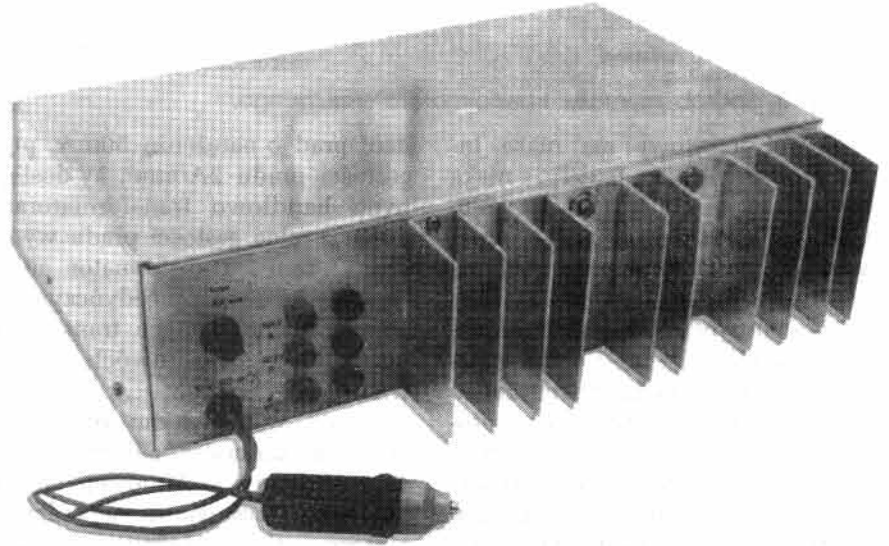


# Wzmacniacz akustyczny 12V, 35W do systemu rozgłoszeniowego, część 2

*Druga, nieco opóźniona część artykułu prezentującego wzmacniacz rozgłoszeniowy poświęcona jest omówieniu szczegółów konstrukcji transformatora wyjściowego oraz sposobu montażu i uruchomienia urządzenia. Za opóźnienie wynikające z przyczyn technicznych, przepraszamy Czytelników EP.*



## Prąd spoczynkowy

Prąd spoczynkowy końcówki MOS jest wyższy niż byłby w przypadku tranzystorów bipolarnych, ponieważ tranzystory MOS mają silnie nieliniowe charakterystyki w pobliżu odcięcia. Nie jest to jednak wartość bardzo wysoka - tylko 0,4A.

Prąd ten powinien być stabilizowany - ze względu na możliwość zmian temperatury i wahań napięcia zasilania.

Prąd spoczynkowy jest stabilizowany cieplnie przez tranzystor TR105. Jest to typowy układ stabilizacji punktu pracy, który zapewnia dość dobrą kompensację dryftu cieplnego stopnia MOS. Punkt pracy jest nieco zależny od nastawy potencjometru VR102. Dokładną nastawę tego punktu można uzyskać przez dobór wartości rezystorów R116, R117 i R118, ale nie jest to absolutnie niezbędne. Tranzystor TR105 jest typu pnp, co pozwala na umieszczenie go na radiatorze bez podkładki izolacyjnej, dzięki czemu bezwładność cieplna jest mniejsza.

Napięcie zasilania układu polaryzacji jest także stabilizowane (ponieważ napięcie akumulatora samo-

chodowego może wahać się w granicach 12...12,5V do nawet 14V podczas ładowania). Układ stabilizatora, dający napięcie 11,5V, zawiera trzy tranzystory TR201, TR202 i TR203, przy czym ten ostatni jest tranzystorem mocy pnp, np. TIP42.

## Odpowiedź częstotliwościowa

Częstotliwości graniczne wynikają głównie z własności obu zastosowanych w układzie transformatorów. Transformator sterujący stopień mocy posiada znaczną pojemność między uzwojeniami, natomiast grubość płytek rdzenia transformatora wyjściowego ogranicza pasmo do 15kHz. Chcąc je rozszerzyć od strony górnych częstotliwości do 20kHz należałoby użyć blaszek o grubości 0,05mm lub rdzenia ferrytowego.

