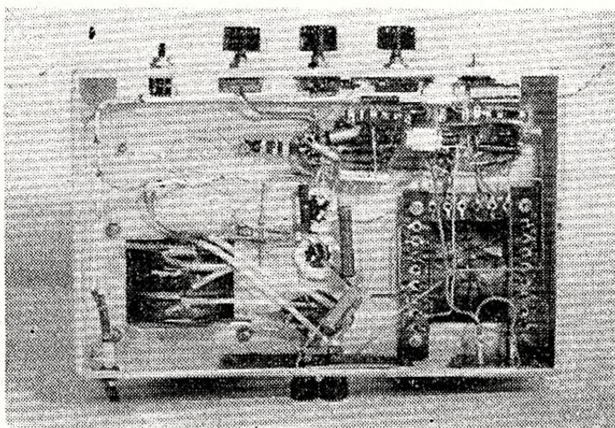
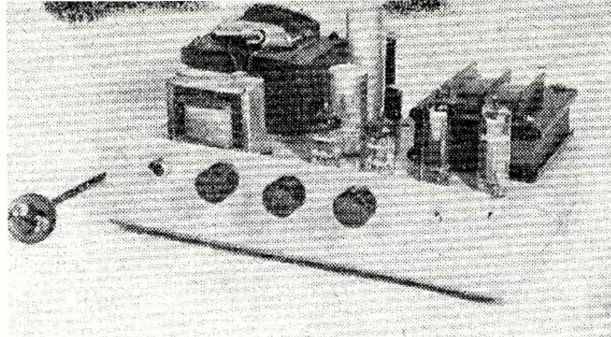


Poniższy opis dotyczy układu, którego model został zbudowany na nasze zlecenie i praktycznie wypróbowany przez konstruktora.

Redakcja

Uniwersalny wzmacniacz HI-FI O MOCY 15 VA



OPISANY tu wzmacniacz nadaje się doskonale jako końcowy wzmacniacz mocy do odtwarzania muzyki z płyt lub taśm w mieszkaniu. Nadaje się on także do nadawania muzyki tanecznej w salach i świetlicach o średniej wielkości.

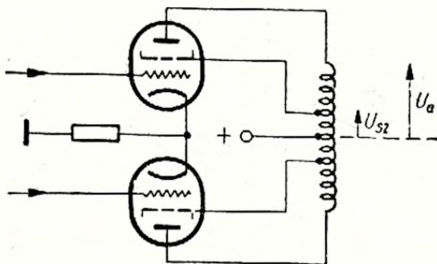
Budowa jest łatwa; może go wykonać każdy radioamator mający podstawowe wiadomości teoretyczne i praktyczne.

Stopień końcowy

Ze względu na konieczność uzyskania mocy równej co najmniej 10 VA przy bardzo małych zniekształceniach nieliniowych, zdecydowałem się na zastosowanie we wzmacniaczu stopnia końcowego w układzie przeciwsobnym z ujemnym sprzężeniem zwrotnym w siatce ekranującej. Jest to tzw. układ „ultralinear”. Napięcie sprzężenia zwrotnego w tym układzie uzyskuje się z odczepów, ewent. z osobnych uzwojeń na transformatorze wyjściowym. Zmieniając stosunek zmiennego napięcia siatki ekranującej do napięcia zmiennego anodowego zmieniamy warunki pracy lamp końcowych. Przy stosunku tym samym jednocy — lampy pracują jako triody, bowiem siatki ekranujące są połączone z anodami, natomiast przy stosunku równym zero — jako pentody (rys. 1). Dla stosunków o wartościach pośrednich układ posiada szereg zalet w porównaniu z układami przeciwsobnymi, zarówno z triodami jak i pentodami, a przede wszystkim mniejsze znie-

kształcenia nieliniowe przy dużych i małych sygnałach — kosztem niewielkiej straty mocy. Ponadto takie sprzężenie zwrotne obniża znacznie oporność wewnętrzną układu.

