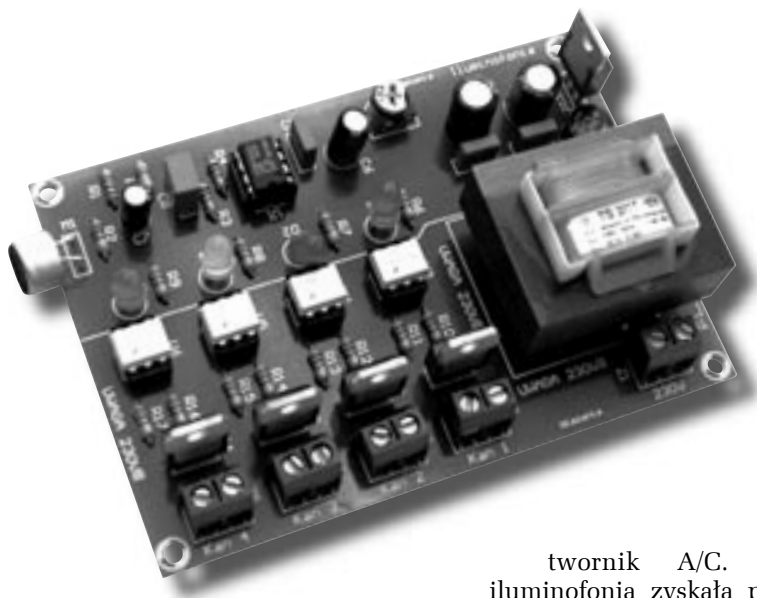


4-kanalowa iluminofonia

AVT-588



Tak, jak każdy początkujący gitarzysta zaczynał kiedyś swą „karierę” od odgrywania melodii z „Ojca Chrzestnego”, a po osiągnięciu pewnej wprawy „Schodów do nieba”, tak niemal każdy elektronik obowiązkowo musiał przejść przez etap budowania iluminofonii. Dzisiaj może też tak jest, z pewnością jednak współczesne konstrukcje w niczym nie przypominają tych sprzed lat.

Rekomendacje: *ten oryginalny projekt polecamy doświadczonym elektronikom, którym wykonanie opisanego urządzenia pozwoli porównać swoje konstrukcje sprzed lat z dostępnymi dziś technologiami. Młodzi elektronicy natomiast będą mogli przejść przez etap „jazdy obowiązkowej” od razu na poziomie techniki mikroprocesorowej. W obu przypadkach satysfakcja gwarantowana, a w rezultacie uzyskujemy bardzo atrakcyjne urządzenie umilające słuchanie muzyki.*

Można powiedzieć, że iluminofonia jest urządzeniem analizującym poziom składowych częstotliwościowych sygnału audio podzielonego na kilka pasm i w zależności od uzyskanych wyników steruje pracą różnokolorowych żarówek. Najczęściej stosuje się podział na 3 lub 4 (tak, jak w poniższym rozwiązaniu) pasma. Muzyce będzie więc towarzyszyć pulsujące, różnokolorowe światło o natężeniu proporcjonalnym do poszczególnych składowych częstotliwościowych.

Budowa proponowanej niżej iluminofonii została maksymalnie uproszczona, a to dzięki zastosowaniu mikrokontrolera PSoC (*Programmable System-on-Chip*) firmy Cypress. Układ ten różni się od typowych mikrokontrolerów tym, że posiada programowalne peryferia nie tylko cyfrowe, ale także analogowe. W grupie peryferiów analogowych mikrokontrolerów PSoC Cypressa dostępne są przetworniki A/C i C/A, a także wiele innych, jak choćby wzmacniacze operacyjne, których doszukać się w zwykłych mikrokontrolerach jest raczej trudno. Dzięki zastosowaniu mikrokontrolera PSoC, stało się możliwe zaimplementowanie całej iluminofonii w jednym układzie scalonym. W ten sposób zrealizowano nie tylko jej bloki cyfrowe, ale – co ważne – również analogowe, jak wzmacniacze, filtry i prze-

twornik A/C. Cała iluminofonia zyskała prostą budowę, a jej działaniem steruje program zawarty w mikrokontrolerze PSoC. Można powiedzieć, że przedstawiona iluminofonia jest urządzeniem działającym cyfrowo. Obróbka analogowego sygnału audio odbywa się na drodze programowej, po spróbkowaniu go na postać cyfrową. Iluminofonią steruje mikrokontroler, który ma tylko 8 wyprowadzeń (obudowa DIP8). W czasie działania iluminofonii niektóre peryferia mikrokontrolera PSoC jak np. filtr są rekonfigurowane. Dokładniejsze informacje na ten temat zostały przedstawione w dalszej części artykułu. Iluminofonia posiada mikrofon, więc nie jest potrzebne przewodowe jej połączenie ze wzmacniaczem. Specjalnym potencjometrem możliwe jest ustawienie czułości.

Problemem przy konstruowaniu układów iluminofonicznych zawierających na przykład triaki jest występowanie zakłóceń sieciowych, związanych z fazowym sposobem sterowania tych elementów. W przedstawionej iluminofonii zastosowano optotriaki włączające triaki w momencie przechodzenia przebiegu napięcia sieci 230 V przez zero, co eliminuje zakłócenia. Ponieważ optotriaki są sterowane niezależnie sygnałami PWM (nie zsynchronizowanymi z siecią 230 V), zyskano nie tylko możliwość zmiany świecenia żarówek, ale również efekt podobny do stroboskopowego. Żarówki zaświe-