Wzmocnienie całego toru wynosi 100 i ustalone jest przez wartości rezystorów R123 i R108. Jest więc ono wyższe niż byłoby w przypadku wzmacniacza Hi-Fi, a w konsekwencji poziom zniekształceń jest wyższy. Nie jest to jednak krytyczne w zastosowaniach, do których przeznaczony jest oma-

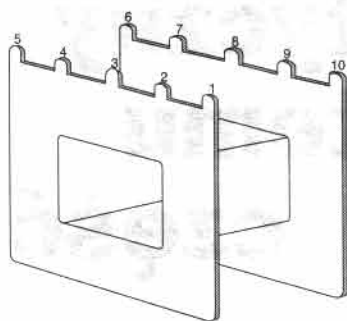
wiany układ. Elementy R109 i C104 zabezpieczają układ przed niestabilnością. Czułość wzmacniacza jest nieco ograniczona przez znajdujący się na wejściu filtr R106-C103 i wynosi około 100mV (dla uzyskania 6V napięcia skutecznego w uzwojeniach pierwotnych).

## Transformatory

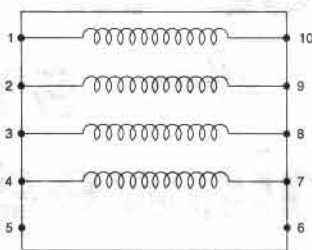
Punktem wyjścia jest równanie:

$$N/E = 1/(4,44 \cdot f \cdot A \cdot B)$$

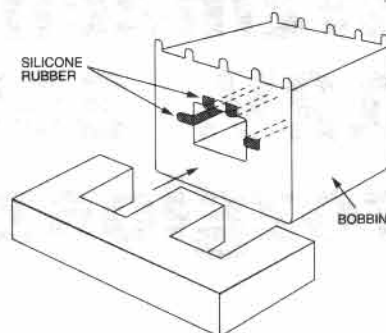
gdzie N/E oznacza liczbę zwojów na wolt, F - najniższą częstotliwość pracy, A - przekrój rdzenia (w m<sup>2</sup>), B - maksymalną wartość strumienia indukcji w rdzeniu (w T). Inne możliwości rozwiązań transformatora sterującego to rdzeń ferrytowy E42/15 lub rdzeń żelazny typu 18. Mają one szerokość odpowiednio 42mm i 42,8mm. Rdzeń ferrytowy ma 42mm wysokości, podczas gdy żelazny tylko 35,7mm. Karkasy do tych transformatorów mają wyprowadzenia w rasterze 0,1" z odstępem 0,2" w rzędkach po 5 w odległości odpowiednio 1,4" i 0,9". Płytką drukowaną została zaprojektowana w sposób umożliwiający zastosowanie obydwu transformatorów.



NUMBERING



ELECTRICAL TOP VIEW (COMPONENT SIDE OF BOARD)



Rys. 3. Sposób montażu transformatora sterującego.

Rdzeń ferrytowy ma niską indukcję nasycenia 0,35T i niską względną przenikalność około 1200-1500, tak więc dla uzyskania odpowiedniej indukcyjności niezbędna jest duża liczba uzwojeń. Liczba zwojów na wolt wynosi 140, co daje indukcyjność 1,1H i dolną częstotliwość pracy 35Hz. Rdzeń żelazny nie został zastosowany w prototypie, mimo że był wykorzystywany we wcześniejszym bipolarnym odpowiedniku urządzenia. Liczba zwojów każdego z czterech uzwojeń w przypadku rdzenia ferrytowego wyniosła 600.

Ponieważ przekładnie uzwojeń wynoszą 1:1, przy nawijaniu począłnym drutem dokładna liczba uzwojeń nie jest istotna, i można ich nawinąć tyle, ile zmieści się na karkasie, zostawiając nieco miejsca na taśmę izolacyjną. Oporność uzwojenia powinna wynosić 30Ω.

Przy montażu transformatora istotne jest, by ich począłki i końce uzwojeń zostały przylutowane do właściwych wyprowadzeń karkasu. Ponieważ uzwojenia są identyczne obojętne jest, które zostanie potraktowane jako które, ważne jest natomiast połączenie wyprowadzeń uzwojeń z odpowiednimi końcówkami karkasu. W przypadku rdzenia ferrytowego począłki uzwojeń powinny być połączone z wyprowadzeniami 1, 2, 3 i 4, natomiast końce - z wyprowadzeniami 10, 9, 8 i 7. Wygodne byłoby użycie do nawijania przewodów czterech różnych kolorów. Drut w emalii do lutowania dostępny jest tylko w dwóch kolorach, tak więc do prawidłowego połączenia niezbędny jest miernik.

