

Dział „Projekty Czytelników” zawiera opisy projektów nadesłanych do redakcji EP przez Czytelników. Redakcja nie bierze odpowiedzialności za prawidłowe działanie opisywanych układów, gdyż nie testujemy ich laboratoryjnie, chociaż sprawdzamy poprawność konstrukcji. Prosimy o nadsyłanie własnych projektów z modelami (do zwrotu). Do artykułu należy dołączyć podpisane oświadczenie, że artykuł jest własnym opracowaniem autora i nie był dotychczas nigdzie publikowany. Honorarium za publikację w tym dziale wynosi 250,- zł (brutto) za 1 stronę w EP. Przesyłanych tekstów nie zwracamy. Redakcja zastrzega sobie prawo do dokonywania skrótów.



# Amplituner do kina domowego AMPL-008 (1)

*W maju 2007 r. na łamach EP opublikowano artykuł Tomasza Jabłońskiego pt. „Dekoder Dolby Digital/DTS”. Jego lektura przekonała mnie, że nawet elektronik amator może zbudować urządzenie audio o funkcjonalności wykraczającej poza typowe urządzenia stereofoniczne. Początkowo chciałem zbudować własny amplituner umożliwiający odbiór programów radiowych w paśmie FM, odtwarzanie muzyki z plików MP3, mający kilka wejść analogowych oraz dwukanałową końcówkę mocy, ale zainspirowany wspomnianym artykułem zacząłem szukać u różnych dostawców układów scalonych możliwości zdobycia scalonego dekodera Dolby Digital/DTS typu STA310, produkowanego przez firmę ST. Jego próbki udało mi się otrzymać od jednego z dystrybutorów podzespołów.*

Mając scalony dekodery STA310 mogłem rozwinąć mój projekt amplitunera z wersji stereofonicznej do wersji Dolby 5.1 Surround. Pierwotny projekt wolno ewoluował. Od samego początku chciałem zbudować amplituner wyposażony w „cyfrowe” końcówki mocy pracujące w klasie D. Pierwotnie zamierzałem zbudować końcówkę mocy w wersji stereofonicznej, a sześć kanałów z dekodera STA310 wyprowadzić na trzy złącza jack 3,5 mm. Wymagałoby to użycia głośników „komputerowych” 5.1 z wbudowanym wzmacniaczem, jednak później postanowiłem zbudować 6-kanałową końcówkę mocy. Potrzebowałem układy wzmacniaczy pracujące w klasie D z wejściem analogowym. Szczególnie zainteresowałem się układami produkowanymi przez firmę Texas Instruments. Początkowo wybrałem układ TPA3120D2. Jest to scalony, dwukanałowy wzmacniacz z wejściami analogowymi o mocy 2×25 W. Wydaje mi się, że gdy za-

czyniałem projektować amplituner (2008 rok) firma Texas Instruments nie miała w ofercie układów scalonych wzmacniaczy audio klasy D o większej mocy wyjściowej. Dopiero około 2010 r. dotarły do mnie informacje o nowych wzmacniaczach TI o kilkakrotnie większej mocy wyjściowej i zniekształceniach nieliniowych mniejszych o rząd wielkości. Mam na myśli wzmacniacze TAS5611, TAS5613 oraz TAS5615 o mocy wyjściowej, odpowiednio, 2×125 W, 2×150 W oraz 2×160 W.

Mogłem użyć 3 układów TAS5611, ale miałem już wtedy narysowany za pomocą komputera schemat amplitunera z 3 układami TPA3120D2, więc wybrałem inne rozwiązanie. Schemat aplikacyjny układów TAS5611(13, 15) jest znacznie bardziej rozbudowany. Wymagają one również znacznie więcej miejsca na płycie drukowanej. Biorąc to wszystko pod uwagę zdecydowałem się na kompromis: postanowiłem użyć tylko

jednego układu TAS5611 oraz pozostawić 2 układy TPA3120D2. Przy napięciu zasilania końcówek mocy napięciem 28 V zastosowane układy scalone dostarczają sygnał o mocy TAS5611 – 2×100 W/4 Ω, natomiast TPA3120D2 (2 szt.) – 4×25 W/4 Ω.

Wzmacniacz TAS5611 ma dużą moc wyjściową i niewielkie zniekształcenia nieliniowe. Włączyłem go w konfiguracji BTL (*Bridge Tied Load*) – jeden układ scalony obsługuje dwa kanały o mocy 2×100 W przy obciążeniu 4 Ω lub 2×50 W/8 Ω. Przewidziałem ten układ do zasilania przede wszystkim głośników przednich, ale jest możliwe także sterowanie centralnym subwooferem. Wybór konfiguracji umożliwiają zworki na płycie drukowanej.

Wzmacniacze TPA3120D2 mogą pracować albo w konfiguracji SE (*Single Ended*), albo BTL (*Bridge Tied Load*). Każdy z układów TPA3120D2 w konfiguracji SE obsługuje po dwa kanały o mocy 2×25 W przy obciążeniu 4 Ω. W konfiguracji BTL jeden układ TPA3120D2 zasilają pojedynczy kanał sygnałem o mocy 50 W przy obciążeniu 8 Ω. Przewidziałem te układy do zasilania głośników „Surround” (L/P tył). Jeden z układów TPA3120D2 może zasilać dwa głośniki o impedancji 4 Ω. Drugi może zasilać jeden głośnik „Centralny” o impedancji 4 lub 8 Ω. Subwoofer powinien być głośnikiem aktywnym (z wbudowanym wzmacniaczem).

## Główne bloki funkcjonalne

Chciałem wykonać amplituner do kina domowego z Dolby Surround 5.1. Dodatkowo chciałem, aby nagrywał on muzykę na



Fotografia 1. Panel czołowy amplitunera AMPL-008



Fotografia 2. Ścianka tylna amplitunera AMPL-008

kartach SD/SDHC w formacie \*.WAV. Ostatecznie na płycie głównej umieściłem:

- Odbiornik radiowy FM z syntezą częstotliwości z układem TEA5768HL.
- Dekoder stereofoniczny z układem TDA7461.
- Dekoder RDS z układem SAA6588.
- Przedwzmacniacz z układem WM8770, który ma wbudowane: 8-wejściowy, stereofoniczny multiplexer analogowy, analogowe wejście 5.1, stereofoniczny przetwornik A/D, 4 stereofoniczne przetworniki D/A (DAC1...4), 4 stereofoniczne wyjścia analogowe z przetworników D/A multipleksowane z sygnałami z wybranych wejść analogowych.
- Układy filtrów dolnoprzepustowych na wyjściach z przetworników D/A z możliwością włączenia stałej korekty barwy tonu w torach DAC1...DAC3.
- Analogowy procesor sygnału audio z układem TDA7461.
- Układ „Upmix” zbudowany na wzmacniaczach operacyjnych.
- Dekoder MP3 z układem STA015T.
- Dekoder AC3 z układem STA310 (z cyfrowym wejściem SPDIF).
- Układ „Downmix” zbudowany głównie ze wzmacniaczy operacyjnych i przełączników analogowych.
- Końcówki mocy pracujące w klasie D z układami TPA3120D2 i TAS5611.
- Wzmacniacz słuchawkowy z układem TPA6120A2.
- Procesor LPC2387 sterujący pracą większości układów) oraz obsługujący: kartę pamięci typu SD lub SDHC (do 4 GB/FAT16) oraz moduł VDIP1 produkcji firmy FTDI (obsługa przez interfejs USB pendriva FAT16 lub FAT32).

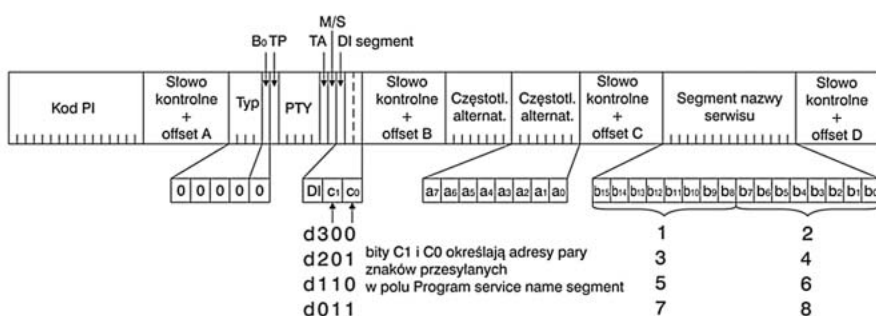
Na tylnej ścianie (fotografia 1) umieściłem:

- 4 wejścia analogowe STEREO (3 pary złącz CHINCH oraz jedno złącze DIN),

- 1 wejście analogowe 5.1 (3 gniazda jack),
- wejście anteny FM (złącze chinch),
- 2 wyjścia analogowe STEREO (2 pary złącz chinch),
- wyjście słuchawkowe (gniazdo jack),
- 4 wejścia cyfrowe SPDIF (1×coaxial, 3×optyczne),
- 2 wyjścia cyfrowe SPDIF (coaxial i optyczne),
- analogowe wyjście 5,1 dla głośników „komputerowych” (3 gniazda jack),
- 6 wyjść dla głośników,
- złącze USB-B do komunikacji z komputerem (programowanie procesora, opcjonalne sterowanie).

