



Stereofoniczny

## Wzmacniacz lampowy

kit

2754

AVT

część 1

Wzmacniacze lampowe

mają wiele ograniczeń. Zniekształcają dźwięk, jeżeli przekręcimy potencjometr zbyt daleko, a nie zawsze potężny bas zadowoli miłośnika mocnego uderzenia. Niektóre mają moc tak niską, że do słuchania trzeba używać specjalnych, wysokosprawnych głośników tubowych. Wymagają solidnych transformatorów wyjściowych, które są ciężkie i kosztowne. Same lampy są mniej trwałe niż tranzystory, a ich parametry pogarszają się w trakcie używania tak, że musimy je wymieniać co kilka lat. Łatwo je uszkodzić, a koszt wymiany lamp jest niebagatelny. I do tego wzmacniacze lampowe są drogie.

Wzmacniacze tranzystorowe mogą być bardzo tanie, nie starzeją się, rzadko się psują. Nie pobierają monstrualnych ilości coraz droższego prądu. Nie trzeba czekać godzinami, aż będzie je można użytkować, bo „lampy się jeszcze nie wygrzały”. Dlatego podbiły świat.

Ale wzmacniacze lampowe nie odeszły w zapomnienie. Wręcz przeciwnie, zdobywają wielu nowych miłośników. Dobrze zbudowany wzmacniacz lampowy daje łagodny, pełny szczegółów, a jednocześnie dynamiczny dźwięk. Pięknie wyeksponowany wokół pozwala na prawie doskonałą iluzję obecności artysty w pokoju. Do tego ciepło żarzącej się lampy powoduje, iż wzmacniacz staje się bardziej „przyjazny” dla słuchającego niż bezduszne, choć technicznie doskonałe tranzystorowe.

Oczywiście nie wszystkie wzmacniacze lampowe mają te cechy. Wiele z nich gra zupełnie przeciętnie, a ich jedyną zaletą jest to, że są lampowe. Ponadto sam, nawet najlepszy wzmacniacz nie zapewni idealnego dźwięku. Potrzebny jest jeszcze dobry odtwarzacz, świetne kolumny głośnikowe i doskonale nagrana płyta. Do tego pokój, w którym słuchamy muzyki musi mieć prawidłową akustykę.

Czy nasz wzmacniacz będzie miał wszystkie najlepsze cechy lampowca? Zapewne nie,

lecz jeśli

zbudujemy go starannie, z dobrych elementów, to w porównaniu do większości popularnych wzmacniaczy tranzystorowych, różnica w jakości dźwięku może być zaskakująco duża i to na korzyść lampowca.

Proponowany przeze mnie wzmacniacz nie oszalał mocą. Teoretycznie 2 x 15W, w trybie pentodowym, praktycznie około 10 W, co zapewne nie jest szczytem marzeń młodego (najczęściej) konstruktora. Ale te 10W, przy skutecznych kolumnach (88dB i więcej), dostarczy wystarczającą ilość decybeli, by nagłośnić nawet 20-metrowy pokój. I zrobi to równie dobrze jak 40-watowy tranzystorowiec.

Wzmacniacz jedynie może nie zadowolić miłośników potężnego basu i 100-decybelowego natężenia dźwięku.

### Opis układu

Większość z Was zapewne zna budowę wzmacniaczy tranzystorowych. Wzmacniacze lampowe zasadniczo nie różnią się zasadą działania od wzmacniaczy tranzystorowych, natomiast znacznie różnią się rozwiązaniami technicznymi.

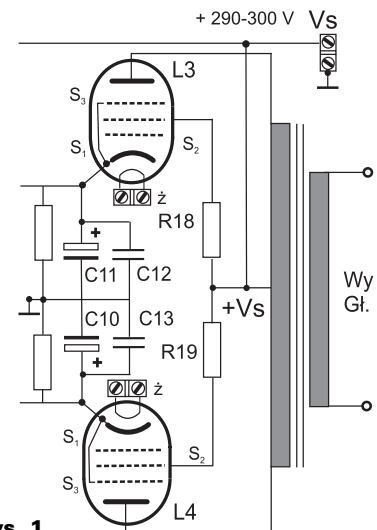
Ten wzmacniacz lampowy składa się z dwóch stopni – przedwzmacniacza i odwracacza fazy jednocześnie, oraz stopnia mocy pracującego w klasie AB, w układzie przeciwobnym (PP, Push-Pull).

Wzmocniony sygnał wyjściowy, w przeciwieństwie do wzmacniaczy tranzystorowych ma wysokie napięcie przy niewielkim prądzie, dlatego abyysterować niskoomowe kolumny, musi być użyty transformator wyjściowy.

Lampy wyjściowe i transformator mogą pracować w dwóch trybach: pentodowym lub ultralinearnym.

W trybie pentodowym obciążeniem lamp końcowych – pentod właśnie – jest transformator głośnikowy. Uzwojenie anodowe tego transformatora nie ma odczepów (lub są niepodłączone), a siatki drugie (S2) pentod połączone są z anodami lamp (rysunek 1).

Tryb pentodowy charakteryzuje się największą mocą możliwą do uzyskania z danego typu lamp, wadą natomiast są nieco większe zniekształcenia.



Rys. 1

Jeżeli uzwojenie anodowe transformatora głośnikowego ma odczepy, część napięcia z odczepów uzwojenia może być podana na drugie siatki (S2) lamp (rys. 2). Spowoduje to powstanie lokalnego sprzężenia zwrotnego, które wprowadzi nieco zmniejszy wzmocnienie, lecz poprawi liniowość i zmniejszy zniekształcenia wzmacniacza. Taki tryb pracy nazywa się „ultralinearnym”. Najczęściej stosuje się odczepy na 20% lub 43% uzwojenia (licząc od środka).

### Opis schematu

#### Przedwzmacniacz i odwracacz fazy

Na rysunku 2 pokazany jest schemat ideowy przedwzmacniacza. Przedwzmacniacz zbudowany jest na podwójnej triodzie małej mocy, popularnej ECC83.

Sygnal z wejścia wzmacniacza, przez potencjometr P i rezystor R1 podawany jest na siatkę triody L1. Lampa tworzy typowy wzmacniacz oporowy pracujący w układzie wspólnej katody. Po wzmacnieniu, przez kondensator separujący C8 podawany jest na siatkę pierwszą pentody mocy L4. Rezystory R3, R4 i R2 ustalają polaryzację siatki lampy L1.

