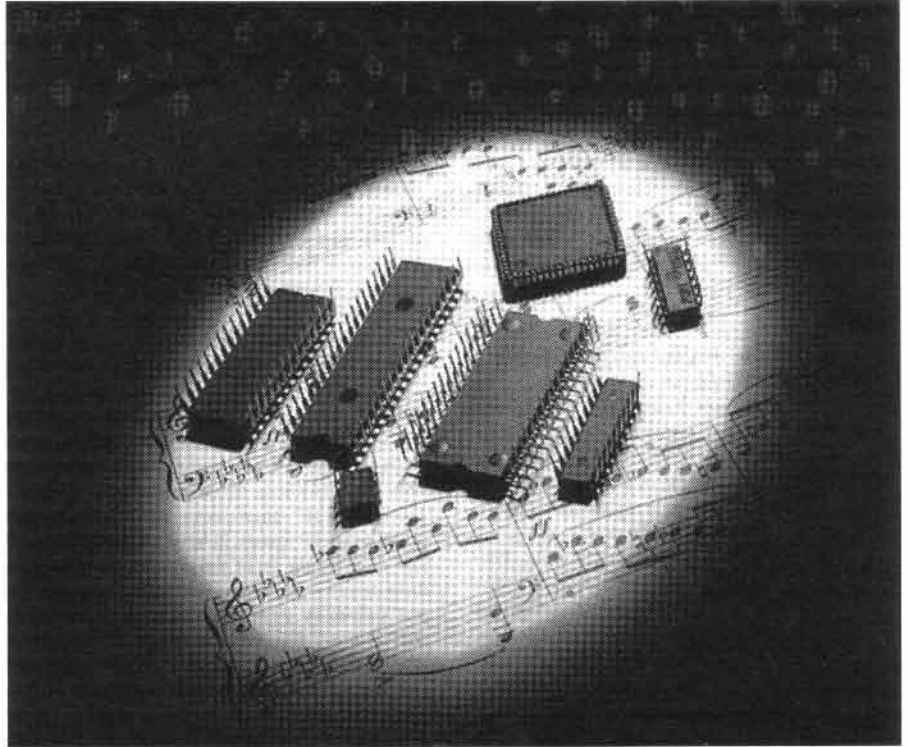


# Magiczne kości

## Część 8. Chipy dla cyfrowej techniki audio: equalizery i procesory brzmienia przestrzennego.

*Wprawdzie cyfrowa technika audio ceniona jest przede wszystkim za wierność odtwarzania, to przy jej pomocy można także - i to najskuteczniej - kształtować charakterystyki częstotliwościowe i wprowadzać różne efekty.*



Zacznijmy od cyfrowego oddziaływania na charakterystykę częstotliwościową przez equalizery graficzne lub parametryczne. Equalizery cyfrowe zazwyczaj wykorzystują rekursywne filtry cyfrowe, które w różny sposób mogą być włączane w drogę sygnału. Filtry tego typu mają zazwyczaj strukturę kanoniczną - ponieważ właśnie ona daje się zrealizować kosztem najprostszych obliczeń. Filtry rekursywne (IIR-Filtry) pierwszego i drugiego rzędu pokazano na **rysunku 62**. Obliczanie takich filtrów należy do podstawowego kanonu teorii przetwarzania sygnałów. Kolejną grupę efektów stanowi uzyskiwanie i wzmacnianie wrażeń związanych z przestrzennym charakterem pola dźwiękowego. W tym zakresie należy rozróżnić dwie sytuacje:

- uzyskiwanie sztucznej przestrzenności dźwięku z sygnałów mono lub stereo,
- rekonstrukcja rzeczywistej przestrzenności z odpowiednio przygotowanego sygnału stereo.

Do pierwszej kategorii należy poszerzenie bazy stereo wykorzystujące fakt, że sygnał każdego kanału stereo zawiera resztki informacji z drugiego kanału. Przez dodawanie do prawego kanału odwróconego w fazie i osłabionego sygnału lewego kanału i od-

wrotnie, można uzyskać (do pewnego stopnia) wrażenie poszerzenia bazy stereo.

