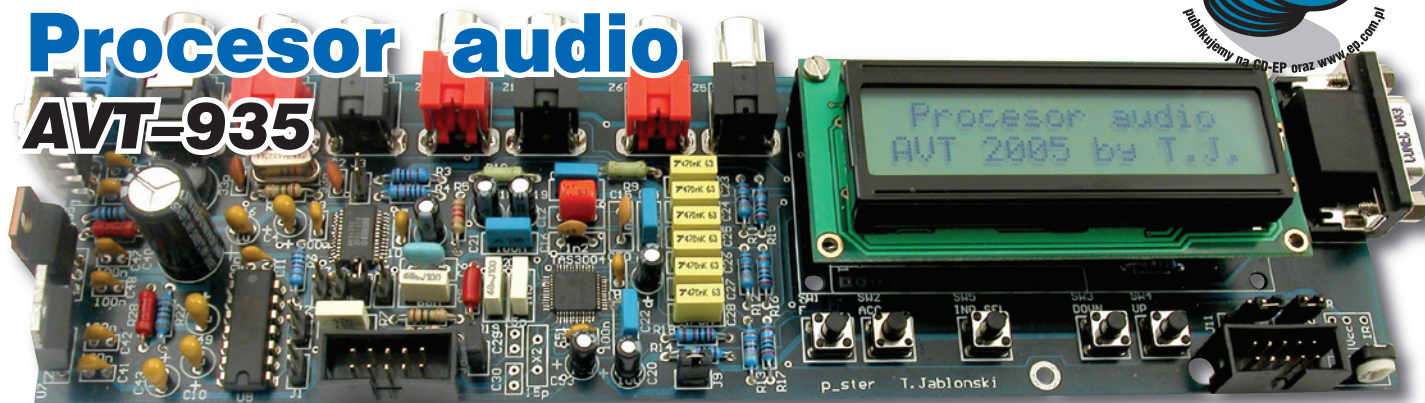


# Cyfrowy tor akustyczny, część 1

## Processor audio

### AVT-935



Dodatkowe materiały do artykułu  
publikowany na CD-EP oraz [www.ep.com.pl](http://www.ep.com.pl)

Do tego, że technika cyfrowa jest wszechobecna zdążyliśmy się już chyba wszyscy przekonać.

Nie dziwi już nas fakt, że nawet w sprzęcie audio więcej jest układów cyfrowych, niż analogowych. Nic nie stoi na przeszkodzie, by wykonać cały tor akustyczny – od gniazda sygnału wejściowego (cyfrowego oczywiście), aż do samego głośnika bez układów analogowych.

#### Rekomendacje:

w tej części artykułu prezentujemy cyfrowy procesor audio, który powinien zainteresować wszystkich miłośników nowych technik stosowanych w sprzęcie akustycznym. Projekt, który z założenia był pewnym eksperymentem, może służyć jako inspiracja do własnych konstrukcji.

#### PODSTAWOWE PARAMETRY

- Płytką o wymiarach 218x58 mm
- Zasilanie 8 V (DC lub AC)
- Wejścia S/PDIF i analogowe
- Rozdzielczość przetwornika A/C i C/A 24 bity
- Regulacja cyfrowa:
  - głośność -70...+18 dB co 0,5 dB
  - tonów niskich i wysokich  $\pm 15$  dB co 0,5 dB
- Funkcje dodatkowe: mute, filtr „kontur”, wstępna regulacja poziomu sygnału wejściowego
- Ustawianie stałych parametrów z komputera przez interfejs RS232

Muszę przyznać, że technika audio fascynowała mnie od momentu, kiedy zacząłem się zajmować elektroniką. Początki nie były łatwe, i sukcesem było zbudowanie prostego wzmacniacza mocy. Potem w miarę zdobywanego doświadczenia udawało mi się uzyskiwać coraz lepszą jakość dźwięku. W pewnym momencie postanowiłem „ulepszyć” dość leciwy odtwarzacz CD i zbudować zewnętrzny przetwornik cyfrowo-analogowy. Przetwornik powstał, a jakość dźwięku wydawała się dużo lepsza. Ponieważ przetwornik gdzieś się zapodział, to dzisiaj trudno mi powiedzieć, czy była rzeczywiście dużo lepsza, czy tylko bardzo chciałem by taka była. Potem budowałem inne przetworniki i wydawało się, że jest to wszystko, co można zrobić na poziomie amatorskim lub półprofesjonalnym. Tak było do momentu, kiedy zobaczyłem opis cyfrowego procesora audio – układu TAS3001 firmy Texas Instruments. Układ wydał mi się tak prosty w zastosowaniu, a jednocześnie bardzo przemyślany, że pomyślałem o zbudowaniu czegoś w rodzaju „cyfrowego przedwzmacniacza” dla odtwarzacza CD. Tak powstał opisywany już w EP4/2003 cyfrowy procesor audio AVT566. Układ ten był dość rozbudowany, bo oprócz odbiornika S/PDIF i procesora zawierał przetwornik DAC PCM1710, a pozwalał tylko na obróbkę sygnału cyfrowego podanego na jedno z wejść SDIN1 lub SDIN2. Żeby analogowe sygnały z tu-

