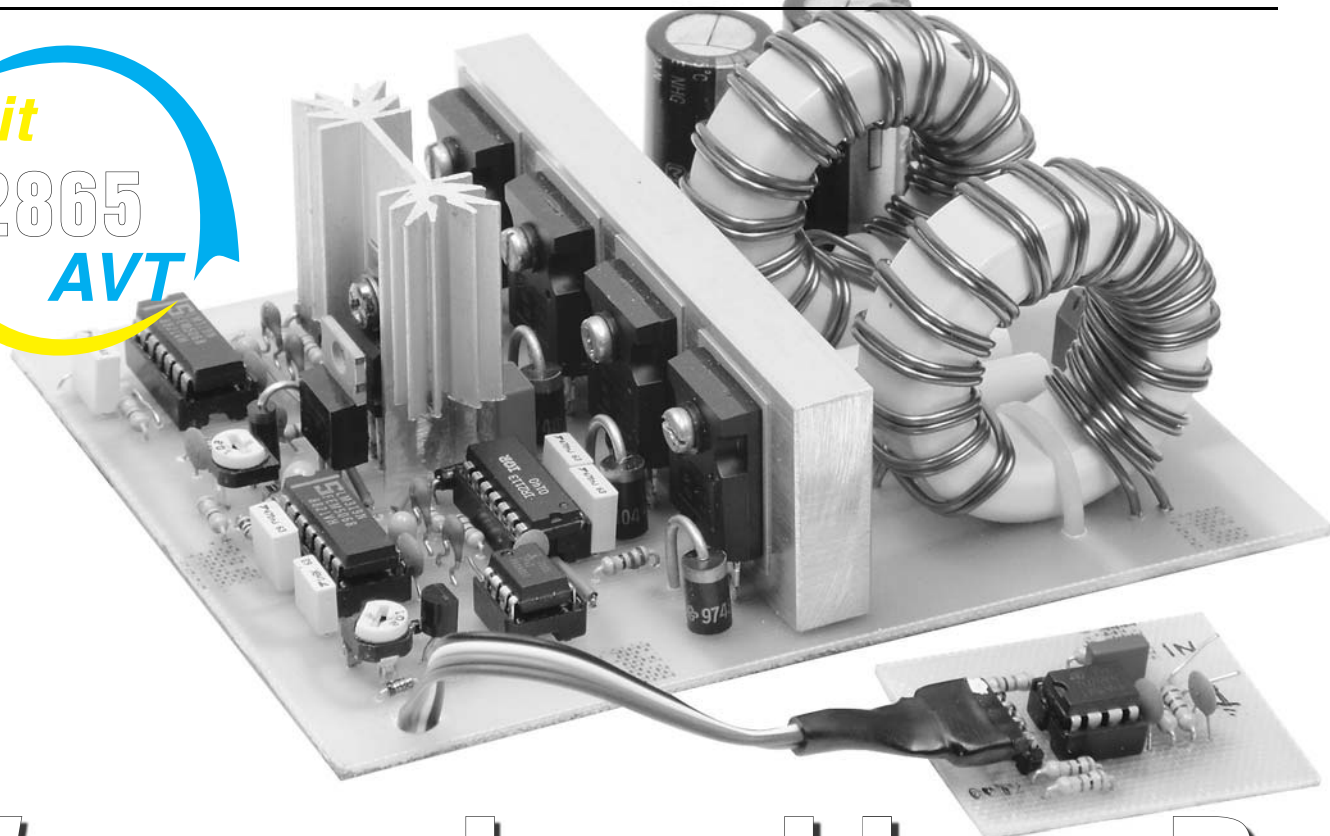


kit
2865
AVT



Wzmacniacz klasy D

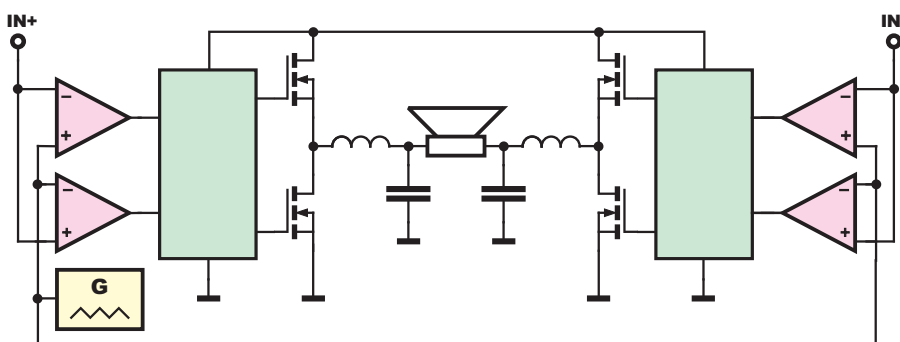
Wzmacniacze klasy D cieszą się dużym zainteresowaniem. Wielu producentów w swoich ofertach ma specjalizowane układy scalone. Układy takie, oraz informacje zawarte w notach aplikacyjnych pozwalają na łatwą budowę kilkusetwatowych wzmacniaczy audio. Wysoka sprawność (do 95%) i niskie zniekształcenia to ich główne zalety. Niestety, te bardzo przydatne układy są w Polsce praktycznie niedostępne. Po niedawnych testach

z zasilaczami impulsowymi zostało mi sporo specjalizowanych sterowników i tranzystorów. Postanowiłem zrobić z nich użytek i po kilku dniach pracy powstał

prezentowany układ. **Rysunek 1** przedstawia uproszczony schemat ideowy. Wprawdzie mostkowa topologia wzmacniacza znacznie komplikuje układ, ale ma dwie bardzo cenne właściwości; nie wymaga wysokiego napięcia zasilającego, aby uzyskać dużą moc, oraz może pracować bez sprzężenia zwrotnego, co znacznie poprawia stabilność. Mimo to **projekt przeznaczony jest dla bardziej zaawansowanych elektroników, ponieważ część problemów trzeba rozwiązać we własnym zakresie**. Wykonanie wysokoprądowych cewek filtrów wyjściowych, dobudowanie odpowiedniego przedwzmacniacza, zasilacza oraz eliminacja wpływu zakłóceń elektromagnetycznych na współpracujące układy zdecydowanie nie jest zadaniem dla początkujących.

