



# Wzmacniacz klasy A

## Single Ended



**Uwaga! Coś absolutnie nowego, czym nie zajmowało się jeszcze żadne polskie pismo dla elektroników!**

Chciałbym dzisiaj zaproponować moim Czytelnikom budowę układu zupełnie nowego, jakiego dotąd nie budowaliśmy i na konstruowanie którego zdecydowałyby się niewiele amatorów. Urządzeniem tym jest wzmacniacz akustyczny wysokiej klasy, dedykowany przede wszystkim fanatycznym audiofilom, przedkładającym niejednokrotnie wysokie parametry używanego sprzętu nad zdrowy rozsądek. Wzmacniacz ten będzie charakteryzował się mocą przekraczającą 200W, ... ale będzie to moc pobierana z zasilacza. Do głośników zostanie dostarczone w najlepszym przypadku po ok. 8W na kanał, a pozostała część energii zostanie zużyta na nagrzewanie ogromnych radiatorów, a co za tym idzie na podgrzewanie pomieszczenia, w którym ustawimy nasz wzmacniacz. Już w tym momencie możemy poczuć przedsmak trudności, jakie nas czekają: będziemy musieli odprowadzić do otoczenia ogromne ilości ciepła, wydzielające się na aktywnych elementach układu.



Fot. 1 Fabryczny wzmacniacz klasy A

Wzmacniacze mocy klasy A, podobnie jak wzmacniacze lampowe Hi-Fi, są urządzeniami wyjątkowo „elitarnymi”. Koszt zakupu takiego wzmacniacza przekracza z zasady możliwości nawet dość zamożnych miłośników muzyki, nie bez znaczenia są też duże wymiary tych dedykowanych najwybredniejszym melomanom urządzeń. Jednak brzmienie tych urządzeń jest podobno niezrównane, a w każdym razie przewyższające klasą popularne, budowane już przez nas wzmacniacze ze scalonymi końcówkami mocy. Piszę „podobno”, ponieważ nie posiadając słuchu muzycznego, nie bardzo potrafię to należycie ocenić.

Zanim jednak przejdziemy do dalszej części opisu proponowanej konstrukcji, chciałbym złożyć pewne oświadczenie. Otóż etyka zawodowa każe mi podać do wiadomości, że materiały potrzebne do opracowania tej konstrukcji czerpałem z danych opublikowanych przez znanego producenta wzmacniaczy klasy HIGH END – firmę PASS LABORATORIES. Także schemat wzmacniacza został prawie bez zmian przeniesiony z publikacji tej firmy. Tak więc jedyną moją zasługą jest mozolne tłumaczenie potrzebnych informacji na język polski, dostosowanie konstrukcji do naszych warunków materiałowych, zaprojektowanie płytki obwodu drukowanego oraz wykonanie i przetestowanie wzmacniacza. Pocięszam się jednak jednym: ujmę przynosi jedynie kopiowanie z kieszonkowych źródeł informacji. Kopiowanie mistrzów nie przynosi hańby nikomu, a każdy audiofil z pewnością zaświadczy, że firma PASS LABORATORIES

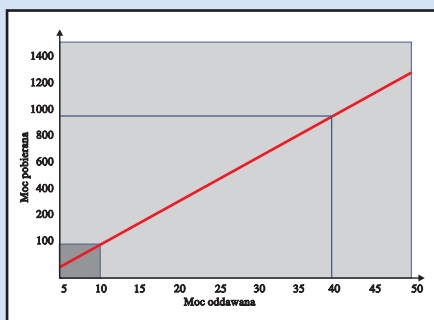
nie ma sobie równej w konstruowaniu wzmacniaczy klasy A.

Poniższy opis będzie miał z konieczności charakter skrótowy i z pewnością nie wyczerpie wszystkich problemów związanych z budową wzmacniaczy klasy A. Dlatego też Czytelników zainteresowanych tym wyjątkowo ciekawym tematem odsyłam do strony internetowej firmy PASS LABORATORIES ([www.passlabs.com](http://www.passlabs.com)). Znajdziecie tam istną kopalnię wiadomości o wzmacniaczach klasy A wytwarzanych przez tę firmę, wiele interesujących schematów oraz zdjęcia i opisy fabrycznie produkowanych wzmacniaczy. Między innymi napotkamy tam opis wzmacniacza o mocy wyjściowej 1000W (sic!). Nie wiem jak Wy, ale ja sobie nawet nie wyobrażam takiej konstrukcji, odprowadzenia od niej ciepła i sposobu jej zasilania. Niemniej, taka konstrukcja powstała, a na dowód tego pozwoliłem sobie przedstawić jej wizerunek (fot. 1).