Na przedniej ścianie (fotografia 2) umieściłem:

- gniazdo dla karty SD/SDHC,
- złącze USB-A dla pendriva,



Rysunek 3. Budowa grupy 0A

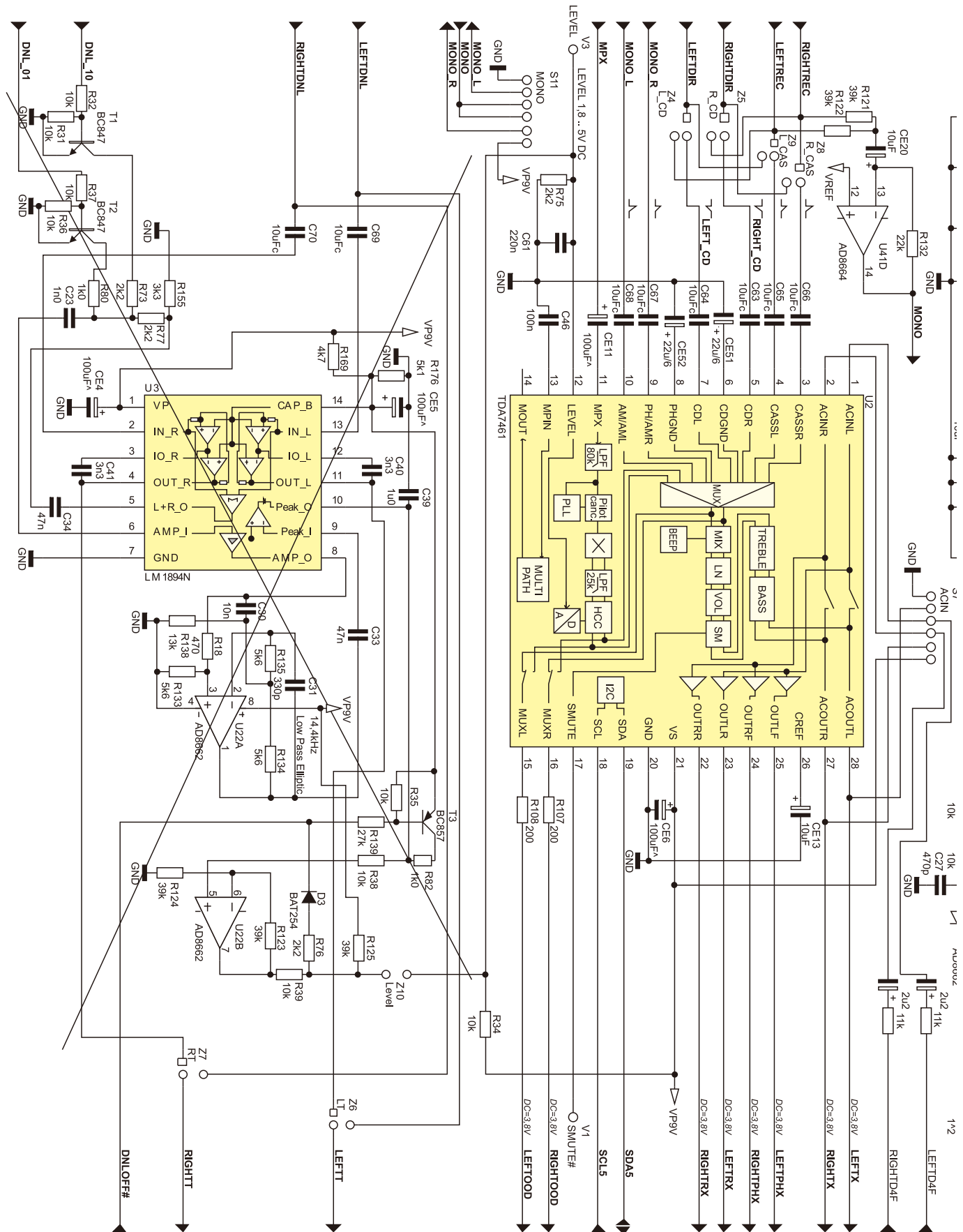
REKLAMA

Projekty na...

**STM32**

[www.stm32.eu](http://www.stm32.eu)

**KAMAMI**  
life.augmented



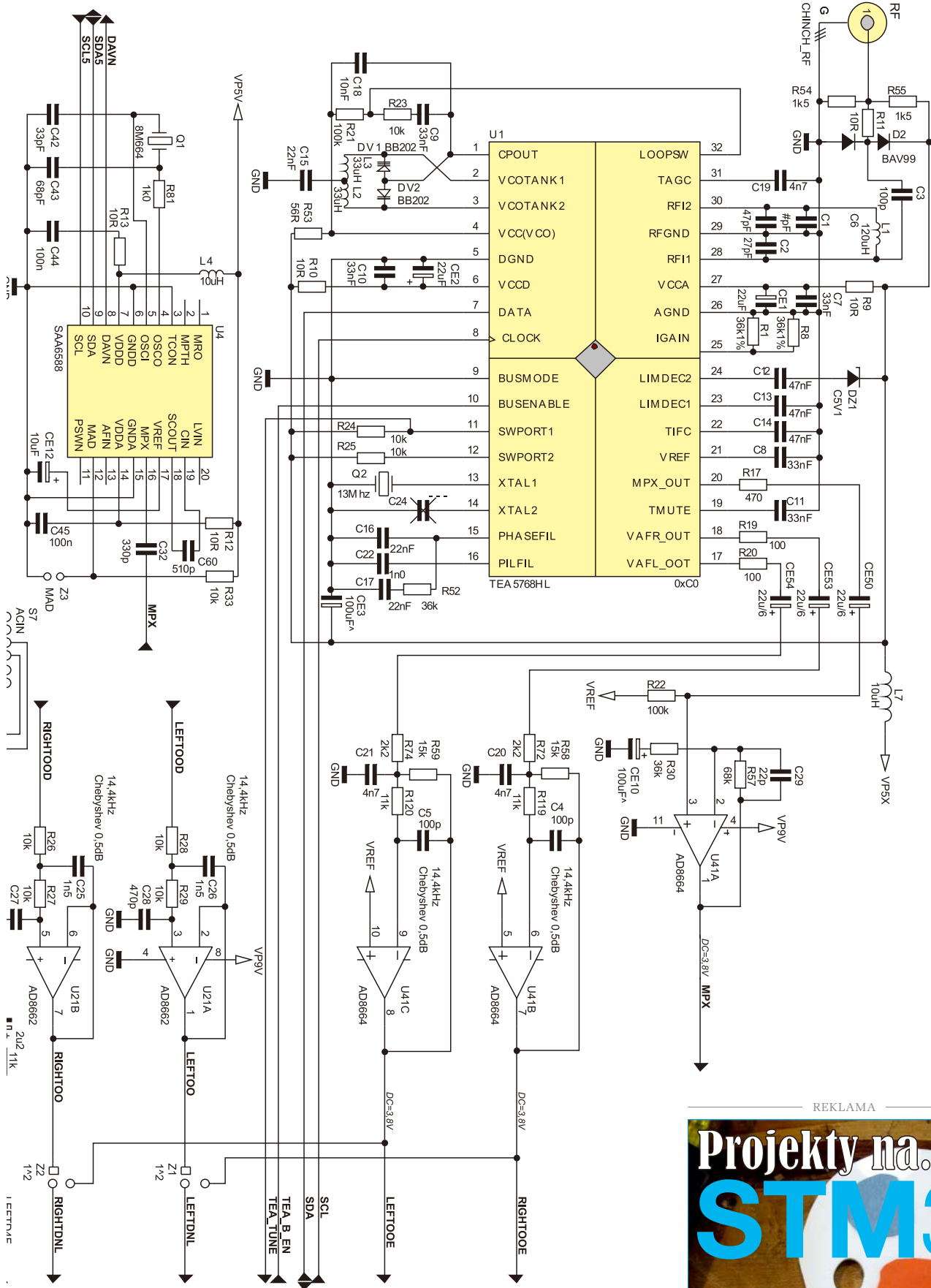
Rysunek 4. Schemat ideowy tunera FM (przekreślono część schematu, z której komponenty nie zostały zamontowane)

- wyjście na słuchawki (gniazdo JACK),
- wejście analogowe (gniazdo JACK),
- odbiornik podczerwieni (zdalne sterowanie),

- wyświetlacz 2×24 znaki oraz kilka diod sygnalizacyjnych.
- Do obsługi amplitunera przewidziałem albo 8 przycisków, albo 6 przycisków i im-

pulsator (szóstym przyciskiem jest przycisk w impulsatorze).

Płytką główną wymaga zasilania ze źródła +20..28 V o obciążalności 3...8 A.



Napięcie zasilania nie musi być stabilizowane, wystarczy prostownik i filtr z kondensatorami elektrolitycznymi o pojemności 2000...10000  $\mu\text{F}$ . W urządzeniu prototypy-

powym użyłem transformatora sieciowego TST50/009 o napięciu wyjściowym 19 V i prądzie 2,63 A. Aby w pełni wykorzystać maksymalną moc końcówek mocy należa-

REKLAMA

Projekty na... **STM32**

[www.stm32.eu](http://www.stm32.eu)

**ST** life.augmented **KAMAMI**



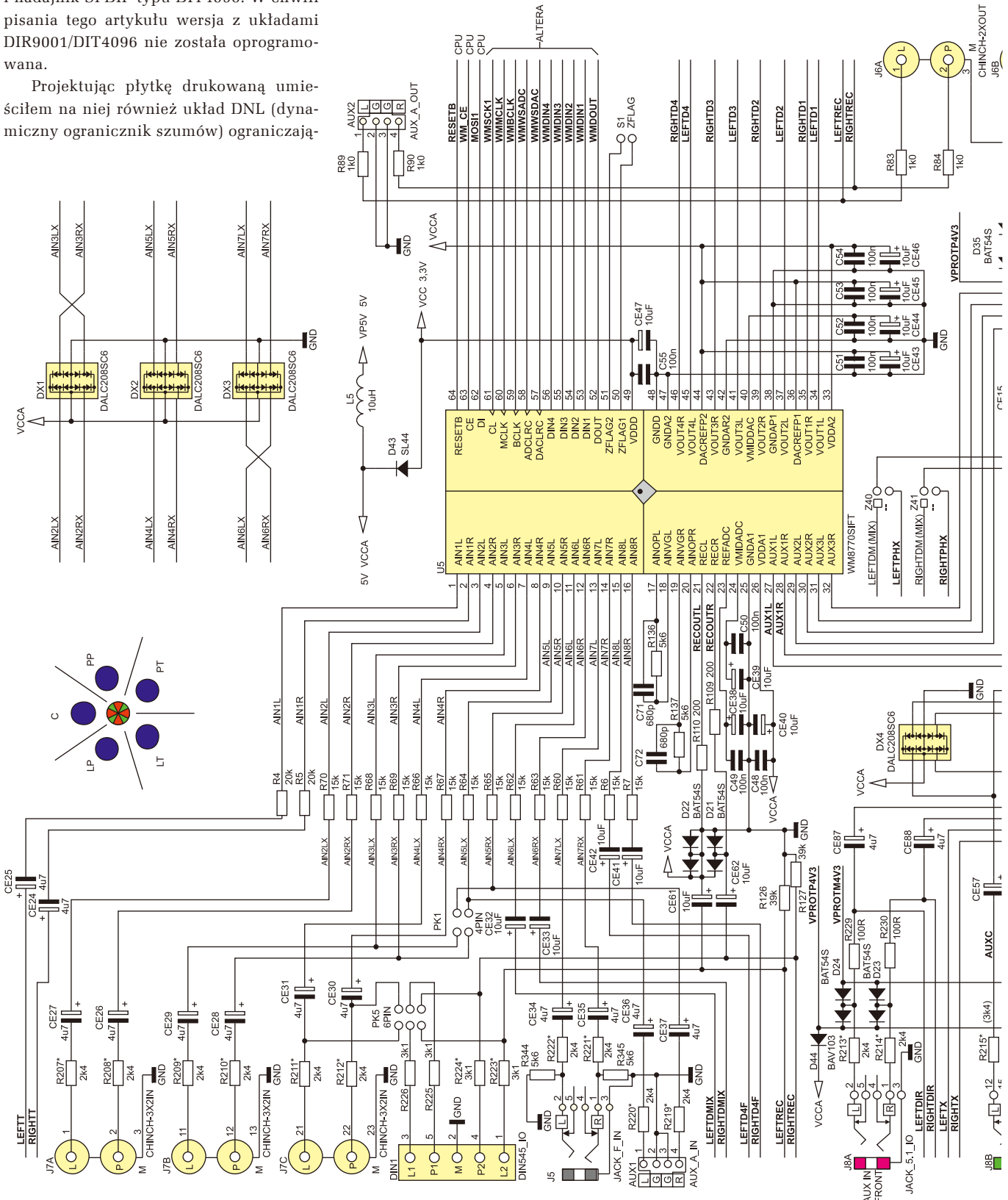
łoby zastosować transformator sieciowy o mocy 200 VA. Napięcie zasilania nie powinno przekroczyć 30 V.

