

# ADAT – wielokanałowy system cyfrowego audio, część 1

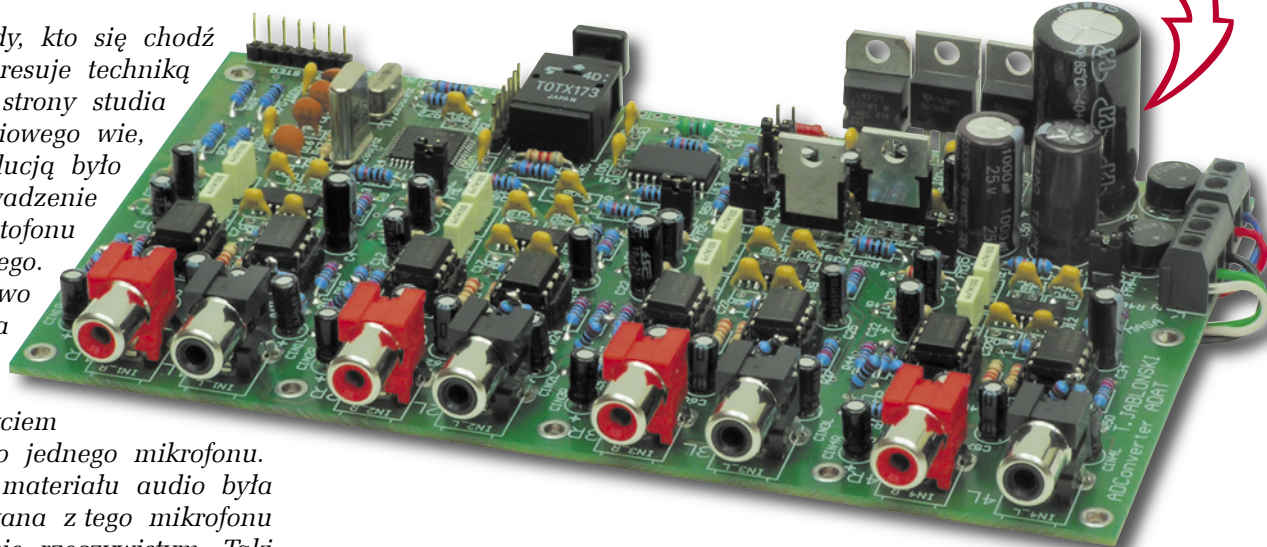
## Przetwornik A/C z interfejsem ADAT AVT-450

PROJEKT Z OKŁADKI

*Każdy, kto się chodź trochę interesuje techniką audio od strony studia nagraniowego wie, jaką rewolucją było wprowadzenie magnetofonu wielośladowego. Początkowo nagrania były realizowane z użyciem*

*tylko jednego mikrofonu. Całość materiału audio była rejestrowana z tego mikrofonu w czasie rzeczywistym. Taki sygnał, jaki się pojawiał w mikrofonie w trakcie nagrania na przykład całej orkiestry grającej cały utwór, był zapisywany. Jeżeli nagranie się nie udało, to było powtarzane w całości...*

**Rekomendacje:**  
*proponowane w artykule urządzenie jest przeznaczone dla wszystkich zainteresowanych tworzeniem własnych nagrań muzycznych na poziomie półprofesjonalnym. W połączeniu z komputerem PC stanowi ono cyfrową namiastkę wielośladowego magnetofonu analogowego znanego z epoki Rock'n Roll. W tej części prezentujemy przetwornik analogowo – cyfrowy.*



Po wprowadzeniu stereofonii w nagraniach początkowo było podobnie, tylko był używany mikrofon stereofoniczny, a nagrywane były jednocześnie 2 ścieżki. Mogły w ten sposób powstawać wspaniałe nagrania, ale nie zdarzało się to zbyt często. Przeszkodą była głównie akustyka sali nagraniowych i duża trudność w znalezieniu optymalnego ustawienia mikrofonu. Duże problemy z tym związane spowodowały, że akustycy zaczęli stosować 2, a potem więcej mikrofonów. Sygnał z wszystkich źródeł był miksowany i dalej nagrywany jak dotychczas. Łatwiej było określić akustykę pomieszczenia, ale też akustycy mogli współtworzyć nagrywany utwór przez wyraziste umieszczanie instrumentów na planie dźwiękowym, wydobycie ich charakteru, barwy itp.

Nadal jednak pozostawał problem nieudanych wykonań i konieczność szeregu powtórek. Wyobraźmy sobie nagranie, w którym solista współpracuje z dużą orkiestrą, która się co jakiś czas myli. O wiele łatwiej byłoby wykonać mu utwór, gdyby mógł się skoncentrować na wykonaniu swojej partii w tle z wcześniej nagranych

idealnie grającą orkiestrą. Idąc dalej tym tropem można z partii materiału wybrać i pozostawić idealnie nagrane fragmenty, a resztę powtórzyć. Do takich celów został skonstruowany magnetofon wielośladowy. Urządzenie to mogło nagrywać wiele ścieżek dźwiękowych z wielu mikrofonów. Ale samo nagrywanie nie wystarczyło. Żeby móc poskładać nagrywane fragmenty wielośladowy synchronizacji poszczególnych nagrań. Konstruktorzy magnetofonów wielośladowych musieli też pokonać barierę jakości zapisu na wąskiej ścieżce magnetycznej. Wprowadzenie systemu Dolby pozwoliło i ten problem rozwiązać.