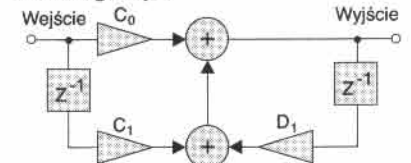
### Pogłos i echo

Jeśli komuś to nie wystarcza, ponieważ chce uzyskać z sygnału czysto monofonicznego sygnał w pełni stereo, to musi się posłużyć szeregiem efektów „opóźnieniowych”. Należą do nich symulacja przestrzeni, pogłos i echo. Wszystkie te efekty są oparte na wyrafinowanych układach z możliwością ustawiania szeregu parametrów. Realistyczne brzmienie uzyskuje się przede wszystkim przez wielokrotnie powtarzane próby, a w znacznie mniejszym stopniu przez świadomy dobór parametrów.

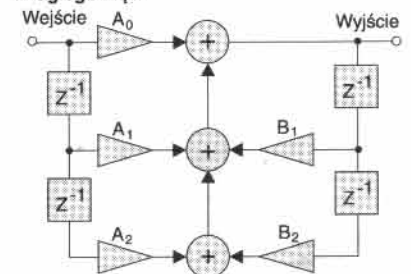
Dla symulacji brzmienia przestrzennego generuje się tzw. „early reflections” (wczesne odbicia), które składają się z różnie opóźnionych i tłumionych składowych oryginalnego sygnału. Maksymalny czas opóźnienia wynosi ok. 100ms. Dla uzyskania echa postępowanie jest podobne, ale czasy opóźnień są o rząd wielkości większe, a ilość składowych jest mniejsza. W wypadku pogłosu problem jest bardziej skomplikowany: do niewielkiej ilości „early reflections” dodaje się składowe sygnały, które przeszły przez filtr o charakterystyce impulsowej - a więc takie

sygnały, których których energia maleje wykładniczo z czasem [7]. Najlepiej, gdy odpowiedzi impulsowe dla obu kanałów różnią się od siebie - na takie stwierdzenie wyrafinowani konserwatorzy powinni odwracać się z przerażeniem.

#### Pierwszego rzędu



#### Drugiego rzędu



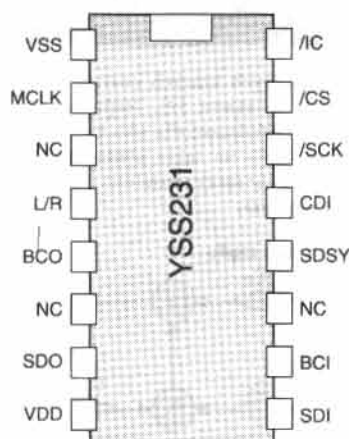
Rys. 62. Rekursywne filtry cyfrowe

## Efekty przestrzenności

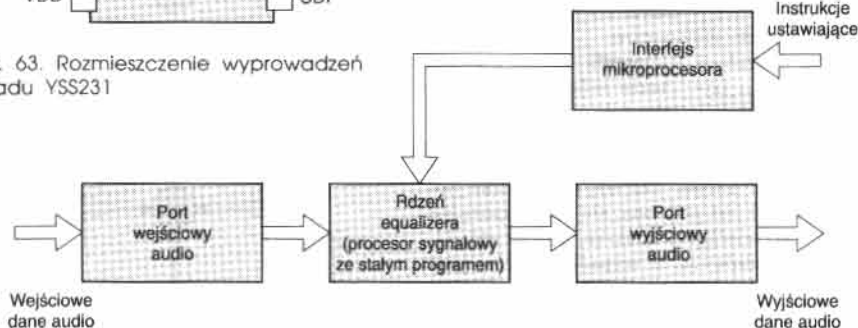
Realistyczne wrażenie przestrzenności przy dwóch kanałach daje się uzyskać tylko częściowo. Aby ten efekt wzmocnić, można z pierwotnych sygnałów stereo uzyskać - przez tworzenie sumy i różnicy połączonej z filtrowaniem i opóźnianiem - od jednego do pięciu sygnałów mono. Oprócz pogoni za efektami opisane instrumentarium oferuje możliwość wiernego odtworzenia wydarzenia dźwiękowego, które było nagrane wielokanałowo, ale dla celów transmisji zostało ograniczone do dwóch kanałów mono - związane z tym hasła to: Dolby Surround i Dolby Pro-Logic. W procedurach tych mieszanie poszczególnych kanałów realizuje się w postaci macierzy adaptacyjnej (Dolby Pro-Logic) lub macierzy biernej (Dolby Surround). Po stronie nadawczej dokonuje się odwrotnego procesu. Dla złagodzenia powstałych w tym procesie nieuniknionych strat informacji dekoderek Surround zawiera symulator przestrzenności i zmodyfikowany układ tłumienia szumów Dolby-B. Jeśli ktoś pragnie dowiedzieć się czegoś więcej na temat przestrzennego brzmienia, polecamy zapoznać się z [1].

