

WYSOKOJAKOŚCIOWY WZMACNIACZ M. CZ.

Z MATERIAŁÓW publikowanych w czasopiśmie krajowych i zagranicznych wynika, że coraz więcej uwagi poświęca się konstruowaniu urządzeń wzmacniających, o wysokich wskaźnikach jakościowych. Niniejszy artykuł poświęcony jest omówieniu wzmacniacza m. cz. przeznaczonego do zasilania systemu głośników (np. kolumny dźwiękowej), oraz do wzmacniania napięć z mikrofonu, adaptera, magnetofonu i ewentualnie z łącza sterującego m. cz.

Wzmacniacz ten został zbudowany z części dostępnych na rynku krajowym. Ponieważ wykazuje on szereg zalet, a mianowicie: bardzo małe zniekształcenia nieliniowe, szerokie pasmo przenoszenia, możliwość regulowania charakterystyki częstotliwości w granicach ± 20 dB, nadaje się więc do zastosowania tam, gdzie wymagana jest wysoka jakość odtwarzanej audycji. Do wzmacniacza zbudowano kolumnę dźwiękową, w której umieszczono pięć głośników o mocy 1,5 W każdy, połączonych szeregowo. Jakość odtwarzania jest bardzo dobra i odpowiada wszelkim wymaganiom stawianym tego rodzaju urządzeniom.

Na rysunku 1a pokazano widok zewnętrzny wzmacniacza, na rysunku 1b — widok wzmacniacza bez pokrywy, a na rysunku 1c — widok od spodu.

Dane techniczne

Moc użyteczna wzmacniacza wynosi 8 W przy zniekształceniach liniowych około 1,7%. Przy mniejszych wartościach mocy wyjściowej zniekształcenia są odpowiednio mniejsze. Przebieg współczynnika zawartości harmonicznym w zależności od mocy wyjściowej pokazany jest na rysunku 2. Pomiar przeprowadzono przy częstotliwości 400 Hz i oporności obciążenia 22,5 Ω (kolumna dźwiękowa). Charakterystyka częstotliwości jest regulowana w granicach ± 20 dB, oddzielnie dla tonów niskich i wysokich. Rysunek 3 przedstawia charakterystykę częstotliwości wzmacniacza. Krzywe a i c odpowiadają skrajnym położeniom pokręteł korektora, a krzywa b jest charakterystyką wzmacniacza wstępnego i stopnia końcowego. Pomiar przeprowadzono przy mocy wyjściowej 0,5 W i generatorze załączonym na wejściu adapterowym.

Wzmacniacz przystosowany jest do zasilania z sieci prądu zmiennego o napięciu 110 V i 220 V; moc pobierana z sieci wynosi około 65 VA.

Na wyjściu można łączyć głośniki o opornościach cewczek 6, — 15, — 22,5 Ω .

Na rysunku 4 przedstawiono schemat ideowy wzmacniacza. Omówimy kolejno poszczególne jego stopnie.

Wzmacniacz mikrofonowy

Stopień ten pracuje w układzie RC na lampie EF12 (V1); w zależności od potrzeby można go łączyć za pomocą jednobiegunowego wyłącznika błyskawicznego, umieszczonego na przedniej ścianie obudowy. Na wejściu tego stopnia znajduje się potencjometr R_1 , służący do regulacji napięcia wejściowego. W obwodzie anodowym jest opornik obciążenia R_{11} , z którego sygnał przenosi się przez C_1 do następnego stopnia — korektora charakterystyki częstotliwości. Przy wyłączonym wyłączniku błyskawicznym anoda nie otrzymuje napięcia stałego i stopień wówczas nie pracuje.

Korektor charakterystyki częstotliwości

Każdy wzmacniacz sygnałów dźwiękowych posiada mniej lub więcej nierównomierną charakterystykę częstotliwości, co w przypadku zbyt daleko posuniętej nierównomierności wpływa ujemnie na jakość odtwarzania i naturalność brzmienia audycji.

