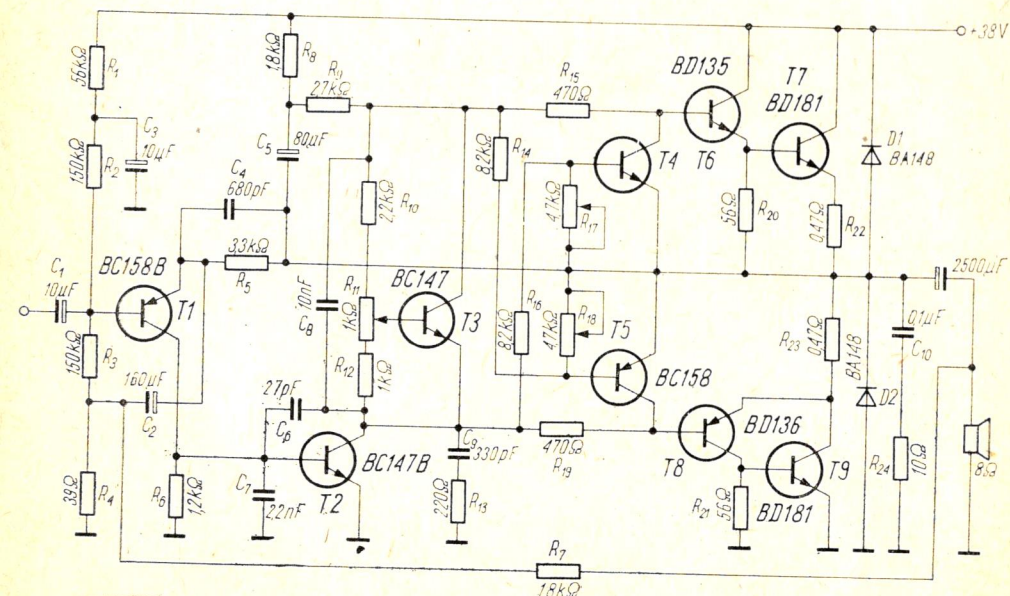


PRZEGLĄD ROZWIĄZAŃ WZMACNIACZY M.CZ. W WYKONANIU FABRYCZNYM

7.1. Wzmacniacze mocy

Wzmacniacz przedstawiony na rys. 7.1 został opracowany przez firmę Philips. Podstawowe parametry układu są następujące:

P_{wy}	– 15 W/8 Ω
h	– 0,1 %
h_{int}	– 0,5 %



Rys. 7.1. Przykład wzmacniacza o mocy wyjściowej 15 W/8 Ω

Pasma przenoszenia – 14 Hz ÷ 100 kHz ($\pm 0,5$ dB)

Z_{we} – 150 k Ω

Z_{wy} – 0,05 Ω

Opis układu

W stopniu wejściowym pracuje pojedynczy tranzystor T1 typu *p-n-p*. Stopniem następnym jest stopień sterujący z tranzystorem T2. W obwodzie kolektorowym tego stopnia umieszczono układ stabilizacji termicznej z tranzystorem oraz dynamiczne źródło prądowe ze sprzężeniem typu *bootstrap*, opisany w p. 3.2.1. Stopień końcowy zrealizowano w wersji quasi-komplementarnej.

Wzmacniacz został wyposażony w układ zabezpieczający przed zwarcie wyjścia, opisany w p. 3.7.1, oraz przed obciążeniami o charakterze reaktancyjnym.

W celu zapewnienia dobrej stabilności punktów pracy oraz małych zniekształceń nieliniowych zastosowano dwie pętle ujemnego sprzężenia zwrotnego. W obu przypadkach sygnał podany jest z wyjścia układu na emiter tranzystora T1.

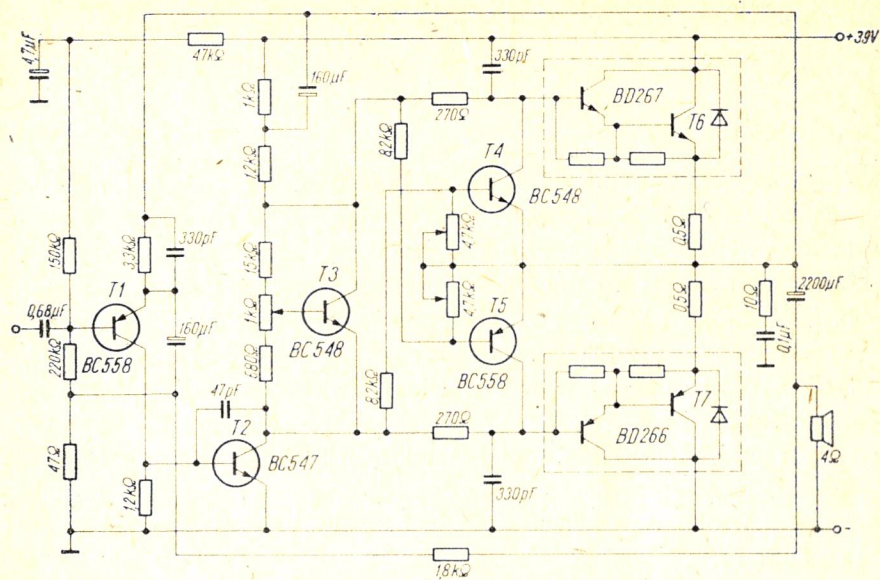
Jedna pętla, z rezystorem R_5 , działa zarówno dla składowej stałej, stabilizując punkty pracy całości układu, jak i dla składowej zmiennej. Działanie tej pętli nie uwzględnia jednak wzrostu reaktancji kondensatora wyjściowego oraz kondensatora C_2 decydującego o wzmocnieniu napięciowym układu dla najmniejszych częstotliwości. Dlatego zastosowano drugą pętlę dla składowej zmiennej z rezystorem R_7 , kompensując spadek wzmocnienia dla tej części pasma przenoszenia. Zwiększenie impedancji wejściowej wzmacniacza osiągnięto przez zastosowanie układu typu *bootstrap* w obwodzie wejściowym. Efekt dodatniego sprzężenia zwrotnego uzyskano przez dołączenie rezystora R_3 – wchodzącego w skład dzielnika wejściowego – do rezystora R_4 . Rezystor ten wraz z kondensatorem C_2 znajduje się w obwodzie głównej pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego. Ponieważ sygnał na bazie tranzystora T1, do której dołączony jest rezystor R_3 , oraz sygnał we wspólnym punkcie rezystorów R_3 i R_4 są niemal jednakowe co do wartości i co do fazy (oczywiście w pasmie przenoszenia wzmacniacza), następuje dynamiczne zwiększenie wartości rezystora R_3 . O wartości impedancji wejściowej wzmacniacza decyduje więc wartość rezystora R_2 .

Na rysunku 7.2 przedstawiono wzmacniacz o mocy 25 W/4 Ω tej samej firmy. Podstawowe parametry układu są następujące:

P_{wy} – 25 W/4 Ω

h – 0,1 %

h_{int} – 0,6 %



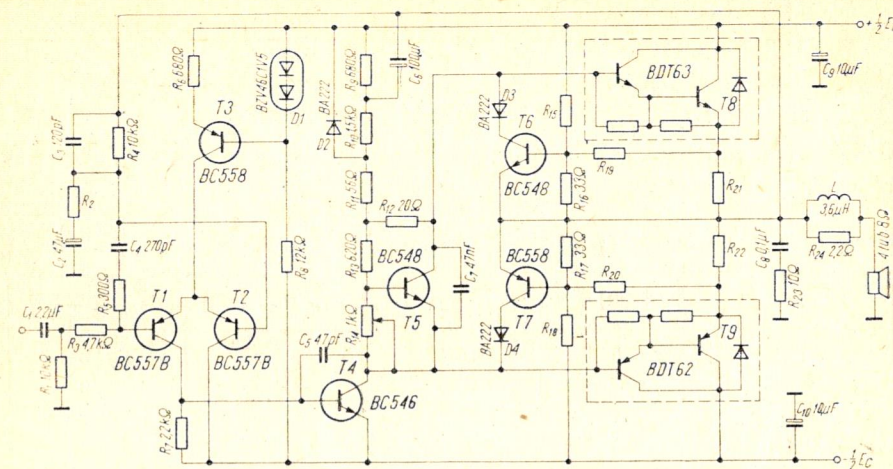
Rys. 7.2. Przykład wzmacniacza o mocy wyjściowej 25 W/4 Ω

Pasma przenoszenia	– 15 Hz ÷ 70 kHz ($\pm 0,5$ dB)
Sygnał/zakłócenia	– 75 dB ($P_{wy} = 50$ mW)
Z_{we}	– 150 kΩ
Z_{wy}	– 0,04 Ω
Znamionowe napięcie wejściowe	– 400 mV

Opis układu

Samą strukturą wzmacniacza jest bardzo podobna do opisanej poprzednio. Różnice występują w stopniu końcowym, który wykonano w wersji pełno-komplementarnej. Jako stopnie wyjściowe zastosowano układy Darlingtona w wersji scalonej. Tego typu rozwiązanie wpływa na uproszczenie układu oraz przyczynia się do poprawy stabilności termicznej prądu spoczynkowego stopnia końcowego. W tym przypadku tranzystor T3 montowany jest bezpośrednio na radiatorze tranzystorów mocy, ponieważ wszystkie złącza stopnia wyjściowego nagrzewają się jednakowo.

Na rysunku 7.3 przedstawiono wzmacniacz z różnicowym stopniem wejściowym, również opracowany przez firmę Philips. W zależności od rezystancji obciążenia układ umożliwia uzyskanie mocy wyjściowej 25 ÷ 30 W.



Rys. 7.3. Wzmacniacz o mocy wyjściowej 25 lub 30 W

Podobnie jak w rozwiązaniu poprzednim, w stopniu wyjściowym zastosowano układy Darlingtona.

Podstawowe parametry wzmacniacza są następujące:

Impedancja obciążenia	– 4 Ω	8 Ω
Napięcie zasilania	– $\pm 22,4$ V	$\pm 31,8$ V
P_{wy}	– 25 W	30 W
h	– 0,05 %	0,05 %
h_{int}	– 0,1 %	0,1 %
TIM	– 0,15 %	0,2 %
Pasma przenoszenia	– 20 Hz ÷	30 kHz
Sygnał/zakłócenia ($P_{wy} = 50$ mW)	– 84 dB	84 dB
Z_{we}	– 10 kΩ	10 kΩ
Z_{wy}	– 0,1 Ω	0,1 Ω
Znamionowe napięcie wejściowe	– 650 mV	650 mV
Wzmocnienie w pętli otwartej	– 6300 V/V	10000 V/V
Wzmocnienie w pętli zamkniętej	– 16 V/V	24 V/V
Maksymalna amplituda napięcia wyjściowego	– 14 V	22 V

Maksymalna amplituda		
prądu wyjściowego	— 3,3 A	2,7 A
Prąd spoczynkowy		
stopnia końcowego	— 50 mA	50 mA

Dobór elementów w zależności od wersji wzmacniacza przedstawiono w tablicy 7.1.

