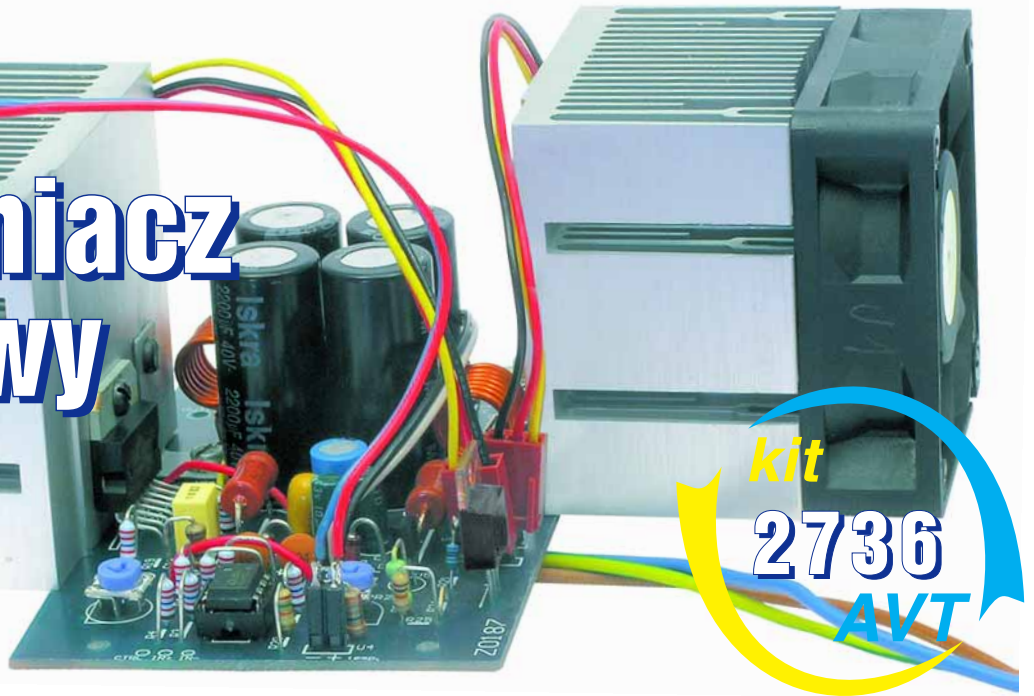


# Wzmacniacz mostkowy o mocy 400W



Prezentowany wzmacniacz jest odpowiedzią na liczne prośby wyrażane w Miniankietach. Upominanie się o prosty wzmacniacz audio o mocy powyżej 100W. Prezentowany moduł w wersji podstawowej – mostkowej osiąga moc szczytową do 400W. Opcjonalnie moduł może też być wzmacniaczem stereofonicznym o mocy szczytowej sięgającej 2 x 100W.

Duża moc wyjściowa przy stosunkowo niewielkim napięciu zasilania możliwa jest dzięki zastosowaniu dwóch wzmacniaczy w układzie mostkowym (BTL), a znakomite parametry zapewniają dwa popularne układy scalone TDA7294, mające stopnie wyjściowe z tranzystorami MOSFET. Układy te od lat zasłużenie cieszą się dużą popularnością i są też stosowane w sprzęcie fabrycznym dobrej klasy. Dodatkowym plusem jest obecność wejściowego wzmacniacza różnicowego, co znakomicie redukuje problemy związane z obwodem masy. Wielką zaletą proponowanego rozwiązania jest nowoczesny, inteligentny sposób chłodzenia, z wykorzystaniem typowych, łatwo dostępnych radiatorów z wentylatorami, przeznaczonych do dużych procesorów komputerowych. Dzięki temu wzmacniacz o tak wielkiej mocy ma zaskakująco małe wymiary.

Opisywany moduł został sprawdzony w roli wzmacniacza gitarowego współpracującego z kolumną pokazaną na **fotografii 1** (w sprawie możliwości zakupu takich i podobnych kolumn należy kontaktować się z Działem Handlowym AVT).

Zmontowanie i uruchomienie opisanego wzmacniacza nie jest trudne, jednak z pewnością projekt nie jest przeznaczony dla zupełnie początkujących. Nieprzypadkowo stopień trudności oznaczają trzy gwiazdki. Jest to wzmacniacz o mocy kilkuset watów, a przy takich mocach i prądach sięgających

10A mogą pojawić się nieprzewidziane problemy związane z wieloma czynnikami. Moduł musi współpracować z kolumnami o odpowiednio dużej mocy, a niewielkie kolumny może łatwo zniszczyć, zwłaszcza ich głośniki wysokotonowe i średniotonowe.

## Opis układu

Schemat ideowy modułu wzmacniacza pokazany jest na **rysunku 1**, płytka drukowana pokazana jest na **rysunku 2**. Dwie końcówki mocy TDA7294 pracują tu w klasycznym układzie aplikacyjnym. Kondensatory C5...C8 i C15...C18 odsprężają zasilanie. C9, C10 to kondensatory bootstrapu. Obwody R15, R17 i C11 oraz R14, R16, C12 ustalają wzmocnienie obu gałęzi równe około 32 (30dB). Głośnik będący obciążeniem włączony jest pomiędzy wyjścia obu kostek, a prawidłowe działanie mostka uzyskuje się przez sterowanie tych dwóch wzmacniaczy sygnałami o przeciwnej fazie. Dostarcza ich blok ze wzmacniaczami operacyjnymi U3A, U3B. Wzmacniacz U3B z jednakowymi rezystorami R7, R8 ma wzmocnienie równe 1 i tylko odwraca fazę sygnału z wyjścia kostki U3A. Na układzie U3A zrealizowany jest prawdziwy wzmacniacz różnicowy o wzmocnieniu 1. Wskutek równości rezystorów R3...R6 wzmacniacz ten reaguje tylko na różnicę napięć między wejściami IN+, IN-, natomiast silnie tłumi sygnał wspólny. Największe tłumienie sygnału wspólnego można ustawić dzięki potencjometrowi PR1, który pozwala skorygować rozrzut wartości rezystorów R3...R6. Zastosowanie rezystorów 1-procentowych i odpowiednie ustawienie PR1 pozwoli uzyskać tłumienie sygnału wspólnego znacznie powyżej 40dB. Dzięki takiemu rozwiązaniu można z łatwością ominąć problem spadków napięć w obwodzie masy, bar-

