

Audiofilskie przetworniki C/A, część 1

Działanie, budowa i projektowanie

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 przygotujemy Czytelników do zaprojektowania własnego urządzenia – przetwornika C/A.

Rekomendacje:
artykuł zainteresuje wszystkich korzystających z „dźwięku cyfrowego”. Możliwość zbudowania własnego przetwornika C/A i poprawy jakości słuchanej muzyki będzie dla nich dużym dopingiem do działania, a jednocześnie poszerzy wiedzę o nowoczesnej technologii audio.

Dziś, kolejne systemy analogowe są zastępowane przez ich cyfrowe odpowiedniki. W ciągu najbliższych paru lat możemy spodziewać się, iż 99% sygnałów audio będzie zapisywanych, przesyłanych i przechowywanych w formie cyfrowej. Będą powstawały nadajniki cyfrowego radia, już działają systemy cyfrowej telewizji, karty muzyczne naszych komputerów oraz odtwarzacze CD i DVD odtwarzają cyfrowy sygnał. W każdym takim urządzeniu sygnał cyfrowy jest przetwarzany na postać analogową. W większości urządzeń przetworniki cyfrowo – analogowe nie są zazwyczaj bardzo dobrej jakości. Dlatego już od kilku lat powstają urządzenia będące zewnętrznymi przetwornikami cyfrowo – analogowymi. Ich zastosowanie może znacznie poprawić jakość dźwięku.

Budowa najprostszego przetwornika C/A

Na początku musimy umówić się co rozumiemy pod pojęciem układu przetwornika C/A, a co pod pojęciem urządzenia przetwornika C/A. Układ przetwornika to wyspecjalizowany układ scalony zajmujący się przetwarzaniem sygnału cyfrowego na analogowy, stanowi on blok urządzenia przetwornika. Urządzenie są to wszystkie układy zamknięte w obudowie, czyli zasilacz układy wejściowe, różnego rodzaju konwertery, procesory DSP, układy przetworników C/A oraz filtry analogowe i cyfrowe. Istotą jego działania jest odbiór sygnału audio w formacie S/PDIF, przetworzenie i podanie go w formie analogowej na swoich wyjściach.

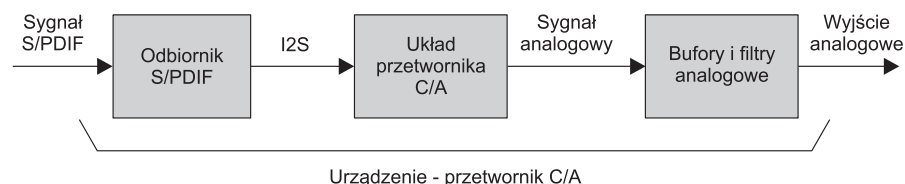
Na **rys. 1** przedstawiona jest budowa najprostszego urządzenia przetwornika C/A. Składa się ono z trzech bloków: układów wejścio-

wych oraz konwertera sygnału S/PDIF na I²S, układu przetwornika C/A i filtrów analogowych. Najpierw sygnał w formacie S/PDIF jest odbierany przez urządzenie. Następnie w układzie tzw. odbiornika S/PDIF jest on przekształcaný najczęściej na format I²S. Format ten jest standardem komunikacji wewnętrznej między układami zajmującymi się odbiorem i przetwarzaniem cyfrowego audio. Każdy typowy przetwornik C/A do zastosowań audio jest kompatybilny z tym formatem. W przetworniku sygnał cyfrowy zamieniany jest na analogowy, a następnie jest on poddany filtracji dolnoprzepustowej, która zmniejsza poziom szumów powyżej pasma audio. Z wyjść filtrów sygnał jest podawany na gniazda wyjściowe urządzenia. Projekt takiego prostego urządzenia znajduje się na stronie [3]. Abyśmy mogli zrozumieć co dzieje się w każdym z bloków musimy zacząć od formatu S/PDIF.

AES/EBU i S/PDIF – opis formatu danych

Większość urządzeń cyfrowych posiada wyjście „Digital Out”. Poniżej opiszę format w jakim przesyłane są dane, a następnie fizyczne metody jakimi ten sygnał jest przesyłany. W trakcie projektowania urządzenia nie musimy dokładnie znać jego formatu. Wszelkiego rodzaju konwersjami zajmują się wyspecjalizowane układy scalone – układy odbiorników S/PDIF. Jednak warto wiedzieć w jaki sposób przesyłane są próbki audio oraz jakie dodatkowe informacje są przesyłane.