Ale jak pamiętamy, wzmacniacz mocy pracuje w trybie PP, gdzie sygnał podawany na poszczególne lampy mocy musi być odwrócony w fazie. By odwrócić sygnał i podać go na siatkę drugiej lampy mocy (L3), musimy użyć układu odwracającego. Można to zrobić wieloma sposobami, ja zastosowałem ciekawy układ zwany „samosymetryzującym”. Układ ten tworzą obie triody L1 i L2. Druga trioda L2 objęta jest głębokim, ujemnym sprzężeniem zwrotnym w układzie równoległym poprzez rezystory R6, R7 i kondensator C5. Jeżeli R6 i R7 są równe, na siatkę lampy L2 podawany jest sygnał z anod obu lamp z prawie jednakowym, wynoszącym około 1/2, współczynnikiem podziału. Dla osiągnięcia idealnej symetrii rezystor R7 powinien mieć o 10-15% większą wartość od rezystora R6. Lampa L2 nie wzmacnia sygnału - jej wzmocnienie wynosi 1.

Odrócony o 180° sygnał zasila przez kondensator C7 lampę L3. Rezystory R10 i R9 ustalają polaryzację siatki lampy L2. Rezystory R1 i R8 w obwodzie siatek lamp zapobiegają wzbudzeniu się wzmacniacza. Ponieważ w bańce ECC83 znajdują się dwie triody, tak więc do zbudowania przedwzmacniacza/odwracacza wystarczy jedna lampa.

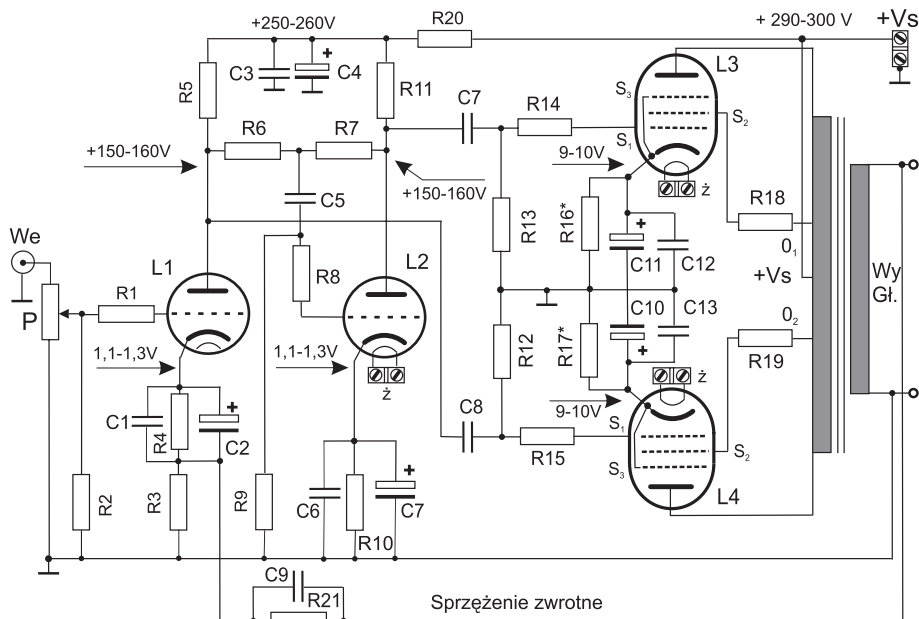
Ze względu na istniejące sprzężenie zwrotne układ wnosi małe zniekształcenia w szerokim paśmie częstotliwości. Układ ten ma duże wzmocnienie dochodzące do 60 razy. Do wad należy wrażliwość na przesterowanie, dlatego potencjometru głośności nie należy podkręcać na maksimum. Napięcie wejściowe nie powinno przekraczać napięcia polaryzacji siatki lampy L1 (ok.1,3V).

W konstrukcji założyłem, że wzmacniacz będzie zasilany z odtwarzacza CD lub DVD, które mają wysoki poziom sygnału wyjściowego. Ponieważ wzmacniacz ma duże wzmocnienie, można było zrezygnować z dodatkowego stopnia wzmacniającego, co znacznie uprościło konstrukcję.

## Stopień mocy

Stopień mocy zrealizowany jest za pomocą dwóch pentod mocy EL 84 pracujących w układzie przeciwobnym (PP). Z tych lamp w układzie PP teoretycznie można „wycisnąć” w trybie pentodowym 15W mocy, lecz praktycznie, przy zastosowaniu trybu „ultralinear” i globalnego sprzężenia zwrotnego będzie to mniej niż 10W.

Odrócony w fazie sygnał z odwracacza fazy (inwertera) przez kondensatory separują-

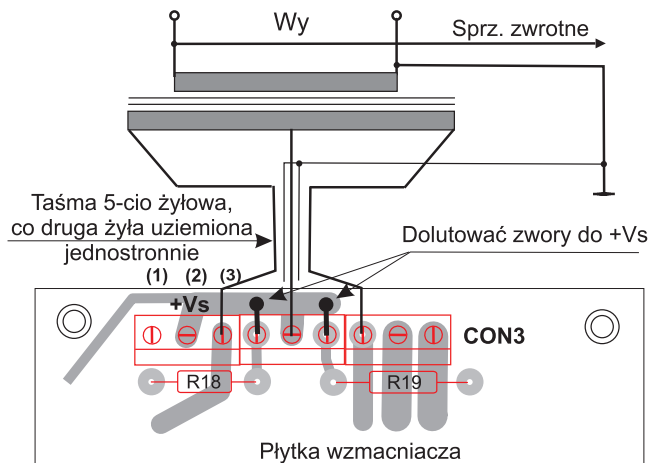


\* Wartości elementów podane są w Wykazie elementów na końcu artykułu.

Rys. 2

ce C7 i C8 steruje siatkę pierwsze (S1) pentod L3, L4. Wzmocniony na poszczególnych lampach sygnał z anod lamp mocy podawany jest na uzwojenia anodowe transformatora TG, gdzie jest sumowany. Na uzwojeniu wtórnym transformatora dzięki odpowiedniej przekładni pojawia się sygnał o niskim napięciu a wysokim natężeniu, może więcysterować głośniki.

Rys. 3



Zasilanie lamp, +300V, podawane jest na środkowy odczep uzwojenia pierwotnego transformatora.

