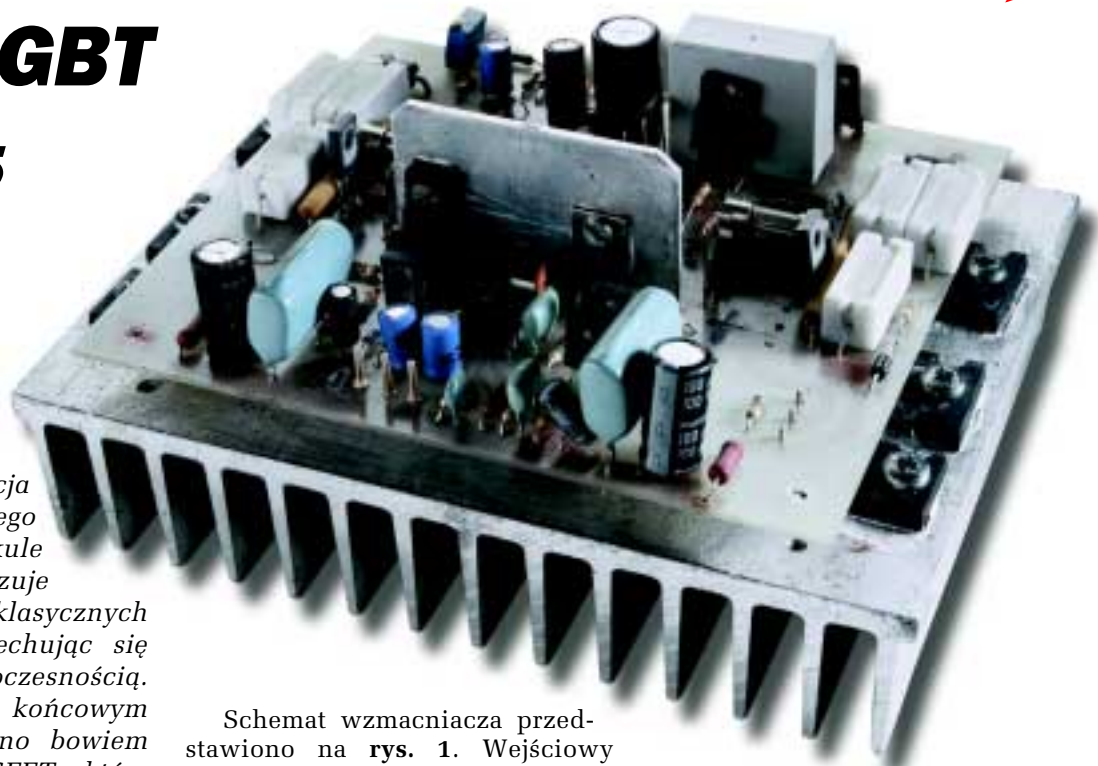


# Silver Sound

## Wzmacniacz audio ze stopniem końcowym quasi-IGBT

### AVT-5045

PROJEKT  
Z OKŁADKI



*Konstrukcja przedstawionego w artykule wzmacniacza nawiązuje do najlepszych klasycznych wzorców, cechując się jednocześnie nowoczesnością. W stopniu końcowym zastosowano bowiem tranzystory MOSFET, które sterują tranzystory bipolarne. Nazwaliśmy to rozwiązaniem quasi-IGBT przede wszystkim dlatego, aby zwrócić Waszą uwagę na możliwości wynikające z wykorzystania najlepszych cech obydwu technologii.*

Schemat wzmacniacza przedstawiono na rys. 1. Wejściowy sygnał sterujący, którego pasmo ograniczają elementy R1 i C3 jest doprowadzany do nieodwracającego wejścia wzmacniacza operacyjnego U1/1. Wzmocnienie napięciowe tego układu ustalają rezystory R4 i R3. Tranzystory T1 i T2 pracują jako stabilizatory napięcia, dopasowujące napięcie zasilania do wymagań wzmacniaczy operacyjnych U1/1 i U1/2. W kolektorach tych tranzystorów znajdują się lustra prądowe zbudowane z elementów T3, T4, R7, R10, D1 (dla dodatniej gałęzi zasilania) oraz T5, T6, R9, R11 i D2 (dla ujemnej gałęzi zasilania). Między kolektory tranzystorów T6 i T4 włączono obwód ustalania prądu spoczynkowego zbudowany w sposób klasyczny z elementów R12, C14, P1 i T7.

