

Uniwersalny Moduł TDA7294, czyli

prosta droga do wzmacniacza multimedialnego 6x100W



Parametry wzmacniacza

Napięcie zasilania: $\pm 10V \dots \pm 40V$
 Szczytowa moc wyjściowa: . . . do 100W
 Użyteczna moc wyjściowa
 przy zasilaniu $\pm 30V$: 80W na 4Ω
 50W na 8Ω
 Zniekształcenia harmoniczne: . . $< 0,01\%$
 Szybkość wyjściowa: typ $10V/\mu s$

Już kilka miesięcy temu mój syn „odziedziczył” przyzwoite kolumny Tannoy 632. Poprzednie kolumny „napędzał” wzmacniaczem multimedialnym opisanym w EdW 3/2002. Wzmacniacz ten doskonale spisywał się też z nowymi kolumnami, jednak ograniczona moc wyjściowa uniemożliwiła pełne wykorzystanie ich „wydechu”. Junior doszedł do wniosku, że przydałby mu się mocniejszy i bardziej efektywny wzmacniacz mocy. Rozwiązanie problemu oczywiście spadło na mnie. Przedyskutowaliśmy kilka koncepcji, przy czym dyskusję zaczęliśmy od obudowy. W grę wchodziła nawet przezroczysta obudowa z pleksi, pozwalająca w pełni docenić przyszłe piękno wnętrza.

Zacząłem prace nad kilkoma wersjami. Stopniowo powstał wzmacniacz hybrydowy na lampie wysokiej jakości E88CC i dwóch tranzystorach HEXFET typu IRF540. Zaprojektowałem też „odlotowy” wzmacniacz mostkowy dużej mocy na dwóch układach TDA7294. Powstał również prosty moduł ze wzmacniaczem TDA7294. Ten układ scalony zasłużył sobie na bardzo dobrą opinię nawet u audiofilów (przynajmniej w tych bardziej rozsądnych, którzy nie są chrończo i nieuleczalnie uczuleni na wszystko, co scalone).

Choć przyjemne doświadczenia miałem z całkowicie bipolarnym układem LM3886 firmy National Semiconductor, zdecydowa-

łem się na bardziej znaną kostkę koncernu ST (dawniej Thomson) – TDA7294. Dodatkowym powodem był fakt, że ciągle istnieje duże zapotrzebowanie na wszelkie wzmacniacze dużej mocy. Wprawdzie my w EdW opisaliśmy kostkę TDA7294 już w numerze 8/1997 (*Wzmacniacz 100W na układzie TDA7294*), jednak wcale się ona nie zestarzała i najwyższy czas, żeby przedstawić nową wersję wzmacniacza. Dodatkowym powodem jest duża popularność przedstawionego w EdW 5/2003 wzmacniacza lampowo-mosfetowego Ryszarda Ronikiera, gdzie też pracują te układy. Moduł z roku 1997 (AVT-2153) nadal cieszy się dużym powodzeniem, jednak zdecydowałem się na znaczne uproszczenie układu i zmniejszenie płytki. Okazało się bowiem, że większość Czytelników i tak nie wykorzystuje możliwości rozbudowanych obwodów MUTE i STANDBY. Ponadto rozwój techniki nie tylko umożliwił, ale wręcz wymusił kolejną ważną zmianę:

zastosowanie małego radiatora z wentylatorem.

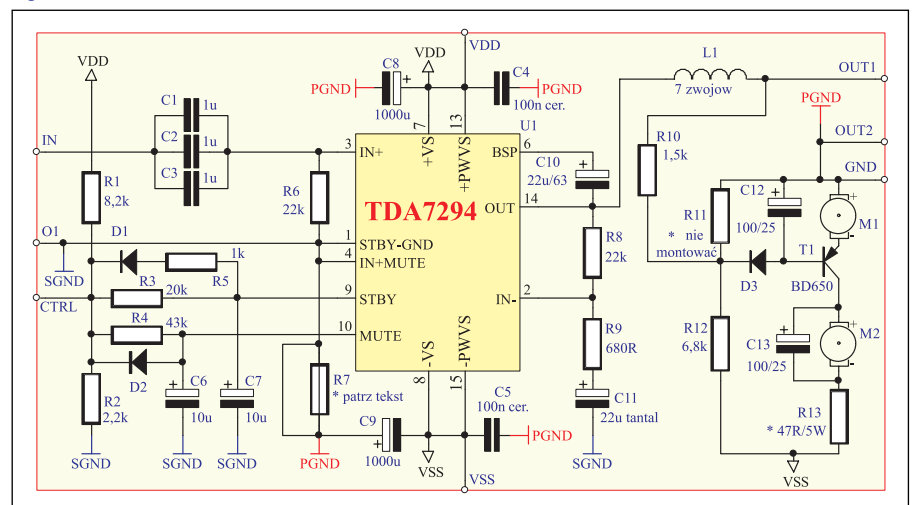
Małe wymiary radiatora wiążą się z kolejną sprawą: Czytelnicy upominają się o wzmacniacz multimedialny: 5- lub 6-kanałowy o dużej mocy i dobrych parametrach. Taki wzmacniacz z konieczności musi zawierać 5 lub 6 wzmacniaczy, więc przy dużej mocy pojawia się poważny problem radiatorów. Zastosowanie chłodzenia wymuszonego, a konkretnie komputerowych radiatorów z wentylatorem znakomicie ułatwi samodzielne zbudowanie takiego wielokanałowego wzmacniacza o bardzo dobrych parametrach.

Wszystkie te czynniki sprawiły, że postanowiłem zaprojektować mały moduł wzmacniacza wysokiej klasy do uniwersalnego wykorzystania. Efekt pokazany jest na fotografiach i opisany w artykule.

Opis układu

Pełny schemat ideowy modułu pokazany jest na rysunku 1. Układ scalony TDA7294 pra-

Rys. 1



cuje tu w typowej konfiguracji. Rezystancja wejściowa modułu wyznaczona jest przez wartość R6 i jest rzędu 20kΩ, ponieważ rezystancja wejścia układu scalonego jest większa niż 100kΩ. Sygnał audio podawany jest na wzmacniacz przez trzy kondensatory C1...C3. Przy ich sumarycznej pojemności 3μF dolna częstotliwość graniczna obwodu wejściowego wynosi około 2,6Hz. Wzmocnienie ustalone przez rezystory R8, R9 wynosi około 30dB (33x), a dolna częstotliwość graniczna obwodu R9C11 jest mniejsza niż 11Hz. Wzmacniacz jest szybki, a ostateczne pasmo przenoszenia to około 10Hz...100kHz.

Kondensator C10 pracuje w obwodzie podwyższania dodatniego napięcia zasilającego w szczytach wysterowania (bootstrap). Układ bootstrap stosowany jest w bardzo wielu wzmacniaczach. Dodatkowo szczyty sygnału wyjściowego chwilowo zwiększają napięcie zasilania obwodów sterujących tranzystorami wyjściowymi. A w układzie TDA7294 są to dwa tranzystory MOSFET z kanałem N. Do pełnego otwarcia „górnego” tranzystora mocy potrzebne jest napięcie wyższe od dodatniego napięcia VDD. To wyższe napięcie uzyskuje się właśnie za pomocą C10 – patrz **rysunek 2**. Usunięcie C10 nie zaszkodzi więc wzmacniaczowi, tylko uniemożliwi uzyskanie pełnej mocy wyjściowej.

