

WZMACNIACZ W UKŁADZIE PRZECIWSOBNYM

Wzmacniacz został zestawiony z minimalnej ilości elementów, dość łatwo dostępnych na rynku. Jedyne transformator wyjściowy należy wykonać we własnym zakresie, gdyż jako nietypowy nie jest osiągalny w sprzedaży.

Wzmacniacz odznacza się bardzo dobrymi – jak na amatorskie warunki –

parametrami. Zostały one osiągnięte prostymi środkami, a mianowicie przez zastosowanie w kilku punktach układu ujemnego sprzężenia zwrotnego oraz bezpośredniego sprzężenia pomiędzy stopniami.

Na rysunku 9 przedstawiony jest schemat ideowy wzmacniacza. Jak widać, ilość lamp i elementów istotnie została ograniczona do rzadko spotykanego minimum. W pierwszym stopniu pracuje jedna z triod lampy ECC 83. Anoda tej lampy jest bezpośrednio przyłączona do siatki sterującej następnego stopnia wzmacniacza. Stopień ten, obsadzony drugą triodą lampy

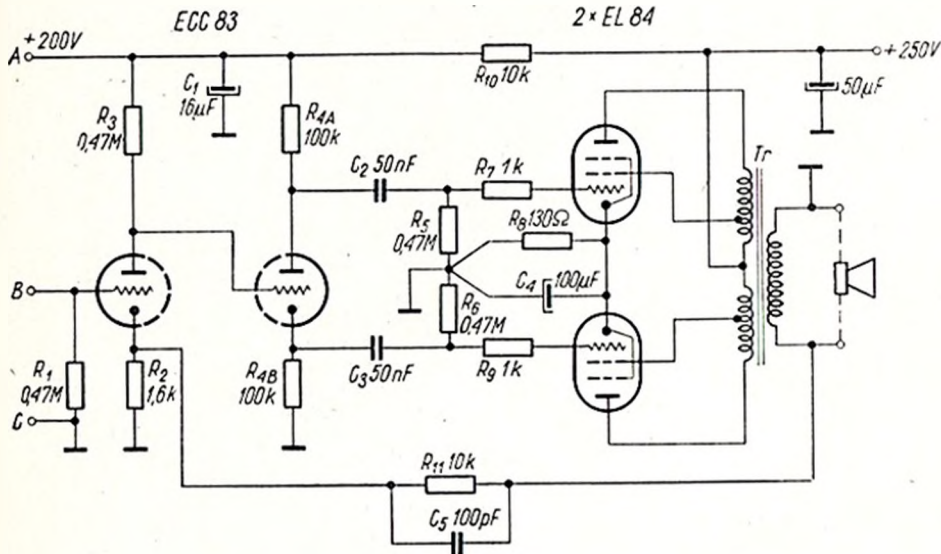
ECC 83 pracuje w układzie odwracania fazy.

Warunki pracy obu stopni są tak dobrane, że siatka sterująca drugiej triody ma potencjał o około 2 V niższy od potencjału katody tej lampy. Zasadniczym celem stosowania takiego układu nie jest zaoszczędzenie kondensatora sprzęgającego i opornika siatkowego, lecz znakomite poprawienie charakterystyki przeniesienia całego wzmacniacza (w zakresie małych i wielkich częstotliwości) oraz obniżenie poziomu szumów.

- R_1, R_2 — 1 k Ω /0,1 W 2 „
- R_3 — drutowy 130 Ω /3 W 1 „
- R_{10} — 22 k Ω /0,5 W 1 „
- R_{11} — 10 k Ω /0,1 W 1 „

Kondensatory

- C_1 — elektrolityczny 16 μ F/350 V . . 1 szt.
 - C_2, C_3 — styrofleksowy 50 μ F/250 V . 1 „
 - C_4 — elektrolit. 100 μ F/15 V 1 „
 - C_5 — ceramiczny 100 pF 1 „
 - C_6 — elektrolit. 50 μ F/350 V 1 „
- Transformator wyjściowy Tr (wg opisu).
Czytelników zdziwi zapewne rzadko spotykane oznaczenie oporników R_{1A}



