

Altare - wzmacniacz audio dla audiofili

AVT-5000

PROJEKT
Z OKŁADKI



Przedstawiamy konstrukcję zwykłego-niezwykłego wzmacniacza mocy, który wypełnia pewną lukę na rynku urządzeń audio: jego brzmienie i parametry pozwalają zakwalifikować go do grupy konstrukcji audiofilskich, ale bardzo duża moc wyjściowa i spore wymiary sugerują zastosowania estradowe. Sukces pomogli nam osiągnąć konsultanci z działu aplikacji audio firmy Toshiba. Oceńcie sami!

Parametry wzmacniacza Altare (wykonanie modelowe):

- X moc wyjściowa dla obciążenia 4Ω: 450W,
- X moc wyjściowa dla obciążenia 8Ω: 300W,
- X czułość dla maksymalnej mocy wyjściowej i obciążenia 4Ω: 1,27V,
- X czułość dla maksymalnej mocy wyjściowej i obciążenia 8Ω: 1,5V
- X pasmo przenoszenia 3dB: 18Hz..72kHz,
- X pasmo przenoszenia 1dB: 27Hz..53kHz,
- X dynamika (S/N): 92dB.

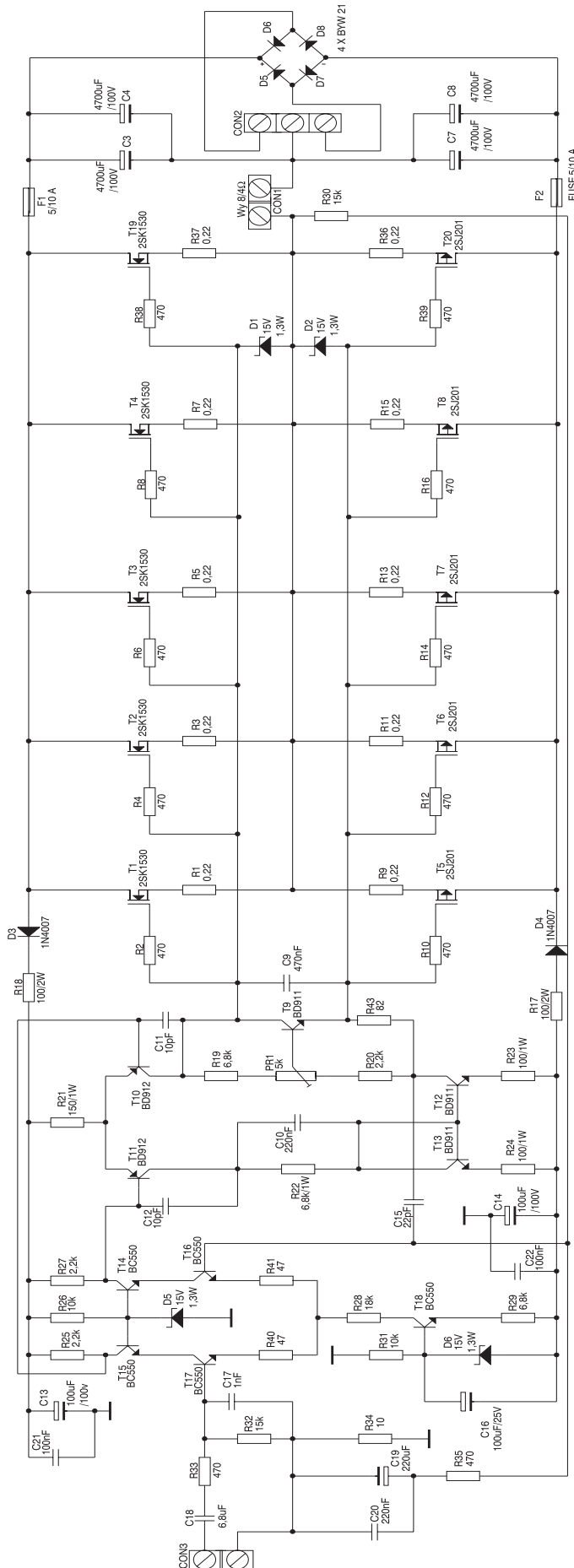
Opracowanie wzmacniacza o mocy wyjściowej większej niż 100W jest nie lada wyzwaniem dla konstruktora, ponieważ oprócz klasycznych problemów, jakie można napotkać podczas wykonywania typowych urządzeń elektronicznych, należy jeszcze pamiętać o zjawiskach związanych z wysokoprądową „naturą” tego układu. Jednym z najważniejszych elementów takiego wzmacniacza jest dobrze zaprojektowana płyta drukowana, której ścieżki muszą sobie poradzić z prądami o natężeniu dochodzącym do dziesiątek amperów. Ponieważ w naszym zespole dotychczas nie mieliśmy konstruktorów doświadczonych w tego typu opracowaniach, poprosiliśmy o pomoc inżynierów firmy Toshiba, dzięki którym projekt powstał w niecałe 4 tygodnie.