Zdając sobie sprawę z trudności związanych ze zdobyciem scalonego dekodera STA310, umieściłem ten układ na dodatkowej płycie drukowanej – nakładce. Opcjonalnie można wstawić nakładkę zawierającą odbiornik SPDIF typu DIR9001 i nadajnik SPDIF typu DIT4096. W chwili pisania tego artykułu wersja z układami DIR9001/DIT4096 nie została oprogramowana.

Projektując płytkę drukowaną umieściłem na niej również układ DNL (dynamiczny ogranicznik szumów) ograniczają-

cy szumy o wysokiej częstotliwości. Układ ten (na bazie LM1894N) umieściłem w torze sygnałów z tunera FM. Ze względu na raczej niewielką skuteczność tego układu w opisywanym prototypie nie wlutowałem tego układu. Również nie wlutowałem procesora DSP typu AL3102G. Wymaga on napisania programu w assemblerze, co zmusza do nauczenia się nowego języka,

specyficznego dla tego procesora. W rozwiązaniu prototypowym wykorzystuję niektóre możliwości procesora DSP, który wbudowano w strukturę układu STS310. Są to funkcje: dekodery Prologic, Circle Surround, SRS, VMAX. Układ AL3102G może przydać się w wersji amplitunera z nakładką SPDIF zawierającą układy DIR9001/DIT4096.



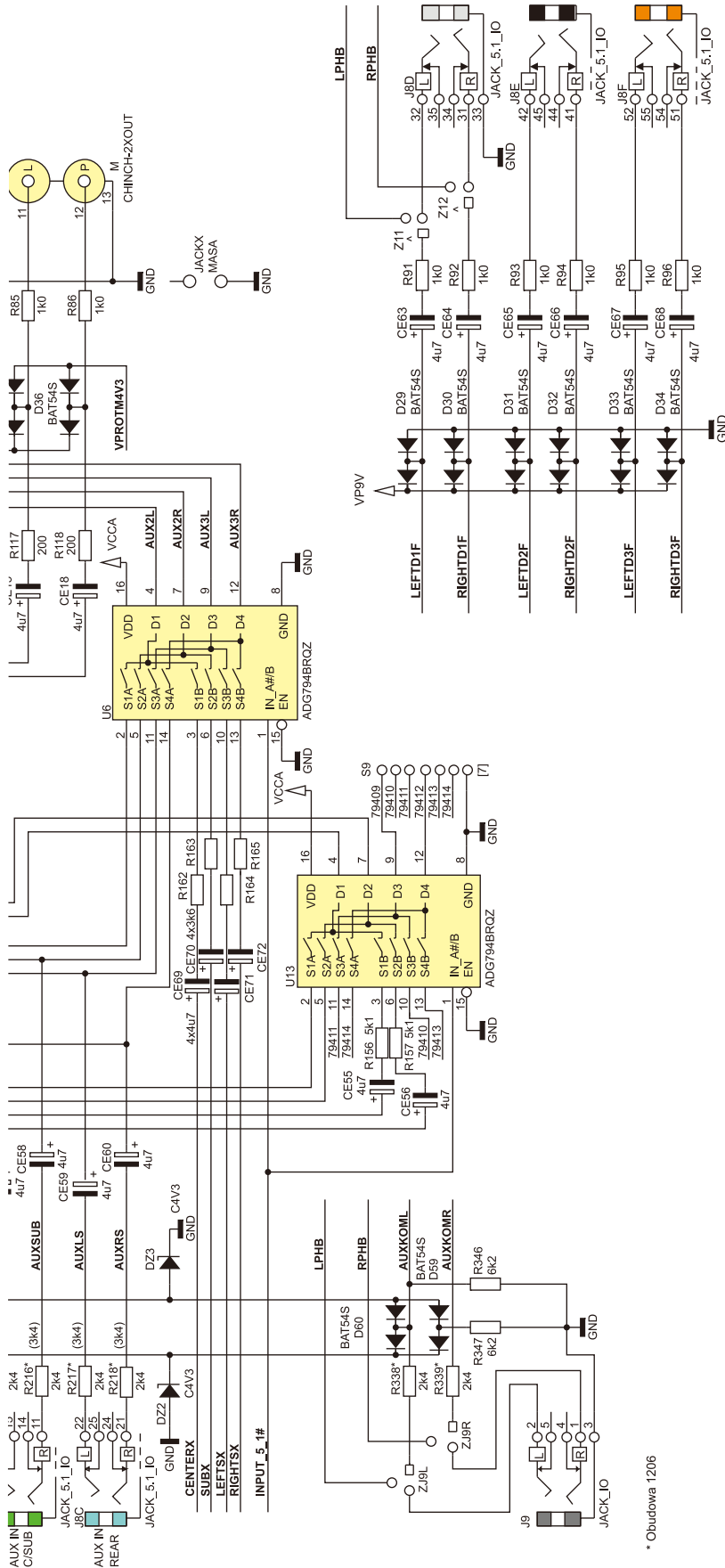
Rysunek 5. Schemat ideowy przedwzmacniacza

**Odbiornik radiowy FM i dekodek stereofoniczny**

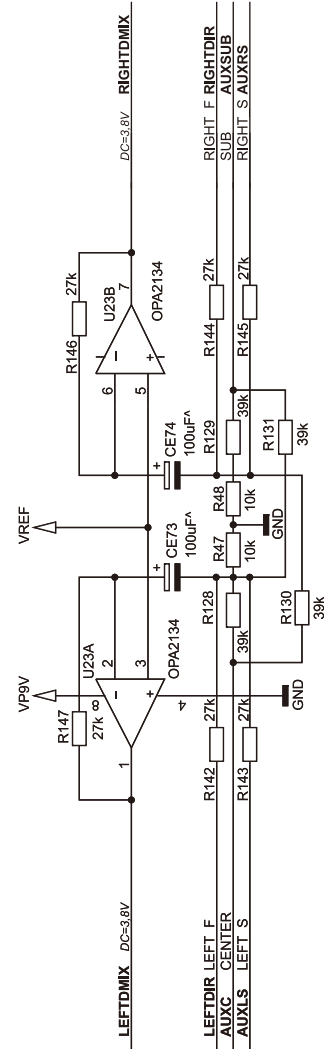
Każdy amplituner ma odbiornik radiowy FM. Szukałem układu scalonego niewymagającego trudnych do kupienia i strojenia

filtrów LC. Wybrałem układ scalony produkowany przez firmę NXP typu TEA5768HL (U1) w obudowie LQFP32. Wymaga on dołą-

czenia tylko 3 cewek o stałej indukcyjności: L1=120 μH, L2=L3=33 μH. Zastosowałem gotowe dławiki SMD. Układ tunera zawiera wszystkie bloki tworzące kompletny odbiornik radiowy FM i jest sterowany za pomocą I<sup>2</sup>C. Częstotliwość pośrednia wynosi 225 kHz. Wymagane jest podłączenie rezonatora kwarcowego 13 MHz lub 32768 Hz. W prototypie zastosowałem rezonator 13 MHz. Układ syntezy częstotliwości wymaga użycia dwóch diod pojemnościowych typu BB202. Miałem trudności z ich zaku-