Wraz ze zmianami wartości prądu przepływającego w dodatniej i ujemnej gałęzi zasilania U1/1 zmienia się także napięcie na kolektorach T6 i T4. Rezystory R35 i R34 poprawiają szybkość reakcji

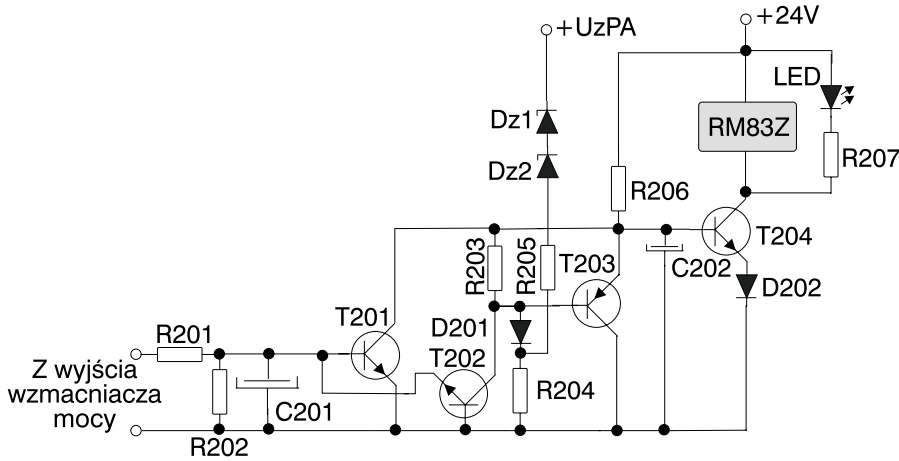
wzmacniacza na pobudzenia impulsowe. Poprzez rezystory R32 i R33 są wysterowywane tranzystory MOSFET T10 i T11. Ujemne sprzężenie zwrotne zrealizowane jest poprzez rezystor R5 włączony między wyjście wzmacniacza operacyjnego U1/1, a wyjście wzmacniacza mocy. Jest to tzw. „prądowe ujemne sprzężenie zwrotne”. Poprzez rezystor R13 sterowany jest obwód DC-serwo (odpowiadający za stabilizację składowej stałej napięcia na wyjściu wzmacniacza), zbudowany z elementów: U1/2, C12, C13, R14, R15, R16, R17.

Tranzystory MOSFET T10 i T11, wraz z bipolarnymi T12, T13 (dla dodatniej gałęzi zasilania) i T14, T15 (dla ujemnej gałęzi zasilania) tworzą klasyczne źródło prądowe sterowane napięciem, którego prąd  $J_{wy} = 3 \times J_{T10}$ . Ponieważ źródła tranzystorów MOSFET są połączone z kolektorami tranzystorów bipolarnych, występuje 100% lokalne napięciowe

#### Parametry nominalne:

- ✓ Moc wyjściowa RMS (4Ω): 200W,
- ✓ Pasmo przenoszenia: 5Hz...150kHz,
- ✓ Szybkość narastania sygnału na wyjściu (min.) 100V/μs (200 W/4Ω),
- ✓ Zniekształcenia:
  - ✗ harmoniczne: 0,05%,
  - ✗ TIM: 0,05%.





Rys. 3. Schemat elektryczny układu automatyki sterującej dołączeniem głośnika do wyjścia wzmacniacza.

