

## Wzmacniacz Hi-Fi 3W

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

REDAKCJA

**N**A WSTĘPIE przypomnę Czytelnikom, na czym polega technika wysokiej jakości — znana pod nazwą „Hi-Fi”. Wszystkie urządzenia zaliczane do klasy urządzeń Hi-Fi cechują bardzo wysokie wskaźniki jakościowe, a więc: mały procent harmoniczných, liniowa charakterystyka częstotliwości, dostatecznie duża moc wyjściowa, możliwość regulacji charakterystyki. Oczywiście należy tu pamiętać, że urządzenia Hi-Fi ulegają bardzo rzadko uszkodzeniom, gdyż budowane są z najlepszych elementów.

Rozpatrzmy z kolei wymienione wyżej cechy urządzenia wysokiej jakości.

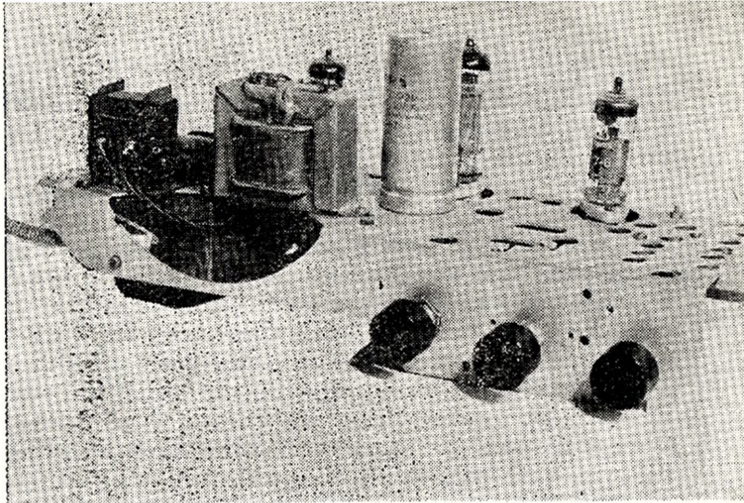
1. *Zniekształcenia nieliniowe* (procent zawartości harmoniczných). Na podstawie żmudnych badań stwierdzono, że ucho ludzkie odczuwa zawartość harmoniczných rzędu 1%. Zniekształcenia te stają się przykre dla ucha, gdy osiągną wartość 2% (odnosi się to oczywiście do urządzeń przepuszczających szerokie pasmo częstotliwości).

2. *Charakterystyka częstotliwości.* Urządzenia Hi-Fi powinny mieć charakterystykę częstotliwości liniową w granicach 30—15 000 Hz; oznacza to, że tony o różnych częstotliwościach powinny być przekazywane jednakowo dobrze.

3. *Moc wyjściowa.* Moc wyjściowa przeciętnych odborników radiofonicznych wynosi 1—3 W. Moc wzmacniacza przeznaczonego dla dużego pokoju mieszkalnego powinna wynosić około 10 W.

4. *Regulacja charakterystyki częstotliwości.* Wzmacniacz Hi-Fi powinien posiadać dwa niezależne regulatory umożliwiające zmianę charakterystyki częstotliwości: osobny dla małych częstotliwości i osobny dla wielkich częstotliwości pasma. Regulatory są bardzo przydatne do kompensacji różnic między charakterystykami różnych nagrań muzyki na płytach oraz dla częściowego skompensowania wad obudowy głośnika i poprawienia warunków odtwarzania w niewielkich pomieszczeniach mieszkalnych.

