowane.

Projektowanie oraz prototypowanie układów i urządzeń elektronicznych może być postrzegane przez praktyków jako proste, intuicyjne działanie, ale też jako bardzo złożony, wieloetapowy proces. W pierwszym z tych przypadków możemy mieć do czynienia zarówno z niewielkim doświadczeniem zaangażowanej osoby, jak i z ogromnym doświadczeniem praktycznym oraz wiedzą teoretyczną zespołu projektowego. W drugim wymienionym przypadku (złożony, wieloetapowy proces), także można mieć do czynienia z dwoma skrajnymi spojrzeniami: osoby mało doświadczonej i jeszcze nieco przerażonej możliwymi wyzwaniami projektowymi, ale także podmiotu o ogromnym doświadczeniu i bardzo profesjonalnym podejściu do postawionego zagadnienia.

Obiektywne spojrzenie na tak postawione zagadnienie zależy od wielu czynników – zarówno czysto technicznych, jak i komercyjnych, czysto biznesowych. Projektowi realizowanemu czysto hobbystyczne można wiele wybaczyć z uwagi na główne cele: trochę

eksperymentalne, trochę rozwojowe. Zupełnie inaczej jest z projektami komercyjnymi, gdzie na ich twórcach spoczywa zwykle duża odpowiedzialność prawna i finansowa za wytworzony projekt i produkt końcowy. W szczególności, konsekwencje wszelkich wad (czy nawet pomniejszych niedociągnięć) końcowego produktu mogą kosztować utratę zaufania oraz szacunku do marki (a w konsekwencji utratę pozycji rynkowej). Mogą się z tym wiązać, także znaczne straty finansowe na skutek wysokich kosztów serwisowania czy ostatecznie utylizacji produktu.

W dalszej części artykułu podjęto próbę zmierzania się z głównymi aspektami poruszonych zagadnień – jednak z pominięciem licznych aspektów roli oprogramowania, które same w sobie stanowią temat na osobny artykuł tematyczny, dedykowany gremium konstruktorskim.

Ogólne zasady projektowania

Ogólne zasady projektowania układów i urządzeń elektronicznych, są pełne licznych szczegółów, kryteriów (często wzajemnie sprzecznych) oraz wymogów zupełnie niezwiązanych z tzw. „czystą myślą technologiczną”. Chodzi tu przede wszystkim o wspomniane wcześniej uwarunkowania komercyjne, wynikające z partycularnych oczekiwań docelowych adresatów tworzonych projektów. Z drugiej strony bagatelizowanie aspektów czysto technicznych na rzecz priorytetu dla aspektów biznesowych, także może okazać się zgubne w skutkach. Konsekwencje mogą dotyczyć kategorii czysto biznesowych, a konkretnie wymiarów: finansowego, prawnego czy PR (*public relations* – relacje publiczne, aspekty wizerunkowe).

Typowy, pełny cykl realizacji projektu układu czy urządzenia elektronicznego, ze szczególnym uwzględnieniem zadań samego

Etap cyklu projektowania układów i urządzeń elektronicznych

1. Ustalenie oczekiwań (wymogów: technicznych, użytkowych i komercyjnych) klienta i/lub użytkownika docelowego (końcowego).
2. Zawężenie i sprecyzowanie powyższych aspektów (etap [1]) do postaci wstępnej specyfikacji technicznej i funkcjonalnej produktu końcowego.
3. Dokonanie przeglądu możliwych (dostępnych w kategoriach finansowych, czasowych i technologicznych) rozwiązań technicznych.
4. Wykonanie tzw. „studium wykonalności” (ang. „feasibility study”) technicznej oraz dokonanie wstępnej oceny kosztów realizacji: finansowych a także czasowych – dla wszystkich rozpatrywanych rozwiązań techniczno-biznesowych, czyli:
 - a. wstępnego projektu (koncepcji technicznej),
 - b. prototypu dedykowanego wstępnemu projektowi,
 - c. projektu docelowego,
 - d. produkcji seryjnej,
 - e. magazynowania,
 - f. dostarczenia klientom i/lub użytkownikom końcowym,
 - g. serwisowania – z uwzględnieniem potencjalnej awaryjności oraz ewentualnych upgrade’ów (odświeżeń, modernizacji, aktualizacji) sprzętu i oprogramowania.
5. Dokonanie wyboru rozwiązania docelowego – na podstawie kryteriów oraz rezultatów analiz i rozważań, ujętych w etapach 1...4.
6. Fizyczna realizacja etapów opisanych w punkcie 4 („studium wykonalności”). W przypadku napotkania konieczności odstępstw od założeń, zdefiniowanych w etapach 1...5, możliwa (a nawet wskazana) jest rewizja wyboru konkretnego rozwiązania i/lub przyjętych założeń wstępnych. W takim przypadku konieczny może okazać się powrót do działań z etapów:
 - a. Etap 3 – poszukiwanie innego (czy innych) rozwiązań technicznych,
 - b. Etap 2 – modyfikacja (urealnienie) specyfikacji wstępnej,
 - c. Etap 1 – znaczna zmiana w całościowym podejściu do projektu.

projektowania i prototypowania powinien wyglądać tak, jak to ujęto w ramce. W pewnych wypadkach możliwe będzie pominięcie niektórych z opisanych etapów prac, w innych konieczne może okazać się wielokrotne powtórzenie wybranych działań, albo nawet zagnieżdżenie części z nich w innych – zwłaszcza, jeśli urządzenie docelowe ma modułową strukturę, a cały projekt musi zostać podzielony na podprojekty.

W przypadku prostych i niedrogich projektów urządzeń amatorskich, bardzo często pomijane są mało znaczące aspekty kosztowe, a wybierane rozwiązania bazują na już sprawdzonych i dostępnych rozwiązaniach. Z kolei w przypadku rozbudowanych konstrukcji warto jest podzielić projekt na mniejsze fragmenty – tak, aby uniknąć rozwiązywania zbyt wielu istotnych (ważnych i trudnych) problemów równocześnie. Oczywiście, takie podejście z kolei będzie implikowało konieczność zapewnienia interakcji i koordynacji pomiędzy poszczególnymi podprojektami oraz ujętymi w nich rozwiązaniami technicznymi.

W kolejnej części artykułu opisano praktyczny przykład zastosowania podanych powyżej ogólnych zasad projektowania układów i urządzeń elektronicznych. Przykład ten opracowano w odniesieniu do projektu modułowego odbiornika nasłuchowego „RX Dosia 80/40” prezentowanego w ciągu ostatnich niemal trzech lat na łamach „Elektroniki Praktycznej”.

Praktyczny przykład realizacji prostego cyklu projektowego

Rozwinięcie podanych etapów cyklu projektowego podano w formie odniesień do poszczególnych punktów z powyższego ustępu.

Ad. 1. Jako założenie wstępne przyjęto, że użytkownik końcowy odbiornika nasłuchowego jest mało lub średnio doświadczonym elektronikiem-amatorem. Założono także, że łączny koszt realizacji projektu nie powinien być zbyt wysoki i rozłożony w czasie. Przyjęto też, że konstrukcja urządzenia, choć niezbyt skomplikowana, to jednak nie powinna być trywialna i winna nieść ze sobą solidną porcję wiedzy praktycznej.

Ad. 2. Jako optymalne rozwiązanie zdefiniowanego powyżej zadania konstruktorskiego przyjęto, że:

- konstrukcja powinna być modułowa, co pozwoli na podzielenie wyzwań, związanych z uruchomieniem urządzenia, na mniejsze fragmenty, oraz znacznie obniży i rozłoży w czasie koszty realizacji całej konstrukcji,
- odbiornik powinien być co najwyżej dwupasmowy (na podstawowe pasma 80 m oraz 40 m), co ułatwi jego strojenie, a także da największe szanse na realizację pierwszych, fonicznych nasłuchów w języku polskim,
- przy konstrukcji odbiornika powinna zostać zastosowana wyłącznie łatwo dostępna „przewlekana” technologia montażu THT,
- aby uniknąć potencjalnych zawiłości i trudności, związanych z filtracją jednowstęgową SSB (*Single Side-Band*) przyjęto, że zupełnie wystarczającym rozwiązaniem będzie implementacja odbiornika homodynowego DSB (*Double Side-Band*), tzn. z bezpośrednią przemianą częstotliwości do pasma podstawowego „audio”,
- konstrukcja powinna dostosowana do wskazanego typu obudowy, co zdejmie z osoby realizującej odpowiedzialność za samodzielny dobór odpowiednich rozwiązań w tym zakresie.

Ad. 3. W ramach licznych rozwiązań technicznych wstępnie wybrano następujące:

- konstrukcja modułowa, składająca się z kilku modułów, pozwalających na ich niezależne: uruchomienie, testowanie, a także stosowanie w innych konstrukcjach,
- homodynowy odbiornik dwupasmowy na pasma 80 m i 40 m z w pełni półprzewodnikową komutacją pasm (bez przekaźników), co powinno ułatwić wykonanie, a także obniżyć koszty, zmniejszyć wymiary całkowite i dodać pewien walor edukacyjny,
- mieszacz cyfrowy, oparty o bardzo popularne, tanie i wciąż bardzo łatwo dostępne klucze analogowo-cyfrowe z serii 74HC4066. Odrzucono rozwiązania oparte o klasyczne mieszacze analogowe z serii: NE/SE 602/612 i podobne. Są to rozwiązania przestarzałe, mało odporne na przesterowania, coraz trudniej dostępne,
- prosty, analogowy generator VFO, dostarczający na wyjściu cyfrowego sygnału sterującego mieszaczem, skonstruowany z powszechnie dostępnych podzespołów – odrzucono rozwiązania oparte o klasyczne diody pojemnościowe (tzw. „warikapy”), których asortyment sprzedażowy na pasma krótkofalowe został praktycznie wyczerpany z uwagi na zmierzch epoki analogowych odbiorników radiowych na te pasma,
- scalony wzmacniacz audio, niskoszumny, stereofoniczny i dostosowany zarówno do pracy z głośnikami jak i z popularnymi słuchawkami,
- zaimplementowane w jak najprostszy sposób funkcjonalności: Automatycznej Regulacji Wzmocnienia ARW (AGC – *Automatic Gain Control*), pomiaru siły odbieranego sygnału (tzw. S-metra), cyfrowego pomiaru odbieranej częstotliwości (tzw. F-metra) oraz pamięci ustawień roboczych.

Ad. 4. Etap tzw. „studium wykonalności” został ograniczony w tym przypadku do niezbędnego minimum, bowiem wybrane rozwiązania w znacznym stopniu bazowały na istniejących, już sprawdzonych i nieskomplikowanych koncepcjach technicznych. Jakkolwiek, przed

przystąpieniem do realizacji projektu docelowego wykonano i przetestowano prototypy najbardziej krytycznych bloków funkcjonalnych. W zakresie projektu docelowego podjęto także decyzję o sposobie podziału projektu na moduły i o umieszczeniu całości urządzenia na wspólnej płycie podstawy. W zakresie produkcji seryjnej, magazynowania, dystrybucji i obsługi posprzedażowej urządzenia założono, że ta część procesu projektowego będzie oparta o klasyczne, sprawdzone rozwiązania, stosowane przez firmę zamawiającą.

Ad. 5. W ramach wyboru rozwiązania docelowego dokonano podziału projektu na konkretne bloki funkcjonalne i realizujące je moduły. Ustalono też warunki zasilania całego urządzenia, a także wyznaczono ramy gabarytowe dla całej konstrukcji i jej poszczególnych modułów oraz wybrano konkretny model obudowy, dobrze dopasowany do zdefiniowanej wcześniej konstrukcji elektryczno-mechanicznej.

Ad. 6. W trakcie realizacji projektu docelowego nie napotkano na trudności, które wymusiłyby powtórzenie któregoś z etapów 1...5 cyklu projektowego, co zasadniczo dobrze świadczy o sposobie i jakości wcześniejszego przeprowadzenia wymienionych kroków.

Na **fotografii 1** pokazano sposób realizacji podstawowych założeń projektu.

Worst Case Design

Określenie „Worst Case Design” oznacza projektowanie na najgorszy możliwy przypadek i jest swego rodzaju metastrategią postępowania przy projektowaniu układów i urządzeń elektronicznych na wielu etapach tych działań. Jest bezpośrednio powiązana z koncepcjami: „Worst-case circuit analysis” (analiza obwodów z uwzględnieniem najgorszego możliwego przypadku, <http://bit.ly/3b9uPv2>) oraz „Worst-case scenario” (najgorszy możliwy scenariusz, <http://bit.ly/2vBxYEY>). Nie wnikając zbyt w jej wszelkie możliwe odmiany, warianty i ich praktyczne zastosowania w praktyce inżynierskiej, ekonomicznej czy choćby logistycznej, WCD w bezpośrednim odniesieniu do projektowania urządzeń i układów elektronicznych sprowadza się do:

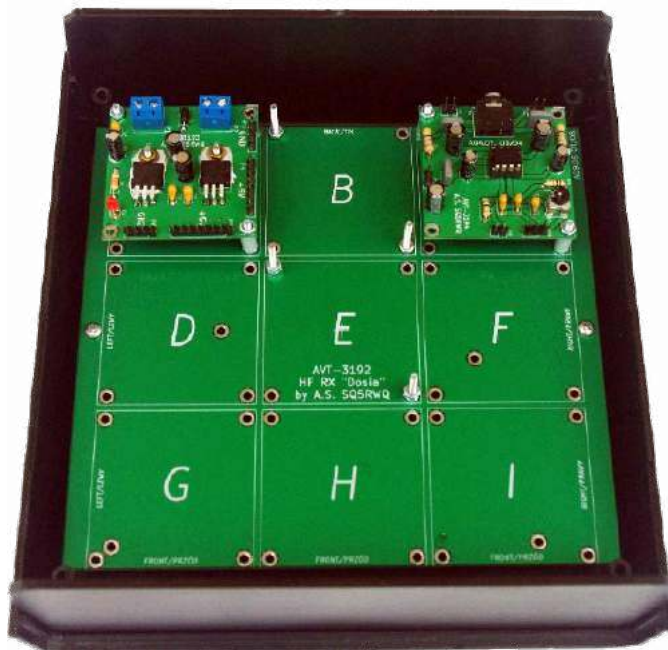
Uwzględnienia w realizowanym projekcie wszelkich możliwych odstępstw (tolerancji, dopuszczalnych marginesów) parametrów dla wszystkich stosowanych podzespołów, elementów i rozwiązań – ze szczególnym uwzględnieniem ich negatywnego wpływu na projekt układu.

Uwzględnienia możliwych skutków wzajemnych interakcji wymienionych powyżej odstępstw.

Doboru i zastosowania takiej koncepcji projektowej (np. poprzez wybór optymalnej topologii danego układu oraz wybór poszczególnych elementów), by opracowany projekt i produkt końcowy (także z uwzględnieniem aspektów wielkoseryjnej produkcji) charakteryzował się jakością jak najmniej uzależnioną od skutków wspomnianych tolerancji, albo przynajmniej jakością uzależnioną od wymienionych czynników w kontrolowany sposób.

Założenia teoretyczne tej metody wydają się proste i oczywiste, ale ich realizacja praktyczna może nie być łatwa i tak samo intuicyjna. W ramach realizacji wytycznych z punktu pierwszego, doświadczony, dobrze przygotowany do swojego zadania konstruktor z łatwością odnajdzie w kartach katalogowych planowanych do wykorzystania podzespołów wartości ich krytycznych w danym zastosowaniu parametrów oraz możliwe zakresy tolerancji w wybranych warunkach pracy (np. zakresie napięć zasilania, prądów roboczych czy temperatur pracy). W przypadku nie dość satysfakcjonujących właściwości należy szukać podzespołów o lepszych parametrach, co może jednak wiązać się z trudnościami w ich pozyskaniu i/lub podwyższonym kosztem zakupu.

Większe trudności zaczynają się w punkcie drugim, w którym ukryte są możliwe interakcje pomiędzy odstępstwami (rozrzutem) parametrów poszczególnych podzespołów. Najprostszym i zarazem najlepszym rozwiązaniem będzie oczywiście zastosowanie podzespołów o jak najmniejszym rozrzucie wartości krytycznych parametrów (podobnie, jak w odniesieniu do punktu 1.), ale nie zawsze



Fotografia 1. Kontrola dopasowania modułów prototypowych i obudowy do płyty podstawy

będzie to możliwe z odpowiednim skutkiem. Wtedy z pomocą może przyjść sprawdzona meta-strategia optymalizacyjna (stosowana szeroko w różnych zagadnieniach optymalizacyjnych – nie tylko inżynierskich), znana pod potoczną nazwą „dziel i zwyciężaj”. Chodzi tu o podział układu (a więc i problemu projektowo-optymalizacyjnego) na mniejsze podproblemy, jak najmniej powiązane ze sobą parametrycznie (tzn. z minimalizacją wzajemnej interakcji w zakresie parametrów roboczych).

Niestety, w niektórych wypadkach takie podejście nie będzie możliwe wcale lub dalszy podział układu na mniejsze podukłady nie będzie wykonalny. Wówczas wkroczyliśmy w obszar punktu trzeciego, gdzie trzeba będzie dobrać odpowiednie rozwiązanie układowe i sprawić, by rozrzut wartości krytycznych parametrów zastosowanych podzespołów nie pogorszył w znaczący sposób jego działania. Z pozoru prosta i intuicyjna metodyka działań projektowych, okazała się pełna złożonych uwarunkowań, ukrytych trudności i wzajemnych interakcji.

Analiza wrażliwościowa – podstawy i zastosowania

Wartości parametrów elementów i podzespołów, z których zbudowany jest praktycznie każdy układ elektroniczny, zwykle różnią się w pewnym stopniu od tych przyjętych przez konstruktora. Przy seryjnej produkcji układów elektronicznych, parametry poszczególnych egzemplarzy mogą ulegać nierzadko znacznemu rozrzutowi. Różnice będą wynikały przede wszystkim z tolerancji (odchyłek wartości) parametrów poszczególnych podzespołów, ale też i w pewnym stopniu z niedoskonałości zastosowanych procesów technologicznych, a także zatarzenia się elementów czy zmian klimatycznych. Można mówić wówczas o rozrzutach wartości parametrów układów elektronicznych. Rozrzuty te sprawiają, że parametry zewnętrzne układu elektronicznego (jak np. napięcia wyjściowe, wydajności prądowe, impedancje znamionowe, transmitancje w dziedzinie widma częstotliwości czy odpowiedzi czasowe) również będą odbiegały od tych założonych przez konstruktora.

Aby móc uwzględnić wpływ wymienionych zjawisk na parametry zewnętrzne układu, oblicza się wpływ niewielkich zmian wartości parametrów elementów na parametry zewnętrzne układu. Tą procedurę nazywamy „analizą wrażliwościową”. Z teoretycznego punktu widzenia opiera się ona na analitycznym opisie układu elektronicznego w formie złożonej funkcji wielu zmiennych (zazwyczaj silnie

nieliniowej), obowiązującej dla danych warunków pracy układu (tzn. punktu pracy oraz częstotliwości w przypadku układów zmiennoprądowych). Do takiego analitycznego opisu układów stosowane są dość podstawowe metody analizy matematycznej (rachunku różniczkowego), a konkretnie rozwinięcie (przybliżenie) funkcji nieliniowej w otoczeniu danego zestawu wartości parametrów roboczych (nominalnych) w tzw. „szereg Taylor’a” (<http://bit.ly/2IVo4RF>), który przyjmuje postać wielomianu wielu zmiennych. Jeśli oznaczylibyśmy interesujący nas, badany parametr zewnętrzny układu literą k , a zestaw parametrów wewnętrznych układu, od wartości których zależy wartość k , wektorem x , gdzie:

$$x=[x_1, x_2, \dots, x_n] \quad (1)$$

to funkcja wyznaczająca wartość k (w ujęciu ogólnym – nieliniowa) miałaby postać:

$$k=f(x)=f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2)$$

Rozwijając zależność (2) na szereg Taylor’a wokół wartości x_0 (nazywanych wartościami nominalnymi) otrzymujemy wyrażenie:

$$k = k_0 + \sum_{i=1}^n \frac{\delta k}{\delta x_i} (x_i - x_{i0}) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\delta^2 k}{\delta x_i \delta x_j} (x_i - x_{i0})(x_j - x_{j0}) + \dots \quad (3)$$

Dla niewielkich przyrostów:

$$\Delta x_i = x_i - x_{i0} \quad (4)$$

można uwzględnić tylko dwa pierwsze składniki rozwinięcia (i pominąć pozostałe):

$$\Delta k = k - k_0 = \sum_{i=1}^n S_i \Delta x_i \quad (5)$$

gdzie:

$$S_i = \frac{\delta k}{\delta x_i} \quad (6)$$

jest nazywane wrażliwością bezwzględną parametru k na wielkość x_i . Stosowane bywają również definicje wrażliwości względnej:

$$S_i^r = \frac{\frac{\delta k}{k}}{\frac{\delta x_i}{x_i}} = \frac{\delta \ln k}{\delta \ln x_i} = S_i \frac{x_i}{k} \quad (7)$$

oraz dwóch wrażliwości półwzględnych:

$$Q_i = \frac{\delta \ln k}{\delta x_i} = S_i \frac{1}{k} \quad (8)$$

$$Q_i^r = \frac{\delta k}{\delta \ln x_i} \quad (9)$$

Wykorzystując wyrażenia (5) oraz (7) można napisać alternatywną zależność, opisującą zmianę wartości parametru k :

$$\frac{\Delta k}{k_0} = \sum_{i=1}^n S_i^r \frac{\Delta x_i}{x_{i0}} \quad (10)$$

W praktyce, wyznaczanie rzeczywistych charakterystyk wrażliwościowych układów elektronicznych wykonuje się za pomocą oprogramowania przeznaczonego do komputerowej symulacji, np. z rodziny programów „SPICE” np. „SPICE2” czy „PSPICE”. Często wykorzystuje się dwa dość podstawowe parametry: wrażliwość oraz wrażliwość znormalizowaną. Jeśli badanym parametrem byłby potencjał $V(n)$, wyznaczony dla n -tego węzła w układzie, to jego wrażliwość względem parametru układu P (*element sensitivity*) będzie pochodną cząstkową potencjału węzłowego $V(n)$ względem parametru P :

$$S_P^{V(n)} = \frac{\partial V(n)}{\partial P} \quad (11)$$

W programach symulacyjnych wykorzystuje się także tzw. „wrażliwość znormalizowaną” (*normalized sensitivity*), wyznaczaną względem 1-procentowej zmiany parametru P :

$$S_{PN}^{V(n)} = \frac{\frac{\partial V(n)}{\partial P} \cdot P}{100} \quad (12)$$

Warto wspomnieć o tym, że możliwe jest wykonanie podobnych analiz (oczywiście, za pomocą odpowiednio zmodyfikowanych zależności) zarówno dla parametrów o wartościach zespolonych, jak i dla tzw. wielkopryrostowych zmian wartości badanych parametrów (analiza „wrażliwości wielkopryrostowej”). Jakkolwiek, z racji znacznej złożoności i obszerności wspomnianych zagadnień, nie będą one szerzej omawiane w tej publikacji o charakterze przeglądowym. Prosty przykład zastosowania analizy wrażliwościowej do projektowania układów elektronicznych zostanie podany w dalszej części artykułu.

Analiza Monte Carlo – podstawy i zastosowania

Analiza Monte Carlo jest silnym narzędziem wspierającym analizę wpływu rozrzutu wartości wybranych parametrów układu elektronicznego. U jej podwalin leży statystyczne podejście do tego zagadnienia, oparte o cykliczne powtarzanie komputerowych symulacji całego układu przy każdorazowym, pseudolosowym modyfikowaniu tychże parametrów – jednak wyłącznie w zakresie założonych tolerancji.

