

Audiofilskie przetworniki C/A, część 2

Działanie, budowa i projektowanie

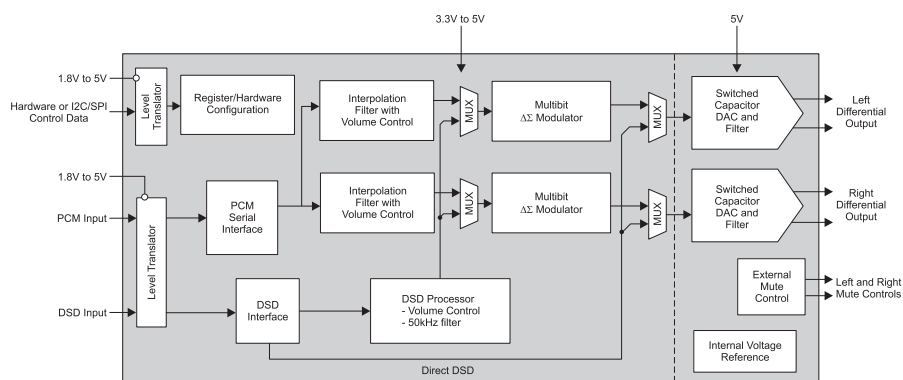
Układy przetworników C/A

Większość produkowanych obecnie układów przetworników cyfrowo – analogowych do zastosowań audio to przetworniki Σ - Δ . Wynika to z faktu, iż producentom układów scalonych łatwiej jest zbudować mniej dokładny przetwornik o wyższej częstotliwości próbkowania niż bardzo dokładny przetwornik o mniejszej częstotliwości. Aby zbudować przetworniki o możliwościach dzisiejszych przetworników Σ - Δ dokładność wykonania rezystorów w przetwornikach z drabinką R-2R znacznie przekracza możliwości seryjnej produkcji. Przetworniki takie byłyby bardzo drogie w produkcji. W tab. 6 znajdują się przykłady najlepszych przetworników do zastosowań audio. Nie są to układy tanie. Jednak przy dzisiejszym tempie rozwoju elektroniki pojawią się przetworniki o jeszcze lepszych parametrach, a ceny dzisiejszych najlepszych modeli znacznie spadną.

W notach katalogowych zniekształcenia i stosunek sygnał – szum często podawane są podwójnie – dla pomiaru bez filtru oraz dla pomiaru z filtrem “A-ważonym”. Filtr ten ma charakterystykę podobną do charakterystyki ludzkiego słuchu. Zastosowanie filtru zazwyczaj zwiększa stosunek sygnał – szum o 3 dB oraz zmniejsza zniekształcenia o 3 dB.

Często przetworniki do zastosowań audio posiadają wbudowane układy regulacji głośności, wycisza-

Technika audio od zawsze budzi bardzo duże zainteresowanie zarówno elektroników, jak i zwykłych miłośników muzyki. Wraz z pojawiającymi się nowymi układami scalonymi możliwe staje się budowanie własnych urządzeń poprawiających jakość dźwięku. Przetwornik C/A jest jednym z ważniejszych elementów toru audio. W artykule opisujemy w jaki sposób działają przetworniki cyfrowo – analogowe dedykowane zastosowaniom audio. Opisujemy ich budowę i funkcje każdego z wewnętrznych bloków oraz przygotowujemy Czytelników do zaprojektowania własnego urządzenia – przetwornika C/A.



Rys. 12. Schemat blokowy układu CS4398

nia, czasem także cyfrową regulację barwy dźwięku. Sterowanie tymi blokami możliwe jest poprzez zastosowanie mikroprocesora. Możemy programowo wyciszyć sygnał, uwydatnić niskie lub wysokie tony, dostosować głośność. W większości przypadków pełnie wykorzystanie możliwości oferowanych przez dany układ możliwe jest tylko, gdy sterowanie odbywa się poprzez mikroprocesor.

W standardzie S/PDIF jest przesłana informacja czy sygnał został

poddany preemfazie. Zazwyczaj wewnątrz przetwornika znajduje się blok filtru deemfazy, w danych katalogowych układów możemy znaleźć charakterystykę amplitudową maksymalnej odchyłki tego filtru od charakterystyki idealnej.