Aby temu zapobiec, stosuje się układy korekcyjne, pozwalające na łatwe ukształtowanie charakterystyki częstotliwości, ażeby audycja została jak najwierniej odtworzona.

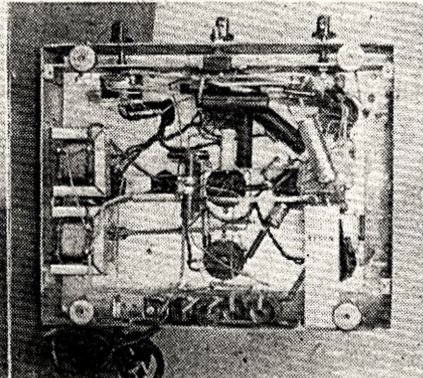
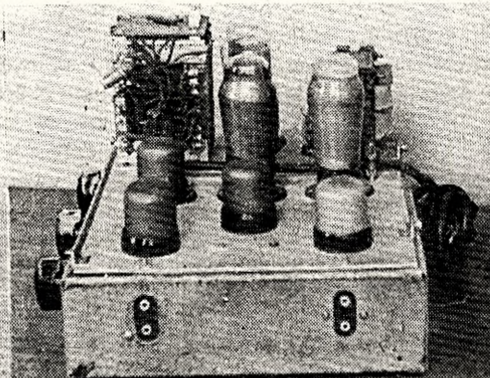
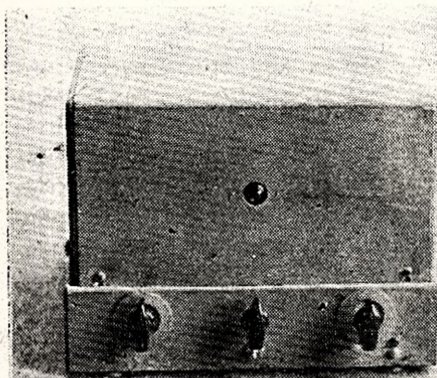
W omawianym wzmacniaczu zastosowano specjalny stopień korekcyjny na lampie EF14 (V2), pracujący na zasadzie selektywnego ujemnego sprzężenia zwrotnego i pozwalający (przy użyciu dwóch pokręteł) na ciągłą regulację przebiegu charakterystyki częstotliwości w dwóch niezależnych zakresach pasma. Do regulacji tonów niskich służy liniowy potencjometr R_6 , a do regulacji tonów wysokich — potencjometr R_{10} . Obydwa potencjometry są umieszczone na przedniej ścianie obudowy, obok regulatora głośności. Korektor pozwala zmieniać charakterystykę częstotliwości w zakresie ± 20 dB na krańcach pasma. Przy częstotliwości rozgraniczającej $f = 1000$ Hz wzmocnienie stopnia wynosi 1 V/V, a dla częstotliwości krańcowych może wynosić około 20 dB.

Maksymalne napięcie wejściowe korektora nie może być większe niż 4 V, przy dowolnej częstotliwości i dowolnych położeniach pokręteł regulacyjnych potencjometrów. W prze-

Rys. 1. Wygląd zewnętrzny wzmacniacza

Widok wzmacniacza bez pokrywy

Widok wzmacniacza od spodu

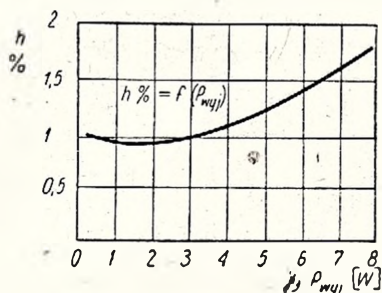


ciwnym razie może nastąpić przesterowanie lampy i pojawienie się zniekształceń nieliniowych.