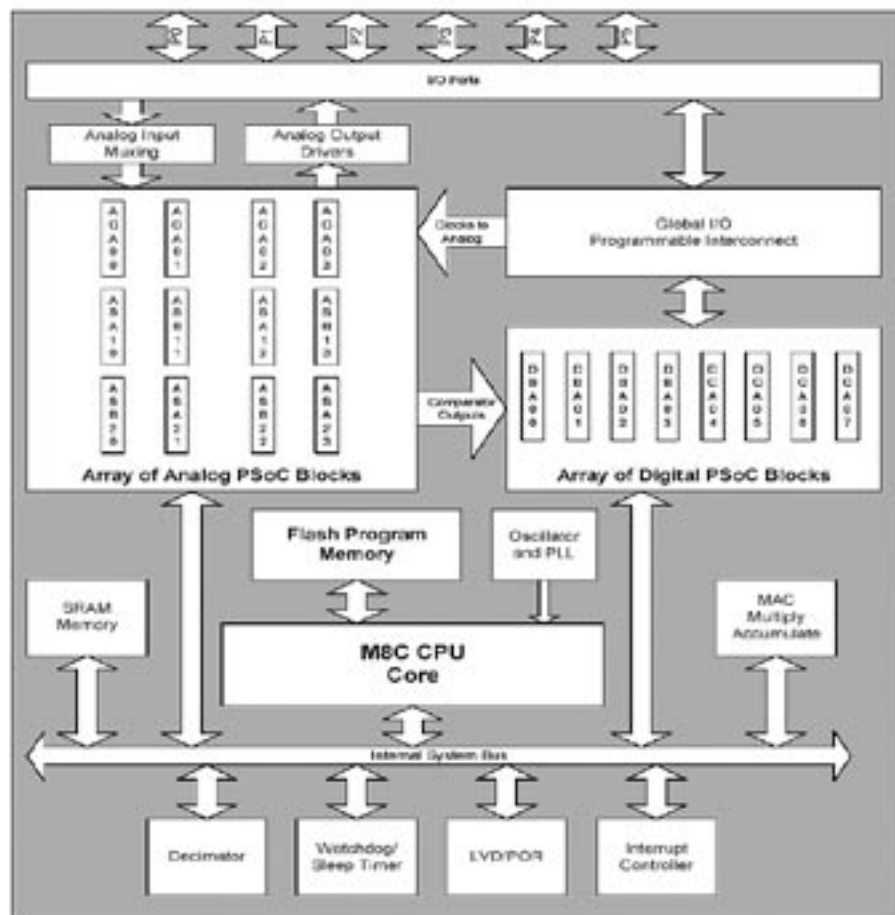
cane z określoną jasnością, migają podobnie jak lampa stroboskopowa. Daje to bardzo ciekawy efekt działania iluminofonii. Zamiast żarówek na napięcie sieci 230 V można także wykorzystać żarówki niskonapięciowe, np. żarówki samochodowe 12 V, które będą sterowane przebiegiem PWM poprzez tranzystory o odpowiedniej mocy. Nie będzie wtedy możliwe uzyskanie wspomnianego efektu stroboskopowego, a jedynie regulowana będzie jasność świecenia żarówek. Iluminofonia posiada 4 kanały, których częstotliwości środkowe zostały ustalone na: 200 Hz, 550 Hz, 1,5 kHz i 5 kHz. Zastosowanie mikrokontrolera PSoC firmy Cypress do zrealizowania iluminofonii jest przykładem budowy urządzenia, które wcale nie musi być bardzo rozbudowane, jakby mogło się wydawać po analizie zasady jego działania. Wręcz przeciwnie, urządzenie może być proste, a do jego zbudowania wystarczy garstka elementów. Większość bloków realizujących zasadnicze funkcje urządzenia da się zaimplementować sprzętowo tylko w jednym układzie, a ich działanie wspomóc programowo. W tym przypadku niepotrzebne okazały się dodatkowe, zewnętrzne wzmacniacze operacyjne, filtry itp.

Mikrokontroler PSoC CY8C25122

Jak już wiemy, peryferia tak cyfrowe, jak i analogowe mikrokontrolerów PSoC firmy Cypress są rekonfigurowalne. Oznacza to, że układ można skonfigurować w taki sposób, by miał np. dwa liczniki, układ UART, wzmacniacz operacyjny i komparator. Możliwość rekonfiguracji peryferiów znacznie upraszcza projektowanie urządzenia. Na rys. 1 przedstawiono schemat blokowy mikrokontrolera PSoC z rodziny CY8C25/26, do której należy mający tylko 8 wyprowadzeń mikrokontroler CY8C25122. Dużą zaletą tych układów jest szybka jednostka centralna (CPU) oraz pamięć programu typu Flash. Jak widać na schemacie blokowym, mikrokontroler ten posiada 12 analogowych bloków, w których można umieścić peryferia analogowe, np. przetwornik A/C, programowalne wzmacniacze

operacyjne, programowane filtry, komparatory, itp. Dostępnych jest 8 bloków dla peryferiów cyfrowych. Można w nich umieścić przykładowo timery, generatory PWM, układy UART, SPI itp. Oczywiście możliwości konfiguracji bloków cyfrowych, jak i analogowych podlegają ograniczeniom sprzętowym. Możliwa jest współpraca bloków analogowych z blokami cyfrowymi mikrokontrolera oraz możliwość łączenia peryferiów załadowanych do danych bloków w łańcuchy. Dzięki temu, np. z dwóch 8-bitowych liczników można utworzyć jeden 16-bitowy. Mikrokontroler PSoC posiada jednostkę CPU zgodną z M8C, która może pracować z maksymalną częstotliwością równą 24 MHz. Układ CY8C25122, który został wykorzystany w iluminofonii posiada 4 kB pamięci programu Flash oraz 256 B pamięci RAM na dane. Każda linia I/O tego mikrokontrolera może dostarczyć do 25 mA prądu, który wystarczy np. do sterowania diodą LED. Mikrokontrolery PSoC mają

wbudowany oscylator generujący przebieg o częstotliwość 24 MHz/48 MHz z dokładnością $\pm 2,5\%$. Do generacji nie są wymagane jakiegokolwiek dodatkowe elementy zewnętrzne. Uzyskiwana dokładność wbudowanego oscylatora będzie wystarczająca dla większości projektowanych urządzeń. Standardowo w mikrokontrolerach PSoC występuje licznik Watchdog, Sleep Timer oraz układy LVD (*Low Voltage Detection*) i POR (*Power On Reset*). Do zalet mikrokontrolerów PSoC Cypressa można jeszcze zaliczyć niski pobór prądu, przy dość dużej szybkości pracy oraz dość łatwe konfigurowanie peryferiów. Załadowane peryferia do bloków analogowych jak i cyfrowych można rekonfigurować podczas pracy mikrokontrolera. Tak więc załadowany do jednego z bloków cyfrowych np. timer można podczas pracy mikrokontrolera zamienić na przykład na układ UART. Jest to bardzo duża zaleta tych układów, gdyż rekonfigurowane podczas pracy peryferia mogą być dostosowywane do zadań, jakie



