



Przedwzmacniacze audio

Układy scalone przedwzmacniaczy z regulacją parametrów dźwięku

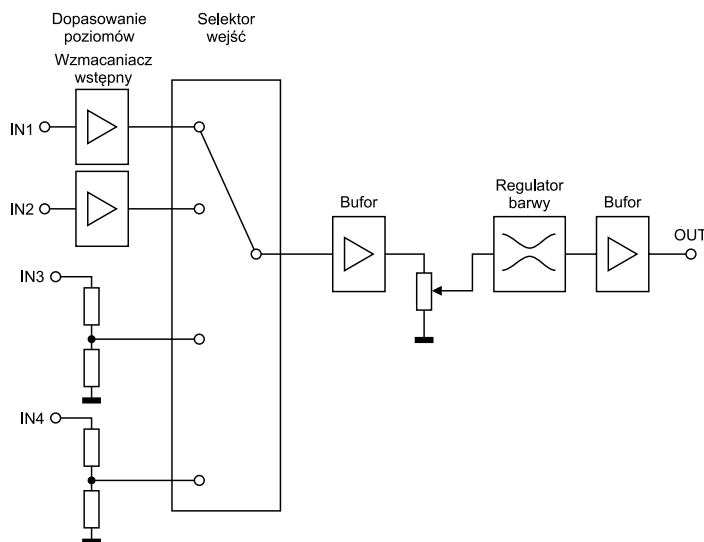
Typowo, we wzmacniaczu audio można wyróżnić bloki funkcjonalne przedwzmacniacza i wzmacniacza mocy. Wzmacniacz mocy ma za zadanie dostarczenie odpowiedniej (projektowanej) mocy do obciążenia (głośnika). Sygnał wyjściowy musi spełniać wymagania odnośnie do pasma przenoszenia, zniekształceń nieliniowych i poziomu szumów. Inaczej jest z przedwzmacniaczem. Jego głównym zadaniem jest regulacja poziomu sygnału na wejściu wzmacniacza mocy. Niegdyś przedwzmacniacze były bardzo złożonymi układami, zbudowanymi z elementów dyskretnych. „Cuda” współczesnej techniki pozwoliły na ich miniaturyzację i zamknięcie w obudowie pojedynczego układu scalonego, nierzadko z selektorem źródeł. A jeśli jeszcze dodać do tego technikę DSP... W artykule przedstawiamy przegląd współczesnych układów scalonych przedwzmacniaczy, który ułatwi decyzję co wybrać do projektowanego wzmacniacza.

W uproszczeniu rolę „przedwzmacniacza” może spełniać sam potencjometr tłumiący sygnał wyjściowy ze źródła: odtwarzacza CD, tunera radiowego itp. W świecie audiofilskim przyjęła się nawet dla takiego rozwiązania nieco wprowadzająca w błąd nazwa – przedwzmacniacz pasywny.

Schemat blokowy typowego przedwzmacniacza pokazano na **rysunku 1**. Oprócz regulacji poziomu sygnału na wejściu wzmacniacza mocy, przedwzmacniacz dopasowuje poziomy sygnałów oraz zapewni dopasowanie do źródła sygnału, a jeżeli jest taka potrzeba, koryguje charakterystykę częstotliwościową sygnałów z różnych

wejść. Dopasowanie poziomów może polegać na wstępnym tłumieniu sygnałów o dużej amplitudzie i/lub wzmacnianiu sygnałów o małej amplitudzie. Na przykład, gdybyśmy bezpośrednio na wejście przedwzmacniacza podali sygnał z odtwarzacza CD o maksymalnej amplitudzie około 2,8 Vpp, a potem sygnał z tunera radiowego o amplitudzie 0,5 Vpp, to przy każdym przełączeniu źródła sygnału należałoby regulować wzmocnienie, bo sygnał będzie albo za głośny, albo za cichy. Korekcja charakterystyki częstotliwościowej i dość duże wzmocnienie jest niezbędna dla toru sygnału gramofonu z wkładką dynamiczną, ponieważ w sygnale oryginalnie dostarczonym przez wkładkę jest znaczna przewaga tonów wysokich i prawie wcale nie słychać tonów niskich. Muzyki o takiej charakterystyce po prostu nie da się słuchać. Innym źródłem sygnału, który może wymagać sporego wzmocnienia i korekcji charakterystyki jest mikrofon. A i tych spotyka się wiele rodzajów, o różnych parametrach użytkowych.

Kolejną ważną funkcją przedwzmacniacza jest dopasowanie impedancji. Dąży się,



Rysunek 1. Schemat blokowy przedwzmacniacza

aby impedancja wejściowa była jak największa po to, by nie obciążać źródła sygnału. Z kolei impedancja wyjściowa powinna być jak najmniejsza. Mała impedancja wyjściowa powoduje, że unikniemy problemów przy dołączaniu obciążenia, którym jest wejście wzmacniacza mocy. Brak dopasowania może spowodować problemy z uzyskaniem dostatecznego wzmocnienia całego toru oraz problemy z charakterystyką pasma przeniesienia spowodowane wpływem pojemności pasożytniczych.

Kiedyś w każdym przedwzmacniaczu, nawet we wzmacniaczach wysokiej klasy, stosowano układ regulacji barwy krańców pasma, jak się potocznie mówi do dziś – basów i sopranów. Dodawano też filtr kon-

strukturu podbijający krańce pasma przy małym poziomie głośności. Teraz takie regulacje są stosowane w urządzeniach popularnych: odbiornikach TV, odtwarzaczach samochodowych, nawet odtwarzaczach MP3 i innych. Z powodów „ideologicznych” praktycznie nie używa się ich w sprzęcie wyższej klasy przeznaczonym dla audiofilów. Większość z nich uważa, że takie regulatory dokonują niedopuszczalnej ingerencji w odtwarzany materiał.

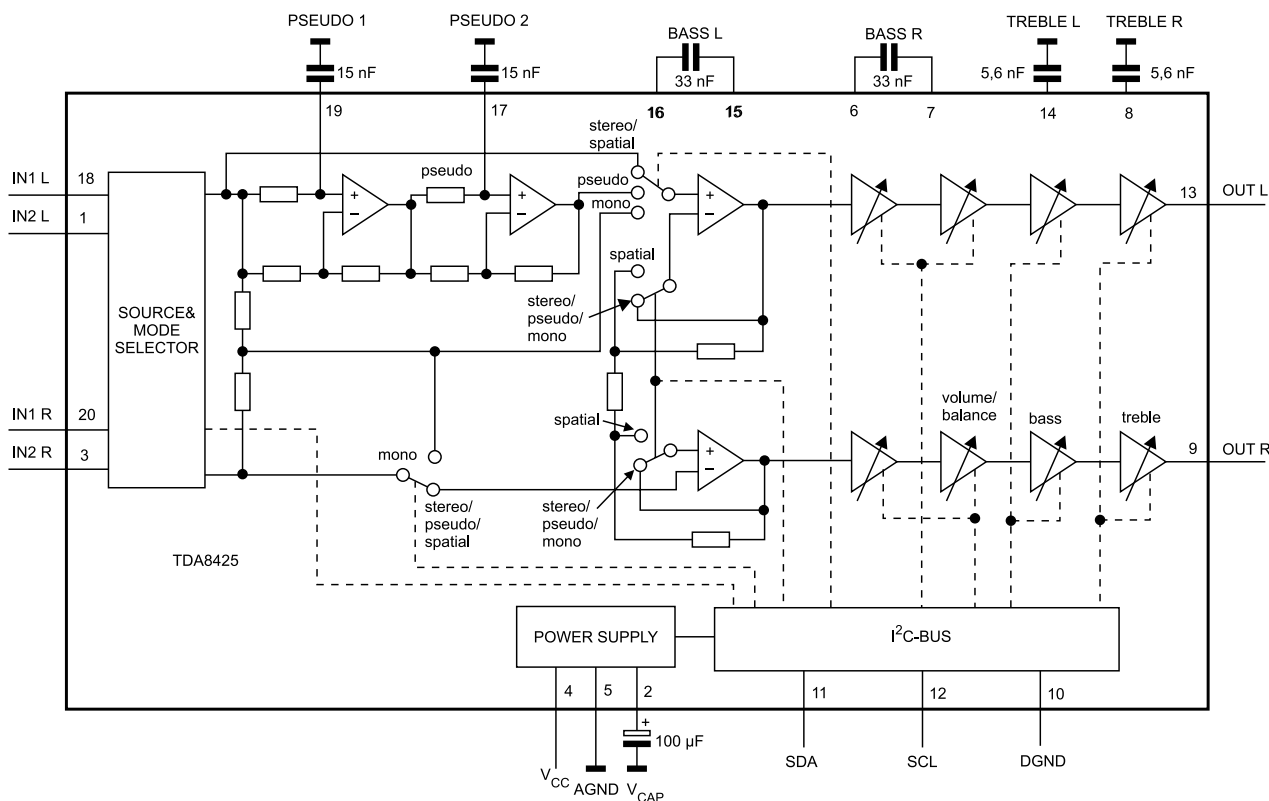
Można przyjąć, że do elementów przedwzmacniacza zalicza się też selektor wejść. Wbrew pozorom, to istotny element toru związany również z funkcją dopasowania poziomów sygnału. Nieprawidłowo zaprojektowany lub wykonany selektor może być

źródłem zakłóceń albo wnoszonych zniekształceń spowodowanych na przykład złymi stykami.

Przedwzmacniacz powinien charakteryzować się określonymi parametrami elektrycznymi. Ponieważ możemy mieć do czynienia z małymi sygnałami, to duże znaczenie ma niski poziom szumów, a co za tym idzie – wysoka wartość współczynnika SNR. Szczególnie dotyczy to na przykład torów wzmacniaczy mikrofonowych. Ważna jest też wspomniana już impedancja wejściowa i wyjściowa, oraz czułość wejściowa i całkowite wzmocnienie. We wzmacniaczach stereofonicznych trzeba zachować dobrą separację kanałów (przesłuch pomiędzy kanałami) i współbieżność regulacji poziomu sygnału. Przy wzmacnianiu małych dużą rolę odgrywa napięcie zasilające o odpowiednich parametrach. Sam przedwzmacniacz powinien mieć odpowiednio wysoki współczynnik tłumienia wpływu zasilania (*Power Supply Rejection Ratio – PSRR*) na sygnał wyjściowy.

Przedwzmacniacze analogowe

Początkowo przedwzmacniacze były budowane z wykorzystaniem elementów dyskretnych: lamp, tranzystorów czy scalonych wzmacniaczy operacyjnych. Wraz z rozwojem techniki układów scalonych zaczęły powstawać specjalizowane układy zawierające w swojej strukturze wszystkie lub znakomitą większość układów wchodzących w skład przedwzmacniacza: wzmacniacze wstępne, bufor wyjściowy, układy regulacji poziomu sygnału i barwy, oraz selektory sy-



Rysunek 2. Procesor audio TDA8425

Tabela 1. Ważniejsze parametry TDA8425

Parametr	Jednostka	Wartość
Napięcie zasilania	V	12
Pobór prądu	mA	26
Sygnal wejściowy	V RMS	2
Impedancja wejściowa	kΩ	10
Impedancja wyjściowa	Ω	100
Pasma przenoszenia dla spadku -0,5 dB	Hz	20-20000
Współczynnik SNR ważony dla $V_o=600$ mV		
Wzmocnienie +6 dB	dB	78
Wzmocnienie 0 dB		86
Wzmocnienie -20 dB		68
Współczynnik zniekształceń harmoniczných THD		
F od 20 Hz do 12,5 kHz		
$V_i=0,3$ V wzmocnienie +6 dB do -40 dB	%	0,05
$V_i=0,6$ V wzmocnienie 0 dB do -40 dB		0,07
$V_i=2$ V wzmocnienie -12 dB do -40 dB		0,1
Separacja międzykanałowa $f=10$ kHz, wzmocnienie 0 dB	dB	80

gnałów. Scalone przedwzmacniacze pozwalały na uzyskanie większej funkcjonalności: zaczęto umieszczać w nich dodatkowe układy na przykład poszerzenia bazy stereo, czy analogowe układy dźwięku dookólnego na przykład SRS. We wcześniejszym okresie scalone przedwzmacniacze znalazły zastosowanie głównie w sprzęcie popularnym: odbiornikach telewizyjnych, przenośnych odtwarzaczach i sprzęcie stacjonarnym niższej klasy, chociaż powstawały układy pretendujące do miana klasy Hi-Fi.

Analogowe scalone przedwzmacniacze audio można podzielić na 3 grupy

- **Procesory audio.** Najczęściej to układy scalone sterowane przez mikrokontroler za pomocą interfejsu szeregowego np. I²C lub SPI. Dostępne jest też sterowanie przyciskami dołączanymi bezpośrednio do wyprowadzeń układu. Procesory audio zwykle zawierają wiele bloków funkcjonalnych: selektor wejść, układy regulacji barwy w zakresie tonów niskich, średnich i wysokich, regulacje poziomu sygnału wyjściowego oraz dodatkowe układy typu poszerzenie bazy stereo, czy efektów dźwięku dookólnego.
- **Scalone potencjometry audio.** Spełniają rolę pojedynczych lub wielokanałowych potencjometrów sterowanych przez mikrokontroler podobnie jak procesory audio, ale również spotyka się sterowanie stykami przycisków lub za pomocą impulsatora czy enkodera. Oprócz samego potencjometru mogą zawierać bufor wejściowy i wyjściowy. Takie potencjometry są wykorzystywane coraz chętniej w konstrukcjach wysokiej jakości, bo zapewniają bardzo dobrą współbieżność regulacji, małe zniekształcenia i szумы. Eliminują podstawową wadę klasycznych potencjometrów, czyli nierównomierność tłumienia w funkcji obrotu ośki. Ponadto, są niezastąpione w wielokanałowych wzmacniaczach dźwięku dookólnego.
- **Scalone regulatory siły głosu.** Bazują na topologii wzmacniaczy o regulowanym wzmocnieniu, podobnie jak większość procesorów audio, ale są przeznaczone tylko do regulacji poziomu sygnału, bez regulatorów barwy, selektorów wejść itp.

