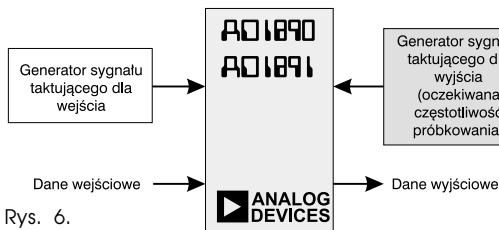


Cyfrowy tor audio, część 2

Kontynuujemy prezentację podzespołów firmy Analog Devices, przeznaczonych do systemów przetwarzania i obróbki cyfrowych sygnałów audio. W tej części artykułu przedstawiamy układy zintegrowanych konwerterów częstotliwości próbkowania, których produkcję podjął Analog Devices. Są one niezwykle ważne dla współczesnych systemów audio, zwłaszcza że potrafią zrobić znacznie więcej dobrego niż wynika to z ich nazwy.

Współcześnie produkowane układy do cyfrowych systemów obróbki sygnałów audio zapewniają konstruktorom duży komfort pracy. W pojedynczych układach scalonych integrowane są często bardzo skomplikowane struktury, pozwalające na wprowadzanie mniej lub bardziej wyrafinowa-

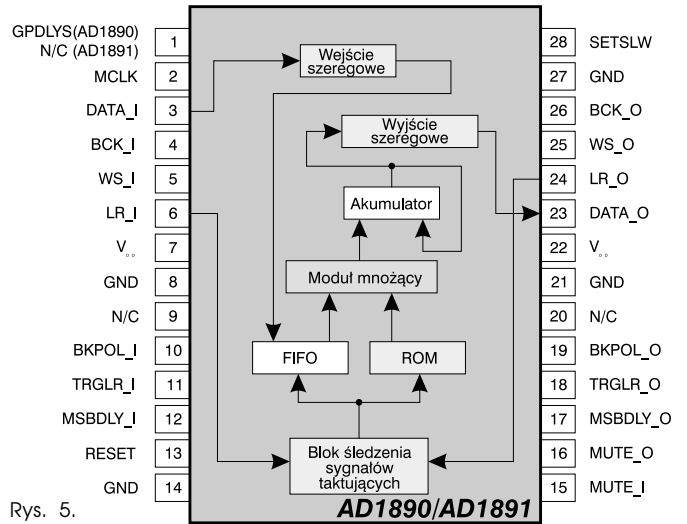
Sarkazm w zawartych powyżej komentarzach jest uzasadniony tylko częściowo - wszystkie wymienione, na oko dziwne, wartości mają oczywiście swoje uzasadnienie i z ich istnieniem należy się pogodzić. Co jednak ma zrobić konstruktor planujący zbudować urządzenie współpracujące przynajmniej z częścią wymienionych standardów? Odpowiedź jest prosta. Należy zastosować...



Rys. 6.

nych modyfikacji do przetwarzanego sygnału, np. przez mało wydajny mikrokontroler 8-bitowy. Coraz częściej modyfikacji cyfrowego strumienia danych można dokonać za pomocą analogowego potencjometru (np. w układzie TDA1548). Jest to bardzo proste!

Jak zwykle bywa, życie czy też raczej ludzie je kształtujący skomplikowali sytuację tej kwitnącej dziedziny elektroniki, wprowadzając wiele systemów próbkowania. I tak, do zastosowań domowych najbardziej nadaje się częstotliwość próbkowania 44,1kHz. W systemach profesjonalnych oraz DAT jedyną akceptowalną częstotliwością próbkowania jest 48kHz. Z kolei w cyfrowych przekazach radiowych i telewizyjnych można spotkać częstotliwości: 32kHz lub (sic!) 44,056kHz. Żeby sytuację jeszcze „uproszczyć”, do multimedialnych systemów komputerowych przewidziano próbkowanie z częstotliwością 22,05 lub 11,025kHz, a sygnał dźwiękowy na CD zapisany w standardzie XA jest próbkowany z częstotliwościami 37,8kHz lub 18,9kHz.