Rys. 1. Schemat ideowy mikrokontrolera PSoC

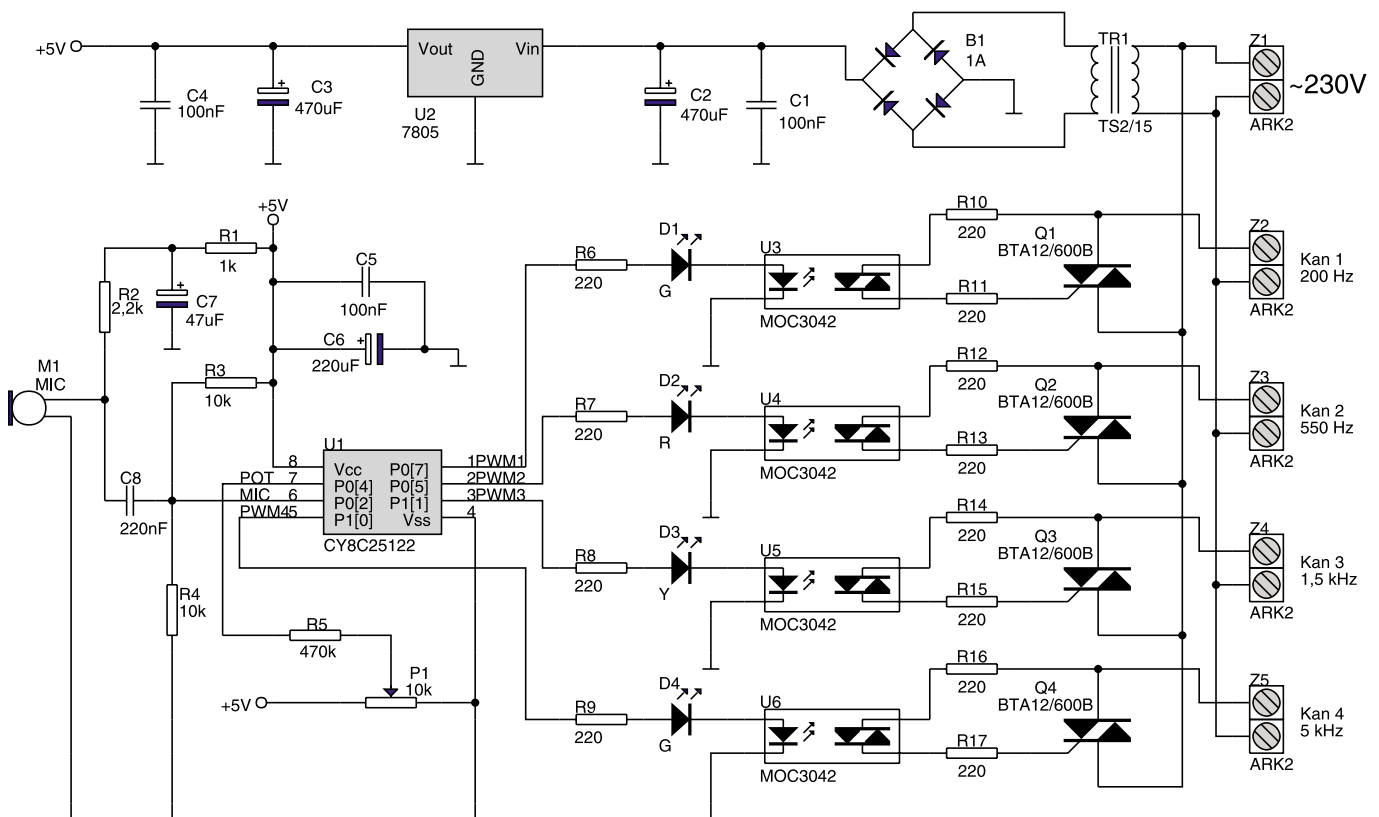
w danym momencie ma wykonać zbudowane w oparciu o ten układ urządzenie. Mikrokontroler PSoC pracujący w iluminofonii wykorzystuje tę cechę podczas pracy. Okazało się to potrzebne ze względu na małą liczbę linii I/O układu w obudowie DIP8. Jedną linią I/O mikrokontrolera została wykorzystana do dwóch celów: do odczytu napięcia z potencjometru czułości iluminofonii oraz do przesyłania (wewnątrz mikrokontrolera) wzmacnionego z mikrofonu sygnału analogowego. Tak więc wewnętrzne peryferia mikrokontrolera są rekonfigurowane w taki sposób, by było możliwe odczytywanie w odpowiednich chwilach napięcia z potencjometru. W zależności od wartości tego napięcia realizowana jest regulacja wzmacnienia sygnału mikrofonowego. Ta kwestia zostanie dokładniej przedstawiona w dalszej części artykułu. Mikrokontroler PSoC posiada 8-bitowy rdzeń o architekturze harwardzkiej, zgodnej z M8C. Architektura CPU M8C jest bardzo podobna do architektury mikrokontrolerów 8051. W niej także można wyróżnić akumulator, wskaźnik stosu itp. Mnemoniki assemblerowe

mikrokontrolerów PSoC przypominają znane nam z rodziny 8051. Przygotowanie oprogramowania użytkowego dla mikrokontrolerów PSoC było by dość trudne bez odpowiedniego oprogramowania narzędziowego. Cypress udostępnia darmowe oprogramowanie *PSoC Designer*, które wspomaga tworzenie oprogramowania dla mikrokontrolerów PSoC oraz jego testowanie z wykorzystaniem emulacji sprzętowej. Stosując to oprogramowanie, w prosty sposób (za pomocą graficznego edytora) można skonfigurować peryferia mikrokontrolera oraz zdefiniować połączenia między nimi. Przygotowywanie oprogramowania dla mikrokontrolera ułatwiają także automatycznie utworzone procedury do obsługi skonfigurowanych peryferiów oraz makra. Oprogramowanie sterujące iluminofonią przygotowane zostało w bezpłatnym assemblerze wchodzącym w skład oprogramowania *PSoC Designer*.

