

**Stereofoniczny  
zestaw odtwarzający  
wysokiej jakości  
2 x 10 W**

mgr inż. Michał Gołębiowski

Opis dotyczy modelu wykonanego na zlecenie redakcji i praktycznie wypróbowanego przez konstruktora

Mimo szybkiego postępu techniki tranzystorowej w dalszym ciągu dość często wykonywane są przez radioamatorów urządzenia elektroakustyczne wyposażone w lampy elektronowe. Taki stan rzeczy uzasadnia wciąż jeszcze wysoki koszt elementów półprzewodnikowych oraz fakt, że uruchomienie układów tranzystorowych jest na ogół trudniejsze i bardziej kłopotliwe od ich

odpowiedników lampowych oraz wymaga dobrej znajomości zagadnienia i dużego doświadczenia praktycznego.

Niniejszy opis jest adresowany do średnio zaawansowanych radioamatorów, którzy mają już pewne osiągnięcia w budowie urządzeń elektroakustycznych i chcieliby stosunkowo tanim kosztem dorobić się zestawu odtwarzającego wyższej jakości.

**DANE TECHNICZNE WZMACNIACZA STEREOFONICZNEGO**

Maksymalna moc wyjściowa przy zniekształceniach nieliniarnych w paśmie 40÷16 000 Hz i  $R_{obc} = 7,5 \Omega$  mniejszych od 1% (sygnał sinusoidalny):  $2 \times 10$  W

Charakterystyka częstotliwościowa przy nierównomierności na krańcach pasma 1,5 dB: 30÷20 000 Hz

Regulacja barwy dźwięku względem częstotliwości 1000 Hz:  
przy 80 Hz: +6 dB÷-12 dB  
przy 12 kHz: +6 dB÷-15 dB

Tłumienie przesłuchu między kanałami w pasmie 30÷16 000 Hz:  $\geq 40$  dB

Regulacja równowagi stereofonicznej (balansu):  $\pm 6$  dB

Opór wejściowy:

wejście „adapter magnetyczny” — 100 k $\Omega$

wejście „adapter krystaliczny” — 100 k $\Omega$

wejście „mikrofon” — 80 k $\Omega$

wejście „radio” — 1 M $\Omega$

wejście „dodatkowe” — 0,5 M $\Omega$

Napięcie wejściowe dla uzyskania maksymalnej mocy wyjściowej przy  $f = 1000$  Hz i  $R_{obc} = 7,5 \Omega$ :

wejście „adapter magnetyczny” — 5 mV

wejście „adapter krystaliczny” — 70 mV

wejście „mikrofon” — około 4 mV

wejście „radio” — 330 mV

wejście „dodatkowe” — 150 mV

Odstęp sygnału od zakłóceń przy maksymalnej mocy wyjściowej:  $\geq 50$  dB

Podsok napiecia wyjściowego przy odłączeniu obciążenia:  $\leq 1$  dB

Zasilanie z sieci: 220 V, 50 Hz, maksymalny pobór mocy 55 W.

Pozostałe parametry przedstawiono w postaci odpowiednich charakterystyk na rys. 7, 8 i 9.

**DZIAŁANIE WZMACNIACZA STEREOFONICZNEGO**

Układ wzmacniacza można podzielić na dwie części:

1) stopnie wejściowe kształtujące charakterystykę częstotliwościową i umożliwiające uzyskanie odpowiedniego oporu wejściowego oraz wzmocnienia napięciowego,