Dla lamp EL84 najkorzystniejszy będzie odczep na 20% uzwojenia



Rys. 1. Układ „ultralinear”

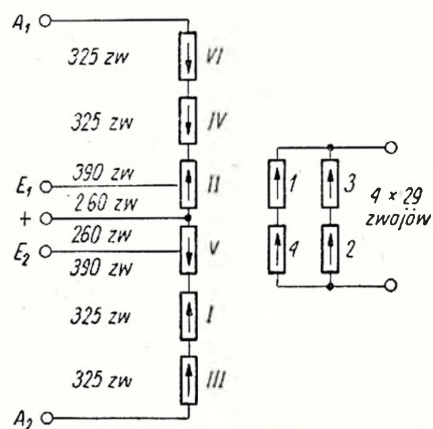
$$\text{Dla lamp EL84 } \frac{U_{sz}}{U_a} = 0,2$$

(oczywiście od strony zasilacza). Układ „ultralinear” z lampami EL84 daje w porównaniu ze zwykłym układem przeciwsobnym około dwukrotnie mniejsze zniekształcenia nieliniowe przy mocy mniejszej o 10%. Układ „ultralinear” wymaga specjalnego wykonania transformatora wyjściowego.

Transformator wyjściowy

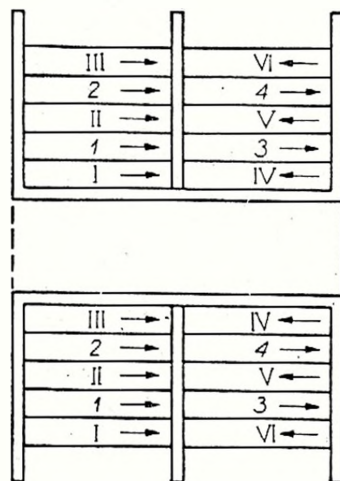
Obie połówki uzwojeń anodowych transformatora powinny być umieszczone symetrycznie przez podział okna na dwie sekcje — każda dla jednej połówki uzwojenia anodowego. Niesymetria ma bardzo znaczny

wpływ na przesunięcia fazowe i różnice amplitud między prądem anodowym i napięciem ekranu, przez

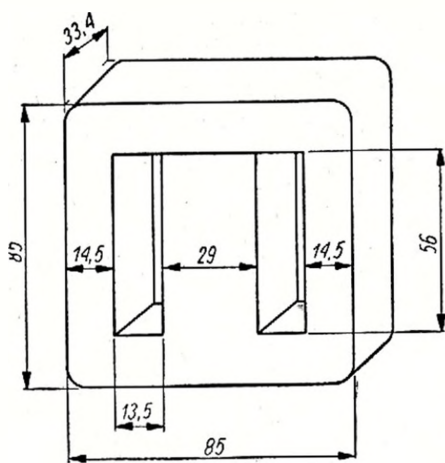


Rys. 2. Schemat uzwojeń transformatora wyjściowego

uzwojenia pierwotne: drut 0,18 Cu, em;
uzwojenie wtórne: drut 0,75 Cu, em;



Rys. 3. Rozmieszczenie uzwojeń na korpusie transformatora wyjściowego
strzałki oznaczają kierunki nawinięcia



Rys. 4. Wymiary rdzenia transformatora
wyjściowego
przekrój żelaza (skuteczny) — 7,9 cm²;
rdzeń złożony bez szczeliny

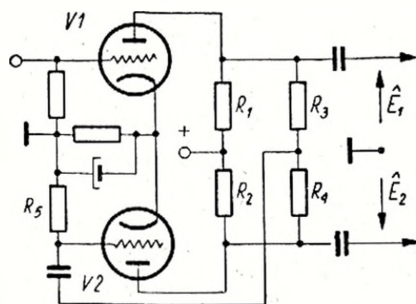
co parzyste harmoniczne większych częstotliwości mogą nie znosić się.

Na rys. 2 pokazany jest schemat uzwojeń takiego transformatora, a na rys 3 — rozmieszczenie uzwojeń. Zastosowałem do wykonania rdzeń o wymiarach podanych na rys. 4. Oczywiście, może być także zastosowany inny rdzeń, jeśli jego przekrój będzie dostatecznie duży, a uzwojenia zmieszczą się w jego oknie.

Odwracacz fazy

W nowoczesnych wzmacniaczach z wyjściem przeciwsobnym odwracanie fazy odbywa się bez pomocy transformatora czy dławika, ponieważ stopień odwracacza fazy bywa objęty ujemnym sprzężeniem zwrotnym, a układy zawierające indukcyjności uniemożliwiają stosowanie dostatecznie silnego sprzężenia zwrotnego.

Istnieje szereg układów lampowych odwracających fazę, z których wybrałem układ przedstawiony na rvs. 5.