Opis działania układu

Schemat ideowy iluminofonii jest przedstawiony na rys. 2. Jak widać, zgodnie z zapowiedzią, iluminofonia ma bardzo prostą budowę. Mikrokontroler CY8C25122

steruje pracą wszystkich bloków tego urządzenia. Elementy R1, C7 oraz R2 polaryzują odpowiednio mikrofon elektretowy M1, natomiast elementy R3, R4 polaryzują wejście analogowe MIC mikrokontrolera na poziomie połowy napięcia zasilającego, czyli na ok. 2,5 V. Do polaryzacji wejścia MIC można było wykorzystać jedno z wyprowadzeń mikrokontrolera, na które byłoby wyprowadzone wewnętrzne napięcie odniesienia mikrokontrolera (o wartości 2,5 V), ale ze względu na małą liczbę wyprowadzeń konieczne by było zastosowanie układu w większej obudowie. Dodanie rezystorów R3, R4 rozwiązuje problem potrzebnej, dodatkowej linii polaryzującej wejście MIC. Wejście POT mikrokontrolera używane jest do dwóch celów: normalnie wejściem tym przesyłany jest wzmacniony sygnał z mikrofonu, natomiast w pewnych chwilach (gdy konfigurowany jest filtr środkowoprzepustowy) odłączany jest od tego wejścia sygnał analogowy i badane jest napięcie na potencjometrze P1. Jak już wiemy, od wartości tego napięcia zależy czułość iluminofonii (wzmocnienie sygnału z mikrofonu). Rezystor

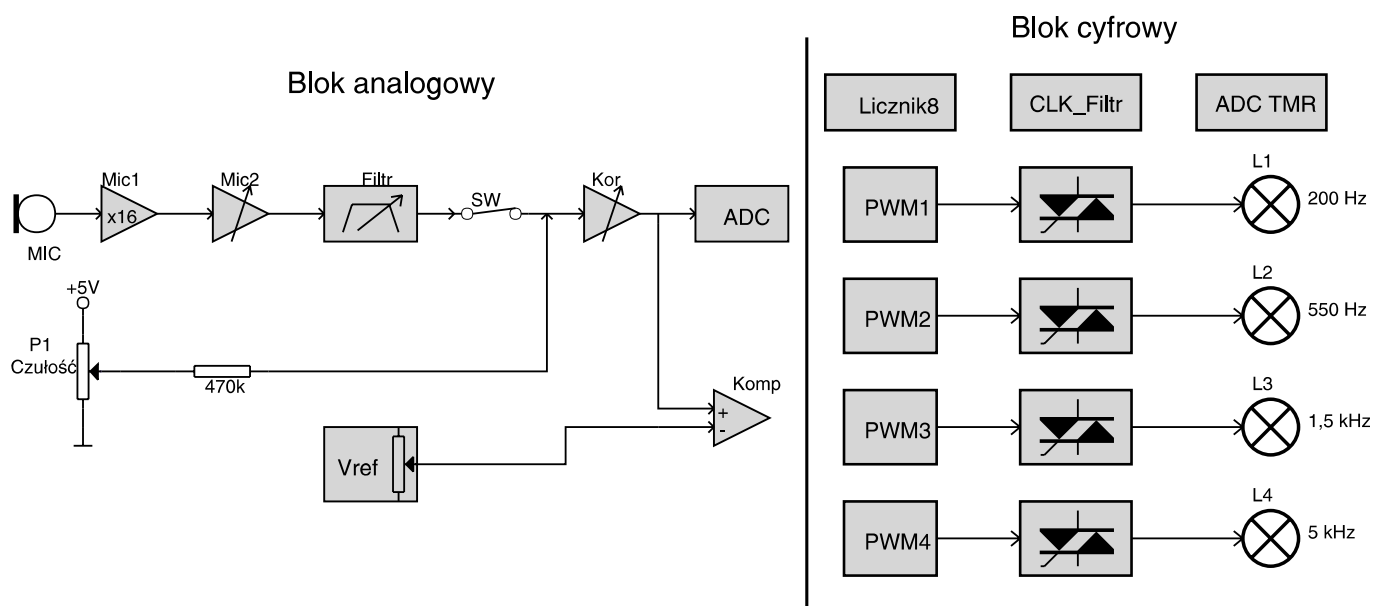


Rys. 2. Schemat ideowy iluminofonii

R5 zabezpiecza przed zwarcieniem wzmacniony sygnał z mikrofonu przesyłany przez wejście POT przed zwarcieniem go do plusa zasilania lub masy w skrajnych położeniach potencjometru P1. Takie zwarcie uniemożliwiło by pracę iluminofonii. Rezystor R5 rozwiązuje ten problem, a nie wpływa na pracę iluminofonii. Takie rozwiązanie regulacji czułości iluminofonii było podyktowane ograniczoną liczbą linii portów mikrokontrolera oraz ograniczonymi możliwościami połączeń peryferiów wewnątrz mikrokontrolera. Wyjścia PWM1..PWM4, na których występuje modulowany sygnał PWM sterują diodami D1..D4 oraz diodami zawartymi w optotriakach U3..U6. Rezystory R6..R9 ograniczają prądy płynące przez te diody. Jasność świecenia tych diod zależy od wypełnienia przebiegu PWM. Optotriaki sterują triakami Q1..Q4, które załączają dołączone do nich żarówki. Diody D1..D4 sygnalizują jedynie pracę każdego z kanałów iluminofonii. Jak wspomniano, ze względu na brak synchronizacji sygnałów PWM z siecią 230 V żarówki dołączone do triaków, prócz świecenia z określoną jasnością migają w sposób podobny do stroboskopu, co daje interesujący efekt działania iluminofonii. Dzięki funkcji załączania triaków przez optotriaki przy napięciu sieci bliskim zeru, unika się zakłóceń wprowadzanych do tejże sieci przez triaki. Eliminuje

