

*Test odsłuchowy: „... rewelacyjnie brzmi gitara akustyczna w repertuarze klasycznym, ale też rockowym... Przetwornik potrafi zafascynować w większości dobrze zrealizowanych nagrań... Wnosi do odtwarzanej muzyki coś ze swojego charakteru. Nie nudzi, ale fascynuje. Na pewno warto go wykonać.”*

# Kompaktowy przetwornik C/A dla Audiofilów

Ogromna rzesza ludzi interesuje się dobrym brzmieniem. Dla nich przeznaczony jest projekt przetwornika audio C/A wysokiej jakości. Głównym celem konstruktora było uzyskanie jak najlepszych parametrów toru audio. Poza tym konstrukcja miała być zwarta i prosta w wykonaniu.

*Rekomendacje: urządzenie dedykujemy Audiofilom i wszystkim miłośnikom dobrego brzmienia.*

Opisywany w Elektronice Praktycznej (EP10/07 i EP11/07) miał być z założenia audiofilski przetwornik cyfrowo analogowy konstrukcją rozbudowaną. Wyposażono go

w oddzielny moduł odbiornika S/PDIF ze sterownikiem mikroprocesorowym. Sterownik, przez magistralę I<sup>2</sup>C, mógł ustawiać przetwornik PCM1796 w tryb stereo/monaural, regulować poziom sygnału wyjściowego, zmieniać charakterystykę filtra cyfrowego itp. Urządzenie miało wyświetlacz LCD, kilka przycisków i odbiornik pilota RC5. Modułowa konstrukcja (rozdzielenie płytek przetwornika i odbiornika) pozwalała na zastosowanie w miejscu zwykłego odbiornika SPDIF typu STA120 zaawansowanego modułu upsamplera z układem SRC4392.

Uzyskiwane parametry są bardzo dobre, ale całość zbudowana jest z trzech płytek, ma sterownik mikroprocesorowy z wyświetlaczem alfanumerycznym i odbiornik IR. Poza tym każdy z modułów ma swój oddzielny sieciowy transformator toroidalny.

Opisywany niżej przetwornik budowany był według innych założeń. Głównym celem było uzyskanie bardzo dobrych parametrów toru audio. Poza tym konstrukcja miała być zwarta i w miarę prosta do wykonania. Jak zwykle w takich przedsięwzięciach – cykl konstruowania zaczyna się od poszukiwań

## AVT-5188

W ofercie AVT:  
AVT-5188A – płytką drukowaną

### PODSTAWOWE PARAMETRY

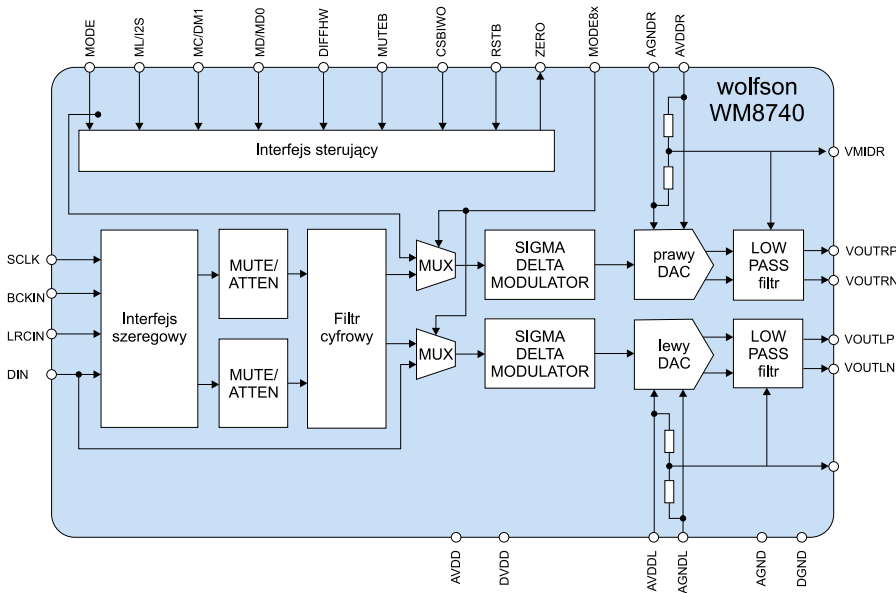
- Płytką o wymiarach: 140x74 mm
- zasilanie: min. 2x16 VAC, 8 VAC
- Przetwornik WM8740
- Na wyjściu wzmacniacz operacyjny zasilany symetrycznym napięciem



### PROJEKTY POKREWNE

wymienione artykuły są w całości dostępne na CD

Tytuł artykułu	Nr EP/EdW	Kit
Audiofilski przetwornik C/A Audio	EP 10-11/2002	AVT-5084
Wzmacniacz audio z wejściem cyfrowym	EP 7-8/2001	AVT-5026
Audiofilski przetwornik C/A	EP 2/2005	AVT-379
Cyfrowy tor audio	EP 5-7/2000	---



Rys. 1. Schemat blokowy WM8740

głównego elementu, czyli układu przetwornika C/A.

We współcześnie produkowanych przetwornikach wyjście sygnału analogowego może być prądowe lub napięciowe. Wyjście prądowe wymaga zewnętrznego układu przetwarzającego sygnał prądowy na sygnał napięciowy (konwerter I/U). Najprostszym konwerterem jest zwykły rezystor. Przepływający przez niego prąd wyjściowy powoduje proporcjonalny spadek napięcia. Przez wielu ortodoksyjnych konstruktorów przetworników takie rozwiązanie uważane jest za najlepsze.

Można też do tego celu użyć wzmacniacza operacyjnego, tak jak to zostało zrobione w przetworniku z układem PCM1796. Zakłada się, że przetworniki z wyjściem prądowym mogą uzyskać lepsze parametry, ponieważ zewnętrzny konwerter I/U można zbudować na wzmacniaczu operacyjnym zasilanym symetrycznym napięciem  $\pm 15$  V, który teoretycznie powinien zapewnić lepszą dynamikę, niż zastosowany w strukturze układu scalonego, zasilany pojedynczym napięciem +5 V.

W przetwornikach z wyjściem napięciowym konwerter I/U jest wbudowany w strukturę układu scalonego. Teoretycznie

parametry są nieco gorsze, ale konstrukcja całego przetwornika jest prostsza, bo nie wymaga budowania zewnętrznego konwertera I/U. Z tych powodów postanowiłem użyć przetwornika z wyjściem napięciowym.

Po przeszukaniu zasobów Internetu najbardziej moje oczekiwania spełniały układy: WM8740 produkowany przez firmę Wolfson i CS4398 produkowany przez firmę Cirrus Logic. Ostatecznie wybór padł na układ WM8740. zadecydowały bardzo pozytywne opinie dotyczące brzmienia i możliwość pracy w trybie monaural (jeden układ konwertuje sygnał z jednego kanału) i oczywiście bardzo dobre parametry.

