



Wzmacniacz słuchawkowy klasy A

Do czego to służy?

Opublikowany przed kilkoma miesiącami wzmacniacz mocy klasy A cieszy się zainteresowaniem wielu Czytelników, którzy chcą osobiście poznać właściwości tego typu wzmacniaczy. Jednocześnie okazało się, że spora grupa chętnych zrezygnowała z prób budowy takiego układu ze względu na konieczność zastosowania dużych radiatorów i transformatora. Miniankieta wykazała, iż istnieje duże zapotrzebowanie na podobny układ, mający mniejszą moc – konkretnie na wzmacniacz słuchawkowy klasy A.

Niniejszy artykuł prezentuje taki wzmacniacz. Pomimo prostoty, a właściwie dzięki prostocie, łączy on w sobie zalety układów audiofilijskich.

Po pierwsze jest to najprawdziwszy wzmacniacz klasy A, gdzie w czasie pracy prądy tranzystorów nigdy nie maleją do zera.

Po drugie do jego budowy wykorzystano wyłącznie tranzystory mocy MOSFET, chętnie stosowane w tego typu konstrukcjach.

Po trzecie w układzie wykorzystano jedynie lokalne sprzężenie zwrotne, nie stosując pętli globalnego ujemnego sprzężenia zwrotnego, będącego przyczyną różnych niekorzystnych zjawisk.

Zaprezentowany układ doskonale nadaje się do przeprowadzenia subiektywnych testów dotyczących jakości i brzmienia wzmacniaczy klasy A. Jak wiadomo, wzmacniacze te mają często znaczne zniekształcenia, a mimo to są uważane za dobre, czy nawet znakomite.

Opisany dalej układ może być wykonany przez każdego, nawet przez początkującego elektronika, a wyczerpujący opis umożliwi wprowadzenie zmian i dobranie różnych warunków pracy. Fotografie wskazują, że jest to wdzięczny temat do eksperymentów - model zmontowano bowiem na kawałku płytki uniwersalnej.

Jak to działa?

Schemat ideowy jednego kanału wzmacniacza słuchawkowego klasy A pokazany jest na **rysunku 1**. Sygnał podawany jest przez kondensator C1 na bramkę MOSFET-a T1. Tranzystor ten wzmacnia sygnał trzykrotnie (wzmocnienie wyznaczone jest przez stosu-



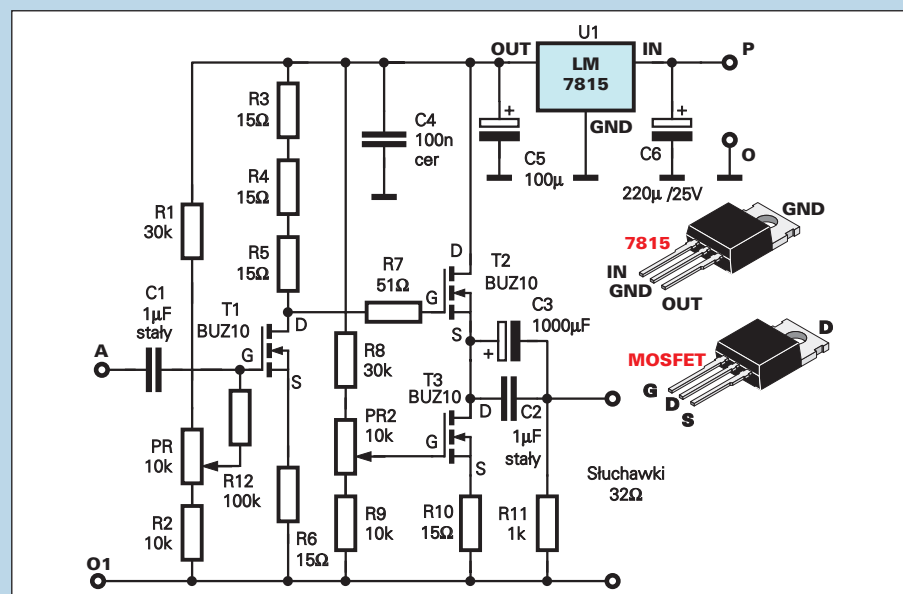
nek $R3+R4+R5 / R6$). Takie wzmocnienie całkowicie wystarczy, by wzmacniacz łączyć wprost do liniowego wyjścia odtwarzacza kompaktów, minidysków czy magnetofonu. W układzie wykorzystano trzy jednakowe rezystory $R3..R5$ zamiast jednego o wartości 47Ω tylko ze względu na moc strat, wynoszącą w sumie $450mW$. Oczywiście można tu zastosować jeden rezystor 47Ω $0,5W$.

