

# Wielobitowy przetwornik cyfrowo-analogowy audio z układami PCM1704 (2)

Do zbudowania przetwornika audio użyto kultowego, wielobitowego scalonego przetwornika A/D typu PCM1704 produkowanego przez Texas Instruments. Ten układ jest dobrze znany, bo jako jeden z nielicznych przetworników wielobitowych umożliwia konwersję sygnału o słowie 24-bitowym i częstotliwości próbkowania 96 kHz.

*Jest to wynik imponujący!*

**Rekomendacje:** przetwornik jest przeznaczony dla koneserów dobrego dźwięku, którzy są skłonni wydać „nieco” pieniędzy na zakup podzespołów.

W poprzedniej części artykułu opublikowanej w EP 6/2012 omówiono podstawy teoretyczne funkcjonowania urządzenia oraz poszczególne komponenty składowe. Pokazano również schematy i projekty płytek drukowanych. W tym artykule zajmujemy się uwagami odnośnie do montażu przetwornika, jego uruchomieniem oraz przeprowadzimy pomiary i testy odsłuchowe.

## Montaż i uruchomienie

Montaż wszystkich płytek nie powinien sprawiać większych trudności. Prze-

tworniki i mikrokontroler mają stosunkowo duży rozstaw nóżek. Pewien problem może być z odbiornikiem WM8804 i filtrem DF1706. Jeżeli powstaną zwarcia w czasie lutowania, to można je usunąć miedzianą plecionką.

Montując płytkę przetworników trzeba pamiętać o tym by najpierw zmontować wszystkie elementy oprócz przetworników PCM1704 i otaczających je kondensatorów. Brak tych kondensatorów ułatwi potem przylutowanie przetworników. Po zmontowaniu płytki trzeba dołączyć napięcia 3×8...9 V z transformatora do złącz ZZ1,

### W ofercie AVT \*

AVT-5346 A  
AVT-5346 UK

Dodatkowe materiały na CD/FTP:

<ftp://ep.com.pl>, user: 15505, pass: 27mdt418

- wzory płytek PCB
- karty katalogowe i noty aplikacyjne elementów oznaczonych w Wykazie elementów kolorem czerwonym

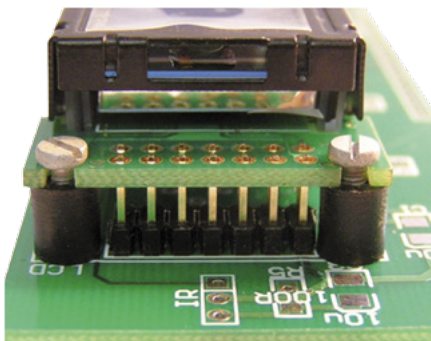
Projekty pokrewne na CD/FTP:

- (wymienione artykuły są w całości dostępne na CD)
- AVT-1670 Stereofoniczny regulator barwy dźwięku (EP 4/2012)
- AVT-1634 Przedwzmacniacz z TDA1524A (EP 8/2011)
- AVT-5335 DAC TDA1543 (EP 3/2012)
- AVT-5188 Kompaktowy przetwornik C/A dla Audiofilów (EP 6/2009)
- AVT-5159 SDSP processor (EP 11/2008)
- AVT-5148 Stereofoniczny kodek z interfejsem SPDIF (EP 9/2008)
- AVT-931 DsPICorder (EP 6/2006)
- AVT-450 Przetwornik A/C z interfejsem ADAT (EP 11-12/2005)
- AVT-384 Przetwornik audio analogowo-cyfrowy z wyjściem S/PDIF (EP 4/2005)

### \* Uwaga:

- Zestawy AVT mogą występować w następujących wersjach:
  - AVT xxxx UK to zaprogramowany układ. Tyko i wyłącznie. Bez elementów dodatkowych.
  - AVT xxxx A płytka drukowana PCB (lub płytki drukowane, jeśli w opisie wyraźnie zaznaczono), bez elementów dodatkowych.
  - AVT xxxx A+ płytka drukowana i zaprogramowany układ (czyli połączenie wersji A i wersji UK) bez elementów dodatkowych.
  - AVT xxxx B płytka drukowana (lub płytki) oraz komplet elementów wymieniony w załączniku pdf
  - AVT xxxx C to nic innego jak zmontowany zestaw B, czyli elementy wlutowane w PCB. Należy mieć na uwadze, że o ile nie zaznaczono wyraźnie w opisie, zestaw ten nie posiada obudowy ani elementów dodatkowych, które nie zostały wymienione w załączniku pdf
  - oprogramowanie (nie często spotykana wersja, lecz jeśli występuje, to niezbędne oprogramowanie można ściągnąć klikając w link umieszczony w opisie kitu)

Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja posiada załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się którą wersję zamawiasz! (UK, A, A+, B lub C) <http://sklep.avt.pl>



**Fotografia 19. Mocowanie i dołączenie wyświetlacza**

ZZ2, ZZ3 i wyregulować wszystkie cztery napięcia  $\pm 5$  V. Regulacja zasilacza z wlotowanymi układami PCM1704 może się skończyć uszkodzeniem tych bardzo kosztownych elementów! Potencjometry muszą być dobrej jakości, najlepiej od sprawdzonego dystrybutora i znanego producenta. Przy okazji można sprawdzić poprawność pozostałych napięć zasilających odbiornik SPDIF (+3,3 VD, +3,3 VA), sterownik (+3,3 VD) i wyświetlacz LCD (+5 VD). Po wyregulowaniu napięć i ponownym ich sprawdzeniu wlotowujemy brakujące elementy.

Na płycie interfejsu użytkownika należy zamontować wyświetlacz LCD. Przykładowy sposób montażu wyświetlacza pokazano na fotografii 19. Uwaga: płytka drukowaną interfejsu użytkownika zaprojektowano do wyświetlacza, w którym fabryczne dołączenie zasilania i masy jest zamienione miejscami w stosunku do wyprowadzeń większości wyświetlaczy: pin 1 = +5 V, pin 2 = masa. Przy podłączaniu wyświetlacza należy zweryfikować i ewentualnie zamienić miejscami przewody zasilające. W płytce filtrów analogowych należy wlotować precyzyjne podstawki do montażu wzmacniaczy operacyjnych. Układ zasilania wymaga wyregulowania napięć zasilających wzmacniacze operacyjne. W testowanym układzie były ustawione na  $\pm 15$  V. Regulację trzeba wykonać bez włożonych w podstawki wzmacniaczy operacyjnych.

Uruchomienie układu rozpoczynamy od płytki przetworników połączonej z płytką interfejsu użytkownika. Pierwszą czynnością będzie zaprogramowanie mikrokontrolera PIC18F2580. Programowanie odbywa się w systemie przez złącze ICSP. W czasie programowania mikrokontroler musi być zasilony. Po zaprogramowaniu na ekranie wyświetlacza powinien pojawić się ekran powitalny i program przechodzi do wyświetlania poziomu sygnału wyjściowego. Jeżeli na wyświetlaczu brak komunikatu, to potencjometrem P2 na płycie interfejsu trzeba wyregulować kontrast wyświetlacza LCD.

Prawidłowość połączenia impulsatora testujemy kręcąc jego ośką. Na ekranie powinny się zmieniać wartości tłumienia w dB i wielkość linijki. Program sterownika cyklicznie odczytuje słowo statusowe SPD-STAT o adresie 12 i testuje wartość bitu UNLOCK. Jeżeli ten bit jest ustawiony, to w górnej linijce jest wyświetlany komunikat „No Signal”. Oznacza to, że układy PLL odbiornika nie synchronizują się z sygnałem wejściowym SPDIF.

Teraz do złącza SP podłączamy sygnał SPDIF. Bit UNLOCK powinien zostać wyzerowany i na ekranie zamiast „No Signal” pojawi się komunikat „Volume” oznaczający, że sygnał jest doprowadzony i prawidłowy. Sygnały portu PCM z wyjścia odbiornika trafiają do filtra DF1706, gdzie są poddawane obróbce cyfrowej polegającej na wykonaniu nadpróbkowania i regulacji poziomu sygnału wyjściowego. W układzie DF1706 wykonywana jest też (jeżeli to konieczne) deemfaza. Ten fragment układu nie wymaga uruchamiania. Jedynie w przypadku problemów z działaniem trzeba będzie za pomocą oscyloskopu obserwować sygnały na wejściu i wyjściu filtra.

