

Cyfrowy wzmacniacz audio



System audio DDFA firmy Diodes

W klasycznych rozwiązaniach wzmacniaczy audio stosowane są analogowe wzmacniacze klasy AB, a także coraz częściej impulsowe wzmacniacze klasy D. Na rynku pojawiają się jednak rozwiązania wzmacniaczy cyfrowych, czyli działających z sygnałem akustycznym występującym w postaci cyfrowej; jak PCM czy PS. W artykule opisano cyfrowy wzmacniacz audio DDFA firmy Diodes, który jakością dźwięku dorównuje najlepszym analogowym wzmacniaczom liniowym..

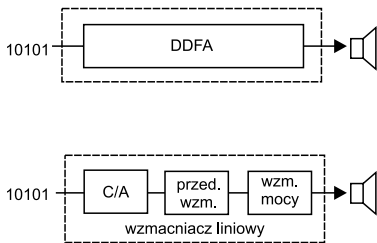
Wzmacniacze DDFA (Direct Digital Feedback Amplifier) zostały opracowane przez firmę Zetex, która niedawno stała się częścią firmy Diodes Incorporated. Wzmacniacze DDFA lub inaczej klasy Z (zobacz: *Wzmacniacze klasy A do Z, a nawet jeszcze dalej...* w EP 08/2008), wywodzą się ze wzmacniaczy klasy D, jednak w odróżnieniu od nich mają cyfrowe sterowanie tranzystorami kluczującymi MOSFET. Są to wzmacniacze cyfrowe. W przeciwieństwie do klasycznych wzmacniaczy, na

wejście podaje się sygnał cyfrowy TDM (*Time Division Multiplexing*) lub PS (wyrównanie danych do lewej lub prawej). Ze względu na pracę z sygnałem cyfrowym muszą oferować zaawansowane przetwarzanie sygnału w blokach DSP. Na **rys. 1** przedstawiono porównanie systemu DDFA i klasycznego systemu audio, zbudowanego ze wzmacniacza mocy, przedwzmacniacza oraz przetwornika C/A.

Wzmacniacz, a właściwie system audio, DDFA składa się z dwóch oddzielnych proce-

sorów: ZXCZM800 i ZXCZA200 oraz obwodu wykonawczego z tranzystorami MOSFET. Pierwszy z nich (ZXCZM800) jest wielokanałowym układem łączącym modulator PWM z blokiem cyfrowego przetwarzania sygnału. Drugi (ZXCZA200) pracuje w pętli sprzężenia zwrotnego sygnału z tranzystorów mocy. Na **rys. 2** przedstawiono schemat blokowy systemu DDFA. Producent podaje, że wzmacniacze DDFA uzyskują współczynnik zniekształceń harmoniczných THD+N mniejszy od 0,004%, a zakres dynamiczny tych układów sięga 120 dB.

Pętla sprzężenia zwrotnego, z opcjonalnym filtrowaniem, przeciwdziała nasycaniu się stopni wyjściowych zbudowanych na tranzystorach MOSFET przy pracy z dużą mocą wyjściową. Zastosowanie pętli sprzężenia zwrotnego umożliwia również zasilanie układu zarówno ze stabilizowanego, jak i niestabilizowanego źródła napięcia (współczynnik PSRR wynosi 80 dB).