Wzmocniony trzykrotnie sygnał z drenu T1 podawany jest na bramkę tranzystora T2, który pracuje jako wtórnik. Rezystor R7 o niewielkiej wartości dodano na wszelki wypadek, by zmniejszyć podatność do samowzbudzenia na wysokich częstotliwościach. Aby zmniejszyć zniekształcenia, obciążeniem wtórnika T2 nie jest rezystor, tylko źródło prądowe zrealizowane w oparciu o tranzystor T3.

Aby na wyjście nie przenikały "śmieci" z obwodów zasilania, napięcie zasilające musi być dobrze stabilizowane. Wystarczy tu typowy stabilizator 7815, ale kto chce, może zastosować nieco lepszy LM317 (plus dwa rezystory). Napięcie zasilające równe $15V$ wystarczy z powodzeniem do uzyskania mocy wyjściowej większej niż $100mW$ na typowej dla słuchawek rezystancji 32Ω . A wzmacniacz słuchawkowy większej mocy mieć nie musi. Ze względu na spadek napięcia na stabilizatorze, napięcie na kondensatorze C6 nigdy nie powinno być niższe niż $17V$.

Aby uzyskać moc $100mW$, prąd stopnia końcowego, czyli prąd spoczynkowy tranzystorów T2, T3 powinien wynosić $100mA$ lub więcej. Choć nie jest to konieczne, również

Rys. 1



tranzystor T1 pracuje przy takim, stosunkowo dużym prądzie.

O prądach spoczynkowych T1 oraz T2+T3 decydują zarówno wartości rezystorów R6, R10, jak i napięcia na bramkach T1, T3. Potencjometry montażowe PR1, PR2 trzeba tak ustawić, by prąd spoczynkowy wywoływał na rezystorach R6 i R10 spadek napięcia równy 1,5V. Jeśli rezystory te będą mieć wartość 15Ω, nastąpi to przy prądzie spoczynkowym 100mA. Cały wzmacniacz, a właściwie jeden kanał wzmacniacza stereo będzie więc pobierał prąd około 200mA. Przy całkowitym poborze prądu rzędu 400mA, stabilizator U1 zasilający oba kanały powinien mieć radiator.

W układzie modelowym prądy zastosowano rezystory o wartości 22Ω, więc przy napięciu 1,5V prądy spoczynkowe tranzystorów wynoszą około 70mA - okazało się, że taka wartość wystarczy do uzyskania potrzebnej głośności.

Co ważne, przy prądzie 100mA i zasilaniu napięciem 15V, tranzystory nie wymagają dodatkowych radiatorów. Wprawdzie w trakcie pracy są bardzo ciepłe, a nawet gorące, ale śmiało mogą pracować w takich warunkach. Mały radiator w postaci blaszki o powierzchni kilkunastu centymetrów kwadratowych może być potrzebny tylko dla stabilizatora U1, zwłaszcza gdy będzie on zasilal dwa identyczne wzmacniacze, a napięcie na kondensatorze C6 będzie dużo większe niż 15V.

Taką najprostszą wersję może wykonać i sprawdzić dosłownie każdy. Montaż może być wykonany w różny sposób, niekoniecznie na specjalizowanej płytce drukowanej. Z powodzeniem można wykorzystać montaż przestrzenny (tzw. pająk) albo, jak w modelu, płytkę uniwersalną.

Wykaz elementów

Rezystory

R1,R8	.....	30kΩ
R2,R9	.....	10kΩ
R3-R6,R10	.....	15...22Ω
R7	.....	47...51Ω
R11	.....	1kΩ
R12	.....	100kΩ
PR1, PR2	.....	10kΩ

Kondensatory

C1,C2	.....	1μF foliowy MKT
C3	.....	1000μF/16V
C4	.....	100nF ceramiczny
C5	.....	100...220μF/16V
C6	.....	220...1000μF/25V

Półprzewodniki

T1...T3	.....	BUZ10 (BUZ11, IRF530, IRF540)
U1	.....	7815

Komplet podzespołów jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2464B

Jak wspomniano, układ znakomicie nadaje się do eksperymentów i testów. Na pewno warto zwiększyć prąd spoczynkowy T2, T3 i sprawdzić, czy wpłynie to w jakikolwiek sposób na odczuwaną subiektywnie jakość dźwięku. Przy większym prądzie spoczynkowym maksymalna moc wyjściowa wzmacniacza będzie większa (do 400mW), a zniekształcenia nieliniowe - mniejsze.