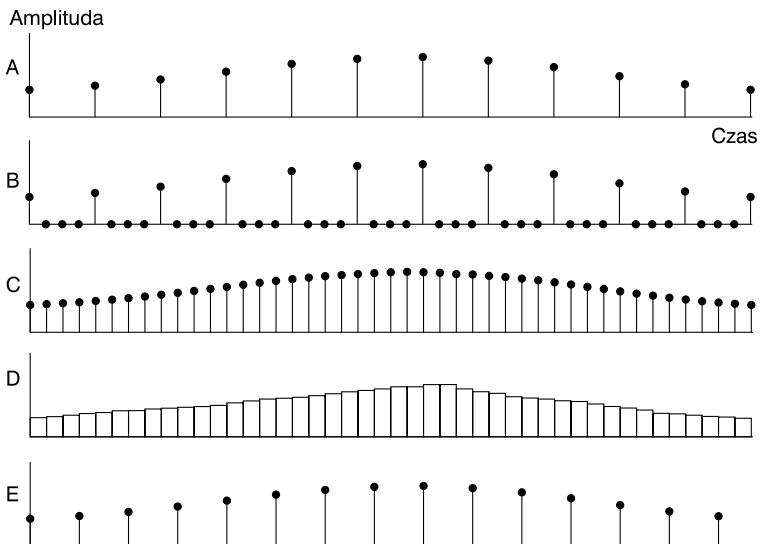
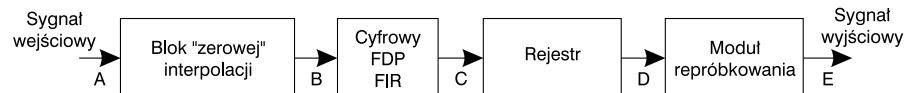
Rys. 5.

...konwerter częstotliwości próbkowania

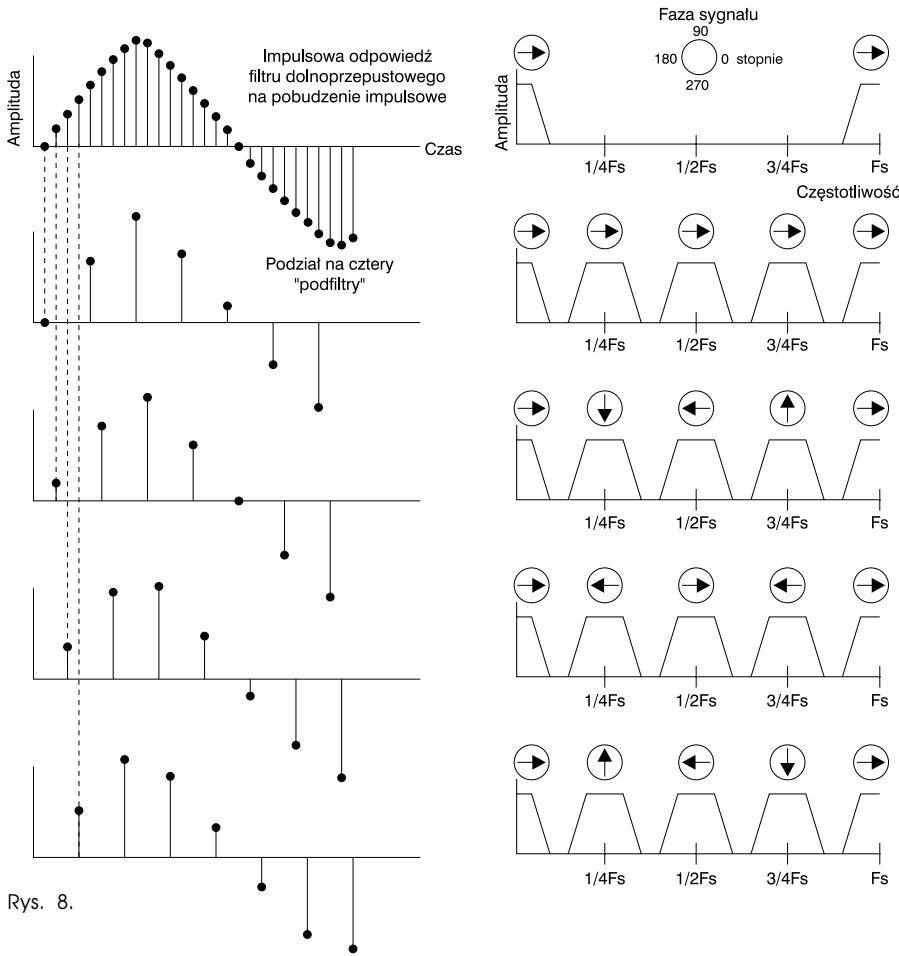
Jeszcze 3..4 lata temu tego typu urządzenia (to były prawdziwe urządzenia!) oferowało kilku producentów zestawów cyfrowego au-

dio. Od chwili wprowadzenia do produkcji przez Analog Devices scalonych konwerterów częstotliwości próbkowania, samodzielne budowanie tego typu urządzeń przestało być ekonomicznie uzasadnione - złożony problem konwersji załatwia układ dostępny w cenie kilkunastu dolarów.