Takie magnetofony powstały w połowie lat 60-tych i zrewolucjonizowały technikę nagrań muzycznych. Można było nagrać nawet poszczególne instrumenty, a potem już w studiu bez udziału muzyków je zmontować lub lepiej użyć słowa „stworzyć”. Pierwszym znanym albumem powstałym w technice nagrań wielośladowych był *Sgt. Pepper's Lonely Hearts Club Band* z 1967 roku zespołu The Beatles.

W dzisiejszych studiach nagraniowych trudno znaleźć klasyczne

### PODSTAWOWE PARAMETRY

- Płytko o wymiarach: 97 x 166 mm
- Zasilanie: 7,5...8,5 V AC  
2 x 10 V AC
- Liczba wejść analogowych: 4
- Rozdzielczość próbkowania: 16...24 bitów
- Przetwornik A/C: sigma-delta (64-krotny oversampling)
- Dynamika: 107 dB
- Zniekształcenia THD: 0,002%

magnetofony wielośladowe. Zapis analogowy ustąpił pola zapisowi cyfrowemu, a digitalizacja dźwięku dała jeszcze większe możliwości reżyserowi w studiu nagraniowym. Zapis cyfrowy w mariażu z eksplodującym rozwojem multimedialnych możliwości zwykłego komputera PC dał też niesamowite możliwości stworzenia własnego studia nagraniowego i to bez konieczności bycia szejkiem z Kuwejtu. Wystarczy dobry PC, odpowiednia, profesjonalna karta muzyczna i oprogramowanie żeby stworzyć sobie wielośladowy cyfrowy magnetofon w garażu, czy piwnicy. Może jeszcze potrzebna jest odrobina wiedzy na temat akustyki pomieszczeń i zasad ich wytlumiania na potrzeby nagrań audio.

Karty muzyczne przeznaczone do cyfrowego zapisu dźwięku mają różne wejścia. Między innymi optyczne wejście Toslink systemu ADAT. ADAT został wprowadzony przez firmę Alesis ok. 10 lat temu i był rozszerzeniem cyfrowego zapisu stereofonicznego DAT (magnetofon cyfrowy z wirującą głowicą). Rozszerzenie to polegało na zapisie na taśmie jednocześnie 8 śladów cyfrowego sygnału audio. Stopniowo drogie taśmowe rejestratory zostały wyparte przez zapis na twarde dysku komputera.

Analogowe sygnały audio są zamieniane na postać cyfrową w przetwornikach analogowo – cyfrowych. Potem w specjalizowanym układzie scalonym są zamieniane w szeregowy strumień danych i w takiej postaci przez optyczne złącze Toslink wyprowadzane do karty rejestratora. Wystarczy sobie zbudować taki przetwornik i mamy kompletny rejestrator. Po zarejestrowaniu i obróbce w komputerze dobrze by było posłuchać, jaki jest efekt naszej pracy. Do tego potrzebny jest przetwornik cyfrowo analogowy, który potrafi wysłać z rejestratora nagrane ślady przekształcić na postać cyfrową.

Pokażemy tutaj, że zbudowanie takich przetworników jest możliwe, a nawet nie jest trudne. Szczególnie przetwornik analogowo cyfrowy będzie niezbędnym elementem wyposażenia niskobudżetowego cyfrowego studia nagraniowego pozwalającego wykonywać nagrania na wysokim poziomie nawet niezamożnym muzykom. Oczywiście komputer i przetwornik to nie

wszystko. Potrzebne będą odpowiednie mikrofony, pomieszczenie, a przede wszystkim doświadczenie i zdolności w realizacji nagrań. Początek jednak został zrobiony.

Schemat przetwornika pokazano na **rys. 1a** (analogowe układy pośredniczące i przetworniki) i **rys. 1b** (interfejs ADAT). Analogowe sygnały 4 kanałów stereofonicznych są połączone do złącz typu Chinch, a wyjściowy sygnał cyfrowy jest wyprowadzony do nadajnika TO-TX173 optycznego systemu przesyłania danych Toslink.

Całe urządzenie można podzielić funkcjonalnie na 4 części: przetworniki analogowo cyfrowe AL1101, układ zbierania i wysyłania danych z przetworników AL1401 OptoGen, układ generowania sygnału identyfikacji kanałów i układy zasilania.

### Przetwornik A/C

Przetwornik analogowo cyfrowy AL1101 może pracować z rozdzielczością 16...24 bitów i częstotliwością próbkowania od 24 kHz do 54 kHz. Typowa częstotliwość próbkowania to 48 kHz. Jeżeli dodamy do tego wysoką dynamikę (107 dB) i małe zniekształcenia THD=0,002%, to otrzymamy wysokiej klasy przetwornik do zastosowań profesjonalnych.