Ten wzmacniacz pracuje w trybie ultralinear, czyli siatki drugiej lamp (S2) połączone są z odczepami transformatora. Jeżeli transformator głośnikowy nie ma tych odczepów lub chcemy uzyskać większą moc wzmacniacza, należy przełączyć wzmacniacz w tryb pentodowy. Rezystory R18 i R19 łączymy wtedy z plusem zasilania (+Vs). Na płytce drukowanej wzmacniacza wyjścia siatek S2 zwieramy do zasilania anodowego, zgodnie z rysunkiem 3. Rezystory R16, R17 oraz R12, R13 ustalają polaryzację pierwszych siatek lamp L3, L4. Rezystory w obwodach siatek (R14, R15) zapobiegają wzbudzeniu się wzmacniacza.

Drugi kanał jest identyczny.

## Lampy

Do budowy wzmacniacza użyłem dwóch typów lamp: w przedwzmacniaczu i odwracaczu fazy pracują podwójne triody małej mocy ECC83 (12AX7), natomiast wzmacniacz mocy tworzą dwie pary (para lamp w jednym kanale), pracujące w układzie przeciwobnym pentody mocy EL84 (tanie, rosyjskie odpowiedniki to 6P14P). Ponieważ EL84 różnych producentów mogą się nieco różnić wyprowadzeniami, proszę porównać metryczkę lampy ze schematem wyprowadzeń podanym na rysunku 4. Dotyczy to wyprowadzeń siatki pierwszej (S1), które może być na nóżce 1 lub 2.

Lampy można nabyć na aukcjach internetowych, z ogłoszeń pojawiających się tak w czasopiśmie elektronicznych, jak i na różnych forach dyskusyjnych poświęconych

lampom, elektronice czy audio. Łatwo je znaleźć, używając wyszukiwarki internetowej.

Więcej danych na temat parametrów lamp oraz ich charakterystyki znajdziecie na stronie internetowej: [www.mif.pg.gda.pl/homepages/frank/index.html](http://www.mif.pg.gda.pl/homepages/frank/index.html).

## Transformator głośnikowy

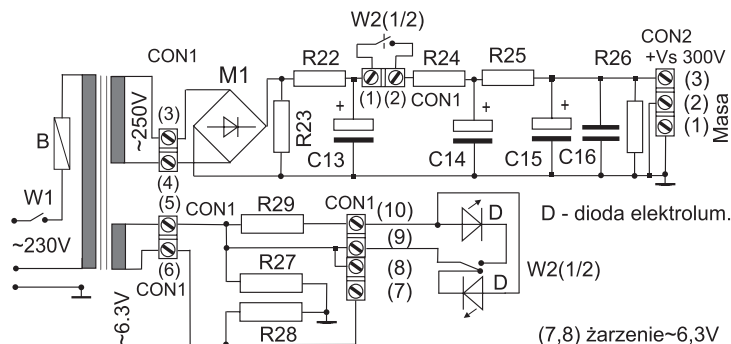
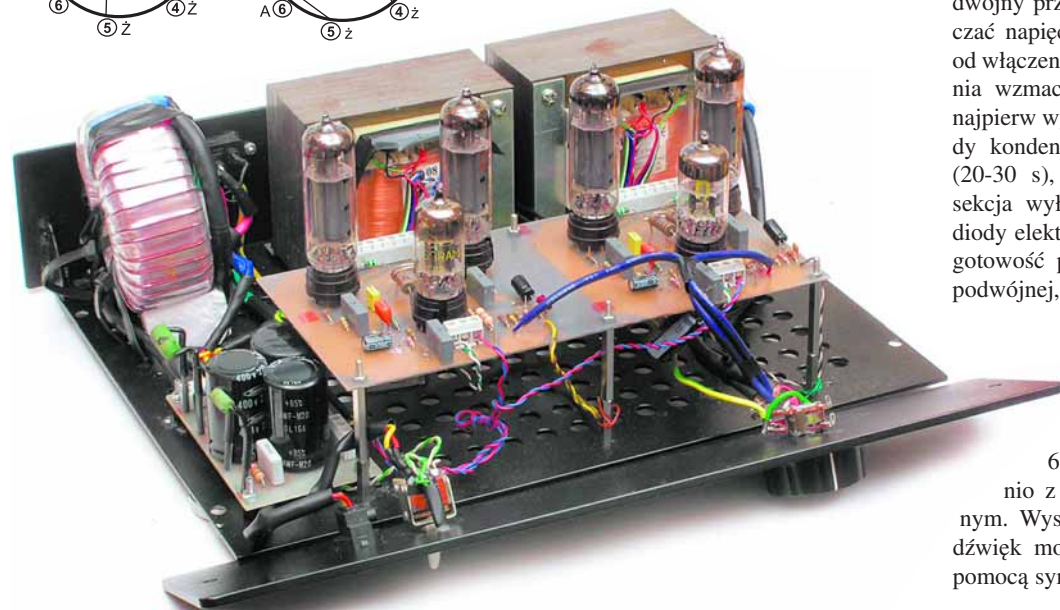
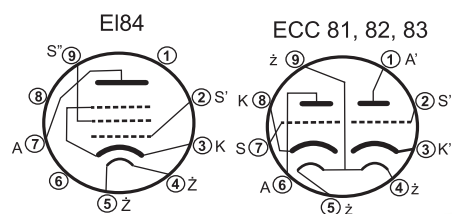
By uzyskać dobre parametry wzmacniacza, szerokie i równe pasmo przenoszenia, niskie zniekształcenia, należy zastosować dobrej jakości transformator głośnikowy. Musi być on wykonany z odpowiednich blach, o dużym przekroju rdzenia i nawinięty w odpowiedni sposób.

Użycie nieodpowiednich blach powoduje większe straty w rdzeniu, a zbyt mały przekrój ogranicza niższe częstotliwości. Aby wzmacniacz przenosił wysokie częstotliwości w szerokim zakresie, uzwojenie zarówno pierwotne (anodowe), jak i wtórne – wyjściowe – powinno być podzielone na wiele sekcji, odpowiednio nawiniętych. Wysokie napięcia z kolei wymagają stosowania odpornych na przebicie przekładek izolacyjnych. Wszystko to powoduje, iż transformatory głośnikowe są ciężkie, duże i drogie, a nawinięcia podejmują się tylko doświadczeni elektronicy.

Nie podaję sposobu, w jaki można nawinąć transformator, zainteresowani znajdą materiały na ten temat w Internecie.

Ja kupiłem transformatory gotowe. Ponieważ nie są one dostępne w sklepach, poniżej podaję adresy internetowe kilku polskich producentów transformatorów. Wybrany model

Rys. 4



\* Wartości elementów podane są w Wykazie elementów na końcu artykułu.