### Budowa

Schemat blokowy przetwornika WM8740 pokazano na rys. 1. Cyfrowe dane audio przesyłane są do Modułu Interfejsu Szeregowego w postaci sygnału PCM, transmitowanego z użyciem trzech linii:

- Danych – szeregowy sygnał danych (wejście DIN)
- Zegara taktującego przesyłaniem bitów na linii danych (wejście BCKIN)
- Zegara identyfikacji kanałów (wejście LRCIN)

Dodatkowo przetwornik wymaga tak zwanego zegara systemowego (wejście SCLK).

Częstotliwości na wszystkich liniach zegarowych interfejsu PCM muszą być wielokrotnościami częstotliwości próbkowania. Na linii LRCIN jest sygnał zegarowy o wypełnieniu 50% i częstotliwości równej częstotliwości próbkowania  $F_s$ . W czasie jednego okresu LRCIN przesyłane są do przetwornika 64 bity danych na linii DIN (po 32 bity na każdy kanał). Sygnał na wejściu BCKIN ma częstotliwość równą  $64 \times F_s$ . Zegar systemowy ma najczęściej częstotliwość równą częstotliwości próbkowania pomnożonej przez jeden ze standardowych współczynników 128, 192, 256, 384, 512, lub 768. W starszych konstrukcjach przetworników współczynnik był ustawiany na stałe (najczęściej  $F_s \times 256$ ). W nowych przetwornikach wbudowane są układy detekcji częstotliwości zegara systemowego.

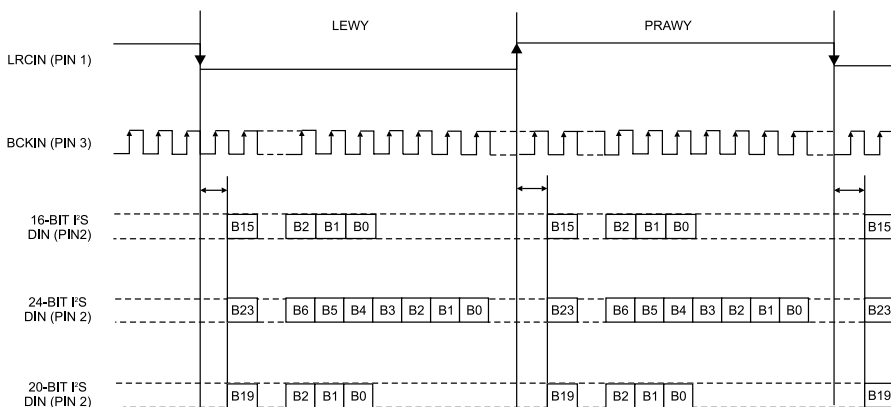
WM8740 akceptuje i automatycznie wykrywa zegar o częstotliwości  $256 \times F_s$  i  $384 \times F_s$ .

Dane audio przesyłane są interfejsem PCM w 16 lub 20-bitowym formacie *right justified*, lub 16, lub 24-bitowym formacie I<sup>2</sup>S. W trybie bez mikrokontrolera sterującego, format danych wybierany jest przez wymuszanie stanów logicznych na wyprowadzeniach układu.

W projekcie wybrano 24-bitowy format I<sup>2</sup>S (rys. 2).

Dane z wejściowego interfejsu szeregowego podawane są na moduł MUTE/ATTEN. Jest tu wykonywana cyfrowa regulacja poziomu sygnału wyjściowego (głośności) i funkcja wyciszania MUTE. Cyfrowa regulacja możliwa jest tylko przez zapisywanie odpowiedniego rejestru układu przez zewnętrzny mikrokontroler. Można za to wyciszyć wyjście układu przez podanie stanu niskiego na wyprowadzenie MUTEB (pin25).

Po regulacji poziomu wykonywane jest cyfrowe filtrowanie dolnoprzepustowe w filtrze interpolatora. Interpolator wykonuje nadpróbkowanie sygnału wejściowego z częstotliwością  $128 \times F_s$ . Filtr cyfrowy ma 2 przełączane charakterystyki: stromą i ła-



Rys. 2. Format I<sup>2</sup>S



godną. Na rys. 3 pokazano charakterystyka strumą.

Cały tor filtru cyfrowego można ominąć wprowadzając układ w tryb MODE8X. Ten tryb przeznaczony jest do współpracy przetwornika z zewnętrznym filtrem cyfrowym i nie będziemy go wykorzystywać.

Nadpróbkowane dane konwertowane są w 64-poziomowym modulatorze delta-digma. Zastosowanie wielobitowego modulatora powoduje znaczące obniżenie poziomu szumów i co ważne bardzo maleje wpływ jittera na jakość sygnału wyjściowego. Sygnał z wyjścia modulatora jest przekształcany na sygnał prądowy, a następnie wstępnie filtrowany dolnoprzepustowo i konwertowany na sygnał napięciowy. Analogowy sygnał wyjściowy jest różnicowy, co jest standardem przetwornikach z wyższej półki.

Przyjęta w założeniu zwarta i prosta konstrukcja wykluczała zastosowanie mikrokontrolera do sterowania funkcjami przetwornika. Interfejs sterujący jest ustawiany w tryb

konfiguracji sprzętowej przez wymuszenie stanu niskiego na wyprowadzeniu MODE, ale tylko w przypadku, kiedy przetwornik pracuje w trybie stereo, czyli konwertuje oba kanały. Tutaj wykorzystałem 2 przetworniki. Każdy z nich konwertuje jeden kanał. Żeby układ przełączyć w ten tryb trzeba wymusić stan wysoki na wejściu DIFFHW. Funkcje wyprowadzeń WM8740 dla konfiguracji sprzętowej pokazano w tab. 1. Tryb stereo jest wprowadzany dla MODE= „L” (stan niski) i DIFFHW=„L”. Jeżeli DIFFHW jest w stanie wysokim to przetwornik konwertuje jeden kanał. Który to kanał określa stan wejścia MODE. Dla kanału lewego jest to stan niski, dla kanału prawego stan wysoki.

Oprócz układów scalonych przetwornika istotnym elementem urządzenia jest odbiornik S/PDIF. Od jego jakości zależy precyzja odtwarzania sygnałów zegarowych z wejściowego sygnału S/PDIF. Współczesne odbiorniki radzą sobie z tym bardzo dobrze. Jednym z podstawowych parametrów jako-

ściowych jest poziom jittera zegara systemowego. Na rynku jest kilka dobrych i w miarę dostępnych odbiorników. Jednym z najlepszych jest odbiornik DIR9001 produkowany przez firmę Burr Brown (obecnie Texas Instruments). Schemat blokowy odbiornika został pokazany na rys. 4.