Zaproponowany do nawinięcia transformatora drut może przewo-

zić prąd o natężeniu 50mA, przy gęstości prądu 2A/mm<sup>2</sup>. W dostępnych handlowo transformatorach dopuszczalne gęstości prądu wynoszą 4A/mm<sup>2</sup>. Transformator audio wymaga karkasu z pojedynczym otworem. Rdzeń takiego transformatora składa się dwóch części w kształcie litery E.

Przed wstawieniem rdzeni do otworów karkasów należy włożyć odcinki gumy silikonowej, co zapobiegnie wysuwaniu się rdzenia z nieco zbyt dużego karkasu (rysunek 3). Na transformator należy założyć obejmę (0,25" x 8" lub większą).

### Transformator wyjściowy

Punktem wyjścia jest to samo równanie co w przypadku transformatora sterującego. Zastosowano tu większy rdzeń, wykorzystywany w transformatorach sieciowych o mocy 50W. Podczas prób okazało się, że uzyskanie 35W dla częstotliwości 50Hz i w klasie B nie jest możliwe przy jednoczesnym dużym marginesie bezpieczeństwa w sensie uniknięcia nasycenia rdzenia. Transformator sieciowy pracuje w warunkach bliskich nasycenia, co pozwala na ograniczenie liczby zwojów. Rozwiązaniem jest zwiększenie ilości blaszek transformatora do uzyskania wysokości rdzenia 1,5". Liczba zwojów na wolt maleje do 4,6 (5) i niezbędna ilość zwojów wynosi 30. Dwa uzwojenia pierwotne mieszczą się teraz w trzech warstwach i pozostaje dość miejsca na trzy uzwojenia wtórne. Transformator został zaprojektowany do pracy z napięciem skutecznym 6V na uzwojeniu pierwotnym. Napięcie szczytowe 9V pozostawia margines na straty w uzwojeniu

pierwotnym i w tranzystorach MOS. Dzięki temu wzmacniacz jest w stanie dostarczyć pełnej mocy przy zasilaniu z akumulatora samochodowego bez ładowania. Wiele wzmacniaczy tranzystorowych zaprojektowanych jest do pracy z zasilaniem 14V, co w przypadku akumulatora samochodowego ma miejsce tylko podczas ładowania.

Oba uzwojenia wtórne 100V wymagają 16,7 x 30 plus 5%, czyli 525 zwojów, a niskonapięciowe uzwojenie głośnika - 23 zwoje - co zapewni napięcie wtórne o wartości skutecznej 4V, czyli 4W w przypadku obciążenia 4Ω i 2W przy 8Ω. Jest to wystarczające w przypadku nagłaśniania niewielkich pomieszczeń.

Dla entuzjastów własnoręcznego wykonania transformatora:

- uzwojenie wtórne 100V nr 1: 525 zwojów DNE 0,35;
- uzwojenie pierwotne: 30 zwojów drutu DNE 0,18, bifilarne;
- uzwojenie wtórne niskonapięciowe: 23 zwoje drutu DNE 0,35mm; (jedna warstwa);
- uzwojenie wtórne 100V nr 2: 525 zwojów drutu DNE 0,28mm.

Jest rzeczą bardzo ważną nawinięcie tej samej liczby zwojów w przypadku obu uzwojeń wtórnych 100V, jeśli przewidywane jest ich wykorzystanie w połączeniu równoległym. Do wszystkich uzwojeń użyć drutu emaliowanego bądź drutu w powłoce poliuretanowej. Między uzwojeniami należy kłaść taśmę papierową, a na ostatnim uzwojeniu wtórnym - taśmę izolacyjną.

Złożyć rdzeń z blaszek E oraz I. Po przeprowadzeniu prób spryskać transformator lakierem izolującym.