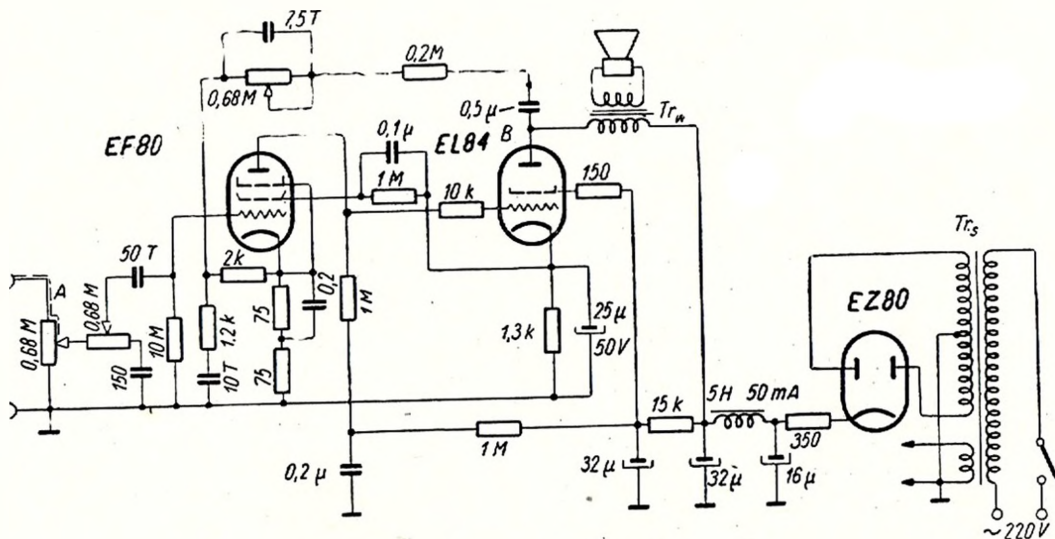
Wzmacniacz opisywany w niniejszym artykule jest w kolizji z jednym z powyższych warunków, gdyż jego moc wyjściowa wynosi tylko 3 W. Ponieważ jednak w większości mieszkań objętość pokoju, w którym będziemy korzystali ze wzmacniacza, nie przekracza 50 m<sup>3</sup>, a dynamika audycji nie jest przeważnie większa niż 40 dB — można się spodziewać, że wzmacniacz o mocy 3 W mimo ograniczonej mocy sprawi nam dużo zadowolenia.



Rys. 2. Widok wzmacniacza z góry

wości. Z tego względu połączenie anody lampy EF80 z siatką EL84 powinno zawierać możliwie mało elementów, które zwiększałyby szkodliwą pojemność anoda-masa. Zastosowane sprzężenie bezpośrednie (układ „Lofthin-White“) polegające na galwanicznym połączeniu anody lampy wyjściowej, wnosi przy odpowiednim montażu najmniejsze szkodliwe pojemności.

Opornik 10 kΩ, włączony między anodą EF80 i siatką EL84, stanowi jedynie zabezpieczenie przed powstawaniem oscy-



Rys. 1. Schemat ideowy wzmacniacza

#### Układ wzmacniacza

Wzmacniacz jest układem 2-stopniowym, pracującym na lampach „Noval“. Pierwszy stopień pracuje w układzie wzmacniacza z małym prądem anodowym (nazwa angielska: starved amplifier). Układ ten polega na zastosowaniu bardzo dużego opornika anodowego (rzędu 1 MΩ) i równocześnie bardzo niskiego napięcia siatki ekranującej lampy. (W naszym przypadku siatka ekranująca otrzymuje napięcie z katody lampy końcowej). W takich warunkach pracy oporność wewnętrzna lampy rośnie o wiele prędzej niż maleje nachylenie jej charakterystyki, wskutek czego współczynnik wzmocnienia wzrasta kilkakrotnie. W naszym układzie pracuje pentoda telewizyjna o dużym nachyleniu EF80, dzięki czemu wzmocnienie pierwszego stopnia osiąga wartość około 350. Praca lampy w tym układzie ma jednak wadę; nawet niewielkie pojemności układu bocznikują dużą oporność włączoną w obwód anodowy lampy i przez to ograniczają pasmo przepuszczanych przez wzmacniacz częstotli-

wości pasywnych. Aby potencjał siatki był niższy od potencjału katody o 7,5 V, jak tego wymaga lampa EL84, w obwodzie katodowym tej lampy włączony jest opornik o dość dużej wartości (1,3 kΩ).

Zasilanie wzmacniacza, jak to widać ze schematu na rys. 1, odbywa się normalnie. We wzmacniaczu modelowym zastosowano początkowo transformator sieciowy od odbornika „Mazur“, który dostarcza napięcia 6,3 V dla żarzenia wszystkich lamp (łącznie z pośrednio żarzoną lampą prostowniczą) oraz 2 × 250 V napięcia anodowego. Po przeprowadzeniu prób napięcie anodowe okazało się zbyt niskie. Aby uzyskać moc znamionową należy dysponować transformatorem, który by dawał 2 × 300 V przy obciążeniu prądem do 50 mA. Z katody lampy prostowniczej otrzymuje się napięcie pulsujące, które poprzez opornik zabezpieczający 350 Ω zostaje przyłożone do filtra składającego się z kondensatora 16 μF, dławika 5 H i kondensatora 32 μF.



Napięcie siatki ekranującej *EL84* i napięcie anodowe *EF80* podlegają dalszej filtracji z pomocą oporników  $15\ \Omega$  i  $1\ M\Omega$  oraz kondensatorów  $32\ \mu F$  i  $0,2\ \mu F$ .