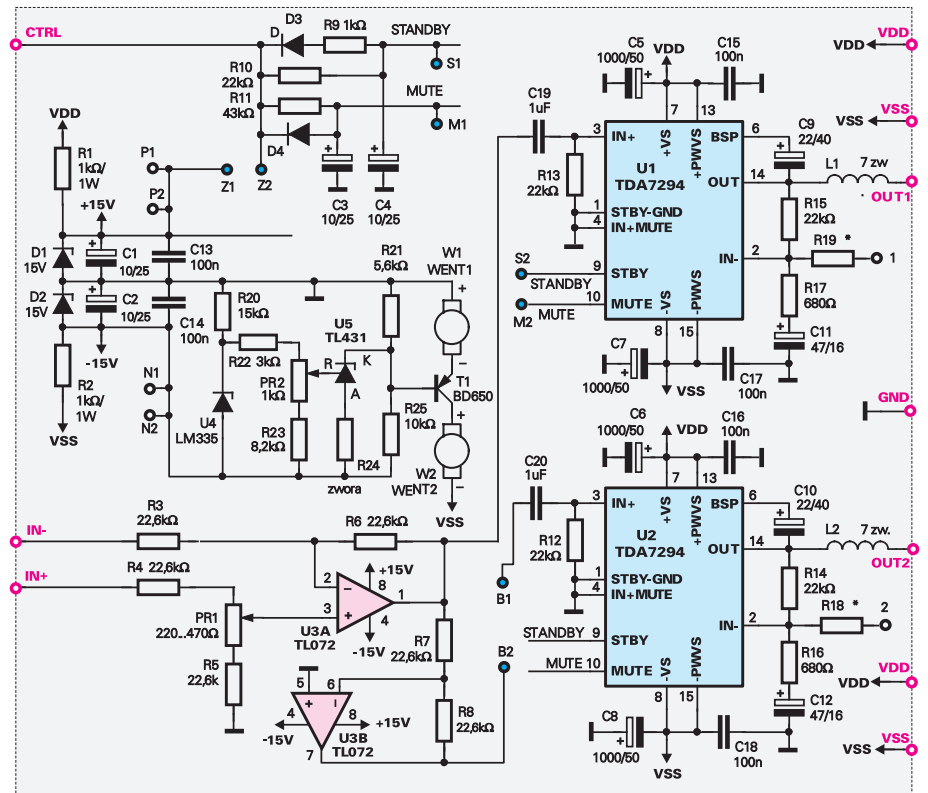
dzo często występujący we wzmacniaczach dużej mocy. Wzmacniacze operacyjne U3A, U3B zasilane są z prostego pomocniczego stabilizatora z diodami Zenera D1, D2. Ograniczenie napięcia jest konieczne, ponieważ cały moduł może być zasilany napięciem ponad  $\pm 35V$ , a większość wzmacniaczy operacyjnych może być zasilana napięciem co najwyżej  $\pm 18V$ . Stabilizator pomocniczego napięcia ujemnego (-15V) wykorzystywany jest także w obwodzie sterowania wentylatorów. Obwód ten zawiera czujnik temperatury



w postaci układu scalonego LM335 (U4), który daje napięcie wprost proporcjonalne do temperatury bezwzględnej ( $10\text{mV} \times \text{temperatura w kelwinach}$ ). W temperaturze pokojowej  $+20^\circ\text{C}$ , czyli  $293\text{K}$ , napięcie na U4 wynosi  $2,93\text{V}$ . Wzrost temperatury spowoduje wzrost napięcia na tym czujniku i gdy napięcie z suwaka potencjometru przekroczy  $2,5\text{V}$ , wywoła przepływ prądu przez układ U5. Dzielnik rezystorowy R21, R25 jest tak dobrany, że w spoczynku, gdy radiator jest chłodny i przez U5 nie płynie prąd, oba wentylatory pracują z pewną niewielką prędkością. Pracują wtedy bezszelestnie i zupełnie ich nie słychać – umożliwia to wykorzystanie opisywanego wzmacniacza w sprzęcie wysokiej klasy bez obawy o zmniejszenie odstępu sygnał/szum związanego z pracą wentylatorów. Gdy temperatura radiatorów i czujnika U4 wzrasta, prąd płynący przez U5 zwiększa spadek napięcia na R21 i wentylatory zwiększają obroty. W praktyce pracujące z niewielką prędkością wentylatory też dość skutecznie chłodzą radiatory, i zwiększanie obrotów następuje dopiero przy dużej mocy, a głośny dźwięk z kolumn całkowicie zagłusza wtedy szum pracujących z pełną prędkością wentylatorów. Temperaturę progową zwiększania prędkości wentylatorów można zmieniać za pomocą potencjometru PR2. W wersji podstawowej rezystor R24 jest zastąpiony zworą, przez co już niewielki wzrost temperatury powyżej wartości progowej powoduje rozpedzenie wentylatorów do pełnej prędkości. Mimo takiej dużej czułości wentylatory będą pracować z pełną prędkością bardzo rzadko, ponieważ w praktyce już znikome przekroczenie temperatury progowej spowoduje znaczące zwiększenie obrotów, a tym samym polepszenie chłodzenia. Ze wzrostem mocy strat układ regulacyjny będzie stopniowo zwiększał prędkość wentylatorów, a temperatura będzie wzrastać w znikomym stopniu. Kto chciałby zmniejszyć czułość układu regulacyjnego, może zastosować rezystor R25 o indywidualnie dobranej wartości.

