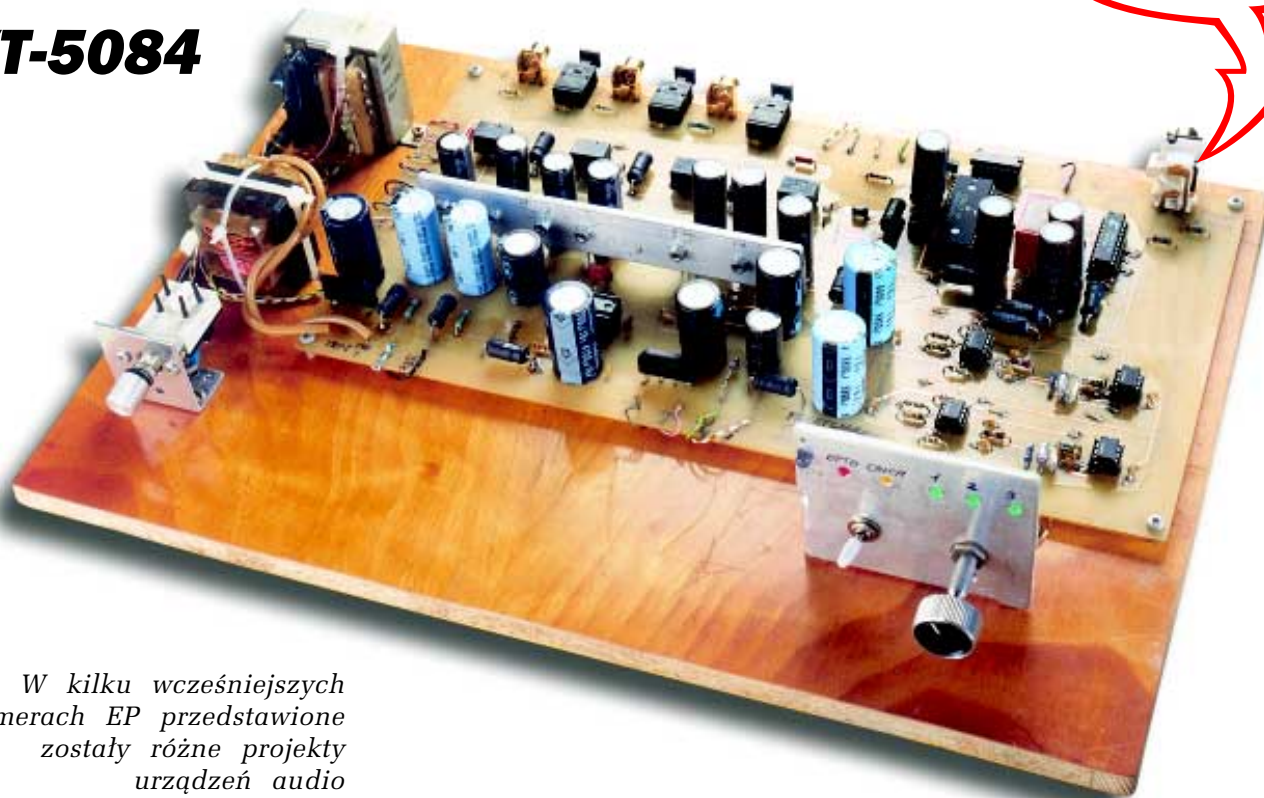


# Audiofilski przetwornik C/A audio, część 1

## AVT-5084

PROJEKT  
Z OKŁADKI



*W kilku wcześniejszych numerach EP przedstawione zostały różne projekty urządzeń audio przeznaczonych dla audiofilów, dla których ważne jest jak najbardziej naturalne brzmienie nagrań muzycznych. Prezentowany w tym artykule przetwornik cyfrowo-analogowy audio należy właśnie do tej kategorii urządzeń. Osiągnięcie dobrego brzmienia wymaga zastosowania dobrej jakości elementów i niestety drogiego wzmacniacza operacyjnego, ale uzyskany efekt wart jest poniesionych wydatków.*

**Rekomendacje:** Jest to układ dla „rasowych“ audiofilów, ceniących naturalne brzmienie i dbających o najdrobniejsze szczegóły reproduktora dźwięku. Doskonale uzupełnienie klasycznego zestawu audio lub zestawu kina domowego.