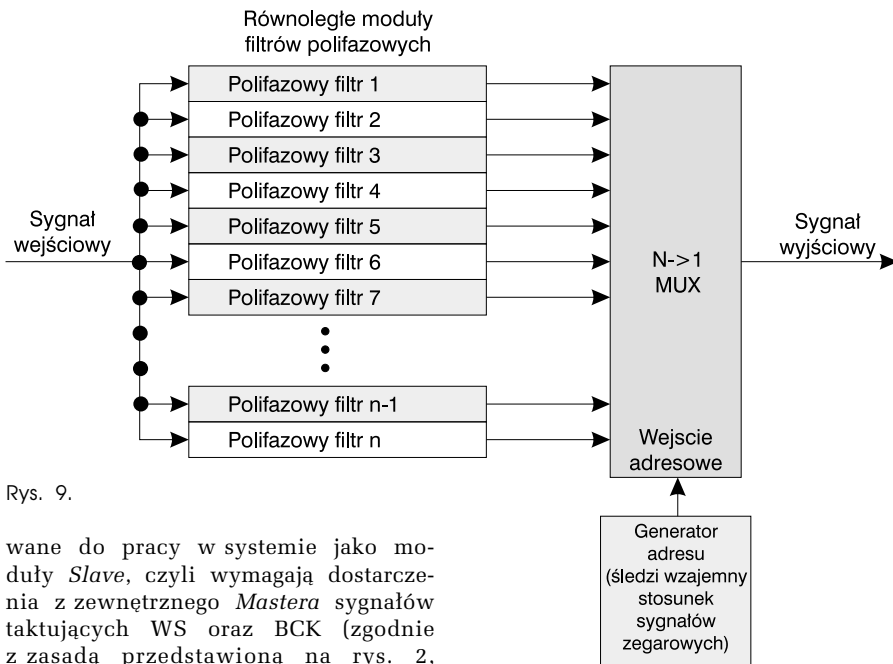
Schemat blokowy układów AD1890/1891 (rys. 5) nie wydaje się być skomplikowany, ale to tylko pozory. Szeregowe interfejsy na wejściu i wyjściu układu są zgodne ze standardem I2S i są sterowane niezależnymi sygnałami WS_x, DATA_x, BCK_x (gdzie x=I-Input lub O-Output). Obydwa interfejsy są przystoso-



Rys. 7.



Rys. 8.



Rys. 9.

wane do pracy w systemie jako moduły *Slave*, czyli wymagają dostarczenia z zewnętrznego *Mastera* sygnałów taktujących WS oraz BCK (zgodnie z zasadą przedstawioną na rys. 2, EP5/2000).

Na rys. 6 przedstawiono w uproszczony sposób zasadę pracy konwerterów częstotliwości próbkowania. Sygnał zegarowy określający wejściową częstotliwość próbkowania jest odtwarzany w odbiorniku S/PDIF

i przesyłany do konwertera częstotliwości poprzez interfejs I2S. Ze względu na nieuniknione zakłócenia sygnału bifazowego S/PDIF, sygnał zegarowy jest modulowany jitterem, który w skrajnych przypadkach może

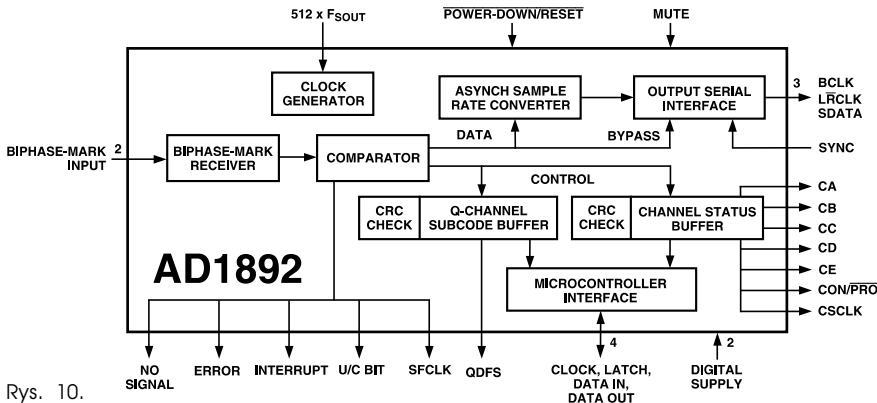
podbarwiać odtwarzany dźwięk. Zazwyczaj sygnał taktujący wyjściowy port szeregowy jest sygnałem wzorcowym systemu przetwarzania dźwięku i charakteryzuje się dużą stabilnością. W profesjonalnych konsolach cyfrowego audio są wykorzystywane nawet rubidowe wzorce częstotliwości.