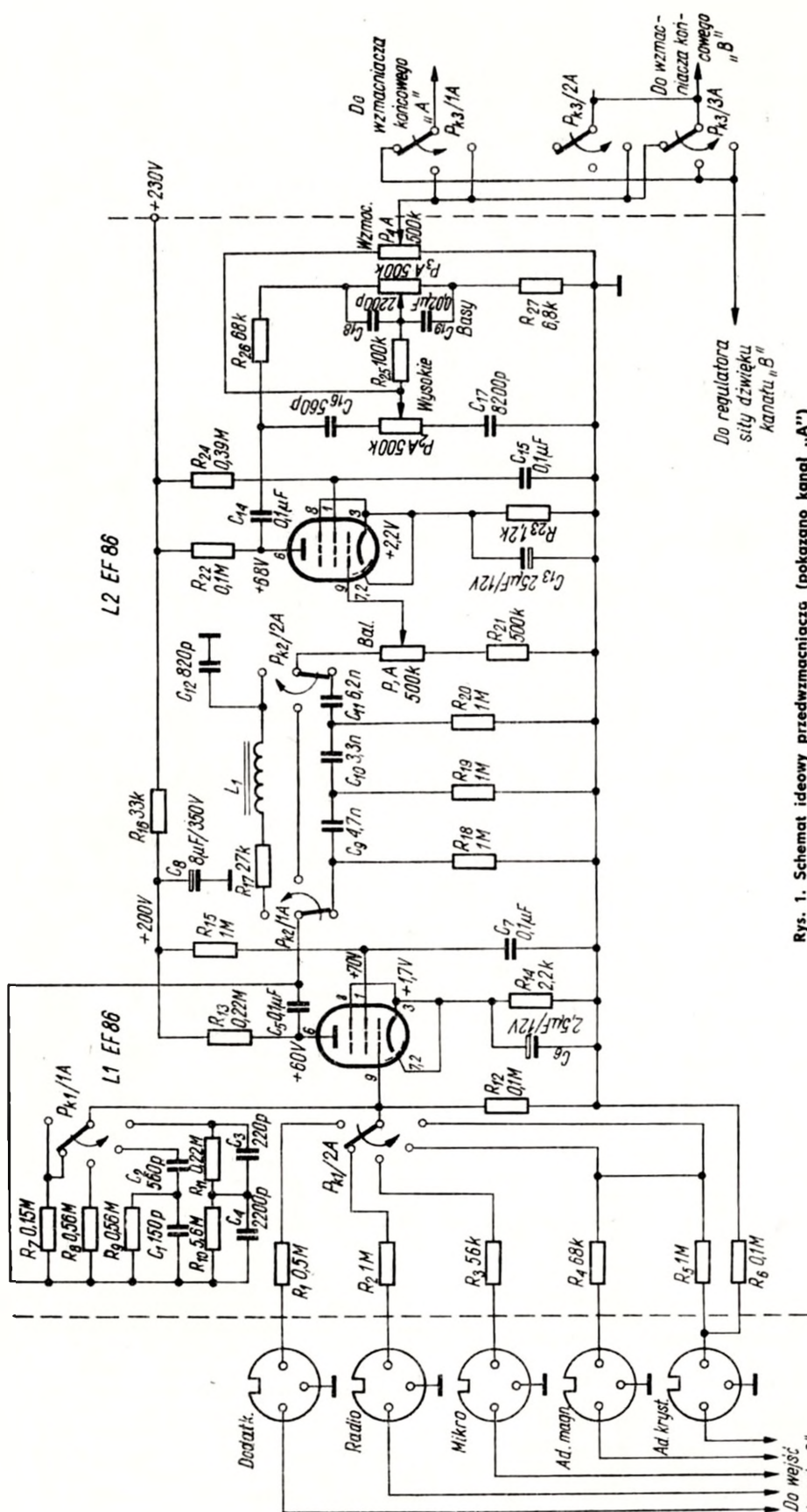
2) wzmacniacz końcowy (mocy).

Schemat ideowy przedwzmacniacza przedstawiono na rys. 1. Między liniami przerywanymi przedstawiony jest tylko jeden kanał; dla uzyskania całości należy tę część rysunku powtórzyć.

Wzmacniacz ma 5 wejść: dodatkowe, dla radioodbiornika, mikrofonu, przetwornika magnetycznego i przetwornika krystalicznego. Przelączenie wejść, a także obwodów sprzężenia zwrotnego dokonywane jest za pomocą 4-sekcyjnego 5-położeniowego przełącznika  $P_{A1} - A$  i B.

Każdy kanał przedwzmacniacza ma dwa stopnie wzmocnienia napięciowego z pentodami EF86 o małym efekcie mikrofonowania. Elementy korekcji charakterystyk częstotliwościowych znajdują się w pierwszym stopniu i są włączone między anodę a siatkę lampy. Dzięki silnemu sprzężeniu zwrotnemu uzyskano mały opór obwodu siatki sterującej lampy, co wydatnie zmniejsza napięcia zakłócające. Oporniki  $R_1 - R_3$  włączone szeregowo z odpowiednimi wejściami realizują dopasowanie do danego typu przetwornika. Wartości tych elementów dobrano pod względem przystosowania wzmacniacza do współpracy z szerokim asortymentem przetworników elektroakustycznych.

Drugi stopień wzmocnienia został zbudowany tak, aby uzyskać maksymalne wzmocnienie. Napięcie wyjściowe za układem regulacji barwy dźwięku jest równe około 200 mV. W układzie regulacji barwy dźwięku zastosowano sprzężone potencjometry liniowe  $P_2$ , A i B oraz  $P_3$ , A i B. Dzięki ich charakterystyce uzyskuje się liniowe zmiany charaktery-



Rys. 1. Schemat ideowy przedwzmacniacza (pokazano kanał „A”)

styk częstotliwościowych w funkcji obrotu potencjometrów.

Regulator balansu (równowagi stereofonicznej) stanowią sprzężone przeciwnie potencjometry liniowe P<sub>1</sub> A i B, co umożliwia wyrównanie wzmacnienia obu kanałów bez zmiany ogólnej mocy oddawanej wspólnie przez oba kanały.

Regulacja wzmacnienia odbywa się za pomocą podwójnego potencjometru logarytmicznego P<sub>4</sub> A i B.

Wzmacniacz wyposażono ponadto w dwa filtry kształtujące charakterystykę częstotliwościową: „szumowy” i „tętnieniowy” włączane przełącznikami P<sub>k2</sub> A i B. Zmieniając wartość elementów RLC członów kształtujących wchodzących w skład tych filtrów, można oddziaływać na kształt charakterystyk (rys. 5).

Przełącznik P<sub>k3</sub> A i B umożliwia pracę obu kanałów w systemie stereofonicznym, a także zmianę kanałów miejscami

lub łączenie ich równolegle dla odbioru monofonicznego.