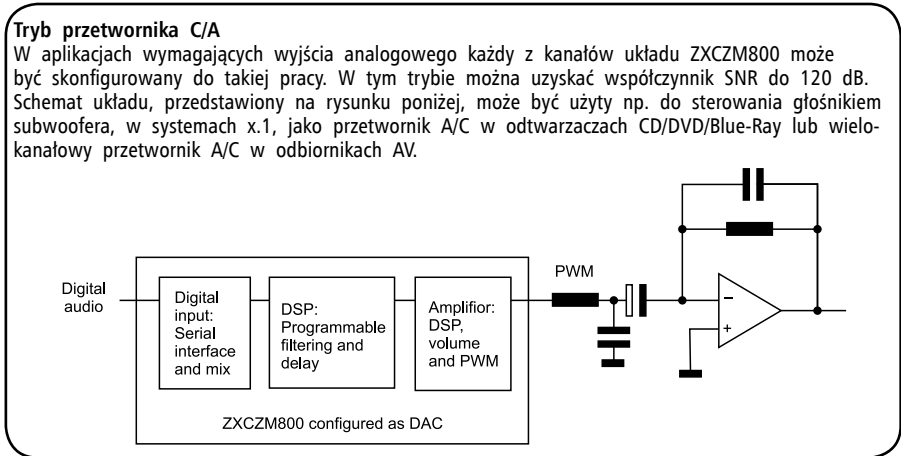


Rys. 1. Porównanie „standardowego” systemu audio i DDFA

ZXCZM800 z bliska

Wszechstronność systemu DDFA i wzmacnianie sygnałów cyfrowych zapewnia układ ZXCZM800, dlatego warto mu się bliżej przyjrzeć. Zawiera on cztery dwukanałowe ścieżki sygnałowe. W każdej ścieżce jest cyfrowy stopień wejściowy, blok DSP odpowiedzialny za programowe filtrowanie i opóźnianie danych oraz wzmacniacz z modulatorem PWM. Schemat blokowy układu ZXCZM800 przedstawiono na rys. 3.

Układ ma cztery niezależne interfejsy szeregowo dla sygnałów audio I²S lub TDM o rozdzielczości do 32 bitów. Każde wejście, skonfigurowane jako TDM, może odbierać do



8 kanałów audio, dzięki czemu maksymalna do uzyskania liczba kanałów w tej konfiguracji wynosi 32. Wejścia mogą pracować niezależnie z częstotliwością próbkowania 32...192 kHz. Dane z dowolnego wejścia audio mogą być ponadto przekazane na dowolne wejście układu DSP z innego kanału. Możliwe jest również przekazywanie dźwięku w trybie *multicast*, czyli z jednego do wielu kanałów. Dane z kanałów o tej samej czę-

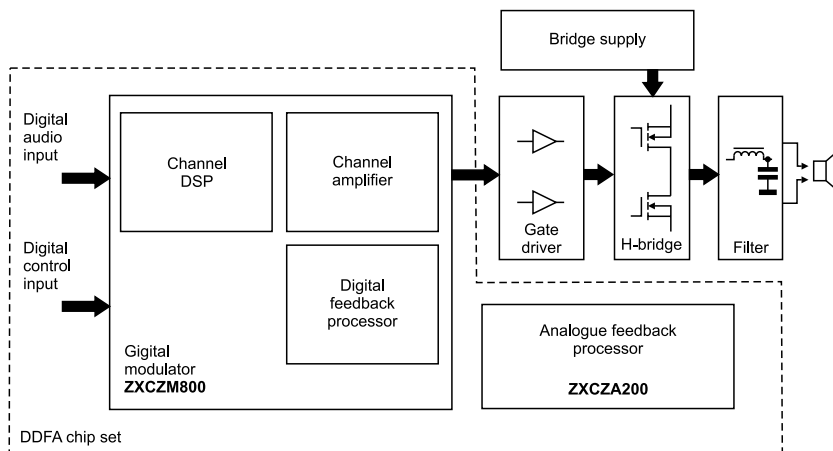
stotliwości próbkowania mogą być mieszane przed przekazaniem do bloku DSP.

Bloki DSP umożliwiają użycie filtrów cyfrowych bikwadratowych o wysokiej rozdzielczości, których parametry mogą być ustawiane przez użytkownika. Rozdzielczość przetwarzania DSP wynosi 35 bitów, współczynniki są 24-bitowe, a akumulatory 63-bitowe. Każdy kanał zawiera 14 filtrów bikwadratowych (*biquad filter*) zgrupowanych w 3 sekcje. Kolejne sekcje przeznaczone są do: aktywnej zwrotnicy, parametrycznego kształtowania charakterystyki częstotliwościowej equalizera oraz kompensacji impedancji. Jest to jednak tylko sugestia producenta, gdyż o przeznaczeniu każdego z filtrów użytkownik może dowolnie decydować. Każda sekcja w kanale może być ominięta, dzięki czemu uzyskuje się płaską odpowiedź danej sekcji bez potrzeby kasowania wartości współczynników filtrów bikwadratowych.