Scalone procesory audio

Kiedyś układy te były bardzo popularne i produkowane przez wielkie firmy, takie jak Philips (obecnie NXP), czy STM. Po przejrzaniu ofert firm NXP, Maxim, STM i National Semiconductor okazuje się, że nie ma zbyt wielu nowych konstrukcji układów scalonych tego typu. Nadal przez konstruktorów są chętnie stosowane również starsze układy scalone, których już na próżno szukać dziś w ofertach producentów, ale paradoksalnie bez problemu można je znaleźć w ofertach dystrybutorów. Czyżby producenci wyprodukowali układy „na zapas” a teraz oczekują na jakiś przełom np. związany z cyfrową obróbką sygnałów?



ZŁACZA

PEŁNY ASORTYMENT

AMP TYCO TE-Connectivity

ul. Fabryczna 20, Pietrzykowiec
55-080 Kąty Wrocławskie
tel. 71 327 07 00
fax 71 327 08 00
office@radiotechnika.com.pl
www.radiotechnika.com.pl

R Radiotechnika marketing sp. z o.o.



PRZYSTAWKI OSCYLOSKOPOWE DSO

- Jednoczesny widok danych z oscyloskopu i analizatora stanów logicznych
- Pasma analogowe oscyloskopu DC - do 125 MHz
- Pasma analogowe analizatora DC - do 100 MHz
- Częstotliwość próbkowania do 1 GHz
- Do 4 wejść oscyloskopu i do 16 wejść analizatora
- Do 1 MEGA pamięci próbek dla każdego wejścia
- Liczne funkcje pomiarowe (FFT, częstotłomierz, X-Y plot, funkcje matematyczne, eksport danych, wydruk)
- Oprogramowanie do systemów Windows 98/ME/2000/XP/Vista

W ofercie również programatory „LabTool-48uxp”

www.elmark.com.pl

ELMARK Automatyka sp. z o.o.
02-703 Warszawa ul. Bukowińska 22 lok. 1B
Tel. (022) 541-84-60; Fax. (022) 541-84-61
elmark@elmark.com.pl

ELMARK
Automatyka sp. z o.o.

TDA8425

Przegląd scalonych procesorów audio rozpocznę od popularnego układu TDA8425 produkowanego przez firmę Philips od 1988 roku. Układ jest opisywany przez producenta jako *Hi-Fi stereo audio processor with I²C-bus*.

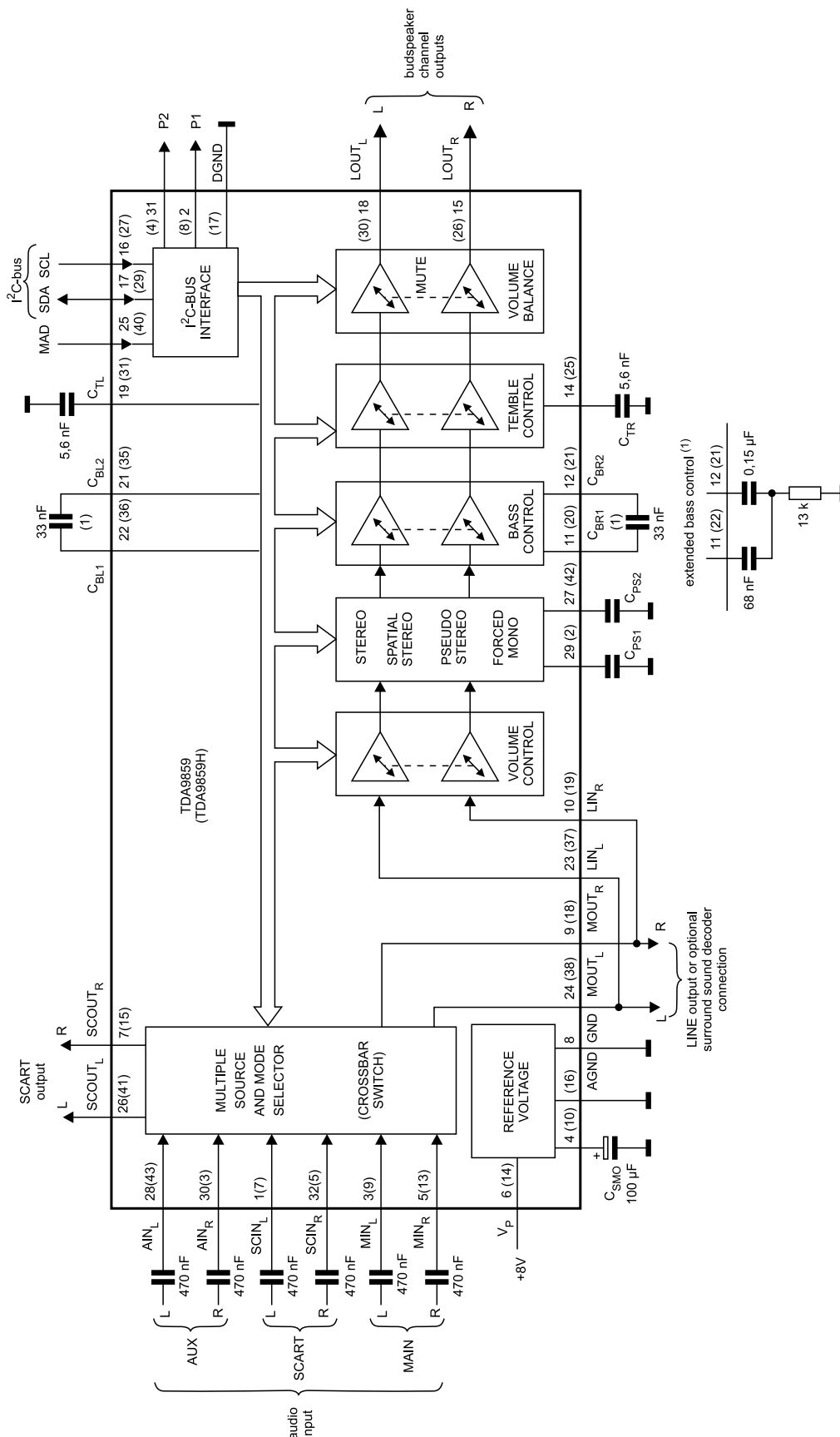
Schemat blokowy TDA8425 umieszczono na **rysunku 2**. Na wejściu jest umieszczony selektor dwóch wejść stereofonicznych IN1 i IN2. Blok selektora, oprócz wyboru aktywnego wejścia, zawiera układ przełączania trybu pracy pomiędzy stereo, brzmieniem A i brzmieniem B. Dodatkowo, można włączyć tryb monofoniczny (suma sygnałów z obu kanałów), pseudo stereofoniczny i rozszerzenie bazy stereo (*spatial*). Za układami trybów pracy jest umieszczony podwójny regulator poziomu sygnału. Regulacja odbywa się niezależnie w zakresie od -64...+6 dB z krokiem co 2 dB. Można też włączyć funkcję wyciszenia (*Mute*), przy której sygnał jest tłumiony o 80 dB. Niezależne ustawianie poziomów w każdym kanale umożliwia dokładną regulację balansu. Układ wyposażono w 2-pasmowy regulator barwy: dla tonów niskich (*bass*) i dla tonów wysokich (*treble*). Regulacja tonów niskich odbywa się w zakresie -12...+15 dB z krokiem co 3 dB, a tonów wysokich w zakresie ±12 dB, również z krokiem co 3 dB.

Wszystkie ustawienia układu: wybór wejścia, załączanie efektu dźwiękowego, wzmocnienie sygnału i barwa tonu są zapisywane do układu przez interfejs I²C. Kiedyś do tego celu stosowano specjalizowane sterowniki, a teraz najprościej jest sterować układ za pomocą mikrokontrolera.

Układ TDA8425 jest popularny do dzisiaj. Można go kupić dosłownie za kilka złotych w sklepie AVT i stosując popularny mikrokontroler zbudować tani i stosunkowo dobrych parametrach przedwzmacniacz stereo. Mimo, że dzisiejsze wymagania co do wysokiej jakości toru audio znacznie wzrosły trzeba pamiętać, że układ spełniał ówczesne normy Hi-Fi. Na **rysunku 3** pokazano najważniejsze parametry TDA8425.

wzmacniaczem audio przeznaczonym dla odbiorników telewizyjnych. Najważniejszym blokiem wyróżniającym go do tego zastosowania jest selektor wejść. Odbiorniki telewizyjne szczególnie te produkowane w Europie lub na europejski rynek były wyposażane

w wielopinowe złącza SCART umożliwiające podłączenie różnych sygnałów wideo (composit video, RGB, S-video) i wejściowego oraz wyjściowego sygnału audio. Selektor wejść może przełączać 3 stereofoniczne sygnały z wejść SCART, MAIN i AUX – **rysunek 4**.



Rysunek 3. Schemat blokowy układu TDA9859

TDA9859

TDA9859 również zaprojektowany w firmie Philips jest przed-

ZESTAWY STARTOWE



AVT701 Rezystory
Rezystory przewlekane 0,125 - 0,25 W



AVT702 Kondensatory
Kondensatory przewlekane ceramiczne i styrofkosowe



AVT703 Elektrolity
Kondensatory elektrolityczne przewlekane



AVT705 Elementy mechaniczne
Śruby, nakrętki i podkładki w rozmiarze 2,5...4 mm



AVT719 Diody LED
Różne kolory i rozmiary

www.sklep.avt.pl

AVT-Korporacja Sp. z o.o., 03-197 Warszawa, ul. Leszczyńska 11,
tel.: 22 257 84 50, fax: 22 257 84 55, e-mail: handlowy@avt.pl

Sygnal wyjściowy z selektora jest podawany na wejście wewnętrznego regulatora poziomu sygnału, oraz na wyjście audio przeznaczone do podłączenia w złączu SCART. Przewidziano również wyjście sygnału na zewnętrzny dekodery surround. Sygnal z wyjścia selektora trafia na wyprowadzenia MOUT i musi być połączony wprost lub przez dekodery na wyprowadzenie wejścia LIN. Regulacja poziomu sygnału odbywa się dwuetapowo. Pierwszy etap to regulacja wspólna dla obu kanałów w zakresie od -40 do 15 dB z krokiem 1 dB. Drugi etap regulacji pozwala na ustawienie balansu. Poziom sygnału można ustawiać w zakresie od -23 dB do 0 dB niezależnie w każdym z kanałów. Barwa tonu zawiera

regulatory tonów niskich i tonów wysokich. Oba zakresy mogą tłumić lub podbijać pasmo w zakresie od -15 dB do +15 dB z krokiem 1,5 dB. Po dodaniu dodatkowych elementów zewnętrznych (filtr typu T) basy są regulowane w rozszerzonym zakresie od -15 dB do +19 dB. Podstawowe parametry układu TDA9859 zostały pokazane na **rysunku 5**

TDA7442

TDA7442 jest bardziej rozbudowanym procesorem audio, niż dwa opisywane dotychczas. Oprócz klasycznych bloków funkcyjnych przedwzmacniacza: selektora wejść, regulowanego wzmacniacza wstępnego, regulatora barwy i poziomu sygnału

Tabela 2. Ważniejsze parametry TDA9859

Parametr	Jednostka	Wartość
Napięcie zasilania	V	8
Pobór prądu	mA	25
Maksymalny sygnał wejściowy	V RMS	2
Impedancja wejściowa	kΩ	30
Impedancja wyjściowa	Ω	100
Pasma przenoszenia dla spadku -1 dB	Hz	20-20000
Współczynnik SNR ważony dla Vo=600 mV Wzmocnienie +6 dB Wzmocnienie 0 dB Wzmocnienie -20 dB	dB	78 86 68
Współczynnik zniekształceń harmonicznym THD F od 20 Hz do 12,5 kHz Vi=0,2 V wzmocnienie +15 dB do -30 dB Vi=1 V wzmocnienie 0 dB do -30 dB Vi=2 V wzmocnienie -6 dB do -30 dB	%	0,1 0,1 0,1
Separacja międzykanałowa f=10 kHz, wzmocnienie 0 dB	dB	75
PSSR	dB	-55

Tabela 3. Ważniejsze parametry TDA7442

Parametr	Jednostka	Wartość
Napięcie zasilania	V	9
Pobór prądu	mA	18
Maksymalny sygnał wejściowy	V RMS	2
Impedancja wejściowa	kΩ	50
Impedancja wyjściowa	Ω	50
Pasma przenoszenia dla spadku -1dB	Hz	20-20000
Współczynnik SNR dla Vo=1V (tryb OFF - bez surround)	dB	106
Współczynnik zniekształceń harmonicznym THD Vi=1 V F=1 kHz	%	0,01
Separacja międzykanałowa f=1 kHz	dB	90

Tabela 4. Ważniejsze parametry TDA7466

Parametr	Jednostka	Wartość
Napięcie zasilania	V	9
Pobór prądu	mA	25
Maksymalny sygnał wejściowy	V RMS	2
Impedancja wejściowa	kΩ	50
Impedancja wyjściowa	Ω	50
Pasma przenoszenia dla spadku -1dB	Hz	20-20000
Współczynnik SNR dla Vo=1 V (tryb OFF - bez surround)	dB	106
Współczynnik zniekształceń harmonicznym THD Vi=1 V F=1 kHz	%	0,01
Separacja międzykanałowa f=1 kHz	dB	90
Napięcie szumów na wyjściu f=20 Hz...20 kHz Tryb OFF Tryb Music Tryb Simulated Tryb SRS	μV rms	5 30 30 50

REKLAMA

wyjściowego, wyposażono go w programowany procesor efektów dźwięku dookólnego (**rysunek 4**). Sterowanie funkcjami TDA7442 odbywa się jak uprzednio, poprzez zapisywanie odpowiednich wartości do wewnętrznych rejestrów za pomocą interfejsu I²C.