Na witrynie PASS LABORATORIES nie znajdziemy tylko jednego: cennika. Prawdopodobnie firma wychodzi z założenia, że jeżeli ktoś jest zainteresowany zakupem ich sprzętu, to nie pyta o cenę, ale bez sprawdzania podpisuje czek! Dlaczego o tym piszę? To proste: chcę dodatkowo zachęcić Was do samodzielnej budowy tak kosztownego (nie przy samodzielnej budowie) sprzętu.

Nie chcę Was straszyć, ale musicie trzeźwo popatrzeć na sprawę budowy wzmacniaczy klasy A. Na rysunku 1 pokazano zależności pomiędzy mocą pobieraną z takiego wzmacniacza a mocą przez niego oddawaną. Wygląda to dość ponuro: wzmacniacz o mocy 40W,

która nie jest niczym szczególnym dla układów klasy B, wymaga dostarczenia energii 1000W! Wzmacniacz stereo o takiej mocy mógłby służyć jako zupełnie niezły piecyk elektryczny podgrzewający nasze mieszkanie w chłodne dni. Nasz wzmacniacz reprezentowany jest przez małą prostokąt w dolnym lewym rogu rysunku. Wygląda to bardzo skromnie, ale nie przejmujcie się: fachowcy od sprzętu audio wydali o nim bardzo pochlebne opinie.



Rys. 1 Schemat ideowy

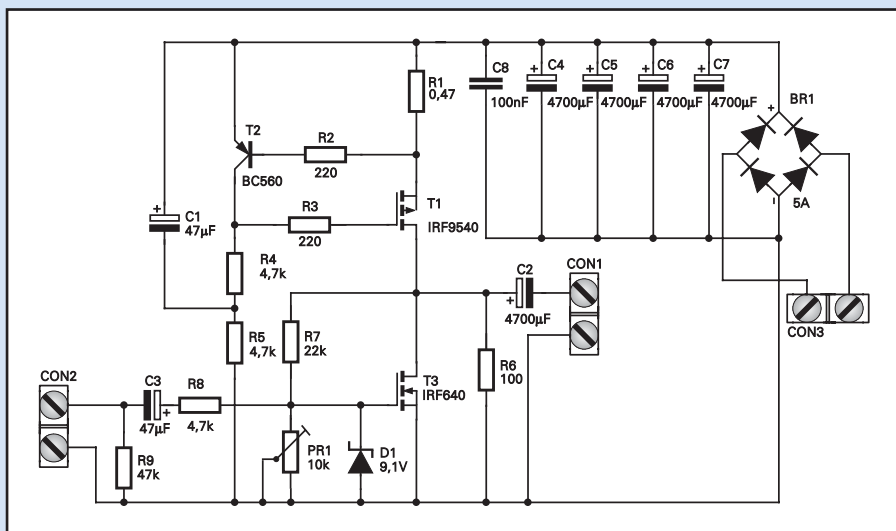
## Jak to działa?

"Everything should be made as simple as possible, but no simpler." /Albert Einstein/.

Mam nieodparte wrażenie, że Nelson Pass, właściciel i czołowy konstruktor firmy PASS LABORATORIES projektował swoje konstrukcje pod wrażeniem słów najwybitniejszego fizyka XX wieku. Rzeczywiście, opisany niżej wzmacniacz, podobnie jak inne konstrukcje tej firmy, jest tak prosty, jak to tylko możliwe, ale nie prostszy!