Wzmacniacz napięciowy

Aby uzyskać małą oporność wewnętrzną lampy, pentodę EF12 zastosowano w połączeniu triodowym. Jest to konieczne z uwagi na dodatnie sprzężenie zwrotne w następnym stopniu, które mogłoby ulec zmianie w przypadku zastosowania pentody. Na wejściu znajduje się potencjometr logarytmiczny R_{17} , regulujący głośność audycji. Jest to regulacja jednoczesna dla obu napięć (z mikrofonu i adaptera).

Ujemne przedpięcie siatki sterującej uzyskuje się na oporniku R_{18} , zablokanym kondensatorem elektrolitycznym C_{12} . W obwodzie anodowym znajduje się opornik pra-



Rys. 2

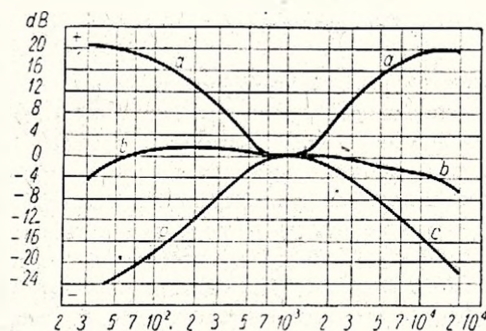
cy R_{19} połączony szeregowo z filtrem odsprężającym R_{21} i C_{14} . Z anody poprzez kondensator sprzęgający C_{13} sygnał przechodzi na siatkę lampy V4.

Wzmacniacz sterujący i odwracacz fazy

Wzmacniacz sterujący V4 i odwracacz fazy V5 pracują na podwójnej triodzie typu 6SN7. W obwodzie anodowym każdej triody załączony jest opornik pracy o wartości 47 k Ω (R_{28} i R_{29}) oraz dzielnik napięć złożony z oporności R_{26} i R_{27} , z którego część napięcia zmiennego odprwadza się na siatkę lampy V5 pracującej jako odwracacz fazy. Ujemne przedpięcie siatek sterujących uzyskuje się na opornikach R_{24} i R_{25} . Oporniki R_{24} — R_{29} muszą mieć wartości podane w spisie. W wykonanym modelu w miejsce lampy 6SN7 zastosowano EDD111.

