

## WZMACNIACZE M.CZ. BEZ TRANSFORMATORA WYJŚCIOWEGO

W ZWYKŁYCH układach przeciw-sobnych (rys. 1a) obciążenie  $R$  składa się z dwóch połączonych szeregowo części. Jeżeli obciążeniem będzie cewka drgająca głośnika o wysokiej oporności, to powinna mieć ona oporność  $R_{ob}$ , wyprowadzenie od punktu środkowego, a ponadto być izolowana od masy wzmacniacza.

Części obciążenia o oporności  $\frac{R_{ob}}{2}$  mogą być także połączone równoległe (rys. 1b); w tym przypadku oporność wypadkowa obciążenia równa będzie  $\frac{R_{ob}}{4}$ . Wyprowadzenie środkowe jest niepotrzebne, natomiast konieczne są w takim układzie dwa źródła zasilania. Ponieważ składowe stałe prądów przepływających przez każdą z lamp są jednakowe, to oba źródła zasilania mogą być zastąpione jednym, jak to pokazano na rys. 1c. Przez obciążenie płynie w tym przypadku tylko składowa zmienna prądów anodowych lamp, wobec czego może być zastosowany kondensator rozdzielający, a jeden z zacisków obciążenia może być uziemiony. Wzmacniacz zbudowany według układu z rys. 1 jest właśnie wzmacniaczem szeregowo-przeciw-sobnym. Jego zaletami w porównaniu ze zwykłym układem przeciw-sobnym są: czterokrotnie mniejsza oporność obciążenia, wyeliminowanie środkowego wyprowadzenia, możliwość uziemienia jednego z zacisków obciążenia. Te cechy układu ułatwiają zastosowanie głośników o wysokiej oporności w charakterze obciążenia lamp wzmacniacza.

Niedogodnością układu szeregowo-przeciw-sobnego jest konieczność dwukrotnego zwiększenia napięcia anodowego (lampy są bowiem połączone szeregowo dla składowej stałej). Dla skonstruowania wzmacniacza bez transformatora wyjściowego przy najczęściej stosowanych napięciach anodowych (250—300 V) konieczne są zatem specjalne lampy, które przy niewielkim napięciu na anodzie (100—150 V) miałyby małą oporność wewnętrzną i były zdolne oddać dostateczną moc. Z produkowanych obecnie lamp mogą służyć do tego celu lampy 6P18P (w najbliż-

W ostatnich latach zarówno w Związku Radzieckim jak i zagranicą prowadzone są prace nad konstrukcją urządzeń (w tym i wzmacniaczy m. cz.) zapewniających wzmacnianie i odtwarzanie dźwięku przy znikomo małych zniekształceniach.

We wstępnych stopniach wzmacniaczy m. cz., w związku z występującymi tam niewielkimi napięciami sygnału — zniekształcenia nieliniowe są małe, a zniekształcenia częstotliwości mogą być obniżone drogą wyboru odpowiednich wartości elementów wzmacniacza. Największe zniekształcenia powstają w stopniu wyjściowym wzmacniacza, przy czym główną ich przyczyną jest zwykle transformator wyjściowy. Transformator wyjściowy ogranicza zakres odtwarzanych częstotliwości.

Dla rozszerzenia charakterystyki częstotliwościowej w stronę najmniejszej częstotliwości konieczne jest znaczne zwiększenie indukcyjności pierwotnego uzwojenia transformatora, co jednakże wywołuje zwiększenie indukcyjności rozproszenia ograniczającej charakterystykę częstotliwościową w części większych częstotliwości. Zależność przenikalności magnetycznej rdzenia transformatora od wartości prądu przepływającego przez uzwojenie wywołuje zniekształcenia nieliniowe.