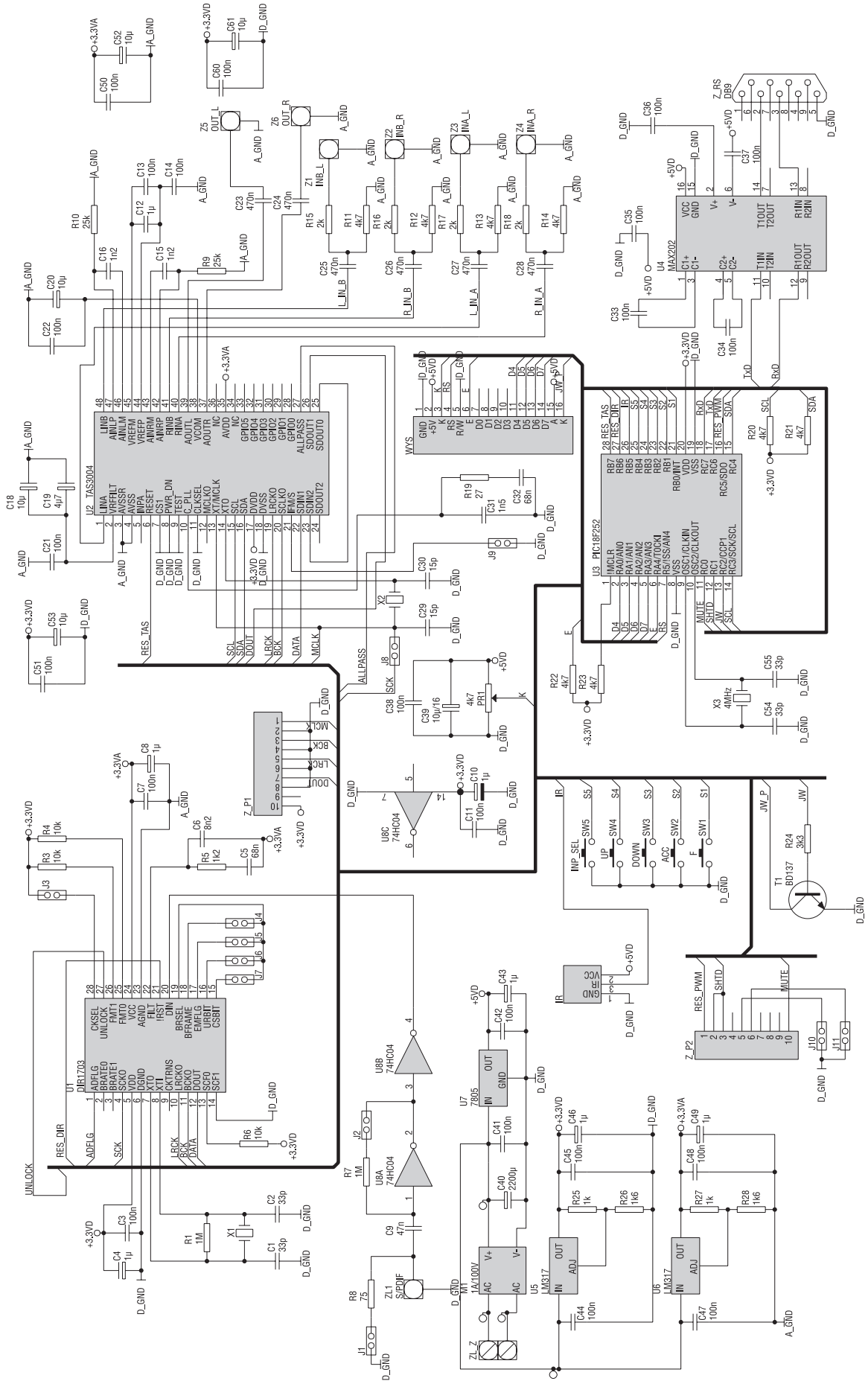
nera AM/FM, magnetofonu analogowego itp. mogły być przetwarzane przez układ TAS3001 musiały być zamieniane na postać cyfrową dodatkowym przetwornikiem analogowo-cyfrowym. Oczywiście było to możliwe, ale kosztem rozbudowania i przez to skomplikowania układu.

Nie kryję, że program próbkowy TI (niestety nieistniejący już dla nas) pomógł mi w zaprojektowaniu i zbudowaniu o wiele bardziej funkcjonalnego i prostszego w budowie procesora audio z wykorzystaniem układu TAS3004.

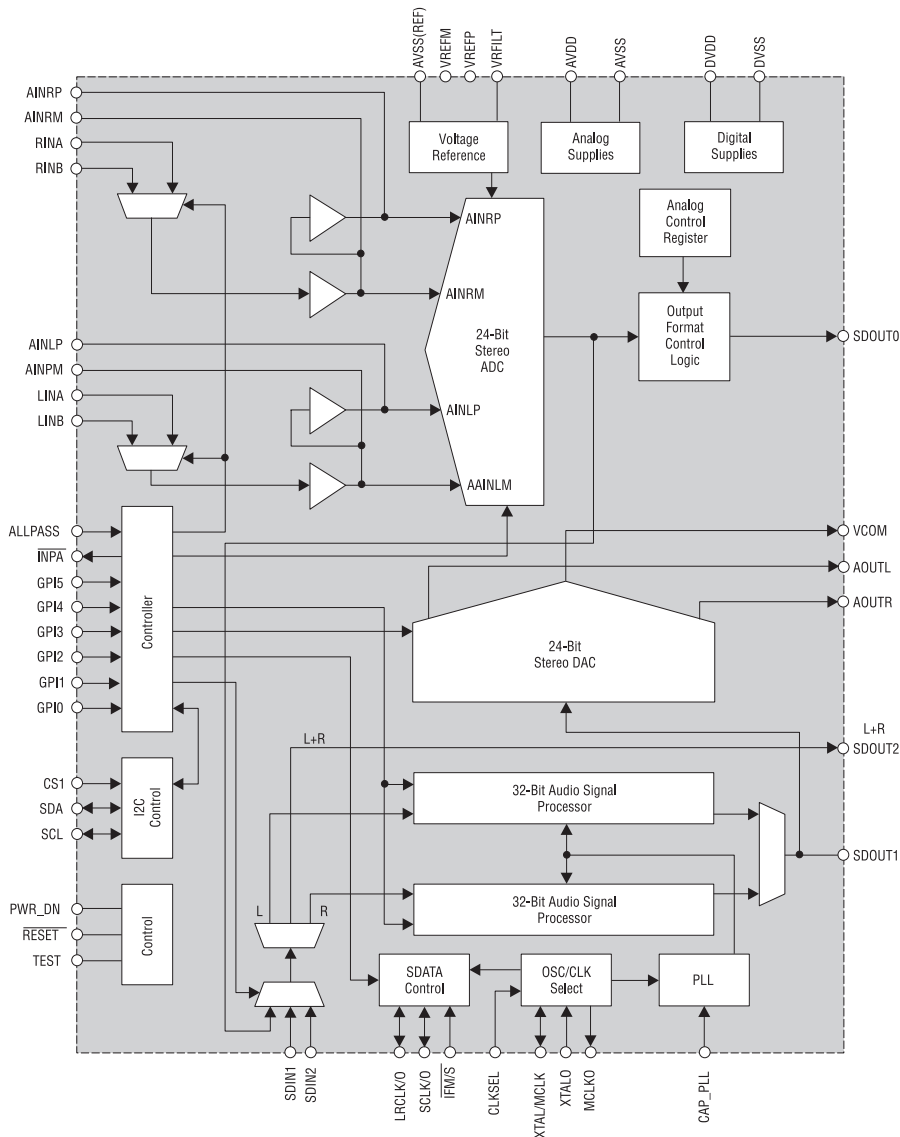
Opisywany procesor jest przykładem pokazującym ogromne możliwości technologii digitalizacji analogowych sygnałów audio i to w zastosowaniach w sprzęcie powszechnego użytku. Śmiem twierdzić, że tego typu układy już dziś konkurują z ich analogowymi odpowiednikami – także scalonymi – możliwościami, jakością i pewnie ceną końcowego wyrobu. Popatrzmy, zatem co jest takiego niezwykłego w tym procesorze.

