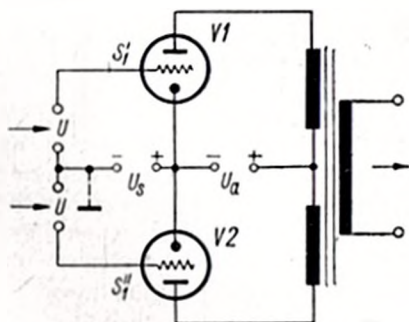


Opisany już poprzednio układ 2-stopniowego wzmacniacza małej częstotliwości był jednym z najprostszych rozwiązań tego typu aparatury. W pewnych przypadkach tak prosty układ może jednak się okazać niewystarczający, szczególnie wówczas, gdy zależy nam na większej mocy wyjściowej wzmacniacza.

Jak wiemy, stopień głośnikowy z pojedynczą lampą typu EL 84 przy pełnymysterowaniu może dostarczyć mocy akustycznej do 5 W (z lampą ECL 82 — 2÷3 W). Moc tego rzędu w zupełności wystarcza dla przeciętnego odbiornika radiowego czy telewizyjnego, jak również dla niewielkiego wzmacniacza, przeznaczonego np. do współpracy z gramofonem elektrycznym. Urządzenia takie mogą nagłośnić pomieszczenie mieszkalne o przeciętnej kubaturze około 50÷100 m³. Dla nagłośnienia większych pomieszczeń, lub też uruchomienia większej ilości głośników (tzw. lokalny radiowęzeł, np. szkolny) wymagane są większe moce wyjściowe, rzędu 10÷20 W. Taką aparaturę wzmacniającą można zestawić z typowych lamp głośnikowych, stosując tzw. układ przeciwsobny (znany również pod nazwą zapożyczoną z jęz. angielskiego: push-pull, co znaczy pchać-ciągnąć). Wyjaśnimy zasadę działania takiego układu.

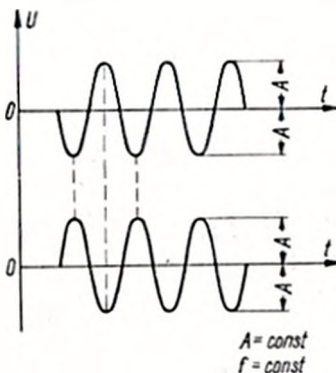


Rys. 1. Uproszczony schemat ideowy stopnia mocy w układzie przeciwsobnym

Na rysunku 1 przedstawiony jest uproszczony schemat ideowy stopnia mocy w układzie przeciwsob-

WZMACNIACZ M.CZ. w układzie przeciwsobnym

nym. Widzimy tam dwie lampy głośnikowe pracujące na odpowiedni wspólny transformator wyjściowy. Siatki sterujące obu lamp przedstawiają dwa niezależne od siebie wejścia: siatka S'1-„masa” układu oraz siatka S'2-„masa” układu. Do tych wejść powinny być doprowadzone sygnały sterujące stopień mocy w pewien specjalny sposób, nader charakterystyczny dla układu tego typu. Technicy mówią, że siatki lamp stopnia przeciwsobnego są sterowane napięciami przesuniętymi względem siebie w fazie o 180°, a więc w przeciwnej fazie. Co oznacza to na pozór skomplikowane określenie?



Rys. 2. Dwa jednakowe przebiegi napięciowe przesunięte względem siebie w fazie o 180° (w przeciwnej fazie)

Na rysunku 2 przedstawiono graficznie dwa przebiegi napięciowe. Są one do siebie bardzo podobne: posiadają jednakową amplitudę A oraz ten sam okres drgań (czyli mówiąc obrazowo — ten sam „skok” krzywej). Nawet niezbyt bystry obserwator spostrzeże, że dolna krzywa jest po prostu lustrzanym odbiciem górnej krzywej. Istotnie, dolna krzywa przedstawia przebieg uzyskany przez „odwrócenie fazy” przebiegu górnego. Teraz określenie „w przeciwnej fazie” jest już chyba zrozumiałe. Pozostaje jeszcze do wyjaśnienia, w jaki sposób można uzyskać takie dwa identyczne, lecz przeciwnie skierowane prze-