Umieszczony na wejściu selektor wejść wybiera jeden z 4 sygnałów stereofonicznych. Wstępny ma programowane tłumienie w zakresie 0 dB...-31,5 dB z krokiem co 0,5 dB. Program sterujący może być tak napisany, że po wybraniu selektorem aktywnego wejścia zostanie zaprogramowane przypisanie do tego wejścia tłumienie. Można w ten prosty sposób wyrównać wstępnie poziomy sygnałów o różnych amplitudach.

Układ generowania dźwięku dookólnego jest oparty o programowany przesuwnik fazowy. Może pracować w kilku trybach: *simulated stereo*, *music*, *var* i *fix*. W każdym z tych trybów określa się „głębokość” efektu i wartość rezystora przesuwника fazowego. Tony niskie i wysokie reguluje się w zakresie -14 dB...+14 dB z krokiem co 2 dB. Końcowy regulator poziomu sygnału wyjściowego tłumigo w zakresie 0...-80 dB z krokiem co 1 dB. Ponadto, jest możliwe włączenie wyciszenia *Mute* (tłumienie -100 dB).

Podstawowe parametry układu TDA9859 zamieszczono w **tabeli 3**.

Współczynnik SNR ma bardzo dobrą wartość przy wyłączonych obwodach dźwięku dookólnego. Jeżeli zostaną one włączone, poziom szumów znacząco rośnie. Dla trybu *Off* sygnał szumów wyjściowych ma wartość ok. $5 \mu V_{RMS}$ w całym paśmie 20...20 kHz. Po włączeniu efektu *surround* napięcie szumów rośnie do wartości $30 \mu V_{RMS}$.

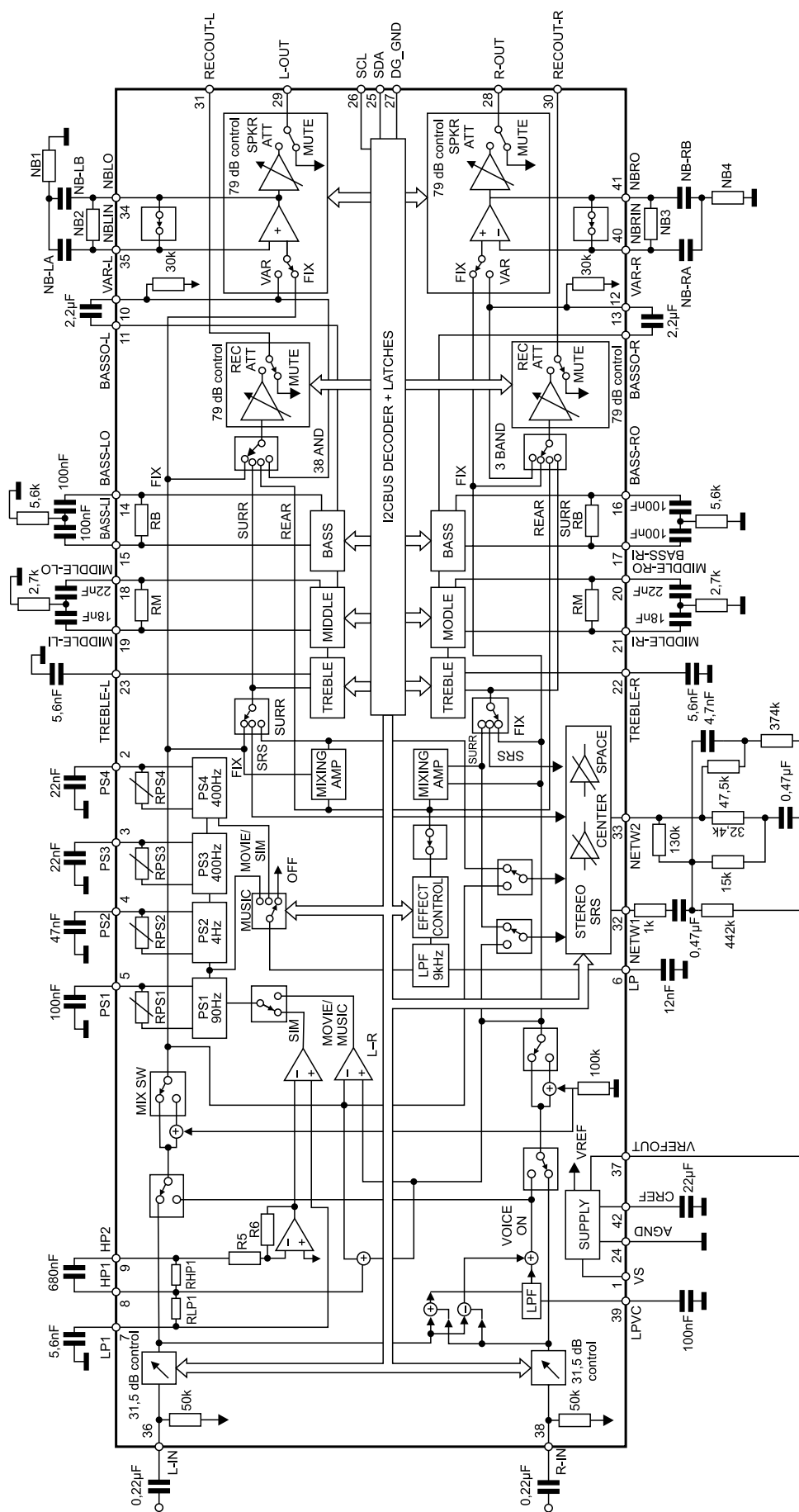
TDA7466

Schemat blokowy TDA7466 pokazano na **rysunku 5**. To najbardziej rozbudowany układ z opisywanych tu analogowych procesorów audio. Pełni wszystkie funkcje typowego przedwzmacniacza, a oprócz tego ma wbudowany analogowy procesor *surround SRS* będący dziełem firmy SRS Labs Inc. Jego zadaniem jest generowanie efektu dźwięku przestrzennego na podstawie sygnałów z dwóch kanałów stereofonicznych.

TDA7466 nie ma selektora wejść. Wejściowy sygnał audio trafia na wzmacniacz wstępny o tłumieniu programowanym w zakresie od 0...-31,5 dB z krokiem co 1,5 dB. Za tym stopniem jest umieszczony rozbudowany układ procesora dźwięku do-

okólnego SRS pracującego w kilku trybach: *Simulated*, *Music*, *Movie*, *Var* i *Fix*. Możliwe jest też włączenie opcji *Karaoke* (*Voice Can-*

celler) i całkowite wyłączenie toru efektów dookólnych (tryb *Off*). Analogowe układy *surround* są rzadko używane w sprzęcie po-



Rysunek 5. Schemat blokowy układu TDA7466

polarnym, ponieważ są wypierane przez procesory cyfrowe umożliwiające przesyłanie rzeczywistych kanałów efektowych i dające przez to dużo bardziej rzeczywiste efekty dźwiękowe. Ale oferowana jest też cyfrowa wersja klasycznego SRS pozwalająca na tworze-

nie efektów dźwiękowych z wykorzystaniem cyfrowego stereofonicznego sygnału audio.

Kiedyś zaprojektowałem kompletny przedwzmacniacz ze sterownikiem mikroprocesorowym wykorzystującym ten układ (AVT5105) i miałem okazję przekonać się jak

działa w rzeczywistości. Uzyskiwane efekty zależały do materiału dźwiękowego i najlepiej były odczuwalne podczas oglądania filmów. Dokładne opisywanie działania układów SRS znacznie wykracza poza ramy tego artykułu, a zainteresowani mogą zaczerpnąć więcej informacji z dokumentacji technicznej układu i z artykułu opisującego działanie AVT5105.

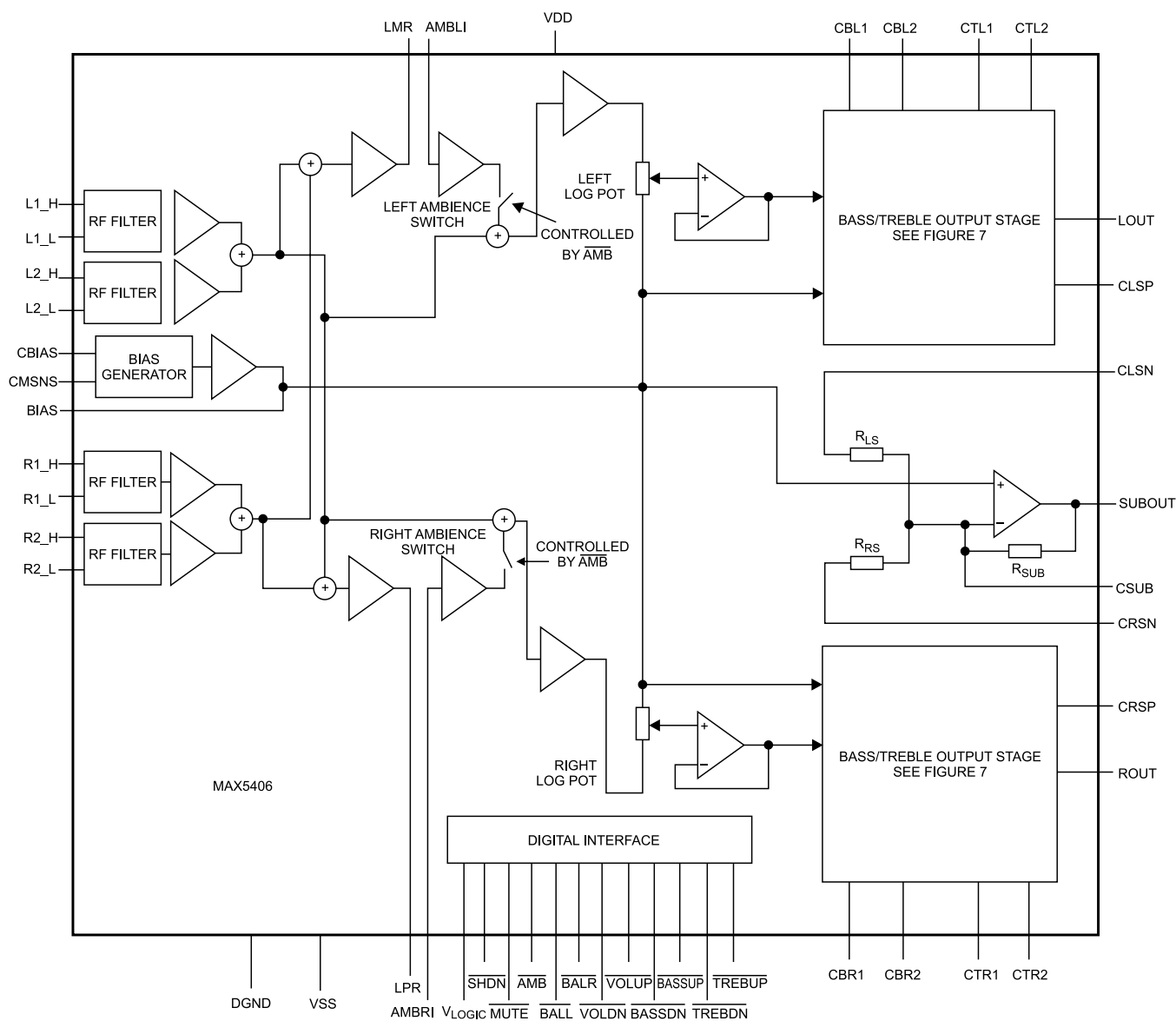
Za procesorem jest umieszczony 3-pasmowy regulator barwy: dla tonów niskich, średnich i wysokich. Umożliwia on regulację w zakresie -14...+14 dB z krokiem co 2 dB. Poza tym, można po dołączeniu zewnętrznych elementów do wyprowadzeń NBRIN, NBRO, NBLIN, NBLO włączyć dodatkowe podbicie basów. Końcowy regulator poziomu sygnału wyjściowego tłumi sygnał w zakresie 0...-80 dB z krokiem co 1 dB.