Popatrzmy tylko na schemat pokazany na rysunku 2, przedstawiający jeden kanał wzmacniacza mocy: trzy tranzystory, kilka rezystorów i kondensatorów, garstka innych elementów dyskretnych. To wszystko, a układ, przedwzmacniacza pokazany na rysunku 3 jest jeszcze prostszy! Rzeczywiście,

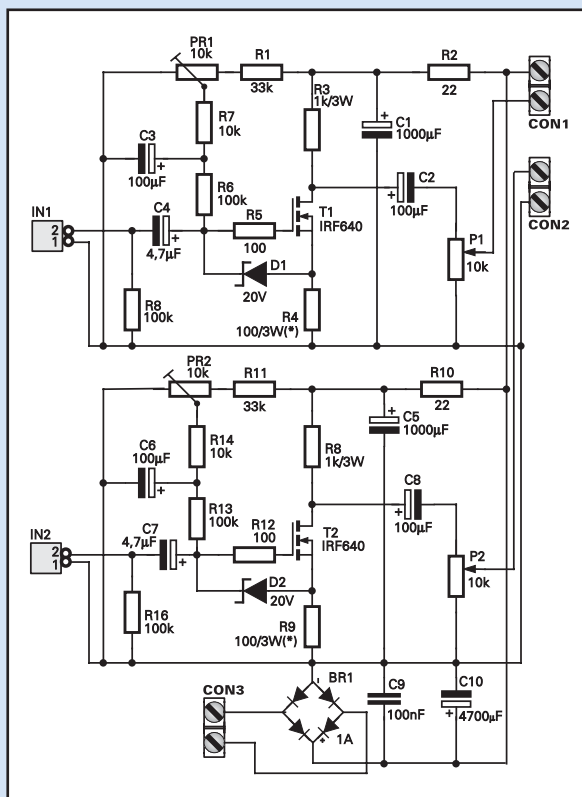
Rys. 2 Schemat ideowy stopnia mocy



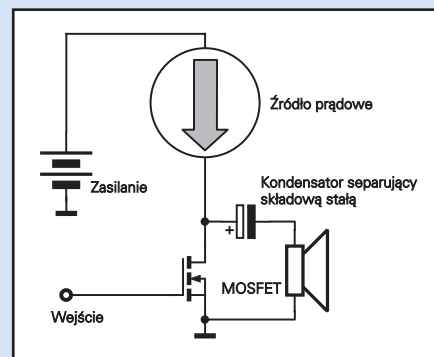
wzmacniacz klasy A nie musi być skomplikowany, a problemy jakie będziemy musieli przezwyciężyć, nie polegają na opracowaniu złożonego schematu, ale na poradeniu sobie z odprowadzeniem ogromnych ilości ciepła wytwarzanego przez wzmacniacz. Konstruktor napotka tu dodatkowe utrudnienie. Wzmacniacz klasy B, pobierający ponad 100W mocy, także trochę się nagrzewa, ale nadmiar ciepła możemy z łatwością odprowadzić stosując chłodzenie wymuszone. Przy takich mocach siła emitowanego dźwięku będzie już taka, że nie może być nawet mowy o jakimkolwiek zakłóceniu słuchania muzyki przez szum wentylatora. Inaczej ma się sprawa ze wzmacniaczem klasy A: pobór energii przez taki układ praktycznie nie zależy od mocy oddawanej, a stosowanie chłodzenia wymuszonego przy odtwarzaniu muzyki z niewielką mocą postawiłoby pod znakiem zapytania sens konstruowania wzmacniacza High-End.

Na rysunku 4 został pokazany podstawowy schemat blokowy wzmacniacza klasy A Single Ended, a my zajmijmy się teraz głównym blokiem naszego wzmacniacza – stopniem mocy.

W najprostszym przypadku stopień wyjściowy mocy wzmacniacza klasy A może składać się z tranzystora dużej mocy, najlepiej typu MOSFET, i rezystora połączonego szeregowo z tranzystorem. Z wielu jednak względów korzystniejsze jest zastosowanie zamiast rezystora regulowanego źródła prądowego, którego rolę w naszym układzie



Rys. 3 Schemat ideowy przedwzmacniacza



Rys. 4 Schemat blokowy

pełni tranzystor T1. Prąd płynący przez ten tranzystor powoduje powstanie spadku napięcia na rezystorze pomiarowym R1. W momencie kiedy napięcie na R1 przekroczy wartość ok. 0,66V, zaczyna przewodzić tranzystor T2 zwierając bramkę tranzystora T1 do plusa zasilania i ograniczając w ten sposób prąd zasilający tranzystor T3. Ponieważ w naszym układzie wartość rezystora R1 wynosi 0,33Ω, łatwo policzyć że prąd płynący przez obydwie tranzystory wyniesie około 2A, co przy napięciu zasilania wynoszącym 50V da nam moc traconą 100W!