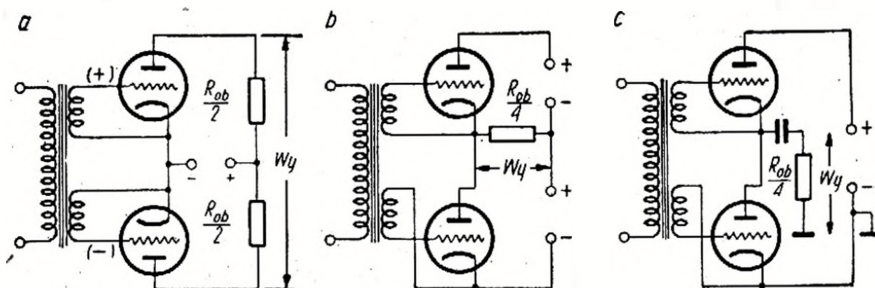
Jednym z podstawowych sposobów zmniejszenia zarówno zniekształceń częstotliwościowych, jak i zniekształceń nieliniowych jest ujemne sprzężenie zwrotne. Nadmierne zwiększenie głębokości tego sprzężenia nie jest możliwe, ponieważ występujące na krańcach odtwarzanego pasma zniekształcenia fazowe zmniejszają stabilność pracy wzmacniacza i mogą spowodować nawet jego samowzbudzenie się. W celu polepszenia charakterystyki fazowej wzmacniacza dążymy do wyeliminowania z niego elementów powodujących przesunięcia fazowe. Jednym z takich elementów jest transformator wyjściowy.

Jeżeli uwzględnimy jeszcze, że transformator wyjściowy jest dość drogim podzespołem to będzie zupełnie zrozumiałe dążenie konstruktorów do opracowania układów stopni wyjściowych wzmacniaczy m. cz. bez transformatora wyjściowego. Przy zastosowaniu głośników o oporności cewki 5—10  $\Omega$ , zrealizowanie tego celu jest dość trudne, ponieważ dla uzyskania mocy rzędu 5—10 W lampy wyjściowe musiałyby zapewnić przepływanie przez obciążenie prądów o wartości 1—1,5 A. Opracowanie takich lamp to trudne zadanie i dlatego lepszym rozwiązaniem jest zwiększenie oporności cewki drgającej głośnika do 400—800  $\Omega$ . Przy takiej oporności konstrukcja wzmacniacza bez transformatorów wyjściowych jest już całkiem realna. Najbardziej rozpowszechniły się rozwiązania oparte o tak zwany układ szeregowo-przeciw-sobny. Opis tego układu stanowi właśnie temat niniejszego artykułu.

szej przyszłości będzie produkowana specjalna lampa do tego rodzaju układów). Szeregowo-przeciw-sobny stopień na dwóch takich lampach może oddać moc rzędu 6 — 8 W przy napięciu zasilacza 310 V i oporności obciążenia około 800  $\Omega$ . Uzwajając cewkę głośnika drutem o średnicy 0,05 mm możliwe jest uzyskanie oporności rzędu 300—400  $\Omega$ . Ponieważ we współczesnych wzmacniaczach m. cz. z zasady stosuje się kilka głośników, to taka oporność cewki głośnika okaże się dla większości przy-

padków wystarczająca. W zamieszczonej tablicy uwidoczniono dane głośników o wysokiej oporności, przeznaczonych dla układów bez transformatora wyjściowego. Głośniki te różnią się od zwykłych głośników o małej oporności tylko innym uzwojeniem cewki głośnikowej, która w razie potrzeby może być wykonana również przez radioamatora we własnym zakresie.

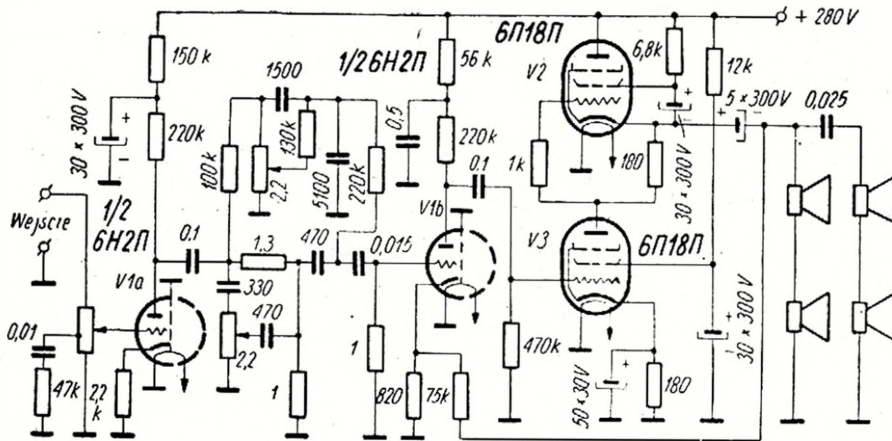
Cechą szczególną układu szeregowo-przeciw-sobnego jest to, że w początkowym punkcie pracy przy



