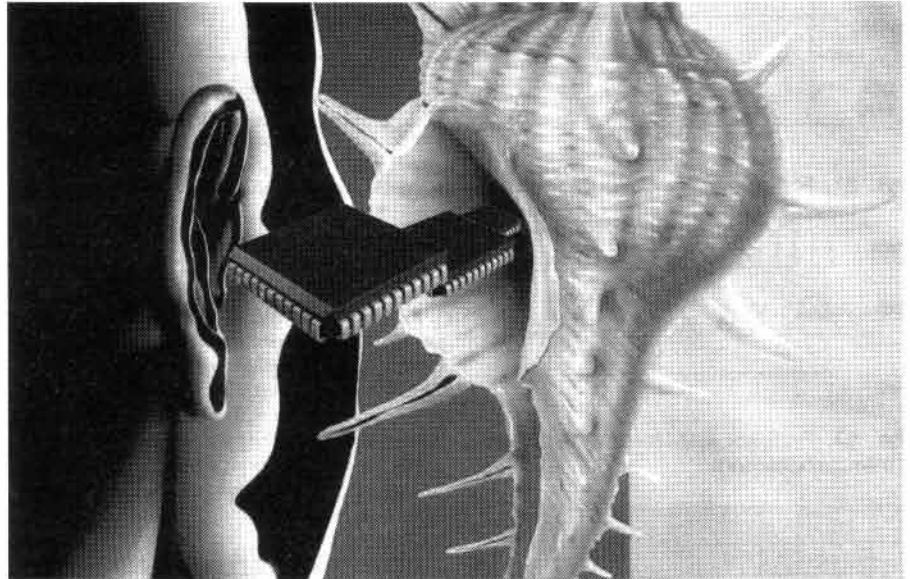


Magiczne kości

Część 7. Chipy dla cyfrowej techniki audio: regulatory poziomu i kompresory dynamiki.



Po przedstawieniu w poprzednich artykułach cyklu układów interfejsowych dla standardu IEC958 przechodzimy do omówienia układów do przetwarzania danych audio.

Regulatory poziomu

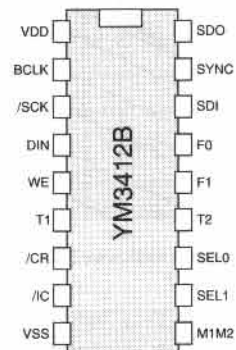
Najprostszą formą przetwarzania informacji audio jest zmiana poziomu. Obniżanie poziomu - niezależnie od tego, czy na drodze analogowej, czy cyfrowej - prowadzi zawsze do zmniejszenia się stosunku sygnału do szumu. Uzasadnione jest to tym, że gdy maleje amplituda sygnału użytecznego, to amplituda sygnału zakłócającego (w przypadku techniki cyfrowej są to szumy kwantowania) pozostaje bez zmian.

Zmianę poziomu można najprościej zrealizować przez arytmetyczne przesuwanie w lewo/prawo słowa danych (a właściwie jego uzupełnienia do dwóch). Takiemu przesunięciu - o jedną pozycję - odpowiada czynnik 2 czyli 6dB, zatem pod względem rozdzielczości jest to stanowczo zbyt mało, aby mogło stanowić przydatne rozwiązanie. Jeśli zatem chcemy poprawić zdolność rozdzielczą operacji zmiany poziomu, zamiast przesuwania o bit musimy zastosować operację mnożenia stałoprzecinkowego. Przez wybór mnożników można uzyskać charakterystykę liniową lub logarytmiczną, przy czym ta ostatnia najlepiej odpowiada fizjologicznym własnościom ludzkiego ucha.