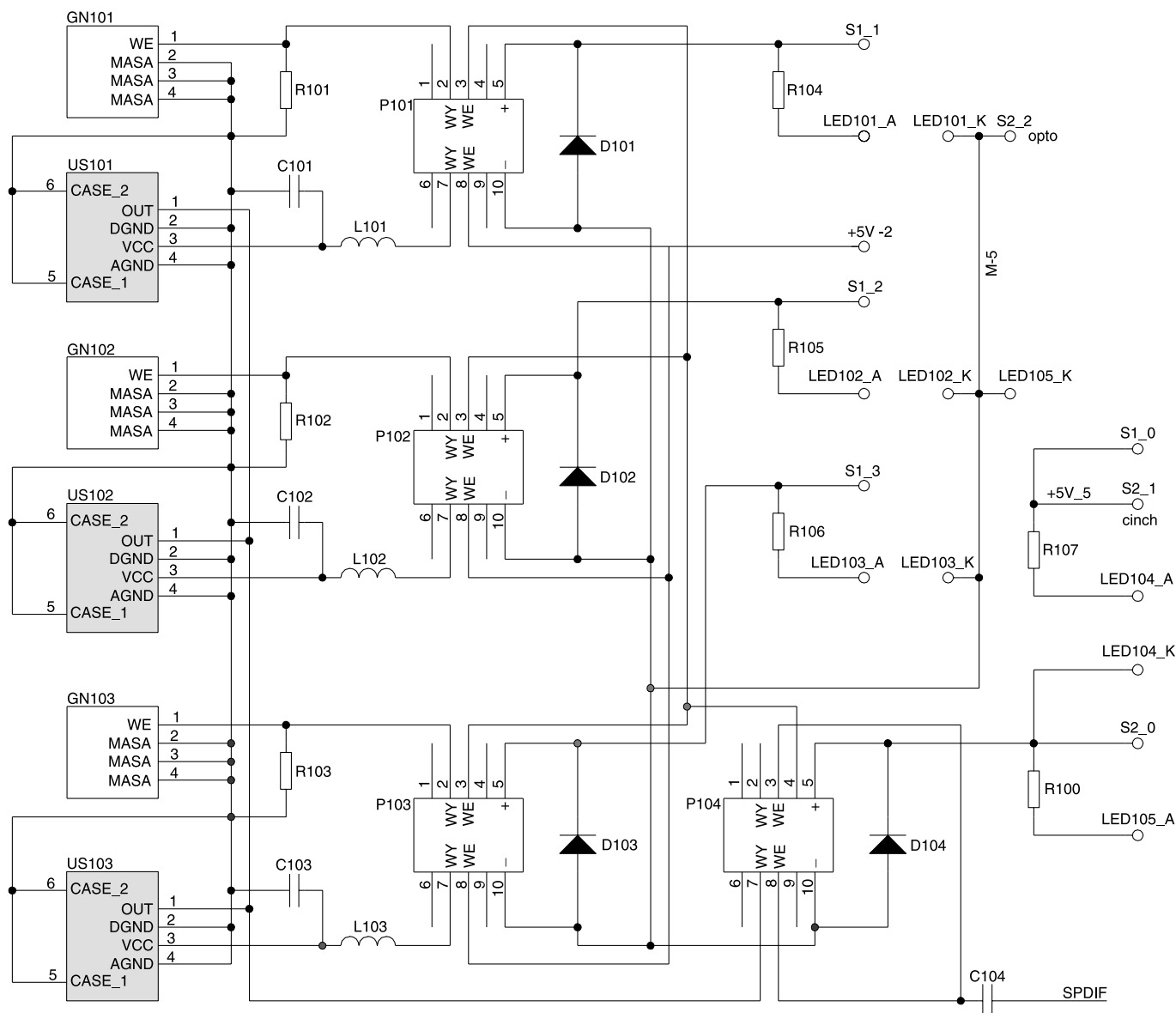
Podczas odtwarzania nagrania instrumenty brzmią czysto i naturalnie, znika „hałas“ i bez trudu można śledzić grę dowolnego instrumentu. W dobrze znanych nagraniach pojawia się mnóstwo szczegółów, które dotychczas umykały uwadze. Przetwornik jest bezlitosny dla kiepsko zrealizowanych nagrań - ubocznym efektem jego stosowania będzie weryfikacja własnej płytoteki zakończona wyrzuceniem kiepsko nagranych płyt (szczególnie tych z napisami: „nagrania pochodzą z oryginalnych płyt analogowych“).

Przetwornik został sprawdzony praktycznie i odsłuchany przez kilka osób posiadających różne odtwarzacze CD, wzmacniacze i zestawy głośnikowe oraz z odtwarzaczem MiniDisc i tunerem satelitarnym - opinie o jego brzmieniu są bardzo pozytywne. Budowa przetwornika jest tak prosta, że jego wykonanie nie sprawi nikomu większych trudności.

### Opis ogólny przetworzika

Przetwornik jest autonomicznym urządzeniem z własnym zasilaczem i we własnej obudowie. Jednak model został wykonany bez obudowy - wielkość płytki drukowanej wraz z pozostałymi elementami umożliwi zamontowanie jej w obudowie typu „duża wieża“, przy czym wygląd obudowy należy indywidualnie dostosować do posiadanego zestawu audio.

Przetwornik odbiera sygnał cyfrowy audio w formacie SPDIF przesyłany np. z odtwarzaczy CD, MD lub magnetofonu DAT przewodem koncentrycznym o impedancji 75  $\Omega$  ze złączami cinch lub światłowodem ze złączami TOSLINK. Przetwornik jest wyposażony w trzy grupy wejść cyfrowych, wybierane 3-pozycyjnym przełącznikiem. W każdej grupie można wybrać sygnał z wejścia koncentrycznego lub światłowodowego (wybieranego drugim, 2-pozycyjnym przełącznikiem), co



Rys. 1. Schemat bloku wejść

w sumie umożliwia podłączenia do 6 różnych urządzeń wejściowych.

Odtworzony sygnał analogowy obu kanałów stereofonicznych jest podawany, po odfiltrowaniu niepożądanych pozostałości procesu przetwarzania, na wyjściowe gniazda cinch. Poziomy sygnał wyjściowy ( $2V_{RMS}$ ) wystarczy do wysterowania każdego wzmacniacza mocy.