Wejściowy sygnał audio musi być symetryczny i jest podawany na wejścia INL+ i INL- dla kanału lewego oraz odpowiednio na wejścia INR+ i INR- dla kanału prawego. Amplituda sygnału musi się zawierać w granicach od -4 V do +4 V względem wewnętrznego poziomu odniesienia. Napięcie odniesienia równe połowie napięcia zasilania podanego na wyprowadzenie VA jest wytwarzane przez układy wewnętrzne, ale musi być zablokowane przez dobrej jakości zewnętrzny kondensator ceramiczny 100 nF podłączony do wyprowadzeń REF+ i REF-. Jest bardzo ważne żeby umieścić ten kondensator jak najbliżej wyprowadzeń REF+ i REF- żeby uniknąć niepożądanych efektów wywołanych przez zakłócenia wysokiej częstotliwości. Symetryczne wejście nie jest zbyt wygodne, bo zazwyczaj analogowy sygnał audio jest przesyłany niesymetrycznym kablem koncentrycznym. Dlatego konieczne jest zastosowanie układu pośred-

niczącego spełniającego 2 funkcje. Pierwsza z nich to zamiana sygnału niesymetrycznego na symetryczny, tak by na wejściach IN+ i IN- pojawiały się sygnały w przeciwnych fazach względem napięcia odniesienia. Druga z funkcji układu dopasowującego to antyaliasingowy filtr dolnoprzepustowy. Filtr ten ogranicza pasmo do poziomu określonego przez częstotliwość próbkowania. Ponieważ w przetworniku stosowany jest oversampling (nadpróbkowanie), to filtrowanie nie jest krytyczne i w praktyce sprowadza się do ograniczenia pasma do 80 kHz.

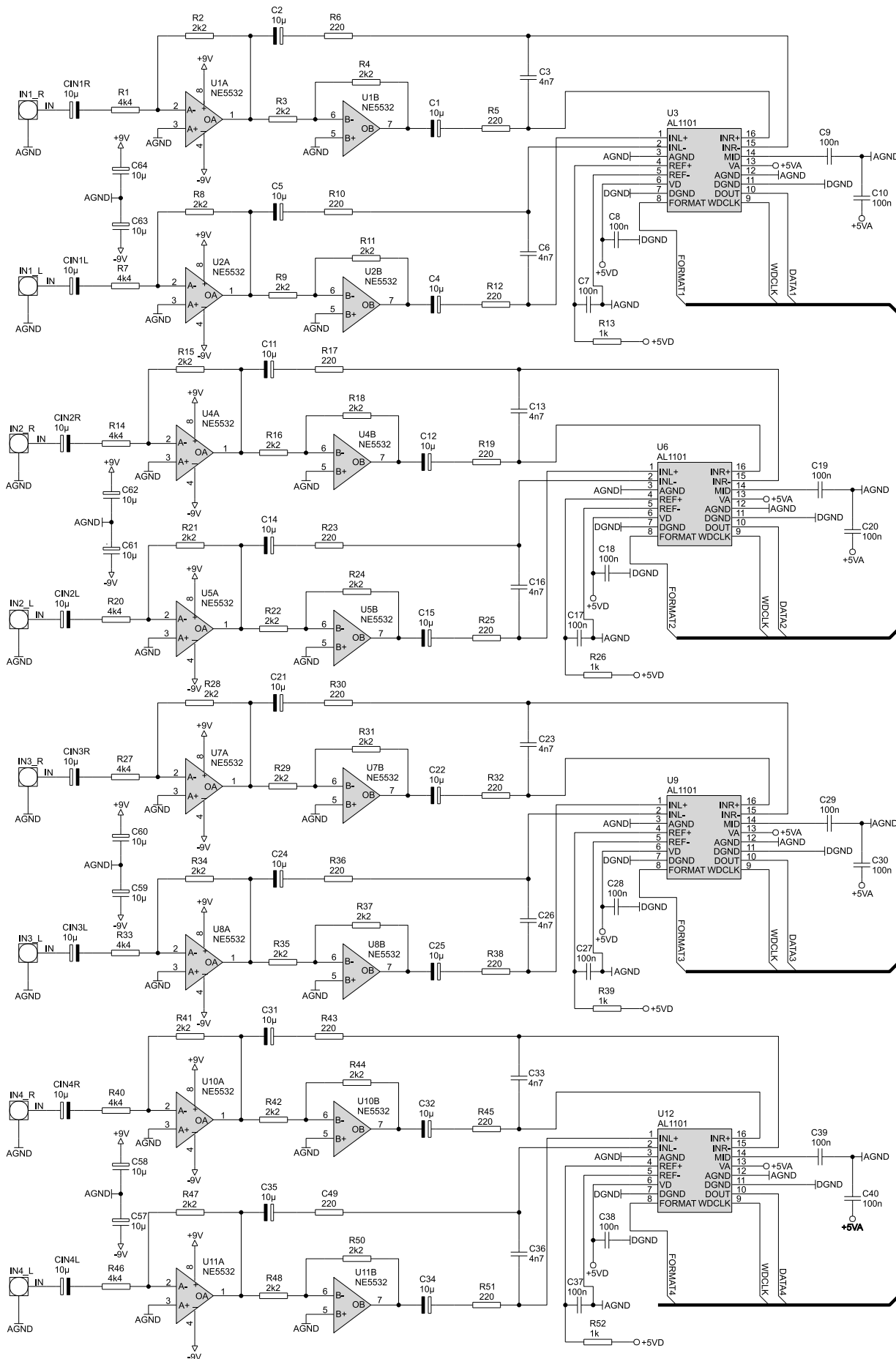
Układ dopasowujący dla każdego z kanałów przetwornika zbudowany jest z podwójnego wzmacniacza operacyjnego. W modelowym rozwiązaniu zastosowałem popularny układ niskoszumny audio NE5532, ale można zastosować na przykład układ OPA2132. Dla kanału lewego przetwornika U3 jest to układ U2. Pierwszy wzmacniacz U2A odwraca fazę sygnału i dzieli amplitudę przez 2. Przez kondensator C5 i rezystor R10 jest podawany na wejście INL- U3. Sygnał z wyjścia U2A jest ponownie odwracany w U2B i z podzieloną przez 2 amplitudą trafia do wejścia INL+.