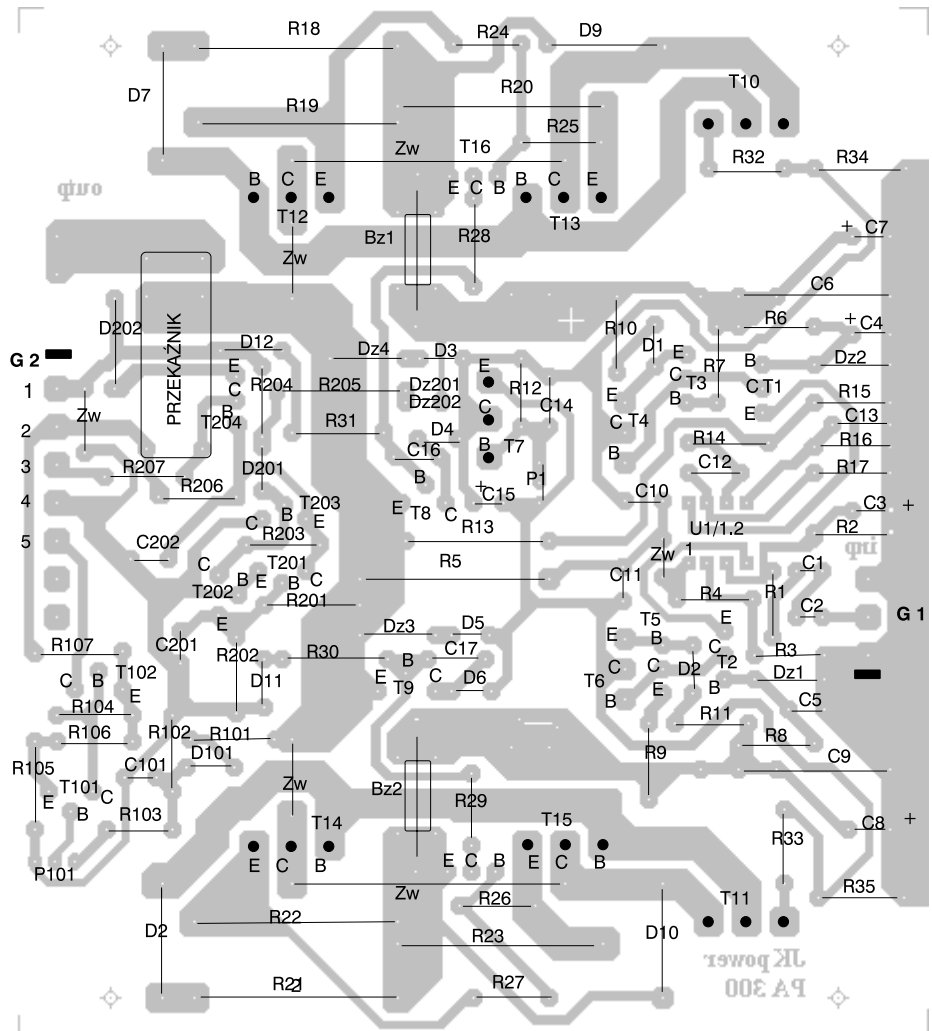
Wzmacniacz wyposażono także w układ automatyki sterującej dołączeniem głośnika do jego wyjścia, którego schemat elektryczny przedstawiono na rys. 3. Jest to nieco rozbudowana wersja układu automatyki opublikowanego w historycznej już książce „Wzmacniacze elektroakustyczne” Macieja Feszczuka (WKiŁ, Warszawa 1986). Wzbogacono go o elementy R206 i C202, tworzące wraz z tranzystorem T204, obwód opóźnionego załączania obciążenia. Natomiast elementy Dz201, Dz202, D201, R204 wraz z T203 tworzą obwód przyspieszonego odłączenia obciążenia po wyłączeniu zasilania. Warunkiem poprawnego działania tego obwodu jest, aby napięcie zasilania +24V przez odpowiedni stabilizator było pobierane z dodatniego napięcia zasilania wzmacniacza mocy. Diody Zenera Dz201 i Dz202 doбира się tak, aby spadek napięcia na nich wynosił 75...80% napięcia zasilania wzmacniacza (+U<sub>zPA</sub>).

Po wyłączeniu zasilania, dopóki napięcie +U<sub>zPA</sub> jest większe od spadku napięcia na diodach Zenera, to płynie przez nie prąd, który powoduje powstawanie napięcia na rezystorze R204. Napięcie to uniemożliwia przewodzenie diody D201. Gdy napięcie +U<sub>zPA</sub> spadnie poniżej napięcia diod Zenera, przestaje przez nie płynąć prąd i dioda D201 zostaje odblokowana. Powoduje to wystawienie tranzystora

T203, który z kolei zwiera bazę T204 do masy. Wówczas przełącznik odłącza obciążenie od stopnia mocy. Elementy R201, R202, R203, C201, T201, T202 wraz z T203 tworzą obwód reagujący na napięcie stałe na wyjściu stopnia mocy i w przypadku pojawienia się takiego, powodujący odłączenie obciążenia, chroniąc głośniki przed zniszczeniem. Przez rezystor R207 do plusa 24V jest podłączona dioda LED sygnalizująca podłączenie głośników.