Wybrane parametry TDA7466 zamieszczono w tabeli 4.

MAX5406

Dotychczas opisywane procesory audio wymagały do sterowania mikrokontrolera

Parametr	Jednostka	Wartość
Napięcie zasilania	V	+2,7 V...+5,5 V ± 2,7 V
Pobór prądu	mA	+20 mA Dla ±2,7 V -10 mA dla -2,7 V +10 mA dla +2,7 V
Maksymalny sygnał wejściowy	V RMS	2
Impedancja wejściowa	kΩ	10
Impedancja wyjściowa	Ω	10
Pasma przenoszenia dla spadku -1 dB	Hz	20-20000
Napięcie szumów na wyjściu - volume 0 dB pasmo 20 Hz-20 kHz	μV	25
Współczynnik zniekształceń harmoniczných THD Vi=1 V F=1 kHz	%	0,02
Przesłuch międzykanałowy	dB	-70
PSSR	dB	-65

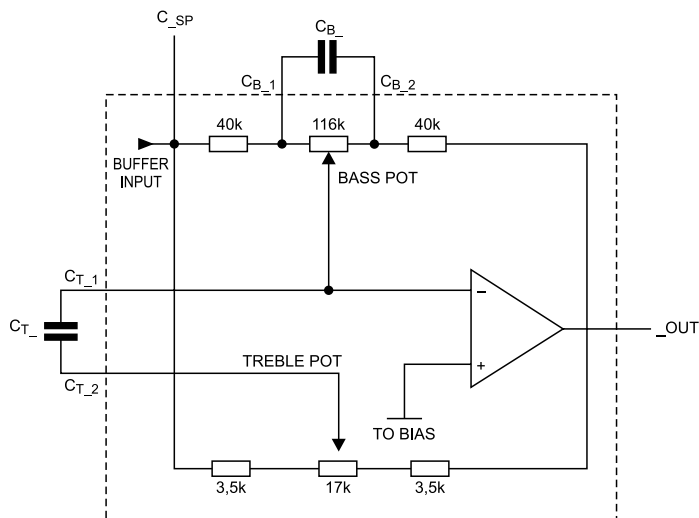


Rysunek 6. Schemat blokowy MAX5406

albo specjalizowanego sterownika. MAX5406, którego schemat blokowy umieszczono na **rysunku 6**, sterownika nie potrzebuje, bo wszystkie ustawienia są wykonywane za pomocą zwieranych przycisków dołączanych do wyprowadzeń układu. Upraszcza to układ sterowania i znacząco redukuje koszty gotowego wyrobu produkowanego seryjnie. Z drugiej strony, układ nie ma nieulotnej pamięci nastaw i musi mieć baterijne podtrzymanie zasilania. Układ MAX5406 można wprowadzić w tryb czuwania (*Shutdown Supply Current*). Wówczas pobór prądu jest ograniczany do wartości $0,2 \mu\text{A}$.

Na wejściu jest umieszczony selektor umożliwiający wybór jednego z dwóch wejść stereofonicznych. Sygnał z selektora trafia do obwodów generowania efektu poszerzonej bazy stereofonicznej. Można je włączać i wyłączać przyciskiem dołączonym do wejścia *AMB*. Regulacja poziomu sygnału jest

wykonywana przez sterowany cyfrowo, typowy potencjometr stereofoniczny. Drabinka rezystorowa jest wykonana w strukturze układu, a za jej przełączanie odpowiadają klucze analogowe. Przed i za potencjometrem są umieszczone bufy (wtórniki napięciowe). Układ trzeba zasilic albo napięciem symetrycznym $\pm 2,7 \text{ V}$, albo pojedynczym z zakresu $+2,7 \dots +5 \text{ V}$. W wypadku zasilania niesymetrycznego sygnał wejściowy po-



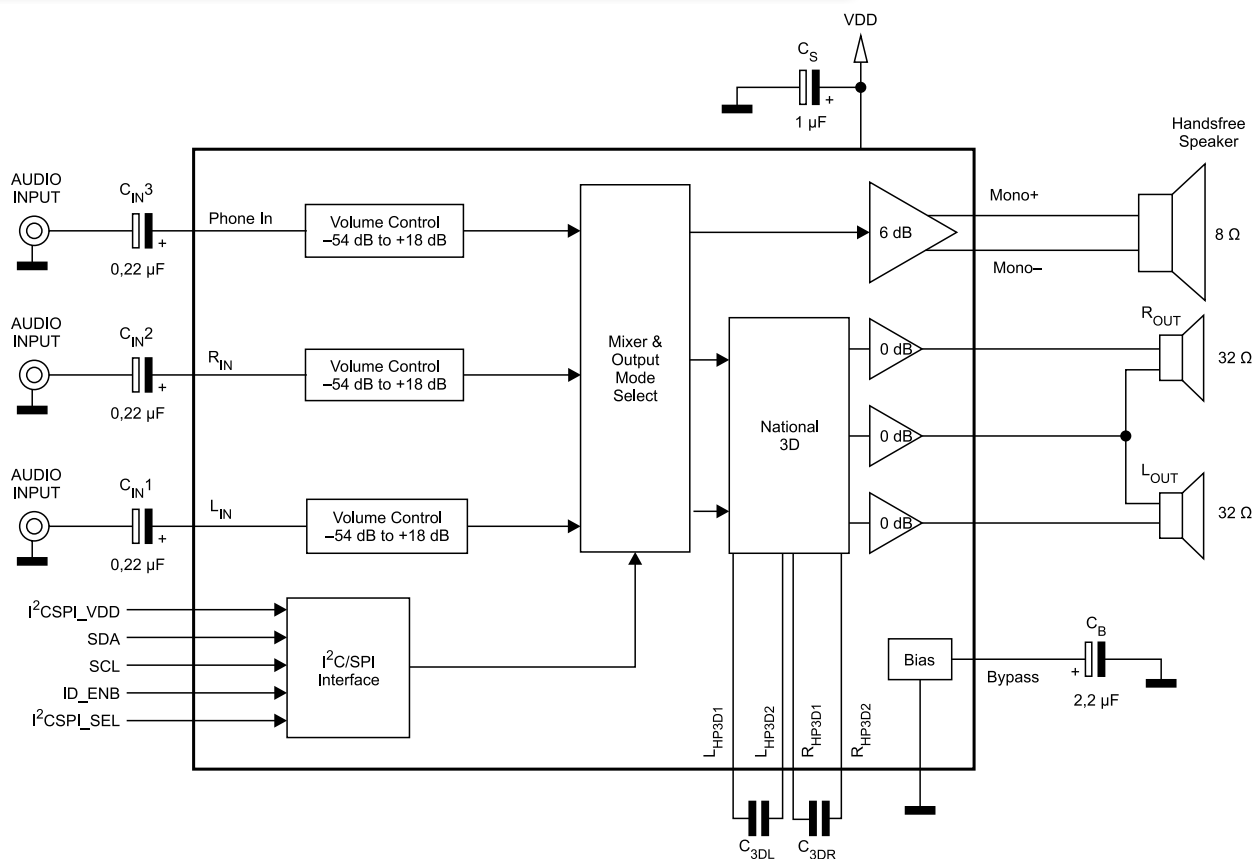
Rysunek 7. Regulacja barwy MAX5406

winien mieć składową stałą równą połowie napięcia zasilającego.

Sygnał wyjściowy jest tłumiony przez potencjometr w 32 krokach z rozdzielczością 2 dB. Typowo wygląda też układ regulacji barwy (**rysunek 7**). Tony niskie i wysokie można regulować w zakresie od $-15 \dots +15 \text{ dB}$. Zakres ich regulacji jest uzależniony od wartości elementów zewnętrznych. Na wyjściu *SUBOUT* jest dostępny sygnał do sterowania subwoofera. Jest on tworzony przez zsumowanie sygnałów z obu kanałów i poddanie ich filtracji dolnoprzepustowej. Pasma przenoszenia filtra jest określane pojemnością kondensatora dołączanego do wyprowadzeń *CRSN* i *CSUB*.

Tabela 6. Ważniejsze parametry LM4845

Parametr	Jednostka	Wartość
Napięcie zasilania	V	+2,2 V...+5,5 V
Pobór prądu	mA	11 bez obciążenia BTL
Mocy wyjściowa wzmacniacza BTL	mW	500
Moc wyjściowa wzmacniacza SE	mW	30...42
Impedancja wejściowa	kΩ	11
Napięcie szumów na wyjściu – volume 0 dB pasmo 20 Hz – 20 kHz	μV	26
Współczynnik zniekształceń harmoniczných THD $V_i=1 \text{ V}$ $F=1 \text{ kHz}$ dla mocy max	%	0,5
PSSR zależnie od trybu	dB	min 63



Rysunek 8. Schemat blokowy LM4845

WYBÓR KONSTRUKTORA

Wybrane parametry MAX5406 zamieszczono w tabeli 5.

LM4845

Układ LM4845 o schemacie blokowym pokazanym na rysunku 8 jest przykładem procesora audio zintegrowanego ze wzmacniaczem małej mocy. Tego typu rozwiązania są coraz bardziej popularne, bo pozwalają na uproszczenie całego toru. Ma to szczególne znaczenie w sprzęcie przenośnym, na przykład w odtwarzaczach MP3. Sygnał wejściowy może pochodzić z jednego z 3 wejść: dwóch kanałów stereo (wejścia *Lin* i *Rin*) oraz z wejścia przeznaczonego dla mikrofonu (*Phone In*). Każde z wejść ma swój własny regulator poziomu sygnału. Regulacja odbywa się w zakresie od $-54...+18$ dB. Blok selektora wejść jest połączony z mikserem. Zapisując odpowiedni rejestr sterujący można dowolnie sumować sygnały z wejść i kierować do trzech wyjść wzmacniaczy mocy. Wzmacniacz mocy ma 2 wyjścia typu SE o mocy 30 mW i obciążalności 32Ω . Jest to typowy wzmacniacz przystosowany do sterowania słuchawek. Trzecie wyjście o topologii BTL jest przystosowane do obciążenia 8Ω i ma moc 500 mW ($THD+N=1\%$). Może ono sterować głośniczkiem o małej mocy. W dwukanałowy tor stereo jest wbudowany układ poszerzania bazy stereo o firmowej nazwie *3D*. Ważniejsze parametry układu zamieszczono w tabeli 6.

Analogowe procesory audio – podsumowanie

Przedstawiłem tutaj tylko kilka wybranych przykładów analogowych procesorów audio. Jak widać tego typu układy oferują wszystkie możliwe funkcje potrzebne do budowy klasycznego przedwzmacniacza. Ponadto można wybrać układy z dodatkowymi układami analogowych układów dźwięku przestrzennego. Cechy konstrukcyjne określają główne obszary zastosowa-

Tabela 7. Wybrane parametry DS1802

Parametr	Jednostka	Wartość
Napięcie zasilania	V	+2,7 V...+5,5 V $\pm 2,7$ V
Tolerancja absolutna	dB	± 1
Rezystancja	k Ω	45
Impedancja wyjściowa	Ω	10
Napięcie szumów na wyjściu – volume –6 dB	μ V	2,2
Współczynnik zniekształceń harmonicznym THD	%	0,002

Tabela 8. Wybrane parametry MAX5440

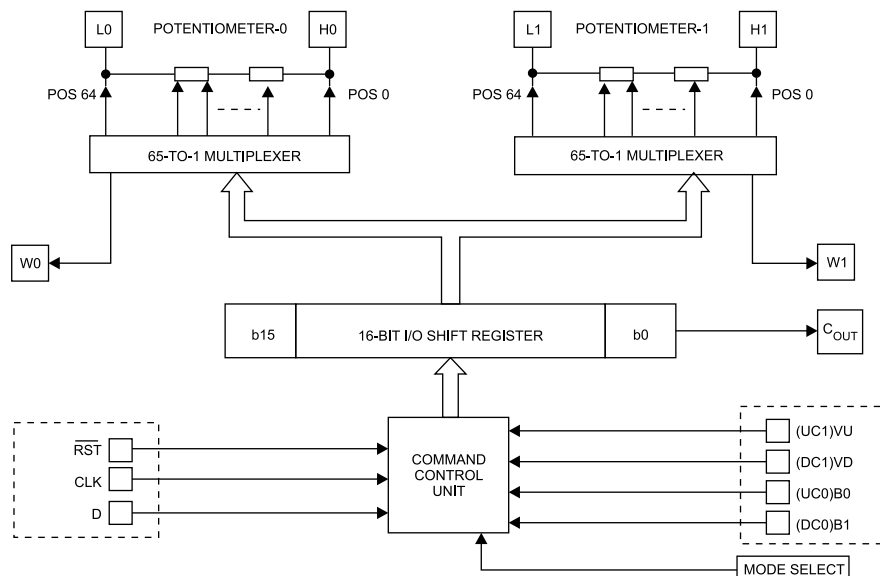
Parametr	Jednostka	Wartość
Napięcie zasilania	V	+2,7 V...+5,5 V $\pm 2,7$ V
Tolerancja absolutna	dB	$\pm 0,25$
Rezystancja potencjometru	k Ω	40
Impedancja wyjściowa	Ω	10
Napięcie szumów na wyjściu – volume –6 dB	μ V	3,2
Współczynnik zniekształceń harmonicznym THD	%	0,006
Separacja kanałów	dB	100
Obciążenie wyjścia	k Ω	3
Rezystancja wyjściowa	Ω	6
PSSR	dB	60