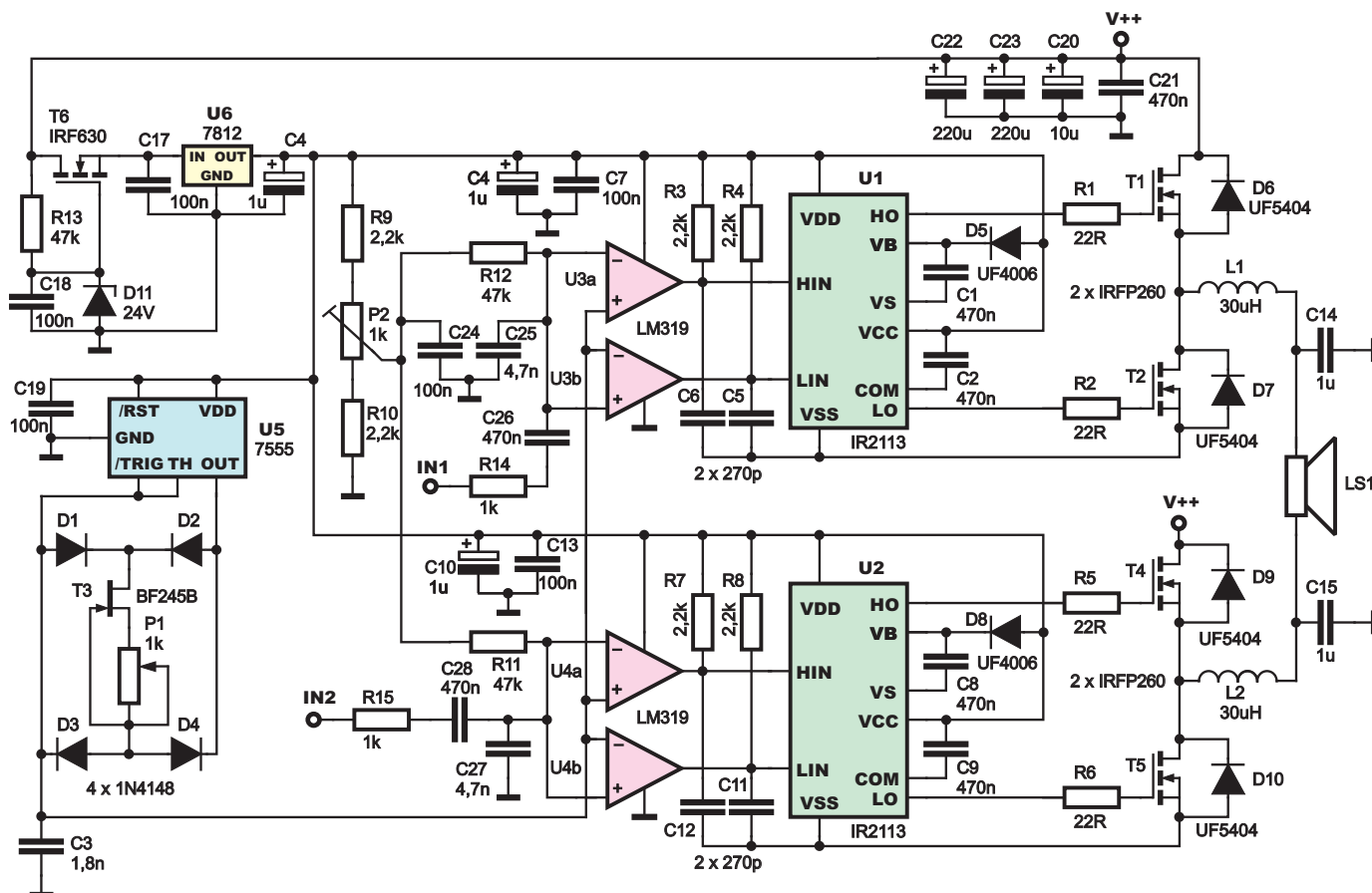


Rys. 1 Uproszczony schemat ideowy



Opis układu

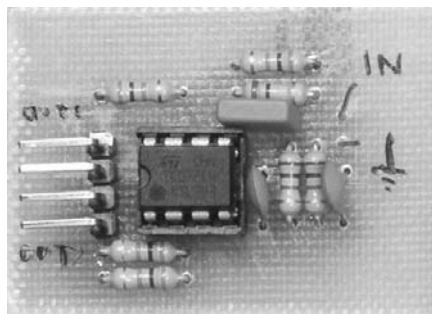
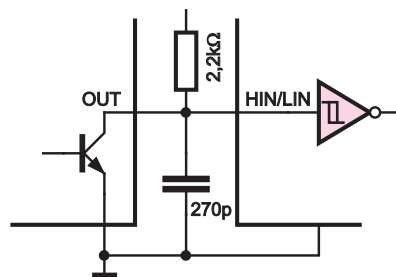
Rysunek 2 przedstawia kompletny schemat ideowy. Tranzystory T1, T2, T4, T5 pełnią rolę kluczy sterujących głośnikiem. Diody D6, D7, D9, D10 zabezpieczają odpowiadające im tranzystory przed napięciami wstecznymi, powinny to być elementy jak najszybsze (zdecydowanie poniżej 100ns) i o dopuszczalnym prądzie 3A lub większym. Rezystory R1, R2, R5, R6 ograniczają prąd ładowania bramek. Filtr z elementów L1, L2, C14, C15 usuwa z sygnału wyjściowe-



