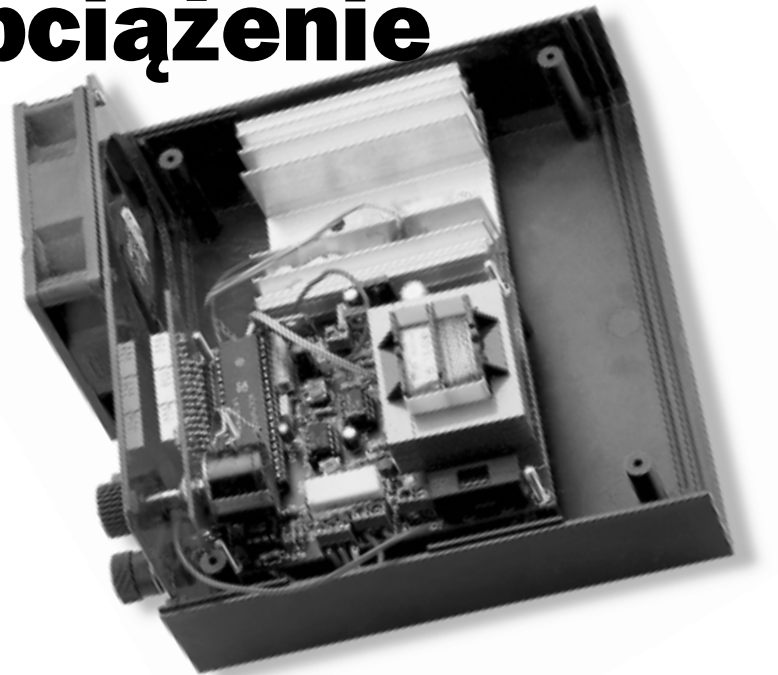


# Sztuczne obciążenie

## kit AVT-452

*Proponuję Czytelnikom EP budowę urządzenia, którego jedyną funkcją będzie zużywanie, bez żadnego pożytku, energii elektrycznej. Pobrana energia zostanie zamieniona na ciepło, co spowoduje tylko kłopoty z jego odprowadzeniem.*



To wszystko brzmi trochę jak kiepski dowcip, ale jest to prawda. Z jednym wyjątkiem: z tym „bez żadnego pożytku“ to trochę przesadziłem! Zastosowanie proponowanego układu umożliwi nam proste i szybkie przetestowanie skonstruowanego układu dostarczającego energii elektrycznej. Takimi urządzeniami mogą być wszelkiego typu zasilacze, prostowniki do ładowania akumulatorów itp. Wbrew pozorom, przetestowanie nowo zbudowanego zasilacza wcale nie jest sprawą prostą. Do tego celu stosowano kiedyś duże rezystory drutowe o regulowanej rezystancji - opornice suwakowe. Obecnie w warunkach amatorskich jako obciążenia stosujemy rezystory o małych wartościach rezystancji, a w wypadku konieczności uzyskania dużych prądów powszechnie stosuje się żarówki samochodowe. Szczególnie ta ostatnia metoda nie jest warta polecenia, ze względu na bardzo nieliniową charakterystykę rezystancji włókna żarówki w funkcji temperatury. Oczywiście, możemy w parę minut skonstruować układ umożliwiający płynną regulację pobieranego ze źródła prądu. Wystarczy tranzystor mocy z regulowanym prądem bazy, ale po chwili tranzystor zacznie się nagrzewać, trzeba będzie umocować go na radiatorze, a i regulacja prądu wcale nie będzie taka płynna i wygodna. Nie zapominajmy, że elektronika w założeniu ma służyć ułatwianiu nam życia, szcze-

gólnie ciężkiego życia elektronika amatora. Skonstruujmy sobie przyrząd umożliwiający szybkie sprawdzenie możliwości (wydajności prądowej) zbudowanego zasilacza czy ładowarki do akumulatorów.