## Opis układu

### Wjścia sygnału SPDIF

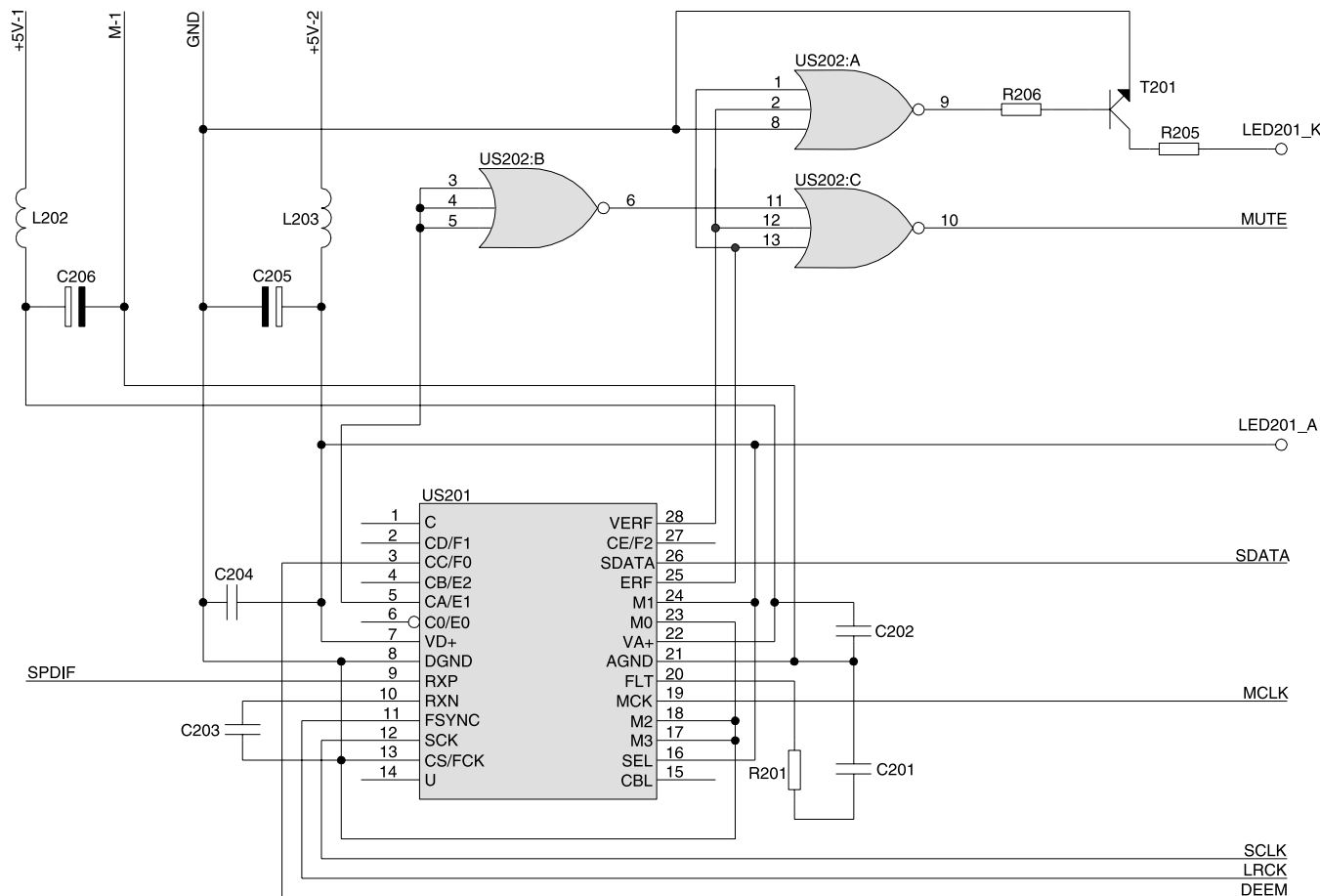
Schemat bloku wejść cyfrowych przedstawiono na **rys. 1**. Przetwornik posiada 3 wejścia cyfrowe dla sygnału SPDIF - do każdego z nich można podać sygnał SPDIF ze źródła przewodem

koncentrycznym  $75 \Omega$  z wtykami CINCH (gniazda GN101, GN102, GN103) lub światłowodem plastikowym typu TOSLINK (odbiorniki typu TORX173 - US101, US102, US103). Wybór aktywnego wejścia dokonywany jest przełącznikiem S1, który załącza odpowiedni przekaźnik (P101, P102 lub P103), a wybór rodzaju przewodu transmisyjnego dla danego wejścia (przewód koncentryczny lub światłowód) - przełącznikiem S2 (przełącza przekaźnik P104). Podanie napięcia +5V na jeden z przekaźników powoduje równocześnie zaświecenie odpowiedniej diody (LED101, LED102 lub LED103) wskazującej numer wybranego wejścia. Dioda LED104 wskazuje, że wybrane jest wejście

koncentryczne, a dioda LED105 - światłowodowe.