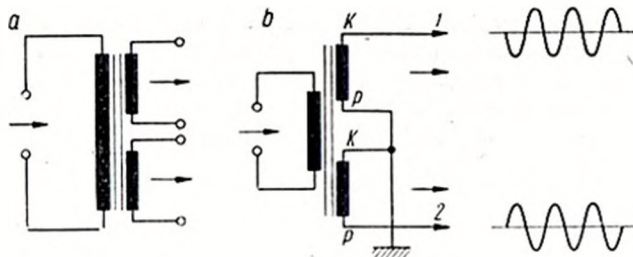
biegi. Istnieje kilka metod ich uzyskiwania. Najprostsza — można powiedzieć „naturalna” — metoda wykorzystuje do tego celu odpowiedni transformator.

Pokazany na rysunku 3a transformator zawiera dwa identyczne, niezależne uzwojenia wtórne, nawinięte w tym samym kierunku. Jeżeli połączymy je szeregowo tak, jak na rysunku 3b, uzyskamy na wyjściu układu (między skrajnymi końcówkami uzwojeń, a ich „środkiem” połączonym z masą) dwa identyczne sygnały, lecz w przeciwnej fazie.

Istnieją również inne metody uzyskiwania sygnałów przesuniętych w fazie o 180°, np. za pomocą układów lampowych. Takie dwa sygnały doprowadzamy do wejścia stopnia mocy w układzie przeciwsobnym. Sygnały te niezależnie wzmacniane w lampie dolnej (na schemacie) i w górnej, automatycznie sumują się w odpowiednim transformatorze wyjściowym, zawierającym podobne dwa uzwojenia pierwotne, od strony anod lamp. Pełny obraz przebiegów napięciowych w układzie wzmacniacza przeciwsobnego uwidocznił na rysunku 4.

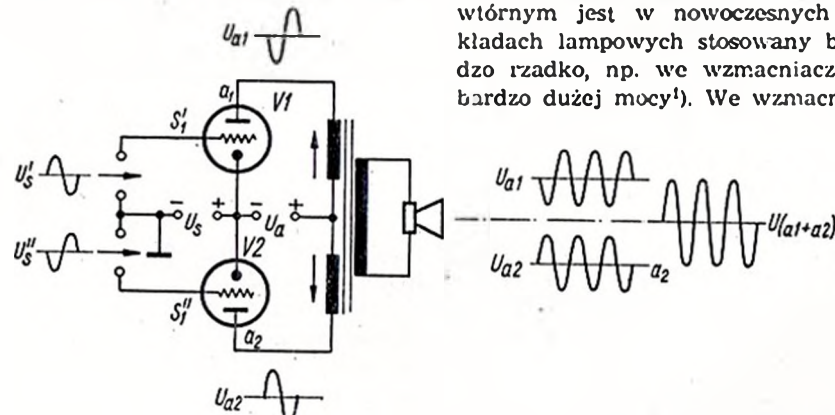
To pobieżne omówienie pracy wzmacniacza w układzie przeciwsobnym powinno na razie wystarczyć. Bardziej szczegółowe na ten temat informacje można oczywiście znaleźć w każdym podręczniku radiotechniki. Warto jednak wyliczyć i choć krótko omówić zasadnicze cechy takiego układu w szczególności te, które mają dla nas praktyczne znaczenie.

A więc przede wszystkim — moc wyjściowa. Jest ona przeszło dwukrotnie większa w porównaniu z mocą dostarczaną przez pojedynczą lampę. I tak, jeśli pojedyncza lampka typu EL 84 może dostarczyć moc rzędu 5 W, to z układu przeciwsobnego dwóch takich lamp możemy uzyskać moc akustyczną na-



Bys. 3. Uzyskiwanie napięć przesuniętych w fazie o 180° za pomocą transformatora

wet 15÷17 W. Drugą bezsprzeczną zaletą układu przeciwsobnego są lepsze parametry techniczne w porównaniu ze wzmacniaczem z jedną lampą. W układzie przeciwsobnym możemy uzyskać (przy pełnej mocy wyjściowej) mniejsze zniekształcenia nieliniowe, jak również szersze pasmo przenoszonych częstotliwości. A więc układ przeciwsobny jest jak najbardziej predysponowany do pracy w układach o wysokiej jakości. Trzecią z ważniejszych tu zalet jest znacznie mniejsza wrażliwość na pozostałe tętnienia wyprostowanego napięcia zasilającego, dzięki czemu wzmacniacz przeciwsobny może współpracować z zasilaczem o skromnie i tanio wykonanym filtrze sieciowym.