Ceramiczne kondensatory C4, C5 o niewielkiej pojemności odsprzęgają zasilanie i zapobiegają samowzbudzeniu. Duże kon-

densatory elektrolityczne C8, C9 też zapobiegają samowzbudzeniu, a dodatkowo stanowią źródło zasilania układu przy szybkich przebiegach. Ich umieszczenie bardzo blisko układu scalonego redukuje impedancję wyjściową zasilacza i polepsza parametry impulsowe.

Jak wyraźnie (kolorami) zazaczyłem na schemacie, w układzie występują dwa obwody masy:

- masa sygnałowa SGND
- masa mocy PGND.

Wątpliwości może budzić obecność rezystora R7, który niejako oddziela obwody masy, ale według schematu rezystor ten jest zwarty. W typowych zastosowaniach rezystorem R7 nie trzeba się w ogóle przejmować, bo nie będzie on włączony, a na płycie drukowanej obwody SGND i PGND są połączone ścieżką i tak ma pozostać w większości przypadków. Rezystor R7 został przewidziany tylko do szczególnych przypadków – więcej informacji zawartych jest w części **Tylko dla dociekliwych i zaawansowanych** pod śródtytułem **Połączenia masy**.

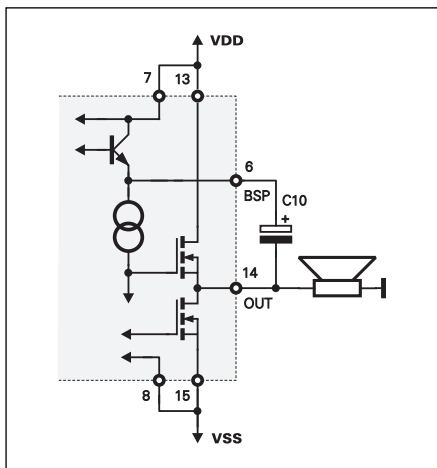
W stopniach wyjściowych wzmacniacza pracują tranzystory MOSFET (DMOS), dzięki czemu w typowych zastosowaniach nie jest konieczne stosowanie typowych dla wzmacniaczy mocy obwodów Boucherota, które korygują przesunięcie fazy dla wysokich częstotliwości i zapobiegających samowzbudzeniu. Ja w swoim module na wszelki wypadek dodałem jednak małą cewkę z kilku zwojów drutu. Według katalogu cewka ta nie jest wymagana i można ją zastąpić kawałkiem drutu (zworą). W przeciwieństwie do wcześniejszych, najnowsza wersja karty katalogowej układu TDA7294 z kwietnia 2003 zawiera informację, że obwód Boucherota według **rysunku 3** (2,7Ω + 100nF) normalnie nie jest wymagany, może jednak być potrzebny przy szczególnych impedancjach obciążenia przy zasilaniu napięciem poniżej ±25V (... normally not necessary for a stable operation it could be needed in presence of particular load impedances at $V_s < \pm 25V$). Typowo moduł będzie zasilany napięciem rzędu ±30V, więc obwód ten można pominąć.

Kondensatory C6, C7 pracują w obwodach opóźnionego włączania. Rezystory R1, R2 tworzą dzielnik napięcia zasilania. Po pojawieniu się napięcia zasilającego kondensatory C6, C7 ładują się stopniowo przez rezystory R3, R4. Po przekroczeniu napięcia progowego włączania (1,5...3,5V) na wejściach MUTE, STANDBY, wzmacniacz stopniowo budzi się do życia. Celem takiego stopniowego włączania jest uniknięcie trzasków i stuków podczas włączania zasilania. Punkt oznaczony CTRL to wejście pozwalające na dołączenie układu do zewnętrznego sterownika opóźnionego włączania i szybkiego wy-

łączania. Dalsze informacje na ten temat podane są w końcowej części artykułu.

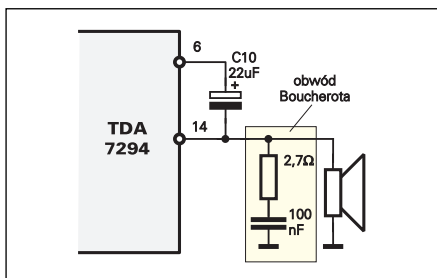
Przypuszczam, że zaskoczeniem dla niektórych Czytelników będzie obwód z tranzystorem T1 i dwoma silnikami (wentylatorami). Wszystko dlatego, że zastosowałem chłodzenie wymuszone. Jak pokazują fotografie, chłodzenie układu scalonego zapewnia radiator komputerowy z wentylatorem. Często w podobnych układach do sterowania silnika wentylatora służy obwód z czujnikiem temperatury (takie rozwiązanie wykorzystałem w przygotowywanym do publikacji wzmacniaczu mostkowym). W opisywanym prostym module po przemyśleniu problemu i kilku próbach zdecydowałem się na znacznie prostsze rozwiązanie, pokazane na rysunku 1. Zasada pracy jest oczywista: w stanie spoczynku na wyjściu wzmacniacza występuje potencjał masy. Wentylator(-y) pracuje z niewielką prędkością, i co bardzo ważne, zupełnie go nie słychać. Spoczynkowe obroty wentylatora wyznacza dzielnik R10, R12 (R11 nie jest montowany). Przy wzroście poziomu sygnału i tym samym głośności, ujemne połówki sygnału spowodują dodatkowe ładowanie C12 przez diodę D3. Napięcie na C12 wzrasta, a „darlington” T1 zapewnia, że różnie też napięcie i obroty wentylatora. Oznacza to, że w chwilach ciszy w głośniku wentylator będzie pracować bezszelestnie, a przy silniejszym sygnale niewielki szum wentylatora zostanie skutecznie zagłuszony dźwiękiem z głośnika. Po zaniku sygnału wyjściowego obroty wentylatora będą stopniowo maleć. Prędkość wentylatora będzie więc proporcjonalna do poziomu sygnału i głośności. Pojemność kondensatora C12 decyduje też, jak szybko ma zmniejszać się prędkość wentylatora (i związany z tym szum). Próby modeli pokazują, że pojemność 100μF jest dobra, a dodatkowe informacje o możliwości zmian zawarte są w dalszej części artykułu.