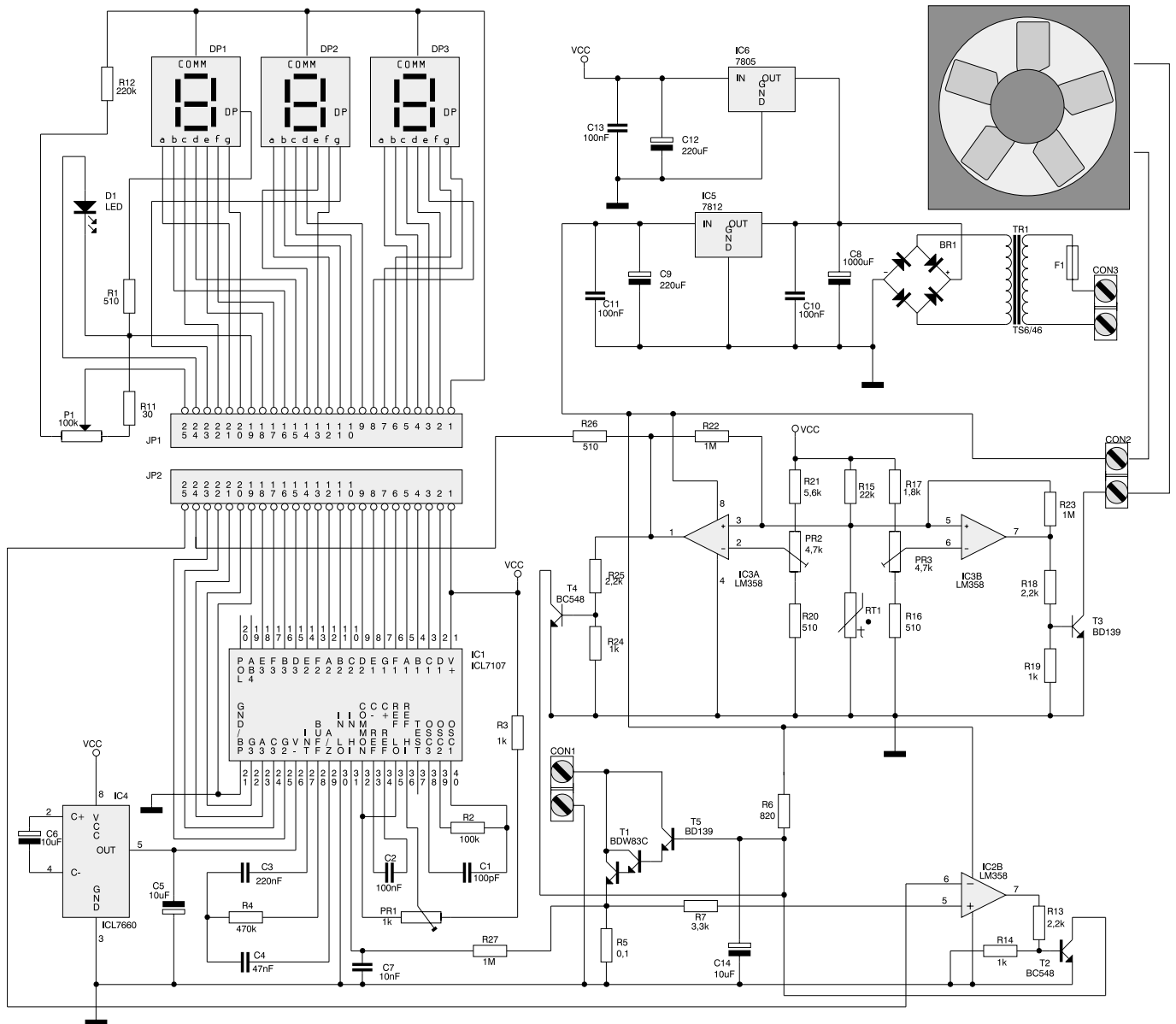
Podczas projektowania układu przyjąłem następujące założenia konstrukcyjne:

1. Układ musi umożliwiać obciążanie badanego urządzenia prądem o maksymalnym natężeniu zależnym tylko od typu zastosowanego tranzystora wykonawczego. Układ prototypowy przystosowany został do maksymalnego prądu 10A, który można bez problemu zwiększyć stosując inne tranzystory oraz zwiększając skuteczność układu chłodzenia.