Zniekształcenia nielinearne wnoszone przez przedwzmacniacz nie przekraczają w normalnych warunkach pracy 0,15%. Odpowiednie charakterystyki częstotliwościowe przedstawia rys. 6.

Stoień mocy (rys. 2) jest wzmacniaczem przełącznym kl. AB, w którym pracują systemy pentodowe lamp ECL86 w układzie ultraliniowym. Zasilanie siatek ekranujących lamp mocy z odczepów transformatora wyjściowego wprowadza ujemne sprzężenie zwrotne. Powoduje to zmniejszenie zniekształceń nieliniarnych i obniżenie oporu wewnętrznego wzmacniacza.

Lampa ECC83, wspólna dla obu kanałów, pracuje jako wzmacniacz napięciowy, zaś części triodowe lamp ECL86 tworzą odwracacz fazy. Sprzężenie pomiędzy stopniem wejściowym a odwracaczem fazy jest bezpośrednie, aby zmniejszyć błędy przesunięć fazowych przy najmniejszych częstotliwościach, a przez to zwiększyć stabilność wzmacniacza.

Cały wzmacniacz końcowy objęty jest pętlą silnego ujemnego sprzężenia zwrotnego, biegnącego z wyjścia transformatora do katody lampy ECC83. Sprzężenie to zmniejsza zniekształcenia nielinearne do około 1% oraz ustala opór wyjściowy wzmacniacza na około 0,2 Ω.

Przy budowie wzmacniacza szczególną uwagę trzeba zwrócić na prawidłowe wykonanie transformatorów wyjściowych. Ze względu na działanie ujemnego sprzężenia zwrotnego powinny one przenosić częstotliwości do około 100 kHz, a więc odznaczać się małą indukcyjnością rozproszenia. Sposób wykonania transformatora ilustruje rys. 3.

Poszczególne rozmieszczenie sekcji, ich początków i końców, powinno być symetryczne, a liczby zwojów analogicznych sekcji, szczególnie uzwojenia wtórnego, ściśle jednakowe. Dla spełnienia tego warunku transformator powinien być wykonany bardzo starannie, a nawijanie wykonane z odwracaniem korpusu — jak to wynika z rys. 3. Najlepiej, aby sekcje miały parzystą liczbę warstw, wówczas wyprowadzenia znajdują się przy zewnętrznej ślance korpusu. Jeżeli w żaden sposób nie można uzyskać pełnej warstw, to ostatnią warstwę niepełną rozciąga się na całą długość uzwojenia lub lepiej zdecydować się na proporcjonalną zmianę liczby zwojów, dobór innej średnicy drutu, albo zastosowanie innego rdzenia.

Transformator wyjściowy najkorzystniej jest nawinąć na rdzeniu o orzekroju 9÷12 cm<sup>2</sup> (np. od transformatora sieciowego odbiornika „Tatry”). Poszczególne warstwy należy izolować bibułką kondensatorową, a sekcje podwójną warstwą ceratki olejowej.

Czułość wzmacniacza końcowego bez sprzężenia zwrotnego jest równa około 8 mV, a po zamknięciu pętli sprzężenia zwrotnego — 200 mV.

Zasilacz sieciowy (rys. 4) pracuje w konwencjonalnym układzie prostownika dwupołokowego i dostarcza prąd średni 150 mA przy napięciu wyprostowanym 265 V. Uzwojenie żarzenia powinno wytrzymać obciążenie do 4 A. Jest ono zwarte potencjometrem P<sub>6</sub> (usuwanie przydzwięku sieci).

