
**AVT  
5209**

# Wzmacniacz D-Amp (2)



W EP11/2009 opublikowaliśmy pierwszą część opisu konstrukcji nowoczesnego wzmacniacza pracującego w klasie D. Kontynuujemy opis, uzupełniając go nie tylko o elektronikę i uwagi na temat budowy wzmacniacza mocy, ale również o opis funkcjonowania oprogramowania, co ułatwi wykonywanie własnych modyfikacji lub innych wariantów wzmacniacza.

**Rekomendacje:** wzmacniacz będzie doskonałym uzupełnieniem domowego zestawu audio.

## Moduł wzmacniacza mocy

Na rys. 11 przedstawiono schemat ideowy modułu wzmacniacza mocy. Jego konstrukcja oparta jest o dwa scalone wzmacniacze mocy typu TPA3106D1, pracujące w klasie D. Ich wybór był podyktowany przede wszystkim chęcią uzyskania dużej mocy wzmacniacza przy zachowaniu jak najmniejszych gabarytów. Wysoka sprawność wzmacniaczy w klasie D pozwoliła zrezygnować z radiatorów, co znacznie zredukowało wymiary całości.

Układ TPA3106D1 jest jednym z nowszych wzmacniaczy w klasie D, produkowanym przez Texas Instruments. Umożliwia on uzyskanie mocy wyjściowej na poziomie 40 W przy obciążeniu 8  $\Omega$  i zasilaniu na-

pięciem 25 V. W prezentowanej konstrukcji założono, że wzmacniacz będzie wysterowany do poziomu mocy nie większej niż 20...25 W na kanał, co zgodnie ze specyfikacją producenta gwarantuje zniekształcenia THD+N lepsze niż 0,3% w całym paśmie akustycznym. Uzyskanie większej mocy wzmacniacza jest oczywiście możliwe, wiąże się jednak z wymianą transformatora w zasilaczu.

Praca wzmacniacza w klasie D wiąże się z generowaniem na obciążeniu przebiegu prostokątnego o zmiennym współczynniku wypełnienia (PWM), który po przejściu przez filtr dolnoprzepustowy daje na wyjściu przebieg analogowy. W układzie standardowym jest to realizowane poprzez różnicowe wy-

**AVT-5209 w ofercie AVT:**  
AVT-5209A – płytka drukowana

### Podstawowe informacje:

- Moc wyjściowa 2x25 W przy obciążeniu 8  $\Omega$  i THD+N $\leq$ 0,3%
- Możliwa modyfikacja układu i podniesienie mocy wyjściowej do 2x40 W
- Zasilanie 230 VAC
- 4 wejścia zewnętrznego sygnału m.cz.
- Interfejs Bluetooth do podłączenia zewnętrznego źródła dźwięku w trybie słuchawek bezprzewodowych
- Sterowanie klawiszami oraz za pomocą nadajnika podczerwieni
- Nowoczesny, zdalnie sterowany układ regulacji barwy dźwięku, balansu i wzmocnienia (procesor dźwięku)
- Sterowany przez ATmega8
- Konstrukcja modułowa umożliwiająca łatwą modyfikację

### Dodatkowe materiały na CD i FTP:

- host: [ep.com.pl](http://ep.com.pl), user: 12235, pass: 60u61csy
- wzory płytek PCB
  - pierwsza część artykułu

### Projekty pokrewne na CD i FTP:

- (wymienione artykuły są w całości dostępne na CD)
- AVT-325 Wzmacniacz multimedialny do PC (EP2-4/1997)
  - AVT-491 Multimedialny wzmacniacz 3D (EP1/1999)
  - AVT-5000 Altare – wzmacniacz audio dla audiofilii (EP2/2001)

ście wzmacniacza w postaci mostka H. Na obu wyjściach pojawiają się takie same przebiegi, ale odwrócone w fazie o 180°. W rezul-