## Karaoke

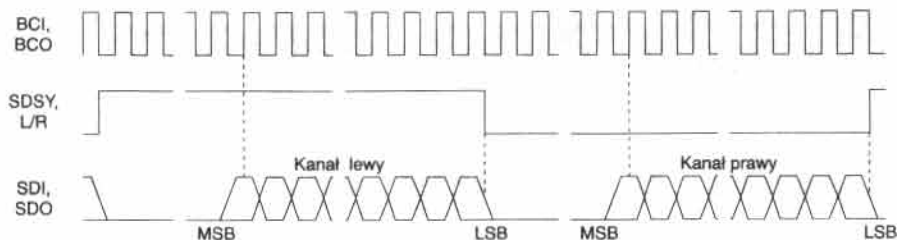
Ostatnią grupę tworzą efekty wykorzystywane w Karaoke i podobnych systemach. Należą do nich przede wszystkim wyciszanie głosu (Voice Cancelling) i zmiana wysokości tonu (Key Control, Pitch Shift). Przez wyciszanie głosu dąży się do tego, aby z sygnału stereo usunąć głos śpiewaka lub instrumentu wiodącego w sposób możliwie mało wpływający na pozostałe dźwięki. Użytkuje się to przez kombinację dwóch zabiegów: odfiltrowanie pasma częstotliwości zawierającego niepożądany sygnał i domieszanie do każdego kanału odwróconych w fazie



Rys. 63. Rozmieszczenie wyprowadzeń układu YSS231



Rys. 64. Schemat blokowy układu YSS231



Rys. 65. Format danych audio zastosowany w YSS231

składowych takiego samego sygnału z drugiego kanału (jeśli w obu kanałach występuje on w identycznym stopniu).

W wypadku Pitch Shifting widmo jednego głosu lub instrumentu może być przesuwane, w górę lub dół, krokami co ćwierć lub pół tonu.

## Equalizery

Układy scalone, spełniające funkcje equalizera, pozwalają na kształtowanie charakterystyki częstotliwościowej. Są one stosunkowo proste w użyciu i często posiadają dodatkowo możliwość nastawiania poziomu, balansu i poszerzania bazy stereo.

### YM3608

Ten układ f-my Yamaha jest pierwszą kostką przewidzianą specjalnie jako equalizer dla cyfrowej techniki audio. Pochodzi z tego samego okresu co interfejsowy odbiornik YM3623B. Jego pokrewieństwo z programowalnym procesorem sygnałowym wyraża się tym, że struktura filtru potrzebna do realizacji funkcji equalizera jest realizowana przez mikroprogram. Z tego względu YM3608 jest co prawda dość uniwersalny, ale względnie trudny w zastosowaniu - ponieważ nie jest polecany przez producenta do dalszego stosowania, nie będziemy go bliżej opisywać. Jeśli mimo to ktoś jest nim zainteresowany, dalsze informacje znajdzie w [2].

### YSS231

YSS231 jest układem drugiej generacji oferowanym przez firmę Yamaha. Jest on dostarczony w obudowie DIL lub SO; ma 16 końcówek, których rozmieszczenie wyprowadzeń zilustrowano na rysunku 63.

Struktura wewnętrzna tego układu pokazana jest na rysunku 64. Na wejściowy port audio składają się: linia danych SDI, linia taktu bitów BCI i linia taktu słów SDSY. Port wyjściowy audio stanowią: linia danych SDO, linia taktu bitów BCO i linia taktu słów L/R. Oba te porty obsługują 16- lub 18-bitowy format danych - pokazany na rysunku 65. YSS231 dopuszcza zmienną częstotliwość taktu bitów. Dane audio skorelo-

wane są ze zbroczem taktu słów. 16 względnie 18 zbroczy taktu słów poprzedzających zbrocze taktu słów wpisuje dane audio. Gdy na linii taktu bitów pojawi się, w czasie półokresu taktu słów, więcej niż wspomniana ilość zbroczy, to nie towarzyszy temu dalszy wpis danych audio. Dokładniej mówiąc, muszą być spełnione następujące warunki:

- wyjściowy takt bitów BCI może zawierać od 16 (ew. 18) do 96 zbroczy na próbkę audio jednego kanału.