W sekcji przetworników trzeba ustawić zworki w przełączniku S1: SW1 i SW2 muszą być ustawione w takiej samej pozycji (obie rozwarne lub obie zwarte), tak aby fazy sygnałów w obu kanałach były zgodne. Zworka SW0 powinna być rozwarła, bo sygnał wejściowy ma rozdzielczość 24 bitów. W przypadku tej zworki sprawa jest oczywista, bo jej złe ustawienie skutkuje nieprawidłowym działaniem przetwornika objawiającym się szumem na wyjściu przy braku sygnału użytecznego. Na tym etapie można sprawdzić działanie całego toru łącząc wyjście przetwornika do masy przez rezystor 1 k $\Omega$ . Prąd z wyjścia przetwornika będzie powodował spadek napięcia na rezystorze i w konsekwencji na wyjściu pojawi się sygnał napięciowy. Obserwując ten sygnał na oscyloskopie można sprawdzić poprawność działania funkcji regulacji poziomu sygnału wbudowanej w filtr DF1706.

Ostateczne uruchomienie przeprowadzamy po podłączeniu układu filtra analogowego z konwerterem prąd – napięcie. Sygnał przesyłany z wyjścia przetwornika jest sygnałem prądowym. Można go doprowadzić skrętką wykonaną z pary izolowanych przewodów. Prawidłowo zmontowany układ filtrów nie wymaga żadnych czynności uruchomieniowych poza wspomnianym już wyregulowaniem napięć zasilających wzmacniacze operacyjne.

Interfejs użytkownika może być obsługiwany równolegle: gałką impulsatora i przyciskiem SW1 lub za pomocą nadajnika RC5 (tzw. pilota). Po zaprogramowaniu mikrokontrolera obsługa pilota nie jest ak-

tywna i do menu funkcyjnego wchodzi się zwierając styk SW1 ( na płycie interfejsu). Kręcąc gałką impulsatora można wybrać 4 funkcje:

- uczenie się kodów pilota „Learn RC5 Code”,
- ustawienie odpowiedzi filtra cyfrowego „Set DAC filter”,
- ustawienie częstotliwości próbkowania „Test Sample Rate”,
- ustawienie balansu „Set balance”.

Aby uaktywnić obsługę za pomocą pilota trzeba wywołać funkcję „Learn RC5 Code”. Po wywołaniu można nauczyć sterownik czterech kodów RC5 i przypisać im działanie:

- FUN – wywołanie menu funkcyjnego,
- UP – zmiana nastaw „do góry” odpowiadająca kręceniu impulsatorem w prawo,
- DOWN – zmiana nastaw „do dołu” odpowiadająca kręceniu impulsatorem w lewo,
- MUTE – wyciszanie wyjścia audio.

Obsługa funkcji jest stosunkowo łatwa. Program w założeniu jest tak napisany, aby czynności były wykonywane intuicyjnie. Po wywołaniu funkcji „Learn RC5 Code” trzeba skierować pilota w kierunku odbiornika IR, nacisnąć na nim przycisk, któremu będzie przypisana wyświetlana na ekranie funkcja. Decyzję wyboru akceptuje się przyciskając SW1. W ten sposób kolejno są programowane wszystkie funkcje zdalnego sterowania.

W czasie obsługi pilotem dostępne są wszystkie funkcje, oprócz „Learn RC5 Code”. Jest to zabezpieczenie przed wejściem do funkcji programowania kodów RC5 po naciśnięciu klawisza pilota. Kody można zmieniać tylko naciskając przycisk SW1. Obsługa DAC jest tak pomyślana, że kiedy kody RC5 są zaprogramowane, to nie ma konieczności używania SW1, a nawet impulsatora. Można SW1 umieścić wewnątrz obudowy urządzenia i użyć go tylko raz do zaprogramowania pilota. Po wejściu do funkcji parametr programowany zmienia się klawiszami UP i DOWN

REKLAMA

# WWW.STM32.EU

**Mikrokontrolery**  
**STM32**  
w sieci  
**Ethernet**  
w przykładach  
Marcin Peczański



## ETHERNET

# STM32

Gotowe przykłady i aplikacje!

Jak sobie z poradzić z Ethernetem?  
 Pomoże Ci książka Wydawnictwa BTC!  
 Sprawdź pod adresem [www.stm32.eu](http://www.stm32.eu)




lub gałką impulsatora, a zatwierdza klawiszem pilota FUN lub przyciskiem SW1.