Rys. 4. Pełny obraz przebiegów napięciowych w układzie wzmacniacza przeciwsobnego

Dla lepszego zrozumienia tego zjawiska spójrzmy jeszcze raz na rysunek 4. Strzałki biegnące od „plusa” napięcia anodowego U_a wskazują, że prądy z zasilacza w obu uzwojeniach anodowych transformatora wyjściowego płyną w przeciwnych kierunkach, a więc i prądy wywołane napięciem tętnień rozplywają się symetrycznie poprzez obie połówki transformatora wyjściowego; przy prawidłowo wykonanym transformatorze w jego uzwojeniu wtórnym tętnień nie ma, gdyż znoszą się one nawzajem. Układ przeciwsobny wymaga dość skomplikowanego i starannie wykonanego transformatora wyjściowego; ma on zasadniczy wpływ na

pracę układu i decyduje o jego jakości. Dlatego też wykonanie takiego transformatora wymaga szczególnej troski i pewnych umiejętności warsztatowych. Warto również dodać, że przynajmniej do tej pory transformatory takie nie są spotykane w sprzedaży na naszym rynku.

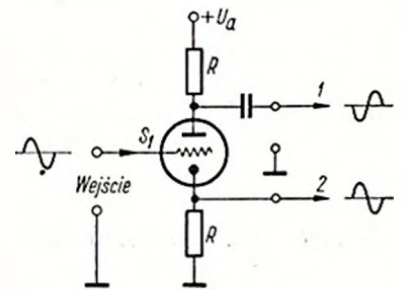
Wiemy już, że odwrócenie fazy sygnałów można uzyskać na odpowiednim transformatorze wejściowym, lecz to samo można również osiągnąć stosując różne układy lampowe.

Układ odwracający fazę stanowi koniecznie część każdego przeciwsobnego wzmacniacza mocy. Wspomniany wyżej transformator wejściowy o symetrycznym uzwojeniu wtórnym jest w nowoczesnych układach lampowych stosowany bardzo rzadko, np. we wzmacniaczach bardzo dużej mocy¹⁾. We wzmacnia-

czach mocy rzędu 10÷15 W, a w szczególności w układach wysokiej klasy, stosowane są do tego celu najczęściej specjalne układy lampowe.

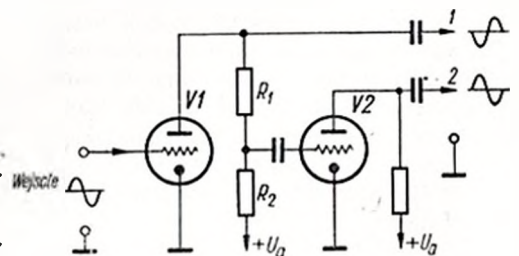
Schemat ideowy najprostszego z nich widzimy na rysunku 5. Jest to układ oporowy na lampie triodzie, w którym oporność robocza została rozdzielona na dwie równe części — R . Oporniki umieszczone zostały w obwodzie anody i katody

¹⁾ Transformator odwracający fazę dla sterowania stopnia mocy w układzie przeciwsobnym jest natomiast z reguły stosowany w układach tranzystorowych, przede wszystkim ze względu na jego prostotę oraz w celu elektrycznego dopasowania oporności wejściowej stopnia mocy do oporności roboczej stopnia sterującego — przyp. autora.