\* Obudowa 1206



REKLAMA

Projekty na...Texas

STM32

www.stm32.eu

life.augmented

KAMAMI



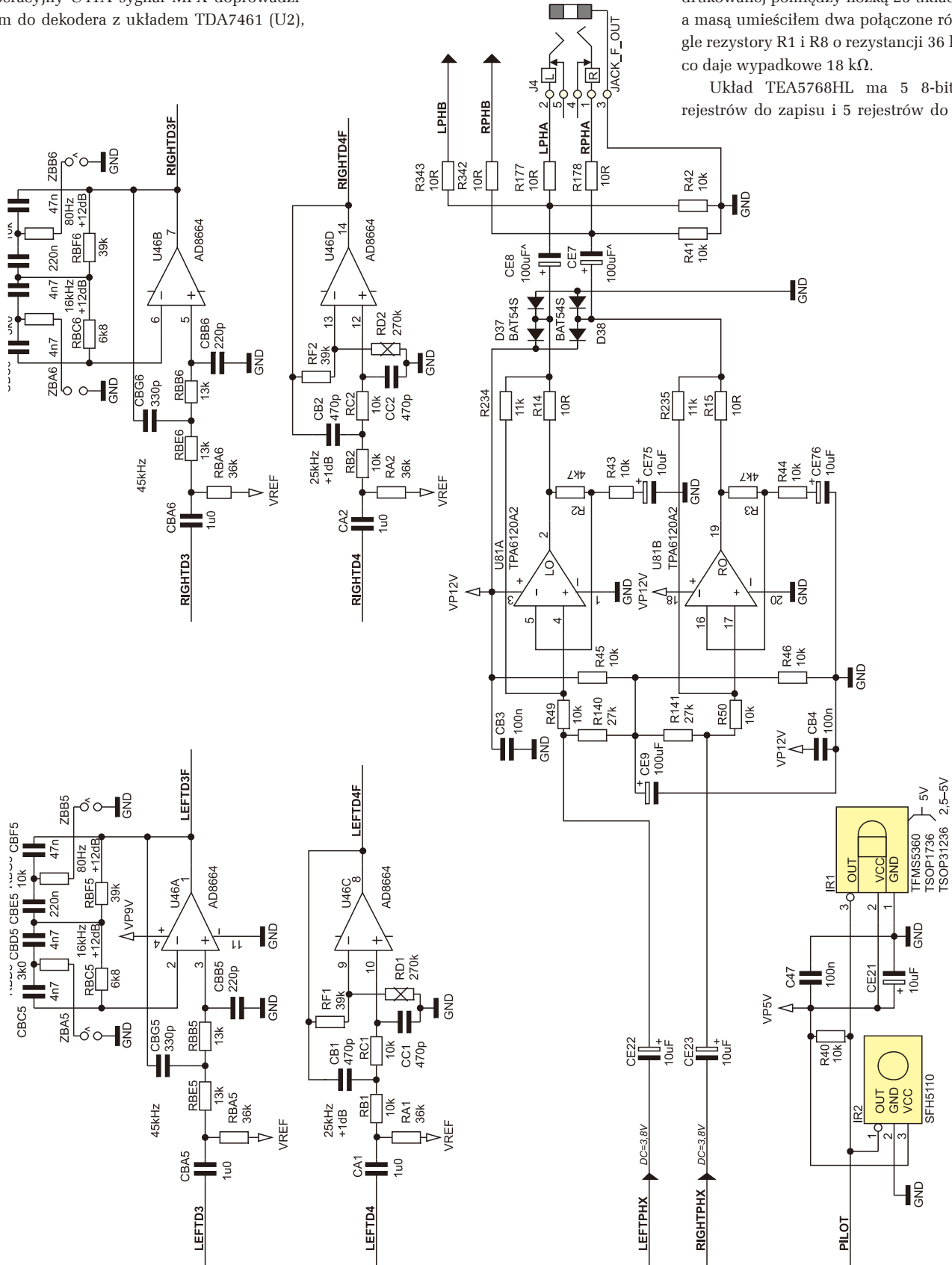
ale jego parametry były niewystarczające: separacja kanałów na poziomie 24 dB, przytłumione wysokie tony, wymagany duży poziom sygnału z anteny, aby dekodery włączyły się. Dlatego wykorzystałem wyjście sygnału MPX z układu TEA5768HL (nóżka 20 – MPXO). Po wzmacnieniu przez wzmacniacz operacyjny U41A sygnał MPX doprowadziłem do dekodera z układem TDA7461 (U2),

który ma bardzo dobre parametry. Nie wymaga żadnych regulacji, zapewnia separację kanałów do 50 dB. Testy odsłuchowe wykazały, że nie tylko separacja kanałów jest lepsza, ale zdecydowanie wyraźniejsze i „czystsze” są tony wysokie, a dekodowanie załącza się również przy słabym poziomie sygnału

stacji radiowej. Sygnały z wyjść dekodera TEA7461 doprowadziłem do filtrów dolno-przepustowych (U21A, U21B) i na pierwsze wejście układu WM8770 (U5).

Układ TEA5768HL wymaga, aby rezystor R1 (na schemacie blokowym) miał wartość równą dokładnie 18 kΩ. Na płycie drukowanej pomiędzy nóżką 25 układu (U1) a masą umieściłem dwa połączone równolegle rezystory R1 i R8 o rezystancji 36 kΩ/1%, co daje wypadkowe 18 kΩ.

Układ TEA5768HL ma 5 8-bitowych rejestrów do zapisu i 5 rejestrów do odczy-





tu. W jednym cyklu transmisji zapisu jest możliwe wysyłanie pierwszych 2 bajtów lub wszystkich 5. Znaczenie (w skrócie) poszczególnych bitów w wysyłanych bajtach:

Bajt 1 zapis		
Bit	Symbol	Opis
7	MUTE	MUTE L, R (Wyciszenie)
6	SM	Search Mode (Przeszukiwanie)
5..0	PLL[13:8]	PLL counter (H)

Bajt 2 zapis		
Bit	Symbol	Opis
7..0	PLL[7:0]	PLL counter (L)

Bajt 3 zapis		
Bit	Symbol	Opis
7	SUD	Search UP/Down
6, 5	SSL[1:0]	Search Stop Level
4	HLSI	HIGH/LOW Side Injection
3	MS	Mono to Stereo (0 – Stereo)
2	MR	Mute Right (0–not muted)
1	ML	Mute Left (0–not muted)
0	SWP1	(Wyjście portu SWP1)

Bajt 4 zapis		
Bit	Symbol	Opis
7	SWP2	(Wyjście portu SWP2)
6	STBY	Standby (1–Standby)
5	BL	Band Limits (0–USA/Europe)
4	XTAL	XTAL (0–13 MHz)
3	SMUTE	Soft MUTE (0–Off)
2	HCC	High Cut Control (0–Off)
1	SNC	Stereo Noise Cancelling (0–Off)
0	SI	Search Indicator (1–SWP1=SI)

Bajt 5 zapis		
Bit	Symbol	Opis
7	PLLREF	0–13, 1–6,5 MHz reference
6	DTC	De-emphasis 0–50, 1–75 us
5..0	-	(nie używane)

Współczynnik  $N = \text{„PLL counter”}$  dla częstotliwości odbieranej stacji  $FRF[\text{Hz}]$  można obliczyć ze wzoru:

$$N = (4 \times (FRF + 225000)) / 50000 \text{ dla „HIGH side injection” (HLSI} = 1)$$

$$N = (4 \times (FRF \times 225000)) / 50000 \text{ dla „LOW side injection” (HLSI} = 0)$$

Tabela 2. Połączenia wyjść audio z układu WM8870

Wyjście układu WM8870	Sygnał wyjściowy	Złącze (J8) 6× JACK 3.5mm
VOUT1L*	LEWY PRZÓD	Szary D (styk lewy)
VOUT1R*	PRAWY PRZÓD	Szary D (styk prawy)
VOUT2L*	CENTRALNY	Czarny E (styk lewy)
VOUT2R*	SUBWOOFER	Czarny E (styk prawy)
VOUT3L*	LEWY TYŁ	Pomarańczowy F (styk lewy)
VOUT3R*	PRAWY TYŁ	Pomarańczowy F (styk prawy)

\* wyjście po przejściu przez filtr dolnoprzepustowy

Z układu TEA5768HL można odczytać 5 bajtów. Szczegółowy ich opis można znaleźć w nocie aplikacyjnej. W tym miejscu chciałbym tylko zwrócić uwagę na bajt 3 i 4:

Bajt 3 odczyt		
Bit	Symbol	Opis
7	STEREO	1–STEREO
6..0	IF[6:0]	IF counter result

Bajt 4 odczyt		
Bit	Symbol	Opis
7..4	LEV[3:0]	Level ADC output
3..1	CI[3:1]	Chip Identification
0	0	0

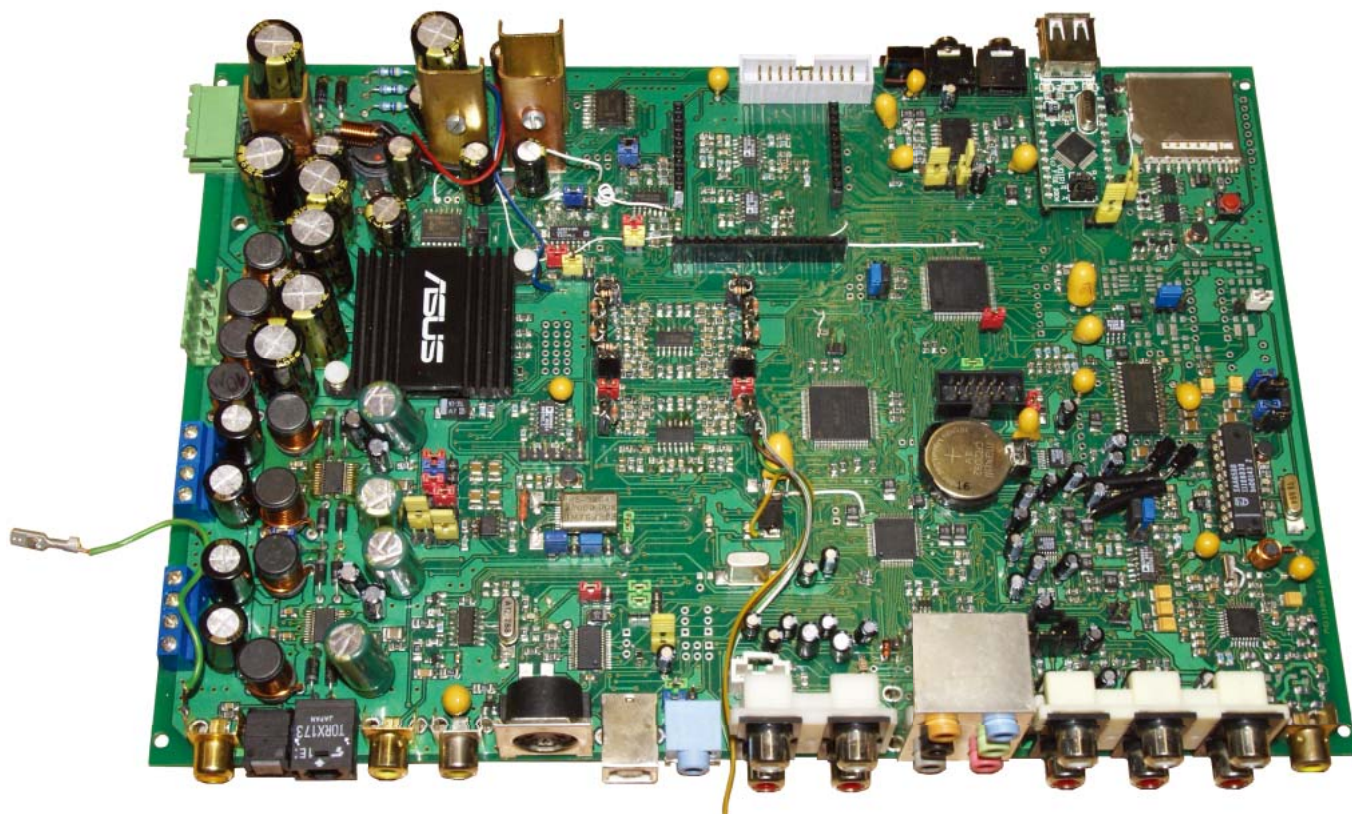
Bit  $STEREO=1$  sygnalizuje, że dekodery w TEA5768HL pracuje w trybie stereofoniczny. Bity  $IF[6:0]$  określają relatywną częstotliwość pośrednią. Dla dokładnego dostrojenia wartość  $IF=56 (0 \times 38)$ . Wartość  $IF$  różna od 56 oznacza, że ustawiliśmy częstotliwość za niską lub za wysoką. Bity  $LEV[3:0]$  podają umowny poziom sygnału wejściowego z anteny, przy czym: 0 – słaby sygnał, 15 – bardzo silny sygnał. Bity  $CI[3:0]$  są równe 0.