Rys. 5

można zamówić telefonicznie lub e-mailem, z przesyłką do domu.

Podczas zamówienia należy podać, iż ma to być transformator głośnikowy do wzmacniacza Hi-Fi, push-pull, pracującego w trybie ultralinear dla 2 lamp EL 84. Ponieważ ważne jest, aby dopasować impedancję wyjścia transformatora, należy podać impedancję posiadanych kolumn (4 lub 8Ω) lub przyjąć w miarę uniwersalną impedancję 6Ω.

Można wybrać gotowy model z oferty o parametrach podanych powyżej (cena jest wtedy niższa).

Oczywiście potrzebne będą dwa transformatory głośnikowe.

U tych producentów można zamówić także transformator zasilający (sieciowy).

Producenci transformatorów:

<http://microlamp.webpark.pl/index1.html>

[www.telto.pl/](http://www.telto.pl/) (TG08)

[www.zatra.pl/](http://www.zatra.pl/) (TG20/620)

## Zasilacz

### Transformator zasilający

Transformator zasilający o mocy ok. 100W powinien mieć uzwojenia dające napięcie anodowe 250V/0,3A i żarzenia 6,3V/4,5A. Można użyć transformatora na rdzeniu EI lub

toroidalnego. Transformator toroidalny ma mniejsze wymiary, większą wydajność prądową, a jego zakłócające pole magnetyczne ma mniejszy zasięg.

Schemat ideowy zasilacza pokazany jest na rysunku 5. Napięcia anodowe uzyskuje się z wysokonapięciowego wyjścia wtórnego transformatora (~250V), które po wyprostowaniu i odfiltrowaniu podawane jest na anody lamp. Napięciem  $V_s$  zasilane są pentody mocy i przedwzmacniacz. Pojemności filtrujące nie muszą być aż tak duże jak na schemacie, ale większa pojemność powoduje, że wyraźniej zmniejszają się zakłócenia, a wzmacniacz lepiej sobie radzi podczas obciążenia mocnymi sygnałami.

Rezystory R24 i R25 powinny mieć moc przynajmniej 5W i należy je dobrać doświadczalnie tak, aby napięcie na wyjściu  $+V_s$ , po rozgrzaniu się lamp (po ok. 10 min.), wynosiło 300V. Rezystory te mocno się grzeją, dlatego powinny być przylutowane wysoko nad płytką (4-5cm) i odsunięte od kondensatorów elektrolitycznych.

Ponieważ niekorzystne dla trwałości lamp jest podawanie pełnego napięcia anodowego na nierozgrzane lampy, zastosowałem podwójny przełącznik W2, którym należy włączać napięcie anodowe po 30-40 sekundach od włączenia wzmacniacza. Podczas wyłączenia wzmacniacza postępujemy odwrotnie – najpierw wyłączamy napięcie anodowe, a kiedy kondensatory w zasilaczu rozładują się (20-30 s), wyłączamy wzmacniacz. Druga sekcja wyłącznika W2 służy do włączania diody elektroluminescencyjnej sygnalizującej gotowość pracy wzmacniacza. Można użyć podwójnej, dwukolorowej diody.

## Żarzenie

Żarzenie lamp odbywa się za pomocą oddzielnego uzwojenia transformatora o napięciu 6,3V. Lampy zasilane są bezpośrednio z transformatora napięciem zmiennym. Występujący czasami niewielki przydźwięk można zmniejszyć do minimum za pomocą symetryzacji rezystorami R27, R28.

## Połączenie elementów wzmacniacza

Niestety, nie wszystkie elementy wzmacniacza można umieścić na płytkach drukowanych. Zasilacz i transformatory muszą być umieszczone w różnych miejscach obudowy i połączone z płytkami za pomocą przewodów. Tych połączeń jest sporo i należy je wykonać uważnie, by nie pomylić ich kolejności. Wszędzie, gdzie to możliwe, połączeń dokonujemy za pomocą skrętki, czyli pary skręconych przewodów, lub za pomocą taśmy wielożyłowej. Tak skrętka, jak i taśma zmniejszają wrażliwość na indukowanie się zewnętrznych zakłóceń, a w przypadku przewodów żarzenia zmniejszają zakłócenia „rozsiwane” przez te przewody. Sygnały od gniazd wejściowych wzmacniacza prowadzimy za pomocą ekranowanych przewodów. Zwróć uwagę na schemat połączeń pokazany na rysunku 6.

### Punkt wspólny masy

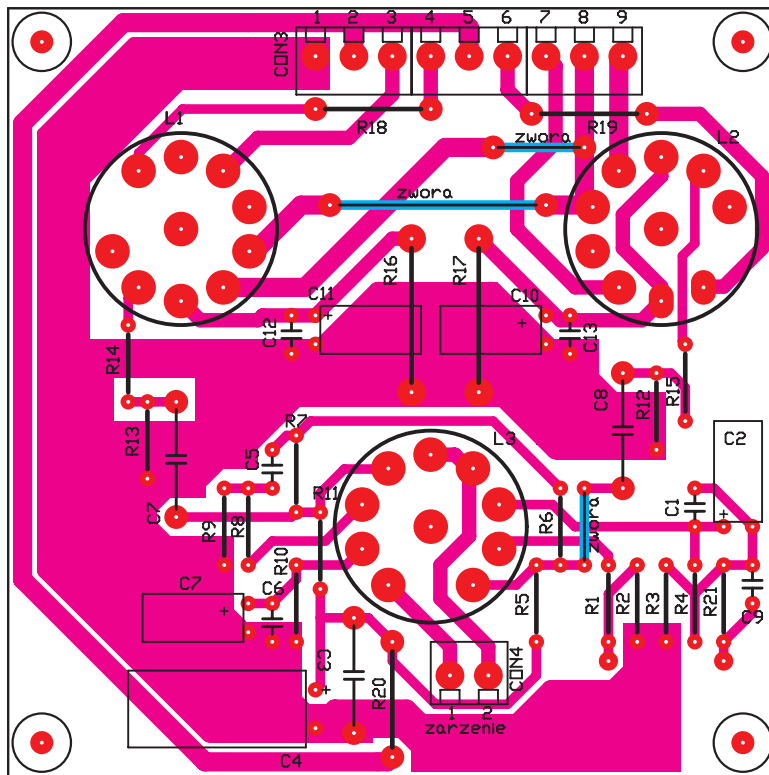
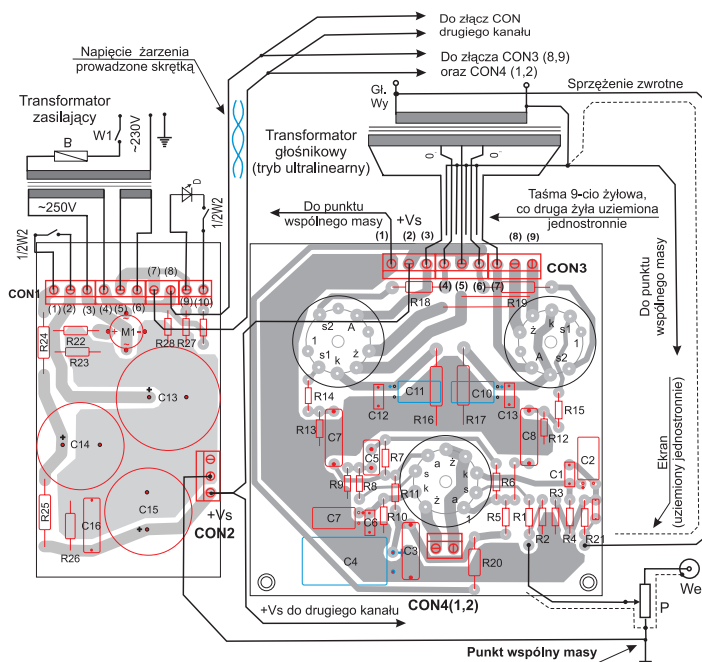
Dla uniknięcia sprzężeń i innych zakłóceń pochodzących z nieprawidłowego prowadzenia masy proponujemy zastosowanie montażu zwanego „punktem wspólnym masy”. Polega on na łączeniu mas płytek kanałów i zasilacza w jednym punkcie, za pomocą grubych przewodów.

