

Wzmacniacz akustyczny dużej mocy

W artykule opisujemy wzmacniacz o mocy wyjściowej 150 W/8 Ω . Konstrukcja takiego wzmacniacza wymaga jednak stosunkowo dużego doświadczenia, dlatego też proponujemy, aby za budowę tego urządzenia zabrali się tylko amatorzy z praktyką w budowaniu tego typu urządzeń. Duża moc wyjściowa wzmacniacza na impedancji obciążenia

8 Ω wymaga stosowania wysokich napięć zasilających (± 58 V), co wymusza zachowanie szczególnej ostrożności przy uruchamianiu i podczas eksploatacji. Prosimy więc nie dziwić się, że kilkakrotnie w treści artykułu zamieścimy stosowne uwagi i zalecenia.

Moje zainteresowanie elektroniką zaczęło się od budowy wzmacniaczy akustycznych. Nie stanowi to wyjątku wśród początkujących elektroników. Wielu amatorów zwraca się z prośbami o przedstawienie wzmacniacza dużej mocy, o bardzo dobrych parametrach. Postanowiłem zatem opracować konstrukcję takiego wzmacniacza.

Obecnie wzmacniacze o bardzo dużych mocach wyjściowych najczęściej buduje się w układzie mostkowym. Wynika to z maksymalnych napięć kolektor-emiter tranzystorów mocy przeznaczonych do zastosowań liniowych. Wadą wzmacniaczy mostkowych jest kosztowny układ, na który składają się praktycznie dwa wzmacniacze, oraz mniejsza sprawność energetyczna.

W układzie wzmacniacza zastosowałem konwencjonalne, powszechnie sprawdzone rozwiązania. Daje to dużą gwarancję, że konstrukcja nie powinna sprawić większych niespodzianek. Drugą zaletą takiego podejścia do tematu jest możliwość stosowania różnych typów tranzystorów. Przy niewielkiej przeróbce układu, polegającej na zamontowaniu dodatkowych tranzystorów końcowych można zwiększyć moc wyjściową do 250 W dla impedancji obciążenia 4Ω .

Przed przystąpieniem do opisu układu przytoczę kilka podstawowych zależności, które wymuszają okre-

ślone parametry. Moc wyjściową wzmacniacza można obliczyć na podstawie wzoru:

$$P_{wy} = U_{sk} \cdot I_{sk} = \frac{U_{sk}^2}{R_{obc}}$$

Podstawiając do wzoru założoną moc wyjściową 150 W i rezystancję obciążenia, otrzymamy wartość skuteczną napięcia wyjściowego – $U_{sk} = 34,6 \text{ V}$. wartość ta odpowiada amplitudzie napięcia na wyjściu wynoszącej:

$$U_{sz} = \sqrt{2} \cdot U_{sk} = 1,41 \cdot U_{sk} = 48,9 \text{ V}$$

Wartość skuteczną prądu płynącego przez obciążenie wynosi:

$$I_{sk} = \frac{U_{sk}}{R_{obc}} = 4,3 \text{ A}$$

Podobnie można obliczyć wartość szczytową prądu obciążenia:

$$I_{sz} = \frac{U_{sz}}{R_{obc}} = 6,1 \text{ A}$$

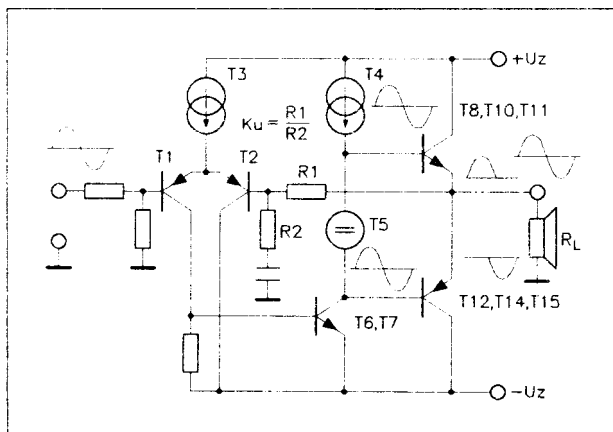
Zakładając spadki napięcia na: tranzystorach stopnia końcowego, rezystorach emiterowych (wyrównawczych), oraz spadek napięcia zasilającego wywołany poborem dużego prądu przyjęto napięcie zasilające równe ± 58 V, a więc blisko o 20% wyższe niż wynika to z uproszczonych obliczeń.

Wzory te przytaczam celowo, aby uzmysłowić wszystkim Czytelnikom konieczność stosowania tak wysokiego napięcia zasilania wzmacniacza. Proponuję we własnym zakresie wykonanie obliczeń które wykażą duży spadek mocy wyjściowej przy niższym napięciu zasilającym.

UWAGA! Napięcie zasilające wzmacniacz wynosi ± 58 V, a pomiędzy dwoma biegunami zasilacza 116 V. Jest to napięcie niebezpieczne dla zdrowia i życia. Należy o tym zawsze pamiętać i zachować szczególne środki ostrożności.

Opis układu

Na rysunku 1 zamieszczony został uproszczony schemat wzmacniacza mocy. W układzie można wyróżnić dwa stopnie wzmacniaczy napięciowych, oraz wzmacniacz prądowy. Pierwszy stopień wzmocnienia zbudowano na wzmacniaczu różnicowym T1, T2. W emiterach tranzystorów umieszczone zostało źródło prądowe z tranzystorem T4. Zastosowanie źródła prądowego pozwala na zachowanie stałego prądu wzmacniacza różnicowego przy zmieniającym się napięciu zasilania, oraz zmniejszenie przydzwisku sieci.



Rys. 1 Uproszczony schemat wzmacniacza mocy

Z obciążenia tranzystora T1 sygnał zostaje doprowadzony do drugiego stopnia wzmacniacza napięciowego T7. Pomiedzy oba stopnie wtrącony został wtórnik emiterowy T6. Wtórnik ten spełnia dwa zadania. Pierwsze z nich to transformacja małej impedancji wejściowej tranzystora T7, pracującego w układzie ze wspólnym emiterem. Drugie zadanie polega na zminimalizowaniu szkodliwej modulacji pojemności złącza baza-kolektor w tranzystorze T7. Mała wartość rezy-

stora umieszczonego w bazie tranzystora T7 pozwala na szybkie rozładowanie tej pojemności, zwiększając tym samym pasmo przenoszenia wzmacniacza.

