

„Obciążacz” (aktywne obciążenie)

Do czego to służy?

Nazwa proponowanego układu może wydać się dziwna wielu Czytelnikom. Jaki jednak znaleźć antonim do słowa „zasilacz”? Może „pobieracz” lub „zabieracz”? Brzmi to także paskudnie i wobec tego pozostaliśmy przy naszym „obciążaczu”, jako nazwę alternatywną pozostawiając sobie „sztuczne obciążenie”. Do czego jednak może służyć urządzenie, którego jedyną funkcją jest pobieranie energii elektrycznej i zamienianie jej na ciepło? Może autor chce zaproponować nam budowę najdroższego i najmniej ekonomicznego piecyka w historii techniki?

Nic podobnego, obciążacz nie jest bynajmniej żartem w stylu osławionego „Pipka dręczyciela”. Posiada on określone i bardzo ważne zastosowanie praktyczne. Najlepiej posłużymy się przykładem. Wyobraźmy sobie, że zbudowaliśmy sobie nowy zasilacz laboratoryjny, np. AVT-2001. Układ został zmontowany, wstępnie uruchomiony i okazało się, że prawdopodobnie pracuje on poprawnie. Prawdopodobnie, ponieważ dość trudno jest zbadać prawidłowość działania układu zabezpieczenia prądowego. Najczęściej do testowania zasilaczy używamy rezystorów o małej oporności i dużej mocy strat, lub różnego typu żarówek. Szczególnie ta ostatnia metoda nie jest warta polecenia ze względu na bardzo nieliniową charakterystykę rezystancji żarówki w funkcji temperatury. A jak poradzić sobie w przypadku, kiedy wykonany zasilacz nie jest wyposażony w miernik natężenia pobieranego prądu i potrzebujemy wykonać skalę przy potencjometrze ograniczenia prądowego? Nie jest to proste, ponieważ w tym przypadku potrzebna jest płynna regulacja prądu pobieranego z zasilacza. Oczywiście, możemy próbować sobie poradzić dołączając do wyjścia badanego zasilacza tranzystor o odpowiedniej dopuszczalnej mocy strat i regulując prąd bazy za pomocą jakiegoś potencjometru, spróbować w ten sposób uzyskać płynną regulację prądu. Tylko że za chwilę tranzystor zacznie się nagrzewać, trzeba go będzie umieścić na radiatorze... no to chyba już lepiej skonstruować sobie wyspecjalizowane urządzenie służące do testowania wszelkiego rodzaju zasilaczy. Przecież elektronika i nasze konstrukcje mają zawsze służyć ułatwianiu sobie i innym życia!

Oczywiście, opis testowania zasilacza sieciowego był tylko przykładem jednej z wielu możliwości wykorzystania propo-



nowanego układu. Znajdzie on zastosowanie przy badaniu wszystkich układów elektronicznych i elektrycznych, z których ma wypływać prąd i które mogą zawieść w ekstremalnych warunkach. To zresztą takie miłe uczucie: pobawić się czasami w sadystę i poznęcać się nad wykonanymi układami. „Ciekawe, ile wytrzyma, zanim zadziała zabezpieczenie termiczne (albo dym pójdzie z tranzystora wykonawczego układu bez zabezpieczenia termicznego)?

Zanim przejdziemy do szczegółowego opisu układu, jeszcze jedna uwaga. Urządzenie, z którym za chwilę się zapoznamy jest, oczywiście, w pełni funkcjonalnym i spełniającym zadane mu funkcje układem. Aby jednak uzyskać naprawdę wielki komfort pracy, warto dobudować do niego jeszcze jeden układ: jakikolwiek miliwoltomierz o zakresie 200mV (np. AVT-2004). Szerzej omówimy tę sprawę w dalszej części artykułu.

Jak to działa?

Schemat elektryczny proponowanego układu pokazany został na **rysunku 1**.

Układ możemy podzielić na trzy główne bloki funkcjonalne: blok właściwego układu sztucznego obciążenia, blok termostatu chłodzącego radiator i nieco rozbudowany układ zasilacza.