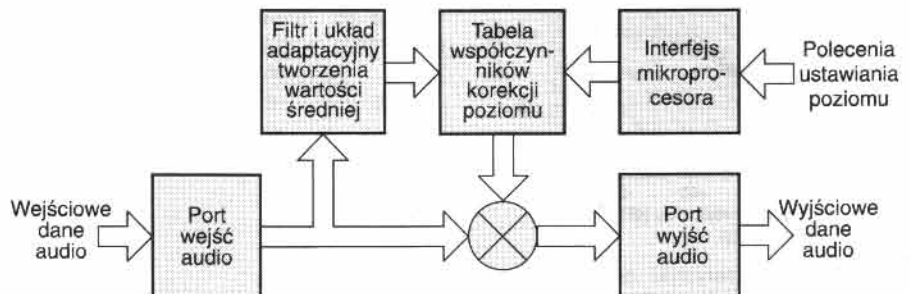
Z regulacją poziomu jest związane zagadnienie kompresji dynamicznej. Jest ona pożądana wszędzie tam, gdzie duży zakres dynamiki cyfrowego źródła sygn-

łu jest mankamentem - np. przy przegrywaniu płyty CD na analogową kasetę.

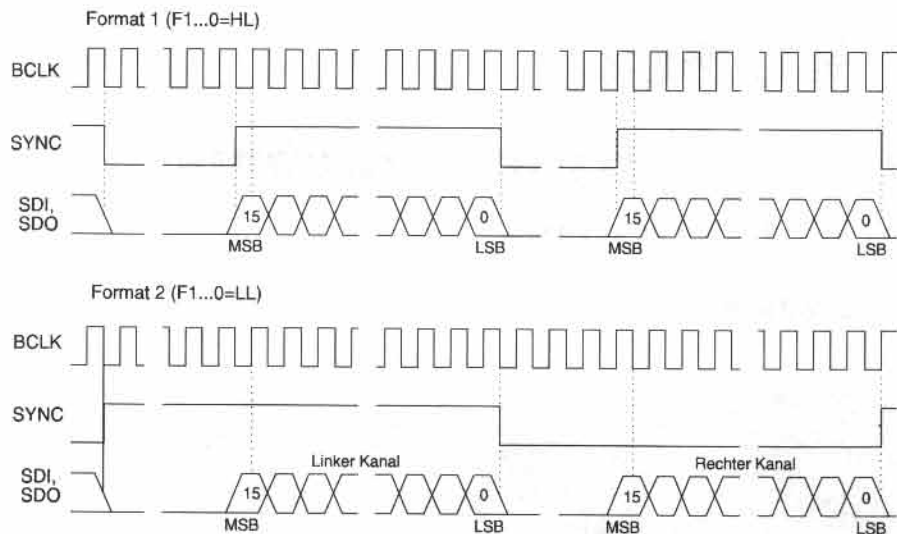
Podobnie jak w technice analogowej, cyfrowa kompresja dynamiki jest związana z wyznaczaniem zmiennych w czasie współczynników korekcji poziomu na podstawie wartości chwilowego poziomu. Aby to osiągnąć, wyznacza się wartość średnią ze stałej (lub zmiennej) ilości próbek sygnału wejściowego; można też korzystać nie z sygnału oryginalnego, lecz już przefiltrowanego. Układ realizujący tworzenie wartości średniej daje się w technice cyfrowej skonstruować w bardzo wyrafinowany sposób, co umożliwia znacznie lepszą reakcję przy gwałtownych zmianach poziomu. Realizacja cyfrowa uniemożliwia powstawa-



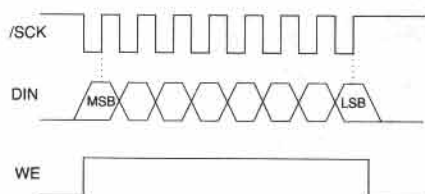
Rys. 50. Rozmieszczenie wyprowadzeń układu YM3412B



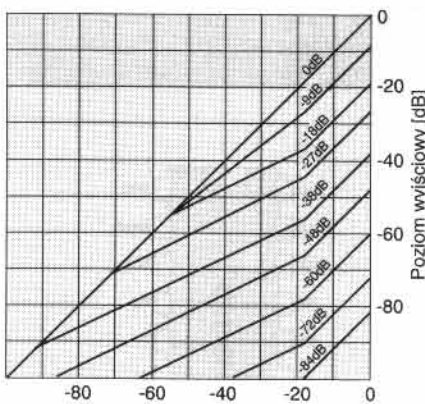
Rys. 49. Schemat blokowy układu YM3412B



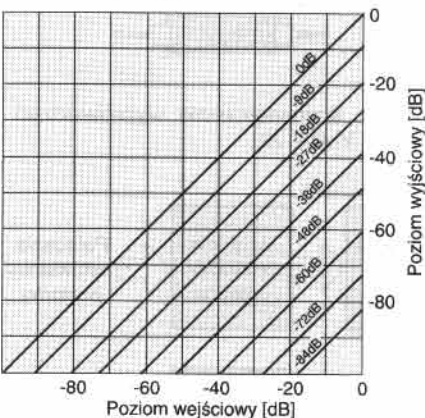
Rys. 51. Formaty danych audio akceptowanych przez YM3412B