Rys. 2 Schemat ideowy

go składowe z zakresu ponadakustycznego. Układy U1 i U2 to specjalizowane sterowniki pozwalające w prosty sposób zrealizować stopień wyjściowy na tranzystorach N-MOSFET. Kondensatory C1, C2, C8, C9 oraz diody D5, D8 są typowymi elementami aplikacji IR2113. Zastosowanie aż czterech komparatorów wymaga pewnych wyjaśnień. Każdy tranzystor ma oddzielne wejście sterujące (HIN x 2, LIN x 2) z jednym komparatorem, więc wszystkie sygnały posiadają takie same opóźnienia. A dzięki wyjściom typu otwarty kolektor (LM319) oraz wejściom Schmidta (IR2113) w prosty sposób udało się „wstawić” czas martwy, odpowiadają za to R3-C6, R4-C5, R7-C12, R8-C11, niezbędny do minimalizacji mocy strat. Odpowiednie kondensatory przy włączaniu są powoli ładowane przez rezystory, wprowadzając tym samym opóźnienie, a przy wyłączeniu zwiernie do masy, co bezzwłocznie rozpoczyna zamykanie odpowiedniego tranzystora. Ewentualne wątpliwości powinien rozwiązać **rysunek 3**. Rezystory R9, R10, potencjometr P2 i kondensator C24 tworzą obwód sztucznej masy dla sygnałów wejściowych. P2 służy do regulacji wspólnego napięcia stałego na wyjściach. W większości przypadków P2 można zewrzeć, a R9 i R10 zamienić na 2,7kΩ. Impedancję wejściową

Rys. 3 Idea „czasu martwego”

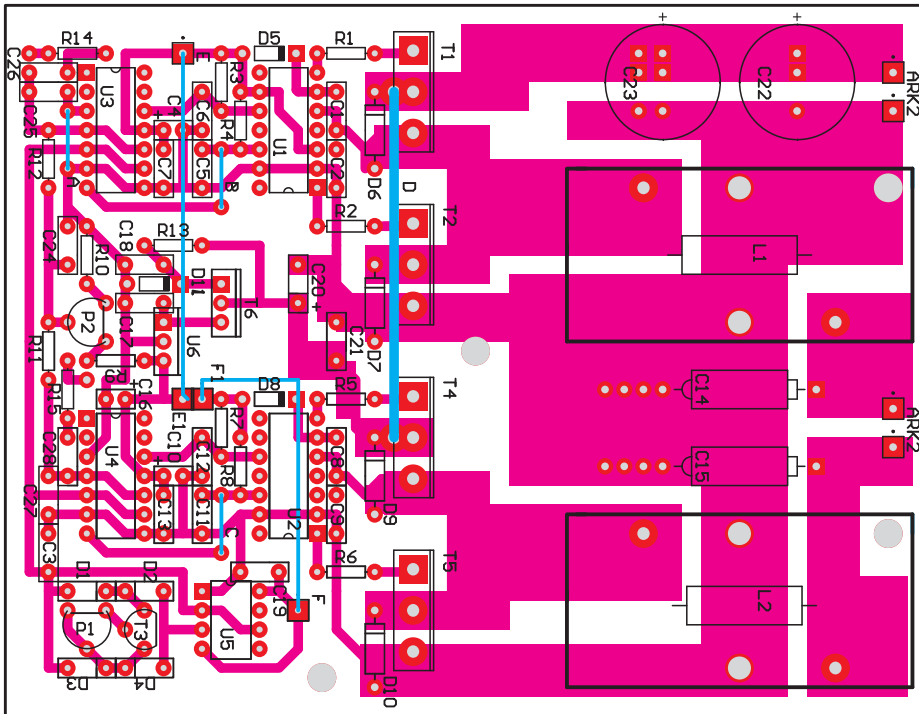


dla sygnałów użytecznych wyznaczają R11 i R12. C26 i C28 oddzielają składową stałą. Bardzo ważną rolę pełnią filtry dolnoprzepustowe (R14-C25 i R15-C27) o częstotliwości około 32kHz. Bez nich układ staje się bardzo wrażliwy na wszelkie zewnętrzne zakłócenia, oraz wzrasta poziom szumów, co zresztą jest zgodne z przewidywaniami.