Obecnie trudno wyobrazić sobie radioodbiornik FM bez dekodera RDS. Użyłem scalonego dekodera sygnałów typu SAA6588(U4) w obudowie DIP20. Producent określa ten układ jako „RDS/RBDS pre-procesor”. Z doprowadzonego na 16 nóżek sygnału MPX dekoduje on bloki informacji nadawane w systemie RDS. Zdekodowane bloki (2 bloki po 16 bitów) można odczytać przez interfejs I<sup>2</sup>C. Są to podstawowe bloki nazywane A, B, C, D.

Nadawane bloki tworzą różne grupy informacji. Najważniejsze informacje nadawane w systemie RDS to „Program Identification” (PI), „Program Service” (PS), „Alternative Frequency” (AF) oraz „Traffic Program” (TP). W Polsce najczęściej jest nadawana grupa 0A (**rysunek 3**) zawierająca informacje „Program Service” (PS). Właśnie dekodowanie tej grupy oprogramowałem. Standardowo grupa PS podaje nazwę stacji radiowej w postaci 8 znaków tekstowych (ASCII). W praktyce różne rozgłośnie radiowe w Polsce nadają w grupie PS cyklicznie szereg zmieniających się informacji. Zwykle nadawana jest nazwa stacji, tytuł i/lub wykonawca nadawanego właśnie utworu muzycznego, nazwa nadawanego właśnie bloku programowego itp. Dekoder RDS był dokładnie opisany w numerze 12/2000 Elektroniki Praktycznej.

W czasie uruchamiania dekodera okazało się, że należy użyć rezonatora kwarcowego (Q1) o częstotliwości równej dokładnie 8,664 kHz ( $n = 2$ ). Sygnał DAVN został doprowadzony na jedno z wejść procesora LPC2387 i jest monitorowany przez oprogramowanie. Dekoder przetwarza około 22 razy na sekundę komplet 2 podstawowych bloków. Oprogramowanie odczytuje te bloki i szereguje je w kolejności nadawania. Aby „poskładać” 8znakowy tekst, należy odebrać 4 kolejne sekwencje bloków tworzące grupę 0A. Na podstawie informacji zawartych w blokach B (bity C1, C0) jest możliwe zinterpretowanie położenia znaków przesyłanych w blokach D.





Zdekodowany tekst nadawany w systemie RDS jest wyświetlany na wyświetlaczu. Prawidłowy odbiór informacji RDS jest możliwy tylko przy silnym sygnale z anteny. Schemat ideowy tunera pokazano na rysunku 4.

### Przedwzmacniacz

Schemat ideowy przedwzmacniacza pokazano na rysunku 5. Jego zasadniczą częścią jest układ scalony WM8770 (U5). Wyprowadzenia AIN1L, AIN1R...AIN8L, AIN8R są jego wejściami. Wszystkie wejścia, z wyjątkiem AIN1L, AIN1R, AIN8L, AIN8R, są zabezpieczone przed przekroczeniem napięcia wejściowego. Służą do tego diody zabezpieczające DX1...DX4 (DALC208SC6) oraz D23, D24, D59 i D60 typu BAT54S. Podobnie są zabezpieczone wszystkie wejścia analogowe – diody D29...D36. Wyjście multiplexera jest doprowadzone do wzmacniacza o wzmacnieniu regulowanym w zakresie  $-12...+19$  dB. Z wyjścia tego wzmacniacza sygnały kanału lewego i prawego trafiają na wejście przetwornika A/D, na wyjścia (nóżki) RECL i RECR oraz sumatory analogowe przy doprowadzenia VOUT1L, VOUT1R...VOUT4L, VOUT4R).

Sumatory w pierwszych trzech torach wyjściowych mają po trzy wejścia sterowane programowo. Czwarty sumator na dwa wejścia. Programowo można włączyć/wyłączyć wybrane wejścia. Do wyjścia VOUT1/2/3 można dołączyć wyjście z odpowiedniego przetwornika D/A (DAC1 na VOUT1, DAC2 na VOUT2 itd.), sygnał wyjściowy z odpowiedniego wejścia dodatkowego AUX (AUX1

na VOUT1, AUX2 na VOUT2 itd.) i/lub sygnał „BYPASS” – wyjście z multiplexera wejściowego. Na wyjście VOUT4 można podłączyć wyjście z przetwornika DAC4 na VOUT4 i/lub sygnał „BYPASS”. Sygnały wyjściowe przechodzą jeszcze przez analogowe regulatory wzmacnienia w zakresie regulacji  $0...-100$  dB. Analogowa regulacja wzmacnienia jest wykorzystywana do regulacji „głośności” we wszystkich kanałach.

Przetwornik A/C w układzie WM8770 to stereofoniczny, 24-bitowy *multi-bit sigma delta ADC*. Zapewnia stosunek sygnał/szum 102 dB (dla SR=48 kHz) i może pracować z częstotliwością próbkowania w zakresie 8...96 kHz. Przetworniki C/A w układzie MW8770 to cztery stereofoniczne, 24-bitowe *multi-bit sigma delta DAC*. Zapewniają stosunek sygnał/szum 106 dB (dla SR=48 kHz). Przetworniki te mogą pracować z częstotliwością przetwarzania 8...192 kHz. Przetworniki C/A mają cyfrowe regulatory wzmacnienia o zakresie regulacji  $0...-100$  dB.

Blok AUDIO INTERFACE pozwala połączyć cyfrowe źródła sygnałów zegarowych i danych dla przetworników C/A oraz dostarcza cyfrowe dane z przetwornika A/C. Układ ten może pracować w trybach *master* i *slave*. W trybie *master* sygnały zegarowe BCLK, ADCLRC, DACLRC są sygnałami wyjściowymi z układu WM8770. W trybie *slave* sygnały zegarowe BCLK, ADCLRC, DACLRC są sygnałami wejściowymi. Niezależnie od trybu pracy, sygnał zegarowy MCLK jest sygnałem wyjściowym. Sygnałami wejściowymi są też zawsze wejścia DIN1...DIN4. Sygnał DOUT z przetwornika A/C jest zawsze

sygnałem wyjściowym z układu U5. Interfejs I<sup>2</sup>S układu WM8770 może pracować w jednym z trzech formatów: *Right Justified Mode*, *Left Justified Mode*, I<sup>2</sup>S. Użyłem formatu I<sup>2</sup>S (w tym trybie może pracować każdy z układów: LPC2387, STA015 oraz STA310).

Polaryzacja sygnałów zegarowych ADCLRC, DACLRC oraz BCLK jest ustawiana programowo. Można także ustawić długość słowa danych (Input Word Length) na 16, 20, 24 albo 32 bity. Sygnały ADCLRC i DACLRC mają częstotliwość równą częstotliwości próbkowania FS. W mojej aplikacji sygnał BCLK ma częstotliwość równą FS×64 a sygnał MCLK=FS×256. Układ WM8770 może pracować z zegarem MCLK równym 256, 384, 512 lub 768×FS.

Układ WM8770 zawiera 32 9-bitowe rejestry. Rejestry te można zapisywać przez szeregowy, zawierający 3 linie interfejs pracujący w trybie SPI lub CCB. Wybrałem tryb

REKLAMA

Projekty na..