Napięcie zasilające obwód sterowania wentylatora będzie wynosić 20V do ponad 40V, zależnie od zastosowanego transformatora. Tymczasem wentylatory komputerowe mają napięcie nominalne 12V. Aby zapobiec uszkodzeniu wentylatora i jednocześnie zmniejszyć moc strat w tranzystorze T1 („darlington” mocy), konieczne okazało się dodanie rezystora R13 dużej mocy. Przy tak dużym napięciu zasilania można też jednocześnie wysterować dwa szeregowo połączone wentylatory. Ja zdecydowałem się umieścić drugi wentylator M2 w kolektorze „darlingtona” T1. W takim przypadku kondensator C13 jest niezbędny. Rzecz w tym, że kolektor tranzystora to praktycznie źródło prądowe, a silnik wentylatora nie lubi sterowania prądowego i bez kondensatora C13... wyrażnie brzęczy. Dodanie kondensatora C13 likwiduje hałas i oba wentylatorki pracują w sposób bezszelestny. Jeśli jeden moduł ma



Rys. 2

Rys. 3



wysterować wentylatory obu kanałów wzmacniacza stereo, wtedy analogiczne obwody we wzmacniaczu w drugim kanale nie będą montowane.

W wielu przypadkach moduł będzie zasilany z transformatora toroidalnego o mocy 200W i napięciu zmiennym 2x24V, co da stałe napięcie zasilające układ w spoczynku około $\pm 33V$. Napięcie to będzie się zmniejszało w zależności od poziomu sygnału i mocy transformatora. Mimo wszystko R13 będzie potrzebny, ponieważ nawet pod pełnym obciążeniem napięcie zasilania VSS nie spadnie poniżej 24...25V. Podana na rysunku 1 wartość R13 okaże się dobra przy sterowaniu dwóch typowych **jednakowych** wentylatorów komputerowych i przy zasilaniu z transformatora 2x24VAC 200W.

Jeśli moduł ma sterować tylko jednym wentylatorem, kondensator C13 należy zerwać i zwiększyć wartość R13, by przy pełnymysterowaniu wzmacniacza napięcie na silniku wentylatora nie przekroczyło 14V. Także jeśliby wzmacniacz wyłączał się podczas głośnego grania (zadziałanie zabezpieczenia termicznego wskutek zbyt słabego chłodzenia) albo odwrotnie – przy największych sygnałach napięcie na wentylatorze było większe niż 14V (ryzyko uszkodzenia silników), należy zmienić wartość R13. Szczegółowe wskazówki podane są w dalszej części artykułu.

Montaż i uruchomienie

Moduł wzmacniacza można zmontować na małej płytce drukowanej, pokazanej na **rysunku 4**.

Projekt płytki drukowanej modułu poprzedzony był wnikliwą analizą i ostatecznie zdecydowałem się na płytkę dwustronną. Dodałem też otwory (przelotki) w kluczowych obwodach masy i obu szyn zasilania, czyli w obwodach, gdzie płyną największe prądy. Te przelotki jeszcze przed wlutowaniem elementów warto zalać cyną, by lepiej połączył się z obydwu stronach płytki.

Montaż elementów elektronicznych nie powinien sprawić trudności nawet mało zaawansowanemu. Lutowanie warto zacząć od elementów najmniejszych: są to kondensatory odsprzęgające SMD – C4, C5, które należy zamontować od strony lutowania. Najpierw należy nanieść trochę cyny na jedno z pól lutowniczych, następnie rozgrzać cynę i przyłożyć kondensator, lutując jedną końcówkę. Dopiero potem należy zalutować drugą. Zamiast kondensatorów SMD można też wlutować zwykłe ceramiczne. W wersji podstawowej nie należy montować rezystorów R7 i R11.

Cewka wyjściowa to 7 zwojów drutu o średnicy do 0,8...1,9mm. Można ją z powodzeniem nawinąć np. na ołówku. Cewka ta według danych z katalogu nie jest niezbędna i można ją zastąpić zworą.

Pojemność minimalna C8, C9 wynosi 1000 μF , ale czym jest większa, tym lepiej. Choć w roli C8, C9 przewidziano kondensatory o średnicy do 16mm, z powodzeniem można tam wlutować egzemplarze o średnicy 18mm (sprawdziłem!). Umożliwia to wlutowanie np. kondensatorów 4700 μF /35V. Choć zapewniony jest dobry dostęp do śruby mocującej U1 do radiatora (co, jak podkreślam z dumą, nie jest regułą w podobnych konstrukcjach), duże „elektrolity” C8, C9 warto wlutować na koniec, po zmontowaniu cewki L1, rezystora R13 i szpilek „goldpin” do podłączenia wtyków wentylatorów. W płytce w złączach M1, M2 przewidziane są dwie szpilki, a typowy wentylator ma trzy przewody: czerwony to „plus”, czarny – „minus”, a żółty lub inny to wyjście kontrolne czujnika, które w naszym układzie pozostaje niepodłączone.

Do tranzystora T1 warto dołączyć niewielki radiator z kawałka blaszki. Obliczenia wskazują, że nie zawsze jest on konieczny (to zależy od prądu pracy silnika wentylatora M1 i napięcia zasilania), ale przy mocy

strat rzędu 2W bez radiatora tranzystor ten będzie bardzo gorący i można się nim oparzyć. Dlatego do T1 powinien zostać dołączony mały radiator o powierzchni np. 10cm².

Więcej uwagi i doświadczenia wymaga jedynie montaż głównego radiatora. Osoby, które nie mają żadnego doświadczenia w wierceniu i gwintowaniu aluminium, koniecznie powinny przeprowadzić próby na jakimś kawałku tego metalu (stopu). W radiatorze trzeba wywiercić dwa otwory o średnicy 2,3...2,4mm, a potem je nagwintować gwintownikiem M3. Jeden posłuży do przykręcenia układu scalonego, drugi do przykręcenia wspornika. Ten wspornik z blachy w kształcie litery L jest potrzebny do dodatkowego powiązania radiatora i płytki.

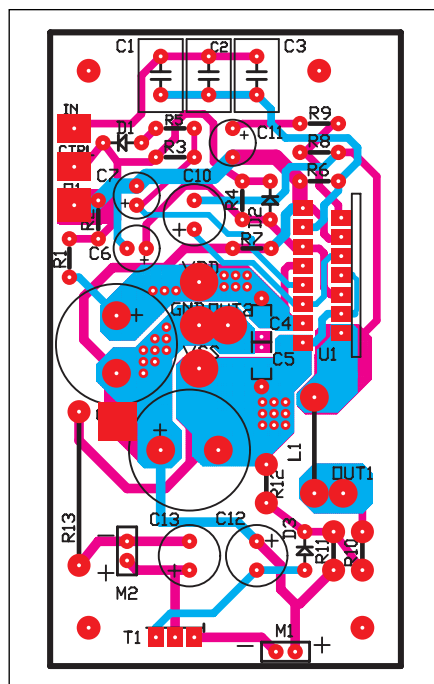
Przed przystąpieniem do pracy należy koniecznie odkręcić od radiatora wentylator, żeby go nie uszkodzić, na przykład opiłkami aluminium, które mogłyby się dostać do wnętrza silnika.