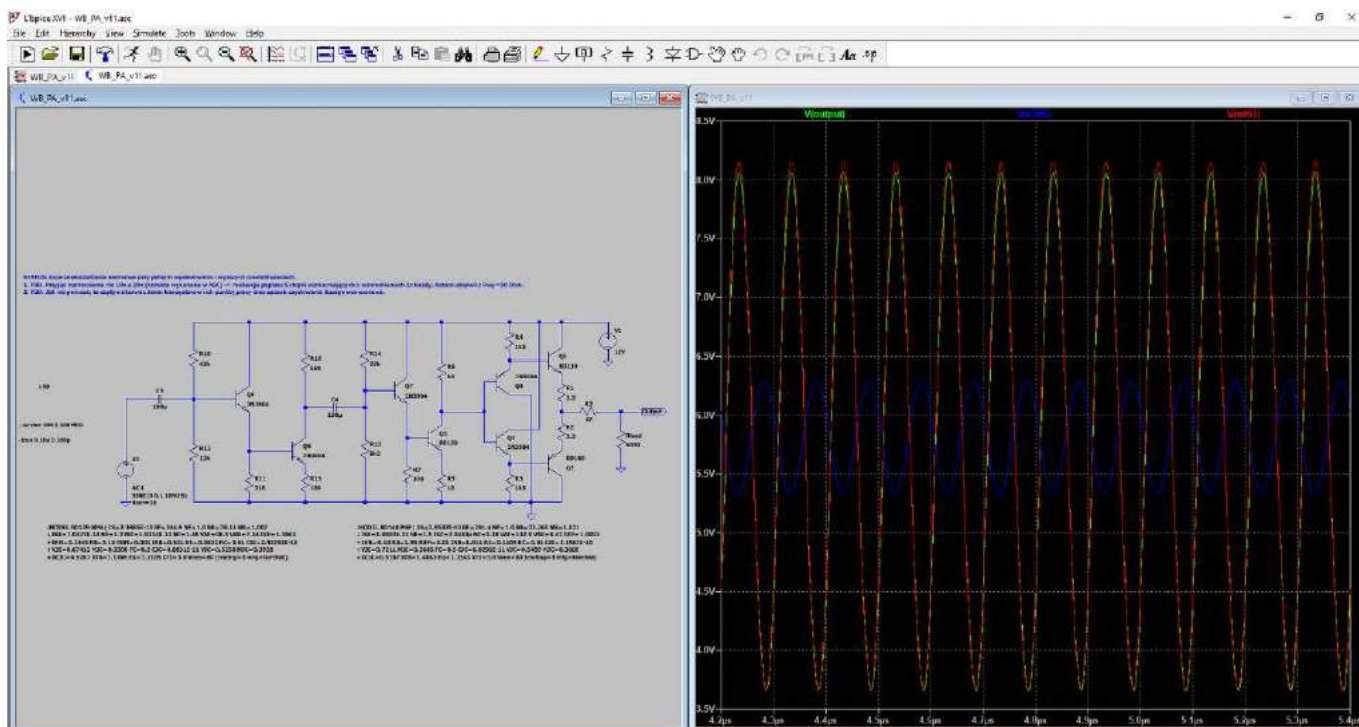
Analizę tę wspiera wiele programów, przeznaczonych do symulacji układów elektronicznych, głównie tych opartych o silnik oprogramowania „SPICE”. W przypadku tego programu (i pokrewnych) możliwe jest modyfikowanie wszystkich parametrów, które daje się określić w ramach instrukcji „MODEL”. Samą analizę Monte Carlo wywołuje się poleceniem „MC”. Możliwe jest też zastosowanie modyfikatorów „DEV” oraz „LOT”. Pierwszy z nich służy do określenia bezwzględnej lub procentowej tolerancji wybranego parametru, zdefiniowanego poleceniem „MODEL”. Natomiast drugi jest słowem kluczowym, za pomocą którego parametry wszystkich elementów, odwołujących się do tego samego polecenia „MODEL”, w której to został podany modyfikowany parametr, zmieniają się jednocześnie. Analiza Monte Carlo zazwyczaj może być przeprowadzana w odniesieniu do analiz (symulacji): stałoprądowej punktu pracy, stałoprądowej, zmiennoprądowej (częstotliwościowej) oraz stanów nieustalonych (polecenia: „OP”, „DC”, „AC” oraz „TRAN”).

Więcej wyczerpujących informacji (i szczegółów dotyczących poszczególnych implementacji) na temat tej analizy można znaleźć w podręcznikach (pomocy technicznej) dla konkretnych programów symulacyjnych. W tym miejscu warto jednak podkreślić fakt, że wykonanie odpowiednio dużej liczby symulacji w ramach pojedynczej analizy Monte Carlo pozwala ocenić wpływ rozrzutu elementów na pracę danego układu a, w szczególności, interakcji występujących na skutek wystąpienia ich różnych kombinacji.

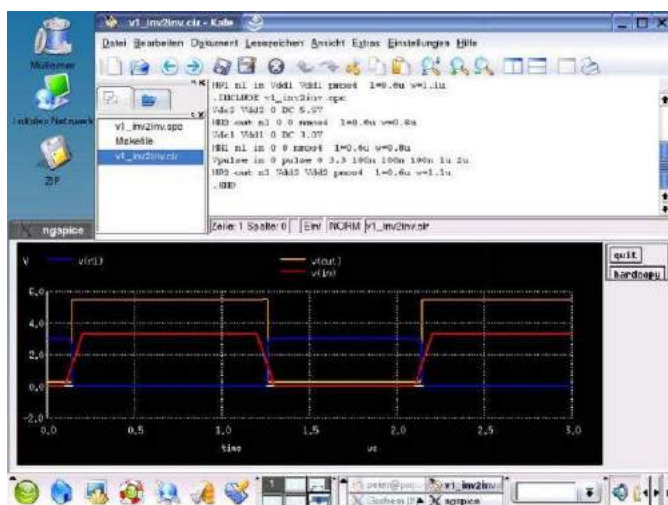
Komputerowe narzędzia wspomagające projektowanie

W wytwarzaniu układów elektronicznych, z racji ich coraz większej złożoności technologicznej i rozmiarowej, coraz szerzej stosuje się oprogramowanie z rodziny „CAE/CAD/CAM” (*Computer Aided Engineering/Design/Manufacturing*), wspierające projektowanie i realizację. Zakres zastosowania takich narzędzi jest ogromny, bo sięga nie tylko projektowania samych elementów i parametrów elektronicznych (w tym także płytek drukowanych „PCB”), ale również wszelkich aspektów konstrukcji mechanicznych czy sterowaniem zautomatyzowanym procesem produkcji.

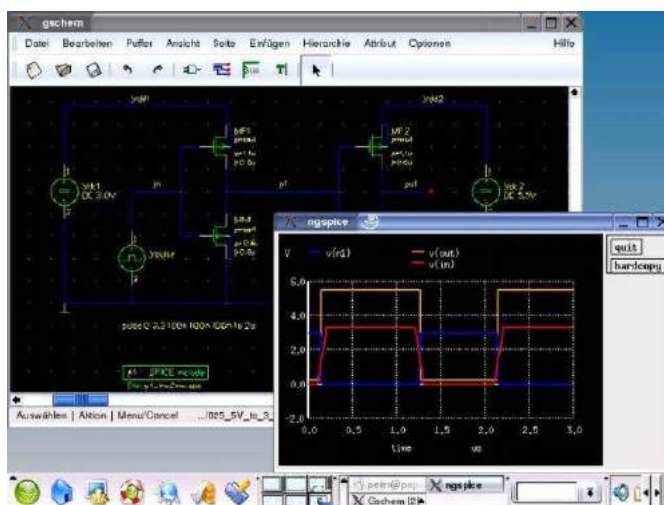
Osobną dziedzinę stanowią zadania wytwarzania dedykowanego oprogramowania dla układów mikroprocesorowych oraz projektowania wewnętrznych struktur wszelkiego rodzaju układów scalonych (i wszelkich innych przyrządów półprzewodnikowych), jednak nie będą one szerzej poruszone w tej publikacji z racji obszerności i wysoce specjalistycznego charakteru. Skupimy się tu wyłącznie na wybiórczym przeglądzie bardzo szerokiej rodziny popularnego oprogramowania, przeznaczonego do projektowania układów oraz dedykowanych im płytek drukowanych „PCB” (*Printed Circuit Board*).



Rysunek 1. Wygląd programu Ltspice

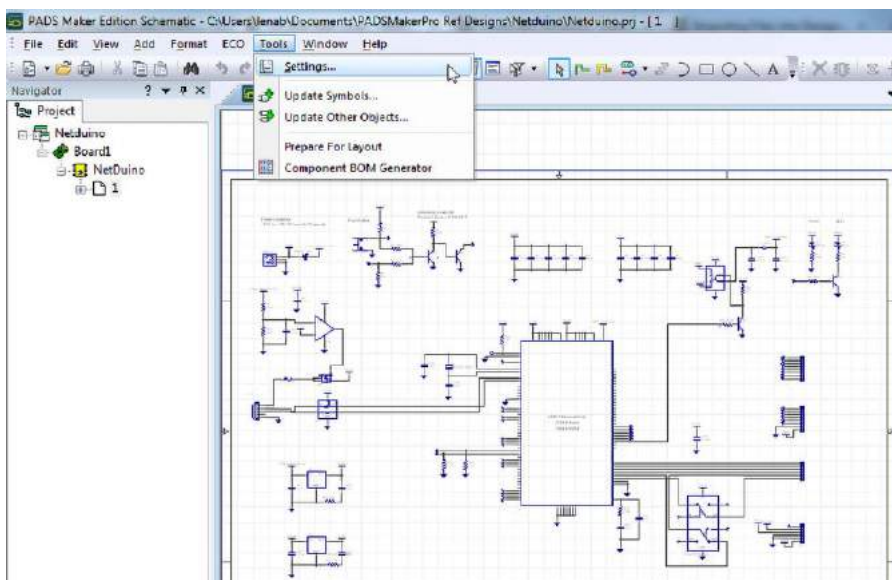


Rysunek 2. Wygląd programu ngspice



Rysunek 3. Środowisko graficzne programu ngspice

W zakresie projektowania układów elektronicznych kluczowe miejsce zajmują wszelkie programy, oparte w znacznej mierze o modele, mechanizmy symulacyjne oraz uproszczony język programu „SPICE” (w kilku swoich kolejnych wersjach), opracowywanego przez wiele lat na Berkeley University w U.S.A. Program ten ma nieocenione zasługi nie tylko w projektowaniu układów dyskretnych, zarówno analogowych, jak i cyfrowych, ale także (a może przede wszystkim) w projektowaniu struktur wewnętrznych układów scalonych. Do podstawowych typów symulacji, które można wykonywać tym programem należą przede wszystkim: analiza (symulacja) stałoprądowego punktu pracy (polecenie „OP”), stałoprądowej (polecenie „DC”), zmiennoprądowej (polecenie „AC”), a także w dziedzinie czasu (polecenie „TRAN”). Możliwe też jest opcjonalne



Rysunek 4. Wygląd programu PADS, okno schematu

wykonywanie analiz uzupełniających (jak wspomniane wcześniej analizy: wrażliwościowa czy Monte Carlo), bardzo przydatnych w rękach doświadczonych konstruktorów rozbudowanych układów.

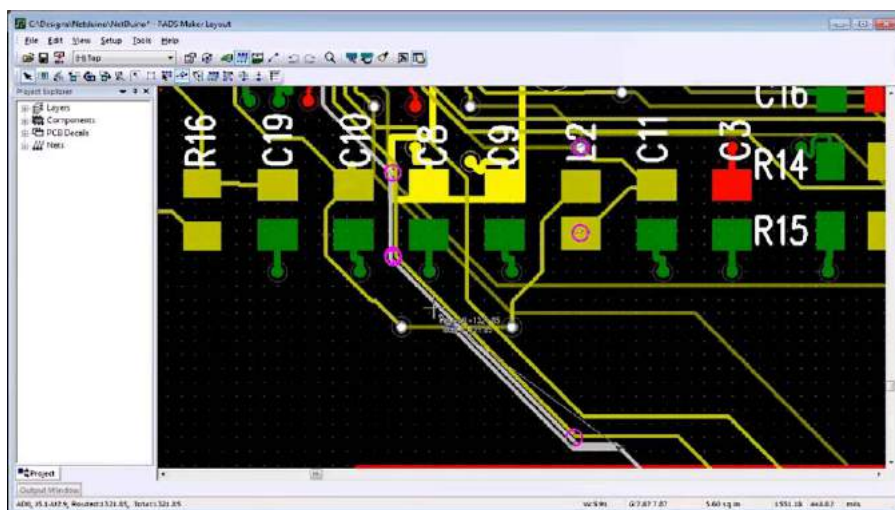
Z dobrze znanych, sprawdzonych i wyposażonych w dogodny interfejs graficzny programów warto polecić programy PSPICE, TINA-TI SPICE, LTSpice oraz ngspice. Program PSPICE zyskał szczególną popularność w latach 90-tych ubiegłego wieku z uwagi na powszechną dostępność darmowej wersji studenckiej, powszechnie stosowanej w celach akademickich, oraz na spore bogactwo dostępnych bibliotek elementów. Program TINA-TI SPICE (więcej informacji o nim jest dostępnych m.in. na stronach WWW: <https://bit.ly/2WshRVg> oraz <https://bit.ly/3a6n7lu>) jest kompleksowym środowiskiem do projektowania układów elektronicznych (z rozbudowanym modułem symulacyjnym), dostarczającym wraz z rozbudowaną biblioteką elementów przez uznaną na rynku firmę Texas Instruments.

Ciekawą alternatywę dla programów w pełni lub częściowo komercyjnych stanowią LTSpice oraz ngspice, które są dostępne całkowicie za darmo, a są cenione za wysoką stabilność numeryczną i szybkość działania. Pierwszy z nich, rozwijany z woli uznanego na rynku producenta układów scalonych Linear Technologies, posiada bardzo prosty i łatwy do opanowania interfejs graficzny (rysunek 1), niezłą dokumentację techniczną (<https://bit.ly/395aB4o>, <https://bit.ly/2U4OW86>), jest dostarczany ze sporą biblioteką elementów i makromodeli, a jego najaktualniejszą wersję można pobrać ze strony producenta (<http://bit.ly/2SORLHe>).

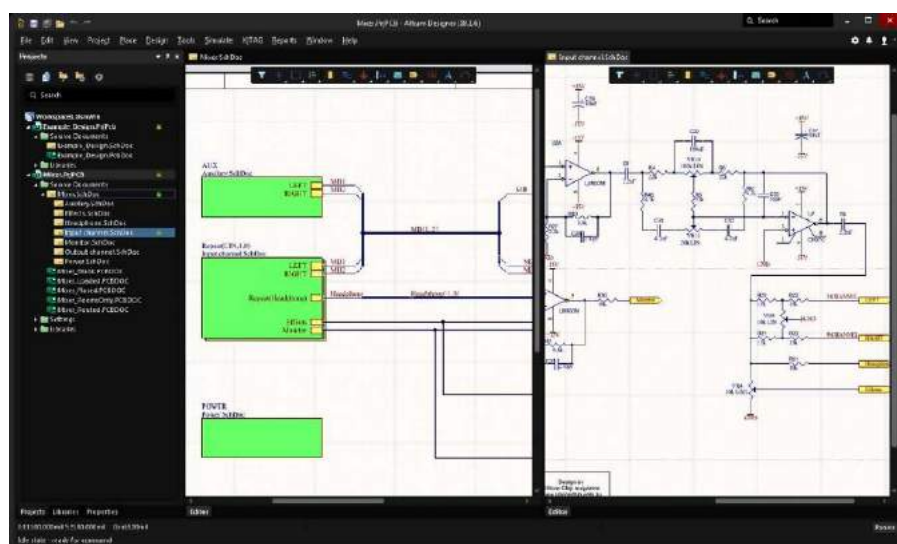
Drugi z tych programów, całkowicie niekomercyjny, pierwotnie przeznaczony był wyłącznie do pracy w trybie tekstowym (rysunek 2), ale już od wielu lat jest dostępny z wystarczającym środowiskiem graficznym (rysunek 3), dostępny także dla platform Linux czy UNIX. Program ngspice wraz z licznymi przydatnymi informacjami, można pozyskać ze stron WWW: <https://bit.ly/2UrzV8> lub <https://bit.ly/2j5M0la>.

Tematyka artykułu nie pozwala na głębsze wniknięcie w niuanse komputerowej symulacji układów elektronicznych, jednak chciałbym wyjaśnić pewien mit. Wiele konstruktorów uważa narzędzia symulacyjne za całkowicie nieprzydatne w projektowaniu układów elektronicznych argumentując tym, że operują one na pewnych „uśrednionych” modelach podzespołów elektronicznych. Jest to całkowita prawda, jednak doświadczony konstruktor, o odpowiedniej wiedzy powinien mieć pełną świadomość tego, do którego momentu można zaufać takim modelom, a od którego należy w danej konkretnej symulacji uwzględnić także parametry pasywność, niewidoczne na schemacie układu. Wtedy może wykonać dodatkowe analizy wrażliwościowe i/lub Monte Carlo, które pozwolą profesjonalnie uwzględnić wpływ rozrzutu wybranych parametrów zastosowanych elementów.

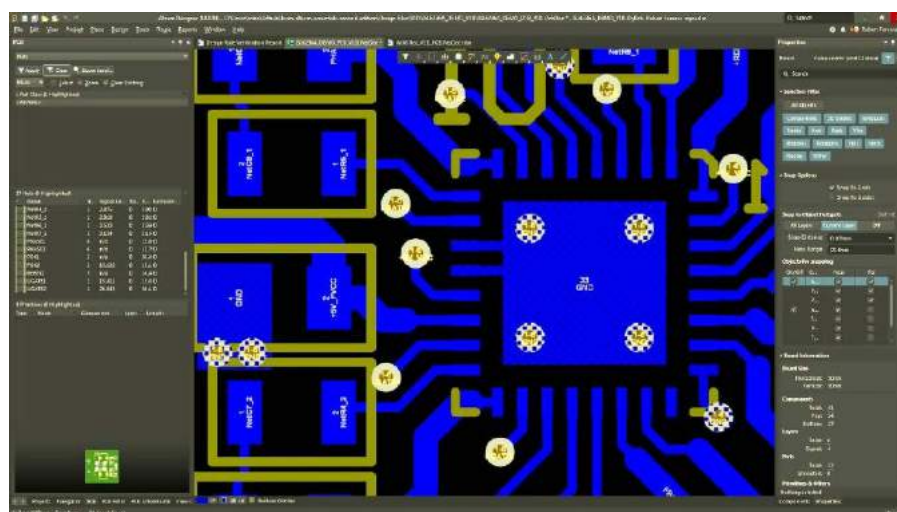
W zakresie projektowania płytek drukowanych, czyli tzw. PCB, wybór narzędzi komputerowych, przeznaczonych do ich projektowania, jest ogromny. Programy te różnią się między sobą zarówno paletą dostępnych opcji i funkcjonalności, jak i ... ergonomią oraz wygodą obsługi. Jak nietrudno się domyśleć, narzędzia komercyjne zwykle są bardziej dopracowane i oferują więcej możliwości przydatnych w profesjonalnych i wymagających rozwiązaniach (np. projektowanie



Rysunek 5. Wygląd programu PADS, okno kreatora PCB



Rysunek 6. Wygląd programu Altium Designer



Rysunek 7. Wygląd programu Altium Designer, okno kreatora PCB

układów pracujących z bardzo wysokimi częstotliwościami).

Na drugim biegunie znajdują się narzędzia stosunkowo mało skomplikowane, umożliwiające pracę poprzez interfejs WWW i często nie dające nawet możliwości zapisu (zachowania) projektu w trwałej formie. Przysłowiowym „koniem trojańskim” wielu z tych narzędzi bywa funkcja tzw. „automatycznego routera”, czyli mechanizmu przeznaczonego do automatycznego rozmieszczenia elementów i prowadzenia ścieżek na PCB, która okazuje się niejednokrotnie wielkim rozczarowaniem początkujących projektantów. Nie oferuje ona tak dopracowanych rozwiązań jak doświadczony konstruktor jest w stanie wypracować „na piechotę”. Ilość potrzebnych ustawień oraz ręcznych poprawek po takim narzędziu zazwyczaj sprawia, że co prawda nabieramy znacznego doświadczenia w projektowaniu, ale ostatecznie rezygnujemy ze stosowania wspomnianego narzędzia na rzecz „ręcznych”, przemyślanych rozwiązań. Natomiast poprawnie zaimplementowane funkcjonalności, które „podpowiadają” możliwe prowadzenia, szerokości oraz kształty poszczególnych ścieżek należy uznać za potencjalnie bardzo cenne i praktycznie przydatne.

Trudno jest wymienić wszystkie znane i powszechnie dostępne programy do projektowania PCB. Jakkolwiek, wśród rozwiązań stosowanych przez profesjonalistów od lat nie da się chyba pominąć programów: PADS (<https://bit.ly/2xfYe88>, rysunki 4 i 5) oraz Altium Designer (<https://bit.ly/399NEgl>, rysunki 6 i 7). Spore uznanie, także wśród amatorów – głównie z uwagi na stosunkowo nieskomplikowaną obsługę oraz dostępność darmowej wersji (jednak z ograniczeniem wymiarów projektowanej płytki drukowanej) zajmuje program Eagle (<https://autode.sk/2U-o2eeR>, rysunek 8).

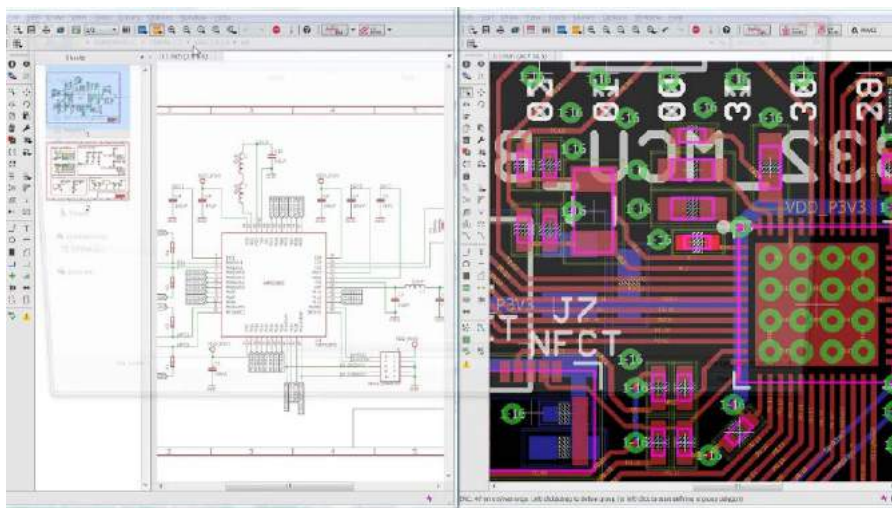
Coraz większe uznanie, nie tylko wśród amatorów, zdobywa od lat program KiCAD (<https://bit.ly/3bcvbw>, rysunki 9 i 10), który jest całkiem darmowy i nie posiada ograniczeń, a od momentu przejęcia jego rozwoju przez słynny szwajcarski ośrodek naukowy CERN zyskuje on niezmiennie i systematycznie na profesjonalizmie, ergonomii i praktycznej użyteczności oferowanych funkcjonalności.