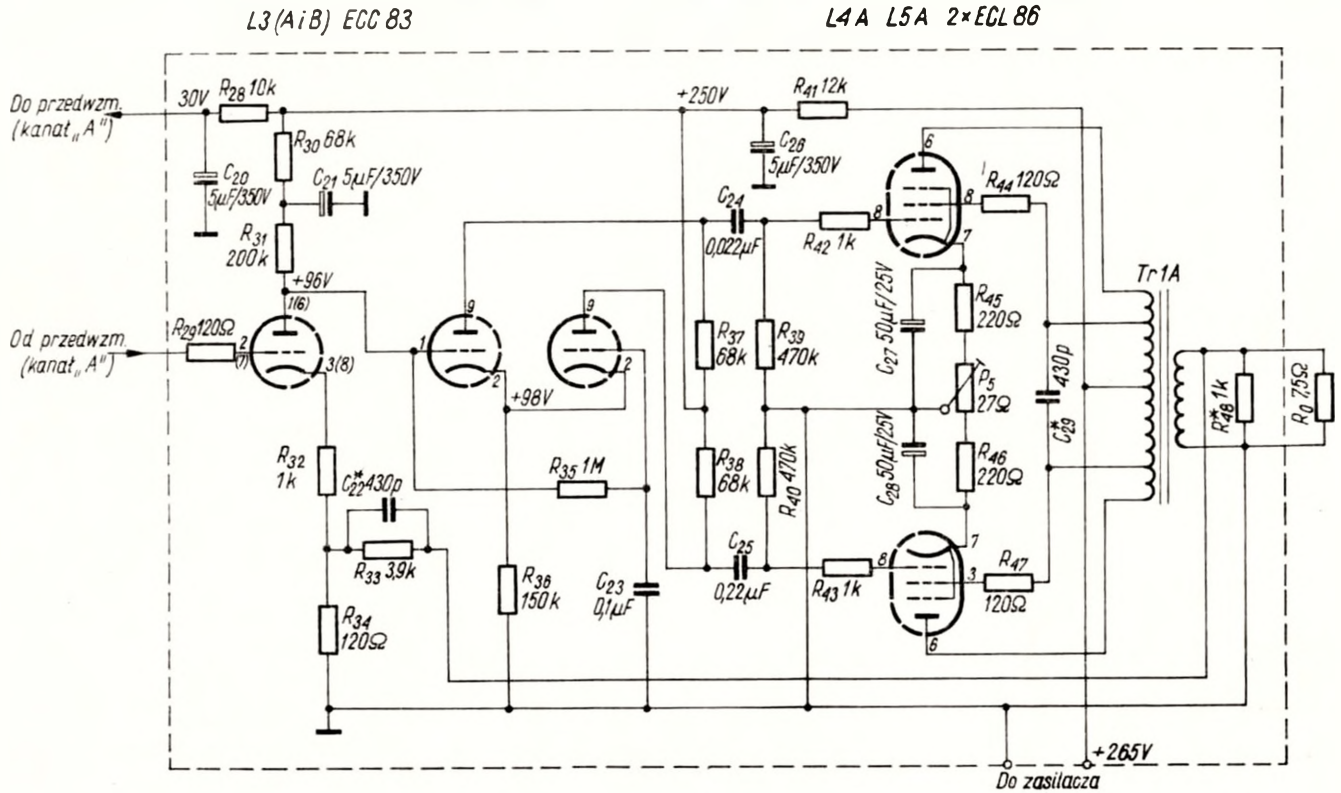
Transformator sieciowy został nawinęty na rdzeniu od odbiornika „Symfonia”.

Może być użyty również inny rdzeń o przekroju środkowej kolumny co najmniej 12 cm<sup>2</sup>. Dławik można wykonać wykorzystując w tym celu transformator głośnikowy od odbiornika „Stolica” lub podobny o przekroju około 4 cm<sup>2</sup>. Uzwojenie nawijać masowo przewodem DNE Ø 0,45 aż do wypełnienia korpusu. Dla

wanego wzmacniacza, lub też może pracować jako wskaźnik sygnału stereofonicznego w układzie jak na rys. 13. Wskaźnik działa w ten sposób, że jeśli z obu kanałów A i B przychodzi jednokowy sygnał, to rozświetlona część ekranu wskaźnika nie zmienia swojej powierzchni, w przeciwnym razie po-

jącej, połączonej z chassis w pobliżu zasilacza sieciowego, jak również stosując jak najkrótsze połączenia. Ze względu na szerokie pasmo przenoszenia należy użyć przewodów ekranowanych ograniczyć do koniecznego minimum.

Wzmacniacz mocy oraz zasilacz sieciowy zamontowano bezpośrednio na chassis.



Rys. 2. Schemat ideowy wzmacniacza końcowego (pokazano kanał „A”)

zwiększenia współczynnika bezpieczeństwa zamiast pojedynczych diod DK62 można użyć połączonych szeregowo dwóch diod DK61, zbocznikowanych opornikami około 1 MΩ/0,5 W.

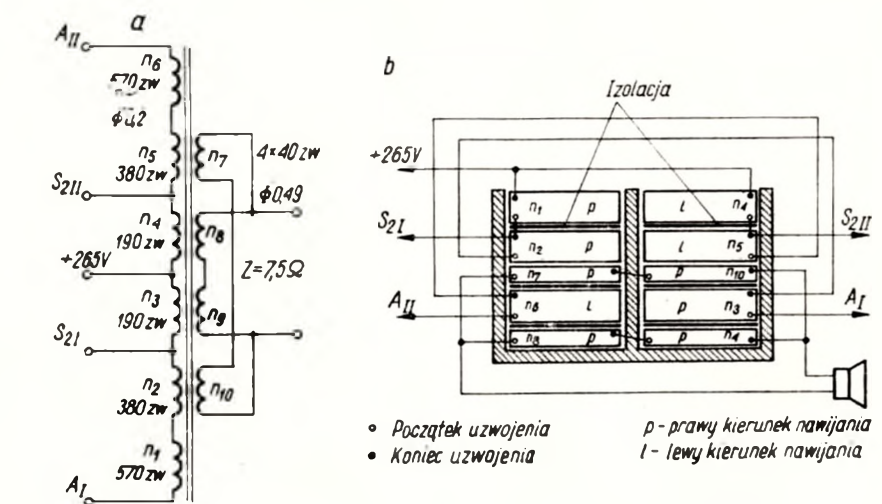
### KONSTRUKCJA WZMACNIACZA STEREOFONICZNEGO

Wzmacniacz wraz z zasilaczem sieciowym umieszczono w obudowie drewnianej o rozmiarach 640 × 210 × 350 mm (skrzynka od odbiornika „Arkona”). Na płytę czołową wprowadzono następujące elementy regulacyjne: przełącznik P<sub>k1</sub> A i B (przełącznik klawiszowy z odbiornika TV „Opal”), przełączniki P<sub>k2</sub> A i B, P<sub>k3</sub> A i B (przełącznik klawiszowy odbiornika TV „Lazuryt”), regulatory barwy dźwięku, balansu oraz wzmacnienia, jak również umieszczono wyjścia głośnikowe obu kanałów i lampkę kontrolną sieci. Na ścianie tylnej umieszczono gniazda wejściowe, zacisk uziemiający oraz bezpieczniki zasilacza.