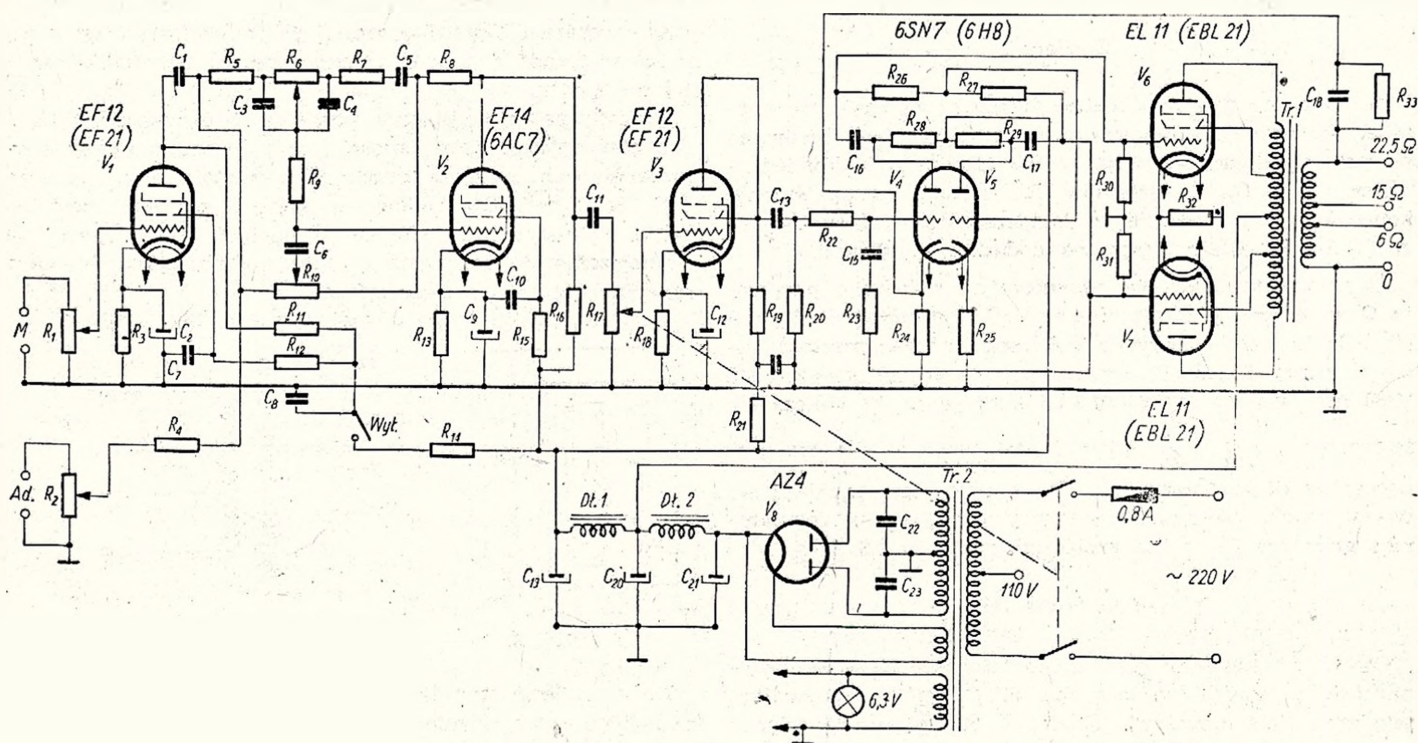
Stopień końcowy

Stopień końcowy pracuje w układzie przeciwsobnym w klasie AB na dwóch lampach typu EL11. Przy zastoso-



Rys. 3

waniu lamp EBL21 nic w układzie się nie zmienia, ponieważ parametry ich są podobne. Siatki ekranowe lamp są załączone na odczep transformatora wyjściowego, dzięki



Rys. 4. Schemat ideowy wzmacniacza m. cz.

czemu znajdują się pod działaniem zmiennego napięcia o częstotliwościach akustycznych. Pracująca w takim układzie pentoda wnosi małe zniekształcenia nieliniowe przy prawie pełnej mocy wyjściowej. Uzyskuje ona właściwości pośrednie między triodą a pentodą, przy zachowaniu zalet jednej i drugiej. Ilość zwojów tego odczepu wynosi $0,2 Z_1$, gdzie Z_1 jest ilością zwojów między środkiem uzwojenia pierwotnego ($+U_a$) a anodą lampy.

Przy odpowiednio nawiniętym transformatorze wyjściowym, zniekształcenia nieliniowe tego stopnia można sprowadzić do około 1,5%, przy maksymalnej mocy wyjściowej.

Ujemne przedpięcie siatek sterujących lamp końcowych uzyskuje się na oporniku R_{23} załączonym między katodami a masą. W przypadku jednakowych lamp kondensator katodowy jest zbędny, ponieważ składowe zmienne się znoszą.

Ujemne sprzężenie zwrotne

We wzmacniaczu zastosowano wielokrotne sprzężenie zwrotne równoważone, obejmujące lampę V4 i stopień końcowy. Zasadnicze ujemne sprzężenie zwrotne obejmuje oba stopnie, a dodatnie sprzężenie zwrotne napięciowe — tylko przedwzmacniacz V4. Napięcie ujemnego sprzężenia zwrotnego uzyskuje się za pomocą dzielnika napięciowego (oporniki R_{33} i R_{24}), załączonego między wtórnym uzwojeniem transformatora wyjściowego a katodą lampy V4. Kondensator C_{18} załączony równolegle do R_{33} służy do korekcji fazy w zakresie największych częstotliwości pasma przenoszonego.