#### Opis układu

Schemat procesora został pokazany na rys. 1. Sygnał cyfrowy w formacie S/PDIF jest podawany na złącze ZL1 i dalej na wejście bramki U8A układu 74HC04. Zależnie od konfiguracji zworek J1 i J2 bramka U8A jest albo buforem (napęd CD-ROM), albo wzmacniaczem liniowym (odtwarzacz CD). Jako odbiornik wykorzystanym sprawdzony już i opisywany



Rys. 1. Schemat elektryczny procesora



Rys. 2. Schemat blokowy układu TAS3004

układ DIR1703. Niestety TI zaprzestał jego produkcji z powodu błędów w identyfikacji wejściowego sygnału S/PDIF w momencie, kiedy zmieniana jest częstotliwość próbkowania na przykład z 44,1 kHz na 48 kHz. W przypadku, kiedy sygnał wejściowy nie zmienia częstotliwości próbkowania ta wada nie jest istotna i dla działania opisywanego układu nie ma znaczenia.

Wyjściowe sygnały odbiornika: LRCK (identyfikacji kanałów), BCK (zegar taktujący przesyłaniem danych) i DATA (sygnał danych) tworzą standardową lokalną magistralę, którą przesyłane są cyfrowe dane audio do portu procesora TAS3004 (układ U2). Sygnał identyfikacji jest połączony do linii LRCKO, dane do wejścia SDIN1, a zegar taktujący transmisją do linii SCLKO. Celowo użyłem tu określenia linii por-

tu, a nie wejścia portu, bo linie te mogą być dwukierunkowe. Magistrala do przesyłania danych audio jest zorganizowana według zasady master-slave. TAS3004 może być układem master i wtedy jest źródłem wszystkich sygnałów zegarowych. Wtedy wspomniane linie portu są wyjściami. Jeżeli TAS3004 pracuje jako slave, to linie stają się wejściami. O tym w jakim trybie pracuje port decyduje stan linii !FM/S. Jeżeli jest w stanie niskim, to wymuszony jest tryb slave (zworka J9).

W wielu systemach (choć nie we wszystkich) magistrala jest uzupełniona dodatkowym sygnałem zegara systemowego – master clock. Jest to sygnał zegarowy o standardowej wielokrotności częstotliwości próbkowania  $f_s$ . Układ master magistrali również jest źródłem sygnału zegara systemowego. Jeżeli wy-

bralibyśmy jako master układ U2 TAS3004, to zostałyby uaktywniony wewnętrzny układ oscylatora i on stałby się źródłem zegara systemowego. Oczywiście częstotliwość tego oscylatora jest określona przez mnożnik i częstotliwość próbkowania. Dla  $f_s=48\text{ kHz}$  i mnożnika 256  $f_{xtal}=12,288\text{ MHz}$ . Wybór mnożnika jest określany stanem wyprowadzenia CLKSEL: stan niski – mnożnik 256, stan wysoki – mnożnik 512.

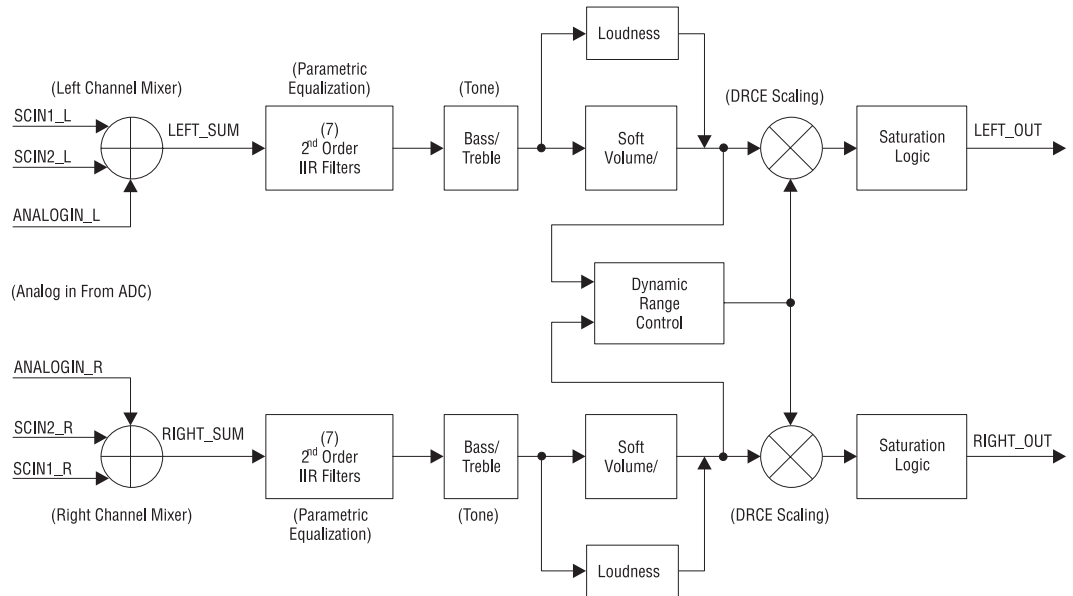
W naszym układzie zegar systemowy jest odtwarzany w pętli PLL z wejściowego strumienia danych S/PDIF przez odbiornik DIR1703. Taka sytuacja powoduje, że układ odbiornika automatycznie staje się układem master. Ma to swoje dobre strony: dla różnych częstotliwości próbkowania zegar systemowy jest uzyskiwany z układu PLL odbiornika U1.

Wiemy już jak dane cyfrowe trafiają z odbiornika U1 do procesora U2. Zobaczmy, co się dzieje z nimi dalej. Schemat blokowy TAS3004 został pokazany na rys. 2. Już na pierwszy „rzut oka” widać, że układ ma dużo większe możliwości niż wspomniany już wcześniej TAS3001. Przede wszystkim ma wbudowane 24-bitowe przetworniki: analogowo-cyfrowy i cyfrowo-analogowy. Taki układ, który umożliwia przetwarzanie sygnału w obie strony nazywany jest kodekiem.

Przetwornik cyfrowo – analogowy zamienia sygnał cyfrowy z wewnętrznego procesora DSP (powiemy o nim później) na postać analogową. W rozwiązaniu z TAS3001 rolę tę spełniał zewnętrzny przetwornik PCM1710. Drugi z przetworników – analogowo-cyfrowy – zamienia analogowy sygnał stereofoniczny na postać cyfrową. Wszystko to razem powoduje, że procesor TAS3004 może przetwarzać cyfrowo nie tylko sygnał danych cyfrowych audio z portu szeregowej magistrali, ale także z wejść analogowych. Znacznie to upraszcza budowę urządzeń, w których źródłem sygnału jest na przykład odtwarzacz CD, analogowy tuner AM/FM lub magnetofon analogowy.