Dzięki wbudowaniu w strukturę układów AD1890/1891 bloku śledzenia sygnałów zegarowych, dopasowanie parametrów konwersji odbywa się całkowicie automatycznie i co więcej - płynnie. Jedyne ograniczenia dotyczą zakresu częstotliwości taktowania, które muszą się mieścić w przedziale 8..56kHz, a ich zalecany wzajemny stosunek powinien mieścić się w przedziale 1:2..2:1. Układ AD1890 pracuje z próbkami audio o maksymalnej długości 20 bitów, a tańsza jego wersja - AD1891 - konwertuje próbki 16-bitowe. Próbki wyjściowe obydwu układów mają długość 24 bitów, przy czym niewykorzystane bity każdej ramki są zerowane.

Zasada działania konwertera częstotliwości

Na rys. 7 przedstawiono czasowy model obrazujący zasadę działania układu konwertującego. Przebieg A jest przetwarzanym w systemie przebiegiem sygnału audio o wejściowej częstotliwości próbkowania. W bloku „zerowej” interpolacji pomiędzy próbki o amplitudzie równej 0 (przebieg B). Na wyjściu cyfrowego filtra dolnoprzepustowego FIR występuje przebieg o znacznie większej, niż w sygnale oryginalnym, gęstości próbek audio - przebieg C. Wartości tych próbek są wyliczane na podstawie wartości sąsiednich próbek, w związku z czym w pewnym stopniu mogą powodować zniekształcenie sygnału odtwarzanego (w najgorszym przypadku poziom zniekształceń nie przekracza -96dB). Próbki o dużej gęstości są następnie zatraskiwane w rejestrze *latch* (przebieg D), z wyjścia którego są poddawane kolejnemu próbkowaniu - ale tym razem z wyjściową częstotliwością próbkowania. Sygnał wyznaczający szybkość i momenty repróbkowania nie musi być synchronizowany z przebiegiem taktującym wejście. Przykład z rys. 7 przedstawia sytuację, kiedy to wejściowa częstotliwość próbkowania jest dwukrotnie mniejsza od oczekiwanej wyjściowej.

Zastosowany w prezentowanym przykładzie filtr FIR składa się z wirtualnych 4 milionów stopni o rozdzielczości 22 bitów każdy. Przy takiej konstrukcji toru konwer-



Rys. 10.

sji w celu osiągnięcia odpowiednio dużego odstępu sygnału od szumu należy zastosować sygnał zegarowy o bardzo dużej częstotliwości, sięgającej nawet kilku GHz! Łatwo sobie wyobrazić wiele problemów technicznych z wykorzystywaniem tak szybkich sygnałów w popularnych aplikacjach.

Z tych powodów przedstawiony na rys. 7 model jest tylko ilustracją zastosowanej przez firmę Analog Devices metody konwersji częstotliwości. W układach AD1890/1891 zaimplementowano konwerter wykorzystujący podfiltry polifazowe, ponieważ są one łatwiejsze w „krzemowym” wykonaniu i można je łatwo zaadaptować do filtracji w zadanym pasmie częstotliwości. Właściwość ta ma szczególnie duże znaczenie, ponieważ w przypadku konwersji sygnału o większej częstotliwości próbkowania (szerszym przenoszonym pasmie) należy zmniejszyć graniczną częstotliwość filtru.

Na rys. 8 przedstawiono wykresy obrazujące zasadę działania cztero-stopniowego filtru polifazowego. Każdej możliwej próbce amplitudowej sygnału wejściowego odpowiada charakterystyczna dla niej odpowiedź impulsowa, która jest na stałe zapisana w generatorze ROM. W zależności od wartości próbki, przypisane są jej charakterystyczne widma sygnałów o różnych fazach i identycznych amplitudach. W każdej chwili na wyjściu bloku filtrującego występuje tylko jedna odpowiedź, charakterystyczna dla przebiegu nadpróbkowanego. Działanie filtrów polifazowych jest nieco bardziej skomplikowane, ale ze względu na praktyczne aspekty tego cyklu nie będziemy ich omawiać.

Konstrukcję filtru polifazowego przedstawia rys. 9. W układach AD1890/1891 filtr polifazowy składa się z 65536 niezależnych bloków, z których liczba aktywnych jest za-

leżna od stosunku wejściowej i wyjściowej częstotliwości próbkowania.