Rys. 53. Protokół współpracy YM3412B z mikroprocesorem



(a) z kompresją



(b) bez kompresji

Rys. 54. Charakterystyki amplitudowe YM3412B przy pracy w trybie nastawnika poziomu, z opcjonalną funkcją kompresji dynamiki

nie szumów, ponieważ wyeliminowany jest niekontrolowany wzrost niskich poziomów.

Ponieważ w sygnale cyfrowym nie mogą wystąpić nieoczekiwanie duże, szpiłkowe skoki poziomu (poziom pełnego wysterowania jest dokładnie znany), to przy cyfrowej kompresji dynamiki można zrezygnować z wpływania na wysoko-poziomowe składowe sygnału - dzięki temu unikamy efektu „sprasowania” obrazu dźwięku.

YM3412B

Układ YM3412B Yamahy jest kompresorem dynamiki, który może być użyty również jako nastawnik poziomu. Jest on dostępny w 18-końcówkowej obudowie DIL. Jego schemat blokowy ilustruje rysunek 49, zaś wyprowadzenia końcówek rysunek 50.

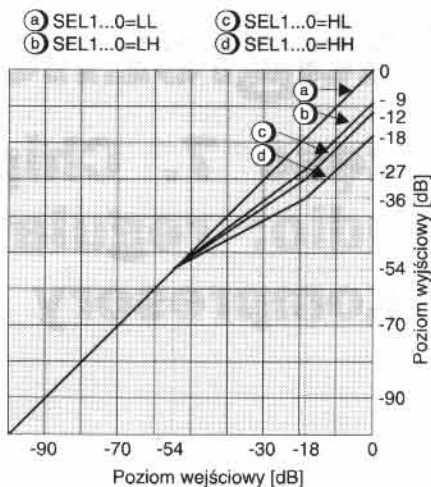
Szeregowe wejście i wyjście danych audio jest realizowane przez trójprzewodowe porty, odpowiednio SDI i SDO. Takt bitów (BCLK) i takt słów (SYNC) są wspólne dla obu portów. Ilość cykli BCLK musi zawierać się w przedziale 24...32. YM3412B akceptuje wyłącznie 16-bitowe dane audio.

W zależności od częstotliwości próbkowania sygnału wejściowego (a więc i częstotliwości taktu bitów) dane audio muszą występować w jednym z dwóch formatów (rysunek 51), który można wybrać przy pomocy końcówek F0 i F1. W zasadzie interesującym jest tylko Fo-

Tabela 16. Słowo sterujące poziomem w YM3412B

Bit	Waga bitu (dB)
0 (LSB)	-0,375
1	-0,75
2	-1,5
3	-3
4	-6
5	-12
6	-24
7 (MSB)	-48

Wszystkie bity = H - wyjście wyciszone



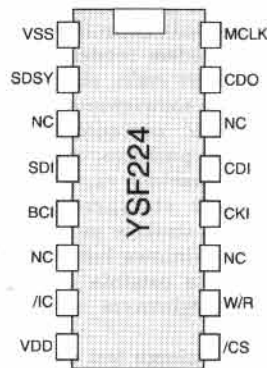
Rys. 52. Charakterystyki amplitudowe YM3412B przy pracy w trybie kompresora dynamiki

format 2, ponieważ pokrywa zakres częstotliwości próbkowania od 32 do 48kHz. Format 1 przewidziany jest dla zakresu od 64 do 96kHz, a ponadto nie rozróżnia kanału lewego od prawego.