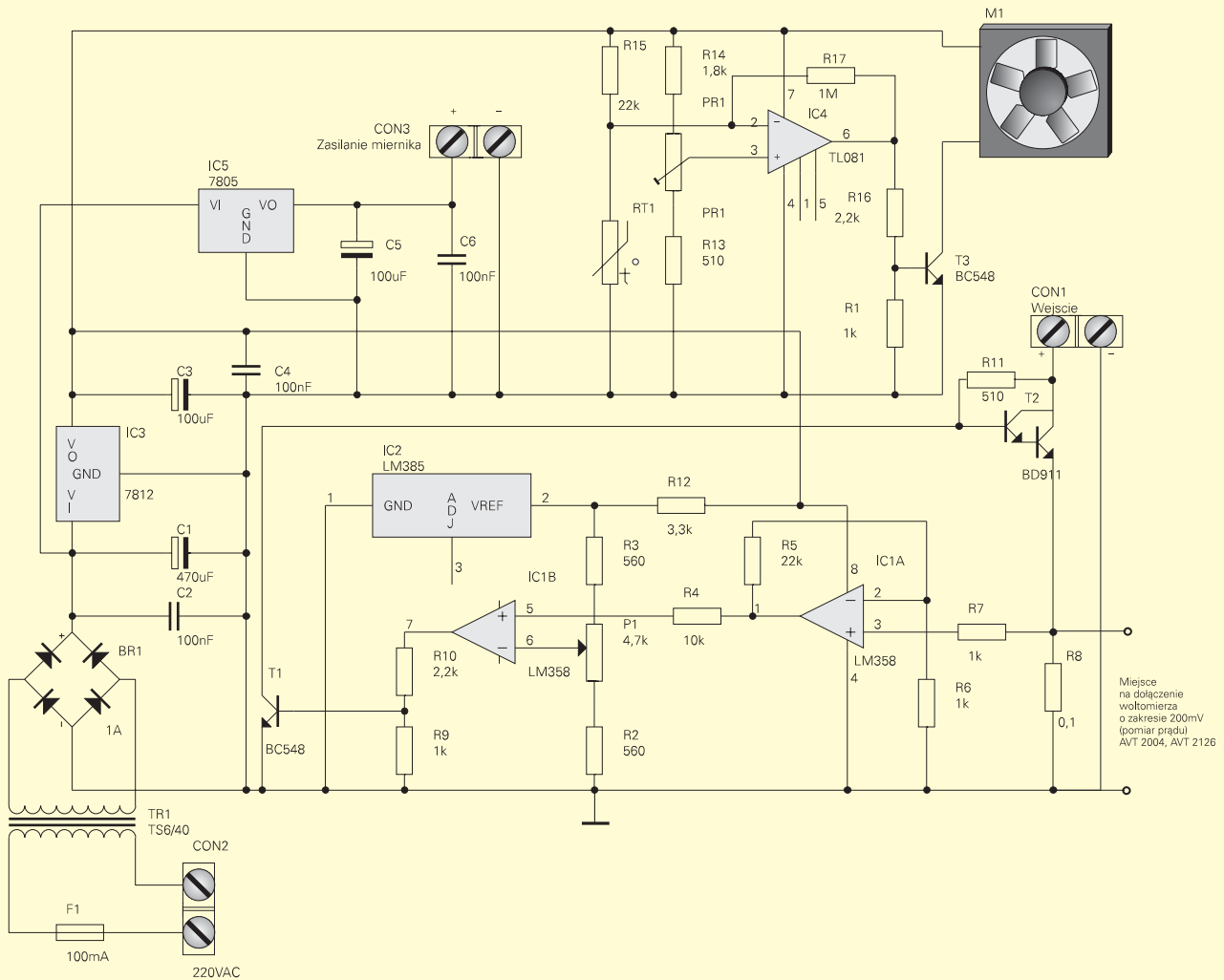
Blokiem podstawowym jest układ regulacji prądu pobieranego z badanego układu. Najważniejszym jego elementem jest wzmacniacz operacyjny IC1 – LM358. Prąd wpływający z badanego układu płynie przez tranzystor T2, którego baza spolaryzowana jest przez rezystor R11 i dalej, przez rezystor pomiarowy R8,

do masy wspólnej z badanym układem. Na rezystorze R8 odkłada się napięcie, zgodnie z prawem Ohma proporcjonalne do płynącego przez ten rezystor prądu. Napięcie to jest wzmacniane przez wzmacniacz IC1A i następnie podawane na wejście 5 komparatora zbudowanego na drugiej „połówce” LM358 – IC1B. Komparator porównuje to napięcie z napięciem wzorcowym, pobieranym z suwaka potencjometru regulacyjnego P1. Jeżeli napięcie wzorcowe jest mniejsze od napięcia na końcówce 5 to na wyjściu wzmacniacza napięcie wzrasta, powodując spolaryzowanie bazy tranzystora T1, zwieranie do masy bazy tranzystora T2 i ograniczanie prądu wpływającego do układu „obciążacza”.