Cyfrowy sygnał na wyjściu “Digital Out” w urządzeniach konsumenc- kich jest to sygnał S/PDIF. Skrót



Rys. 1. Najprostsze urządzenie – przetwornik C/A

Tab. 2. Bity synchronizacyjne podramki

Typ wstępu	Bity jeżeli ostatnio była przesyłana jedynka	Bity jeżeli ostatnio było przesyłane zero	Znaczenie
B	.11101000	.00010111	Podramka zawiera dane dla kanału A(lewego), które zaczynają się na początku
M	.11100010	.00011101	Podramka zawiera dane dla kanału A(lewego), które nie
W	.11100100	.00011011	Podramka zawiera dane dla kanału innego od A. Dla stereo – kanał B (prawy). Dla systemów wielokanałowych każdy inny kanał poza A.

Tab. 3. Blok S/PDIF

Bit	Znaczenie
0	Ustawiany na "1" jeżeli przesyłany jest dźwięk czterokanałowy
1	0=cyfrowy dźwięk audio, 1=przesyłane dane nie są cyfrowym dźwiękiem
2	Zabezpieczenie przed kopiowaniem. Jeżeli ten bit jest ustawiony dane można kopiować
3	Ustawiony, jeżeli użyty był filtr preemfazy
(4 – 7)	Zarezerwowane
(9 – 15)	0=format dwukanałowy 1=format dwukanałowy odtwarzacza CD 2=format dwukanałowy kodera-dekodera-PCM inne nie używane
(19 – 191)	Zarezerwowane

obejmuje straty w trakcie przesyłania sygnału.

Parametry elektryczne standardu AES/EBU zostały opracowane na podstawie standardu RS-422. Każdy układ mogący pracować jako odbiornik lub nadajnik w tym standardzie może pracować jako odbiornik AES/EBU.

Parametry opisanych tu standardów są zebrane w **tab. 4**.

Układy wejściowe

Układy wejściowe służą do translacji poziomów, nie są one skomplikowane. Ich budowa zależy od zastosowanego układu odbiornika S/PDIF, producenci odbiorników S/PDIF preferują różne rozwiązania, zależnie od budowy bloku wejściowego odbiornika. Na wejściu odbiornika S/PDIF, zawsze znajduje się kondensator oddzielający składo-

wą stałą oraz rezystor dopasowujący impedancję linii.

W urządzeniach profesjonalnych, sygnał jest przesyłany różnicowo. Do separacji galwanicznej urządzeń stosuje się transformatory sygnałowe (**rys. 3**), w tańszych urządzeniach, z uwagi na koszt samego transformatora, stosowane są układy z kondensatorami (**rys. 4**). Na rysunkach przedstawione są przy-

Tab. 4. Parametry różnych standardów przesyłu danych

	S/PDIF coax	S/PDIF TTL	AES/EBU	Toslink
Napięcie wejściowe	0,5..1 Vp-p	5 Vp-p	3..10 V	
Impedancja kabla	75 Ω	75 Ω	110 Ω	
Rodzaj kabla	Kabel koncentryczny	Kabel koncentryczny	Skłętka ekranowana	1mm światłowód
Modulacja	BMC	BMC	BMC	BMC
Dodatkowe przesyłane informacje	Tekst identyfikacyjny w standardzie ASCII		SCMS copy protection info	Tekst identyfikacyjny w standardzie ASCII
Maksymalna rozdzielczość	20-bitów (opcjonalnie 24-bity)	20-bitów (opcjonalnie 24-bity)	24-bity	20-bitów (opcjonalnie 24-bity)
Złącze	RCA, rzadziej BNC	RCA lub mini – jack	XLR	3,5 mm Mini Plug

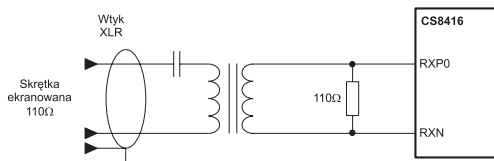
Tab. 5. Zestawienie układów przetworników C/A różnych producentów

Nazwa układu	Producent	Zakres częstotliwości próbkowania [kHz]	Sterowanie	Jitter sygnału zegarowego
AK4113	Akahi Kasei	8,0 – 216,0	HW/SW	b.d.
AK4116	Akahi Kasei	32,0 – 48,0	HW/SW	b.d.
AK4122	Akahi Kasei	8,0 – 96,0	HW/SW	b.d.
CS8413/CS8414	Cirrus Logic	28,4 – 100,0	HW/SW	200 ps
CS8415	Cirrus Logic	8,0 – 108,0	HW/SW	200 ps
CS8416	Cirrus Logic	32,0 – 192,0	HW/SW	200 ps
DIR1701	Texas Instruments	b.d. – 96,0	b.d.	81 ps
DIR1703	Texas Instruments	b.d. – 96,0	b.d.	75 ps
WM8803	Wolfson Microelectronics	32,0 – 192,0	HW/SW	200 ps

