

PROSTY WZMACNIACZ PRZECIWSOBNY 6 W

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

○ statnio można zauważyć tendencję do stosowania w układach elektronicznych — lamp wielosystemowych, najczęściej podwójnych i potrójnych. Taką lampą dwusystemową jest lampa typu ECL 82. Składa się ona z pentody mocy, o mocy admisyjnej 7 W i z triody wzmacniającej. Lampa ta jest przeznaczona w zasadzie do telewizyjnych układów odchyłających, jednak w technice małej częstotliwości daje również doskonałe wyniki.

W opisanym wzmacniaczu m.c.z. zastosowano dwie takie lampy. Trzecia lampa typu EC 92 pracuje

jako wzmacniacz wstępny w układzie regulatora charakterystyki częstotliwościowej, czyli mówiąc inaczej — w układzie regulatora barwy dźwięku.

Koszt budowy opisanego wzmacniacza jest niewielki, wynosi około 600 złotych, same zaś wskaźniki jakościowe układu są nadspodziewanie dobre.

Charakterystyka częstotliwościowa jest liniowa w zakresie 20 Hz ÷ 20 kHz, a współczynnik zawartości harmonicznych przy mocy wyjściowej 6 W — mniejszy od 2‰.

Napięcie szumów wynosi ok. 0,001 napięcia wyjściowego przy pełnym wysterowaniu. Przy bardzo starannym wykonaniu transformatora wyjściowego i przy zastosowaniu lamp końcowych importowanych (np. „Mullard”), uzyskuje się większą moc wyjściową — do 8 W.

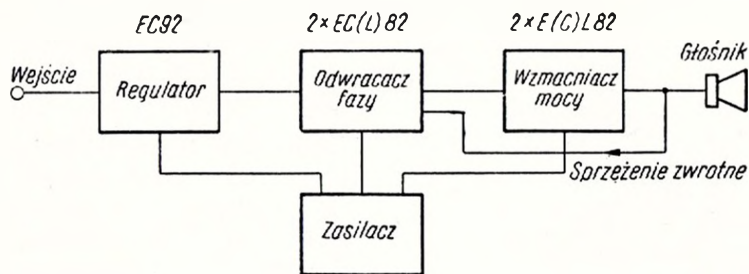
Na rysunku 1 przedstawiony jest układ blokowy wzmacniacza.

Pierwszy stopień stanowi tzw. wzmacniacz wstępny z korekcją charakterystyki częstotliwościowej (osobno dla bardzo niskich i dla wysokich tonów). W pierwszym stopniu pracuje trioda EC 92, wybrana ze względu na małe rozmiary i stosunkowo duży współczynnik amplifikacji.

Drugi stopień składa się z dwóch triod (po jednej z każdej z lamp ECL 82); triody te pracują w układzie odwracacza fazy, którego zadaniem jest przesunięcie w fazie o 180° napięć sterujących stopień mocy.

Trzeci stopień — to przeciwsobny wzmacniacz mocy na pentodowej części lamp ECL 82.

Na schemacie blokowym pokazany jest także zasilacz, który dostarcza

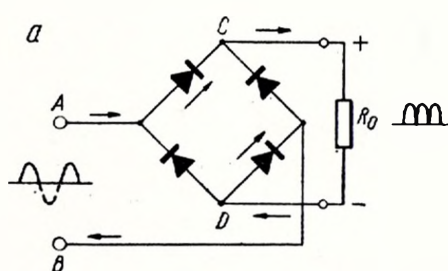


Rys. 1. Układ blokowy wzmacniacza

zmiennie napięcie 6,3 V do żarzenia lamp oraz wygładzone napięcie stałe, zasilające obwody anodowe.

Przejdę teraz do omówienia działania poszczególnych stopni urządzenia.

Zasilacz składa się z transformatora dostarczającego napięcia zmiennego o odpowiedniej wartości, prostownika zamieniającego prąd zmienny na tzw. prąd jednokierunkowy oraz filtru eliminującego tętnienia sieci. Transformator dostarcza napięcia zmiennego 6,3 V (żarzenie lamp) i 220 V (zasilanie prostownika). Prostownik pracuje w układzie Graetz'a. Zasada działania prostownika w takim układzie przedstawiona jest na rysunku 2 a, b. Jeżeli założymy, że w danym momencie prąd płynie od pkt. A, to na swej drodze napotka on najmniejszą oporność przepływając przez element prostowniczy, którego kierunek przewodzenia jest zgodny z kierunkiem prądu, a więc AC. Dalej prąd będzie płynął przez oporność obciążenia, którą stanowi wzmacniacz i element prostowniczy DB do transformatora.