Dobór elementów w zależności od wersji wzmacniacza z rys. 7.3

Tablica 7.1

$R_L [\Omega]$	$R_2 [\Omega]$	$R_{21}, R_{22} [\Omega]$	$R_{15}, R_{18} [k\Omega]$	$R_{19}, R_{20} [\Omega]$
4	680	0,47	2	120
8	430	0,75	2,4	160

Opis układu

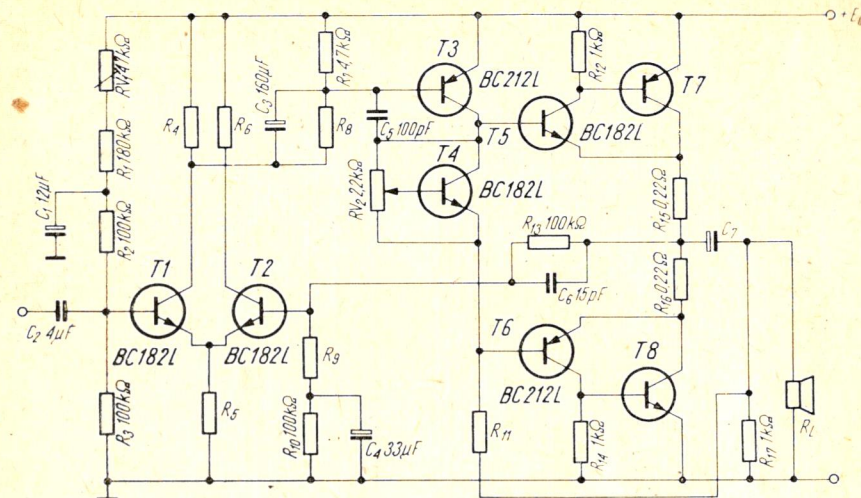
W stopniu wejściowym zastosowano układ różnicowy z niesymetrycznym wyjściem, zbudowany przy wykorzystaniu tranzystorów *p-n-p*. Obwody emiterowe tego stopnia zasilane są przez źródło stałoprądowe, w którego układzie pracuje tranzystor *T3*. Jako napięcie polaryzacji bazy tranzystora *T3* zastosowano zespół dwóch diod w jednej obudowie, zasilanych przez rezystor R_8 .

Stopniem następnym jest stopień sterujący z tranzystorem *T4*. W obwodzie kolektorowym tego stopnia zastosowano dynamiczne źródło prądowe.

W stopniu wyjściowym, zrealizowanym w wersji pełnokomplementarnej, wykorzystano układy Darlingtona w wersji scalonej. Prąd spoczynkowy tego stopnia stabilizowany jest za pomocą układu z tranzystorem umieszczonym na wspólnym radiatorze z tranzystorami mocy. Wzmacniacz wyposażony został także w elektroniczny ogranicznik prądu wyjściowego, którego zasada działania oraz sposób obliczenia podane zostały w p. 3.7.1.

Zastosowany na wyjściu wzmacniacza układ *RLC* ma za zadanie zapewnić stabilność wzmacniacza przy współpracy z obciążeniami o charakterze reaktancyjnym.

Przedstawiony na rys. 7.4. wzmacniacz opracowany przez firmę Texas Instruments umożliwia uzyskanie mocy wyjściowej w zakresie 10 ÷ 30 W w zależności od zastosowanych elementów, przy impedancjach obciążenia 8 i 15 Ω oraz zniekształceniach nieliniowych około 0,1%. Wymagane przy tych mocach amplitudy napięć oraz prądów wyjściowych, a także napięcia zasilające przedstawiono w tablicy 7.2, natomiast w tablicy 7.3 zestawiono wartości elementów podlegające korekcji. Charakterystykę zniekształceń nieliniowych w funkcji mocy wyjściowej dla wersji 30 W/8 Ω przedstawiono na rys. 7.5.



Rys. 7.4. Wzmacniacz o mocy wyjściowej 10 ÷ 30 W

Wymagane wartości amplitud napięć i prądów wyjściowych a także napięć zasilających dla kilku wersji wzmacniacza z rys. 7.4

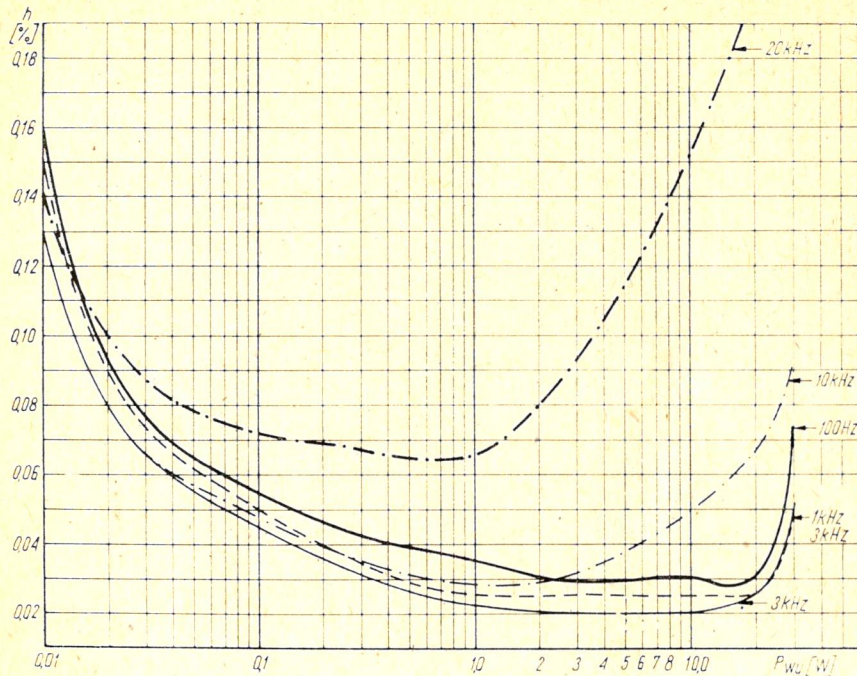
Tablica 7.2

$P_{wy} [W]$	$R_L [\Omega]$	$U_L [V]$	$I_L [A]$	$E_c [V]$
10	8	12,61	1,58	32
10	15	17,31	1,15	40
15	8	15,5	1,94	36
15	15	21,20	1,41	50
20	8	17,88	2,24	42
30	8	22,05	2,76	50

Dobór elementów w zależności od wersji wzmacniacza z rys. 7.4

Tablica 7.3

$P_{wy} [W]$	$R_L [\Omega]$	$R_4 [k\Omega]$	$R_5 [k\Omega]$	$R_6 [k\Omega]$	$R_8 [\Omega]$	$R_9 [\Omega]$	$R_{11} [k\Omega]$	$T7$	$T8$	$C_7 [\mu F]$
10	8	12	3,3	12	56	1200	3,9	TIP32	TIP31	2000
10	15	15	3,9	15	120	820	10	TIP32	TIP31	1000
15	8	15	3,9	15	82	1000	5,6	TIP42	TIP41	2000
15	15	15	4,7	15	82	680	8,2	TIP32A	TIP31A	1000
20	8	15	3,9	15	82	820	5,6	TIP42A	TIP41A	2000
30	8	15	4,7	15	82	680	4,7	TIP43A	TIP33A	2000



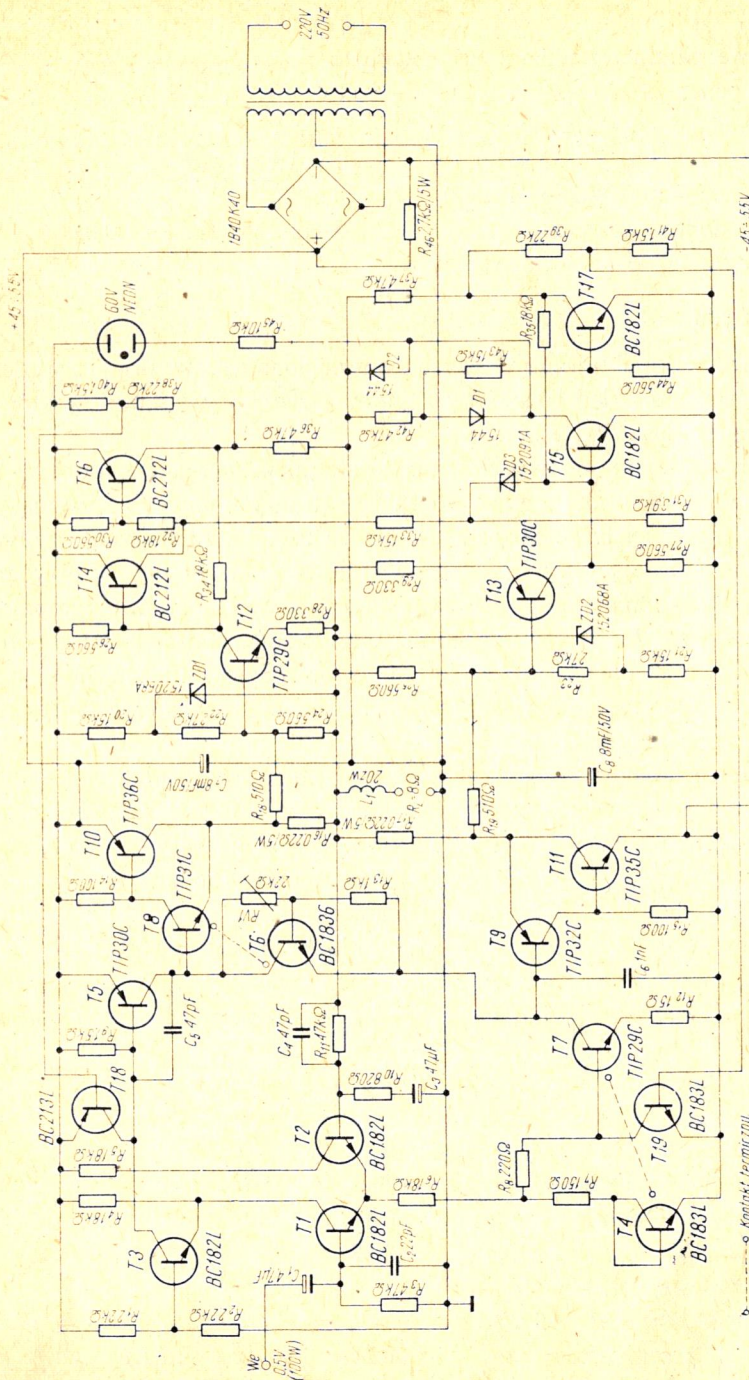
Rys. 7.5. Charakterystyka zniekształceń nieliniowych w funkcji mocy wyjściowej dla wzmacniacza z rys. 7.4. (wersja 30 W/8 Ω)

Opis układu

W stopniu wejściowym zastosowano układ różnicowy z niesymetrycznym wyjściem, w którym pracują tranzystory $T1$ i $T2$. Sprzężenie ze stopniem następnym zostało zrealizowane za pomocą elementów RC , w których skład wchodzi rezystory $R7$ i $R8$ oraz kondensator $C3$. Rezystory stanowią dzielnik napięcia i mają za zadanie dopasować poziom stałego napięcia na kolektorze tranzystora $T1$ do napięcia wymaganego dla bazy tranzystora $T3$. Dla składowej zmiennej rezystor $R8$ jest bocznikowy przez kondensator $C3$, aby wykorzystać maksymalne wzmocnienie napięciowe pierwszego stopnia.

W obwodzie kolektorowym stopnia sterującego $T3$ zastosowano dynamiczne źródło prądowe ze sprzężeniem typu *bootstrap* w układzie tzw. galwanicznym, opisanym w p. 3.2.1. W stopniu końcowym wzmacniacza zastosowano układ pełnokomplementarny.

Przedstawiony na rys. 7.6 wzmacniacz o mocy wyjściowej 100 W opracowany został również przez firmę Texas Instruments.



Rys. 7.6. Wzmacniacz o mocy wyjściowej 100 W/8 Ω

Podstawowe parametry układu są następujące:

Impedancja obciążenia	— 8Ω
Napięcie zasilania	— $\pm 45 \text{ V}$
P_{wy} ($h = 1\%$, $f = 1 \text{ kHz}$)	— 108 W
h ($P_{wy} = 100 \text{ W}$, $f = 1 \text{ kHz}$)	— $0,52\%$
Pasmo przenoszenia	— $5 \text{ Hz} \div 28 \text{ kHz}$ (-1 dB)
Znamionowe napięcie wejściowe	— $0,5 \text{ V}$

Opis układu

Wzmacniacz zaprojektowano w wersji konwencjonalnej. W stopniu wejściowym zastosowano układ różnicowy z niesymetrycznym wyjściem, w którym pracują tranzystory $T1$ i $T2$.