- wyjściowy takt bitów BCO zawiera zawsze 32 okresy na próbkę audio jednego kanału.

- fluktuacje położenia (jitter) sygnału SDSY mogą wynosić najwyżej okres jednego taktu bitów - w przeciwnym wypadku może dojść do zaburzenia wartości współczynników.

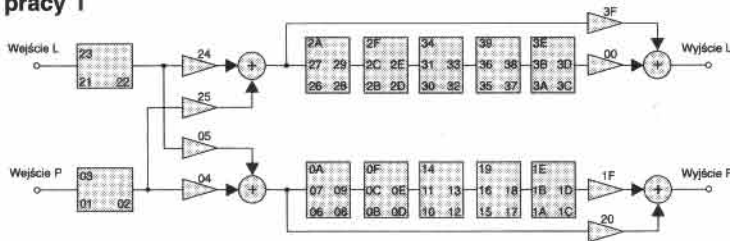
Pomiędzy portami audio znajduje się właściwy equalizer pracujący (liczący) z dokładnością od 24 do 30 bitów i sterowany przez port zewnętrznego mikroprocesora. Może on pracować w dwóch trybach (konfiguracjach). Sposoby jego oddziaływania na strumień danych audio ilustrujemy **sunek 66**. Liczby pokazane przy elementach przedstawiają heksadecymalne adresy współczynników, pod którymi są one zapisane w pamięci - ich położenie na rysunku odpowiada strukturze filtrów pokazanych na rys. 62. W YSS231 są zapisane 64 współczynniki. W trybie 1 sygnał audio przechodzi najpierw przez filtr 1 rzędu działający jako filtr deemfazy. Kolejnym elementem na drodze sygnału audio jest blok regulacji poziomu, balansu i szerokości bazy stereo. Poziom sygnał określają współczynniki 24 (dla lewego kanału) i 04 (dla prawego kanału), balans wyznacza stosunek tych współczynników. Jeśli uwzględnimy dodatkowo współczynniki 25 i 05, które determinują wzajemne oddziaływanie kanałów, możliwe jest wpływanie na szerokość bazy stereo i zamianę kanałów pomiędzy sobą.

### Equalizer

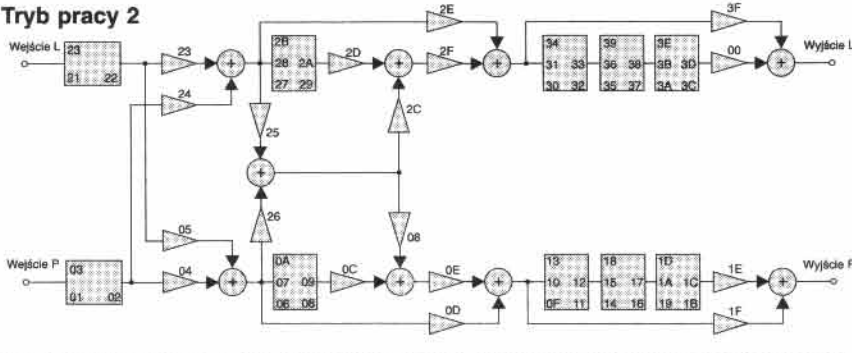
Kolejnym elementem na drodze sygnału audio jest właściwy equalizer. Składa się on z pięciu filtrów drugiego rzędu. Ponieważ wszystkim współczynnikom można nadawać dowolne wartości, equalizer można zrealizować jako graficzny lub parametryczny, a na życzenie nawet z indywidualnymi charakterystykami dla każdego kanału. Ostatnim elementem na drodze sygnału audio jest blok mieszacza. Umożliwia on mieszanie, w dowolnym stopniu, sygnałów filtrowanego i niefiltrowanego.