Tabela 9. Wybrane parametry TDA7448

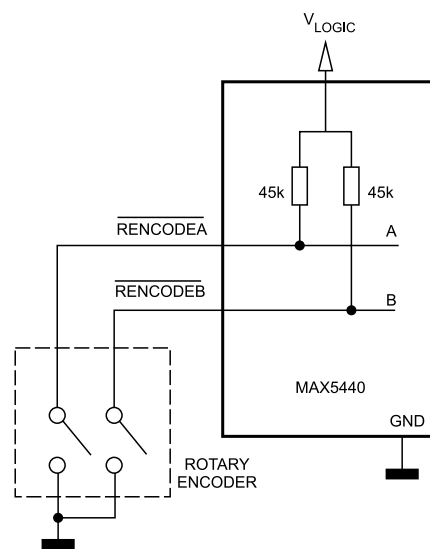
Parametr	Jednostka	Wartość
Napięcie zasilania	V	9
Pobór prądu	mA	7
Maksymalny sygnał wejściowy	V RMS	2
Impedancja wejściowa	k Ω	50
Współczynnik SNR dla $V_o=1$ V	dB	100
Współczynnik zniekształceń harmonicznym THD $V_i=1$ V $F=1$ kHz	%	0,01
Separacja międzykanałowa $f=1$ kHz	dB	90

Tabela 10. Wybrane parametry PGA2311

Parametr	Jednostka	Wartość
Napięcie zasilania	V	± 5
Prąd zasilania	Ma	± 10
Impedancja wejściowa	k Ω	10
Napięcie szumów na wyjściu – volume –6 dB	μ V	2,5
Współczynnik zniekształceń harmonicznym THD+N	%	0,0002
Zakres dynamiki	dB	120



Rysunek 9. Schemat blokowy DS1802



Rysunek 10. Podłączenie enkodera do MAX5440

nia tych elementów: przenośnie radioodtworacze, odbiorniki telewizyjne, i stacjonarny popularny sprzęt audio. Zastosowanie procesora audio znacznie ułatwia budowę przedwzmacniacza. Nie trzeba stosować drogich i kłopotliwych mechanicznych potencjometrów i kabli ekranowanych do ich podłączenia. Znacznie łatwiej jest sobie poradzić z problemami przydźwięku sieciowego, bo tor audio ma zdecydowanie krótsze połączenia.

Scalone potencjometry audio DS1802

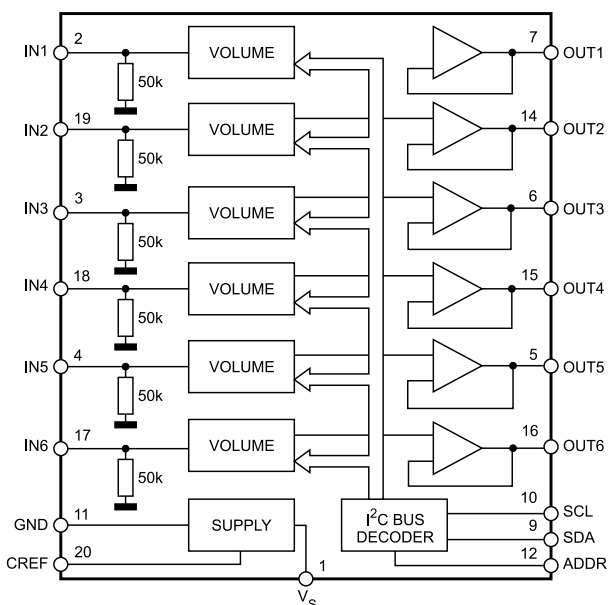
Popularny i uznawany za „klasyk” układ DS1802 jest podwójnym potencjometrem logarytmicznym o rezystancji 45 k Ω . W strukturę układu, oprócz rezystorów dzielnika i analogowego multipleksera, wbudowane są układy sterujące. Podział dzielnika można zmieniać zewnętrznym sterownikiem mikroprocesorowym poprzez 3-przewodowy interfejs szeregowy. DS1802 ma też wewnętrzny sterownik pozwalający na sterowanie za pomocą zwierania styków dołączanych do odpowiednich wyprowadzeń układu. W tym drugim wypadku nie potrzeba sterownika mikroprocesorowego, ale układ nie zapamiętuje w pamięci nieulotnej ostatniego ustawienia. Żeby był zachowany odpowiedni komfort użytkownika, trzeba zastosować podtrzymanie baterijne.

Schemat blokowy układu pokazano na **rysunku 9**. Ścieżka sygnałowa nie zawiera żadnych buforów i dopasowanie impedancyjne musi być wykonane na zewnątrz układu. Układ może być zasilany napięciem asymetrycznym (pojedynczym) +5 V lub symetrycznym $\pm 2,7$ V. W pierwszym wypadku sygnał wejściowy powinien mieć składową stałą równą połowie napięcia zasilania.

Używam takiego układu do regulacji poziomu sygnału we wzmacniaczu słuchawkowym wysokiej klasy. Na wejściu i wyjściu jest umieszczony bufor z dwóch dwuparowanych tranzystorów FET. Pomiary i testy odsłuchowe potwierdziły wysoką jakość toru z układem DS1802. Wybrane parametry DS1802 zamieszczono w **tabeli 7**.

MAX5440

Jest to potencjometr podobny DS1802 i trudno się dziwić, bo firma Maxim – producent MAX5440 – przejął firmę Dallas Semiconductor, projektanta i producenta DS1802. MAX5440 to podwójny potencjometr logarytmiczny o rezystancji 40 k Ω zasilany napięciem pojedynczym +5 V lub podwójnym $\pm 2,7$ V. Aby uniknąć kłopotliwego przesuwania a składowej stałej sygnału wejściowego dla zasilania asymetrycznego jest dostępne napięcie *BIAS* na wyprowadzeniu *MIDBIAS* o wartości połowy napięcia zasilania.



Rysunek 12. Schemat blokowy TDA7448



Najwyższa światowa jakość. Rutronik i STMicroelectronics

STM32 F-2 to 32-bitowy mikrokontroler Flash o wysokiej wydajności

Lider wyznaczający standardy:

- 150 DMIPS przy 120 MHz

Najwyższa sprawność energetyczna:

- Dynamiczny pobór prądu 188 uA/MHz
- Zakres napięć 1,65–3,6V

Bogaty zestaw funkcjonalności:

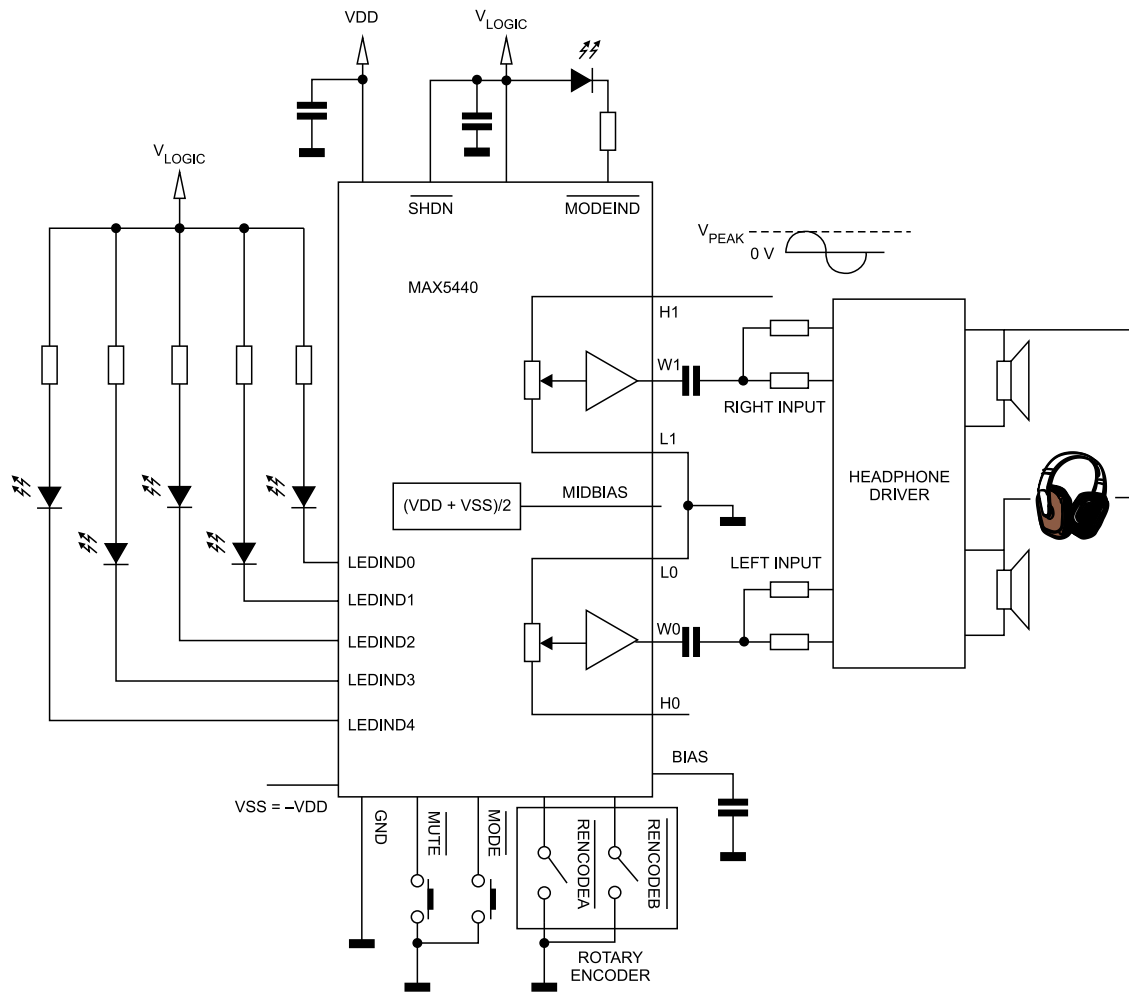
- Obsługa do 1 MB pamięci Flash
- Obsługa Ethernet MAC, USB 2.0 HS OTG, interfejsu kamery
- Sprzętowe wsparcie szyfrowania

Docelowe aplikacje:

- urządzenia przemysłowe, konsumenckie w tym przenośne



RUTRONIK
ELECTRONICS WORLDWIDE



Rysunek 11. Schemat aplikacyjny MAX5440

To, co znacząco różni MAX5440 od DS1802, to sposób sterowania oraz umieszczenie na wyjściu bufora. Regulacja położenia „suwaka” potencjometru jest wykonywana za pomocą dołączanego do wyprowadzeń *RENCODEA* i *RENCODEB* enkodera obrotowego (impulsatora). Sposób dołączenia enkodera pokazano na **rysunku 10**. Dodatkowo, w strukturę układu wbudowano sterownik 5-punktowego, optycznego wskaźnika położenia „suwaka” potencjometru, sygnalizujący jego położenie za pomocą diod LED, które można dołączyć do wyprowadzeń *LEDIND0...LEDIND4*.

Schemat blokowy i aplikacyjny MAX5440 pokazano na **rysunku 11**, a zestawienie wybranych parametrów w **tabeli 8**.

Scalone potencjometry audio – podsumowanie

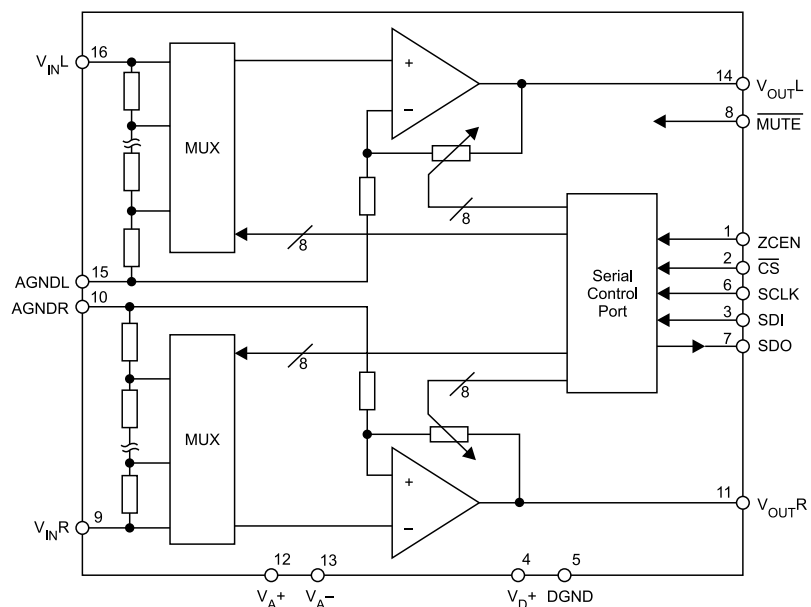
Scalone potencjometry, to elementy, które coraz częściej zastępują procesory audio. Potencjometr oferuje tylko regulację poziomu sygnału i nie wbudowanych elementów procesorów audio takich jak selektor wejść, układ regulacji barwy, czy układów poszerzani bazy stereo. Oferuje za to znacznie mniejsze zniekształcenia i poziom szumów. Scalone potencjometry w odróżnieniu od procesorów audio zna-

lazły swoje miejsce i zostały zaakceptowane w urządzeniach przeznaczonych dla audiofilów.