Sprzężenie stopnia wejściowego ze stopniem sterującym odbywa się za pośrednictwem dodatkowego stopnia z tranzystorem $T3$ pracującym w układzie wspólnej bazy. Stopień ten ma za zadanie zmniejszenie wpływu tętnień napięć zasilających na przebieg wyjściowy wzmacniacza. W obwodzie kolektorowym stopnia sterującego zastosowano statyczne źródło stałoprądowe z tranzystorem $T7$. Tranzystor ten ma sprzężenie termiczne z tranzystorem $T4$, pracującym w połączeniu diodowym w obwodzie emiterowym stopnia wejściowego. Tego typu rozwiązanie ma za zadanie zmniejszenie dryftu termicznego wzmacniacza.

Stopień końcowy wykonano w wersji pełnokomplementarnej.

Wzmacniacz wyposażono w rozbudowany układ zabezpieczający przed przeciążeniem. Jako detektory przeciążenia pracują tranzystory $T12$ i $T13$.

Tranzystory $T14$ i $T16$ oraz $T15$ i $T17$ pracują w układach przerzutników bistabilnych i stanowią elementy pamięciowe.

Tranzystory $T18$ i $T19$ pracują jako klucze blokujące — w razie przeciążenia — stopień sterujący oraz źródło stałoprądowe. Stan przeciążenia sygnalizowany jest przez neonówkę. Układ zabezpieczenia tego typu opisany został w p. 3.7.1.

Przedstawiony na rys. 7.7 wzmacniacz opracowany został przez firmę Siemens.

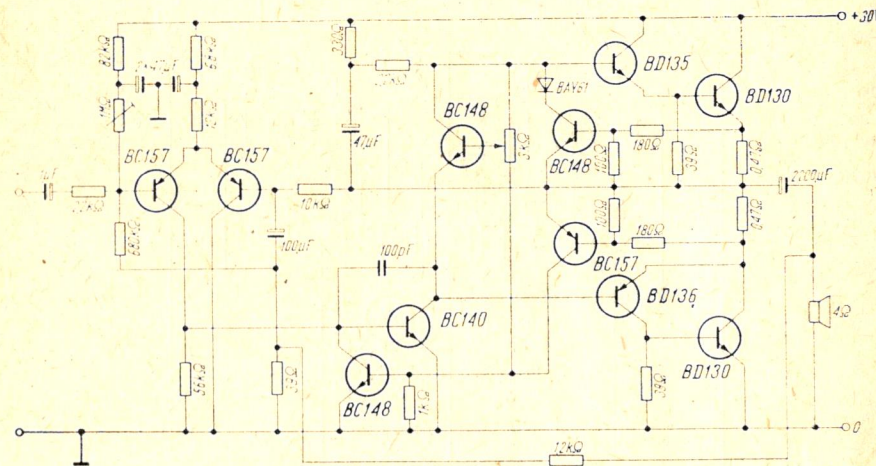
Podstawowe parametry są następujące:

Impedancja obciążenia	— 4Ω
Napięcie zasilania	— 30 V
P_{wy} ($h = 1\%$, $f = 1 \text{ kHz}$)	— 18 W
h (w pasmie $20 \text{ Hz} \div 16 \text{ kHz}$)	
i przy $P_{wy} = 0,01 \div 16 \text{ W}$	— $0,5\%$
Pasmo przenoszenia	— $30 \text{ Hz} \div 40 \text{ kHz}$ (-1 dB)

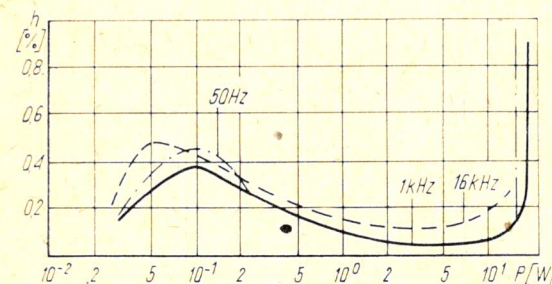
Prąd spoczynkowy

stopnia końcowego — 50 mA

Charakterystyka zniekształceń nieliniowych w funkcji mocy wyjściowej została przedstawiona na rys. 7.8.



Rys. 7.7. Wzmacniacz o mocy wyjściowej $18 \text{ W}/4 \Omega$

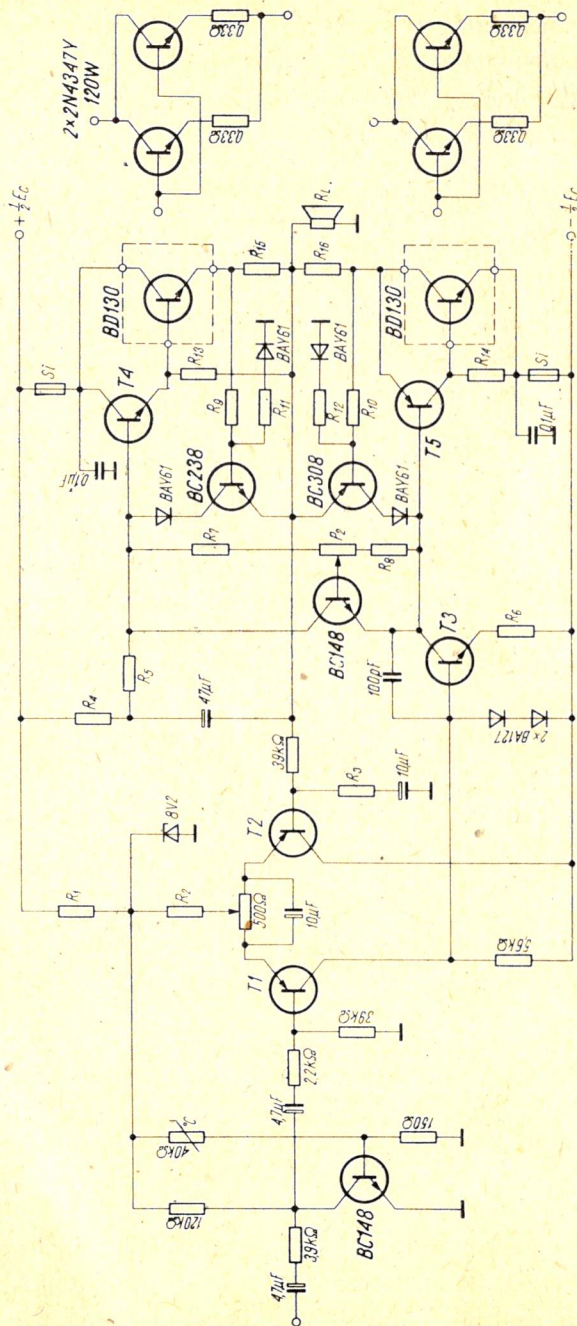


Rys. 7.8. Charakterystyka zniekształceń nieliniowych w funkcji mocy wyjściowej dla układu z rys. 7.7

Opis układu

W stopniu wejściowym zastosowano układ różnicowy z tranzystorami $p-n-p$. We wzmacniaczu zastosowano dwie pętle ujemnego sprzężenia zwrotnego: jedna dla składowej stałej i zmiennej, a druga wyłącznie dla składowej zmiennej. Podobne rozwiązanie zastosowała firma Philips w układach opisanych poprzednio.

W obwodzie kolektorowym stopnia sterującego umieszczono układ stabilizacji termicznej z tranzystorem oraz dynamiczne źródło prądowe. Stopień wyjściowy zrealizowano w postaci quasi-komplementarnej.



Rys. 7.9. Wzmacniacz o mocy wyjściowej 15 ÷ 120 W

Wzmacniacz wyposażono w ogranicznik prądu wyjściowego, przy czym zastosowano układ niesymetryczny. Dla dodatniej półfali przebiegu wyjściowego zastosowano układ klasyczny ogranicznika prądu, natomiast dla półfali ujemnej blokowany jest stopień sterujący za pomocą dodatkowego tranzystora.

W obwodzie wejściowym zastosowano układ dynamicznego zwiększenia impedancji wejściowej przez wprowadzenie dodatniego sprzężenia zwrotnego.

Wzmacniacz o mocy wyjściowej 15 ÷ 120 W — w zależności od zastosowanych elementów — przedstawiono na rys. 7.9. Jest to również opracowanie firmy Siemens. Dane techniczne układu w zależności od wersji przedstawiono w tabelicy 7.4, natomiast dobór elementów w tabelicy 7.5.

Opis układu

Na wejściu wzmacniacza zastosowano układ bezpiecznika termicznego zabezpieczającego wzmacniacz przed przeciążeniem w przypadku, gdy utrudnione jest odprowadzenie ciepła przez radiatory. Układ tego typu opisany został w p. 3.7.3. W stopniu wejściowym wzmacniacza zastosowano układ różnicowy z tranzystorami *p-n-p*. W obwodzie emiterowym tranzystorów stopnia wejściowego umieszczono potencjometr, dzięki czemu możliwe jest dokładne wyzerowanie wzmacniacza. W obwodzie kolektorowym stopnia sterującego umieszczono dynamiczne źródło prądowe ze sprzężeniem typu *bootstrap* oraz układ stabilizacji termicznej prądu spoczynkowego stopnia końcowego z tranzystorem. Wzmacniacz wyposażono w elektroniczny ogranicznik prądu wyjściowego z cofającą się charakterystyką ograniczenia, opisany w p. 3.7.1. Stopień wyjściowy zrealizowano jako quasi-komplementarny, przy czym dla wersji 120 W zastosowano po dwa równolegle połączone tranzystory mocy.

Ciekawy układ wzmacniacza o mocy wyjściowej od 6 ÷ 60 W opracowała firma ITT. Schemat ideowy przedstawiony jest na rys. 7.10. Zmiana maksymalnej mocy wyjściowej odbywa się przez zmianę napięcia zasilania bez konieczności dobierania elementów.

Podstawowe parametry układu są następujące:

Impedancja obciążenia	— 4 Ω
Napięcie zasilania	— 20 ÷ 60 V
P_{wy}	— 6 ÷ 60 W
h ($f = 100$ Hz)	— 0,20 %
h ($f = 1$ kHz)	— 0,10 %
h ($f = 10$ kHz)	— 0,25 %

Podstawowe parametry wzmacniacza z rys. 7.9 dla kilku wersji wykonania

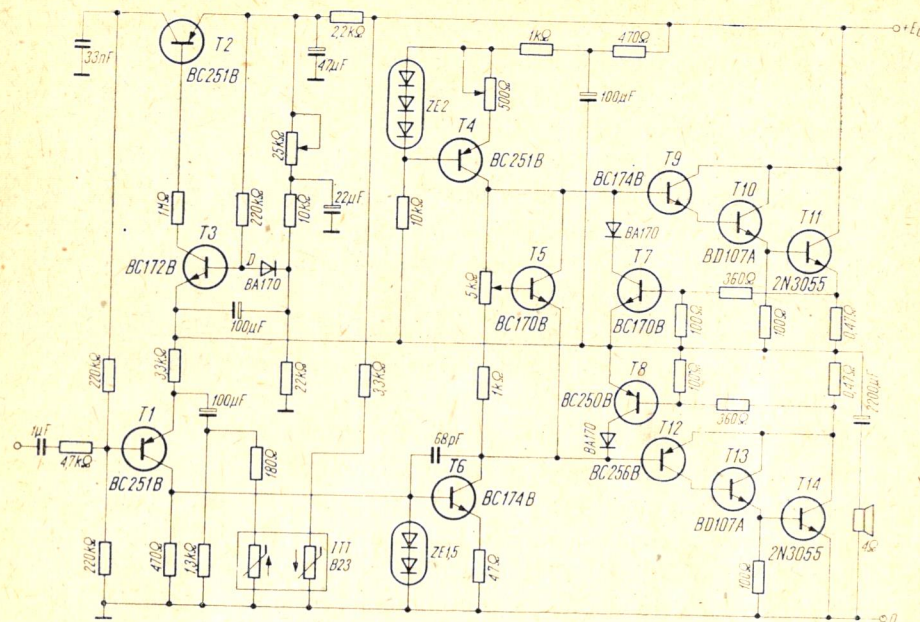
Tablica 7.4

Wersja	I	II	III	IV	V
Parametr					
P_{wy} $h = 1\%$, $f = 1 \text{ kHz}$ [W]	15	30	40	60	120
R_L [Ω]	4	4	8	4	4
E_c [V]	± 14	± 23	± 30	± 28	± 38
I_o [A]	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
I_z [A]	0,8	1,5	1,1	1,9	2,6
h dla $1/2 P_{wy}$ $f = 50 \text{ Hz} \div 16 \text{ kHz}$ [%]	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4