2. Regulacja pobieranego przez układ prądu powinna być bezstopniowa, realizowana za pomocą wieloobrotowego potencjometru.

3. Urządzenie powinno być wyposażone w skutecznie działający układ chłodzenia tranzystora wykonawczego. Wyposażanie go w gigantyczny radiator (będziemy mieli do czynienia z mocami traconymi rzędu 100..200W) nie ma najmniejszego sensu i jedyną skuteczną metodą odprowadzenia wydzielanego ciepła jest zastosowanie chłodzenia wymuszonego.

4. Podczas pracy z niewielkimi prądami, chłodzenie wymuszone nie powinno być włączane, ponieważ szum wentylatora może być na dłuższą metę uciążliwy. Dlatego też



Rys. 1. Schemat elektryczny urządzenia.

należy zastosować prosty układ termostatu, włączający wentylator dopiero w momencie nagrzania radiatora do zadanej temperatury.

5. Nawet najskuteczniejsze chłodzenie może okazać się w pewnych warunkach niewystarczające i kosztowny tranzystor mocy może ulec przegrzaniu i uszkodzeniu. Konieczne będzie zastosowanie układu wyłączającego obciążenie w momencie osiągnięcia krytycznej temperatury radiatora.

6. Jako absolutnie konieczne uznałem wyposażenie urządzenia w układ pomiaru pobieranego prądu. Ustawiczne przełączanie przewodów pomiarowych miernika uniwersalnego może każdego doprowadzić do ciężkiego stresu, a koszt wykonania prostego ampe-

romierza cyfrowego jest obecnie niezbyt wysoki.

7. Projektowany układ ma znaleźć zastosowanie jako stałe wyposażenie warsztatu elektronika i powinien być wyposażony we wbudowany zasilacz sieciowy, co umożliwi częste korzystanie z niego bez konieczności dołączania dodatkowego źródła zasilania.

Urządzenie spełniające powyższe założenia zostało zaprojektowane, wykonane i przetestowane w pracowni konstrukcyjnej AVT, w której stało się następnie kolejnym, ważnym elementem jej wyposażenia.

### Opis działania układu

Schemat elektryczny naszego „obciążacza“ został przedstawiony na rys. 1. Schemat ten wygląda

trochę dziwnie: właściwy układ regulacji pobieranego z testowanego urządzenia prądu to malutki fragment schematu z tranzystorami T1 i T5 oraz układem scalonym IC2B. Reszta to bardzo rozbudowane układy pomocnicze, umożliwiające pracę głównemu blokowi układu. No cóż, bywa i tak.

Schemat układu sztucznego obciążenia możemy podzielić na kilka bloków funkcjonalnych, które kolejno omówimy.

1. Wspomniany już układ regulacji pobieranego prądu został zrealizowany z wykorzystaniem jednego tylko wzmacniacza operacyjnego typu LM358. Wybór tego właśnie wzmacniacza został podyktowany faktem, że może on pracować przy napięciach wej-

ściowych bliskich napięciu zasilania, a z takimi właśnie będziemy mieli do czynienia.

Prąd pobierany z testowanego urządzenia przepływa przez rezystor R5, powodując spadek napięcia na tym elemencie proporcjonalny do wartości tego prądu. Napięcie z rezystora pomiarowego R5 jest podawane na wejście 5 IC2B i porównywane przez ten układ z napięciem zadanym za pomocą potencjometru P1. Jeżeli napięcie na R5 jest wyższe od zadanego, to wyjście wzmacniacza IC2B wystawia tranzystor T2. Tranzystor ten zwiera bazę tranzystora T5 do masy, powodując ograniczenie prądu pobieranego przez nasz układ. Z wartościami elementów podanymi na schemacie, regulacja prądu obejmuje zakres od kilkunastu miliamperów do 10A.