Montaż urządzenia wykonano w trzech podzespołach, a mianowicie:

- przedwzmacniacz,
- wzmacniacz końcowy mocy,
- zasilacz sieciowy.

Widok ogólny wzmacniacza oraz od strony podzespołów przedstawiają rys. 10, 11 i 12. Widoczny na zdjęciu elektroniczny wskaźnik dostrojenia („oko magiczne”) jest przeznaczony do sygnalizacji pracy dekodera FM, który może być zamontowany jako przystawka do opisy-



Rys. 3. Transformator sieciowy. Uzwojenia nawinięto drutem DNE

a - schemat uzwojeń, b - sposób nawijania

wierzchnia rozświetlona ulega zmianom.

Aby uniknąć wpływu sygnałów zakłócających, przedwzmacniacz zamknięto w oddzielnym pudełku z blachy aluminiowej, gdzie umieszczono również pierwszy stopień wzmacnienia wzmacniacza końcowego (lampa ECC83). Obudowę przedwzmacniacza przymocowano do płyty czołowej urządzenia.

Niski poziom szumów i przydźwięku osiągnięto stosując staranny i przemysłowy montaż, a więc łącząc poszczególne elementy do wspólnej szyny uziemia-

Transformator sieciowy zaekranowano magnetycznie i umieszczono tak, aby jego pole rozproszone możliwie mało wpływało na pierwszy stopień przedwzmacniacza.

### URUCHOMIENIE

Uruchamiając urządzenie należy wykonać następujące czynności:

1. Sprawdzić prawidłowość montażu całego urządzenia.

z. Uruchomić zasilacz sieciowy, tj. sprawdzić prawidłowość napięć przy obciążeniu nominalnym (265 V, 150 mA oraz 6,3 V~, 4 A).

3. Uruchomić wzmacniacz końcowy. Czynność ta przebiega w następujący sposób: wyjście transformatora głośnikowego należy zamknąć opornikiem obciążenia 7,5 Ω i odłączyć sterowanie z przedwzmacniacza. Jeżeli wzmacniacz będzie oscylował na częstotliwości ponadakustycznej, należy dobrać odpowiednio ele-

menty  $C_{22}$  i  $C_{30}$ . Jeśli oscylacje powstają na częstotliwości podakustycznej, należy zwiększyć pojemności  $C_{21}$ ,  $C_{26}$  w filtrach odprzegających. Odłączenie opornika obciążenia nie powinno powodować przepięć w transformatorze wyjściowym. Jeżeli jednak zjawisko to występuje, należy zmniejszyć wartość opornika tłumiącego  $R_{18}$ . Następnie ustala się symetrię prądów anodowych części pentodowych lamp ECL86, odpowiednio nastawiając potencjometr  $P_3$ .

kształceń nieliniowych i oscylacji pasywnych.

4. Uruchomienie przedwzmacniacza. Polega ono na sprawdzeniu prawidłowości napięć w punktach charakterystycznych, skontrolowaniu działania regulatorów barwy dźwięku, balansu i wzmacnienia. Szumy i przydźwięk sieciowy sprawdza się po przyłączeniu wzmacniacza końcowego na oporniku obciążenia 7,5 Ω przy pełnym wzmacnieniu.

## OBUDOWY GŁOŚNIKOWE

Wzmacniacz współpracuje z dwoma zespołami głośników. W każdej obudowie znajdują się dwa głośniki GD20,5F, lub GD31-21/5 oraz dwa głośniki GDW 6,5/1,5. Połączenia głośników z filtrem rozdzielającym o nachyleniu 12 dB/okt dokonano jak na rys. 14. Częstotliwość graniczna filtru wynosi około 4000 Hz. Indukcyjność cewki  $L = 0,4$  mH, pojemność kondensatora  $C = 4$  μF. Na korpusie bez rdzenia, przedstawionym na rys. 14, nawinięto 125 zwojów przewodu DNE Ø 1,4. Zastosowanie filtru rozdzielającego umożliwia przetwarzanie dużej mocy akustycznej bez nadmiernych zniekształceń i przy lepszej średniej sprawności.

Głośniki zespołu niskotonowego i wysokotonowego powinny być połączone w taki sposób, aby po wyłączeniu filtru fazy ruchu ich membran były przeciwne. Wpływa to korzystnie na charakterystykę częstotliwościową w odcinku pokrywania się zakresów odtwarzania.