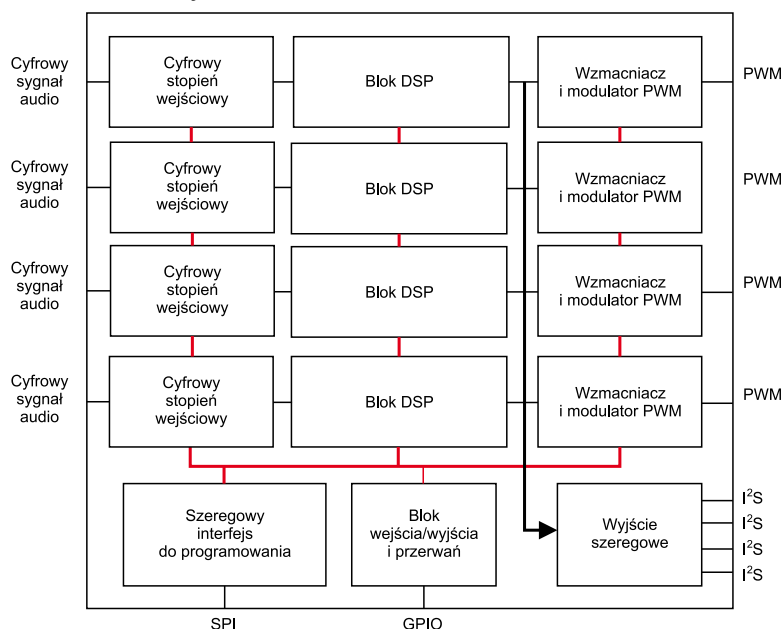
Każdy filtr wymaga podania pięciu współczynników. Współczynniki te mogą być wyznaczone w programie demonstracyjnym dołączonym do projektu referencyjnego DDFA lub w dowolnym oprogramowaniu do projektowania filtrów cyfrowych. Przy zmianie parametrów filtrów, wartości aktualizowanych współczynników są przejściowo zapisywane w wewnętrznej pamięci, w której oczekują na właściwy moment ich użycia. Zapobiega to możliwości niestabilnej pracy filtru przy częściowej aktualizacji współczynników. ZXCZM800 jest konfigurowany za pośrednictwem interfejsu SPI. Możliwe jest sprawdzenie poprawności zapisu danych za pomocą sumy kontrolnej CRC.

Sygnal w każdym kanale może być opóźniony maksymalnie o 1 ms (z dużą rozdzielczością). Opóźnienie sygnału w kanale może być użyte np. do wyrównania w czasie sygnałów podawanych na głośniki.

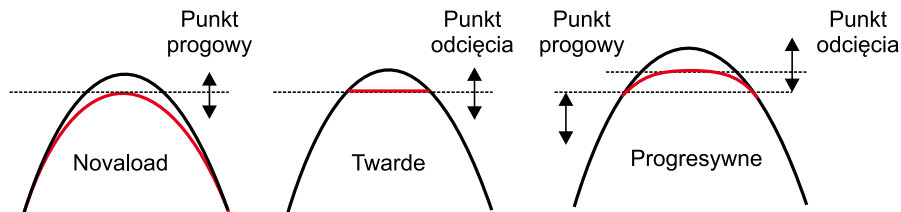
Kontrola głośności jest przeprowadzana w ostatnim stopniu, co ma zapewnić przetwarzanie danych z możliwie maksymalną rozdzielczością przed wzmocnieniem sygnału. Wzmocnienie każdego kanału może być ustawiane niezależnie, z jednakowym lub niejednakowym przesunięciem pomiędzy



Rys. 2. Schemat blokowy wzmacniacza DDFA



Rys. 3. Schemat blokowy układu ZXCZM800



Rys. 4. Idea działania algorytmu Novaload

kanalami. Poziom głośności jest ustawiany w zakresie -91...36 dB z krokiem 0,5 dB.

W przypadku, gdy poziom sygnału wyjściowego przekracza dopuszczalne napięcie wyjściowe, układ zapewnia jego ograniczanie. Użytkownik może ustawić wartość napięcia progowego, przy którym będzie następowało twarde lub miękkie ograniczanie poziomu sygnału. Układy DDFA mają wbudowany mechanizm dynamicznej kompresji poziomu napięcia Novaload. Może być on użyty do łagodnego unikania efektu odcięcia lub w celu ustawienia cichego odsłuchu, np. przy słuchaniu muzyki w nocy. Na rys. 4 przedstawiono ideę działania algorytmu Novaload w porównaniu do twardego i miękkiego odcinania.