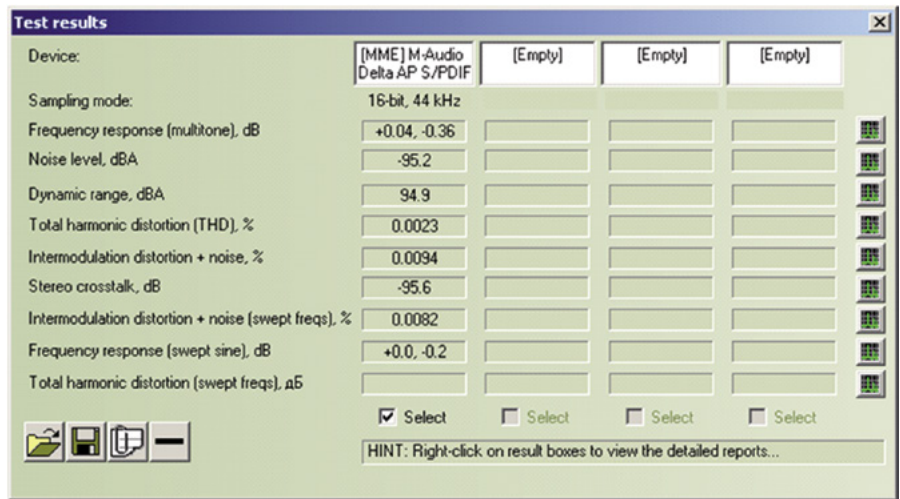
W obecnej wersji programu nie jest dostępna możliwość natychmiastowego wyciszenia (MUTE) bez pilota. Dla tej funkcji przewidziano specjalny przycisk na pilocie i tylko tak może ona być obsługiwana. Naciśnięcie klawisza MUTE powoduje całkowite wyłączenie sygnału a na wyświetlaczu pojawi się komunikat „MUTE”.

Funkcja „Test Sample Rate” odczytuje z odbiornika informację o wykrytej przez niego częstotliwości próbkowania i wyświetla ją na ekranie LCD. Warunkiem poprawnego działania tej funkcji jest synchronizacja pętli PLL odbiornika WM8804. Jeżeli pętla nie jest zsynchronizowana, to funkcja wysiedla komunikat o błędzie.

Funkcja Set DAC Filter wybiera jedną z dwu (ostra, lub łagodna) charakterystyk filtra cyfrowego DF1706.

**Pomiary**

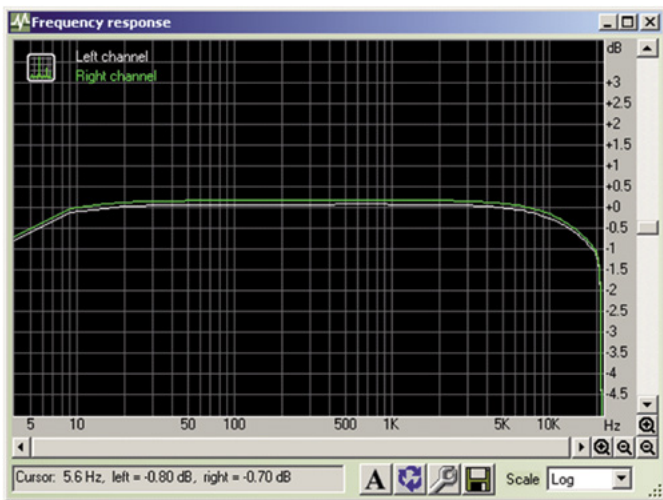
Zasadniczym testem przetwornika są testy odsłuchowe, ale przed odsłuchem dobrze jest zmierzyć parametry elektrycz-



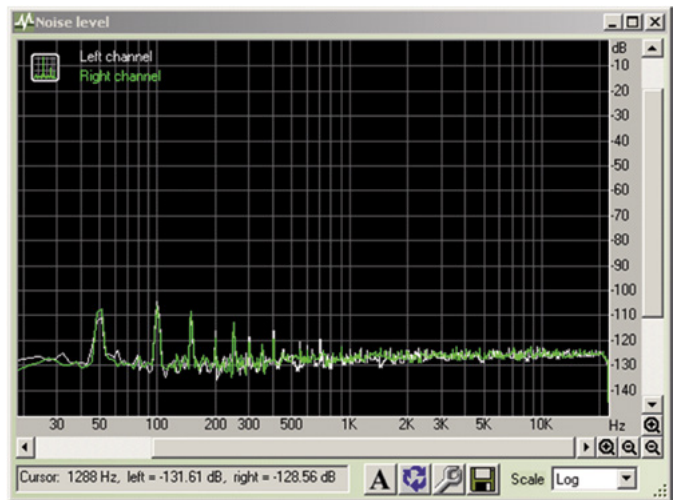
Rysunek 20. Zbiorcze zestawienie wyników pomiarów PCM1704 dla fs 44,1 kHz i 16 bitów