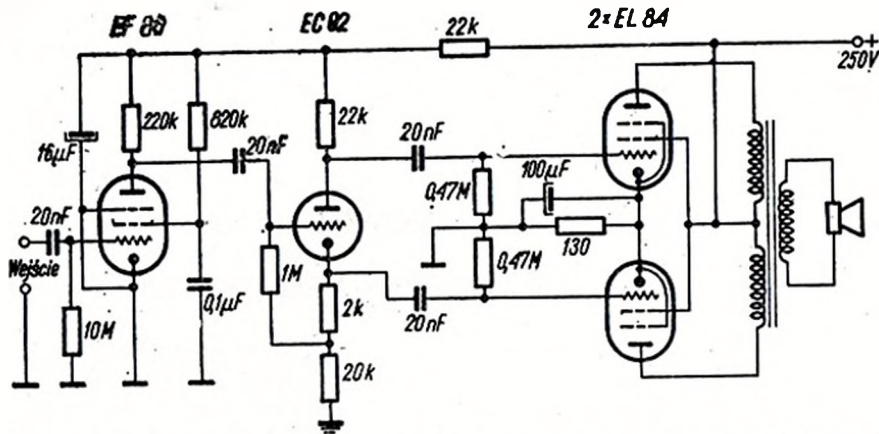
Rys. 5. Uproszczony schemat ideowy prostego układu odwracania fazy (tzw. katodyna)

lamy. Sygnał jest zdejmowany jednocześnie z obu tych elektrod, przy czym oba sygnały są identyczne i różnią się jedynie fazą. Dla łatwiejszego zrozumienia działania tego układu zwraca się uwagę, że jeżeli np. napięcie na siatce sterującej S_1 wzrasta (staje się bardziej dodatnie), wówczas wzrasta również prąd anodowy lampy. W rezultacie tego rośnie spadek napięcia na oporniku anodowym, a więc napięcie dostarczane na anodę lampy maleje, zaś napięcie na katodzie wzrasta, gdyż podobnie — spadek na oporniku katodowym — rośnie. A więc otrzymywane napięcia na anodzie i katodzie lampy, aczkolwiek są wynikiem jednego sygnału sterującego, są względem siebie w przeciwnej fazie (w fazie przesuniętej o 180°). Właśnie taka para napięć jest nam potrzebna dla sterowania stopnia mocy w układzie przeciwsobnym.



Rys. 6. Uproszczony schemat dwulampowego układu odwracania fazy

Innym układem odwracającym fazę jest układ przedstawiony na rysunku 6. Stopień z pierwszą lampą jest typowym wzmacniaczem oporowym. Wzmocniony w nim sygnał może być wykorzystany do sterowania jednej z lamp mocy układu przeciwsobnego, jednocześnie zaś odpowiednio mała część tego sygnału (otrzymywana z dzielnika $R_1 + R_2$) doprowadzana jest do siatki sterującej drugiej lampy następnego stopnia. Lampa ta wzmacnia sygnał do potrzebn-



Rys. 7. Uproszczony schemat ideowy wzmacniacza m. cz. ze stopniem końcowym w układzie przeciwobnym

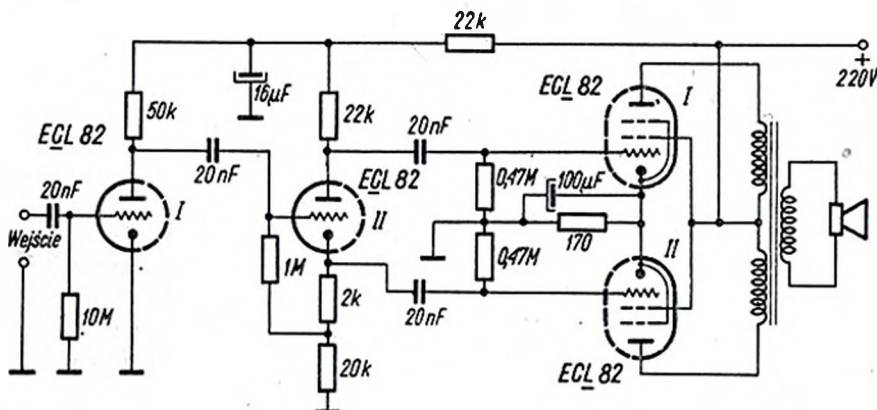
go poziom, jednocześnie zaś w układzie następuje odwrócenie fazy sygnału (napięcie na siatce sterującej wzrasta, napięcie na anodzie lampy maleje). Sygnał ten można wykorzystać do sterowania drugiej lampy układu przeciwobnego.