Rys. 5. Schemat odwracacza fazy

Jakość układu odwracacza fazy można ocenić z jego symetrii, któ-

ra może być wyrażona stosunkiem

napięć $\frac{E_1}{E_2}$. Dla układu przedsta-

wionego na rys. 5 stosunek ten wyraża zależność:

$$\frac{E_1}{E_0} = \frac{R_3}{R_1} + \frac{1}{k_2} \left(1 + \frac{R_3}{R_4} + \frac{R_3}{R_5} \right)$$

gdzie k_2 — wzmacnienie lampy V2.

Jeżeli $R_3 = R_4 = R_5$ (jak zwykle stosuje się w praktyce), to

$$\frac{E_1}{E_2} = 1 + \frac{3}{h_2}$$

Jak stąd wynika, symetria układu jest tym lepsza, im większe jest wzmocnienie lampy V2.

Dla przykładu obliczmy układ dla lampy 6J5 (połówka lampy 6SN7). Oporność $R_2 = 0,1 \text{ M}\Omega$, a oporności $R_3 = R_4 = R_5 = 0,25 \Omega$; wtedy $k_p =$

$= 14$, a stosunek napięć $\frac{E_1}{E_0}$ będzie

równy 1,21, co dla wzmacniacza Hi-Fi jest nieodpowiednie. W naszym przypadku rozporządzamy jedną połówką lampy ECC83. Współczynnik wzmocnienia tej lampy wynosi 100. Ponieważ $R_2 = 0,2 \text{ M}\Omega$, a oporność wewnętrzna lampy wynosi 80 k Ω , to jej wzmocnienie napięciowe będzie

$$k_2 = 100 \frac{0,2}{0,2 \cdot 0,08} = 71$$

$$\frac{E_1}{E_*} = 1 + \frac{3}{71} = 1,04$$

Układ wzmacniacza

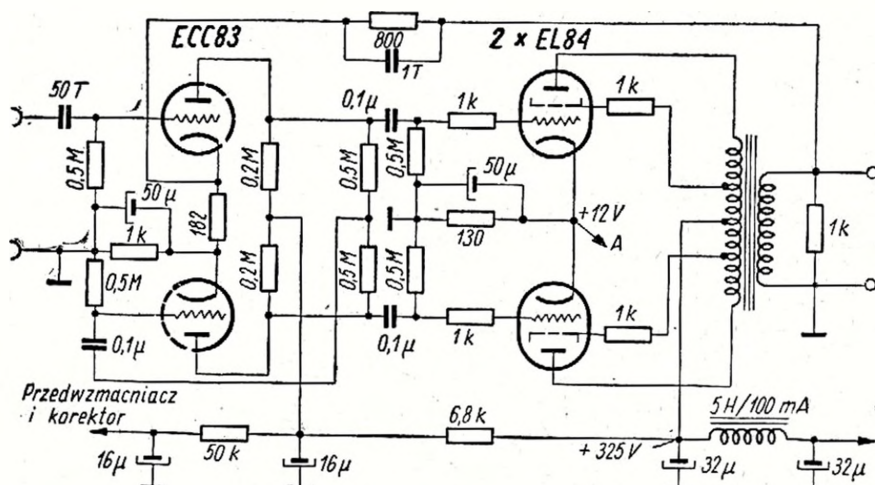
Jkiad wzmacniacza pokazany jest na rys. 6. Ilość element6w zastosowanych w ukłádzie jest mo¿liwie mała, aby jak najbardziej obni¿yć koszt budowy wzmacniacza, bez obni¿enia jednak jego jakoœci. Wzmacniacz przystosowany jest do pracy na obci¿enie głoœnikami o opornoœci 3,5 — 4 Ω , co nie znaczy, ¿e przy obci¿eniu głoœnikiem np. 7 Ω , bédzie on źle pracował. Mo¿e on w tym przypadku nie dać pełnej mocy.

Jak widać z rys. 6, oprócz sprzężenia zwrotnego w stopniu końcowym, zastosowano sprzężenie zwrotne obejmujące cały wzmacniacz. Dzielnik napięcia tworzą oporniki: 800 Ω i 180 Ω . Opornik 180 Ω jest zablokowany kondensatorem o pojemności 1000 pF w celu skorygowania występującego już przesunięcia fazowego na największych częstotliwościach pasma. Sprzężenia zwrotnego ma ponad 20 dB, przy czym czułość wzmacniacza dla 10 VA na wyjściu wynosi około 1,2 V (przy obciążeniu 5 Ω).