Rezystor R7 i potencjometr montażowy PR1 tworzą stałoprądowe sprzężenie zwrotne, które ustawia na bramce tranzystora T3 poziom napięcia równy ok. 4V. Dioda D1 zabezpiecza bramkę tranzystora T3 przed powstaniem na niej napięcia większego niż 10V.

Opisywany stopień wyjściowy ma jedną utrudniającą nam życie cechę: do pełnego wysterowania wymaga napięcia wejściowego ok. 3,5V. Dlatego też niezbędne okazało się zastosowanie specjalnego przedwzmacniacza, pracującego oczywiście także w klasie A. Schemat tego przedwzmacniacza został pokazany na **rysunku 3**.

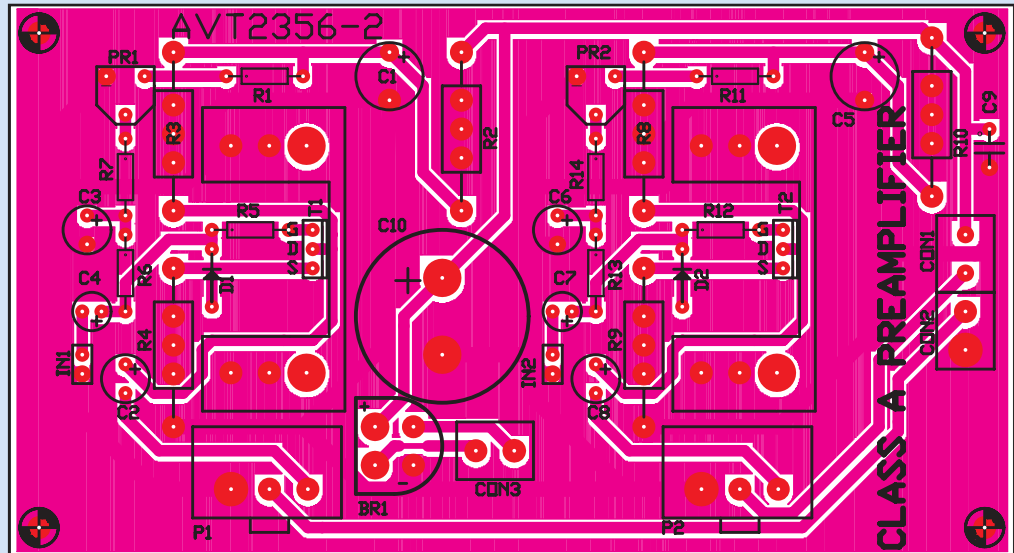
Jest on dość podobny do schematu stopnia wyjściowego i niemal równie prosty i łatwy do zrozumienia. Transzystory typu MOSFET zastosowane jako elementy wzmacniające pracują tu ze znacznie mniejszym obciążeniem niż w końcówce mocy. Diody Zenera D1 i D2 zabezpieczają bramki tranzystorów przed przedostaniem się na nie zbyt wysokiego napięcia. Punkt pracy tranzystorów wyznaczany jest za pomocą potencjometrów montażowych PR1 i PR2.

Do zasilania wzmacniacza należy zastosować transformator 2x35VAC/200W, najlepiej z rdzeniem toroidalnym. W przypadku trudności z nabyciem takiego transformatora można zastosować dwa transformatory 2x17VAC/150W.

### Montaż i uruchomienie

Na **rysunkach 5 i 6** zostały pokazane mazaiki ścieżek płytek obwodów drukowanych stopnia mocy i przedwzmacniacza.