Prototypowanie układów

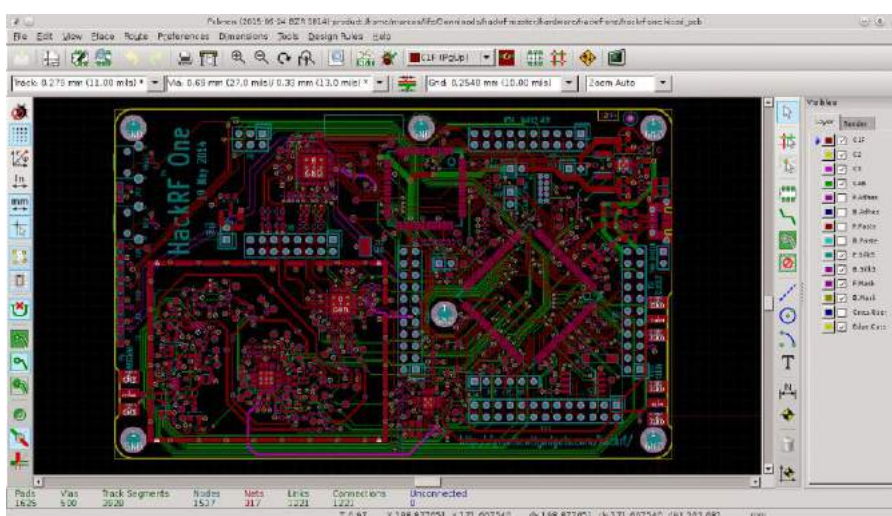
Przygotowanie prototypu to zadanie mające na celu:

- sprawdzenie w praktyce tego, czy opracowany na drodze działań teoretycznych układ będzie prawidłowo działał w praktyce,
- wprowadzenie do projektu teoretycznego (i – najlepiej od razu – także do prototypu) konkretnych korekt lub ulepszeń.

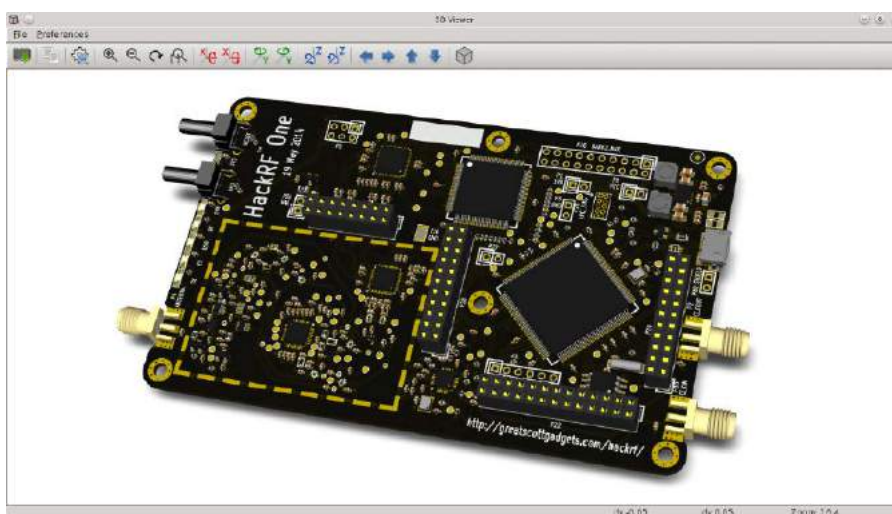
Proces prototypowania może różnić się bardzo znacznie w zależności od przeznaczenia i złożoności układu. W przypadku prostych konstrukcji amatorskich nierzadko udany prototyp staje się od razu urządzeniem docelowym.



Rysunek 8. Wygląd programu Eagle

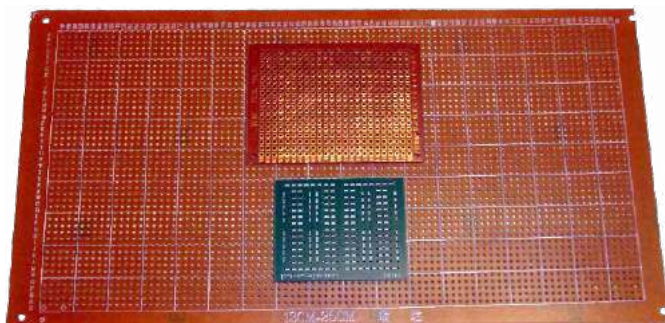


Rysunek 9. Wygląd programu KiCAD

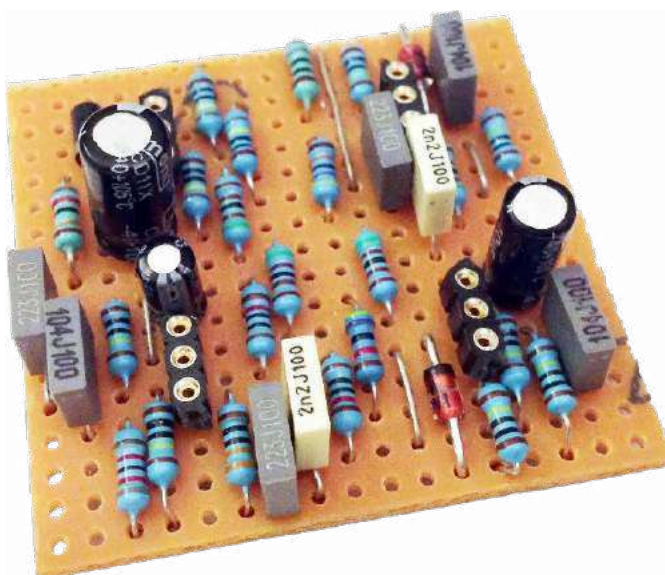


Rysunek 10. Wygenerowana w programie KiCAD wizualizacja 3D

Najprostszą amatorską metodą prototypowania jest budowa tzw. pająka. Chociaż tak skonstruowane układy mogą działać (choćby w prostych celach eksperymentalnych), to z racji licznych potencjalnych problemów nie jest to polecana technika działania. Lepszym rozwiązaniem mogą być różnego rodzaju niedrogi uniwersalne płytki (fotografia 2), wyposażone w pola lutownicze pojedyncze i/lub połączone ze sobą w usystematyzowane ścieżki. Fotografia 3 ukazuje ambitniejsze i trwalsze rozwiązanie, w którym autor pokusił się o użycie płytki uniwersalnej. Brakujące



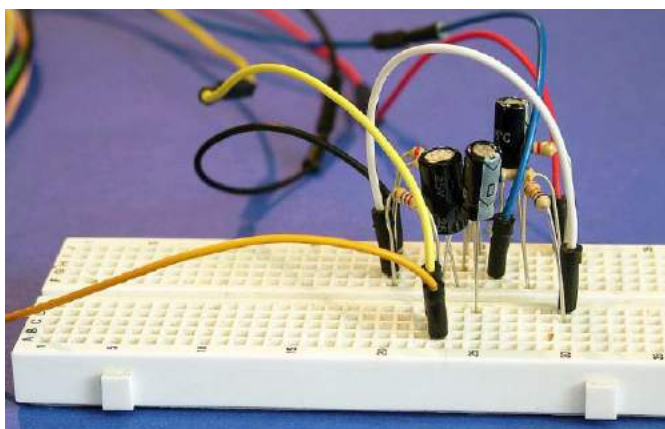
Fotografia 2. Płytki uniwersalne



Fotografia 3. Prototyp wykonany na bazie płytki uniwersalnej

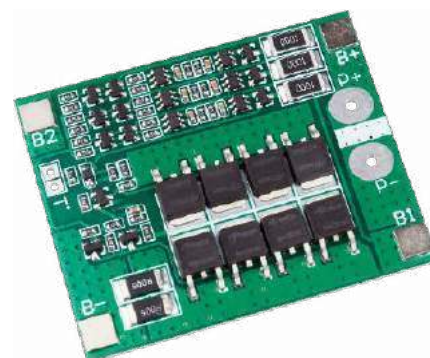
połączenia drukowane, niemożliwe do realizacji przez zalanie tzw. „kroplą cyny” musiały zostać wykonane za pomocą srebrzanki lub kynaru, czyli rodzaju cienkiego, izolowanego drutu, dość odpornego na wyginanie. Takie rozwiązanie może być uzasadnione w niektórych typach konstrukcji, jednak wciąż trudno nazwać je profesjonalnym i godnym polecenia przy konstrukcjach o większej skali.

Mniej doświadczonym konstruktorom można polecić rozwiązanie tzw. płytek stykowych (*breadboard*) jak na fotografii 3. Przeznaczone są do realizacji małej i średniej wielkości prototypów z elementami w technologii THT – końcówki elementów wciska się w dedykowane otwory, połączone ze sobą elektrycznie w pionowych i poziomych ciągach pod spodem płytki. Chociaż prototypowanie wydaje się bardzo szybkie, to ogromną wadą tego rozwiązania są niepewne połączenia wtykane, stające się coraz bardziej zawodne wraz ze starzeniem się i zużyciem takiej płytki stykowej.



Fotografia 4. Użycie płytki stykowej

W przypadku bardziej rozbudowanych konstrukcji, wykonalnych jedynie w technologii elementów SMD, praca wyłącznie z płytkami uniwersalnymi może okazać się bardzo mało efektywnym rozwiązaniem, a w układach pracujących z wysokimi częstotliwościami całkowicie niedopuszczalnym z powodu ryzyka potencjalnych zakłóceń czy sprzężeń. W takich sytuacjach jedynym rozwiązaniem jest zaprojektowanie dedykowanej płytki drukowanej SMD wraz z montażem (nie każdy projektant sprawnie radzi sobie z montażem SMD). **Fotografia 5** pokazuje przykładowy prototyp z elementami SMD, wykonany na specjalnie zaprojektowanej płytce.



Fotografia 5. Płytki prototypowa z zamontowanymi elementami

W wielu zastosowaniach projektów prototypowych (ale często także docelowych) sporą pomocą mogą okazać się różnego rodzaju gotowe moduły, za pomocą których podzespoły i większe układy w technologii SMD można sprowadzić do wygodniejszej w prototypowaniu technologii THT (**fotografia 6**). Znakomitym przykładem na przydatność tego typu rozwiązań są m.in. wszelkiego rodzaju moduły dostępne w ramach popularnej platformy Arduino i wszelkie podobne.

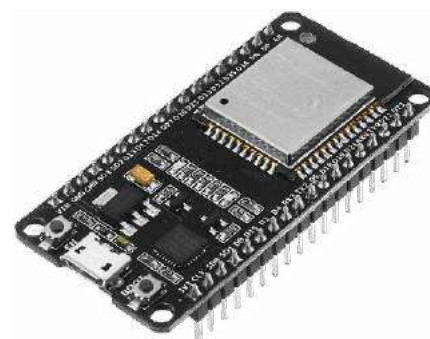
Na koniec należy stanowczo podkreślić, że zużyte płytki prototypowe, których praktyczna użyteczność w innych projektach jest mocno dyskusyjna, należy poddać odpowiedniej utylizacji.

Rodziny układów ASIC i PLD

Projektując zaawansowane układy, „szyte na miarę” potrzeb konkretnych, wymagających użytkowników, nie można zapomnieć o możliwości zastosowania układów scalonych, zrealizowanych w technologiach z rodzin ASIC (*Application-Specific Integrated Circuit*, specjalizowany układ scalony, zaprojektowany do realizacji z góry określonego zadania) oraz PLD (*Programmable Logic Device*, układ elektroniczny o programowalnej strukturze). Stanowią one istotne alternatywy dla rozwiązań, w których układy scalone, dostępne standardowo w katalogach producentów, nie mogą być użyte. Główne powody dla „ucieczki” w ich stronę, to zwykle zbyt mała szybkość działania lub wysoka unikalność (specyfika) zastosowań, w realizacji których rozwiązania „półkowe” słabo się sprawdzają. Inną przyczyną może być też chęć utajnienia przez zamawiającego taki układ, jego funkcjonalności oraz zastosowanych rozwiązań technicznych przed otwartym rynkiem komercyjnym, a także szeroko pojętą konkurencją (np. w grupie zastosowań militarnych czy związanych ze strategicznym bezpieczeństwem organizacji lub nawet państwa).

W klasycznych przypadkach układy z rodzin ASIC oraz PLD stanowią dobrą alternatywę dla zastosowań cyfrowych, w których nawet najszybsze mikroprocesory, sterowane programowo, lub układy złożone z wielu układów dostępnych w otwartej ofercie komercyjnej, okazałyby się zbyt wolne, a mało seryjna produkcja dedykowanych kości w standardowych, wielkoseryjnych procesach technologicznych, byłaby zbyt kosztowna i/lub zbyt długotrwała.

Ogromną zaletą specjalizowanego,



Fotografia 6. Moduł z wyprowadzeniami w postaci szpilek doidpin

dedykowanego układu scalonego ASIC jest to, że zwykle zastępuje on cały zestaw układów ogólnego przeznaczenia, dzięki czemu jest zazwyczaj tańszy, mniejszy, niezawodniejszy, mniej energochłonny i – nade wszystko – szybszy od „klasycznej” alternatywy. Zastosowanie pojedynczej kostki ASIC obniża też koszty związane z projektowaniem, produkcją, montażem i testowaniem znacznie większego rozmiarami układu, umieszczonego na płycie drukowanej. Układ scalony, mieszczący w jednej obudowie pełną funkcjonalność urządzenia, nazywany jest często układem SoC (*System-On-a-Chip*, system w jednej kości). Do wad specjalizowanych układów ASIC należy zaliczyć wysoki koszt opracowania, trudny do zamortyzowania przy produkcji małoseryjnej. Dodatkowo, czas opracowania i testowania takich układów jest wyższy od alternatywnych rozwiązań, a uniwersalność ich zastosowań, innych, niż nominalne, jest znikoma. Układy ASIC są dziś dość powszechnie stosowane, np. jako: układy sterujące telefonów komórkowych i komputerów, układy szybkiego cyfrowego przetwarzania sygnałów analogowych (w tym dźwięku i obrazu), układy szyfrujące i deszyfrujące, ale także jako układy wydobywające tzw. „kryptowaluty” (jedno z najnowszych zastosowań).

Do budowy prototypów układów ASIC oraz do ich małoseryjnej produkcji, zwykle stosuje się jedną z technik z rodziny układów PLD, które mogą zostać zaprogramowane tak, by działały jak dowolny układ cyfrowy - oczywiście, w granicach dostępnych zasobów niezaprogramowanego układu wyjściowego, którego graniczeniem jest ilość wewnętrznych elementów i możliwych połączeń między nimi. Układy PLD nie są programowalne w taki sposób jak mikroprocesory, które posiadają ustaloną strukturę wewnętrzną i sposób funkcjonowania. Układy PLD są zestawem bramek logicznych, których działanie zależy od sposobu ich połączenia. Do najpopularniejszych typów układów PLD należą: najstarsze historycznie i najprostsze układy SPLD (*Simple Programmable Logic Device*, proste programowalne układy logiczne) - w tym układy GAL, PAL, PLE, PLA, układy CPLD (*Complex Programmable Logic Device*, złożone programowalne układy logiczne) oraz układy FPGA (*Field-Programmable Gate Array*, macierz bramek programowalna bezpośrednio w urządzeniu docelowym). Strukturę układów PLD definiuje się za pomocą jednego z licznych języków opisu sprzętu HDL (*Hardware Description Language*, język opisu sprzętu), z których do najważniejszych można zaliczyć języki: Verilog oraz VHDL. Natomiast za podmioty, które włożyły największe zasługi do rozwoju szeroko pojętych układów PLD można uznać firmę ALTERA oraz XILINX.

Dokumentacja i testowanie

Tworząc jakiegokolwiek projekt nie należy zapominać, że jest to tylko krok w kierunku produktu końcowego. Szczegółowe zakończenie projektu jest zwykle początkiem życia produktu końcowego, który z różnych powodów może a nawet powinien ewoluować – zarówno z powodu możliwych korekt błędów i celowych ulepszeń, jak i z powodu zmian oczekiwań klientów.

Zarówno z tych powodów jak i w związku z naturalnymi wymogami cyklu produkcyjnego, należy zapewnić należytą dokumentację każdego projektu. Oczywiście jej elementami będą: generalne opisy charakterystyk technicznych i użytkowych produktu docelowego, schematy i rysunki techniczne, zestawienia elementów i podzespołów – wraz z kartami katalogowymi tych konkretnych wykonania i producentów, które zostały pozytywnie zwalidowane i zarekomendowane do zastosowania w produkcji, projekty płytek drukowanych (PCB), wszelkiego rodzaju wzorce użytkowe oraz szeroko pojęte projekty elementów estetycznych i wykończeniowych.

W poprawnie sporządzonej dokumentacji technicznej nie powinno zabraknąć także wszelkich spostrzeżeń, które pojawiły się na etapie testowania prototypów oraz pierwszych egzemplarzy produkcyjnych a także wskazówek co do tego, jakie zmiany warto wprowadzić w kolejnych wersjach projektu i jak należy prowadzić proces produkcji i testowania.

Wobec znacznej obszerności i złożoności tak zdefiniowanej dokumentacji technicznej oraz licznych współzależności pomiędzy

jej elementami, obowiązkowo należy prowadzić usystematyzowane, elektroniczne repozytoria dokumentacji, które będą podlegały skrupulatnemu wersjonowaniu ich poszczególnych elementów – np. z zastosowaniem popularnego systemu „GITHUB”. Dla rozpoczynających przygodę w tej dziedzinie niezłymi wzorcami mogą być repozytoria dokumentacji międzynarodowych organizacji technicznych z dużymi tradycjami – takimi, jak np. IEEE czy ETSI.

Osobnym zagadnieniem pozostaje testowanie urządzeń elektronicznych. W przypadku tanich i niezbyt skomplikowanych produktów „z niskiej półki sklepowej” może ono nie mieć miejsca w ogóle – jako jeden z elementów polityki cenowej (redukcja kosztów). W takiej sytuacji, gdy nabywca stwierdza niesprawność produktu – trafia on zwykle w najlepszym przypadku do utylizacji, a kupujący otrzymuje kolejny egzemplarz. Jedyny pożytek z tego podejścia może być taki, że informacja o zwrotach trafia do hurtownika, a od niego do producenta, co jest sygnałem do tego, by coś zmienić w procesie produkcji lub nawet w samym projekcie urządzenia.

W czasach, gdy królował ręczny montaż urządzeń, projektowanych w technologii THT, także proces testowania miał przebieg „ręczny” i sprowadzał się do najprostszych pomiarów potencjałów czy przebiegów napięć w punktach testowych. W przypadkach bardziej złożonych czy ważniejszych technicznie podzespołów (modułów) lub całych urządzeń (np. medycznych, przemysłowych, militarnych) do ich testowania dedykowane były specjalne stanowiska a poszczególne moduły testowano poprzez podłączenie ich do takich stanowisk dedykowanym złączem, do części którego podłączane było zasilanie i sygnały sterujące (testujące), a z innej odbierano i mierzono parametry (jakość) sygnałów wyjściowych. W technologii montażu ręcznego THT zazwyczaj liczono się z wadliwością bardziej złożonych modułów, sięgającą nawet do 5% pełnego wolumenu produkcji.

Sytuację diametralnie zmieniło masowe wprowadzenie montażu SMD. Tu zarówno proces produkcyjny jak i testowanie modułów i produktów ma zazwyczaj całkowicie zautomatyzowany przebieg, co jest uzasadnione tempem i skalą produkcji. Dzięki zastosowaniu automatycznego montażu SMD zarówno wadliwość produkcji jak i awaryjność produktów docelowych znacznie spadła (efekt eliminacji tzw. „czynnika ludzkiego” z tych procesów). Również samo testowanie zostało znacznie przyspieszone i uproszczone – głównie dlatego, że większość zaawansowanych produktów posiada wbudowane mechanizmy kontrolno-testowe, oparte o bardzo dziś już tanią technikę mikroprocesorową. Przy takim podejściu praktycznie zrezygnowano z procesu (dosłownie: wykluczono go z łańcucha życia produktu) serwisowania gwarancyjnego, sprowadzając go do wymiany całego produktu lub – co najwyżej, w uzasadnionych przypadkach – wybranych modułów.

Ww dzisiejszych czasach klasyczne procesy testowania i serwisowania „na piechotę” zostały zarezerwowane jedynie dla bardzo drogich urządzeń z „najwyższej możliwej półki” (głównie wysoce specjalistycznych urządzeń laboratoryjnych), których cykl produkcji i tak wymaga przeprowadzenia „ręcznego” strojenia i regulacji, a sama produkcja nie jest bardzo wielkoseryjna (np. w porównaniu z urządzeniami RTV czy komputerowymi).

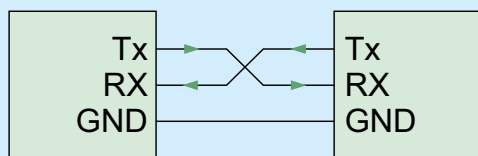
Podsumowanie

W artykule podjęto próbę zmierzenia się z bardzo obszernymi dziedzinami projektowania i prototypowania układów i urządzeń elektronicznych. Nie było możliwe w tak (z zasady) krótkiej publikacji wyczerpujące omówienie wszystkich istotnych aspektów z tych dziedzin, a niektóre z nich zostały celowo pominięte – jako tematy na osobne, większe publikacje. W ramach przeglądu wybranych aspektów projektowania i prototypowania przedstawiono też elementy systematyzacji tych procesów oraz przybliżono zastosowanie metod analitycznych w służbie komputerowego projektowania układów przeznaczonych do produkcji wielkoseryjnej.

Adam Sobczyk SQ5RWQ
sq5rwq@gmail.com

Eksperymenty z FPGA (5)

Dzisiaj zajmiemy się kolejnym peryferium, jakie jest dostępne na płycie „Rysino”. Naszym celem będzie uruchomienie komunikacji poprzez port szeregowy. Tak jak poprzednio przed przystąpieniem do wykonywania eksperymentów zachęcam do aktualizacji repozytorium z przykładami (na przykład poprzez wywołanie polecenia `git pull`).



Rysunek 1. Sposób łączenia urządzeń poprzez port szeregowy

Jak działa port szeregowy?

Port szeregowy UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*) – uniwersalny asynchroniczny odbiornik/nadajnik) składa się z dwóch linii danych: nadawczej Tx i odbiorczej Rx oraz masy. Obie linie działają niezależnie, więc możliwa jest równoczesna transmisja w obu kierunkach (full-duplex). Jak pokazuje **rysunek 1** łączone są one „na krzyż”: wyjście Tx jednego urządzenia łączymy z wejściem Rx drugiego.

Najprostszą ramkę danych przesyłaną przez port szeregowy pokazuje **rysunek 2**. Istnieją także inne warianty różniące się liczbą bitów danych, długością startu, czy obecnością bitu parzystości. Nie będziemy się jednak nimi zajmowali.

W implementowanej przez nas wersji pojedyncza ramka składa się z dziesięciu bitów. W momencie, gdy linia jest wolna panuje na niej stan wysoki. Przesyłanie danych rozpoczyna się od bitu startu. Sygnalizuje on początek transmisji przez zmianę stanu linii na niski. Po nim następuje osiem bitów (jeden bajt) danych zaczynając od najmniej znaczącego bitu. Na końcu znajduje się bit stopu o wartości 1. Dzięki temu linia „płynnie” przechodzi w stan bezczynności. Poprzez zwiększenie liczby bitów stopu, zwiększamy minimalny czas pomiędzy dwoma kolejnymi ramkami.

Już w samym rozwinięciu skrótu UART znajdziemy słowo „asynchroniczny”. Nadajnik może rozpocząć przesyłanie nowej ramki w dowolnym momencie. Odbiornik cały czas „nasłuchuje” linie i rozpoczyna zapis ramki po wykryciu bitu startu. Między obydwooma urządzeniami nie ma żadnej innej synchronizacji. Czas trwania pojedynczego stanu jest ustalony parametrem, który musi być znany po obu stronach. Dlatego jednym z głównych czynników ograniczających długość pojedynczej ramki danych jest właśnie niedokładność zegarów. Musi być na tyle mała, aby w czasie trwania ramki błąd nie spowodował zgubienia lub dwukrotnego odczytania któregoś stanu.