**Uruchomienie**

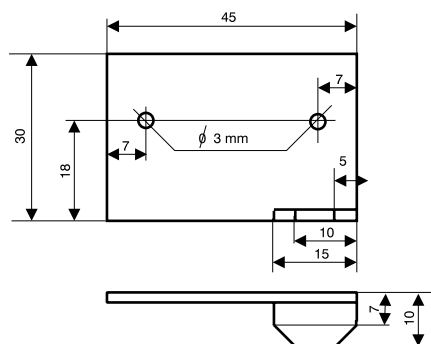
Do uruchomienia wzmacniacza jest niezbędny zasilacz laboratoryjny, oscyloskop oraz serwisowy ge-



- Prostokątny otwór ustalający kolejność bolców wtyczki.
  - Otwory metalizowane najlepiej nitowane rurkami o średnicy wewnętrznej 1,5 mm.
- Styki G1:  
 1= masa, 2= +24V, 3= LED katoda/anoda do +24V (wskaźnik wystawiania),  
 4= masa, 5= LED anoda/katoda do masy (wskaźnik podłączenia głośników)

Otwory dla tranzystorów T8 i T9 przygotowane dla 2N5551 i 2N5401 (zamieniony emiter z kolektorem)

Rys. 4. Rozmieszczenie elementów na płycie drukowanej wzmacniacza.



Rys. 5. Wygląd radiatora dla tranzystorów T4 i T6.

nerator przebiegów audio. Na płytce drukowanej, której schemat montażowy pokazano na rys. 4, montujemy wszystkie elementy poza tranzystorami (T10, T11, T12, T13, T14, T15 a także T8 i T9). Tranzystory T6 i T4 umieszczamy na niewielkim radiatorze wykonanym z blachy aluminiowej o grubości 2mm izolując je. Na rys. 5 pokazano wygląd tego radiatora, który podczas montażu należy przymocować do płytki drukowanej.

Tranzystor T7 montujemy po drugiej stronie płytki (od strony lutowania). Na wyjściu zasilacza ustalamy napięcia zasilania +50V i -50V oraz ustalamy ograniczenie prądu przy 100mA.