Z pewnością zauważyliście już pewne rozbieżności pomiędzy widokiem układu modelowego a pokazanymi na rysunku płytkami. W układzie modelowym obydwie kanały stopnia mocy umieszczone zostały na jednej płytce, co spowodowało pewne komplikacje przy montażu. Ponadto, liczba kondensatorów elektrolitycznych w zasilaczu



Rys. 6 Schemat montażowy przedwzmacniacza

okazała się zdecydowanie za mała, co spowodowało konieczność zaprojektowania nowej płytki obwodu drukowanego, tym razem osobnej dla każdego kanału stopnia mocy. Także sposób przedstawienia tranzystorów mocy na płytce obwodu drukowanego może wzbudzić zdziwienie wielu z Was: jako T1 i T3 na płytce zostały umieszczone złącza ARK3! Wszystko jednak jest w porządku, złącza te, odpowiednio oznakowane, mają ułatwić dołączenie do płytki przewodów prowadzących do umieszczonych na radiatorach tranzystorów.

Także w przypadku układu przedwzmacniacza występują pewne rozbieżności pomiędzy fotografią modelu prototypu a wizerunkiem płytki obwodu drukowanego. W układzie modelowym przedwzmacniacz zasilany był z tego samego układu co stopnie wyjściowe. Z uwagi na rozdzielenie końcówek mocy i chęć polepszenia warunków zasilania przedwzmacniacza zastosowałem w ostatecznej wersji przedwzmacniacza osobny za-

silacz, umieszczony na płytce stopnia wyjściowego. Do zasilania przedwzmacniacza musimy zastosować transformator sieciowy o napięciu wyjściowym ok. 36VAC i mocy 10 ... 20W. Pozostał mi jednak możliwość

### Wykaz elementów

– jeden kanał stopnia mocy

#### Kondensatory

|                    |       |           |
|--------------------|-------|-----------|
| C1, C3             | ..... | 47µF/25   |
| C2, C4, C5, C6, C7 | ..... | 4700µF/50 |
| C8                 | ..... | 100nF     |

#### Rezystory

|            |       |   |
|------------|-------|---|
| PR1        | ..... | potencjometr montażowy miniaturowy 10kΩ |
| R1         | ..... | 0,47Ω/5 ... 10W                         |
| R2, R3     | ..... | 220Ω                                    |
| R4, R5, R8 | ..... | 4,7kΩ                                   |
| R6         | ..... | 100Ω/1W                                 |
| R7         | ..... | 22kΩ                                    |
| R9         | ..... | 47kΩ                                    |

#### Półprzewodniki

|     |       |                        |
|-----|-------|------------------------|
| BR1 | ..... | mostek prostowniczy 5A |
| D1  | ..... | dioda Zenera 9,1V      |
| T1  | ..... | .IRF9540               |
| T2  | ..... | .BC560                 |
| T3  | ..... | .IRF640                |

#### Pozostałe

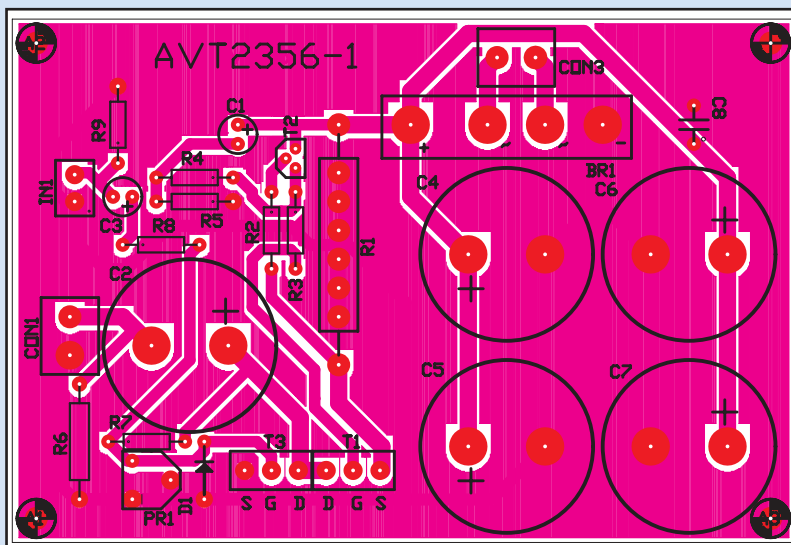
|            |       |               |
|------------|-------|---------------|
| CON1, CON3 | ..... | .ARK2         |
| CON2       | ..... | .ARK2 (3,5mm) |
| 2 złącza   | ..... | .ARK3 (3,5mm) |

\* Radiatory wg modelu

\* Podkładki mikowe pod tranzystory w obudowach T0220 4szt.