Rys. 1. Różne układy przeciw-sobne

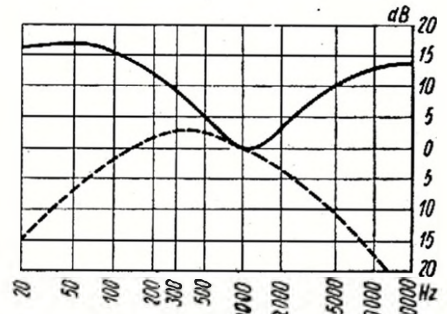
T a b l i c a

Typ głośnika	Typ odpowiadnika o małej oporności	Oporność rzeczyw. cewki ( $\Omega$ )	Oporność pozorna cewki dla 1000 Hz ( $\Omega$ )	Dane uzwojenia cewki			
				średnica drutu (mm)	szerokość uzwojenia (mm)	ilość zwojów	liczba warstw
4GD-5	4GD-1	420	440	0,05	6	576	6
5GD-16	5GD-14	420	440	0,05	6	575	6
3GD-11	3GD-7	420	440	0,05	6	575	6
2GD-6	2GD-3	400	420	0,05	6,5	635	6
1GD-17	1GD-9	200	220	0,05	4,5	441	6
WGD-2	WGD-1	250	260	0,04	3,5	421	6



Rys. 2. Schemat wzmacniacza bez transformatora wyjściowego o mocy 2 W

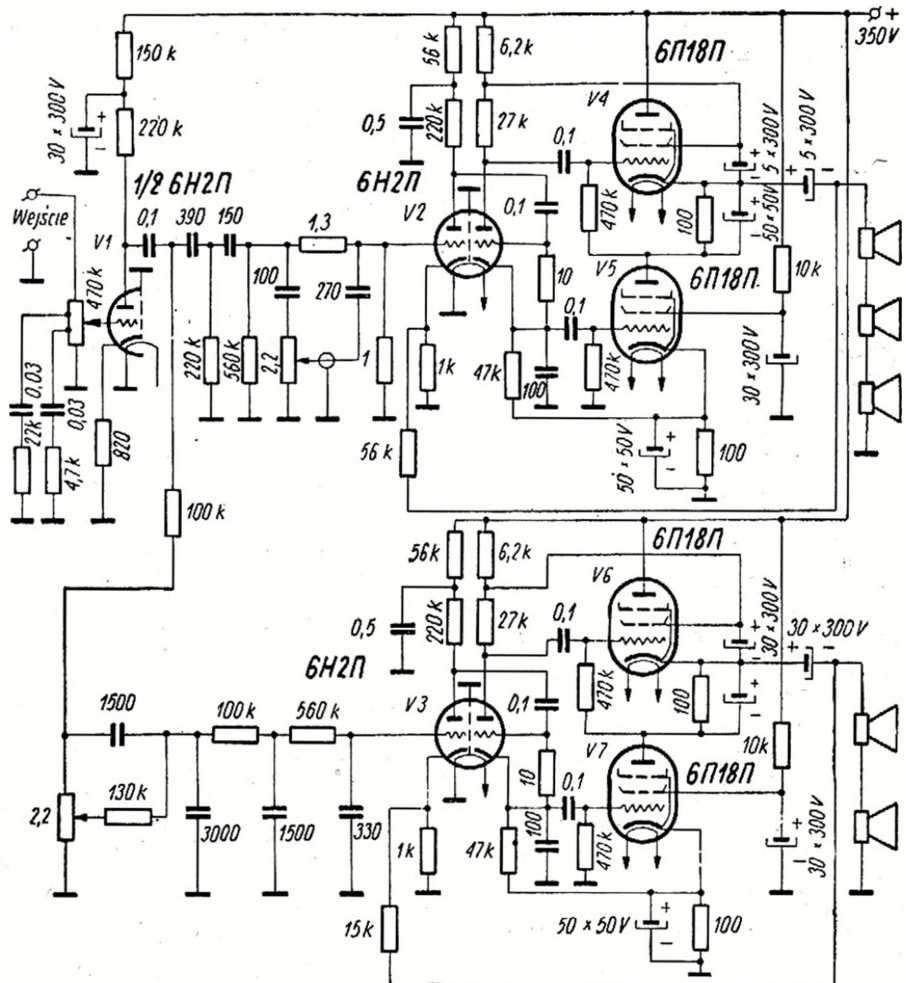
średnie ciśnienie akustyczne nie mniejsze niż  $10 \mu$  bar. Wadą wzmacniacza bez stopnia odwracającego fazę jest niesymetryczność napięcia wzbudzającego lampy końcowe. Siatka sterująca lampy V2 otrzymuje napięcie ze zniekształceniami nieliniowymi wnoszonymi przez lampę V3. Wskutek tego nie następuje charakterystyczna dla układów przeciwso-bnych kompensacja harmonicznych parzystych. Poza tym wzmacniacz taki może pracować tylko w klasie A. We wzmacniaczu zastosowano dwa głośniki niskotonowe typu 2GD-6 oraz dwa wysokotonowe typu 1GD-17 o łącznej oporności całego



