

WZMACNIACZE LAMPOWE DUŻEJ MOCY (1)

Wzmacniacze lampowe w dalszym ciągu pobudzają wyobraźnię audiofilów. Jednak małe i bardzo małe moce wyjściowe większości tych wzmacniaczy nie każdego zadowolają. To jednak można zmienić. W artykule opracowanym na podstawie materiałów firmy General Electric Co. opisujemy rozwiązania wzmacniaczy lampowych o mocach wyjściowych rzadko spotykanych nawet w technice półprzewodnikowej.

Budowane i wykorzystywane obecnie wzmacniacze lampowe charakteryzują się stosunkowo niewielką mocą wyjściową, która nie przekracza na ogół 20 W. Pojawiają się czasem relacje o niespotykanych wrażeniach dźwiękowych podczas odsłuchu wzmacniaczy 5 W. Trudno z takimi sądami polemizować, gdyż są to odczucia bardzo subiektywne. Technika tranzystorowa przyzwyczała nas jednak do mocy znacznie większych, co najmniej 60 W. Czy układy lampowe są w stanie sprostać takiemu wyzwaniu? Oczywiście, jest to tylko sprawa podzespołów. Odpowiednie lampy umożliwiają budowanie wzmacniaczy o mocy wyjściowej przekraczającej nawet 1 kW. Zasadniczą różnicą między obiema grupami urządzeń jest konieczność stosowa-

nia we wzmacniaczach lampowych transformatorów wyjściowych, a przy mocach powyżej 100 W, również transformatorów międzystopniowych. W zamian otrzymuje się wzmacniacz, który może zadowalająco pracować bez pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego jeśli pominąć płytkie sprzężenie występujące w tzw. układzie *ultra linear*. Tego właśnie oczekują zwolennicy techniki lampowej. Dotyczy to jednak tylko wzmacniaczy, które mają stopień końcowy zbudowany na pentodach. Przy mocach największych w stopniu końcowym pracują triody, uważane za elementy wzmacniające o największej liniowości.

Jest jeszcze jedna sprawa o której nie wolno zapomnieć, przygotowując się do budowy wzmacniaczy lampowych – to wartość napięć zasilających.

Napięcia zasilające stosowane jako napięcia anodowe stopni końcowych wzmacniaczy mocy mają wartość od typowych 500 V nawet do 2,5 kV przy mocach wyjściowych w granicach 1 kW.

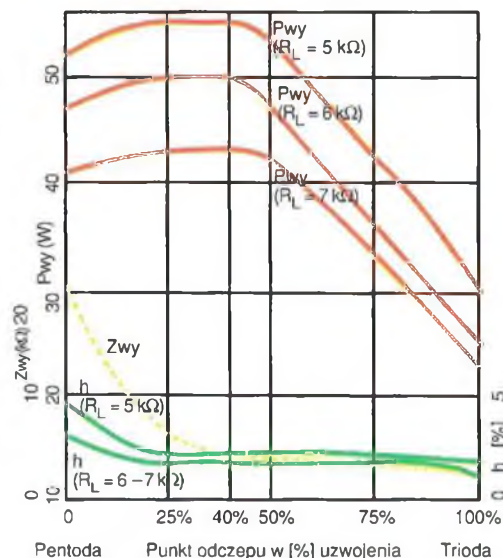
Z uwagi na dużą wydajność prądową są to napięcia niebezpieczne dla życia ludzkiego. Budując i uruchamiając wzmacniacze lampowe dużych mocy trzeba sprawę bezpieczeństwa postawić na pierwszym miejscu.

Stopnie wyjściowe wzmacniaczy do nagłośniania pomieszczeń mieszkalnych

Jeżeli nie liczyć konstrukcji z pojedynczą lampą w stopniu końcowym pracującej w klasie A, typowy stopień wyjściowy to układ przeciwsoبنى, w którym lampy pracują w połączeniu triodowym lub w tzw. układzie *ultra linear*, gdy siatki ekranujące lamp końcowych są dołączone do odczepów uzwojenia pierwotnego transformatora wyjściowego.

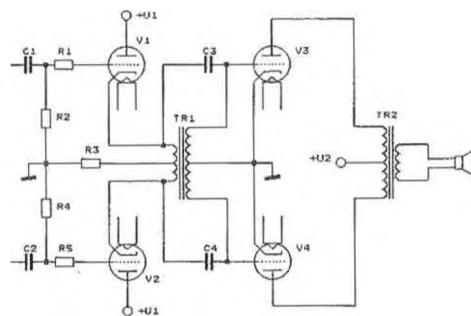
Układ ultraliniowy zapewnia dwukrotnie większą moc wyjściową niż triody pracujące w takich samych warunkach, w układzie przeciwsoبنى, przy porównywalnych zniekształceniach nieliniowych.

Na rys.1 przedstawiono wzmacniacz z lampami KT88 w układzie przeciwsoبنى ze sprzężeniem *ultra linear*. Na rys.2 pokazano przebieg mocy wyjściowej i związane z nią zniekształcenia nieliniowe w zależności od zmiany punktu dołączenia siatki ekranującej do odczepów wyjściowego transformatora dla tego układu.

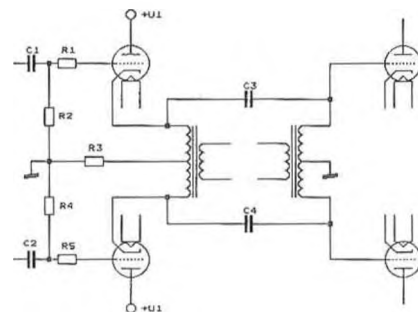


Rys. 2. Przebieg mocy wyjściowej, zniekształceń nieliniowych oraz impedancji wyjściowej w zależności od umiejscowienia odczepu do którego dołączona jest siatka ekranująca lampy

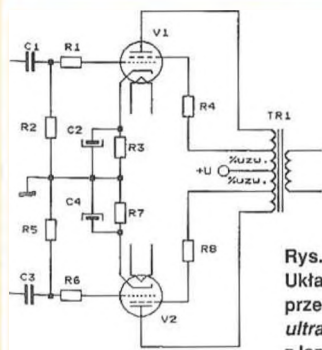
Gdy odczep stanowi 0% zwojów uzwojenia, lampy pracują jako pentody, a gdy 100% (prawa strona wykresu) – jako triody. Z rys. 2 wynika, że korzystnie jest gdy odczep stanowi 20 – 50% zwojów uzwojenia, licząc od środka. Jako optimum można przyjąć 30 – 40%, uzyskuje się wówczas maksymal-



Rys. 3. Stopień sterujący w układzie wtórnik katodowy, współpracujący z transformatorem mostkowym