Najważniejszym elementem filtra dolnoprzepustowego jest kondensator C6 o wartości 4,7 nF.

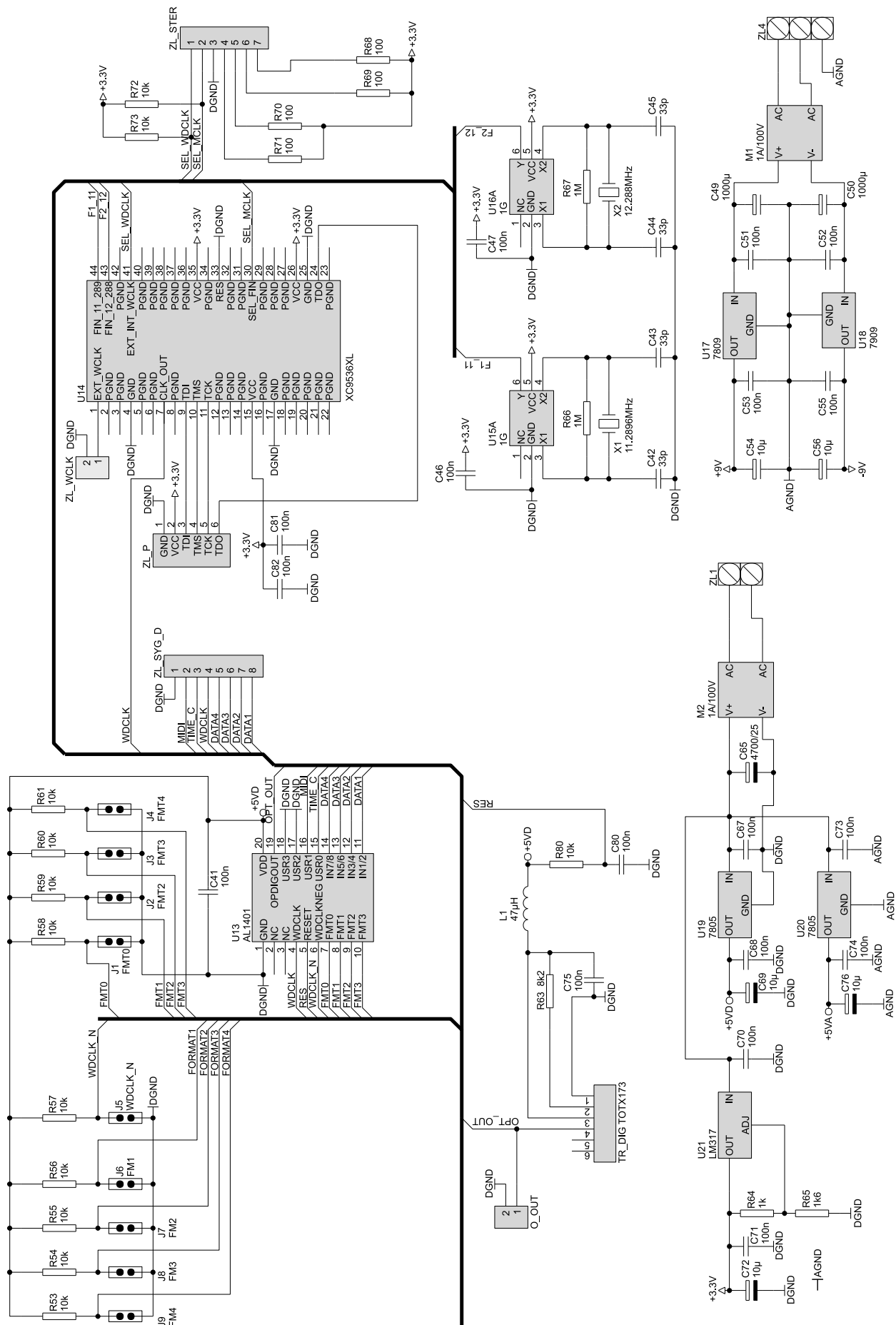
Powinien to być kondensator foliowy możliwie dobrej jakości i musi być umieszczony możliwie blisko wyprowadzeń INL- i INL+.

Wejściowy sygnał analogowy jest próbkowany przez jednobitowy przetwornik delta – sigma. Takie przetworniki muszą pracować z dużymi częstotliwościami próbkowania. W AL1101 stosowane jest 64-krotne nadpróbkowanie. Oznacza to, że sygnał jest próbkowany z częstotliwością 64 razy większą niż wynika to z twierdzenia próbkowania dla pasma akustycznego (20 Hz...20 kHz). Ponieważ modulator delta-sigma charakteryzuje się względnie dużymi szumami własnymi, to jest zespolony z filtrem cyfrowym 5-tego rzędu przesuwającym sygnał szumu poza pasmo akustyczne.