Dobór elementów w zależności od wersji wykonania

Tablica 7.5

Wersja	I	II	III	IV	V
Element					
$T1, T2$	BC307B	BC307B	BC307B	BC307B	BCY77
$T3$	BC377	BC141	BC141	BC141	BSX47
$T4$	BD135	BD235	BD237	BD237	BD237
$T5$	BD136	BD236	BD238	BD238	BD238
R_1 [k Ω]	1,2	2,2	3,3	3,3	3,9
R_2 [k Ω]	15	15	15	15	8,2
R_3 [k Ω]	5,6	3,9	3,3	3,3	3,3
R_4 [Ω]	330/0,5 W	330/1 W	330/1 W	330/1 W	680/1 W
R_5 [Ω]	3,3	3,3	3,3	3,3	1,8
R_6 [Ω]	27	22	27	22	10
R_7 [Ω]	1000	560	560	560	270
P_2 [Ω]	500	250	250	250	100
R_8 [Ω]	390	220	220	220	120
R_9, R_{10} [Ω]	150	150	150	150	150
R_{11}, R_{12} [k Ω]	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
R_{13} [Ω]	27	27	27	27	22
R_{14} [Ω]	15	15	15	15	12
R_{15}, R_{16} [Ω]	0,47/2 W	0,47/2 W	1/2 W	0,47/5 W	0,33/5 W
SI [A]	1,5	2	2	3	4



Rys. 7.10. Wzmacniacz o mocy wyjściowej 6 ÷ 60 W

Pasma przenoszenia — 25 Hz ÷ 20 kHz (± 1 dB)
Znamionowe napięcie
wejściowe — 1 V

Opis układu

W stopniu wejściowym wzmacniacza pracuje pojedynczy tranzystor $T1$ typu $p-n-p$. Baza tego tranzystora jest polaryzowana przez dzielnik rezystancyjny zasilany z układu stabilizatora, w którego skład wchodzi tranzystory $T2$ i $T3$. Zadaniem stabilizatora jest utrzymanie na wyjściu wzmacniacza — w warunkach statycznych — napięcia równego połowie napięcia zasilania, bez względu na wartość tego napięcia, oczywiście w obrębie dopuszczalnego przedziału.

Tranzystor $T2$ jest elementem regulacyjnym, natomiast tranzystor $T3$ pracuje jako komparator, służąc do porównywania potencjału wyjściowego wzmacniacza podanego na emiter z potencjałem równym połowie napięcia zasilania, podanym przez diodę D na bazę tego tranzystora. Dioda D służy do eliminacji wpływu napięcia baza-emiter tranzystora $T3$ na wynik porównania.

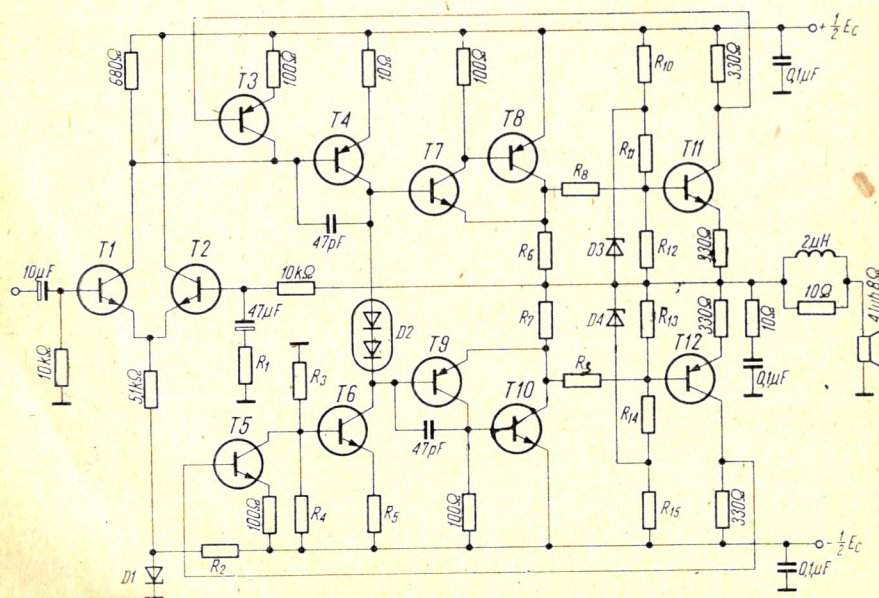
Układ regulatora działa podobnie jak klasyczny stabilizator szeregowy. Przy wzroście napięcia zasilania tranzystor $T3$ wysterowuje silniej tranzystor

szeregowy $T2$, który — zmieniając swoją rezystancję — zmienia dzielnik polaryzujący bazę tranzystora wejściowego $T1$. Regulacji potencjału na wyjściu układu dokonuje się za pomocą ujemnego sprzężenia zwrotnego podanego z wyjścia układu na emiter tranzystora $T1$.

W obwodzie kolektorowym stopnia sterującego zastosowano dwa źródła prądowe. Jedno źródło, w wersji statycznej, z tranzystorem $T4$, a drugie — dynamiczne, ze sprzężeniem typu *bootstrap*. Tego typu rozwiązanie pozwala na lepszeysterowanie stopnia końcowego przy wszystkich korzyściach jakie ma źródło statyczne.

Stopień wyjściowy zrealizowano w układzie quasi-komplementarnym, przy czym zastosowano potrójny układ Darlingtona, co zwiększa liniowość tego stopnia.

W układzie zastosowano układ stabilizacji termicznej prądu spoczynkowego stopnia końcowego z tranzystorem oraz konwencjonalny ogranicznik prądowy. Wzmacniacz ma jeszcze jedno ciekawe rozwiązanie. Mianowicie przy zmianie napięcia zasilania wzmacniacza na niższe w konwencjonalnym układzie rośnie jego czułość, gdyż maleje maksymalna amplituda napięcia wyjściowego. To z kolei wymaga zmiany położenia regulatora głośności, aby uniknąć przesterowania. W układzie z rys. 7.10 czułość korygowana jest



Rys. 7.11. Wzmacniacz o mocy wyjściowej $35 \div 100$ W

automatycznie wraz ze zmianą napięcia zasilania. W tym celu w obwodzie ujemnego sprzężenia zwrotnego zastosowano element zawierający rezystor i termistor w jednej obudowie. Rezystor dołączony jest do napięcia zasilania w szereg z rezystancją $3,3 \text{ k}\Omega$, natomiast termistor stanowi element głównej pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego. Wartość rezystancji termistora decyduje więc o wzmacnieniu napięciowym wzmacniacza. Ze wzrostem napięcia zasilania rezystor nagrzewa się, a wraz z nim nagrzewa się termistor, którego rezystancja maleje. Następuje wzrost wzmacnienia wzmacniacza. Gdy napięcie zasilania zmniejsza się — rezystancja termistora rośnie i wzmacnienie napięciowe wzmacniacza maleje. Dzięki takiemu rozwiązaniu znamionowe napięcie wejściowe (czułość) utrzymuje się na stałym poziomie 1 V .

Na rysunku 7.11. przedstawiono wzmacniacz opracowany przez firmę Motorola. W zależności od zastosowanych elementów z wzmacniacza można uzyskać moc wyjściową od $35 \div 100 \text{ W}$ przy impedancjach obciążenia 4 lub 8Ω .

Wartości i typy elementów w zależności od wersji podane zostały w tablicy 7.6 i 7.7.

Pozostałe parametry wzmacniacza są następujące:

Impedancja obciążenia	— 4Ω lub 8Ω
P_{wy}	— $35 \div 100 \text{ W}$
Pasma przenoszenia	— $10 \text{ Hz} \div 100 \text{ kHz}$ (-3 dB)
h	— $0,2 \%$ ($20 \text{ Hz} \div 20 \text{ kHz}$)
h_{int}	— $0,2 \%$
Znamionowe napięcie wejściowe	— 1 V

Opis układu

W stopniu wejściowym zastosowano układ różnicowy z niesymetrycznym wyjściem, w którym pracują tranzystory $T1$ i $T2$. Stopniem następnym jest stopień sterujący z tranzystorem $T4$. W obwodzie kolektorowym tego stopnia umieszczono źródło stałoprądowe zrealizowane na tranzystorze $T6$ oraz diodowy układ polaryzacji wstępnej stopnia mocy.

Stopień wyjściowy zrealizowano w wersji pełnokomplementarnej.

Wzmacniacz zawiera elektroniczny ogranicznik prądu wyjściowego. Tranzystory $T11$ i $T12$ pracują jako detektory przeciążenia, natomiast tranzystory $T3$ i $T5$ są elementami wykonawczymi i pracują jako klucze, blokując stopień sterujący oraz źródło prądowe w przypadku wystąpienia przeciążenia. (Podobny typ ogranicznika został opisany w p. 3.7.1.).

Na wyjściu układu zastosowano elementy zabezpieczające przed obciążeniami o charakterze reaktancyjnym.

Dobór elementów w zależności od wersji wzmacniacza z rys. 7.11

Tablica 7.6

P_{wy} [W]	R_L [Ω]	R_1 $\pm 5\%$ [Ω]	R_2 $\pm 10\%$ [kΩ]	R_3 $\pm 5\%$ [kΩ]	R_4 $\pm 5\%$ [kΩ]	R_5 $\pm 5\%$ [Ω]	R_6, R_7 $\pm 5\%$ [Ω]	R_8, R_9 $\pm 10\%$ [Ω]	R_{10}, R_{15} $\pm 5\%$ [kΩ]	R_{11}, R_{14} $\pm 5\%$ [kΩ]	R_{12}, R_{13} $\pm 5\%$ [Ω]	E_c [V]
35	4	820	2,7	18	1,2	120	0,39	390	2,7	1,5	470	± 21
	8	560	3,9	22	1,2	180	0,47	240	3,0	1,2	470	± 27
50	4	680	3,3	22	1,2	100	0,33	360	3,3	1,5	470	± 25
	8	470	4,7	27	1,2	150	0,43	270	3,9	1,2	470	± 32
60	4	620	3,9	22	1,2	120	0,33	430	3,9	1,5	470	± 27
	8	430	5,6	33	1,2	120	0,39	300	4,7	1,2	470	± 36
75	4	560	4,7	27	1,2	91	0,33	620	5,6	1,8	470	± 30
	8	390	6,8	33	1,2	150	0,39	390	6,8	1,5	470	± 40
100	4	470	5,6	33	1,2	68	0,39	1000	8,2	2,2	470	± 34
	8	330	8,2	39	1,2	100	0,39	510	9,1	1,8	470	± 45

Dobór elementów w zależności od wersji wzmacniacza z rys. 7.11

Tablica 7.7

P_{wy} [W]	R_L [Ω]	$n-p-n$ (T10)	$p-n-p$ (T8)	$n-p-n$ (T7)	$p-n-p$ (T9)	$n-p-n$ (T6)	$p-n-p$ (T4)	$n-p-n$ (T1, T2)
35	4	MJ2840	MJ2940	MPSU05	MPSU55	MPSA05	MPSA55	MFC8000
	8	MJE2801	MJE2901	MPSU05	MPSU55	MPSA06	MPSA56	MFC8000
40	4	2N5302	2N4399	MPSU05	MPSU55	MPSA06	MPSA56	MFC8000
	8	MJ2841	MJ2941	MPSU06	MPSU56	MPSA06	MPSA56	MFC8001
60	4	2N5302	2N4399	MPSU06	MPSU56	MPSA06	MPSA56	MFC8000
	8	MJ2841	MJ2941	MPSU06	MPSU56	MPSA06	MPSA56	MFC8001
75	4	MJ802	MJ4502	MPSU06	MPSU56	MPSA06	MPSA56	MFC8000
	8	MJ802	MJ4502	MM3007	2N5679	MM3007	MM4007	MFC8002
100	4	MJ802	MJ4502	MPSU06	MPSU56	MPSU06	MPSU56	MFC8001
	8	MJ802	MJ4502	MM3007	2N5679	MM3007	MM4007	MFC8002

7.2. Wzmacniacz napięciowy

Przykład uniwersalnego wzmacniacza napięciowego przedstawiono na rys. 7.12 (opracowanie firmy Texas Instr.).