Prędkość przesyłania podawana jest w Bodach, czyli stanach na sekundę. Dane można przysyłać zasadniczo z dowolną prędkością, ale często spotykanymi wartościami są 9600 Bd oraz 115200 Bd. Dla nich jeden stan trwa odpowiednio 104 μ s i 8,68 μ s. W naszym przypadku

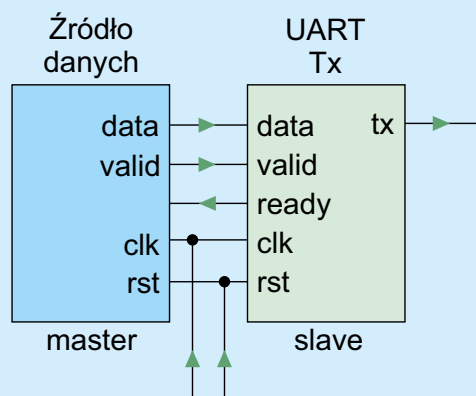
jeden stan koduje jeden bit. Jednak ze względu na bit startu i stopu prędkość przesyłu danych to jedynie 80% tej wyrażonej w Bodach. Dlatego dla podanych przykładowych prędkości maksymalne przepustowości wynoszą odpowiednio 7,5 kib/s oraz 90 kib/s (gdzie kib jest skrótem od kibibit, czyli 1024 bity).

„Nadajnik”

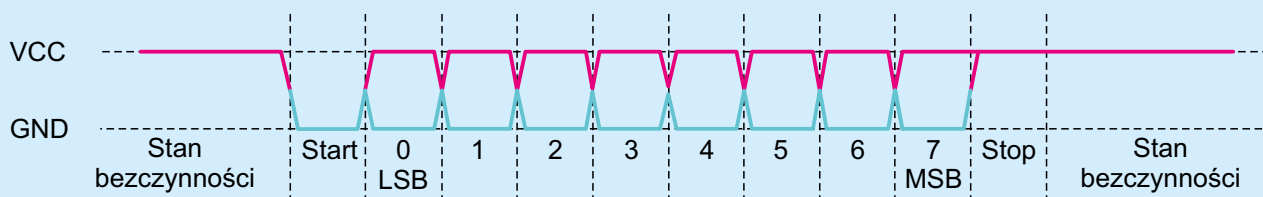
Nasze eksperymenty zaczniemy od łatwiejszego zadania, czyli wysyłania. Przy odbieraniu musimy wykryć początek ramki i dostosować się do niego. Natomiast w części „Tx-owej” po prostu mierzymy czas i ustawiamy odpowiednia stany na linii danych.

Zanim jednak zaczniemy projektować musimy ustalić, w jaki sposób będzie się on komunikował z innymi modułami, które znajdują się w układzie FPGA. Z jednej strony dane do wysyłania nie będą dostępne ciągle, więc nadajnik musi wiedzieć kiedy powinien zacząć wysyłać. Z drugiej strony nadawanie zajmuje dość długi czas. Nadanie pojedynczego bajtu przy prędkości 115200 Bd zajmie 86,8 μ s co zajmie prawie 700 cykli zamontowanego na płycie zegara. Dlatego musimy także sygnalizować pozostałym modułom, czy nadajnik jest gotowy do przyjęcia kolejnej porcji danych. Musimy więc utworzyć magistralę komunikacyjną, która dzięki dodatkowym sygnałom będzie mogła obsłużyć opisane wyżej przypadki.

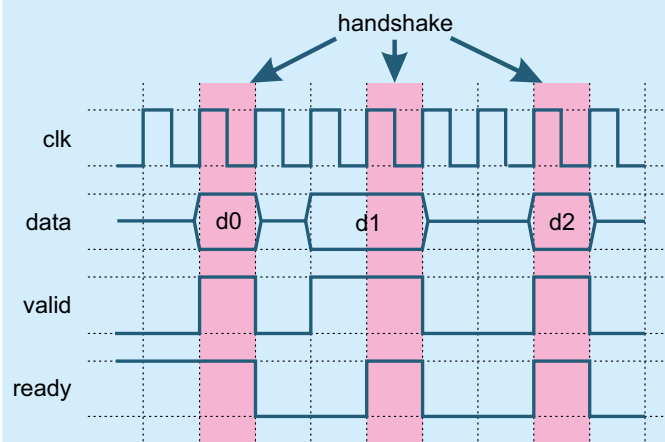
Istnieją różne gotowe magistrale danych, takie jak AXI [1], Avalon [2], czy Wishbone [3]. Tutaj wykorzystamy bardzo uproszczoną wersję szyny AXI-Stream. Skupimy się jednak na samej idei, która za nią stoi bez wgłębiania się w wymagania standardu. Szczegółowe informacje można znaleźć tu [4].



Rysunek 3. Połączenie nadajnika ze źródłem danych



Rysunek 2. Ramka danych w porcie szeregowym



Rysunek 4. Przebiegi na magistrali danych, kolorem różowym zaznaczono „handshake”

Rysunek 3 pokazuje połączenie nadajnika ze źródłem danych. Pierwsza linia nazwana *data* (dane), służy po prostu do przekazania danych. W naszym przypadku będzie to 8 bitowy wektor, który pozwoli na przekazanie całej ramki w jednym takcie zegara. Druga linia *valid* (poprawny) informuje, że jeżeli w danym cyklu zegara panuje na niej stan wysoki, to wartości dostępne na linii *data* są poprawne i należy je obsłużyć. Sygnał *ready* (gotowy) płynie w przeciwnym kierunku niż dwa poprzednie. Za jego pomocą *slave* (układ podrzędny) informuje *mastera* (układ nadrzędny) o gotowości do przyjęcia kolejnej porcji danych.

Przykładowe przebiegi uzyskane na magistrali pokazuje rysunek 4. Na początku widzimy, że sygnał *ready* jest w stanie wysokim. Układ podrzędny jest więc gotowy i czeka na nowe dane. Pojawiają się one na kolejnym takcie zegara, gdy sygnał *valid* przechodzi w stan wysoki. Stan gdy oba sygnały: *valid* i *ready* są równocześnie w stanie wysokim nazywa się *handshake* (uścisk dłoni). W momencie tym następuje przekazanie danych z *mastera* do *slavea*. Ponieważ dane *d0* zostały wysłane, a kolejne jeszcze się nie pojawiły sygnał *valid* zostaje zdjęty. Podobnie zachowuje się nasz nadajnik: otrzymał dane i rozpoczął ich przetwarzanie, dlatego sygnał *ready* przyjął stan niski.

Gdy kolejna porcja danych (oznaczona jako *d1*) jest gotowa znowu następuje ustawienie linii *valid*. Tym razem jednak *slave* nie jest jeszcze gotowy do obsłużenia kolejnej porcji. *Master* musi więc przetrzymać *d1* na szynie dopóki dane nie zostaną obsłużone. Gdy nastąpi kolejny *handshake* *d1* zostaną przekazane do urządzenia podrzędnego.

Jak widzimy dla *d2* może też zdarzyć się sytuacja, że oba sygnały: *ready* i *valid* „zapalą się” równocześnie. Wtedy taka porcja danych zostanie obsłużona natychmiast.

Gdy sygnał *valid* jest opuszczony, stan linii danych nie powinien mieć wpływu na działanie układu. Dlatego dla tych chwil stan linii *data* został symbolicznie oznaczony poziomą linią położoną na wysokości stanu niedozwolonego (w połowie drogi pomiędzy 0 a 1).

Zostały jeszcze dwa sygnały, których znaczenie powinno być łatwe do odgadnięcia. Są to *clk*, czyli zegar oraz *rst*, czyli reset. Są to wspólne linie, które dla obu modułów są traktowane jako wejścia.

Aby ułatwić modelowanie magistral w języku SystemVerilog wprowadzono interfejsy. Na **listingu 1** przedstawiono opis naszej magistrali. Widzimy, że składniowo interfejsy są bardzo podobne do modułów. Definicja rozpoczyna się w linii 10 od słowa kluczowego *interface*, po którym podajemy wymyśloną przez nas nazwę: *StreamBus*. Interfejsy, podobnie jak moduły mogą być parametryzowane. W naszym przypadku stworzymy jeden parametr *N* określający długość szyny danych i przypiszemy mu domyślną wartość 8. W liniach 13 i 14 zdefiniowane są wejścia. Są to te sygnały, które są wspólne dla wszystkich elementów magistrali. Jak pamiętamy z rysunku 3 w naszym przypadku jest to reset oraz zegar. W środku interfejsu zdefiniowane są jego wewnętrzne sygnały. U nas są to pozostałe trzy linie: *data*, *valid* i *ready*. W tym miejscu nie ustalamy ich kierunku ale na razie jedynie typ.

Ostatnią częścią są tak zwane *modport*. Dla naszego interfejsu są przygotowane dwa: *Master* (linie 20 do 26) oraz *Slave* (linie 28 do 34). Wewnątrz nich określamy kierunki poszczególnych linii. Później w definicji modułu, w którym chcemy użyć interfejsu określamy której wersji chcemy użyć. Decydujemy o tym umieszczając w liście sygnałów odpowiednio *StreamBus.Master* albo *StreamBus.Slave*.

Przykładowe wykorzystanie interfejsu pokazuje **listing 2**. Jest to nagłówek modułu *uart_tx*, czyli naszego nadajnika. Najpierw przyjmuje on dwa parametry. *F* odpowiada częstotliwości zegara wyrażonej w hercach, a *BAUD* liczbę symboli na sekundę. Następnie w liniach 14 i 15 znajdziemy listę sygnałów. Pierwszym z nich jest nasz interfejs pracujący w trybie *Slave*, a drugim linia nadawcza portu szeregowego oznaczona jako *tx*. Widzimy, że dzięki wykorzystaniu interfejsu liczba wejść/wyjść uległa dużemu skróceniu.

Maszyna stanów

Zastanówmy się teraz co tak naprawdę powinien robić nasz nadajnik. Przez większość czasu będzie utrzymywał na wyjściu Tx stan wysoki i czekał na pojawienie się na interfejsie danych do wysłania. Gdy takowe się pojawią powinien przejść do procedury wysyłania: najpierw bit startu, potem kolejne bity danych i na końcu bit stopu. Musi przy tym wziąć pod uwagę, że czas trwania symbolu nie jest równy jednemu taktowi zegara, lecz musi być zgodny z zadaniem. Po wysłaniu całego symbolu powinien znowu ustawić na wyjściu stan wysoki

Listing 1. Implementacja interfejsu w języku SystemVerilog (05_UART/uart_pkg.sv)

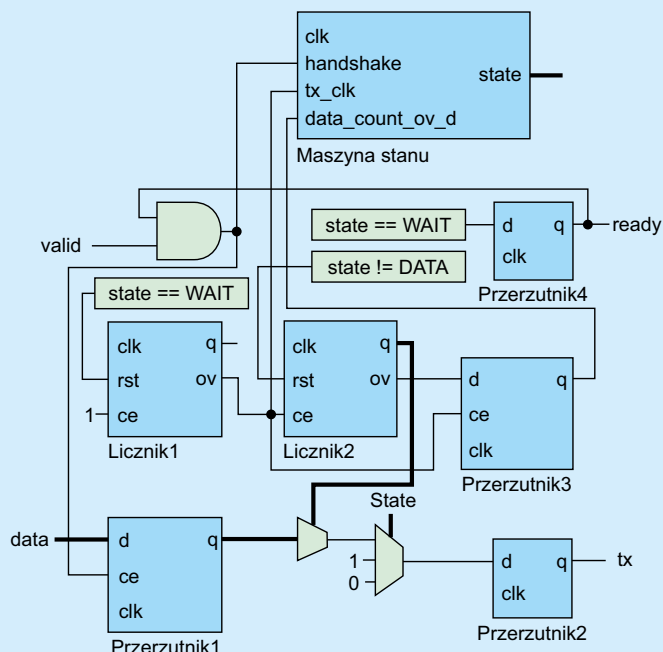
```
10 interface StreamBus #(
11     parameter N = 8
12 ) (
13     input wire clk,
14     input wire rst
15 );
16 logic [N-1:0] data;
17 logic valid;
18 logic ready;
19
20 modport Master (
21     input clk,
22     input rst,
23     input ready,
24     output data,
25     output valid
26 );
27
28 modport Slave (
29     input clk,
30     input rst,
31     input data,
32     input valid,
33     output ready
34 );
35 endinterface
36
```

Listing 2. Wykorzystanie interfejsu w module (05_UART/uart_tx.sv)

```
10 module uart_tx #(
11     parameter F = 8000000,
12     parameter BAUD = 115200
13 ) (
14     StreamBus.Slave bus,
15     output logic tx
16 );
```

Listing 3. Definicja typu wyliczeniowego state umieszczona w pakiecie uartPkg (05_UART/uart_pkg.sv)

```
38 package uartPkg;
39
40 typedef enum logic [1:0] {
41     WAIT,
42     START,
43     DATA,
44     STOP
45 } state;
46
47 endpackage : uartPkg
```



Rysunek 5. Uproszczony schemat nadajnika. Wszystkie wejścia clk są podłączone do sygnału zegarowego

i rozpocząć oczekiwanie na kolejną daną. Możemy więc przygotować listę stanów, w których może znaleźć się nasz moduł oraz podać przepis na wyznaczenie kolejnego stanu w zależności od aktualnego oraz wejść naszego modułu. W naszym przypadku będzie ich cztery:

- WAIT – oczekiwanie na dane,
- START – wysłanie bitu startu,
- DATA – przesyłanie kolejnych bitów danych
- STOP – wysyłanie bitu stopu.

Aby posługiwać się w kodzie nazwami zdefiniujemy typ wyliczeniowy `state`, pokazany na **listingu 3**. Jak widzimy w linii 4 będzie on przechowywany jako wektor typu `logic`. Ponieważ może przyjmować 4 różne wartości wystarczą nam więc 2 bity do jego przechowania. Aby używać naszego nowego typu danych w różnych modułach umieścimy go w pakiecie nazwanym `uartPkg`. Dzięki temu w projektach do których dołączymy nasz pakiet będziemy mogli odnieść się do naszego typu poprzez odwołanie postaci: `uartPkg::state`.

Mamy już sposób na reprezentację poszczególnych stanów, teraz zaprojektujmy hardware, którym będzie sterował. Pokazany został na **rysunku 5**, dla lepszej czytelności pominięte zostały połączenia wejść `clk` (wszystkie są przyłączone do sygnału zegarowego). Na początku, gdy pojawią się nowe dane zostaną one zapisane w przerzutniku 1. Jak widzimy, jego sygnał CE jest w stanie wysokim, gdy nastąpi handshake. Dzięki temu dane nie ulegną zmianie w czasie wysyłania.

Stan linii wyjściowej jest ustalany za pomocą dwóch multiplekserów. Pierwszy z nich pozwala na wybranie jednego z 8 bitów danych. Jest on sterowany za pomocą licznika 2. Drugi z nich wybiera czy obecnie na wyjściu mają pojawić się dane, bit startu (0), czy stan

Listing 4. Implementacja ścieżki danych (05_UART/uart_tx.sv)

```
41 always_ff @(posedge bus.clk)
42   if (handshake)
43     txb <= bus.data;
44
45 always_ff @(posedge bus.clk)
46   case (state)
47     uartPkg::START: tx <= 1'b0;
48     uartPkg::DATA: tx <= data_count_ov_d ? 1'b1 : txb[i];
49     default: tx <= 1'b1;
50   endcase
```

Listing 5. Implementacja liczników (05_UART/uart_tx.sv)

```
52 assign ctx_rst = (state == uartPkg::WAIT);
53 counter #(F+(BAUD/2)/BAUD) ctx (
54   .clk(bus.clk),
55   .rst(!ctx_rst),
56   .ce(1'b1),
57   .q(),
58   .ov(tx_clk)
59 );
60
61 assign data_count_rst = (state != uartPkg::DATA);
62 counter #(F+(8)) data_count (
63   .clk(bus.clk),
64   .rst(!data_count_rst),
65   .ce(tx_clk),
66   .q(1),
67   .ov(data_count_ov)
68 );
69
70 always_ff @(posedge bus.clk)
71   if (tx_clk)
72     data_count_ov_d <= data_count_ov;
```

Listing 6. Wyznaczanie sygnału ready (05_UART/uart_tx.sv)

```
39 assign bus.ready = (state == uartPkg::WAIT);
```

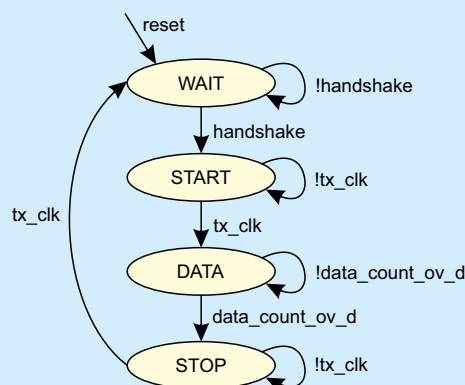
wolnej linii (1). Tutaj decyzja jest podejmowana na podstawie aktualnego stanu. Sygnał Tx na wyjściu jest zatrzymywany w przerzutniku 2. Implementację „ścieżki danych” pokazuje **listing 4**.

Ponieważ prędkość wysyłania jest mniejsza od częstotliwości taktowania potrzebujemy odpowiedniego sygnału zegarowego. Jest on generowany przez licznik 1, uruchamiany, gdy stan jest inny niż WAIT. Dzięki temu licznik czasu jest zsynchronizowany z początkiem transmisji. Jego przepełnienie jest wykorzystane przy wyznaczaniu następnego stanu oraz jako sygnał CE dla licznika 2. Wyznacza on, który bit ma być obecnie wysłany. Pracuje jedynie wtedy, gdy moduł znajduje się w stanie DATA. Przerzutnik 3 dostarcza informacji o zakończeniu wysyłania ostatniego bitu. Jest to sygnał przepełnienia licznika 2 opóźniony o czas trwania jednego symbolu. Implementacja tego fragmentu jest pokazana na **listingu 5**. Jak widzimy wykorzystane zostały stworzone wcześniej moduły licznika.

Zatrzymajmy się chwilę nad ustaleniem zakresu zliczania dla pierwszego licznika. Ma on postać:

$$(F+BAUD/2)/BAUD$$

gdzie F to częstotliwość zegara taktującego moduł, a BAUD to oczekiwana szybkość transmisji. Wyjaśnienia wymaga dodanie wartości BAUD/2 przed wykonaniem dzielenia. Gdyby wykonywać obliczenia na liczbach rzeczywistych jej obecność wydaje się wręcz błędem. Jednak tutaj obliczeń dokonujemy na liczbach całkowitych, a używana część ułamkowa jest obcinana. Jest to tak zwane zaokrąglanie w dół. Dodając do dzielnej połowę dzielnika zmieniamy to zachowanie. Można to rozumieć jako dodanie 0,5 przed wykonaniem zaokrąglania w dół, co spowoduje że dla części ułamkowej mniejszej niż 0,5 nastąpi zaokrąglenie w dół, a dla większej niż 0,5 w górę. Aby uzyskać efekt zaokrąglania w górę zamiast BAUD/2 musielibyśmy dodać BAUD-1.



Rysunek 6. Maszyna stanów nadajnika

Ostatnim nieomówionym elementem generowanie sygnału ready dla naszej magistrali. Jego implementacja jest prosta: nowe dane możemy przyjąć tylko gdy jesteśmy w stanie bezczynności WAIT. Jak pokazuje **listing 6** implementacja tego warunku jest króciutka.

Wiemy już co ma się dzieć w poszczególnych stanach. Teraz musimy ustalić w jaki sposób nasz moduł będzie przechodził pomiędzy nimi. Zostało to pokazane na **rysunku 6**. Na samym początku, zaraz po resetie, znajdziemy się w stanie WAIT. Decyzję o wyborze następnego stanu musimy podjąć na każdym narastającym zboczu zegara. W stanie WAIT decyzję podejmujemy na podstawie wystąpienia handshakeu. Ponieważ ustawienie sygnału ready jest równoznaczne z przebywaniem w stanie WAIT wystarczy, że sprawdzimy sygnał valid. Jeśli pojawią się nowe dane do wysłania, przejdziemy do stanu START, a w przeciwnym razie pozostaniemy w WAIT. Następnie musimy nadać bit startu, dlatego w stanie START będziemy tak długo, aż minie czas nadawania jednego symbolu. Zostaniemy o tym poinformowani poprzez wystąpienie przepełnienia od licznika, które w naszej maszynie trafi na wejście tx_clk. W stanie DATA będziemy przez czas trwania kolejnych 8 stanów. O wysłaniu ostatniego bitu poinformuje naszą maszynę stan wysoki na wejściu data_count_ov. W stanie STOP znowu będziemy przebywać przez czas jednego symbolu, czyli do pojawienia się stanu wysokiego na sygnale tx_clk. Spowoduje on powrót do stanu WAIT i oczekiwanie na nowe dane.

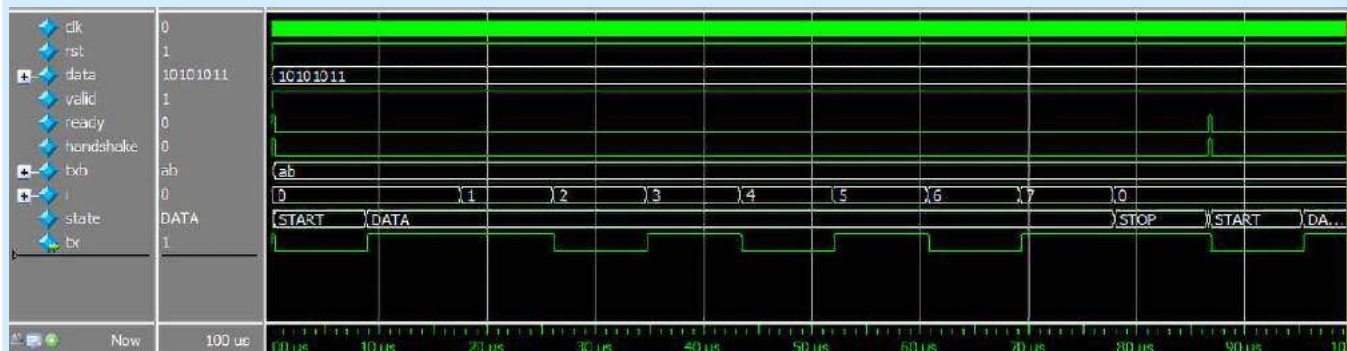
Implementację maszyny stanów prezentuje **listing 7**. Zaczynamy od asynchronicznego resetu znajdującego się w liniach 28 i 29.

Listing 7. Implementacja maszyny stanów (05_UART/uart_tx.sv)

```
17 uartPkg::STATE STATE;
27 always_ff @(posedge bus.clk or negedge bus.rst)
28   if (!bus.rst)
29     state <= uartPkg::WAIT;
30   else
31     case (state)
32       uartPkg::WAIT: state <= bus.valid ? uartPkg::START : uartPkg::WAIT;
33       uartPkg::START: state <= tx_clk ? uartPkg::DATA : uartPkg::START;
34       uartPkg::DATA: state <= data_count_ov_d ? uartPkg::STOP : uartPkg::DATA;
35       uartPkg::STOP: state <= tx_clk ? uartPkg::WAIT : uartPkg::STOP;
36       default: state <= uartPkg::WAIT;
37     endcase
```

Listing 8. Test bench dla nadajnika UART (05_UART/uart_tx_tb.sv)

```
11 module uart_tx_tb;
12   logic clk;
13   logic rst;
14   StreamBus bus(clk, rst);
15
16   initial begin
17     clk <= '0;
18     forever #625 clk <= ~clk;
19   end
20
21   initial begin
22     rst <= 1'b0;
23     #1250 rst <= 1'b1;
24   end
25
26   initial begin
27     bus.valid <= 1'b0;
28     #1250;
29     bus.valid <= 1'b1;
30     bus.data <= 8'h'ab;
31   end
32
33   uart_tx dut(
34     .bus(bus),
35     .tx()
36   );
37 endmodule
```



Rysunek 7. Wynik symulacji nadajnika

Następnie funkcja przejścia została zrealizowana w bloku case, w którym po kolei dla każdego stanu następuje sprawdzenie warunków z rysunku 6. Dla skrócenia zapisu zamiast polecenia if wykorzystany został trójargumentowy operator ?:.