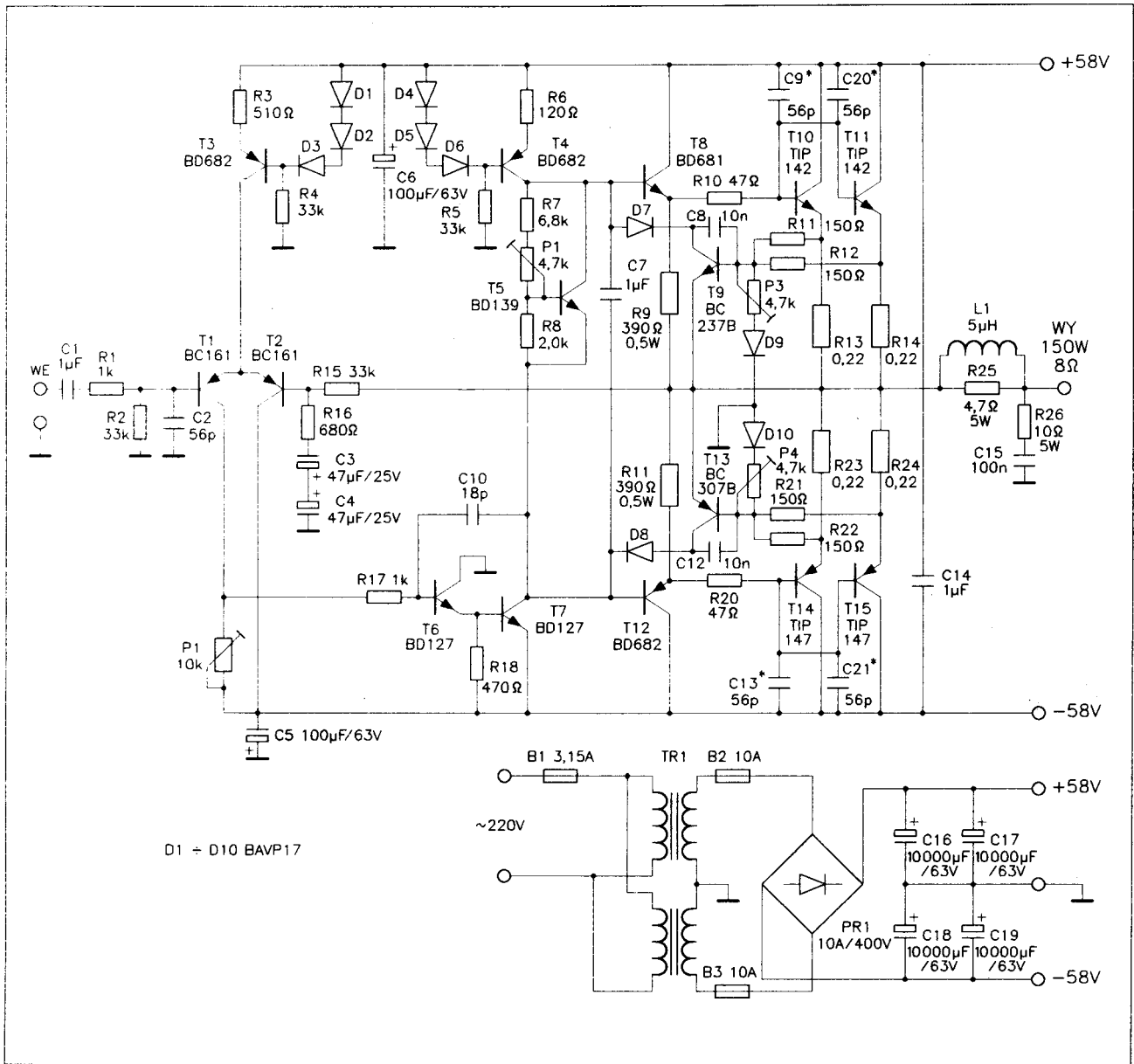
Obciążeniem tranzystora T7 jest drugie źródło prądowe z tranzystorem T4. Impedancja wewnętrzna źródła prądowego jest bardzo duża, zapewniając tym samym odpowiednie wzmocnienie w tym stopniu wzmacniacza. Do zalet źródła prądowego można też zaliczyć stałość impedancji dla dolnych częstotliwości pasma akustycznego. W efekcie rozwiązanie takie pozwala na poszerzenie od dołu pasma przenoszenia wzmacniacza. Drugą zaletą stosowania źródła prądowego jest zmniejszenie zniekształceń skrośnych widoczne szczególnie przy większych częstotliwościach akustycznych.

Tranzystory T8, T10, T11, oraz T12, T14, T15 tworzą przeciwobny wzmacniacz prądowy. Pierwsze trzy tranzystory przewodzą, dla dodatnich połówek sygnału, a pozostałe dla ujemnych. T8 i T12 spełniają funkcję tranzystorów sterujących właściwy stopień mocy w którym zastosowano równoległe połączenie tranzystorów, w emiterach których znajdują się oporniki wyrównujące R13, R14, R23, R24. Zadaniem rezystorów wyrównujących jest: wprowadzenie lokalnego sprzężenia zwrotnego poprawiającego stabilność temperaturową, równomierny rozptyw prądu pomiędzy tranzystorami tego samego typu, a także zmniejszenie zniekształceń nieliniowych na skutek poprawy symetrii układu.

Do prawidłowej pracy stopnia końcowego niezbędne jest wstępne spolaryzowanie tranzystorów mocy. Wywołuje ono przepływ niewielkiego prądu przez tranzystory mocy. Dzięki polaryzacji eliminuje się w bardzo dużym stopniu zniekształcenia skrośne powstające głównie w momencie przechodzenia przez zero sygnału akustycznego. Drugim bardzo ważnym zadaniem jest stabilizacja termiczna punktu pracy stopnia końcowego. W miarę rozgrzewania się tranzystorów napięcie baza-emiter ulega zmniejszeniu, zatem tranzystory zostają silniejysterowane i rozgrzewają się jeszcze mocniej. Może to doprowadzić do uszkodzenia wzmacniacza. Stabilizacja termiczna przeciwdziała temu niekorzystnemu zjawisku, zmniejszającysterowanie tranzystorów w miarę wzrostu ich temperatury. Elementem reagującym na zmiany temperatury jest tranzystor T5 umieszczony na radiatorze razem z tranzystorami sterującymi i tranzystorami mocy. Potencjometr P1 służy do regulacji prądu spoczynkowego.

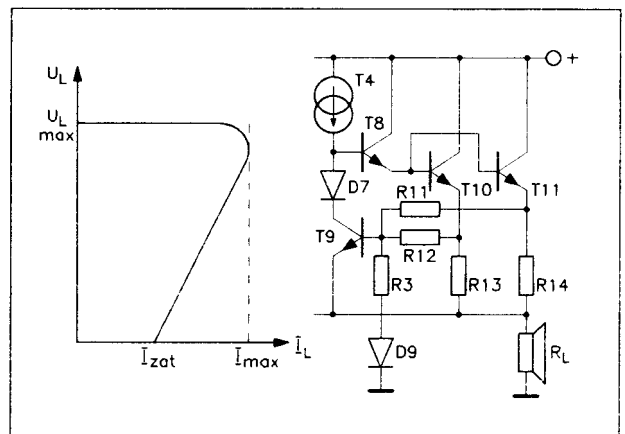
Pętla sprzężenia zwrotnego zamknięta jest przez rezystor R15, łączący wyjście wzmacniacza z parą różnicową na wejściu. Wzmocnienie w zamkniętej pętli wynosi ok. 48 V/V.