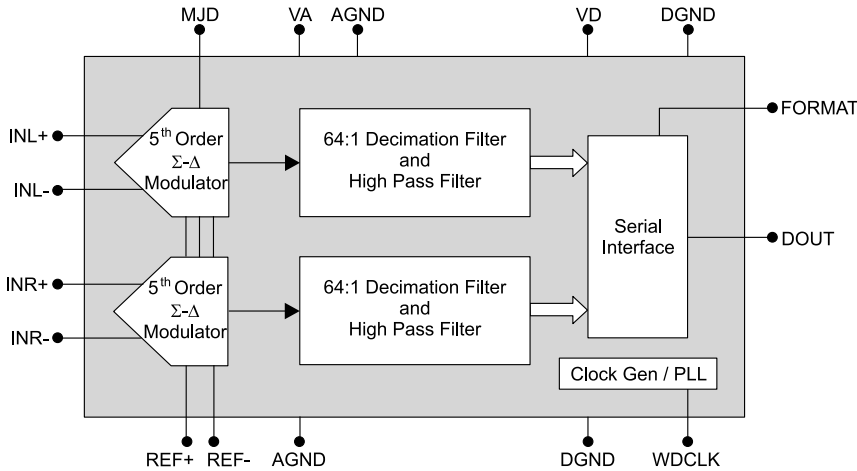
Strumień nadpróbkowanych danych jest „przerzedzany” w bloku decymatora. Decymacja polega na wybraniu, co  $n$ -tej próbki z danych podanych na wejście decymatora.



Rys. 1a. Schemat elektryczny przetwornika A/C



Rys. 1b. Schemat elektryczny interfejsu ADAT



Rys. 2. Schemat blokowy przetwornika AL1101

W naszym przetworniku będzie to, co 64-ta próbka. Na wyjściu decymatora pojawia się dane o wymaganej częstotliwości próbkowania. Za decymatorem umieszczony jest filtr cyfrowy usuwający składową stałą sygnału.

Po decymacji i usunięciu składowej stałej sygnał cyfrowy jest formowany w porcie wyjściowym przetwornika. Zazwyczaj standardowo do przesyłania danych w cyfrowych systemach audio wykorzystuje się interfejs zawierający linie danych, zegara taktującego przesyłaniem danych, sygnału identyfikacji kanałów stereofonicznych i zegara systemowego. Inżynierowie firmy Alesis Semiconductor (obecnie Wavefront Semiconductor) uproszcili ten interfejs tak jak tylko to było możliwe. Oprócz linii danych wykorzystywany jest tylko sygnał identyfikacji kanałów – *wordclock*. Sygnał identyfikacji kanałów jest sygnałem wejściowym (przetwornik pracuje jako slave magistrali) i określa częstotliwość próbkowania  $F_s$ . Pozostałe sygnały: zegar taktujący przesyłaniem bitów i zegar systemowy są wytwarzane wewnątrz przetwornika przez wysokiej jakości układy PLL. Zastosowanie układów PLL nakłada na projektantów obwodów drukowanych obowiązek prawidłowego prowadzenia mas, najlepiej oddzielnie analogowej i cyfrowej, oraz poprawnego zasilania i blokowania części analogowej. Zachowanie tych zasad pomaga

uniknąć przenikania zakłóceń wysokiej częstotliwości do układów PLL i redukuje zjawisko jittera.

O tym jak ważną sprawą jest prawidłowe zasilanie przetwornika świadczy to, że konstruktorzy układu wydzielili na osobnych wyprowadzeniach masy układów analogowych (AGND) i cyfrowych (DGND). Napięcia zasilające są również rozdzielone. Na płycie obie masy są prowadzone niezależnie, a części analogowa i cyfrowa zasilane oddzielnymi napięciami +5 V.

Dane wyjściowe mogą mieć dwa formaty ustawiane wyprowadzeniem FORMAT. Jeżeli FORMAT jest w stanie niskim, to w ramce danych przesyłane są 32 bity. Ponieważ rozdzielczość przetwornika wynosi 24 bity, to dane są umieszczone w ramce jako dosunięte do lewej. Wymuszenie stanu wysokiego na wyprowadzeniu FORMAT powoduje, że w ramce danych przesyłanych jest 24 bity i nie ma problemu jak je umieścić, bo zajmują całą ramkę. Czas przesłania ramki danych dla jednego kanału jest równy połowie okresu sygnału identyfikacji *wordclock*. Na rys. 2 pokazano schemat blokowy przetwornika, a na rys. 3 oba formaty ramek.

W modelowym rozwiązaniu zastosowałem 4 identyczne przetworniki. Każdy z nich ma taki sam układ pośredniczący. Zworkami J6...J9 można dla każdego z nich ustawić format 24 bity na ramkę lub 32 bity na ramkę.