Wraz z upowszechnianiem się płyt SACD (Super Audio CD) okazało się, iż dynamika oferowana przez układy przetworników jest większa od dynamiki standardu SACD. Dla tego sygnał DSD (Direct Stream Di-

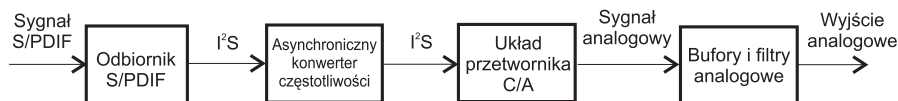
Tab. 6. Zestawienie najlepszych przetworników C/A do zastosowań audio

Symbol układu	Producent	Rodzaj	Rozdzielczość [bity]	Maksymalna częstotliwość próbkowania [kHz]	Sterowanie	THD [dB]	Stosunek S/N [dB]
AD1853	Analog Devices	Multi-Bit Σ - Δ	24	192	SW	-104	114
AD1955	Analog Devices	Multi-Bit Σ - Δ	24	192	SW	-110	120
AK4395	Akahi Kasei	Multi-Bit Σ - Δ	24	192	HW/SW	-100	120
AK4396	Akahi Kasei	Multi-Bit Σ - Δ	24	216	HW/SW	-100	120
CS4397	Cirrus Logic	Multi-Bit Σ - Δ	24	192	HW	-100	120
CS4398	Cirrus Logic	Multi-Bit Σ - Δ	24	192	HW/SW	-107	120
SM5865CM	Nippon Precision Circuits	Multi-Bit Σ - Δ	24	192	SW	-110	120
WM8740	Wolfson Micro-electronics	Multi-Bit Σ - Δ	24	192	HW/SW	-104	120

gital) – sygnał z płyty SACD – jest poddawany cyfrowej obróbce przed konwersją. Pozwala to zwiększyć dynamikę. Wiele przetworników posiada wbudowany procesor DSD oraz osobne wejście dla sygnału DSD. Na przykład układ CS4398 (rys. 12) sterowany bezpośrednio przez sygnał DSD jest w stanie odtworzyć go ze zniekształceniami –104 dB i dynamiką 114 dB. Ten sam sygnał po obróbce przez blok procesora DSD odtwarzany jest ze zniekształceniami –107 dB i dynamiką 117 dB.

Poziom szumów przetworników Σ – Δ nie jest stały. Dzięki blokom kształtowania szumu, szumy w paśmie audio są niskie, jednakże zazwyczaj rosną od połowy częstotliwości próbkowania, maksimum osiągając w okolicach częstotliwości próbkowania. Dlatego na wyjściu przetworników Σ – Δ muszą znajdować się filtry dolnoprzepustowe, których celem jest odfiltrowanie tych szumów. W notach katalogowych przetworników znajdują się proponowane układy filtrów dolnoprzepustowych. Układy przetworników wysokiej klasy mają zazwyczaj wyjścia różnicowe. W notach katalogowych znajdują się schematy filtrów z wyjściem różnicowym i pojedynczym. Zależnie od naszych wymagań urządzenie przetwornika może mieć wyjście różnicowe (na złączu XLR) lub pojedyncze (na złączu RCA).

Na wejście przetwornika podawany jest sygnał w formacie I²S, left – justified lub right – justified. Początkowo sygnałem zegarowym sterującym przetwornikiem był sygnał zegarowy danych wejściowych lub jego wielokrotność generowana przez układ odbiornika S/PDIF. Dzięki temu wraz ze zmianą częstotliwości próbkowania danych wejściowych zmieniła się częstotliwość próbkowania przetwornika. Wraz z rozwojem przetworników o coraz lepszych parametrach, okazało się, iż jitter sygnału zegarowego danych jest zbyt duży. Zniekształcenia sygnału analogowego powodowane przez jitter były