ne. Pomiary pomagają wykryć ewentualne błędy montażowe lub wady elementów. Do zmierzenia parametrów przetwornika wystarczy komputer PC z dobrą kartą dźwiękową i bezpłatny program *Right-Mark Analyzer*. Ja użyłem karty M-Audio Adiophile 2496. W czasie pomiarów, sy-

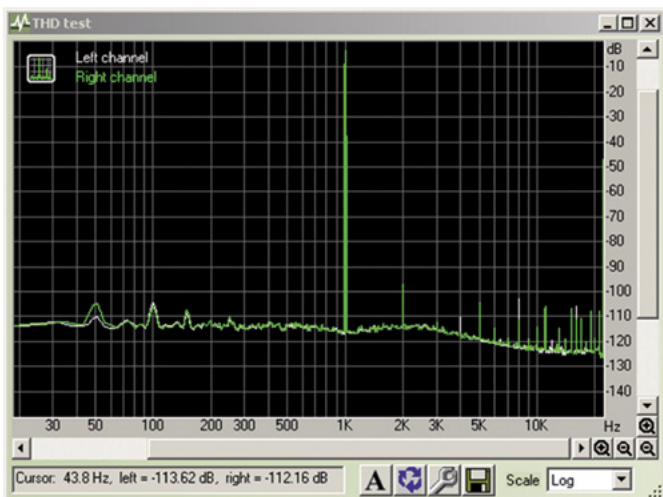
gnał SPDIF z karty podłącza się na wejście SPDIF, a analogowy sygnał z wyjścia przetwornika łączymy z analogowymi wejściami karty. Dla tej karty regulator poziomu sygnału jest ustawiany na tłumienie -3dB. Czulość wejść analogowych karty ustawiono na maksimum.