to potrzebne filtry LC. Iluminofonia jest zasilana poprzez 2-watowy transformator, z którego napięcie jest prostowane przez mostek B1 i stabilizowane przez U2 na poziomie 5 V. Napięcie zasilające mikrokontroler U1 powinno być dobrze filtrowane. Gwarantują to kondensatory C1..C6. Na **rys. 3** przedstawiono schemat blokowy iluminofonii. Większa część urządzenia została zaimplementowana w mikrokontrolerze U1, w postaci konfigurowalnych peryferiów zarówno cyfrowych, jak i analogowych. Na schemacie można wyróżnić blok analogowy oraz cyfrowy. Sygnał z mikrofonu jest wzmacniany przez wzmacniacz operacyjny *Mic1*, którego wzmacnienie zostało ustalone na 16. Wzmocnienie drugiego wzmacniacza (*Mic2*) będzie zależało od ustawienia potencjometru P1 regulującego czułość iluminofonii. Wzmocnienie wzmacniacza *Mic2* jest zmieniane w zakresie od 1 do 16. Największe wzmocnienie sygnału z mikrofonu, jakie można uzyskać za pomocą wzmacniaczy *Mic1* i *Mic2* wynosi zatem 256. Sygnał z mikrofonu, wzmacniony przez *Mic1* i *Mic2*, podawany jest na wejście regulowanego filtra środkowoprzepustowego, a dalej z jego wyjścia podawany jest poprzez wejście POT mikrokontrolera (wewnątrz mikrokontrolera) na wzmacniacz o regulowanym wzmocnieniu *Kor*. Wzmacniacz ten jest wzmacniaczem korekcyj-

nym, za pomocą którego możliwe jest korygowanie wzmocnienia danego kanału iluminofonii. Oznacza to, że za jego pomocą jest możliwe korygowanie charakterystyki częstotliwościowej iluminofonii. Z wyjścia wzmacniacza *Kor* sygnał jest podawany na 8-bitowy przetwornik A/C typu Delta-Sigma. Na podstawie cyfrowych próbek z przetwornika A/C, po ich odpowiednim przetworzeniu, sterowane są pozostałe bloki iluminofonii, np. generatory PWM sterujące optotriakami. Do określenia napięcia z potencjometru P1 wykorzystany został komparator *Komp*. Zakres napięcia z potencjometru P1 jest określany na podstawie wielkości napięcia referencyjnego V_{ref} , które jest podane na wejście odwracające komparatora. Napięcie referencyjne V_{ref} jest zwiększane do takiej wartości, aż na wyjściu komparatora *Komp* pojawi się poziom niski. Napięcie referencyjne V_{ref} może być zmieniane w 16 krokach (do wartości 5 V). Na podstawie dodatkowej zmiennej licznikowej, która zlicza kroki zmian napięcia V_{ref} , określany jest poziom wzmocnienia wzmacniacza *Mic2*. W czasie, gdy badane jest napięcie na potencjometrze P1, sygnał za filtrem jest odłączany, co na schemacie blokowym uwidacznia przełącznik SW. Aby uniknąć wpływu wzmacniacza *Kor* na napięcie z potencjometru, wzmocnienie na ten czas jest ustalane na wartość jednostkową



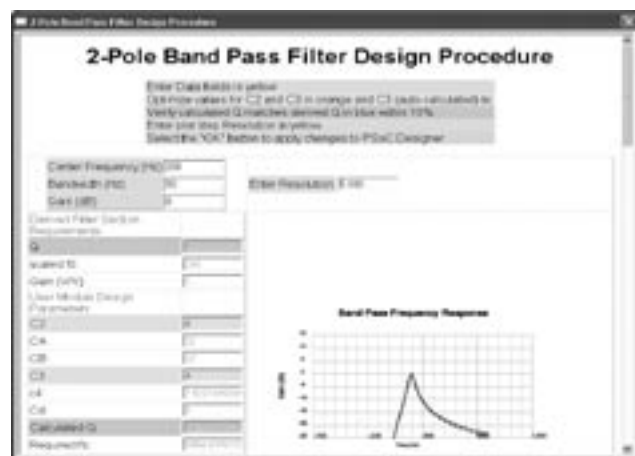
Rys. 3. Schemat blokowy iluminofonii

(x1). Do bloków cyfrowych zawartych w mikrokontrolerze można zaliczyć cztery generatory PWM, licznik ADC TMR, który steruje pracą przetwornika A/C, 16-bitowy licznik CLK_Filtr sterujący pracą filtra środkowoprzepustowego oraz 8-bitowy Licznik8 generujący przerwania, w których odbywa się odliczanie czasu opóźnienia próbkowania i czasu próbkowania dla każdego z kanałów iluminofonii. Dokładniejsze informacje o elementach iluminofonii, które zostały zawarte w mikrokontrolerze postaram się przedstawić podczas opisywania działania programu sterującego iluminofonią. Oczywiście będzie to przedstawienie jedynie idei działania programu.