Zaproponowane wartości R21 (około  $5,6\text{k}\Omega$ ) i R25 ( $10\text{k}\Omega$ ) powinny okazać się dobre dla większości wentylatorów komputerowych. W razie potrzeby spoczynkową prędkość wentylatorów można dobrać samodzielnie przez zmianę stosunku R21/R25 (w praktyce najlepiej przez zmianę wartości R25). Chodzi o to, żeby po włączeniu zasilania, w spoczynku i przy małych mocach oddawanych, wentylatory niezawodnie ruszyły i pracowały bezszelestnie. Zbyt małe napięcie na R21 i na wentylatorach może powodować, że nie zawsze wentylatory ruszą po włączeniu zasilania, a zbyt duże napięcie oznacza zauważalny szum. W praktyce nie jest problemem dobranie takiego napięcia na R21, żeby wentylatory niezawodnie ruszały i pracowały bezszelestnie.

Uwaga! Niektóre wentylatory przy pracy na małych obrotach mimo wszystko nieco

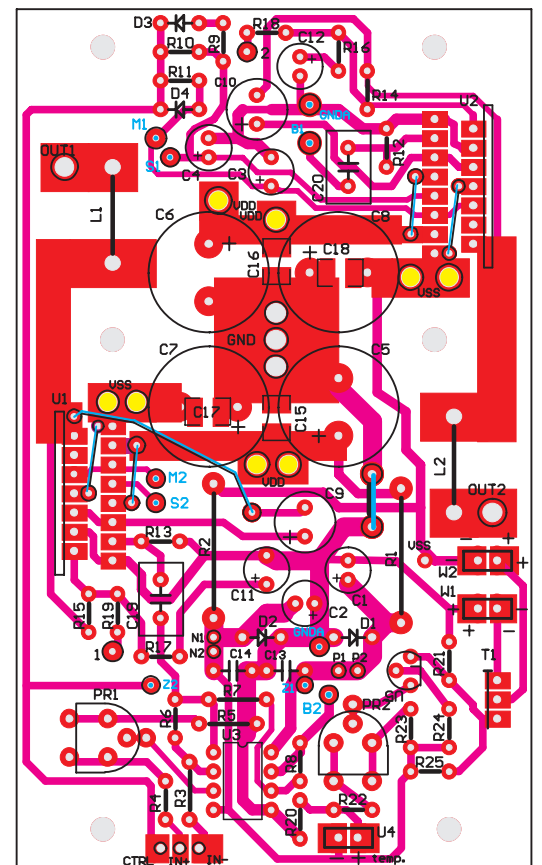


Rys. 1 Schemat ideowy wzmacniacza

Rys. 2 Płytki drukowana wzmacniacza

szumią (terkoczą), a to ze względu na specyficzną budowę wewnętrzną i sposób sterowania. W razie potrzeby takie zakłócenia można bardzo łatwo usunąć, łącząc równolegle do wentylatorów, zwłaszcza W2, kondensatory elektrolityczne o pojemności  $22\mu\text{F}..220\mu\text{F}/25\text{V}$ . Na płytce nie przewidziano na nie miejsca i należy je przylutować od strony druku, najlepiej do punktów lutowniczych złącz szpilkowych W1, W2.

Obwody C19, R13 i C20, R12 oraz kondensatory C11, C12 realizują sprzężenie zmiennoprądowe końcówek mocy, przy czym dolna częstotliwość graniczna leży poniżej  $10\text{Hz}$ . Dzięki sprzężeniu zmiennoprądowemu napięcia nierównoważenia nie są wzmacniane. Niektórzy Czytelnicy z zacięciem audiofilskim zapewne zechcą zrealizować w tym wzmacniaczu sprzężenie stałoprądowe sygnału. Jest to jak najbardziej możliwe – wystarczy kondensatory C11, C12, C19, C20 zastąpić zworami. Przy takim stałoprądowym sprzężeniu wzmacnione jednak zostaną napięcia nierównoważenia zarówno końcówek mocy, jak i wzmacniaczy U3A, U3B, przez co, zależnie od zastosowanych egzemplarzy układów, na głośniku może wystąpić różnica napięć stałych, powodująca niepotrzebny wzrost prądu spoczynkowego. Jeśli by okazało



się, że ten prąd jest większy niż 20mA albo jeśli powodowałoby to jakiegokolwiek zauważalne zakłócenia, można w takim stałoprądowym wzmacniaczu wyzerować napięcia wyjściowe. W tym celu przewidziano miejsce na rezystory korygujące R18, R19. Zależnie od biegunowości napięcia spoczynkowego na wyjściach OUT1, OUT2 należy dołączyć przewodami punkty oznaczone 1, 2 albo do dodatniego, albo ujemnego napięcia zasilania pomocniczego. W tym celu przewidziano punkty oznaczone na schemacie i płytce P1, P2 oraz N1, N2. Wartość rezystorów R18, R19 (setki kiloomów lub megaomy) należy dobrać eksperymentalnie do konkretnych egzemplarzy układów scalonych, by uzyskać napięcia na obu wyjściach OUT1, OUT2 równe zeru. W wersji podstawowej z kondensatorami C11, C12, C19, C20 rezystory R19, R20 nie są potrzebne, bo napięcia stałe na wyjściach nie przekroczą  $\pm 10mV$ .

W wersji podstawowej punkt CTRL nie będzie wykorzystany – pozostanie niepodłączony. Należy natomiast wykonać zworę między punktami Z1-Z2, co poda napięcie +15V na obwód opóźnionego włączania wzmacniacza. Obwód ten wykorzystuje przeznaczone do tego wejścia sterujące STANDBY i MUTE obu końcówek mocy (nóżki 9, 10). Punkty oznaczone na schemacie etykietami STANDBY (kondensator C4 i nóżki 9 obu kostek) są ze sobą połączone, podobnie jak obwód oznaczony MUTE.

