

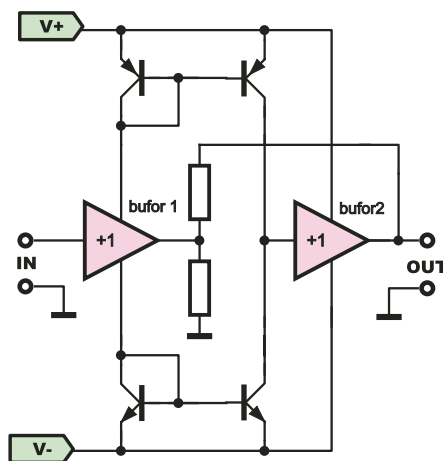
Audiofilski Wzmacniacz słuchawkowy z prądowym sprzężeniem zwrotnym

Dość często pojawiają się publikacje wzmacniaczy słuchawkowych, jednak w większości przypadków są one oparte na specjalizowanych układach scalonych, co dość skutecznie uniemożliwia eksperymentowanie z układem. Prezentowany wzmacniacz, mimo prostoty, ma kilka nietypowych cech: JFET-owy stopień wejściowy, stałoprądowe sprzężenie zwrotne i bufor wyjściowy w klasie A. Sprawia to, że każdy użytkownik może sam decydować o brzmieniu, zarówno poprzez zmianę półprzewodników na inne, ingerencję w sprzężenie zwrotne czy przesunięciu punktów pracy poszczególnych stopni.

Opis układu

Rysunek 1 przedstawia uproszczony schemat ideowy wzmacniacza. Zasada działania jest dość prosta. Podając napięcie na wejście, wywołujemy wzrost napięcia na wyjściu bufora 1, a co za tym idzie, zwiększenie prądu w dodatniej lub ujemnej gałęzi zasilania rozpa-

trywanego bufora. Prąd ten, dzięki lustrum prądowym zbudowanym z tranzystorów bipolarnych, jest powtarzany w drugim



Rys. 1 Uproszczony schemat ideowy wzmacniacza

stopniu. Tylko ten stopień posiada wzmocnienie napięciowe i tutaj następuje zamiana prądu na napięcie. Bufor 2-ma za zadanie dostarczyć prąd o większej wartości do obciążenia (słuchawki). Rezystory zapewniają prądowe sprzężenie zwrotne, napięcie na wyjściu wzmacniacza rośnie (maleje) tak długo, dopóki nie wytworzy się stan równowagi, czyli napięcie na wyjściu bufora 1-nie będzie równe napięciu wejściowemu.

Rysunek 2 przedstawia kompletny schemat wzmacniacza. Układ jest prawie w całości symetryczny, z wyjątkiem pierwszego stopnia. Kondensator C1 oddziela ewentualną składową stałą występującą na wyjściu źródła sygnału, a rezystor R1 ustala rezystancję wejściową. Tranzystory polowe T1 i T2 wraz z rezystorami R6, R7, R10 i potencjometrem P1 tworzą bufor (bufor 1 z rysunku 1). Taka konfiguracja jest rzadko spotykana w układach audio, ale sprawdza się dobrze. T1 i T2 powinny być dobrane w parę (jak najbardziej zbliżone parametry).

try), P1 służy do wyzerowania napięcia stałego na wyjściu. Tranzystory T3 i T5 (również dobrane w parę) są główną częścią lustra prądowego w dodatniej gałęzi zasilania, R2 i R4 poprawiają parametry lustra – dodatkowo zmniejszają wrażliwość na zmiany temperatury. Analogicznie zbudowane jest lustro z elementów T4, T6, R3, R5. Rezystor R8 wprowadza lokalne sprężenie zwrotne w stopniu wzmacnienia napięciowego. Bufor wyjściowy (bufor 2 z rysunku 1) jest zbudowany klasycznie. Tranzystory T7 i T8 pracują jako źródła prądowe ustalające prąd tranzystorów T9 i T10, prąd spoczynkowy tranzystorów mocy wyznacza stosunek wartości rezystancji R14–R16 i R15–R17. Temperaturowe zmiany napięcia baza–emiter T11 i T12 są kompensowane przez T9, T10. Prądowe sprężenie zwrotne jest realizowane przez R13, który wraz z R9 tworzą dzielnice i redukują wzmacnienie całego układu do około 5,5x.