Rys. 9. Schemat ideowy wzmacniacza o mocy 18 W

Zastosowany układ odwracania fazy (tzw. „katodyna”) jest niezawodny w swej prostocie. W stopniu końcowym pracuje para lamp typu EL 84. Oczywiście, zgodnie z wymaganiami współczesnej techniki Hi-Fi, w stopniu tym zastosowano ujemne sprzężenie zwrotne w siatkach ekranujących (tzw. „układ ultralinear”). Siatki te nie są przyłączone — jak to zwykle bywa — bezpośrednio do źródła wysokiego napięcia, lecz do specjalnych odczepów na uzwojeniu pierwotnym transformatora wyjściowego. Stosowanie takiego sprzężenia zwrotnego komplikuje nieco wykonanie transformatora wyjściowego, lecz jest nader opłacalne, gdyż około dwukrotnie zmniejsza zniekształcenia nieliniowe wnoszone przez stopień mocy. Ponadto cały wzmacniacz jest objęty głębokim sprzężeniem zwrotnym, które bieżnie od wtórnego uzwojenia transformatora wyjściowego do katody wzmacniacza wstępnego (lewy na schemacie system triody). Zrealizowanie sprzężenia zwrotnego obejmującego cały wzmacniacz jest możliwe między innymi dzięki bezpośredniemu sprzężeniu jego dwóch pierwszych stopni.

Do wykonania wzmacniacza potrzebne są następujące części i elementy:

- Lampy**
- V3, V4 — typu EL 84 2 szt.
 - V2 — typu ECC 83 1 „
- Oporniki**
- R_1, R_2, R_3 — 0,47 M Ω /0,1 W 3 „
 - R_4 — 1,6 k Ω /0,25 W 1 „
 - R_5 — 0,47 M Ω /0,5 W 1 „
 - R_{1A}, R_{1B} — 100 k Ω /0,5 W 2 „

i R_{1B} . Oznaczyliśmy je w ten sposób dlatego, że w zasadzie jest to opornik roboczy w drugim stopniu lampowym wzmacniacza rozdzielony na połowę. Jedna połowa znajduje się w obwodzie anody, druga zaś w obwodzie katody lampy. W ten sposób w stopniu tym uzyskuje się dwa napięcia o jednakowej amplitudzie (ponieważ oporniki są połączone szeregowo). Napięcia posiadają ponadto przeciwne fazy, toteż mogą służyć do napędzania przeciwsobnego stopnia mocy.

Dla poprawnej pracy stopnia odwracania fazy konieczne jest jednak, aby oporności obydwu wspomnianych oporników były jednakowe. W przeciwnym przypadku napięcia doprowadzone do siatek sterujących stopnia mocy nie będą równe. Wymagana dokładność wynosi około 1%. Należy wyjaśnić, że w danym przypadku nie chodzi o to, aby oba oporniki posiadały oporność równą dokładnie 100 k Ω ; oporność ta może się mieścić w granicach 90–110 k Ω . Natomiast oba oporniki powinny mieć dokładnie tę samą oporność — w podanych wyżej granicach. Należy je więc dobrać za pomocą dokładnego omiernika lub mostka.

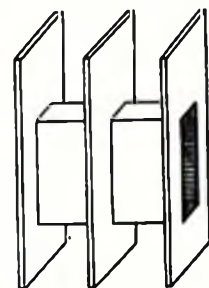
Wykonanie transformatora wyjściowego

Najwięcej kłopotów sprawia przeważnie transformator wyjściowy. Warto jednak dla wykonania tego elementu dołożyć maksimum starań, gdyż od jakości wykonania transformatora zależą w decydującym stopniu parametry jakościowe wzmacniacza.