Tuż po włączeniu zasilania kondensatory C3, C4 będą puste, czyli na końcówkach STANDBY i MUTE napięcie będzie równe zeru i obie kostki będą w stanie wyłączenia. Napięcia na C3, C4 będą powoli rosły, stosownie do stałych czasowych R10C4 i R11C3, przy czym napięcie na C4 będzie rosło szybciej. Wzrost napięcia na końcówkach STANDBY spowoduje najpierw przejście obu kostek ze stanu bezprądowego wyłączenia (OFF) do stanu STANDBY, a po chwili wzrost napięcia na końcówkach MUTE spowoduje odblokowanie obwodów wyciszania. Oznacza to, że głośniki zostaną włączone z pewnym opóźnieniem, co zapobiegnie stukom podczas włączania zasilania, związanym

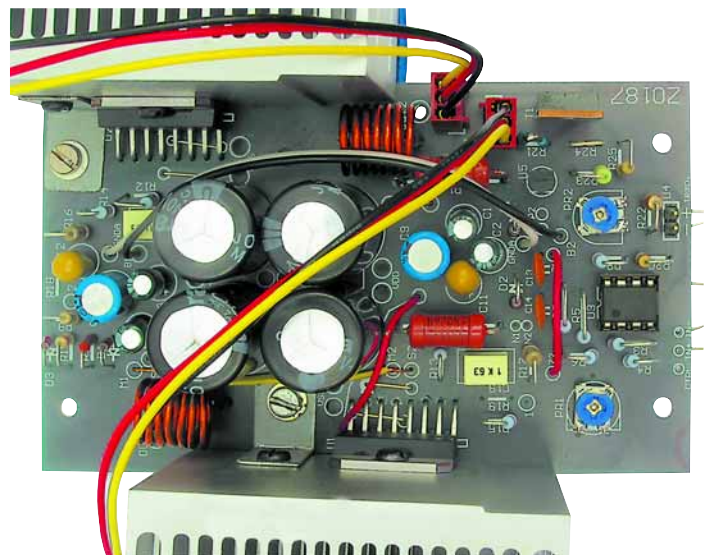
ze stanami przejściowymi we współpracującym przedwzmacniaczu. Jeśli okazało się, że przy włączaniu z głośników słychać jednak jakieś dziwne odgłosy, należy zwiększyć pojemność C3, C4.

Obecność diod D3, D4 powinna także spowodować szybkie wyciszenie głośników podczas wyłączenia zasilania. Tu sytuacja jest jednak mniej jednoznaczna, ponieważ warunkiem wyłączenia jest szybki spadek napięcia na kondensatorach C1, C13. W większości przypadków zaproponowane proste rozwiązanie wystarczy i zapobiegnie przykrym stukom w głośniku. Gdyby jednak współpracujący przedwzmacniacz i w ogóle cały układ powodowały stuk przy wyłączeniu, należy wykorzystać końcówkę CTRL – zwiierać punkt CTRL po wyłączeniu zasilania, na przykład za pomocą tranzystora lub przekaźnika wykrywającego zanik napięcia sieciowego. Rozbudowany układ nadzorujący tego typu zostanie opublikowany w jednym z następnych numerów EdW. Prostem sposobem jest zastosowanie jakiegokolwiek małego przekaźnika 12...24V z dodatkowym prostownikiem i dobieranym, jak najmniejszym kondensatorem filtrującym, na przykład według rysunku 3. Rezystor Rx należy indywidualnie dobrać do zastosowanego przekaźnika, żeby po włączeniu zasilania, w spoczynku napięcie na przekaźniku nie przekraczało jego napięcia nominalnego (0,9...1Un). Natomiast pojemność kondensatora Cx powinna być możliwie mała, byle tylko przekaźnik nie brzęczał pod wpływem tętniącego prądu zasilania. Mała pojemność Cx jest potrzebna po to, żeby przekaźnik puszczał możliwie

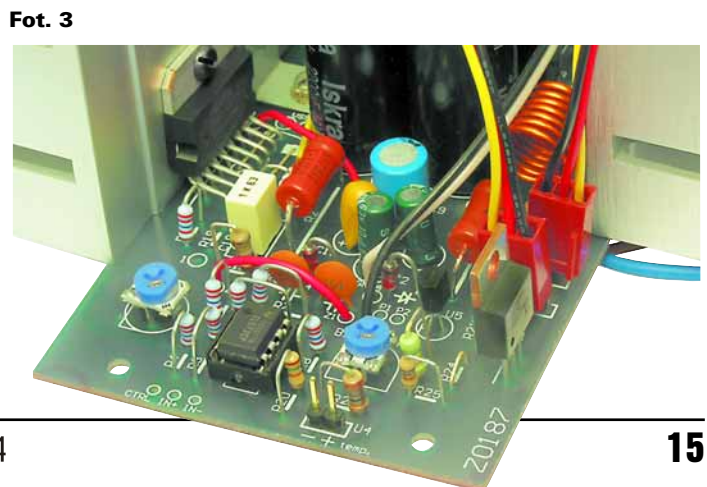
szybko, tuż po wyłączeniu napięcia sieci, jeszcze przed rozładowaniem głównych kondensatorów filtrujących wzmacniacza.