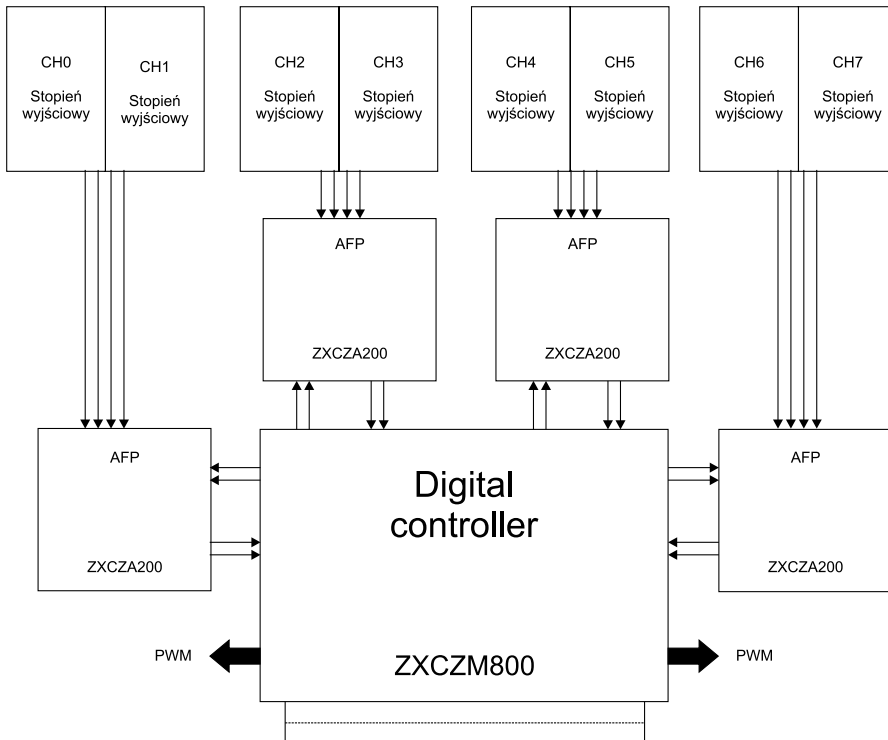
Układy DDFA mają również obwody ochronne, m.in. przeciwzwarciowe. Przekroczenie dopuszczalnego natężenia prądu powoduje wyłączenie odpowiedniego wyjścia, a także możliwe jest zgłoszenie tego zdarzenia sygnałem przerywania do mikrokontrolera nadzorującego pracę układu DDFA.

Dostęp do rejestrów układu umożliwia odczytanie informacji o wystąpieniu zdarzeń systemowych, jak: przekroczenie zakresu mocy lub natężenia prądu, zwarcie w obwodzie wyjściowym czy uaktywnienie algorytmu obcinania sygnału (Novaload). Poprzez rejestry możliwe jest również odczytywanie aktualnych parametrów pracy układu, takich jak konduktancja obciążenia lub moc wyjściowa.

Układ ma 8 końcówek, które mogą być użyte jako wejścia/wyjścia ogólnego przeznaczenia, oraz 4 wyjścia I²S, po jednym dla każdej pary kanałów.

Przykładowa aplikacja

Na rys. 5 przedstawiono przykładową aplikację wzmacniacza DDFA. Jest to 8-ka-



Rys. 5. Przykładowy schemat aplikacyjny wzmacniacza DDFA

nałowy wzmacniacz typu *single-ended*, który może być zastosowany w systemie nagłośnienia kina domowego. Złożony jest z jednego układu ZXCZM800 i czterech procesorów sprzężenia zwrotnego ZXCZA200. Dzięki takiej konfiguracji oraz stopniom wyjściowym typu *single-ended* możliwe jest uzyskanie mocy 150 W w każdym kanale (na obciążeniu 8 Ω).