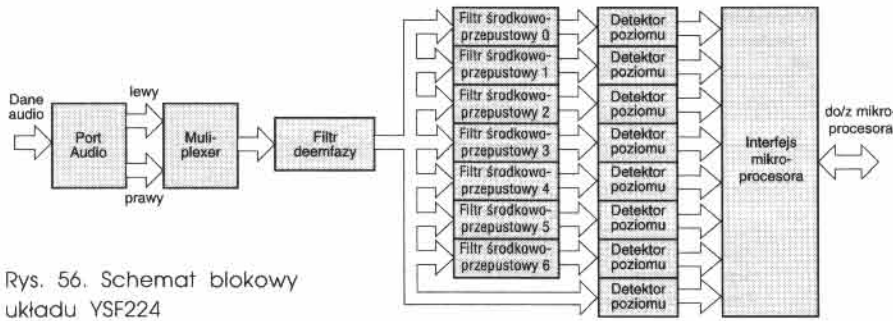
Wszystkie wyprowadzenia YM3412B (z wyjątkiem portów audio i interfejsu z mikroprocesorem) są wyposażone w wewnętrzne rezystory podciągające.

YM3412B może pracować w jednym z dwóch trybów - wyboru trybu pracy dokonuje się przy pomocy końcówki M1M2. Gdy końcówka M1M2 pozostaje niepodłączona lub ma wysoki poziom logiczny, układ pracuje wyłącznie jako kompresor dynamiki. Możliwe są wtedy trzy charakterystyki kompresji (rysunek 52) - wyboru dokonuje się przy pomocy końcówek SEL0 i SEL1. Można wtedy zrezygnować ze sterowania przez mikroprocesor. Kompresja dynamiki zachodzi w przedziale od -54...-18dB. Aby nie wzmacniać szumów pochodzących od źródła, sygnały o bardzo niskim poziomie nie są „podbijane”.

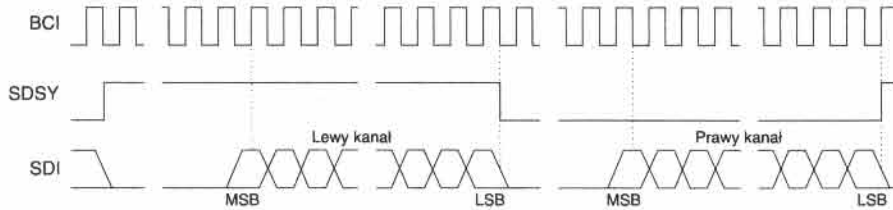
Dopóki nie ma sygnału wejściowego, można odłączyć detektor poziomu przez ustawienie niskiego poziomu logicznego na końcówce CR. Poprawia to dynamiczne własności układu. Gdy końcówka M1M2 jest w stanie niskim, układ



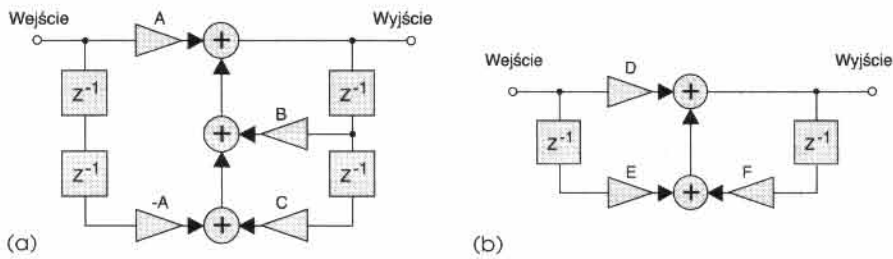
Rys. 55. Rozmieszczenie wyprowadzeń układu YSF224