## Montaż i uruchomienie

Wzmacniacz można zmontować na płytce pokazanej na rysunku 2. Pomocą w montażu będą też **fotografie 2, 3 i 4**. Na samym początku, przed „uzbrojeniem” płytki należy przygotować radiatory, wierząc w nich otwory dla układów scalonych i wsporników. Układy scalone mocy zostały tak rozmieszczone względem wysokich kondensatorów filtrujących C5...C8, że jest do nich dobry dostęp także w zmontowanym układzie. Radiatory nie mogą jednak być przymocowane do płytki tylko za pośrednictwem układów scalonych, bo po pewnym czasie spowodowałyby to oberwanie ich nóżek lub ścieżek. Absolutnie konieczne są dodatkowe wsporniki – co najmniej po jednym małym kątowniku z blachy, zapewniającym mocne związanie radiatorów z płytką. I właśnie te kątowniki oraz otwory w radiatorach należy wykonać na samym początku. Zalecana kolejność jest następująca: najpierw należy **wstępnie** wmontować układy scalone mocy, *lutując tylko po dwie skrajne nóżki*. Następnie należy przyłożyć

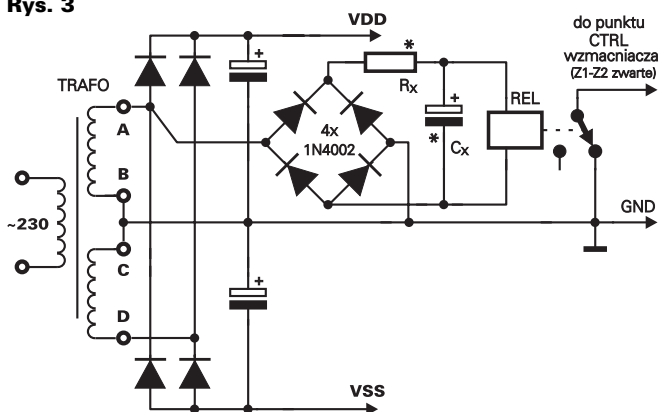


Fot. 2



Fot. 3

Rys. 3



radiatory i zaznaczyć miejsca wiercenia otworów do ich mocowania. Wykonanych otworów nie trzeba gwintować, bo można wykonywać popularne samogwintujące wkręty do metalu (blachowkręty).

Po prowizorycznym zamocowaniu radiatorów do wstępnie wlotowanych układów scalonych należy wykonać co najmniej po jednym wsporniku w kształcie litery L z dwoma otworami. Wspornik należy zamocować do radiatora na stałe blachowkrętem, a do płytki śrubą i nakrętką M3. Po tej operacji należy rozlutować połączenia układów scalonych z płytką, odłączyć radiatory odkręcając śruby M3 wsporników, a następnie zmontować elementy na płytce.

Montaż elementów płytki warto zacząć od elementów najmniejszych, a następnie montować elementy coraz większe. Oprócz kilku krótkich zwór zaznaczonych na płytce, należy wykonać dłuższe zwory przewodami. I tak należy połączyć kawałkami izolowanego przewodu punkty oznaczone M1-M2, S1-S2, Z1-Z2, B1-B2, GNDA-GNDA

Rezystory R3...R8 we wzmacniaczu różnicowym mogą mieć wartości 15kΩ...33kΩ, byle były to rezystory parami równe – wymagane jest R3=R6, R4=R5 i R7=R8. Najlepiej zastosować wszystkie jednakowe o tolerancji 1%. Rezystory R1, R2 o mocy 1W warto zmontować kilka milimetrów nad płytką – będą mieć lepsze warunki chłodzenia. W wersji podstawowej nie są montowane rezystory R18 i R19. Ceramiczne kondensatory C15-C18 należy montować od strony druku. Mogą to być kondensatory SMD, ale na napięcie 50V lub więcej (małe kondensatory SMD 100nF często mają napięcie nominalne poniżej 40V, co może spowodować ich uszkodzenie podczas pracy). Dławiki wyjściowe L1, L2 można wykonać we własnym zakresie z jakiegokolwiek grubszego drutu, nawijając 7 zwojów np. na ołówku czy wiertle. Umieszczone blisko układów scalonych kondensatory elektrolityczne C5...C8 filtrują zasilanie i polepszają właściwości impulsowe wzmacniacza. Kondensatory te muszą mieć odpowiednio wysokie napięcie nominalne i średnicę 16mm – większe nie zmieszczą się na płytce. Nie są to jednak główne kondensatory filtrujące – takowe o pojemności co najmniej 15000uF (15mF) muszą być umieszczone w zasilaczu.

Czujnik temperatury U4 można dołączyć dwużyłowym przewodem za pomocą nasadki i szpilek (goldpin). Rysunek 4 pokazuje sposób podłączenia. Czujnik należy połączyć termicznie z jednym z radiatorów, w najprostszym przypadku wcisnąć go po prostu między żebra radiatora, jak pokazuje fotografia wstępna (okładkowa).

Na koniec montażu płytki należy zamontować radiatory i ostatecznie wlotować układy scalone mocy. Chodzi o to, żeby przy mocowaniu układów scalonych nie powstały niepo-

trzebne naprężenia ich nóżek i ścieżek płytki. Dlatego najpierw trzeba poluzować blachowkręty mocujące kostki TDA7294 do radiatora, a następnie mocno przykręcić wsporniki do płytki za pomocą śrub i nakrętek M3. Dopiero po takim zamocowaniu radiatorów należy mocno dokręcić poluzowane wkręty układów scalonych i wlotować wszystkie ich nóżki.

**UWAGA!** Należy zwrócić uwagę, że obwody VSS i VDD obu układów scalonych mocy nie są ze sobą połączone. Takie rozwiązanie umożliwia oddzielne zasilanie obu kostek z dwóch niezależnych zasilaczy, co jest zalecane w niektórych źródłach. Ponadto może być ułatwieniem, np. w przypadku posiadania dwóch jednakowych transformatorów zasilających o mocy 150...200W. Wtedy można wykorzystać dwa moduły opisane w EdW 4/2004 na str. 49, a ewentualne dodatkowe kondensatory filtrujące można dołączyć przewodami.