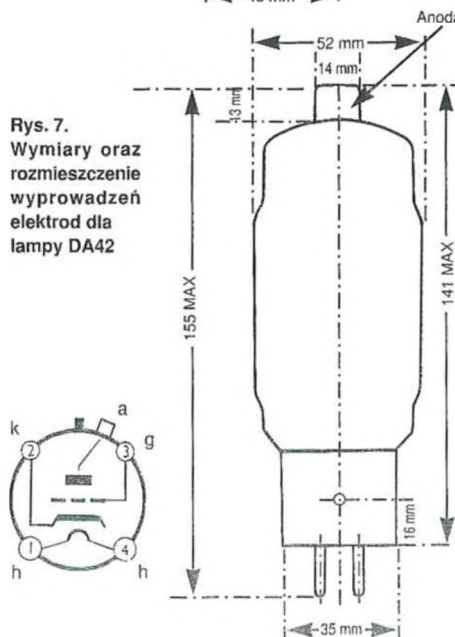
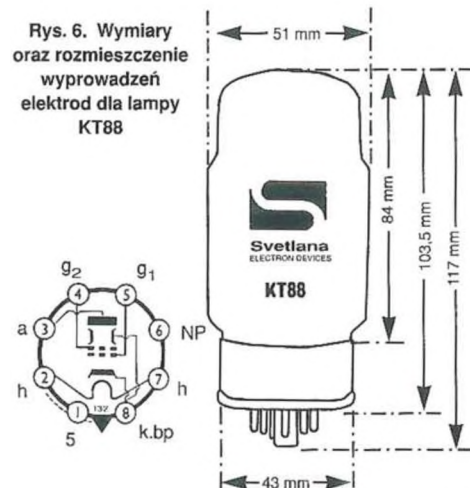
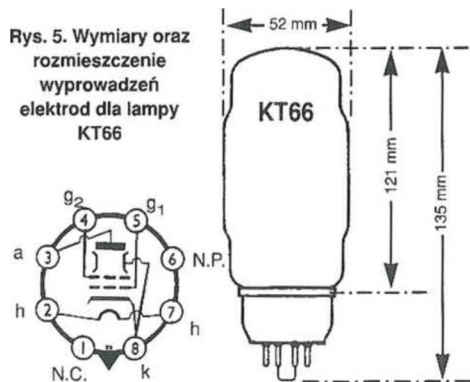


Rys. 4. Zastosowanie dławików zamiast transformatora sprzęgającego



Rys. 1. Układ przeciwsoبنى ultra linear z lampami KT88

na moc wyjściową przy zadowalających zniekształceniach nieliniowych i małej wartości impedancji wyjściowej. Optymalne parametry można jednak uzyskać jedynie w przypadku stosowania tzw. lamp "parowanych", tj. o maksymalnie zbliżonych parametrach elektrycznych. Przypadkowy dobór lamp może być źródłem zniekształceń nawet dwukrotnie większych niż pokazane na rys. 2.



W układach lampowych niezwykle istotną rolę odgrywa transformator wyjściowy. Od jego jakości zależy uzyskiwane pasmo przenoszenia oraz charakterystyka fazowa wzmacniacza. Ma to szczególne znaczenie w przypadku stosowania ujemnego sprzężenia zwrotnego. Nawet jeżeli jest to sprzężenie płytkie, mogą wystąpić niepożądane oscylacje. Sprawą równie istotną jest właściwie dobrany i stabilny punkt pracy obu wyjściowych lamp.

W tej klasie wzmacniaczy stosowana jest na ogół tzw. polaryzacja automatyczna katody. Zalecane jest, aby każda lampa pracowała z własnym rezystorem katodowym. W przypadku wspólnego rezystora katodowego ze względu na występujące różnice w przebiegu charakterystyk, jedna z lamp może mieć punkt pracy ustawiony nieprawidłowo.

Stopnie wyjściowe wzmacniaczy estradowych

Są to zwykle wzmacniacze o mocach wyjściowych co najmniej 50 W, a często przekraczających 1000 W. Urządzenia o mniejszych mocach wyjściowych nie różnią się zbyt od wzmacniaczy domowych. Stosując polaryzację stałą siatki sterującej uzyskuje się zwykle dwukrotnie większą moc wyjściową w porównaniu do układu z polaryzacją automatyczną.

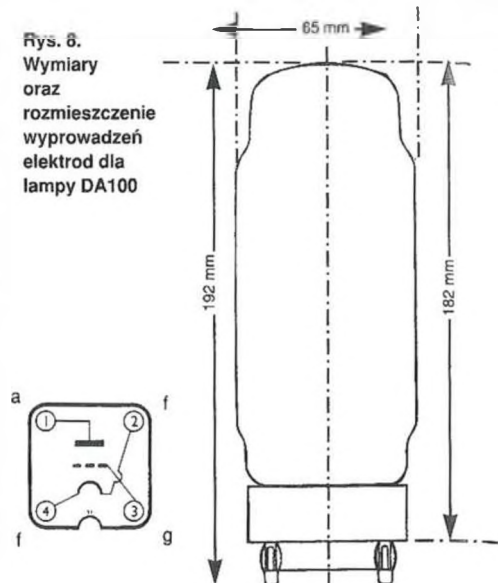
Układy pracy lamp końcowych

We wzmacniaczach o mocy wyjściowej powyżej 100 W w stopniu końcowym zwykle stosowana jest para triod pracująca w klasie AB₁, AB₂ lub B. Innym rozwiązaniem jest zastosowanie pewnej liczby lamp o mniejszej mocy w połączeniu równoległym.

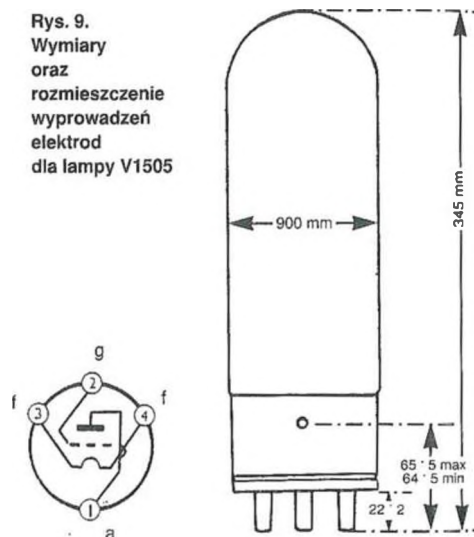
Ten sam typ lampy może pracować zarówno w klasie AB₁ jak i AB₂. Podstawową różnicą między tymi klasami jest to, że układ w klasie AB₁ działa bez prądu siatki, więc w rezultacie stanowią względnie wysoką impedancję dla stopnia poprzedzającego. W klasie AB₂ siatki sąysterowywane dodatnio i pobierają znaczny prąd. W wyniku tego stopień sterujący musi znosić duże, a w dodatku zmienne obciążenie, co narzuca odpowiednie wymagania zarówno na sam stopień jak i na zasilacz polaryzujący siatki stopnia wyjściowego.

Lampy przeznaczone do pracy w klasie B mają duży współczynnik wzmocnienia,

Rys. 8. Wymiary oraz rozmieszczenie wyprowadzeń elektrod dla lampy DA100



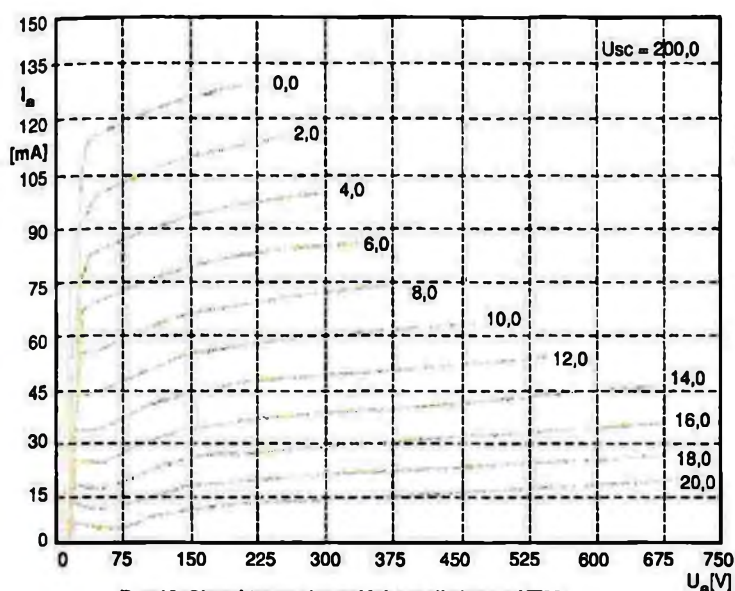
Rys. 9. Wymiary oraz rozmieszczenie wyprowadzeń elektrod dla lampy V1505