W trybie 2 zmienia się sposób przepływu sygnału audio. Pozostaje co prawda filtr deemfazy i nastawianie poziomu, ale potem następuje blok wyciszania głosu (Voice Ca-

**Tryb pracy 1**



**Tryb pracy 2**



Rys. 66. Tryby pracy układu YSS231

ncelling). Tworzą go filtr drugiego rzędu i pięć sumatorów - ich działanie opisuje 10 współczynników. Na dalszej drodze sygnał audio przechodzi przez filtry equalizera, któ-

re w tym trybie pracy są zredukowane do trzech filtrów drugiego rzędu. Na ostatnim etapie sygnał audio przechodzi przez taki sam blok mieszacza jak dla trybu 1.

**Wybór trybu pracy (OPR)**

**Wpis 1-bajtowy**

Bit 7	0	0	TEST	MUTE	PROG	OUT	IN	CLK	Bit 0
-------	---	---	------	------	------	-----	----	-----	-------

Nazwa	Funkcja	L	H
CLK	Częst. Master-Clock	384	256
		krotność częst. próbkowania	krotność częst. próbkowania
IN	Di. wej. słowa audio	16 bitów	18 bitów
OUT	Di. wyj. słowa audio	16 bitów	18 bitów
PROG	Tryb pracy	Tryb 1	Tryb 2
MUTE	Wyciszenie	ON	OFF
TEST	Flaga testu	Normalnie	—

**Sterowanie wyciszeniem (MUTE)**

**Wpis 1-bajtowy**

Bit 7	1	0	LVL2	LVL1	D3	D2	D1	D0	Bit 0
-------	---	---	------	------	----	----	----	----	-------

Nazwa	Funkcja	L	LH	HL	HH
LVL2,LV1	Stopień wyciszenia	-30dB	-36dB	-42dB	-48dB
D3..0	Czas do wyciszenia	$\text{Czas do wyciszenia} = D3..0 \cdot \frac{2048}{\text{częst. próbkowania}}$			

**Nastawianie współczynników (ADRS)**

**Wpis 4-bajtowy**

Bit 7	1	0	0	0	0	0	0	0	Bit 0
Bajt 1	D1	D0	A5	A4	A3	A2	A1	A0	
Bajt 2	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	
Bajt 3	D17	D16	D15	D14	D13	D12	D11	D10	

Nazwa	Funkcja
A5..0	Adres współczynnika (patrz rys. 68)
D17..0	Wartość współczynnika (przedział od -1 do +1) Format - uzupełnienie do 2

Rys. 67. Funkcje układu YSS231 (mapy bitowe)

**Interfejs**

Wszystkie nastawy realizowane są przez szeregowy interfejs z mikroprocesorem, na który składają się: linia danych CDI, linia taktująca SCK i linia wyboru CS. Protokół opisujący działanie tego interfejsu odpowiada pokrótce opisanemu wcześniej protokołowi dla analizatora widma YSF22, jeśli odrzucimy występujący tam sygnał W/R. Ponieważ interfejs YSS231 dopuszcza tylko zapis, nie należy uwzględniać sygnału Zapis/Odczyt.

Jak wynika z rysunku 67, działanie YSS231 opisują trzy funkcje, przy pomocy których realizuje się nastawianie wszystkich parametrów. Przy nastawianiu trybu pracy przesyła się jeden bajt - określa on częstotliwość taktu Master, szerokość słowa danych audio (na wejściu i wyjściu) i wyciszenie (Mute). Ta ostatnia funkcja daje możliwość wyciszenia sygnału audio całkowicie (ON) lub tylko wtedy, gdy poziom sygnału audio spadnie na dłuższy czas poniżej zadanego poziomu (OFF). Zarówno ten czas, jak i minimalny poziom dają się programować. Nastawianie każdego ze współczynników filtrów i kontroli poziomu wymaga wpisu 4 bajtów. Zawierają one informacje o adresie współczynnika i jego wartości. Współczynniki podane są w formacie uzupełnienia do 2, jako słowa 18-bitowe i reprezentują wartości zawarte w przedziale od -1 do +1. Współczynniki samych filtrów charakteryzuje specyfika polegająca na tym, że współczynniki określone na rys. 64 jako A0 i A2 powinny być przed przesłaniem podzielone przez 4 a współczynniki A1, B1 i B2 podzielone przez 2.