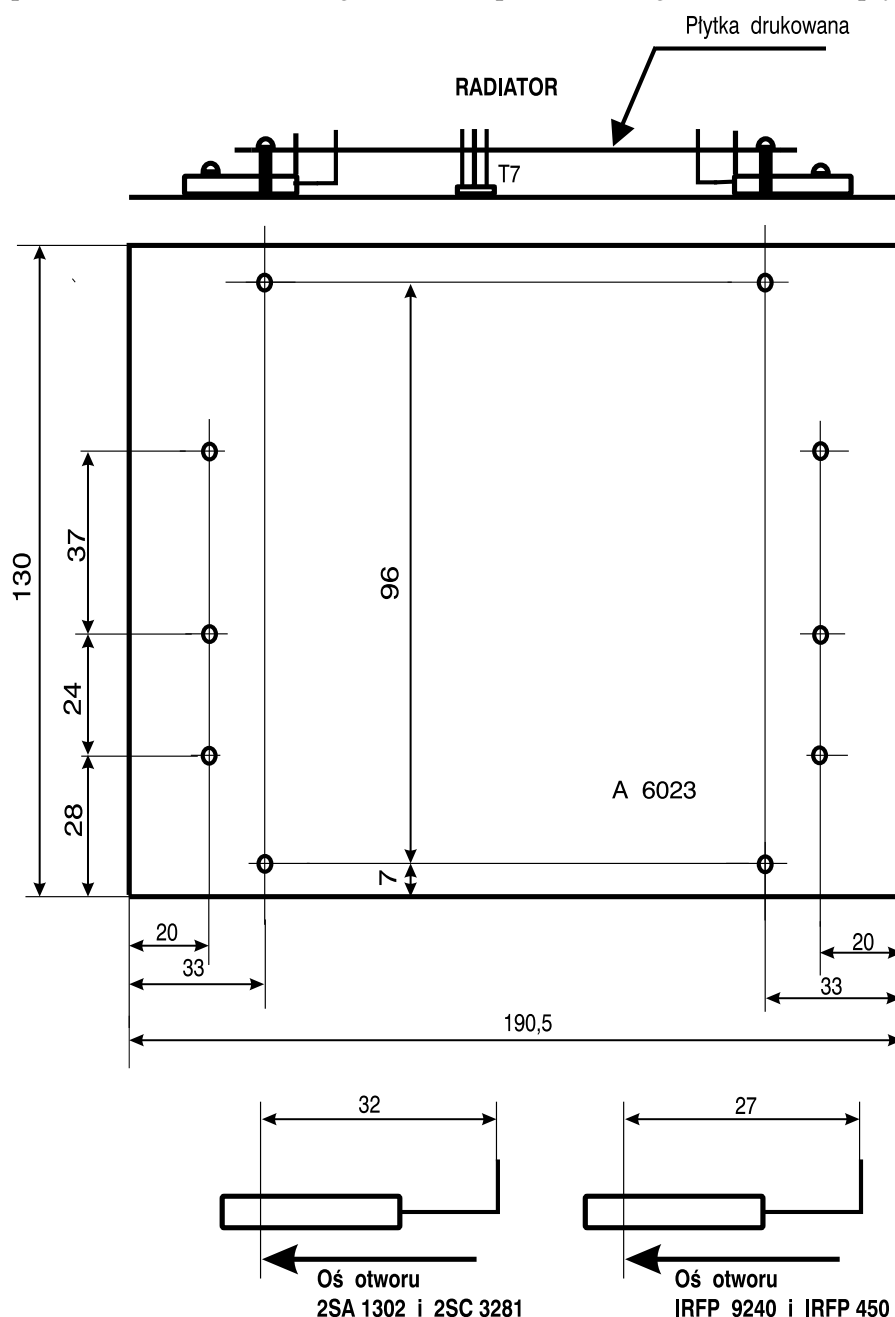
Testowy sygnał sterujący należy podać na styk 2 złącza G2 (styki 1 i 3 to masa). Do pierwszego testu wykorzystamy sygnał trójkątny (symetryczny) o amplitudzie ok. 200...300mV. Za pomocą oscyloskopu obserwujemy sygnał na wyjściu U1/1 - powinien być nie zniekształcony i mieć amplitudę ok. 3 razy większą od wejściowej. Prąd pobierany przez układ w tej fazie uruchamiania nie powinien przekraczać 50mA. Za pomocą potencjometru P1 ustalamy napięcie między kolektorami T5 i T6 na ok. 5...6V. Teraz możemy zamocować tranzystory mocy na radiatorze (rys. 6), izolując je. Radiator najlepiej wykonać z kształtownika ZML Kęty A6023 o długości 12,5...13cm. Można użyć kształtownik A5352, jednak należy wtedy pamiętać o odpowiedniej zmianie wykonując otwory, gdyż szerokość tego kształtownika wynosi 187mm, a nie 190,5mm. Śrub mocujących tranzystory mocy nie dokręcamy do końca. Tranzystor T7 wyginamy tak, aby stroną izolowaną

dotykał do radiatora, a na jego radiator nanosimy warstwę silikonu. Teraz umieszczamy płytkę drukowaną (wcześniej montujemy T8 i T9) na radiatorze tak, aby końcówki tranzystorów weszły w odpowiednie otwory (metalizowane) w płytce, którą za pomocą tulejek dystansowych mocujemy do radiatora. Sprawdzamy czy T7 dobrze przylega do radiatora oraz czy któraś z końcówek tranzystorów mocy nie dotyka radiatora.