Rys. 13. Schemat blokowy toru audio z asynchronicznym konwerterem częstotliwości próbkowania

znacznie większe niż zniekształcenia samego przetwornika. Dlatego obecnie większość przetworników posiada osobne wejście sygnału zegarowego, sygnał ten nie musi być zgodny w fazie z sygnałem danych wejściowych. Do wejścia sygnału zegarowego dołączany jest generator wzorcowy zbudowany na generatorze kwarcowym. Dobrze zrobiony generator charakteryzuje się znacznie mniejszym jitterem niż sygnał zegarowy danych wejściowych. Dla różnych częstotliwości próbkowania i różnych stopni nadpróbkowania częstotliwość sygnału zegarowego jest różna. Nie jest możliwe zbudowanie uniwersalnego urządzenia przetwornika C/A, z tylko jedną częstotliwością sygnału zegarowego. Zmieniając tylko stopień nadpróbkowania i stosując jedną częstotliwość sygnału zegarowego możemy odważać sygnały, których częstotliwość próbkowania jest wielokrotnością częstotliwości podstawowej, na przykład dla 48 kHz: 96 i 192 kHz lub dla 44,1 kHz: 88,2 i 176,4 kHz. W miarę uniwersalny przetwornik powinien odtwarzać sygnał z odtwarzacza CD (44,1 kHz), karty dźwiękowej komputera (zazwyczaj 48 kHz), odtwarzacza DVD (96 kHz, 192 kHz, a w trakcie odtwarzania płyty CD 44,1 kHz), ewentualnie odtwarzacza DAT (32 kHz). Jednocześnie najłatwiej jest zaprojektować układ z przetwornikiem działającym z jedną częstotliwością próbkowania. Aby skorzystać z zalet obu rozwiązań stosuje się układy asynchronicznych konwerterów częstotliwości (*asynchronous sample rate converters*). Zostaną one opisane w dalszej części artykułu.

Analogowe filtry wyjściowe

Sygnał wyjściowy z układu przetwornika cyfrowo – analogowego jest buforowany za pomocą

wzmacniaczy operacyjnych; w bardziej egzotycznych konstrukcjach stosuje się układy lampowe. Bufor ten pracuje też w charakterze filtru dolnoprzepustowego o częstotliwości granicznej powyżej 20 kHz, zależnie od wyboru konstruktora układu. W większości przypadków jest to filtr drugiego rzędu. Może mieć on wyjście pojedyncze lub różnicowe, czasem oba jednocześnie. Filtr ten powinien mieć dobroć z przedziału 0,5...0,707, aby dobrze przenosił impulsy. Wybór topologii filtru zależy od zastosowanego układu przetwornika, w notach katalogowych układu znajduje się schemat filtru, który jest proponowany przez producenta układu.

Asynchroniczne konwertery częstotliwości próbkowania

Jak napisałem powyżej dąży się do tego, aby układ przetwornika cyfrowo – analogowego był taktowany generatorem wzorcowym. Jednocześnie układ powinien odtwarzać sygnały o szerokim spektrum częstotliwości próbkowania. Aby tego dokonać stosuje się asynchroniczne konwertery częstotliwości próbkowania (rys. 13, tab. 7). Układ taki przetwarza cyfrowy sygnał wejściowy i na swoim wyjściu podaje sygnał o stałej, wybranej przez użytkownika częstotliwości próbkowania. Niezależnie od częstotliwości próbkowania sygnału wejściowego, układy za konwerterem będą pracowały ze stałą częstotliwością próbek. Układy te charakteryzują się dużym stosunkiem sygnał – szum wynoszącym lub bliskim 140 dB oraz niskimi zniekształceniami bliskimi –140 dB. Jitter wejściowej częstotliwości próbkowania jest w nich tłumiony. Są one znacznie bardziej odporne na niestabilność sygnału

Tab. 7. Asynchroniczne konwertery częstotliwości próbkowania

Symbol układu	Producent	Maksymalna częstotliwość próbkowania	Maksymalny stosunek częstotliwości przy zmniejszaniu częstotliwości	Maksymalny stosunek częstotliwości przy zwiększaniu częstotliwości	Dynamika [dB]	Zniekształcenia harmoniczne [dB]
AD1890	Analog Devices	56 kHz	2:1	1:2	120	–106
AK4124	Akahi Kasei	216 kHz	1:6	6:1	140	–130
CS8421	Cirrus Logic	212 kHz	7,75:1	8:1	175	–140
SRC4192	Texas Instruments	212 kHz	16:1	1:16	140	–140

zegarowego, niż układy przetworników cyfrowo – analogowych. To jak dobrze tłumią jitter zależy od konstrukcji układu, jednakże uważam, że jeżeli zastosujemy odbiornik S/PDIF o małym jitterze i nie popełnimy błędów przy projektowaniu płytki i obwodów zasilania wpływ jittera będzie pomijalny.