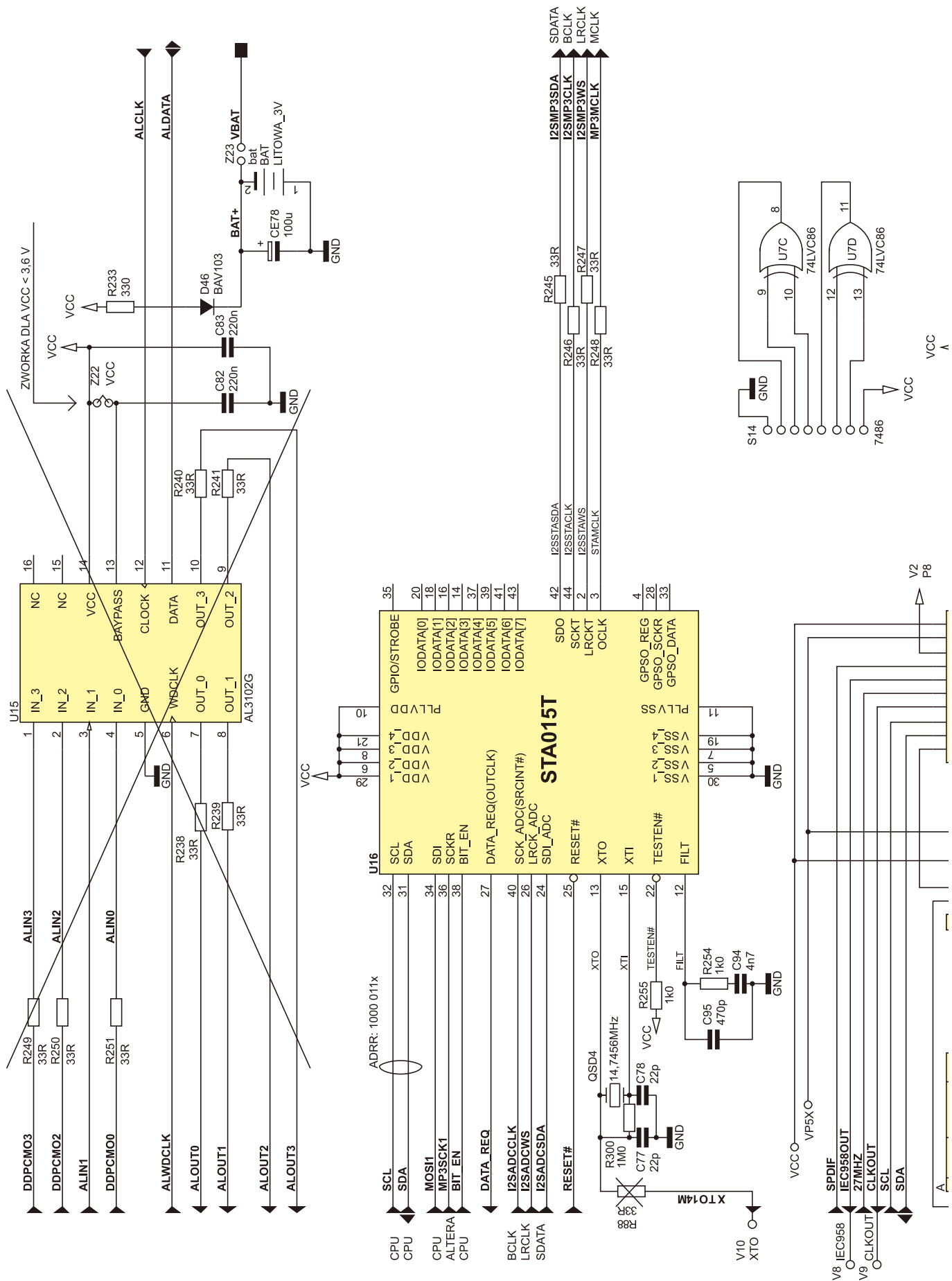
**STM32**

[www.stm32.eu](http://www.stm32.eu)

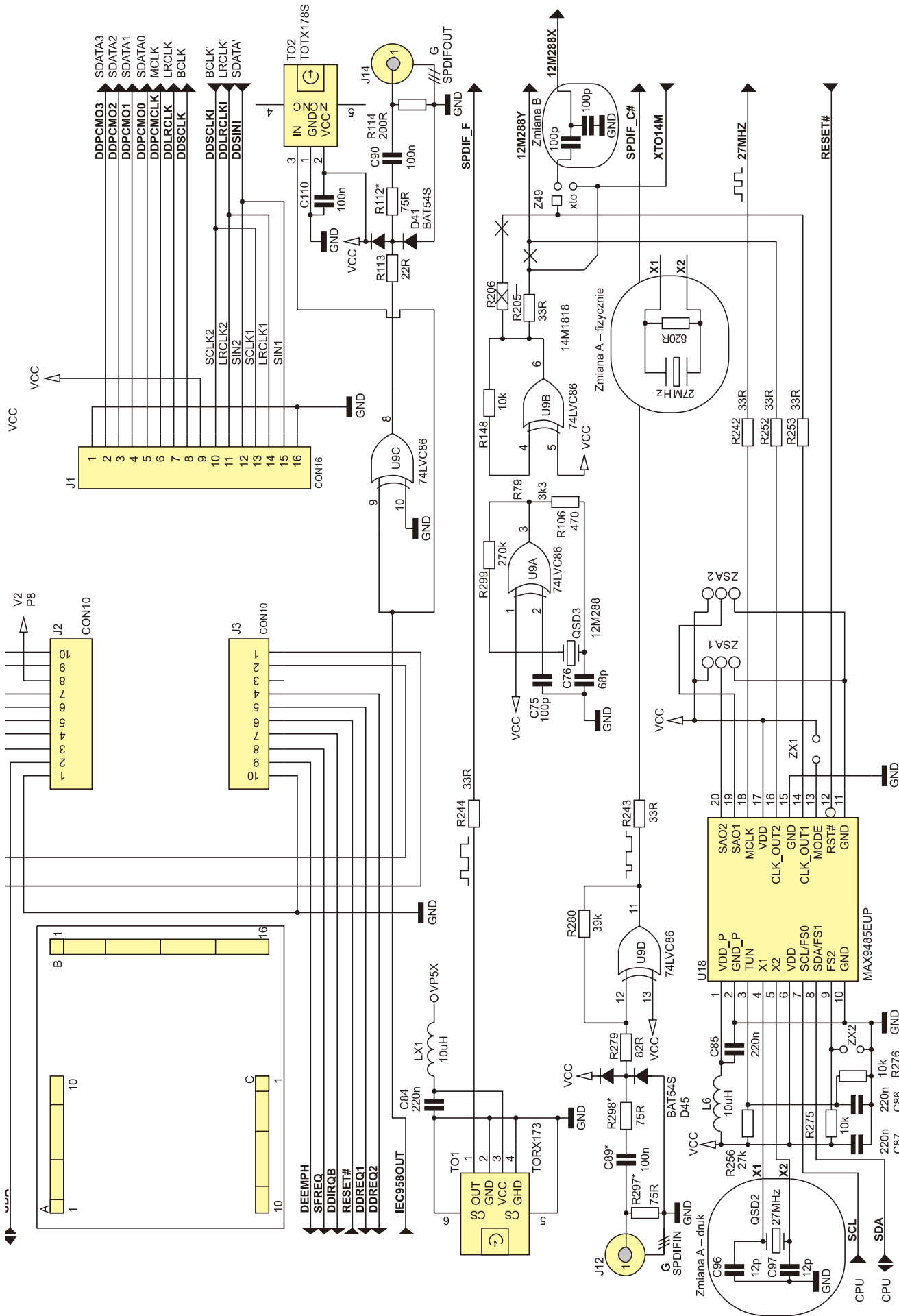
**ST** life.augmented

**KAMAMI**





Rysunek 7. Schemat ideowy procesora audio (przekreślono część schematu, z której komponenty nie zostały zamontowane)



\*Obudowa 1206

SPI. W tym trybie pracy linią DI jest przesyłanych 16 bitów (od najstarszego). Bity są wpisywane w trakcie narastających zboczy sygnału zegarowego CL. Dane są zapamiętywane podczas narastającego zbocza na linii CE. Bity B[15:9] zawierają adres rejestru, B[8:0] dane.

Układ WM8770 może przetwarzać zarówno sygnały analogowe jak i cyfrowe. W najprostszym wypadku, w tym układzie jest używany multiplexer wejściowy, wzmacniacz o regulowanym wzmocnieniu i wyjściowe analogowe regulatory wzmocnienia (tryb bypass). Układ ma 6 wejść analogowych (AUX1L, AUX1R, AUX2L, AUX2R, AUX3L oraz AUX3R). Można na nie doprowadzić komplet sygnałów analogowych w standardzie 5.1 z DVD lub odtwarzacza Blu-ray z dekodera i wyjściami analogowymi 5.1. Przy takim połączeniu sygnały należy połączyć, jak napisano w **tabeli 1**.

Sygnały analogowe audio 5.1 doprowadziłem na zintegrowane złącze J8 stosowane na płytach głównych komputerów zawierające 6 kolorowych gniazd JACK 3.5 mm. Rozumieszanie wyjść audio z układu WM8870 opisano w **tabeli 2**.

Wyjścia VOUT4L i WOUT4R są używane głównie jako wyjście z czwartego przetwornika C/A, który przetwarza sygnały VCR. W bardziej zaawansowanym trybie pracy można wykorzystać przetwornik A/C. Jego wyjścia cyfrowe (WMDOUT, WMW-SADC, WMBCLK) doprowadziłem za pośrednictwem układu programowalnego typu EPM3064 (U10) na wejście I<sup>2</sup>S procesora LPC2387 (U8; I2SRXSDA, I2SRXWS, I2SRXCLK). Układ U10 spełnia głównie rolę multiplexerów sygnałów cyfrowych.

Układ WM8770 pracuje w trybie *slave*. Źródłem sygnałów na magistrali I<sup>2</sup>S układu WM8770 są albo procesor LPC2387 (I2STXSDA, I2STXWS, I2STXCLK), albo dekodery MP3 typu STA015 (I2SMP3SDA, I2SMP3WS, I2SMP3CLK), albo dekodery DD/DTS typu STA310 (DDPCM0,1,2,3, DDLRCLK, DDSCLK). Te układy pracują w trybie *master*. Mikrokontroler LPC2387 pozwala na odtwarzanie nieskompresowanych plików typu WAV. Jego interfejs I<sup>2</sup>S – po zaprogramowaniu trybu pracy – generuje nieprzerwanie sygnały zegarowe I2STXWS, I2STXCLK. Początkowo, do wyjściowego bufora danych

wpisuje same zera, które pojawiają się na wyjściu I2STXSDA. Podczas odtwarzania pliku typu WAV do tego bufora wpisywane są kolejne próbki (16-bitowe). Sygnał I2STXSDA jest powielany przez układ EPM3064 na wszystkie cztery wejścia przetworników C/A w układzie WM8770 (WMDIN1, WMDIN2, WMDIN3, WMDIN4). Rejestry wewnętrzne układu WM8770 decydują, które przetworniki C/A są aktywne. Zwykle, dla sygnałów stereofonicznych, aktywne są przetworniki: DAC1 i DAC4.

W najbardziej zaawansowanym trybie pracy jest możliwe jednoczesne wykorzystanie przetwornika A/C do nagrywania przez procesor nieskompresowanych plików typu WAV oraz wszystkich przetworników D/A przetwarzających sygnały z dekodera DD/DTS. Poszczególne przetworniki wykorzystywane są następująco:

- DAC1 – kanały LEWY/PRAWY PRZÓD,
- DAC2 – kanały CENTRALNY/SUBWOOFER,
- DAC3 – kanały LEWY/PRAWY TYŁ (SURROUND),
- DAC4 – kanały LEWY/PRAWY VCR.