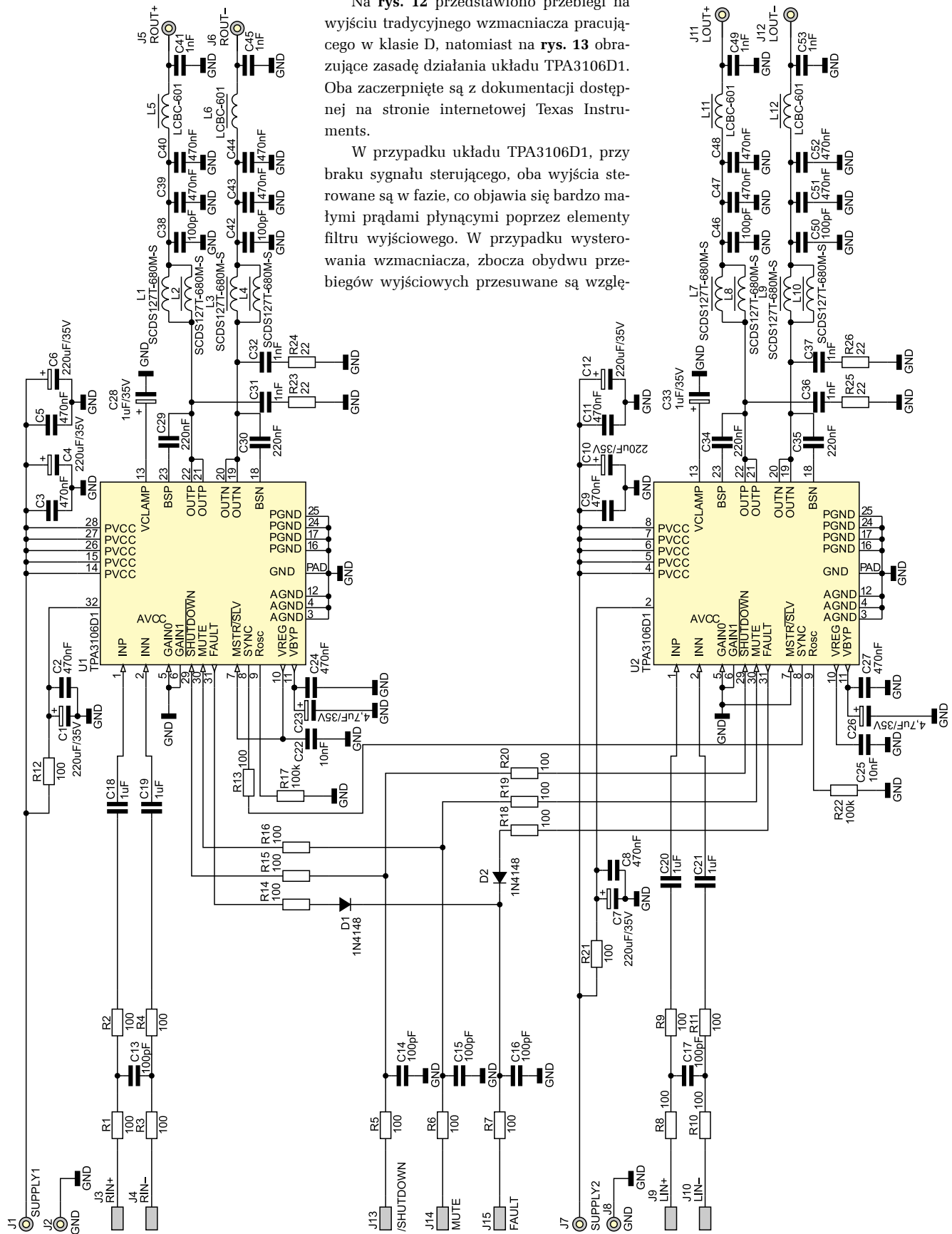
tacie napięcie na wejściu filtra dolnoprzepustowego zmienia się impulsowo, pomiędzy napięciem zasilania a masą. Przy wypełnieniu przebiegu 50%, co odpowiada zerowemu sygnałowi na wyjściu filtra, jego elementy nadal są mocno obciążone. Choć średnia wartość

płynącego prądu jest równa zero, to wartości chwilowe osiągają znaczne poziomy, generując straty mocy na rezystancjach elementów filtra, co obniża sprawność wzmacniacza. W przypadku układu TPA3106D1 zastosowano nieco inne rozwiązanie.