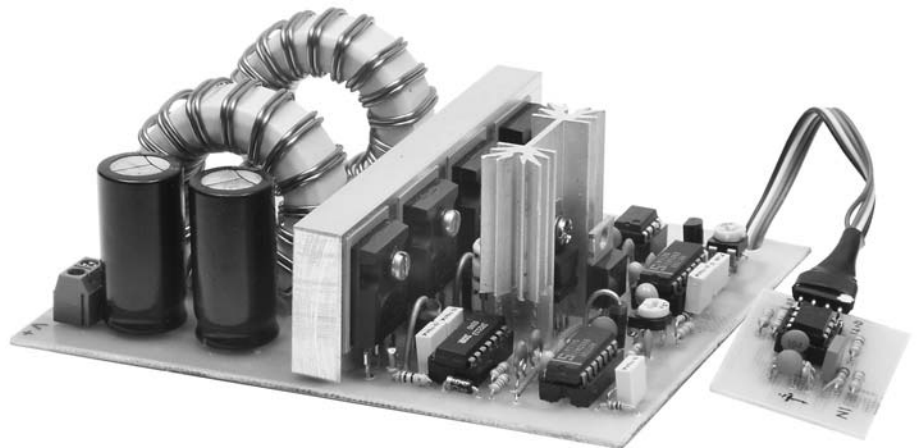
Do działania wzmacniacza klasy D najczęściej niezbędne jest źródło napięcia trójkątnego lub piłokształtnego. Do jego wytworzenia wykorzystany został uniwersalny układ 555 w wersji CMOS. Wytwarza on przebieg prostokątny, który przez dwukierunkowe źródło prądowe T3, P1, D1...D4, na przemian ładuje i rozładowuje C3. Na C3 mamy do dyspozycji przebieg trójkątny ze składową stałą 6V, o amplitudzie 2V i z częstotliwością regulowaną za pomocą P1. Ostatnia grupa elementów tworzy zasilacz stabilizowany +12V dla części sterującej. Tranzystor T6 pracuje w układzie wtórnika źródłowego, obniżając napięcie zasilania do około 20V – wartości akceptowanej przez 7812. Kondensatory C4, C7, C10, C13, C16...C23 odprężają zasilanie.

Montaż i uruchomienie

Wzmacniacz można zmontować na jednostronnej płytce pokazanej na **rysunku 4**. Montaż zaczynamy od wlotowania trzech zworek ze srebrzanki A, B, C i jednej D z grubego drutu (w modelu przylutowana od strony druku), następnie łączymy odcinkami przewodów punkty E-E1 i F-F1. Później polecam kolejno wlotowywać elementy poszczególnych podukładów: stabilizator napięcia, generator trójkąta, komparator, drivery z MOSFET-ami, fil-



Rys. 4 Schemat montażowy



try wyjściowe. Po każdym etapie podłączamy zasilanie i sprawdzamy multimetrem i/lub oscyloskopem, czy wszystko działa. Pozwoli to na uniknięcie niemiłej niespodzianki przy końcowym uruchamianiu. Główne tranzystory należy przykręcić poprzez podkładki izolacyjne (mogą być silikonowe) do radiatora, w modelu jest to płaskownik aluminiowy o wymiarach 10x30x95mm, co nie pozwala na osiągnięcie pełnej mocy. Optymistycznie zakładając, że może on rozproszyć 10W, a sprawność wzmacniacza to 90%, możemy do głośnika dostarczyć nie więcej niż 100W mocy ciągłej. W większości zastosowań nie jest to wcale mało, jednak biorąc pod uwagę parametry zastosowanych MOSFET-ów, realne wydaje się osiągnięcie mocy rzędu 500W na obciążeniu 4 lub 8 omów. Właściwe dobranie cewek