Pierwsze 6 sygnałów nie wymaga komentarza. Ostatnie 2 sygnały (LEWY/PRAWY VCR) to stereofoniczne wyjście do nagrywania. Jeśli sygnał źródłowy zawiera 6 kanałów, to wyjście VCR powstaje przez ich przetwarzanie nazywane „DOWNMIX(6->2)” w układzie STA310. W przypadku, gdy źródło sygnału jest stereofoniczne, to kanały LEWY/PRAWY VCR są zwykle (można dla tego wyjścia włączyć przetwarzanie SRS lub VMAX) identyczne z sygnałami LEWY/PRAWY PRZÓD. Taki sygnał jest potrzebny z kilku powodów. Przede wszystkim – do sterowania wzmacniaczem słuchawkowym. Jest on również wyprowadzony na stereofoniczne wyjście „LINE OUT” (J6A). Wyjście „LINE OUT” można dołączyć np. do wejścia odbiornika TV lub na wejście „LINE IN” komputera PC. Dekoder STA310 pozwala na włączenie na wyjściu VCR przetwarzania (post processing) SRS lub VMAX. Włączenie post processingu SRS powoduje odtwarzanie dźwięku 3D, a włączenie post processingu VMAX powoduje poszerzenie bazy stereo (stereo enhanced).

Wyjścia VOUT1L, VOUT1R, VOUT2L, VOUT2R, VOUT3L i VOUT3R doprowa-

dziłem do filtrów dolnoprzepustowych ze wzmacniaczami operacyjnymi U46A, U46B, U45A, U45B, U45C, U45D. Są to filtry Butterwortha o częstotliwości granicznej 45 kHz. Zworki ZBA1...ZBA6 po zwarceniu pozwalają na „podbicie” tonów wysokich (ok. 16 kHz) o około +12 dB. Podobnie zworki ZBB1...ZBB6 pozwalają na „podbicie” tonów niskich (ok. 80 Hz) o około +12 dB. Pozwala to na uzyskanie stałej korekty barwy tonu we wszystkich 6 kanałach. Wyjścia VOUT4L i VOUT4R mają zwykle filtry dolnoprzepustowe, ponieważ czwarty przetwornik (DAC4) jest przeznaczony do przetwarzania sygnału cyfrowego z dekodera STA015 (wyjście MP3) lub STA310 (wyjście VCR). Schemat ideowy filtrów pokazano na **rysunku 6**.

### Analogowy procesor audio

Schemat procesora audio pokazano na **rysunku 7**. Na płycie amplitunera zamontowano analogowy procesor audio typu TDA7461 (U2). Układ ten ma w swojej strukturze: multiplexer wejść analogowych, układ regulacji barwy tonu, regulator wzmocnienia (dla 2 wyjść stereofonicznych), dekodery wyposażony między innymi w układ HCC (ogranicznik szumów), dekodery *Multipath*. Układ nie wymaga zewnętrznych elementów potrzebnych do pracy filtrów kształtujących odpowiednie charakterystyki przenoszenia sygnałów.

Stereofoniczny sygnał w wyjściu RECR/L układu WM8770 doprowadziłem na wejścia CASSR/L układu TDA7461. Na wejścia CDR/L doprowadziłem stereofoniczny sygnał przednich kanałów z wejść analogowych 5.1 (RIGHTDIR/LEFTDIR). Na wejścia AMR/AML można doprowadzić sygnał MONO\_R/L ze złącza SIP6 (S11). Sygnał MONO uzyskany w sumatorze U14D wyprowadziłem na złącze „MONO” SIP6 (S11). W złącze S11 można wlotować małą pionową płytkę z układem pseudostereo lub zwrzeć piny 2-3 i 4-5. W chwili pisania tego artykułu opcja MONO nie została oprogramowana. Również nie wykorzystałem wejścia CDR/L. Stereofoniczny sygnał doprowadzony na wejścia CASSR/L przechodzi przez wszystkie bloki „analogowe” układu TDA7461 – wykorzystuje: VOLUME, TREBLE oraz BASS.

Układ TDA7461 pozwala na ustawienie wiele parametrów charakterystyk korygujących barwę tonu. Dla basów można wy-

REKLAMA

## Zestaw uruchomieniowy dla AVR i 51 AVT 992

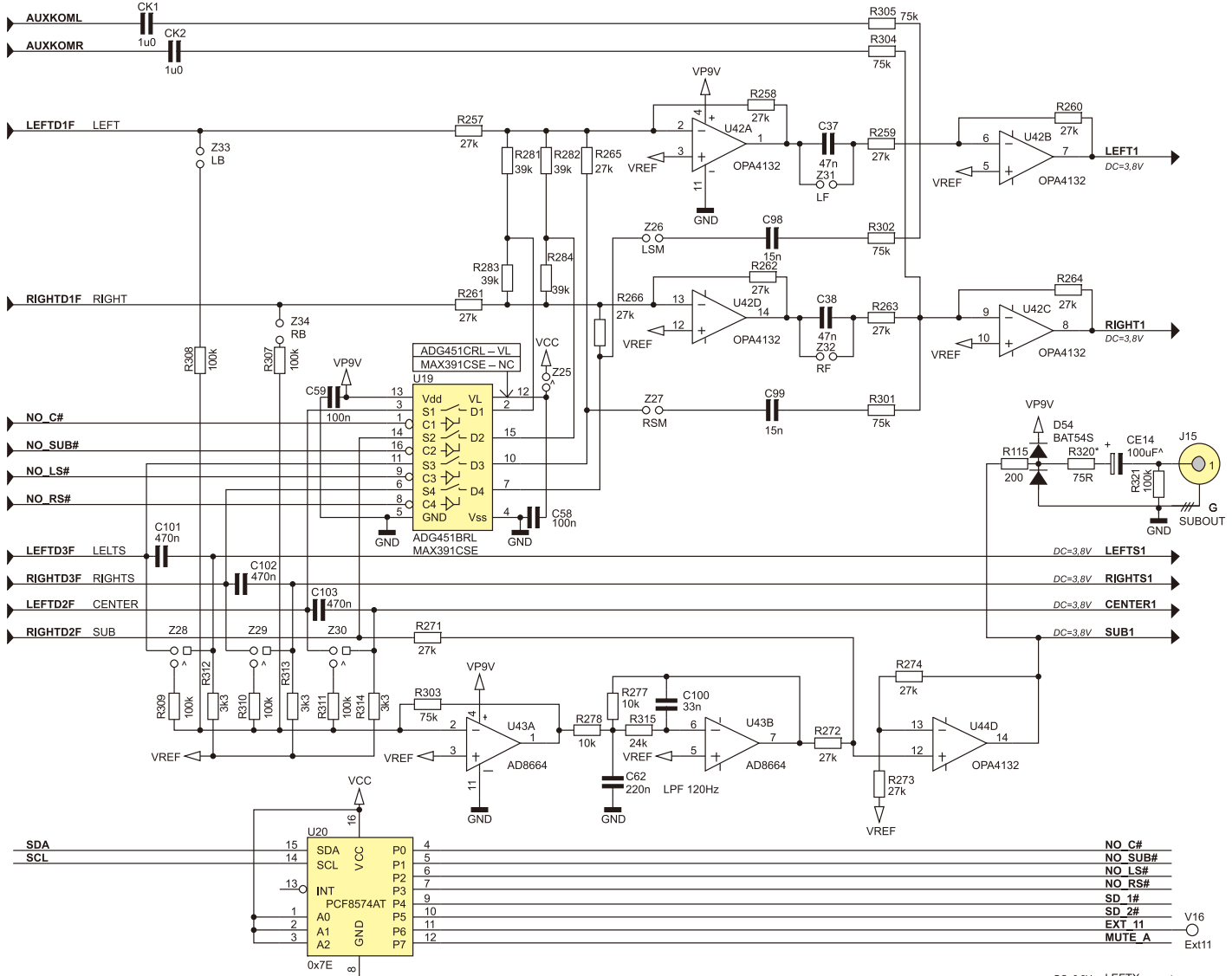
Płytkę testową pozwala zbudować i przetestować szereg układów wykorzystujących procesory ATTINY 2313, 89Cx051 ATMEGA 8535, 8515, 16, 32, 162, ATTINYxx  
W zestawie znajdują się praktycznie wszystkie niezbędne w systemie peryferia. Są to np.: diody LED, piezo, wyświetlacz alfanumeryczny LCD, przetwornik A/C i C/A. Wszystkie połączenia wykonuje się dzięki przewodom lutowanym do punktów zaopatrzonych w goldpiny lub wykorzystuje odpowiednie zworki (jumpery lub przewody połączeniowe).

[www.sklep.avt.pl](http://www.sklep.avt.pl)