Rdzeń mikrokontrolera PSoC pracuje z częstotliwością 24 MHz. Wysoka częstotliwość pracy mikrokontrolera wynika z operacji jakie musi on wykonywać (próbkowanie, sterowanie filtrem, odczyt napięcia z potencjometru P1, itp.). W iluminofonii niektóre z bloków mikrokontrolera pracują niezależnie od rdzenia, jak generatory PWM lub przetwornik A/C. Napięcie polaryzujące bloki analogowe mikrokontrolera zostało ustalone za pomocą rezystorów R3 i R4 na poziomie 2,5 V, czyli tak samo, jak wejście MIC. Na początku programu wzmocnienie wzmacniacza *Mic1* oraz *Mic2* jest ustalane na wartość 16 (czyli maksymalne z możliwych), a wzmocnienie wzmacniacza *Kor* na 4. Następnie mikrofon jest odłączany od wejścia wzmacniacza *Mic1*, a przyłączane jest do niego wewnętrzne napięcie polaryzujące (ustalone na 2,5 V). Teraz mierzony jest przetwornikiem A/C poziom napięcia na wyjściu wzmacniacza *Kor*. Otrzymuje się w ten sposób cyfrową wartość napięcia offsetu, która będzie odejmowana od otrzymanych próbek sygnału z mikrofonu. Taka automatyczna korekcja napięcia wyjściowego z toru analogowego iluminofonii umożliwia zwiększenie dokładności pomiaru sygnału z mikrofonu charakteryzującego się niewielką amplitudą. Wzmacniacze operacyjne oraz filtr przy dołączonym napięciu polaryzacji (masy pozornej) nie posiadają bowiem napięć wyjściowych równych napięciu polaryzacji. Owe napięcia miałyby

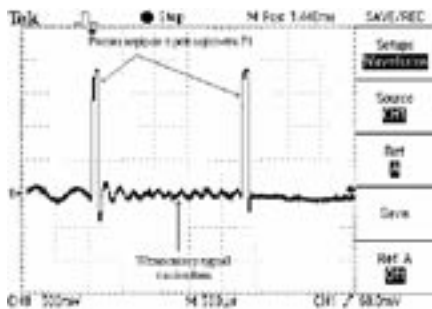
wpływ na działanie iluminofonii. Oczywiście pomiar tego napięcia odbywa się dla każdego z kanałów iluminofonii osobno, a wyniki zapisywane są w czteroelementowej tablicy. Jest to związane z tym, że napięcia spoczynkowe na wyjściu filtra dla danej częstotliwości środkowej będą inne. Po zapisaniu napięć offsetu dla każdego z kanałów iluminofonii, do wejścia wzmacniacza *Mic1* przyłączany jest mikrofon. Wzmocnienie *Mic2* ustalane jest na podstawie odczytanego przez komparator *Komp* napięcia z potencjometru P1. Także wielkość wzmocnienia wzmacniacza korekcyjnego *Kor* jest pobierana z tablicy stałych. Wzmocnienia te mogą być różne dla każdego kanału iluminofonii. Zmieniając wartości w tej tablicy stałych można zmieniać charakterystykę iluminofonii. Np. można bardziej wzmocnić tony wysokie, a osłabić niskie, itp. 8-bitowy przetwornik A/C próbkuje sygnał audio z maksymalną częstotliwością 32000 próbek na sekundę, czyli możliwe jest próbkowanie sygnału audio o paśmie nieco ponad 15 kHz. Pracą przetwornika A/C steruje licznik ADC TMR, do wejścia którego doprowadzony został sygnał 8 MHz gwarantujący szybkość próbkowania 32 kpsps. Gotowość do odczytania próbki sygnalizowana jest w programie odpowiednią flagą, natomiast same pobranie próbki z przetwornika odbywa się w przerwaniu od przetwornika A/C. W przerwaniu tym następuje więc zapisanie do odpowiedniej zmiennej wartości próbki oraz ustawiana zostaje odpowiednia flaga, która będzie in-

formacją dla programu głównego, że dostępna jest próbka z przetwornika. Przetwornik A/C zapisuje dane w formacie uzupełnienia do 2. Na 8 bitach zapisuje zarówno liczby dodatnie, jak i ujemne. Zastosowany filtr środkowoprzepustowy drugiego rzędu jest filtrem z przełączanymi pojemnościami. W tego typu filtrach do poprawnej pracy wymagany jest przebieg prostokątny o częstotliwości wielokrotnie większej niż największa częstotliwość sygnału wejściowego. Dużą zaletą tego typu filtrów jest możliwość przestrajania za pomocą zmiany częstotliwości sygnału sterującego (sygnału prostokątnego). W iluminofonii filtr został zaprojektowany przy użyciu dodatkowego narzędzia, jakim jest program *Filter Design Procedure*, który wchodzi w skład pakietu *PSoC Designer*. Znakomicie on ułatwia zaprojektowanie potrzebnego filtra, łącznie z przedstawieniem jego charakterystyki. Okno tego programu widoczne jest na **rys. 4**. Dobroć filtra (Q) w iluminofonii została ustalona na wartość 4, co w tym zastosowaniu całkowicie wystarczy. Do generowania potrzebnej częstotliwości dla filtra wykorzystany został 16-bitowy licznik CLK_Filtr, na wejście którego podawany jest przebieg o częstotliwości 24 MHz. Pracuje on w roli dzielnika częstotliwości 24 MHz. Częstotliwość sygnału z wyjścia licznika CLK_Filtr będzie określała częstotliwości środkowe filtrów, które w iluminofonii zostały ustalone na 200 Hz, 550 Hz, 1,5 kHz i 5 kHz. Aby przestroić filtr wystarczy wpisać odpowiednią wartość podziału



Rys. 4. Okno programu *Filter Design Procedure*

częstotliwości do licznika CLK_Filtr. Dzięki temu, do obsługi czterech kanałów iluminofonii wystarczy tylko jeden filtr. W przerwach od przepelnienia licznika Licznik8, generowanych z ustawioną częstotliwością 40 kHz, odmierzone są przed rozpoczęciem próbkowania sygnału, opóźnienia wymagane po rekonfiguracji filtrów (po zmianie jego częstotliwości środkowej). Mają one na celu zapewnienie ustabilizowania się jego działania. Czas ten jest zależny od częstotliwości środkowej filtru. Im mniejsza częstotliwość środkowa, tym czas potrzebny na jego ustabilizowanie będzie większy. Próbkowanie sygnału od razu po skonfigurowaniu filtru dało by nieprzewidywalne wartości próbek. W przerwy tym, po odmierzeniu opóźnienia na ustabilizowanie filtru, odmierzany jest czas próbkowania sygnału dla filtru o danej częstotliwości środkowej. Czas ten jest identyczny, jak czas opóźnienia dla stabilizacji filtru. Po odmierzeniu czasu na próbkowanie (tylko wtedy jest próbkowany sygnał wyjściowy z filtru o danej częstotliwości środkowej) ustawiana jest flaga zezwolenia na zmianę parametrów filtru. Po zmianie tych parametrów, znów powtarza się cykl opóźnienia na jego stabilizację, po którym następuje próbkowanie. Po czasie próbkowania znów ustawiana jest flaga zezwolenia na zmianę częstotliwości środkowej filtru, po czym cykl się powtarza. Taki algorytm jest zastosowany dla każdego z kanałów iluminofonii. W programie, przed zmianą częstotliwości środkowej, zawsze badany jest poziom napięcia na potencjometrze P1 w sposób opisany wcześniej. Dla przypomnienia – w tym czasie odłączany jest wzmacniony sygnał z mikrofonu (po przejściu przez