Rysunek 3 to schemat zasilacza, jest on typowy. Prostownik to tylko dwie diody D1, D2 połączone w podwajacz napięcia (jednopołówkowy), R1 i R2 zabezpieczają D1 i D2 przed dużym prądem mogącym wystąpić podczas ładowania kondensatorów. Napięcie wyjściowe, wyznacza stosunek rezystorów R3–R4 (V+) i R5–R6 (V–), kondensatory C5, C6 zwiększają współczynnik tłumienia tętnień. W przypadku zwarcia któregoś z wyjść zasilacza C5 i C6 zostają szybko rozładowane przez diody D3, D4. Kondensatory C1–C4 i C7–C10 odsprężają zasilanie.

Montaż i uruchomienie

Układ można zmontować na płytkach drukowanych pokazanych na **rysunkach 4 i 5**. Rysunek 4 przedstawia jeden kanał wzmacniacza, natomiast rysunek 5 prezentuje zasilacz. Układ modelowy wzmacniacza nieco się różni, ponieważ dwa kanały zostały zmontowane na jednej płytce drukowanej. W skład kitu AVT-2850 wchodzi dwie płytki wzmacniaczy i płytka zasilacza.

Jeśli chodzi o montaż, to jest on typowy: zaczynamy od rezystorów, następnie montujemy kondensatory i tranzystory. Tranzystory T1–T2, T3–T5, T4–T6 łączymy parami klejem „kropelkopodobnym” lub za pomocą odcinków rurki termokurczliwej. Tranzystory T11, T12 przykręcamy do radiatora z użyciem pasty przewodzącej ciepło. T9 i T10 również powinny mieć pewny kontakt z radiatorem żeby tak było, dociskamy je kawałkiem odpowiednio ukształtowanej blaszki (+pasta). Jeśli użyjemy do tego celu sztywnego kawałka aluminium (tak jak w układzie modelowym), należy między nim a tranzystorami umieścić kawałek miękkiego tworzywa np. dętki, aby nie dopuścić do powstania naprężeń

w małych obudowach TO92. Stabilizatory zasilacza także muszą mieć odpowiednie chłodzenie.

Zasilacz po zmontowaniu powinien pracować od razu poprawnie.

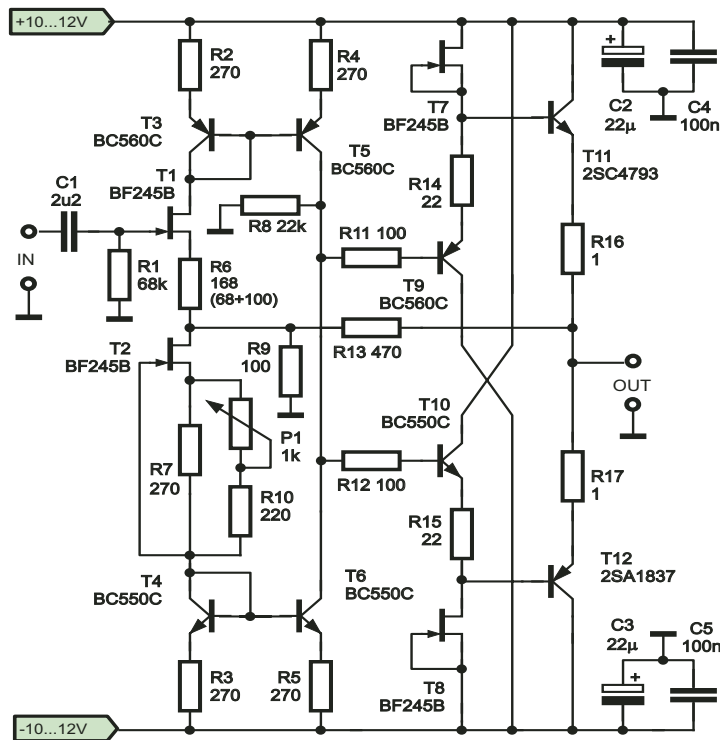
Przed podłączeniem wzmacniacza należy ustawić ślizgacz potencjometru P1 w środkowym położeniu. Po włączeniu zasilania, kręcąc P1, ustawiamy 0V na wyjściu. Prąd spoczynkowy sprawdzamy, mierząc napięcie na rezystorach R16, R17 (powinno być około 200mV). Po upływie 15 minut, gdy wzmacniacz osiągnie właściwą temperaturę pracy, dokonujemy korekty napięcia stałego na wyjściu.