### Odbiornik sygnału SPDIF

Schemat bloku odbiornika SPDIF przedstawiono na **rys. 2**. Sygnał SPDIF jest podawany z wybranego gniazda na wejście układu scalonego US201 (CS8412 firmy Crystal Semiconductor) będącego odbiornikiem i dekodery sygnału SPDIF. Układ CS8412 był już opisany w EP (artykuł „Wzmacniacz audio z wejściem cyfrowym“ - EP7, 8 i 9/2001). Jest przystosowany do odbioru danych próbkowanych z częstotliwością 32, 44,1 i 48 kHz i zawierających od 16 do 24 bitów w każdej próbce. Synchronizację układu CS8412 do częstotliwości

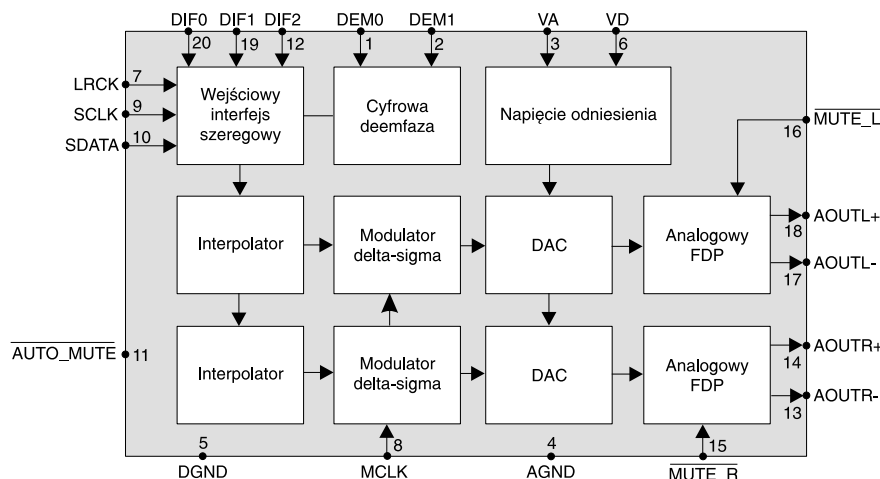


Rys. 2. Schemat bloku odbiornika SPDIF

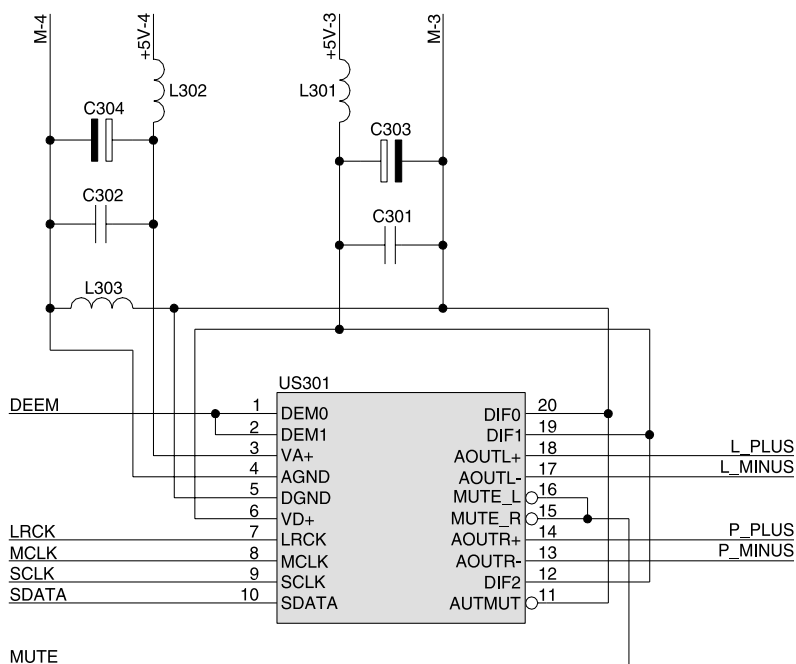
danych wejściowych zapewnia wbudowana pętla PLL. W zalecanej przez producenta aplikacji CS8412 zmienione zostały wartości elementów filtra PLL - R201 (470 Ω zamiast 1 kΩ) i C201 (68 nF zamiast 47 nF). Zmiana ta powoduje zawężenie zakresu pracy pętli PLL (ale i tak jest on wystarczający do synchronizacji), zmniejszając ewentualne zakłócenia typu *jitter*. Dodatkowo, takie wartości R201 i C201 umożliwiają zastosowanie układu CS8414 zamiast CS8412 w razie trudności z jego zakupem. Oba elementy (kondensator i rezystor) muszą być elementami o dobrych parametrach i dużej stabilności. Na wyjściach układu CS8412 dostępne są zdekodowane sygnały danych oraz sygnały taktujące konieczne do sterowania układem scalonym przetwornika cyfrowo-analogowego - SDATA, SCLK, LRCK, MCLK. Dodatkowo wykorzystano niektóre bity kontrolne odczytywane przez CS8412 z odebranych danych:

- bit C3 (wyprowadzenie 3) wskazuje na obecność lub brak preemfazy w transmitowanym sygnale audio. Preemfaza stosowana jest często w transmisjach sygnałów radiowych i TV-NI-CAM (częstotliwość próbkowania 32 kHz), a bardzo sporadycznie w zapisie na płytach CD lub taśmach DAT, więc bit

- ten został wykorzystany do załączenia deemfazy w przetworniku CS4390 tylko dla częstotliwości próbkowania 32 kHz (oczywiście tylko wtedy, gdy sygnał wejściowy ma wprowadzoną preemfazę),
- bit C1 (wyprowadzenie 5) sygnalizuje typ otrzymywanych danych - audio (C1=1) lub nie-



Rys. 3. Schemat blokowy układu CS4390



Rys. 4. Schemat bloku przetwornika C/A

audio (C1=0). Stan tego bitu pozwala załączyć wyciszenie przetwornika przy próbie odtworzenia np. płyty CD-ROM (większość tanich odtwarzaczy odtwarza takie płyty - wynik niesprawdzania stanu bitu C1 przez procesor sterujący odtwarzaczem CD),

- bit ERF (wyprowadzenie 25) wskazujący błąd w transmisji danych,
- bit VERR (wyprowadzenie 28) wskazujący błąd w transmisji danych lub błędne dane w odebranej ramce.