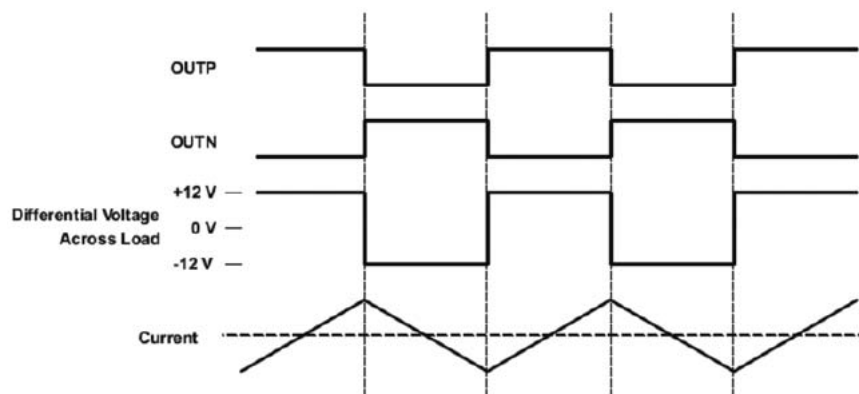
Na rys. 12 przedstawiono przebiegi na wyjściu tradycyjnego wzmacniacza pracującego w klasie D, natomiast na rys. 13 obrazujące zasadę działania układu TPA3106D1. Oba zaczerpnięte są z dokumentacji dostępnej na stronie internetowej Texas Instruments.

W przypadku układu TPA3106D1, przy braku sygnału sterującego, oba wyjścia sterowane są w fazie, co objawia się bardzo małymi prądami płynącymi poprzez elementy filtra wyjściowego. W przypadku wystereowania wzmacniacza, zbocza obydwu przebiegów wyjściowych przesuwane są wzglę-

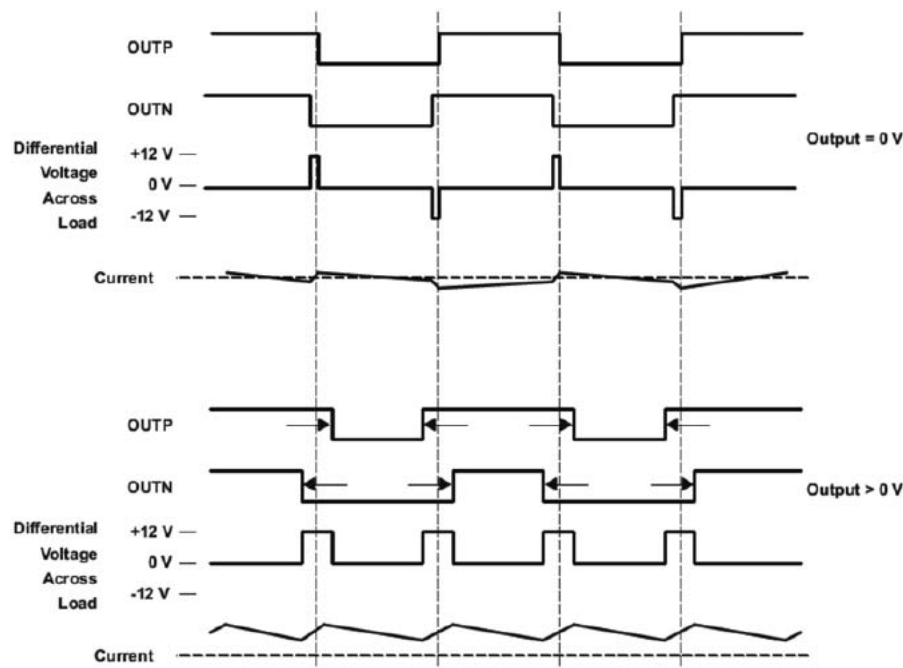
dem siebie w przeciwnych kierunkach, czego efektem jest pojawienie się na obciążeniu przebiegów o wartości średniej większej lub mniejszej od 0 (w zależności od kierunku przesunięcia zboczy), co pozwala uzyskać po odfiltrowaniu na wyjściu wzmacniacza