Przemyślany i starannie dopracowany układ elektryczny wzmacniacza charakteryzuje się pełną symetrią przesyłania sygnału począwszy od wejścia aż po stopień końcowy. Pozwala to dość znacznie ograniczyć występowanie jakichkolwiek zniekształceń.

Opis układu

Układ elektryczny wzmacniacza należy do klasycznych. Ma dwustopniowy, różnicowy przedwzmacniacz wejściowy i symetryczny wyjściowy wzmacniacz mocy, w którym zastosowano pięć par komplementarnych tranzystorów mocy HEXFET. Schemat elektryczny wzmacniacza przedstawiono na rys. 1.

Tranzystory T16 i T17 pracują w układzie wzmacniacza różnicowego zasilanego ze źródła prądowego wykonanego na tranzystorze T18. Napięcie na bazie tego tranzystora stabilizuje dioda Zenera D6. Na wejściu wzmacniacza zastosowano prosty filtr dolnoprzepustowy (R33, C17), którego zadaniem jest usunięcie z sygnału wejściowego składowych o wyższych częstotliwościach. Częstotliwość graniczna tego filtra (-3dB) wynosi ok. 600kHz. Z kolei elementy C18, R32 i R33 tworzą filtr górnoprzepustowy o częstotliwości granicznej ok. 1kHz. Ogranicza on składowe sygnału o niższych częstotliwościach. Wydajność



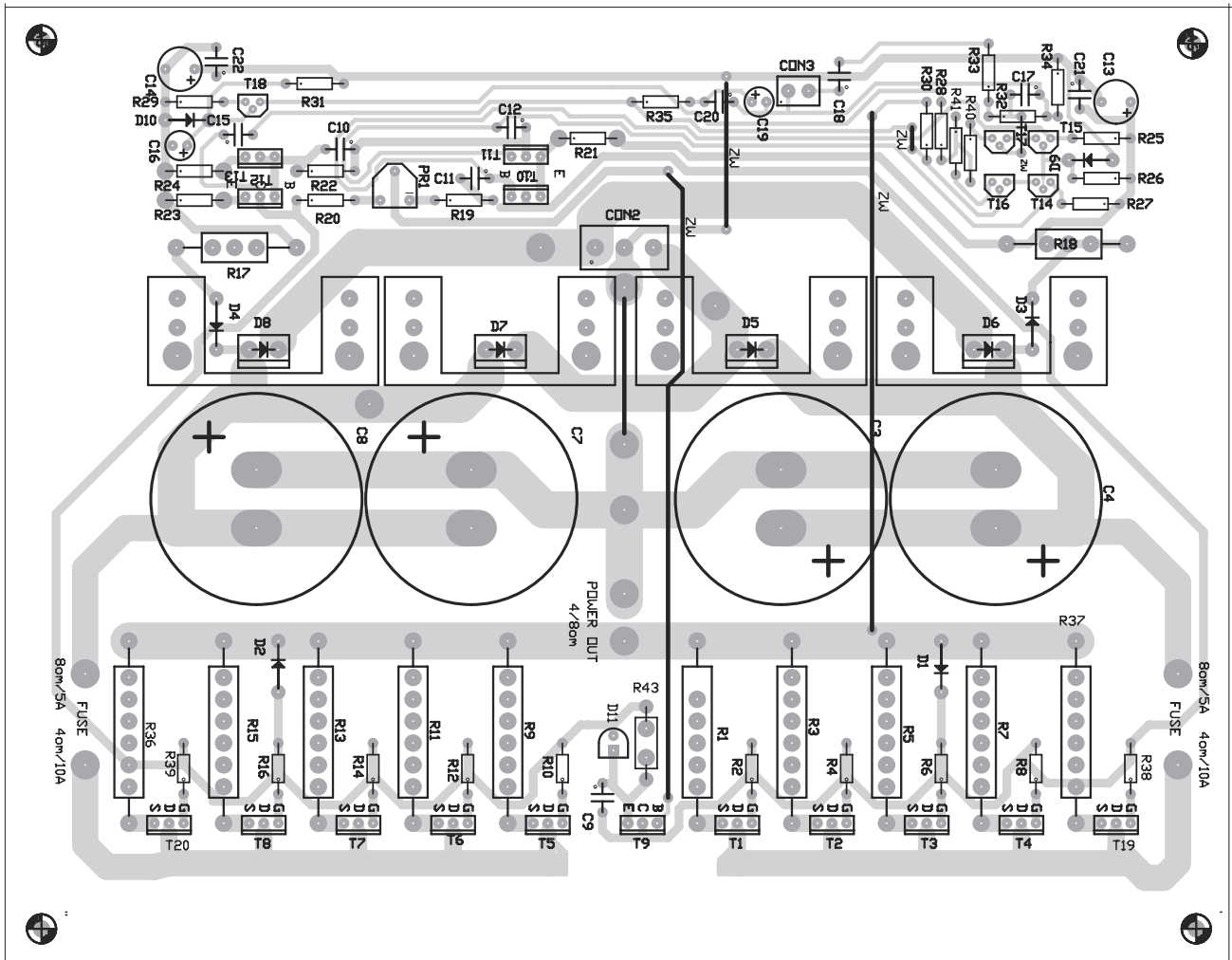
Rys. 1. Schemat elektryczny wzmacniacza.