Wróćmy jednak do sygnału danych z wejścia SDIN1. Jak wynika z rys. 2, jest to jeden z trzech możliwych sygnałów podawanych na wejście cyfrowego miksera umożliwiającego miksowanie sygnałów

o poziomach ustawianych od pełnego wyciszenia do wzmocnienia +18 dB. Dodatkowo można wykorzystać mikser jako selektor wejść. Poziom sygnał jednego ze źródeł trzeba ustawić na żądaną wartość, a pozostałe wyciszyć. W trakcie prac nad urządzeniem wykorzystałem mikser do jeszcze jednej dość ważnej funkcji: do wyrównywania poziomów każdego ze źródeł i ewentualnego tłumienia sygnału wejściowego, żeby zapobiec przesterowaniu następnym układów przez zbyt



Rys. 3. Schemat blokowy procesora DSP

duży poziom. Chociaż układ miksera w zasadzie nie został wykorzystany zgodnie ze swoją nazwą, to okazał się elementem praktycznie niezastąpionym.

Dwa stereofoniczne sygnały z wyjścia miksera są podawane na 2 niezależnie pracujące procesory DSP. Procesory DSP są kolejnym elementem TAS3004 decydującym o jego dużych możliwościach i elastyczności. Wszystkie ustawienia sterujące pracą procesorów są wpisywane do układu przez magistralę I<sup>2</sup>C. Pierwszym, możliwym rozwiązaniem, jakie się nasuwa jest sterowanie poprzez tę magistralę sterownikiem mikroprocesorowym, lub nawet komputerem. Oczywiście jest to możliwe, ale konstruktorzy układu przewidzieli też inną, zaskakującą możliwość. TAS3004 został wyposażony w 8-bitowy mikrokontroler sterujący pracą magistrali I<sup>2</sup>C, tak, że może ona pracować w trybie master. Nie jest wtedy potrzebny żaden zewnętrzny sterownik, a wszystkie nastawy są pobierane z odpowiednio zaprogramowanej popularnej zewnętrznej pamięci EEPROM 24C04, do której dostęp jest możliwy właśnie przez magistralę I<sup>2</sup>C. Wszystkie regulacje odbywają się za pomocą klawiatury dołączonej do linii portów GPIO0...GPIO5. Sposób programowania tej pamięci i dołączania klawiatury jest dokładnie opisany w dokumentacji układu. Przyznam, że ten sposób programowania wydał mi się bardzo interesujący i początkowo chciałem go wykorzystać. Jed-

nak potem zdecydowałem się na sterownik z mikrokontrolerem, który daje jednak większe możliwości eksperymentowania i ewentualnego wyposażenia w inne funkcje: wyświetlacz, sterowanie pilotem itp.

Po wyzerowaniu układu TAS3004, magistrala I<sup>2</sup>C pracuje jako master i wysyła adres master na magistralę. Jeżeli jest do niej podłączona pamięć, to układ odpowiada potwierdzeniem i pozostaje w tym trybie. Jeżeli jednak brak jest potwierdzenia, to oznacza, że może być podłączony sterownik, układ przechodzi w tryb slave i jest gotowy do odbierania danych ze sterownika.

Pierwszym elementem w torze danych procesora DSP jest zespół siedmiu kaskadowo połączonych filtrów cyfrowych. Charakterystyka każdego z filtrów jest określona zależnością:

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}$$

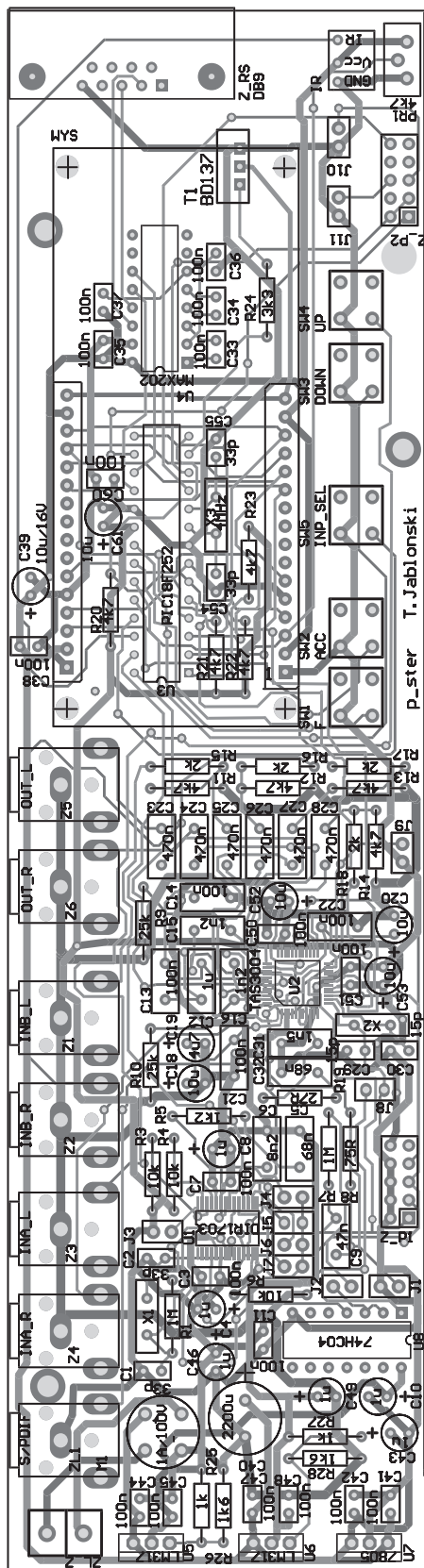
$$(a_0 = 1)$$

Każdy ze współczynników  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $a_1$  i  $a_2$  jest określony przez wartość zapisaną w 3 bajtach (24 bity). Dla zaprogramowania każdego z filtrów przewidziano w pamięci układu 15 bajtów: 5 współczynników po 3 bajty. Trzeba też dodać, że charakterystyka filtru dla każdego z kanałów stereofonicznych jest programowana niezależnie. Zaprogramowanie wszystkich siedmiu filtrów wymaga zapisania  $15 \cdot 7 \cdot 2 = 210$  bajtów, a więc całkiem sporo. Wpisywane współczynniki

pozwalają na precyzyjne określenie charakterystyki: typu filtru (pasmowy, Butterworth'a, szelfowy), pasma przepustowego i wzmocnienia (tłumienia) w zaprogramowanym paśmie. Za filtrami umieszczone są układy regulacji barwy tonu. Tony niskie i wysokie można regulować w zakresie od -15 dB do +15 dB z rozdzielczością 0,5 dB. Ostatnim ogniwiem w torze audio jest układ regulacji siły głosu (poziomu), z którym skojarzone są układy filtru kontur i kompresora/ekspandera dynamiki. Siła głosu jest regulowana w zakresie od -70 dB do +18 dB z krokiem co 0,5 dB. Dodatkowo można wymusić programowo stan zupełnego wyciszenia (mute).

Sygnał danych audio z wyjścia procesora DSP kierowany jest na wyprowadzenie SDOUT1 i jednocześnie na wejście wewnętrznego 24-bitowego przetwornika cyfrowo-analogowego. Na wyjściach przetwornika dostępne są niesymetryczne, analogowe sygnały AOOUTL i AOOUTR. Wyjście SDOUT2 zawiera sumę kanałów prawego i lewego i może być wykorzystane w systemie 2.1 (dwa kanały stereo i subwoofer) po przefiltrowaniu dolno-przepustowym, na przykład przez filtr zewnętrznego procesora TAS3001.