We wzmacniaczu zastosowano układ ogranicznika prądowego. Zabezpiecza on tranzystory mocy w przypadku zwarcia wyjścia do masy. Stosowanie bezpieczników topikowych umieszczonych w zasilaniu wzmacniacza niewiele pomaga, gdyż działają one zbyt wolno. Natomiast bezpieczniki półprzewodnikowe są trudno dostępne.

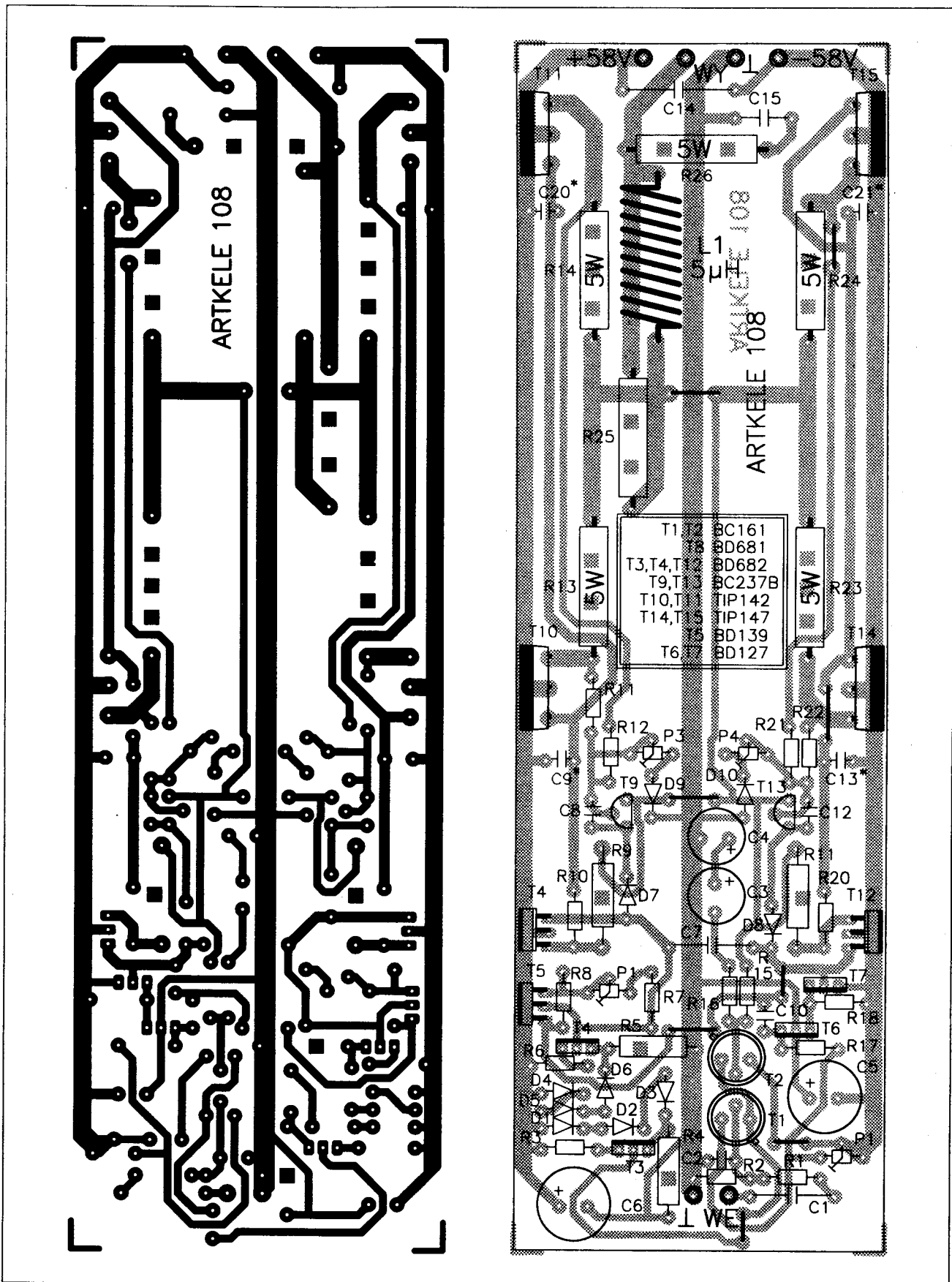


Rys. 2 Schemat ideowy wzmacniacza mocy

Fragment układu z ogranicznikiem dla dodatnich półoków napięcia przedstawiono na rys. 3. W czasie normalnej pracy wzmacniacza, gdy dołączone jest obciążenie spadek napięcia na rezystorach R11 i R12 utrzymuje tranzystor T9 w stanie zatkania, gdyż różnica napięć pomiędzy bazą, a emiterem tranzystora T9 jest praktycznie równa zero (napięcie na emiterze T9 zmienia się w takt napięcia na wyjściu). W przypadku zwarcia wyjścia do masy, prąd płynący przez rezystory R13 i R14 wzrasta wielokrotnie otwierając tranzystor T9, który z kolei przytyka tranzystor sterujący T8. Po zadziałaniu ogranicznika prąd wyjściowy maleje. Jest to zjawisko pożądane, gdyż zmniejsza się w ten sposób straty mocy w tranzystorach końcowych. Diody D7, D9 chronią tranzystor T9 przed uszkodzeniem dla ujemnej półokki sygnału akustycznego



Rys. 3 Schemat układu zabezpieczenia tranzystorów końcowych



Rys. 4 Schemat płytki drukowanej i rozmieszczenie elementów

Na wyjściu wzmacniacza umieszczono zabezpieczenie przed obciążeniem o charakterze reaktancyjnym składające się z dwójnika R26, C15. Jak powszechnie wiadomo impedancja głośników rośnie wraz z częstotliwością, co może być przyczyną wzbudzenia się wzmacniacza na częstotliwościach ponadakustycznych. Wzbudzenia takie mogą doprowadzić do uszkodzenia tranzystorów mocy. Impedancja dwójnika R26, C15 maleje ze wzrostem częstotliwości kompensując wzrost impedancji zestawu głośnikowego.

Cewka powietrzna L1 połączona równolegle z rezystorem R25 zabezpiecza wzmacniacz przed obciążeniem o charakterze pojemnościowym typowym dla kolumn głośnikowych z rozbudowanymi zwrotnicami głośnikowymi. Także taki charakter obciążenia może powodować wzbudzenie się wzmacniacza. Zastosowanie dławika obniża nieznacznie górną częstotliwość graniczną wzmacniacza.

Wzmacniacz zasilany jest napięciem symetrycznym ± 58 V. Jako prostownik zastosowano mostek o prądzie maksymalnym 10 A, co związane jest z bardzo dużą pojemnością kondensatorów filtru. Pojemności 20.000 μ F gwarantują dobre "depnięcie" wzmacniacza przy pełnej mocy wyjściowej.