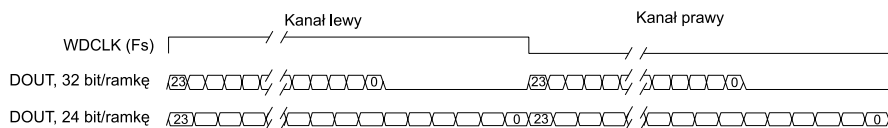
Tab. 1. Format danych przesyłanych łączem światłowodowym przez układ AL1401

FMT[3:0]	Format
0000	16-bit right justified
0001	18-bit right justified
0010	20-bit right justified
0011	22-bit right justified
0100	16-bit left justified
0101	18-bit left justified
0110	20-bit left justified
0111	22-bit left justified
1000	Reserved
1001	Reserved
1010	Reserved
1011	Reserved
1100	24-bit right justified
1101	24-bit right justified
1110	Reserved
1111	Mute

### Układ OptoGen

Przetworniki analogowo cyfrowe to pierwsza bardzo ważna część 4-kanałowego przetwornika. Ich parametry decydują o jakości tworzonego dźwięku. W konstrukcji przetwornika analogowo cyfrowego z wyjściem S/PDIF opisowanym w EP4/2005 dane z przetwornika były kodowane w standardzie S/PDIF i przesyłane izolowanym transformatorowo łączem do odbiornika. Jednak w takim rozwiązaniu do przesłania 4 kanałów trzeba użyć 4 nadajników i 4 odbiorników S/PDIF. W systemie ADAT ten problem rozwiązano w inny sposób. Sygnały danych z wszystkich 4 przetworników analogowo cyfrowych są połączone z wejściami układu AL1401 nazywanego przez producenta OptoGen (rys. 1b).

Układ AL1401 z 4 niezależnych sygnałów danych reprezentujących 4 stereofoniczne pary sygnałów audio tworzy strumień danych, który może być przesyłany standardowym łączem optycznym Toslink. Inaczej mówiąc wykorzystując AL1401 można łączem Toslink przesłać jednocześnie 4 kanały stereofoniczne wysokiej jakości. Jak już powiedziałem jest to wykorzystywane w cyfrowych wielokanałowych rejestratorach ADAT, ale w innych zastosowaniach pozwala na ograniczenie okablowania wszędzie tam, gdzie wymagane jest przesyłanie wielu stereofonicznych sygnałów. Ponadto wykorzystując układ AL1401 można znacznie uprościć konstrukcję, wielokanałowo-



Rys. 3. Formaty danych wyjściowych układu AL1101

wego przetwornika. Format danych przesyłanych łączem światłowodowym ustawiany jest wyprowadzeniami *Format0...Format3* – **tab. 1**.

Wszystkie formaty danych są umieszczone w 32-bitowej ramce. Jest to ważna wiadomość, bo wynika z niej, że w przetworniku AL1101 można wyłącznie ustawić format z 32 bitami w ramce. Oprócz danych w łączu światłowodowym można przesyłać stany dwu bitów użytkownika USER0 i USER1. Wejścia USER2 i USER3 nie mogą być wykorzystane i są podłączone do masy.

Interfejs wejściowy oprócz 4 wejść danych zawiera tylko jedną linię wejściową sygnału identyfikacji kanałów *wordclock* (tak jak w przetwornikach AL1101). Dane z wyjścia OPDIGOUT sterują wejściem nadajnika TOTX173. Format jest ustawiany zworkami J1...J4.

## Generator sygnału identyfikacji kanałów

Trzecią bardzo ważną częścią urządzenia jest generator sygnału identyfikacji kanałów (*wordclock*). Musi mieć wypełnienie 50%, a jego częstotliwość jest równa wyjściowej częstotliwości próbkowania przetworników analogowo cyfrowych. W technice audio stosuje się standardowe częstotliwości próbkowania: 32 kHz, 44,1 kHz i 48 kHz. W przetworniku z założenia miały być wykorzystywane 2 wewnętrznie tworzone częstotliwości 44,1 kHz i 48 kHz. Poza tym przewidziano możliwość dołączenia zewnętrznego źródła sygnału *wordclock*.

Źródłem cyfrowego sygnału zegarowego o odpowiedniej stabilności może być generator, którego drgania są stabilizowane rezonato-

rem kwarcowym. W przetworniku użyłem dwu takich generatorów o częstotliwościach 11,2896 MHz i 12,288 MHz zbudowanych z bramek 74LVC1GX04 specjalnie zaprojektowanych do pracy w układzie oscylatora kwarcowego (układy U15 i U16). Po podzieleniu przez 256 częstotliwości 11,2896 MHz otrzymuje się 44,1 kHz, a po podzieleniu przez 256 częstotliwości 12,288 MHz otrzymuje się 48 kHz. Wystarczy podawać na wejście dzielnika dzielącego przez 256 sygnał z jednego, lub z drugiego generatora by uzyskać interesujące nas częstotliwości próbkowania. Przełączanie źródeł zegara na wejście dzielnika, sam dzielnik przez 256 i układy przełączające zostały zaimplementowane w układzie XC9536XL firmy Xilinx. Blokowy schemat tego układu pokazano na **rys. 4**, a opis HDL tego projektu na **list. 1**. Sygnały sterujące przełączaniem wyprowadzone zostały na złącze ZL\_STER. Stan niski na wyprowadzeniu 1 ZL\_STER przełącza układ na *wordclock* wewnętrzny, stan wysoki na zewnątrz. Stan niski na wyprowadzeniu 2 ZL\_STER powoduje, że wewnętrznie generowany jest przebieg 48 kHz, a stan wysoki – 44,1 kHz. Złącze ZL\_P jest (interfejs JTAG) jest wykorzystywane do programowania układu U14 w systemie. Zewnętrzny *wordclock* jest podłączany do wejścia ZL\_WCLK.

## Układ zasilania

Analogowe układy przetworników AL1101 są zasilane osobnym napięciem +5VA otrzymywanym z wyjścia stabilizatora U20 względem analogowej masy AGND. Bliżko przy każdym z przetworników umieszczony jest ceramiczny kondensator blokujący 100 nF.