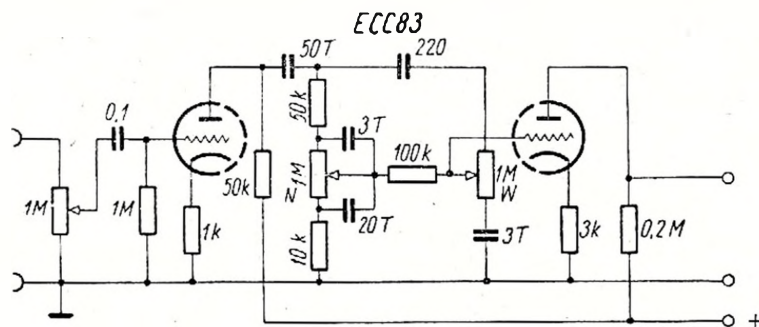
Wzmocniacz wstępny

Schemat wzmacniacza wstępnego pokazany jest na rys. 7. Wzmacniacz ten składa się z dwóch stopni wzmacnienia, pomiędzy którymi znajduje się oporowo-pojemnościowy korektor charakterystyki w znanym i szeroko stosowanym układzie.

W położeniu górnym suwaka potencjometra „W” mamy podniesione



Rys. 6. Schemat wzmacniacza



Rys. 7. Schemat wzmacniacza wstępnego i korektora charakterystyki częstotliwości

tony wysokie, bowiem oporności 50 kΩ i 100 kΩ jedynie dla wielkich częstotliwości są bocznikowane kondensatorem 200 pF. W położeniu dolnym suwaka tego potencjometra tony wysokie są obcięte, powstaje dzielnik napięcia oporowo-pojemnościowy składający się z oporności 100 kΩ i kondensatora 3000 pF, który obcina wielkie częstotliwości pasma.

Działanie regulatora tonów niskich jest podobne. W górnym położeniu suwaka potencjometra „N” oporność 50 kΩ, pojemność 20 000 pF w szereg z opornością 10 kΩ tworzą dzielnik, który przepuszcza tylko tony niskie, a silnie osłabia tony wysokie. W dolnym położeniu suwaka potencjometra „N” tworzy się dzielnik: 50 kΩ, 3 000 pF i 10 kΩ, na którym osłabione zostają częstotliwości małe, mamy więc obcinanie tonów niskich. Dla częstotliwości średnich około 1000 Hz układ ma mniej więcej stałe tłumienie, niezależnie od położenia poszczególnych regulatorów. Wzmocnienie pierwszego stopnia wzmacniacza dla częstotliwości 1000 Hz jest równe w przybliżeniu 2.

Wzmocnienie drugiego stopnia wzmacniacza wstępnego, wskutek prądu ujemnego sprzężenia zwrotnego (opornik w katodzie nie zablokowany kondensatorem) wynosi tylko około 30.

Czułość całego urządzenia (dla 10 VA i 5 Ω na wyjściu) wynosi około 20 mW.

Ponieważ wzmacniacz wstępny odznacza się dość dużą czułością, wszystkie elementy korektora muszą być starannie ekranowane.

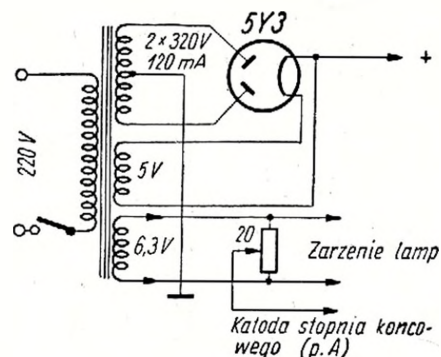
Zasilacz

Schemat zasilacza pokazany jest na rys. 8. Jak widać, jest to zasilacz zupełnie konwencjonalny. Filtr składa się (rys. 6) z dławika 5–10 H i dwóch kondensatorów elektrolitycznych po 32 μF. Dla usunięcia

przydźwięku sieci przedostającego się od strony katod, uzwojenie żarzenia lamp jest symetryzowane za pomocą potencjometra 50 Ω, którego środek ma napięcie około +12 V (katody lamp końcowych). Ma to na celu zmniejszenie emisji włókno-katoda.