\* Tulejki izolacyjne 4szt.

\* Nie wchodzi w skład kitu



Rys. 5 Schemat montażowy

**Komplet podzespołów z płytką jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2356**

zasilania tego stopnia z zasilacza jednej z końcówek mocy, które możemy doprowadzić do złącz CON1 i CON2.

Jest to jednak rozwiązanie gorsze, obniżające osiągi naszego wzmacniacza.

Po tych wyjaśnieniach możemy wreszcie przystąpić do montowania wzmacniacza. Montaż płytek obwodów drukowanych nie wymaga chyba komentarza, z wyjątkiem uwagi, że ze względu na duże prądy płynące w obwodach montaż należy wykonać szczególnie starannie. Omówienia wymaga jedynie sposób zamontowania tranzystorów na płytce przedwzmacniacza. Tranzystory te będą się nieco nagrzewać podczas pracy układu i dlatego też zaopatrzyłem je w niewielkie radiatory, lutowane do płytki obwodu drukowanego. Kolejność montażu tych elementów musi być następująca: najpierw niezbyt mocno przykręcamy tranzystory do radiatorów (nie musimy stosować podkładek izolacyjnych), a następnie wkładamy końcówki obydwu elementów w przeznaczone dla nich otwory w płytce. Następnie lutujemy bolce pozycjonujące radiatory, mocno dokręcamy tranzystory i lutujemy ich wyprowadzenia.

Po zmontowaniu płytek przystępujemy do najtrudniejszego zadania, jakim będzie mechaniczny montaż wzmacniacza. Nie będzie tu miejsca na jakiegokolwiek prowi-

zorki, wszystko musi zostać wykonane solidnie, tranzystory mocno przykręcone do radiatorów, a zastosowane do ich połączenia z płytką przewody muszą mieć odpowiednią średnicę. Szczególnie przestrzegam przed próbami włączenia zasilania przed przykręceniem tranzystorów do radiatorów: taki „numer” skończyłby się niechybnie natychmiastowym uszkodzeniem tych, bądź co bądź kosztownych elementów. Pewną wskazówką podczas budowy wzmacniacza mogą być zdjęcia układu prototypowego. Jak widzicie, nie zastosowałem jakiegokolwiek obudowy dla części elektronicznej wzmacniacza i taka estetyka wykonania odpowiada mi całkowicie. Nie musicie jednak podzielać mojego gustu, ale jeżeli zdecydujecie się na wykonanie obudowy, to należy pamiętać o zapewnieniu swobodnego przepływu powietrza wokół radiatorów.

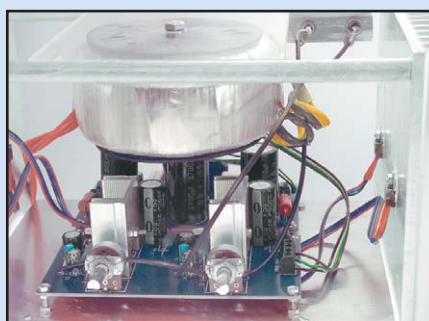
Sprawą ogromnej wagi jest właściwe zamocowanie tranzystorów mocy do radiatorów. Zastosowanie **dobrej jakości pasty silikonowej** jest w tym wypadku absolutnie konieczne. Podkładowki izolacyjne także muszą być dobrej jakości, koniecznie **miłkowe, a nie z tworzywa sztucznego**. Jedynie przestrzeganie tych zasad zapewni prawidłową pracę wzmacniacza. I jeszcze jedna uwaga, zanim przejdziemy do opisu prostej regulacji wzmacniacza. Radiatory chłodzące tranzystory mocy będą nagrzewać się do bardzo wysokiej temperatury, co jest zresztą zgodne z założeniami konstrukcyjnymi.

Temperatura radiatorów może dojść do 90°C i w związku z tym należy zachować szczególną ostrożność, aby się nie poparzyć!

Po zmontowaniu całej konstrukcji i wielokrotnym sprawdzeniu prawidłowości montażu oraz połączeń przewodowych możemy przystąpić do ostatniej fazy budowy wzmacniacza klasy A - jego regulacji. Do wykonania tej czynności w zasadzie powinien wystarczyć miernik uniwersalny, ale perfekjoniści zechcą jednak posłużyć się oscyloskopem i generatorem funkcyjnym.

