

# Wzmacniacz audio z wejściem cyfrowym, część 1

## AVT-5026

*Po wielu próbach osiągnęliśmy od dawna pożądaną cel: opracowaliśmy konstrukcję taniego w wykonaniu wzmacniacza audio z wejściem cyfrowym, wyposażony w przetwornik C/A o rozdzielczości 24 bitów.*

*Pomimo zastosowania w prezentowanym urządzeniu wyrafinowanej techniki, jego budowa jest dość prosta, a uzyskane parametry na więcej niż przyzwoitym poziomie.*

*W tej części artykułu omówimy najbardziej interesujące podzespoły zastosowane w projekcie.*

Podczas przygotowywania prezentowanego w artykule projektu najważniejszy okazał się prawidłowy wybór układów, które będą w nim stosowane. Nie chodziło tylko o parametry techniczne układów - ciężko jest znaleźć w ofercie liczących się producentów jakieś istotne niedopracowania - lecz o możliwość szybkiego zakupu dużej ich liczby. Niestety, większość producentów narzuca sieciom dystrybucyjnym na tyle trudne warunki sprzedaży, że często reakcja na zamówienia takiej firmy jak AVT (o wcale pokaznym potencjale zakupowym) nie jest możliwa do zaakceptowania. Tłumaczę się ze swoich wyborów na samym wstępie, ponieważ trudno z technicznego punktu widzenia wykazać, że przygotowana przeze mnie konstrukcja jest w optymalna. Kierowałem się przede wszystkim chęcią ułatwienia zdobycia zastosowanych w projekcie elementów zarówno potencjalnym wykonawcom, jak i Działowi Zaopatrzenia AVT.

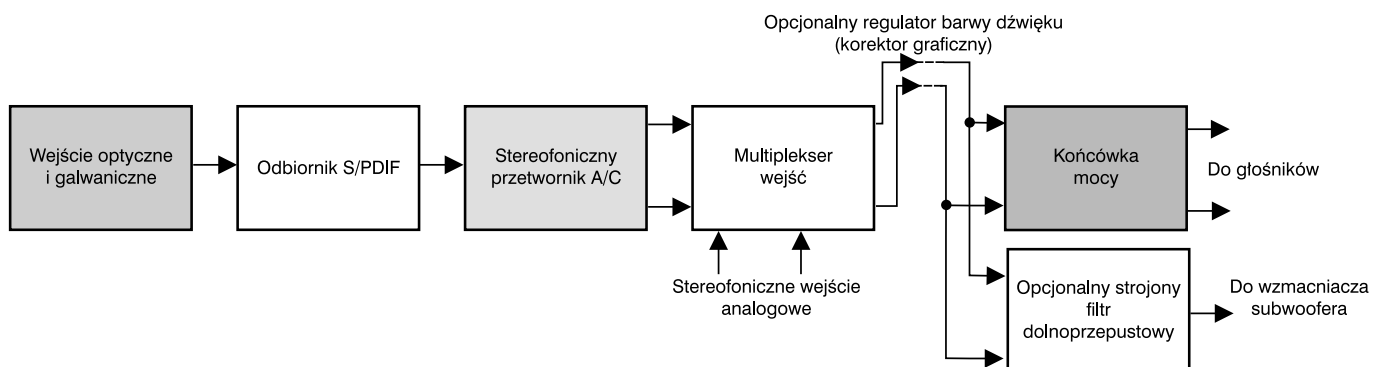
Tyle tytułem wstępu, którego rolą nie miało być zniechęcenie Was, a wprost przeciwnie! Zrobi-

liśmy wszystko, aby ułatwić wykonanie prezentowanego urządzenia.

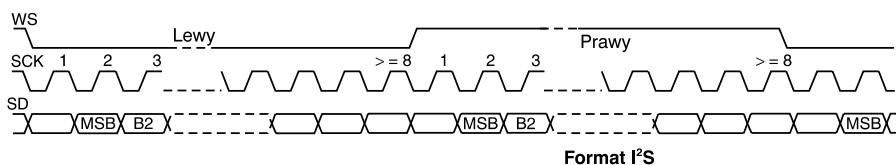
### Koncepcja

Zadania postawione przed wzmacniaczem były następujące:

- Cena zestawu miała być bliska możliwościom większości potencjalnych wykonawców.
- Miał być wyposażony w wejścia cyfrowe S/PDIF ze stykiem optycznym i galwanicznym.
- Z myślą o purystach audiofilskich wzmacniacz został pozbawiony regulatorów barwy dźwięku i balansu, jedynym regulatorem jest (cyfrowo programowany!) potencjometr stereofoniczny. Jego zastosowanie zapewnia wysoką trwałość i stabilną jakość regulacji.
- W celu umożliwienia odsłuchu muzyki ze standardowych odtwarzaczy analogowych wzmacniacz wyposażono w analogowy multiplekser stereofoniczny, za pomocą którego można przełączać sygnały z wejść analogowych i cyfrowych.
- „Smaczku“ konstrukcji dodaje zastosowany we wzmacniaczu strojony filtr dolnoprzepustowy



Rys. 1. Schemat blokowy wzmacniacza.



Rys. 2. Przebiegi charakteryzujące pracę interfejsu I2S.

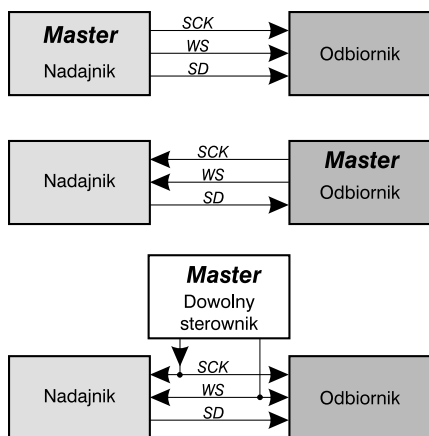
o niezwykle prostej budowie - składa się on bowiem z jednego układu scalonego!

Zastosowana w prezentowanym wzmacniaczu końcówka mocy jest kopią końcówki mocy zastosowanej w projekcie amplitunera FM (EP5 i 6/2001). Zastosowanie tego wzmacniacza jest wynikiem jego bardzo prostej budowy, łatwego montażu i dobrych parametrów akustycznych przy stosunkowo dużej mocy wyjściowej. Niebagatelną zaletą układu zastosowanego we wzmacniaczu jest także rozbudowany system zabezpieczeń antyprzeciążeniowych, dzięki któremu nieumyślne uszkodzenie prawidłowo zasilanego wzmacniacza nie jest praktycznie możliwe.

Na rys. 1 pokazano uproszczony schemat blokowy wzmacniacza.

## Cyfrowy dźwięk? To nie takie trudne!

Najpoważniejszym atutem prezentowanej konstrukcji jest cyfrowe wejście, dzięki któremu jest możliwe odtwarzanie sygnałów bezpośrednio ze źródeł cyfrowych, jak np. komputerowe lub stacjonarne odtwarzacze CD/DVD, Min-Dysku lub dowolnych innych urządzeń audio coraz szczerzej



Rys. 3. Typowe konfiguracje systemów z interfejsem I2S.

wyposażanych przez producentów w optyczne lub koaksjalne wyjścia cyfrowe.

Sygnal podawany na wejście jest wzmacniany, formowany i dekodowany w specjalizowanym układzie odbiorczym CS8412 firmy Crystal, na którego wyjściu szeregowym występuje w ustandaryzowanej postaci I2S (od ang. Inter-IC Sound). Na rys. 2 pokazano standardową ramkę danych (jedna próbkę dźwięku w postaci cyfrowej) przesyłanych za pomocą tego 3-liniowego interfejsu, w skład którego wchodzi następujące linie sygnałowe:

- SCK (ang. Serial Clock) - sygnał zegarowy, wyznaczający prędkość transmisji danych, jednocześnie określający bitową prędkość transmisji. Sygnal SCK jest wytwarzany zawsze przez Mastera systemu,
- WS (ang. Word Select) - sygnał określający dla którego kanału dane są w danej chwili przesyłane (WS=0 - kanał lewy, WS=1 - kanał prawy). Sygnal WS wytwarzany jest zawsze przez Mastera systemu. Częstotliwość występowania tego sygnału określa częstotliwość dostarczania kompletnych próbek do kolejnego modułu w torze obróbki danych,
- SD (ang. Serial Data) - szeregowe dane przesyłane z nadajnika do odbiornika z prędkością wyznaczoną przez SCK. W szeregowym strumieniu danych są zmultipleksowane dane dla kanału lewego i prawego. Długość ramki danych nie jest sztywno określona i zależy od możliwości i wymagań systemu audio. Jedynemu ograniczeniu podlega minimalna długość próbki dla każdego kanału - nie może być krótsze niż 7 bitów.

