

Profesjonalny wzmacniacz lampowo-MOSFET-owy 2 x 250W



Przeglądając czasopisma elektroniczne trafiłem na bardzo interesujące opracowanie płytki wzmacniacza akustycznego, opartego na kostce TDA7294, firmy Thomson (obecnie STM – *przyp. red.*). Autorem tego projektu jest pan Piotr Górecki. Chodzi o kit AVT-2153. Według opisu jest to wzmacniacz o mocy dochodzącej do 100W. Kupiłem ten zestaw, uruchomiłem i dokonałem subiektywnej oceny, słuchając tego wzmacniacza w domu i w studiu radiowym, między innymi na dobrych głośnikach firmy Tannoy. Dokonałem także pomiarów elektroakustycznych: pomiaru mocy wyjściowej i zniekształceń nieliniowych. Wyniki okazały się bardzo zachęcające. Mając to na względzie, a także fakt, iż kostki TDA7294 zostały zrealizowane w technologii MOSFET (ściślej – tranzystory MOSFET wykorzystano w stopniu wyjściowym – *przyp. red.*), postanowiłem na bazie tych płytek zaprojektować i zbudować **mostkowy wzmacniacz akustyczny sterowany lampowym inwerterem fazy**. Założyłem, iż wzmacniacz będzie spełniał normy obowiązujące dla urządzeń studyjnych oraz że będzie przeznaczony do zastosowań profesjonalnych w rozgłośniach radiowych i w instalacjach audiofilijskich w domu. Wzmacniacz powinien spełnić następujące warunki:

1. Wejścia symetryczne o impedancji 10kΩ i czułości + 6 dBu.
2. Dodatkowe wejścia niesymetryczne o impedancji 100kΩ.
3. Funkcja MUTE.
4. Detektor składowej stałej na wyjściu wzmacniacza.

5. Wzmacniacz powinien zapewnić moc wyjściową 250W RMS, zniekształcenia nieliniowe THD poniżej 0,5%, pasmo 20Hz...20kHz.

Wymagania nie są wygórowane, układ jest w sumie prosty i w zasadzie może go zrealizować nawet średnio zaawansowany elektronik (*ze względu na duże moce strat, prądy oraz problem impulsu prądowego przy włączaniu, układ nie jest przeznaczony dla początkujących, dlatego oznaczony go trzema gwiazdkami – przyp. red.*).

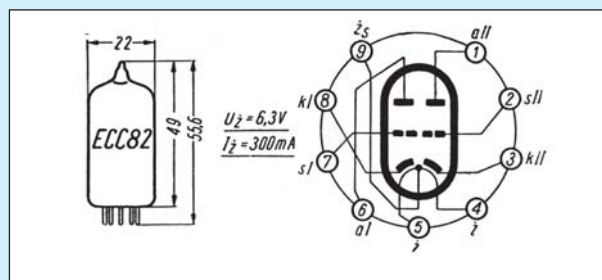
Podstawą wzmacniacza mostkowego jest dobrze zaprojektowany odwracacz fazy, który do stopni końcowych musi dostarczyć sterujące napięcia akustyczne, przesunięte w fazie względem siebie o 180°. Wymagana jest także duża symetria napięć sterujących.

Jak już na wstępie wspominałem, kostki TDA7294 zostały zrealizowane w technologii MOSFET, a ich wysoką klasę potwierdziły wnikliwe testy. **Swoim brzmieniem przypominają dobrej klasy wzmacniacz lampowy**. Warto zatem, aby były sterowane lampowym inwerterem fazy.

Wybrałem do tego celu układ, zrealizowany na lampach typu Noval, podwójna trioda – ECC82. Lampa ta została specjalnie skonstruowana do takich celów.

Wymiary i układ wyprowadzeń lampy ECC82 (od strony nóżek) pokazane są na **rysunku 1**. W razie wątpliwości łatwo sprawdzić kolejność wyprowadzeń – włókno żarzenia umieszczone jest między wyprowadzeniami 4, 5, a dodatkowo połączone jest z nóżką 9.