Układ ma 5 wejść dla różnych źródeł sygnału:

- gramofon z przetwornikiem magnetycznym (ceramicznym) – korekcja RIAA (płaska charakterystyka),
- magnetofon – korekcja wg DIN 9,5 cm/s,
- mikrofon – płaska charakterystyka,
- radio – płaska charakterystyka ($Z_{we} = 2 \text{ M}\Omega$),
- dodatkowe – płaska charakterystyka ($Z_{we} = 2 \text{ M}\Omega$).

Pozostałe parametry są następujące:

- regulator barwy dźwięku o zakresie regulacji $\pm 18 \text{ dB}$ dla 20 Hz
 $\pm 15 \text{ dB}$ dla 20 kHz,
- filtr górnej części pasma akustycznego o częstotliwościach granicznych 5 kHz, 10 kHz, 20 kHz, 40 kHz,
- $h - 0,03\%$
- sygnał/zakłócenia – 60 dB.

Czułość wejść dla przetwornika magnetycznego, magnetofonu i mikrofonu wynosi około 2 mV, dla pozostałych wejść około 100 mV. Zmiany czułości

Dobór elementów w zależności od znamionowego napięcia wejściowego przetwornika magnetycznego (rys. 7.12)

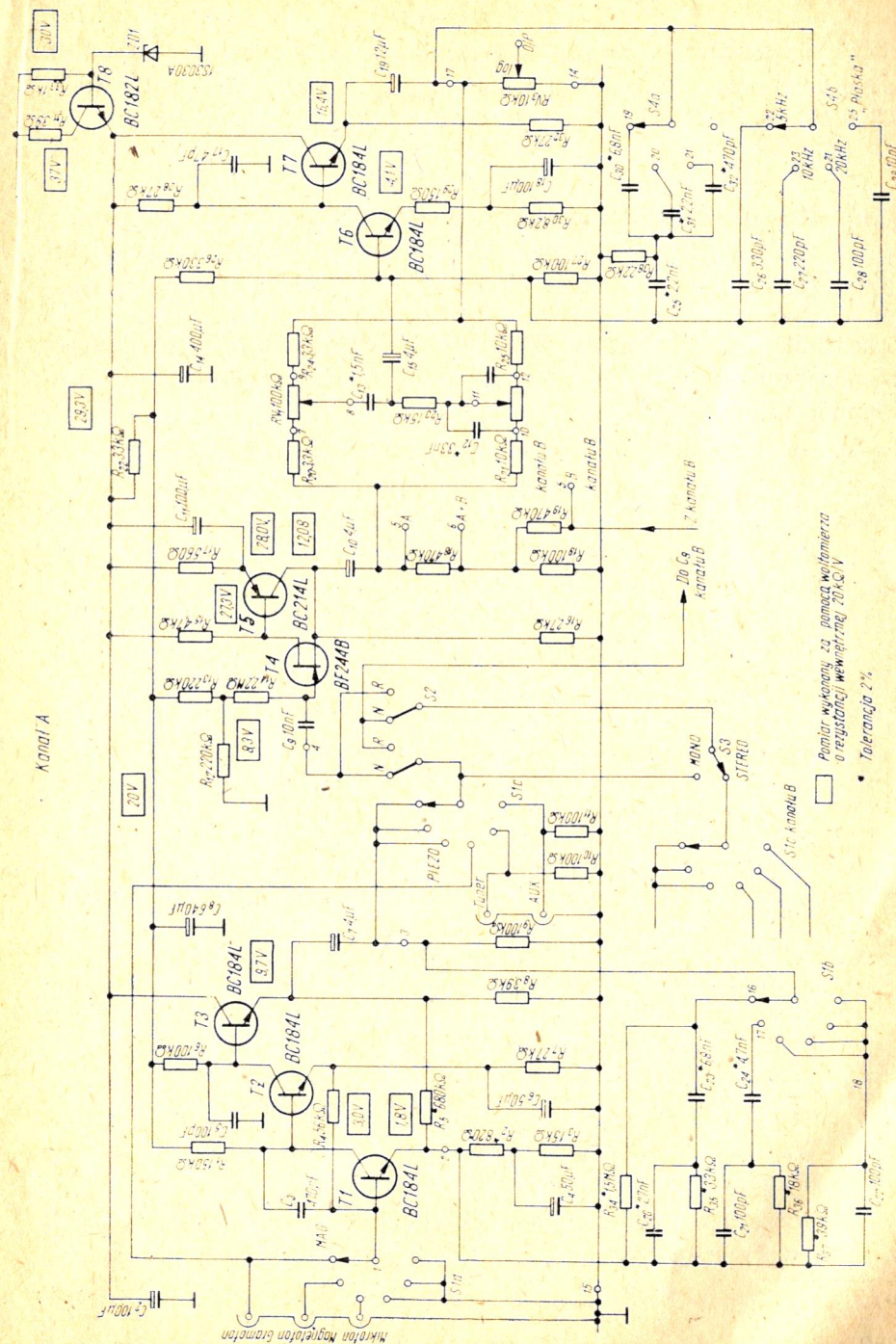
Tablica 7.8

Czułość wejścia dla przetwornika magnetycznego [mV]	R_{34} [k Ω]	R_{35} [k Ω]	C_{20} [nF]	C_{23} [nF]
2	1500	33	2,7	6,8
4,3	270	15	5,6	15
5,8	220	13	8,2	22

Dobór elementów w zależności od stałej czasowej wejścia magnetofonowego (rys. 7.12)

Tablica 7.9

Stała czasowa [μs]	R_{36} [k Ω]	R_{24} [nF]	Prędkość przesuwu taśmy [cm/s]
70	15	4,7	19
90	18	4,7	9,5
120	27	4,7	4,76



Rys. 7.12. Uniwersalny wzmacniacz napięciowy

dla wejścia przetwornika magnetycznego oraz zmiany stałej czasowej dla wejścia magnetofonowego można dokonać, dobierając różne wartości elementów (tabl. 7.8 i 7.9).

7.3. Kompletny układ wzmacniacza stereofonicznego odbiornika Beomaster 2000 firmy Bang & Olufsen (Dania)

Schemat ideowy wzmacniacza został przedstawiony na rys. 7.13¹⁾ Wzmacniacz charakteryzuje się dobrymi parametrami elektrycznymi i nowoczesnym rozwiązaniem konstrukcyjnym.

Podstawowe parametry układu są następujące:

P_{wy}	$2 \times 40 \text{ W}$
$h (P_{wy} = 40 \text{ W}, f = 1 \text{ kHz})$	$< 0,1 \%$
h_{int}	$< 0,25 \%$
Pasmo przenoszenia dla wejść liniowych	$20 \text{ Hz} \div 30 \text{ kHz}$ (przy spadku 1,5 dB)
Tłumienie przesłuchu między kanałami	$> 56 \text{ dB}, f = 1 \text{ kHz}$ $> 40 \text{ dB}, f = 250 \text{ Hz} \div 10 \text{ kHz}$
Regulacja barwy dźwięku	$\pm 17 \text{ dB}$ przy 40 Hz $\pm 15 \text{ dB}$ przy 12,5 kHz
Znamionowe napięcie wejściowe dla $P_{wy} = 40 \text{ W}$:	
– wejście dla gramofonu z przetwornikiem magnetycznym PHONO	$2,5 \text{ mV}/47 \text{ k}\Omega$
– wejście dla magnetofonu TAPE I i TAPE II	$175 \text{ mV}/1 \text{ M}\Omega$
sygnał/zakłócenia $P_{wy} = 50 \text{ mW}$	
wejście PHONO	60 dB
gabaryty	$68,5 \times 27 \times 7,5 \text{ cm}$ (4 cm + 3,5 cm podstawa)

Wzmacniacz m. cz. umieszczony został na trzech płytkach drukowanych oznaczonych numerami 5, 6 i 7.

Wzmacniacz napięciowy, umieszczony na płytkach 5 i 6, składa się z następujących bloków funkcjonalnych: przedwzmacniacza wejściowego

¹⁾ Wkładka

regulatora barwy dźwięku, regulatora wzmocnienia oraz układu równoważenia kanałów.

Przedwzmacniacz wejściowy, umieszczony na płytce 5, zawiera osobny układ wzmacniający dla każdego wejścia. Tego typu przedwzmacniacz opisany został w rozdziale 4.1.

Przedwzmacniacz korekcyjny dla gramofonu z przetwornikiem magnetycznym zbudowany został z tranzystorów $T101 \div T103$ (kanał lewy). Wymaganej charakterystyki częstotliwościowej dostarczają tranzystory $T101$ i $T102$ objęte pętlą ujemnego sprzężenia zwrotnego, natomiast tranzystor $T103$ pracuje jako wtórnik emiterowy, separując przedwzmacniacz korekcyjny od reszty układu.

Pozostałe dwa wejścia przeznaczone są do współpracy z magnetofonem. Wejścia te połączone są z pozostałą częścią układu za pośrednictwem wtórników emiterowych, zbudowanych z tranzystorów $T104$ i $T105$, dostarczających wymaganej impedancji wejściowej. Na te same gniazda wejściowe wyprowadzono sygnał do nagrań magnetofonowych. Tranzystory $T106$ oraz $T5$ realizują rodzaj pracy określany jako *muting*. Część wykonawczą stanowi tranzystor $T106$, który pracuje jako klucz analogowy, przerywając w żądanym momencie wysterowanie wzmacniacza napięciowego.

Regulator barwy dźwięku w układzie aktywnym umieszczony jest na płytce 6 i zapewnia niezależną regulację tonów niskich i wysokich. Ze względu na małą impedancję wejściową sterowany jest przez wtórnik emiterowy zbudowany z tranzystora $T101$.

Za układem regulacji barwy dźwięku znajduje się regulator wzmocnienia oraz regulator równoważenia kanałów. W układzie regulacji wzmocnienia wykorzystano potencjometr z odczepem, umożliwiającą dołączenie członu korekcji fizjologicznej (*loudness*).

Wzmacniacz mocy

W stopniu wejściowym wzmacniacza mocy zastosowano układ różnicowy ze źródłem stałoprądowym polaryzującym emiterzy tranzystorów układu różnicowego. Źródło stałoprądowe zbudowane zostało z tranzystorów $T103$ i $T104$ objętych pętlą ujemnego sprzężenia zwrotnego.

Stopniem następnym jest stopień sterujący z tranzystorem $T105$. Tranzystor ten steruje pełnokomplementarny układ wyjściowy za pośrednictwem wtórnika emiterowego, zbudowanego z tranzystora $T110$. Układ wyjściowy zrealizowano przy wykorzystaniu tranzystorów w układzie Darlingtona

w wersji scalonej. W miejsce układu typu *bootstrap* umieszczono źródło stałoprądowe zbudowane podobnie, jak w stopniu wejściowym. Stanowi je para tranzystorów *T108* i *T109*. Tranzystor *T108* stanowi jednocześnie element stabilizacji termicznej prądu spoczynkowego tranzystorów mocy i umieszczony został na radiatorze.

Wzmacniacz mocy ma wyjścia zabezpieczenie przed zwarcie oraz przed obciążeniami o charakterze reaktacyjnym. Na wyjściu zastosowano podwójny komplet gniazd głośnikowych oraz gniazdo słuchawkowe.

7.4. Kompletny układ wzmacniacza stereofonicznego odbiornika Hi-Fi Receiver 20 firmy Grundig

Przedstawiony na rys. 7.14¹⁾ wzmacniacz m. cz. stanowi przykład nowoczesnego rozwiązania układów tego typu i wskazuje na wkraczanie układów scalonych do konstrukcji wzmacniaczy Hi-Fi.