Układ CS8421 jest układem 32-bitowym, dlatego jego maksymalna dynamika wynosi 175 dB.

Większość tych układów automatycznie wykrywa częstotliwość próbkowania – nie jest potrzebna żadna zmiana w ich konfiguracji przy zmianie częstotliwości próbek. Jest to ich ogromną zaletą. Ich konfiguracja sprowadza się do wyboru wejściowego i wyjściowego formatu danych oraz wyjściowej częstotliwości próbkowania. Obsługują one standardowe formaty danych: left – justified, right – justified oraz I²S.

Procesory audio

Pomiędzy układem odbiornika S/PDIF lub konwerterem częstotliwości próbkowania, a przetwornikiem cyfrowo – analogowym mogą

znajdować się układy przetwarzające sygnał cyfrowy. Procesory cyfrowego sygnału audio coraz częściej znajdują zastosowanie do korekcji charakterystyk amplitudowych zestawu głośnikowego oraz pomieszczenia odsłuchowego. Wszelkie zmiany dokonywane są na drodze cyfrowej. Ich wpływ na jakość dźwięku może być znaczący. Poddają one sygnał filtracji odwrotnej do nieliniowości charakterystyk układu zespół głośnikowy/pomieszczenie odsłuchowe – wypadkowa charakterystyka jest płaska. Dokładność kalibracji w dużej mierze zależy od układu sprzężenia zwrotnego, którym jest mikrofon pomiarowy oraz odpowiedni układ wzmacniaczy i przetwornika analogowo – cyfrowego. Więcej informacji na ten temat można znaleźć w internecie oraz na stronach firmy Cirrus Logic.

Procesory audio znajdują także zastosowanie w dekodernach kina domowego. Wiele z nich posiada programy dekodujące dźwięk wielokanałowy w standardach Dolby Digital, Dolby Pro Logic, DTS, DTS-ES, THX Surround EX, THX Ultra2 Ci-

nema oraz dekodery standardu MP3. Dokładniejszy opis tych układów wykracza poza ramy tego artykułu.

Podsumowanie

Projektowanie urządzenia przetwornika cyfrowo – analogowego nie jest zadaniem prostym. Duża liczba dostępnych, wyspecjalizowanych układów upraszcza znacznie to zadanie. Optymalne rezultaty osiągniemy jedynie, gdy dokładnie sprecyzujemy wymagania oraz wyśzukamy układy spełniające je.

Roman Łyczko

Bibliografia:

- [1] <http://www.epanorama.net/links/audiodigital.html#digitalinterface>
- [2] <http://www.epanorama.net/documents/audio/spdif.html>
- [3] <http://sound.westhost.com/project85.htm>
- [4] <http://www.cirrus.com>
- [5] <http://www.ti.com>
- [6] <http://www.yamaha.co.jp/english/product/lsl/us/index.html>
- [7] <http://www.wolfson.co.uk>

Uznanie dla jakości. Radość z ceny.

JAMICON®



Jamicon Kaimei Electronic Corporation to jeden ze światowych potentatów w produkcji wysokiej jakości kondensatorów elektrolitycznych produkowanych na bazie doskonale czystego elektrolitu z Sanyo Chemical. Ropla jako autoryzowany dystrybutor Jamicon oferuje pełny wybór kondensatorów elektrolitycznych - 85°C, 105°C, SMD, Snap-In, kondensatory z wyprowadzeniem śrubowym wraz z obejmą w cenie kondensatora, low ESR m.in. do zasilaczy i płyt głównych, bipolarne, na specjalne zamówienie i wiele innych. Zadzwoń. Spytaj o cenę. Ucieszymy Cię.

- ▶ **SZYBKE DOSTAWY**
- ▶ **DOBRA CENA**

AUTORYZOWANY
DYSTRYBUTOR
JAMICON

ROPLA®

Przed wszystkim
kondensatory...

Ropla Elektronik Sp. z o.o., 53-011 Wrocław, ul. Wyciągowa 3, tel. +48 (71) 339 7229, fax. +48 (71) 339 7230, info@ropla.pl, www.ropla.pl