Układ IC2 – LM385 możemy w naszym przypadku traktować jako wysoko stabilną diodę Zenera o napięciu przewodzenia 2,5V. Dostarcza on doskonale stabilizowanego napięcia wzorcowego.

Przy wartości R5 takiej, jak na schemacie, maksymalny prąd jaki możemy czerpać z badanego układu wynosi ok. 1A. Jeżeli ta wartość okaże się niewystarczająca, to możemy ją zwiększyć przez wymianę R5 na inny, o mniejszej wartości.

Drugim blokiem układu jest termostat, którego zadaniem jest chronienie tranzystora wykonawczego przed przegrzaniem. Jak już wspomnieliśmy, właściwie jedynym zadaniem wykonywanym przez nasz układ jest zamiana energii elektrycznej w ciepłą, tyle że w sposób dokładnie regulowany. Jest oczywiste, że od elementu wykonawczego takiego urządzenia musimy odprowadzać ciepło, ponie-



Rys. 1. Schemat ideowy

waż w przeciwnym wypadku mógłby on ulec uszkodzeniu na skutek przegrzania złącza półprzewodnikowego. Powróciliśmy tu do naszego pomysłu sprzed paru miesięcy: zamiast stosować wielki, niewygodny w montażu klasyczny radiator, wykonamy radiator aktywny, z wymuszonym chłodzeniem. W układzie modelowym wykorzystany został radiator wraz z wentylatorem, stosowany do chłodzenia procesorów w komputerach PC. Takie chłodzenie okazało się zupełnie wystarczające przy obciążeniach rzędu 20...30W. Jeżeli jednak ktoś będzie chciał testować układy oddające większy prąd, to będzie musiał zastosować większy radiator i silniejszy wentylator. Po co jednak wentylator ma pracować w momentach, kiedy radiator jest zimny lub zaledwie ciepły? Wentylator przeznaczony do chłodzenia procesora pracuje praktycznie bezszelestnie, ale wentylatory większej mocy generują nieprzyjemny szum, dobrze znany posiadaczom PC-tów. Zastosowaliśmy więc następujące rozwiązanie:

Podczas pracy z małym obciążeniem, kiedy nie grozi jeszcze przegrzanie tran-

zystora mocy T2, wentylator nie pracuje. W momencie przekroczenia zadanej temperatury układ elektroniczny włącza wentylator, który obniża temperaturę radiatora i po osiągnięciu dolnej granicy temperatury wyłącza się. W układzie występuje histereza rzędu kilku stopni Celsjusza. Jej powiększenie nie ma większego sensu: układy elektroniczne pracują najlepiej w ustalonych warunkach cieplnych i ustawiczne ich nagrzewanie i chłodzenie mogłoby niekorzystnie wpłynąć na ich trwałość. Tak więc układ pracuje właściwie jako termostat.

Sercem tego fragmentu układu sztucznego obciążenia jest popularny i tani wzmacniacz operacyjny typu TL081. Wzmacniacz porównuje ze sobą dwa napięcia: jedno tworzone przez dzielnik napięcia zbudowany z rezystorów R14, PR1 i R13 i drugie odkładające się pomiędzy rezystorem R15 i termistorem RT1. Termistor zamocowany jest do radiatora w pobliżu chłodzonego elementu i jego oporność maleje podczas nagrzewania się. W momencie kiedy napięcie na końcówce 2 wzmacniacza operacyjnego

spadnie poniżej napięcia ustawionego na końcówce 3, to na wyjściu 6 pojawi się napięcie prawie równe napięciu zasilania. Konsekwencją tego faktu będzie przewodzenie tranzystora T3 i włączenie silnika wentylatora. Temperatura radiatora zacznie spadać i kiedy dojdzie do wartości o kilka stopni większej od progu zadziałania wentylatora, na wyjściu wzmacniacza napięcie spadnie do ok. 1,5V. Ponieważ baza tranzystora T3 zasilana jest z dzielnika napięcia R1 i R16, tranzystor ten zostanie zatkany i wentylator wyłączy się. Temperatura radiatora zacznie wzrastać, osiągnie próg zadziałania wentylatora i tak dalej, i tak dalej...