2. Sterowanie wentylatorem chłodzącym radiator oraz układ zabezpieczający tranzystor wyko-

nawczy przed uszkodzeniem na skutek przegrzania zostały zrealizowane przy pomocy dwóch wzmacniaczy operacyjnych zawartych w strukturze drugiego układu LM358 - IC3. Zbudowane zostały dwa komparatory napięcia: jeden sterujący pracą wentylatora i drugi wyłączający tranzystor mocy w przypadku jego przegrzania. Czujnik temperatury został zrealizowany z wykorzystaniem termistora RT1 i rezystora R15. Napięcie z tak utworzonego dzielnika jest podawane na wejście 5 wzmacniacza operacyjnego IC3B i porównywane z napięciem zadanym za pomocą potencjometru montażowego PR3. Jeżeli napięcie na dzielniku spadnie poniżej poziomu napięcia na wejściu 6, to spolaryzowana zostanie baza tranzystora T3 i w konsekwencji zostanie uruchomiony wentylator chłodzący radiator tranzystora mocy. Jeżeli po pewnym czasie temperatura radia-

tora wróci do normy, to wentylator wyłączy się, nie zakłócając nam spokoju swoim szumem.

Wejście 3 wzmacniacza operacyjnego IC3A zostało także dołączone do dzielnika napięcia będącego czujnikiem pomiarowym temperatury radiatora. Na drugie wejście tego wzmacniacza jest podawane napięcie zadane za pomocą potencjometru montażowego PR2. Jeżeli temperatura radiatora, pomimo włączenia wentylatora, wzrośnie ponad dopuszczalną wartość, to włączony zostanie tranzystor T4 zwiernając do masy bazę tranzystora T5. Płynący przez układ prąd zostanie ograniczony do zera aż do czasu ostygnięcia radiatora.

3. Kolejnym blokiem układu jest amperomierz zbudowany z wykorzystaniem znanego każdemu

elektronikowi scalonego przetwornika A/D typu ICL7107. Schemat tego fragmentu układu jest typową aplikacją fabryczną ICL7107, z jednym wyjątkiem: nie zastosowano „najstarszego“ wyświetlacza 1/2 cyfry. Zgodnie z prawem Ohma napięcie odkładające się na rezystorze pomiarowym R5 będzie proporcjonalne do wartości płynącego prądu i przy wartości 10A wyniesie 1V. Miliwoltomierz został zbudowany z elementów, których wartości dają nam zakres pomiarowy od 0 do 2V. A zatem zakres pomiarowy tego miliwoltomierza, zastosowanego w układzie amperomierza wyniesie od 0 do 9990mA z rozdzielczością 10 mA, co wydaje się być zupełnie wystarczające w większości zastosowań.

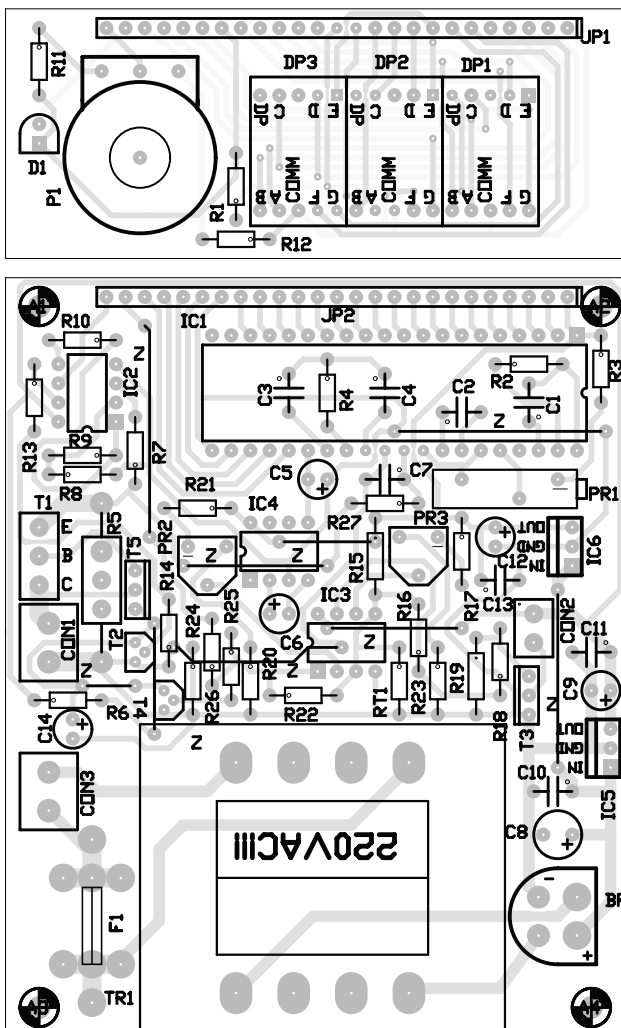
Układ IC4 - ICL7660 jest scaloną przetwornicą napięcia +5VDC/-5VDC i wymaga zastosowania tylko jednego elementu zewnętrznego: kondensatora C6 o pojemności 10 $\mu$ F.