Dodatnie sprzężenie zwrotne uzyskuje się za pomocą opornika R_{23} i kondensatora C_{15} . Ponieważ lampa V3 ma małą oporność wewnętrzną (trioda), więc wartość współczynnika dodatniego sprzężenia zwrotnego zależy głównie od oporności R_{23} i R_{22} . Wzmacniacz pracujący z równoważonym sprzężeniem zwrotnym posiada równomierną charakterystykę w szerokim pasmie częstotliwości.

Zasilacz

Zasilacz pracuje w układzie dwupołkowego prostownika, z lampą AZ4. Wyprostowane napięcie jest filtrowane za pomocą dwuogniowego filtra złożonego z kondensatorów C_{19} i C_{21} i dławików D_{L1} i D_{L2} . Lampy stopnia końcowego są zasilane z kondensatora elektrolitycznego C_{20} , a pozostałe lampy po dodatkowej filtracji.

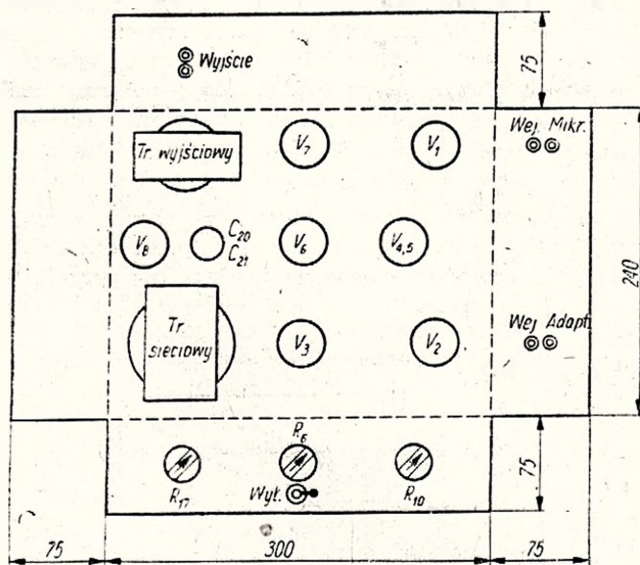
Transformator sieciowy nawinięto na rdzeniu o przekroju $Q = 10 \text{ cm}^2$, przyjmując 4,5 zw/V. Potrzebną ilość zwojów dla każdego uzwojenia obliczono, mnożąc wartość napięcia przez 4,5 zw/V. Uzwojenia transformatora: $2 \times 350 \text{ V/60 mA}$, 4 V/2,5 A i $6,3 \text{ V/3 A}$. Średnicę drutu oblicza się ze wzoru: $d = \sqrt{\frac{I}{2}}$, gdzie I jest wielkością prądu płynącego w danym uzwojeniu. Po stronie sieci znajduje się dwubiegunowy wyłącznik sieciowy sprzężony z regulatorem głośności R_{17} oraz bezpiecznik rurkowy 0,6 A.

Szczegóły konstrukcyjne

Całość zmontowana jest na metalowym chassis o wymiarach podanych na rysunku 5. Od góry wzmacniacz przykryty jest metalową obudową. Na przedniej ścianie umieszczone jest okienko dla żarówki kontrolnej, wyłącznik błyskawiczny przedwzmacniacza mikrofonowego oraz trzy pokręta:

- do regulacji głośności (R_{17}),
- do regulacji tonów niskich (R_9),
- do regulacji tonów wysokich (R_{10}).