Do wykonania transformatora potrzebny jest rdzeń o przekroju środkowej kolumny około 9–10 cm². Stosownie do rozmiarów rdzenia należy wykonać korpus transformatora podzielony symetrycznie na połowę. Jeżeli dysponujemy korpusem fabrycznym dla danego rdzenia, należy w nim zamontować dodatkowo środkową przegrodę (rys. 10).

Uzwojenie transformatora wyjściowego dla układu przeciwsobnego powinno być nawinięte z możliwie daleko posuniętą symetrią. Dlatego też uzwojenia jego dzielone są na odpowiednie sekcje dla lewej i prawej części korpusu. Poprawne nawinięcie takiego transformatora nie jest trudne. Największą trudnością dla nie znających tego zagadnienia — jest jednak samo zgiębnienie zasady symetrycznego nawijania poszczególnych sekcji uzwojenia. Dlatego też spośród wielu możliwych zastosowano jeden z najprostszych układów uzwojenia, zapewniający mimo prostoty dobre rezultaty.

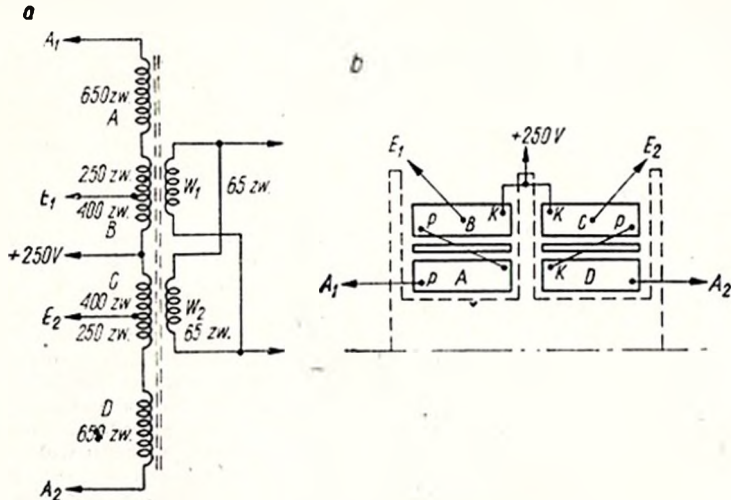
Schemat uzwojeń transformatora jest pokazany na rysunku 11. Uzwojenie pierwotne składa się z 4 sekcji, każda po 650 zwojów drutu w emalii \varnothing 0,16 mm. W dwóch sekcjach są wykonane dodatkowe odczepy dla zasilania siatek ekranujących. Obie sekcje uzwojenia należące do obwodu anodowego jednej z lamp wyjściowych (od „+250” do anody lampy) są umieszczone w tej samej połowie korpusu transformatora. Pomiedzy tymi sekcjami znajduje się (w każdej połowie korpusu) sekcja uzwojenia wtórnego nawinięta przewodem \varnothing 0,5/0,6 mm w emalii.



Rys. 10. Korpus dla symetrycznego uzwojenia transformatora wyjściowego (głośnikowego)

Dla zachowania pełnej symetrii uzwojeń transformatora poszczególne sekcje powinny być nawinięte analogicznie, tak jak to pokazują oznaczenia P (początek uzwojenia) i K (koniec uzwojenia). Znaczy to, że jeżeli pierwszą (dolną, bliższą rdzenia transformatora) sekcję uzwojenia anodowego A rozpoczniemy nawijając na dnie korpusu od zewnętrznej strony, a zakończymy przy wewnętrznej stronie (tj. przy przegrodzie środkowej), to analogiczną sekcję D dla drugiej lampy należałoby nawijać dalej w tym samym kierunku, a więc poczynając od środkowej przegrody (na tej samej wysokości, co ostatnia warstwa sekcji A) i kończąc na dnie korpusu na zewnętrznej (rys. 12). Tylko takie (przykładowe, z pominięciem dla uproszczenia pozostałych elementów) wykonanie dwóch sekcji (np. dwóch połówek uzwojenia anodowego) umożliwia uzyskanie pełnej symetrii:

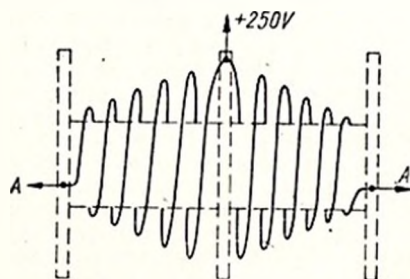
oble anody lamp są przyłączone do identycznie ułożonych końców uzwojenia, jak również wspólny punkt (środek uzwojenia) jest połączeniem dwóch identycznie położonych końcówek. W tej sytuacji są jednakowe dla obu sekcji zarówno indukcyjności uzwojeń (jeśli tylko zachowana została ta sama liczba zwojów w sekcjach), ich oporności omowe (ta sama ilość przewodu), pojemności poszczególnych punktów uzwojenia (np. anod lamp) do masy (rdzenia) itp.



Rys. 11. Uzwojenie transformatora wyjściowego
a - schemat ideowy, b - symetryczny układ poszczególnych sekcji; dla uproszczenia pokazane jest łączenie sekcji tylko uzwojenia pierwotnego

Jednakże takie nawinięcie w praktyce jest niewykonalne; nie można bowiem wykonać w opisany sposób drugiej części uzwojenia (sekcja D) „od końca”, tj. od wierzchu uzwojenia do jego spodu. Dlatego też postępujemy inaczej: po nawinięciu sekcji A rozpoczynamy nawijanie sekcji D (rys. 12) również od zewnętrznego skrajnego punktu i nawijamy je coraz wyżej, kończąc je przy środkowej przegrodzie. Aby jednak w końcowym efekcie cokoło uzwojenie było nawinięte w jednym kierunku, drugą sekcję należy — nawijając ją od końca — nawijać w przeciwną stronę. Jest to chyba zrozumiałe z rysunku 12, gdzie dla ułatwienia wielowarstwowe (grube) uzwojenie przedstawione jest w postaci pojedynczej, coraz „grubszej” spirali. W analogiczny sposób nawijamy uzwojenie bardziej skomplikowane, w naszym przypadku 4-sekcyjny.

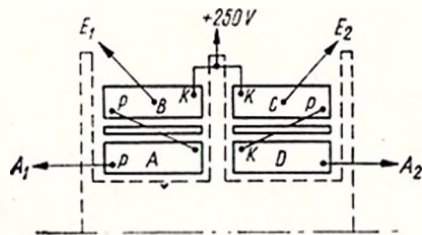
Uzwojenie wtórne wykonujemy w dwóch sekcjach ułożonych po jednej w każdej połowie korpusu transfor-



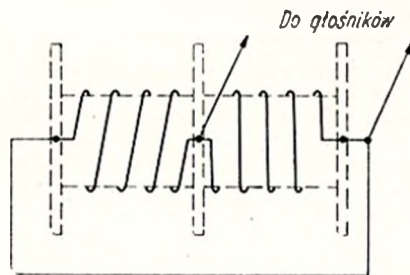
Rys. 12. Uproszczone szkice symetrycznego uzwojenia transformatora głośnikowego

matora. Uzwojenia te są połączone równolegle, przy czym dla zachowania symetrii połączone są ze sobą końce jednakowo usytuowane (rys. 13). Dlatego też, zgodnie z tym co przedstawia ten rysunek, należy obydwie sekcje uzwojenia wtórnego nawinać w przeciwnych kierunkach (dowolnych).

Pomiędzy poszczególnymi sekcjami uzwojeń należy zastosować dość grube przekładki. Wszystkie końcówki uzwojeń należy wyprowadzić na zewnątrz korpusu, a samo łączenie sekcji wyko-



nać w ostatniej fazie pracy. Nieco więcej uwagi należy poświęcić jedynie wykonaniu dwóch ostatnich sekcji uzwojenia pierwotnego (wierzchnich), z których wyprowadzamy odczepy dla zasilania siatek ekranujących. Wyprowadzamy je zgodnie ze schematem uzwojenia — po wykonaniu 400 zwojów tak prawej, jak i lewej sekcji uzwojenia.