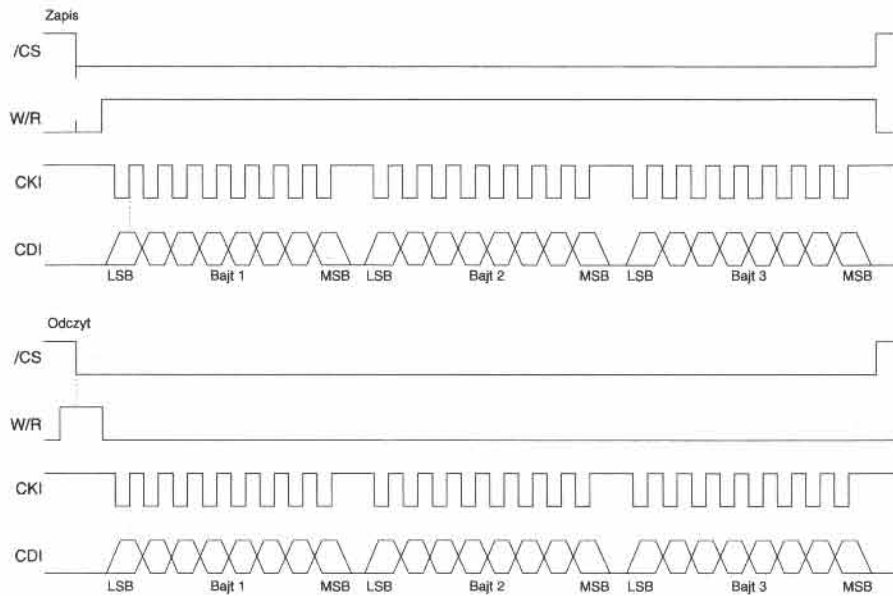
Rys. 56. Schemat blokowy układu YSF224



Rys. 57. Format danych audio akceptowanych przez YSF224



Rys. 58. Struktury filtrów zastosowanych w YSF224: (a) Filtr środkowo-przepustowy, (b) Filtr deefazy



Rys. 59. Protokół współpracy YSF224 z mikroprocesorem

YM3412B pracuje jako ustawnik poziomu i kompresor. Jest on wtedy sterowany przez mikroprocesor, z którym współpracuje poprzez łącze szeregowe (linia danych - DIN, taktowanie - SCK, linia wpisu - WE). Dane są słowami 8-bitowymi i umożliwiają ustawianie poziomu w przedziale 0dB...-95,625dB z rozdzielczością 0,375dB. Wagę poszczególnych bitów słowa sterującego podaje tabela 16,

zaś protokół komunikacji ilustruje rysunek 53.

Jak wynika z rysunku 54, przy pomocy końcówek SEL0 i SEL1 można określić, czy nastawianiu poziomu będzie czy nie będzie towarzyszyć kompresja. Jeśli co najmniej jedna końcówka jest w stanie wysokim, będziemy mieli do czynienia z charakterystyką kompresji zależną od poziomu sygnału wejściowego i wybra-

Tabela 17. Częstotliwości taktu bitów dla YSF224 jako wielokrotność częstotliwości próbkowania

MCLK	BCI
384	32, 48, 64, 96, 128 lub 192
256	32, 64 lub 96

nego tłumienia. W wypadku przeciwnym (SEL0 i SEL1 na poziomie niskim) kompresja nie zachodzi. Należy wspomnieć, że YM3412B wymaga podania sygnału Power-on-Reset (poziom niski na końcówce IC) oraz że końcówki T1 i T2 służą do celów testowych i normalnie pozostają niepodłączone.

Analizatory widma

Pod tym nieco przesadnym określeniem rozumie się w elektronice audio wszystkie te układy, które rozkładają widmo częstotliwości sygnałów audio na mniej lub więcej pasm cząstkowych i pozwalają na określenie ich poziomów.

YSF224

Układ YSF224 firmy Yamaha jest właśnie takim analizatorem widma. Jest on dostarczany w 16-końcówkowej obudowie DIP lub SO - rysunek 55. Jak to ilustruje jego schemat blokowy (rysunek 56) YSF224 rozdziela pasmo akustyczne przy pomocy 7 równoległe połączonych cyfrowych filtrów pasmowych, których charakterystyki częstotliwościowe można zmieniać. Do wyjścia każdego z filtrów dołączony jest detektor poziomu. Istnieje też detektor poziomu dla sygnału jeszcze nie rozseparowanego przez filtry. Detektory poziomu mają rozdzielczość 3dB i dysponują układami Sample-and-hold o nastawialnej stałej czasowej.

Filtry pasmowe poprzedza filtry deefazy, którego zadaniem jest wyeliminowanie zafałszowań poziomów związanych z ewentualną emfazą sygnału wejściowego. YSF224 nie jest w stanie samodzielnie rozpoznać faktu istnienia emfazy, dlatego filtr deefazy musi być załączany w zależności od potrzeby. Filtr deefazy jest tak zaprogramowany, że dla sygnału wejściowego bez emfazy ma płaską charakterystykę częstotliwościową.