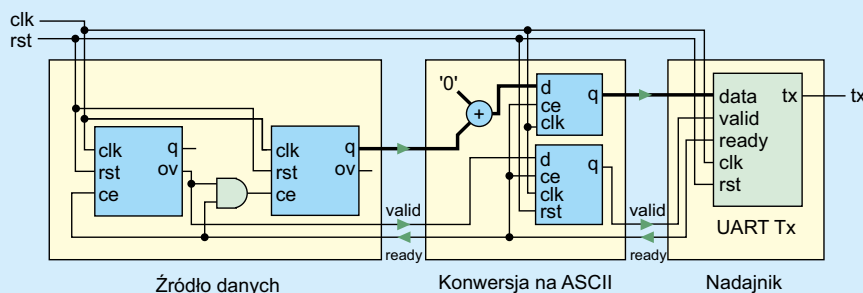
Mamy gotowy moduł. Potrzebujemy teraz test bench'u do sprawdzenia jego działania w symulacji. Fragment kodu został pokazany na **listingu 8**. W liniach 12 i 13 zdefiniowaliśmy dwa sygnały które posłużą do generowania sygnału zegarowego i resetu. Natomiast w linii 14 korzystając z nich stworzyliśmy instancję naszego interfejsu StreamBus o nazwie bus. Dalej trzech kolejnych blokach initial generujemy sygnał zegarowy, reset oraz dane. Szczególnie ciekawy jest ten trzeci z nich ponieważ korzystając z kropki odwołujemy się do poszczególnych sygnałów wewnątrz interfejsu. Na końcu umieszczamy instancję modułu uart_tx i podłączamy do niej interfejs. Symulację uruchamiamy w programie ModelSim za pomocą polecenia: do uart_tx_sim.do

(pamiętając o wcześniejszym przejściu do folderu zawierającego źródła). Powinniśmy

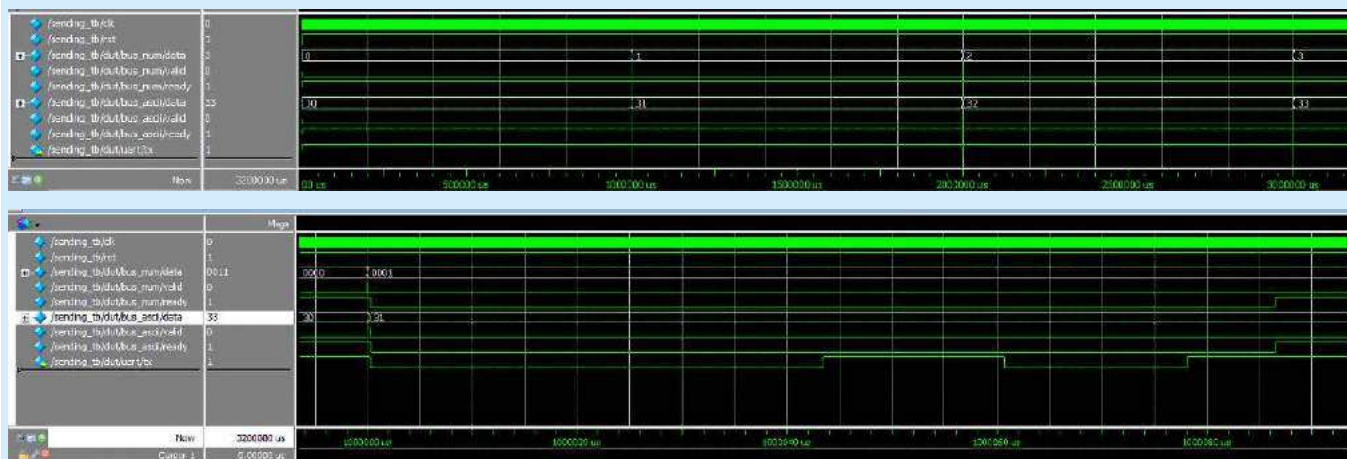
zobaczyć wynik podobny do tego z **rysunku 7**. Tutaj widoczna jest kolejna zaleta wykorzystania typu wyliczeniowego. Zamiast wartości liczbowych wypisane zostały nazwy kolejnych stanów.

Źródło danych

Mamy już gotowy i sprawdzony nadajnik. Aby jednak wykorzystać go w sprzęcie potrzebujemy jeszcze źródła danych. Stworzymy więc bardzo prosty projekt, którego zadaniem będzie wysłanie na port szeregowy kolejnych liczb od 0 do 9 zakodowanych w formacie ASCII.



Rysunek 8. Moduł wypisujący kolejne liczby



Rysunek 9. Wynik symulacji modułu sending

Jego schemat pokazuje **rysunek 8**. Przy okazji jego budowy zapoznaliśmy się z działaniem naszej magistrali w praktyce.

Zaczynając od lewej strony pierwszym modulem jest źródło danych. Składa się ono z dwóch liczników. Pierwszy z nich zapewnia opóźnienie pomiędzy kolejnymi danymi, a drugi generuje kolejne liczby do wysłania. Sygnał `valid` jest wyzwalany w momencie przepełnienia pierwszego licznika. Ciekawa jest obsługa sygnału `ready` – steruje on sygnałami `CE`. Jeżeli druga strona magistrali nie jest gotowa następuje zablokowanie pracy źródła. Jego implementacja jest pokazana na **listingu 9**. Posiada tylko jedno wejście – naszą magistralę (linia 13). Następnie znajdują się dwie instancje licznika. Pierwszy z nich (linie 17...23) generuje sygnał przepełnienia co około sekundę. Drugi natomiast realizuje zliczanie od 0 do 9 (linie od 25 do 31).

Kolejnym elementem jest konwersja na ASCII. Jest to bardzo prosty moduł. Na danych przepływających przez magistralę realizuje on dodanie 48 czyli wartości '0' w ASCII. Tak naprawdę jest to po prostu doklejenie do wejściowych bitów wartości 4'b0011. Wyjściowy wynik jest następnie zapisany w rejestrze. Warto zwrócić uwagę, że sygnał `valid`, musi „płynąć” razem z danymi, których dotyczy. Brak sygnału `ready`, podobnie jak poprzednio, powodują zatrzymanie pracy modułu. Natomiast wyjście `ready` jest po prostu zwarte z jego wejściem. Jest to wada tego typu magistrali, ponieważ powstaje sygnał, który steruje stosunkowo dużą ilością logiki i nie może zostać „zpipelinowany” poprzez dodanie dodatkowych rejestrów. Może on powodować problemy z domknięciem relacji czasowych podczas budowania projektu. Więcej na ten temat można znaleźć między innymi w [5].

Jego implementacja jest pokazana na **listingu 10**. Jako wejścia podane są dwie magistrale. Wejściowa pracuje w trybie Slave, a wyjściowa Master. Wewnątrz modułu znajdziemy dwa bloki `always_ff`. Pierwszy

z nich (linie 15...17) realizuje operację na danych, a drugi (linie 19...23) opóźnia sygnał `valid`. Widzimy, że resetowany jest jedynie ten drugi. Jeżeli sygnał `valid` jest w stanie niskim dane znajdujące się na magistrali i tak nie zostaną zinterpretowane. Nie ma więc potrzeby ich resetować.

Wszystkie trzy przedstawione bloki zostały połączone w module `sending`. Jest to główny moduł naszego projektu, który uruchomimy w układzie FPGA. Jego kod pokazuje **listing 11**. Ma on dwa wejścia: zegar i reset oraz jedno wyjście `tx`. W liniach 17 i 18 zdefiniowane są dwa interfejsy, którymi połączymy moduł. Następnie znajdują się kolejne instancje omówionych wcześniej modułów. Prędkość transmisji została ustalona na 115200 Baudów.

Przed rozpoczęciem budowania warto jeszcze uruchomić symulację, którą znajdziemy w pliku `05_UART/sending_tb.sv`. Możemy w tym celu wykorzystać skrypt:

do `sending_sim.do`

Listing 10. Implementacja źródła danych (05_UART/to_ascii.sv)

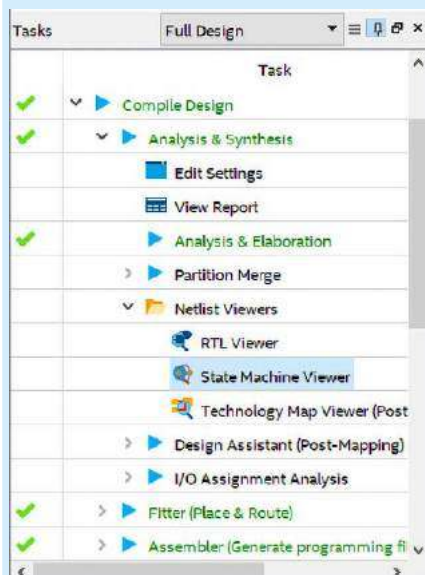
```
10 module to_ascii (
11     StreamBus.Slave bus_in,
12     StreamBus.Master bus_out
13 );
14
15 always_ff @(posedge bus_in.clk)
16 if (bus_out.ready)
17     bus_out.data <= 8'd48 + bus_in.data;
18
19 always_ff @(posedge bus_in.clk or negedge bus_in.rst)
20 if (!bus_in.rst)
21     bus_out.valid = 1'b0;
22 else if (bus_out.ready)
23     bus_out.valid <= bus_in.valid;
24
25 assign bus_in.ready = bus_out.ready;
26 endmodule
```

Listing 11. Moduł sending (05_UART/sending.sv)

```
10 module sending #(
11     parameter F = 8000000
12 ) (
13     input wire clk,
14     input wire rst,
15     output logic tx
16 );
17 StreamBus #(N(4)) bus_num (.clk(clk), .rst(rst));
18 StreamBus #(N(8)) bus_ascii (.clk(clk), .rst(rst));
19
20 data_source #(F(F)) source (
21     .bus(bus_num)
22 );
23
24 to_ascii ascii (
25     .bus_in(bus_num),
26     .bus_out(bus_ascii)
27 );
28
29 uart_tx #(
30     .F(F),
31     .BAUD(115200)
32 ) uart (
33     .bus(bus_ascii),
34     .tx(tx)
35 );
36 endmodule
```

Listing 9. Implementacja źródła danych (05_UART/data_source.sv)

```
10 module data_source #(
11     parameter F = 8000000
12 ) (
13     StreamBus.Master bus
14 );
15 logic c_1s_ov;
16
17 counter #(N(F)) c_1s (
18     .clk(bus.clk),
19     .rst(bus.rst),
20     .ce(bus.ready),
21     .q(),
22     .ov(c_1s_ov)
23 );
24
25 counter #(N(10)) c_data (
26     .clk(bus.clk),
27     .rst(bus.rst),
28     .ce(c_1s_ov & bus.ready),
29     .q(bus.data),
30     .ov()
31 );
32
33 assign bus.valid = c_1s_ov;
34
35 endmodule
```



Rysunek 10. Otwieranie podglądu maszyny stanów

Ponieważ czas symulacji to nieco ponad 3 sekundy, jej wykonanie może zająć kilka minut. Gdy już dojdzie do końca zobaczymy efekt podobny do pokazanego na rysunku 9.

Czas na sprzęt

Ostatnim krokiem jest zbudowanie projektu i uruchomienie go w układzie FPGA. Uruchamiamy środowisko Quartus i otwieramy projekt `05_uart_tx/05_uart.qpf`. Podobnie jak poprzednio rozpoczynamy budowę. Po jej zakończeniu wrócimy jeszcze na chwilę do naszej maszyny stanów. Okazuje się, że środowisko potrafi wykryć jej obecność w kodzie i wykonać dodatkowe optymalizacje.

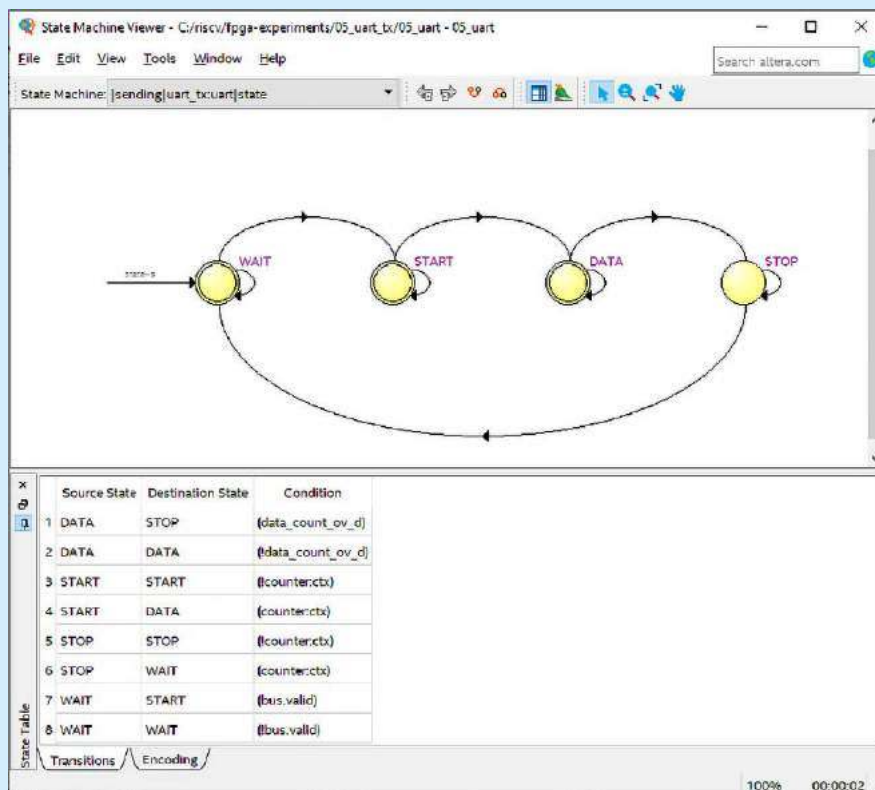
Aby się o tym przekonać z panelu *Tasks* wybieramy opcję *Analysis & Synthesis*, następnie *Netlist Viewers*, gdzie znajdziemy *State Machine Viewer* (rysunek 10). Pojawi się okno podobne to tego z rysunku 11. W środkowej części okna widzimy graf przejść naszej maszyny. Nazwy stanów zostały wyciągnięte z użytego trybu wyliczeniowego. W dolnej części okna w zakładce *Transitions* widzimy listę możliwych przejść z podanymi warunkami. W zakładce *Encoding* (rysunek 12) widzimy w jaki sposób stan będzie reprezentowany logicie. Widzimy, że zamiast 2 bitów są wykorzystane 4.

Wróćmy jednak do sprzętu. Gdy wsad dla układu FPGA zostanie wygenerowany możemy podłączyć „Rysino” do komputera i rozpocząć programowanie. Gdy zakończy się ono powodzeniem otwieramy dowolny monitor portu szeregowego. Ja wykorzystałem program Realterm [6]. W zakładce *Port* wybieramy numer portu szeregowego oraz ustawiamy prędkość transmisji na 115200. Po zatwierdzeniu przyciskiem *Change* w polu danych powinny pojawiać się kolejne cyfry co zostało pokazane na rysunku 13.

Podsumowanie

W tym odcinku uruchomiliśmy nadajnik portu szeregowego, a przy okazji przyglądnęliśmy się koncepcji maszyny stanów oraz magistrali. W następnej części zajmniemy się drugą stroną portu szeregowego, czyli odbieraniem danych.

Rafał Kozik
rafkozik@gmail.com



Rysunek 11. Okno programu State Machine Viewer

[1] AMBA® AXI™ and ACE™ Protocol Specification, ARM 2019,

<http://bit.ly/38NHTVk>

[2] Avalon® Interface Specifications, Intel 2019,

<https://intel.ly/2Qaz1CI>

[3] WISHBONE System-on-Chip (SoC) Interconnection Architecture for Portable IP Cores, Open Cores 2010,

<http://bit.ly/2wVy3n1>

[4] AMBA® 4 AXI4-Stream Protocol, ARM 2010,

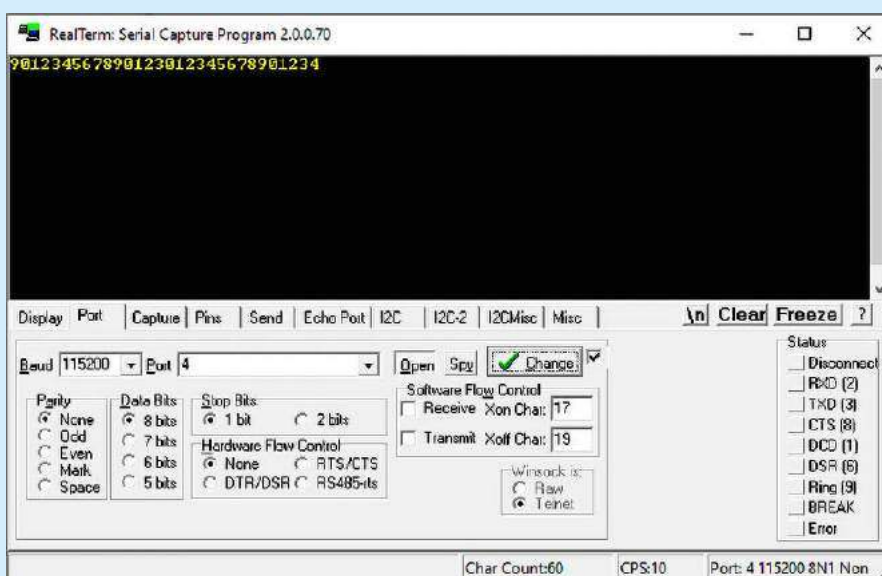
<http://bit.ly/2W6coTL>

[5] Building a Skid Buffer for AXI processing, <http://bit.ly/2TXWIQ0>

[6] <http://bit.ly/2TJx3Lj>

	Name	STOP	DATA	START	WAIT
1	WAIT	0	0	0	0
2	START	0	0	1	1
3	DATA	0	1	0	1
4	STOP	1	0	0	1

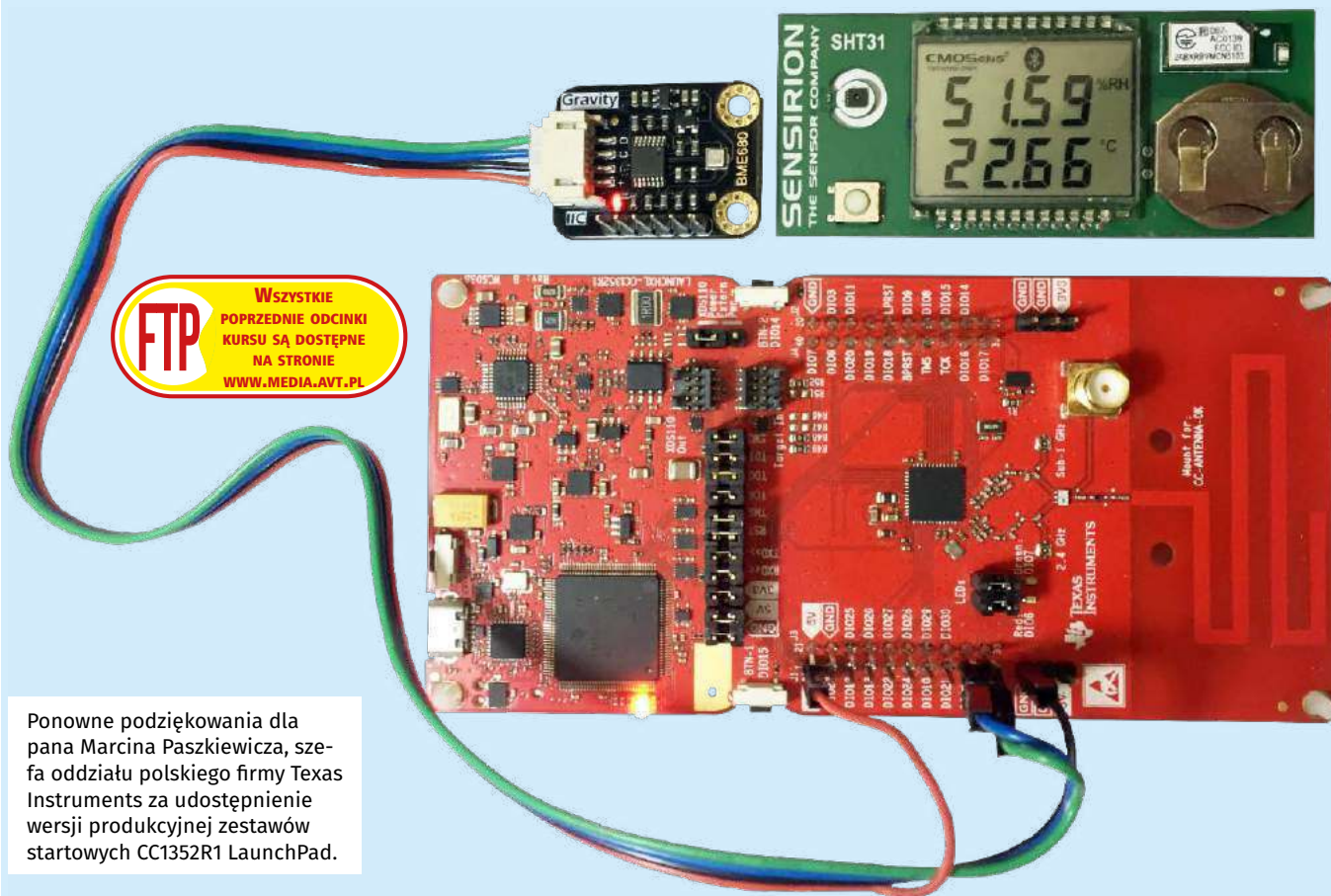
Rysunek 12. Zakładka Encoding



Rysunek 13. Okno programu Realterm



Ponowne podziękowania dla pana Marcina Paszkiewicza, szefa oddziału polskiego firmy Texas Instruments za udostępnienie wersji produkcyjnej zestawów startowych CC1352R1 LaunchPad.



Systemy dla Internetu Rzeczy (36)

Pomiar jakości powietrza, ciśnienia, wilgotności i temperatury czujnikiem BME680 dołączonym do zestawu startowego CC1352R1 LaunchPad

Czujnik jakości powietrza BME680 firmy Bosch jest bardzo popularny w zastosowaniach Internetu Rzeczy. Jest dostępny spory wybór pakietów programowych do jego użycia w środowisku Arduino. Jednak brak doniesień o dołączaniu tego czujnika do popularnego procesora komunikacyjnego CC1352R1 firmy Texas Instruments. Zadanie okazało się dosyć łatwe do zrealizowania.

Układ scalony BME680 jest jak 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 [S34]. Czujnik wilgotności względnej jest wykonany w technologii MEMS z zastosowaniem pomiaru zmian pojemności kondensatora z polimerową folią [S32]. Czujnik ciśnienia barometrycznego jest wykonany w technologii MEMS z zastosowaniem pomiaru rezystancji cienkiej membrany. Pomiar temperatury jest wykonywany poprzez pomiar zmian napięcia diody krzemowej. Każda struktura scalona zastosowana w układzie scalonym BM680

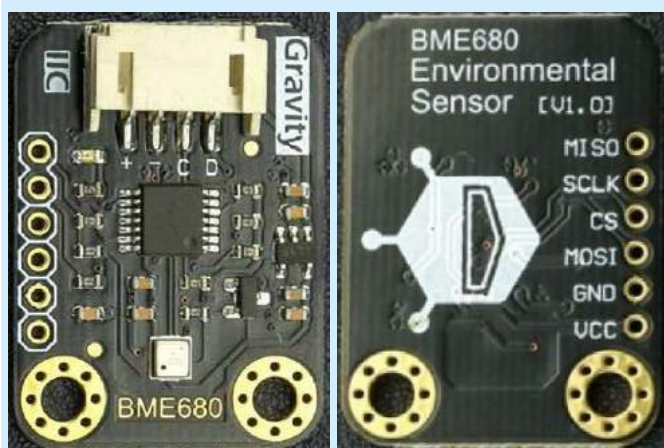
zawiera czujnik temperatury. Układ scalony BME680 został zastosowany w najnowszym zestawie Thingy:91 firmy Nordic Semiconductor przeznaczonym dla mobilnego Internetu Rzeczy [S31].