Na wejściu przetwornika analogowo-cyfrowego umieszczony jest analogowy multiplekser przełączający analogowy, niesymetryczny sygnał wejściowy z dwu wejść A lub B (wejścia RINA, LINA oraz RI-



Rys. 4. Schemat montażowy płytki procesora

NIB, LINB). Poziom wejściowego sygnału analogowego ze złącz Z1...Z4 jest dopasowywany dzielnikami rezystancyjnymi R11...R18 do

maksymalnej amplitudy wejściowej przetwornika analogowo-cyfrowego (0,7 V). Składowa stała jest usuwana kondensatorami C25...C28. Do układu wewnętrznego źródła napięcia odniesienia podłączone są kondensatory filtrujące C18, C19, C21 (wyprowadzenie VRFILT – masa AGND) i C12, C13, C14 (wyprowadzenia VREFP, VREFM – masa ADGND).

W strukturze przetwornika zostały umieszczone układy symetryzujące oraz filtr antyaliasingowy z zewnętrznym kondensatorem C15 podłączanym do wyprowadzeń AINRM, AINRP (wejście R) i kondensatorem C16 podłączanym do AINLP i AINPM (wejście L). Cyfrowy sygnał danych z wyjścia przetwornika jest wewnętrznie połączony z wejściem miksera i może być po zmiksowaniu poddany obróbce przez procesor DSP układu TAS3004. Ten sygnał po zformatowaniu w porcie wyjściowym jest również dostępny na wyjściu SDOUT0.

Widać już, jak duże możliwości przetwarzania analogowych sygnałów audio ma procesor TAS3004. Po pierwsze, można go wykorzystać jako „zwykły” 24-bitowy przetwornik analogowo-cyfrowy audio. Sygnał wejściowy jest asymetryczny, a wyjściowy (SDOUT0) ma programowo ustawiany format.

Sygnał z wyjścia przetwornika może też być miksowany z innymi sygnałami cyfrowymi i poddawany obróbce w procesorze DSP, a następnie dostępny w postaci cyfrowej na wyjściu SDOUT1 i w postaci analogowej na wyjściu 24-bitowego przetwornika cyfrowo-analogowego, oraz w postaci cyfrowej na wyjściu SDOUT2. Wejściowe sygnały cyfrowe z wejść SDIN1 i SDIN2 po zmiksowaniu i obróbce przez procesor DSP są również dostępne na wyjściu w postaci cyfrowej SDOUT1 i postaci analogowej. Kondensatory C20 i C22 filtru napięcia odniesienia przetwornika cyfrowo-analogowego są podłączone do wyprowadzenia VCOM. Elementy C31, C32 i R19 stanowią obwód zewnętrzny układu pętli PLL. Napięcie +3,3 VD zasilają część cyfrową i jest zablokowane kondensatorami C51 i C53.

Sterownik procesora jest zbudowany w oparciu o mikrokontroler PIC18F252. Wykorzystany został

jego sprzętowy moduł MSSP pracujący jako interfejs I<sup>2</sup>C w trybie master. Rezystory R20 i R21 realizują wymagane przez magistralę I<sup>2</sup>C podciąganie do plusa zasilania. Linie RB7 i RB6 są używane do zerowania układów DIR1703 i TAS3004. Klawisze sterujące są dołączone do linii RB0...RB4. Do regulacji jasności świecenia wyświetlacza LCD dołączonego do linii portu PORTA jest wykorzystywana linia wyjściowa sprzętowego modułu CCP1 pracującego w trybie PWM. Sterownik ma możliwość odczytywania danych wysyłanych z komputera przez interfejs RS232. Połączenie odbywa się przez standardowe złącze męskie SUB9 trzema przewodami bez przeplotu: RxD, TxD i masa. Konwersję poziomów zapewnia układ MAX202 (U4).

Do zasilania części analogowej układu DIR1703 (pętla PLL) i TAS3004 (pętla PLL i przetworniki) wykorzystywane jest napięcie +3,3 VA względem masy analogowej A\_GND. To napięcie jest uzyskiwane z wyjścia stabilizatora U6 (LM317) i jest zablokowane kondensatorami C50 i C52. Część cyfrowa (napięcie +3,3 VD) jest zasilana bliźniaczym układem ze stabilizatorem U5 względem masy cyfrowej D\_GND. Napięcie +5 V uzyskiwane ze stabilizatora U7 zasilają wyświetlacz LCD i układ MAX202 (U4).

## Montaż, uruchomienie i obsługa

Montaż w zasadzie nie wymaga komentarza. Kłopotliwe w przylutowaniu mogą być obudowy odbornika DIR1703 i procesora TAS3004, ale wydaje się, że wyprą one łatwiej w montażu obudowy DIL. Mikrokontroler i układ MAX202 są umieszczone na płytce pod wyświetlaczem i dlatego wyświetlacz trzeba przykręcić do płytki za pomocą tulejek dystansowych o długości ok. 13...14 mm. Tranzystor T1 powinien być po przylutowaniu przegięty o 90 stopni, tak by nie przeszkadzał w zamontowaniu wyświetlacza.

Po sprawdzeniu prawidłowości montażu i włożeniu w podstawkę zaprogramowanego mikrokontrolera można przystąpić do uruchamiania. Schemat montażowy płytki jest pokazany na rys. 4. Zmontowany układ trzeba zasilic napięciem stałym lub przemiennym o wartości minimalnej ok. 8 V. Należy pamięt-

tać, że zbyt wysokie napięcie zasilania spowoduje duże straty mocy na stabilizatorach (szczególnie U5). W pierwszej kolejności sprawdzamy poprawność napięć zasilających. Jeżeli wszystko jest w porządku, zostały użyte sprawne elementy, to na wyświetlaczu powinien się pojawić napis powitalny na ok. 2 sek. Pewnej korekty może wymagać ustawienie potencjometru kontrastu. Uruchomienie można zacząć od sprawdzenia poprawności działania odbiornika S/PDIF. Do tego celu będzie potrzebny odtwarzacz czytający płyty CD i ewentualnie oscyloskop. Sposób wyboru częstotliwości oscylatora X1 i ustawienia zworek J1...J7 został szczegółowo opisany przy okazji opisu audiofilskiego przetwornika cyfrowo-analogowego w EP2/2005. Układ odbiornika jest w zasadzie identyczny i powielanie tego opisu nie jest konieczne.