Pomiędzy port wejściowy audio a filtr deefazy włączony jest multiplexer, który umożliwia analizę pojedynczego kanału stereo lub sumy obu kanałów. Wszystkie funkcje układu są sterowane przez łącze szeregowe dla mikroprocesora - przy jego udziale odczytuje się także wyznaczone poziomy pasm.

Dane audio wchodzi przez trójprzewodowy port, na który składają się sygnał danych SDI, takt bitów BCI i takt słów SDSY. Format danych pokazuje rysunek 57. Szerokość słowa może wynosić 16, 18, 20 lub 24 bity, jednak do przetwarzania wykorzystuje się tylko 16 najbardziej znaczących bitów. Takty bitów i słów muszą być zsynchronizowane z sygnałem Master-Clock, doprowadzonym do końcówki MCLK i posiadającym częstotliwość będącą 384- lub 256-krotnością częstotliwości próbkowania. W zależności od częstotliwości sygnału Master-Clock, takt bitów może przyjmować wa-

rości podane w tabeli 17.

Filtry pasmowe zastosowane w YSF224 są filtrami drugiego rzędu i mają strukturę pokazaną narysunku 58a. Filtr deemfazy jest filtrem pierwszego rzędu o strukturze zilustrowanej narysunku 58b. Wszystkimi współczynnikami filtrów można nadawać wartości z przedziału -1...+1, przy czym ich wartość opisuje słowo 18-bitowe. Dzięki temu uzyskuje się tak dużą elastyczność że możliwa jest realizacja filtrów również o charakterystyce dolno- lub górnoprzepustowej oraz możliwy jest podział pasma akustycznego przez wiele YSF224. Współczynniki filtrów zależą od częstotliwości próbkowania sygnału wejściowego; dobór współczynników jest opisany w literaturze uzupełniającej.

Komunikacja YSF224 z mikroprocesorem jest realizowana przez linię danych wejściowych CDI, linię danych wyjściowych CDO, linię zegara CKI, linię wpisu/czytania W/R oraz linię Chip-Select CS. Protokół komunikacji ilustruje rysunek 59. Ilość bajtów przypadających na jedną operację dostępu zależy od charakteru przesyłanych informacji. Operacje wpisu spełniają funkcje zależne od wartości dwóch najbardziej znaczących bitów pierwszego bajtu. Operacje czytania nie posiadają tej własności. Gdy układ nie został wybrany (CS=H) to linia wyjścia danych CDO jest w stanie wysokiej impedancji dzięki czemu wiele układów YSF224 może współpracować z tą samą linią.

Zanim zostaną zczytane wartości poziomów, muszą zostać załadowane wartości współczynników dla filtrów. Wymaga to szeregu operacji wpisu - patrz rysunek 60. Z operacji tych można zrezygnować, gdy zadowolimy się czytaniem poziomu dla całego pasma, nie podzielonego na linie spektralne. W każdym wypadku konieczne jest zadeklarowanie parametrów portu audio - dla określenia trybu pracy (rysunek 61). Operacją tą określa się m.in., który z obu kanałów audio ma być analizowany. Ostatnią operacją wstępną jest podanie wartości stałej czasowej wspólnej dla wszystkich układów Sample-Hold. Podobnie, jak w analogowym odpowiedniku, tak i w tym układzie zapamiętana wartość maksymalna stopniowo zanika. Stałą czasową określa czas, który upływa do momentu zmniejszenia się tej wartości o 6dB. Ponieważ stała czasowa związana jest z częstotliwością Master-Clock, to musi być - przy zmianie częstotliwości próbkowania - odpowiednio dopasowana. Jeśli stała czasowa będzie równa nieskończoności, to wskazywana wartość maksymalnego poziomu nie będzie maleć i musi być świadomie kasowana.