Możliwości zmian

Warto zastosować wszystkie rezystory 1% (metalizowane). Można poeksperymentować z wejściowymi tranzystorami JFET i zastosować jakies przeznaczone do audio np. 2SK117, 2SK170 lub jeszcze lepiej monolityczny podwójny np. 2SK389. Przy takich zmianach należy uwzględnić ich charakterystyki i zmienić wartości rezystorów R6, R7, R10 i P1. Tranzystory wyjściowe T11 i

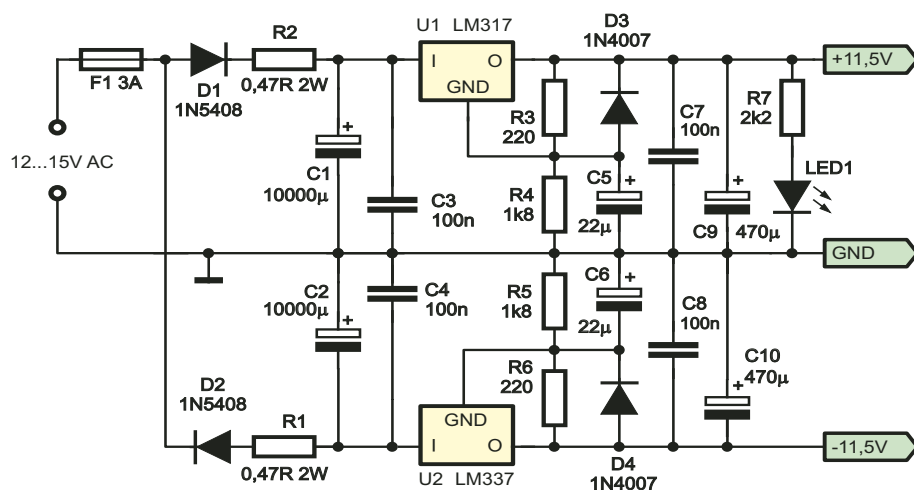
T12 również można zastąpić innymi, najlepiej o dużym wzmacnieniu i mocy co najmniej 10W. Tranzystorów BC550/560 nie warto wymieniać, bo są to jedne z lepszych na naszym rynku. Słuchawki możemy podłączyć dopiero kilka minut po włączeniu wzmacniacza (stabilizacja punktu pracy). Jeśli komuś ta niedogodność bardzo przeszkadza, może w szereg ze słuchawkami włączyć odpowiednio dobrany kondensator, który skutecznie odetnie składową stałą. Lepszym rozwiązaniem może być dobudowanie układu DC-serwo.

Wzmacniacz został zaprojektowany z myślą o obciążeniu powyżej 32Ω, jednak jak się okazało podczas testów, zupełnie dobrze radzi sobie z głośnikami 8Ω.