Sygnal z odtwarzacza podłączamy do złącza ZL1. Na wyjściu LRCKO prawidłowo pracującego odbiornika pojawi się przebieg prostokątny o wypełnieniu 50% i częstotliwości równej częstotliwości próbkowania – dla płyty CD 44,1 kHz. Zegar systemowy na wyjściu SCKO ma częstotliwość  $44,1 \text{ kHz} \cdot 256 = 11,2896 \text{ MHz}$ . Jak już powiedziałem odbiornik jest układem master i jest źródłem zegara systemowego. Procesor jest wprowadzany w tryb slave po zwarciu zworki J9. Linia XT/MCLK jest wejściem, a wewnętrzny oscylator jest wyłączony. Trzeba

jeszcze połączyć SCKO odbiornika z XT/MCLK procesora przez zwarcie zworki J8. Elementy X2, C29 i C30 nie są montowane.

Oprócz zasilania układu i podłączonego już sygnału S/PDIF, do jednego z wejść analogowych trzeba podłączyć sygnał audio np. z magnetofonu, lub tunera FM, a wyjścia audio (złącza Z5 i Z6) połączyć z wejściem wzmacniacza mocy. Teraz można przystąpić do sprawdzania działania sterownika.

Program sterujący przy pierwszym uruchomieniu sterownika po zaprogramowaniu mikrokontrolera zapisuje do wewnętrznej pamięci EEPROM domyślne wartości ustawień siły głosu, barwy tonu i miksera. Poza tym, w pewnym obszarze pamięci są zapisywane ustawienia filtrów cyfrowych tak, by charakterystyka przenoszenia była płaska (bypass). Przy kolejnym uruchomieniu procedura inicjalizacji jest pomijana. Następnie jest zerowany procesor TAS3004 i odbiornik DIR1703, programowana praca modułu CCP1 w trybie PWM sterującego jasnością wyświetlacza, inicjowany jest sprzętowy moduł MSSP w trybie I<sup>2</sup>C i moduł USART do transmisji z prędkością 9600 Bd. Dość ważną czynnością jest też zainicjowanie pracy procesora przez wpisanie wartości 6Bhex do rejestru MCR1. Na wejściach wyboru formatu danych FMT0 i FMT1 odbiornika DIR1703 wymuszone są 2 jedynki. Oznacza to, że dane wyjściowe odbiornika mają 24-bitowy format I2S. Żeby procesor mógł

prawidłowo je odbierać musi mieć ustawiony ten sam format danych wejściowych. Format ten ustawia się właśnie wpisaniem do siedmiu młodszych bitów rejestru MCR1. Najstarszy bit FL w czasie normalnej pracy musi być wyzerowany. Ustawia się

## WYKAZ ELEMENTÓW

### Płytki procesora

#### Rezystory

R19: 27 Ω  
R8: 75 Ω  
R25, R27: 1 kΩ  
R5: 1,2 kΩ  
R26, R28: 1,6 kΩ  
R15, R16, R17, R18: 2 kΩ  
R24: 3,3 kΩ  
R11, R12, R13, R14, R20, R21, R22, R23: 4,7 kΩ  
R3, R4, R6: 10 kΩ  
R9, R10: 25 kΩ  
R1 R7: 1 MΩ  
PR1: 4,7 kΩ potencjometr

#### Kondensatory

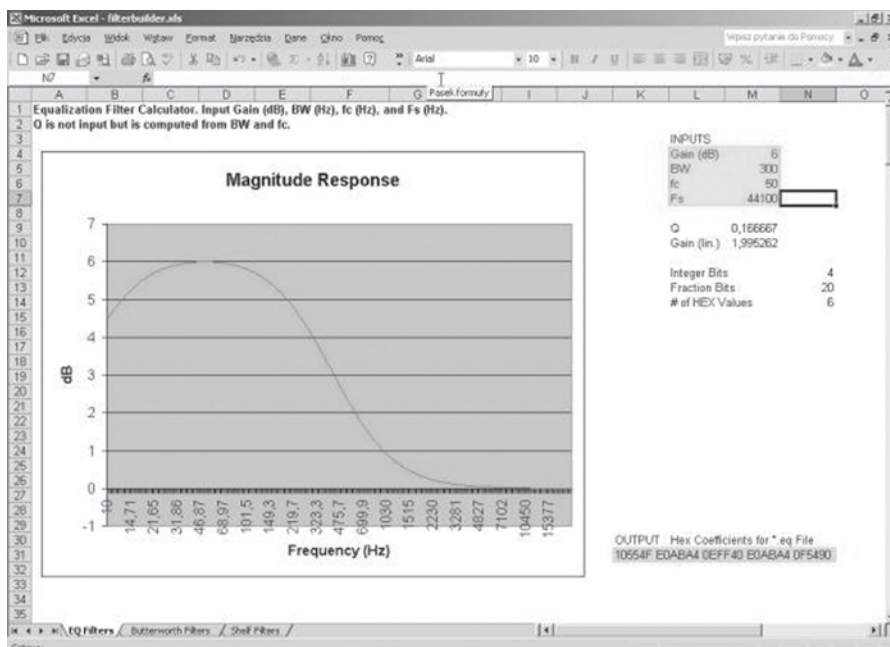
C29, C30: 15 pF (nie montowane)  
C1, C2, C54, C55: 33 pF  
C15, C16: 1,2 nF  
C31: 1,5 nF  
C6: 8,2 nF  
C9: 47 nF  
C5, C32: 68 nF  
C3, C7, C11, C33...C38, C41, C42, C44, C45, C47, C48, C50, C51, C60: 100 nF (ceramiczne, blokujące)  
C13, C14, C21, C22: 100 nF MKSE  
C23...C28: 470 nF  
C4, C8, C10, C43, C46, C49: 1 μF/25 V  
C12: 1 μF MKSE  
C19: 4,7 μF  
C18, C20, C52, C53, C61, C39: 10 μF/16 V  
C40: 2200 μF/16 V

#### Półprzewodniki

M1: mostek 1 A/100 V  
T1: BD137  
U5, U6: LM317  
U7: 7805  
U8: 74HC04  
U4: MAX202  
U1: DIR1703  
U2: TAS3004  
U3: PIC18F252 (zaprogramowany)

#### Inne

Z\_RS złącze DB9  
Z1...Z6, ZL1: złącze CINCH  
ZP1, ZP2: złącze IDC10  
ZL\_Z: podwójne złącze śrubowe  
SW1...SW5: przyciski  
Rezonator kwarcowy 4 MHz  
Listwa goldpinów



Rys. 5. Ekran arkusza *filterbuilder.xls*

go w czasie wpisywania danych do filtrów equalizera. Na **list. 1** została pokazana procedura zapisu do rejestru MCR1.

Po wykonaniu inicjalizacji program wchodzi w pętlę główną, w której można klawiszem INP\_SEL wybrać aktywne wejście: S/PDIF, ADCA lub ADCB lub regulować głośność klawiszami DOWN i UP. Z poziomu pętli naciskając klawisz F wchodzi się do menu funkcyjnego. Jeżeli wybrane zostało wejście S/PDIF, to w mikserze zostają wyciszone wejścia SDIN2 i wyjście przetwornika analogowo-cyfrowego, a z pamięci EEPROM zostanie odczytana wartość wstępnej regulacji dla wejścia SDIN1. Wewnętrzny procesor DSP będzie przekształcał sygnał z wejścia SDIN1 połączonego z wyjściem danych odbiornika S/PDIF. Procedura wyboru aktywnego wejścia została pokazana na **list. 2**.