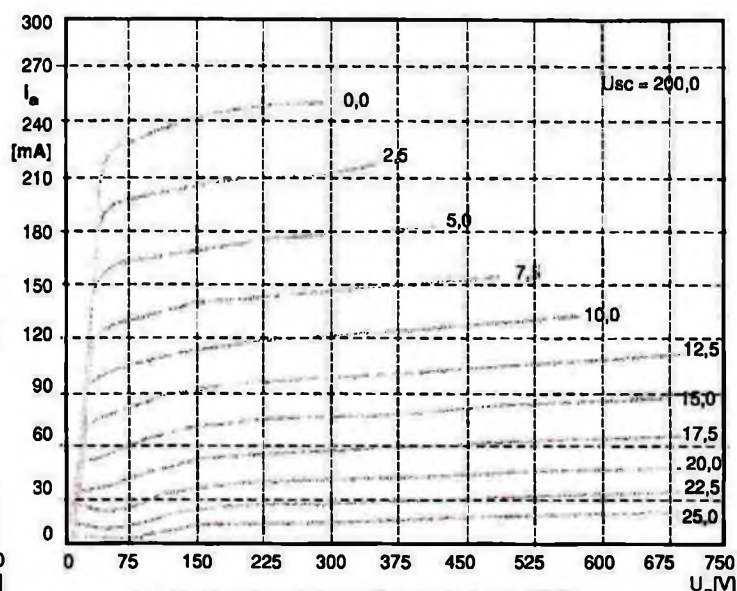
wysoką impedancję i pracują z napięciem polaryzacji siatki w pobliżu zera. Do takich lamp należy DA42. Ich duża impedancja ogranicza do małych wartości prąd anodowy w warunkach spoczynkowych, nawet gdy napięcie anodowe jest rzędu 1 kV. Podobnie jak w przypadku klasy AB₂, w klasie B lampy pracują również z prądem siatki, dlatego także w tym przypadku o parametrach wzmacniacza decyduje stopień sterujący stopniem końcowym. Korzystną cechą wzmacniaczy pracujących w klasie B jest brak oddzielnego napięcia polaryzacji siatek sterujących, co czyni je układami z sa-

Parametry lamp stopni wyjściowych wzmacniaczy mocy

Typ	Opis	Żarzenie katody	Parametry żarzenia		Wartości graniczne			Wartości charakterystyczne			
			U[V]	I[A]	U _a [V]	U _{g2} [V]	P _a [W]	U _a [V]	U _{g2} [V]	r _a [kΩ]	g _m A/V
KT66	Pentoda	pośrednie	6,3	1,27	500	400	25	250	250	22,5	6,3
KT88	Pentoda	pośrednie	6,3	1,8	600	600	35	250	250	12,0	11,0
DA42	Trioda	pośrednie	7,5	1,2	1250	—	40	1250	—	24,0	3,0
DA100	Trioda	bezpośrednie	6,0	2,0	1250	—	100	1000	—	1,41	3,9
V1505	Trioda	bezpośrednie	14	6,5	3000	—	275	2000	—	2,0	8,0



Rys.10. Charakterystyka wyjściowa dla lampy KT66



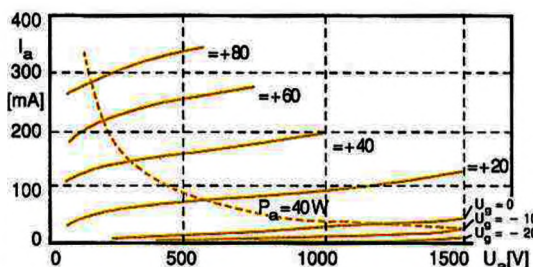
Rys.11. Charakterystyka wyjściowa dla lampy KT88

mozabezpieczeniem. W klasie AB zanik ujemnego napięcia polaryzacji siatek sterujących lamp końcowych jest sygnałem alarmowym do natychmiastowego wyłączenia napięcia anodowego.

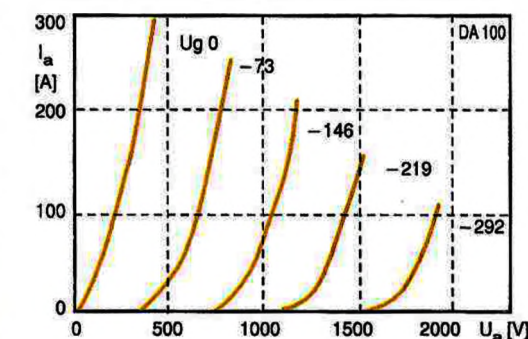
Projekt stopnia sterującego do wzmacniaczy pracujących w klasie B lub AB2 jest bardzo zbliżony, ponieważ obydwa układy muszą być również stopniami mocy. Przykładowo przy zasilaniu napięciem anodowym o wartości 1000 V moc wyjściowa uzyskiwana z pary lamp DA42 wynosi 175 W, a z pary lamp DA100 – 200 W. Moc sterująca jaka musi być dostarczona wynosi odpowiednio 5 W i 7 W. Ale gdy układ pracuje w klasie B z lampami DA42 napięcie sterujące jakie trzeba dostarczyć wynosi 2x100 V wobec 2x240 V wymaganych w klasie AB2 z lampami DA100.

Stopnie sterujące wzmacniaczy dużej mocy

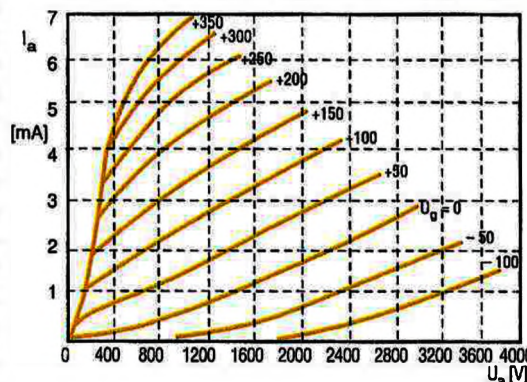
Zalecanym stopniem sterującym jest układ wtórnika katodowego w połączeniu z transformatorem sprzęgającym w układzie mostkowym. Tego typu rozwiązanie przedstawiono na rys. 3. Transformator ma cztery sekcje o jednakowej liczbie zwojów. Zastosowane dwa kondensatory o wartości 2+16 μ F mają za zadanie wyeliminować wpływ indukcyjności rozproszenia transformatora na parametry układu. Jako elementy czynne w stopniach sterujących o sprzężeniu katodowym stosowane są często lampy KT66, pracujące przy prądzie katodowym o wartości ok. 50 mA przy potencjale katody względem masy w zakresie od 30 do 40 V. W celu uzyskania tego napięcia każda połowka pierwotnego uzwojenia transformatora powinna mieć rezystancję



Rys.12. Charakterystyka wyjściowa dla lampy DA42



Rys.13. Charakterystyka wyjściowa dla lampy DA100



Rys.14. Charakterystyka wyjściowa dla lampy V1505

ok. 750 Ω . W przypadku, gdyby rezystancja okazała się mniejsza należy zastosować dodatkowy rezystor, wspólny dla obydwu lamp, dołączony między środkowy odczep

i masę. Przy braku odpowiedniego transformatora można zastosować dwa dławiki z odczepami, którymi mogą być transformatory głośnikowe stosowane w układach przeciwsobnych, jak pokazano na rys. 4.

Uzwojenia wtórne tych transformatorów pozostaną niewykorzystane. Jeżeli zastosowany będzie konwencjonalny transformator bez mostkujących pojemności mogą pojawić się pasyżnicze oscylacje w momencie wystąpienia prądu siatki. Impedancja wyjściowa wtórnika katodowego może być wyznaczona w przybliżeniu jako odwrotność nachylenia charakterystyki lampy – $1/g_m$. Typowy stopień sterujący wykorzystujący dwie lampy KT66 ma impedancję wyjściową o wartości 350 Ω , a para KT55 ($g_m = 20$ mA/V) będzie miała impedancję wyjściową o wartości 100 Ω .