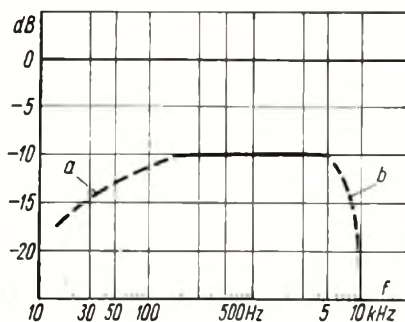
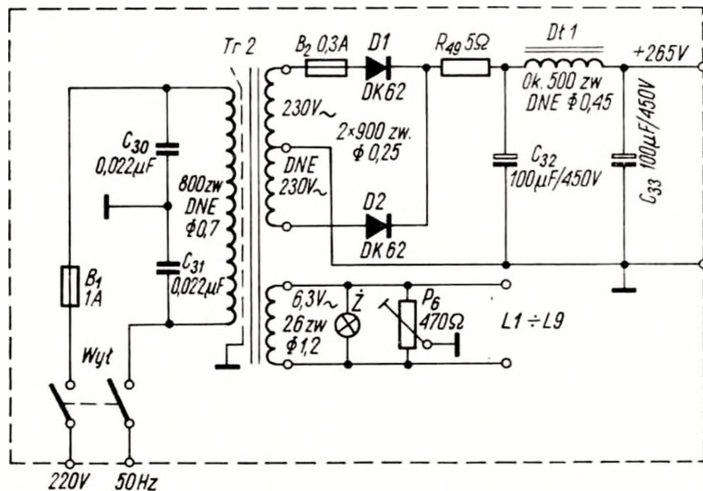
Głośniki i filtry umieszczono w obudowie dwukomorowej o rozmiarach: 750 × 350 × 230 mm. Zastosowanie tego typu obudowy zapewnia odtwarzanie szerokiego pasma częstotliwości przy użyciu średniej klasy głośników. Obudowa wykonana została z płyt wiórowych o grubości 10 mm. Z zewnątrz wyklejono ją warstwą skayu, a wewnątrz wyłożono warstwą waty mineralnej o grubości 2 cm.

Całość konstrukcji wykonano bardzo starannie, pasując dokładnie elementy konstrukcyjne, skręcając je w wielu miejscach wrętami do drewna i zalewając spójny żywicą epoksydową Epidian 5. Krawędzie i naroża dodatkowo wzmacniono za pomocą kółków i listew. Otwory (tunele) wykonano z okrągłych rur bakelitowych o średnicy 70 mm i długości 180 mm. Rozmieszczenie głośników i najważniejsze rozmiary obudowy podano na rys. 15.

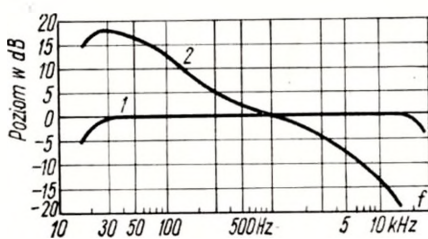
Głośniki niskotonowe przykryto od wewnętrznej strony obudowy wrętami do metalu, zaś głośniki wysokotonowe umieszczono „plytko”, aby nie tworzył się kanał w grubej ścianie obudowy i również przymocowano wrętami do metalu.

Dokładne zbadanie zespołu głośnikowego jest trudne i możliwe tylko w laboratorium elektroakustycznym. Dlatego też trzeba ograniczyć się do następujących prób:

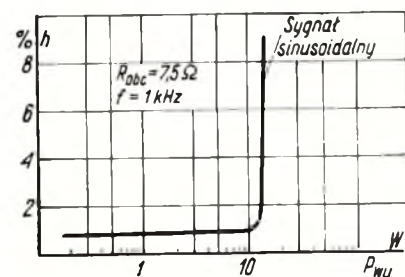
- pomiar modułu impedancji wejściowej zespołu w całym pasmie częstotliwości,
- odtwarzanie różnych częstotliwości w całym pasmie częstotliwości (tzw. „przewizdanie”), a więc wywołanie niepożądanych rezonansów bądź „dziur”,
- odtwarzanie utworów muzycznych z dobrych płyt mikrorowkowych lub innego źródła, a szczególnie utworów na wielką orkiestrę symfoniczną i duże zespoły jazzowe.



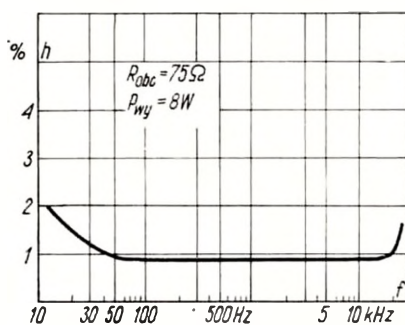
Rys. 5. Charakterystyki członów kształtujących a – filtr tętnienny, b – filtr szumowy



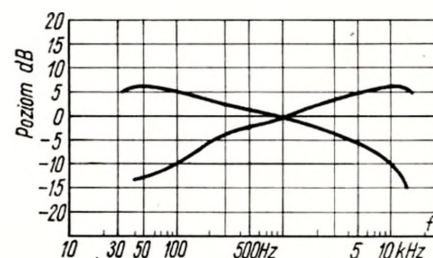
Rys. 6. Zależność napięcia wejściowego w funkcji częstotliwości 1 – wejście „radio”, 2 – wejście „adapter magnetyczny”