Rys. 13. Schemat ideowy uzwojenia i połączenia sekcji uzwojenia wtórnego transformatora

Łącząc ze sobą wyprowadzone na zewnątrz końcówki uzwojenia należy jeszcze raz sprawdzić prawidłowość jego wykonania. Najłatwiej dokonać tego, śledząc kolejno bieg uzwojenia od anody jednej lampy do anody drugiej lampy. Istnieje tu generalna zasada obowiązująca dla wszelkich transformatorów wyjściowych, niezależnie od sposobu sekcjonowania jego uzwojenia: przewód uzwojenia pierwotnego powinien być po właściwym nawinięciu i połączeniu poszczególnych sekcji tego uzwojenia w dowolnym, lecz niezmi-

nie jednym kierunku od jednej anody lampy do drugiej.

Warto dodać, że większość niepowodzeń, na jakie napotykały konstruktorzy wzmacniaczy w układzie przeciwnym, wynika z niewłaściwego nawinięcia transformatora wyjściowego. Jedno mylne połączenie czy niewłaściwe nawinięcie jakiegokolwiek sekcji uzwojenia prowadzi nieuchronnie do całkowitej wadliwej pracy wzmacniacza.

Przedwzmacniacz (wzmacniacz wstępny)

Czułość omówionego wzmacniacza nie jest duża, dlatego też dla zapewnienia właściwej współpracy z gramofonem elektrycznym czy gitarą, konieczne jest stosowanie tzw. „przedwzmacniacza”. Schemat odpowiedniego przedwzmacniacza przedstawiono na rysunku 14. Jest to klasyczny układ z lampą ECC 83 z korektorami niskich i wysokich tonów pomiędzy obu stopniami.

Potencjometr na wejściu układu służy do regulacji siły głosu, a następny z kolei — do regulacji tonów niskich, przy czym w górnej pozycji jego suwaka wypuklane są tony niskie. Trzecim potencjometrem regulujemy tony wysokie; w górnym położeniu jego suwaka wypuklane są wysokie tony. Dla częstotliwości około 1000 Hz tłumienie wprowadzane przez układ jest mniej więcej stałe, niezależnie od ustawienia obu potencjometrów. Tłumienie to jest pokrywane (oczywiście z pewną nadwyżką) przez lampowe stopnie wzmacniające.

Do wykonania przedwzmacniacza potrzebne są następujące części i elementy:

Lampa VI — typ ECC 83 . . . 1 szt.

Oporniki

- R_{12} — potencjometr logarytmiczny 0,5-1 M Ω 1 „
- R_{13} — 5 M Ω /0,1 W 1 „
- R_{14}, R_{15} — 51 k Ω /0,5 W 2 „
- R_{16}, R_{17} — potencjometr liniowy 2,2 M Ω 2 „
- R_{18} — 1 M Ω /0,1 W 1 „
- R_{19} — 150 k Ω /0,1 W 1 „
- R_{20} — 1,8 k Ω /0,25 W 1 „
- R_{21} — 22 k Ω /0,5 W 1 „

Kondensatory

- C_1 — styrofleksowy 22 nF/250 V . . . 1 „
- C_2, C_{12} — styrofleksowy 50 nF/250 V 1 „
- C_3 — ceramiczny 33 pF 1 „
- C_4 — ceramiczny 680 pF 1 „
- C_5 — styrofleksowy 27 nF 1 „
- C_6 — styrofleksowy 3300 pF 1 „
- C_7 — elektrolityczny 16 μ F/375 V . 1 „

Ponadto drobne elementy montażowe, jak: podstawka lampowa, gniazda wejściowe itp.