Lampy stosowane w stopniach końcowych wzmacniaczy mocy

Lampy typu KT66, KT88, DA42, DA100 i V1505 umożliwiają budowę wzmacniaczy o mocach wyjściowych od 15 do 1100 W. W zakresie mocy do 100 W mogą być stosowane pentody, natomiast powyżej 100 W należy zastosować triody. Oczywiście, podobnie jak tranzystory, lampy można łączyć równolegle i uzyskać wymaganą moc wyjściową z elementów o mniejszej mocy. Parametry lamp zestawiono w tabelcy.

Wymiary lamp oraz rozkład wyprowadzeń elektrod przedstawiono na rys. 5+9, natomiast na rys.10+14 pokazano ich charakterystyki wyjściowe.

Maciej Feszczyk

WZMACNIACZE LAMPOWE DUŻEJ MOCY (2)

**Wzmacniacze
o mocy wyjściowej do 100 W**

Schemat wzmacniacza o mocy wyjściowej 50 W przedstawiono na rys.15.

Układ jest trójstopniowy. W stopniu wejściowym zastosowano podwójną triodę B339 (odpowiednik europejski ECC 83), która pracuje w układzie odwracacza fazy sygnału, dostarczając dwóch sygnałów przesuniętych w fazie o 180 stopni, co jest niezbędne do poprawnej pracy stopnia końcowego. Stopnie wzmacniające z dwiema triodami są połączone kaskadowo, przy czym stopień drugi (z lampą V1B) ma za zadanie jedynie odwrócenie fazy sygnału przy wzmacnieniu napięciowym równym "–1 V/V". W tym przypadku zastosowano pętlę napięciowego równoległego sprzężenia zwrotnego z anody lampy na jej siatkę przez rezystor R9. W uproszczeniu zobrazowano to na rys.16a z wykorzystaniem symboli wzmacniaczy operacyjnych. Na rysunku układ połączeń jest od razu widoczny, wzmacniacz przy podanych wartościach rezystorów będzie miał wzmocnienie "–1 V/V". W przypadku przedstawionego układu lampowego sprawa już nie jest tak oczywista z uwagi na znacznie mniejsze wzmocnienie napięciowe w otwartej pętli oraz rezystancję wyjściową o wartości rzędu kiloomów. Wzmocnienie układu można wyznaczyć posługując się uproszczonym schematem zastępczym stopnia dla małych częstotliwości, jak to pokazano na rys.16 b. Przy założeniu, że $R_5 = R_8 = R_9 = R$ oraz $ra \ll R$ wyrażenie na wzmocnienie ma postać:

$$K_{11} = U_L / U_{WR} = \frac{1}{1 + \frac{3}{K_a} \left(\frac{ra}{Z_{Ls}} + 1 \right)}$$

gdzie: ra – rezystancja anodowa lampy,
 K_a – współczynnik amplifikacji,
 Z_{Ls} – łączna impedancja obciążenia w obwodzie anody.

Wyrażenie w mianowniku jest bliskie jedności (dla lampy ECC83 $K_a = 100$ V/V, $ra = 62,5$ kΩ), zatem można przyjąć, że na wyjściach obu lamp V1A i V1B otrzymamy dwa przebiegi o zbliżonej amplitudzie, przesunięte w fazie o 180 stopni.

Elementy C6, C7 oraz R10 i R11 mają za zadanie zapewnienie stabilności wzmacniacza z pętlą ujemnego sprzężenia zwrotnego dla dużych częstotliwości, natomiast elementy C8, C9 i R12, R13 dla częstotliwości leżących poniżej częstotliwości odcięcia wyjściowego transformatora.

Stopień następny w układzie różnicowym z lampą V2 typu B329 (ECC 82) pełni funkcję symetryzatora. Umieszczony w obwodzie anodowym potencjometr umożliwia symetryzację sygnału sterującego stopniem końcowym.

Stopień końcowy zbudowano z dwóch pentod typu KT88 w układzie *ultra linear* z automatyczną polaryzacją siatki sterującej (elementy R28, R29 i C12, C13).

Siatki ekranujące lamp wyjściowych V3 i V4 dołączono do odczepów uzwojenia pierwotnego transformatora wyjściowego, dzięki czemu wprowadzane jest lokalne ujemne sprzężenie zwrotne. Odczepy wykonano w odległości 40% licząc od środka uzwojenia. Szeregowe rezystory umieszczone w siatkach

lamp mają za zadanie niedopuszczenie do wystąpienia szkodliwych oscylacji w.cz. (tzw. rezystory antyparazytowe).

Sygnał ogólnej pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego jest doprowadzany przez rezystor R20 z uzwojenia wtórnego transformatora wyjściowego na katodę lampy V1A.

W zasilaczu wysokie napięcie jest uzyskiwane z prostownika dwupołkowego, z lampą V5 (U54). Lampa ta ma podwójną diodę, żarzoną z oddzielnego uzwojenia o wysokim potencjale. Tętnienia napięcia wyprostowanego są filtrowane za pomocą filtru LC (elementy L1, C14 i C15). Rezystory R32 i R33 wyrównują rozkład napięć na szeregowo połączonych kondensatorach C14 i C15. Termistor zastosowany w linii wysokiego napięcia ma za zadanie zwiększyć opóźnienie pojawienia się wysokiego napięcia na anodach lamp wzmacniacza dopóki ich katody wystarczająco się nie nagrzeją. Stosując w układach lampowych prostownicze elementy półprzewodnikowe należy to zagadnienie brać pod uwagę, gdyż ma wpływ na żywotność lamp.

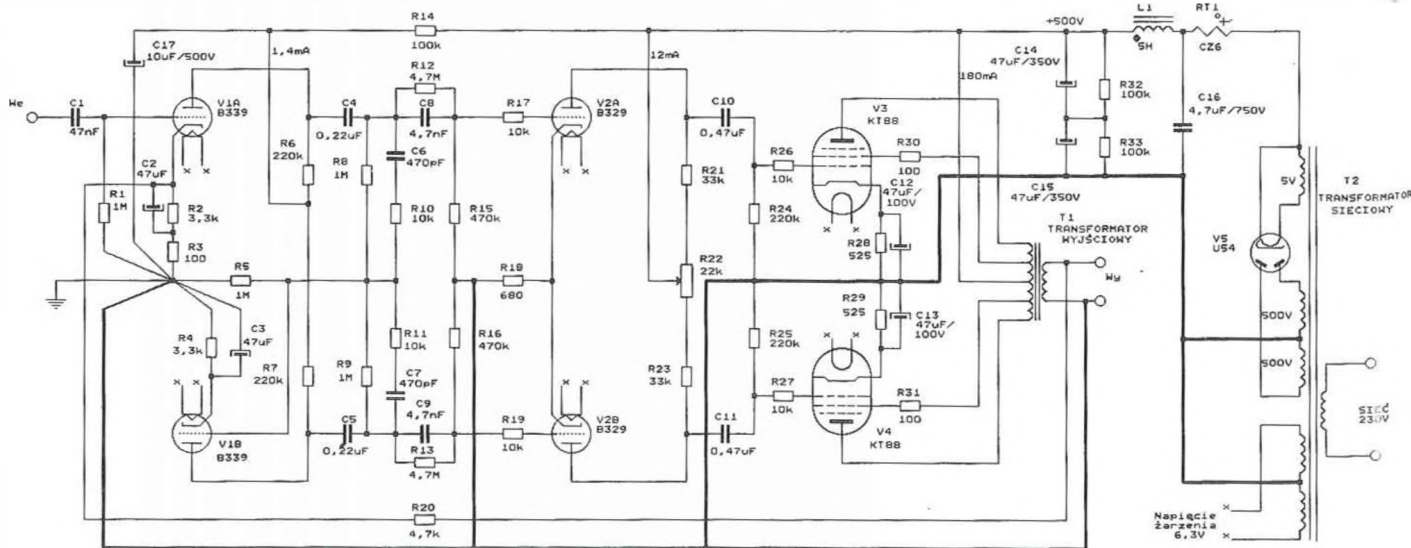
Zastosowane w układzie z rys.15 rezystory mają tolerancję 5% i moc 0,5 W z wyjątkiem następujących: R32, R33 – 1 W; R21, R23 – 2 W; R22 – 4 W; R28, R29 – 6 W.