Możliwe są oczywiście inne warianty nawinięcia transformatora. W każdym przypadku wszystkie uzwojenia wraz z taśmami papierowymi i izolacyjnymi muszą zmieścić się w otworze na karkas o wymiarach 33mm x 10mm. Uzwojenia pierwotne powinny pozostać takie jak przedstawione wyżej. Uzwojenia wtórne należy nawijać ze stosunkiem 5 zwojów/wolt plus 1% na każde 6W obciążenia. Używać tylko drutu emaliowanego bądź drutu w osłonie poliuretanowej.

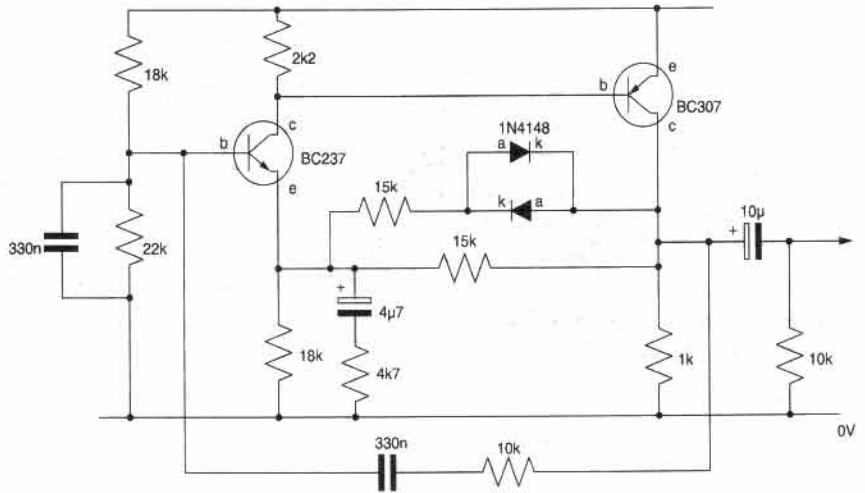
Oto przykłady innych rozwiązań transformatora:

- 35W, 100V - nawinąć dwa uzwojenia 50V, 263 zwoje drutu DNE 0,3. Uzwojenia te połączone szeregowo dają napięcie 100V,
- 35W, 8Ω (bez wyjścia 100V) - 27 zwojów drutu DNE 0,2, (jedna warstwa), następnie uzwojenie pierwotne, po czym kolejne wtórne (27 zwojów).

Ważne jest, by transformatory nie pracowały bez obciążenia, w przeciwnym razie mogą powstać znaczne impulsy napięciowe. Elementy R121-C106 i R122-C107 stanowią obciążenie wzmacniacza w przypadku odłączenia głośników. Diody Zenera D104 i D106 zabezpieczają tranzystory MOSFET w przypadkach znacznych przesterowań, a diody D101 i D102 zapobiegają nadmiernym natężeniom prądu sterującego. Przed długotrwałym przeciążeniem chroni wzmacniacz bezpiecznik 6,3A.

### Przetwornica AC/AC

Prezentowany wzmacniacz może także funkcjonować jako dobrej jakości przetwornica dająca na wyjściu napięcie 240V AC. Liczba zwojów/wolt równa 5 umożliwia zwiększenie strumienia do 1,3...1,4T. Napięcie wtórne zostaje podniesione do 120V, a w wyniku połączenia szeregowego obu uzwojeń wtórnych można uzyskać napięcie 240V. Na wejście wysokosygnałowe należy podać obcięty przebieg sinusoidalny lub falę prostokątną o częstotliwości 50Hz, o amplitudzie 200mV...1V. Przy odpowiednio ustawionym potencjometrze regulacji poziomu na wyjściu powstanie napięcie 240V. Aby uzyskać zadawalający kształt napięcia 50Hz należy zwiększyć



Rys. 4. Schemat ideowy generatora sygnału quasisinusoidalnego 50Hz.

zyć pojemność kondensatora sprzęgającego C17 do 10µF. Schemat generatora sygnału 50Hz znajduje się na **rysunku 4**.

### Wykonanie

Chassis wzmacniacza stanowi proste pudełko o wymiarach 12" x 7" x 3", wykonane z blachy aluminiowej. Chassis winno mieć tylną płytę (także aluminiową) by zapewnić odpowiednie przekazywanie ciepła między kątownikiem, do którego przymocowane są tranzystory mocy, a radiatorem żeberkowym.