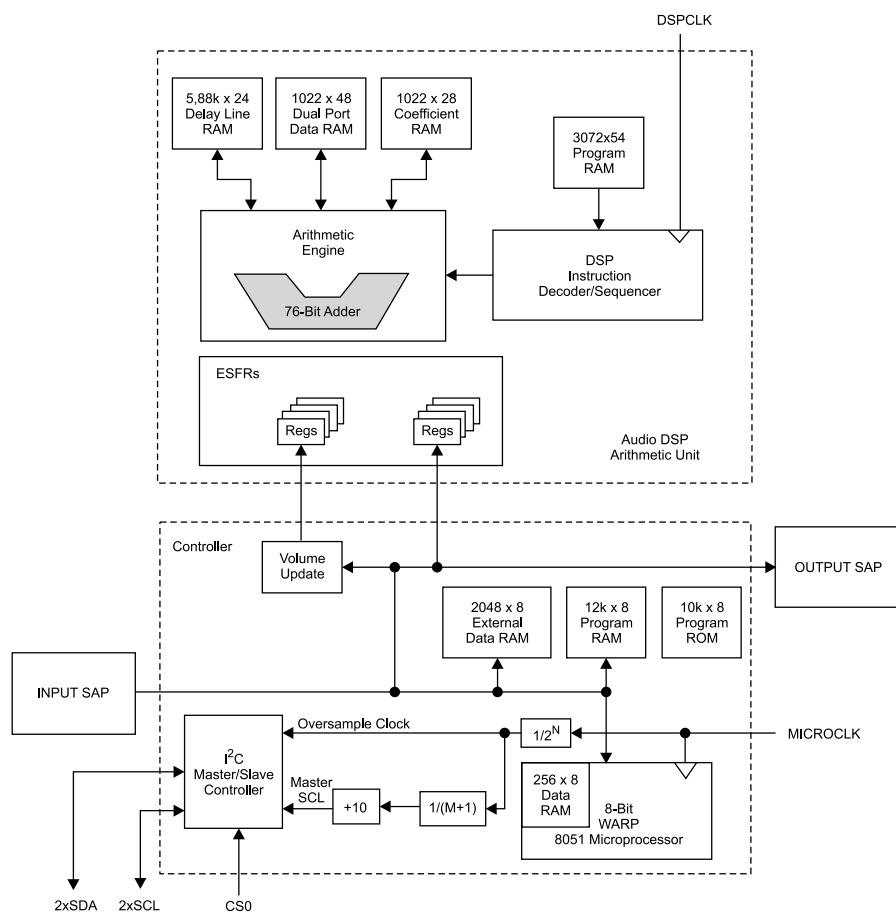
Scalone regulatory PGA TDA7448

O ile regulacja w torze stereo może być wykonywana za pomocą zwykłego

podwójnego potencjometru, to w analogowych urządzeniach wielokanałowych jest konieczne zastosowanie regulatorów scalonych. Przykładem takiego układu przeznaczonego głównie do regulacji w systemach kina domowego jest układ TDA7448 produkowany przez firmę STM. Sześć jednakowych torów jest sterowanych niezależnie



Rysunek 13. Schemat blokowy PGA2311



Rysunek 14. Schemat blokowy procesora DSP wspomaganego przez mikrokontroler 8051

zewnętrznym mikrokontrolerem poprzez interfejs I²C. Każdy tor składa się z regulatora PGA i wtórnika napięciowego (bufora) i może regulować tłumienie sygnału wejściowego w zakresie 0...-79 dB z krokiem co 1 dB. Schemat blokowy TDA7448 pokazano na rysunku 12, a wybrane parametry zamieszczono w tabeli 9.

PGA2311

PGA2311 firmy Texas Instruments jest popularnym układem przeznaczonym do regulowania poziomu sygnału w torze stereofonicznym. Doskonale parametry powodują, że może być stosowany w konstrukcjach wysokiej klasy. Zasadniczymi elementami struktury jednego toru układu są: rezystorowy dzielnik, analogowy multiplexer (klucze) i wysokiej jakości wzmacniacz operacyjny (rysunek 13). Można domyślać się, że gdy sygnał wejściowy jest tłumiony (w zakresie 0...-95,5 dB), to jest to wykonywane za pomocą dzielnika rezystorowego, a wzmacniacz operacyjny ma wzmocnienie równe 1. Po ustawieniu wzmocnienia (w zakresie 0...+31,5 dB) dzielnik wejściowy jest wyłączany, a wzmocnienie jest ustawiane rezystorem regulowanym włączonym w pętlę sprzężenia zwrotnego wzmacniacza nieodwracającego. Wejścia i wyjścia układu są asymetryczne. Maksymalne napięcie wejściowe i wyjściowe

może mieć amplitudę $7,5 V_{pp}$. Jak przystało na nowoczesny układ o dobrych parametrach, PGA2311 ma rozdzielone masy toru analogowego (AGND) i interfejsu cyfrowego (DGND). Wybrane parametry układu zamieszczono w tabeli 10.

Podsumowanie

Scalone przedwzmacniacze i procesory są ważnymi elementami toru audio. Jest wiele urządzeń, w których tor audio jest niezbędny: od telefonów poprzez wszelkiego typu odtwarzacze, laptopy, tablety, odbiorniki telewizyjne i radiowe, do stereofonicznego i wielokanałowego sprzętu audio. Trudno zatem dziwić się olbrzymiej ofercie nie tylko samych typów układów scalonych, ale również różnorodnych rozwiązań układowych dostosowanych do zmieniających się potrzeb. W technice analogowej scalone przedwzmacniacze znacznie upraszczają konstrukcję, ale najczęściej wymagają dodatkowego sterownika – hosta. Sterowanie tak zbudowanym przedwzmacniaczem podnosi komfort użytkownika, ponieważ dzięki mikrokontrolerowi – hostowi można zbudować wygodny interfejs użytkownika składający się z wyświetlacza, toru sterowania w podczerwienu, regulacji za pomocą obrotowego impulsatora itp. Jest to tym łatwiejsze, że programy sterujące można pisać szybko wykorzystując na przykład

kompilator Bascom lub narzędzie graficzne Flowcode.

Scalone cyfrowe procesory audio

Cyfrowe procesory audio spełniają podobne funkcje, jak ich odpowiedniki analogowe. Są to niewątpliwie układy o wiele bardziej zaawansowane technologicznie, ale zapewne mimo tego w obecnym stanie techniki, łatwiejsze do zaprojektowania i wykonania.

Procesory te można podzielić na 2 grupy:

- Procesory czysto cyfrowe. Zawierają w swojej strukturze tylko bloki cyfrowe: interfejsy PCM (np. I²S), interfejsy SPI oraz bloki DSP wykonujące na przykład operacje cyfrowego filtrowania czy skalowania (regulacji poziomu sygnału). Sygnał wejściowy i wyjściowy jest cyfrowy. Jakość wykonywanych operacji zależy głównie od jakości sygnału zegarowego taktującego układ. Napięcie zasilające nie musi spełniać wysokich wymagań, za wyjątkiem napięcia zasilającego układy PLL odbiorników SPDIF.
- Procesory z sygnałami mieszanymi, analogowo – cyfrowymi, zwane również kodekami. Mogą zawierać w swojej strukturze wszystkie bloki procesorów z poprzedniej grupy, ale są uzupełnione o przetworniki analogowo – cyfrowe (ADC) i cyfrowo – analogowe (DAC). Wykonanie takich układów jest bardziej skomplikowane, ich implementacja wymaga więcej wysiłku, ale są bardziej uniwersalne w aplikacjach z sygnałami analogowymi. Uzyskiwane parametry zależą od jakości sygnału taktującego, jakości przetworników i towarzyszących im układów analogowych filtrów dolnoprzepustowych. W trakcie implementacji należy zwrócić uwagę na napięcie zasilające, w tym na separację zasilania obwodów analogowych i cyfrowych.

TAS3108

TAS3108 jest produkowany przez jednego z liderów rynku cyfrowych procesorów audio – firmę Texas Instruments. Jest to procesor 8-kanałowy (4 kanały stereo) mogący obsługiwać dane wejściowe o długości słowa od 16 do 32 bitów, próbkowane z maksymalną częstotliwością 192 kHz. Wbudowany, specjalizowany procesor sygnałowy DSP operuje na danych 48-bitowych i może wykonać sprzętowe operacje mnożenia 76-bitowych liczb w czasie jednego cyklu zegarowego. TAS3108 ma również w swojej strukturze procesor 8051 przeznaczony do komunikowania się za pomocą interfejsu I²C z zewnętrznym sterownikiem – hostem (rysunek 14) oraz do sterowania pracą procesora DSP.

Do sterowania DSP są przeznaczone rejestry ESFR umieszczone w zewnętrznej pamięci danych. Dokładny opis architektury, rejestrów i sposobu programowania można znaleźć w firmowym dokumencie *TAS3108 Audio DSP Instruction Set*.

Procesor sygnałowy może wykonywać na sygnale wejściowym szereg operacji: filtrowanie, regulacja poziomu sygnału (siły głosu), kompresja sygnału, regulacja barwy, w tym filtry typu *loudness*, mikrowanie, generowanie opóźnień itp. Ponieważ DSP jest programowany, to operacje na cyfrowym sygnale są tak naprawdę określane przez programistę i ograniczenia sprzętowe (lista rozkazów, wielkość pamięci, długość i format danych). Elastyczność wykorzystania układu jest jednak okupiona koniecznością napisania programu, a to wiąże się z posiadaniem dodatkowych narzędzi i oczywiście niezbędnej wiedzy.

Tak skomplikowany układ wymaga rozbudowanego taktowania sygnałami zegarowymi. Schemat blokowy układów

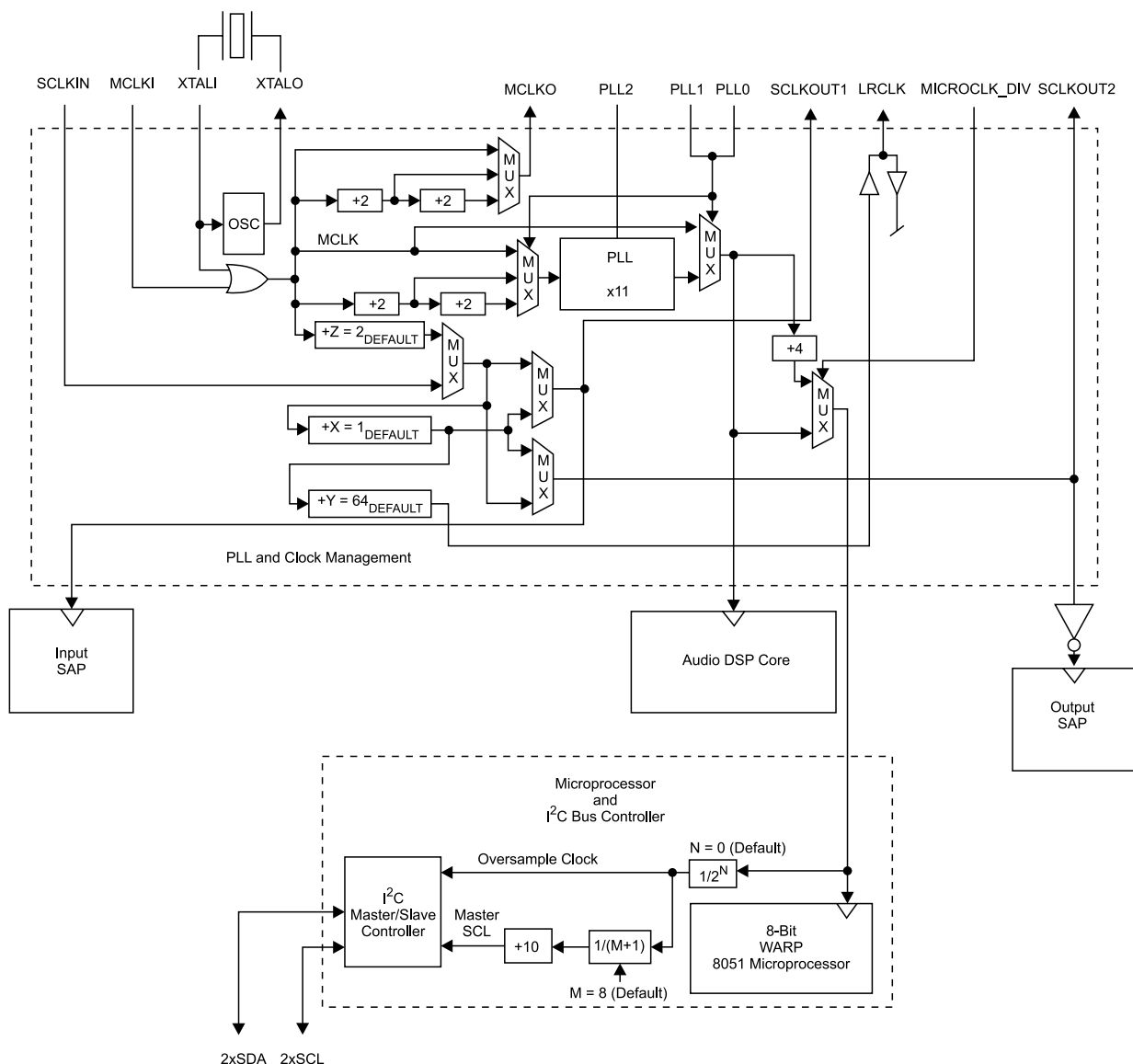
dystrybucji sygnałów zegarowych pokazany na **rysunku 15**. Ogólny schemat blokowy pokazano na **rysunku 16**, a wybrane parametry w **tabeli 11**.