Tabela 1 podaje parametry triody. Nie są one konieczne dla wykonawcy układu. Zostały zamieszczone dla tych, którzy choć trochę znają się na lampach i chcieliby wykorzystać lampę ECC82 do innych celów.



Rys. 1

Tab. 1a

Wartości charakterystyczne			Wartości robocze									
			Wzmacniacz m. cz. (1 system)						Kl. A (1 system)			
U_a	100	250	U_a	250	250	250	350	350	350	250	V	
U_s	0	-8,5	U_{ab}								V	
I_a	11,8	10,5	U_{s-}								5,9	V
K_a	19,5	17	I_a	3,02	1,63	0,82	4,30	2,30	1,16		9,6	mA
S_a	3,1	2,2	R_a	47	100	220	47	100	220		13	kΩ
			R_k	1,2	2,2	3,9	1,2	2,2	3,9		1	kΩ
			$R_{e'}$	150	330	680	150	330	680			kΩ
			U_{a-}/U_{s-}	13,5	14	14,5	13,5	14	14,5			V/V
			U_{a-}	34	32	28	51	49	43			V
			h	6,4	5,9	4,8	6,6	6,1	5,0		10	%
			P_{wyj}								265	mW

$U_z = 12,6$ V
 $I_z = 150$ mA

Schematy ideowe, będące podstawą inwertera można zobaczyć na **rysunku 2**. Są to aplikacje wzięte wprost z oryginalnego katalogu lamp. Pierwszy stopień (wykorzystujący jedną połówkę lampy) to w obu przypadkach

przedwzmacniacz napięciowy o wejściu wysokoomowym, drugi natomiast to odwracacz fazy, tak zwana katodyna. Wejścia dwóch wzmacniaczy TDA7294, pracujące w układzie mostkowym, sterowane są z katody i anody drugiej połówki lampy ECC82.

W układach lampowych, także w układach podstawowych z rysunku 2, pierwsza połówka triody ECC82 musi zapewnić duże wzmocnienie układu. Z zamieszczonych tabel wynika, iż wzmocnienie tego przedwzmacniacza wynosi 11V/V, tzn. że po doprowadzeniu do siatki ste-

rującej pierwszej triody napięcia zmiennego 1Vsk, na anodzie tej lampy uzyskamy 11Vsk. To napięcie steruje z kolei drugą połówką lampy ECC82, na której został zrealizowany odwracacz fazy. Ten stopień nie wzmacnia; jego wzmocnienie wynosi nieco poniżej jedności. Układ lampowy tego stopnia sterujący był projektowany w okresie, kiedy królowały wzmacniacze lampowe (PUSH-PULL). Lampy końcowe takiego wzmacniacza, np. EL-34, wymagają sporego napięcia zmiennego do pełnego ich wysterowania, np. siatka pierwszej pentody EL-34 musi być spolaryzowana napięciem akustycznym do 20V (!). Tymczasem nasze płytki (AVT-2153) wymagają na wejściach tylko 1,2Vsk, należy zatem zmniejszyć wzmocnienie układu poprzez wyeliminowanie kondensatora katodowego przedwzmacniacza.