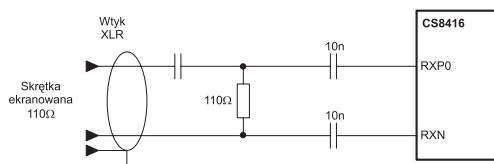
HW – sterowanie poprzez ustawienie odpowiednich stanów logicznych na nóżkach układu

SW – sterowanie za pomocą mikroprocesora

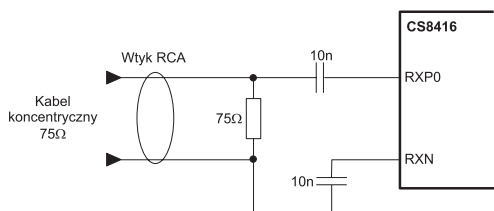
b.d. – brak danych



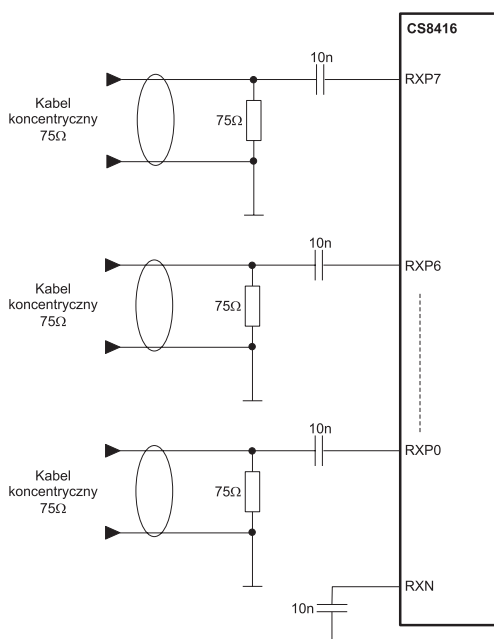
Rys. 3. Separacja galwaniczna z transformatorem



Rys. 4. Separacja galwaniczna z kondensatorami



Rys. 5. Układ wejściowy CS8416 dla kabla koncentrycznego



Rys. 6. Wejścia multiplexowane układu CS8416

kładowe układy wejściowe dla sygnału różnicowego.

Jeżeli zastosujemy odbiornik S/PDIF CS8416 firmy Cirrus Logic, układ wejściowy dla kabla koncentrycznego ogranicza się do prostego filtra górnoprzepustowego RC (rys. 5). Układ ten ma 8 multiplexowanych wejść (rys. 6).

Najtrudniej jest zaprojektować układ wejściowy sygnału S/PDIF TTL, standard stosowany w kartach

dźwiękowych. Jest to standard umowny. Przesyłane dane są takie same jak w standardzie S/PDIF, różni się on poziomami napięć, które mogą wynosić od 3,3 V do 5,0 V. Nie jest też sprecyzowana impedancja przewodu, którym łączymy wyjście karty dźwiękowej z układem wejściowym. Na rys. 7 przedstawiono układ polecany przez Cirrus Logic do podłączenia sygnału S/PDIF TTL.

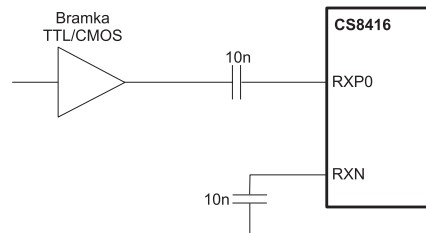
Odbiorniki innych producentów mogą wymagać np. układu buforującego ze sprzężeniem zwrotnym. Jest to zależne od wewnętrznej budowy wejść odbiornika S/PDIF. Jako wejście może być zastosowana bramka CMOS lub układ z szybkim komparatorem Schmitta. Układy te mają różne progi przełączeń i stąd wynikają różnice obwodów wejściowych. Decydując się na konkretny układ odbiornika musimy sprawdzić w jego dokumentacji jak powinny być zbudowane układy wejściowe.