Zastosowane w układzie tranzystory, T3, T4, T8, T10, T11, T12, T14, T15, są tranzystorami Darlingтона. Dla uproszczenia schematu ideowego narysowano je jako zwykłe (pojedyncze) tranzystory.

Podstawowe parametry wzmacniacza

Moc wyjściowa (sinus)	- 150 W/8 Ω
Moc wyjściowa muzyczna	- 200 W/8 Ω
Pasma przenoszenia	- 15 Hz \div 45 kHz (-3 dB)
Impedancja wejściowa	- 30 k Ω
Impedancja wyjściowa	- 25 m Ω
Znamionowe napięcie wejściowe	- 0,775 V
Stosunek sygnał zakłócenia (badania porównawcze)	- \geq 90 dB
Zniekształcenia nieliniowe	
f = 1 kHz P _{wy} 150 W	- \leq 0,2%
f = 1 kHz P _{wy} 100 W	- \leq 0,05%
f = 10 Hz \div 20 kHz, P _{wy} = 80 W	- \leq 0,1%

W następnym numerze zostanie opisany montaż układu, procedura uruchomienia wzmacniacza, parametry tranzystorów, kryteria ich doboru i inne pomocne wskazówki.

Płytką drukowaną numer 108.

Płytką drukowaną wysyłana jest za zaliczeniem pocztowym.

Cena: 35.000 zł + koszty wysyłki.

Ciąg dalszy w następnym numerze.

Wzmacniacz akustyczny dużej mocy – zabezpieczenie

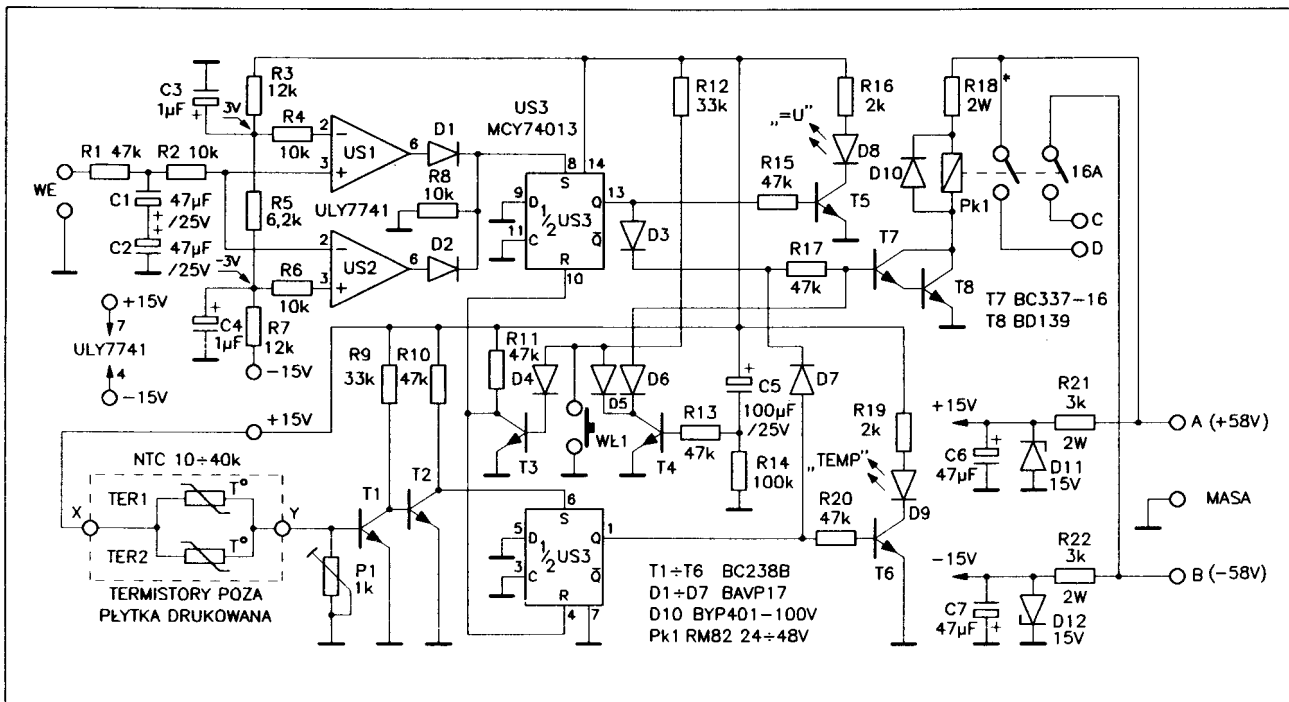
Zbudowanie wzmacniacza dużej mocy wymaga odpowiednich środków finansowych. Kolumny głośnikowe o mocy 200 W także nie należą do tanich. Opłatalne jest zatem zbudowanie dodatkowego urządzenia chroniącego układ wzmacniacza, oraz kolumny przed uszkodzeniem. W artykule zamieszczono opis układu pozwalającego na zabezpieczenie wzmacniacza przed nadmiernym wzrostem temperatury tranzystorów końcowych. Kolumny głośnikowe są natomiast zabezpieczane przed pojawieniem się napięcia stałego na wyjściu wzmacniacza.

Opis układu

Zabezpieczenie przed nadmiernym wzrostem temperatury tranzystorów końcowych wykorzystuje w roli czujników dwa termistory TER1, TER2. Termistory umieszczone są bezpośrednio na tranzystorach mocy we wzmacniaczu. Termistory typu NTC charakteryzują się spadkiem wartości rezystancji wraz ze wzrostem tem-

peratury. Zmniejszenie się rezystancji jednego z termistorów spowoduje wysterowanie tranzystora T1, zablokowanie T2 i ustawienie przerzutnika D (1/2 UŚ3) w stan wysoki (wyjście Q, nóżka 1). Pociągnie to za sobą zapalenie się diody sygnalizującej przekroczenie temperatury maksymalnej D9. Równocześnie zostanie wysterowany układ tranzystorów T7 i T8 powodując zadziałanie przekaźnika PK1 i rozwarcie jego styków, przez które doprowadzone jest napięcie stałe zasilające wzmacniacz.