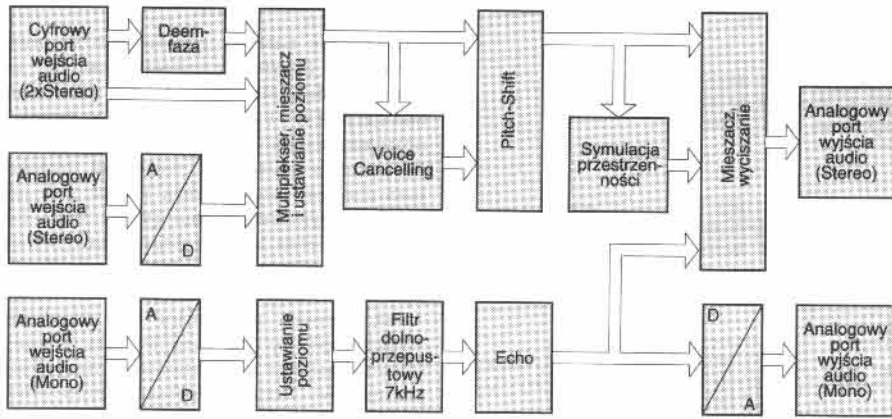
Szereg indywidualnych wpisów współczynników może być połączony w jeden proces. W tym celu sygnał Chip-Select po wpisaniu pierwszego współczynnika powinien pozostać na poziomie Low - można wtedy wpisać dane dla do czterech współczynników, ale już z pominięciem nagłówek „11000000”. W tym wypadku adresy współczynników powinny występować w narastającej kolejności. Przy tej procedurze można osiągnąć wpis o maksymalnej długości 16 bajtów.

Przy doborze wartości współczynników szczególne znaczenie ma uniemożliwienie przesterowania. Wiąże się to z koniecznością zachowania kompromisu pomiędzy maksymalnym poziomem a rezerwą wysterowania [8]. Jako regułę można przyjąć, że typowy ton na wejściu (nie w pełni wysterowany) przy nastawie wszystkich filtrów na maksymalne wzmocnienie dla jego częstotliwości nie powinien powodować przesterowania na wyjściu.

Na zakończenie należy zwrócić uwagę, że YSS231 wymaga sygnału Power-On-Reset uaktywnianego poziomem Low oraz że dostępny jest pakiet prototypowy z analogowymi i cyfrowymi wejściami i wyjściami oraz interfejsem do komputera klasy PC [4].

**Procesory przestrzeni dźwiękowej**

Procesory przestrzeni dźwiękowej traktuje się aktualnie jako „non plus ultra” w zakresie przetwarzania cyfrowych sygnałów audio - i to niezależnie od tego, że wielu użytkowników stawia sobie pytanie, czy w ogóle



Rys. 68. Schemat blokowy układu YSS216B

jest sensownym zrealizowanie (w postaci jednego obwodu) i wykorzystanie, ze względu na akustyczne i układowe, takiego potencjału możliwości jak pogłos, echo, sztuczne stereo, Voice Cancelling, Key Control, Pitch Shift i kształtowanie charakterystyki przenoszenia (częstotliwości).

Większość procesorów przestrzeni dźwiękowej wymaga zewnętrznej pamięci typu RAM (ew. pamięci dynamicznej) do uzyskania opóźnienia dla efektów pogłosu, echa i przestrzenności. Ze względu na stopień ich skomplikowania nie omówimy ich tak szczegółowo, jak to miało miejsce dla innych układów.

**YSS216B**

Układ YSS216B f-my Yamaha jest łatwym do zastosowania procesorem przestrzeni dźwiękowej i w przeciwieństwie do dotychczas omawianych posiada także wejścia i wyjścia analogowe. W sumie YSS216B posiada 3 wejścia dla sygnałów stereo i jedno dla sygnału mono (tylko 2 sygnały stereo mogą być jednocześnie obrabiane) oraz po jednym wyjściu dla sygnałów mono i stereo. Wejście mono przewidziane jest w zasadzie dla sygnału z mikrofonu w trybie Karaoke. Przetwarzanie realizowane jest z częstotliwością próbkowania 44,1kHz - możliwa jest także częstotliwość 37,8kHz (CD). YSS216B może realizować wszystkie wspomniane na wstępie efekty za wyjątkiem Dolby Pro Logic. Poszczególne bloki funkcyjne tego układu i droga sygnału audio pokazane są na rysunku 68. Bloki funkcyjne charakteryzuje ograniczona elastyczność. I tak, przy Voice Cancelling możliwe jest tylko „ON” lub „OFF”, zaś przy symulacji przestrzeni dźwiękowej można wybrać tylko jeden z czterech zdefiniowanych modeli. Dla wszystkich pozostałych parametrów układ zawiera zestaw (słownik) możliwych do wykorzystania wartości - upraszcza to drastycznie oprogramowanie i realizację konkretnych aplikacji. Dla uzyskania opóźnień układ wymaga zewnętrznej pamięci DRAM o pojemności 64Kx4 bity i obsługuje ją samodzielnie. YSS216B jest programowany przez szeregowy interfejs, który umożliwia dostęp do 18 rejestrów. Jeśli korzysta się ze wspomnianego słownika, wystarczy zaprogramować tylko 4 rejestry. Bardziej wyczerpujące informacje na temat tego układu można znaleźć w [5].