We wzmacniaczu zastosowano silne ujemne sprzężenie zwrotne rzędu 30 dB (co oznacza, że jego czułość jest około 32 razy zmniejszona przez zastosowanie ujemnego sprzężenia zwrotnego). Napięcie sprzężenia zwrotnego jest pobierane z anody lampy głośnikowej i poprzez dość skomplikowany dzielnik napięcia przyłożone do katody lampy *EF80*. Należy zaznaczyć, że ze względu na mały pobór prądu przez lampę *EF80* wynikający z warunków pracy tej lampy w naszym wzmacniaczu, normalny sposób uzyskiwania polaryzacji siatki przez zastosowanie opornika katodowego jest kłopotliwy; polaryzację jej uzyskuje się ze spadku napięcia na oporniku upływowym, wywołanego przepływem prądu zwrotnego siatki. Oporności w obwodzie katodowym pierwszej lampy stanowią jedynie dzielnik dla napięcia sprzężenia zwrotnego; na polaryzację praktycznie wpływu nie mają.

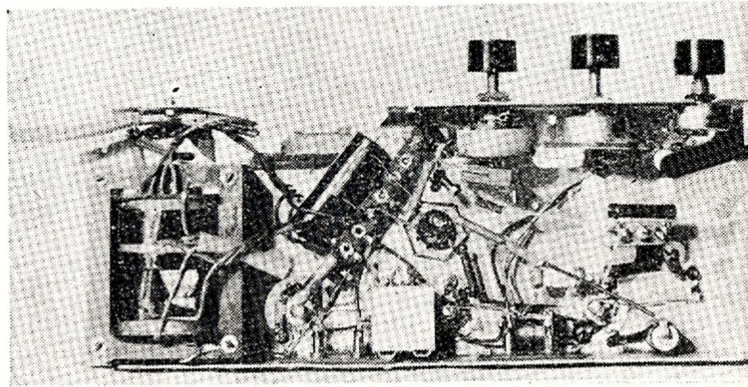
Regulacja charakterystyki częstotliwości wzmacniacza odbywa się za pomocą dwóch oddzielnych potencjometrów. Dolna część charakterystyki podlega regulacji od 0 do +12 dB za pomocą potencjometra  $0,68\ M\Omega$  znajdującego się w gałęzi sprzężenia zwrotnego. Jeżeli potencjometr jest zwarty, to sprzężenie zwrotne w całym pasmie częstotliwości jest jednakowe i niskie tony nie są silnie wzmacnione. Jeżeli obrócimy galkę potencjometra w prawo (potencjometr otwarty), to oporność sprzęgająca dla częstotliwości średnich nie będzie ulegała zmianie, natomiast dla częstotliwości małych wzrośnie, wobec czego ujemne sprzężenie zwrotne dla tych częstotliwości zmaleje — a co za tym idzie — wzmacnienie wzmacniacza wzrośnie. Charakterystyka częstotliwości wzmacniacza na krańcu większych częstotliwości jest stale podniesiona w stosunku do 1000 Hz o 10 dB (przy 10 000 Hz) za pomocą układu składającego się z opornika  $75\ \Omega$  i kondensatora  $0,2\ \mu F$  w obwodzie katody lampy *EF80*. Układ ten zmniejsza ujemne sprzężenie zwrotne dla większych częstotliwości pasma akustycznego. Tłumienie większych częstotliwości odbywa się na wejściu wzmacniacza za pomocą potencjometra  $0,68\ M\Omega$  i kondensatora  $150\ pF$ . Gdy suwak potencjometra znajdzie się w lewym skrajnym położeniu, tłumienie wielkich częstotliwości nie występuje; natomiast w położeniu prawym tworzy się filtr złożony z oporności potencjometra i pojemności kondensatora  $150\ pF$ . W położeniu tym uzyskujemy tłumienie tonów wysokich o 18 dB (przy 10 000 Hz); po odjęciu 10 dB (o które podnosi wzmacniacz) daje wypadkowe osłabienie o 8 dB.

### Montaż wzmacniacza

Wzmacniacz został zmontowany na gotowym chassis od „Mazura“, w związku z czym rozmieszczenie elementów było częściowo narzucone istniejącymi otworami (kondensatory elektrolityczne, lampy, transformator sieciowy). Rozmieszczenie podstawowych elementów na chassis widać dokładnie z fotografii na rys. 2 i rys. 3. Po lewej stronie znajduje się transformator zasilający, dławik, transformator wyjściowy. W środku zamontowano kondensator elektrolityczny  $2 \times 32\ \mu F$ . Lampy rozmieszczone zostały wzdłuż tylnej krawędzi chassis (kolejno od lewej: *EF80*, *EL84* i *EZ80*). Na tylnej ścianie bliżej lampy końcowej znajdują się gniazda głośnika, a bliżej lampy *EF80* — gniazda wejściowe. Na ścianie przedniej z prawej strony potencjometry regulacji charakterystyki oraz regulacja natężenia dźwięku.