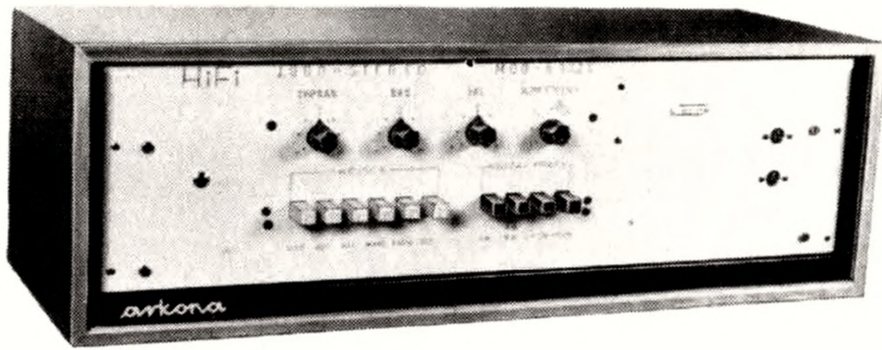
Rys. 7. Charakterystyka zniekształceń nieliniarnych wzmacniacza w funkcji mocy wyjściowej (procent zawartości harmonicznych)



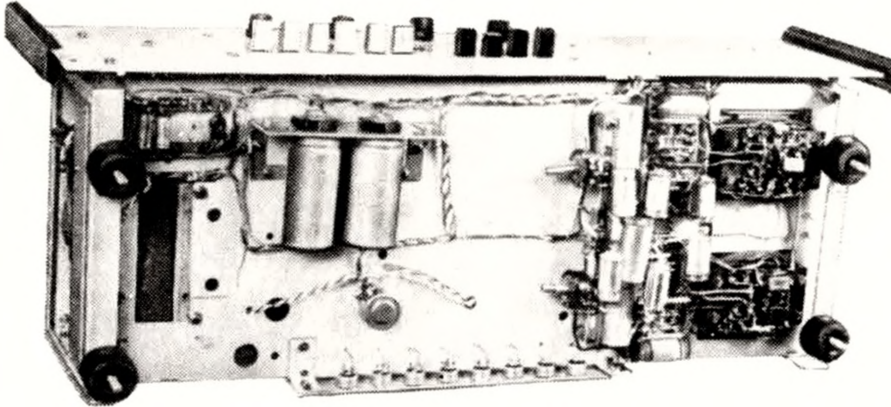
Rys. 8. Charakterystyka zniekształceń nieliniarnych wzmacniacza w funkcji częstotliwości (Uwaga:  $R_{obc} = 7,5 \Omega$ )



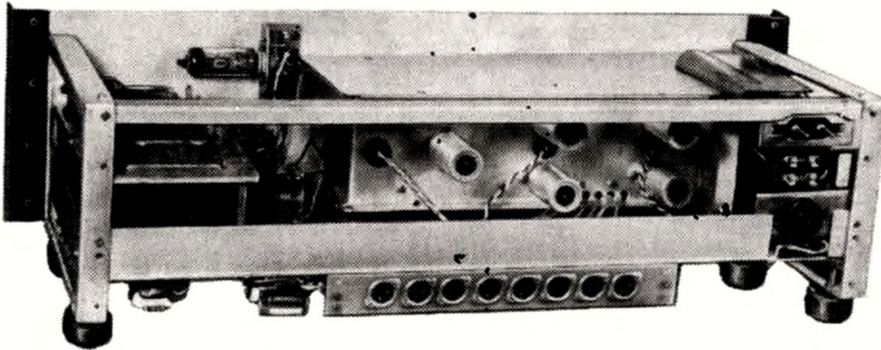
Rys. 9. Charakterystyki regulacji barwy dźwięku



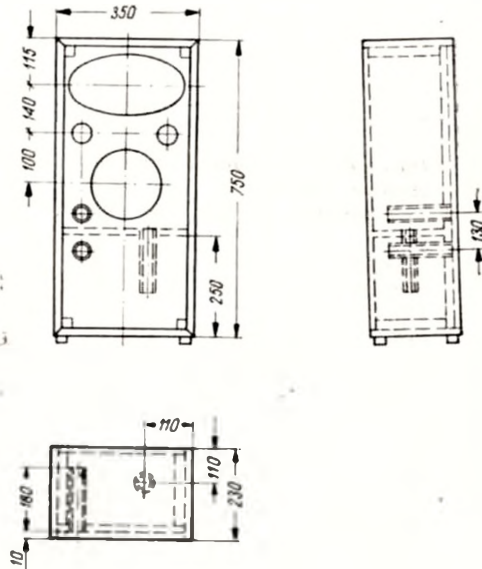
Rys. 10. Widok ogólny wzmacniacza



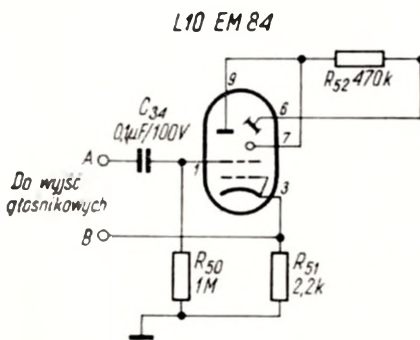
Rys. 11. Wnętrze wzmacniacza - widok z dołu



Rys. 12. Wnętrze wzmacniacza - widok z tyłu



Rys. 15. Obudowa głośnikowa



Rys. 13. Wskaźnik sygnału stereofonicznego

Obudowa dwukomorowa została opisana w książce A. Witorta „Elektroakustyka dla wszystkich”.