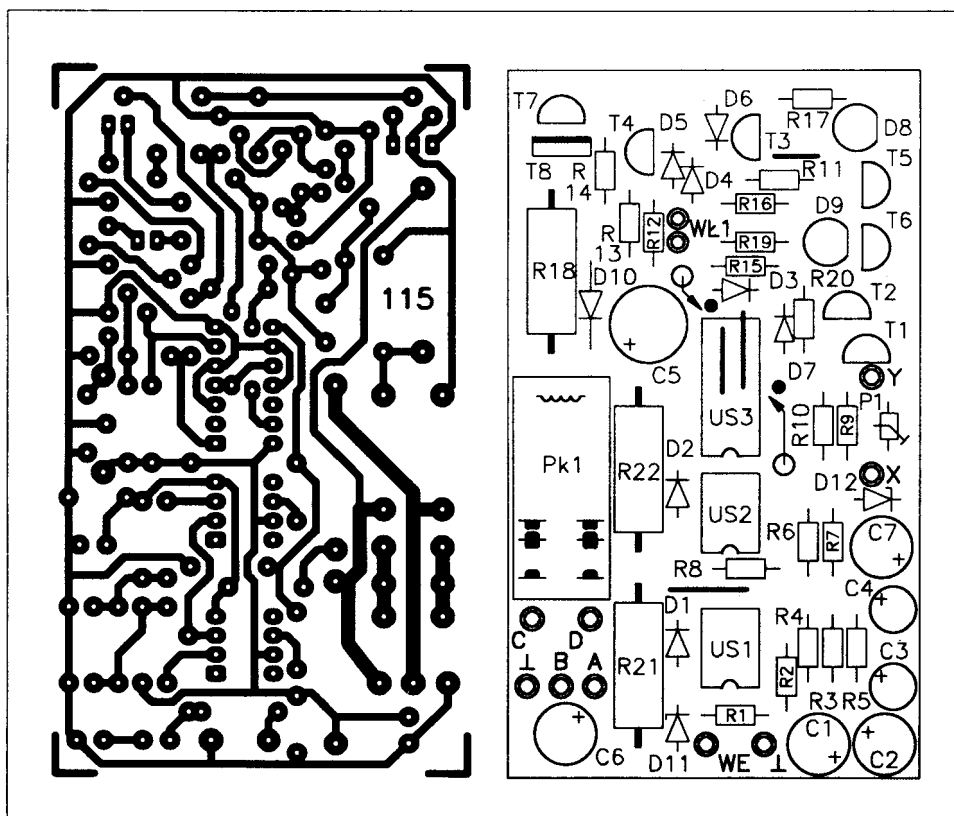
Zabezpieczenie przed pojawieniem się napięcia stałego na wyjściu wzmacniacza chroni kolumny głośnikowe i tranzystory mocy przed uszkodzeniem. Tranzystory mocy są w stanie "wytrzymać" kilkusekundowy przepływ bardzo dużego prądu stałego, rzędu 15 A. Dłuższy przepływ takiego prądu doprowadzi do termicznego uszkodzenia tranzystorów, których obudowy nie zdążą się rozgrzać do temperatury, przy której zadziała zabezpieczenie termiczne. Wyłączenie zasilania wzmacniacza daje gwarancje "uratowania" tranzystorów końcowych.



Rys. 1 Schemat ideowy układu zabezpieczającego wzmacniacz dużej mocy przed uszkodzeniem

Napięcie wyjściowe wzmacniacza doprowadzone jest do filtra dolnoprzepustowego R1, C1, C2. Składowa zmienna sygnału o dużej amplitudzie, nie wywołuje zmiany napięcia w punkcie połączenia rezystorów R1 i R2, które jest równe napięciu stałemu na wyjściu wzmacniacza. W normalnych warunkach pracy napię-

cie ma wartość $0 \pm 0,2 \text{ V}$. W przypadku gdy napięcie stałe na wyjściu wzmacniacza zmieni swą wartość na ujemną, lub dodatnią, napięcie na kondensatorach C1 i C2 także ulegnie zmianie. Nastąpi to jednak z pewnym opóźnieniem (ok. 2 sek.).



Rys. 2 Schemat płytki drukowanej i rozmieszczenie elementów

Napięcie z kondensatorów C1 i C2 doprowadzone jest do dyskryminatora okienkowego, zbudowanego z dwóch wzmacniaczy operacyjnych US1 i US2. Przy zerowej wartości napięcia stałego na wyjściu wzmacniacza mocy, wyjścia obu wzmacniaczy US1 i US2 są w stanie niskim. Jeżeli wartość napięcia wyjściowego przekroczy 3 V, lub -3 V, wówczas wyjście wzmacniacza US1, lub US2 zmieni swój stan na wysoki. Ten sygnał po przejściu przez sumator diodowy D1, D2 zmienia stan wyjścia przerzutnika D (1/2 US3) na wysoki. Podobnie jak w przypadku przekroczenia temperatury, zapali się dioda D8 i zostanie włączony przekaźnik PK1, odcinający zasilanie wzmacniacza mocy.

Oba przerzutniki mogą zostać wyzerowane przez przyciśnięcie włącznika WŁ1. Sprawia to, że tranzystor T3 zostaje zablokowany, a napięcie na jego kolektorze osiąga wartość napięcia zasilania. Z kolektora T3 sygnał doprowadzony jest do wejść zerujących obu przerzutników. Wyzerowanie przerzutników jest możliwe tylko w przypadku, gdy zagrożenie, którym jest wzrost temperatury, lub napięcia stałego na wyjściu wzmacniacza, zostało zlikwidowane. W przeciwnym przypadku poziomy napięć, doprowadzonych do wejść ustawiających przerzutników, uniemożliwiają ich wyzerowanie.

W momencie włączania zasilania wzmacniacza napięcie na jego wyjściu nie jest ustalone. Sytuacja taka może doprowadzić do niekontrolowanego zadziałania układu zabezpieczającego. Dlatego też zastosowano rozwiązanie "znieczulające" układ na czas ok. 4 sek. po włączeniu zasilania. Prąd ładowania kondensatora elektrolitycznego o dużej pojemności przepływając przez rezystor R17 wytwarza na nim spadek napięcia. Pozwala to na wyzerowanie tranzystora T4, który przez diodę D6 zwiera bazę tranzystora T7 do masy, uniemożliwiając tym samym włączenie przekaźnika PK1.

Do zasilania układu zabezpieczającego wykorzystano napięcie zasilające wzmacniacz mocy. Jest ono obniżane do wartości ± 15 V w układach stabilizatorów pracujących z diodami Zenera D11, D12. Wysokie napięcie zasilania wzmacniacza wymaga stosowania rezystorów o mocy 2W (R21, R22).

W szereg z cewką przekaźnika PK1 wstawiono rezystor ograniczający, którego wartość należy dobrać w zależności od stosowanego typu przekaźnika.