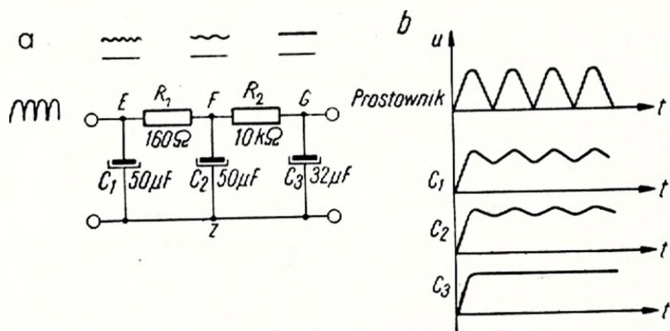


Rys. 2. Zasada działania prostownika

Na rysunku 2b pokazany jest przebieg prądu w prostowniku, w przypadku gdy prąd z transformatora płynie od zacisku B. Strzałki na schemacie pokazują kierunek przepływu prądu. Prąd otrzymywany z prostownika nie nadaje się do zasilania wzmacniacza, ponieważ jest nie stały, lecz jednokierunkowy, to znaczy, że płynie wprawdzie w jednym kierunku, lecz jego wartość

zmienia się od zera do wartości maksymalnej i wraca znowu do zera (rys. 2b). Taki przebieg powtarza się 100 razy w ciągu sekundy, ponieważ prostowanie jest dwukierunkowe (wykorzystywane są obie połowki sinusoidy prądu zasilającego prostownik).

Prąd jednokierunkowy zostaje poddany filtracji w układzie poka-

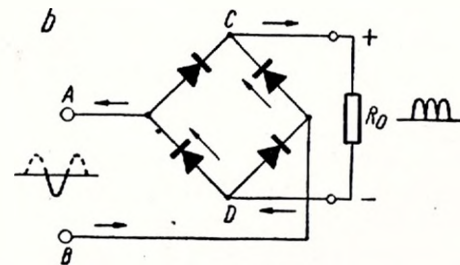


Rys. 3. Działanie filtra napięcia wyprostowanego

zanym na rysunku 3a. Wstępne „wygładzanie” odbywa się na kondensatorze C_1 . W chwili włączenia zasilacza do sieci, pierwsza połowka sinusoidy ładuje kondensator C_1 . Ponieważ kondensator ten ma dosta-

Wyjaśnimy jeszcze, dlaczego niektóre stopnie wzmacniacza zasilane są z punktu F, a inne z punktu G. Jak widać ze schematu na rysunku 8, z punktu F zasilają się tylko stopnie wzmacnienia mocy, a więc stopień, w którym wartość napięcia sygnału jest bardzo znaczna; przy pełnej mocy wzmacniacza będzie ona wynosiła ok. 170 V (w założeniu, że oporność robocza stopnia mocy jest równa 5 k Ω). Ponieważ w punkcie E (rys. 3) napięcie tętnień wynosi około 4,5 V, w punkcie F wartość jego wyniesie ok. 1 V. Zatem w stosunku do napięcia użytecznego napięcie tętnień będzie bardzo małe. Poza tym stopień końcowy wzmacniacza w układzie przeciwnym nie wymaga napięcia zasilającego bardzo dobrze filtro-

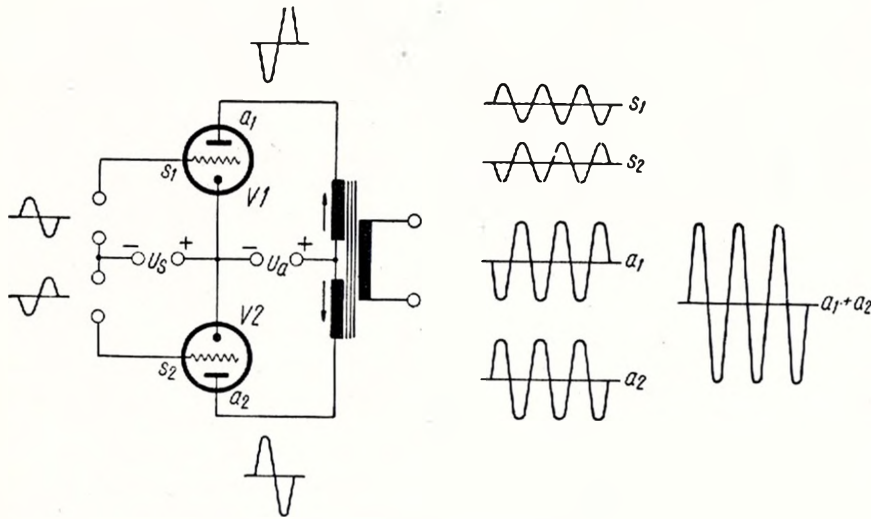
wanego, co zostanie jeszcze dokładniej wyjaśnione. Stopień odwracający fazę i stopień korekcyjny, pracujące przy niższych napięciach, wymagają lepszej filtracji. Napięcie tętnień w punkcie G filtru wynosi zaledwie około 4,5 mV.



tecznie dużą pojemność (50 μ F), przeto zanim się rozładuje, przychodzi następny impuls prądu, który go doładowuje, a za nim znowu następny itd. Wartość napięcia na kondensatorze C_1 pokazana jest za pomocą wykresu na rysunku 3b. Następne stopnie filtru służą do dalszego „wygładzenia” prądu, czyli do filtracji składowej zmiennej napięcia zasilającego.