Ostatnim blokiem układu wymagającym omówienia jest układ dwóch zasilaczy. Jeden z nich, typowo zrealizowany na scalonym stabilizatorze napięcia typu 7812 – IC3 zasila główny blok układu sztucznego obciążenia i układ termostatu. Drugi, zbudowany na stabilizatorze IC5 typu 7805 przewidziany jest do zasilania miliwoltomierza. I tu dochodzimy do sprawy, sygnalizowanej na początku artykułu. Nie ma najmniejszych przeszkód,

aby do pomiaru prądu pobieranego z badanego układu zastosować miernik uniwersalny, stanowiący wyposażenie nawet najskromniejszego warsztatu elektronika. Tylko że takie rozwiązanie jest bardzo niewygodne, powoduje konieczność ciągłego przełączania przewodów pomiarowych. Jeżeli w dodatku zajdzie konieczność zmierzenia jakiegoś napięcia w badanym układzie, to sytuacja posiadacza jednego tylko multimetru może stać się beznadziejna. Można wprawdzie nanieść skalę obok gałki potencjometru, ale wtedy regulacja prądu nie będzie zbyt dokładna. Rozwiązaniem idealnym jest wbudowanie w nasze urządzenie specjalnego przyrządu pomiarowego, najlepiej cyfrowego miliwoltomierza (tak właśnie wykonany został układ prototypowy, widoczny na fotografii 1). Mamy nawet taki układ do dyspozycji: jest nim uniwersalny moduł miliwoltomierza AVT-2004, lub miliwoltomierz z wyświetlaczem LCD AVT-2126 (ten ostatni układ opisany był w Młodym Techniku). Właśnie do zasilania modułu AVT-2004 służy drugi zasilacz w naszym układzie. Zastosowanie rezystora pomiarowego R8 o wartości 0,1Ω nie było, jak się okazuje, sprawą przypadku. Po dołączeniu do jego końcówek dowolnego miliwoltomierza o zakresie 199,9mV otrzymamy bez żadnych dodatkowych zmian w układzie czy regulacji wynik pomiaru w mA. W przypadku zastosowania modułu AVT-2126, którego napięcie zasilania wynosi 9V, musimy wymienić stabilizator 7805 IC5 na układ 7809, lub też ze względu na mały pobór prądu, 78L09.

Montaż i uruchomienie

Mozaika ścieżek płytki drukowanej oraz rozmieszczenie na niej elementów zostało pokazane na rysunku 2. Płytkę zo-

stała wykonana na laminacie jednostronnym, co pociągnęło za sobą konieczność zastosowania dwóch zworek oznaczonych na stronie opisowej płytki jako Z1 i Z2. Od nich rozpoczniemy montaż układu, w dalszej kolejności lutując rezystory, a dalej elementy o coraz większych wymiarach. Pod układy scalone autor jak zwykle zaleca zastosować podstawki. Jako ostatni lutujemy do płytki transformator sieciowy i jeżeli mamy zamiar zastosować radiator od procesora, to napotykamy na trudności. Radiator taki jest znakomitym elementem odprowadzającym ciepło, ale wyjątkowo trudnym do zamocowania do płytki. Kolegom mającym smykałkę do mechaniki można polecić zamocowanie radiatora za pomocą odpowiednio zwymiarowanego kątownika. Pozostałym autor zaleca metodę najprostszą – przyklejenie radiatora do płytki za pomocą kleju na gorąco, tak jak to zostało zrobione w układzie modelowym.

Zmontowany układ wymaga tylko jednej czynności regulacyjnej i w wypadku jeżeli nie zdecydujemy się na zastosowanie osobnego miliwoltomierza – wykonania skali przy gałce potencjometru.

Regulacja termostatu może okazać się nieco uciążliwa, ze względu na trudności z podgrzaniem termistora do określonej temperatury. Ale zanim przejdziemy do opisu regulacji, jedna ważna uwaga: podczas czynności regulacyjnych nie zasilajmy jeszcze układu z sieci, ale z jakiegoś pomocniczego zasilacza, dobrze od niej odizolowanego. Licho nie śpi!