Wiercenie i gwintowanie aluminium znacznie różni się od wiercenia i gwintowania stali – trzeba je wykonać powoli i starannie. Prędkość obrotowa wiertła powinna być możliwie mała, a miejsce wiercenia i wiertło należy zwilżać denaturatem. Warto najpierw wywiercić otwór o mniejszej średnicy, np. 1,5...2mm, a potem rozwiąć do potrzebnej 2,3...2,4mm. Następnie należy nagwintować otwór, również stosując denaturat. Gwintowanie należy wykonać stopniowo – po każdym kilku obrotach należy wykręcić gwintownik, usunąć resztki aluminium i gwintować dalej. Próba naciągnięcia całego gwintu za jednym razem łatwo może skończyć się całkowitym zniszczeniem naciętego gwintu lub złamaniem gwintownika. Zniszczenie gwintu czy złamanie i zakleszczenie wiertła lub gwintownika nie tylko zepszełoby radiator, ale też zaowocowałoby kłopotami przy wyborze nowych miejsc na otwory.

Proponuję najpierw *wstępnie* wlutować układ TDA7294 lutując tylko *dwie skrajne nóżki*, a potem zaznaczyć na radiatorze miejsce wiercenia przez otwór w układzie scalonym. Podobnie można zaznaczyć miejsce na otwór do mocowania wspornika. Gdyby nawet podczas wiercenia otwór „uciekł” w górę lub dół radiatora, można łatwo skorygować błąd, lutując układ scalony na odpowiedniej

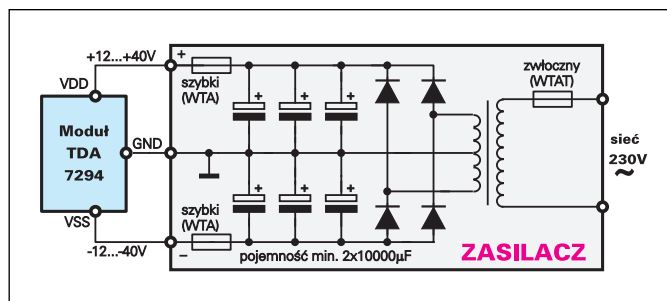
wysokości. Wcześniejsze wlutowanie wszystkich nóżek układu scalonego uniemożliwi taką korektę, bo wylutowanie wielu nóżek z dwustronnej płytki jest ogromnie trudne.

Do zasilania całkowicie wystarczy klasyczny zasilacz



Rys. 4 Schemat montażowy

Rys. 5



niestabilizowany według **rysunku 5**. Moduł może być zasilany napięciem symetrycznym $\pm 12V \dots \pm 40V$. Pojemność kondensatorów filtrujących powinna być jak największa. Mogą to być łatwo dostępne kondensatory, np. 4...8 sztuk 4700 μ F/35V lub 40V. Bezpieczniki należy dobrać stosownie do mocy transformatora. W obwodzie sieciowym trzeba koniecznym zastosować bezpiecznik zwłoczny (z literką T), bo podczas włączania „toroida” występują duże impulsy prądowe. Bezpieczniki na wyjściu zasilacza powinny być szybkie (zwykle WTA). Diody w mostku powinny mieć prąd pracy minimum 2A, przy czym zamiast czterech diod można zastosować popularny mostek prostowniczy o prądzie 6A lub więcej. Najczęściej moduł będzie współpracował z transformatorem o napięciu wyjściowym 2x24VAC. Na przykład we wzmacniaczu stereofonicznym wystarczy transformator toroidalny 200W 2x24V. Wtedy w spoczynku napięcie zasilania układu scalonego jest równe $\pm 33V$. Pod obciążeniem spada do $\pm 30V$, a przy pełnym obciążeniu dwóch kanałów nawet do $\pm 27V$. Przy zasilaniu napięciem $\pm 30V$ na rezystancji 8 uzyskuje się przebieg o amplitudzie powyżej 50Vpp, co daje co najmniej 43W przy zniekształceniach poniżej 0,5%. Na oporności 4 Ω możliwe jest więc osiągnięcie użytecznej mocy wyjściowej 80W. Jeśli ktoś chce uzyskać większą moc, może zwiększyć napięcie zasilania. Maksymalne robocze napięcie zasilania wynosi $\pm 40V$, ale w spoczynku i przy małym obciążeniu napięcie zasilania może wynosić $\pm 50V$. Można więc zastosować transformator dający w spoczynku napięcie do $\pm 50V$, które w czasie pracy pod obciążeniem spadnie do najwyższego zalecanego napięcia roboczego $\pm 40V$. Ostatecznie zmienne napięcie wyjściowe transformatora może więc wynosić od 2x10V do 2x30V, a nawet 2x35V. W zestawie AVT-2671 przewidziano kondensatory C8, C9 na napięcie 40V. Jeśli ktoś chciałby zastosować wyższe napięcie zasilania, musi wymienić te kondensatory na inne o napięciu 50V lub 63V.

Uwaga! Wkładka radiatorowa układu scalonego TDA7294 jest wewnętrznie połączona z ujemną szyną zasilania (VSS, nóżka 8). Bezpośrednie przykręcenie radiatora do układu scalonego spowoduje więc, że na radiatorze będzie występować ujemne napięcie zasilania, a nie potencjał masy. Tymczasem w zdecydowanej większości urządzeń obudowa połączona jest z obwodem masy. W takim przypadku należy zapewnić izolację galwaniczną radiatora od obudowy, a przy wszelkich manipulacjach w układzie unikać zwarcia radiatora do masy. Ponieważ z czasem zapomina się o szczegółach konstrukcji, obowiązkowo trzeba umieścić wtedy na radiatorach lub gdzieś indziej we wnętrzu wzmacniacza wyraźny napis z informacją i ostrzeżeniem o potencjale radiatorów.

Inną możliwością jest zastosowanie mikrowej lub silikonowej przekładki izolacyjnej między układem scalonym a radiatorem. Wtedy trzeba jednak pamiętać, że zwiększy się rezystancja termiczna i uzyskanie maksymalnej mocy wyjściowych będzie utrudnione. Wielu praktyków przekonało się, że dołączenie radiatora do ujemnego napięcia zasilania często kończy się co najmniej spaleniem bezpieczników lub nawet elementów zasilacza, dlatego w miarę możliwości stosują jednak przekładki izolacyjne, by bez obaw połączyć radiator do masy. Na przykład przy zasilaniu z transformatora 2x24VAC i z głośnikami 8 Ω moc strat nie przekroczy 25W i można śmiało zastosować przekładki izolacyjne.