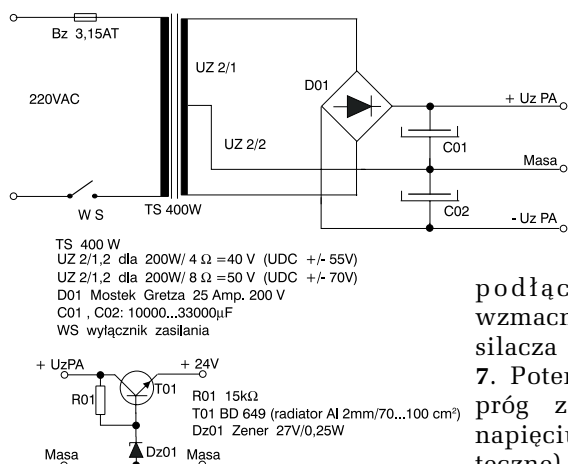
Nie zmieniając ustawień podłączamy zasilanie i podajemy sygnał wejściowy z generatora sygnałowego. Jeżeli prąd pobierany przez wzmacniacz nie uległ zmia-

nie, a sygnał na wyjściu ma taki sam kształt jak wejściowy, lecz dużo większą amplitudę, można zmienić prąd ograniczania w zasilaczu do maksimum i potencjometrem P1 zwiększyć prąd spoczynkowy do ok. 150...250mA. Ograniczamy do minimum amplitudę sygnału wejściowego i mierzymy poziom napięcia stałego na wyjściu wzmacniacza. Nie powinien przekraczać 20mV.

Teraz możemy zająć się układami pomocniczymi. Podłączamy pomocnicze napięcie 24V poprzez gniazdo G2, diody LED będące wskaźnikami sygnału wyjściowego i podłączenia głośników. Po upły-



Rys. 6. Sposób zamocowania tranzystorów mocy na radiatorze.



Rys. 7. Schemat i opis zasilacza.

wie ok. 4...7 sekund zaświeci się LED sygnalizujący, że przekaźnik podłączył obciążenie.

Zaświecenie się diody oznacza, że możemy podłączyć do wyjścia wzmacniacza rezystory o wypadkowej rezystancji 4Ω i mocy ok. 200W (zamiast głośników, na czas testów). Równolegle do obciążenia podłączamy oscyloskop, i powoli zwiększamy amplitudę sygnału wyjściowego, cały czas kontrolując oscylogram, czy nie pojawiają

się oscylacje pasożytnicze, a sygnał wyjściowy (aż do granicznej wartości amplitudy wynikającej z napięcia zasilania) ma taki sam kształt, jak sygnał wejściowy. Po wykonaniu tych czynności możemy

podłączyć wzmacniacz lub wzmacniacze do docelowego zasilacza wykonanego według rys. 7. Potencjometrem P101 ustalamy próg zapalania się diody przy napięciu (sinusoidea, napięcie skuteczne) 28V dla obciążenia 4Ω, i 40V dla obciążenia 8Ω.

Schemat montażowy kompletnego wzmacniacza w wersji stereofonicznej pokazano na rys. 8. Układ wzmacniacza napięciowego wykorzystano z opisu wzmacniacza z tranzystorami IGBT firmy Analog Devices, wprowadzając niewielkie uproszczenia.

**Krzysztof Jasiński**

*Wzory płytek drukowanych w formacie PDF są dostępne w Internecie pod adresem: <http://www.ep.com.pl/?pdf/grudzien01.htm>.*

## WYKAZ ELEMENTÓW

### Rezystory

Wszystkie rezystory 0,25W

R1, R7, R9...R11, R32, R33: 100Ω  
 R2, R103: 100kΩ  
 R3: 15Ω  
 R4: 30Ω  
 R5, R24...R27: 1kΩ  
 R6, R8: 68kΩ  
 R12, R17, R107, R207: 4,7kΩ  
 R13: 15kΩ  
 R14, R16: 1MΩ  
 R15: 470Ω  
 R18...R23: 0,43Ω/5W  
 R28, R29: 22kΩ  
 R30, R31, R104, R201...R203: 15kΩ  
 R34, R35: 6,8kΩ/0,5W  
 R101: 1kΩ  
 R102: 22kΩ  
 R105: 220Ω  
 R103, R106: 220kΩ  
 R204: 2,2kΩ  
 R205: 10kΩ  
 R206: 47kΩ  
 P1: 2,2kΩ wieloobrotowy  
 P101: 4,7kΩ wieloobrotowy