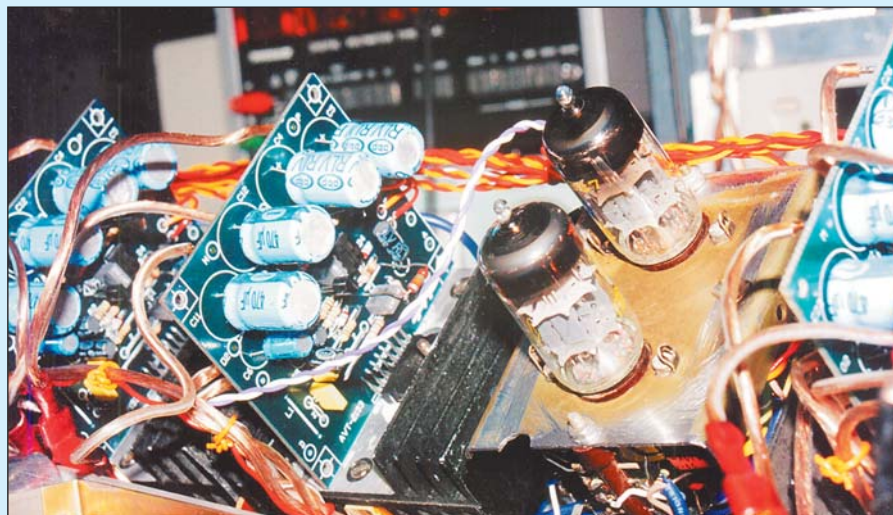
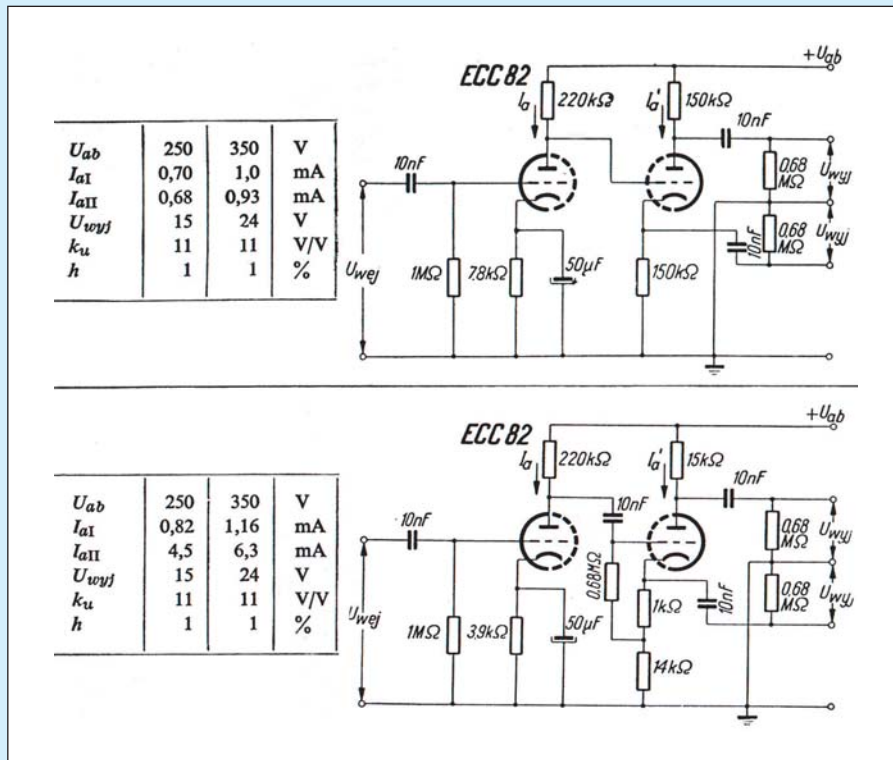
Ze względu na znaczną nieliniowość lamp, celowe będzie także wprowadzenie ogólnego, ujemnego sprzężenia zwrotnego, obejmującego wszystkie stopnie wzmacniacza. Dodatkowo, w celu dopasowania poziomów należy wprowadzić dzielnik napięcia, a dla obniżenia impedancji wyjściowej odwracacza fazy i dopasowania jej do wejść płytek 7294, warto wprowadzić dodatkowe bufory – wtórnik katodowy.

Model pokazany na fotografiach zawiera dwa wzmacniacze mostkowe. Do jego realizacji wykorzystałem cztery kity AVT-2153.