Wejściowy sygnał danych podawany na wejście RXIN musi mieć poziomy TTL (wejście akceptuje poziomy +5 V). Dane mogą mieć format konsumencki IEC60958 (nazywanym popularnie SPDIF), lub profesjonalny AES3/EBU, oraz mogą być próbkowane z częstotliwością z zakresu od 28 kHz do 108 kHz. W praktyce oznacza to użyteczny

**WYKAZ ELEMENTÓW**

**Rezystory**

- R14: 75 Ω (1206)
- R13, R32: 100 Ω (metalizowany 1%)
- R10, R31: 470 Ω (metalizowany 1%)
- R18: 680 Ω (1206)
- R12, R27: 715 Ω (metalizowany 1%)
- R1: 1 kΩ (1206)
- R25, R30: 1 kΩ (metalizowany 1%)
- R17: 2,2 kΩ (1206)
- R7, R22, R28, R29: 2 kΩ (metalizowany 1%)
- R5, R6, R8, R9, R11, R20, R21, R23, R24, R26: 3 kΩ (metalizowany 1%)
- R3, R4, R15, R19: 3,3 kΩ (1206)
- R2: 10 kΩ (1206)
- R16: 47 kΩ (1206)

**Kondensatory**

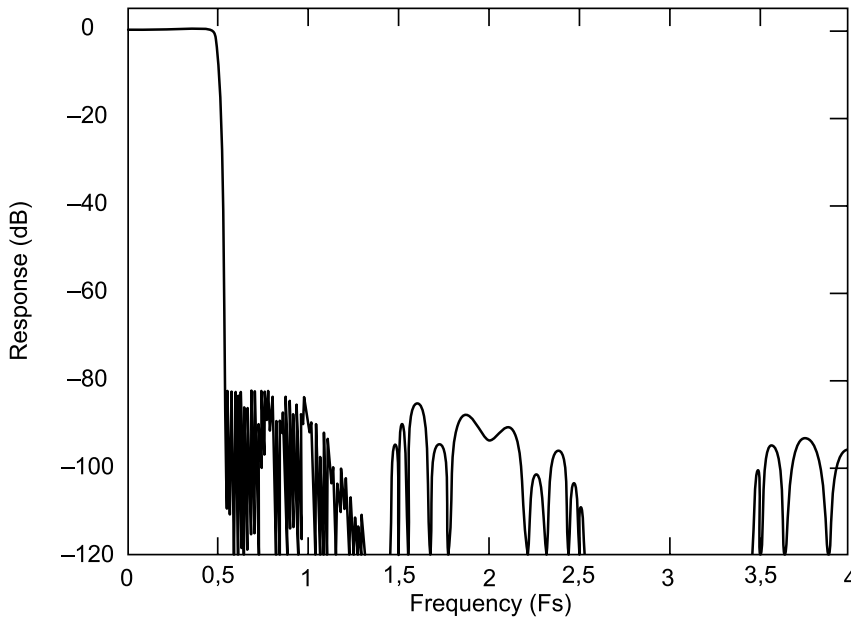
- C13, C30: 22 pF ceramiczny opcjonalny (patrz tekst)
- C14, C32: 47 pF ceramiczny opcjonalny (patrz tekst)
- C12, C28: 1 nF 1% MKP
- C25, C46: 2,2 nF 1% MKP
- C27, C47: 3,3 nF 1% MKP
- C11, C26, C29, C48: 3,9 nF 1% MKP
- C17: 47 nF MKT
- C19: 68 nF MKT
- C31, C35, C49, C52: 100 nF MKT
- C3, C6, C8, C10, C16, C18, C20, C22, C24, C37, C40, C41, C44, C45, C64...C67, C72...C75, C79, C81: 100 nF ceramiczny 1206
- C80, C82: 1 μF/16 V tantalowy 3216
- C1, C2, C36, C54...C56, C58...C60: 1 μF/35 V tantal
- C4, C5, C7, C9, C15, C21, C23, C33, C34, C38, C39, C42, C43, C50, C51, C62, C63, C68...C71, C76...C78: 10 μF/25 V
- C53, C57: 2200 μF/35 V
- C61: 4700 μF/25 V

**Półprzewodniki**

- D1...D8: 1N4007
- U10, U11: 7805
- U9, U12: LM2937 3,3 V
- U7: LM317
- U8: LM337
- U2, U5: WM8740
- U1: DIR9001
- U4: 74HC04
- U3, U6: AD797 (DIP)

**Inne**

- odbiornik opto TORX173
- plytka drukowana
- listwa goldpinów
- transformator zasilający 230 V, uzwojenia wtórne: 8 V/200 mA i 2 x 16 V/200 mA



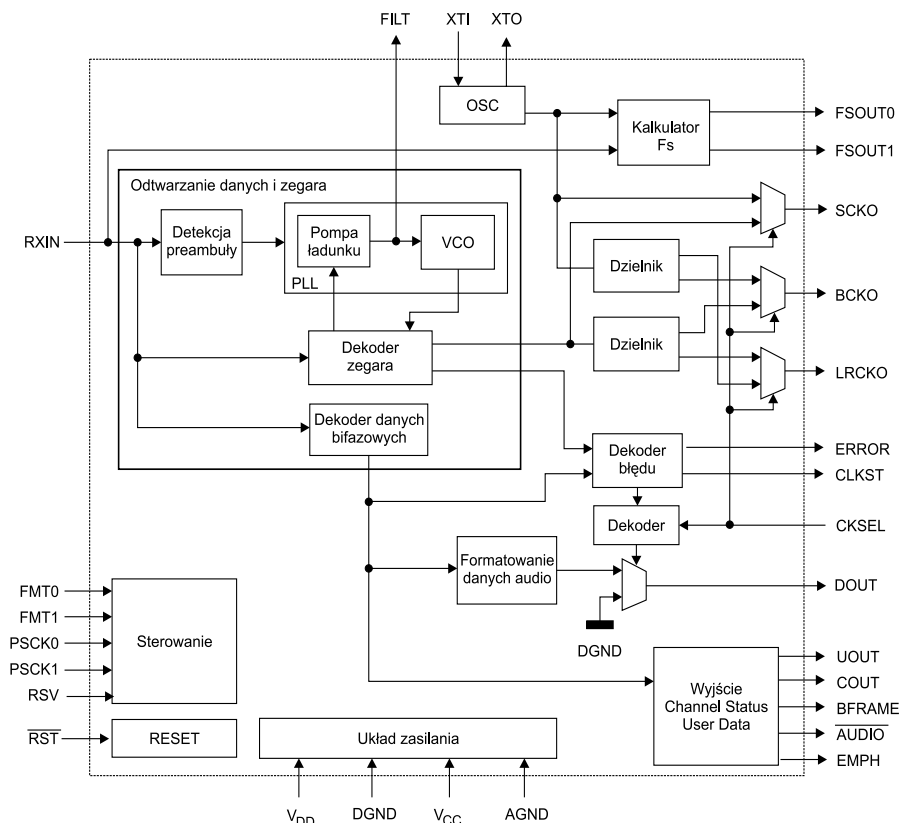
Rys. 3. Charakterystyka cyfrowego filtra interpolatora