Dane techniczne układu są następujące:

$$h \leq 0,1\% \text{ przy } P_{wy} = 2 \times 27,5 \text{ W w pasmie } 40 \text{ Hz} \div 20 \text{ kHz}$$

$$h_{int} \leq 0,15\%$$

sygnał/zakłócenia 30 W/50 mW

wejścia *TB*: $\leq 88/63 \text{ dB}$

wejście *TA*: $\leq 66/61 \text{ dB}$

monitor: $\geq 87/63 \text{ dB}$

znamionowe napięcie wejściowe dla $P_{wy} = 30 \text{ W}$

– wejście *TA* 2 mV/47 k Ω

– wejścia *TB* 175 mV/470 k Ω

– monitor 340 mV/470 Ω

regulacja barwy dźwięku +15 dB

–17 dB przy 16 kHz

+16,5 dB

–17 dB przy 40 Hz

balans, – 12,5/+2,5 dB

filtr szumów – 7 kHz (–3 dB)

pasmo przenoszenia – 5 Hz $\div$ 100 kHz ($h = 1\%$)

Wzmacniacz napięciowy

W skład wzmacniacza napięciowego wchodzi następujące bloki funkcjonalne: przedwzmacniacz wejściowy, filtr szumów, regulator wzmocnienia, regulator barwy dźwięku oraz układ równoważenia kanałów (balans).

Przedwzmacniacz wejściowy zrealizowano z wykorzystaniem układu scalonego SN76131 firmy Texas Instruments. Układ ten, umieszczony w obwodzie 14-wyprowadzeniowej *dual in line*, zawiera wewnątrz dwa niskoszumne wzmacniacze napięciowe, na bazie których zrealizowano dwa osobne przedwzmacniacze wejściowe dla każdego kanału.

Budowa przedwzmacniacza nawiązuje do koncepcji przedstawionej w rozdziale 4.1.5, sprowadzającej się do przełączania gniazd wejściowych z równoczesnym przełączaniem elementów w obwodzie ujemnego sprzężenia zwrotnego wzmacniacza napięciowego. Tego typu rozwiązanie umożliwia dobranie dla każdego wejścia odpowiedniej charakterystyki częstotliwościowej oraz wzmocnienia napięciowego.

Przedwzmacniacz wyposażono w trzy gniazda wejściowe i jedno wyjściowe. Jedno z gniazd wejściowych, oznaczone na schemacie przez *TA*, przeznaczone jest do przyłączenia gramofonu z przetwornikiem magnetycznym. Dwa pozostałe, oznaczone przez *TB1* i *TB2*, mają uniwersalne zastosowanie. Znamionowe napięcie wejściowe dla tych gniazd oraz impedancje wejściowe podane zostały w danych technicznych wzmacniacza. Gniazdo o nazwie „Monitor” dołączone jest do wyjścia przedwzmacniacza i dostarcza sygnału do nagrań magnetofonowych. Układem następnym jest filtr szumów, zrealizowany jako układ bierny, oddzielony od przedwzmacniacza wejściowego separującym wtórnikiem emiterowym (tranzystor *T602*).

Bezpośrednio za nim znajduje się układ regulacji wzmocnienia z możliwością włączenia korekcji fizjologicznej. Kolejnym blokiem jest regulator barwy dźwięku, zrealizowany w układzie aktywnym, z oddzielną regulacją tonów niskich i wysokich. Ze względu na niewielką impedancję wejściową tego typu regulatora za układem regulacji wzmocnienia zastosowano separujący wtórnik emiterowy (tranzystor *T402*).

Układ równoważenia kanałów zrealizowano w postaci układu biernego z oddzielnymi potencjometrami w każdym kanale.

Wzmacniacz mocy

Zastosowany wzmacniacz mocy jest układem beztransfornatorowym pełnokomplementarnym. Podobny układ opisany był w rozdziale 3.5. W stopniu wejściowym zastosowano wzmacniacz różnicowy ze źródłem stałoprądowym,

¹⁾ Wkładka

zbudowanym z tranzystora *T3002*, polaryzującego emiter try tranzystorów układu różnicowego *T3001* i *T3003*. W obwodzie kolektorowym stopnia sterującego (tranzystor *T3004*) zastosowano dynamiczne źródło stałoprądowe ze sprzężeniem typu *bootstrap*.

Pełnokomplementarny stopień wyjściowy zbudowany jest z układów Darlingtona w wersji scalonej (*T308* i *T309*).

Wzmacniacz mocy ma układ zabezpieczający przed zwarcie wyjścia (opisany w rozdziale 3.7.1) oraz przed obciążeniami o charakterze reaktancyjnym.

Stabilizację termiczną prądu spoczynkowego stopnia końcowego zrealizowano z zastosowaniem tranzystora *T3005* typu *BD135*. Umieszczony jest on w obudowie plastikowej z otworem, co umożliwia łatwe przymocowanie elementu bezpośrednio do radiatorów tranzystorów stopnia końcowego.

Na wyjściu wzmacniacza mocy zastosowano podwójne komplety gniazd głośnikowych oraz słuchawkowych.

7.5. Wzmacniacz napięciowy SU-9600 firmy Technics

Wzmacniacz napięciowy SU-9600 firmy Technics ma konstrukcję panelową i jest przystosowany do zestawów typu wieża. Schemat ideowy układu przedstawiono na rys. 7.15¹⁾.

Podstawowe dane techniczne są następujące:

1. Znamionowe napięcia wejściowe:
 PHONO 1 — 2 mV/25 kΩ, 50 kΩ, 100 kΩ
 PHONO 2 — 1 mV ÷ 3 mV/25 kΩ, 50 kΩ, 100 kΩ
 TUNER — 100 mV/50 kΩ
 AUX 1, AUX 2 — 100 mV/50 kΩ
 TAPE 1, TAPE 2 — 100 mV/50 kΩ
2. Maksymalne napięcie wejściowe dla wejść PHONO:
 PHONO 1 — 900 mV
 PHONO 2 — 450 ÷ 1350 mV
3. Zniekształcenia:
 h — 0,08 %
 h_{int} — 0,08 %

¹⁾ Wkładka.

4. Sygnał/zakłócenia:
 PHONO 1 — 73 dB
 PHONO 2 — 69 ÷ 76 dB
 TUNER — 95 dB
 AUX 1, AUX 2 — 95 dB
5. Charakterystyka częstotliwościowa:
 PHONO — RIAA ±0,3 dB
 TUNER, — 2 Hz ÷ 100 kHz przy 3 dB
 AUX 1, AUX 2
6. Regulacja barwy dźwięku:
 50 Hz ±12 dB (11 stopni)
 20 kHz ±12 dB (11 stopni)
7. Filtry:
 antyszumowy 10 kHz i 15 kHz — 18 dB/okt.
 antywibracyjny 15 Hz i 30 Hz — 18 dB/okt.
8. Muting: — -20 dB
9. Napięcia i impedancje wyjściowe:
 OUTPUT 1, OUTPUT 2 — 1V/600 Ω typ
 — 11 V/600 Ω max
10. Tape deck 1,2 — 100 mV/600 Ω
11. Zasilanie — 110, 120, 220, 240 V 50/60 Hz
12. Pobór mocy — 17 W
13. Wymiary — 450 × 173 × 375 mm
14. Masa — 10,5 kg.

Te bardzo dobre parametry wzmacniacza (szczególnie stosunek sygnał/zakłócenia) uzyskano między innymi przez wprowadzenie wzmacniaczy różnicowych do poszczególnych fragmentów układu.

Opis układu

Układ elektryczny składa się z czterech zasadniczych zespołów: przedwzmacniacza wejściowego, zapewniającego uzyskanie odpowiedniej charakterystyki korekcyjnej dla wejść „PHONO” (gramofon z wkładką magnetyczną), regulatora barwy dźwięku w układzie aktywnym, zespołu zasilaczy stabilizowanych oraz zespołu filtrów.

Na wyjściu przedwzmacniacza korekcyjnego zastosowano przełącznik impedancji wejściowej, umożliwiający uzyskanie trzech wartości impedancji dla wejść PHONO: 25, 50 i 100 kΩ. Sam przedwzmacniacz zaprojektowany

został w wersji czterostopniowej, z czego trzy stopnie pracują w układzie różnicowym. Dzięki takiemu rozwiązaniu są eliminowane synfazowe sygnały zakłócające dostające się do jego wejść.

W stopniu wejściowym przedwzmacniacza pracują tranzystory *p-n-p* charakteryzujące się mniejszymi szumami niż ich odpowiedniki *n-p-n*.

W celu zapewnienia poprawności pracy przedwzmacniacza w szerokim zakresie napięć wejściowych, przedwzmacniacz zasilany jest trzema stosunkowo wysokimi napięciami: $\pm 24\text{ V}$ i $+136\text{ V}$.

Wszystkie stopnie przedwzmacniacza połączone są ze sobą galwanicznie, a odpowiednie punkty pracy są utrzymywane dzięki istniejącym sprzężeniom zwrotnym dla składowej stałej.

Sygnał wejściowy podany jest na bazę tranzystora *T101*, który współpracuje w parze różnicowej z tranzystorem *T103*. Kolektory tranzystorów *T101* i *T103* sterują bazami tranzystorów *T105* i *T107*, tworzących kolejną parę różnicową. Wspólny rezystor znajdujący się w obwodzie emiterowym tranzystorów *T105* i *T107* podzielono na dwie części, z czego jedną część stanowi rezystor regulowany. Takie rozwiązanie umożliwia korekcję punktów pracy tranzystorów wzmacniacza.

W stopniu drugim pracują również tranzystory typu *p-n-p*. W stopniu następnym, który jest również układem różnicowym, pracują tranzystory *T109* i *T111* typu *n-p-n*. Jest to jednocześnie ostatni stopień różnicowy, pracujący z niesymetrycznym wyjściem.

Kolejnym stopniem jest stopień z tranzystorem *T113* pracującym w układzie wtórnika emiterowego, co zapewnia małą impedancję wyjściową układu. Z emitera tego tranzystora podany jest dwutorowo sygnał ujemnego sprzężenia zwrotnego. Jedna pętla sprzężenia zwrotnego zrealizowana została dla składowej stałej i stabilizuje punkty pracy wzmacniacza. Sygnał sprzężenia zwrotnego pobierany jest ze ślizgacza potencjometru umieszczonego w obwodzie emitera tranzystora *T113* i podawany na bazę tranzystora *T103*. Dzięki takiemu rozwiązaniu możliwa jest precyzyjna regulacja potencjału na wyjściu wzmacniacza. Dla składowej zmiennej wpływ tego sprzężenia jest eliminowany przez odsprężenie do masy kondensatorem wspólnego punktu rezystorów znajdujących się w pętli sprzężenia zwrotnego.

Druga pętla sprzężenia zwrotnego zrealizowana została wyłącznie dla składowej zmiennej i zawiera człon korekcyjny zapewniający otrzymanie odpowiedniej charakterystyki częstotliwościowej wymaganej dla wejścia gramofonu z wkładką magnetyczną.

Pozostałe wejścia wzmacniacza (TUNER, AUX 1, AUX 2, TAPE 1,

TAPE 2) dołączone są do układu za przedwzmacniaczem korekcyjnym wprost na regulator balansu, za którym bezpośrednio znajduje się regulator wzmocnienia.

Regulator balansu poprzedzony jest układem „mutingu” pozwalającym obniżyć wzmocnienie o 20 dB. Układ „mutingu” zrealizowano w postaci dzielnika rezystancyjnego.