W dolnej części metalowej obudowy montujemy śrubę (np. M5), do której dołączamy przewód uziemiający z kabla zasilającego. Śruba powinna mieć elektryczny kontakt z obudową. W tym punkcie uziemiamy wszystkie masy, zarówno zasilacza, jak i płytek wzmacniacza. Można też uziemić rdzenie transformatorów.

Do metalowej obudowy płytkę zasilacza i wzmacniacza powinniśmy przymocować za

pomocą izolujących podkładek. Jeżeli lampy będą wyeksponowane na zewnątrz obudowy (jak w projekcie), płytka wzmacniacza będzie podniesiona w pobliżu górnej płyty obudowy, w której wywiercono 6 otworów o średnicy 24mm. Płytkę przymocujemy wtedy za pomocą specjalnych prętów (śrub) dystansowych o odpowiedniej długości, które można nabyć w sklepach elektronicznych.

Rys. 6



Rys. 7 Schemat montażowy

### Płytki drukowane

Pokazana na rysunku 7 płytka drukowana jednego kanału wzmacniacza ma wymiary 100x100mm. Na niej mieszczą się wszystkie elementy, oprócz transformatorów i potencjometru głośności. Do płytki bezpośrednio przylutowane są podstawki lamp i zaciski CON. Oczywiście, aby zbudować wzmacniacz stereofoniczny, będą potrzebne dwie takie płytki.

Kondensatory elektrolityczne C4, C10 i C11 należy przylutować do płytki od strony druku.

Kondensatory C1, C6, C12 i C13 mogą, ale nie muszą być wlutowane. Zasilacz (rysunek 8) zmontowany jest na oddzielnej płytce o wymiarach 55x100mm. Na niej znajduje się mostek prostowniczy napięcia anodowego, kondensatory i rezystory filtra oraz złącza CON. Rezystory R24 i R25 mocno się rozgrzewają, dlatego są przylutowane na dłuższych nóżkach (4-5 cm) z miedzianego drutu i odsunięte od kondensatorów. Wszystkie płytki należy odizolować od obudowy wzmacniacza.

**Bądź ostrożny!**  
**Zawsze pracuj uważnie i z wyobraźnią.**  
**We wzmacniaczu występują wysokie napięcia. Wszelkich regulacji dokonuj przy wyłączonym zasilaniu i po rozładowaniu kondensatorów wysokonapięciowych.**  
**Lampy i niektóre rezystory rozgrzewają się do wysokiej temperatury. Łatwo o poparzenie.**

Stanisław Chrzyszcz

ciąg dalszy w następnym numerze EdW.



# Stereofoniczny wzmacniacz lampowy



## Część 2

### Obudowa

Obudowa jest zwykle piętą achillesową elektronika. Przemysłana, starannie wykonana obudowa nie tylko pozwoli na bezpieczne użytkowanie, ale będzie ważnym elementem stanowiącym o atrakcyjności wzmacniacza. Obudowę można wykonać na wiele sposobów. Jednym z tańszych jest zakup w sklepie elektronicznym typowej, metalowej obudowy o wymiarach np. 360x250x65mm. Ponieważ transformatory głośnikowe są wyższe, należy w tylnej części górnej pokrywki wyciąć otwory i zbudować na nie „skrzynkę”. Skrzynkę można wykonać np. z laminatu miedzianego, odpowiednio przycinając i lutując miedź cyną. Po oszlifowaniu oklejamy całość folią

samoprzylepną. Obudowę można wykończyć drewnem, folią samoprzylepną lub lakierem.

Pewną trudność będzie stanowiło wywiercenie otworów na lampy, jeśli chcemy je wyeksponować na zewnątrz obudowy. Wywiercenie otworu o średnicy 24-25mm nie jest proste, lecz w miękkim materiale jak np. aluminium czy cienka blacha stalowa możliwe. Wykonuje się je za pomocą *wiertła piórowego do drewna*, po uprzednim dokładnym zaostreniu. Wolne obroty wiertarki (przydaje się stojak na wiertarkę) i polewanie wodą, a w przypadku aluminium denaturatem, pozwoli na wywiercenie estetycznych otworów. Wykonanie mniejszych otworów pod potencjometr, gniazda wejściowe, głośnikowe czy wyłączniki nie powinno stanowić problemu. **Pamiętajmy też o otworach wentylacyjnych.**

Ja obudowę zamówiłem w warsztacie ślusarskim. Została zrobiona z blachy stalowej o grubości 2,5mm i polakierowana piecowo na czarno. Otwory na lampy zostały wykonane według wcześniej przygotowanego szablonu.