Przejdźmy do wyjaśnienia zasady działania stopnia mocy wzmacniacza. W lepszych wzmacniaczach akustycznych stosowany jest układ przeciwny. Lamy stopnia końcowego są w tym przypadku sterowane napięciami przesuniętymi w fazie względem siebie o 180°; jeżeli więc napięcie na siatce sterującej lampy V1 rośnie, to równocześnie napięcie na siatce lampy V2 maleje. Napięcia w obwodach anodowych lamp mają również fazy przeciwne, ale sumują się w transformatorze wyjściowym, mającym odczep w środku uzwojenia pierwotnego. Wyjaśnia to dostatecznie rysunek 4.

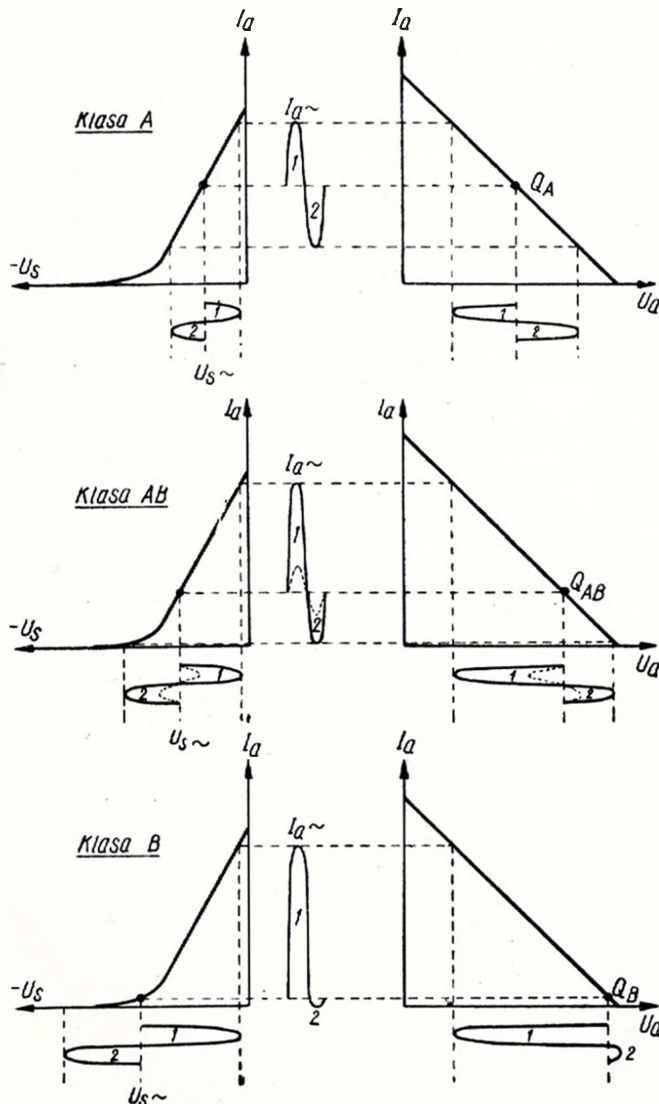
Jak wspomniano, wzmacniacz przeciwny wymaga mniej skutecznej filtracji niż wzmacniacz niesymetryczny. Spójrzmy na rysu-



Rys. 4. Układ przeciwsobny

mek 4; strzałki idące od plusa zasilacza pokazują, że prądy w obwodach anodowych, wywołane napięciem tętnień, płyną przez obie połowki transformatora wyjściowe-

go w taki sposób, że ich działania znoszą się nawzajem i przy prawidłowo wykonanym transformatorze w uzwojeniu wtórnym tętnień nie ma:



Rys. 5. Charakterystyki robocze i punkty pracy lampy we wzmacniaczach różnych klas (A, AB, B)

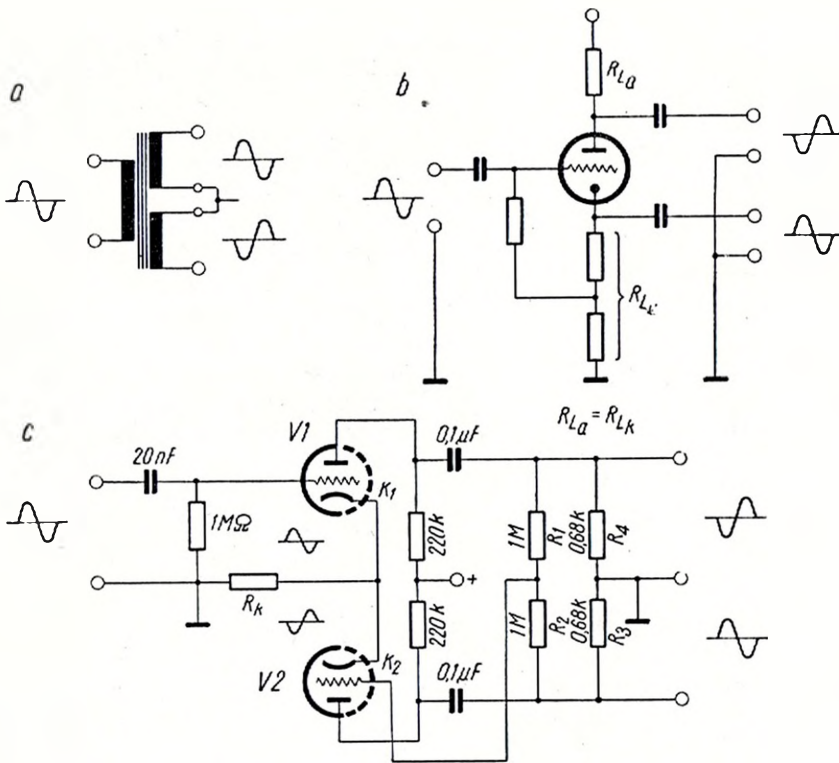
Pozostaje jeszcze do wyjaśnienia zagadnienie różnic pomiędzy wzmacniaczami zaliczanymi do rozmaitych klas: A, AB i B. Główna różnica polega na odmiennych położeniach punktu pracy na charakterystyce roboczej lampy w stopniu końcowym (rys. 5). Dodać trzeba, że klasa AB i B może być stosowana tylko w układach przeciwsobnych. Jeżeli nie jest wymagana wysoka sprawność urządzenia, a pożądane jest ograniczenie do minimum zniekształceń, to stosuje się układ pracujący w klasie A. Tego rodzaju wzmacniacz pobiera taki sam prąd z zasilacza bez sygnału, jak przy oddawaniu pełnej mocy.