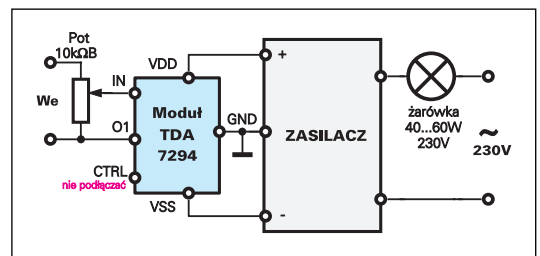
Ja w dwóch modelach pokazanych na fotografiach zastosowałem identyczne radiatory firmy CoolerMaster typu DI4-6H53B. Mają one zaskakująco małą rezystancję termiczną R_{thra} około 0,55K/W (przy zasilaniu wentylatora napięciem 12V) i są chwalone przez użytkowników za cichą pracę. Rezystancja termiczna rzędu 0,5K/W jest naprawdę mała, czyli sam radiator bardzo skutecznie pełni swą rolę. Okazuje się, że rezystancja termiczna samego układu scalonego między strukturą a wkładką radiatorową (R_{thjc}) jest nawet trzykrotnie większa i wynosi do 1,5K/W. Bez przekładki izolacyjnej rezystancja termiczna styku układ scalony-radiator (R_{thcr}), starannie posmarowanego pastą przewodzącą ciepło, będzie wynosić 0,1...0,2K/W. O mocy maksymalnej wzmacniacza decyduje nie tylko wartość napięcia zasilania i oporność głośników, ale też właśnie całkowita rezystancja termiczna R_{thja} równa sumie

$R_{thja} = R_{thjc} + R_{thcr} + R_{thra}$

Przy całkowitej rezystancji cieplnej równej 2,1...2,2K/W można rozproszyć do 50W mocy strat, czyli możliwe jest „wycisnienie” ze wzmacniacza pełnej użytecznej mocy wyjściowej sięgającej 100W. Dodanie przekładki izolacyjnej może zwiększyć tę rezystancję o 1K/W.

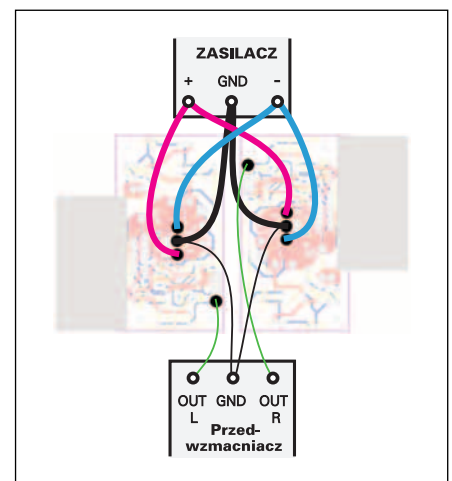
Zbyt duża rezystancja termiczna nie grozi wprawdzie uszkodzeniem, bo układ scalony ma stosowne zabezpieczenia – po prostu wzmacniacz przy pełnej mocy wyjściowej będzie się okresowo wyłączał. Wykonawca układu musi więc sam zdecydować, czy zastosować przekładkę izolacyjną pogarszającą oddawanie ciepła, czy też pracować bez niej i ewentualnie zmniejszyć za to na przykład prędkość wentylatora, co nieco zwiększy rezystancję R_{thra} (radiator-otoczenie). Możliwości jest wiele – jak zawsze najlepszym rozwiązaniem okażą się testy modelu w warunkach normalnej pracy (w docelowej obudowie).

Po zmontowaniu układu i wizualnym sprawdzeniu poprawności montażu, należy moduł podłączyć do zasilacza obowiązkowo stosując zabezpieczenie w postaci żarówki 40...60W w obwodzie uzwojenia pierwotnego transformatora – pokazuje to **rysunek 6**. Żarówka taka znakomicie zmniejszy ryzyko uszkodzenia w przypadku jakiegoś błędu. Po włączeniu napięcia, ale bez sygnału audio, ta żarówka powinna się na chwilę zaświecić (ładowanie kondensatorów w zasilaczu), a następnie zgasnąć. Świadczy to, że prąd pobierany przez wzmacniacz jest mały. Wentylator(-y) powinien kręcić się z niewielką prędkością. Jeśli tak jest, można dołączyć źródło sygnału i obciążenie: rezystory lub głośnik, ewentualnie oscyloskop i sprawdzić wzmacniacz. Najpierw z żarówką według rysunku 6 – przy zwiększaniu głośności żarówka powinna się zaświecać. Potem można sprawdzić moc wyjściową i zniekształcenia bez żarówki. Sygnał akustyczny np. z odtwarzacza CD należy podać na końcówki O1, IN przez potencjometr 4,4...100k Ω . W typowym ukła-



Rys. 6

Rys. 7



dzie wejście CTRL ma pozostać niepodłączone – przewidziane ono jest do współpracy z oddzielnym modulem wyciszania.

Uwaga! Wszelkie manipulacje w układzie należy przeprowadzać po wyłączeniu zasilania. Chodzi nie tyle o możliwość porażenia, co o zwiększone ryzyko uszkodzenia układu scalonego. Praktyka pokazuje, że układy z reguły ulegają uszkodzeniu właśnie wtedy, gdy ktoś „grzebie” przy nich pod napię-

ciem. Czasem wystarczy dotknąć lutownicą jakiś punkt układu będącego pod napięciem, a potrafi on w ułamku sekundy „strzelić” – ulec bezpowrotnemu uszkodzeniu. Dlatego także przy pomiarach należy najpierw podłączyć przyrządy pomiarowe, a dopiero potem włączyć zasilanie.

Jeśli we wzmacniaczu mają pracować dwa moduły (stereo), zazwyczaj wystarczy połączyć je według **rysunku 7**. Przewody, w których płyną duże prądy powinny być możliwie grube, o przekroju minimum 1,5mm², lub lepiej 2,5mm². Elementy w zestawie AVT-2671 są przewidziane, żeby jeden moduł „napędził” oba **jednakowe** wentylatory wzmacniacza stereo. Dlatego w zestawie występuje rezystor R13 o wartości 47Ω lub 56Ω 5W. Jeśli układ ma sterować tylko jeden wentylator, należy zamiast C13 zamontować zworę i koniecznie zwiększyć R13 do 82...100Ω (5W).

Należy też zapewnić dobrą wentylację całej obudowy. Zamknięcie modułów w szczelnej obudowie może uniemożliwić wykorzystanie pełnej mocy układów – temperatura wewnątrz takiej słabo wentylowanej obudowy silnie wzrośnie, co pomimo pracy wentylatorów na radiatorach może doprowadzić do zadziałania zabezpieczeń termicznych scalonych wzmacniaczy. Dlatego we wzmacniaczach wielokanałowych być może trzeba będzie zastosować jeszcze jeden wiatrak, wyciągający ogrzane powietrze na zewnątrz obudowy – taki sposób powszechnie stosowany jest we wzmacniaczach fabrycznych.

Wiadomości podane dotychczas całkowicie wystarczą do zbudowania i uruchomienia opisanego modułu. Osoby, które chcą poznać dalsze szczegóły i mieć pełną kontrolę nad układem, znajdą dodatkowe informacje w dalszej części artykułu. Stopień trudności układu (dwie gwiazdki) wynika zarówno z konieczności zamocowania radiatora, jak też z faktu, że do pełnego wykorzystania możliwości modułu potrzebne są też inne układy (np. zasilacz, przedwzmacniacz, obudowa, ew. wspomniany dodatkowy wiatrak).