Rys. 2 Schemat ideowy wzmacniacza

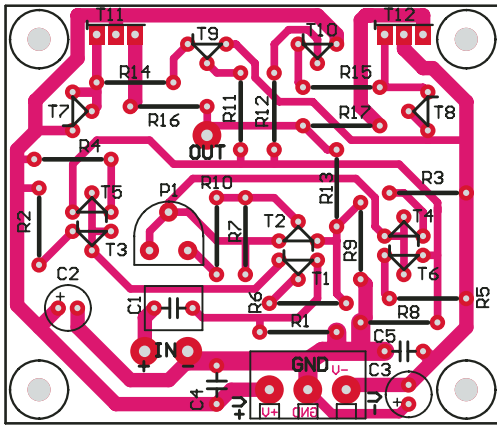
Rys. 3 Schemat ideowy zasilacza



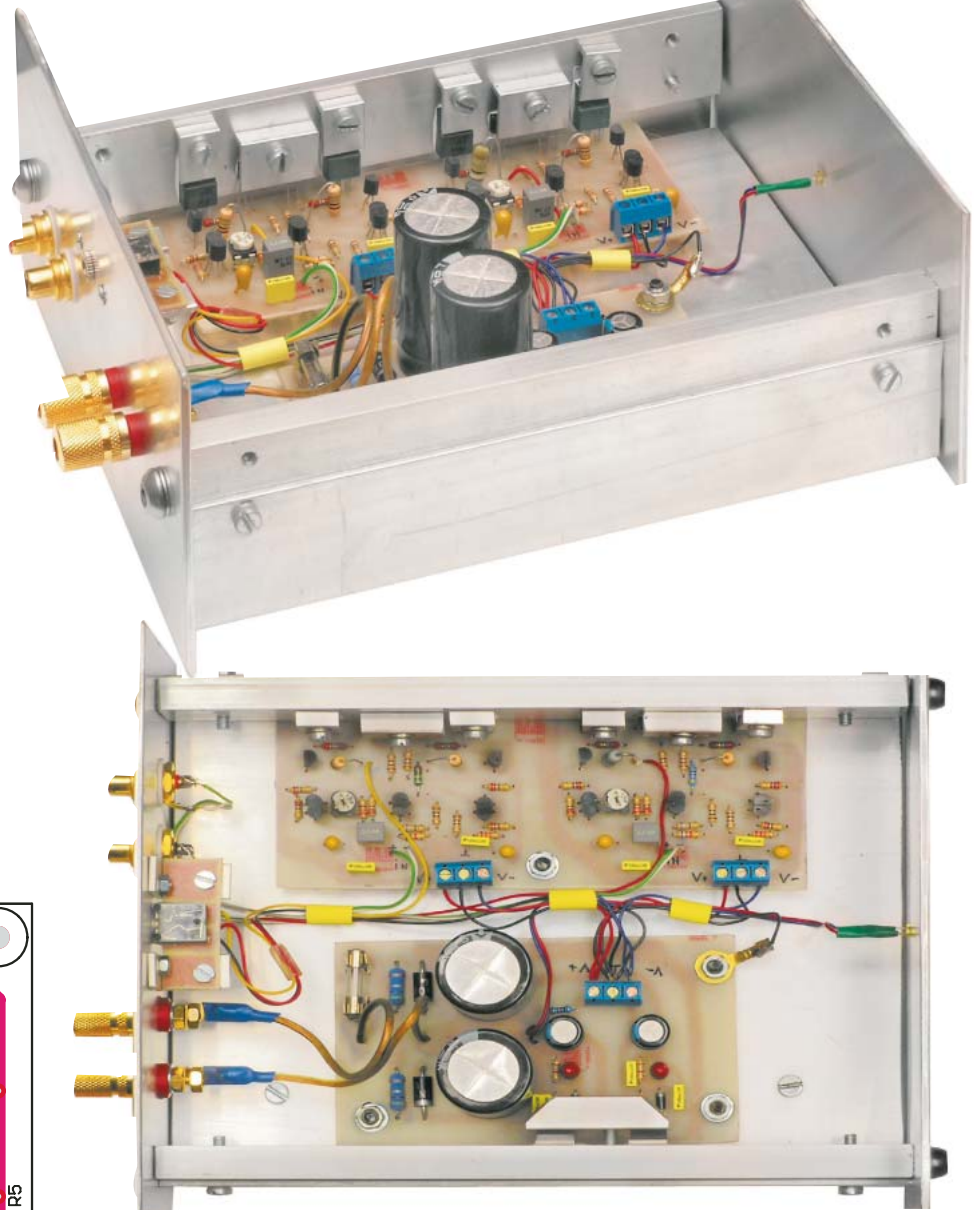
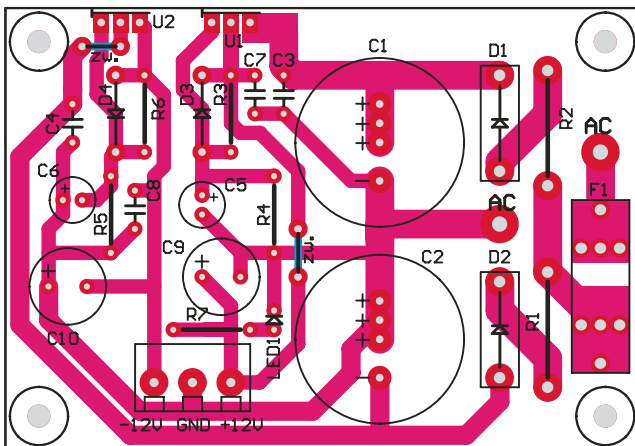
Większość producentów słuchawek przewiduje, że ich produkty będą współpracować ze wzmacniaczami mającymi szeregowy rezystor na wyjściu, dlatego polecam sprawdzić wpływ takiego rezystora (10...100Ω) na dźwięk. W modelu jako radiator służy obudowa wykonana z 2,5mm aluminium i wymiarach 20x15x8cm. Obudowa powinna mieć otwory wentylacyjne w dolnej i górnej pokrywie (w modelu jeszcze ich nie ma). Do zasilania układu można użyć zasilacza wtyczkowego lub jakiegokolwiek transformatora o mocy minimum 20W i przemiennym napięciu wyjściowym 12...15V (biorąc pod uwagę specyfikację naszej sieci energetycznej, lepiej trzymać się wyższych napięć zasilania).