### Rozmieszczenie elementów w obudowie

Transformatory głośnikowe ustawiamy rdzeniami do siebie, w odległości min. 15-20mm.

Transformator zasilający powinien być oddalony od lamp i innych układów tak, by jego pole magnetyczne nie wpływało na pracę wzmacniacza. Przed ostatecznym wywierceniu otworów w obudowie wzmacniacza umieszczamy tam prowizorycznie poszczególne elementy, tak by po uruchomieniu wzmacniacza (należy dokładnie zabezpieczyć się przed możliwością dotknięcia elementów pod napięciem oraz przypadkowymi zwarciami!) można było, słuchając brumu w głośnikach, szukać takiego ustawienia, które daje minimum zakłóceń. Dotyczy to także ułożenia kabli zasilających i sygnałowych, ponieważ pole magnetyczne może indukować przydźwięk sieciowy. Po ostatecznym ułożeniu elementów przykręcamy je do obudowy, a kable unieruchamiamy za pomocą opasek, kleju czy tpu.

### Uruchomienie

Uruchomienie rozpoczynamy od sprawdzenia prawidłowości montażu zgodnie z rysunkiem płytki. Baczną uwagę zwracamy zwłaszcza na prawidłowe podłączenie kondensatorów elektrolitycznych (nieprawidłowe wlutowanie grozi wybuchem). Zwróćmy też uwagę na mostek prostowniczy.

Wszelkie połączenia zarówno z transformatorem, jak i płytką z lampami, dokonujemy za pomocą dwużyłowej skrętki, czyli pary mocno ze sobą skręconych przewodów, o odpowiednim przekroju. Grubszy przewód stosujemy do zasilania żarzenia, cieńszy do napięć anodowych. Po właściwym podłączeniu przewodów zasilających, wyjścia wzmacniacza łączymy z transformatorami głośnikowymi. Dla uniknięcia płątaniny przewodów można użyć wielożyłowej taśmy, w której aby nie dopuścić do modulacji sygnału, co drugi przewód jest jednostronnie podłączony do masy przy transformatorze (rys. 5). Można też użyć ekranowanych przewodów, gdzie także jednostronnie do masy podłączony jest ekran.

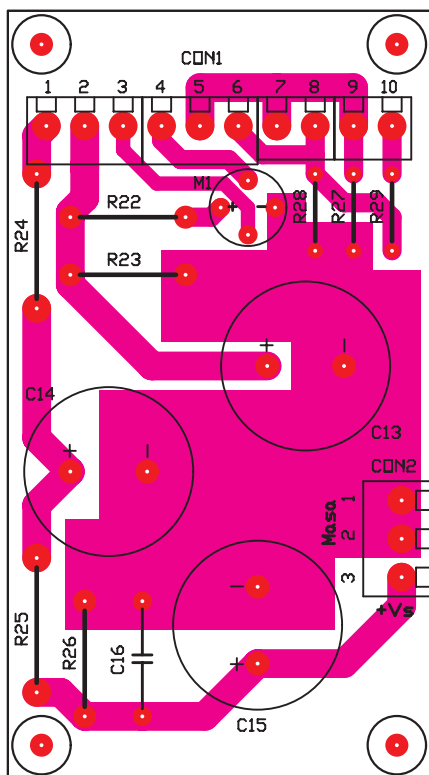
### Sprężenie zwrotne

Ujemne sprzężenie zwrotne we wzmacniaczach spełnia ważną rolę. Powoduje wprawdzie spadek wzmocnienia, ale maleją zakłócenia, poprawia się liniowość wzmacniacza, poszerza pasmo przenoszenia. Wzmacniacz staje się mniej wrażliwy na zmianę parametrów elementów elektronicznych związanych z ich starzeniem czy zmianą zasilania. Poprawia się także współczynnik tłumienia wzmacniacza. Te zalety powodują, iż ujemne sprzężenie zwrotne jest powszechnie stosowane. Wadami, oprócz wspomnianego spadku wzmocnienia, zależnego od głębokości sprzężenia, są przesunięcia fazowe sygnału.

### Jak prawidłowo podłączyć sprzężenie zwrotne?

Wzmacniacz ten jest objęty globalną pętlą sprzężenia zwrotnego. Część sygnału pobierana jest z wyjścia głośnikowego transformatora

Rys. 8 Schemat montażowy zasilacza



i podawana do dzielnika rezystorowego R3, R4 wejściowej lampy L1. Głębokość sprzężenia ustalana jest za pomocą wartości rezystora R 21. Im większa jego wartość, tym mniejsze sprzężenie.

Aby ustalić właściwy odczep transformatora, z którego pobierany jest sygnał, należy rezystor R21 wlutować na płytkę i dolutować kawałek przewodu. Do wejścia wzmacniacza podłączamy generator (np. 1kHz, sinus), do wyjścia – oscyloskop. Przy otwartej pętli sprzężenia (R21 nie podłączamy jeszcze do wyjścia transformatora) ustalamy sygnał tak, by był widoczny na ekranie oscyloskopu. Za pomocą przewodu przyłutowanego do rezystora R21 dotykamy wyjścia transformatora. Jeśli sygnał **zmniejszy** swoją amplitudę, nie zmieniając prawidłowego kształtu – wyjście jest właściwe. Jeśli na ekranie pojawi się silnie zniekształcony sygnał o dużej amplitudzie – wyjście jest niewłaściwe.

Bez generatora i oscyloskopu właściwe ustalenie połączenia też jest możliwe. Na wejście wzmacniacza podaje się sygnał zmienny (50Hz) z dowolnego transformatora sieciowego o napięciu ok. 1V uzyskanego z prostego, rezystorowego dzielnika lub potencjometru. Na wyjście wzmacniacza podłączamy woltomierz, mierzymy napięcie. Postępujemy jak powyżej – zmniejszenie napięcia oznacza właściwe podłączenie sprzężenia. Niewłaściwe podłączenie powodować może wzbudzenie się wzmacniacza, często słyszalne w postaci głośnego brzęczenia, pisku czy tym podobnych objawów. U mnie jedna z prób skoń-

czyła się wyładowaniem elektrycznym pomiędzy ścieżkami i przepaleniem laminatu. Dlatego prób dokonujemy ostrożnie, na krótko podłączając przewód sprzężenia do wyjścia transformatora, aż do ustalenia właściwego sposobu.