Wykaz elementów

US1, US2	- ULY 7741 (μ A 741)
US3	- MCY 74013 (CD 4013)

T1 ÷ T6	- BC 238 B lub dowolny npn $h_{21} \geq 250$
T7	- BC 337-16 (BC 337-25)
T8	- BD 139 (BD 127)
D1 ÷ D7	- BAVP 17 ÷ 21 (1N4148)
D8, D9	- dioda LED ϕ 5 mm kolor świecenia czerwony
D10	- BVP 401-100 ÷ 1000 (1N4002 ÷ 0007)
D11, D12	- BZP 683 C15 (BZX 79 na napięcie 15 V)
R1, R10, R11, R13, R15, R17, R20	- 47 k Ω /0,125 W
R2, R4, R6, R8	- 10 k Ω /0,125 W
R3, R7	- 12 k Ω /0,125 W
R5	- 6,2 k Ω /0,125 W
R9, R12	- 33 k Ω /0,125 W
R14	- 100 k Ω /0,125 W
R16, R19	- 2 k Ω /0,125 W
R18*	- 1,5 k Ω /2 W dla typu przekaźnika podanego w wykazie
R21, R22	- 3 k Ω /2 W
P1	- 1 k Ω typ TVP 1232 "stojący"
TER1, TER2	- termistor NTC, typ dowolny, rezystancja 10 ÷ 40 k Ω przy temp. 20°C
C1, C2, C6, C7	- 47 μ F/25 V typ 04/U
C3, C4	- 1 μ F/40 V typ 04/U
C5	- 100 μ F/25 V typ 04/U
PK1	- RM 82P/24 V/8 A
WŁ1	- włącznik monostabilny, typ dowolny

płytką drukowaną numer 115

Płytką drukowaną wysyłana jest za zaliczeniem pocztowym.

Cena: 12.600 zł + koszty wysyłki.

Ciąg dalszy w następnym numerze.

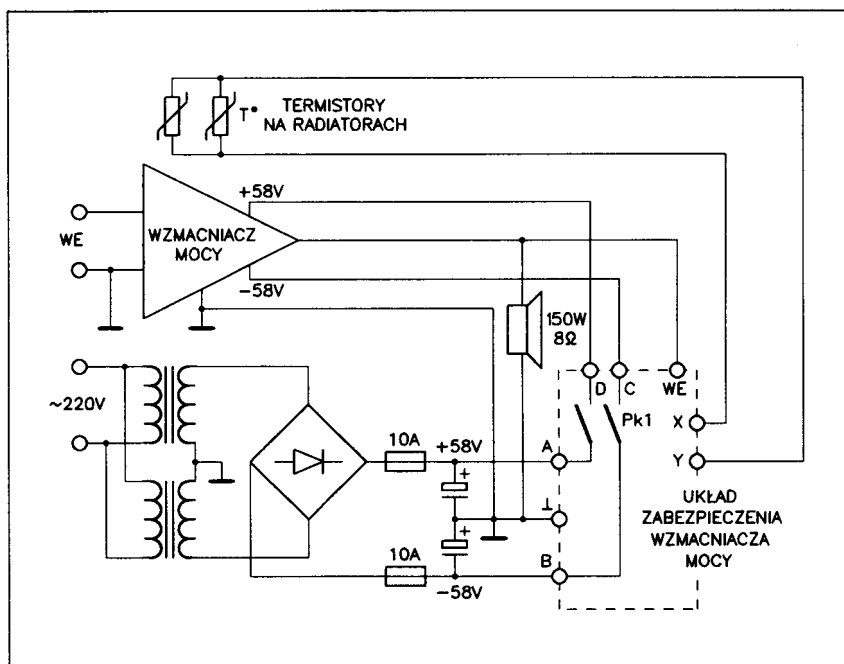
Wzmacniacz akustyczny dużej mocy – dokończenie

Montaż i uruchomienie

Montaż układu zabezpieczającego wzmacniacz mocy nie powinna sprawić trudności. Uruchomienie polega na takim ustawieniu potencjometru P1, aby dioda D9 zaświeciła się przy przekroczeniu przez oba termistory temperatury $+45^{\circ}\text{C}$. Typ zastosowanych termistorów nie ma żadnego praktycznego znaczenia. Wartość rezystancji w temperaturze pokojowej może zawierać się w granicach $10 \div 40 \text{ k}\Omega$. Termistory montuje się

bezpośrednio na tranzystorach mocy (T10 i T14). Montaż powinien zapewniać dobry kontakt termiczny tranzystora z termistorem. Działanie zabezpieczenia przed wzrostem napięcia stałego można sprawdzić doprowadzając do wejścia układu napięcie zmienne z generatora, na które nałożono składową stałą. Przy przekroczeniu przez składową stałą wartości 3, lub -3 V , powinna zapalić się dioda D8.

Połączenie układu zabezpieczającego ze wzmacniaczem mocy przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3 Schemat podłączenia układu zabezpieczającego do wzmacniacza

We wzmacniaczu mocy zastosowano tranzystory o wysokim napięciu kolektor-emiter (U_{CE}). Zostało to podyktowane wysokim napięciem zasilania. Dostępne na rynku krajowym tranzystory przeznaczone do zastosowań analogowych (nie mylić z tranzystorami stosowanymi w zasilaczach impulsowych) z reguły charakteryzują się napięciem $U_{CE} = 100 \text{ V}$. Napięcie zasilające wzmacniacz wynosi $\pm 58 \text{ V}$, co wymaga stosowania tranzystorów o napięciu kolektor-emiter powyżej 120 V . Przeprowadzone próby wskazują jednak, że większość tranzystorów bez problemów wytrzymuje wyższe napięcie.

Jednakże aby być całkowicie pewnym wytrzymałości napięciowej należy zmierzyć napięcie przebicia kupionych tranzystorów.

Pomiar jest bardzo prosty i nie powoduje uszkodzenia tranzystorów. Na rysunku 4 zamieszczono schemat układu do pomiaru napięcia przebicia złącza kolektor-emiter. Urządzenie zasilane jest z sieci energetycznej 220 V. W układzie zastosowano dwa jednakowe transformatory sieciowe, których uzwojenia wtórne zostały połączone ze sobą. Typ, oraz moc transformatorów nie mają żadnego znaczenia. Ważne jest tylko to, aby oba były jednakowe. Takie połączenie pozwala uzyskać napięcie zmienne 220 V, z separacją galwaniczną. Powstaje więc transformator bezpieczeństwa o mocy równej mocy transformatorów.

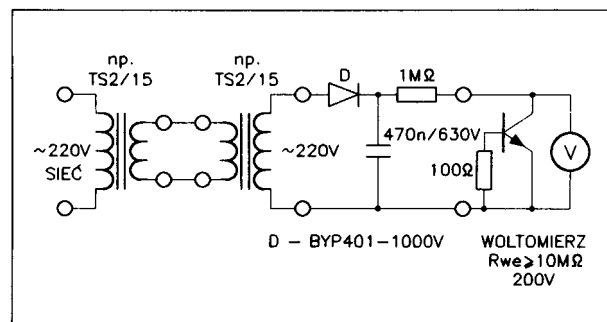
Dioda prostownicza D1 na napięcie przebicia 1000 V i kondensator C1 tworzą prostownik półokresowy. Rezystor R1 ogranicza prąd płynący przez badany tranzystor. Do pomiaru napięcia służy woltomierz napięcia stałego o zakresie min. 200 V i rezystancji wewnętrznej większej od 10 M Ω . Włączenie zasilania (bez podłączonego tranzystora) pozwoli nam na pomiar napięcia, które zostanie doprowadzone do tranzystora. Dla podanych wartości elementów wynosi ono ok. 280 V. Następnie należy wyłączyć zasilanie i poczekać, aż kondensator C1 rozładuje się. Po podłączeniu badanego tranzystora można włączyć zasilanie. Miernik wskaże napięcie przebicia złącza kolektor-emiter. Do wykorzystania we wzmacniaczu nadają się tranzystory, których napięcie przebicia jest wyższe od 140 V (przyjęto pewien zapas napięcia).