źródła prądowego z tranzystorem T18 wynosi 2mA.

Obciążeniem wzmacniacza różnicowego są tranzystory T14 i T15 w układzie wspólnej bazy, których najpoważniejszym zadaniem jest dopasowanie impedancji wyjściowej wzmacniacza różnicowego do impedancji wejściowej kolejnego stopnia. Punkt pracy tych tranzystorów został ustalony za pomocą diody Zenera D5, która polaryzuje ich bazy. Tranzystory T10 i T11 spełniają rolę kolejnego stopnia wzmacniającego, którego obciążeniem są stopnie polaryzująco-sterujące końcówkę mocy (T9, T12 i T13). Pomiedzy bazy i kolektory tranzystorów T10 i T11 włączono kondensatory o pojemności zaledwie 10pF, które zapobiegają wzbudzeniu się wzmacniacza. Kondensator C10 włączony równolegle do R22 poprawia jakość odpowiedzi impulsowej wzmacniacza, co ma szczególne znaczenie dla sygnałów wejściowych o kształcie zbliżonym do prostokątnego.

Tranzystor T9 wraz z otaczającymi go elementami służy do poprawnego spolaryzowania stopni końcowych w stanie spoczynkowym. Za pomocą potencjometru P1 wartość prądu spoczynkowego należy ustawić na ok. 100mA na każdą gałąź (komplementarną parę tranzystorów mocy) wzmacniacza. W przypadku wykonania układu w wersji przedstawionej na schemacie z rys. 1, całkowity prąd spoczynkowy końcówki mocy powinien wynosić ok. 530mA.

Wyjściowymi elementami wzmacniacza są, połączone równolegle, unipolarne tranzystory mocy T1..8 oraz T19, T20. Połączone równolegle pary tranzystorów mocy skonfigurowano jako wtórnik napięciowy o bardzo dużej wydajności prądowej (do 20A w impulsie). Z tego powodu wzmocnienie napięciowe uzyskane w dwóch wejściowych stopniach wzmocnienia napięciowego musi być na tyle duże, żeby uzyskać odpowiednio dużą amplitudę napięcia na wyjściu. Współczynnik wzmocnienia zależy od stosunku rezystancji R30/R35 i w prezentowanym przykładzie wynosi 33V/V. Dla osiągnięcia mocy wyjściowej dla sygnału sinusoidalnego ok. 450W na obciążeniu o impedancji 4Ω napięcie



Rys. 2. Rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej.

wejściowe musi mieć wartość ok. 1,27V. Przy obciążeniu 8Ω i napięciu wejściowym 1,5V moc dostarczana do obciążenia dochodzi do 300W.