### Głębokość sprzężenia zwrotnego

Jak wspomniałem powyżej, głębokość sprzężenia zwrotnego można w pewnych granicach regulować, zmieniając wartość R21. Wygodnie jest, gdy podczas pomiarów zastosujemy potencjometr 50kΩ zamiast rezystora R21, a po ustaleniu wartości wlutowujemy odpowiedni rezystor. Warto poeksperymentować z różnymi wartościami R21, sprawdzając, jak głębokość sprzężenia wpływa na dźwięk. Trzeba jednak pamiętać, iż głębsze sprzężenie zmniejsza znacznie moc oddawaną przez wzmacniacz. Nie należy także stosować zbyt skrajnych wartości, ponieważ wzmacniacz może stać się niestabilny.

Jeżeli kanały wzmacniacza mają różne wzmocnienie, można, zmieniając wartość R21, doprowadzić je do jednakowej wartości.

Kondensator C9 o pojemności 50-100pF poprawia charakterystykę fazową.

### Parowanie lamp

Niestety, lampy wykazują znaczny rozrzut parametrów. Dlatego, by uzyskać najlepszy dźwięk, powinny być odpowiednio dobrane. W przypadku triod ECC83 mierzymy napięcia na rezystorach katodowych i na anodach lamp pracującego wzmacniacza. Jeżeli nie różnią się o więcej niż 5%, to przyjmuje się, że są odpowiednio dobrane. Zwykle trzeba kupić o 1-2 więcej lamp, by móc wybrać odpowiednią parę.

Nieco trudniejsza jest sprawa z pentodami mocy EL84. Jeżeli nie kupiliśmy tzw. „parowanych” lamp, czyli dobranych w pary o jednakowych parametrach, to po włożeniu lamp do wzmacniacza i włączeniu zasilania powinniśmy zmierzyć ich prądy katodowe. Po kilkunastu minutach, gdy prądy się ustabilizują, mierzymy spadek napięcia na rezystorach katodowych każdej lampy (R14, R15). Znając ich wartość, łatwo obliczymy prąd katodowy każdej lampy ( $I=U/R$ , oczywiście). Powinien wynosić około 41mA w każdej lampie. Prąd katodowy w pentodzie jest sumą prądu anodowego, który powinien wynosić ok.36mA i prądu siatki drugiej (S2), którego prawidłowa wartość

to ok. 5mA. W każdej parze lamp prąd katodowy powinien być podobny. Jeżeli prądy poszczególnych lamp zbyt różnią, możemy próbować dobrać je tak, by otrzymać dwie pary o zbliżonych parametrach. Pewnych regulacji prądu katodowego możemy dokonać, stosując jeden z rezystorów katodowych o mniejszej lub większej wartości, w zależności od potrzeby. Zdarzają się sytuacje, kiedy w danej parze prądy są równe, ale różnice występują pomiędzy parami. Pomaga wtedy regulacja rezystorami katodowymi poszczególniej pary.

### Badanie wzmacniacza

Wzmacniacz po zmontowaniu i uruchomieniu powinien być przebadany nie tylko na słuch, pod względem jakości dźwięku, ale także pod względem parametrów elektrycznych. Dobieranie lamp, by prądy katodowe były jednakowe, jest stosunkowo proste, do pomiarów wystarczy dobry woltomierz na wysokie napięcie.

By uzyskać więcej wiadomości na temat naszego wzmacniacza, będzie potrzebny generator i oscyloskop. Ponieważ badanie wzmacniacza to dość obszerny temat, zainteresowanych odsyłam do artykułu Piotra Góreckiego „Generator funkcji w praktyce”, EdW 6/97.

### Możliwe ulepszenia

Można zautomatyzować opóźnione włączenie napięcia anodowego za pomocą układu czasowego i przekaźnika przystosowanego do przełączania wysokich napięć.

We wzmacniaczu zastosowałem tylko jedną parę gniazd wejściowych. Oczywiście można zastosować ich więcej i wielopozycyjnym, podwójnym przełącznikiem przełączać parę.

Wewnątrz obudowy wiele elementów wydziela ciepło, można zastosować cichy wentylator poprawiający chłodzenie.

Ten wzmacniacz jest w zasadzie końcówką mocy o dużym wzmocnieniu. Można go przystosować do współpracy z przedwzmacniaczem, stosując podwójny przełącznik, który pozwoli ominąć potencjometr głośności tak, by sygnał był prowadzony od płytki wprost do gniazd wejściowych.

Kto czuje się na siłach, może próbować stosować elektroniczny potencjometr czy sterowanie głośności pilotem.

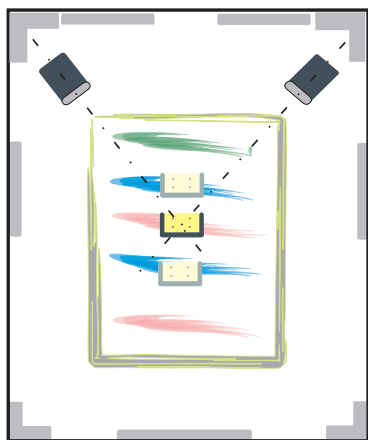
### Odsłuchy

Z niecierpliwością czekamy na chwilę, gdy będzie można posłuchać, jak gra zbudowany przez nas wzmacniacz. Ale zanim przystąpimy do poważnych odsłuchów czy testów porównawczych różnych wzmacniaczy, musimy sprawić, by warunki odsłuchu były jak najlepsze. Kolumny głośnikowe ustawiamy z dala od ścian tylnych i bocznych. Jeśli to możliwe, od ścian tylnych nie mniej niż 1m, od bocznych



ok. 0,5m. Małe kolumny stawiamy na solidnych podstawkach o takiej wysokości, by głośnik wysokotonowy znajdował się na wysokości naszych uszu.

Kolumny kierujemy do środka tak, żeby osie przechodzące przez nie tworzyły trójkąt równoboczny. Fotel ustawiamy w wierzchołku tego trójkąta. Tam będziemy mieli najlepszy odsłuch. Jednak ciekawe efekty możemy także uzyskać przysuwając nieco fotel lub odsuwając go od kolumn (rysunek 9).