Zalety konwerterów częstotliwości

Podstawowym obszarem zastosowań dla układów konwertujących częstotliwości próbkowania jest oczywiście wzajemne dopasowywanie cyfrowych sygnałów wytworzonych w różnych urządzeniach audio. Jak wcześniej wspomniano, konwersja częstotliwości próbkowania wiąże się z automatycznym ograniczeniem górnej częstotliwości pasma przetwarzanego sygnału, co zapobiega powstawaniu zjawiska *aliasingu* (nakładania się widm).

W przypadku zastosowania wysokostabilnego wzorca częstotliwości w urządzeniu odbiorczym, możliwe jest także radykalne obniżenie wpływu zjawiska losowej modulacji czę-

totliwości wejściowego sygnału zegarowego (jitter) na jakość odtwarzanego sygnału audio.

Dzięki wbudowaniu w układy konwertujące pamięci FIFO, płynna zmiana którejś z częstotliwości próbkowania także nie wpływa w sposób istotny na parametry sygnału wyjściowego.

Integracji c.d.

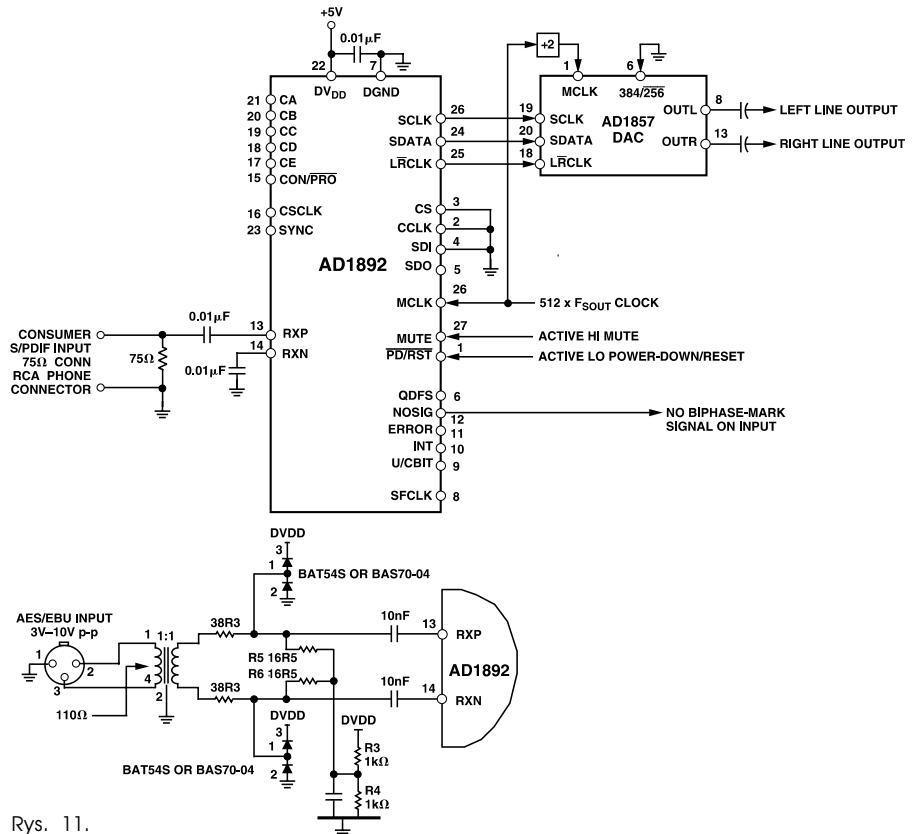
Obydwa prezentowane w artykule układy wymagały do poprawnej pracy zastosowania na wejściu odbiorników-konwerterów S/PDIF lub AES/EBU na I2S. Tak mało komfortowa dla konstruktorów sytuacja nie mogła oczywiście trwać wiecznie. Kilka miesięcy temu na rynku pojawił się kolejny układ opracowany przez Analog Devices AD1892. Jest to programowany konwerter częstotliwości, zintegrowany z różnicowym odbiornikiem linii.

Na rys. 10 przedstawiono schemat blokowy tego układu, a na rys. 11 znajduje się najprostszy schemat aplikacyjny, w którym AD1892 pracuje jako *Master* systemu audio bez konwersji częstotliwości próbkowania.

Piotr Zbysiński, AVT
piotr.zbysinski@ep.com.pl

Za miesiąc przedstawimy przetworniki A/C i C/A, produkowane przez firmę Analog Devices.

Artykuł przygotowano w oparciu o materiały udostępnione przez firmę Alfine, tel. (0-61) 820-58-11, www.alfine.com.pl.



Rys. 11.