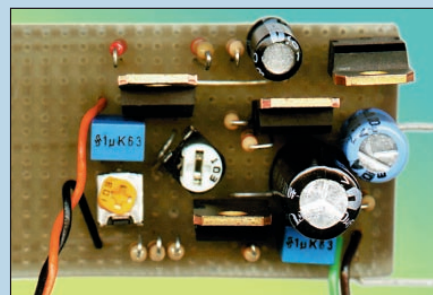
Przy prądach większych niż 100mA tranzystory trzeba będzie wyposażyć w niewielkie radiatory z kawałków blachy.

Uwaga! Ponieważ wkładka radiatorowa każdego z tranzystorów ma inny potencjał, należy zastosować oddzielne radiatory, a nie jeden wspólny (w przypadku wspólnego radiatora trzeba zastosować mikowe lub silikonowe podkładki izolacyjne).

Aby zwiększyć prąd spoczynkowy tranzystorów T2, T3, należy zmniejszyć wartość rezystora R10 (2,2Ω...12Ω), przy czym napięcie na tym rezystorze, ustawiane za pomocą PR2 powinno wynosić 1...2V. Można też zwiększyć prąd T1, zmniejszając proporcjonalnie wartości R3...R6. Przy prądach większych niż 150mA należy też sprawdzić, jaka moc będzie się wydzielala na tych rezystorach (w razie potrzeby można łączyć je szeregowo lub równolegle).

W tym miejscu trzeba jasno przyznać, że opisywany prosty układ, jak każdy tego typu, będzie wprowadzał pewne niewielkie zniekształcenia. Będą to jednak harmoniczne parzyste, dobrze tolerowane przez ludzkie ucho. Sytuacja jest tu podobna jak we wzmacniaczach lampowych, które jak wiadomo mają zadziwiająco duże zniekształcenia nieliniowe (przede wszystkim właśnie parzyste harmoniczne), a jednak są uznawane przez audiofilów za niedościgny wzór.

Zniekształcenia te można znacznie zmniejszyć, usuwając stopień wejściowy z tranzystorem T1 i podając sygnał przez



kondensator C1 bezpośrednio na bramkę T2 (trzeba też spolaryzować bramkę T2 napięciem stałym o wartości około 10V, na przykład za pomocą dwóch rezystorów 47kΩ i 100kΩ). Układ pokazany na **rysunku 2** będzie miał wzmocnienie równe 1. Może się okazać, że to wystarczy, zwłaszcza w przypadku sygnału z odtwarzacza kompaktów, który jest zwykle duży, znacznie przekracza 1Vsk i w wielu wypadkach wystarczy do uzyskania przyzwoitej głośności dźwięku w słuchawkach. Naprawdę warto wypróbować taką uproszczoną, dwutranzystorową wersję.

Montaż i uruchomienie

Montaż wzmacniacza nie powinien sprawić kłopotów. Jak wspomniano, można wykorzystać montaż przestrzenny (tzw. pająk) lub płytkę uniwersalną. W każdym przypadku należy zwrócić uwagę na to, by połączenia były możliwie krótkie, a obwody masy - krótkie i grube.

Jeden stabilizator U1 może z powodzeniem zasilac dwa kanały wzmacniacza. Trzeba go tylko wyposażyć w odpowiedni radiator.

W układzie modelowym wykorzystano tranzystory BUZ10 i BUZ11. Dociekliwi Czytelnicy mogą sprawdzić, czy inne popularne tranzystory, na przykład HEXFET-y IRF530 lub IRF540, zapewnią lepszy dźwięk.

Warto też sprawdzić, czy zmiana prądu spoczynkowego T2, T3 uzyskana przez zmianę wartości R10, wpływa w jakimkolwiek stopniu na jakość dźwięku.

Zmontowany układ należy wyregulować. Przed włączeniem pełnego napięcia zasilającego należy ustawić PR1, PR2 na minimum napięcia - wtedy po włączeniu pełnego napięcia zasilania na rezystorach R6, R10 napięcie będzie równe zero. Następnie należy pomalutku pokręcać PR1 i PR2 i ustalić na R6, R10 napięcia równe 1,5V (1,4...1,6V). Tak wyregulowany układ jest gotowy do pracy.

Piotr Górecki

Rys. 2