Kolejne przyciskanie klawisza INP\_SEL powoduje sekwencyjne wybieranie kolejnych wejść. Numer aktywnego wejścia jest zapamiętywany w pamięci EEPROM. Po wyłączeniu i ponownym włączeniu układu jest wybierany zapamiętany numer wejścia. Przyciśnięcie i przytrzymanie klawiszy DOWN lub UP reguluje siłę głosu w procesorze DSP. Na wyświetlaczu pojawia się napis:

```
volL=-14 dB
volR=-14 dB
```

Po puszczeniu klawiszy napis jest wyświetlany przez 1,5 sek i ponownie jest wyświetlany napis pętli głównej. Regulacja siły głosu polega na wpisywaniu 6 bajtów pod adres 06 układu TAS3004. Pierwsze 3 bajty określają głośność w kanale lewym, a 3 kolejne w kanale prawym.

Przyciśnięcie klawisza F powoduje wejście do menu funkcyjnego, w którym można wybrać jedną z funkcji:

- Set att input
- Set bass
- Set treble
- Set loudness
- Set filter
- Filter ON/OFF

Wyboru funkcji dokonuje się klawiszami UP i DOWN, a wyświetlana funkcja jest akceptowana klawiszem ACC. Funkcja *set att input* jest używana do ustawiania poziomu sygnału w mikserze w momencie, kiedy wybierane jest aktywne wejście. Ustawione w tej funkcji wartości są zapisywane w pamięci

```

List. 1. Procedura zapisu do rejestru
MCR1
//inicjalizacja MCR1->FL=1,SCLK=64fs,I-
2S,24bity
void set_init_tas(unsigned char MCR1)
{
  StartI2C();
  IdleI2C(); //wait for Idle state

  WriteI2C(0x68); //slave adres
  IdleI2C(); //wait for Idle state
  WriteI2C(1); //subadres MCR1

  IdleI2C(); //wait for Idle state
  WriteI2C(MCR1); //MCR1
  IdleI2C(); //wait for Idle state
  StopI2C();
  IdleI2C(); //wait for Idle state
}

```

EEPROM i w czasie wybierania wejścia wpisywane do rejestrów miksera. Na przykład dla wejścia S/PDIF, wartość ta jest zapisywana przez funkcję *set att input* pod adresem 6, a następnie wpisywana przez procedurę *sel\_in* pokazaną na **list. 2**. Działanie tej funkcji rozpoczyna się wyborem za pomocą klawisza F wejścia, w którym poziom jest ustawiany. Wybrane wejście akceptuje się klawiszem ACC. Następnie klawiszami UP i DOWN ustawiany jest poziom w zakresie -70 dB...+18 dB z krokiem 1 dB. Ustawioną wartość akceptuje się klawiszem ACC. Jest to dość istotna funkcja, bo pozwala na wstępne ustawienie poziomu wejściowego procesora DSP tak, by nie następowało przesterowanie układów regulacji barwy. Ponadto jest możliwe niezależne, wstępne ustawienie poziomów w trzech kanałach, jeżeli ich poziomy mocno się różnią. Podnosi to znacznie komfort używania urządzenia.

Funkcje *set bass* i *set treble* są używane do regulacji barwy. W obu przypadkach jest możliwa regulacja od -15 dB do +15 dB z krokiem 1 dB. Regulacji dokonuje się klawiszami UP i DOWN, a ustawione wartości są zapisywane w pamięci EEPROM.

TAS3004 ma wbudowany programowany filtr „kontur”. Możliwe jest włączenie tego filtru funkcją *set lo-*

*udness*. Muszę przyznać, że mimo programowania filtru ustawieniami sugerowanymi w dokumentacji, jak również po wielu eksperymentach nie udało mi się uzyskać zadowalającego efektu działania tej funkcji. Po uaktywnieniu, *loudness* nie udawało się ściszyć głosu do poziomu całkowitego wyciszenia, a im mniejszy był poziom głośności tym bardziej były podbijane tylko niskie tony tak, że dźwięk stawał się nienaturalnie basowy. Dlatego funkcja *set loudness* wpisuje sugerowane przez TI wartości, ale włączenie filtru nie jest zapisywane do pamięci EEPROM i po ponownym włączeniu filtr jest ponownie wyłączony.

## Filtry equalizera

Ostatnie dwie funkcje dotyczą programowania i włączania 7-cyfrowych, kaskadowo połączonych filtrów cyfrowych. Jak wiadomo, do zaprogramowania charakterystyki jednego filtru trzeba wpisać 15 bajtów. Sterownik procesora nie ma klawiatury szesnastkowej, ani nawet dziesiętnej. Wprowadzenie 15 liczb heksadecymalnych za pomocą kilku klawiszy jest możliwe, ale byłoby bardzo uciążliwe. Wydało mi się, że najprostszym sposobem przesłania danych będzie przesłanie ciągu 15 cyfr zapisanych w postaci kodów ASCII przez złącze RS232 z komputera. Do przesłania można użyć dostępnego w systemie Windows Hyper Terminala. Wystarczy zapisać ciąg znaków w pliku tekstowym i wysłać poleceniem *Transfer->Wyślij plik tekstowy*. Wcześniej trzeba ustawić parametry połączenia: prędkość 9600 Bd, 8 bitów danych, bez bitu parzystości, 2 bity stopu, oraz brak sterowania przepływem. Parametry te ustawia się poleceniem *Plik->Właściwości->Połącz*, używając (nr COM) i klikając na belkę Konfiguruj. Połączenie pomiędzy

```

List. 2. Procedura wyboru aktywnego wejścia za pomocą miksera
//funkcja wyboru aktywnego wejścia
void sel_in(unsigned char in)
{
  unsigned char mix;

  if(in==0)
  {wysLCD("SPDIF ",0x40); //wyświetlenie wybranego wejścia S/PDIF
  mix=rd EE(6); //tłumienie S/PDIF
  set_mix(mix,90,90);} //wejścia SDIN2 i ADC wytłumione
  if(in==1)
  {wysLCD("ADC A ",0x40); //wyświetlenie wybranego wejścia ADC A
  mix=rd EE(7); //tłumienie dla ADC A
  set_mix(90,mix,90); //wytłumienie SDIN1 i SDIN2
  set_acr(0); //wejście A// wybranie wejścia A przez multiplexer
  if(in==2)
  {wysLCD("ADC B ",0x40); //wyświetlenie wybranego wejścia ADC B
  mix=rd EE(8); //tłumienie dla ADC B
  set_mix(90,mix,90);
  set_acr(2); //wybranie wejścia A przez multiplexer
  }
}

```

komputerem, a sterownikiem trzeba wykonać kablem bez przeplotu z dwoma męskimi wtykami SUB9, wykorzystując piny 2, 3 i 5. Jeżeli wszystko jest gotowe i połączone, to można wywołać funkcję set filter. Pojawia się napis Send ASCII char 9600 Bd, 8b,2s i w ciągu 40 sekund komputer musi wysłać ciąg znaków zawierających:

- Znak startu #
- Numer filtru z zakresu 0..6
- 15 bajtów każdy zapisany w postaci 2 znaków ASCII. Czyli łącznie 30 znaków.