Montaż elektryczny rozpoczynamy od połączenia obwodów żarzenia. Napięcie żarzenia doprowadzamy jedнопrzewodowo drutem izolowanym (igelit) o  $\varnothing$  około 0,8 mm. Drugi biegun żarzenia należy połączyć bezpośrednio z chassis.

Wszystkie lampy, łącznie z lampą prostowniczą są żarzone z jednego uzwojenia 6,3 V. Po przyłączeniu żarzenia wykonujemy dalszy montaż, począwszy od zasilacza, poprzez obwody anodowe, siatkowe i sprzężenie zwrotne. Szczególny nacisk powinien być położony na staranne, możliwie bezpojemnościowe wykonanie połączenia między anodą *EF80* a siatką *EL84*. Oporniki  $1\ M\Omega$  i  $10\ k\Omega$  powinny się znajdować możliwie daleko od chassis i innych elementów układu. Jeśli potencjometr regulacji natężenia dźwięku i regulator wysokich tonów będą umieszczone zbyt blisko siebie, to może się zdarzyć, że w położeniu „minimum tonów wysokich“ przy całkowicie skróconym potencjometrze natężenia dźwięku będzie jednak słychać audycję. Należy wówczas obrócić potencjometry w taki sposób, aby łączówki lutownicze znajdowały się z różnych stron lub zaekranować kawałkiem blaszki łączówki potencjometrą natężenia dźwięku i przewód doprowadzający od gniazda wejściowego.

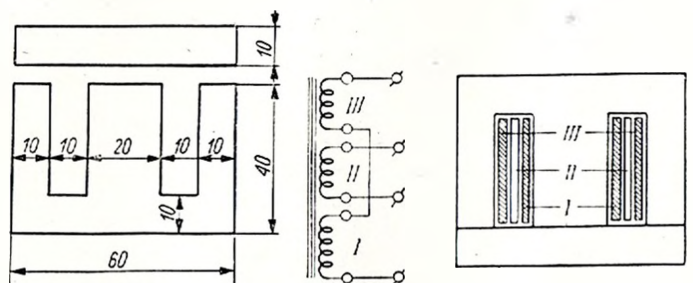


Rys. 3. Widok chassis wzmacniacza od spodu

### Transformator wyjściowy

Wzmacniacz musi być wyposażony w dobry transformator wyjściowy, który dopasuje oporność głośnika do oporności pracy lampy głośnikowej. Ponieważ najkorzystniejsza oporność obciążenia *EL84* jest równa  $52002\ \Omega$ , ja natomiast dysponowałem głośnikiem o oporności ruchomej cewki  $3\ \Omega$ , należało zastosować transformator o przekładni 41 (po uwzględnieniu strat). Uzwojenie pierwotne tego transformatora było rozdzielone na dwie części i obejmowało uzwojenie wtórne w celu zmniejszenia indukcyjności rozproszenia — a co za tym idzie — poprawienia charakterystyki częstotliwości wzmacniacza. Na rys. 4 podane są wymiary rdzenia, na którym nawinięty był transformator, zaś na rys. 5 — układ i sposób połączenia uzwojeń.

Uzwojenie pierwotne (oznaczone I i III) składa się z dwóch uzwojeń po 2050 zwojów nawiniętych drutem o  $\varnothing$  0,12 mm, w emalii. Uzwojenie wtórne (umieszczone między połówkami uzwojenia pierwotnego) oznaczone II ma 100 zwojów na



Rys. 4. Blaszki rdzenia transformatora wyjściowego; grubość pakietu blaszek — 20 mm

Rys. 5. Układ i schemat połączenia uzwojeń transformatora wyjściowego



winiętych drutem 0,6 mm, w emalii. Między uzwojeniami pierwotnymi i wtórnym zastosowano przekładki z papieru izolacyjnego.

### Uruchomienie

Po zakończeniu montażu i dokładnym sprawdzeniu połączeń przystępujemy do uruchomienia wzmacniacza. W tym celu zakładamy w podstawkę lampę prostowniczą *EZ80* i włączamy wzmacniacz do sieci. Następnie badamy woltomierzem, czy w odpowiednich punktach występuje napięcie. Należy zwrócić uwagę, że napięcia te będą znacznie wyższe od napięć pracy. Na siatce sterującej *EF80* nie powinno być żadnego napięcia, natomiast na siatce sterującej *EL84* może występować dość znaczne napięcie dodatnie.