Warto przeprowadzić porównanie obu układów. Układ pierwszy z jedną lampą jest bezwzględnie prostszy, wykazuje jednak zasadniczą wadę — nie wzmacnia. W istocie, napięcia sygnałów zdejmowane z anody i katody lampy mają wielkość sygnału sterującego. Natomiast zaletą jest to, że układ praktycznie nie wnosi żadnych zniekształceń, a przy dokładnym dobraniu opornika katodowego i anodowego dostarcza sygnały o identycznych amplitudach.

Układ drugi z dwiema lampami jest oczywiście bardziej skomplikowany, jednak daje już wzmocnienie równe normalnemu wzmocnieniu uzyskiwanemu w pojedynczym stopniu oporowym. Wada jego polega na tym, że drugi, dodatkowy stopień służący wyłącznie do odwracania fazy sygnału przejmuje wszelkie zniekształcenia występujące w pierwszym stopniu, a przy tym uzupełnia je swoimi własnymi zniekształceniami. W rezultacie — aczkolwiek sygnały doprowadzone z takiego układu do siatek sterujących obu lamp przeciwobnego stopnia mocy mogą być identyczne pod względem amplitudy (dzielnik oporowy $R_1 + R_2$ można zawsze odpowiednio dobrać) — oba stopnie posiadają zupełnie inną zawartość zniekształceń, co jest bardzo nie wskazane. Dlatego też w praktyce, jeśli już decydujemy się na bardziej skomplikowany, dwulampowy stopień odwracania fazy (te dwie lampy mogą być oczywiście umieszczone w jednej bańce, np. lampka typu ECC 83 itp.),

stosujemy raczej inne, bardziej nowoczesne i lepsze układy. Ale o nich nie będziemy tu jednak mówić.

Stopień mocy w układzie przeciwobnym oraz stopień odwracania fazy są zasadniczymi elementami każdego wzmacniacza o wysokiej jakości. Po zapoznaniu się — choć tak bardzo pobieżnym — z tymi stopniami możemy już samodzielnie zestawić schemat ideowy takiego wzmacniacza. Zrobimy to oczywiście z pewnymi uproszczeniami, aby nie przesłaniać samej idei układu.



Rys. 8. Schemat ideowy małego wzmacniacza m. cz. z dwiema lampami typu ECL 82

Na rysunku 7 widzimy na wejściu wzmacniacz oporowy z pentodą, który zapewnia odpowiednio duże wstępne wzmocnienie sygnału. Następny stopień — to omó-

wiony już układ odwracania fazy z triodą — ten najprostszy, z takim samym opornikiem roboczym w obwodzie anody i katody. Stopień ten dostarcza symetrycznych napięć sterujących dla stopnia końcowego w układzie przeciwobnym. Typowy zestaw lamp takiego wzmacniacza: EF 80, EC 92 (lub 1/2 ECC 83 itp.) oraz para lamp typu EL 84. Można oczywiście zamiast EF 80 i EC 92 zastosować jedną lampę „kombinowaną” typu ECF 82, a rezygnując ze znacznej mocy wyjściowej użyć w stopniu końcowym lampy np. typu ECL 82. Para takich lamp w układzie przeciwobnym może dostarczyć mocy wyjściowej rzędu 6 W, przy czym ich triody mogą pracować jako stopień wstępny i stopień odwracania fazy. Uproszczony schemat ideowy takiego wzmacniacza przedstawiony jest na rysunku 8.

Samodzielny montaż wzmacniacza w układzie przeciwobnym jest dość trudny i wymaga odpowiedniego doświadczenia konstruktorskiego. Zainteressowani Czytelnicy mogą znaleźć tego rodzaju opisy w numerach: 7 i 8 z 1964 r. — „Amatorski wzmacniacz Hi-Fi 10 W”;

3 i 6 z 1964 r. — „Wzmacniacz wysokiej jakości” oraz 8 z 1962 r. „Prosty wzmacniacz przeciwobny 6 W”.

K. W.