Bity C1, ERF i VERR dekodowane są przez bramki NOR - US202 (CD4025). W wypadku wystąpienia błędów w odbieranych danych, lub gdy dane te nie zawierają próbek audio, następuje wyciszenie wyjść przetwornika CS4390. Jeżeli odbierane są dane bez błędów, to świeci się dioda LED201 (również w przypadku gdy dane nie są audio).

### Przetwornik C/A

Uproszczony schemat blokowy układu CS4390 przedstawiono na rys. 3. Jako przetwornik cyfrowo-analogowy zastosowano bardzo dobry układ CS4390 firmy Crystal Semiconductor. Jest to wysokiej klasy przetwornik audio typu delta-sigma o rozdzielczości 24 bitów, z wbudowanym filtrem cyfrowym,

przetwarzający dane 16-, 18-, 20- i 24-bitowe o częstotliwości próbkowania 32, 44,1 lub 48 kHz. Układ CS4390 odtwarza sygnał analogowy dźwięku ze znakomitą jakością i stosowany jest w sprzęcie wysokiej klasy - np. odtwarzacz CD Meridian 508-24, Creek CD 43 lub przetwornik C/A Lehman Audio DAC+.

Wejścia DIF0, DIF1 i DIF2 służą do ustawiania formatu danych wejściowych zgodnie z opisem zawartym w **tab. 1**.

Schemat elektryczny bloku przetwornika C/A przedstawiono na rys. 4. W prezentowanym urządzeniu przetwornik odbiera dane w formacie 6 - standard I<sup>2</sup>S, ramka zawierająca 16, 18, 20 lub 24 bity danych. Taki sam format został ustawiony za pomocą wejść M0, M1, M2 i M3 w układzie CS8412 dla jego danych wyjściowych. Umożliwia to elastyczną pracę przetwornika z danymi od 16 do 24 bitów. Sygnał AUTO\_MUTE zapewnia wyciszenie wyjść przetwornika przy braku sygnału wejściowego. Wyjście sygnału analogowego z przetwornika jest symetryczne (2 sygnały każdego kanału o amplitudzie ok. 1V i przeciwnych fazach dostępne na wyprowadzeniach 13 i 14 oraz 17 i 18 układu CS4390), zatem pierwszym stopniem analogowym powinien być wzmac-

niacz różnicowy sumujący oba sygnały każdego kanału (US401 i US403). Pozwala to dodatkowo usunąć szumy, zniekształcenia i stałe napięcie podkładu występujące w pojedynczym sygnale. Dzięki temu, że nie trzeba separować napięcia stałego od wyjścia, cały tor wyjściowy wykonano jako stałoprądowy bez separujących kondensatorów, którymi są najczęściej kondensatory elektrolityczne, a te mają bardzo wiele wad - np. zależność pojemności od napięcia polaryzującego (czyli od przenoszonego sygnału), od temperatury itd.