**WYKAZ ELEMENTÓW JEDNEGO KANAŁU ZESTAWU STEREOFONICZNEGO**

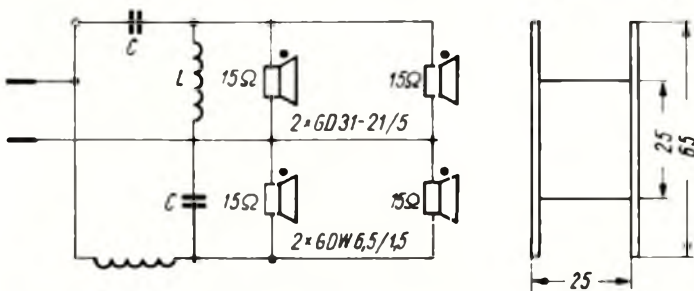
**Oporniki**

Wszystkie oporniki, oprócz oznaczonych gwiazdką, są typu MŁT 0,5 W 5%

- $R_{1, 21} - 0,5 \text{ M}$
- $R_{2, 5, 15, 18, 20, 35, 50} - 1 \text{ M}$

**Kondensatory**

- $C_1 - 150 \text{ pF}/100 \text{ V}$
- $C_2 - 560 \text{ pF}/100 \text{ V}$
- $C_3 - 220 \text{ pF}/100 \text{ V}$
- $C_4 - 2200 \text{ pF}/100 \text{ V}$
- $C_{5, 7, 14} - 0,1 \mu\text{F}/250 \text{ V Ksf}$
- $C_6 - 25 \mu\text{F}/12 \text{ V}$
- $C_8 - 8 \mu\text{F}/350 \text{ V}$
- $C_9 - 4700 \text{ pF}/25 \text{ V}$
- $C_{10} - 3300 \text{ pF}/25 \text{ V}$
- $C_{11} - 6200 \text{ pF}/25 \text{ V}$
- $C_{12} - 820 \text{ pF}/100 \text{ V}$
- $C_{13} - 25 \mu\text{F}/12 \text{ V}$
- $C_{15} - 0,1 \mu\text{F}/250 \text{ V}$
- $C_{16} - 560 \text{ pF}/100 \text{ V}$
- $C_{17} - 8200 \text{ pF}/25 \text{ V}$
- $C_{18} - 2200 \text{ pF}/25 \text{ V}$
- $C_{19} - 0,02 \mu\text{F}/25 \text{ V}$
- $C_{21, 21} - 5 \mu\text{F}/350 \text{ V}$
- $C_{22} - 430 \text{ pF}/250 \text{ V}$
- $C_{23} - 0,1 \mu\text{F}/250 \text{ V}$
- $C_{24} - 0,022 \mu\text{F}/250 \text{ V Ksf}$
- $C_{25} - 0,022 \mu\text{F}/250 \text{ V}$
- $C_{26} - 5 \mu\text{F}/350 \text{ V}$
- $C_{27, 28} - 50 \mu\text{F}/25 \text{ V}$
- $C_{29} - 430 \text{ pF}/500 \text{ V}$
- $C_{30, 34} - 0,022 \mu\text{F}/630 \text{ V}$
- $C_{32, 33} - 100 \mu\text{F}/450 \text{ V}$
- $C_{34} - 0,1 \mu\text{F}/100 \text{ V}$



Rys. 14. Układ połączeń głośników oraz wymiary korpusu cewki L

## Potencjometry

$P_{1, 2, 3}$  — PA-102 — 500 k $\Omega$  A 1 W  
 $P_4$  — PA-102 — 500 k $\Omega$  C I W  
 $P_5$  — DG 101 T — 27  $\Omega$  1 W  
 $P_6$  — DG 101 T — 470  $\Omega$  1 W

## Lampy

L1, L2 — EF86  
L3 — ECC83  
L4, L5 — ECL86  
L10 — EM84

## Diody półprzewodnikowe

D1, D2 — DK-62

## Inne

$B_1$  — bezpiecznik topikowy 1 A  
 $B_2$  — bezpiecznik topikowy 0,3 A

## LITERATURA:

A. Witort: „Elektroakustyka dla wszystkich” WKŁ Warszawa 1953.

A. Witort: „Amatorskie wzmacniacze elektroakustyczne” WKŁ Warszawa 1968.

M. Slaby, P. Kozłowski: „Przetworniki elektroakustyczne” WKŁ Warszawa 1969.