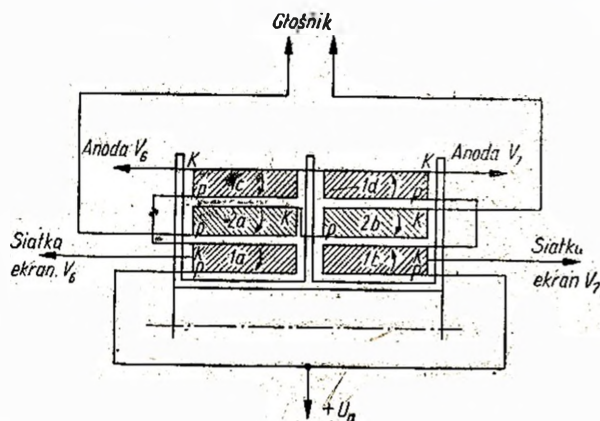
W wykonanym modelu zrezygnowano z regulacji napięcia wejściowego w stopniu mikrofonowym i w korektorze zakładając, że napięcia te są tak małe, iż nie nastąpi



Wynika z tego, że przekrój rdzenia $Q = b \cdot x \cdot d = 6 \text{ cm}^2$.

Aby zachować dobrą symetrię obydwóch uzwojeń, co jest konieczne przy układach przeciwsobnych, karkas należy podzielić na dwie części (przegrodą z bakelitu lub prespanu). W jednej połowie podzielonego już karkasu nawijamy uzwojenie dla jednej lampy (z odczepem na siatkę ekranową), a w drugiej — dla pozostałej lampy.

Rysunek 7 przedstawia schemat elektryczny transformatora (z podaniem ilości zwojów poszczególnych uzwojeń



Rys. 8

i średnicy drutu). Nawijanie wykonuje się w sposób następujący (rys. 8):

całe uzwojenie pierwotne (5 340 zwojów) dzielimy na cztery części (a, b, c, d) po 1335 zwojów każda. Pierwszą część (1a) nawijamy w pierwszej połowie karkasu i wyprowadzamy jej końcówki, po czym w drugiej połowie nawijamy drugą część (1b) w kierunku przeciwnym. Należy pamiętać o zrobieniu odczepu dla siatek ekranowych po nawinięciu 590 zwojów, zarówno na części 1a jak i 1b. Następnie przystępujemy do nawinięcia wtórnego uzwojenia. Ilość zwojów tego uzwojenia dzielimy na dwie części: nawijamy je kolejno w poszczególnych sekcjach, łącząc koniec 2a z początkiem 2b. Początek 2a i koniec 2b służy do podłączenia ceweczki głośnika. Kierunek nawinięcia powinien być taki sam jak w części 1a. Odczepy na podłączenie głośników o różnej oporności ceweczek robimy tak, jak to podaje rysunek 7. Po nawinięciu wtórnego uzwojenia, nawijamy kolejno części 1c i 1d (podobnie jak 1a i 1b) z zachowaniem takich samych kierunków nawinięcia.

Poszczególne części uzwojeń powinny być dobrze odizolowane, aby nie nastąpiło przebicie. Indukcyjność rozproszenia takiego transformatora jest znikoma.

Spis elementów RC

- $R_1 = 50 \text{ k}$ — potencjometr
- $R_2 = 100 \text{ k}$ potencjometr
- $R_3 = 500 \Omega / 0,5 \text{ W}$
- $R_4 = 200 \text{ k} / 0,25 \text{ W}$
- $R_5 = 33 \text{ k} / 0,25 \text{ W}$
- $R_6 = 1 \text{ M}$ lin. potencj.
- $R_7 = 33 \text{ k} / 0,25 \text{ W}$
- $R_8 = 5 \text{ k} / 0,25 \text{ W}$
- $R_9 = 0,47 \text{ M} / 0,25 \text{ W}$

- $R_{10} = 0,5 \text{ M}$ (potencjometr)
- $R_{11} = 0,1 \text{ M} / 0,5 \text{ W} \pm 2\%$
- $R_{12} = 0,6 \text{ M} / 0,5 \text{ W}$
- $R_{13} = 700 \Omega / 0,5 \text{ W}$
- $R_{14} = 20 \text{ k} / 0,5 \text{ W}$
- $R_{15} = 0,5 \text{ M} / 0,5 \text{ W}$
- $R_{16} = 80 \text{ k} / 0,5 \text{ W}$
- $R_{17} = 0,5 \text{ M}$ (log. potencj. z wyl.)