Tranzystory mocy montowane są do kątownika aluminiowego o grubości 1/8" i szerokości 1", połączonego z tylną ścianą chassis i radiatorem. Dwa wsporniki w przedniej części płytki drukowanej stanowią pozostałe elementy mocujące płytkę do obudowy.

Pięć potencjometrów VR1-VR5 (5) oraz cztery gniazda Jack 0,25" JK1-JK4 montowane są mocowane są do płyty czołowej. Po jej prawej stronie znajduje się włącznik sieciowy S1 i wskaźnik LED. Na płycie tylnej znajdują się trzy pary gniazd wyjściowych niskonapięciowych oraz dwa wyjścia 100V, gniazdo bezpiecznika 6,3A oraz otwór pod kabel zasilający z przepustem izolacyjnym.

Transformator wyjściowy należy przymocować do chassis, natomiast transformator sterujący - do płytki drukowanej. Wysokoprądowy kondensator wyglądający C109 o pojemności co najmniej 1000µF mocowany jest także do chassis.

### Okablowanie

Wszystkie potencjometry i wejścia sygnałów przedwzmacniacza powinny być połączone z płytka przewodami ekranowanymi.

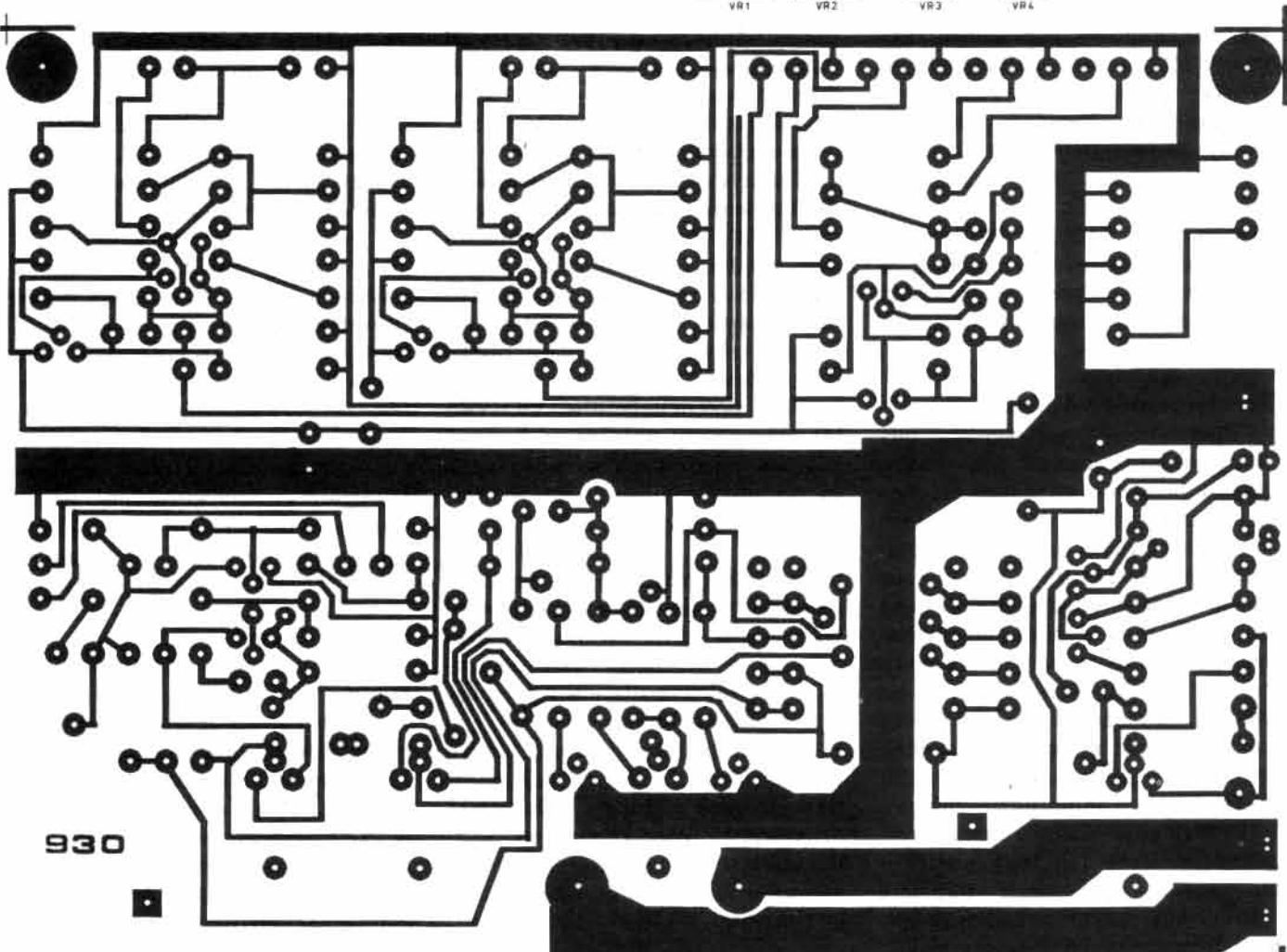
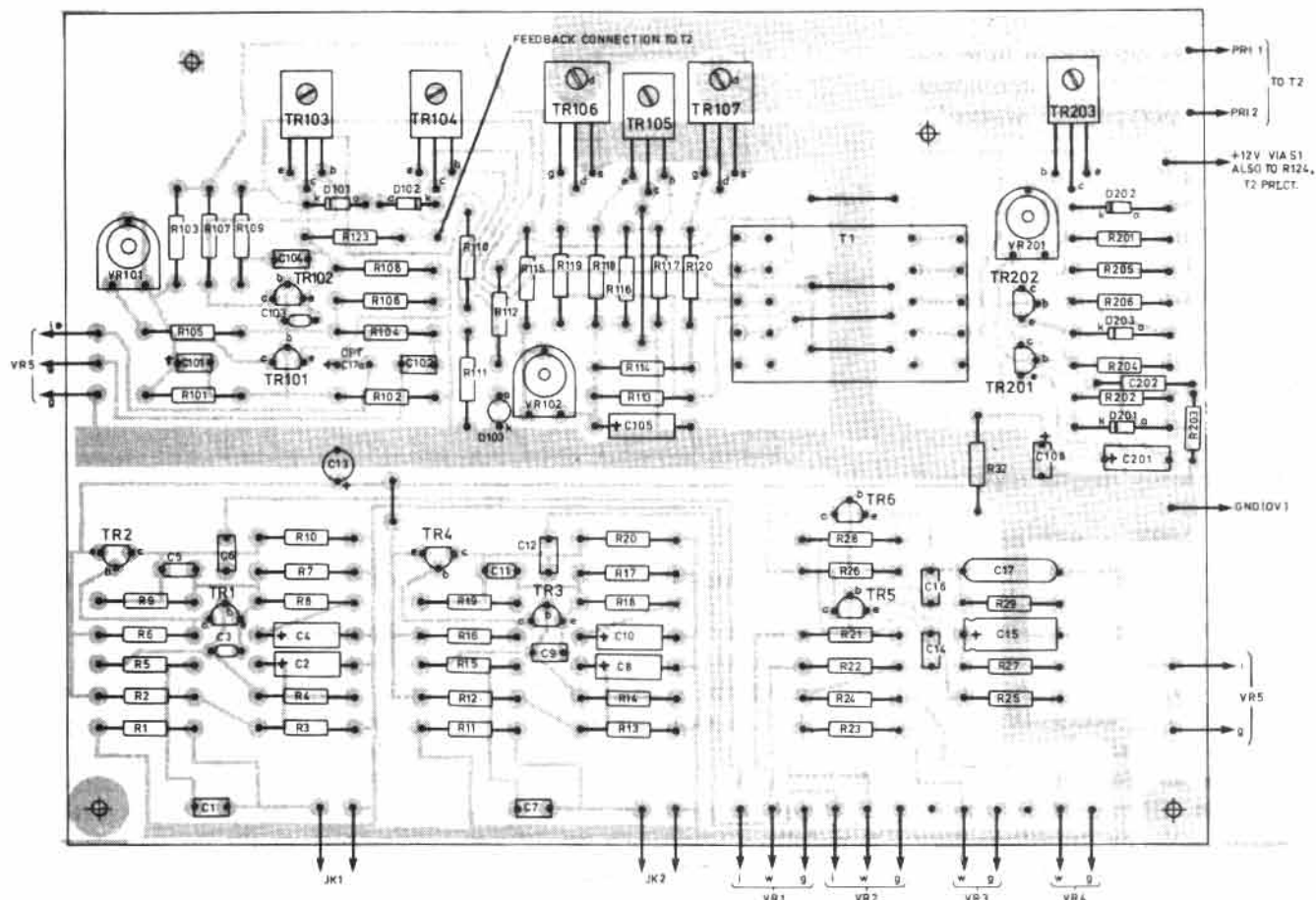
Przewody mocy powinny być wykonane kablem dopuszczającym natężenia prądu do 9A.