Rys. 11. Schemat ideowy modułu wzmacniacza mocy



Rys. 12. Przebiegi na wyjściu tradycyjnego wzmacniacza w klasie D



Rys. 13. Przebiegi na wyjściu układu TPA3106D1

sygnał analogowy odpowiadający napięciu wejściowemu. Ten sposób modulacji charakteryzuje się bardzo małymi stratami mocy w przypadku sygnałów o małych amplitudach, co znacznie poprawia sprawność całego wzmacniacza.

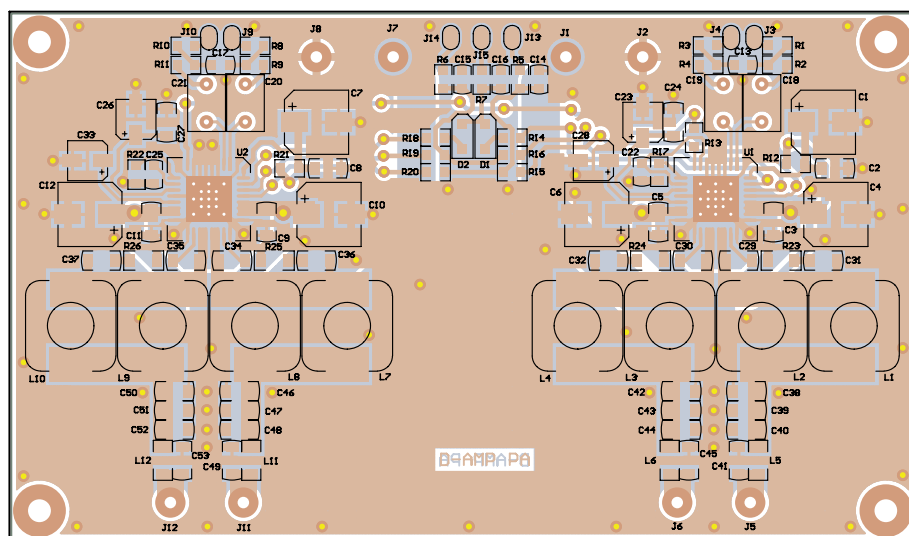
Zastosowanie wzmacniacza pracującego w klasie D wiąże się z koniecznością zwrócenia uwagi na pewne aspekty konstrukcyjne, nieobecne przy wzmacniaczach AB. Podczas projektowania wzmacniacza starano się postępować według wskazówek zawartych

w dokumentacji. Sam schemat nie odbiega również znacznie od aplikacji proponowanej przez producenta. Na rys. 11 można zauważyć, że układy pracy obu wzmacniaczy są niemal identyczne. Do każdego z nich doprowadzono osobne napięcie zasilania w celu ograniczenia przesłuchów, każdy ma na wyjściu filtr dolnoprzepustowy LC dopasowany pod względem obciążalności i pasma przenoszenia do głośników o impedancji 8  $\Omega$ . Do obu wzmacniaczy doprowadzono wspólne sygnały sterujące ich pracą oraz wyprowadzono sygnał informujący o ewentualnym przeciążeniu. Na szynach zasilających wzmacniacze zastosowano dodatkowe kondensatory elektrolityczne, dostarczające energii przy impulsowej pracy stopni wyjściowych. Sygnał audio doprowadzony został za pomocą linii symetrycznej, eliminującej zakłócenia i sprzężenia mogące pojawiać się na połączeniach mas modułów.