- $R_{18} = 500 \Omega / 0,5 \text{ W}$
- $R_{19} = 0,1 \text{ M} / 0,5 \text{ W}$
- $R_{20} = 0,27 \text{ M} / 0,25 \text{ W}$
- $R_{21} = 10 \text{ k} / 0,5 \text{ W}$
- $R_{22} = 0,1 \text{ M} / 0,25 \text{ W}$
- $R_{23} = 0,91 \text{ M} / 0,5 \text{ W} \pm 2\%$
- $R_{24} = 2,2 \text{ k} / 0,5 \text{ W}$
- $R_{25} = 1,5 \text{ k} / 0,5 \text{ W}$
- $R_{26} = 0,39 \text{ M} / 0,25 \text{ W} \pm 2\%$
- $R_{27} = 0,47 \text{ M} / 0,25 \text{ W} \pm 2\%$
- $R_{28} = 47 \text{ k} / 0,5 \text{ W} \pm 2\%$
- $R_{29} = 47 \text{ k} / 0,5 \text{ W} \pm 2\%$
- $R_{30} = 0,47 \text{ M} / 0,5 \text{ W} \pm 2\%$
- $R_{31} = 0,47 \text{ M} / 0,5 \text{ W} \pm 2\%$
- $R_{32} = 150 \Omega / 2 \text{ W}$
- $R_{33} = 4,7 \text{ k} / 0,25 \text{ W}$

Oporniki, przy których nie podano tolerancji, mogą mieć dokładność $\pm 10\%$.

- $C_1 = 0,2 \mu\text{F} / 500 \text{ V}$
- $C_2 = 50 \mu\text{F} / 12 \text{ V}$
- $C_3 = 7000 \text{ pF} / 500 \text{ V}$
- $C_4 = 7000 \text{ pF} / 500 \text{ V}$
- $C_5 = 0,2 \mu\text{F} / 500 \text{ V}$
- $C_6 = 120 \text{ pF} / 250 \text{ V}$
- $C_7 = 0,1 \mu\text{F} / 500 \text{ V}$
- $C_8 = 0,2 \mu\text{F} / 500 \text{ V}$
- $C_9 = 50 \mu\text{F} / 12 \text{ V}$
- $C_{10} = 0,1 \mu\text{F} / 500 \text{ V}$
- $C_{11} = 0,2 \mu\text{F} / 500 \text{ V}$
- $C_{12} = 50 \mu\text{F} / 12 \text{ V}$
- $C_{13} = 50000 \text{ pF} / 500 \text{ V} \pm 5\%$
- $C_{14} = 0,1 \mu\text{F} / 500 \text{ V}$
- $C_{15} = 6000 \text{ pF} / 500 \text{ V} \pm 5\%$
- $C_{16} = 30000 \text{ pF} / 500 \text{ V}$
- $C_{17} = 30000 \text{ pF} / 500 \text{ V}$
- $C_{18} = 220 \text{ pF} / 250 \text{ V}$
- $C_{19} = 16 \mu\text{F} / 450 \text{ V}$
- $C_{20} = 32 \mu\text{F} / 450 \text{ V}$
- $C_{21} = 32 \mu\text{F} / 450 \text{ V}$

Kondensatory przy których nie podano tolerancji mogą mieć dokładność $\pm 10\%$.

Wykaz literatury

- Mgr inż. W. Rotkiewicz — „Technika odbioru radiowego”, Tom II, str. 292: „Układ ze sprzężeniem zwrotnym wielokrotnym równoważonym”;
- Mgr inż. J. Kacprowski — „Korektor charakterystyki przenoszenia toru fonicznego” — Przegląd Telekom. Nr 2/1954 r.
- M. R. — „Linearyzacja stopnia końcowego wzmacniacza m.cz.” — Radioamator Nr 9 i 10/1955 r.
- Cyldin — „Transformatory małej częstotliwości”.