Regulację rozpoczynamy od stopnia końcowych mocy naszego wzmacniacza. Ponieważ przypuszczam, że roztargnienie nie jest jedynie cechą mojego charakteru, radzę przy pierwszym uruchamianiu końcówek mocy włączyć w obwód pierwotnego uzwojenia transformatora sieciowego żarówkę o znacznej mocy, np. 500W. Jeżeli wszystko jest w porządku, to żarówka powinna na moment rozbiłyśnąć, a następnie palić się słabym światłem.

Pierwszą czynnością podczas regulacji stopnia wyjściowego naszego wzmacniacza będzie ustawienie za pomocą potencjometrów montażowych napięcia 17V na złączu pomiędzy drenami tranzystorów wyjściowych. Po przeprowadzeniu tej regulacji



musimy odczekać 20...30 min, aż wzmacniacz nagrzej się i powtórzyć ją, nawet kilkakrotnie.

Zajmijmy się teraz stopniem wejściowym - przedwzmacniaczem. Jego regulacji dokonujemy podobnie jak w przypadku stopni wyjściowych, ustawiając za pomocą potencjometrów montażowych PR1 i PR2 napięcie na drenach tranzystorów T1 i T2 równe połowie napięcia zasilania.

Po dokonaniu tych regulacji możemy już słuchać muzyki za pomocą wykonanego samodzielnego wzmacniacza klasy A, ale licząc się z faktem, że nasz układ nie jest jeszcze perfekcyjnie wyregulowany. Ostateczną regulację wykonamy po „zestarczeniu się” elementów i ich wygrzaniu w pracującym układzie. Do dokonania ostatecznej regulacji będzie nam, niestety, potrzebny oscyloskop i generator funkcyjny. Regulacja będzie trywialnie prosta: do wejścia przedwzmacniacza dołączamy generator funkcyjny i za pomocą potencjometrów montażowych ustawiamy punkty pracy tranzystorów tak, aby przy napięciu wejściowym równym ok. 1V<sub>rms</sub> sygnał wyjściowy nie był zniekształcony. Podobnie dokonujemy regulacji wzmacniaczy wyjściowych, starając się uzyskać maksymalną amplitudę nie zniekształconego sygnału wyjściowego. Uwaga: wszystkich regulacji dokonujemy na wzmacniaczu, który był nagrzewany przez co najmniej pół godziny.

**Na zakończenie jeszcze jedna, ważna uwaga: nasz wzmacniacz może być niebezpieczny dla otoczenia! Mam tu na myśli ewentualne oparzenie się o nagrzane radiatory i dlatego nie należy ustawiać go podczas pracy tak, aby mogły go np. dotrzeć małe dzieci!**

Zbigniew Raabe

## Wykaz elementów

– przedwzmacniacz

### Kondensatory

|                |       |            |
|----------------|-------|------------|
| C1, C5         | ..... | 1000µF/50V |
| C2, C3, C6, C8 | ..... | 100µF/50V  |
| C4, C7         | ..... | 4,7µF/50V  |
| C9             | ..... | 100nF      |
| C10            | ..... | 4700µF/50V |

### Rezystory

|                  |       |   |
|------------------|-------|---|
| PR1, PR2         | ..... | potencjometr montażowy miniaturowy 10kΩ |
| P1, P2           | ..... | potencjometr obrotowy 10kΩ/B            |
| R1, R11          | ..... | 33kΩ                                    |
| R2, R10          | ..... | 22 Ω                                    |
| R3, R8           | ..... | 1kΩ/3W                                  |
| R4, R9           | ..... | 100Ω/3W                                 |
| R5, R12          | ..... | 100Ω                                    |
| R6, R8, R13, R16 | ..... | 100kΩ                                   |
| R7, R14          | ..... | 10kΩ                                    |

### Półprzewodniki

|         |       |                        |
|---------|-------|------------------------|
| BR1     | ..... | mostek prostowniczy 1A |
| D1, D2  | ..... | dioda Zenera 20V       |
| T2, T1: | ..... | IRF640                 |

### Pozostałe

CON1, CON2, CON3  
ARK2

\* Radiatory 2 szt - Nie wchodzi w skład kitu