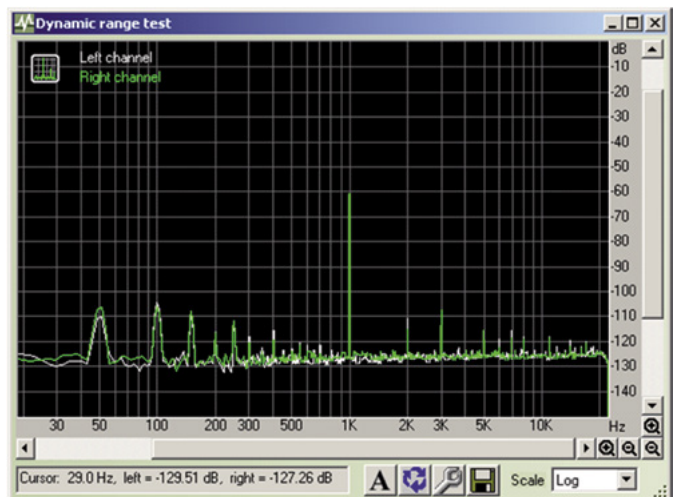
Rysunek 21. Odpowiedź częstotliwościowa



Rysunek 22. Poziom szumów PCM1704 fs=44,1 kHz



Rysunek 23. Zniekształcenia harmoniczne THD PCM1704 fs=44,1 kHz



Rysunek 24. Zakres dynamiki PCM1704 fs=44,1 kHz

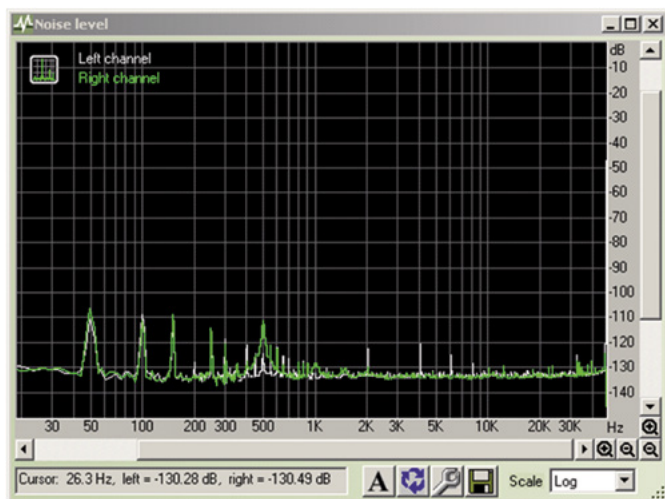
Test results				
Device:	[MME] M-Audio Delta AP S/PDIF	WM8741-2-96-2 4	[Empty]	[Empty]
Sampling mode:	24-bit, 96 kHz	24-bit, 96 kHz		
Frequency response (multitone), dB	+0.04, -0.35	+0.07, -0.63		
Noise level, dBA	-100.6	-101.8		
Dynamic range, dBA	100.1	102.3		
Total harmonic distortion (THD), %	0.0025	0.0015		
Intermodulation distortion + noise, %	0.0081	0.0069		
Stereo crosstalk, dB	-98.1	-100.4		
Intermodulation distortion + noise (swept freqs), %	3.126	0.0036		
Frequency response (swept sine), dB	+0.0, -0.2	+0.1, -0.4		
Total harmonic distortion (swept freqs), dBS				
	<input checked="" type="checkbox"/> Select	<input checked="" type="checkbox"/> Select	<input type="checkbox"/> Select	<input type="checkbox"/> Select

HINT: Right-click on result boxes to view the detailed reports...

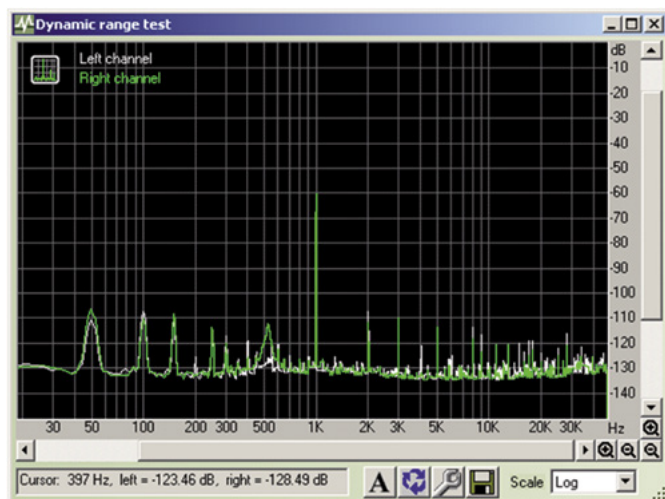
Rysunek 25. Zbiorcze zestawienie pomiarów przetwornika PCM1704 i WM8741 dla fs=96 kHz i 24 bitów

Na koniec wyniki pomiarów przetwornika PCM1704 dla sygnału o częstotliwości próbkowania 96 kHz i słowie o długości 24 bitów. Na **rysunku 25** pokazano zbiorcze zestawienie pomiarów przetwornika PCM1704 (lewa kolumna) i 1-bitowego przetwornika wysokiej klasy z układami WM8741 (prawa kolumna). Na **rysunku 26** pokazano poziom szumów PCM1704 przy fs=96 kHz, na **rysunku 27** zakres dynamiki PCM1704, natomiast na **rysunku 28** zniekształcenia harmoniczne.

Wykonanie układu scalonego przetwornika wielobitowego pracującego z częstotliwością próbkowania 96 kHz i słowem o długości 24 bitów o tak dobrych parametrach jest godne podziwu. Tym bardziej, że ten układ ma więcej niż 10 lat.



Rysunek 26. Poziom szumów PCM1704 fs=96 kHz



Rysunek 27. Zakres dynamiki PCM1704 fs=96 kHz

Pomiary rozpocząłem od sygnału o parametrach CD: 16 bitów i fs-44,1 kHz. Na **rysunku 20** pokazano zbiorcze zestawienie wyników. Przed ich interpretacją trzeba sobie zdawać sprawę z ograniczeń instrumentu pomiarowego, którym jest karta dźwiękowa.

Odpowiedź częstotliwościowa przetwornika (**rysunek 21**) pozwala ocenić czy w połączeniu z układem filtra analogowego poprawnie przenosi on całe pasmo akustyczne. Dla naszego przetwornika pasmo jest przenoszane z równomiernością nieprzekraczającą 1 dB. Lekkie tłumienie zaczyna się od ok. 15 kHz i jest być może spowodowane działaniem filtra cyfrowego. Na **rysunku 22** (poziom szumów) wyraźnie widać prążki o częstotliwości 50, 100, 150 i 200 Hz będące harmonicznymi sieci energetycznej. Przed zamontowaniem do obudowy były one dużo mniejsze. Przetwornik został umieszczony w metalowej obudowie, w której ze względu na wymiary, transformator zasilający został umieszczony blisko płytki przetwornika.