Napięcie +5VD zasilają obwody cyfrowe przetworników, układ OptoGen AL1401 i nadajnik TOTX173. Przy nóżkach zasilania każdego z tych elementów umieszczone są również kondensatory blokujące 100 nF. Jak już powiedziałem, masa cyfrowa jest na płycie prowadzona oddzielnie od masy analogowej,

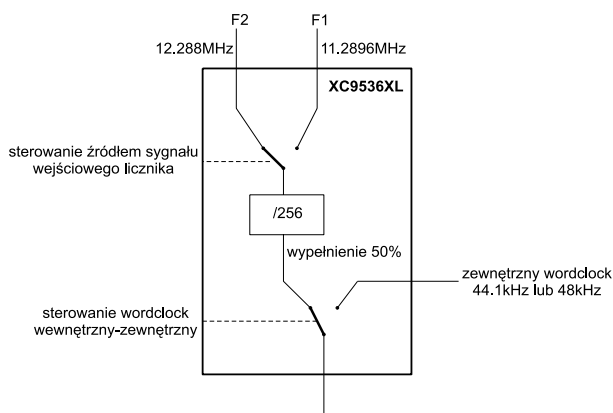
a obie są połączone w pobliżu kondensatora C65. Układ wytwarzania sygnału identyfikacji kanałów jest zasilany napięciem +3,3 V ze stabilizatora LM317 (U21).

## Uruchomienie i konfiguracja układu

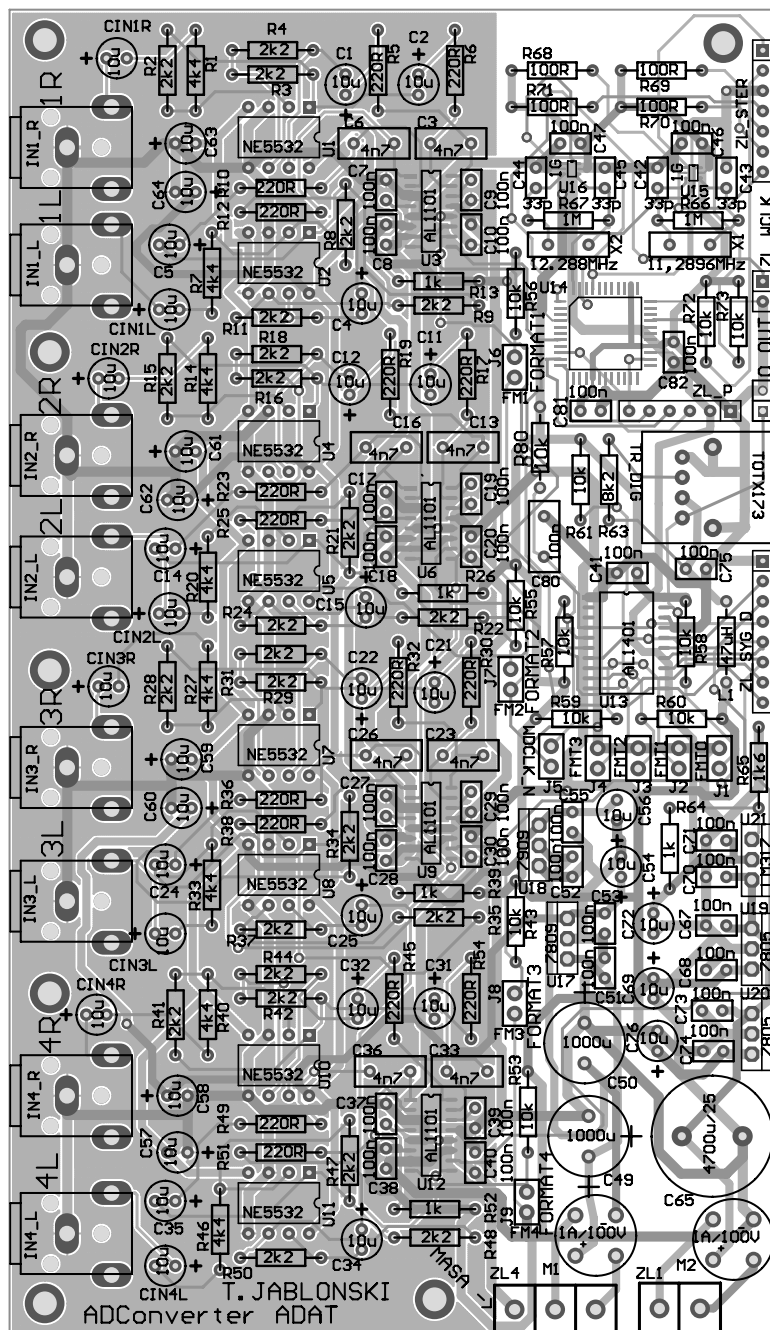
Po zmontowaniu układu (schemat montażowy płytki pokazano na **rys. 5**) napięcie przemiennie 7,5...8,5 V trzeba podłączyć do złącza ZL1, a do złącza ZL4 symetryczne napięcie przemiennie 2x10...12 V. Punkt środkowy uzwojenia transformatora trzeba połączyć z zaciskiem opisanym na płycie jako „MASA”. Po upewnieniu się, że wszystkie napięcia: +5VA, +5VD, +3,3V, +9V i -9V są prawidłowe można zmontować pozostałe elementy płytki przetwornika. Montaż jest prosty, a problemy może sprawić przylutowanie układów U15 i U16 i może trochę U14.