Jedyną różnicą pomiędzy obwodami lewego i prawego kanału wzmacniacza jest konfiguracja generatorów taktujących obwoły PWM wewnątrz układu scalonego. Pracujące w jednym urządzeniu wzmacniacze w klasie D, z nieznacznie różniącymi się częstotliwościami pracy, mogą generować zdużenia o częstotliwościach mieszczących się w paśmie akustycznym, co mogłoby wywołać przykre zakłócenia w sygnale wyjściowym. Często w takim przypadku objawem są także słyszalne drgania mechaniczne przewodów zasilających lub uzwojeń transformatora. Z tego też powodu jeden z układów pracuje jako master (jest to U1) i dostarcza przebieg synchronizujący do układu skonfigurowanego jako slave (U2). Taka konfiguracja pracy gwarantuje, że obydwa wzmacniacze będą kluczowały stopnie mocy z tą samą częstotliwością, co eliminuje możliwość pojawienia się wspomnianych wyżej zakłóceń.

### Schemat montażowy modułu wzmacniacza mocy

Na rys. 14 przedstawiono schemat montażowy modułu wzmacniacza mocy. Choć większość elementów to podzespoły SMD, jednak montaż ich nie jest zbyt skomplikowany, bo ze względu na przenoszony moc podzespoły te mają znaczne wymiary. Najbardziej skomplikowaną operacją jest montaż układów U1 i U2. Ze względu na fakt, że obudowy tych układów mają dodatkowy pad służący do odprowadzania ciepła, konieczne jest jego prawidłowe przylutowanie. Mimo dużej sprawności wzmacniaczy w klasie D także tutaj wymagane jest odprowadzenie pewnej ilości ciepła, a funkcję radiatora pełni w tym przypadku płytka drukowana. Sprawa jest stosunkowo prosta, jeśli do budowy wzmacniacza wykorzystamy płytke z metalizacją otworów. W takim przypadku najpierw nakładamy niewielką ilość



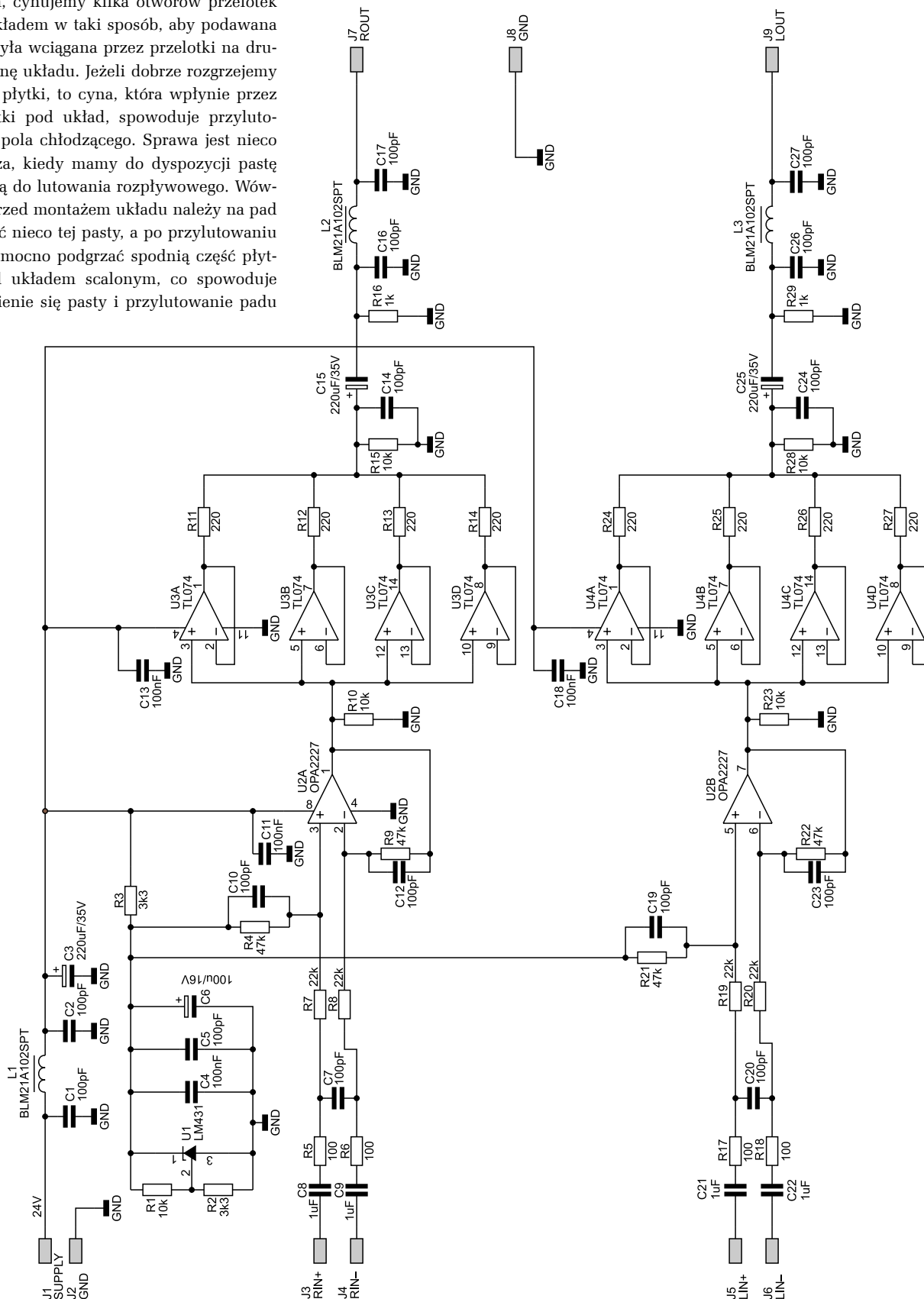
Rys. 14. Schemat montażowy modułu wzmacniacza mocy