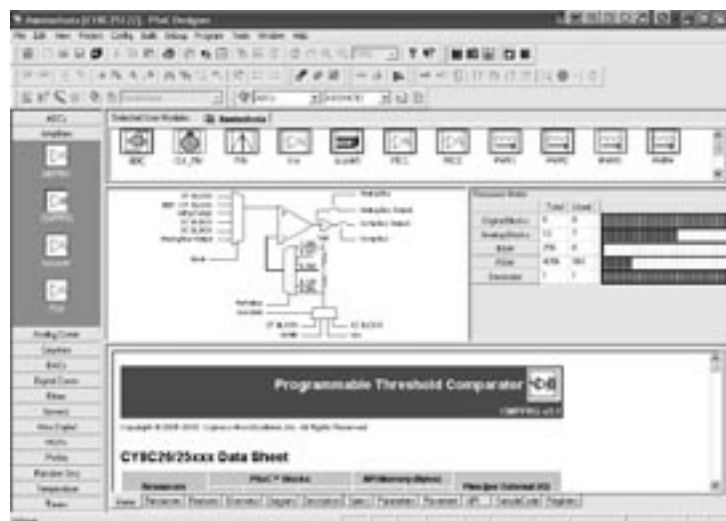


Rys. 5. Sygnały występujące na wejściu POT mikrokontrolera

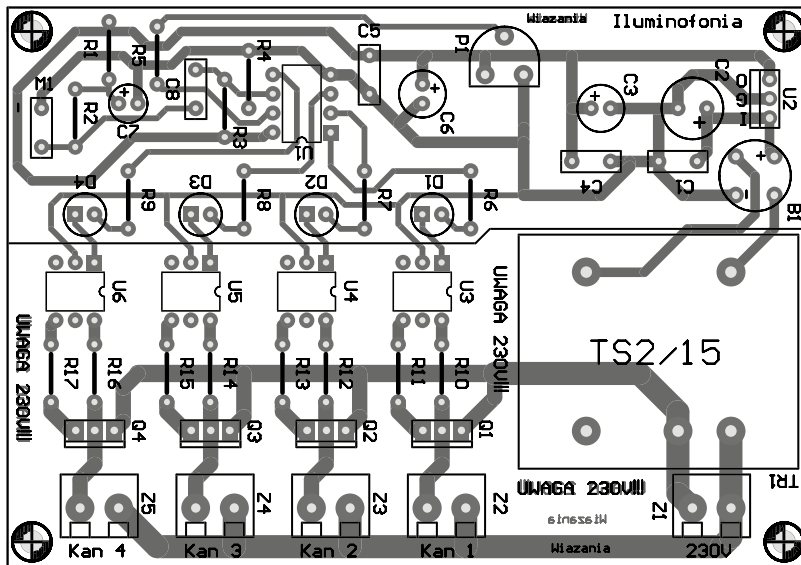
filtr) od wzmacniacza *Kor*, a napięcie z P1 określane jest poprzez komparator *Komp*. W zależności od poziomu napięcia z P1 ustawiane jest odpowiednie wzmocnienie wzmacniacza *Mic2*. Do przyłączenia sygnału z filtru do wzmacniacza *Kor* wykorzystywane jest wewnętrzne (w mikrokontrolerze) połączenie z użyciem zewnętrznego wejścia mikrokontrolera, oznaczonego jako POT. Na rys. 5 przedstawiono widok sygnałów na wejściu POT mikrokontrolera. Jak widać, można na nim (co zostało oznaczone) wyróżnić wzmocniony sygnał z mikrofonu (za filtrem), który jest na wejściu wzmacniacza *Kor* oraz poziomy napięć z potencjometru, których wielkość będzie zależne od jego ustawienia i jest badana przez komparator. W programie głównym, po zinterpretowaniu napięcia z P1, następuje zmiana częstotliwości środkowej filtru oraz odpowiednie dla niej ustawienie wzmocnienia wzmacniacza korekcyjnego *Kor*. Od każdej wartości próbki dla danego kanału odejmowany jest zmierzony dla każdego z kanałów offset (napięcie zerujące tor analogowy). Następnie, jeśli wartość próbki jest ujemna, to zamieniana jest ona na dodatnią. Obliczana jest więc wartość bezwzględna próbki, czyli następuje prostowanie mierzonego sygnału. Tak obliczona próbka jest ładowana do 8-bajтового bufora, którego działanie jest bardzo proste – załadowanie nowej wartości (próbki) powoduje, że bufor opuszcza najstarsza, wpisana do niego próbka. Każdy ka-

nał ma swój bufor na próbki, czyli bufora te można rozpatrywać jako dwuwymiarową tablicę o 4 kolumnach i 8 wierszach. Należy zwrócić uwagę na to, że do bufora nie są ładowane wszystkie próbki uzyskane w czasie odmierzanym przez Licznik8 (czasie przeznaczonym na próbkowanie), a jedynie te, które w tym przedziale czasowym mają największą wartość. Oznacza to, że zapisywana jest próbka określająca maksymalny poziom amplitudy (próbka szczytowa). Przed każdą zmianą częstotliwości środkowej filtru, z próbek w danym buforze (dla danego kanału) okresowo jest obliczana jedna wartość średnia, która określa wypełnienie sygnału PWM przypisanego do obliczanego kanału. W mikrokontrolerze umieszczono cztery 8-bitowe generatory PWM (dla każdego z kanałów), na wejścia których został podany sygnał o częstotliwości 32 kHz. Generowane sygnały PWM mają częstotliwość bliską 125 Hz. Sygnały te sterują bezpośrednio optotriakami iluminofonii. Program iluminofonii nie jest skomplikowany i polega na wykonywaniu w pętli przedstawionych czynności, po kolei dla każdego z kanałów iluminofonii.