Indeks jakości powietrza IAQ

IAQ (*Indoor Air Quality*) jest liczbą która informuje o jakości powietrza we wnętrzach. Obecnie nie ma globalnego standardu definiującego IAQ [3]. Niektóre kraje mają lokalne podejście i opublikowały badania, które podają wskaźniki czystego powietrza i jego implikacje. Niestety, nie ma zgodności w zastosowaniu skali, liczby poziomów, nazw ani kolorów.

Tabela 1. Klasyfikacja jakości powietrza [5]

Wartość	Jakość powietrza	Opis
0-50	Dobra (Good)	Jakość powietrza powszechnie uznawana za satysfakcjonującą. Zanieczyszczenie powietrza na takim poziomie ma nikły lub żaden wpływ na zdrowie.
51-100	Umiarkowana (Moderate)	Jakość powietrza jest akceptowalna dla większości ludzi. Najbardziej wyczulona grupa populacji może jednak odczuwać dolegliwości.
101-150	Słaba (Little bad)	U wyczulonej części populacji mogą wystąpić negatywne skutki zdrowotne. Większa część populacji powinna czuć się relatywnie dobrze.
151-200	Niezdrowa (Unhealthy)	Cała populacja zaczyna doświadczać negatywnych skutków zdrowotnych. U najbardziej wyczulonej części populacji taki poziom może być bardzo niebezpieczny dla zdrowia.
201-300	Bardzo niezdrowa (Very Unhealthy)	Przebywanie w takich warunkach może skutkować poważnymi konsekwencjami zdrowotnymi u całości populacji.
301-500	Szkodliwa (Very bad)	Poważne zagrożenie zdrowia. Przebywanie w takich warunkach jest definitywnie szkodliwe dla zdrowia.
500+	Toksyczna (Hazardous)	W takich warunkach nie da się mieszkać. Jest to niezdrowe, niebezpieczne, nierozsądne i jeszcze kilka nie-. Zalecamy wyprowadzkę z Pekinu.



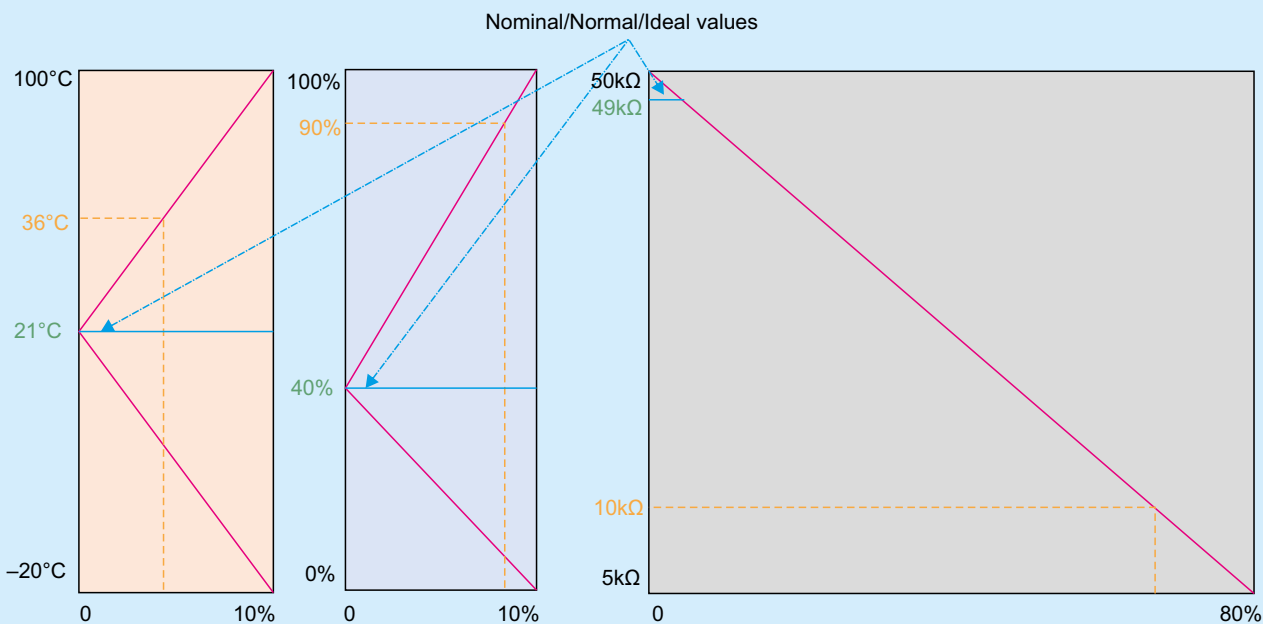
Fotografia 1. Płytkę BME680 Environmental Sensor [6]

„Umweltbundesamt” (UBA, German Federal Environmental Agency) to niemiecka agencja ochrony środowiska, która od wielu lat prowadzi badania dotyczące powietrza w pomieszczeniach i TVOC. Na podstawie badań z roku 2007 określiła standard pomiarów TVOC oraz zalecenia dotyczące jakości powietrza w pomieszczeniach

Są one bardzo przydatne, ponieważ nie tylko identyfikują poziomy potencjalnych zagrożeń, ale także dostarczają wskazówek, jakie działania są zalecane na podstawie tych poziomów TVOC [S34]. Na tej podstawie firma Bosch opracowała indeks IAQ obliczany dla czujnika BME680 przez firmową bibliotekę BSEC [2]. Klasyfikacja została pokazana w tabeli 1. Kolorami zaznaczony jest poziom jakości powietrza oraz dodano najczęściej stosowane nazwy angielskie.

Uproszczony sposób obliczania IAQ dla tego układu opracował i udostępnił David Bird [4]. W najprostszym wersji wskaźnik jest funkcją wilgotności, która daje 25% wartości indeksu oraz stężenia gazu, które dają pozostałe 75%. Wartości składowe są funkcją odchylenia od wartości optymalnej. Wilgotność mierzy się od 0 do 100% i jest powszechnie uznawana za optymalną, gdy wynosi 40%. Wtedy jej udział w wartości indeksu będzie wynosił 0. Wzrasta on liniowo do wartości maksymalnej przy wzroście lub obniżeniu się wilgotności.

Podobny sposób obliczania indeksu IAQ z dodatkowym uwzględnieniem poziomu temperatury został pokazany na rysunku 1. Stężenie gazu dla normalnego powietrza bez zanieczyszczeń (bez gazów szkodliwych) odpowiada najwyższej rezystancji wyjściowej czujnika wynoszącej 50 kΩ lub więcej. Układ BME680 zwykle odczytuje wartość rezystancji czujnika gazu w zakresie od 50 Ω do 50 kΩ i więcej



Rysunek 1. Sposób obliczania indeksu IAQ [4]

[4]. Zakłada się, że zmiana jest liniowa i udział w wartości indeksu wynosi odpowiednio między 75% a 0%. Rezultatem sumowania udziału pomiarów wilgotności i gazu jest indeks jakościowy skalowany w zakresie 0...500. Gdzie wartość 500 oznacza złą jakość powietrza, a wartości opisowe są stosowane przedziałami od dobrej doniebezpiecznej jakości powietrza (jak w tabeli 1).

Praca układu BME680

Układ scalony BME680 pracuje w dwóch stanach: uśpienia (*sleep*) oraz pracy (*forced mode*). Tryb pracy jest ustawiany na bitach 1:0 rejestru Config (pod adresem 0x75). Wpis 00b oznacza ustawienie stanu uśpienia a wpis 01b ustawienie stanu pracy. Układ po włączeniu zasilania automatycznie ustawia tryb uśpienia. W tym stanie nie wykonywany jest pomiar i pobierana jest minimalna moc ze źródła zasilania.

W stanie pracy wykonywany jest pojedynczy pomiar w sekwencji: temperatura, ciśnienie, wilgotność, rozpoczęcie podgrzewania czujnika gazu, wykonanie pomiaru gazu i zakończenie grzania.

Można ustawić w rejestrach układu scalonego 10 konfiguracji pracy (*set-point*) czujnika gazu G0 do G9.

Na konfigurację składa się ustawienie rezystancji docelowej grzejnika, czasu podgrzewania oraz wartości prądu grzejnika. Czas podgrzewania jest liczony od momentu włączenia grzejnika do momentu rozpoczęcia pomiaru rezystencji czujnika gazu. Czas ten można ustawić w zakresie od 1 do 4032 ms. Typowo ustawia się temperaturę pracy czujnika gazu na poziom pomiędzy 200 a 400°C. Wewnętrzna pętla sterowania grzejnika pracuje z uwzględnieniem zmian rezystancji grzejnika. Program użytkownika musi na podstawie wymaganej temperatury wyliczyć ustawienia rejestrów sterujących. W dokumentacji podane są wzory obliczeniowe oraz wskazane są rejestry z wartościami parametrów do tych obliczeń [2]. Po zakończeniu pomiaru gazu układ automatycznie powraca do stanu uśpienia.

Sposób pracy i odpowiednie wzory obliczeniowe dla pomiaru temperatury, ciśnienia i wilgotności są opisane w literaturze [2]. Odczyt danych pomiarowych trzeba rozpocząć od odczytu rejestru stanu *Eas_status_0* (0x1D) z polami bitowymi:

- 7 – *New data*, dane nowego pomiaru są zapisane w rejestrach,
- 6 – *Gas measuring*, zmiana stanu na zero sygnalizuje zakończenie pomiaru gazu,
- 5 – *Measuring*, zmiana stanu na zero sygnalizuje zakończenie wszystkich pomiarów,
- 3:0 – *Gas meas index*, numer konfiguracji pracy czujnika gazu.

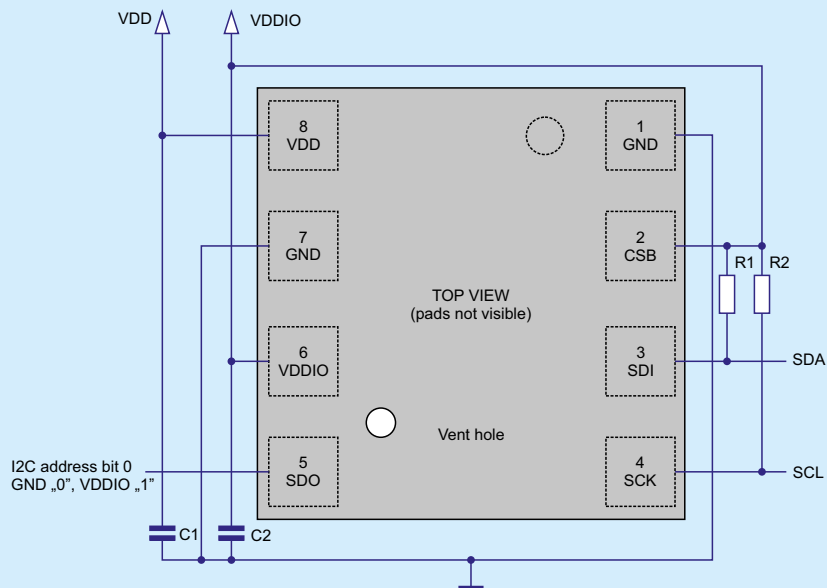
Następnie trzeba sprawdzić stan bitów *gas_valid* oraz *heat_stab* rejestru *gas_valid_r* (0x2B) aby ustalić czy dane pomiarowe są poprawne oraz czy grzejnik pracował stabilnie.

Odczytane dane z rejestrów danych układu należy przeliczyć z uwzględnieniem danych z rejestrów kalibracyjnych układu.

W przypadku wykonywania przez układ BME680 pomiaru gazu włączany jest wewnętrzny grzejnik czujnika gazu. W stabilnych warunkach długiej sekwencji pomiarów powoduje to wystąpienie stałego podwyższenia mierzonej temperatury oraz obniżonego odczytu wilgotności. Można to zjawisko skompensować poprzez uwzględnienie stałej poprawki lub odczytu z dodatkowych czujników zewnętrznych.

Rejestry wewnętrzne

Układ zawiera wiele 8-bitowych rejestrów: kalibracji, sterowania, danych, statusu oraz rejestry zarezerwowane. Dostępna jest przestrzeń adresowa z zakresu 0x00 do 0xFF. Rejestry mają inny adres przy dostępie poprzez interfejs I²C oraz SPI:



Rysunek 2. Konfiguracja wyprowadzeń podczas pracy w standardzie I²C [2]

- Podczas pracy z interfejsem I²C stosowany jest adres 8-bitowy z dostępem do całej przestrzeni adresowej,
- Podczas pracy z interfejsem SPI stosowany jest adres 7-bitowy z dostępem dwóch stron wybieranych przez ustawienia rejestru *spi_mem_page*. Po włączeniu zasilania wybrana jest strona zerowa (0x80 do 0xFF). Wpisanie do rejestru *spi_mem_page* wartości 1 powoduje wybranie strony 1 (0x00 do 0x7F).

Mapa i opis rejestrów jest zamieszczony w dokumencie BME680 Datasheet [2]. Mapa nie zawiera wszystkich rejestrów, a opis nie zawiera omówienia niektórych istotnych rejestrów układu.

Interfejs komunikacyjny

Interfejs komunikacyjny układu BME680 ma osobne wyprowadzenie zasilania VDDIO. Poziom wysoki sygnałów wejściowych interfejsu cyfrowego odnosi się do poziomu napięcia na wyprowadzeniu VDDIO [2]. Układ może pracować w trzech konfiguracjach wyprowadzeń (w standardzie: I²C, SPI (4 linie) lub SPI (3 linie)):

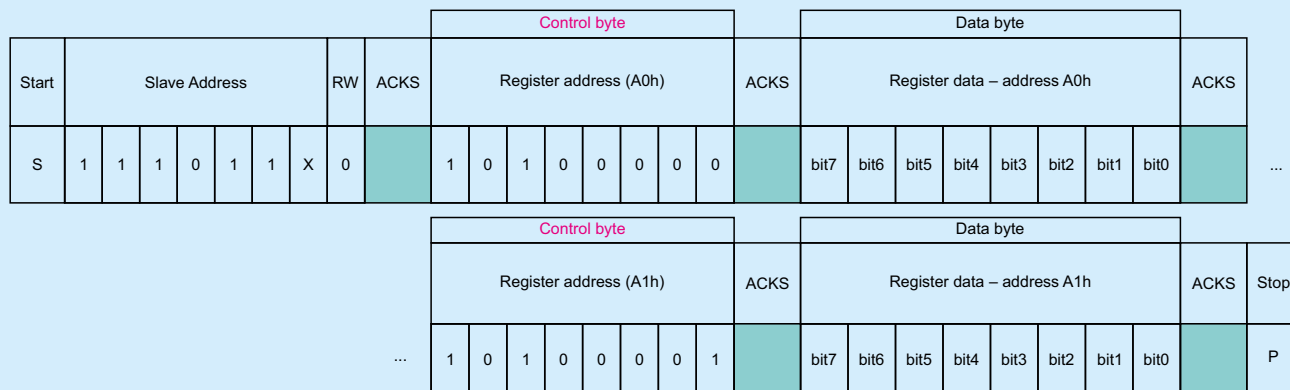
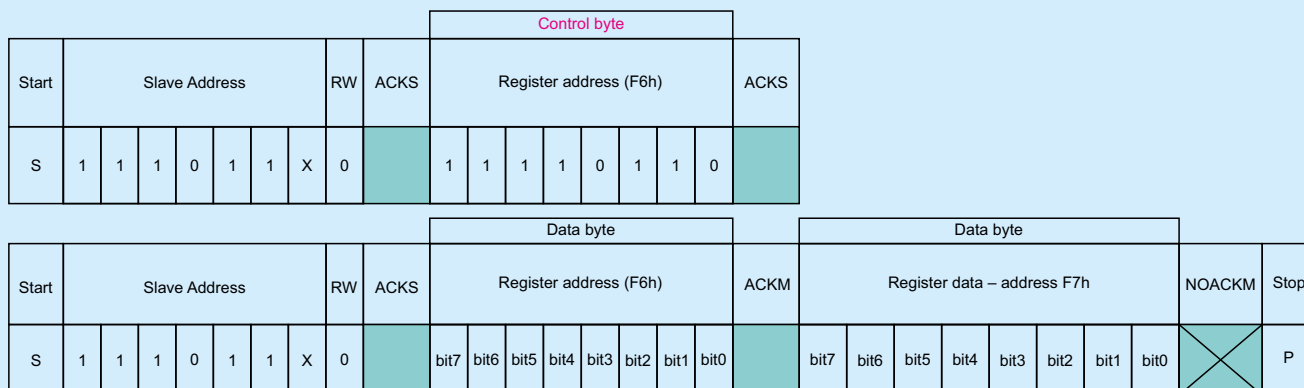
- Wyprowadzenie SCK pracuje zawsze jako wejście,
- Wyprowadzenie SDI pracuje jako wejście (SPI 4 linie), wejście/wyjście SPI (3 linie) lub jako linia dwukierunkowa danych (I²C),
- Wyprowadzenie SDO pracuje jako wyjście (SPI 4 linie) lub jako wejście wyboru adresu (I²C),
- Wyprowadzenie CSB pracuje zawsze jako wejście. Pełni rolę wejścia wyboru (chip select) dla pracy SPI.

Wybór standardu komunikacyjnego jest wykonywany na podstawie stanu wejścia CSB. Jeśli podczas włączenia zasilania układu wyprowadzenie CSB jest dołączone do napięcia VDDIO (podczas włączania zasilania układu) to wybierany jest standard I²C. Poziom niższy niż VDDIO spowoduje trwałą pracę ze standardem SPI. Po podaniu na wejście CSB poziomu niskiego (nawet jeden impuls) aktywowany jest na stałe interfejs SPI.

Interfejs I²C

Układ obsługuje cyfrową komunikację w standardzie I²C oraz SPI jako układ „slave”, która pozwala na odczyt lub wpis do rejestrów. Podczas pracy układu BME680 w standardzie I²C do komunikacji używane są trzy wyprowadzenia (rysunek 2):

- SCK – jako wejście zegara, linia SCL,
- SDI – jako dwukierunkowa linia danych SDA, musi być zewnętrznie dołączona do napięcia zasilania poprzez rezystor podciągający (min. 4,7 kΩ).
- SDO – jako wejście ustawiające wartość bitu LSB adresu:

Rysunek 3. Wpis pojedynczego bajtu lub wpis wielokrotny bajtów (bez autoinkrementacji) poprzez I²C [2]Rysunek 4. Odczyt wielokrotny bajtów (z autoinkrementacją) poprzez I²C [2]

- GND = L, adres 1110110 (0x76),
- VDDIO = H, adres 1110111 (0x77).

Jeśli wyprowadzenie SDO pozostanie niepodłączone to adres jest niezdefiniowany.

Interfejs I²C obsługuje trzy tryby pracy: Standard, Fast oraz High Speed. Maksymalna częstotliwość zegara wynosi 3,4 MHz, gdzie minimalny czas poziomu niskiego wynosi T_{low}=160 ns (dla typowego zasilania VDDIO=1,62 V) [2]. Interfejs I²C używa adresowania 7-bitowego.

Wpis bajtu danych do rejestru układu

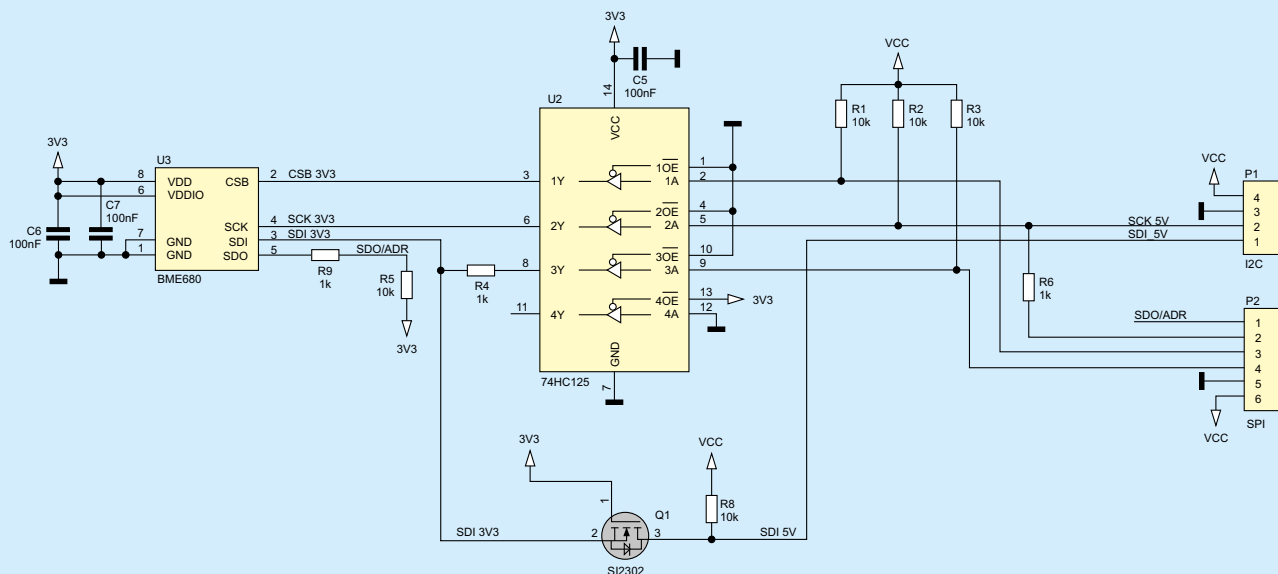
Schemat transmisji podczas wpisu bajtów jest pokazany na rysunku 3. Podczas wpisu danych do rejestrów układu transmisja

rozpoczyna się od wystawienia przez układ Master (M) stanu Start (S) i 7-bitowego adresu układu (0x76 lub 0x77) z bitem RW=0 (write). Po wystawieniu przez układ BME680 (Slave, SL) bitu potwierdzenia (Acknowledge, ACKS) master wysyła dwa bajty: adres rejestru, oraz po otrzymaniu potwierdzenia ACKS daną do wpisu (z potwierdzeniem). Wystawienie stanu Stop (P) kończy wpis pojedynczego bajtu.

Master może wysyłać kolejne pary bajtów, do wpisu danych pod kolejne adresy rejestrów. Nie jest stosowana autoinkrementacja adresów. Przykład zapisu bajtu jest pokazany dalej na rysunku 11.

Odczyt bajtu danych z rejestru układu

Schemat transmisji podczas odczytu bajtów jest pokazany na rysunku 4. Podczas odczytu danych z rejestrów układu transmisja



Rysunek 5. Moduł BME680 Environmental Sensor, schemat toru komunikacji cyfrowej [7]

rozpoczyna się od wystawienia przez układ Master (M) stanu Start (S) i 7-bitowego adresu układu (0x76 lub 0x77) z bitem RW=0 (write), czyli w trybie zapisu. Po wystawieniu przez układ BME680 (Slave, SL) bitu potwierdzenia (Acknowledge, ACKS) master wysyła bajt adresu rejestru. Po otrzymaniu potwierdzenia ACKS Master wystawia stan Strat (lub Restart) z 7-bitowym adresem układu i bitem RW=1 (read), czyli w trybie odczytu. Układ BME680 (Slave, SL) wystawia bit potwierdzenia (ACKS) oraz bajt danych.

Układ Master może:

- wystawić potwierdzenie (ACKS) – wtedy układ wyśle bajt odczytany z rejestru następnym wyższym adresie (autoinkrementacja),
- wystawić NACKM (*not acknowledge*) – wtedy zostanie zakończona transmisja.