Tabela 1

Typ tranzystora	Typ przewodnictwa	Napięcie U_{CE}	Prąd kolektora max.	Moc strat	h_{21}/I_C	Uwagi napięcie U_{CE}	Wymagane
TIP 142	nnp	100 V	20 A	125 W	1000/5 A	Darlington	140 V
TIP 147	pnp	100 V	20 A	125 W	1000/5 A	Darlington	140 V
BD 681	nnp	100 V	6 A	40 W	750/1,5 A	Darlington	140 V
BD 682	pnp	100 V	6 A	40 W	750/1,5 A	Darlington	140 V
BD 139	nnp	80 V	1 A	6,5 W	100/0,15 A		80 V
BD 127	nnp	250 V	0,5	17,5 W	100/50 mA		140 V
BC 161	pnp	60 V	1 A	0,65 W	100/100 mA		70 V

Po dobraniu tranzystorów można przystąpić do montażu wzmacniacza. Pierwszą czynnością jest zmontowanie zasilacza, który jest odrębnym podzespołem (nie mieści się na płytce drukowanej). Mostek prostowniczy umieszczono na radiatorze aluminiowym o powierzchni ok. 100 cm². Do zasilania wzmacniacza zastosowano dwa transformatory o mocy 200 W każdy, typu TS 200/10. Każdy z transformatorów posiada dwa identyczne uzwojenia wtórne dostarczające napięcia 19,1 V/5 A. Uzwojenia te połączono szeregowo, otrzymując napięcie zmienne ok. 38 V/5 A. Połączenie obu transformatorów umożliwia zbudowanie zasilacza dostarczającego napięcia ok. ± 62 V przy biegu jałowym, i 55 V przy obciążeniu prądem 4 A. W przypadku gdy napięcie wyjściowe w zasilaczu jest zbyt duże

W tabeli 1 podajemy podstawowe parametry katalogowe tranzystorów zastosowanych we wzmacniaczu. Pozwoli to na zorientowanie się w wymaganiach stawianych tym tranzystorom i ewentualne wyszukanie zamienników. W ostatniej rubryce tabeli podano napięcia jakie powinny "wytrzymać" tranzystory.



Rys. 4 Schemat układu do pomiaru napięcia przebicia tranzystorów

Tranzystory mocy TIP 142 i TIP 147, a także BD 681 i BD 682 powinny być dobrane w pary, w których rozrzut współczynnika wzmocnienia prądowego nie przekracza 20%. Bliższe informacje na temat "parowania" tranzystorów można znaleźć w Praktycznym Elektroniku nr 1 i 2/93.

można odwinąć jednakową liczbę zwojów z każdego uzwojenia wtórnego (ok. 3 zw/1 V).

Uwaga! Po włączeniu zasilania nie wolno pod żadnym pozorem dotykać kondensatorów, ani mostka prostowniczego. Napięcie zasilające wzmacniacz jest niebezpieczne dla życia. Nie wolno także rozładowywać naładowanych kondensatorów przez zwarcie wyprowadzeń, gdyż grozi to ich uszkodzeniem. Do rozładowywania najlepiej zastosować rezystor $30 \div 50 \Omega/5$ W.

Następnie można przystąpić do montażu wzmacniacza. Na płytce drukowanej w miejscach montażu rezystorów o mocy 5 W, oraz rezystorów R9 i R11 znajdują się kwadratowe pola miedzi. Należy tam wywiercić otwory o średnicy 5 mm, umożliwiające przepływy

powietrza. Rezystory dużej mocy montuje się na wysokości ok. 1 cm nad powierzchnią płytki drukowanej.

Do wstępnego uruchomienia należy zamontować wszystkie elementy za wyjątkiem tranzystorów końcowych T10, T11, T14, T15.

Na rysunku montażowym został popełniony błąd w opisie tranzystora T8, który opisano jako T4 (chodzi tu o tranzystor umieszczony wzdłuż krawędzi płytki drukowanej obok tranzystora T5).

Tranzystory T8, T12, T5 przykręca się prowizorycznie do dwóch niewielkich radiatorów wykonanych z blachy aluminiowej. Tranzystor T5 należy odizolować elektrycznie od radiatora za pomocą przekładki mikowej. Radiatory nie mogą się stykać ze sobą, gdyż występuje na nich napięcie zasilające, o przeciwnej polaryzacji. Do wyjścia wzmacniacza podłącza się rezystor o wartości ok. 100 Ω/5 W. Wszystkie potencjometry ustawia się w pozycji środkowej.

Wzmacniacz jest teraz gotowy do wstępnego uruchomienia. Przed włączeniem zasilania trzeba upewnić się, że w układzie nie ma żadnych zwarc, a całość układu leży stabilnie na stole. Po włączeniu zasilania potencjometrem P1 ustawia się stałe napięcie wyjściowe wzmacniacza na 0 V ±0,1 V. Regulacja ta przebiega w sposób skokowy, tzn. kręcąc potencjometrem powodujemy przerzut napięcia wyjściowego z maksymalnego na minimalne. Na pewnym odcinku drogi suwaka potencjometru P1 możliwe jest ustawienie zerowego napięcia wyjściowego. Na schemacie ideowym i opisie płytki drukowanej pomyłkowo opisano dwa potencjometry jako P1. Potencjometr znajdujący się obok tranzystora T5 powinien nosić miano P2.

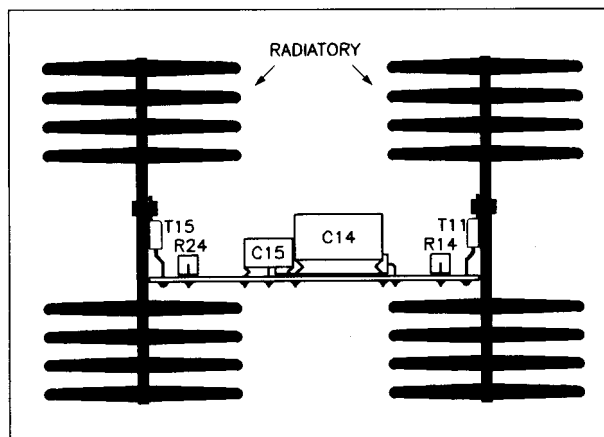
Można teraz przystąpić do kontroli napięć w poszczególnych punktach układu. Celowo nie podajemy napięć bezwzględnych, gdyż zależą one od napięcia zasilającego wzmacniacz. Wykaz napięć podajemy w tabeli 2. Pierwsza kolumna tabeli podaje miejsce do którego przykładamy dodatni biegun woltomierza, a druga miejsce ujemnego bieguna. W trzeciej kolumnie podana jest wartość napięcia.