**SAA7740H**

W wypadku układu SAA7740H f-my Philips mamy do czynienia z kompletnie wy-

posażonym procesorem przestrzeni dźwiękowej - producent określa go jako Digital Audio Processing IC (DAPIC). Układ ten może realizować wszystkie wspomniane wcześniej efekty za wyjątkiem Key Control i Dolby Pro-Logic. Poza efektami, układ ten może realizować funkcje jedno- lub wielokanałowych zwrotnic częstotliwości i korekcję czasu propagacji (z różnych głośników), dzięki czemu znajduje zastosowanie w systemach nagłośniania samochodów (Car-Audio-System). SAA7740H posiada dwa cyfrowe wejścia stereo (a więc 4 kanały) i tyleż cyfrowych wyjść audio (w formacie I<sup>2</sup>S). Układ może pracować w 4 trybach:

- DAPIC Mode z odmianami:
  - pogłos,
  - rewerberacja,
  - podwójna filtracja,
  - poczwórna filtracja,
  - poszerzanie bazy stereo.

Dokładniej mówiąc, w przypadku trybów chodzi korzystanie z ustalonych programów dla procesora sygnałowego, który stanowi rdzeń układu SAA7740H. Szczegółowiej omówimy tylko DAPIC Mode. Informacje na temat pozostałych trybów można znaleźć w [6] i [7].

**Schemat blokowy**

Schemat blokowy układu SAA7740H pracującego w trybie DAPIC pokazany jest na rysunku 69. Przy pomocy matrycy przełączającej można przydzielić wejściowym sygnałom stereo odpowiednie drogi przetwarzania. Z kolei wszystkie sygnały wejściowe przechodzą przez filtr będący odpowiednikiem kondensatorów sprzęgających - dzięki temu eliminuje się możliwość przesterowania kolejnych stopni przez składowe stałe, które i tak nie niosą żadnych informacji audio. Pierwsze z sygnałów stereo (odpowiadające przednim głośnikom w samochodzie) przechodzą przez pięciopasmowy equalizer

graficzny i blok odpowiedzialny za poszerzanie bazy stereo. Ponieważ w trybie DAPIC blok ten jest stosunkowo prosty, to gdy chcemy w pełni korzystać z efektów poszerzania bazy należy pracować w trybie poszerzania bazy stereo.

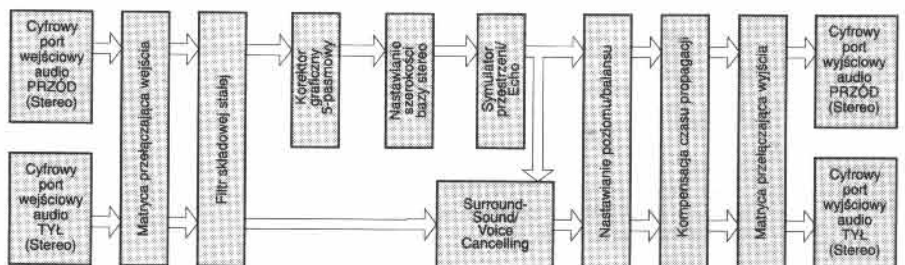
Powróćmy do trybu DAPIC. Po bloku poszerzania bazy następuje blok symulacji przestrzenności lub echa - w zależności od tego, jaka odmiana została wybrana - pogłos czy rewerberacja.