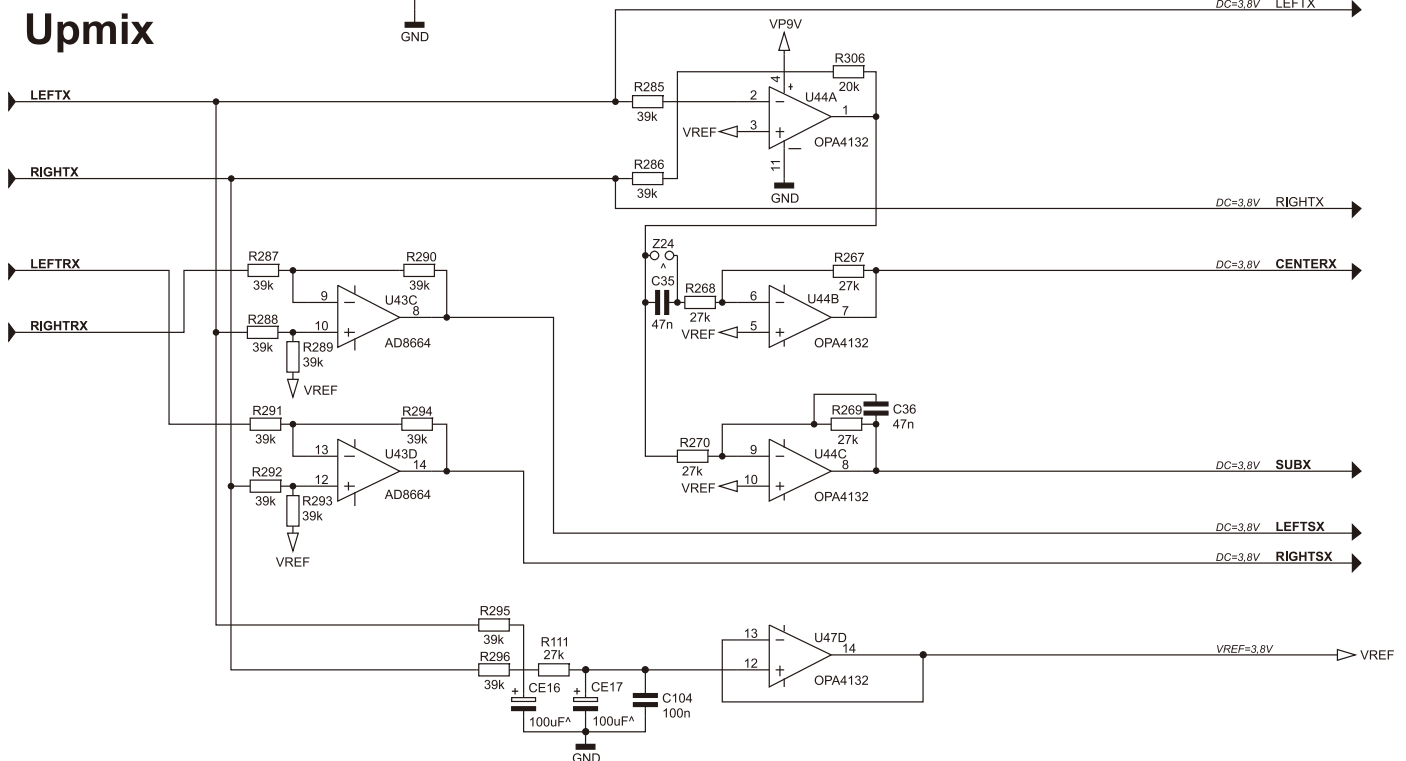




# Downmix



# Upmix



Rysunek 8. Schemat układu Upmix

brać 1 z 5 częstotliwości granicznych (60, 70, 80, 100, 150 Hz – częstotliwość 150Hz występuje po włączeniu opcji DC-Mode), a dla sopranów 1 z 4 (10, 12,5, 15 i 17,5 kHz). Dodatkowo dla basów można wybrać cztery różne wartości „dobci” (Quality Factors) filtrów wynoszące: 1, 1.25, 1.5 oraz 2. Poziom korekcji basów jak i sopranów można zmieniać w zakresie  $\pm 14$  dB z krokiem co 2 dB.

Wyjścia ACOUTL/R i wejścia ACINL/R doprowadziłem na złącze „ACIN” SIP6(S7). W złącze S7 można wlutować również małą pionową płytkę z układem superstereo. W prototypowym rozwiązaniu nie korzystam z tej opcji – włączyłem wewnętrzne klucze analogowe pomiędzy nóżkami 28-1 i 27-2 w układzie TDA7461. Wykorzystuję również bloki o regulowanym wzmocnieniu w zakresie od 0 do -50 dB dla sygnałów OUTLF, OUTRF, OUTLR, OUTRR. Wyjścia OUTLF (LEFTPHX) i OUTRF (RIGHTPHX) sterują wzmacniacz słuchawkowy zbudowany na bazie układu scalonego typu TPA6120A2 (U81). Wyjścia OUTLR (LEFTTRX) i OUTRR (RIGHTTRX) doprowadziłem do układu Upmix (rysunek 8), który z dwóch sygnałów kanału lewego (LEFTX z wyjścia ACOUTL) i prawego (RIGHTX z wyjścia ACOUTR) generuje pełne 6 kanałów dźwiękowych w standardzie 5.1. Układ ten zbudowałem z użyciem wzmacniaczy operacyjnych AD8664 (U43C,D) i OPA4132 (U44A...U44C).

Sygnały kanałów przednich LEFTX i RIGHTX nie podlegają żadnej zmianie. Wzmacniacz operacyjny U43C generuje sygnał lewego kanału tylnego LEFTSX. Sygnał ten powstaje przez odjęcie od sygnału LEFTX sygnału RIGHTRX. Wzajemne proporcje tych sygnałów można regulować programowo poprzez odpowiednie ustawienie wzmocnienia bloku OUTRR układu TDA7461. Podobnie jest generowany sygnał prawego kanału tylnego RIGHTSX przez wzmacniacz operacyjny U43D z sygnałów RIGHTX i LEFTRX (blok OUTLR układu TDA7461).

Sygnał kanału centralnego i subwoofera wytwarzany jest przez wzmacniacz operacyjny U44A. Na jego wyjściu występuje suma kanałów LEFTX i RIGHTX w odwróconej fazie. Kanał centralny CENTERX uzyskałem na wyjściu filtra górnoprzepustowego zbudowanego na wzmacniaczu operacyjnym

U44B, a kanał subwoofera SUBX na wyjściu filtra dolnoprzepustowego wykorzystującego wzmacniacz operacyjny U44C. Obydwa filtry odwracają fazę sygnałów, dlatego wyjściowe fazy wszystkich 6 kanałów są prawidłowe.

Ten sprzętowy układ zachowuje się jak dekodery DOLBY PRO LOGIC II pracujący w trybie MUSIC. Te 6 kanałów doprowadziłem poprzez klucze analogowe ADG794(U6 i U13) na wejścia AUX układu WM8770. Dla każdego wejścia stereo można wygenerować przez wyżej opisany układ „Upmix” 6 kanałów w standardzie 5.1.

### Dekoder MP3

W amplitunerze użyłem dekodera MP3 typu STA015T (U16 – rysunek 7). Głównym zadaniem tego układu jest wytwarzanie sygnału PCM z danych zawartych w pliku o formacie MP3. Dekoder sam pomija dodatkowe informacje umieszczone w TAG’ach ID3v1 i ID3v2. Dane z procesora przesyłane są do dekodera poprzez SPI. Linia SDI (34) to wejście danych, linia SCKR (36) to zegar, wejście BIT\_EN (38) powinno być ustawione podczas przesyłania ważnych danych. Układ STA015T sygnalizuje swoją gotowość do odbioru danych poprzez jedynkę na wyjściu DATA\_REQ (27). Zdekodowany strumień wyjściowy pojawia się na magistrali I<sup>2</sup>S na wyprowadzeniach SDO (42), SCKT (44), LRCKT (2) oraz OCLK (2). Wyjściowy format PCM można wybrać poprzez odpowiednie zaprogramowanie rejestrów wewnętrznych układu STA015T.

Układ STA015T ma dwa interfejsy wejściowe: *Serial Input Interface* przeznaczony do odbioru skompresowanych danych MP3 lub ADPCM, oraz *ADC Input Interface* przeznaczony do odbioru nieskompresowanych danych w formacie PCM z przetwornika A/C. Dane wejściowe są wprowadzane do bufora o pojemności 256 bajtów. Dalej trafiają do bloku DSP. DSP może pracować w jednym z 4 trybów:

- *Dekodowanie* strumienia MPEG1, MPEG2 i MPEG2.5 Layer III.
- *Kodowanie*: do formatu ADPCM.
- *Dekodowanie*: strumienia ADPCM.
- *Bypass*: przetwarzanie danych audio z wejścia A/C.

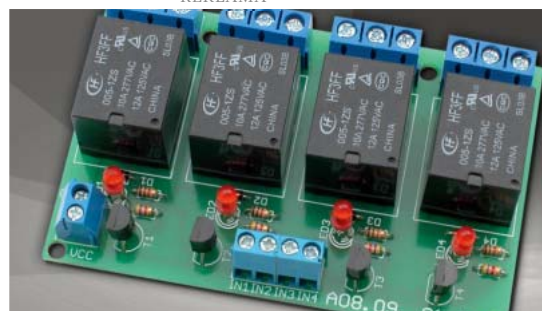
Dodatkowo, podczas procesu dekodowania, można wykorzystać blok regulacji głośności i barwy tonu. W mojej aplikacji wy-

korzystuję tylko tryb pierwszy (dekodowanie strumienia MP3) oraz bloki regulacji głośności i barwy tonu. Ponieważ regulacja barwy odbywa się cyfrowo, dlatego każde podbicie tonów niskich lub wysokich o pewną liczbę dB (w zakresie 0...18 dB) wymaga zmniejszenia wzmocnienia (głośności) o co najmniej taką samą liczbę dB. Inaczej doszłoby do przesterowania. Korektę basów i sopranów można zmieniać w zakresie  $\pm 18$  dB z krokiem co 1,5 dB. Częstotliwości „środkowe” dla basów i sopranów można ustawić dowolnie dla przez zapis odpowiednich wartości do rejestrów wewnętrznych układu STA015. Należy tylko zapewnić aby częstotliwość dla basów była co najmniej 2 razy mniejsza od częstotliwości dla sopranów. Dokumentacja techniczna niewiele mówi o tym, jak przebiega charakterystyka korekcji dla różnych wartości wpisanych do rejestrów tego układu. W Internecie znalazłem dodatkowe informacje na ten temat. Mówiąc w skrócie – charakterystyka częstotliwościowa zmienia się w zakresie od 0,25 do 1,75 częstotliwości wpisanej do odpowiedniego rejestru wewnętrznego układu STA015. Programowo wybrałem 4 częstotliwości graniczne (nie środkowe) dla basów (70, 100, 140 i 200 Hz) i 4 dla sopranów (8, 10, 12 i 15 kHz). Wybrane częstotliwości graniczne dla basów (Fb) przed wpisaniem do rejestrów układu TDA015 są przeliczane na częstotliwości środkowe (Fr) według wzoru  $Fr=3 \times Fb$ . Podobnie wybrane częstotliwości graniczne dla sopranów (Fs) przed wpisaniem do odpowiednich rejestrów układu TDA015 są przeliczane na częstotliwości środkowe (Fr) według wzoru  $Fr=1,75 \times Fs$ .

Podczas odtwarzania plików MP3 dane do dekodera przesyłane z wykorzystaniem mechanizmu przerwań. Szybkość przesyłanych danych jest zróżnicowana. Po ustawieniu bitu PLAY w rejestrze układu STA015 zaczyna on „pochłaniać” dane z największą prędkością. Po przesłaniu kilkudziesięciu kB prędkość przesyłu danych stabilizuje się na poziomie wynikającym z „data rate” odtwarzanego pliku. Układ ten przy braku nowych danych zaczyna cyklicznie powtarzać ostatni przesłany fragment. Dlatego po napotkaniu końca pliku przesyłam jeszcze kilka kB nieznaczących danych, aby „wyczyścić” wewnętrzne bufory.

**Zbyszko Przybył**  
zbyszekp@mikronika.pl

REKLAMA



## Uniwersalny moduł przekaźnikowy AVT 1691

Układ nieskomplikowanego modułu wykonawczego, który umożliwia np. przelączenie napięcia sieci energetycznej sygnałem z większości mikrokontrolerowych urządzeń elektronicznych.

[www.sklep.avt.pl](http://www.sklep.avt.pl)