Tabela 2

Plus woltomierza	Minus woltomierza	Napięcie [V]
Kolektor T3	Masa	0,6 ±0,1
Kolektor T1	Minus zasilania	1,2 ±0,2
Plus zasilania	Baza T3	1,8 ±0,5
Plus zasilania	Baza T4	1,8 ±0,5
Kolektor T4	Wyjście	1,4 ±0,5
Wyjście	Kolektor T7	1,4 ±0,5
Kolektor T5	Emiter T5	2 ÷ 3,5 ±0,5*

* – Napięcie mierzone dla obu skrajnych położen suwaka potencjometru P1.

Jeżeli po pomiarach, napięcia w punktach układu odpowiadają napięciom podanym w tabeli, można wyłączyć wzmacniacz i wlotować tranzystory mocy. T10, T11, T14, T15, które przykręca się do dwóch odrębnych radiatorów. W modelowym wzmacniaczu zastosowano radiatory dwustronnie żebrowane o długości 30 cm każdy. Tranzystory mocy posmarowano smarem silikonowym i przykręcono bezpośrednio do radiatora. Tranzystor kompensacji temperaturowej T5 musi być odizolowany elektrycznie od radiatora za pośrednictwem podkładki mikowej. Przy mocowaniu wzmacniacza w obudowie należy pamiętać, że radiatory znajdują się na potencjale napięć zasilających i nie mogą stykać się z masą.



Rys. 5 Montaż tranzystorów mocy na radiatorze

Następnie do wyjścia wzmacniacza podłącza się rezystor 8 Ω/100 ÷ 150 W (można zastosować połączone równolegle rezystory drutowe o mocy 10 W lub 25 W i odpowiedniej rezystancji). Po włączeniu zasilania regulując bardzo delikatnie potencjometrem P1 ustawiamy na wyjściu napięcie stałe 0 ±0,1 V.

Kolejną czynnością jest ustawienie prądu spoczynkowego tranzystorów mocy na 30 mA, regulując potencjometrem P2. Pomiar prądu przeprowadza się metodą pośrednią mierząc spadek napięcia na jednym z rezystorów emiterowych np. R14. Dla wartości tych rezystorów wynoszącej 0,22 Ω spadek napięcia na R14 powinien wynieść 6,6 mV. Jeżeli wartość prądu spoczynkowego jest duża i nie zależy od ustawienia potencjometru P2 najprawdopodobniej nastąpiło wzbudzenie się wzmacniacza, które objawia się także obecnością napięcia zmiennego na wyjściu wzmacniacza. W takim przypadku należy zwiększyć wartości kondensatorów C10 do 33 pF, C9*, C13*, C20*, C21* do 100 pF. Można też równolegle do rezystora R15 dołączyć kondensator o wartości ok. 15 ÷ 47 pF.

Kolejną czynnością jest kontrola pracy wzmacniacza, polegająca na pomiarze oscyloskopem zmiennego napięcia wyjściowego.

Do wejścia wzmacniacza doprowadzamy przebieg sinusoidalny z generatora m.cz., przeprowadzając obserwację przebiegu na ekranie. Dla pełnej mocy wyjściowej amplituda przebiegu wyjściowego powinna wynosić 49 V na rezystancji obciążenia 8 Ω .

Regulację ogranicznika prądowego przeprowadza się przy dołączonym obciążeniu 2 Ω . Potencjometrami P3 i P4 ustawia się amplitudę napięcia równą 20 V, przy której następuje ograniczenie przebiegu. Ograniczenie powinno być jednakowe dla obu połówek sygnału.

Podczas sprawdzania wzmacniacza należy zwrócić szczególną uwagę na wzbudzenia w.cz. Najłatwiej jest je zaobserwować przy pomocy oscyloskopu. Nawet niewielki wzbudzenie (o małej amplitudzie może być przyczyną uszkodzenia wzmacniacza. Dla prawidłowej pracy wzmacniacza istotne jest także właściwe prowadzenie mas i przewodów zasilających. Wzmacniacz badano w układzie pokazanym na rys. 3. Dlatego też polecam fizyczne odzwierciedlenie połączeń tam narysowanych.

Wykaz elementów

T1, T2	- BC 161	R3	- 510 Ω /0,125 W
T3, T4, T12	- BD 682	R4, R5	- 33 k Ω /0,5 W
T5	- BD 139	R6	- 120 Ω /0,125 W
T6, T7	- BD 127	R7	- 6,8 k Ω /0,125 W
T8	- BD 681	R8	- 2 k Ω /0,125 W
T9	- BC 237B lub dowolny nnp $h_{21} \geq 250$, $U_{CE} \geq 40$ V	R9, R19	- 390 Ω /0,5 W
T10, T11	- TIP 142	R10, R20	- 47 Ω /0,125 W
T13	- BC 307B lub dowolny pnp $h_{21} \geq 200$, $U_{CE} \geq 40$ V	R11, R12,	
T14, T15	- TIP 147	R21, R22	- 150 Ω /0,125 W
D1÷D10	- BAVP 17÷21 (1N4148)	R13, R14,	
PR1	- mostek prostowniczy 10 A/400 V np. BR 104, KBPC 1504 (15 A/400 V)	R23, R24	- 0,22 Ω /5 W typ RDO 5
R1, R17	- 1 k Ω /0,125 W	R16	- 680 Ω /0,125 W
R2, R15	- 33 k Ω /0,125 W	R18	- 470 Ω /0,125 W
		R25	- 4,7 Ω /5 W typ RDCO 5
		R26	- 10 Ω /5 W typ RDCO 5
		C1, C7	- 1 μ F/100 V typ MKSE-018-02
		C2	- 56 pF typ KCPf
		C3, C4	- 47 μ F/25 V typ 04/U
		C5, C6	- 100 μ F/63 V typ 04/U
		C8, C12	- 10 nF typ KFP
		C9, C13	- 56 pF/160 V typ KCP
		C10	- 18 pF/160 V typ KCP
		C14	- 1 μ F/250 V typ MKSE-018-02
		C15	- 100 nF/100 V typ MKSE-018-02
		C16, C17,	
		C18, C19	- 10000 μ F/63 V typ dowolny
		L1	- cewka powietrzna nawinięta drutem ϕ 1 mm na trzpieniu ϕ 13 mm, 30 zwojów
		TR1, TR2	- TS 200/10
		B1	- bezpiecznik miniaturowy 3,15 A
		B2, B3	- bezpiecznik miniaturowy 10 A
			plytka drukowana numer 108
			Płytką drukowaną wysyłana jest za zaliczeniem pocztowym.
			Cena: 35.000 zł + koszty wysyłki.