Jeżeli zniekształcenia mają mniejsze znaczenie, a wymagana jest możliwie duża sprawność wzmacniacza, stosuje się klasę B. W klasie tej wzmacniacz pobiera prąd anodowy ze źródła tylko przy wystereowaniu. Bez wystereowania siatki sterujące lamp mają duże napięcie ujemne, przy którym prąd anodowy prawie nie płynie.

Najczęściej stosuje się wzmacniacze pracujące w tzw. klasie AB. Wzmacniacz taki przy zachowaniu podstawowej zalety klasy A (wnoszenie małych zniekształceń), ma przy większym wystereowaniu większą sprawność i umożliwia lepsze wykorzystanie lamp stopnia końcowego. Pracuje przy niewielkim wystereowaniu, w zasadzie w klasie A, a przy większym — zbliża się do klasy B (krzywa kreskowana na rys. 5 — małe wystereowanie; krzywa ciągła — duże wystereowanie).

Opisywany wzmacniacz pracuje właśnie w klasie AB (bardzo „płytkiej”); prąd anodowy pobierany przez wzmacniacz mocy bez sygnału wynosi około 70 mA, a przy pełnym wystereowaniu dochodzi do 80 mA.

Obecnie omówię zagadnienie uzyskiwania napięć przesuniętych w fazie o 180° , niezbędnych do sterowania siatek lamp końcowych. Do tego celu służy odwracacz fazy. Istnieje wiele układów odwracających fazę, przy czym najprostszym z nich jest zwykły transformator z odczepem w środku wtórnego uzwojenia (rys. 6a). Układ z transformatorem jest niedogodny i może powodować pewne dodatkowe zniekształcenia. Dlatego we wzmacniaczach Hi-Fi stosuje się przeważnie jeden z licznych układów lampowych.



Rys. 6. Układy odwracaczy fazy
(Oporniki anodowe lamp V1 i V2 oznaczone są jako R_a i R_b)

Najprostszym lampowym odwracaczem fazy jest układ przedstawiony na rysunku 6b. Działanie takiego układu polega na wykorzystaniu zjawiska odwracania fazy przez lampę. Jeżeli napięcie na siatce sterującej takiego odwracacza rośnie, wzrasta również płynący przez lampę prąd anodowy. Wobec tego rosną również spadki napięcia na opornikach R_{L_a} i R_{L_k} , potencjał anody lampy obniża się, a potencjał katody wzrasta, czyli fazy napięć anody i katody są przeciwne względem masy. Układ taki pracuje zupełnie dobrze, jeżeli nie stawia mu się zbyt dużych wymagań.

We wzmacniaczu Hi-Fi stosuje się z reguły bardziej skomplikowane układy. W opisywanym tu wzmacniaczu zastosowano jeden z takich właśnie układów (rys. 6c).

Na wejście układu doprowadzane jest napięcie zmienne, które po wzmacnieniu przez górną połówkę lampy odwracającej fazę steruje jedną z lamp wzmacniacza przeciwobnego. Siatka połówki dolnej odwracacza jest sterowana napięciem z dzielnika utworzonego przez oporniki R_1 i $(R_2 + R_4 \parallel R_5)$. Jeżeli wzmacnienie lamp jest dostatecznie duże (ponad 50 V/V), to niesymetria napięć wyjściowych odwracacza wynosiłaby ok. 6%. Ale dzięki oddziaływaniu opornika R_k niesymetria napięć jest zmniejszona do warto-