Tab. 1 Funkcje wyprowadzeń dla konfiguracji sprzętowej

Nr wypr.	Nazwa	Typ	Konfiguracja sprzętowa	
			Tryb stereo	Tryb monoaural
23	CSBIWO	Wejście cyfrowe, wewnętrznie podciągnięte do masy	Stan „L”, dane 16-bit, stan „H”, dane 20-bit lub 24-bit I <sup>2</sup> S	Stan „L”, dane 16-bit, stan „H”, dane 20-bit lub 24-bit I <sup>2</sup> S
24	MODE	Wejście cyfrowe, wewnętrznie podciągnięte do plusa	Stan „L” tryb sprzętowy	Stan „L” kanał Lewy stan „H” kanał Prawy
25	MUTEB	Wejście cyfrowe wewnętrznie podciągnięte do plusa	Stan „L” MUTE stan „H” normalna praca	Stan „L” MUTE stan „H” normalna praca
26	MD/DM0	Wejście cyfrowe wewnętrznie podciągnięte do plusa	Bit 0 wyboru deemfazy	Stan „L” brak deemfazy, stan „H” deemfaza 44,1 kHz
27	MC/DM1	Wejście cyfrowe wewnętrznie podciągnięte do plusa	Bit 1 wyboru deemfazy	Stan „L” stroma cha-ka stan „H” ch-ka łagodna
28	ML/I <sup>2</sup> S	Wejście cyfrowe wewnętrznie podciągnięte do plusa	Stan „L” format right just., stan „H” I <sup>2</sup> S	Stan „L” format right just., stan „H” I <sup>2</sup> S







Rys. 4. Schemat blokowy odbiornika DIR9001

zakres standardowych częstotliwości od 32 kHz do 96 kHz. W bloku odtwarzania danych i zegara zasadniczym elementem jest układ pętli PLL. To właśnie ten układ głównie decyduje o tym, że drżenie fazy (jitter) otworzonego sygnału zegara systemowego może nie być większy niż 50 psek. Jest to wartość typowa dla częstotliwości próbkowania 48 kHz i zegara systemowego o częstotliwości  $256 \cdot F_s$ . Jest to bardzo dobra wartość tego parametru spotykana tylko w najlepszych odbiornikach. Dla

przykładu w starszym odbiorniku STA120 typowa wartość jittera wynosi 300 psek. Po wydzieleniu danych i zegara z wejściowego sygnału danych z wejścia RXIN dane są formatowane i wysyłane przez interfejs PCM składający się z linii DOUT (dane), BCKO (zegar taktujący przesyłaniem bitów na linii danych) i LRCKO (sygnał identyfikacji kanałów). Dostępne są formaty I<sup>2</sup>S, left justified i right justified wybierane wymuszeniem stanów logicznych na wejściach FMT0 i FMT1 – **tab. 4**.

Tab. 2. Sterowanie filtrem deemfazy w trybie stereo

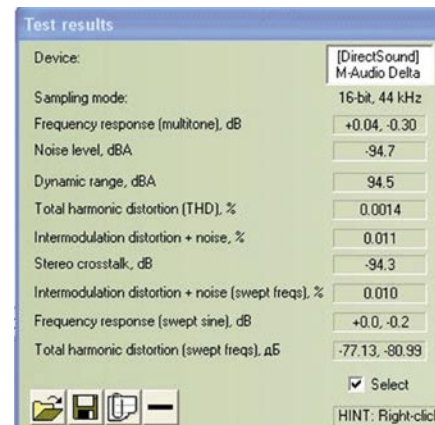
MDDM1 Pin 27	MCDM0 Pin 26	Deemfaza
L	L	Wyl.
L	H	48 kHz
H	L	44,1 kHz
H	H	32 kHz

Tab. 3. Wybór formatu danych wejściowych w trybie stereo

ML/I <sup>2</sup> S Pin 28	CSBIWO Pin 23	Format danych
L	L	16-bit, normal right justified
L	H	20-bit normal right justified
H	L	16-bit I <sup>2</sup> S
H	H	24-bit I <sup>2</sup> S

Tab. 4. Ustawianie formatu danych wyjściowych DIR9001

FMT[1:0]		Format danych wyjściowych DOUT
FMT1	FMT0	
L	L	16-bit MSB-first right justified
L	H	24-bit MSB-first right justified
H	L	24-bit MSB-first left justified
H	H	24-bit MSB-first I <sup>2</sup> S



Rys. 5. Wyniki pomiarów przetwornika

W magistrali PCM układ odbiornika pełni funkcję mastera. Oznacza to że jest źródłem sygnałów zegarowych. Jak już wspomniano przy omawianiu przetwornika WM8740 oprócz typowych sygnałów zegarowych magistrali PCM przesyłany jest dodatkowy sygnał zegara systemowego o częstotliwości będącej standardową wielokrotnością częstotliwości próbkowania. Najczęściej stosuje się częstotliwość  $256 \cdot F_s$ , ale stosowane są też i inne. DIR9001 może generować odtworzony z sygnału wejściowego zegara systemowy (wyjście SCKO) o wielokrotnościach 128, 256, 384 i 512 ustawianych stanem wypraważeń PSCK0 i PSCK1 (**tab. 5**).

W odróżnieniu od swojego poprzednika DIR1703 odbiornik DIR9001 do działania nie potrzebuje oscylatora kwarcowego. Jednak taki oscylator jest wbudowany w i służy do taktowania układu detekcji częstotliwości próbkowania sygnału wejściowego.

Schemat kompletnego przetwornika został pokazany na **rys. 9**.

Dane wejściowe sygnału S/PDIF podawane są na złącze Z1. Rezystor R14 dopasowuje wejście do impedancji 75  $\Omega$ , a kondensator C17 eliminuje składającą stałą. Wejście DIR9001 akceptuje poziomy TTL, a sygnał SPDIF ma amplitudę 0,5 V. Linearyzowana bramka U4A wzmacnia sygnał, a bramka U4B go formuje. Zworka J5 powinna być zwarta, a zworka J6 rozwarta. Przetwornik ma też możliwość podłączenia sygnału SPDIF złączem optycznym. Sygnał z odbior-



nika TORX173 jest buforowany bramkami U4C i U4D. Zworka J6 musi być zwarta, a J5 rozwartą. Format danych wyjściowych jest ustawiony na 24 bitowy I<sup>2</sup>S (rys. 8) przez wymuszenie stanów wysokich na wejściach FMT0 i FMT1 przez rezystory R3 i R4.

Częstotliwość zegara systemowego została ustalona na  $F_s \cdot 256$  (rys. 9). Na wejściu PSCK0 jest stan wysoki wymuszony przez rezystor R15 a na wejściu PSCK1 stan niski.