Problem podgrzania termistora pomiarowego do określonej, znanej temperatury można rozwiązać dwoma sposobami: albo umieszczając termistor w hermetycznej obudowie, a następnie w naczyniu z podgrzaną wodą, lub też nagrzewając „goły” termistor w naczy-

Wykaz elementów

Rezystory

PR1: 4,7kΩ
 P1: 4,7kΩ/A potencjometr obrotowy
 RT1: termistor 22kΩ/ 18°C
 R1, R6, R7, R9: 1kΩ
 R2, R3: 560Ω
 R4: 10kΩ
 R5, R15: 22kΩ
 R8: 0,1Ω/5W
 R10, R16: 2,2kΩ
 R13, R11: 510Ω
 R12: 3,3kΩ
 R14: 1,8kΩ
 R17: 1MΩ

Kondensatory

C1: 470µF/16V
 C2, C4, C6: 100nF
 C3, C5: 100µF/10V

Półprzewodniki

BR1: mostek prostowniczy 1A
 IC1: LM358
 IC2: LM385
 IC3: 7812
 IC4: TL081
 IC5: 7805
 T3, T1: BC548 lub odpowiednik
 T2: BD911

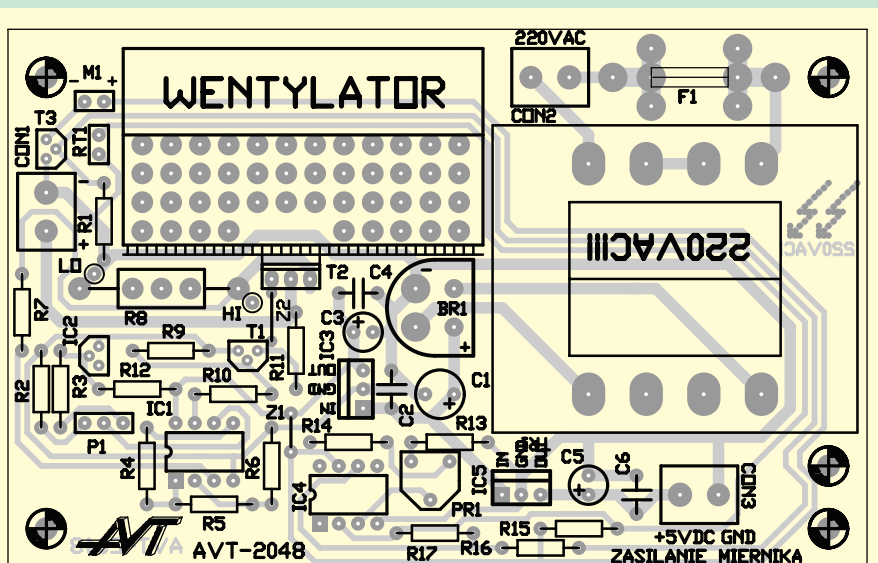
Pozostałe

CON1, CON2, CON3: ARK2
 F1: bezpiecznik 100mA z podstawką
 M1: radiator aktywny od procesora DX lub PENTIUM (nie wchodzi w skład kitu, dostępny w ofercie handlowej AVT)
 TR1: transformator sieciowy typu TS6/40 (nie wchodzi w skład kitu, dostępny w ofercie handlowej AVT)

niu z cieczą nie przewodzącą prądu (np. w zwykłej, dostępnej w każdej aptece wodzie destylowanej). Niezależnie jaką metodą wybierzemy, termistor umieszczamy w naczyniu z płynem podgrzanym do temperatury ok. 80°C i pokręcając potencjometrem montażowym PR1 „łapiemy” moment włączenia wentylatora. Po dokonaniu tej regulacji termistor umieszczamy jak najbardziej dociśnięty do radiatora. Najlepiej po prostu przykleić go za pomocą kleju silikonowego.

Jeżeli zdecydowaliśmy się na zastosowanie miliwoltomierza, ta najlepiej cały układ umieścić w obudowie typu KM z czerwonym filtrem (tak, jak układ prototypowy). Pozwoli to na uniknięcie żmudnego wycinania otworów na wyświetlacze. Jest to jednak metoda dobra tylko w przypadku zastosowania miliwoltomierza z wyświetlaczami LED, natomiast jeżeli użyjemy modułu AVT-2126, to nie unikniemy konieczności wycinania otworu i wymiany stabilizatora IC5 na podobny, ale pracujący przy napięciu 9V (7809). Zaciski pomiarowe miliwoltomierza dołączamy do punktów oznaczonych na płytce „LO” i „HI”.