W źródła tranzystorów mocy włączono rezystory zapobiegające ich uszkodzeniom, które mogłyby wystąpić w wyniku różnic w rezystancjach kanałów włączonych tranzystorów. Rezystory włączone szeregowo z bramkami sterującymi ograniczają szybkość ładowania kondensatora bramkowego, co ogranicza nieco pasmo przenoszenia wzmacniacza, a z drugiej strony, poprzez ograniczenie stromości zboczy sygnałów sterujących, w pewnym stopniu zabezpiecza tranzystory. We wzmacniaczu zastosowano także proste zabezpieczenie przeciążeniowe, które zapobiega zbyt silnemu wysterowaniu tranzystorów mocy. Rolę ograniczników napięcia spełniają diody Zenera D1 i D2, które nie dopuszczają do wzrostu wartości

napięcia między źródłami i bramkami tranzystorów mocy powyżej 15V.

Wzmacniacz zintegrowano z zasilaczem, który składa się z mostka prostowniczego z diodami D5..8 oraz filtrów tętnień z kondensatorami C3, C4, C7 i C8. W modelowym egzemplarzu zastosowano kondensatory o pojemności 4700μF, ale podczas prób okazało się, że należy zastosować kondensatory o znacznie większej pojemności sumarycznej, dochodzącej nawet do 30mF na każdą linię zasilającą. W liniach zasilania zastosowano zwłoczne bezpieczniki topikowe o prądzie zadziałania 10A. Obwody zasilania stopni wejściowych zostały oddzielone od obwodu zasilania końcówek mocy za pomocą szeregowo włączonych diod D3 i D4. Dzięki zastosowaniu tych elementów wpływ spadku napięcia zasilającego, wynikający z dużych obciążeń impulsowych, na pracę

stopnia wejściowego jest stosunkowo niewielki, ponieważ diody działają jak jednokierunkowe zawory przez które ładunek gromadzi się w kondensatorach C13 i C16. Prąd ładowania ograniczają rezystory R17 i R18.

Montaż i uruchomienie

Jak wspomniano na początku artykułu, zaprojektowanie płytki drukowanej do wzmacniacza nie było zadaniem łatwym. Szczególnie dużo uwagi wymagało rozproszanie linii masy i zasilających. Schemat montażowy wzmacniacza przedstawiono na rys. 2.

Montaż wzmacniacza nie jest specjalnie trudny. Należy pamiętać szczególnie o tym, aby tranzystory T10, T11, T12 i T13 wyposażać w niewielkie radiatory, a T9 przymocować do radiatora, na którym są montowane tranzystory końcówki mocy. Radiator tranzystorów mocy powinien być jak największy, zalecana kształtka

to EA1234X o długości 300mm i wysokości min. 100mm.

Podczas dobierania elementów do zestawu jest bardzo ważne, aby nie obniżać nominalnej mocy rezystorów, dla których określono ją na schemacie elektrycznym. Ta sama uwaga dotyczy diod Zenera.

Do uruchomienia wzmacniacza niezbędny będzie transformator o mocy ok. 500W i napięciach na uzwojeniach wtórnych 2x60VAC. Alternatywnym rozwiązaniem mogą być dwa transformatory o mocy po ok. 250..350W z pojedynczymi uzwojeniami wtórnymi o napięciu ok. 60VAC. Podczas dobierania transformatora należy zwrócić uwagę, aby maksymalne napięcie (bez obciążenia) dostarczane do końcówki mocy nie przekraczało 85VDC.

Drugim przyrządem niezbędnym do uruchomienia wzmacniacza jest miernik uniwersalny. Przede wszystkim posłuży on do

zmierzenia napięcia zasilającego wzmacniacz (max. $\pm 85\text{VDC}$). Następnie należy włączyć go szeregowo w obwód zasilania (np. zamiast któregoś z bezpieczników). Za pomocą potencjometru P1 ustalamy prąd spoczynkowy (bez dołączonego obciążenia!) wzmacniacza na ok. 500mA, przy czym pomiar należy wykonać dla pewności w dodatniej i ujemnej gałęzi zasilania. Ostatnim etapem weryfikacji poprawności montażu będzie sprawdzenie napięcia stałego na wyjściu wzmacniacza. Nie powinno być większa od $\pm 200\text{mV}$.

Podczas wstępnych prób najczęściej kłopotów sprawiało (i było najkosztowniejsze) wzbudzenie się wzmacniacza, co prowadziło do niszczenia tranzystorów mocy. Stąd nieco „nadmiarowe“ zabezpieczenia antywzbudzeniowe, w jakie wyposażono wzmacniacz.