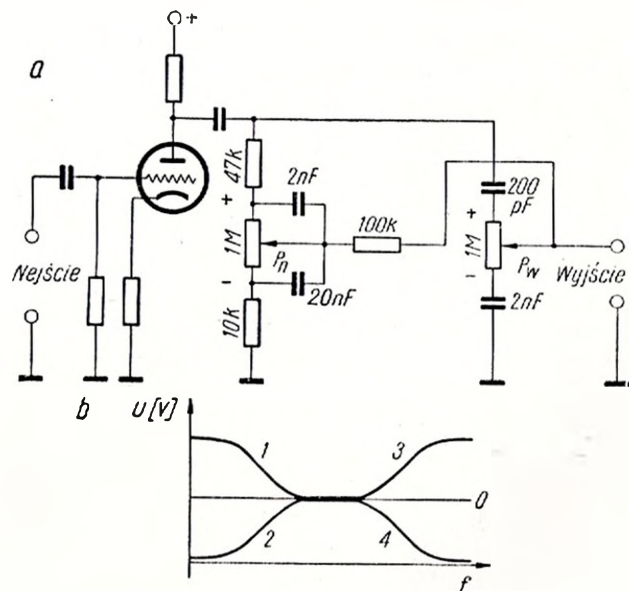
ści bardzo małych. Na oporniku R_k , wspólnym dla obu lamp, tworzą się przeciwnie skierowane spadki napięcia zmiennego. Jeśli napięcia te są jednakowe, to nic się nie dzieje; jeśli natomiast jedno z napięć różni się od drugiego, to na oporniku R_k powstaje ujemne sprzężenie zwrotne, które powoduje zmniejszenie wzmacnienia lampy V2 i wyrównanie napięć wyjściowych odwracacza fazy.

Pozostaje jeszcze do omówienia regulator charakterystyki częstotli-

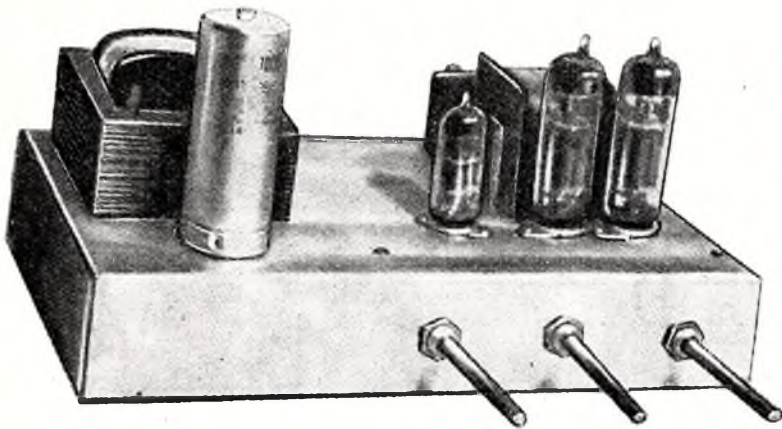
wościowej, czyli tzw. regulator barwy dźwięku.

Układ korektora przedstawiony jest na rysunku 7. Rozpatrzmy najpierw stan, kiedy potencjometr regulacji wysokich tonów znajduje się w skrajnym górnym położeniu. Wówczas prądy większych częstotliwości pasma akustycznego przedostają się poprzez kondensator 200 pF na siatkę lampy odwracacza fazy. Mamy w tym przypadku silniejsze wzmocnienie tonów wysokich (krzywa 3 na rys. 7b.). Opornik 100 kΩ, który znajduje się pomiędzy suwakami potencjometrów, ma za zadanie usunięcie wzajemnych wpływów obu regulatorów. Jeżeli suwak potencjometru P_w znajdzie się w skrajnym dolnym położeniu, to wówczas powstaje filtr tłumiący wielkie częstotliwości, który składa się z oporności potencjometru zablokowanej do ziemi kondensatorem 2000 pF. Przebieg charakterystyki będzie wówczas jak na rysunku 7b — krzywa 4.

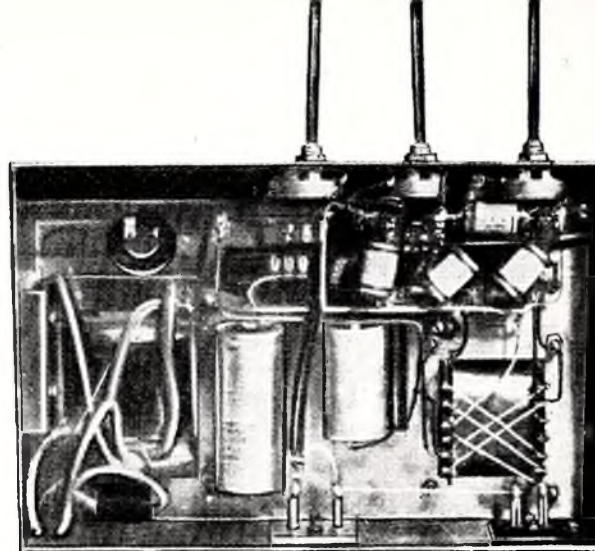
Potencjometr P_n służy do regulacji charakterystyki w zakresie najmniejszych częstotliwości przenieszonego pasma. Kondensatory 200 pF i 20 nF połączone szeregowo, tłumią dość znacznie średnie częstotliwości. W górnym położeniu suwaka potencjometru P_n (z wszystkich częstotliwości przedostających się na potencjometr przez opornik separacyjny 47 kΩ tylko najmniejsze nie będą silnie osłabione przez kondensator 20 nF), najniższe tony będą „podniesione” (krzywa 1 na rys. 7b). Jeżeli suwak ustawiony