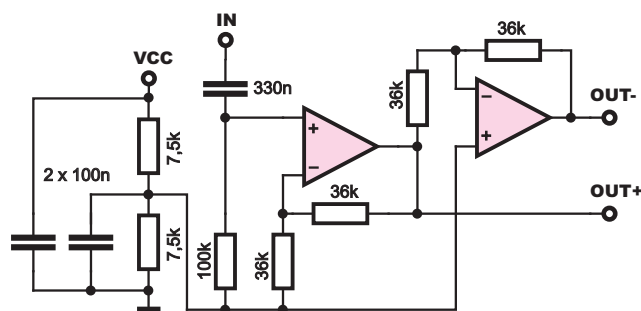
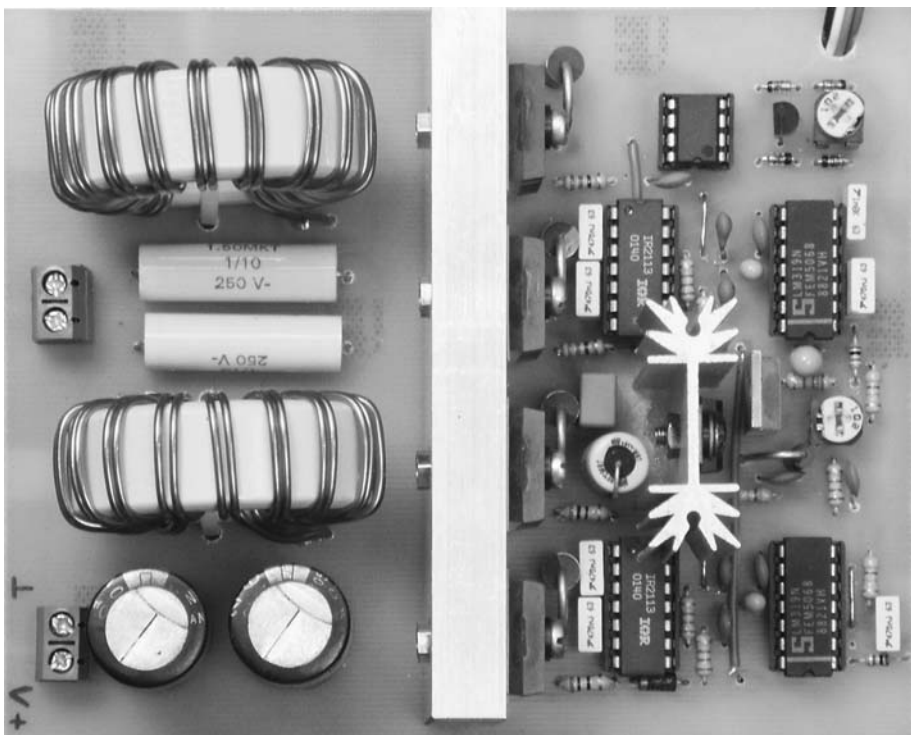
filtrów wyjściowych wymaga kilku prób. Ja nawinałem cewki na rdzeniach toroidalnych z żelaza proszkowego ($\phi_1=40$, $\phi_2=23$, $H=14$ mm) dwoma drutami 1,2mm po 17 zwojów. Proponuję próby z rdzeniami z „prawdziwą” szczeliną powietrzną lub zastosowanie cewek bezrdzeniowych. W obu tych przypadkach najprawdopodobniej okaże się niezbędne solidne ekranowanie. Wartości filtrów wyjściowych można obliczyć ze wzorów:

$$C = 1,41 / (R_L * 2\pi f)$$

$$L = R_L / (1,41 * 2\pi f)$$

Za górną granicę pasma f przyjmujemy wartość z przedziału 20kHz...30kHz, a R_L to oczywiście impedancja głośnika. Nie ma jednak konieczności kurczowego trzymania się obliczeń i warto poeksperymentować z wartościami i typami zastosowanych elementów. Częstotliwość przebiegu taktującego można ustawić (P1) w zakresie 100...220kHz, w przypadku częstotliwości wyższych niż 220kHz w „trójkącie” pojawiają się zniekształcenia i maleje jego amplituda. Gdyby ktoś chciał, może doprowadzić zewnętrzny sygnał z generatora trójkąta (po wyjęciu U5 i wylutowaniu C3) i badać układ dla wyższych częstotliwości. Wbrew pozorom wysoka częstotliwość taktująca może pogorszyć parametry, ponieważ zwiększy to ilość ciepła wydzielanego podczas przełączania kluczy. Aby temu zapobiec, będziemy musieli zwiększyć czas martwy, a gdy nie dobierzemy go bardzo dokładnie (będzie za duży) znacząco wzrośnie poziom zniekształceń THD. Na przykład czas martwy większy od optymalnego tylko o 25ns może zwiększyć zniekształcenia aż do 2%! W przypadku zasilania układu napięciem wyższym niż 40V (ze względu na straty mocy na T6), radzę zrezygnować z wbudowanego zasilacza i skorzystać z małego zasilacza pomocniczego. W takim wypadku nie montujemy T6, R13, C18,