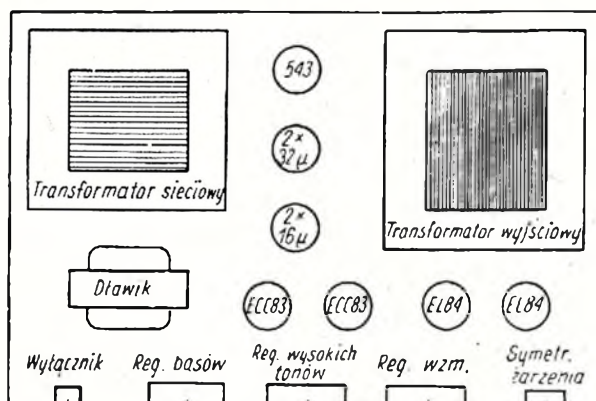
Montaż wzmacniacza

Wszystkie powyżej opisane elementy wzmacniacza zostały zmon-



Rys. 8. Schemat zasilacza do wzmacniacza

dźwięku sieci we wzmacniaczu. Szy-na może łączyć się z chassis tylko w jednym punkcie, najlepiej gdzieś w pobliżu zasilacza. Kondensatory elektrolityczne filtra jak i obwodów odprzegających powinny być umocowane na podkładkach izolujących obudowy (minusy) od chassis. Obudowy tych kondensatorów uziemia się, łącząc je z szyną.

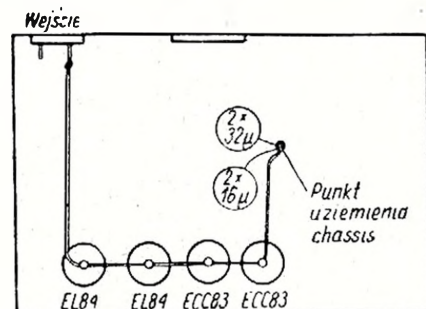


Rys. 9. Rozmieszczenie elementów na chassis

towane na wspólnym chassis o wymiarach 200 × 300 × 60 mm. Rozmieszczenie elementów na chassis jest pokazane na rys. 9.

Montaż rozpoczynamy od mechanicznego umocowania elementów na chassis. Należy zwrócić uwagę, aby transformator sieciowy nie znajdował się zbyt blisko transformatora wyjściowego oraz aby potencjometry były umieszczone z dala od przewodów układu zasilania (szczególnie żarzenia). Następnie przystępujemy do wykonania tzw. szyny uziemiającej z grubego drutu miedzianego. Szkic przedstawiony na rys. 10 pomoże nam zorientować się, jak należy wykonać szynę uziemiającą. Rozpoczynamy tę pracę od gniazda wejściowego. Należy pamiętać, że od wykonania połączeń z szyną uziemiającą zależy poziom przy-

Po wykonaniu tych prac łączymy obwody żarzenia lamp wzmacniających, lampy prostowniczej, a następnie zasilanie obwodów anodo-



Rys. 10. Sposób wykonania szyny uziemiającej

wych. Teraz możemy już przystąpić do właściwego montażu elektrycznego. Zaczynamy od końca, to znaczy od wzmacniacza mocy. Łączy-

my możliwie krótkimi przewodami anody i ekrany lamp końcowych z odpowiednimi łączówkami na transformatorze wyjściowym. Następnie przechodzimy stopniowo do obwodów odwracacza fazy i wzmacniacza wstępnego, mocując oporniki i kondensatory za pomocą łączówek wszędzie, gdzie mogłyby wystąpić zwarcia wskutek przemieszczania się elementów (np. przy przenoszeniu wzmacniacza).

Uziemienia poszczególnych oporników (katodowych, upływowych) wykonujemy lutując końcówki wprost do szyny uziemiającej, o ile to możliwe w jednym punkcie dla obwodów jednego stopnia.

Uziemienie ekranu przewodu łączącego wejściowe zaciski wzmacniacza z potencjometrem regulującym siłę dźwięku powinno być wykonane przy samym wejściu.

Po wykonaniu (starannym) montażu należy również starannie sprawdzić układ, a następnie włożyć w podstawkę lampę prostowniczą i po włączeniu wzmacniacza do sieci sprawdzić, czy na łączówkach żarzenia lamp wzmacniacza nie ma wysokiego napięcia. Należy tu przypomnieć, że lampy ECC83 mają żarzenie przyłączone do innych styków niż inne typy lamp serii „80”.