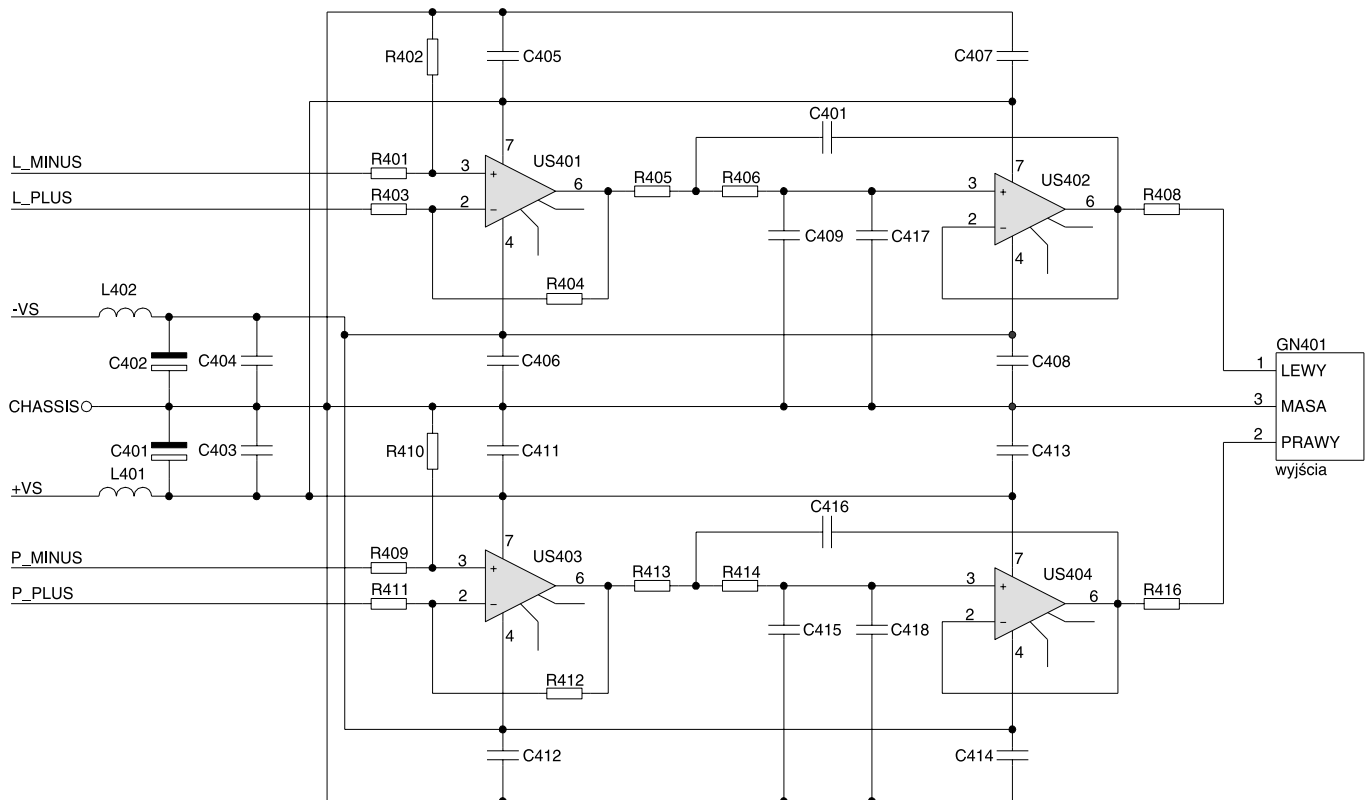
### Filtr wyjściowy

Odtworzony sygnał analogowy „oczyszczony“ jest z wyższych harmonicznych pozostałości przetwarzania przez filtr aktywny drugiego rzędu o charakterystyce Bessela i częstotliwości granicznej 52,32 kHz, zbudowany ze znakomitych wzmacniaczach operacyjnych OPA627 firmy Burr-Brown. Filtr Bessela wybrany został ze względu na lepsze właściwości niż popularny i najczęściej stosowany filtr Butterwortha: mniejsze zniekształcenie odpowiedzi na sygnały impulsowe oraz mniejsze zmiany fazy sygnału w paśmie przenoszenia. Ponadto, próby odsłuchowe wykazały zdecydowanie lepszą jakość dźwięku przy zastosowaniu filtru Bessela niż Butterwortha. Wartości elementów filtru zostały dobrane za pomocą programu „Filterlab“ firmy Microchip - program dostępny pod adresem: <http://www.microchip.com/1010/pline/tools/analog/software/flab/index.htm>, publikujemy go także na płycie CD-EP10/2002B.

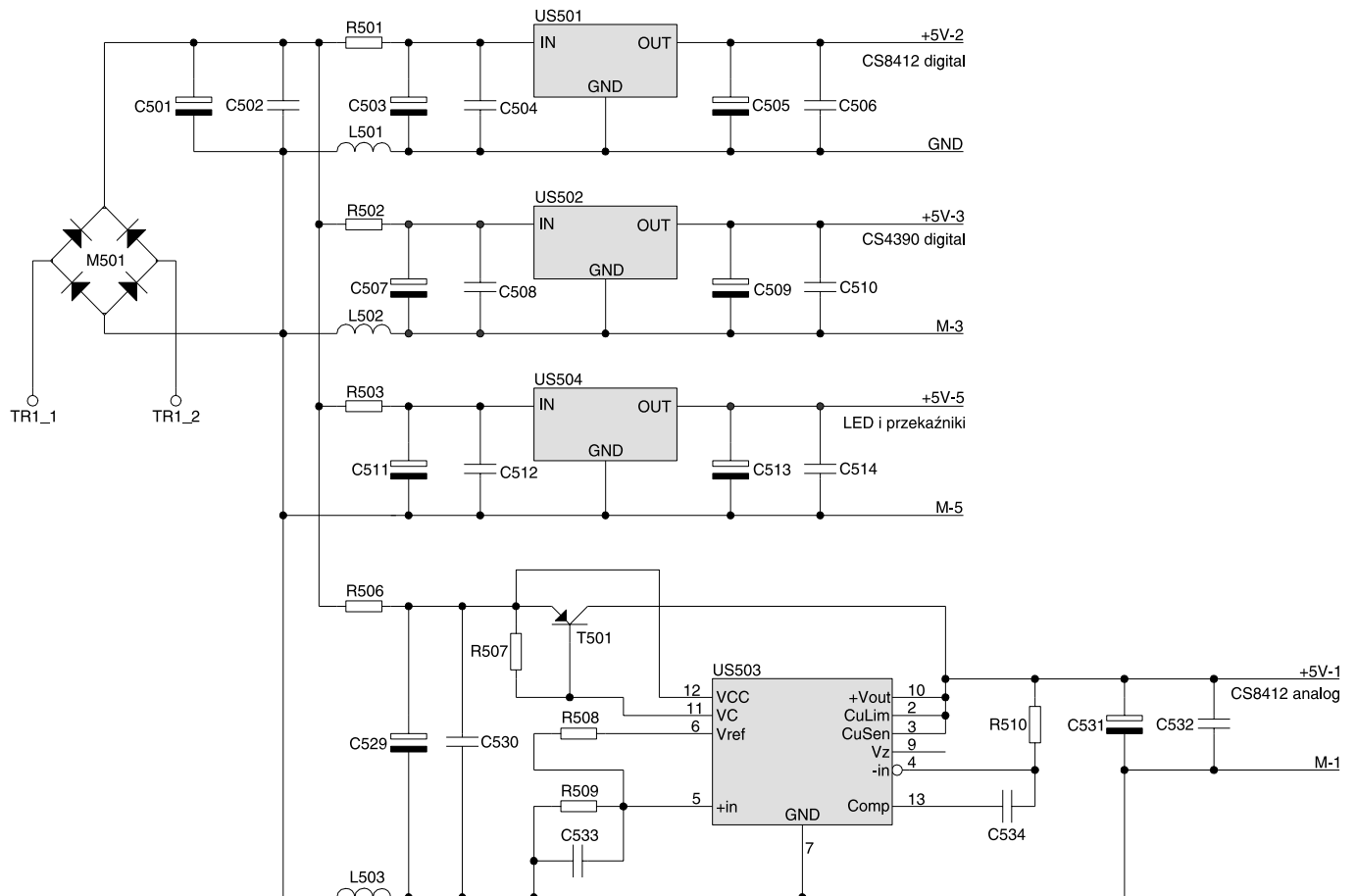
Elementy kształtujące charakterystykę filtru to R405 (5,49 kΩ), R406 (17,4 kΩ), C409 (150 pF) + C417 (22 pF) i C410