Odbiorniki S/PDIF

Na rynku jest dostępnych wiele układów odbiorników S/PDIF. Głównymi ich producentami są Cirrus Logic [4], Texas Instruments [5], Yamaha [6], Wolfson Microelectronics [7]. Układy te dekodują sygnał S/PDIF do formatu I²S, left - justified, right - justified. Umożliwiają one wybór jednego z powyższych formatów wyjściowych. Wewnątrz układu odbiornika znajduje się pętla PLL służąca do stabilizacji częstotliwości sygnału zegarowego. Aby pętla PLL pracowała z jak największą dokładnością układy odbiorników posiadają możliwość osobnego zasilania bloku pętli. Na schematach jest ono oznaczane jako napięcie zasilania części analogowej. W tab. 5 znajdują się przykładowe układy różnych producentów.

Do układów DIR1701 oraz DIR1703 firmy Texas Instruments nie udało mi się zdobyć dokumentacji. Na stronie internetowej firmy dokumentacja ta nie jest dostępna. Układy zostały przedstawione w dokumencie "Selection Guide" z pierwszego kwartału roku 2004.

Opiszę układ CS8416 jako przykład odbiornika S/PDIF (rys. 8). Układ ten może odbierać i dekodować sygnały w formacie S/PDIF oraz



Rys. 7. Rekomendowany sposób podłączenia sygnałów S/PDIF TTL

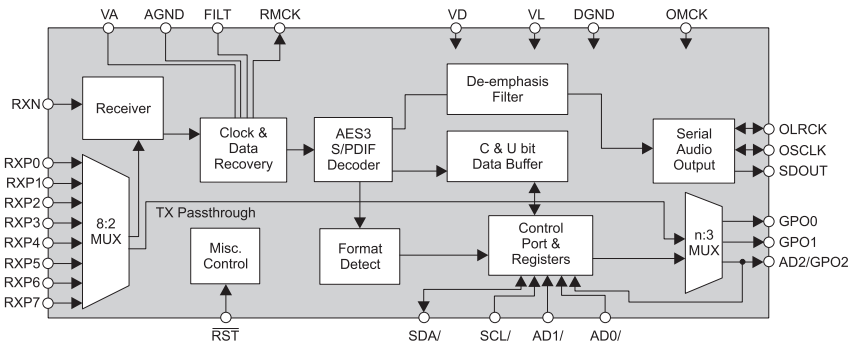
AES/EBU. Jego sterowanie może się odbywać za pomocą mikroprocesora lub poprzez ustawianie odpowiednich poziomów logicznych na nóżkach układu. W większości przypadków sterowanie mikroprocesorem oferuje pełniejsze wykorzystanie możliwości odbiornika. Jego wejście stanowi 8 wejściowy multiplexer. Do wyboru są cztery formaty wyjściowe: I²S, left-justified, right-justified oraz AES3 Direct. Ponadto układ dekoduje informacje o preemfazie sygnału, bit statusu kanału, dodatkowe informacje (sub-code data), podaje czy częstotliwość próbkowania jest większa niż 88,1 kHz oraz posiada wyjście z częstotliwością 512 razy większą od częstotliwości próbkowania. Układ sprawdza poprawność próbki, jeżeli próbka jest wadliwa możemy zastąpić ją poprzednią próbką, zerami lub pozostawić bez zmian - przetworzyć tę wadliwą próbkę. Układ posiada także wyjście informujące, iż odbierany sygnał jest sygnałem audio w formacie S/PDIF lub AES/EBU. W nocie katalogowej układów można znaleźć dokładniejsze informacje wraz z proponowanymi układami wejściowymi.

Format I²S, left - justified, right - justified

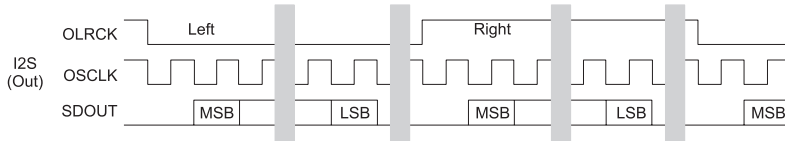
Formaty I²S, left - justified, right - justified służą do przesyłania próbek audio pomiędzy układami scalonymi zajmującymi się ich obróbką. Inne dane np. status kanału muszą być przesyłane za pomocą dodatkowych linii. Wszystkie powyższe formaty transmisji danych wykorzystują trzy linie - OLRCK, OSCLK i SDOUT (oznaczane też jako, odpowiednio WS, SCK i SD). We wszystkich standardach dane lewego i prawego kanału przesyłane są naprzemiennie. Sygnał OLRCK określa czy aktualnie przesyłane są dane lewego czy prawego kanału. Częstotliwość sygnału OLRCK równa jest częstotliwości próbkowania. Sygnał SDOUT to sygnał da-