Po tej wstępnej próbie należy rozładować kondensatory elektrolityczne, zwierając je przez opornik 100 k Ω do masy (nie śrubokrętem, gdyż popłynie duży prąd, który może uszkodzić wewnętrzne połączenia kondensatora elektrolitycznego), a następnie wstawić wszystkie lampy, włączyć głośnik i spróbować czy wzmacniacz się nie wzbudza wskutek niewłaściwego podłączenia sprzężenia zwrotnego. Należy przy tym uważać, aby nie uszkodzić głośnika, gdyż wzmacniacz wzbudzony wytwarza moc około 20 W.

O ile wszystko jest w porządku, mierzymy napięcia anodowe i na katodach. Na katodach lamp końcowych powinno występować napięcie 11–12 V. Napięcie na plusie zasilacza (po filtrze, na drugim jego kondensatorze) powinno wynosić około 325 V. Przy wysterowaniu wzmacniacza napięcie to nie powinno spadać więcej niż o 5–10 V.

Na tym można by zakończyć próbę statyczne wzmacniacza.

W przypadkach wzbudzenia się należy odłączyć sprzężenie zwrotne i sprawdzić czy wzbudzenie się usta-

piło. Jeśli tak, to należy zmienić kierunek podłączenia sprzężenia zwrotnego przez zmianę końcówek wtórnego uzwojenia.

W warunkach domowych dalsze próby ograniczają się do sprawdzenia działania wzmacniacza na słuch. Sprawdzimy więc, czy wzmacniacz nie zniekształca, czy regulacja charakterystyki działa prawidłowo i czy wreszcie przydźwięk sieci nie jest zbyt duży.

Przy starannym wykonaniu według ogólnych zasad montażu oraz przy właściwych napięciach na elektrodach lamp, wzmacniacz powinien pracować od razu dobrze.

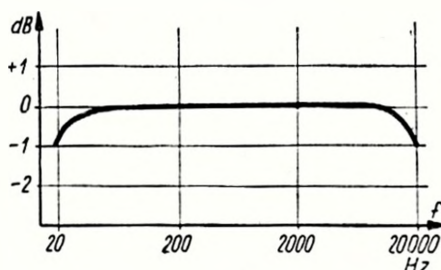
Wyniki

Opisany wzmacniacz został szczegółowo zbadany. Uzyskane rezultaty podaje niżej:

1. Badanie wzmacniacza mocy (bez wzmacniacza wstępnego)

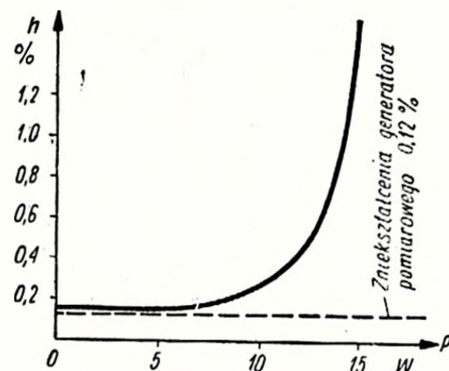
Wzmacniacz obciążony opornością rzeczywistą 5 Ω .

Charakterystyka częstotliwościowa (rys. 11) jest liniowa od 20 do 20 000 Hz (-1 dB) przy mocy wyjściowej 10 VA dla 1000 Hz.



Rys. 11. Charakterystyka częstotliwości wzmacniacza

Współczynnik zawartości harmonicznych przy 1000 Hz zależnie od mocy wyjściowej: 1 VA — 0,15%; 5 VA — 0,15%; 10 VA — 0,3%; 12 VA — 0,4%; 14 VA — 0,9%; 15 VA — 2% (rys. 12).



Rys. 12. Charakterystyka zniekształceń nieliniowych wzmacniacza

Czułość wzmacniacza przy mocy wyjściowej 10 VA — 1,2 V.

Do badania wzmacniacza użyty był generator PPAE o średniej zawartości harmonicznych około 0,12%.

2. Badanie wzmacniacza wstępnego

Charakterystyka częstotliwościowa może być regulowana w następujących granicach: 30 Hz $\pm$ 16 dB; 20 kHz $\pm$ 18 dB.

Zniekształcenia nieliniowe nie zwiększają w istotny sposób współczynnika zawartości harmonicznych wzmacniacza końcowego.

A. D.