### Kondensatory

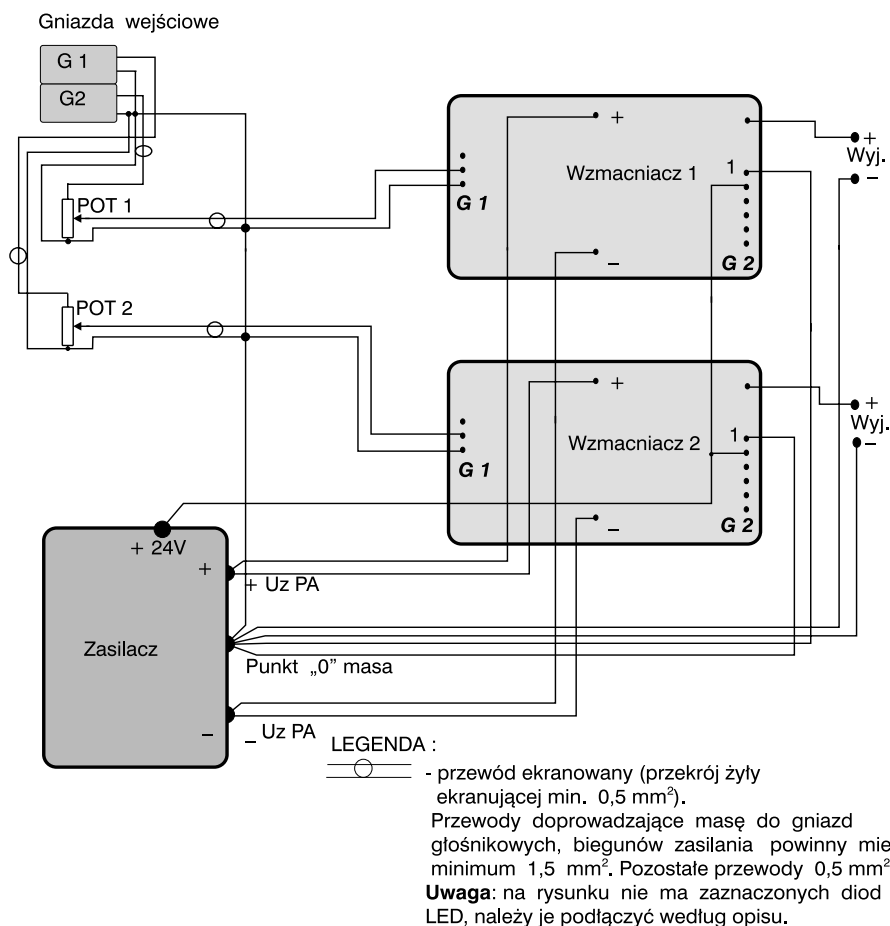
C1, C2, C4, C5, C101: 10µF/63V  
 C3: 1nF  
 C6, C9: 3,3µF- MKSE  
 C7, C8, C12...C14: 100nF/100V  
 C10, C11: 47pF/160V  
 C15: 10µF/16V-tantal  
 C16, C17: 10nF/100V  
 C201: 470µF/25V  
 C202: 2200µF/10V

### Półprzewodniki

Dz1, Dz2, Dz3, Dz4: 12V/0,25W  
 Dz201, Dz202: wg opisu  
 D1, D2, D32, D4...D6, D101, D201: 1N4148  
 D8, D7: BY255  
 D9...D12: 1N4937  
 D202: 1N4001  
 T1, T5: BD 139/16  
 T2, T3: BD 140/16  
 T4: 2SA1006  
 T6: 2SC3309  
 T7: BD135-16  
 T8: 2N5551  
 T9: 2N5401  
 T10: IRFP450  
 T11: IRFP 9240  
 T12, T13: 2SA1302  
 T14, T15: 2SC3281  
 T16: BF470  
 T17: BF469  
 T101, T201, T202: BC550  
 T102, T203: BC556  
 T204: darlington np. BD649  
 U1: OP285

### Różne

Przełącznik RM83Z/24V



Rys. 8. Schemat montażowy kompletnego wzmacniacza stereofonicznego.