Tylko dla dociekliwych i zaawansowanych

Dodatkowych informacji o układzie scalonym należy szukać w firmowej karcie katalogowej. Można ją ściągnąć albo z naszej strony internetowej, albo spod adresu producenta: <http://us.st.com/stonline/books/pdf/docs/1057.pdf>

Wzmocnienie modułu wynosi około 33x (30dB). Wzmocnienie można zmieniać w zakresie 20...100x, modyfikując wartość R9, ale w ogromnej większości zastosowań nie ma takiej potrzeby. Podobnie nie ma potrzeby poszerzać pasma, choć jeśli ktoś chce, może śmiało zmienić C11 z 22μF na 47μF lub 100μF. Teoretycznie można nawet zewrzeć zarówno zespół C1-C3, jak i C11, by uzyskać pasmo zaczynające się od zera (od

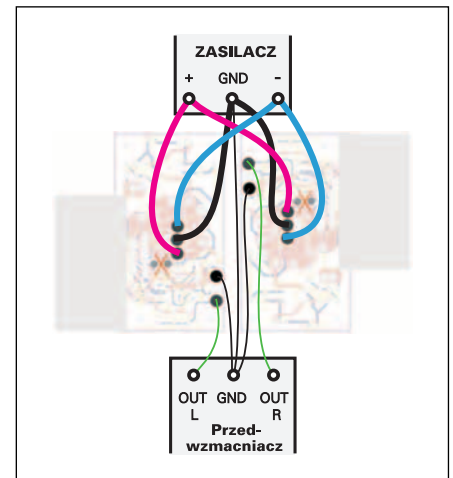
prądu stałego). Nie polecam takiej operacji, ponieważ wtedy na wyjściu pojawi się niewielkie napięcie stałe – wzmocnione napięcie niezrównoważenia układu scalonego. Nie będzie ono wprawdzie duże (poniżej 0,33V), ale generalnie poszerzenie pasma do zera uważam jedynie za bezwartościowy „szpan” – przecież żadne płyty audio nie zawierają składowych niższych od 5Hz, a w przypadku płyt winylowych nawet celowo tłumi się takie najniższe składowe.

Opisywany moduł znakomicie nadaje się do budowy wielokanałowych wzmacniaczy do kina domowego wysokiej jakości. Przy „standardowym” zasilaniu z transformatora o napięciu 2x24V przy oporności obciążenia 8Ω moc użyteczna będzie większa niż 40W, a przy typowej dla kolumn kina domowego oporności 6Ω - ponad 50W. Wystarczy to z zapasem, bo całkowita moc użyteczna sześciu jednakowych kanałów wyniesie ponad 300W, a szczytowa będzie jeszcze większa. Kto chciałby zwiększyć moc kanałów przednich lewego i prawego oraz subwoofera, może zasilają je z transformatora o napięciu 2x30V, a wzmacniacze kanałów centralnego i tylnych – z transformatora 2x24V lub 2x17V.

Połączenia masy. W typowych przypadkach moduły będą połączone według wcześniejszego rysunku 7. W obwodzie masy i zasilania modułu należy stosować przewody o możliwie dużym przekroju. Analizując układ połączeń, można zauważyć, że w takiej sytuacji powstaje jednak pętla masy. Przy szczegółowej analizie problemu należałoby wziąć pod uwagę rezystancję poszczególnych części obwodu masy, płynące tam prądy, wynikające stąd spadki napięć, a także geometryczną wielkość pętli i spodziewaną wielkość pola magnetycznego (rozproszenia transformatora). Jeśli transformator jest toroidalny, a pętla ta jest mała, bo moduły umieszczone są obok siebie, nie powinna ona mieć żadnego negatywnego wpływu na parametry wzmacniaczy, w szczególności na brum i poziom harmoniczných.

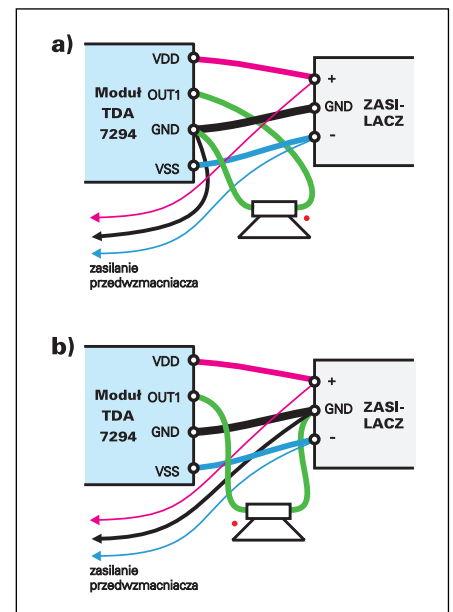
Jak wiadomo, pętli masy należy jednak w miarę możliwości unikać. Projektując płytkę drukowaną do wzmacniacza, poświęciłem dużo uwagi obwodom masy. Dlatego też wprowadziłem dwa obwody masy: sygnałową i mocy. Jedną z istotnych kwestii jest punkt dołączenia kondensatora C11. Dołączony jest do masy sygnałowej, żeby układ nie wzmacniał spadków napięć na przewodach masy. W scalonych wzmacniaczach samochodowych występują dwie oddzielne końcówki masy, co całkowicie rozwiązuje problem spadku napięcia na przewodach. W prezentowanym module też można całkowicie rozdzielić masę wyjściową od wejściowej, przecinając od strony druku odcinek ścieżki pod rezystorem R7 (nie montując tego rezystora). Ilustruje to **rysunek 8**. Taki układ połączeń jest znacznie lepszy niż ten

z rysunku 7, bo dzięki przecięciu ścieżki pod R7 nie ma pętli masy, a obwody wysokoprądowe są skutecznie oddzielone od niskoprądowych. Niemniej jednak w układzie z rysunku 8 istnieje pewne ryzyko, że w czasie prób lub prac serwisowych od modułu zostanie przypadkowo odłączony obwód masy sygnałowej. Wtedy wzmacniacz może zareagować w sposób nieoczekiwany, a nawet ulec uszkodzeniu. Aby temu zapobiec, wystarczy dodać rezystor R7, który w przypadku odłączenia przewodu masy sygnałowej (punkt O1) zapobiegnie niepożądanym reakcjom wzmacniacza. Rezystor ten może mieć wartość 1...100Ω. Wprawdzie dodanie rezystora R7 (przy przeciętej ścieżce) niejako znów zamknie pętlę masy, ale podczas normalnej pracy rezystancja R7 będzie wielokrotnie większa od rezystancji przewodów i ścieżek masy, więc tę stosunkowo dużą rezystancję można spokojnie pominąć. Ta wtrącona rezystancja R7 skutecznie zapobiegnie przepływowi nie-



Rys. 8

Rys. 9

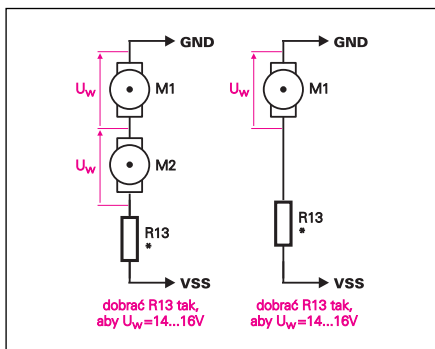


pożądanych prądów w obwodzie masy, a przecież tylko o to chodzi. Jednocześnie jest ona na tyle mała, że zagwarantuje poprawne zachowanie wzmacniacza przy odłączeniu masy sygnałowej.