Drugie sygnały stereo (odpowiadające tylnym głośnikom w samochodzie) zamiast przez equalizer, poszerzanie bazy i symulację przestrzenności, przechodzą przez blok Surround-Sound. Blok ten tworzy najpierw sygnały sumy i różnicy dla obu kanałów stereo. Sygnały te przechodzą przez odrębne dla każdego kanału nastawne filtry, przy czym sygnały różnicy mogą być przed tym opóźnione. Po filtrowaniu sygnały mogą być zmieszane w jeden sygnał mono. Przetwarzanie takie umożliwia zrealizowanie zarówno typowego stereo Surround-Sound jak i pasywnego Dolby-Surround-Sound (przy pomocy dodatkowego układu z Dolby-B). Istnieje także możliwość wyciszania głosu (Voice Cancelling) dla Karaoke. Do sygnałów wejściowych bloku Surround-Sound można domieszać część już przetworzonych pierwszych (przednich) sygnałów stereo.

**Czasy propagacji**

Pozostałe elementy układu SAA7740H posiadają identyczną strukturę dla obu (przedniego i tylnego) kanałów stereo. Po bloku umożliwiającym nastawianie poziomu i balansu sygnały przechodzą przez blok w którym mogą być indywidualnie i w różnym stopniu opóźniane - w celu kompensacji czasu propagacji. Dzięki temu, w wypadkach gdy położenie słuchacza po środku między głośnikami nie jest możliwe (np. w samochodzie), nadal można osiągnąć optymalny efekt stereo. Ostatnim blokiem funkcjonalnym układu jest matryca przełączająca, która rozdziela przetworzone sygnały na cztery kanały stereo portów wyjściowych audio.

Dla wszystkich efektów związanych z opóźnieniem potrzebna jest zewnętrzna pamięć - zakłada się korzystanie z DRAMu o organizacji 64Kx4 lub 256Kx4. Przydziel jej fragmentów dla poszczególnych efektów jest od nich zależny. Dla wyboru trybu pracy i konfiguracji bloków SAA7740H korzysta z interfejsu I<sup>2</sup>C. Jak z wynika powyższego opisu, możliwości sterowania układem są bardzo duże - aby ułatwić opracowywanie układów zawierających SAA7740H Philips oferuje specjalny zestaw narzędzi (Toolkit) w skład którego wchodzi



Rys. 69. Schemat blokowy układu SAA7740H pracującego w trybie DRAPIC

pakiet prototypowy z interfejsem do PC-ta i towarzyszący software [7],[8].

### To, czego nie uwzględniono

Omówieniem SAA7740H kończymy cykl artykułów na temat układów cyfrowych dla techniki audio, nie roszcząc pretensji do wyczerpania tematu. Niektóre układy, zwłaszcza programowalne procesory sygnałowe, jak np. seria TC933x Toshiba, nie zostały omówione ze względu na ich złożoność. W coraz większej ilości układów spotyka się w jednym układzie przetwarzanie zarówno cyfrowe, jak i analogowe - zaliczyć do nich można procesory sygnałowe (DSP) z zintegrowanym przetwornikiem C/A np. CS4920 f-my Crystal, TDA1456T f-my Philips i sze-

reg układów, których istotą jest przetwarzanie cyfrowe, ale które kontaktują się z otoczeniem tylko na drodze analogowej. Do tych ostatnich należą m.in. Dolby-Pro-Logic-Decoder YM7306C, Pitch Shifter YSS222 i YSS235 - wszystkie trzy oferowane przez firmę Yamaha.

**Steffen Schmid**

### Bibliografia

- [1]. M. Carstens. *Effekthascherei, Teil 1. ELRAD 7/94.*
- [2]. *Application Manual YM3608, Catalog No LSI-2436082, Yamaha Corp.*
- [3]. *Datenblatt YSS231, Catalog No LSI-4SS231A2, Yamaha Corp.*

[4]. *DMB-GE/1 Operation Manual, Yamaha Corp.*

[5]. *Datenblatt YSS216B, Yamaha Corp.*

[6]. *Data Sheet SAA7740H, Preliminary Specification, September 1994, Philips Semicond.*

[7]. J. Janssen. *SAA7740H, Design Engineering Software User Guide, Report No NBA/AN9403, Philips Semicond.*

[8]. J. Janssen. *SAA7740H, Gain Management User Guide, Report No NBA/AN9407, Philips Semicond.*

Artykuł opublikowano na podstawie umowy z niemieckim miesięcznikiem ELRAD.