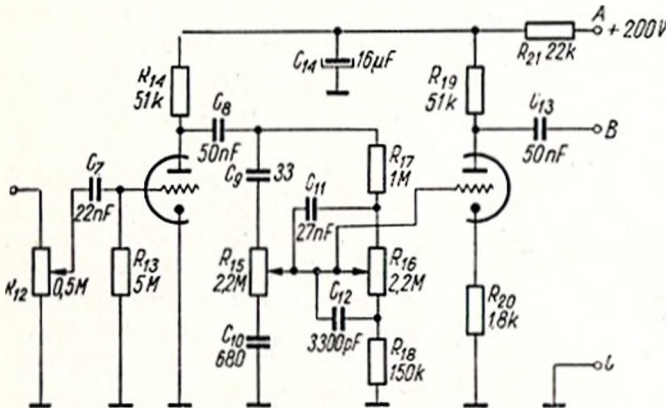
Schemat przedwzmacniacza z korektorami barwy dźwięku jest pokazany oddzielnie, ponieważ może on być zestawiony jako niezależny człon. Amatorzy niejednokrotnie montują taki przedwzmacniacz oddzielnie i umieszczają go w miejscu, gdzie pokrętki regulacyjne aparaty są łatwo dostępne. Jest to możliwe, ponieważ przedwzmacniacz jest stosunkowo niewielki. Wzmacniacz końcowy natomiast może być umieszczony w innym miejscu, np. na dnie radiola (szafy głośnikowej). Odległość pomiędzy przedwzmacniaczem

I wzmacniaczem nie może być jednak zbyt wielka (maksimum 0,5+1,0 m), ponieważ przy zbyt długim przewodzie ekranującym stosowanym do połączenia punktów B-B obu elementów nastąpiłoby zbyt wyraźne osłabienie wysokich tonów. Z tego też względu najlepiej zmontować przedwzmacniacz i wzmacniacz w postaci jednolitego członu tak, jak to będzie podane w dalszej treści opisu. Nie trzeba chyba wyjaśniać, że zestawiając oba omawiane człony aparatury należy połączyć ze sobą odpowiednio punkty układu, (rys. 9 i 14), a mianowicie A-A, B-B oraz C-C.

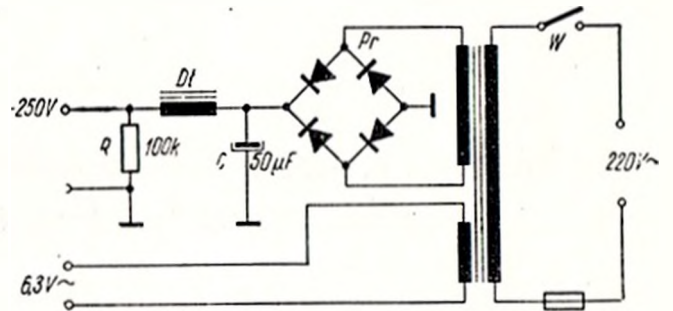
- uzwojenie wtórne: około 1350 zw., \varnothing drutu 0,30 mm,
 - uzwojenie żarzenia: 40 zw., \varnothing drutu 1,2 + 1,5 mm.
- Dławik filtru:
- przekrój środkowej kolumny rdzenia: około 3 + 4 cm²,
 - uzwojenie: 1000-2000 zw., \varnothing drutu 0,25 + 0,30 mm.

MONTAŻ WZMACNIACZA

Montaż wzmacniacza należy rozpocząć „od końca”, tj. od wykonania zasilacza. Na rysunku 16 pokazane jest przykładowo jedno z najprostsz...



Rys. 14. Schemat ideowy przedwzmacniacza



Rys. 15. Schemat ideowy zasilacza

Zasilacz

Wykonywanie zasilacza sieciowego w postaci oddzielnego podzespołu jest rzadko praktykowane, mimo że jest to jeden z najprostsz...