Tab. 1.

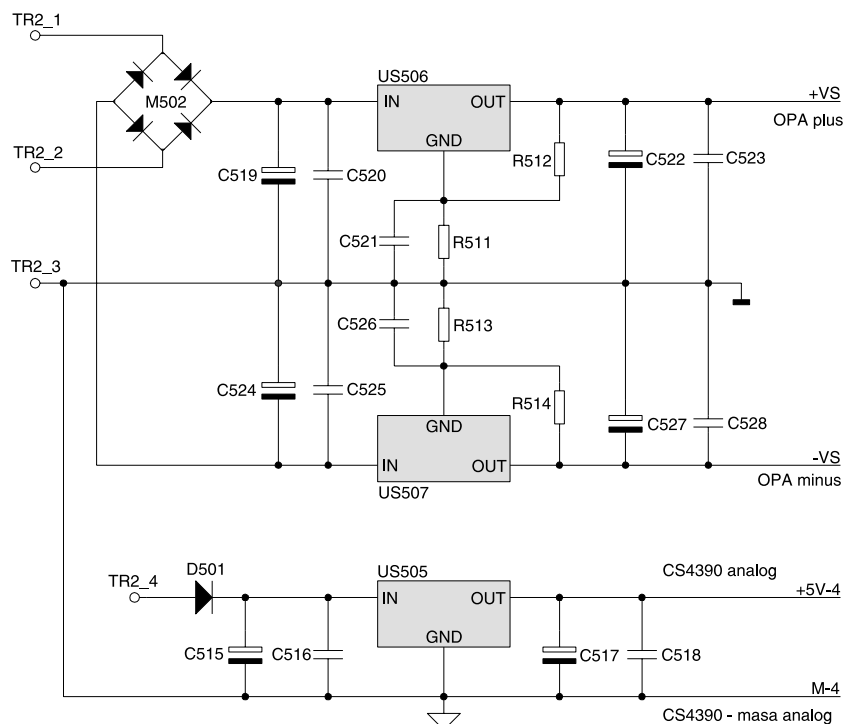
DIF0	DIF1	DIF2	FORMAT
0	0	0	0
1	0	0	1
0	1	0	2
1	1	0	3
0	0	1	4
1	0	1	5
0	1	1	6
1	1	1	kalibracja



Rys. 5. Schemat filtrów wyjściowych



Rys. 6. Schemat zasilaczy części cyfrowej



Rys. 7. Schemat zasilaczy części analogowej

(330 pF) - odpowiednio w drugim kanale R413, R414, C415+C418 i C316. Zastosowanie 2 równolegle połączonych kondensato-

rów (C409+C417 i C415+C418) o łącznej pojemności 172 pF wynika z trudności w nabyciu kondensatora o takiej pojemności.

ci. Pojemność wyliczona wynosi 180 pF, ale należy uwzględnić pojemność wejściową wzmacniacza OPA627 - 7 do 8pF. Zastosowane zostały kondensatory polipropylenowe o dobrej stabilności parametrów i również stabilne rezystory. Tolerancja pojemności i rezystancji wynosi 1% - jak stwierdzono przy odsłuchach dobranie wartości jak najmniej odbiegających od obliczonych ma bardzo duże znaczenie dla „przejrzystości” otrzymanego obrazu dźwiękowego. Częstotliwość graniczna filtra wynosi 52320 Hz i dobrana została tak, aby uzupełnić działanie filtra wbudowanego w strukturę CS4390.

Wzmacniacz OPA627 wybrany został po próbach odsłuchowych kilku typów wzmacniaczy (np. TL071, NE5532, NE5535, OPA134) i daje najlepsze efekty - najbardziej naturalne i zrównoważone brzmienie, precyzyjną lokalizację źródeł w obrazie stereofonicznym, wrażenie głębi i wspaniałą analityczność. Uzyskane brzmienie w pełni rekompensuje znaczną cenę tego wzmacniacza.