Należy odpowiednio dobrać fazę sygnału sprzężenia zwrotnego podawanego na rezystor R123. Jeśli przy włączaniu zasilania w głośniku podłączonym do niskonapięciowego uzwojenia wtórno transformatora słychać donośny szum, należy zamienić połączenia wyprowadzeń tego uzwojenia.

„Niskie” wyprowadzenie jednego z uzwojeń wysokonapięciowych należy połączyć z masą, natomiast pozostałe pozostawić pływające tak, by można było je połączyć szeregowo lub równolegle. Zazwyczaj oba wyprowadzenia „ujemne” są połączone, a „dodatnie” współpracują równolegle. Jedyną możliwą konfiguracją szeregową jest następująca: końcówka „ujemna” uzwojenia A połączona jest z „dodatnią” końcówką uzwojenia B.

### Uruchomienie

Po zakończeniu montażu i starannym sprawdzeniu należy włączyć szeregowo między akumulatorem i wzmacniacz miernik i rezystor mocy o niskiej rezystancji, np. 10Ω/25W, ponieważ zwarcie w układzie przy zasilaniu z akumulatora samochodowego może zniszczyć elementy płytki. Ustawić potencjometr VR102, ustalający polaryzację punktu pracy tranzystorów



Rys. 5. Widok płytki drukowanej i rozmieszczenie elementów.

## WYKAZ ELEMENTÓW

## Rezystory

(metalizowane, 0,125W - o ile nie podano inaczej)

R1, R11: 220Ω  
 R2, R12: 18Ω  
 R3, R13: 22Ω  
 R4, R9, R14, R19, R28, R30, R31: 100Ω  
 R5, R8, R15, R18, R103, R107: 1Ω  
 R6, R16: 6.2Ω  
 R7, R17, R26: 82Ω  
 R10, R20: 6.8Ω  
 R21...R25: 47Ω  
 R27: 15Ω  
 R29, R104: 4.7Ω  
 R32: 470Ω/0.5W  
 R101: 39Ω  
 R102, R106: 10Ω  
 R105: 22Ω  
 R108, R109: 10Ω  
 R110: 20Ω/0.5W  
 R111: 10Ω/0.5W  
 R112: 1Ω/0.5W  
 R113, R114: 220Ω  
 R115: 120Ω/0.5W  
 R116: 390Ω/0.25W  
 R117: 620Ω/0.25W  
 R118: 22Ω/0.25W  
 R119, R120: 39Ω/0.25W  
 R121: 4.7Ω/5W  
 R122: 330Ω/5W  
 R123: 1Ω/0.5W  
 R201: 1.8Ω/0.25W  
 R202: 470Ω/0.25W  
 R203: 10Ω/0.25W  
 R204: 1.2Ω/0.5W  
 R205: 220Ω/1W  
 R206: 470Ω/0.5W

## Potencjometry

VR1...VR5: 10Ω, logarytmiczne  
 VR101: 22Ω, montażowy, cermetowy  
 VR102: 470W, montażowy, cermetowy  
 VR201: 1Ω, montażowy, cermetowy

## Kondensatory

C1, C6, C7, C12, C14, C102: 1μF/63V, poliestrowe  
 C2, C4, C8, C10: 4.7μF/22V, elektrolityczne  
 C3, C9, C103: 1nF/63V, ceramiczne  
 C5, C11: 33pF/63V, ceramiczny  
 C13: 470μF/25V, elektrolityczne, wyprowadzenia jednostronne  
 C15, C105: 10μF/25V, elektrolityczne  
 C16: 68pF/63V, ceramiczny  
 C17: 100nF/63V, poliestrowy