Jerzy Gołaszewski
jego@plusnet.pl

Rys. 4 Schemat montażowy wzmacniacza (1 kanał)



Rys. 5 Schemat montażowy zasilacza



Wykaz elementów

Wzmacniacz (1kanał)

Rezystory

- R1 68kΩ
- R2-R5,R7 270Ω
- R6 168Ω (100Ω+68Ω)
- R8 22kΩ
- R9,R11,R12 100Ω
- R10 220Ω
- R13 470Ω
- R14,R15 22Ω
- R16,R17 1Ω
- P1 1kΩ (PR)

Kondensatory

- C1 2,2μF
- C2,C3 22μF
- C4,C5 100nF

Półprzewodniki

- T1,T2,T7,T8 BF245B
- T3,T5,T9 BC560C

- T4,T6,T10 BC550C
- T11 2SC4793
- T12 2SA1837

Zasilacz

Rezystory

- R1,R2 0,47Ω 2W
- R3,R6 220Ω
- R4,R5 1,8kΩ
- R7 2,2kΩ

Kondensatory

- C1,C2 10 000μF
- C3,C4,C7,C8 100nF
- C5,C6 22μF
- C9,C10 470μF

Półprzewodniki

- D1,D2 1N5408
- D3,D4 1N4007
- LED1 dowolna LED
- U1 LM317
- U2 LM337

Komplet podzespołów z płytkami (dwa kanały + zasilacz) są dostępne w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2850.