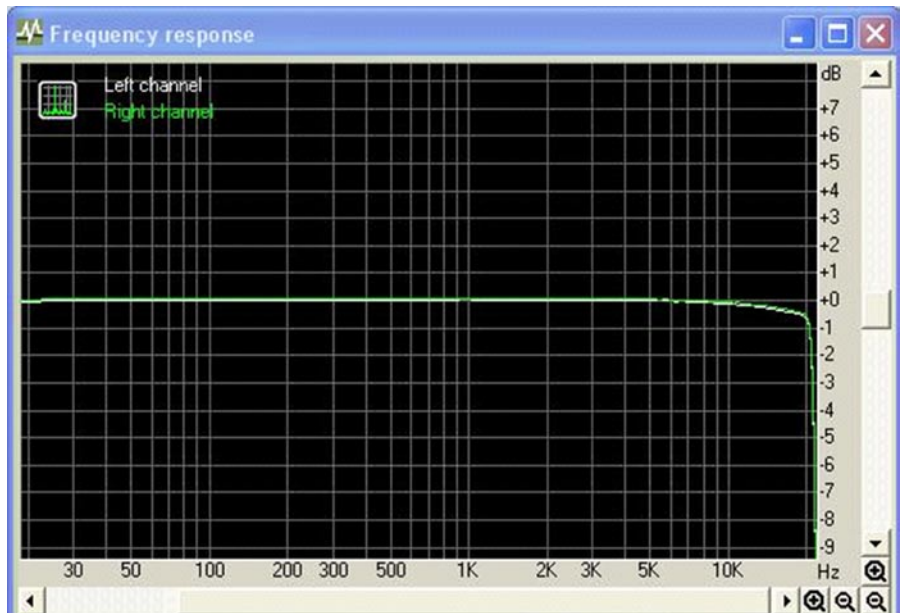
Układ pętli PLL wymaga dołączenia zewnętrznych elementów RC filtra. Są to kondensatory C60 i C19, oraz rezystor R18. Kondensatory powinny być dobrej jakości, przynajmniej foliowe MKT. DIR9001 wymaga zewnętrznego zerowania w czasie włączania napięcia zasilania. Ponieważ nie ma tutaj mikrokontrolera, który mógłby wyzerować układ, to zastosowano do tego celu układ RC R1 i C1.

DIR9001 jest zasilany dwoma napięciami. Układy cyfrowe napięciem +3,3 VD względem masy cyfrowej DGND. Analogowe układy pętli PLL są zasilane napięciem +3,3 V względem masy analogowej AGND. Rozdzielenie napięć i mas świadczy o tym, że układy analogowe są wrażliwe na zakłócenia zasilania i należy im zapewnić możliwość nie zakłócone napięcie. Na płycie drukowanej obie masy są rozdzielone, a napięcie +3,3 VA jest otrzymywane z osobnego stabilizatora.

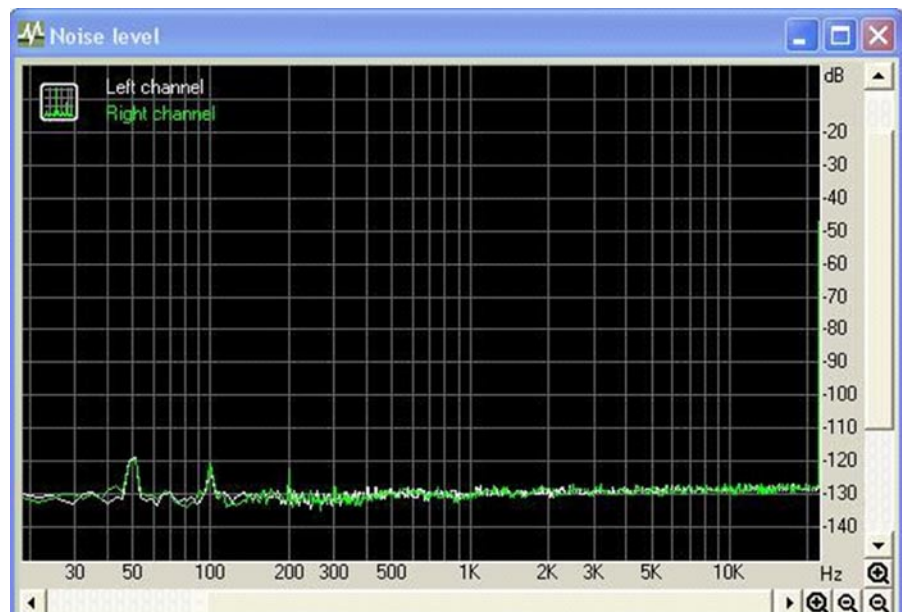
Wyjście danych i zegarów magistrali PCM z odbiornika DIR9001 jest połączone równolegle do obu przetworników U2 i U5. Przetworniki są wprowadzone w tryb monaural przez podanie napięcia +3,3 VD na wejścia DIFFHW. Przetwornik U2 konwertuje kanał prawy (MODE=1), a przetwornik U5 konwertuje kanał lewy (MODE=0). Format danych wejściowych jest ustawiany na 24bity I<sup>2</sup>S przez wymuszenie stanu wysokiego na wejściu CSBIWO i wejściu ML/I<sup>2</sup>S. Połączenie wprowadzenia MC/DM1 na stałe ustawia ostrą charakterystykę filtra cyfrowego. Sygnały wyciszenia MUTE zostały połączone równolegle i podciągnięte do plusa zasilania przez rezystor R19. Zworka J3 musi być rozwartą, bo sygnał !AUDIO jest aktywny kiedy strumień wejściowy SPDIF zawiera nie skompresowane dane audio. Żeby wyciszać wyjście przetwornika, kiedy na wejściu pojawiają się dane skompresowane (np. AC3) trzeba by ten sygnał zane-gować.

Zwarcie zworki J2 powoduje wyłączenie na stałe deemfazy. Zworka J1 musi być rozwartą. Jeżeli chcemy żeby deemfaza była włączana automatycznie kiedy się pojawi, to trzeba zewrzeć zworkę J1 i rozewrzeć J2. Sposób wyboru deemfazy opisano w tab. 2, natomiast wybór formatu danych w trybie stereo w tab. 3.

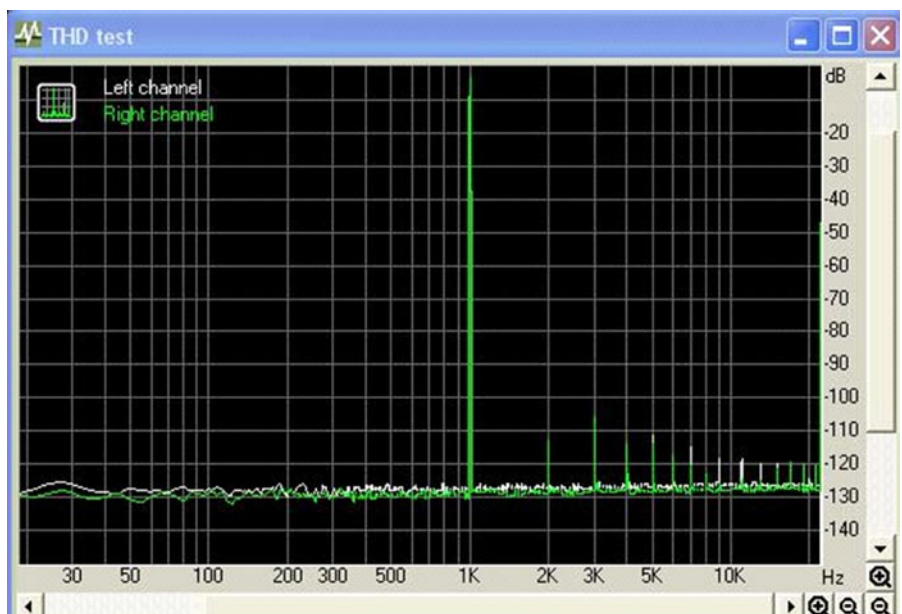
Oba przetworniki są zerowane po włączeniu zasilania przez układ RC R2, C2.