Wartości graniczne			Pojemności		
U_{a0max}	550	V	$C_{wejt} = C_{wejtII}$	1,8	pF
U_{amax}	300	V	C_{wyjtI}	0,5	pF
P_{amax}	2,75	W	C_{wyjtII}	0,35	pF
$-U_{ymax}$	100	V	$C_{atIst} = C_{atIIstII}$	1,6	pF
I_{amax}	20	mA	$C_{atIw} = C_{atIIw}$	<0,135	pF
R_{amax}	1	MΩ	C_{atIstI}	< 1,1	pF
$U_{w/amax}$	180	V	$C_{atIstII}$	< 8	mpF
$R_{w/amax}$	20	kΩ	C_{atIstI}	< 90	mpF
			$C_{atIstII}$	< 50	mpF

Tab. 1b

Rys. 2



W inwerterze wykorzystałem proste układy z jedną lampą, bez wtórników katodowych.

Wykonałem też wersję rozbudowaną inwertera z dodatkowymi wtórnikami lampowymi. Takie rozwiązanie gwarantuje bardzo niską impedancję wyjściową, a także dobrą symetrię napięć sterujących. Schemat ideowy tej ostatecznej wersji odwracacza fazy został pokazany

na **rysunku 3**. Ostatecznie do realizacji inwertera fazy wybrałem górny schemat z rysunku 2. Jego genialna prostota, a co ważniejsze galwaniczne sprzężenie obu stopni przedwzmacniacza z odwracaczem fazy, gwarantują bardzo dobre parametry dynamiczne, jak: szerokie pasmo przenoszenia (do 100 kHz) i niski poziom szumów. Wylimitowanie

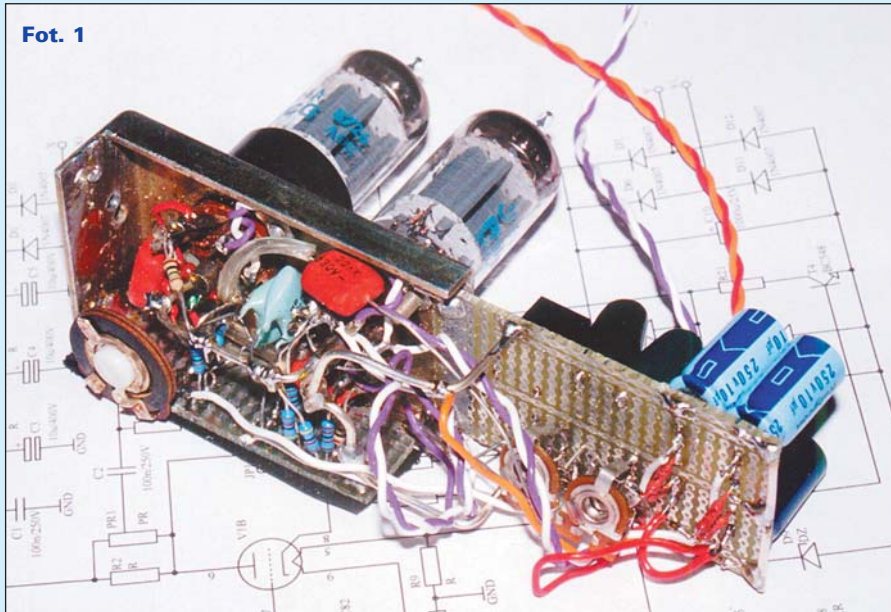
kondensatora katodowego w przedwzmacniaczu umożliwiło zastosowanie lokalnego ujemnego sprzężenia zwrotnego w obwodzie siatka-katoda przedwzmacniacza. Ten inwerter wymaga jednak zastosowania przemienników impedancji (wtórniki katodowe).

Jak widać, podstawowa aplikacja z rysunku 2 została zmodyfikowana i uzupełniona o dwa wtórniki katodowe. W ten sposób jeden (monofoniczny) wzmacniacz mostkowy zawiera dwa wzmacniacze TDA7294 (kity AVT-2153) i dwie lampy ECC82. **Fotografia 1** pokazuje model dwulampowego inwertera zmontowany na płycie uniwersalnej.