Rys. 3. Charakterystyka częstotliwościowa wzmacniacza z rys. 2

braku sygnału prądy lamp są sobie równe, a napięcia na anodach lamp mogą się nieco różnić. W zwykłym układzie przeciwso-bnym jest przeciwnie.

Jeden z najprostszych schematów wzmacniacza bez transformatora wyjściowego podany jest na rys. 2. W stopniach wstępnych pracuje lampą 6H2P. Zastosowano ciągłą regulację charakterystyki częstotliwości (rys. 3). Wzmacniacz nie zawiera odrębnego stopnia odwracania fazy, a napięcie wzbudzające doprowadzane jest tylko do lampy V3. Napięcie wzbudzające lampę V2 powstaje na oporniku włączonym w obwód katodowy tej lampy. Oporność tego opornika powinna być taka, aby zapewnić symetryczną pracę obu lamp (w danym przypadku 180  $\Omega$ ). Wzmacniacz posiada ujemne sprzężenie zwrotne o głębokości 19 dB doprowadzane od obciążenia do katody przedostatniego stopnia wzmacniacza. Mała wartość oporności wewnętrznej wzmacniacza (90  $\Omega$ ) w dostatecznym stopniu tłumi drgania własne głośników. Moc wyjściowa wzmacniacza wynosi 2 W przy współczynniku zawartości harmonicznych 1,5%, co odpowiada wymaganiom stawianym odbiornikom radiofonicznym klasy I. Czułość wzmacniacza — 230 mV, a



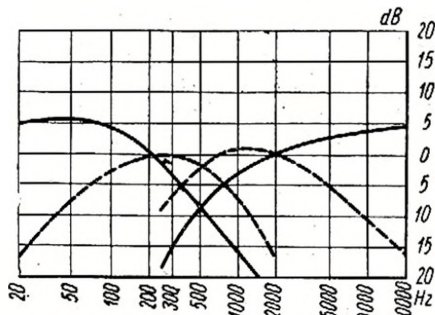
Rys. 4. Schemat wzmacniacza o mocy 6 W

zespołu  $960 \Omega$  przy częstotliwości  $1000 \text{ Hz}$ .

Pewną trudność w układach bez transformatora wyjściowego wywołuje zasilanie siatki ekranującej górnej lampy. Dla zapewnienia prawidłowej pracy tej lampy siatka ekranująca powinna być połączona z katodą (dla składowej zmiennej). Wówczas jednak opornik w obwodzie tej siatki jest również włączony równolegle do oporności obciążenia i wydziela się na nim bezużytecznie część mocy wyjściowej. Zwiększenie wartości tego opornika zmniejsza napięcie stałe na siatce ekranującej, wskutek czego maleje również moc oddawana przez lampę. Jako kompromis zastosowano oporność  $6,8 \text{ k}\Omega$ . Zamiast tego opornika może być zastosowany dławik m. cz., który będzie miał dużą oporność dla składowej zmiennej, a małą oporność dla prądu stałego. Komplikuje to jednak konstrukcję wzmacniacza i nie we wszystkich przypadkach jest najlepszym rozwiązaniem.