Po odebraniu znaku startu przez 2 sekundy jest oczekiwany numer filtru. Jeżeli nie zostanie odebrany, lub będzie miał inną wartość niż z zakresu podanego powyżej, to procedura kończy działanie i jest wyświetlany komunikat „number time err”. Po prawidłowym odebraniu wszystkich znaków wyświetlany jest komunikat „Filter 3 set” (dla filtru o numerze 3) odczytane wartości są wpisywane do rejestrów TAS3004 i do pamięci EEPROM. Przy ponownym uruchomieniu dane te będą odczytane z pamięci i wpisane do rejestrów filtru. Można sobie przygotować pliki zawierające dane dla każdego z filtrów i kolejno je wpisywać funkcją set filter.

Wiemy już jak wpisywać dane i jaki powinny mieć format, ale pozostaje pytanie, jakie wartości powinny być wpisywane żeby uzyskać żadaną charakterystykę. Istnieją 2 proste metody by je uzyskać. Pierwszą z nich jest zakup i użycie firmowego programu ALE. Jest to silne narzędzie pozwalające między innymi graficznie kształtować żadaną charakterystykę zespołu filtrów. Program może również po wprowadzeniu graficznej charakterystyki przenoszenia toru audio, lub tylko zespołu głośnikowego wyliczyć ustawienia filtrów tak, żeby skorygowana charakterystyka była jak najbardziej płaska. Jedyną wadą ALE jest jego cena: ok. 500 USD. Z tego powodu jest to narzędzie mało interesujące wielu potencjalnych użytkowników w naszym kraju. Inną możliwością jest wykorzystanie tym razem darmowego pliku arkusza kalkulacyjnego *filterbuilder.xls*. Arkusz ten nie ma takich możliwości jak ALE, ale pozwala na dość dokładne zaprogramowanie charakterystyki pojedynczego filtru. Na rys. 5 pokazany jest zrzut ekranu otwartego

arkusza *filterbuilder.xls*. W obszarze INPUTS zaznaczonym kolorem zielonym można wpisywać dane wejściowe. Na przykład dla filtru EQ Filter będą to:

- wzmocnienie (tłumienie) – pole Gain (dB)
- pasmo przenoszenia – pole BW
- częstotliwość środkowa (dla filtru o charakterystyce equalizera) – pole fc
- częstotliwość próbkowania – pole Fs.

Po wpisaniu danych wejściowych charakterystyka filtru jest wyświetlana w polu *Magnitude Response*. W trzech zakładkach tego pola można wybrać typ filtru:

- pasmowo-przepustowy EQ Filters, pozwalający na wzmocnienie lub tłumienie częstotliwości określonej w fs i paśmie określonym przez BW względem poziomu 0 dB.
- dolnoprzepustowy, lub górno-przepustowy filtr Butterwortha
- filtr o charakterystyce stosowanej w regulatorach barwy tonu – shelf filter

Dla każdego rodzaju filtru w polu INPUTS pojawiają się właściwe dane wejściowe. Dane wyjściowe wpisywane do rejestrów filtru TAS3004 są wyświetlane w polu *OUTPUT Hex Coefficients for \*eq file*. Jak widać *filterbuilder.xls* jest prostym, ale bardzo pomocnym narzędziem. W trakcie projektowania i uruchamiania procesora używałem go do szeregu eksperymentów z odtwarzaniem dźwiękiem. Na początek bez problemów udaje się uzyskać filtrowanie potrzebne do wysterowania wzmacniacza subwoofera używając dolnoprzepustowego filtru Butterworth'a. Innym prostym eksperymentem jest stworzenie większego wzmocnienia basów (max 20..25 dB). Jeżeli ktoś lubi tak słuchać muzyki, to efekt jest niesamowity. Trzeba tylko założyć, że na dłuższą metę mogą tego nie wytrzymać głośniki. Po tych prostych eksperymentach można sięgnąć do charakterystyki posiadanych zestawów głośnikowych i filtrami EQ próbować ją wyrównać. Mnie się udało uzyskać subiektywnie dużo lepsze brzmienie tanich zestawów głośnikowych, których charakterystyka przedstawiała wiele do życzenia. Najprawdopodobniej dla lepszych zestawów efekt będzie mniejszy, ale i tak warto spróbować.

**Tomasz Jabłoński, EP**  
**tomasz.jablonski@ep.com.pl**

**W każdym numerze dwumiesięcznika**

# INTERNET maker

**W numerze 3/2006 m.in.:**

- 50 najlepszych wskazówek dzięki którym twoja strona zawojuje internet!
- Nie taki AJAX straszny! - poznaj Web 2.0 w praktyce
- Panoramiczna galeria we Flashu - poszerz swoje horyzonty z naszym przewodnikiem krok po kroku
- Dokumentowanie skryptów PHP - PhpDocumentator dla początkujących
- Dodaj wyszukiwarkę do swojej strony - prosty sposób na ułatwienie życia użytkownikom twojego serwisu
- Uruchom własny newsletter - koniec z ręcznym rozsyłaniem e-maili, poznaj możliwości PHPLis!
- Ponadto mnóstwo Aktualności, Inspiracji oraz recenzji Oprogramowania



**Tylko na CD Internet Makera znajdziesz najnowszą serię multimedialnych kursów, przygotowanych przez specjalistów z serwisu Lynda.com.**

**Z ich materiałów skorzystało już tysiące osób na całym świecie, teraz udostępniamy je tobie – za darmo!**

## Odcinek 1: Flash 8

Uwaga! Dla wszystkich prenumeratorów przygotowaliśmy kursy w polskiej wersji językowej! Pod specjalnym adresem internetowym czekać będą bonusowe pliki z polskim tłumaczeniem w wykonaniu profesjonalnej lektorki. Szczegóły w numerze.

**Nie masz jeszcze prenumeraty? Czas zmienić zdanie, promocje czekają...**

**<http://www.internetmaker.pl>**

Internet Maker można nabyć we wszystkich EMPIK-ach i większych kioskach z prasą.

**Wszelkich informacji udziela Dział prenumeraty:**

tel. 022 568 99 22, faks 022 568 99 00  
 e-mail: [prenumerata@avt.com.pl](mailto:prenumerata@avt.com.pl)  
 01-939 Warszawa, ul. Burleska 9