topnika na pad odprowadzający ciepło, a następnie pozycjonujemy układ i mocujemy przez przylutowanie kilku skrajnych nóżek. Następnie obracamy płytkę i korzystając z dobrze rozgrzanej lutownicy, rozgrzewamy pole pod układem, po przeciwnej stronie płytki. Następnie używając cyny z topnikiem, cynujemy kilka otworów przelotek pod układem w taki sposób, aby podawana cyna była wciągana przez przelotki na drugą stronę układu. Jeżeli dobrze rozgrzejemy całość płytki, to cyna, która wpłynie przez przelotki pod układ, spowoduje przylutowanie pola chłodzącego. Sprawa jest nieco prostsza, kiedy mamy do dyspozycji pastę cynową do lutowania rozpliwowego. Wówczas przed montażem układu należy na pad nanieść nieco tej pasty, a po przylutowaniu nóżek mocno podgrzać spodnią część płytki pod układem scalonym, co spowoduje roztopienie się pasty i przylutowanie padu

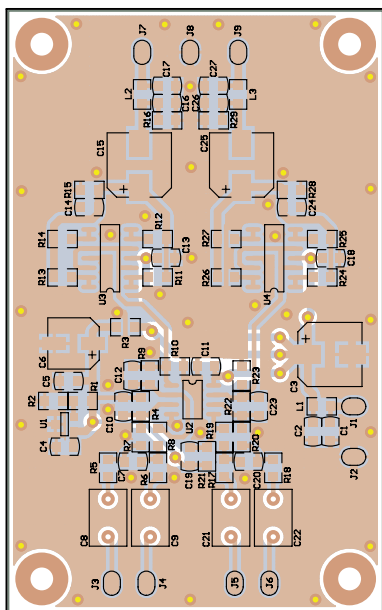
chłodzącego do płytki. W obu przypadkach lutowanie będzie nieco łatwiejsze przy wykorzystaniu gorącego powietrza, a nie standardowej lutownicy.