Na rys. 4 przedstawiono schemat udoskonalonego wzmacniacza m. cz.

czas byłoby ono przyłożone nie między siatkę sterującą i katodę, a pomiędzy siatkę sterującą i anodę lampy końcowej. W rozpatrywanym wzmacniaczu napięcie to otrzymuje się z oporników włączonych pomię-

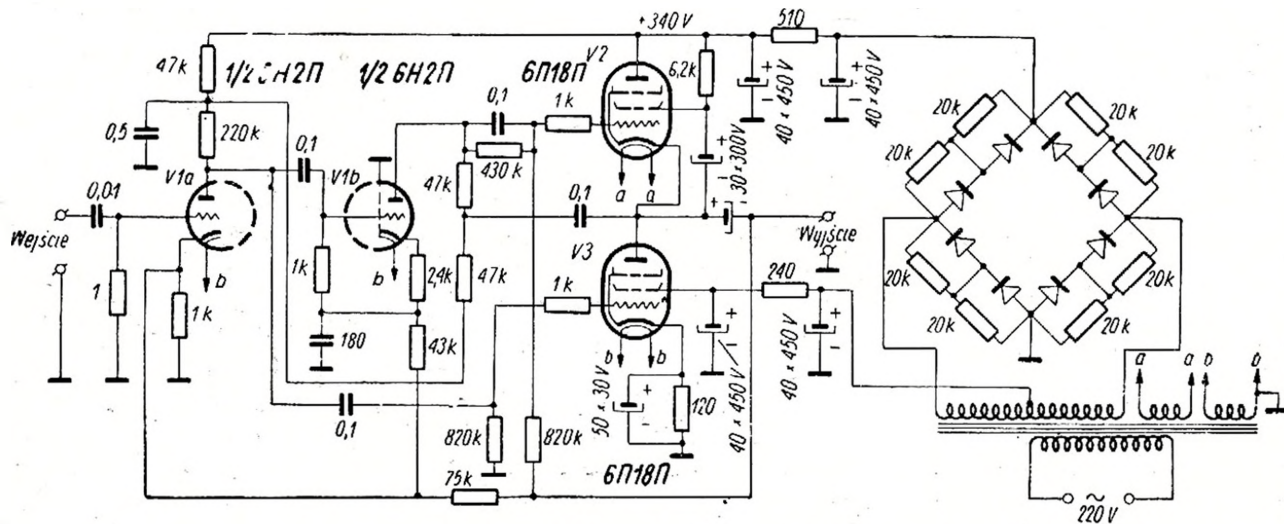


Rys. 5. Charakterystyka częstotliwościowa wzmacniacza z rys. 4

dzy anodę lampy stopnia odwracającego fazę i siatkę ekranującą odpowiednich lamp końcowych.

Moc wyjściowa każdego ze wzmacniaczy wynosi  $6 \text{ W}$  przy współczynniku zawartości harmonicznych nie większym niż  $1\%$  w kanale małej

Najlepszy pod względem wskaźników jakościowych wzmacniacz pokazany jest na rysunku 6. Pominięto tu przedwzmacniacz, którym może być dowolny układ zniekształcenia nieliniowe i częstotliwościowe. We wzmacniaczu zastosowano kombinowane sprzężenie zwrotne; składa się ono z obwodu dodatniego sprzężenia zwrotnego obejmującego przedostatni stopień wzmacniacza oraz obwodu ujemnego sprzężenia zwrotnego obejmującego dwa stopnie. Sprzężenie takie umożliwia silne stłumienie zniekształceń nieliniowych powstające we wzmacniaczu. Sprzężenie zwrotne dodatnie uzyskuje się przez doprowadzenie części napięcia z obwodu katodowego lampy  $V1b$  do obwodu katodowego lampy  $V1a$ . Ujemne sprzężenie zwrotne uzyskuje się przez doprowadzenie części napięcia wyjściowego do katody lampy  $V1a$ . Anoda lampy odwracacza fazy ma połączenie galwaniczne z siatką sterującą lampy  $V2$ . Ujemne napięcie na tej siatce zależy od różnicy napięć na katodzie