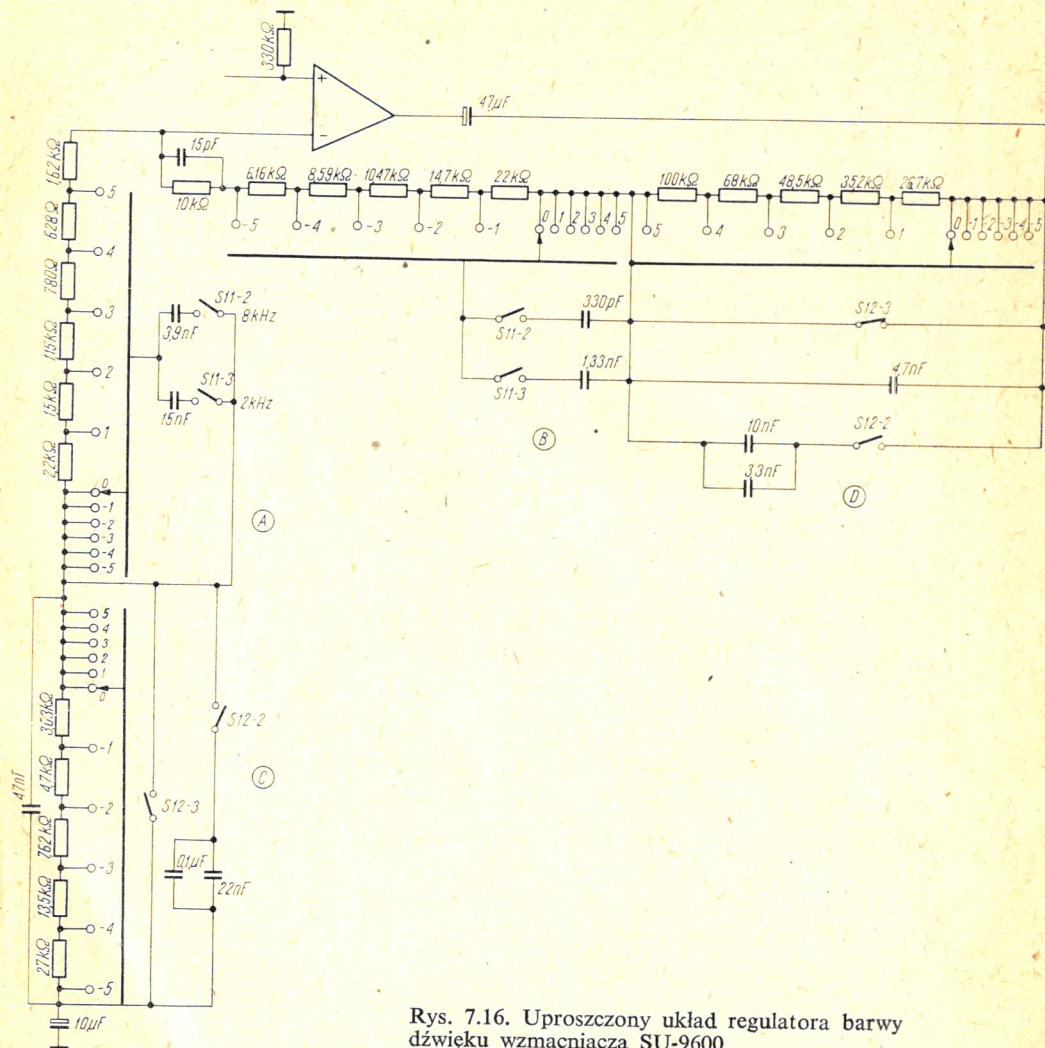
Układ kombinacyjny przełączników wejściowych umożliwia dołączenie dwóch magnetofonów, przy czym możliwe są rodzaje pracy: nagrywanie, odtwarzanie oraz przegrywanie utworów z jednego magnetofonu na drugi.

Następną częścią wzmacniacza jest układ regulacji barwy dźwięku zrealizowany w wersji aktywnej. Regulacja odbywa się w obwodzie ujemnego sprzężenia zwrotnego wzmacniacza napięciowego.

Układ barwy dźwięku jest stosunkowo rozbudowany, zrezygnowano tutaj z potencjometrów na korzyść przełączników wielopozycyjnych, dzięki czemu otrzymywane charakterystyki częstotliwościowe w obu kanałach są niemal identyczne dla tych samych położeń przełączników, co jest trudne do uzyskania przy zastosowaniu potencjometrów. Regulacja jest 11-stopniowa i zapewnia zakres zmienności $\pm 12,5\text{ dB}$ dla 50 Hz i 20 kHz. Układ umożliwia również wybór 4 częstotliwości podziału pasma, od których począwszy następuje zmiana charakterystyki częstotliwościowej. Dla tonów niskich są to częstotliwości 125 Hz i 500 Hz, a dla tonów wysokich 2 kHz i 8 kHz.

Jako wzmacniacz w układzie aktywnego regulatora dźwięku zastosowano układ trójstopniowy, z czego dwa stopnie zrealizowano w postaci układów różnicowych. Sygnał wejściowy podany jest na bazę tranzystora *T201*, który współpracuje w jednym stopniu z tranzystorem *T202*. We wspólnym obwodzie emiterowym zastosowano zmienny rezystor, co umożliwia korekcję punktów pracy tranzystorów wzmacniacza. Kolektory tych tranzystorów sprzężone są bezpośrednio z bazami tranzystorów następnego stopnia, który jest również układem różnicowym, pracującym z niesymetrycznym wyjściem. Kolektor tranzystora *T204* steruje bazą tranzystora *T205*, który pracuje w układzie wtórnika emiterowego. Z emitera tego tranzystora podane jest ujemne sprzężenie zwrotne dla składowej stałej na bazę tranzystora *T202*. Dla składowej zmiennej sprzężenie to jest eliminowane na skutek odsprężenia do masy — przez kondensator elektrolityczny — wspólnego punktu rezystorów umieszczonych w pętli sprzężenia zwrotnego.

Uproszczony schemat całego regulatora przedstawiono na rys. 7.16. Regulator zawiera cztery zespoły przełączników włączających rezystory o odpowiednich wartościach, które w układzie rzeczywistym uzyskano przez łącze-



nie szeregowo kilku elementów. Każdy z czterech zespołów służy do regulacji jednego z podzakresów pasma.

Zespoły *A* i *B* regulują zakres tonów wysokich, przy czym układ został zaprojektowany w ten sposób, że zespół *A* reguluje poziom wzmacnienia od $0 \div +12,5$ dB, a zespół *B* od $0 \div -12,5$ dB. Gdy jeden zespół jest uaktywniony, drugi pozostaje na pozycjach biernych. Zespoły *C* i *D* regulują poziom

wzmocnienia tonów niskich, przy czym zespół C działa w zakresie od $0 \div -12,5$ dB, a zespół D od $0 \div +12,5$ dB.

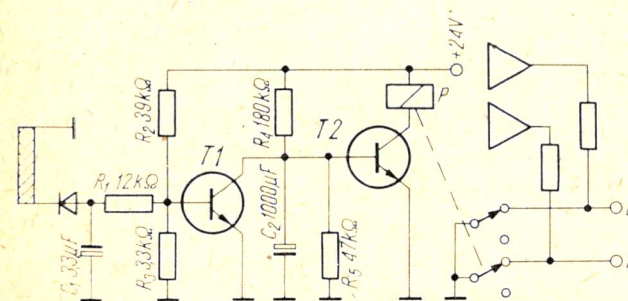
Oprócz możliwości wyboru czterech częstotliwości podziału pasma istnieje również możliwość eliminacji regulacji zarówno tonów niskich, jak i wysokich. Dla tonów niskich stan taki będzie miał miejsce przy załączonym przełączniku *SI2-3*, co jest równoważne zwarceniu obu regulatorów *C* i *D*, natomiast dla tonów wysokich — przy rozwartych stykach obu przełączników *SI1-2* i *SI1-3*.

Kolejnym członem wzmacniacza SU-9600 jest zespół filtrów antyszumowych i antywibracyjnych ograniczających pasmo przenoszenia wzmacniacza. Zastosowano po dwa filtry ograniczające pasmo od dołu o częstotliwościach granicznych 15 Hz i 30 Hz oraz po dwa filtry ograniczające pasmo od góry o częstotliwościach granicznych 10 kHz i 15 kHz. Filtry zrealizowano w postaci układów aktywnych opisanych w rozdziale 4.4.

Wzmocniacz zasilany jest przez trzy zasilacze stabilizowane dostarczające napięcie $+136\text{ V}$ i $+24\text{ V}$.

Stabilizatory zrealizowano w postaci klasycznych układów szeregowych opisanych w rozdziale 5. Stabilizatory dostarczające napięcie ± 24 V wyposażono dodatkowo w elektroniczny ogranicznik prądu wyjściowego z cofającą się charakterystyką ograniczenia.

Wzmocniacz wyposażono także w układ przeciwdziałający pojawieniu się na wyjściach stanów przejściowych, występujących w chwili włączania i wyłączania urządzenia z sieci. Schemat tego układu przedstawiony został na rys. 7.17. Zasada działania jest następująca. W stanie spoczynku, gdy urządze-



Rys. 7.17. Uproszczony układ przeciwdziałający pojawianiu się stanów przejściowych na wyjściu wzmacniacza

P nie płynie. W tym czasie kondensator C_2 ładuje się przez rezystor R_4 . Tranzystor $T1$ pozostaje również w stanie zatkania na skutek istnienia ujemnego napięcia na kondensatorze C_1 . Po upływie czasu określonego przez stałą czasową ładowania kondensatora C_2 (około 6 s) tranzystor $T2$ wchodzi w stan nasycenia, w wyniku czego przełącznik P włącza się i sygnał ze wzmacniacza może pojawić się na gniazdach wyjściowych. W chwili wyłączenia urządzenia z sieci napięcie ujemne na kondensatorze C_1 zanika szybciej niż napięcie na stabilizatorze $+24$ V, w wyniku czego tranzystor $T1$ wchodzi w stan nasycenia i rozładowuje kondensator C_2 zatykając tranzystor $T2$. Zwalniane styki przełącznika dołączają wyjścia do masy zanim wystąpią stany przejściowe we wzmacniaczu.

7.6. Wzmacniacz mocy SE-9600 firmy Technics

Stereofoniczny wzmacniacz mocy SE-9600 konstrukcyjnie jest przystosowany do zestawów typu „wieża”.

Podstawowe jego parametry są następujące:

P_{wy}	– 2×165 W (4Ω)
	– 2×110 W (8Ω)
h	– 0,08 %
h_{int}	– 0,08 %
Pasma przenoszenia	– 5 Hz ÷ 150 kHz (–3 dB)
Pasma mocy	– 5 Hz ÷ 60 kHz (–3 dB)
Sygnał/zakłócenia	– 110 dB

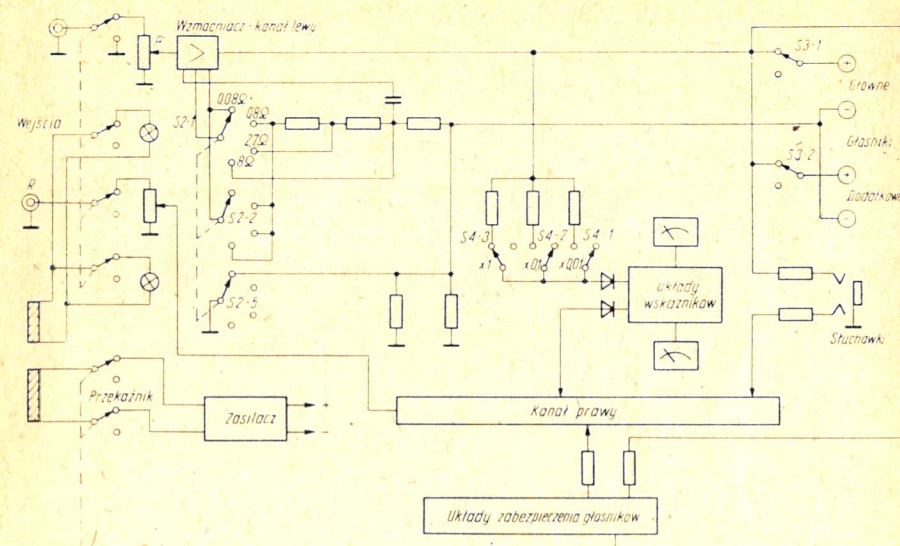
Schemat blokowy wzmacniacza przedstawiony jest na rys. 7.18. Wzmacniacz wyposażony jest w dwa wskaźnikiysterowania o przełączanych trzech zakresach $S4-1 \div S4-3$, przełącznik impedancji wyjściowej $S2-1 \div S2-5$ umożliwiający ustawienie wartości $0,08 \Omega$, $0,8 \Omega$, $2,7 \Omega$, 8Ω oraz potencjometryczny regulator wzmocnienia P . Zmianę impedancji wyjściowej osiągnięto przez zastosowanie mostkowego (prądowo-napięciowego) ujemnego sprzężenia zwrotnego. Wzmacniacz zasilany jest z dwóch stabilizowanych źródeł napięcia $\pm 50,5$ V.