Znamionowe napięcie wejściowe wzmacniacza wynosi 500 mV.

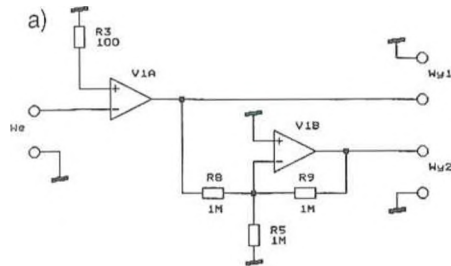
Warunki pracy stopnia wyjściowego

U_z	500 V
U_a, U_{g2}	425 V
$I_a + I_{g2} (0)$	2 x 87 mA
$I_a + I_{g2} (\text{maks. sygn.})$	2 x 100 mA
$P_{a+g2} (0)$	2 x 40 W
$P_{a+g2} (\text{maks. sygn.})$	2 x 18 W
$U_{s1} (\text{ok.})$	– 50 V
$Z_L (a-a)$	6 kΩ

Zastosowane w urządzeniu transformatory powinny mieć następujące parametry:

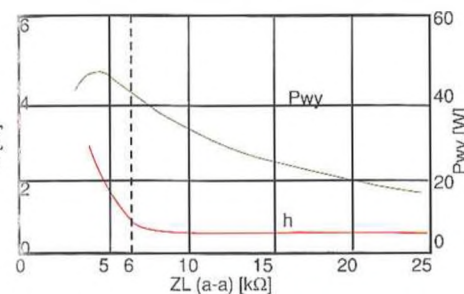


Rys.15. Schemat wzmacniacza z lampami KT88 o mocy wyjściowej 50 W



Rys. 16. Uproszczony układ odwracacza fazy

a – z wykorzystaniem symboli wzmacniaczy operacyjnych
b – schemat zastępczy układu z lampą V1B



Rys. 17. Parametry wzmacniacza z rys.15 w funkcji wartości impedancji obciążenia anoda-anoda

Transformator wyjściowy T1:

Impedancja anoda – anoda: 6 kΩ

Indukcyjność uzwojenia pierwotnego ≥ 30 H,

Indukcyjność rozproszenia:

uzwojenie pierwotne – wtórne ≤ 10 mH

1/2 uzwojenia pierwotnego – część zwojenia do odczepu ≤ 10 mH

Transformator sieciowy:

Napięcie uzwojenia wtórnego:

2×500 V/250 mA

6,3 V/5 A

6,3 V/2 A (w przypadku zasilania przedwzmacniacza)

Zależność parametrów wzmacniacza od wartości impedancji anoda – anoda przedstawiono na rys.17.

Na rys. 18 przedstawiono wersję wzmacniacza o zwiększonej mocy z lampami KT88. Zastosowanie stałej polaryzacji siatki i podwyższenie napięcia zasilania pozwoliło na uzyskanie 100 W mocy wyjściowej przy napięciu

zasilania 560 V. Duża zmiana wartości prądu anodowego wymaga zasilacza o małej impedancji wyjściowej. Kondensator wygładzający powinien mieć zatem dużą wartość, aby zabezpieczyć wzmacniacz przed nagłym spadkiem napięcia zasilania podczas stanów przejściowych sygnałów.

Układ wzmacniacza jest trójstopniowy. Na wejściu zastosowano odwracacz fazy z lampą V1 typu 6J5GT (odpowiednik amerykański 6J5GT, brak odpowiednika europejskiego). Odwrócone w fazie sygnały o jednakowych amplitudach pobierane są z anody i katody lampy dzięki zastosowaniu rezystorów obciążenia R3 i R4 o jednakowej wartości. Stopniem następnym jest układ różnicowy z podwójną trójdą V2 typu 6B5 (odpowiednik amerykański 6SN7GT, brak odpowiednika europejskiego). Zastosowany w obwodzie anodowym potencjometr R11 umożliwia uzyskanie odwróconych w fazie symetrycznych sygnałów doysterowania stopnia końcowego. W zasilaczu, wysokie napięcie jest uzyskiwane z prostownika dwupółtłokowego – lampy V5 i V6 typu U19 (brak odpowiedników). Zastosowane lampy są diodami o bezpośrednim żarzeniu.

Ujemne napięcie polaryzujące siatki sterujące stopnia końcowego uzyskano z oddzielnego zasilacza wykorzystując tym razem jako prostownik M1 półprzewodnikowy mostek prostowniczy. Odpowiednią wartość napięcia polaryzacji można ustalić dla każdej lampy oddzielnie za pomocą potencjometrów R13 i R14. Rezystory R20 i R21 służą do pomiaru prądu katod lamp stopnia końcowego. Ich wartość wynosi typowo 10 Ω i zależy od parametrów zastosowanego miernika. Znamionowe napięcie wejściowe wzmacniacza wynosi 1,5 V.

Zastosowane w układzie z rys. 18 rezystory mają tolerancję 5% i moc 0,5 W z wyjątkiem następujących: R3, R4, R7, R9, R11, R17, R26, R27 – 1 W.

Warunki pracy stopnia wyjściowego

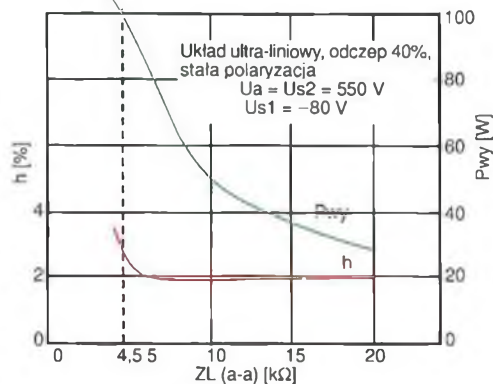
U_z 560 V

U_a, U_{g2} 550 V

$I_a + I_{g2}$ (0) 2×50 mA

$I_a + I_{g2}$ (maks. sygn.) 2×150 mA

$P_a + g_2$ (0) 2×30 W



Rys. 19. Parametry wzmacniacza z rys. 18 w funkcji wartości impedancji obciążenia anoda-anoda

$P_a + g_2$ (maks. sygn.)