W przypadku, gdy układ będzie montowany na płytce bez metalizowanych przełotek, montaż komplikuje się. Przed monta-

żem układu należy w płytce, na środku pola lutowniczego padu chłodzącego, wywiercić otwór o średnicy około 3 mm. Następnie oczyścić krawędzie otworu i przylutować układ wzmacniacza mocy. Po przylutowaniu układu odwrócić płytkę i lutownicą z cienkim grotem pocynować pad chłodzący do-



Rys. 15. Schemat ideowy bloku wzmacniacza słuchawkowego



Rys. 16. Schemat montażowy bloku wzmacniacza słuchawkowego

stępny przez wywiercony otwór. Następnie do padu przylutować gruby drut miedziany, który po przylutowaniu do spodniej części płytki (obszar masy) będzie odprowadzał ciepło z układu scalonego.

Ze względu na szerokie ścieżki i dużą masę elementów, nieco uwagi należy poświęcić montażowi dławików wchodzących w skład filtrów wyjściowych. Ważne jest precyzyjne ułożenie tych elementów, gdyż ich odlutowanie w celu poprawy ułożenia może być bardzo trudne. W przypadku zastosowania płytki bez maski lutowniczej należy zwrócić uwagę, aby znajdujące się pod dławikami metalowe doprowadzenia nie zostały zwarte do masy płytki. Do połączeń sygnałowych przewidziano na płytce pola lutownicze, natomiast do połączeń o dużej mocy przenoszonej (zasilanie i głośniki) przewidziano otwory umożliwiające wlutowanie odpowiednio grubych przewodów.

### Moduł wzmacniacza słuchawkowego

W początkowej fazie realizacji projektu wzmacniacza D-amp nie przywiązywano zbyt dużej wagi do wzmacniacza słuchawkowego. Jednak po namyśle zdecydowano, że taki wzmacniacz byłby przydatny, zwłaszcza kiedy chcemy posłuchać muzyki czy obejrzeć film późnym wieczorem, gdy inni domownicy śpią.

Wzmacniacz zbudowano zgodnie ze schematem z rys. 15. Podczas jego projektowania założono, że konstrukcja musi być oparta o popularne elementy, bez wykorzystania przeznaczonych do słuchawek układów wzmacniaczy. Dodatkowo założono, że wzmacniacz powinien z podobną mocąysterować słuchawki o różnej impedancji.

Wzmacniacz słuchawkowy składa się z dwóch stopni. Pierwszym stopniem jest

przedwzmacniacz różnicowy U2 zrealizowany z użyciem OPA2227. Z powodzeniem można w tym miejscu zastosować inny wzmacniacz operacyjny, podobnie jak w module wejść audio. U2 realizuje ponaddwukrotne wzmocnienie sygnału akustycznego dostarczanego z modułu wejść audio. Jako źródło napięcia odniesienia, niezbędnego do poprawnej pracy wzmacniacza operacyjnego ze zmiennym sygnałem audio, zastosowano regulowane źródło napięcia odniesienia LM431 (U1). Układ ten jest precyzyjnym źródłem napięcia odniesienia, tutaj dostarczającym napięcia o wartości około 10 V. Jego wartość ustalają R1 i R2. Dokładność napięcia ma tu znaczenie drugorzędne, a układ LM431 wybrano ze względu na małe szумы i bardzo dobrą stabilność termiczną w porównaniu z diodą Zenera.

Z wyjścia U2 sygnał dostarczany jest przez sprzężenie stałoprądowe do buforów wyjściowych zrealizowanych na układach U3 (kanał prawy) i U4 (kanał lewy). Bufory zbudowane są z czterech połączonych równolegle wtórników zrealizowanych ze wzmacniaczy operacyjnych wchodzących w skład układów U3 i U4 (TL074). Na wyjściu każdego wtórnika umieszczono rezystor 220 Ω, który oprócz zabezpieczenia wzmacniacza przed przeciążeniem zapewnia równomierne rozłożenie obciążenia pomiędzy wtórniki pracujące we wspólnym kanale. Wskutek obecności omawianych rezystorów rośnie również rezystancja wyjściowa wzmacniacza do poziomu 55 Ω, co pozwala zachować mniej więcej jednakową moc wyjściową zarówno przy niskoomowych, jak i przy wysokoomowych słuchawkach. Poprzez kondensatory separujące C15, C25 i filtry przeciwzakłóceńiowe sygnał audio kierowany jest do gniazdka słuchawkowego. Obecność rezystorów R16 i R29 pozwala kondensatorom naładować się bez podłączonych słuchawek, co eliminuje nieprzyjemny dla ucha i szkodliwy dla słuchawek impuls prądowy w momencie podłączania ich do wzmacniacza. Jeśli słuchawki nie są podłączone, to poprzez rezystor R29 przepływa prąd z linii HP-DETECT układu sterowania, co pozwala na wykrycie braku wtyku w gnieździe.