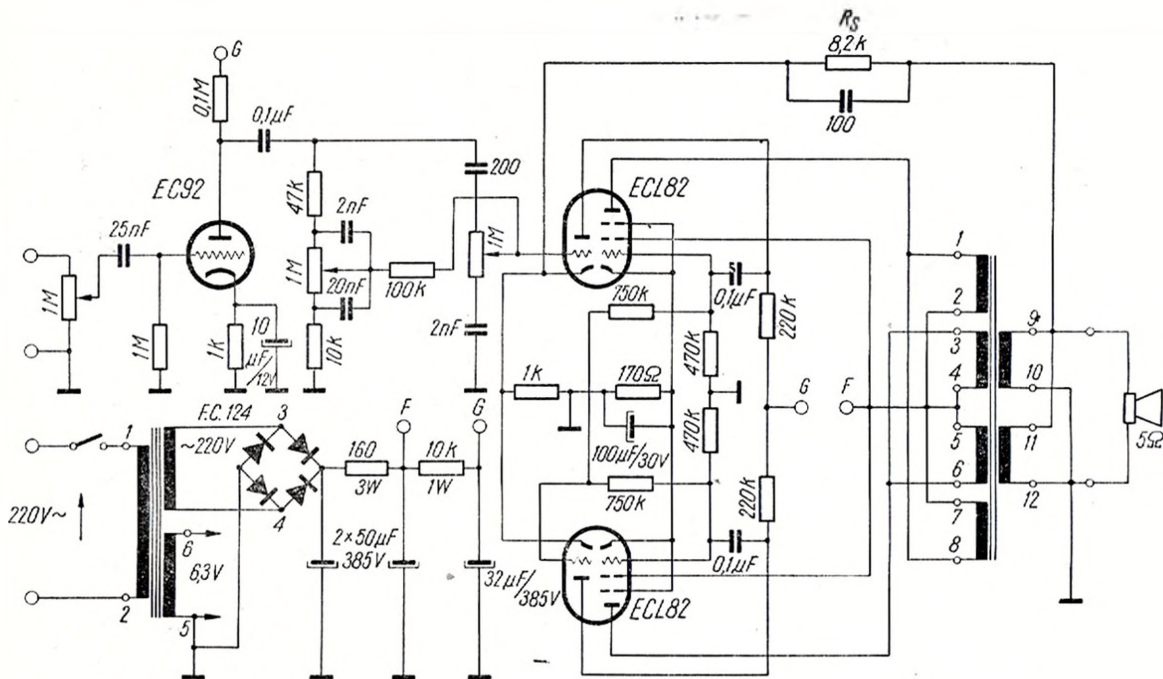
Rys. 7. Układ regulatora charakterystyki częstotliwościowej



Fot. 1. Widok modelu wzmacniacza



Fot. 2. Widok modelu wzmacniacza od spodu podstawy



Rys. 8. Schemat ideowy wzmacniacza

zostanie w położeniu dolnym, to przez kondensator 2000 pF przejdą tylko średnie częstotliwości, male natomiast będą tłumione (krzywa 2 na rys. 7b), ponieważ oporność kondensatora dla tych częstotliwości jest bardzo duża.

Należałoby jeszcze wspomnieć o ujemnym sprzężeniu zwrotnym, obejmującym transformator wyjściowy, stopień mocy i odwracacz fazy (rys. 8). Zasada sprzężenia zwrotnego była omawiana niejednokrotnie w poprzednich numerach „Radioamatora i Krótkofalowca”, wspomnę więc tylko, że dzięki dostatecznie silnemu ujemnemu sprzężeniu uzyskano kilkakrotne zmniejszenie współczynnika zawartości harmonicznych (z ok. 5% do 1%)

oraz poważnie zmniejszono oporność wyjściową wzmacniacza (tj. oporność, którą głośnik „widzi” od strony zacisków wyjściowych). Napięcie ujemnego sprzężenia zwrotnego jest pobierane z wtórnego uzwojenia transformatora wyjściowego i doprowadzone do katody odwracacza fazy przez układ RC, w którym pojemność służy do skorygowania przesunięć fazowych, pojawiających się przy przesyłaniu wielkich częstotliwości akustycznych.

Schemat ideowy całego wzmacniacza jest przedstawiony na rysunku 8. Wszystkie oporniki mają obciążalność równą 0,1 W, z wyjątkiem oporników w katodach lamp końcowych (170 Ω/3 W), opornika

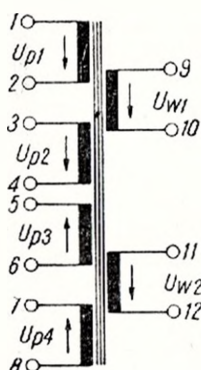
w filtrze (160 Ω/3 W) oraz drugiego opornika w filtrze (10 kΩ/1 W).