W przypadku, kiedy oszczędność wzięła górę nad chęcią zapewnienia sobie komfortowych warunków pracy, musimy wykonać skalę wokół gałki potencjometru. c.d. na str. 58



Rys. 2. Schemat montażowy

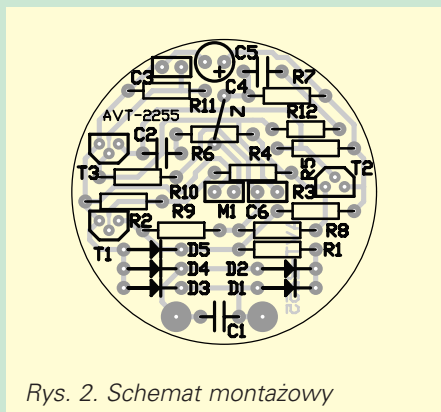
wyłącznie z tych, obecnie używanych prawie tylko do sterowania układami wykonawczymi, elementów. Ach, tza się w oku kręci! Nie zatrzymamy jednak zwrotnego postępu w elektronice (po co zresztą byłoby to robić?), wracamy więc do naszego schematu.

Sygnal pochodzący bezpośrednio z mikrofonu elektretowego byłby wielokrotnie za słaby dla naszych potrzeb. Tak więc z tego i z innych powodów musimy zastosować wzmacniacz mikrofonowy. Zawiera on trzy stopnie wzmacniające, o sprzężeniu stałoprądowym i zbudowany jest na trzech tranzystorach T1–T3. Dzięki zastosowaniu dwóch filtrów wzmacniacz przenosi sygnały w pasmie „telefonicznym”. Filtr zbudowany z rezystora R11 i kondensatora C5 ogranicza wzmacniane pasmo „od dołu” natomiast, górna częstotliwość ograniczona jest przez obwód pętli sprzężenia zwrotnego z rezystorem R10 i pojemnością C6.

Podczas projektowania układu najistotniejszą sprawą było, aby „zachowywał się” on identycznie, jak stary mikrofon węglowy. I tu pojawił się pierwszy problem: mikrofon węglowy jest elementem o dowolnej polaryzacji, całkowicie niewrażliwym na zmieniającą się biegunowość zasilania słuchawki telefonu. Natomiast zachowanie prawidłowej polaryzacji zasilania naszego układu ma zasadnicze znaczenie. Zastosowano więc prostownik pełnokresowy, zbudowany z diod D1–D4, niezależniący pracę układu od aktualnej polaryzacji sieci telefonicznej. Zastosowano też diodę Zenera D5, zwierającą do masy napięcia wyższe, niż przewidziane do zasilania układu wzmacniacza. Wyjściowe napięcie m. cz. nakłada się na napięcie zasilania i nasz układ zachowuje się jak rezystor zmieniający swoją wartość w funkcji odbieranego przez mikrofon M1 sygnału, czyli dokładnie tak, jak mikrofon węglowy.

Montaż i uruchomienie

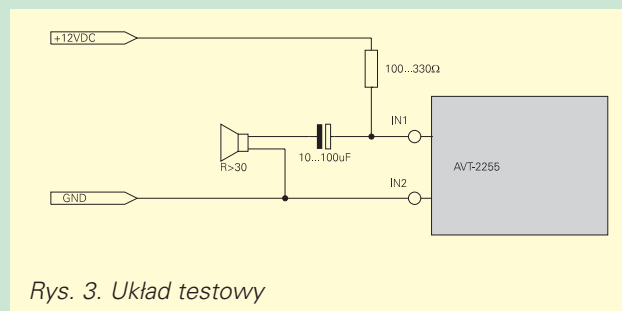
Na rysunku 2 przedstawiono mozaikę ścieżek płytki drukowanej i rozmieszcze-



Rys. 2. Schemat montażowy

nie na niej elementów. Montaż układu wykonujemy w całkowicie typowy sposób, rozpoczynając od wlutowania jednej zworki. Lutujemy kolejno diody, rezystory i kondensatory, kończąc na zamontowaniu mikrofonu elektretowego. Element ten nie posiada żadnych wyprowadzeń do lutowania w płytkę, ponieważ zaprojektowany został do montażu na kablu. Musimy zatem dorobić z obciętych końcówek oporników potrzebne wyprowadzenia i mikrofon zamontować w odległości kilku milimetrów od powierzchni płytki.