Ponownie trzeba zasilić układ napięciem podłączanym do złącza ZL1. Oscyloskopem, lub lepiej częstotściomierzem sprawdzamy częstotliwość generowaną przez oscylatory U15 i U16. Żeby wymusić pracę z wewnętrznym *wordclockiem* trzeba zewrzeć wyprowadzenie 1 ZL\_STER do masy. Na wyprowadzeniu 2 ZL\_STER wymuszamy stan wysoki i na wyprowadzeniu 7 U14 mierzymy częstotliwość. Powinna mieć wartość 44,1 kHz. Następnie wyprowadzenie 2 ZL\_STER zwieramy do masy i mierzymy częstotliwość na wyprowadzeniu 7 U14 – powinna mieć wartość 48 kHz. Ostatnią czynnością sprawdzenia generowania *wordclock* jest podanie stany wysokiego na wyprowadzenie 1 ZL\_STER i przebiegu prostokątnego o częstotliwości 44...48 kHz, wypełnieniu 50% i amplitudzie 3,3...5 V na złącze ZL\_WCLK. Przebieg z tego złącza powinien się pojawić na wyprowadzeniu 7 U14.

Teraz przy pomocy oscyloskopu można sprawdzić czy pojawiają się jakieś przebiegi na wyjściach danych DOUT przetworników AL1101. Podobnie sprawdzamy, czy pojawia się przebieg prostokątny na wyprowadzeniu OPDIGOUT układu U13. Na tym etapie można sprawdzić czy te przebiegi są i czy mają odpowiednią amplitudę, ale nie można sprawdzić czy są prawidłowe. Taka możliwość pojawi się, kiedy będziemy dysponować



Rys. 4. Schemat blokowy układu wytwarzania sygnału *wordclock*



Rys. 5. Schemat montażowy płytki przetwornika

uruchomioną drugą częścią systemu: przetwornikiem cyfrowo-analogowym lub rejestratorem ADAT (opis w EP za miesiąc).

Po podłączeniu zasilania wzmacniaczy operacyjnych można z generatora podać na wejścia analogowe sygnał sinusoidalny 1 kHz o amplitudzie max. 8 V i oscyloskopem sprawdzić przebiegi na wejściach IN+ i IN-. Przebiegi te będą miały odwróconą fazę i połowę amplitudy wejściowej.

Konfiguracja sprowadza się do określenia formatu wyjściowego przetworników i formatu wyjściowe-

go układu AL1401 OptoGen. Dla przetworników wszystkie zworki J6...J9 mają być zwarte, żeby wysłusić format 32 bitów na ramkę.

Pozostaje ustawienie zworkami J1...J4 formatu danych przesyłanych złączem Toslink przez układ OptoGen i zwarcie zworki J5 żeby sygnał *wordclock* nie był negowany. Ja w modelowym rozwiązaniu ustawiłem format 24 bity *left justified* – zwarta tylko zworka FM1 (tab. 1).

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

## WYKAZ ELEMENTÓW

### Rezystory

R1, R7, R14, R20, R27, R33, R40, R46: 4,4 kΩ

R2, R3, R4, R8, R9, R11, R15, R16, R18, R21, R22, R24, R28, R29, R31, R34, R35, R37, R41, R42, R44, R5, R6, R10, R12, R17, R19, R23, R25, R30, R32, R36, R38, R43, R45, R49, R51: 220 Ω

R13, R26, R39, R52, R64: 1 kΩ

R47, R48, R50: 2,2 kΩ

R53, R54, R55, R56, R57, R58, R59, R60, R61, R72, R73, R80: 10 kΩ

R63: 8,2 kΩ

R65: 1,6 kΩ

R68, R69, R70, R71: 100 Ω

R66, R67: 1 MΩ

### Kondensatory

C1, C2, C4, C5, C11, C12, C14, C15, C21, C22, C24, C25, C31, C32, C34, C35, C54, C56, C57, C58, C59, C60, C61, C62, C63, C64, C69, C72, C76, C80, CIN1L, CIN1R, CIN2L, CIN2R, CIN3L, CIN3R, CIN4L, CIN4R: 10 μF/25 V

C3, C6, C13, C16, C23, C26, C33, C36: 4,7 nF

C7, C8, C9, C10, C17, C18, C19, C20, C27, C28, C29, C30, C37, C38, C39, C40, C41, C46, C47, C51, C42, C43, C44, C45: 33 pF

C49, C50: 1000 μF/25 V

C52, C53, C55, C67, C68, C70, C71, C73, C74, C75, C81, C82: 100 nF

C65 4700μF/25V

### Półprzewodniki

M1, M2: mostek 1 A/100 V

U19, U20: 7805

U17: 7809

U18: 7909

U21: LM317

U15, U16: 74LVC1GX04

U3, U6, U9, U12: AL1101

U13: AL1401

U1, U2, U4, U5, U7, U8, U10, U11: NE5532

### Inne

X1: 11,2896 MHz

X2: 12,288 MHz

L1: 47 μH

Nadajnik TOTX173

Zworki goldpin J1...J9

Złącza śrubowe do druku podwójne i potrójne