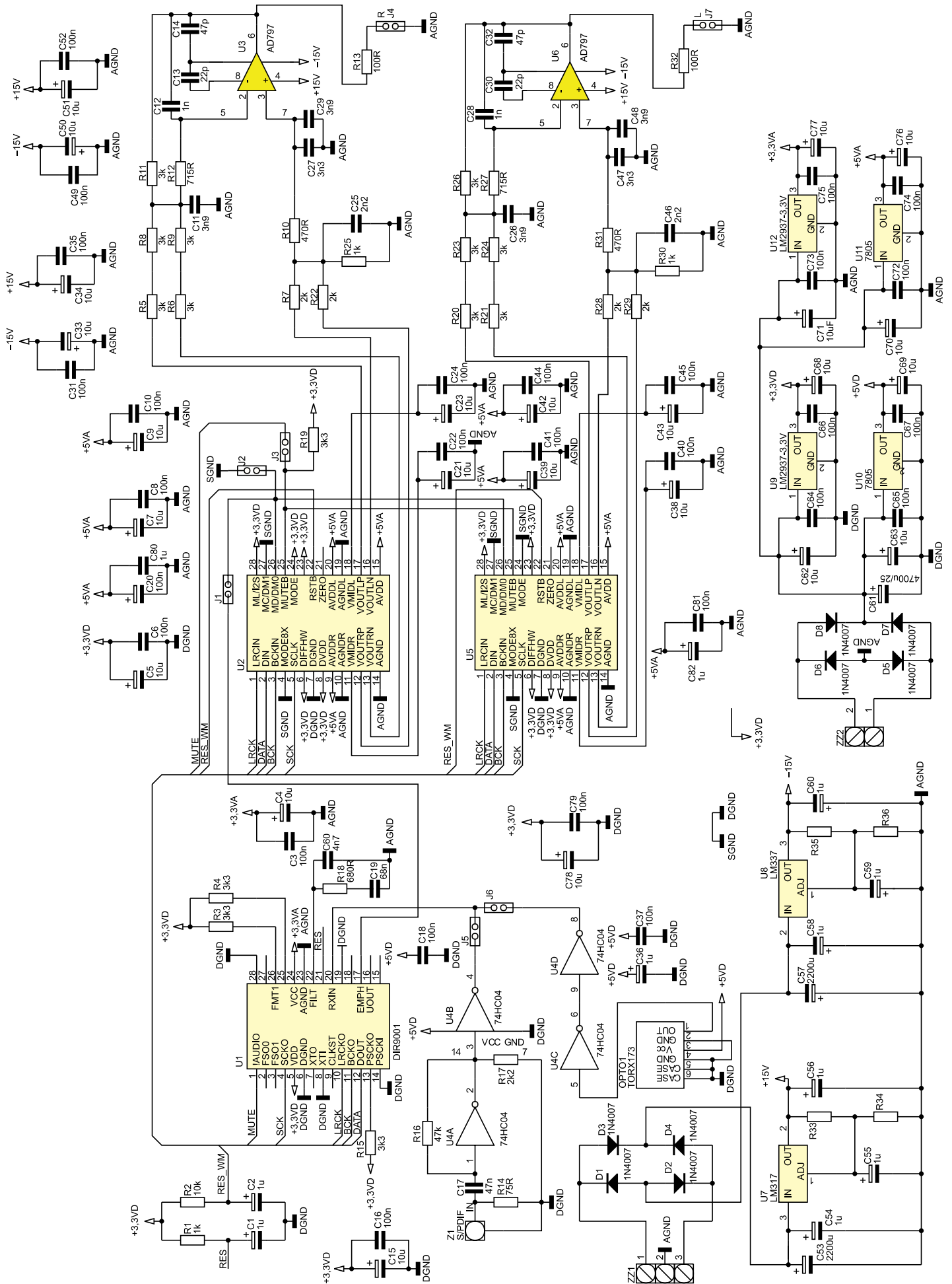
Rys. 6. Odpowiedź częstotliwościowa



Rys. 7. Poziom szumów



Rys. 8. Pomiar zniekształceń harmoniczných THD



Rys. 9. Schemat ideowy przetwornika



Układy WM8740 są zasilane dwoma napięciami. Układy cyfrowe są zasilane napięciem +3,3 VD względem masy cyfrowej przy podawanym przez producenta zakresie napięć od 3,3 V do 5 V. Takie zasilanie pozwala uniknąć problemów z poziomami napięć przy połączeniu magistrali PCM z odbiornikiem DIR9001. Sekcja analogowa jest zasilana napięciem +5 VA względem masy analogowej AGND. Wszystkie wyprowadzenia zasilania przetworników są blokowane parami kondensatorów: elektrolitycznym 10 μF i ceramicznym SMD 100 nF.

Kolejnym istotnym blokiem przetwornika jest dolnoprzepustowy filtr analogowy nazywany filtrem rekonstruującym. Zadaniem układu analogowego na wyjściu przetwornika jest oprócz filtrowania dolnoprzepustowego również desymetryzacja i sumowanie symetrycznych sygnałów analogowych. Sumowanie jest niezbędne, bo w trybie monaural aktywne są różnicowe wyjścia analogowe kanału prawego i lewego.

Obecnie w świecie audiofilskim modne są układy na wyjściu przetwornika, które mają zdecydowanie poprawić brzmienie przetwornika. W skrajnym przypadku proponuje się usunięcie filtra w ogóle, filtrowanie tylko na elementach biernych, stosowanie układów lampowych bez filtrowania, stosowanie układów na tranzystorach itp. Wszystkie te zabiegi wynikają z przekonania, że analogowy aktywny filtr dolnoprzepustowy zbudowany w oparciu o wzmacniacz operacyjny jest układem najbardziej degradującym dźwięk przetwornika. Z moich doświadczeń dobrze zaprojektowany i wykonany filtr z wysokiej klasy wzmacniaczem operacyjnym jest bardzo dobrym rozwiązaniem. Dodatkowo takie układy są sugerowane przez producentów przetworników. Tutaj zastosowałem filtr o topologii sugerowanej przez firmę Wolfson. Żeby uzyskać więcej niż zadowalające rezultaty trzeba użyć dobrej jakości elementów biernych: metalizowanych rezystorów o tolerancji 1% i kondensatorów najlepiej polipropylenowych o pojemności dobranej z tolerancją 1%. Istotny jest też wzmacniacz operacyjny. Po testach z NE5534, OPA627 i AD797 najlepszy okazał się ten ostatni. Duże znaczenie ma też prawidłowe zasilanie wzmacniacza operacyjnego i prowadzenie mas. Napięcia +15 V i -15 V są blokowane kondensatorami 10 μF i równolegle do nich kondensatorami 100 nF MKT. Wyjaśnienia wymaga też sprawa kondensatorów C13, C14 i C30, C32. Są przeznaczone do kompensacji częstotliwościowej. C13, C30 montuje się przy stosowaniu NE5534, a C14, C32 przy zastosowaniu AD797 w sytuacji, kiedy układy się wzbudzą. W modelowym rozwiązaniu zastosowałem AD797, nie wlutowałem żadnego z tych kondensatorów i układ był stabilny.