Jednak w większości przypadków oba układy scalone mocy będą zasilane z jednego zasilacza, i wtedy trzeba grubym przewodem wykonać połączenia obwodów VDD i VSS obu kostek. Dobrze jest też wzmocnić ścieżki tych obwodów – celowo na płytce pozostawiono odsłonięte ścieżki, żeby łatwo było dolutować drut wzmacniający.

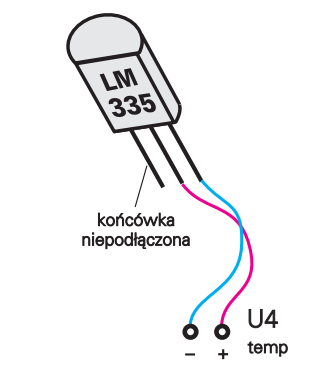
Na koniec należy odpowiednio dołączyć wtyczki wentylatorów do kołków W1, W2 na płytce, pamiętając, że czarny przewód to minus zasilania, a czerwony – plus. Biegunowość kołków jest zaznaczona na płytce. Żółte kable pozostań niepodłączone.

**UWAGA! Wkładki radiatorowe kostek TDA7294 są wewnątrz podłączone do ujemnej szyny zasilania, a nie do masy.**

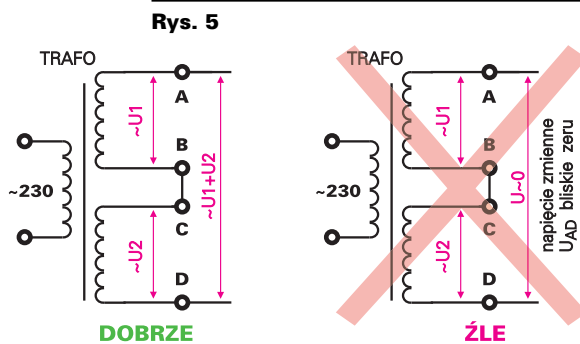
W prostym układzie bez przekładek izolacyjnych na radiatorach będzie występować pełne ujemne napięcie zasilania. Zwykle obudowa łączona jest do masy układu. Przypadkowe zwarcie radiatorów do masy spowoduje co najmniej spalenie bezpieczników, ale może też wiązać się z uszkodzeniem ścieżek płytki lub układu wskutek przepływu dużego prądu. Można oczywiście zastosować mikro lub lepiej silikonowe przekładki izolacyjne, ale zmniejszą one maksymalną moc ciągłą wzmacniacza.

Do zasilania można wykorzystać typowy zasilacz niestabilizowany według wcześniejszego rysunku 3, przy czym zamiast czterech diod

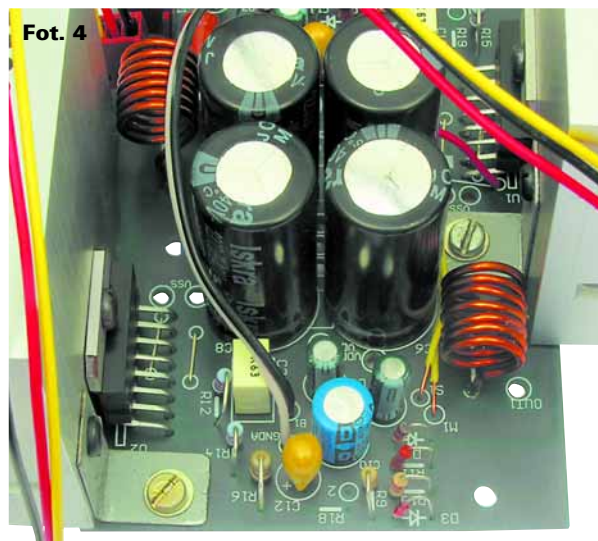
można zastosować gotowy mostek prostowniczy o prądzie co najmniej 10A. Łącząc transformator toroidalny z dwoma niezależnymi uzwojeniami należy sprawdzić fazę – jak pokazuje **rysunek 5**, napięcie **zmienne** między skrajnymi punktami A-D powinno być równe sumie napięć obu uzwojeń. Napięcie bliskie zeru świadczy o złym fazowaniu – należy zamienić końcówki jednego z uzwojeń. Przy tak dużej mocy pobór prądu przy pełnym wystrojeniu będzie przekraczał 6A, więc do zasilania może nie wystarczyć jeden moduł zasilacza z 3-ampierowymi diodami, opisany EdW 4/2004. Można jednak zawsze zastosować dwa takie zasilacze albo



Rys. 4



Rys. 5



Fot. 4

połączone „równolegle” wg rysunku 5 w EdW 4/2004 str. 51, albo zasilające po jednym układzie scalonym każdy. Przy tak dużej mocy pojemność dwóch (zestawów) kondensatorów filtrujących powinna wynosić co najmniej 15000uF (15mF). Na pewno nie jest jednak potrzebny zasilacz stabilizowany.

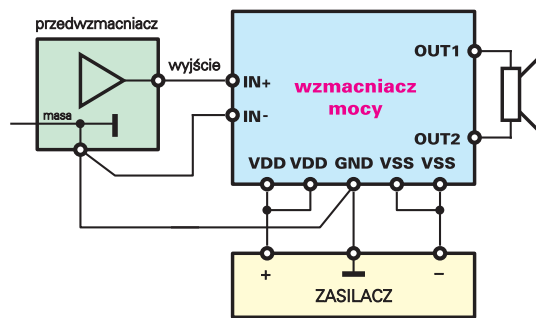
Przed pierwszym włączeniem zasilania należy bardzo starannie sprawdzić prawidłowość montażu wszystkich elementów i połączeń modułu. Przy wzmacniaczach dużej mocy zasadą jest, by nie „grzebać” w układzie będącym pod napięciem. Praktyka pokazuje, że uszkodzenia wzmacniaczy najczęściej zdarzają się właśnie podczas wstępnego uruchamiania i testów. Niekiedy polega to na spektakularnej awarii z hukiem, dymem i błyskiem, a konsekwencją bywa konieczność wymiany układów scalonych, a nawet naprawa przepalonych ścieżek na płycie. Dlatego podczas uruchamiania należy zachować szczególną ostrożność i starannie unikać jakichkolwiek zwarc, a także dotykania elementów i ścieżek w torze sygnałowym. Do pierwszych prób warto w obwodzie pierwotnym transformatora włączyć żarówkę 230V o mocy 40...60W, a nawet mniejszą według rysunku 6. W razie jakiegokolwiek pomyłki czy awarii ograniczy to prąd i może zapobiec uszkodzeniu układu.