TAS3208

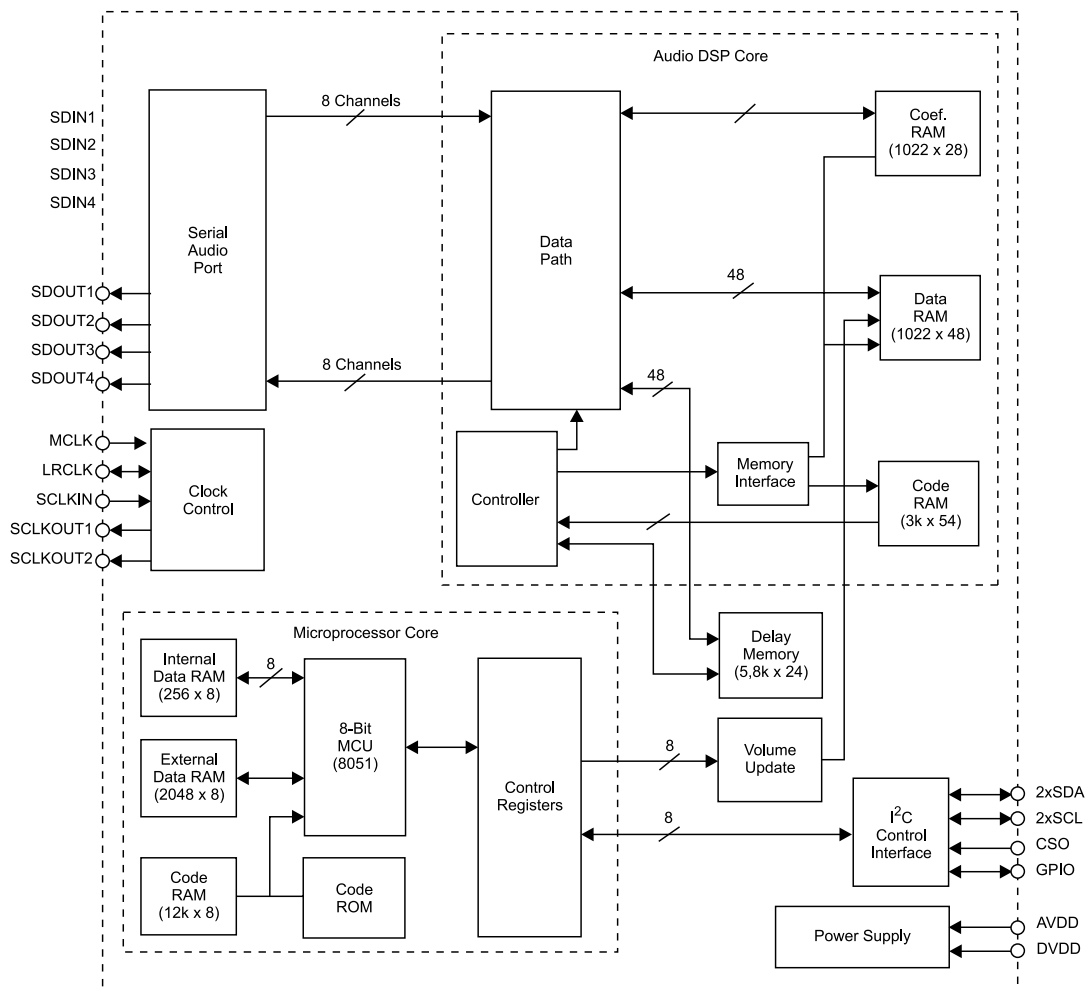
Układ TAS3208, podobnie jak TAS3108, ma procesor DSP i rdzeń 8051, jednak ma bardziej rozbudowane układy peryferyjne. Cyfrowe dane wejściowe są podawane na trzy wejścia stereofoniczne (porty PCM). Oprócz tego poprzez 10-wyściowy analogowy multiplekser można na wejście wbudowanego przetwornika analogowo – cyfrowego podawać stereofoniczny, asymetryczny sygnał analogowy o maksymalnej amplitudzie $2,8 V_{RMS}$. Sygnał wyjściowy jest wyprowadzany w formacie PCM (interfejs I²S) przez dwa porty, wyjście SPDIF, 6-wyściowy przetwornik cyfrowo – analogowy (DAC) i stereofoniczne wyjście wzmacniacza mocy 24 mW do zasilania słuchawek o impedancji 16 Ω .

Jak wspominałem przy okazji opisywania TAS3108, użycie procesora DSP

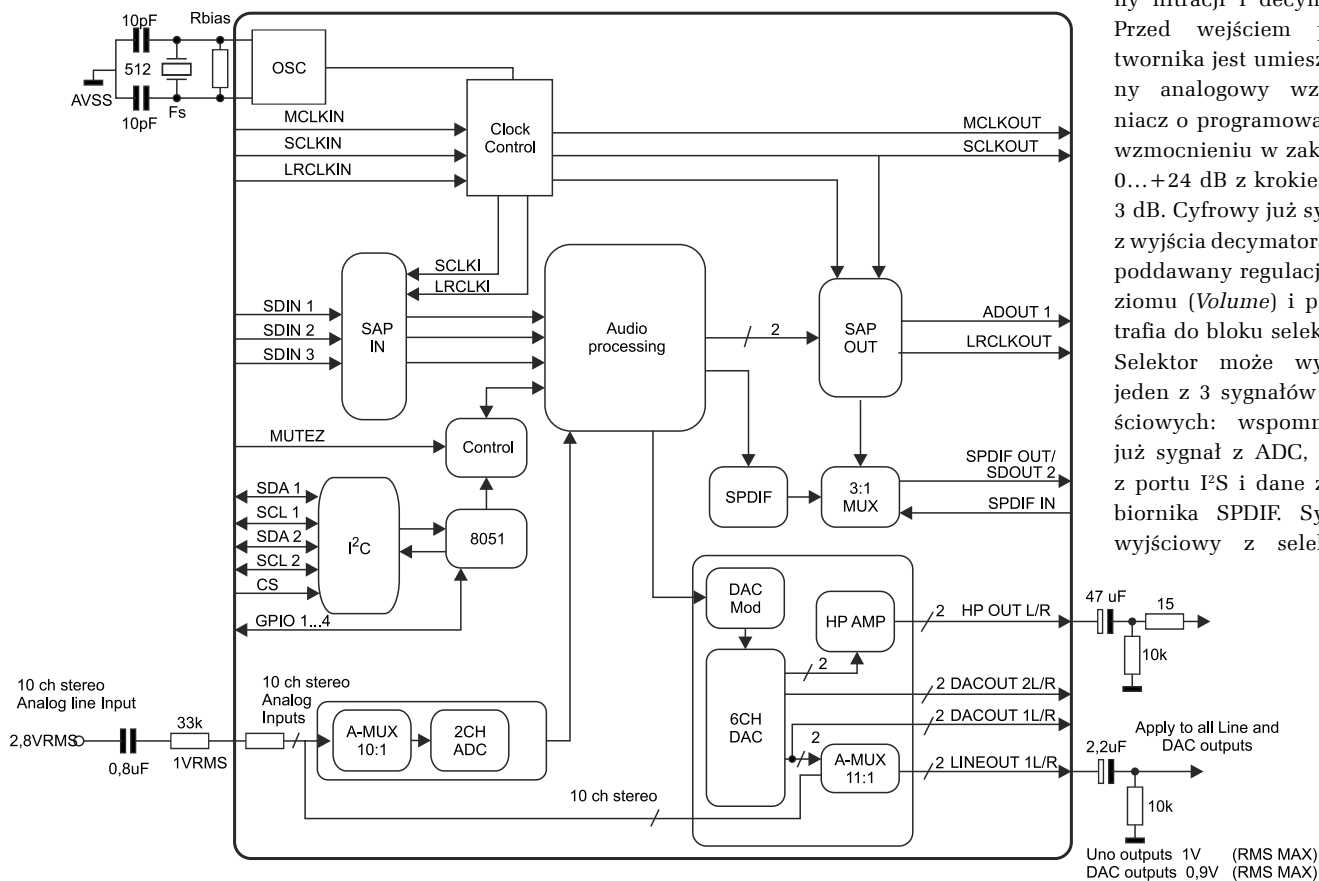
i rdzenia 8051 powoduje, że aplikowanie układu jest bardzo elastyczne. Z drugiej strony, praca doświadczonego programisty lub zespołu programistów jest droga i może być zbyt kosztowna dla mniejszych serii gotowych produktów. Szybkie i tanie tworzenie jest kluczowe dla wszystkich układów, których działanie jest definiowane przez program. TI zdając sobie z tego sprawę udostępnił specjalizowane narzędzie programowe *PurePath Studio*. Jest to aplikacja pozwalająca graficznie tworzyć programy i dla DSP TAS3xxx, w tym również dla poprzednio opisywanego 3108. Na ekranie roboczym *PurePath Studio* umieszcza się elementy graficzne odpowiadające blokom funkcyjnym tworzonego programu. Biblioteka programowa zawiera szereg gotowych podstawowych elementów: regulacja poziomu sygnału (*Volume*), barwy tonu (*Bass/treble*), filtry cyfrowe IIR i FIR, detektor szczytu (*Peak Detector*), generatory szumu, tonu itp. Ponadto, dostępne są elementy typu *Bass Boost*, korektor graficzny



Rysunek 15. Schemat blokowy układu generowania i dystrybucji sygnału zegarowego



Rysunek 16. Schemat blokowy TAS3108



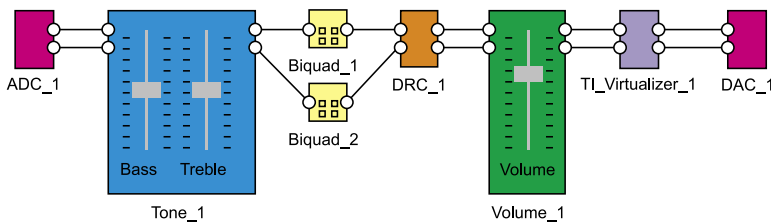
Rysunek 17. Schemat blokowy TAS3208

(TI Graphic EQ), analizator widma, filtr kontur (TI Loudness). Wysoka wydajność procesora DSP umożliwia też implementowanie efektów dźwięku przestrzennego: *SRS Wow*, *QSurround*, a nawet *Dolby ProLogic II*. Na rysunku 18 pokazano ekran edycji ścieżki sygnałowej w programie *PurePath Studio*.

Kodek UDA1355

UDA1355 jest przykładem procesora audio – przedwzmacniacza, w którym połączono technikę analogową z cyfrową. Ma wbudowane wszystkie elementy cyfrowego przedwzmacniacza: wejściowy port PCM (I²S), 4 wejścia SPDIF, wyjściowy port PCM i wyjście SPDIF. Oprócz tego do dyspozycji jest kompletny stereofoniczny tor analogowy. Wejściowy sygnał analogowy SE jest próbkowany w przetwornikach ADC, a potem poddawany filtracji i decymacji. Przed wejściem przetwornika jest umieszczony analogowy wzmacniacz o programowanym wzmocnieniu w zakresie 0...+24 dB z krokiem co 3 dB. Cyfrowy już sygnał z wyjścia decymatora jest poddawany regulacji poziomu (*Volume*) i potem trafia do bloku selektora. Selektor może wybrać jeden z 3 sygnałów wejściowych: wspomniany już sygnał z ADC, dane z portu I²S i dane z odbiornika SPDIF. Sygnał wyjściowy z selektora

Parametr	Jednostka	Wartość
Napięcie zasilania	V	+3,3 V
Prąd zasilania MCLK=24,576 MHz, LRCK=192 kHz	mA	110 mA
Częstotliwość XTAL	MHz	6...20
Częstotliwość MCLK	MHz	6...25
Jitter MCLKO	ps	80
Fs	kHz	32...192
Długość słowa danych audio	bity	16, 24, 32



Rysunek 18. Przykładowa ścieżka sygnałowa w programie PurePath Studio

może być poddany konwersji na postać analogową w bloku przetwornika cyfrowo – analogowego DAC. Przetwornik cyfrowo – analogowy zamienia na postać analogową dane wyjściowe z bloku selektora. Dane te mogą pochodzić z wyjścia przetwornika analogowo – cyfrowego, wejścia I²S lub wyjścia odbiornika S/PDIF. Na wejściu przetwornika umieszczono filtr interpolatora zwiększający częstotliwość próbkowania 64-krotnie lub 128-krotnie. Wbudowany w tor interpolatora procesor DSP operuje na danych o długości 24 bitów. Może miksować dwa sygnały cyfrowych danych audio (wyjścia selektora), liniowo tłumić poziom sygnału wyjściowego w zakresie 0...–78 dB z krokiem co 0,25 dB oraz ma funkcję wyciszania *Mute*. Ponadto, jest możliwa regulacja poziomu tonów wysokich, niezależnie w każdym

z kanałów, w zakresie 0...+6 dB i tonów niskich 0...+18 dB dla $f_c=250$ Hz lub od 0...+24 dB dla $f_c=300$ Hz (po włączeniu funkcji *Bass Boost*). W mikserze regulowany jest niezależnie poziom każdego z sygnałów wejściowych i sygnał sumy z rozdzielczością 0,25 dB. Aby zapobiec zniekształceniom powstającym w trakcie miksowania, sygnały wejściowe są automatycznie tłumione o –6 dB, a suma jest automatycznie wzmacniana +6 dB. Sygnał z wyjścia miksera jest poddawany korekcji barwy tonu (tony niskie i wysokie). Możliwe jest również miksowanie sygnału o skorygowanym brzmieniu z kanału pierwszego z sygnałem nieskorygowanym z kanału drugiego.