Na rys. 6 został przedstawiony widok okna programu PSoC Designer z wybranymi peryferiami dla iluminofonii. Dla każdego z wybranych peryferiów dostępny jest szczegółowy opis ich budowy i działania, wzbogacony o przykłady procedur generowanych do ich obsługi. Wybrane bloki peryferyjne



Rys. 6. Okno programu PSoC Designer podczas projektowania iluminofonii



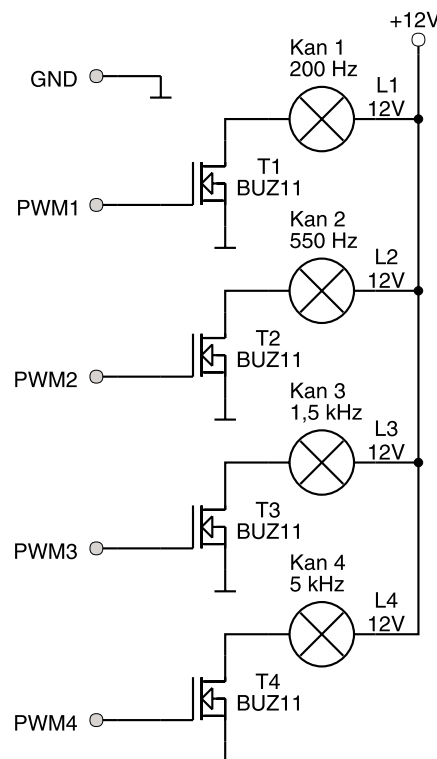
Rys. 7. Schemat montażowy iluminofonii

należy umieścić w dostępnych blokach cyfrowych i analogowych mikrokontrolera i odpowiednio je połączyć.

Montaż i uruchomienie

Schemat montażowy 4-kanalowej iluminofonii przedstawiono na rys. 7. Montaż układu jest typowy, tzn. należy go rozpocząć od elementów o najmniejszych gabarytach (rezystory, kondensatory). Oprogramowanie sterujące iluminofonią (które udostępniam) można załadować do mikrokontrolera PSoC CY8C25122 poprzez specjalny programator ISSP (*In-System Serial Programming*), czyli możliwe jest programowanie tych układów w systemie. Do mikrokontrolera ładowany jest plik z rozszerzeniem HEX. Po zamontowaniu zaprogramowanego mikrokontrolera i włączeniu zasilania iluminofonia powinna od razu poprawnie pracować. Potencjometrem P1 trzeba będzie jedynie ustawić jej czułość. **Przy uruchamianiu iluminofonii należy mieć na uwadze to, że w niektórych miejscach płytki drukowanej występują niebezpieczne dla życia napięcia sieciowe 230 V.** Na początku artykułu było wspomniane, że zamiast żarówek na napięcie 230 V oraz triaków i optotriaków można wykorzystać żarówki niskonapięciowe np. 12 V oraz dodatkowe tranzystory, które będą nimi sterować. Na rys. 8 przedstawiono schemat układu z żarówkami niskonapięciowymi (12 V) wraz

ze sterującymi nimi tranzystorami. Ich bramki należy dołączyć bezpośrednio do wyjść mikrokontrolera oznaczonych jako PWM1..PWM4. Przy zastosowaniu takiego rozwiązania żarówki nie będą posiadały wcześniej wspomnianego efektu podobnego do stroboskopowego, lecz będą świecić światłem ciągłym o zadanej przez mikrokontroler jasności. Do zasilania takich żarówek należy wykorzystać 12 V zasilacz o odpowiedniej wydajności



Rys. 8. Układ wykonawczy z żarówkami 12V

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

R1: 1kΩ
R2: 2.2kΩ
R3, R4: 10kΩ
R5: 470kΩ
R6..R17: 220Ω
P1: potencjometr leżący, mały 10kΩ

Kondensatory

C1, C4, C5: 100nF
C2, C3: 470μF/16V
C6: 220μF/16V
C7: 47μF/16V
C8: 220nF

Półprzewodniki

U1: CY8C25122
U2: 7805
U3..U6: MOC3042
Q1..Q4: BTA12/600B
D1, D4: LED 5mm zielona
D2: LED 5mm czerwona
D3: LED 5mm żółta
M1: mikrofon elektretowy
B1: mostek okrągły 1,5A

Różne

Z1..Z5: złącze
TR1: transformator TS2/15

ści prądowej, za pomocą którego można zasilić także całą iluminofonię. Nie będzie wtedy potrzebny transformator TR1. Stosując niskonapięciowe żarówki, iluminofonia staje się urządzeniem bezpiecznym. W żadnym miejscu płytki nie będzie występować niebezpieczne napięcie sieci. Opanowanie mikrokontrolerów PsoC, przy pierwszym zetknięciu się z nimi, może się wydawać dość trudne, ale jak pokazałem na przykładzie iluminofonii oraz dostępnego darmowego narzędzia *PSoC Designer*, zadanie okazuje się w miarę proste. Mikrokontrolery PsoC okazały się wręcz idealnymi podzespołami do realizacji takich urządzeń, jak prezentowana wyżej iluminofonia. Dodatkową zachętą do ich stosowania jest niewysoka cena, porównywalna z cenami najprostszymi mikrokontrolerów dostępnych na rynku.

Marcin Wiązania
marcin.wiazania@ep.com.pl

Wzory płytek drukowanych w formacie PDF są dostępne w Internecie pod adresem: pcb.ep.com.pl oraz na płycie CD-EP8/2004B w katalogu PCB.