2×33 W

U_{s1}

-80 V

Z_L

4,5 kΩ

Zaleca się zastosowanie zabezpieczenia na wypadek zaniku napięcia polaryzującego siatki sterujące lampy mocy, gdyż grozi to zniszczeniem stopnia końcowego. Układ zabezpieczający może, wówczas odłączać napięcie anodowe lub wtrącać we wspólny obwód katodowy rezystor o wartości kilkuset omów. Poleca się to drugie rozwiązanie z uwagi na pracę przy niższym napięciu. Zastosowane w urządzeniu transformatory powinny mieć następujące parametry:

Transformator wyjściowy T1:

Impedancja anoda – anoda: 4,5 kΩ

Indukcyjność uzwojenia pierwotnego ≥ 40 H,

Indukcyjność rozproszenia:

uzwojenie pierwotne – wtórne ≤ 6 mH

1/2 uzwojenia pierwotnego – część uzwojenia do odczepu ≤ 6 mH

Transformator sieciowy:

Napięcie uzwojenia wtórnego:

2×700 V/325 mA

6,3 V/5 A

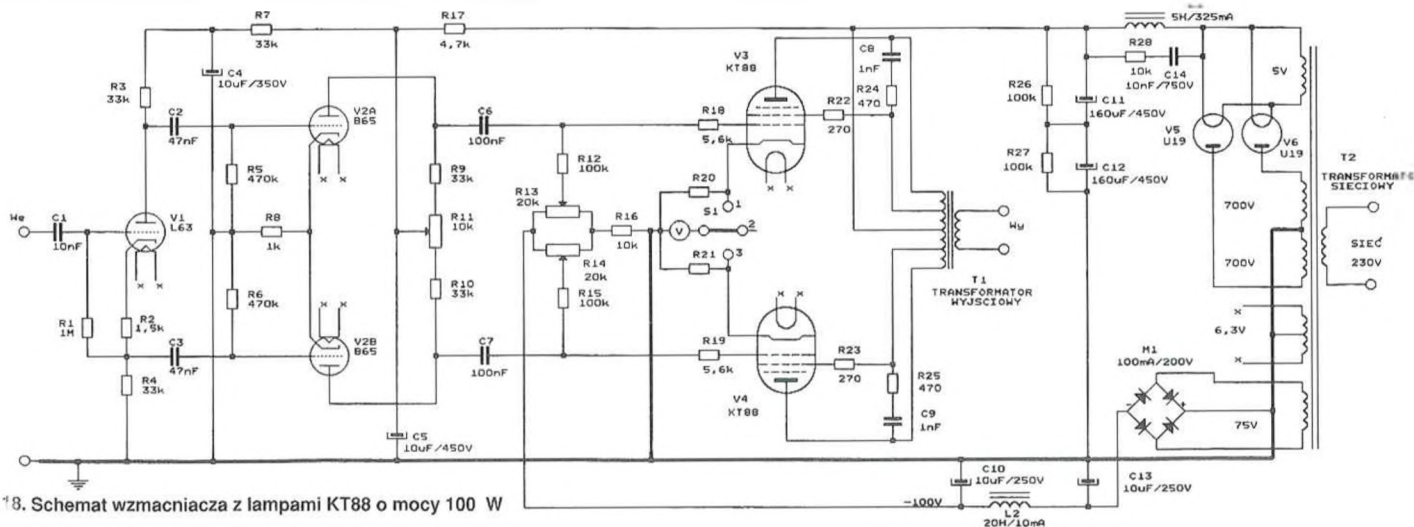
5 V/7 A

75 V/10 mA

Zależność parametrów wzmacniacza od wartości impedancji anoda – anoda przedstawiono na rys.19.

W następnej, ostatniej części artykułu będą omówione wzmacniacze o mocach od 100 do 1100 W.

Maciej Feszczuk



Rys. 18. Schemat wzmacniacza z lampami KT88 o mocy 100 W

WZMACNIACZE LAMPOWE DUŻEJ MOCY (3)

Wzmacniacze o mocy wyjściowej powyżej 100 W

Na rys. 20 przedstawiono schemat wzmacniacza o mocy wyjściowej 175 W. Korzystną cechą układu jest brak polaryzacji siatek sterujących lamp mocy, dzięki czemu układ jest samozabezpieczający się.

Stopień wejściowy, z pojedynczą triodą V1 typu DH77 (odpowiednik europejski EBC90), pracuje w układzie odwracacza fazy. Zastosowano układ ze sprzężeniem katodowym identycznym z przedstawionym na rys. 18. Rezystory o jednakowych wartościach umieszczone w obwodzie anodowym i katodowym powodują uzyskanie

lamp potencjał anody i siatki ekranującej wynosi odpowiednio 150 V i 60 V.

Dla lamp V4 i V5 przy napięciu zasilającym o wartości 500 V i napięciu polaryzacji siatki sterującej – 45 V prąd anodowy wynosi $70 \div 80$ mA dla pary. Aby uzyskać wymaganą wartość napięcia polaryzacji, wartość wspólnego rezystora R19 powinna wynosić ok. 600Ω . Ponieważ w skład tej rezystancji wchodzi również rezystancja uzwojenia pierwotnego transformatora sprzęgającego T1, wartość rezystora R19 należy dobrać doświadczalnie.

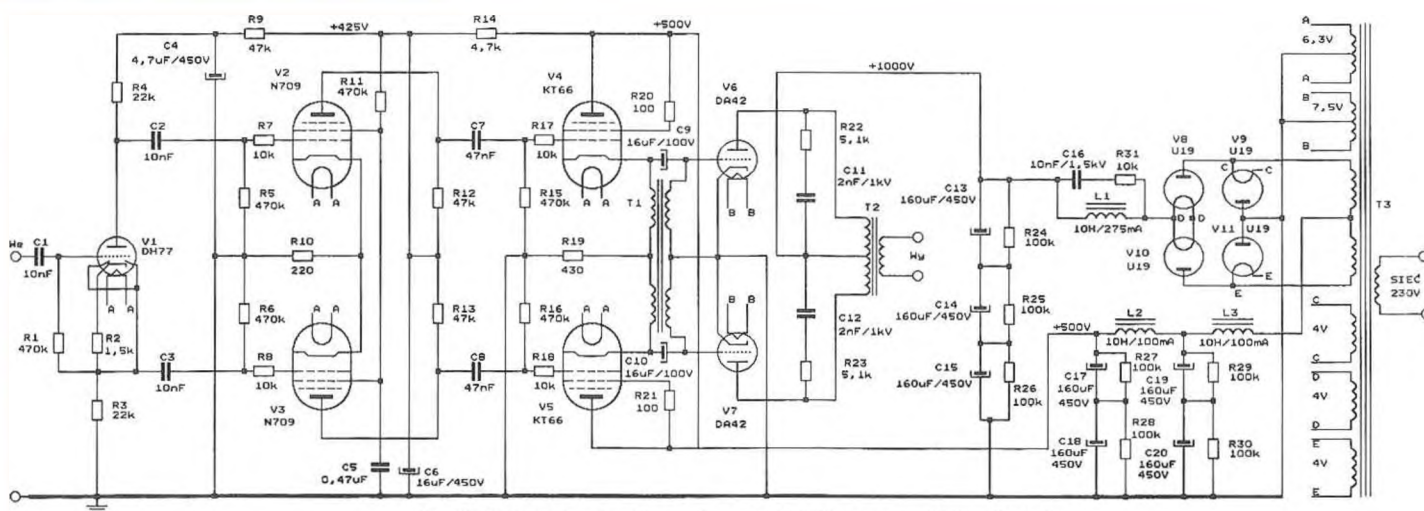
Przedstawiony na rys. 20 wzmacniacz dostarcza moc wyjściową o wartości 175 W tylko w przypadkuysterowania sygnałem

muzycznym lub sygnałem mowy, w przypadkuysterowania ciągłym sygnałem sinusoidalnym nastąpi przekroczenie mocy admissyjnej lamp stopnia końcowego. W takich zastosowaniach impedancja obciążenia ZL(a-a) musi być zwiększona co najmniej o 20%.

Znamionowe napięcie wejściowe dla całego wzmacniacza wynosi ok. 1V.

Zasilacz wzmacniacza musi dostarczyć dwóch napięć zasilających o wartości 1000 V do zasilania stopnia końcowego oraz 500 V do zasilania pozostałych stopni.