Układ UDA1355 ma wbudowany kompletny odbiornik S/PDIF. Sygnał na wejściu odbiornika może być podawany

przez elektroniczny przełącznik z wyprowadzeń *SPDIF0...SPDIF3*. Musi on mieć amplitudę określoną w standardzie IEC60958-3 czyli $\pm 0,5$ V lub standardzie TTL. Oprócz odbiornika S/PDIF, układ UDA1355 jest wyposażony również w nadajnik S/PDIF. W trybie pracy ze sterownikiem mikroprocesorowym możliwe jest ustawienie wszystkich bitów kanału statusowego. Domyślnie wszystkie bity tego kanału są wyzerowane i taka wartość jest wysyłana w trybie pracy statycznej.

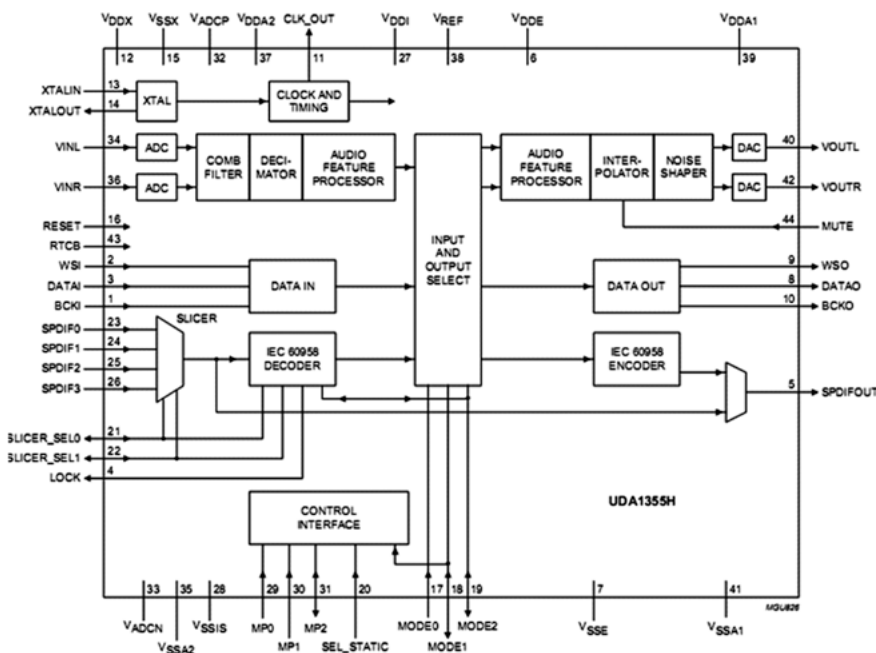
Dane do wejścia nadajnika są przesyłane z modułu selektora wejść. Możliwe jest bezpośrednie przesłanie sygnału w jednego z wybranych wejść *SPDIF0...SPDIF3* na wejście nadajnika S/PDIF bez pośrednictwa odbiornika. Sygnał wyjściowy może mieć w statycznym trybie pracy częstotliwość próbkowania: 32 kHz; 44,1 kHz i 48 kHz. W trybie pracy z mikrokontrolerem częstotliwość ta może mieć następujące wartości: 16 kHz; 22,05 kHz; 24 kHz; 32 kHz; 44,1 kHz; 48 kHz; 64 kHz; 88,2 kHz i 96 kHz. Sygnał wyjściowy spełnia wymagania standardu TTL i aby wyjście spełniało parametry standardu S/PDIF niezbędne jest zastosowanie dodatkowego bufora prądowego.

Cyfrowe dane audio mogą być wprowadzane i wyprowadzane przez standardową, 3-przewodową magistralę audio PCM składającą się z linii sygnału danych, linii sygnału zegarowego i linii sygnału identyfikacji kanałów. Port wyjściowy PCM (linia danych *DATA0* jest wyjściem) jest portem *Master*. Wszystkie sygnały zegarowe są sygnałami wyjściowymi (*WSO* – sygnał identyfikacji kanałów i *BCKO* – taktowanie przesyłaniem danych). Port wejściowy (doprowadzenie *DATA1*) jest portem *Slave*. Linie identyfikacji kanałów *WSI* i linia sygnału zegara taktującego przesyłaniem danych *BCKI* są wejściami.

Każdy z portów może mieć niezależnie programowany format danych. Dostępny format danych podawanych na port wejściowy, to I²S dosunięty do lewej lub dosunięty do prawej. Port wyjściowy wyprowadza dane w tym samym formacie. Interfejs wejściowy/wyjściowy cyfrowego portu danych audio może pracować z częstotliwościami próbkowania z zakresu 16...100 kHz. Oba porty PCM są przewidziane do dołączenia zewnętrznego procesora DSP. Można również wykonać zapętlenie toru przez połączenie *DATA0* z *DATA1*, *BCKO* z *BCKI* i *WSO* z *WSI*.

UDA1355 może być stosowany w trybach pracy:

- statycznym, w którym nie wymaga sterowania przez mikrokontroler, ale nie ma możliwości zaprogramowania większości funkcji: np. regulacji DSP,
- z mikrokontrolerem, w którym układ ten jest sterowany za pomocą interfejsu



Rysunek 19. Schemat blokowy UDA1355

su I²C lub L3bus; w tym trybie można zaprogramować wszystkie rejestry układu UDA1355H i wykorzystać wszystkie jego funkcje.

Schemat blokowy UDA1355 pokazano na rysunku 19, a wybrane jego parametry zamieszczono w tabeli 12.

ADAU1701

Układ scalony firmy Analog Devices ADAU1701 jest przykładem ciekawego rozwiązania w dziedzinie cyfrowych procesorów audio. Podobnie jak TAS3208, ma wbudowany programowany specjalizowany procesor audio, ale podobnie jak UDA1355 operuje też na stereofonicznych, analogowych sygnałach wejściowych i wyjściowych.

Na wejściu układu jest umieszczony stereofoniczny przetwornik sigma – delta z wejściem różnicowym. Przetwornik ten ma dobre parametry: SNR=100 dB, a THD+N=-83 dB. Sygnał danych z tego przetwornika trafia do specjalizowanego, w pełni programowanego procesora sygnałowego DSP o firmowej nazwie *Sigma DSP*. Oprócz danych z przetwornika, na wejście procesora mogą być podawane dane z wejściowego portu PCM (na przykład w formacie I²S). Do przesyłania tych danych są przeznaczone uniwersalne wejścia/wyjścia MP0...MP11. Wyprowadzenia te można też zaprogramować jako wejścia przetworników analogowo – cyfrowych, do których można doprowadzić na przykład napięcie z suwaków potencjometrów wykorzystywanych do regulacji poziomu sygnału, barwy tonu itp.

Sygnał danych z wyjścia procesora DSP jest podawany na wejścia dwóch przetworników cyfrowo – analogowych delta – sigma (SNR=104 dB, THD+N=-90 dB) lub do wyjściowego portu PCM (wyprowadzenia MP0...MP11).

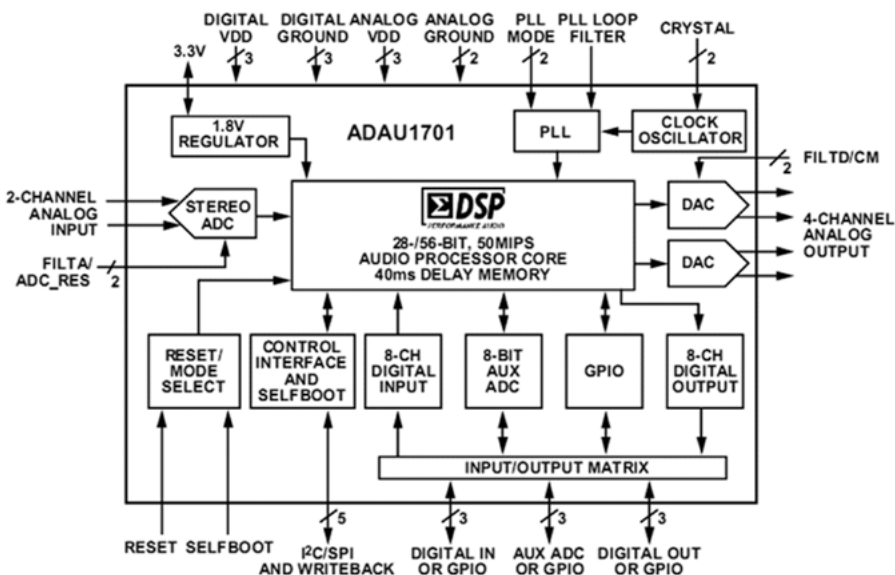
Do programowania procesora *Sigma DSP* producent przygotował specjalizowaną aplikację *Sigma Studio*. Podobnie jak w wypadku *PurePath Studio*, aplikację tworzy się graficznie umieszczając na ekranie wcześniej przygotowane komponenty: regulatory poziomu, regulatory barwy, korektory graficzne, filtry itp.

Podsumowanie

O ile w wypadku przedwzmacniaczy analogowych stosunkowo łatwo zbudować ekwiwalent funkcjonalny układu scalonego z elementów dyskretnych, o tyle w wypadku stosowania cyfrowej techniki DSP do obróbki sygnału audio,

Tabela 12. Wybrane parametry układu UDA1355

Parametr	Jednostka	Wartość
Napięcie zasilania układów cyfrowych Vdd	V	+3,3
Prąd zasilania układów cyfrowych	mA	35
Napięcie zasilania układów analogowych Vdd	V	+3,3
Prąd zasilania układów analogowych	mA	15
THD+N przetwornika ADC dla fs=48 kHz	dB	-85
S/N przetwornika ADC dla fs=48 kHz	dB	97
THD+N przetwornika DAC dla fs=48 kHz	dB	-88
S/N przetwornika DAC dla fs=48 kHz	dB	96

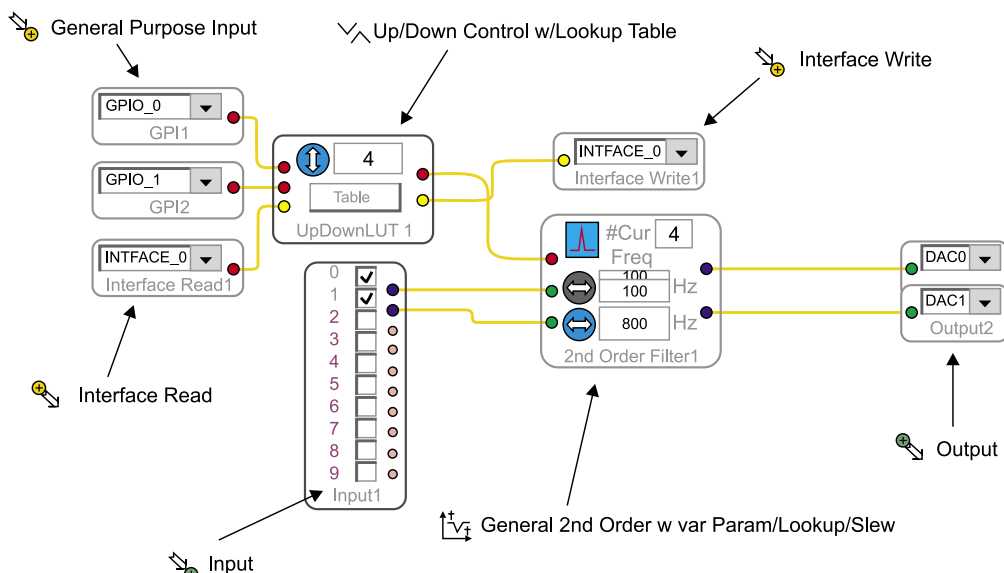


Rysunek 20. Schemat blokowy ADAU1701

konstruktor jest niejako skazany na użycie gotowych rozwiązań. Mało tego, znaczny stopień skomplikowania i konieczność posiadania specjalistycznej wiedzy na temat interfejsów cyfrowych oraz algorytmów przetwarzania sygnałów może ograniczać stosowanie tych układów przez mniej zaawansowanych konstruktorów. Barię może też być dostępność specjalizowanych narzędzi programowych oraz samych

układów. Z drugiej strony, takie układy jak UDA1355 są również łatwe w użyciu jak analogowe procesory audio. Mam nadzieję, że trend wyznaczony przez ten układ będzie się utrzymywał i na rynku pojawią się konkurencyjne wyroby o jeszcze ciekawszych możliwościach.

Tomasz Jabłoński, EP
tomasz.jablonski@ep.com.pl



Rysunek 21. Przykładowa ścieżka sygnałowa w programie *Sigma DSP Studio*