Ostatnim, ale bardzo ważnym blokiem przetwornika jest zasilacz. Zasilacz dostar-

Tab. 5. Ustawianie częstotliwości zegara systemowego SCKO

PSCK[1:0]		Wyjście zegarów odtwarzanych przez układ PLL		
PSCK1	PSCK0	SCKO	BCKO	LRCKO
L	L	$128 \times f_s$	$64 \times f_s$	$f_s$
L	H	$256 \times f_s$	$64 \times f_s$	$f_s$
H	L	$384 \times f_s$	$64 \times f_s$	$f_s$
H	H	$512 \times f_s$	$64 \times f_s$	$f_s$

cza napięć ±15 V do zasilania wzmacniaczy operacyjnych filtra, napięcia +3,3 VA do zasilania układów analogowych DIR9001, napięcia +3,3 VD do zasilania układów cyfrowych odbiornika DIR9001 i przetworników WM8740, oraz napięcia +5 VD do zasilania układu 74HC04 i odbiornika opto TORX173. Każde z napięć ma osobny scalony stabilizator, a masy analogowa i cyfrowa są na płycie drukowanej prowadzone osobno. Temat zasilania i stabilizatorów jest również szeroko dyskutowany na forach audiofilskich. Obecnie panuje przekonanie, że najlepsze są stabilizatory wykonane na tranzystorach z diodą Zenera jako źródłem napięcia odniesienia. W bardziej rozbudowanych konstrukcjach stosuje się jako wzmacniacze błędu ultraprecyzyjne wzmacniacze operacyjne, na przykład użyty tutaj AD797. Prezentowany tutaj przetwornik miał być z założenia niezbyt skomplikowany i łatwy do wykonania. Dlatego zastosowałem tutaj popularne i łatwo dostępne stabilizatory scalone LM2397-3,3V, 7805, LM317 i LM337. Układy te mogą zapewnić bardzo dobre parametry zasilania jeżeli będzie się przestrzegać zasad prowadzenia masy i odsprężania kondensatorami. Sprawie prowadzenia mas, wartości położeniu kondensatorów odsprężających poświęciłem sporo uwagi w trakcie projektowania płytki i układu zasilania. Ścieżki zasilające mają odpowiednią szerokość, a w części analogowej na płycie została położona masa na całej powierzchni płytki (polygon plane).

### Montaż

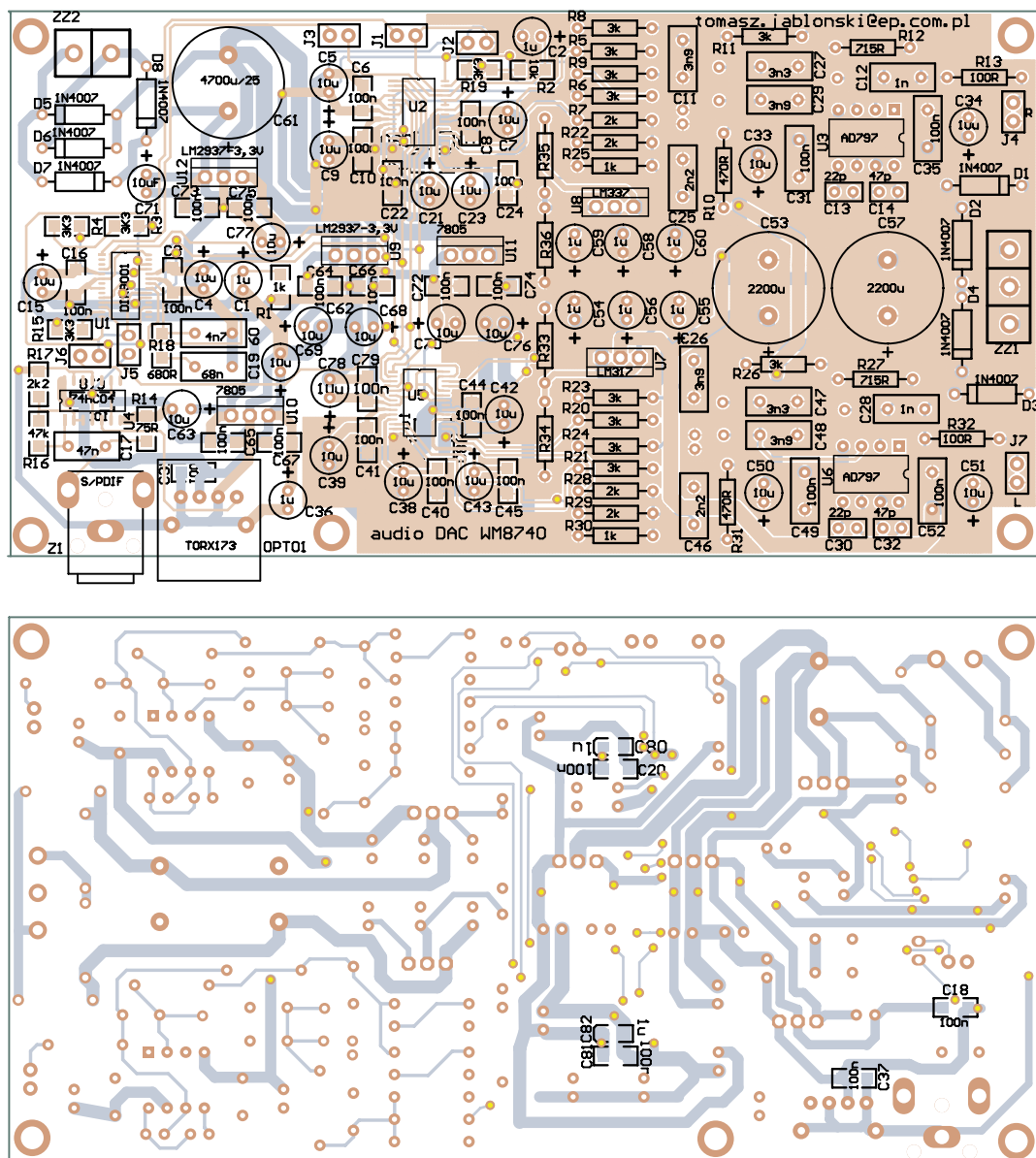
Schemat ideowy przetwornika pokazano na rys. 9, a montażowy na rys. 10. Najtrudniejsze do przyłutowania będą tradycyjnie układy w obudowie SMD z małym rozstawem nóżek; DIR9001 i WM8740. Ja najlepsze efekty lutowania takich układów uzyskuje stosując topnik w żelu i stacje lutowniczą z grottem z minifałą. Po dokładnym pozycjonowaniu trzeba przyłutować skrajne nóżki układu cienkim grottem. Potem wszystkie nóżki pokrywa się topnikiem w żelu i przeciąga po nich napelnionym cyną grottem z minifałą. Po nabraniu pewnej wprawy można uzyskać luty trudne do odróżnienia od lutów wykonanych w automacie lutowniczym. Pozostałe elementy są proste do przyłutowania i nie wymagają komentarza. W trakcie montażu trzeba zwrócić na jakość użytych elementów – szczególnie kondensatorów elektrolitycznych, kondensatorów w filtrze i rezystorów w filtrze. Ja użyłem

w docelowym układzie kondensatorów elektrolitycznych firmy Panasonic i BC Components, kondensatorów polipropylenowych FKP2 produkowanych przez Wimę i rezystorów metalizowanych 1% Beyschlag.