Po zmontowaniu płytki powinniśmy wypróbować naszą konstrukcję, jak na razie bez dołączania jej do telefonu. Potrzebny będzie do tego specjalny układ testujący, pokazany na rysunku 3. Do „podsluchiwania” naszego mikrofonu możemy wykorzystać mały głośniczek o dużej oporności, słuchawki, lub, najlepiej, wkładkę



Rys. 3. Układ testowy

słuchawkową od aparatu telefonicznego. Układ powinien działać natychmiast poprawnie, bez konieczności jakiegokolwiek regulacji. Perfekcjonści mogą jedynie poeksperymentować z doбором wartości rezystora R10 (w zakresie od 270kΩ do 390kΩ), starając się uzyskać jak największą siłę nie zniekształconego głosu.

Jeżeli wszystko jest OK, to przystępujemy do ostatniej fazy budowania naszego mikrofonu: do zabezpieczenia płytki przed korozją za pomocą lakieru poliuretanowego. Ale po co zabezpieczać przed korozją układ pracujący w stojącym w mieszkaniu aparacie telefonicznym? To proste: oddech człowieka zawiera w sobie duże ilości pary wodnej i może powodować korozję nie zabezpieczonej płytki, a także wadliwe działanie układu na skutek bocznikowania rezystorów przez wilgoć. Potrzebny lakier możemy zakupić

c.d. ze str. 56

Możemy tego dokonać dołączając poprzez amperomierz wejście naszego układu do wyjścia zasilacza o odpowiedniej wydajności prądowej. Obserwując wskazania amperomierza nanosimy odpowiednie wartości na skalę, wykonaną z kawałka grubego papieru, który najlepiej później zafoliować.

Z wartościami elementów podanymi na schemacie, układ może pobierać ma-

Wykaz elementów

Rezystory

R1: 30Ω
R2, R4: 1,5kΩ
R3: 510Ω
R5: 15kΩ
R6: 1kΩ
R7: 1,8kΩ
R8, R9, R11: 68kΩ
R10: 330kΩ(*)
R12: 4,7kΩ

Kondensatory

C1: 47nF
C2: 390pF
C3: 33pF
C4: 22uF/10
C5: 100nF
C6: 150pF

Półprzewodniki

D1, D2, D3, D4: 1N4148 lub odpowiednik
D5: dioda Zenera 9,1V
T1, T3: BC548 lub odpowiednik
T2: BC557 lub odpowiednik

Pozostałe

M1: mikrofon elektretowy 2-końcówkowy

w sieci handlowej AVT lub w innym sklepie z artykułami chemicznymi dla elektroniki. Autor przestrzega jedynie przed stosowaniem „wynałków” typu lakieru do paznokci czy też lakieru nitro, który nie jest odporny na wilgoć.

Ostatnią czynnością będzie zamontowanie układu w słuchawce telefonicznej. Płytkę drukowaną jest znacznie mniejsza od mikrofonów węglowych produkowanych niegdyś w Polsce, tak więc zmieści się doskonale w każdej słuchawce aparatu telefonicznego krajowej produkcji. Sposób umocowania płytki pozostawiamy już inwencji Czytelników, ponieważ będzie on różny w zależności od typu słuchawki. Godna polecenia wydaje się być metoda polegająca na „upchaniu” wokół płytki kawałków waty, lub, jeszcze lepiej gąbki. Poza pewnym zamocowaniem pozwoli to na „miękkie” zawieszenie mikrofonu.

Zbigniew Raabe

Komplet podzespołów z płytką jest dostępny w sieci handlowej AVT jako „kit szkolny” AVT-2255.

ksymalny prąd ok. 1A. Jeżeli potrzebne będą większe prądy, to możemy zmniejszyć wartość rezystora R5.

Zbigniew Raabe

Komplet podzespołów z płytką jest dostępny w sieci handlowej AVT jako „kit szkolny” AVT-2048.