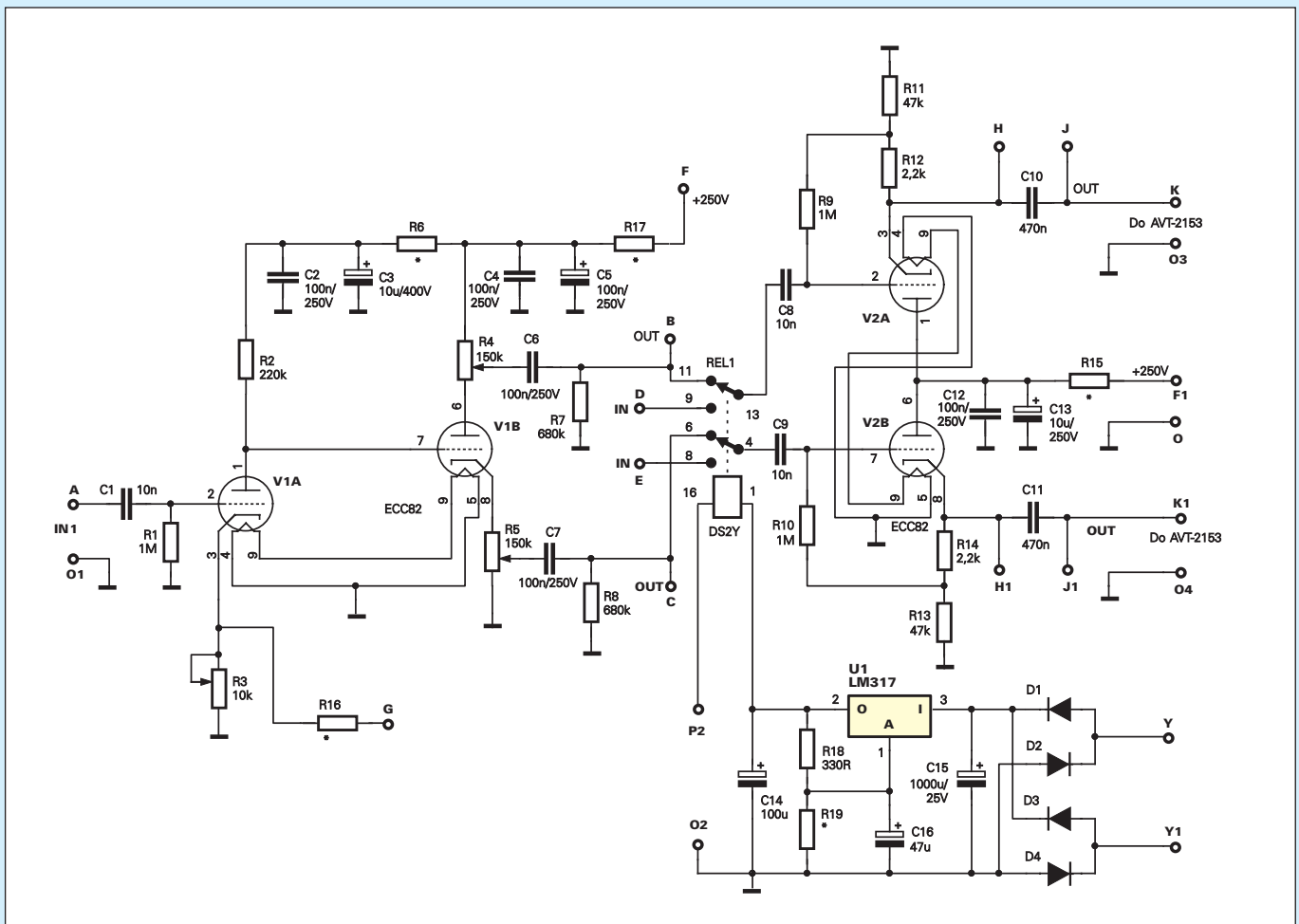
Dla zmniejszenia zniekształceń cały wzmacniacz jest objęty płytkim ujemnym sprzężeniem zwrotnym. Głębokość pętli sprzężenia zwrotnego ustala rezystor R16, który łączy katodę pierwszej połówki ECC82 z wyjściem jednego ze wzmacniaczy, skąd podany jest sygnał w przeciwfazie na tę katodę. Jest to stałoprądowe ujemne sprzężenie zwrotne.