- Do wykonania zasilacza potrzebne są następujące elementy:
- R — opornik 100 k Ω /1 W 1 szt
 - C — kondensator elektrolityczny 50 μ F/450 V 1 szt
 - Pr — prostownik suchy SPS-6B-250-85 (lub podobny) 1 szt
 - DI — dławik (wg opisu)
 - Tr — transformator sieciowy od odbiornika „Tatry”, „Bole-ro”, „Karioka”, „Rumba”, „Sonata” 1 szt
 - W — wyłącznik (dowolny typ)
- oraz drobne elementy montażowe, jak: gniazdo z bezpiecznikiem 0,4 A, łączówka (z podstawki i cokołu lampowego typu „oktal”), sznur dwużyłowy z wtyczką itp.

Jako dławik można zastosować jakikolwiek dławik od odbiornika telewizyjnego lub radiowego, nawinięty drutem o średnicy nie mniejszej od 0,25 mm.

Kto pragnąłby samodzielnie wykonać elementy zasilacza może posłużyć się następującymi danymi.

Transformator sieciowy:

- przekrój środkowej kolumny rdzenia: około 9 cm²,
- uzwojenie pierwotne 220 V: około 1250 zw., \varnothing drutu 0,4 mm,

wiązań mechanicznych tej części aparatury: podstawa (blacha aluminiowa lub żelazna) posiada tylko dwie ścianki boczne. W jednej z nich jest zamontowany sznur sieciowy i bezpiecznik, w drugiej — podstawa typu „oktal” służąca jako wtyk łączówki. Szczególną uwagę należy zwrócić na solidne przyłączenie do blachy podstawy prostownika suchego (na rysunku 16 — pod dławikiem), aby poprzez dobry kontakt obudowa prostownika — podstawa mogła być odprowadzona nadmiar ciepła z elementów prostowniczych.

Po zmontowaniu zasilacza należy od razu sprawdzić jego działanie; w tym celu — po załączeniu układu do sieci elektroenergetycznej sprawdzamy odpowiednim przyrządem napięcie pomiędzy poszczególnymi kontaktami podstawki oktalowej.

Taką samą podstawkę zamontujemy w ścianie podstawy wzmacniacza. Do połączenia zasilacz-wzmacniacz będzie w tym przypadku potrzebna odpowiednia łączówka, tj. cztery splecione ze sobą przewody w izolacji igelitowej, zakończone cokołami zdjętymi ze starych lamp typu „oktal”. Na rysunku 17 pokazany jest przykładowo schemat połączeń takiej łączówki.

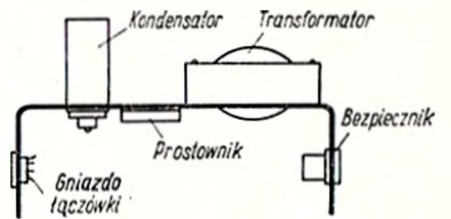
Ponieważ zasilacz sieciowy wykonaliśmy jako oddzielny podzespół, przeto rozmieszczenie elementów w naszym wzmacniaczu nie jest krytyczne i może być prawie dowolne. Oczywiście pod terminem „dowolne”, rozumiemy jakiegokolwiek trochę sensowne usytuowanie zasadniczych elementów, tj. takie, aby przewody łączące te elementy nie były niepotrzebnie długie. Przykład rozmieszczenia zasadniczych części wzmacniacza jest pokazany na rysunku 18.

Ścisłe jego kopiowanie nie jest oczywiście potrzebne.

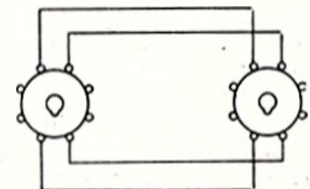
Montaż wzmacniacza rozpoczynamy oczywiście od obwodu żarzenia. Mniej zaawansowani powinni wykorzystać przy montażu układu i jego sprawdzaniu wszystkie uwagi na ten temat, podane przy szczegółowym omawianiu montażu wzmacniacza z części I (w nrze 0/68). Uwagi te są bardzo aktualne dla amatorskich wzmacniaczy wszelkiego typu. Równie aktualne są uwagi odnoszące się do eksperymentalnego ustalenia sposobu przyłączenia ujemnego sprzężenia zwrotnego.