Wzmacniacz modelowy został zmontowany na chassis z blachy aluminiowej o wymiarach: 240 × 170 × 40 mm. Transformator sieciowy oraz wyjściowy są wpuszczone w otwory chassis. Rozmieszczenie zasadniczych elementów podane jest na fot. 1.

Lampy umieszczone są w pobliżu transformatora wyjściowego, a kondensator elektrolityczny przed transformatorem sieciowym. Na tylnej ścianie są umieszczone (fot. 2): gniazdo wyjściowe, gniazdo wejściowe, a po lewej stronie — wyłącznik sieciowy. Do ścianki bocznej przykręcony jest prostownik selenowy w układzie Graetz'a. Na

ściance przedniej umieszczone są potencjometry do regulacji wzmocnienia i zmiany charakterystyki częstotliwościowej. Pomiedzy podstawkami lampowymi i ścianką przednią umocowana jest listewka z końcówkami, do których lutuje się oporniki i kondensatory.

Najbardziej chyba kłopotliwe jest nawinięcie transformatora wyjściowego. Jego uzwojenie pierwotne podzielone jest na 4 części, a wtórne na 2. Dzięki podzieleniu uzwojenia i połączeniu sekcji (rys. 9) uzyskuje się znaczne zmniejszenie indukcyjności rozproszenia transformatora, a tym samym poprawienie jego charakterystyki częstotliwościowej. Transformator wykonany jest na rdzeniu od transformatora wyjściowego („głośnikowego“) telewizora „Dürer“ (taki sam rdzeń ma transformator ramki telewizora „Rubens“); rdzeń ten ma oznaczenie EI 78. Grubość pakietu 28 mm.

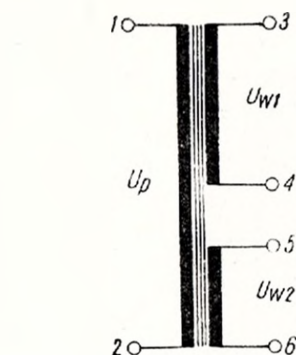


Rys. 9. Dane rdzenia i nawojowe transformatora wyjściowego
 $U_{p1}, U_{p2}, U_{p3}, U_{p4} = 1600$ zwojów drutu $\varnothing 0,12$ mm $U_{w1}, U_{w2} = 110$ zwojów drutu $\varnothing 0,6$ mm

Do wykonania transformatora wyjściowego może być użyty każdy rdzeń, którego powierzchnia przekroju jest równa około 7 cm^2 , a powierzchnia okna około $5,1 \text{ cm}^2$.

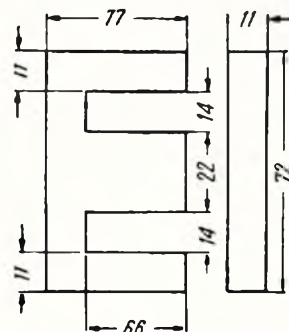
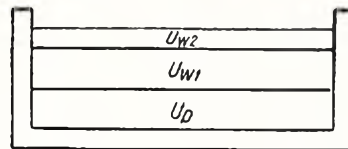
Sposób nawinięcia pokazany jest na rysunku 9. Strzałki oznaczają kierunki nawijania poszczególnych uzwojeń. Zmianę kierunku nawijania uzyskuje się przez obrócenie korpusu na osi nawijarki. Każdą warstwę uzwojenia należy izolować cienkim papierem transformatorowym, co również ułatwia równe układanie drutu. Pomiedzy poszczególnymi uzwojeniami należy ułożyć ceratkę transformatorową.

Transformator sieciowy (rys. 10) posiada tylko trzy uzwojenia. Nawija się go na rdzeniu od transformatora sieciowego odbiornika „Mazur“. Uzwojenie pierwotne może być



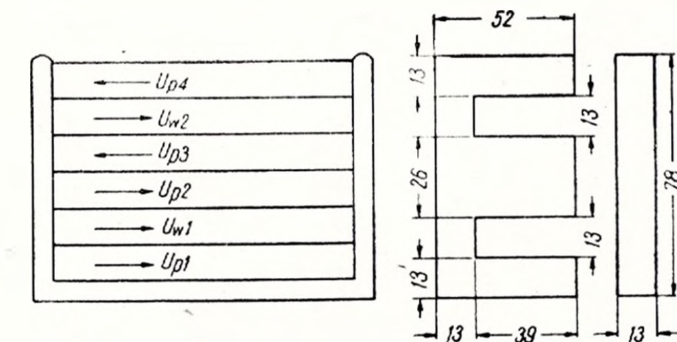
nawinięte masowo. Pomiedzy uzwojeniami powinna znajdować się izolacja z ceratki. Uzwojenie wtórne wysokiego napięcia nawija się stosując przekładki z papieru kondensatorowego po każdej warstwie.