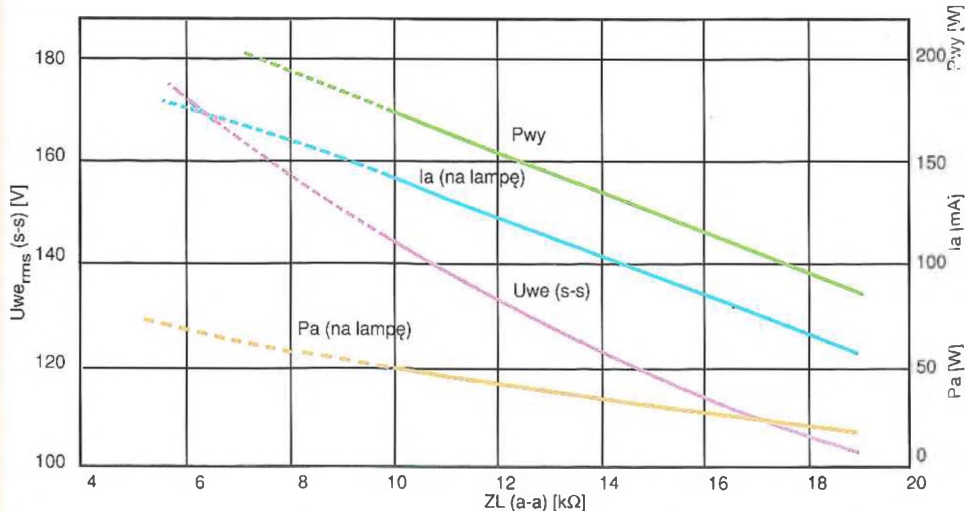
Sytuację komplikuje fakt zastosowania w układzie prostownika diod lampowych, co wymaga zapewnienia aż trzech sepa-



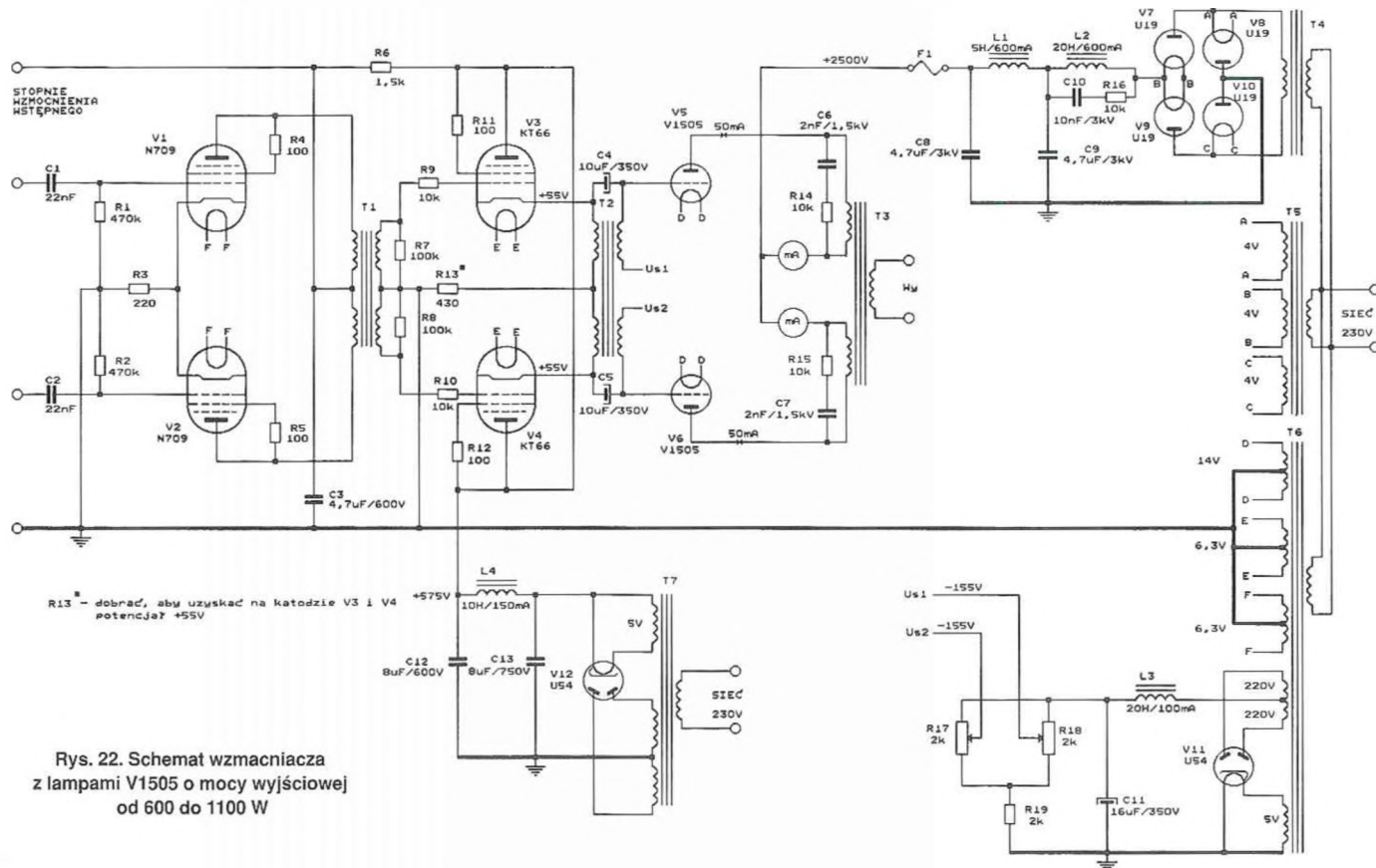
Rys. 20. Schemat wzmacniacza z lampami DA42 o mocy wyjściowej 175 W

dwóch przebiegów o jednakowych amplitudach przesuniętych w fazie o 180 stopni. Odwracacz fazy jest sprzężony z kolejnym stopniem zaprojektowanym w układzie wzmacniacza różnicowego. Stopień ten, o dwóch pentodach mocy V2 i V3 typu N709 (odpowiednik europejski EL84),ysterowuje układ przeciwobny, w którym pracują dwa wtórnik katodowe z lampami V4 i V5 typu KT66 (brak odpowiedników). Stopień ten przez transformator sprzęgający T1 steruje bezpośrednio wyjściowym triodowym stopniem mocy z lampami V6 i V7 typu DA42 (brak odpowiedników) pracujący z prądem siatki sterującej.

Prąd anodowy lampy V1 przyjęto o wartości 2 mA, a łączny prąd anodowy i siatki ekranującej lampy V2 i V3 wynosi 6 mA. Dla tych



Rys. 21. Parametry wzmacniacza z rys. 20 w funkcji wartości impedancji obciążenia anoda-anoda



rowanych napięć żarzenia. Dodatkowo, chwilowe obciążenie zasilacza stopnia mocy może niekorzystnie oddziaływać na drugie napięcie. Dlatego do filtracji napięć zasilania zastosowano filtry LC o stosunkowo dużych wartościach kondensatorów elektrolitycznych. Aby uzyskać odpowiednią wytrzymałość napięciową, zastosowano kondensatory połączone szeregowo z równolegle dołączonymi rezystorami wyrównawczymi.

Zastosowane w układzie z rys. 20 rezystory mają tolerancję 5% i moc 0,5 W z wyjątkiem następujących: R14, R24+R30 – 1W; R31 – 2W; R12, R13 – 5W; R22, R23 – 10 W.