W modelu (gdzie każdy inwerter zawiera tylko jedną lampę) sygnał z potencjometrów umieszczonych w obwodach anody i katody drugiej połówki lampy jest podany wprost na dodatkowy dzielnik rezystorowy i dalej na

Fot. 1



Rys. 3



wejścia wzmacniaczy AVT-2153 (TDA7294). Oczywiście także i tu sygnał o odpowiedniej fazie z jednego ze wzmacniaczy podawany jest przez rezystor na katodę pierwszej półlówki lampy – jest to wspomniane stałoprądowe sprzężenie zwrotne.

Na koniec zostawiłem opis części zasilającej wzmacniacza, ponieważ, jak pokazują fotografie modelu, jest on dosyć potężny i wymaga szerszego omówienia. Urządzenie to składa się z dwóch części: niskonapięciowej, zasilającej płytki z kostkami TDA7294 i wysokonapięciowej dostarczającej napięcia do części lampowej.

Przy mocy wyjściowej nominalnej 2 x 250W RMS przy 4Ω, konieczne było zastosowanie transformatora sieciowego toroidalnego, o mocy 600VA. (Transformator toroidalny o mocy 600W wystarczy do uzyskania podanej mocy wyjściowej, jednak nie powinien oddawać takiej mocy w sposób ciągły, bo może ulec przegrzaniu – przyp. red.) Transformator ten posiada dwa uzwojenia wtórne, wzajemnie od siebie odseparowane, po 33V każde, co po wyprostowaniu na elektrolitach daje $\pm 46,8V$. Użyłem dwóch mostków prostowniczych 20-ampierowych, po jednym na uzwojenie. W celu maksymalnego obniżenia odporności wewnętrznej zasilacza zastosowałem baterię kondensatorów elektrolitycznych o łącznej pojemności 80000μF. Przy tak dużej mocy transformatora i tak wielkiej pojemności elektrolitów pojawiły się problemy przy włączaniu zasilacza do sieci – „szarpnięcie” prądu powodowało wyłączenie bezpieczników w mieszkaniu. Problem rozwiązałem włączając w szereg z uzwojeniem pierwotnym przekaźnik elektroniczny, który włącza transformator w „zerze” sinusoidy napięcia sieci. Ten duży impuls, charakterystyczny dla „toroidów”, to rzeczywiście spory problem i trzeba go rozwiązać we własnym zakresie, albo stosując

jakiś fabryczny układ, albo obwód własnej konstrukcji.

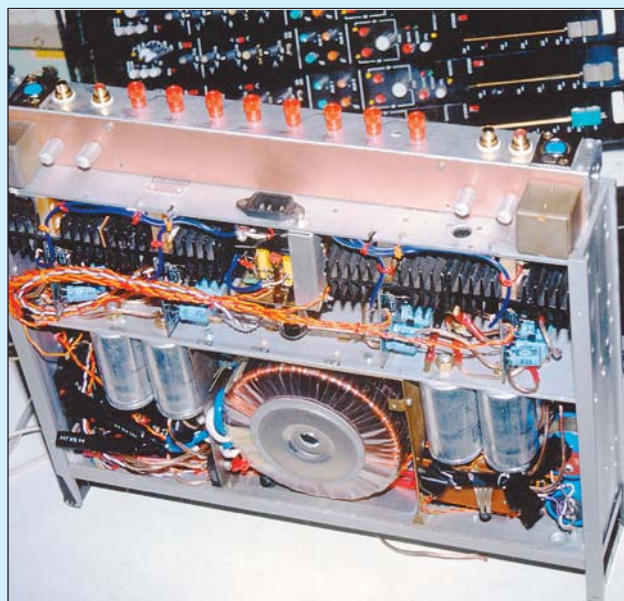
Do części lampowej trzeba dostarczyć dwa napięcia stałe:

napięcie anodowe: ok. 270V, napięcie żarzenia włókien lamp: 12,6V.

Uwaga! Schemat z rysunku 3 nie zawiera obwodów żarzenia. Do żarzenia można wykorzystać napięcie zmienne wprost z uzwojenia transformatora sieciowego – jedna lampa wymaga napięcia 12,6V 150mA (nóżki 4,5). Włókna żarzenia dwóch lamp można łączyć szeregowo lub równoległe, zależnie od potrzeb. Lampy można też żarzyć napięciem stałym, na przykład za pomocą zasilacza i stabilizatora LM317. Opisany projekt nie jest przeznaczony dla początkujących, a bardziej zaawansowani łatwo poradzą sobie ze sprawą żarzenia.

Napięcie anodowe musi być bardzo dobrze wygładzone elektrolitami, np. filtrem typu π (2 kondensatory i rezystor) lub kilkoma takimi filtrami. W przeciwnym wypadku pojawi się przydźwięk. Lampy można też żarzyć napięciem zmiennym, jednak należy wtedy pamiętać o symetryzacji obwodu żarzenia. Środek uzwojenia żarzenia należy połączyć z masą. Można także dokonać symetryzacji obwodu potencjometrem drutowym – 800Ω, pamiętając, aby jego ślizgacz połączyć z masą. Potencjometr ustawiamy na minimum przydźwięku sieci.

Można też wykorzystać napięcie ze stabilizatora.



Ze względu na bardzo duże moce, w tym moc strat czterech końcówek mocy, wzmacniacz wyposażono w wentylatory.

Różne szczegóły budowy powstałego wzmacniacza można zobaczyć na fotografiach.

W sumie powstał wzmacniacz o dużej mocy (2x250W) i znakomitych właściwościach. Wzmacniacz, który może spełnić oczekiwania wybrednych fanów brzmień lampowych. Urządzenie to może funkcjonować w instalacjach profesjonalnych, np. w pomieszczeniach reżyserskich rozgłośni radiowych, studiów nagraniowych, itp.

Życzę przyjemnych doznań estetycznych przy korzystaniu ze wzmacniacza.

Ryszard Ronikier

Od Redakcji EdW

Autor poniższego opisu był realizatorem pracującym w rozgłośni regionalnej Polskiego Radia w Warszawie, a obecnie jest szefem technicznym rozgłośni samorządowej Bogoria w Grodzisku Mazowieckim. Model prezentowany na fotografiach został wykonany przez Autora i sprawdzony przy udziale zespołu Redakcyjnego Elektroniki dla Wszystkich.

Pełny opis wzmacniacza z układem TDA7294 został opublikowany w EdW 8/97 i jest dostępny w ofercie handlowej jako zestaw AVT-2153. Ze względu na specyfikę projektu, firma AVT nie przewiduje obecnie zestawu do budowy inwertera lampowego. W Dziale Handlowym AVT można jedynie składać zamówienia na kluczowe podzespoły: lampy, kondensatory elektrolityczne, transformator.

Jeśli Czytelnicy EdW będą zainteresowani podobną konstrukcją, Redakcja EdW opracuje zestaw zawierający wszystkie niezbędne podzespoły do budowy opisanego wzmacniacza.

Prosimy o listy w tej sprawie.