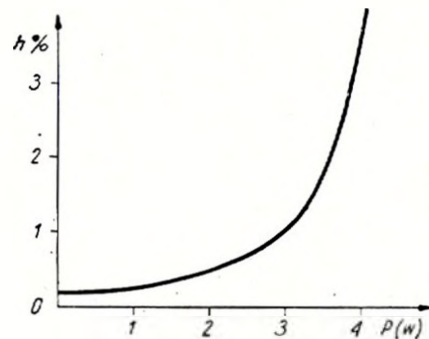
Po sprawdzeniu, że zasilacz działa prawidłowo, że żarzenia lamp są połączone właściwie i nie ma na nich wysokiego napięcia, wyłączamy wzmacniacz i ostrożnie rozładujemy elektrolity (przez opornik 0,1 M $\Omega$ ). Następnie zakładamy lampy we właściwe podstawki i po odłączeniu sprzężenia zwrotnego (*B* na rys. 1) — ponownie włączamy wzmacniacz do sieci, załączając do niego głośnik. Po nagraniu się lamp w głośniku nastąpi szum, który po otwarciu potencjometra natężenia dźwięku zmieni się w głośny przydźwięk sieci. Potencjometr ten ustawiamy na minimum i mierzymy prąd anodowy lampy końcowej (przyłączając ostrożnie miliamperomierz o zakresie 100 mA równolegle do pierwotnego uzwojenia transformatora głośnikowego). Prąd anodowy powinien wynosić 45 — 48 mA. Napięcie na anodzie lampy głośnikowej powinno mieć około 310 V. Gdyby prąd nie był właściwy, należy dobrać oporniki: anodowy *EF80* lub katodowy *EL84* (1300  $\Omega$ ).

Jeżeli prąd anodowy jest za duży, należy zwiększyć oporność w obwodzie anodowym lub katodowym *EL84*. W przypadku przeciwnym, gdy prąd jest zbyt mały, zamienia się jeden z tych oporników na inny o mniejszej oporności. Gdy się już z tym uporamy, przyłączamy sprzężenie zwrotne. Może się zdarzyć, że po przyłączeniu sprzężenia zwrotnego wzmacniacz się wzbudzi i zacznie wyć. Nie należy się tym zrażać; wyłączamy go z sieci i zmieniamy kierunek połączenia pierwotnego, albo wtórnego uzwojenia transformatora. Po przełączeniu objawy wzbudzania się nie powinny występować. W razie potrzeby — przy próbach osłabiamy sprzężenie zwrotne, zwiększając oporność z 0,2 M $\Omega$  do 0,3 — 0,4 M $\Omega$ . Należy pamiętać, że w czasie pracy wzmacniacza nie wolno

pod groźbą zniszczenia lampy *EL84* wyjmować z podstawki lampy *EF80*. Wówczas bowiem na siatce *EL84* powstaje duże napięcie dodatnie!

### Dane wzmacniacza modelowego

- Czułość — około 0,1 V (dla uzyskania 3 W mocy),
- Charakterystyka częstotliwości (przy regulatorze basów ustawionym na zero i regulatorze wysokich tonów w położeniu średnim): 20 — 20 000 Hz — 3 dB.  
Regulacja basów od 0 do + 15 dB (przy 60 Hz).  
Regulacja wysokich tonów od — 8 do + 10 dB (przy 10 000 Hz).
- Zniekształcenia nieliniowe przy częstotliwości 1000 Hz:
  - a) Transformator sieciowy od „Mazura“,  
napięcie na anodzie *EL84* — 260 V.  
Moc wyjściowa 2 W —  $h = 1\%$ ,
  - b) Napięcie anodowe 310 V.  
Moc wyjściowa 3 W —  $h = 0,9\%$  (rys. 6).



Rys. 6. Krzywa zależności współczynnika zawartości harmonicznych od mocy wyjściowej przy 1000 Hz

Jak widać z krzywej na rys. 6 — zniekształcenia, po przekroczeniu mocy 3 W, niezwykle szybko rosną. Jest to zjawisko normalne we wszystkich wzmacniaczach z silnym sprzężeniem zwrotnym — a nie zapominajmy, że nasz wzmacniacz ma około 30 dB ujemnego sprzężenia zwrotnego.

Poziom audycji należy tak ustawić, aby przy najgłośniejszych momentach audycji (fortissimo) nie następowało przesterowanie wzmacniacza i związane z tym silne zniekształcenia.

Przy przestrzeganiu tego warunku zniekształcenia wnoszone przez wzmacniacz będą niewyczuwalne.

A. D.