Po opisanych wyżej zabiegach możemy odczytać wartości poziomów. W tym celu operacją wpisu określamy, który detektor poziomu chcemy zczytać. Odczyt podaje wartość szczytową. Przy wyborze konkretnego detektora mamy możliwość zdecydowania o tym, czy będzie czytany ciągle ten sam, czy też każdemu czytaniu będzie towarzyszyć przełączenie na kolejny - wtedy po osiągnięciu ostatniego detektora operacja zacznie się cyklicznie

Wpis współczynników								
Operacja 4-bajtowa								
	Bit 7							Bit 0
Bajt 1	1	1						
Bajt 2	D1	D0						
Bajt 3	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2
Bajt 4	D17	D16	D15	D14	D13	D12	D11	D10
Nazwa	Funkcja			L				H
R4..0	Adres współcz.			patrz niżej				
EN0	Zgoda na przetwarzanie			nie				tak
D17..0	Wartość współcz.			uzupełnienie do 2 pomiędzy -1 i 1				
Adresy współczynników filtrów								
Adres	Kanał filtra	Współczynnik			Adres	Kanał filtra	Współczynnik	
00H	0	A			10H	4	A	
01H	0	B			11H	4	B	
02H	0	C			12H	4	C	
04H	1	A			14H	5	A	
05H	1	B			15H	5	B	
06H	1	C			16H	5	C	
08H	2	A			18H	6	A	
09H	2	B			19H	6	B	
0AH	2	C			1AH	6	C	
0CH	3	A			1CH	deemf.	D	
0DH	3	B			1DH	deemf.	E	
0EH	3	C			1EH	deemf.	F	

Rys. 60. Wpis współczynników filtrów do YSF224

Wpis trybu pracy. Wpis 1-bajtowy										
Bajt 1	0	0	R	L	FS1	FS0	2/3	ENT		
Nazwa	Funkcja			L				H	HL	HH
EN1	zgoda na przetwarzanie			nie				tak	—	—
2/3	częstotliwość Master-Clock			384				256	—	—
FS1..0	Szerokość słowa			16b				18b	20b	24b
R, L	Wybór Kanału			zaden				lewy	prawy	suma
Ustawienia dotyczące danych wyjściowych. Wpis 1-bajtowy										
Bajt 1	0	1	TEST	LRS	OM	D2	D1	D0		
Nazwa	Funkcja			L				H		
D2..0	Wybór detekt. poziomu			0..6						
OM	Tryb czytania poziomu			7 - dla całego pasma				cyklicznie wszystkich		
LRS	Flaga kasowania			wybranego defekt.				z zerowaniem Peak-Hold		
Test	Flaga testowania			bez kasowania				normalnie L		
Ustawienie stałych czasowych. Wpis 1-bajtowy										
Bajt 1	1	0	TEST	D4	D3	D2	D1	D0		
Nazwa	Funkcja			L				H		
D4..0	Stała czasu: Czas Peak-Hold = D4..0 · $\frac{1024}{\text{częstotliwość próbkowania}}$									
Uwaga:	D4..0=L odpowiada stałej czasowej = nieskończoność, co wymaga kasowania przy pomocy LRS									
Test	Flaga testowania - normalnie stan niski									
Odczyt wartości poziomu. Odczyt 1-bajtowy										
Bajt 1	0	0	0	L4	L3	L2	L1	L0		
Nazwa	Funkcja			L				H		
L4..0	Wartość poziomu wybranego kanału									
	Poziom w dB = 48-L4 - 24-L3 - 12-L2 - 6-L1 - 3-L0									

Rys. 61. Zadawanie parametrów i czytanie poziomów dla YSF224

powtarzać. Istnieje możliwość takiego zaprogramowania czytania poziomów, że wszystkie wartości zostaną wyzerowane.

Dla uzyskania normalnej pracy układu wszystkie bity określające dostęp muszą się znaleźć w stanie wysokim, a wszystkie flagi (bity) testujące w stanie niskim. Gdy mamy już z sobą analizę spektralną cyfrowego sygnału audio, możemy w następnym artykule zająć się wpływaniem na przebieg charakterystyki częstotliwościowej.

Steffen Schmid

Bibliografia

1. Dane katalogowe YM3412B, Catalog No. LSI-2134122, Yamaha Corp.
2. Dane katalogowe YSF224, Catalog No. LSI-4SF2242, Yamaha Corp.

Artykuł opublikowano na podstawie umowy z niemieckim miesięcznikiem ELRAD.