Poziom tych prążków jest tak mały, że nie słycać przydźwięku i dopiero w trakcie pomiarów można ocenić wpływ położenia elementów na składowe szumu sygnału wyjściowego. Metalowa obudowa przetwornika była uziemiona przez bolec uziemiający instalacji elektrycznej (uziemiać – nie zerowanie). Po odłączeniu od uziemienia amplituda składowych zakłóceń sieci energetycznej wyraźnie rosła (o ok. 7 dB). Mimo tych zastrzeżeń układ szumi minimalnie. Podczas wykonanych wcześniej pomiarów, kiedy przetwornik nie był zamknięty w obudowie a transformator był oddalony od przetwornika, prążki o częstotliwości sieci (i jej wielokrotności) były znacząco mniejsze (o ok. 8 dB). To jest jeszcze jeden argument za tym, aby wykonywać pomiary i ewentualnie korygować swoją konstrukcję. W tym przypadku nie ma innej metody, aby wybrać optymalne położenie transformatora zasilającego. Wyniki pomiarów zniekształceń harmonicznych i zakresu dynamiki pokazano na **rysunku 23** i **rysunku 24**.

### Odsłuchy

Do tego momentu wszystko wydaje się w jak najlepszym porządku. Jednak doświadczeni konstruktorzy wyznają zasadę, że przetwornik o dobrych parametrach może zagrać bardzo dobrze, ale też może mu brakować tego „czegoś”.

Przetwornik o złych parametrach nie zagra dobrze. Mając to na uwadze mo-

REKLAMA

**WWW.STM32.EU**

**JAK** zacząć z STM32?

**Sprawdź!**

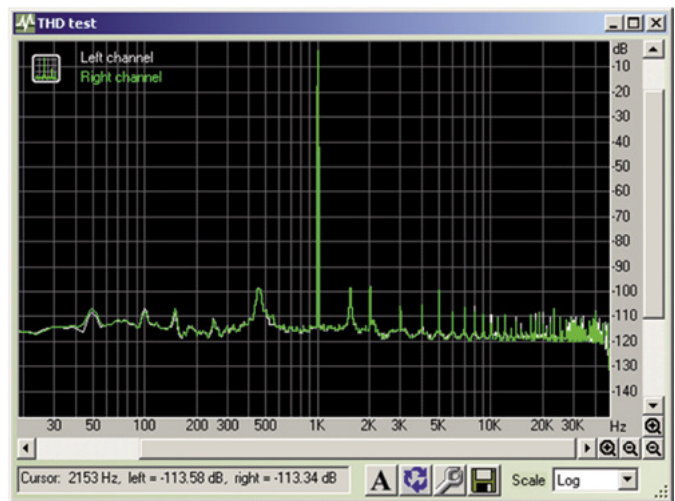
- ♦ programy ♦ narzędzia
- ♦ porady ♦ przykłady

**ST** **KAMAMI**

głem spodziewać się, że przetwornik będzie grał dobrze. Można to zweryfikować jedynie przez odsłuchy. Z odsłuchami jest zawsze duży problem: są subiektywne. Jednym się podoba to, innym tamto. Inaczej słucha się klasyki, jazzu, inaczej rocka czy hip-hopu. Poza tym, aby przekonać się o jakości przetwornika dobrze byłoby słuchać materiału dźwiękowego w torze o wysokiej jakości, wyposażonego w bardzo dobre głośniki i co bardzo ważne – w pomieszczeniu o dobrej charakterystyce akustycznej. Audiofile znają te problemy i często latami dobierają swoje „systemy” próbując dostosowywać akustycznie swoje pokoje odsłuchowe. Można jednak ten problem nieco „obejść” stosując do odsłuchu przynajmniej na początku dobrej jakości słuchawki i dobry wzmacniacz słuchawkowy. Eliminuje to trudny problem akustyki pomieszczenia i pozwala na wykrycie drobnych niedoskonałości, czego w systemie stereo z głośnikami nie mielibyśmy szansy zrobić. Można też ocenić subiektywnie zmianę barwy dla każdego ze źródeł sygnału. Za to system stereo z głośnikami lepiej buduje scenę stereo i łatwiej jest wykryć problemy z lokalizacją źródeł pozornych.