Założenia standardu I2S narzucają konieczność stosowania w systemie obróbki danych audio jednego modułu, który będzie

### Podstawowe parametry i właściwości wzmacniacza z wejściem cyfrowym:

- ✓ wejścia: optyczne i koaksjalne S/PDIF oraz standardowe wejście napięciowe (stereo),
- ✓ moc wyjściowa (wyjścia szerokopasmowe): 2x20W,
- ✓ liczba kanałów wyjściowych:
  - ✗ szerokopasmowe: 2,
  - ✗ z filtru dolnoprzepustowego: 1.
- ✓ zakres regulacji częstotliwości granicznej filtru dolnoprzepustowego: 50Hz..2kHz
- ✓ wbudowany regulator głośności,
- ✓ rozdzielczość wbudowanego przetwornika 16..24 bitów,
- ✓ wbudowane aktywne filtry dolnoprzepustowe w torach szerokopasmowych.

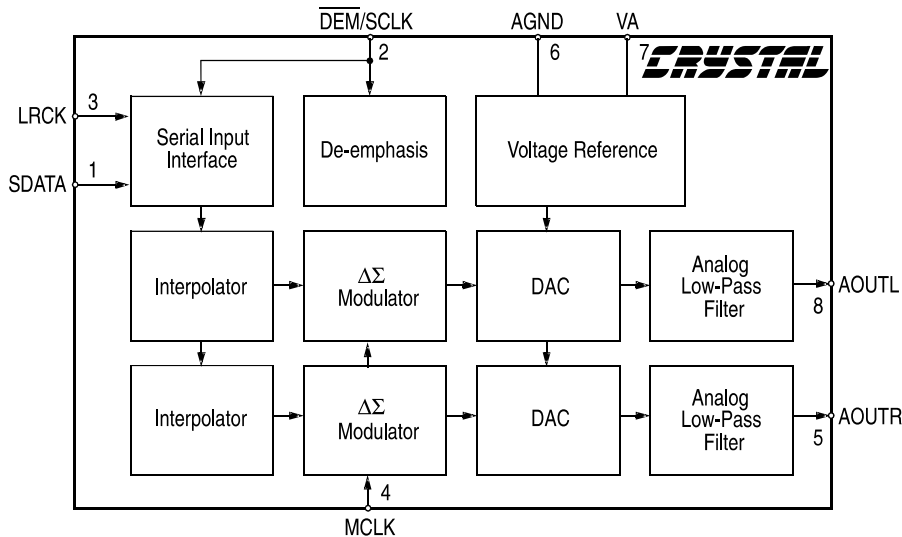
spełniał rolę Mastera. Odpowiada on za wyznaczenie tempa przesyłania danych i decyduje o przesłaniu określonej grupy bitów do jednego z dwóch kanałów przetwarzania danych. Możliwe są różne konfiguracje włączenia Mastera w system, co doskonale wiadać na rys. 3.

Częstotliwość zmian poziomu sygnału WS wynika z przyjętej częstotliwości taktowania przesyłania bitów  $f_{SCK}$  i długości słowa  $N$  i wynosi:

$$f_{WS} = f_{SCK} / N$$

Jak wcześniej wspomniano, długość ramki danych może być różna i zazwyczaj wynosi 16..24 bitów. Ponieważ producenci układów w bardzo szybkim tempie wprowadzają coraz to doskonalsze układy cyfrowej obróbki danych oraz coraz „gęstsze“ przetworniki, twórcy standardu I2S zaproponowali proste, a przy tym bardzo skuteczne rozwiązanie, zapewniające bezkonfliktową współpracę układów o różnej „długości“. Dzięki temu cyfrowy filtr obrabiający sygnały 24-bitowe może przygotowywać dane dla 16-bitowego przetwornika C/A i nie spowoduje to żadnych zakłóceń w odtwarzanym sygnale.

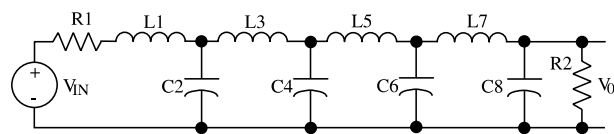
Jak to jest możliwe? W standardzie I2S dane są przesyłane w kolejności od MSB (najbardziej znaczący bit) do LSB (najmniej znaczący bit). Konstrukcja interfejsów w układach I2S jest taka, że wybierają one z przesyłanego słowa tylko taką liczbę bitów (począwszy od MSB), jaką są w stanie obsłużyć. W przypadku, gdy przesyłane jest więcej bitów niż jest w stanie układ odbiorczy odebrać nadmiarowe bity są po prostu ignorowane. Jeżeli przesyłanych



Rys. 4. Schemat blokowy układu CS4334.

bitów jest mniej, niż może obsłużyć układ odbiorczy, w miejsce najmłodszych bitów nieodebranych wstawiane są zera. Każdorazowa zmiana adresu kanału (sygnał WS) potwierdzana jest jednym taktom zegarowym, podczas którego żadne dane nie są przesyłane.