## WYKAZ ELEMENTÓW

### Rezystory

R101...R103: 75Ω  
 R104...R106: 330Ω  
 R107, R108: 270Ω  
 R201: 470Ω/1%  
 R205: 1kΩ  
 R206: 22kΩ  
 R401...R404, R409...R412: 10,0kΩ/1%  
 R405, R413: 5,49kΩ/1%  
 R406, R414: 17,4kΩ/1%  
 R408, R416: 36Ω/1%  
 R501, R502: 20Ω/1/4W  
 R503: 10Ω/1/4W  
 R506: 33Ω/1/4W  
 R507: 68Ω  
 R508: 2,00kΩ/1%  
 R509: 4,70kΩ/1%  
 R510: 1,50kΩ/1%  
 R511, R513: 2,20kΩ/1%  
 R512, R514: 249Ω/1%

### Kondensatory

C101...C103, C202, C204, C301, C302, C403...C408, C411...C414, C502, C504, C506, C508, C510, C512, C514, C516, C518, C520, C521, C523, C525, C526, C528, C530, C532: 100nF ceramiczny  
 C104, C203: 10nF polipropylenowy  
 C201: 68nF/1% polipropylenowy

C205, C206, C303, C304, C505, C509, C513, C517, C522, C527, C531: 4700μF/16V  
 C401, C402: 6800 F/16V  
 C409, C415: 150pF/1% polipropylenowy  
 C410, C416: 330pF/1% polipropylenowy  
 C417, C418: 22pF/1% polipropylenowy  
 C501, C503, C507, C529: 4700μF/16V  
 C511: 2200μF/16V  
 C515: 2200μF/10V  
 C519, C524: 4700μF/25V  
 C533: 10nF ceramiczny  
 C534: 100pF ceramiczny

### Półprzewodniki

US101, US102, US103: TORX173  
 US201: CS8412  
 US202: CD4025  
 US301: CS4390  
 US401...US404: OPA627  
 US501, US502, US504, US505, US515: LM340T-5  
 US503: μA723  
 US506: LM317  
 US507: LM337  
 T201: BC546 lub podobny npn  
 T501: BD140 lub podobny pnp  
 M501, M502: GBL06 lub podobny

D101...D104, D501: BYV26A lub podobne  
 LED101...LED103: zielone  
 LED104: żółta  
 LED105: czerwona  
 LED201: niebieska

### Różne

Dławiki typ HM50 firmy Bi-Technologies  
 L101...L103, L503: 100μH  
 L202, L401, L402: 4,7mH  
 L203, L301: 2,2mH  
 L302: 3,3mH  
 L303, L501, L502: 10μH  
 płaskownik Al lub Cu 145x20 grubość minimum 3mm  
 podkładki silikonowe TO220 (7 szt.)  
 tulejki izolacyjne M3 (7 szt.)  
 śruby M3x10 (7 szt.)  
 nakrętki M3 (7 szt.)  
 S1: 3-położeniowy  
 S2: 2-położeniowy  
 GN101...GN103: CINCH pojedyncze do druku  
 GN401: CINCH podwójne do druku  
 TR1: TS 4/22  
 TR2: TS 6/27  
 P101...P104: TQ2-2M-5V (Matsushita) lub TQ2-5-5V (NAIS) lub G6H-2-100-5 (Omron) lub AZ850-5 (Zettler)

Po filtrze sygnał audio podawany jest na standardowe gniazda CINCH tylko przez rezystory  $36\ \Omega$  (R408, R416) ograniczające obciążenie wzmacniaczy w wypadku zwarcia wyjścia do masy. Poziom sygnału umożliwia wysterowanie dowolnego wzmacniacza mocy m.cz. Schemat bloku filtrów wyjściowych przedstawiono na **rys. 5**.

### Blok zasilania

Schematy zasilaczy poszczególnych stopni pokazano na **rys. 6** i **7**. Dużo uwagi poświęcono zapobieżeniu przedostawaniu się do wyjściowego sygnału analogowego

zakłóceń obecnych w sygnale SPDIF i zakłóceń powstających w poszczególnych stopniach cyfrowych urządzenia. Zastosowane są 2 transformatory sieciowe - jeden (TR2) zasila stopnie analogowe (OPA627 i część analogową CS4390), drugi (TR1) pozostałe stopnie cyfrowe przetwornika. Napięcie zasilania każdego ze stopni stabilizowane jest przez oddzielny stabilizator scalony i filtrowane przez filtry LC z dużymi pojemnościami i indukcyjnościami.

Napięcie zasilania pętli PLL w CS8412 stabilizowane jest przez precyzyjny stabilizator  $\mu A723$  z sze-

regowym tranzystorem mocy PNP zmniejszającym obciążenie termiczne układu  $\mu A723$ . Obwody masowe poszczególnych stopni odseparowane są od siebie dławikami  $10\ \mu H$ . Stabilizatory scalone oraz tranzystor mocy PNP są dla lepszego odprowadzenia ciepła i wyrównania ich temperatury zamocowane na płaskowniku aluminiowym.

**Andrzej Stelmach**

*Wzory płytek drukowanych w formacie PDF są dostępne w Internecie pod adresem: <http://www.ep.com.pl/?pdf/pazdziernik02.htm> oraz na płycie CD-EP10/2002B w katalogu PCB.*