Do odsłuchu przetworników stosuję słuchawki Beyerdynamic DT 880 PRO przeznaczone do użytku profesjonalnego, o paśmie przenoszenia 5 Hz...35 kHz i zniekształceniach THD<0,1%. Słuchawki do zastosowań profesjonalnych mają płaską charakterystykę częstotliwościową. Słuchawki audiofilskie często mają kształtowaną charakterystykę, tak by ich dźwięk był bardziej atrakcyjny i był znakiem rozpoznawczym tej czy innej firmy. W czasie testów słuchawki DT880 PRO były zasilane wzmacniaczem słuchawkowym DIY opartym o układ scalony TPA6120.

Do tej pory używałem tylko przetworników 1-bitowych. Główną wadą wielu przetworników z modulatorami sigma delta jest „cyfrowy” dźwięk. Dotyczy to głównie starszych konstruk-



Rysunek 28. Zniekształcenia harmoniczne PCM1704 fs=96 kHz

cji. Użytkownicy przyzwyczajeni do odtwarzania płyt LP z dobrych gramofonów wskazywali na brak „analogowości” i ostrość dźwięku z płyt CD. Zastosowanie pierwszych przetworników 1-bitowych te wady pogłębiło. W przetwornikach wielobitowych od samego początku „analogowość” była na wyższym poziomie. PCM1704 ma opinię przetwornika, który dobrze zaaplikowany potrafi zagrać dźwiękiem bliskim dobremu nagraniu analogowemu, oczywiście pod warunkiem odtwarzania dobrze nagranych materiału.

Po pierwszym podłączeniu te przewidywania potwierdziły się. Bas PCM1704 schodził nisko i było go dużo, ale był bardzo precyzyjny. Do testów użyłem różnego rodzaju muzyki: od klasycznej, poprzez jazz aż do lżejszej odmiany rocka. Słuchałem też specjalistycznych płyt „samplerów” z nagraniami muzycznymi przeznaczonymi do testowania sprzętu audio. PCM1704 charakteryzuje się:

- bardzo dobrym odtwarzaniem detali,
- bardzo dobrą identyfikacją źródeł pozornych ( instrumentów),
- brakiem bałaganu w scenie muzycznej,
- brakiem problemów w poszczególnych zakresach pasma: niskie, średnie i wysokie,
- dużą kulturą odtwarzanego materiału,
- subiektywną gładkością odtwarzanego materiału.

PCM1704 jest tolerancyjny jeżeli chodzi o jakość odtwarzanych nagrań. Dobre nagrania brzmią wyśmienicie, ale i te trochę gorzej nagrane wypadają niezłe.

Oprócz prób wyodrębnienia poszczególnych aspektów odtwarzanego dźwięku (pasma, barwa, szczegóły itp.) można próbować urządzenia porównywać inaczej. Odtwarzam przez jakiś czas, na przykład przez 1...2 tygodnie z przetwornika. Ocenie podlega ogólne wrażenie, to czy dźwięk jest subiektywnie przyjemny, czy nie męczy, czy słuchanie przykuwa uwagę. I w tym teście PCM1704 uzyskał wysoka ocenę.

Mam świadomość, że moja ocena jest subiektywna. Każdy konstruktor choćby tylko podświadomie stara się bardziej lub mniej idealizować swoje dokonania. Dlatego najważniejszym testem jest ocena innych. Przetwornik powędrował do odsłuchania kilku znajomym audiofilom dysponujących o wiele lepszym sprzętem. Dopiero ich ocena utwierdziła mnie w przekonaniu, że konstrukcja jest dobra. Oczywiście jednemu podobała się bardziej, innemu mniej, ale wszystkie opinie były zgodne: przetwornik gra bardzo dobrze.

Tomasz Jabłoński, EP

REKLAMA

## Regulator obrotów wentylatora z silnikiem indukcyjnym 230 V

**AVT1613**

[www.sklep.avt.pl](http://www.sklep.avt.pl)

AVT-Korporacja Sp. z o.o., 03-197 Warszawa, ul. Leszczyńska 11, tel. 022 257 84 50, fax 022 257 84 55, e-mail: handlowy@avt.pl