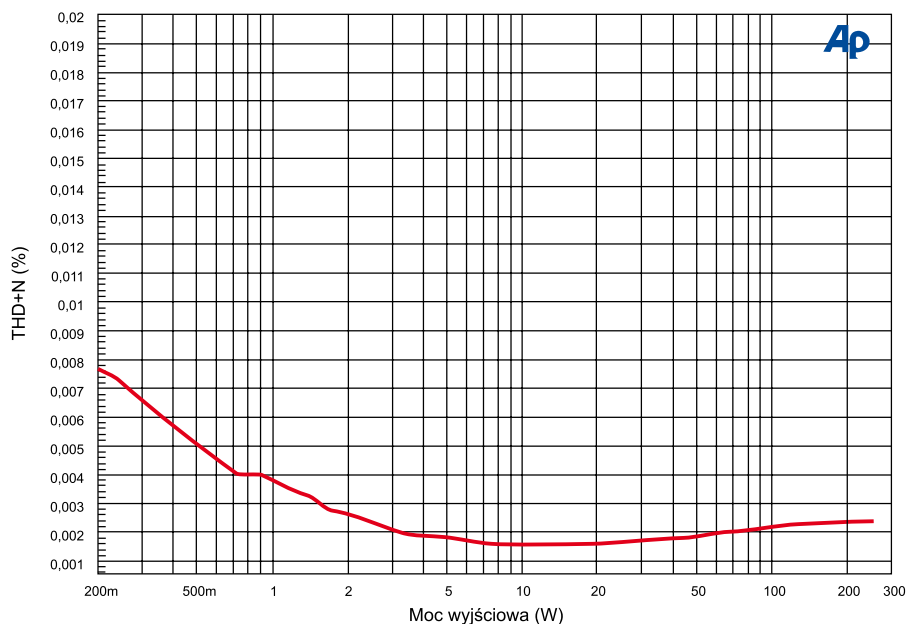
Dzięki kombinacji układów ZXCZM800 i ZXCZA200 można budować dowolne systemy audio, od prostych z dwoma głośnikami do 16-głośnikowych. W tab. 1 zestawiono wymagania na liczbę układów DDFA

w zależności od liczby kanałów audio dla pojedynczych i połączonych mostkowo (BTL) stopni wyjściowych. W zależności od parametrów stopni wyjściowych, można uzyskać moc wyjściową do 500 W na obciążeniu 8 Ω.

Parametry i podsumowanie

Według zapewnień producenta, wzmacniacze DDFA oferują jakość dźwięku porównywalną z jakością najlepszych wzmacniaczy liniowych. Wzmacniacze mają zakres dynamiczny 118 dB dla pojedynczych stopni wyjściowych i 121 dB dla stopni BTL. Znie-

Konfiguracja kanałów	Tab. 1 Liczba potrzebnych układów DDFA w zależności od konfiguracji kanałów audio			
	Pojedynczy (Single ended)		Układ mostkowy (Bridged)	
	ZXCZM800	ZXCZA200	ZXCZM800	ZXCZA200
2	1	1	1	2
2.1	1	2	1	3
4	1	2	1	4
5.1	1	3	2	6
7.1	1	4	2	8
8	1	4	2	8
10.2	2	6	3	12
12	2	6	3	12
16	2	8	4	16



Rys. 6. Wykres wartości współczynnika zniekształceń harmoniczných w funkcji mocy wyjściowej

kształcenia nieliniowe wprowadzane przez te wzmacniacze są mniejsze od 0,004%. Na rys. 6 przedstawiono wykres współczynnika zniekształceń w funkcji mocy wyjściowej. Izolacja kanałów jest większą od 90 dB przy 1 kHz (86 dB przy 10 kHz).

Interesująca jest możliwość cyfrowego przetwarzania sygnału w takim wzmacniaczu. Oprócz bardzo dobrych parametrów i możliwości DSP, układy te umożliwiają budowę praktycznie dowolnych systemów audio.

Co prawda, wśród analogowych wzmacniaczy audio dominują jeszcze liniowe wzmacniacze klasy AB, ale coraz częściej są stosowane układy impulsowe w klasie D. Wzmacniacze cyfrowe, takie jak opisywane w artykule DDFA, które wprowadzają do klasy D cyfrowe przetwarzanie sygnału, z pewnością będą występowały coraz częściej w profesjonalnych wzmacniaczach audio.

Maciej Gołaszewski, EP
maciej.golaszewski@ep.com.pl

R E K L A M A

Zdalny jednokanałowy włącznik radiowy AVT1520

Idealne uzupełnienie lampki nocnej

- układ wykorzystuje gotowe, zestrojone moduły nadajnika/odbioru 433MHz
- zasięg transmisji: około 50m (w terenie otwartym)
- kontrola napięcia zasilającego nadajnik
- sygnalizacja stanu nadajnika: dwukolorowa dioda LED
- układ wykonawczy odbioru: przekaźnik
- sygnalizacja stanu odbioru: dwukolorowa dioda LED
- możliwość pracy odbioru, jako przekaźnika czasowego lub bistabilnego
- zasilanie nadajnika: 12VDC (bateria)
- zasilanie odbioru: 230VAC lub 12VDC

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