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

R1, R3, R5, R7, R9, R11, R13, R15, R36, R37: 0,22 Ω /5W
 R2, R4, R6, R8, R10, R12, R14, R16, R38, R39, R33, R35: 470 Ω
 R17, R18: 100 Ω /2W
 R19: 6,8k Ω
 R20, R25, R27: 2,2k Ω
 R21: 150 Ω /2W
 R22: 6,8k Ω /1W
 R23, R24: 100 Ω /1W
 R28: 18k Ω
 R29: 6,8k Ω
 R30, R32: 15k Ω
 R31: 10k Ω
 R34: 10 Ω
 R40, R41: 47 Ω
 PR1: potencjometr montażowy 4,7k Ω

Kondensatory

C3, C4, C7, C8: 4700 μF /100V
 C9: 470nF
 C10, C20: 220nF
 C11, C12: 10pF
 C13, C14, C16: 100 μF /100V
 C15: 22pF
 C17: 1nF
 C18: 2,2 do 6,8 μF
 C19: 220 μF /25V
 C21, C22: 100nF

Półprzewodniki

D1, D2, D5, D6: D.Z. 15V/1,3W
 D3, D4: 1N4007
 D5..D8: BYW 21
 T1..T4, T19: 2SK1530
 T5..T8, T20: 2SJ201
 T9, T12, T13: BD911
 T10, T11: BD912
 T14..T18: BC550

Różne

ARK 2/500 3,5mm
 ARK2/500
 ARK3/500
 3 oprawy bezpiecznikowe przykręcane do obudowy
 Transformator TST600/2*55V
 Radiator
 Gniazdo Canon
 Gniazdo duży Jack 6,3mm
 Podkładki mikowe



Warianty

Wzmacniacz ma stosunkowo prostą budowę, ale ze względu na zastosowanie dość drogich tranzystorów mocy jest kosztowny. Nie wszystkim naszym Czytelnikom potrzebna będzie tak duża moc wyjściowa, w związku z czym istnieje możliwość wykonania nieco prostszego (i tańszego) wzmacniacza, którego moc spadnie do ok. 200W przy obciążeniu 8Ω i 350W przy obciążeniu 4Ω . Przeróbka jest bardzo prosta, wystarczy bowiem nie montować jednej pary tranzystorów (po jednym z gałęzi dodatniej i ujemnej) oraz współpracujących z nimi rezystorów: źródłowego i bramkowego. Po usunięciu każdej gałęzi wzmocnienia należy skorygować prąd spoczynkowy wzmacniacza tak, żeby każda zainstalowana gałąź pobierała ok. 100mA. Do tej wartości należy jeszcze dodać ok. 25..30mA na zasilanie reszty elektroniki.

Przeprowadzone próby dały dobry efekt, przy czym zalecane jest wykorzystanie przynajmniej trzech par tranzystorów mocy. Wraz z ograniczeniem liczby wykorzystywanych tranzystorów należy zadbać o ograniczenie wartości napięcia wejściowego wzmacniacza. Należy także zmniejszyć wartość prądu bezpieczników topikowych. Do uproszczonych obliczeń można wykorzystać podstawowe wzory:

- moc wyjściową liczymy ze wzoru: $P=U^2/R$ (R - rezystancja obciążenia),
- wzmocnienie napięciowe wzmacniacza wynosi: $k_U=R30/R35$,
- wartość napięcia wyjściowego wynosi: $U_{wy}=U_{we}*k_U$, przy czym maksymalna amplituda napięcia wyjściowego wynosić może ok. $0,65U_{zas}$, dla napięcia zasilającego liczonego od $+U_{zas}$ do $-U_{zas}$.

Uwagi końcowe

Prezentowany wzmacniacz charakteryzuje się bardzo dobrymi parametrami akustycznymi, które

uzyskano przy zastosowaniu niezbyt wyszukanej struktury układu elektrycznego. Parametry tranzystorów mocy pozwalają na uzyskanie znacznie większej mocy wyjściowej niż w egzemplarzu modelowym, lecz wymagałoby to przesunięcia punktów pracy tranzystorów w stronę górnej, dopuszczalnej granicy. Ponieważ ceny tranzystorów mocy są wysokie, a prawdopodobieństwo ich uszkodzenia dość duże, zdecydowaliśmy się na zapewnienie im dużego „komfortu“, zwiększającego szanse ich przeżycia podczas eksperymentów.

**Piotr Staszewski, AVT
serwis@avt.com.pl**

Wzory płytek drukowanych w formacie PDF są dostępne w Internecie pod adresem: <http://www.ep.com.pl/?pdf/luty01.htm> oraz na płycie CD-EP02/2001B w katalogu PCB.