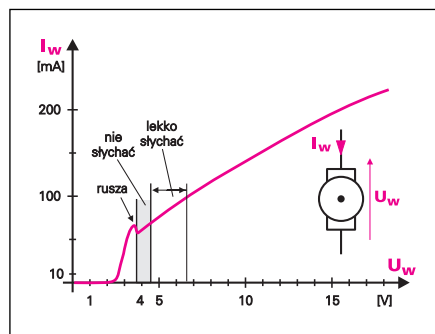
Opisany sposób połączeń według rysunku 8, choć lepszy, może okazać się niepotrzebny. Jeśli „zimne” przewody głośników będą dołączone do punktu centralnego zasilacza, wtedy w (grubych) przewodach masy mocy prowadzących do wzmacniacza nie popłyną tak duże i oczywista ze względu na obecność kondensatorów C4, C5 i C8, C9 w modułach, dlatego najbardziej dociekliwi przeprowadzą eksperymenty i na przykład zmierzą zawartość zniekształceń przy różnych sposobach połączenia obwodu masy i punktach dołączenia „zimnych” przewodów głośników. Dwie możliwości pokazuje rysunek 9.

Sterowanie wentylatorów. Dzielnik R10...R12, decydujący o pracy wentylatora (R10=1,5kΩ, R12=6,8kΩ, R11 – nie montować) dobrany jest do typowego zastosowania z transformatorem zasilającym 2x24VAC. Przy podanych wartościach elementów, w spoczynku, przy zasilaniu ±33V na silniku wystąpi napięcie 4,2...4,5V. Przy takim napięciu testowane wentylatory komputerowe pracowały bezszelestnie, a jednocześnie znacząco chłodziły radiator. Gdy pojawia się sygnał wyjściowy, kondensator C12 w ujemnych szczytach sygnału ładuje się przez diodę D3. Napięcie na wentylatorze wzrasta. Gdyby nie było elementów M2 i R13, napięcie na wentylatorze wzrosłoby wtedy do wartości ponad 25V, co byłoby zabójcze dla silnika. W warunkach roboczych, **przy pełnym otwarciu T1 napięcie na wentylatorze (-ach) nie może przekroczyć 14V – zapobiega temu R13 o dobranej wartości.** Typowe wentylatory w radiatorach dla procesorów mają prąd nominalny 0,15...0,25A przy 12V. Oznacza to, że przy zmianie napięcia zasilającego i przy zastosowaniu nietypowych wentylatorów może zająć konieczność indywidualnego dobrania rezystora R13. Można to zrobić bardzo prosto, łącząc wentylator(-y) według **rysunku 10** i dobierając R13, żeby napięcie na każdym z wentylatorów wynosiło

Rys. 10

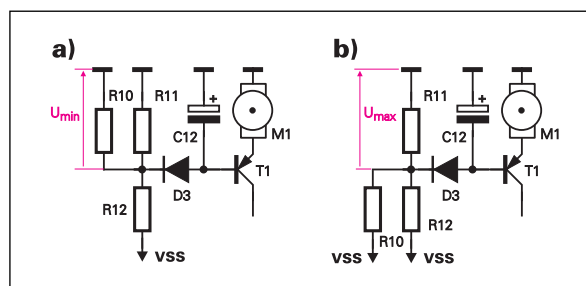


14...16V, przy czym ten *układ testowy powinien być zasilany z nieobciążonego zasilacza*. Pod obciążeniem napięcie zasilacza spadnie, dojdzie też spadek napięcia na otwartym „darlingtonie” T1 i najwyższe napięcie na wentylatorach w warunkach normalnej pracy nie przekroczy 12...13V. Rezystor R13 decyduje więc o maksymalnej prędkości obrotowej i tym samym największym szumie wentylatorów. Natomiast rezystory R10...R12 decydują, jak wentylator będzie reagował na sygnał wyjściowy. **Rysunek 11** pokazuje charakterystykę napięciowo-prądową pewnego wentylatora komputerowego popularnego typu. Przy napięciach mniejszych niż 3,7V wentylator nie pracuje. W zakresie napięć 3,7...4,5V silnik pracuje, prędkość obrotowa jest znaczna, skuteczność chłodzenia – niezła, a co ważne, pracy silnika nie słychać. Inne typy wentylatorów mogą mieć nieco inne prądy pracy i charakterystyki. Elementy R10...R12 należy tak dobrać, by przy braku sygnału na wyjściu wzmacniacza wentylator niezawodnie i bezszelestnie chłodził radiator.



Rys. 11

Rys. 12



Taka bezszelestna praca przy braku sygnału z głośnika pozwoli w pełni wykorzystać znakomitą dynamikę wzmacniacza.

Proponowany na rysunku 1 układ bez R11 daje największy wpływ napięcia wyjściowego na prędkość wentylatora. Można też zastosować wszystkie trzy rezystory R10...R12, żeby napięcie wyjściowe tylko w niewielkim stopniu wpływało na obroty wiatraka. **Rysunek 12a** pokazuje sytuację spoczynkową, gdy wyjście wzmacniacza jest na potencjale masy. Wtedy w punkcie X ma wystąpić jakieś napięcie U_{min}, zapewniające bezszelestną, ale pełną pracę wentylatora. **Rysunek**

12b pokazuje sytuację przy pełnym wystrojeniu, gdy napięcie na wyjściu wzmacniacza jest równe ujemnemu napięciu zasilania VSS (co jest bliskie prawdy). W punkcie X ma wtedy wystąpić jakieś napięcie U_{max}, które zapewni silniejsze chłodzenie. Obliczenia są dość żmudne, bo trzeba uwzględnić kilka zmiennych. Przyjmując potrzebne wartości U_{min}, U_{max} i znając spoczynkowe napięcie zasilania VSS można obliczyć wartości tych rezystorów następująco: najpierw przyjąć dowolną, sensowną wartość R10 (nie za małą, żeby moc strat w rezystorze nie była nadmierna i nie za dużą, żeby szybko ładować C12). Potem wartości R11, R12 obliczyć ze wzorów:

$$R11 = R10 * [(U_{max} - U_{min}) / (VDD - U_{max})]$$

$$R12 = R10 * [(U_{max} - U_{min}) / U_{min}]$$

W praktyce przyjmując napięcia U_{min}, U_{max} należy uwzględnić spadek napięcia na diodzie D3 i na złączu B-E „darlingtona” oraz fakt, że napięcie na wyjściu wzmacniacza nie sięgnie VSS, a samo VSS zmniejszy się nieco przy pełnym obciążeniu. Jeśli przykładowo napięcie U_{min} ma być równe 5,7V i U_{max} = 17,2V, a R10 niech ma 4,7kΩ, wtedy można skorzystać z uproszczonych wzorów:

$$R11 = 11,5 * R10 / (VSS - 17,2V)$$

$$R12 = 2 * R10$$

Jak już wspomniałem, kondensator C12 decyduje o czasie zmniejszania się obrotów wentylatora od wartości maksymalnej do minimalnej. Jeśli przykładowo dźwięk z kolumn gwałtownie zaniknie, przez chwilę może być słyszalny szum wentylatora. W praktyce nie jest to żadnym problemem, bo ten szum jest w sumie niewielki, a co ważne, szybko zanika i ucho przyzwyczajone do wcześniejszego głośniego dźwięku nawet go nie zarejestruje.