Oddzielnego omówienia wymaga jedynie tzw. „symetryzacja” obwodu żarzenia. Zabieg ten ma na celu zmniejszenie do minimum przydźwięku pochodzącego z obwodu żarzenia lamp. Dla zlikwidowania go należy obydwa

przewody żarzeniowe dołączyć do masy (szyny uziemiającej) poprzez oporniki o oporności 47 + 100 Ω . Nieco lepsze wyniki można uzyskać łącząc końcówki wspomnianych oporników nie do masy układu, lecz do katod stopnia końcowego, skąd cały obwód żarzenia uzyska (w stosunku do masy) napięcie dodatnie o wartości kilku woltów).



Rys. 16. Przykład mechanicznego wykonania zasilacza



Rys. 17. Schemat ideowy łączówki zasilacz-wzmacniacz

ZESPÓŁ GŁOSNIKÓW I PRÓBY WZMACNIACZA

Transformator wyjściowy wzmacniacza jest przystosowany do obciążenia go opornością około 5 Ω . Oczywiście bardzo dokładnie dopasowanie oporności nie jest konieczne. Wzmacniacz będzie

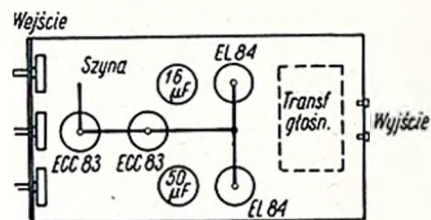
pracował niewiele gorzej również w przypadku obciążenia go głośnikiem (zestawem głośnikowym) o oporności w granicach $3,5 \div 7,0 \Omega$. Ponieważ maksymalna moc wzmacniacza wynosi około $10 \div 12$ W, łączna moc zestawu powinna zawierać się w granicach $15 \div 20$ W. Zestaw taki najlepiej jest wykonać w postaci kolumny dźwiękowej, zestawionej np. z 10 głośników 2-watowych lub 3-watowych. O samodzielnej budowie zestawu głośnikowego będzie jeszcze mowa w ostatniej, trzeciej części artykułu.

Pierwsze próby wzmacniacza najlepiej przeprowadzać przy użyciu gramofonu elektrycznego i dobrej płyty. Odtwarzając nagranie z płyty, należy sprawdzić działanie poszczególnych regulatorów wzmacniacza, tj. regulatora wzmocnienia i dwóch regulatorów barwy dźwięku. Przy regulatorze wzmocnienia usta-

wionym w skrajnym lewym położeniu (zwarłe wejście) w głośnikach nie powinien być słyszalny jakikolwiek przydźwięk. Dopuszczalne jest jedynie wystąpienie niewielkiego, ledwo słyszalnego szumu.

Czułość wzmacniacza jest wystarczająca dla współpracy z gramofonem elektrycznym. Napięcia wyjściowe gitar elektrycznych mogą okazać się w pewnych przypadkach niewystarczające dla pełnegoysterowania. Należy wówczas wbudować do gitary przedwzmacniacz tranzystorowy, którego opis konstrukcyjny został podany w części I.

Czułość wzmacniacza może być dodatkowo ustalona przez dobór wartości opornika R_{11} . Przy wartości tego opornika większej niż $10 \text{ k}\Omega$, czułość układu wzrasta. Maksymalna wartość tego opornika nie powinna być jednak większa od $30 \div 50 \text{ k}\Omega$, nie jest również



Rys. 18. Przykładowe rozmieszczenie zasadniczych elementów wzmacniacza

wskazane stosowanie oporności mniejszych od $8 \div 10 \text{ k}\Omega$. Czułość układu można dodatkowo zmniejszyć przez włączenie w obwód katody lampy pierwszego stopnia wzmocnienia opornika o wartości w granicach $0,5 \div 2 \text{ k}\Omega$.