INTERNET

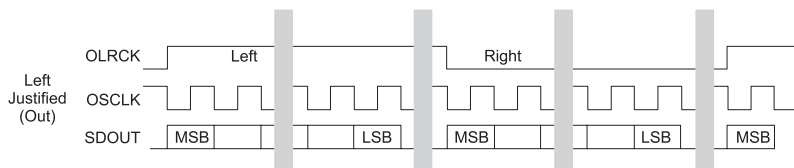
Poradnikowy i edukacyjny magazyn wszystkich użytkowników Internetu



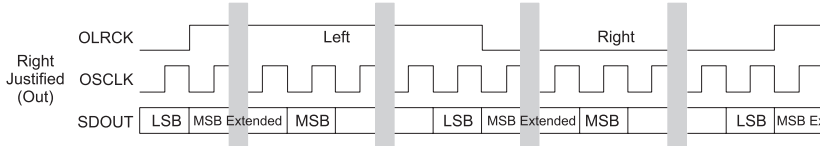
Rys. 8. Schemat blokowy układu CS8416



Rys. 9. Format I²S



Rys. 10. Format *left - justified*



Rys. 11. Format *right - justified*

nych, sygnał OSCLK jest sygnałem zegarowym. Standard I²S określa, iż mogą być przesyłane próbki o różnej rozdzielczości. Próbkę przesyłaną jest od najbardziej znaczącego bitu (MSB). Jeżeli przesyłana próbka ma większą rozdzielczość niż odbierający ją układ, kolejnie mniej znaczące bity są po prostu przez układ ignorowane. Jeżeli układ obsługuje próbki o większej rozdzielczości niż przesyłana pozostałe bity stają się zerami. To formaty *left - justified* i *right - justified* są formatami o stałej rozdzielczości.

Format I²S uważam za najbardziej uniwersalny. Jeden z układów jest układem typu "master", oznacza to, iż generuje on sygnał zegarowy. Nadajnik sygnału I²S nie koniecznie musi być układem "master". Jednak w naszym zastosowaniu – odbiornik S/PDIF zazwyczaj powinien działać zarówno jako nadajnik jak i układ typu "master". Próbki przesyłane są kolejno, niski poziom linii OLRCK oznacza, iż przesyłane są próbki lewego kanału, poziom wysoki prawego. Kolejne próbki oddzielone są jednym sygnałem zegarowym, co

widać na zamieszczonym przebiegu (rys. 9). Dane przesyłane są począwszy od najbardziej znaczącego bitu.

W formacie *left - justified* zwanym też *MSB - justified*, dane przesyłane są podobnie jak w I²S. Jak widać na przebiegu (rys. 10), znaczenie linii OLRCK jest odwrotne tzn. wysoki poziom linii oznacza próbki lewego kanału, niski prawego. Kolejne próbki nie są oddzielone wysyłane są jedna po drugiej, bez odstępu o długości jednego okresu zegarowego. W formacie tym poprzez odpowiednią konfigurację odbiornika i nadajnika musimy wybrać z jaką rozdzielczością przesyłane są próbki. Tak samo jak w formacie I²S dane przesyłane są od najbardziej znaczącego bitu.

Format *right - justified* zwany też *LSB - justified* jest bardzo podobny do formatu *left - justified*, z tym wyjątkiem, iż próbki przesyłane są od najmniej znaczącego bitu (rys. 11). Należy pamiętać, iż zarówno nadajnik, jak i odbiornik wymaga ustalenia rozdzielczości z jaką przesyłane są próbki.

Roman Łyczko



Co miesiąc w Magazynie INTERNET:

- Najbardziej aktualne informacje o globalnej sieci komputerowej
- Porady praktyczne dla początkujących i zaawansowanych
- Opisy najnowszych technologii
- Kursy dla webmasterów
- Przegląd niezbędnego oprogramowania
- Artykuły, które pomogą Twojej firmie lepiej wykorzystywać Internet, uniknąć zagrożeń i zaoszczędzić pieniądze
- Opisy ciekawych zastosowań Internetu
- Porady dotyczące wyszukiwania informacji



W numerze 6/2005 m.in.:

- Internet z komórki – już dziś możesz mieć cały świat w kieszeni!
- Porównywarki cen – alternatywa dla oszczędnych
- Twój PC częścią superkomputera, czyli od modelowania leków do poszukiwania życia pozaziemskiego
- Dyplom z sieci – oferty polskich e-szkół

Magazyn INTERNET można nabyć we wszystkich EMPIK-ach i większych kioskach z prasą. Wszelkich informacji udziela
Dział Prenumeraty:
 tel. (22) 568-99-22, faks (22) 568-99-00
 e-mail: prenumerata@avt.com.pl
 01-939 Warszawa, ul. Burleska 9