Wzmacniacz słuchawkowy jest zasilany napięciem 24 V bezpośrednio z zasilacza, z wyjścia zasilania obwodów analogowych.

### Schemat montażowy wzmacniacza słuchawkowego

Schemat montażowy przedstawiono na rys. 16. Jest on zmontowany na płytce dwustronnej, ale elementy umieszczono tylko po jednej stronie płytki. Montaż wykonywany jest typowo. Ze względu na fakt, że prawie wszystkie elementy wchodzące w skład wzmacniacza słuchawkowego są elementami SMD, należy zachować odpowiednią

precyzję przy ich montażu celem uniknięcia zwarc i przerw. Jedynymi elementami przewlekanyymi są kondensatory MKT C8, C9, C21 i C22, które w zależności od potrzeby można zamontować zarówno od strony elementów SMD, jak i od strony druku.

### Końcowy montaż wzmacniacza

Jeśli dysponujemy zmontowanymi wszystkimi modułami wzmacniacza D-amp, to możemy przystąpić do montażu końcowego. Montaż mechaniczny będzie w dużym stopniu uzależniony od obudowy. Trzeba pamiętać, że oprócz wyświetlacza, złączy wejściowych audio i wyjść głośnikowych oraz przewodu zasilającego, należy przewidzieć wyprowadzenie na zewnątrz anteny Bluetooth oraz odbiornika podczerwieni.

Odbiornik podczerwieni można umieścić obok wyświetlacza, za jego filtrem, co uczyni go niewidocznym, a równocześnie pozwoli na prawidłową pracę. Na płytkach drukowanych wszystkich modułów (oprócz Bluetooth) przewidziano otwory umożliwiające przykręcenie ich wewnątrz obudowy. Aby zapobiec tworzeniu się pętli masy, jedynie płytka zasilacza ma połączenie masy z polem przewidzianym na łeb śrubki montażowej. Na pozostałych płytkach pole to jest odizolowane od masy, o czym należy pamiętać przy montażu elektrycznym i uruchamianiu.

Od strony elektrycznej montaż uruchomionych wcześniej modułów sprowadza się do połączenia ich ze sobą zgodnie ze schematem blokowym. Do doprowadzania zasilania, sygnałów audio i połączeń głośnikowych należy ze względu na większą odporność na zakłócenia zastosować skręcone pary przewodów.

Montaż najlepiej rozpocząć od połączenia zasilacza z modułem sterowania. Po skontrolowaniu napięć w układzie należy zaprogramować procesor (o ile nie zostało to zrobione wcześniej) i dołączyć moduł wejść audio. Następnie dołączamy moduł Bluetooth, którego procesor również należy zaprogramować. Kolejno montujemy wzmacniacz słuchawkowy, a na końcu wzmacniacz mocy. Oczywiście wszystkie prace montażowe wykonujemy przy wyłączonym zasilaniu i po rozładowaniu kondensatorów elektrolitycznych zasilacza. **Należy pamiętać, że wewnątrz wzmacniacza obecne jest napięcie sieciowe 230 V. W związku z tym wszystkie połączenia po stronie sieciowej (transformator, bezpiecznik, wyłącznik) należy wykonać w sposób pewny, stosując zasadę podwójnego izolowania wszystkich elementów przewodzących. Dodatkowo prace pomiarowe na włączonym urządzeniu pozbawionym obudowy należy wykonywać z najwyższą ostrożnością.**

Paweł Hadam, EP  
pawel.hadam@ep.com.pl