Uruchomienie przetwornika trzeba rozpocząć od podłączenia napięcia przemiennego 8...10 V/200 mA do złącza ZZ2 i symetrycznego napięcia przemiennego 2×16 V/200 mA do złącza ZZ1. Po sprawdzeniu poprawności napięć zasilających trzeba ustawić zworki: zwarte powinny być J5 i J1, a pozostałe rozwarte. Do złącza Z1 podłączamy kablem koncentrycznym ze złączem RCA sygnał SPDIF z odtwarzacza CD lub DVD. W trakcie odtwarzania płyty CD można zmierzyć częstotliwości na wyjściu odbiornika U1. Na wyjściu LRCKO powinno być 44,1 kHz, na wyjściu BCKO 44,1 kHz\*64=2,8224 MHz. Zegar systemowy ma częstotliwość 44,1 kHz\*256=11,2896 MHz. Jeżeli na wyprowadzeniu !AUDIO (nóżka 1) pojawi się stan niski to oznacza że odbiornik pracuje prawidłowo. Dodatkowo na wyjściu DOUT można obserwować na oscyloskopie nieokresowy przebieg cyfrowy. Jeżeli odbiornik działa prawidłowo to można wstępnie sprawdzić oscyloskopem czy jest sygnał na wyjściu analogowym przetwornika, lub podłączyć wzmacniacz i sprawdzać układ na słuch. Ja w trakcie pierwszego uruchamiania najpierw użyłem opisywanego już w Elektronice Praktycznej przetwornika analogowo cyfrowego z wyjściem SPDIF i generatora przebiegu sinus. Sprawdziłem wstępnie prawidłowość identyfikacji kanałów i zgrubnie brak zniekształceń.

Nic nie zastąpi testów odsłuchowych, ale zawsze dobrze jest zmierzyć jak największą liczbę parametrów szczególnie przy projektowaniu i uruchamianiu nowej konstrukcji, żeby wykryć ewentualne błędy konstrukcyjne, czy montażowe. Dzisiaj nawet zaawansowane pomiary takiego urządzenia jak przetwornik cyfrowo analogowy można przeprowadzić w domu bez użycia kosmicznie drogiego sprzętu pomiarowego. Wystarczy w miarę dobra karta muzyczna z wyjściem SPDIF i darmowy program Right Mark Analyser. Ja do pomiaru przetwornika użyłem karty Audiophile 2496. Karta ma przyzwoite parametry, wyjście SPDIF i doskonale nadaje się do tego typu pomiarów. Zbiorcze wyniki pomiarów zostały pokazane na rys. 5.

Wykres odpowiedzi częstotliwościowej (rys. 6) pokazuje, że kanały są równe, pasmo przenoszenia prawidłowe. Stałoprądowe sprzę-



Rys. 10. Schemat montażowy przetwornika

żenie sygnałów (bez kondensatorów sprzęgających) powoduje, że pasmo przenoszenia jest równe od najmniejszych częstotliwości. Lekki spadek o 0,5 dB na górnym krańcu (20 kHz) pasma nie ma żadnego praktycznego znaczenia.

W przypadku źródła sygnału istotne są dwa parametry: poziom szumów i zniekształcenia harmoniczne. Szumy przetwornika powstają w trakcie konwersji (szum kwantyzacji) i w całym torze analogowym od przetwornika przez filtr dolnoprzepustowy. Na rys. 7 pokazano poziom szumów. Wynik jest bardzo dobry.

Wykres pomiarów zniekształceń harmonicznych jest pokazany na rys. 8.

Wyniki pomiarów mówią, że przetwornik został prawidłowo zaprojektowany pod względem elektrycznym. Dla konstruktora są bardzo istotne, ale dla użytkownika o wiele ważniejsze jest brzmienie. Końcowym i bardzo ważnym testem jest test odsłuchowy. W pierwszym teście wykorzystałem przetwornik, wzmacniacz słuchawkowy z ukła-

dem TPA6120 i słuchawki Bayerdynamic DT880 Pro. Pierwsza część testu polegała na słuchaniu różnych gatunków muzyki. Przetwornik wykazał się dużą rozdzielczością i prawidłową bazą stereofoniczną. Bez problemu można było zlokalizować poszczególne instrumenty nawet w większych składach. Słychać też było wiele szczegółów, których nie słychać przy źródle o gorszych parametrach. To co szczególnie zasługuje na uwagę to barwa dźwięku. Odtwarzane nagrania cechują się lekkością, ale też wyważeniem i precyzją. Dla mnie rewelacyjnie brzmi tu gitara akustyczna w repertuarze klasycznym, ale też i rockowym (np. Dire Straits). Oprócz gitary warto też posłuchać koncertów wiolonczelowych. W repertuarze jazzowym przetwornik radzi sobie również dobrze. Nawet jeden z najtrudniejszych instrumentów, czyli fortepian grający solo jest w dobrych nagraniach odtwarzany zupełnie przyzwoicie.

Drugi test polegał na porównaniu z przetwornikiem z układami PCM1796 w wer-

sji monaural z upsamplernem na układzie SRC4392. Ten przetwornik jest również bardzo precyzyjny, a z upsamplingiem mimo że traci nieco ze szczegółów gra bardziej gładko. Przetwornik na PCM1796 gra ładnym głębokim basem, a dźwięk jest dynamiczny. Instrumenty wydają się takie jak powinny być (o ile na to pozwala na to zapis, bo tak w rzeczywistości brzmieć nie będą). Ja osobiście lubię taką „szkołę” dźwięku, może niebýt fascynująca, ale solidną. Brzmi bardzo dobrze w nagraniach bardzo dobrych, ale czasami też potrafi „pomóc” gorszym. Przetwornik na WM8740 jest inny. Potrafi zafascynować w większości dobrze zrealizowanych nagrań. Potrafi też bezlitośnie obnażyć nagrania zrealizowane nie dość dobrze. Przetwornik wnosi do odtwarzanej muzyki coś ze swojego charakteru. Nie nudzi, ale fascynuje. Na pewno warto go wykonać

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