Na rys. 2 przedstawiony został przebieg charakteryzujący kompletny transfer danych dla jednej próbki dźwięku w obydwu kanałach. Trzy kolejne przebiegi przedstawiają transfery danych równie często stosowane w układach przystosowanych do pracy w systemach cyfrowego audio, noszące nazwę *LSB Justified*. Nie są one zgodne ze standardem I2S, a to ze względu na odwróconą kolejność bitów danych w ramce, brak „pustego” impulsu zegarowego po zmianie adresu kanału danych i odwrotną polaryzację sygnału selekcji kanałów WS.

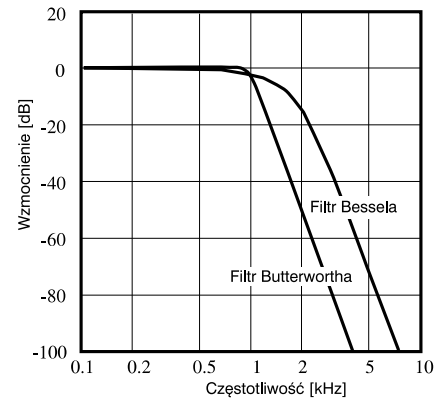


Rys. 5. Schemat dolnoprzepustowego filtra LC 8. rzędu.

Jak wcześniej wspomniano, sygnały I2S są generowane przez odbiornik CS8412, z którego wyjść jest sterowany przetwornik C/A, opracowany specjalnie do zastosowań audio. W projekcie zastosowano układ CS4334 firmy Crystal, który ma dwie istotne zalety: niezbyt wiele kosztuje i ma tylko 8 wyprowadzeń. W tak niewielkiej obudowie zintegrowano stereofoniczny przetwornik C/A z interfejsem I2S, obwody deemfazy i analogowe filtry dolnoprzepustowymi. Schemat blokowy układu CS4334 pokazano na rys. 4. Sygnał otrzymany po konwersji na wyjściach tego układu wymaga tylko prostej, jednostopniowej filtracji, którą można wykonać za pomocą standardowego układu całkującego.

### Filtracja nie musi być trudna

Jak wcześniej wspomniano, wzmacniacz jest wyposażony we wbudowany filtr dolnoprzepustowy o regulowanej w szerokim zakresie częstotliwości odcięcia. Na rys. 5 pokazano klasyczną budowę filtra dolnoprzepustowego wykonanego



Rys. 6. Charakterystyki amplitudowe filtrów Bessela i Butterwortha.

z elementów LC. Wykonanie takiego filtra standardowymi metodami jest bardzo trudne, zwłaszcza jeżeli jest to filtr rzędu wyższego niż pierwszy. Jak wiadomo, im wyższy rząd filtru tym większa skuteczność jego filtracji, co ma duże znaczenie dla prawidłowego odsłuchu. W związku z wrodzoną niechęcią autora do wszelkiego rodzaju cewek i dławików, w projekcie został zastosowany układ MAX7480, w którego wnętrzu zintegrowano kompletny, strojony filtr dolnoprzepustowy ósmego rzędu o charakterystyce Butterwortha. Jego maksymalna częstotliwość graniczna wynosi 2kHz, a charakterystyka przeniesienia odniesiona do podobnego filtra o charakterystyce Bessela jest widoczna na rys. 6 (dla częstotliwości granicznej 1kHz). Strojenie filtra polega na zmianie częstotliwości impulsów prostokątnych dostarczanych do wejścia zegarowego układu MAX7480. Wszystkie te atrakcje Maxim „upakował” w obudowie z 8 wyprowadzeniami.

Czy może być łatwiej?

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

Wzory płytek drukowanych w formacie PDF są dostępne w Internecie pod adresem: <http://www.ep.com.pl/?pdf/lipiec01.htm> oraz na płycie CD-EP07/2001B w katalogu PCB.