Rys. 9

Pokój nie powinien być zbyt pusty, ponieważ duże płaszczyzny odbijają dźwięk, powodując nieprzyjemne efekty wywołane rezonansem pomieszczenia. Dobrze, gdy pokój jest umiarkowanie meblowany, z dywanem na podłodze, zasłonami na oknach itp. W narożnikach pokoju, gdzie często powstają

fale stojące, słyszalne jako „dudniący” dźwięk o pewnych częstotliwościach, można postawić duże rośliny czy meble o urozmaiconej powierzchni. Ścianę za kolumnami można wytłumić np. za pomocą kilimu powieszzonego na ścianie. Uzyskanie dobrej akustyki pokoju jest dość trudną rzeczą, wymaga nieco wiedzy i eksperymentów. Wiele porad na ten temat można znaleźć na stronach internetowych poświęconych tematyce audio. W dobrym odbiorze pomaga przyćmiony pokój i cisza w domu, co pozwoli nam skoncentrować się na słuchanej muzyce. Słyszymy wtedy więcej szczegółów, które zwykle nam umykają.

## Wyrzewanie

Niektórzy kpią sobie z tego, że wzmacniacze czy kolumny trzeba przed odsłuchem „wyrzewać”. W przypadku wzmacniacza lampowego ma to uzasadnienie długim czasem rozgrzewania się lamp i stabilizacją ich parametrów. W przypadku nowego wzmacniacza, lampy „dochodzą” do optymalnych parametrów po kilkunastu-kilkudziesięciu godzinach pracy. Natomiast podczas codziennego słuchania ich parametry stabilizują się po 10-30 minutach od włączenia. Dlatego nie zaleca się zbyt częstego włączania i wyłączania wzmacniacza.

Także kondensatory elektrolityczne dość długo formują się, zwłaszcza te wysokonapięciowe.

Inny charakter ma „wyrzewanie” kolumn. Dotyczy to nowych, świeżo wyprodukowanych głośników. „Wyrzewanie” to nic innego

jak mechaniczne „docieranie” się zawieszona głośników, aż do uzyskania optymalnych parametrów. Zwykle trwa to kilka-kilkanaście dni normalnej eksploatacji kolumn głośnikowych. Potem oczywiście żadne „wyrzewanie” głośników nie jest potrzebne.

## Bezpieczeństwo

We wzmacniaczu lampowym występują wysokie napięcia. Dlatego podczas projektowania i budowy urządzenia musimy zachować pewne procedury, które zapewnią bezpieczeństwo nie tylko podczas prób i testów ale, i w czasie jego późniejszego użytkowania.

Największe zagrożenie niesie obwód zasilania prądem sieciowym. Dlatego przewody zasilające, transformator, gniazda, wyłączniki itp. powinny być dobrej jakości, dostosowane do pracy przy napięciu 230V (dobrze, gdy mają znak CE). Miejsca połączeń powinny być dokładnie izolowane. Najlepiej jeśli zasilanie sieciowe tworzy oddzielny, odpowiednio izolowany obwód, oddalony od pozostałych elementów układu.

Montaż i wszelkie przeróbki wykonujemy ZAWSZE po wyjęciu wtyczki z gniazdka sieciowego.

**Dotknięcie urządzenia pod wysokim napięciem nie jest groźne pod jednym warunkiem - gdy nie będzie przepływu prądu. Stąd doświadczeni elektronicy tak pracują z urządzeniami pod napięciem, by ciało nie tworzyło obwodu zamkniętego. Jednym słowem pracują „z jedną ręką w kieszeni”.**

Przed uruchomieniem urządzenia należy sprawdzić prawidłowość lutowania kondensatorów elektrolitycznych (plus do plusa, minus do minusa). Odwrotnie wlutowanie kończy się najczęściej wybuchem kondensatora.

Urządzeń nieprzetestowanych w dłuższym okresie nie należy pozostawiać włączonych bez opieki.

Metalowa obudowa urządzenia powinna być uziemiona, kabel zasilający i gniazdko sieciowe powinny mieć sprawny obwód uziemienia.

**Proponowany wzmacniacz jest dość trudny i kosztownym przedsięwzięciem. Występują w nim wysokie, niebezpieczne dla zdrowia napięcia. Dlatego nie polecam go niedoświadczonym elektronikom. Niepełnoletni konstruktorzy powinni go budować za zgodą i pod opieką dorosłych.**

**Przypominam jeszcze raz:**

**Bądź ostrożny!**  
**Zawsze pracuj uważnie i z wyobraźnią.**  
**We wzmacniaczu występują wysokie napięcia. Wszelkich regulacji dokonuj przy wyłączonym zasilaniu i po rozładowaniu kondensatorów wysokonapięciowych.**  
**Lampy i niektóre rezystory rozgrzewają się do wysokiej temperatury.**  
**Łatwo o poparzenie.**

## Wykaz elementów

### Wzmacniacz (jeden kanał)

#### Rezystory

(jeśli nie podano mocy, to 0,25W)

R1,R8,R15,R14	1kΩ
R2	330kΩ
R3	470Ω
R4	2,2kΩ
R5,R11	150kΩ
R6	470kΩ
R7	530kΩ
R9	1MΩ
R10	2,7kΩ
R12,R13	470kΩ
R16,R17	220Ω/2W (dobrac)
R18,R19	1kΩ
R20	30k-50kΩ/0,5W (dobrac)
R21	25-40kΩ (dobrac)
P	potencjometr 50kΩ/B

#### Kondensatory

C1,C6	100nF/63V (opcjonalnie)
C2,C7	100μF/16V
C3	100nF/400V
C4	22μF/400V
C5	47nF/400V
C7,C8	100nF/400V
C9	50-100pF
C10,C11	220μF/25V
C12,C13	470nF/63V (opcjonalnie)

#### Lampy

L1 i L2 - ECC83	1 szt. na kanał, łącznie 2 szt.
L3, L3 - EL84	2 szt. na kanał, łącznie 4 szt.
Transformator głośnikowy 17W	- 2 szt.
Podstawki lampowe typu „noval”	- 6 szt.

#### Zasilacz

Rezystory	
R22	10-20Ω/2W
R23	270kΩ/0,5W
R24,R25	50-120Ω/5-10W (dobrac rezystancję i moc)
R26	270kΩ/0,5W
R27,R28	100Ω
R29	1kΩ

#### Kondensatory

C13,C14,C15	220μF/450V
C14	220μF/400V
C16	100nF/400V
D	dioda elektroluminescencyjna, dwukolorowa
CON	- złącza zaciskowe, na wkręty lub podobne
Transformator zasilający 100W	
Wyłącznik sieciowy	
Wyłącznik podwójny, 2-pozycyjny	
Obudowa bezpiecznika	
Gniazdko sieciowe IEC	
Obudowa, kabel sieciowy, drobny sprzęt montażowy, tulejki dystansowe itp.	

Płytką drukowaną jest dostępna w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2754

Stanisław Chrzyszcz