Przykład odczytu sekwencji bajtów jest pokazany dalej na **rysunku 12**.

Biblioteka Bosch Sensortec drivers

Firmowe drivery dla układu BME680 są dostępne na stronie Bosch Sensortec drivers [10].

Repozytorium BoschSensortec Github udostępnia dwa komplety drajwerów:

- BME680 sensor driver/API – drivery z opisem i przykładami,
- BSEC-Arduino – biblioteka do Arduino dla integracji biblioteki firmowej BSEC.

Pakiet programowy BME680 sensor driver/API zapewnia niskopoziomową komunikację z układem BME680 oraz kalibrację wartości odczytu z sensorów. Uwalnia to użytkownika od konieczności zajmowania usługą poszczególnych rejestrów układu scalonego.

Pobierany z repozytorium plik *BME680_driver-master.zip* zawiera trzy pliki źródłowe:

- *bme680_defs.h* – zawiera stałe, makra i deklaracje,
- *bme680.h* – zawiera deklaracje funkcji API,
- *bme680.c* – zawiera definicje funkcji API,
- *REDAME.md* – Zawiera opis sposobu dołączania drajwerów do projektu użytkownika.

Dodatkowo jest pobierany folder *Self test* z dwoma plikami:

- *bme680_selftest.h* – zawiera stałe, makra i deklaracje funkcji,
- *bme680_selftest.c* – zawiera definicje funkcji wykonywania testu i analizy danych.

Pakiet BME680 sensor driver/API obsługuje komunikację z układem BME680 w dwóch standardach: I²C oraz SPI (4 linie). Na stronie repozytorium zamieszczony jest przykładowy kod inicjalizacji układu (dla obu standardów komunikacji), skonfigurowania układu oraz wykonania pojedynczego pomiaru i odczytania wyników.

W nocy aplikacyjnej AN-014 [3] została opisana praca układu scalonego oraz postępowanie podczas wykonywania testowania układu: weryfikacja identyfikacji struktury scalonej, weryfikacja danych kalibracyjnych, generacji CRC, pomiar danych z czujników, weryfikacja danych pomiarowych.

Biblioteka pomiarowa BSEC

Biblioteka Bosch Sensortec Environmental Cluster (BSEC) [11] jest przeznaczona do obsługi pracy z czujnikiem BME680. Komunikację oraz kompensację danych zapewnia driver firmowy [10]. Algorytmy biblioteki zapewniają również dodatkową kompensację pomiarów czujnika gazu z uwzględnieniem wilgotności oraz dryftu. Kod z biblioteki jest zamknięty. Pobierany z repozytorium plik *bsec_1-4-7-4_generic_release.zip* zawiera pliki źródłowe oraz dokument „*Integration Guide, Bosch Software Environmental Cluster (BSEC)*” z dokładnym opisem.

Biblioteka BSEC udostępnia cztery tryby pracy z czujnikiem [średni pobór prądu]:

- Tryb bardzo niskiego poboru mocy – pomiary są wykonywane co 300 s (0,09 mA),

- Tryb szybki bardzo niskiego poboru mocy – pomiary T, P, H są wykonywane co 3 s, a pomiar gazu co 300 s (0,1 mA),
- Tryb niskiego poboru mocy – pomiary są wykonywane co 3 s (0,9 mA),
- Tryb ciągły – pomiary są wykonywane co 1 s (raczej do testowania) (12 mA).

Dla każdego trybu pracy są osobne konfiguracje dla pracy z napięciem zasilania 1,8 V oraz 3,3 V. Dodatkowo dla każdej konfiguracji możliwa jest kompensacja długoterminowa z uwzględnieniem okresu 4 lub 28 dni.

Biblioteka BSEC udostępnia kilka istotnych parametrów:

- Surowa wartość rezystancji – wartość pobrana z czujnika,
- Skompensowana wartość rezystancji [Ω] – wartość obliczona z uwzględnieniem temperatury i wilgotności,
- Indeks IAQ (IAQ) – wartości 0...500, używany algorytm automatycznego trymowania,
- Statyczne IAQ (s-IAQ) – bez trymowania,
- Poziom CO₂ (eCO₂) [ppm] – estymowany poziom CO₂ na podstawie poziomu VOC,
- Poziom VOC (b-VOC) [ppm] – estymowany poziom VOC dla powietrza wydychanego (breath),
- Poziom gazu [%] – aktualny poziom rezystancji odniesiony do zapamiętanego najniższego odczytu (0%) oraz najwyższego odczytu (100%).

Moduł czujnikowy BME680 Environmental Sensor

Kilka firm oferuje moduły czujnikowe z układem scalonym BME680. Typowo zawierają one układ scalony BME680 oraz dodatkowo (opcjonalnie) układy interfejsu cyfrowego oraz regulator napięcia zasilania. Typowym przykładem jest moduł czujnikowy BME680 Environmental Sensor (DFRobot SEN0248) [6] oferowany również przez Kamami [7].

Opis płytki zestawu oraz przykładowy kod programu jest zamieszczony na firmowej stronie Wiki [8]. Schemat modułu jest dostępny ze strony Kamami [7]. Układ scalony BME680 (U3) jest zasilany z napięcia 3V3 dostarczanego przez regulator napięcia LP5907. Napięcie jest stałe i wynosi 3,3 V. Do tego napięcia dołączona jest dioda LED, sygnalizująca obecność zasilania. Układ regulatora jest zasilany z napięcia wejściowego VCC o wartości maksymalnej 5,5 V. Wartość minimalna wynosi ok. 3,3 V. Napięcie VCC zasilania modułu może być pobierane ze złącza P1 lub P2 (**rysunek 5**). Wyprowadzenia cyfrowe układu scalonego BME680 (U3) są dołączone do układów konwersji poziomów logicznych.

Sygnały komunikacji ze standardem SPI są dołączane do złącza P2 płytki. Sygnały wejściowe CSB oraz SCK układu U3 (odpowiednio SPI_CS i SPI_SCK na złączu P2) są dołączone do wyjścia bufora SN74HC125 (U2) zasilanego z napięcia 3V3. Po stronie napięcia VCC mają one dołączone rezystory podciągania 10 kΩ. Wejście SDI (odpowiednio SPI_MOSI) jest dołączone do wyjścia bufora U2 poprzez szeregowy rezystor 1 kΩ.

Wyprowadzenie SDO układu scalonego poprzez szeregowy rezystor 1 kΩ jest dołączone do złącza P2.1 (MISO). Ma ono dołączony rezystor podciągający 10 kΩ do napięcia 3,3 V. Przy pracy układu scalonego z obsługą komunikacji I²C wyprowadzenie SDO jest wejściem adresowym. Rezystor podciągający ustawia jego stan na wysoki co oznacza wybór adresu 0x77 na szynie I²C.

Sygnały komunikacji ze standardem I²C są dołączane do złącza P1 płytki. Obie linie mają rezystory podciągające 10 kΩ dołączone do napięcia VCC. Sygnał SCK_5V tego złącza jest bezpośrednio podawany na wejście bufora SN74HC125 (U2) i dalej do wejścia SCK układu U3. Sygnał dwukierunkowy SDI_5V jest ze złącza P1 podawany na układ konwersji poziomów zrealizowanego na tranzystorze Q1 i dalej do wejścia SDI układu U3.

Bardzo podobnie zorganizowany jest moduł Adafruit BME680 [9]. Jest ciekawy ze względu na rozbudowane wsparcie programowe dla modułu tej firmy. Kolejny bardzo „minimalistyczny” moduł czujnika BME680 oferuje firma Nittigo [5].

Zestaw startowy CC1352R1 LaunchPad (Texas Instruments)

Zestaw startowy SimpleLink Multi-Band CC1352R Wireless MCU LaunchPad Development Kit (LAUNCHXL-CC1352R1) jest wyposażony w układ scalony CC1352R1F3 [S15]. Zestaw jest przeznaczony do pracy w pasmach 868 MHz/915 MHz oraz 2,4 GHz. Cała elektronika zestawu CC1352R1 LaunchPad jest umieszczona na jednej wielowarstwowej płytce drukowanej. Płytkę jest podzielona na dwie części: u góry płytki jest emulator sprzętowy standardu XDS110 oraz układ monitora zasilania a na dole układ scalony CC1352R.

Na złączach J1...J2, umieszczonych po obu bokach płytki drukowanej, jest udostępnionych 26 wyprowadzeń wejścia-wyjścia (GPIO) układu scalonego CC1352R oznaczane „DIOxx”, gdzie xx-numery od 01 do 31. Dodatkowo na dole płytki są umieszczone dwa potrójne złącza z wyprowadzoną masą „GND” oraz zasilaniem „3V3”.

Połączenia sprzętowe

W komplecie z płytką BME680 Environmental Sensor jest dostarczony przewód połączeniowy Gravity, z wtyczką pasującą do złącza P1 płytki. Po drugiej stronie przewodów są zamontowane pojedyncze wtyczki żeńskie IDC. Dołączanie przewodów do zestawu startowego CC1352R LaunchPad [S15]:

- Przewód czarny (GND, P1.3) na GND (P1.3) płytki CC1352R1 LP
- Przewód czerwony (3V3, P1.4) na 3,3V (J1.1) płytki CC1352R1 LP
- Przewód zielony (SDI, P1.1) na DIO05 (J1.19, SDA) płytki CC1352R1 LP
- Przewód niebieski (SCK, P1.2) na DIO04 (J1.18, SCL) płytki CC1352R1 LP

Sposób podłączenia kabelków jest pokazany na runku tytułowym. Dodatkowo jest tam pokazany zestaw uruchomieniowy SHT31 Smart Gadget firmy Sensirion zastosowany do referencyjnego pomiaru temperatury i wilgotności [S32].

Pakiet programowy SimpleLink Sensor and Actuator Plugin (Texas Instruments)

Do obsługi układu BME280 z zastosowaniem różnych procesorów służy darmowy pakiet programowy SimpleLink Sensor and Actuator Plugin firmy Texas Instruments [13]. Pakiet zawiera przykładowy projekt i2cbme280, który korzysta z firmowego pakietu BME280 sensor driver/

API firmy Bosch. Jest on kompatybilny z pakietem BME680 sensor driver/API. Trochę zamieszania wprowadza stosowanie w opisach pakietu zamiennie nowej nazwy SimpleLink Sensor and Actuator Plugin (nowej) oraz starej nazwy Sensor Actuator Interface Layer (SAIL). Na przykład tak nazywa się folder z zainstalowanym pakietem na dysku.

Pakiet SimpleLink Sensor and Actuator Plugin (1.50.00.00) ma następujące wymagania [13]:

- Windows 7, Windows 8, Windows 10, Ubuntu 14.04, Mac OS X El Capitan,
- Code Composer Studio 9.2, lepiej zastosować najnowszą wersję CCS v9.3,
- simplelink_cc13x2_26x2_sdk_3_40_00_02 SDK, lub nowsza wersja [12].

Tworzenie projektu obsługi czujnika BME680

Poniżej zostanie opisany sposób dołączenia czujnika BME680 do procesora CC1352R1. Czujnik jest zamontowany na płytce drukowanej modułu BME680 Environmental Sensor [6], a procesor na płytce drukowanej zestawu startowego CC1352R1 LaunchPad [S15]. Jako środowisko programowe zostanie zastosowany Code Composer Studio w najnowszej wersji (9.3). Można go darmowo pobrać ze strony producenta Texas Instruments. Po zainstalowaniu CCS trzeba doinstalować pakiet SimpleLink Sensor and Actuator Plugin (1.50.00.00) [13] oraz pakiet SimpleLink cc13x2 26x2 SDK (3.40.00.02) [12].

Pracę rozpoczynamy od użycia projektu *i2cbme280_CC1352R1_LAUNCHXL_tirtos_ccs* z pakietu *SimpleLink Sensor and Actuator Plugin*. Projekt jest przeznaczony do obsługi czujnika BME280. Ma on taki sam interfejs programowy jak czujnik BME680. Różni się trochę zawartością mapy adresowej rejestrów oraz dodaniem pomiaru gazu. Program wysyła napisy poprzez łącze UART do portu wirtualnego COM komputera dołączonego do zestawu startowego CC1352R1 LaunchPad. Umożliwia oglądanie na bieżąco aktualnych danych pobranych z czujnika. Opis projektu i parametrów jest zamieszczony w pliku *REDAME.html* w folderze projektu.

1. Dołącz zestaw startowy CC1352R1 LaunchPad kablem USB do komputera.
2. Wystartuj środowisko CCS.
3. Utwórz folder roboczy o nazwie *work_BME680* w ścieżce C:\home_dir. Taki sposób nazywania i umieszczania folderu roboczego ułatwia potem orientację wśród wielu folderów o podobnych nazwach. Umożliwia też przenoszenie foldera roboczego projektu pomiędzy komputerami o tej samej strukturze folderów.
4. Zaimportuj projekt *i2cbme280_CC1352R1_LAUNCHXL_tirtos_ccs* z pakietu SimpleLink Sensor and Actuator Plugin.

Wybrane artykuły kursu „Systemy dla Internetu Rzeczy” w miesięczniku Elektronika Praktyczna

[S15] Zestaw CC1352R1 LaunchPad, EP5/2018

[S21] Zestaw Nordic Thingy:52 IoT Sensor Kit, EP12/2018

[S31] Nordic Thingy:91 – platforma prototypowania dla mobilnego IoT, EP11/2019

[S32] Scalone czujniki cyfrowe wilgotności i temperatury, EP 12/2019

[S34] Cyfrowe czujniki gazu, EP 2/2020

Literatura

[1] BME680 Low power gas, pressure, temperature & humidity sensor, Bosch Sensortec, <http://bit.ly/2P0cyry>

[2] BME680 Datasheet, rev.1.3, July 2019, BST-BME680-DS001, Bosch, <http://bit.ly/2U9wiL1>

[3] BME680 Self-test application note, rev.1.4, May 2018, BST-BME-680-AN014, Bosch, <http://bit.ly/2WfZQJK>

[4] BME680 IAQ Example, David Bird, <http://bit.ly/2TXVvcD>

[5] Moduł czujnika BME680 – v.1.1a – Shield do Wemos D1 mini, Nittigo, <http://bit.ly/2UdmTSD>

[6] Gravity: I2C BME680 Environmental Sensor, SKU:SEN0248, Product Page, DFRobot, <http://bit.ly/2x72Pta>

[7] Gravity: I2C BME680 Environmental Sensor – czujnik środowiska 4 w 1, DFRobot SEN0248, Kamami, <http://bit.ly/2wdWvAb>

[8] DFRobot's BME680 Environmental Sensor, Wiki, <http://bit.ly/2w5Ly3P>

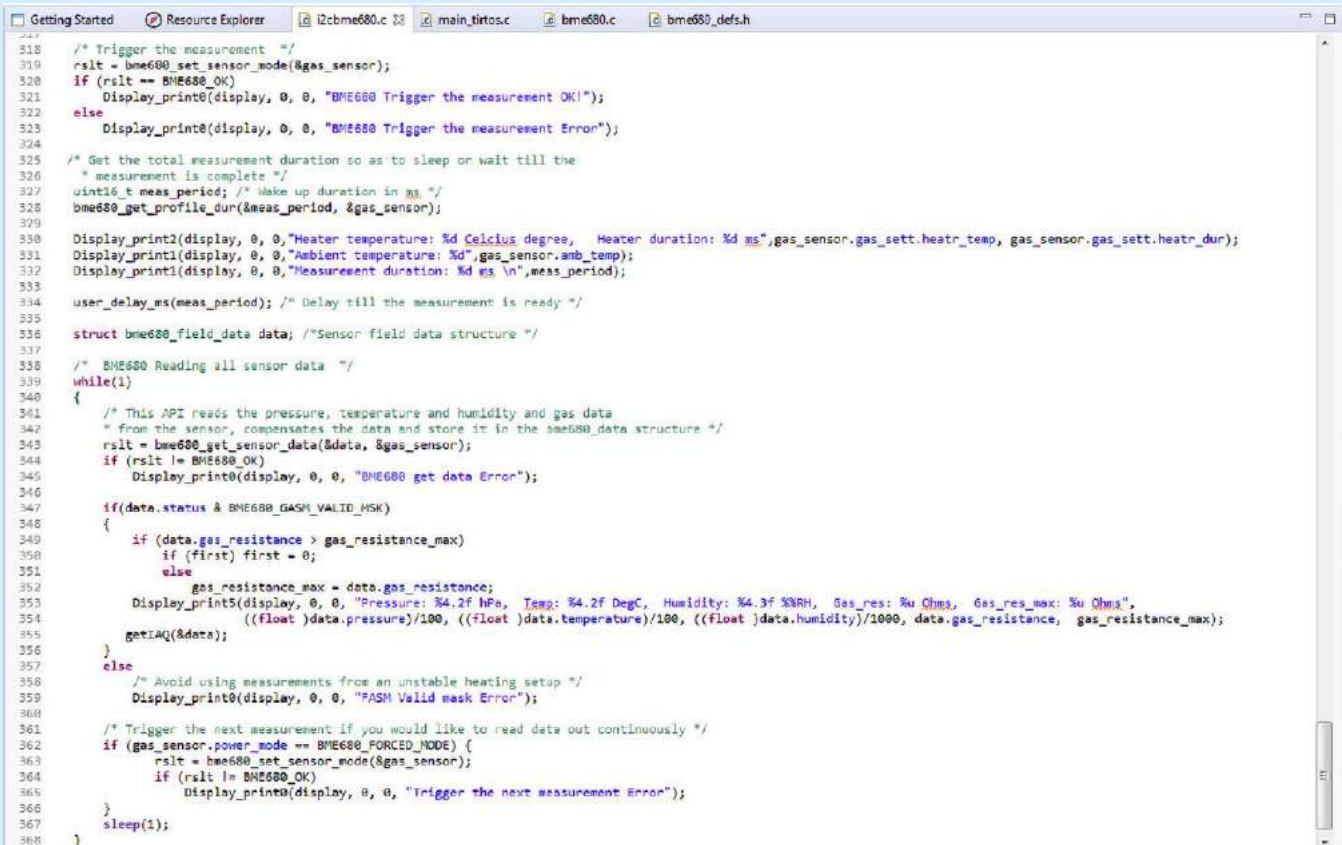
[9] Adafruit BME680, Adafruit, <http://bit.ly/2QpkD9M>

[10] BoschSensortec, Github, BME680 sensor driver/API including example guide. Bosch Sensortec GmbH, 29 Jun 2018, <http://bit.ly/3d6plDf>

[11] Bosch Sensortec Environmental Cluster (BSEC) v1.4.7.4, July 3rd, 2019, <http://bit.ly/2Qod2by>

[12] SimpleLink CC13x2 and CC26x2 software development kit (SDK) (Ver. 3.40.00.02), Texas Instruments, <http://bit.ly/38I8TXC>

[13] SimpleLink Sensor and Actuator Plugin (1.50.00.00), Texas Instruments, <http://bit.ly/2w1lhm2>



Rysunek 6. Główna pętla pomiarowa w funkcji mainThread

5. Zmień nazwę projektu na *i2cbme680_CC1352R1_LAUNCHXL_tirtos_ccs*. W oknie *Project Explorer* kliknij prawym klawiszem na linię projektu, z podręcznego menu wybierz *Rename* i zmień nazwę.
6. Pobierz pliki drajwera firmowego *Bosch Sensortec drivers* z repozytorium Github [10]. Na stronie repozytorium kliknij przycisk *Clone or download* a następnie *Download ZIP*. Rozpakuj archiwum w eksploratorze plików.
7. Dodaj pliki do projektu. Po kolei zaznacz pliki źródłowe i przeciągnij (drag and drop) na linię projektu *i2cbme680_CC1352R1_LAUNCHXL_tirtos_ccs* w oknie *Project Explorer*. Pozostaw wybraną opcję *Copy files*.
8. Zmień nazwę pliku *i2cbme280.c* na *i2cbme680.c*. Zmodyfikuj kod źródłowy pliku *i2cbme680.c* według opisu w pliku *REDAME* pakietu drajwera firmowego *Bosch Sensortec drivers*.

- Należy zastąpić linię kodu `#include <ti/sail/bme280/bme280.h>` na `#include "bme680.h"`.
- Pod definicjami zmiennych globalnych należy umieścić kod funkcji służących do obsługi komunikacji szyną I²C: `user_delay_ms`, `user_i2c_rea` oraz `user_i2c_writ`. Są to funkcje realizowane przez użytkownika specjalnie dla zastosowanego procesora.
- Poniżej należy umieścić funkcję `getIAQ` obliczającą IAQ.
- Należy zmodyfikować funkcję główną aplikacji.

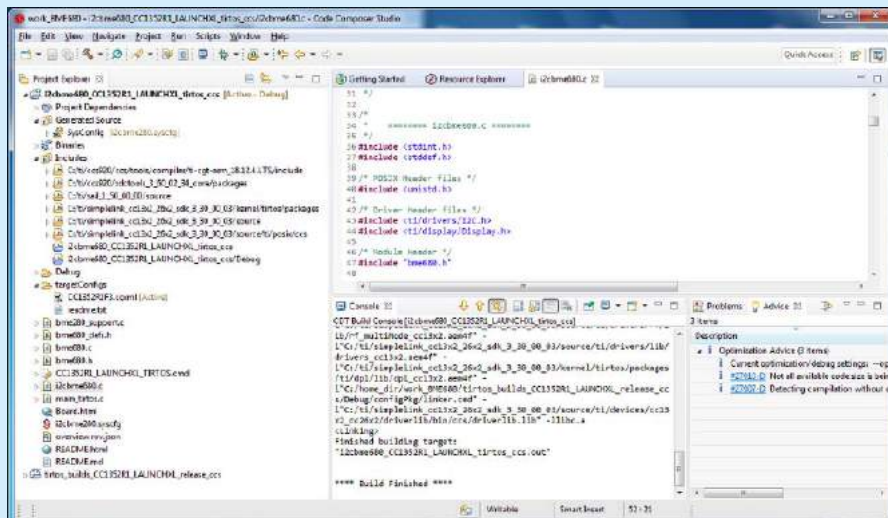
Tych modyfikacji jest sporo. Dlatego najprościej jest wymienić plik *i2cbme680.c* na pobrany ze strony FTP.

Funkcja *mainThread()* została poważnie zmodyfikowana w stosunku do wersji

Plik i2cbme680.c ze zmianami jest dostępny do pobrania ze strony FTP.

w pliku *readme*. Zostało dodane sporo wydruków opisujących błędy występujące podczas pracy. Bardzo ułatwia to uruchamianie programu oraz umożliwia lepsze orientowanie się w działaniu czujnika.