Na początek potencjometry PR1, PR2 należy ustawić w środkowym położeniu. Wzmacniacz prawidłowo zmontowany ze sprawnych elementów powinien od razu poprawnie pracować. Oba wentylatory powinny obracać się bezszelestnie z niezbyt dużą prędkością.

Potencjometrem PR2 można ustawić temperaturę progową zwiększania obrotów. Potencjometr PR1 służy do precyzyjnej symetryzacji wzmacniacza wejściowego. Symetryzację można przeprowadzić w ukła-

dzie według rysunku 7, podając sygnał sinusoidalny (może być prostokątny) o częstotliwości 300Hz...1kHz i amplitudzie rzędu 1...5V między masę a oba zwarte wejścia IN+, IN-. Potencjometr PR1 należy ustawić tak, żeby sygnał w głośniku podczas takiego testu był jak najmniejszy. Obwód wejściowego wzmacniacza różnicowego można uprościć, zwierając wszystkie trzy wyprowadzenia PR1 i stosując rezystory o tolerancji 1%, najlepiej dodatkowo dobrane za pomocą multimetru. Tłumienie sygnału wspólnego takiego uproszczonego układu też będzie wynosić co najmniej 40dB.

Podczas normalnej pracy punkt IN- ma być dołączony do masy, ale nie we wzmacniaczu mocy czy zasilaczu, tylko tuż przy wyjściu przedwzmacniacza, jak pokazuje rysunek 8. Taki układ połączeń wyeliminuje problemy związane z przepływem prądów i spadków napięć w obwodzie masy.



Rys. 8

Ponieważ układ jest typowym wzmacniaczem mostkowym, można też uzyskać moc czterokrotnie większą niż w pojedynczym wzmacniaczu zasilanym takim samym napięciem. Do uzyskania na obciążeniu 8Ω pełnej mocy szczytowej ponad 400W wymagane jest zastosowanie sztywnego zasilacza o odpowiedniej mocy, żeby napięcie zasilania pod obciążeniem nie spadało poniżej ±43V. Jest to bardzo trudne do osiągnięcia i wymaga wyjątkowo sztywnego transformatora. Problem w tym, że maksymalne dopuszczalne napięcie zasilania układów TDA7294 w spoczynku to ±50V. W zasadzie należałoby więc zastosować transformator 2x35VAC, co da napięcie zasilania w spoczynku około ±50V, a nawet nieco więcej. Ponieważ maksymalne zalecane w katalogu napięcie zasilania podczas pracy to ±45V, bezpieczniejszym będzie zastosować transformator 2x30VAC, co da napięcie zasilania kostek około ±41V, albo nawet popularny transformator 2x24VAC (200...300W), co da napięcie zasilania około ±35V i zapewni na obciążeniu 8Ω moc szczytową powyżej 200W.

Szczytowa moc maksymalna modułu to w zasadzie 800W, jednak tak dużej mocy ciągłej uzyskać nie można z uwagi na ograniczenia w odprowadzaniu ciepła. Maksymalną moc wyznacza nie tylko maksymalne robocze

napięcie zasilania, wynoszące ±45V, ale przede wszystkim maksymalny prąd wyjściowy, równy 10A. Prąd 10A na obciążeniu 8Ω dałyby właśnie 800W i taką moc teoretycznie można byłoby uzyskać, ale tylko przy prostokątnym sygnale wyjściowym. W zastosowaniach muzycznych należy przeprowadzić obliczenia dla sinusoidy. Prąd sinusoidalny o wartości szczytowej 10A ma wartość skuteczną 7,1A, co zgodnie ze wzorem  $P=I^2R$  daje na obciążeniu 8Ω aż 400W (przy niewielkich zniekształceniach harmonicznym). Pomimo że szczytowa moc wyjściowa wynosi 400W, w praktycznych zastosowaniach nie trzeba do zasilania stosować transformatora o mocy 600...800W. Od mocy transformatora, ale także od skuteczności odprowadzania ciepła zależy maksymalna **ciągła** moc wyjściowa, natomiast ważniejsza w zastosowaniach muzycznych **chwilowa szczytowa** moc największych impulsów będzie wyznaczona

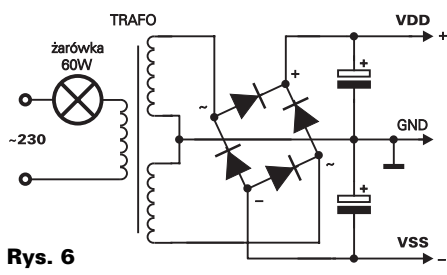
przez... pojemności kondensatorów w zasilaczu i spoczynkowe napięcie zasilania. Dlatego w wielu przypadkach wystarczy transformator o mocy 200...300W, dający napięcie zasilania w granicach ±35V...±45V. Zapewni on moc ciągłą „tylko” 130...200W, ale dzięki dużej pojemności kondensatorów filtrujących moc szczytowa krótkich impulsów wynosić będzie nawet 300...400W.