(patrz tekst)

C17a: 10μF/25V, elektrolityczny  
 C17b: 220nF/63V, poliestrowy  
 C101: 22μF/25V, elektrolityczny  
 C104: 4.7nF/63V, poliestrowy  
 C106: 1μF/63V, poliestrowy  
 C107: 33nF/630V, poliestrowy  
 C108: 470μF/25V, elektrolityczny  
 C109: 1000μF/25V, elektrolityczny  
 C201: 100μF/16V, elektrolityczny  
 C202: 100nF/63V, ceramiczny (kondensatory elektrolityczne o pojemnościach 4.7...22μF powinny mieć wymiary 12.5mm x 5mm)

## Elementy półprzewodnikowe

TR1, TR3, TR5, TR6: BC414 (BC549)  
 TR2, TR4: BC416 (BC559)  
 TR101, TR102, TR210: BC237 (BC547)  
 TR103, TR104: BD137 (BD135)  
 TR105: BD138 (BD136)  
 TR106, TR107: BUZ10 (parowane: patrz tekst)  
 TR202: BC337  
 TR203: TIP42 (BD224 lub podobny)  
 D101, D102: BZY88-C15 (dioda Zenera 15V)  
 D103: LED, czerwona  
 D104, D105: BZX61-C39 (dioda Zenera 39V)  
 D106: LED, czerwona, 5mm  
 D201: 1N4001  
 D201, D2023- BZY88-C6V8 (dioda Zenera 6.8V)

## Gniazda

JK1-JK4: jack 0.25"  
 SK5-SK7: gniazdo 4mm, czerwone  
 SK8-SK10: gniazdo 4mm, czarne

## Różne

S1: przełącznik 10A, 125V  
 S2: miniaturowy przełącznik suwakowy (patrz tekst)  
 T1: transformator sterujący (patrz tekst)  
 T2: transformator wyjściowy (patrz tekst)

Pokręta do potencjometrów, przepust do kabla zasilającego, bezpiecznik 6.3A, gniazdo bezpiecznikowe 20mm, kątownik aluminiowy 1", grubość 0.125", długość 6", blacha aluminiowa ma chassis i radiator (ew. gotowy podzespół), śruby, podkładki, nakrętki (M3, M3.5 i M4), zestawy do odizolowania tranzystora (TO220 - 3 szt., TO126 - 2 szt. plus dodatkowe tulejki), wkręty samogwintujące nr 6 (8 szt.), letraset, lakier, płytka drukowana, obejmka mocująca do kondensatora, kołki montażowe (2 szt.), łączówki do płytki, kable, kable ekranowane.

MOS, w położeniu odpowiadającym największej rezystancji. Włączyć zasilanie i zmierzyć natężenie prądu. Jeśli przekracza ono 200mA, układ nie działa poprawnie. Jeśli przy włączaniu w głośniku słychać szum, niewłaściwa może być faza sygnału sprzężenia. Jeśli natężenie prądu nie przekracza 200mA, usunąć rezystor i włączyć zasilanie ponownie.

Przy pomocy potencjometru VR201 ustawić napięcie zasilania przedwzmacniacza równe 11,5V. Następnie, obracając delikatnie potencjometr VR102 w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara, ustawić wartość natężenia prądu spoczynkowego tranzystorów MOS-FET w przedziale 320...350mA. Prądy obu tranzystorów można zmierzyć włączając miernik w obwody drenów.

Prądy spoczynkowe przedwzmacniacza ustalane są przy pomocy VR101 tak, by napięcie w punkcie wspólnym R110 i TR103 było dwukrotnie wyższe niż spadek napięcia na R111.

Działanie wzmacniacza można sprawdzić podłączając głośnik o impedancji 3...8Ω do niskonapięciowego uzwojenia wtórnego, lub - przez transformator - do wyjścia 100V. Po podaniu odpowiednich sygnałów na wejścia mikrofonowe lub wejścia wysokosygnałowe powinny wystąpić oczekiwane efekty dźwiękowe.

## John Ellis, EwPE

*Artykuł publikujemy na podstawie umowy z redakcją miesięcznika „Everyday with Practical Electronics”.*