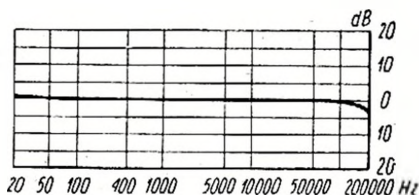
Rys. 6. Schemat wzmacniacza o mocy  $7 \text{ W}$

przeznaczonego dla radiodbiorników i gramofonów elektrycznych wyższej klasy. Stopień wzmocnienia wstępnego z lampą  $V1$  jest wspólny dla obu kanałów. Rozdział kanałów następuje za pomocą układu odpowiednich oporności i pojemności w kanale wysokotonowym i kanale niskotonowym. Zastosowanie odwracacza fazy pozwoliło na znaczne zwiększenie mocy wyjściowej przy małych zniekształceniach nieliniowych. Należy podkreślić, że napięcie wzbudzące dla lampy  $V4$  i  $V6$  nie może być pobierane z całej oporności anodowej odwracacza fazy, ponieważ wów-

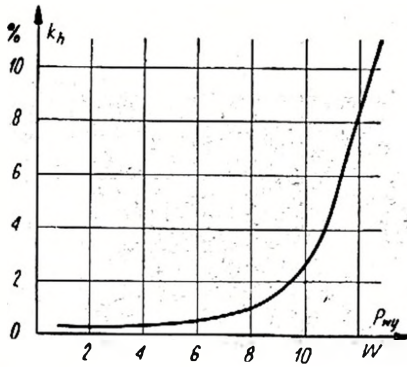
czas byłoby ono przyłożone nie między siatkę sterującą i katodę, a pomiędzy siatkę sterującą i anodę lampy końcowej. W rozpatrywanym wzmacniaczu napięcie to otrzymuje się z oporników włączonych pomię-

częstotliwości i —  $2\%$  w kanale wysokotonowym. Czułość wzmacniacza  $0,2 \text{ V}$ . Większe zniekształcenia w kanale wysokotonowym są spowodowane płytszym ujemnym sprzężeniem zwrotnym, którego głębokość wynosi  $21 \text{ dB}$ , gdy wzmacniacz niskotonowy ma sprzężenie o głębokości  $28 \text{ dB}$ . Oporność wewnętrzna wzmacniacza wysokotonowego równa jest  $80 \Omega$ , a niskotonowego —  $20 \Omega$ . Charakterystyka częstotliwościowa pokazana jest na rys. 5. Zespół niskotonowy stanowią dwa głośniki typu  $5\text{GD}-16$ . Zespół wysokotonowy składa się z 3 głośników typu  $\text{WGD}-2$ .

lampy i dzielniku utworzonym z dwóch oporników. Z rys. 7 widać, że charakterystyka częstotliwościowa wzmacniacza jest płaska od  $20 \text{ Hz}$  do przeszło  $100 \text{ kHz}$ , co jest cechą szczególną wzmacniaczy bez transforma-



Rys. 7. Charakterystyka częstotliwościowa wzmacniacza z rys. 6



Rys. 8. Charakterystyka współczynnika zawartości harmonicznych wzmacniacza z rys. 6

toru wyjściowego. Współczynnik zawartości harmonicznych nie przekracza 0,5% przy mocy 7 W (rys. 8). Zapewnia to odtwarzanie całego pasma częstotliwości akustycznych praktycznie bez zniekształceń.

Na zakończenie warto nadmienić, że wzmacniacze szeregowo-przeciwobne mogą pracować również w klasie AB i B. Np. do pracy zbliżonej do klasy B w układzie na rys. 6 należy zamiast automatycznego ujemnego napięcia dla lampy V3 zastosować stałe źródło napięcia rzędu 15 V. Przy takiej zmianie układu moc wzrośnie o 10—20%.

Wydaje się, że wzmacniacze bez transformatorów wyjściowych mają dużą perspektywę stosowania w nowoczesnych odbiornikach radiofonicznych, a także w różnych wzmacniaczach zespołów elektroakustycznych przeznaczonych do wysokojaściowego odtwarzania muzyki. Układy bez transformatorów wyjściowych są szczególnie korzystne do stosowania w konstrukcjach radioamatorskich, ponieważ umożliwiają wyeliminowanie pracochłonnego i kosztownego transformatora wyjściowego.

Tłumaczył

A.