Należy pamiętać, że podane rozważania dotyczą obciążenia 8Ω. W przypadku obciążenia 4Ω uzyskiwana moc będzie... znacznie mniejsza. Ograniczeniem jest wtedy szczytowy prąd wyjściowy układów scalonych (10A), a to dla sinusoidy daje 7,1A wartości skutecznej, co z kolei daje maksymalną moc ( $P=I^2R$ ) równą 200W. Zgodnie z przekształconym wzorem  $P=U^2/R$  taką moc uzyskuje się przy napięciu skutecznym 28,3V, czyli amplitudzie sygnału 40V. Taką amplitudę uzyskuje się przy zasilaniu wzmacniacza napięciem około ±23...±25V, czyli przy zastosowaniu transformatora toroidalnego 2x17VAC... 2x19VAC.

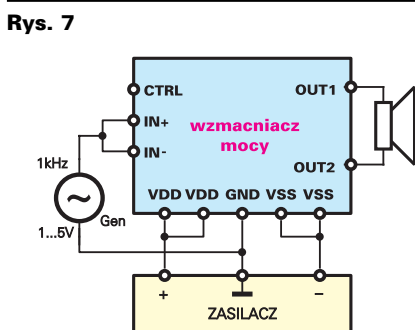
Z uwagi na wspomniane ograniczenie prądowe przy obciążeniu 4Ω nie ma sensu stosować napięć zasilania powyżej ±25V - zwiększanie napięcia zasilania powodowałoby tylko niepotrzebny wzrost strat mocy w układach scalonych.

### Możliwości zmian

Wartości i moce rezystorów R1, R2 są odpowiednie przy zasilaniu napięciem ±30V... ±47V z układem TL072 w roli U3. Jeśli ktoś chciałby wykorzystać moduł do sterowania głośnika 4-omowego przy niższym napięciu zasilania, powinien zmniejszyć wartość rezystorów R1, R2, żeby nawet przy najsilniejszym wysterowaniu, gdy napięcie zasilania dodatkowo zmniejszy się, przez diody Zenera D1, D2 nie przestawał płynąć prąd. Przepływ prądu przez D1, D2 zapewni stabilne napięcie



Rys. 6



zasilające wzmacniacz U3 i obwód sterujący wentylatorów. Podobnie jeśli ktoś chciał zamiast układu TL072 zastosować NE5532, który ma znacznie większy pobór prądu, również powinien zmniejszyć wartości rezystorów R1, R2 i zwiększyć ich moc (obciążalność). Wtedy rezystory R1, R2 należałoby zamontować wysoko nad powierzchnią płytki, by wydzielane ciepło nadmiernie nie nagrzewało sąsiednich elementów.

Próby wykazały, że skuteczność chłodzenia jest wysoka nawet przy niewielkich prędkościach obrotowych wentylatorów. W przypadku zastosowania radiatorów takich jak pokazane na fotografiach lub jeszcze większych, o ile pełna moc wzmacniacza będzie wykorzystywana sporadycznie, tylko w szczytach sygnału, obwód regulacji obrotów można radykalnie uprościć, pozostawiając tylko R21, R25, T1 i wentylatory. Stałą prędkość obrotową należy dobrać, by wentylatory nie były słyszalne. Jeśli potem układy scalone stały się zbyt gorące, nie ulegną uszkodzeniu, bo wcześniej zadziałają wewnętrzne obwody ochronne, które wyłączą wzmacniacz.

Moduł może pełnić rolę wzmacniacza stereofonicznego. Wtedy blok z układem U3 jest niepotrzebny. W takiej sytuacji we własnym zakresie należy sprawdzić i dobrać sposób połączenia obwodów masy. Do dużego pola masy, gdzie dołączone są kondensatory C5...C8, należy dołączyć masę zasilacza i „zimne” zaciski głośników. Natomiast obwody masy sygnałowej obu wzmacniaczy

(GNDA) prawdopodobnie korzystniej będzie dołączyć przy wyjściu przedwzmacniacza, co na płycie drukowanej oznaczałoby rezygnację ze zwory w okolicach elementów R1, C1, C9, C15. Połączenia masy należy wykonać starannie, ponieważ brak połączenia masy może zaowocować uszkodzeniem układu scalonego.

Dzięki rozdzieleniu obwodów VCC, VSS oba kanały wzmacniacza można też zasilac z oddzielnych zasilaczy, co jest zalecane w sprzęcie najwyższej klasy.

Piotr Górecki

## Wykaz elementów

### Rezystory

R1,R2	1kΩ 1W
R3...R8	22,6kΩ 1% (15k...33k 1%)
R9	1kΩ
R10,R12,R13,R14,R15	22kΩ
R11	43kΩ
R16,R17	680Ω
R18,R19	* patrz tekst
R20	15kΩ
R21	5,6kΩ
R22	3,0kΩ
R23	8,2kΩ
R24	zwora
R25	10kΩ
PR1	220Ω lub 470Ω miniaturowy
PR2	1kΩ miniaturowy

### Kondensatory

C1,C2,C3,C4	10μF/25V
C5,C6,C7,C8	1000...2200μF/50V(średnica 16mm)
C9,C10	22μF/40V

C11,C12	tantalowy 47μF/16V
C13,C14,C15,C16,C17,C18	100nF
C19,C20	1μF MKT

### Półprzewodniki

D1,D2	dioda Zenera 15V 1W
D3,D4	1N4148
T1	BD650 (lub inny darlington PNP)
U1,U2	TDA7294
U3	TL072
U4	LM335
U5	TL431

### Inne

L1,L2	7 zwojów drutu 1mm...1,4mm
W1,W2	radiator komputerowy z wentylatorem
podstawka 8 pin	1 szt.
listwa goldpin	12 szpilek
nasadka na listwę	6 punktów
blachowkręty 3x8 lub 3x10	6 szt.
śruba M3x8mm+nakrętka M3	2 szt.
drut i przewody na zwory	

Komplet podzespołów z płytką jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2736.