R E K L A M A



Rys. 5 Przedwzmacniacz

D11, a napięcie stałe 15...20V podajemy na wejście U6. Tak samo postępujemy, gdy napięcie zasilające całość będzie niższe od 20V. Pozostając przy wersji modelowej: T6 musi być wyposażony w nieduży radiator. Kondensatory elektrolityczne C20, C22,

większe, warto spróbować wymienić U3 i/lub U4 na inny egzemplarz. Gdyby ten zabieg nie przyniósł rezultatów, można zmniejszyć wartości R11 i R12 (nawet do kilku kiloomów), jednocześnie proporcjonalnie zwiększając C26 i C28. Zmiana

tranzystorów wyjściowych na inne nie powinna przysporzyć większych kłopotów (polecam próby z dużo tańszymi IRF640). Po zmianie należy skontrolować czas martwy, najprościej sprawdzając nagrzewanie MOSFET-ów – powinny być lekko ciepłe. Można też zmierzyć prąd pobierany w spoczynku przez stopień końcowy. Również zmiana napięcia zasilającego (w modelu 40V) może wymagać małej korekty czasu martwego.

Wykonując samodzielnie płytkę drukowaną, należy pamiętać o podstawowych zasadach. Ścieżki sygnałowe powinny być oddalone od ścieżek pracujących z dużym prądem (wykonane jako szerokie powierzchnie miedzi). Maksymalne oddalenie cewek od wszystkich elementów, staranne odprężanie zasilania (najlepiej kondensator ceramiczny + tantalowy przy każdym układzie). Jak już wspominałem we wstępie, do prawidłowej pracy wzmacniacza potrzebny jest jeszcze odpowiedni przedwzmacniacz. Musi on mieć dwa wyjścia o przeciwnych fazach i amplitudzie sygnału 2V (tyle potrzebne jest do pełnegoysterowania). Ja do tego celu wykorzystałem układ z **rysunku 5** zasilany napięciem +12V pobieranym ze stabilizatora wzmacniacza. Układ jest prosty i chyba nie ma potrzeby go omawiać. Myślę, że jako przedwzmacniacz dobrze mogłyby się sprawdzić, po małych modyfikacjach, kity AVT2663 (lampowy – ECC82) lub AVT2449 (do subwoofera – TL074). Zasilacza głównego nie będę opisywał, ponieważ jest on typowy, moc w przybliżeniu równa mocy wzmacniacza, napięcie zasilania (zależne od potrzebnej mocy i impedancji obciążenia) od 15V do nawet 120V. Ostatnią rzeczą, którą należy dobudować, jest układ opóźniająco dołączenie głośnika i jego przyspieszone odłączenie (zanim wzmacniacz się wyłączy).

Jerzy Gołaszewski
jego@plusnet.pl

R E K L A M A

Wykaz elementów

Rezystory

R1,R2,R5,R6.....	22Ω
R3,R4,R7-R10.....	2,2kΩ
R11-R13.....	47kΩ
R14,R15.....	1kΩ
P1,P2.....	1kΩ

Kondensatory

C1,C2,C8,C9,C21,C26,C28	470nF
C3.....	1,8nF
C5,C6,C11,C12.....	270pF
C14,C15.....	1μF/150...250V
C4,C10.....	1μF tantalowy
C7,C13,C17-C19,C24.....	100nF
C16.....	10μF tantalowy
C20.....	10μF/50...150V

C22,C23.....	220μF/50...150V
C25,C27.....	4,7nF

Półprzewodniki

D1-D4.....	1N4148
D5,D8.....	UF4006
D6,D7,D9,D10.....	UF5404
D11.....	dioda Zenera 24V
T1,T2,T4,T5.....	IRFP260
T3.....	BF245B
T6.....	IRF630
U1,U2.....	IR2113
U3,U4.....	LM319
U5.....	7555
U6.....	7812

Pozostałe

L1,L2.....	30μH
------------	------

Płytkę drukowaną jest dostępna w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2865.