Warunki pracy stopnia wyjściowego

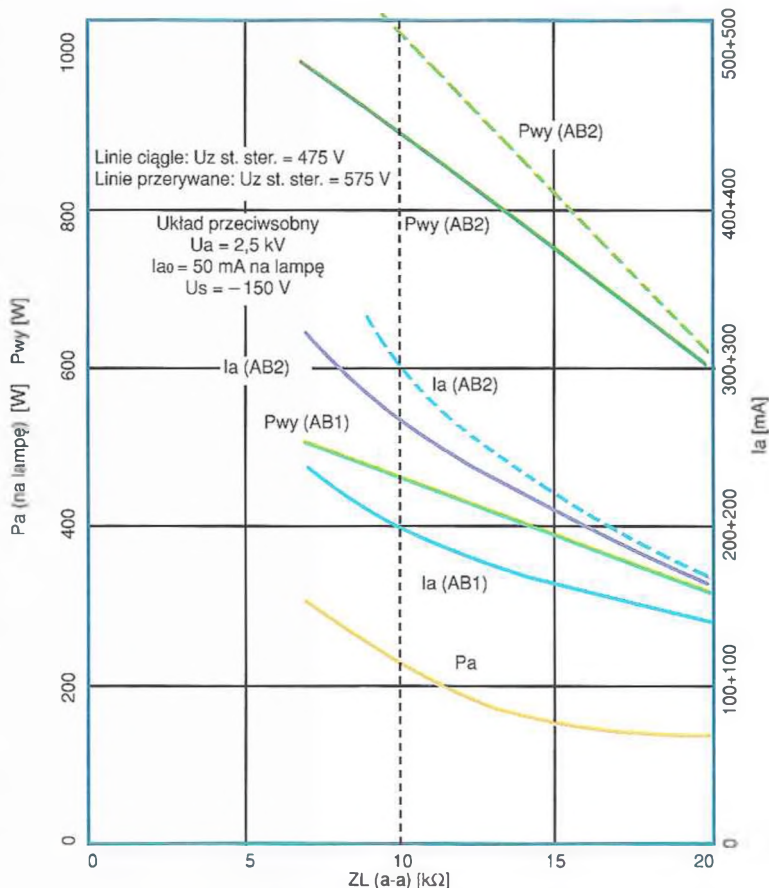
Uz	1000 V
Ua	1000 V
Ia (0)	2 x 25 mA
Ia (max sygn.)	2 x 140 mA
Pa (0)	2 x 25 W
Pa (max sygn.)	2 x 50 W
Us	0 V
Is (max sygn.)	2 x 25 mA
ZL(a-a)	10 kΩ
h	6%

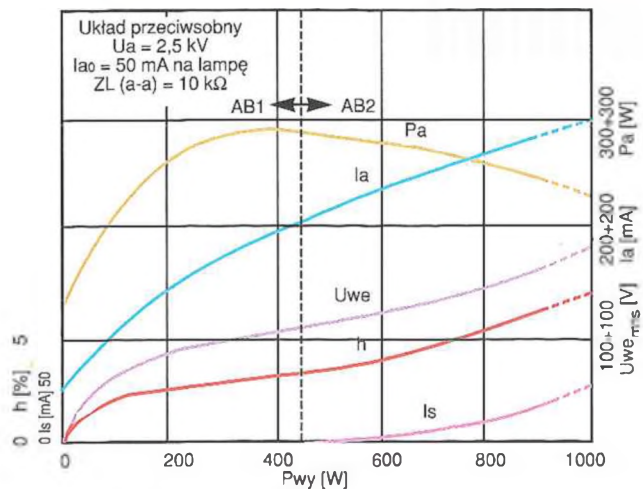
Zależności parametrów wzmacniacza od wartości impedancji obciążenia stopnia końcowego przedstawiono na rys. 21.

Wzmacniacze o mocy wyjściowej od 600 do 1100 W

Schemat stopnia końcowego pracującego w klasie AB2 oraz układy stopni sterujących przedstawiono na rys. 22.

Na wejściu wzmacniacza znajduje się układ różnicowy z lampami V1 i V2 (N709), które pracują w połączeniu triodowym. Stopień ten jest sprzężony z następnym stopniem przez transformator mostkowy T1. Kolejny stopień, który steruje wyjści-





Rys. 24. Parametry wzmacniacza z rys. 22 w funkcji mocy wyjściowej

wymi lampami mocy jest zbudowany również w układzie różnicowym z lampami V3 i V4 (KT66), które pracują w konfiguracji wtórników katodowych.

Przy zasilaniu stopnia sterującego napięciem + 475 V przy prądzie 130 mA, wzmacniacz może dostarczyć 900 W mocy wyjściowej. Napięcie polaryzacji siatki pierwszej wymagane dla lamp V3 i V4 wyniesie – 40 V, co będzie wymagało łącznej rezystancji w obwodzie katody o wartości 600 Ω na lampę. Część tej rezystancji stanowi uzwojenie pierwotne transformatora sprzęgającego, reszta to wspólny rezystor R13.

Dla uzyskania mocy wyjściowej o wartości 1100 W moc sterująca dostarczana do lamp stopnia wyjściowego V5 i V6 (V1505) musi być w przybliżeniu dwukrotnie większa. Lampy V3 i V4 muszą działać przy napięciu ano-

W przypadku pracy wzmacniacza w klasie AB1 (bez prądu siatki) moc wyjściowa ulegnie zmniejszeniu do 450 W.

W zasilaczu zastosowano oddzielne transformatory do wytwarzania napięć wysokich oraz napięć żarzenia. W zasilaczu wysokonapięciowym stopnia końcowego zastosowano układ mostkowy (cztery diody typu U19) z podwójnym filtrem indukcyjnym. Do wytwarzania pozostałych stałych napięć zastosowano typowe prostowniki dwupółkownikowe na duodiodach. Potencjometry R17 i R18 służą do ustawienia wymaganego prądu spoczynkowego lamp końcowego stopnia.

Zastosowane w układzie z rys. 22 rezystory mają tolerancję 5% i moc 0,5 W z wyjątkiem następujących: R6, R17, R18 – 5 W; R19 – 10 W, R14, R15 – 50 W.

dowym o wartości + 575 V. Pobór prądu przez każdą z lamp wyniesie 55 mA. Wymagane napięcie polaryzacji w tym przypadku będzie miało wartość – 55 V przy łącznej rezystancji w obwodzie katody 1000 Ω.

Dla mocy wyjściowej ograniczonej do 600 W napięcie anodowe stopnia końcowego może być zmniejszone do 2 kV. Stopień sterujący pracuje przy napięciu zasilania 475 V i prądzie 130 mA.

Warunki pracy stopnia wyjściowego przy mocy zredukowanej do 600 W

Uz	2000 V
Ua	2000 V
Ia (0)	2 x 60 mA
Ia (max sygn.)	2 x 230 mA
Pa (0)	2 x 120 W
Pa (max sygn.)	2 x 170 W
Us	–125 V
Is (max sygn.)	40 mA
ZL(a-a)	10 kΩ
h	6%

Uwe (rms) w odniesieniu do pierwszego stopnia

2 x 4 V

Transformatory

T1 – międzystopniowy 1:2

T2 – sprzęgający, symetryczny: uzwojenie pierwotne

2 x 2000 zw.,
Φ = 0,38 mm,
2 x 2000 zw.,
Φ = 0,32 mm

uzwojenie wtórne

T5 – 3 x 4 V/3,3 A

T6 – 14 V/13 A; 2 x 220 V/85 mA; 5V/3 A; 6,3 V/ wg wymagań

Warunki pracy stopnia wyjściowego:

	900 W	1100 W
Uz	2500 V	2500 V
Ua	2500 V	2500 V
Ia (0)	2 x 50 mA	2 x 50 mA
Ia (max sygn.)	2 x 275 mA	2 x 300 mA
Pa (0)	2 x 130 W	2 x 130 W
Pa (max sygn.)	2 x 275 W	2 x 275 W
Us	–155 V	–155 V
Is (max sygn.)	30 mA	60 mA
ZL(a-a)	10 kΩ	10 kΩ
h	6%	7%
Uwe(pk) (s-s)	2 x 230 V	2 x 28 V
Uwe (rms) w odn. do pierwszego stopnia	2 x 5 V	2 x 6 V

Charakterystyki wzmacniacza przedstawiono na rys. 23 i rys. 24.

Maciej Feszczuk