Pierwszy fragment kodu funkcji wykonuje inicjalizację modułu peryferyjnego I²C procesora CC1352R1. Następnie wykonywana jest inicjalizacja czujnika BME680. Dane potrzebne do konfigurowania czujnika BME680 są przechowywane w strukturze `gas_sensor` typu `bme680_dev` (zdefiniowanej w pliku *bme680_defs.h*). Po ustawieniu w strukturze parametrów czujnika wykonywana



Rysunek 7. Projekt obsługi czujnika BME680 po zbudowaniu

Listing 1. Przykładowa treść terminala podczas pracy projektu obsługi czujnika BME680

```
Starting the i2cbme680 sensor example...

I2C Initialized!
Chip ID: 0x61, Chip Addr: 0x77
BME680 Initialization OK!
BME680 sensor configuration OK!
BME680 Trigger the measurement OK!
Heater temperature: 320 Celcius degree, Heater duration: 150 ms
Ambient temperature: 20
Measurement duration: 183 ms

Pressure: 993.2299 hPa, Temp: 21.0100 DegC, Humidity: 54.0559 %RH, Gas_res: 703889 Ohms, Gas_res_max: 703889 Ohms
Hum_IQA: 29.2836, Gas_IQA: 124.7996, IAQ: 154
Air quality is: Unhealthy for Sensitive Groups
Pressure: 993.2500 hPa, Temp: 21.0499 DegC, Humidity: 54.1049 %RH, Gas_res: 732167 Ohms, Gas_res_max: 732167 Ohms
Hum_IQA: 29.3857, Gas_IQA: 114.6032, IAQ: 143
Air quality is: Moderate
...
```

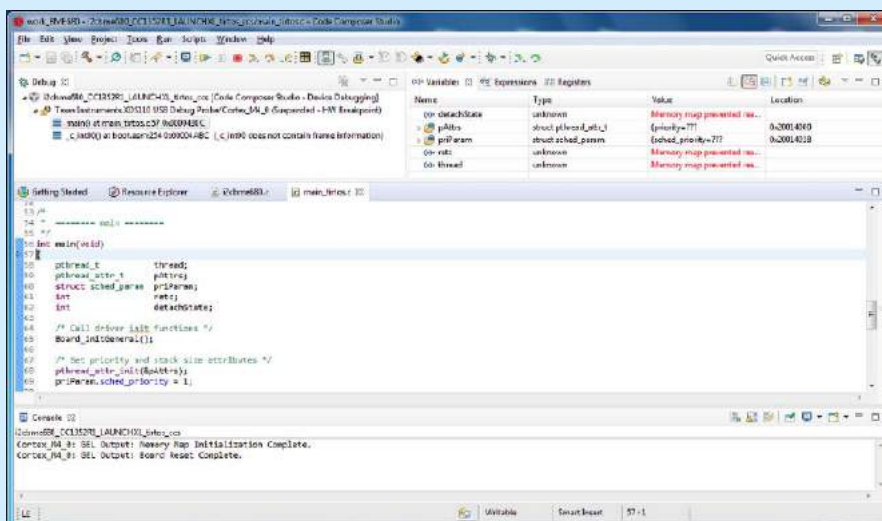
jest funkcja `bme680_init`, która wysyła do czujnika polecenie resetu programowego oraz odczytuje identyfikator układu scalonego (**rysunek 9**) a następnie dane kalibracyjne (zaczynając od adresu 0x89, brak opisu rejestrów) oraz inne współczynniki. Następnie konfigurowane są rejestry sterujące czujnika BME680. Ustawiane są parametry pomiaru wilgotności, ciśnienia, temperatury i gazu (w tej kolejności). Dla czujnika gazu ustawiana jest temperatura pracy na 320°C oraz czas podgrzewania na 150 ms (typowe warunki pracy).

Teraz wysyłana jest komenda (**rysunek 6**, linia 319) wystartowania pomiaru (**rysunek 10**). Następnie w funkcji `bme680_get_profile_dur` (linia 328) jest obliczany i ustawiany dokładny czas podgrzewania (profil). Dla powyższych ustawień wynosi on typowo 183 ms. Jego wartość jest bardzo ważna bo co najmniej tyle czasu trzeba po wystartowaniu pomiaru czekać na dostęp do zwalidowanych i stabilnych danych.

Praca układu jest zorganizowana w pętli nieskończonej (linia 339). Teraz już można odczytać (linia 343) skalibrowane dane pomiarowe (**rysunek 11**). Są one wysyłane do portu UART (linia 353). Następnie wysyłana jest komenda wykonania kolejnego pomiaru (linia 363) i procesor jest wprowadzany w uśpienie na czas 1 sekundy (linia 367). Po wybudzeniu procesora program powraca do wykonywania pętli nieskończonej i wysyła do portu UART dane ostatniego pomiaru. W ten sposób unika się czekania 183 ms na dostęp do danych oraz oszczędza energię zasilania.

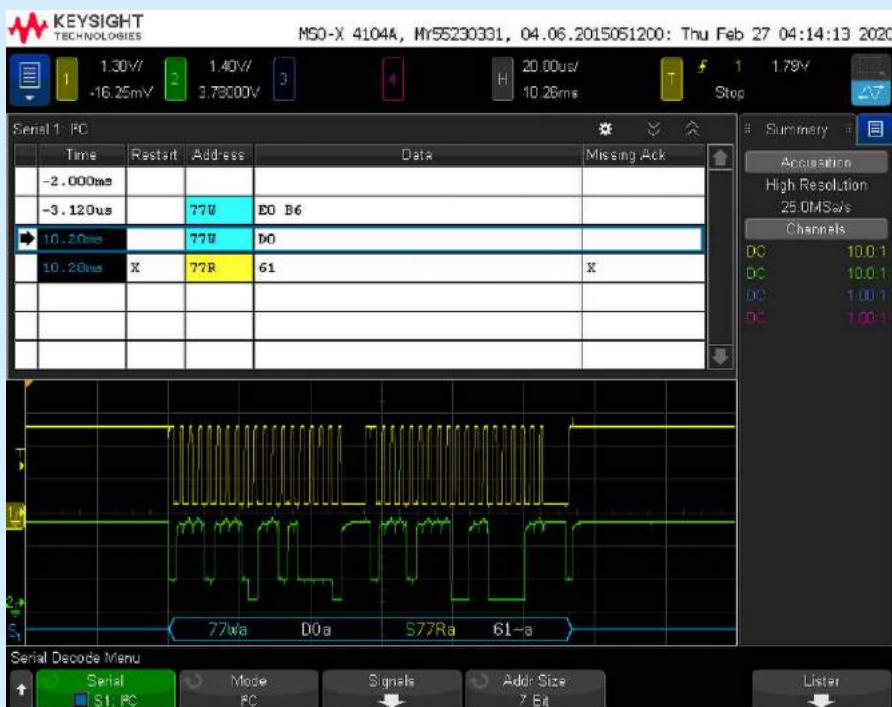
Uruchamianie projektu obsługi czujnika BME680

- Zbuduj projekt przyciskiem **Build**. Nie powinny być zasygnalizowane żadne błędy kompilacji i powinien być wygenerowany plik `i2cbme680_CC1352R1_LAUNCHXL_tirtos_ccs.out` (**rysunek 7**). Projekt zawiera już gotową definicję modułu sprzętowego (w folderze `targetConfigs`).
- Zaprogramuj przyciskiem **Debug** pamięć Flash procesora wygenerowanym kodem. Projekt jest zorganizowany z zastosowaniem systemu



Rysunek 8. Projekt obsługi czujnika BME680 po zaprogramowaniu pamięci Flash procesora CC1352R1

operacyjnego TIRTOS. Po załadowaniu kodu wykonywany jest reset procesora i program jest uruchamiany do pierwszej linii kodu funkcji `main()` w pliku `main_tirtos.c` (**rysunek 8**, linia 57). W funkcji `main` wykonywana jest inicjalizacja procesora (linia 65) i tworzone jest zadanie (wątek) `mainThread` (z kodem



Rysunek 9. Odczyt rejestru ID układu BME680

w pliku *i2cbme680.c*). Na koniec działania funkcji `main()` rozpoczyna działać system operacyjny i zostaje uruchamiane wykonanie jedyne zadania (`task`) `mainThread` (**rysunek 6**).

11. Sprawdź w *Menedżerze Urządzeń* systemu Windows jaki numer portu COM został przypisany do kanału XDS110 Class Application/User UART. Do tego portu dołącz terminal znakowy, na przykład PuTTY. Wymagane ustawienia 115200/8/1/N.
12. Rozpocznij wykonywanie programu przyciskiem *Resume*.

Przykładowy wydruk podczas pracy projektu obsługi czujnika BME680 pokazuje **listing 1**. Wartości temperatury, ciśnienia i wilgotności są pokazywane (nadmiarowo) z czterema miejscami po przecinku ponieważ wystąpiły kłopoty z obsługą formatowania wydruku liczb ułamkowych przez bibliotekę firmową.

Uruchamianie obsługi czujnika BME680

Projekt jest bardzo łatwy do debugowania w środowisku CCS. Po uruchomieniu działania programu można go zatrzymać w każdej chwili przyciskiem *Suspend*. Teraz powrót do stanu bezpośrednio po załadowaniu kodu programu (przyciskiem *Debug*) jest prosty. Trzeba kliknąć na ikonkę *System Reset* a następnie ikonkę *Restat*. Po wykonaniu restartu działanie programu jest ponownie zatrzymywane w pierwszej linii kodu funkcji `main()`.

W każdej linii kodu (nie komentarza) w plikach *ic2bme60.c* oraz *bme680.c* można ustawiać pułapki (sprzętowe). Wystarczy dwuklinąć na pasku z numeracją linii kodu źródłowego. Dostępna jest też praca krokowa z wchodzeniem do wywoływanych w linii kodu funkcji lub bez. Najechanie kursorem na nazwę funkcji z przyciśnięciem klawiszem CTRL pozwala, po kliknięciu na nią, na przeniesienie się do miejsca definicji tej funkcji. Tak samo jest z deklaracjami zmiennych i stałych.

Uruchamianie pracy czujnika BME680 okazało się dosyć trudne. Bardzo w tym pomógł oscyloskop z analizą protokołu I²C. Odczyt rejestru identyfikatora układu scalonego 0x61 spod adresu 0xD0 jest pokazany na **rysunku 9**. Najpierw na szynie I²C jest pod adres układu 0x77 wysyłany w trybie zapisu adres rejestru ID (0xD0). Następnie w trybie odczytu jest pobierana zawartość (0x61). Potwierdzenia odbioru (a – acknowledge) wystawia układ scalony (slave). Kończy transmisję Not acknowledge (~a) wystawiane przez procesor (master).

Wystartowanie pomiaru jest bardziej złożone (**rysunek 10**). Najpierw odczytywany jest stan rejestru `Ctrl_meas` (adr. 0x74). Pole bitowe `mode1:0` tego rejestru musi mieć wartość 0x00, co oznacza, że nie jest wykonywany pomiar. Dopiero teraz można w pole `mode` wpisać wartość 0x01, bez zmiany stanu pozostałych bitów.

Sekwencja odczytu danych pomiarowych trwa 517 μs, a czas powtarzania ok. 1008 ms (**rysunek 11**). Najpierw na szynie I²C jest pod adres układu 0x77 wysyłany w trybie zapisu adres rejestru `Eas_status_0` (0x1D). Następnie w trybie odczytu jest pobierana zawartość (0x80). Oznacza to, że są gotowe nowe dane. W kolejnym rejestrze (0x1E) są następne znaczniki, ale już nie ma ich opisu. O ich znaczeniu można wnioskować z kodu biblioteki firmowej. Zawartość kolejnych rejestrów jest już lepiej opisana.

Eksperymenty z obsługą czujnika BME680

Zrealizowany zestaw był eksploatowany przez dłuższy czas. Do referencyjnego

pomiaru temperatury i wilgotności został zastosowany zestaw uruchomieniowy SHT31 Smart Gadget firmy Sensirion zastosowany [S32]. Wartości odczytane z czujnika BME680 były porównywane z pomiarami wykonywanymi przez czujnik SHT31 firmy Sensirion. Typowo temperatura odczytywana przez czujnik jest wyższa od temperatury otoczenia o ok. 1,2°C, a odczytywana wilgotność niższa o ok. 2,3%.

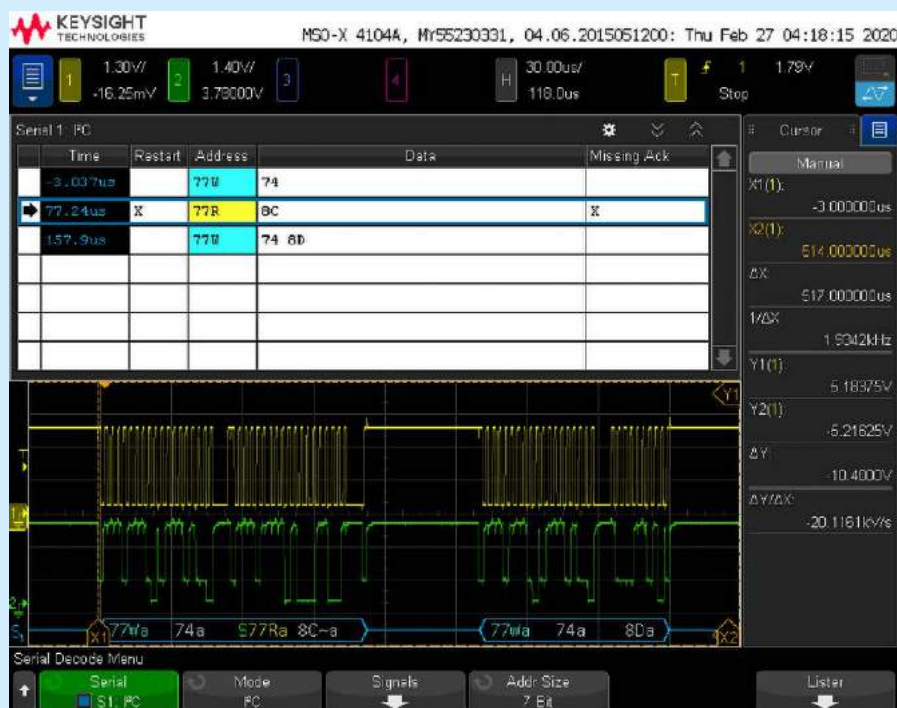
Drugi zastosowany do porównania moduł czujnikowy to Thingy:52 firmy Nordic Semiconductor [S21]. Zastosowano w nim czujnik ciśnienia LPS22HB firmy ST Microelectronics, czujnik wilgotności względnej i temperatury HTS221 firmy ST Microelectronics oraz jakości powietrza CCS811 firmy AMS. Układ CCS811 pozwala na wykrywanie w powietrzu bardzo niskiego stężenia dwutlenku węgla (CO₂) oraz lotnych związków organicznych VOC. Na podstawie rezystancji czujnika MOX obliczany jest pomiar przez wewnętrzny mikroprocesor:

- eCO₂ – równoważny (*equivalent*) poziom dwutlenku węgla, w zakresie od 400 do 32768 ppm,
- eTVOC – równoważny całkowity (*equivalent Total*) poziom lotnych związków organicznych w zakresie 0 ppb do 32768 ppb.

Odczyt ciśnienia obu czujników były prawie identyczne. Czujnik SHT31 pokazywał najniższą temperaturę. Ma on największą dokładność i jest zamontowany na „wysepce” płytki drukowanej. Thingy:52 pokazywał najwyższą wilgotność, o ok. 3% wyższą niż czujnik SHT31. Dotyczyło to także innych egzemplarzy tego modułu czujnikowego.

Układ CCS811 pokazywał bardzo niski poziom eTVOC. Kierunek zmian tego poziomu był skorelowany ze zmianami rezystancji czujnika BME680. Jednak w trakcie prób wystąpił problem z określeniem górnego i dolnego zakresu pomiaru rezystancji czujnika gazu układu BME680. Nie udało się znaleźć takiej informacji w dokumentacji firmowej. W sieci podawana jest wartość górna ok. 50 kΩ. Badania pokazały wartości sięgające 950 kΩ, a nawet ponad 1 MΩ. Ustalenie górnej wartości jest istotne dla określenia skali do obliczeń indeksu IAQ.

Po włączeniu zasilania i rozpoczęciu wykonywania pomiarów w regularnych odstępach (tutaj 1 s) odczytywana wartość rezystancji czujnika gazu zaczyna rosnąć i stabilizuje się po pewnym



Rysunek 10. Odczyt i zapis rejestru `Ctrl_meas` (komenda wystartowania pomiaru)

czasie. W opisach podawana jest nawet konieczność odczekania 30 minut [9]. Wydaje się, że dopiero zastosowanie firmowej biblioteki BSEC i obliczanie estymowanego poziomu VOC może pozwolić na porównanie działania obu czujników jakości powietrza. Jednorazowa próba w niekontrolowanych warunkach nie może być podstawą do wyciągania wniosków.

Podsumowanie

Pierwsza próba podłączenia układu BME680 do procesora CC1352R1 została podjęta w ramach projektów studenckich przedmiotu *Systemy dla Internetu Rzeczy* na wydziale Elektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Warszawskiej. Pozwoliła ona na opracowanie sposobu użycia firmowych driverów dla modułu I²C procesora.

Integracja tego kodu z biblioteką *Bosch Sensortec drivers* wymagała ciągłego zaglądania do kodu źródłowego. Spowodowane jest to brakiem opisu biblioteki. Na szczęście jest on dość dobrze skomentowany.

Dodatkową trudność sprawia brak w dokumentacji firmowej pełnego opisu wszystkich rejestrów układu BME680. O działaniu niektórych rejestrów sterujących można się dowiedzieć tylko na podstawie zachowania programu. Próby z zastosowaniem kodu funkcji *selftest* dołączonej do biblioteki *Bosch Sensortec drivers* nie bardzo się powiodły. Zostaną one ponowione przy okazji uruchamiania obsługi czujnika BME680 z zastosowaniem protokołu komunikacyjnego SPI. Nie została, na razie, podjęta próba wykorzystania firmowej biblioteki BSEC.

Tak jak się można było spodziewać, problemy z zastosowaniem czujnika gazu dotyczyły kalibracji. Procedury postępowania kalibracyjnego takich czujników są dość skomplikowane. Typowo wymagają one wystawienia czujnika na czyste powietrze. Wtedy taki minimalny poziom jest traktowany jako poziom referencyjny. Potrzebne jest do tego odpowiednie oprogramowanie i możliwość

przechowywania/zapisu danych kalibracyjnych. A i tak procedurę należy okresowo powtarzać.

Zaskakująco dobrze wygląda debugowanie działania programu. Kod biblioteki *Bosch Sensortec drivers* jest tak przejrzysty zorganizowany, że bardzo łatwo można śledzić działanie programu, nawet na poziomie pracy krokowej.

Dłuższy okres ciągłego działania układu BME680 dołączonego do procesora pokazuje stabilną pracę z występowaniem małych fluktuacji surowej wartości pomiaru rezystancji czujnika gazu. Ale aktualnym celem było tylko uzyskanie stabilnej pracy oprogramowania z użyciem procesora CC1352R1. Pozytywny wynik daje podstawę do wykonania prób dołączenia kolejnych czujników i rozbudowania oprogramowania.

Henryk A. Kowalski
Instytut Informatyki
Politechnika Warszawska



Rysunek 11. Sekwencja odczytu danych pomiarowych

Miesięcznik „Elektronika Praktyczna” (12 numerów w roku) jest wydawany przez AVT-Korporacja Sp. z o.o. we współpracy z wieloma redakcjami zagranicznymi.

Wydawca:



AVT-Korporacja Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczyńska 11
tel.: 22 257 84 99, faks: 22 257 84 00

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:

Wiesław Marciniak

Redaktor Programowy,

Przewodniczący Rady Programowej:
Piotr Zbysiński

Zastępca Redaktora Naczelnego,
Redaktor Prowadzący:

Damian Sosnowski

Zastępca Redaktora Naczelnego,
Menedżer Magazynu
Marcin Karbowiczek

Szef Pracowni Konstrukcyjnej:

Grzegorz Becker, tel.: 22 257 84 58

PARK Pracownia Badań Rynku Konstruktorów:

Maksymilian Hoser, tel.: 22 257 84 65

Redaktor strony internetowej www.ep.com.pl

Dariusz Welik

Zespół marketingu i reklamy:

Katarzyna Gugała, tel.: 22 257 84 64
Adam Kęska, tel.: 22 257 84 63
Bożena Krzykawska, tel.: 22 257 84 42
Grzegorz Krzykawski, tel.: 22 257 84 60
Maksymilian Hoser, tel.: 22 257 84 65

Sekretarz Redakcji:

Grzegorz Krzykawski, tel.: 22 257 84 60

DTP i okładka:

MAD Sp. z o.o.

Stali Współpracownicy:

Jacek Bogusz, Lucjan Bryndza, Jarosław Dołęcki,
Andrzej Gawryluk, Krzysztof Górski, Tomasz Jabłoński,
Michał Kurzela, Szymon Panecki, Sławomir Skrzyński,
Ryszard Szymański, 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 umieszczenie na stronach internetowych całości lub fragmentów publikacji zamieszczonych w „Elektronice Praktycznej” jest dozwolone wyłącznie po uzyskaniu zgody redakcji. Redakcja nie odpowiada za treść reklam i ogłoszeń zamieszczanych w „Elektronice Praktycznej”.





Wykaz firm ogłaszających się w tym numerze „Elektroniki Praktycznej”

Reklamy stron internetowych na str. 12

AKSOTRONIK.....	71
ARMEL	71
ARTRONIC.....	88
BORNICO.....	6
COMPUTER CONTROLS.....	
.....	60, 61
DELTA-OPTI.....	71
ELMAX.....	71
FALDRUK	11
FARNELL	68, 116
GAMMA	15
PIEKARZ	15
RELPOL	17
RENEX.....	15
RUTRONIK.....	7
ST MICROELECTRONICS.....	
.....	5, 33, 35, 37, 39

Licznik częstotliwości i czasu

Szukając licznika częstotliwości można natrafić na wiele prostych konstrukcji, jednak większość charakteryzuje się niską rozdzielczością przy pomiarze małych częstotliwości. Aby rozwiązać problem i tchnąć trochę nowoczesności w miernik zaprojektowano urządzenie bazujące na nowocześniejszym mikrokontrolerze STM32F401.

Bezprzewodowy włącznik oświetlenia

Dobre oświetlenie to podstawa bezpieczeństwa oraz komfortu. Jednak staje się bezużyteczne, kiedy jego załączanie stanowi kłopot, na przykład wtedy, kiedy wyłącznik znajduje się na końcu ciemnego korytarza. Prezentowany układ rozwiązuje ten problem – umożliwia zdalne załączanie, drogą radiową.

Wzmacniacz lampowy z regulacją barwy dźwięku

Konstrukcja jest odpowiednia dla osób dopiero zaczynających przygodę ze wzmacniaczami lampowymi. Prezentowany wzmacniacz bazuje na taniej i dostępnej bez problemu lampie PCL86, a dodatkowo jest uzupełniony jest o regulator barwy tonu na lampie ECC81.

Moduł wyjść dużej mocy z kontrolą I²C

Cztery wyjścia cyfrowe sterowane poprzez magistralę I²C, ze stopniem mocy 12/24 V. Moduł znajdzie zastosowanie w bardziej wymagających aplikacjach, gdzie oprócz możliwości sterowania wyjściem, konieczne jest też zabezpieczenie obciążenia oraz monitorowanie jego stanu np. cewki elektromagnesu, zaworu lub ciągłości grzałki.

Stereofoniczny wskaźnik poziomu wystereowania

Niewielki wskaźnik wystereowania w stylu retro, przydatny gdy chcemy wizualnie ocenić poziom sygnału audio. Skala logarytmiczna i 12 ledów na kanał umożliwiają precyzyjny odczyt, a zapamiętywanie wartości szczytowej (*peak hold*) zwiększa funkcjonalność wskaźnika

a ponadto tematy wiodące EP05/2020:

ELEKTRONIKA W OCHRONIE MIENIA CHŁODZENIE W URZĄDZENIACH ELEKTRONICZNYCH OBUDOWY

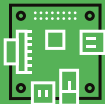
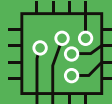
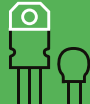
Ready for Tomorrow



Nieustannie inwestujemy w nasze usługi i asortyment produktów, aby mieć pewność, że jesteś gotowy na to, co przyniesie jutro!

Stany magazynowe większe o **25%**

Nasza najlepsza oferta w historii

Komputery jednopłytkowe  Stan magazynowy zwiększony o 34%	Półprzewodniki  Stan magazynowy zwiększony o 10%	Elementy bierne  Stan magazynowy zwiększony o 70%
Elektromechanika  Stan magazynowy zwiększony o 5%	Złącza  Stan magazynowy zwiększony o 16%	Aparatura kontrolno- pomiarowa i narzędzia  Stan magazynowy zwiększony o 17%

ready4tomorrow.farnell.com/pl