Opis układu

Wzmacniacz – kanał lewy

Schemat ideowy wzmacniacza przedstawiono na rys. 7.19¹⁾. Stopień wejściowy zaprojektowano w postaci układu różnicowego z niesymetrycznym wyjściem

¹⁾ Wkładka



Rys. 7.18. Schemat blokowy wzmacniacza mocy SE-9600

(tranzystory $T101$ i $T102$). Obwód emiterowy tego stopnia zasilany jest z dodatkowego stabilizatora zrealizowanego w oparciu o diodę Zenera $D511$. Stopień sterujący $T104$ sprzężony jest ze stopniem wejściowym za pośrednictwem wtórnika emiterowego z tranzystorem $T103$. W obwodzie kolektorowym stopnia sterującego zastosowano źródło stałoprądowe z tranzystorem $T105$.

Pełnokomplementarny układ wyjściowy ma w ostatnim stopniu po dwa połączone równolegle tranzystory mocy.

Stabilizacja termiczna prądu spoczynkowego tranzystorów wyjściowych zrealizowana została za pomocą układu z tranzystorem $T13$ wspomagającym dodatkowo termistorem. Wzmacniacz ma układ zabezpieczający przed obciążeniami o charakterze reaktancyjnym oraz przed zwarcie wyjścia. Podobny układ opisany został w rozdziale 3.7.1.

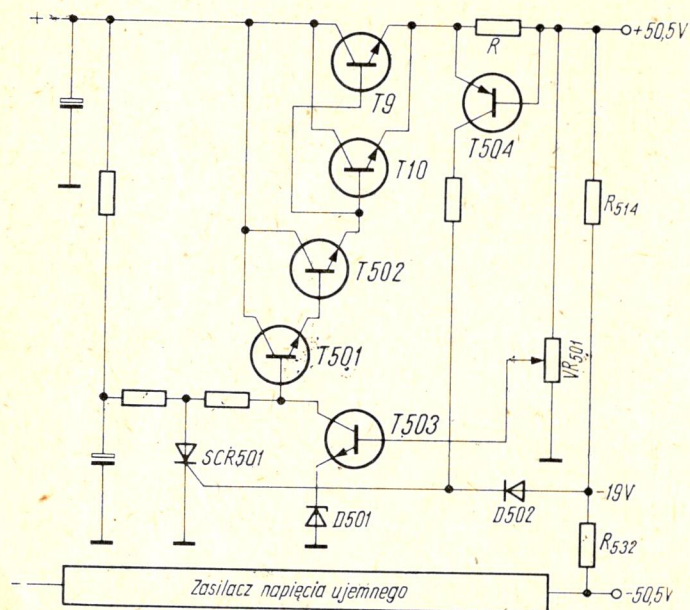
Ze względu na istnienie dwóch tranzystorów pracujących równolegle w stopniu końcowym, zastosowano sumowanie sygnałów z obu rezystorów emiterowych. Zsumowane sygnały podane zostały odpowiednio na bazy tranzystorów $T106$ i $T107$.

Układ zabezpieczający przed zwarcie wyjścia jest dodatkowo wspomagany układem ogranicznika diodowego (diody $D108 \div D111$). Ogranicznik diodowy nie kontroluje bezpośrednio prądu wyjściowego wzmacniacza, lecz reaguje na przesterowanie stopnia sterującego stopniem końcowym wzmacnia-

cza, co ma miejsce w przypadku zwarcia wyjścia do masy. Dla połówki dodatniej przebiegu wyjściowego działają diody $D110$ i $D111$, natomiast dla połówki ujemnej — diody $D108$ i $D109$.

Zasilacz

Do zasilania wzmacniacza zastosowano źródło napięcia stabilizowanego. Zastosowano także liczne zabezpieczenia, mające na celu ochronę przed niewłaściwymi warunkami pracy zarówno wzmacniacza, jak również zestawów

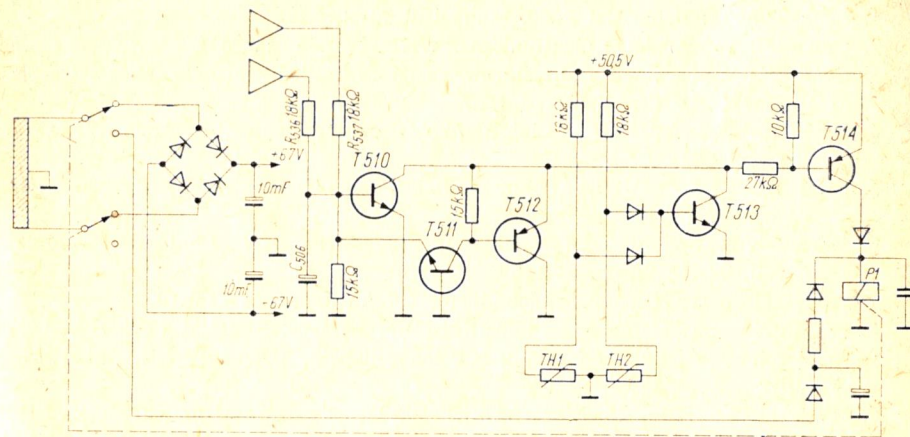


Rys. 7.20. Uproszczony układ zasilacza wzmacniacza SE-9600

głośnikowych. Uproszczony układ zasilacza przedstawiono na rys. 7.20. Zastosowany w układzie stabilizator ma klasyczny układ stabilizatora szeregowego. Zastosowano w nim dwa zabezpieczenia: przed nadmiernym poborem prądu oraz przed uszkodzeniem stabilizatora napięcia ujemnego. W przypadku pierwszym – przy nadmiernym obciążeniu stabilizatora, co może być spowodowane np. uszkodzeniem wzmacniacza (wewnętrzny ogranicznik prądu wyjściowego wzmacniacza może wówczas nie funkcjonować) wysterowany jest tranzystor *T504*, który odblokowuje tyrystor *SCR501*. Tyrystor obniża potencjał bazy tranzystora *T501* blokując całą kaskadę. Podobne działanie nastąpi w przypadku gdy zaniknie ujemne napięcie z drugiego stabilizatora. Wówczas

podniesie się potencjał anody diody *D502*, dołączonej do dzielnika rezystancyjnego umieszczonego między wyjściami obu stabilizatorów, wprowadzając diodę w stan przewodzenia. Dioda wchodząc w stan przewodzenia powoduje zadziałanie tyrystora *SCR501*.

W przypadku wystąpienia dużego napięcia niezrównoważenia na wyjściu wzmacniacza, mogą ulec uszkodzeniu zestawy głośnikowe. Aby temu zapobiec zastosowano odłączanie przez przekątnik uzwojeń transformatora od zespołu diod prostowniczych. Do tego celu służy układ kluczy przedstawiony na rys. 7.21. Wyjścia obu wzmacniaczy połączone są z układem kluczy



Rys. 7.21. Układ zabezpieczenia głośników wzmacniacza SE-9600

za pośrednictwem rezystorów R_{536} i R_{537} o wartościach 18 k Ω . Składowa zmienna filtrowana jest przez kondensator C_{506} o dużej wartości i nie powoduje zadziałania kluczy, natomiast składowa stała o polaryzacji dodatniej spowoduje zadziałanie klucza zbudowanego z tranzystora $T510$, a składowa o polaryzacji ujemnej – zadziałanie dwójki tranzystorów $T511$ i $T512$. W obu przypadkach tranzystor $T514$ wchodzi w nasycenie uruchamiając przełącznik PI .

Aby układ nie wrócił do poprzedniego stanu, po odłączeniu zasilania styki przekąznika dołączają część uzwojenia transformatora do układu prostującego, znajdującego się w obwodzie kolektora tranzystora *T514*, w wyniku czego następuje samopodtrzymanie przekąznika.

W układzie zastosowano jeszcze jeden klucz, zbudowany na tranzystorze *T513*. Zadaniem tego klucza jest odłączenie zasilania w przypadku gdy nastąpi nadmierny wzrost temperatury radiatorów. Elementami czujnikowymi

są pozystory *TH1* i *TH2* (elementy, których rezystancja rośnie ze wzrostem temperatury) stanowiące jednocześnie część dzielnika polaryzującego bazę tranzystora *T513*. Dalsze działanie układu zabezpieczającego sprowadza się do zadziałania przełącznika *PI*.

LITERATURA

1. *Bang, Olufsen*: Beomaster 2000. Manuel d'Entretien
2. *Cykin G.*: Wzmacniacze elektroniczne. WKŁ, Warszawa 1967
3. *Golde W.*: Wzmacniacze tranzystorowe małej częstotliwości, prądu stałego, szerokopasmowe. WNT, Warszawa 1967
4. *Kulka Z., Nadachowski M.*: Liniowe układy scalone i ich zastosowanie. WKŁ, Warszawa 1977
5. *Palczyński B., Stefański W.*: Półprzewodnikowe stabilizatory napięcia i prądu. MON, Warszawa 1971
6. *Palczyński B., Stefański W.*: Projektowanie układów z przyrządami półprzewodnikowymi. WKŁ, Warszawa 1969
7. Praca zbiorowa: Discrete Semiconductor Circuit Examples ITT 1973
8. Praca zbiorowa: Halbleiter — Schaltbeispiele. Siemens. Roczniki 1970 ÷ 1973
9. Praca zbiorowa: Příklady pouziti operacnich zesilowacu MAA 501 ÷ 504. Tesla Roznov 1972
10. Praca zbiorowa: Projektowanie usilitelnych ustrojstw na tranzistorach. Moskwa 1972
11. Praca zbiorowa: Semiconductor Circuits Design. Texas Instruments 1972
12. Praca zbiorowa: Technika napraw gramofonów i wzmacniaczy. WKŁ, Warszawa 1974
13. *Sereda J.*: Elektroakustyka na scenie i estradzie. WKŁ, Warszawa 1977
14. *Sinclair*: Project 60 Instructions
15. *Sinclair*: Super IC — 12 Instructions
16. *Sołta S.*: Układy tranzystorowe. WKŁ, Warszawa 1971
17. *Urbański B.*: Elektroakustyka. WSiP, Warszawa 1976
18. *Witort A.*: Amatorskie wzmacniacze elektroakustyczne. WKŁ, Warszawa 1968
19. *Witort A., Girulski R.*: Wysoka jakość odtwarzania dźwięku. WKŁ, Warszawa 1971
20. *Wolski R.*: Urządzenia tranzystorowe. WNT, Warszawa 1969
21. Katalog. Elementy półprzewodnikowe. CEMI PIE, Warszawa 1975
22. Katalog: SEEM. Radiateurs Profiles 1968
23. *Amatorskie Radio*, Praha. Roczniki 1972 ÷ 1975
24. *Audio*. Rocznik 1980
25. *Biuletyn Techniczny Radia i Telewizji*. Rocznik 1968
26. *Biuletyn Informacyjny CEMI*. Rocznik 1976
27. *Electronics Design*. Rocznik 1968
28. *Funkschau*. Roczniki 1971 ÷ 1973

- Funktechnik*. Roczniki 1969 ÷ 1976
Grundig Technische Informationen. Rocznik 1970
IEFE Transactions on Audio and Electroacoustics. Roczniki 1970 ÷ 78
Journal of the Audio Engineering Society. Roczniki 1973 ÷ 79
Prace ITR. Rocznik 1968
Radioamator i Krótkofalowiec Polski. WKŁ, Warszawa, Roczniki 1968 ÷ 1976
Radio Electronics. Roczniki 1967 ÷ 1969
Revue du Son. Rocznik 1972
Wireless World. Roczniki 1970 ÷ 1975
Polskie Normy PN-73/T-04500; PN-74/T-06251