Tu przy okazji trzeba podkreślić, że stała czasowa zmniejszania obrotów zależy nie tylko od pojemności C12, ale też od wzmocnienia tranzystora T1 i prądu pracy wentylatora. Choć raczej nie będzie takiej potrzeby, pojemność kondensatora C12 można śmiało zmieniać według upodobania w szerokich granicach 4,7μF...1000μF.

Jeśli jednak komuś nie zależy na obecności niewielkiego szumu wiatraka, może ustawić stałą prędkość wentylatora. Jest to też jak najbardziej sensowne przy mniejszych mocach strat (obciążenie 8Ω, napięcie zasilania poniżej ±30V), gdy wystarczy mały przepływ powietrza. Wtedy można ustawić stałą, niezbyt dużą prędkość wentylatora, lutując R11 o dobranej wartości (1,5...4,7kΩ) i usuwając R10, D3 i C12 według **rysunku 13a**. Można też spróbować usunąć R12 według **rysunku 13b** i wtedy w spoczynku i przy mniejszych mocach wentylatory w ogóle nie będą pracować – taką wersję trzeba starannie przetestować.

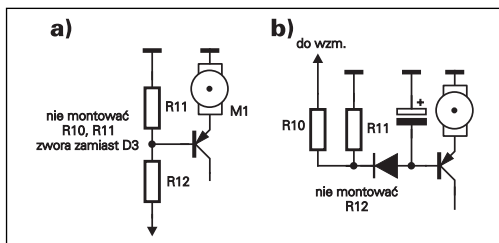
wać, czy aby wzmacniacz nie będzie się wyłączał wskutek gorszego chłodzenia.

Nie sposób podać tu szczegółowych recept. Na rynku jest mnóstwo różnych komputerowych radiatorów z wentylatorami, a ich cena wynosi od kilku (używane) do kilkudziesięciu złotych. Niektórym Czytelnikom nie będzie zależeć na wyglądzie i właściwościach, więc zdecydują się na pierwsze z brzegu tanie radiatory komputerowe, które zapewnią chłodzenie dostateczne dla danego napięcia zasilania i obciążenia (przy transformatorze 2x24VAC i obciążeniu 8Ω wymagania są niewielkie). Inni przykładają dużą wagę do wyglądu i dlatego zechcą zastosować jak najbardziej efektowne radiatory. Jeszcze inni zechcą z kostek TDA7294 „wydusić” jak najwięcej mocy. Warto odwiedzić kilka sklepów komputerowych czy giełdę. Jeszcze lepiej wcześniej poszukać w Internecie informacji o takich radiatorach (hasła dla wyszukiwarki: CPU fan cooler, fan heat sink, fan heatsink, itp.). Sporo ciekawych informacji można znaleźć pod adresem: www.I7.tomshardware.com

Warto zwrócić uwagę, że poszczególne typy wentylatorów różnych firm radykalnie różnią się poziomem hałasu (od 24dBA do nawet 60dBA). Dlatego osoby zainteresowane uzyskaniem jak najlepszych wyników technicznych i wizualnych powinny starannie przeanalizować ofertę rynkową i zakupić droższy, ale cichy i skuteczny radiator.

Obwody wyciszania. Elementy R1...R5, C6, C7, D1, D2 mają za zadanie zapobiec stukom i trzaskom przy włączaniu zasilania.

Rys. 13



Obwody te mają wartości elementów dobrane według firmowej karty katalogowej (str. 9/17 w najnowszej karcie z kwietnia 2003). Gdyby mimo to wystąpiły jakieś kłopoty przy włączaniu, można zwiększyć C6 do 22μF. We wcześniejszym opracowaniu (AVT-2153) obwody wyciszania były rozbudowane i zapewniały nie tylko wyciszenie przy włączaniu zasilania, ale też niezawodne i natychmiastowe wyciszenie przy wyłączeniu napięcia sieci. W tamtym opracowaniu dla optymalnego działania trzeba było dobrać diodę Zenera o odpowiednim napięciu, stosownie do minimalnego napięcia zasilania. W nowym module poszedłem inną drogą. Teraz w nowym module zastosowałem prosty obwód zapewniający, że podczas budzenia do „życia” najpierw w ogóle włączy wzmacniacz, podając napięcie na końcówkę STBY (standby), a potem odblokować tor dźwiękowy, podając napięcie na końcówkę MUTE. Taki prosty obwód zapewnia prawidłowe włączenie bez stuków i trzasków, ale nie do końca radzi sobie z szybkim wyłączeniem wzmacniacza po zaniku napięcia sieci. Przykładowo w stereofonicznym układzie modelowym przy całkowitej pojemności kondensatorów filtrujących zasilanie 2x18800μF wzmacniacz przy niedużej głośności gra jeszcze przez ponad 5 sekund po odłączeniu napięcia sieci. Nie stanowi to żadnego praktycznego problemu, dlatego zdecydowałem się na tak proste rozwiązanie, gwarantujące jedynie opóźnienie przy włączeniu.

Jeśli ktoś chciałby wyciszać wzmacniacz natychmiast po odłączeniu napięcia sieci, może wykorzystać wejście oznaczone CTRL i sterować obwodem wyciszania za pomocą dodatkowego układu zapewniającego opóźnione włączenie i szybkie wyłączenie. Taki układ sterujący został już opracowany i jest przygotowywany do publikacji.

Piotr Górecki

Wykaz elementów

Rezystory

R1	.....	8.2kΩ
R2	.....	2.2kΩ
R3	.....	.20kΩ
R4	.....	.43kΩ
R5	.....	.1kΩ
R6,R8	.....	.22kΩ
R7	.....	1...100Ω
R9	.....	.680Ω
R10	.....	1.5kΩ
R11	.....	nie montować w wersji podstawowej
R12	.....	.6.8kΩ
R13	.....	.47Ω lub 56Ω 5W

Kondensatory

C1-C3	.....	.1μF
C4,C5	.....	.100nF SMD (4 szt.)
C6,C7	.....	.10μF
C8,C9	.....	.220μF/40V (1000...4700μF) średnica do 18mm
C10	.....	.22μF/63V
C11	.....	.22μF tantal
C12,C13	.....	.100μF/25V

Półprzewodniki

D1-D3	.....	.1N4148
T1	.....	.BD650
U1	.....	.TDA7294

Pozostałe

L1	.....	.7 zwojów
M1,M2	.....	.MOTOR SERVO_1
4 goldpiny		
radiator komputerowy		
20cm drutu o średnicy 1...1,9mm na cewkę L1		

Uwaga! Transformator (toroidalny 200W 2x24VAC) przekładki izolacyjne pod układy scalone nie wchodzi w skład kitu AVT-2671 i należy je zamówić oddzielnie.

Komplet podzespołów z płytką jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2671