Po umocowaniu wszystkich większych elementów przystępujemy do montażu elektrycznego. Montaż elektryczny rozpoczynamy od przykręcenia łączówek uziemiających dc chassis i przyłutowania do nich przewodu uziemiającego z drutu



Rys. 10. Dane rdzenia i nawojowe transformatora sieciowego

$U_p = 1750$ zwojów drutu $\varnothing 0,35$ mm
 $U_{w1} = 1700$ zwojów drutu $\varnothing 0,3$ mm
 $U_{w2} = 60$ zwojów drutu $\varnothing 0,6$ mm



miedzianego $\varnothing 2,5$ mm lub taśmy miedzianej 3×1 mm.

Następnie przewoźmy przewody obwodów żarzeniowych i montujemy oporniki i kondensatory, wykorzystując do tego nóżki podstawek lampowych, łączówki lutownicze i końcówki gniazd i potencjometrów.

Należy pamiętać o tym, aby wszelkie połączenia były możliwe krótkie i starannie lutowane.

Przewód łączący gniazdo wejściowe z potencjometrem regulującym wzmocnienie powinien być ekranowany. Pozostałe przewody połączeniowe — w koszulce igelitowej. Napięcie żarzenia do lamp doprowadzamy dwoma przewodami; jeden z nich uziemia przy transformatorze, lutując go do łączówki przymocowanej do chassis.

Po dokładnym sprawdzeniu prawidłowości połączeń możemy przy-

stąpić do włączenia wzmacniacza do sieci i pierwszych prób.

Włączamy wzmacniacz bez lamp i patrzymy (z ręką na wyłączniku), czy coś się nie dymi lub nie grzeje. Jeżeli mamy do dyspozycji woltomierz, to mierzymy napięcie żarzenia (bez lamp — ok. 7 V) oraz napięcie na pierwszym kondensatorze elektrolitycznym (około 250 V). Jeżeli transformator zasilający został wykonany prawidłowo, napięcia na pewno będą dobre i można przystąpić do dalszych prób.

Bez miernika zawartości harmonicznyc, miernika mocy wyjściowej oraz generatora akustycznego o małej zawartości harmonicznyc badanie dynamiczne wzmacniacza ogranicza się do badania subiektywnego własnym słuchem.

Do wejścia wzmacniacza należy przyłączyć adapter lub magnetofon, a do wyjścia — głośnik o opor-

ności cewki $4 \div 8 \Omega$. Przy potencjometrze regulującym wzmocnienie, ustawionym na minimum, sprawdzamy słyszalność przydźwięku sieciowego; powinien on być słyszalny jedynie w najbliższej odległości od głośnika. Jeśli szumy są zbyt duże sprawdzamy, czy wszystkie przewody uziemiające są starannie przyłutowane. Należy również pamiętać o konieczności uziemienia ekranu przewodu łączącego gniazdo wejściowe z potencjometrem oraz pokrywek potencjometrów.

Uruchamiamy adapter (krystaliczny) lub magnetofon i sprawdzamy, czy wzmacniacz poprawnie działa, regulując siłę głosu i zmieniając charakterystykę częstotliwościową. Kręcąc gałką regulatora wysokich tonów powinniśmy uzyskać wyraźnie słyszalne przejście od stłumionych wysokich tonów (brzmienie głuche) do silnie uwypuklonych (brzmienie jaskrawe). Podobnie kręcąc gałką regulatora basów powinniśmy uzyskać brzmienie „blasza-

ne”, zupełnie bez basów lub „so-czyste” — w położeniu potencjometra odpowiadającym ich uwypukleniu. Przy zastosowaniu potencjometrów liniowych, w położeniu środkowym obu potencjometrów charakterystyka częstotliwościowa wzmacniacza przebiega liniowo od 20 Hz do 20 kHz.

Przy dłuższej pracy wzmacniacza niektóre z elementów (transformator sieciowy, prostownik selenowy, opornik 160Ω w filtrze zasilacza i opornik w katodach lamp końcowych 170Ω) mogą się dość silnie rozgrzewać.

Dokładne badania w laboratorium wykazały, że opisany wzmacniacz ma następujące wskaźniki jakościowe:

- charakterystyka częstotliwościowa liniowa (± 2 dB) od 20 Hz do 20 kHz;
- zakres regulacji charakterystyki częstotliwościowej ± 15 dB na częstotliwościach 100 Hz i 10 kHz;

— współczynnik zawartości harmonicznycy około 1% przy pełnej mocy (6 W) i częstotliwości 1000 Hz.

Jeżeli wzmacniacz ma pracować ze źródła, które daje mniejsze napięcie wyjściowe niż 0,5 V (np. adapter magnetyczny), należy zastosować jeszcze jeden stopień wzmocnienia lub zrezygnować z bardzo małych zniekształceń i zwiększyć czułość wzmacniacza przez zmniejszenie ujemnego sprzężenia zwrotnego (zwiększając opornik R_3). Należy przy tym pamiętać, że zwiększając dwukrotnie wartość oporności zwiększamy mniej więcej dwukrotnie czułość wzmacniacza, ale równocześnie zwiększamy wprowadzone zniekształcenia nieliniowe.

Bez sprzężenia zwrotnego przy pełnej mocy współczynnik zawartości harmonicznycy wyniósł ok. 5%, a charakterystyka częstotliwościowa była gorsza.

inż. Andrzej Depczyk