4. Pozostała część układu to typowo skonstruowane stabilizowane zasilacze zbudowane z wykorzystaniem scalonych stabilizatorów napięcia 7805 i 7812. Stabilizator IC6 zasila układ amperomierza, a IC5 pozostawia część układu. Dioda LED D1 sygnalizuje fakt przegrzania tranzystora mocy i wyłączenia prądu pobieranego z badanego układu.

## Montaż i uruchomienie

Na rys. 2 pokazano rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej. Mozaikę ścieżek dwóch płytek drukowanych przedstawiliśmy na wkładce wewnątrz numeru.

Układ został umieszczony na dwóch płytkach: płytce wyświetlaczy amperomierza, wykonanej na laminacie dwustronnym z metalizacją i płytce bazowej. Płytki bazowa została wykonana na laminacie jednostronnym, co ze względu na znaczną komplikację połączeń spowodowało konieczność zastosowania kilku zworek. Od wykonania tych właśnie zwor rozpoczęliśmy montaż urządzenia. Zwory zostały wyraźnie oznaczone na stronie opisowej płytki za pomocą kresek i symboli „Z”. Daleszą część montażu wykonamy w typowy sposób, lutując najpierw rezystory, a kończąc na zamontowaniu transformatora sieciowego.



Po zmontowaniu płytek musimy je połączyć w jedną całość za pomocą złącza kąтового typu goldpin. Taki sposób połączenia obydwóch części układu gwarantuje nam zachowanie kąta prostego pomiędzy płaszczyznami płytek i ich pewne połączenie mechaniczne.

Kolejnym krokiem podczas montażu urządzenia będzie przykręcenie tranzystora mocy do radiatora. Ponieważ od skuteczności chłodzenia tego elementu zależy w dużym stopniu niezawodność budowanego układu, czynność tę musimy wykonać starannie, nie zapominając o zastosowaniu specjalnej pasty dobrze przewodzącej ciepło. Termistor RT1 przyklejamy do radiatora za pomocą kleju Distal lub Poxipol i łączymy z płytką obwodu drukowanego za pomocą odcinka przewodu.

Do obudowania zmontowanego układu proponowałbym zastosować obudowę serii KM, taką jakiej użyto w układzie prototypowym. Dobrym rozwiązaniem będzie zastosowanie jako płyty czołowej filtra o kolorze odpowiadający barwie zastosowanych wyświetlaczy, a więc najczęściej czerwonym. Pozwoli to uniknąć wycianania w obudowie otworu na wyświetlacze i zasłanianiu go filtrem.

Prawidłowe umieszczenie w obudowie wentylatora chłodzącego radiator jest bardzo ważne. Pamiętajmy, że w radiatorze może wydzielić się moc przekraczająca niejednokrotnie 150W i strumień powietrza tłoczonego przez wentylator musi dokładnie opływać powierzchnię radiatora. Powinien on być umieszczony tak, jak w układzie prototypowym, na przedniej ścianie obudowy, bądź na jej ścianie tylnej. W każdym jednak przypadku musimy na ścianie przeciwnej do tej, na której zamocowaliśmy wentylator wykonać otwór o jak największej średnicy (można także nie zamykać tylnej ścianki obudowy).

A teraz ważna uwaga: do momentu zamknięcia układu w obudowie lepiej nie dołączać do niego napięcia sieciowego. Wszelkie próby i regulacje bezpieczniej będzie wykonać korzystając z pomocniczego zasilacza laboratoryjnego. Da to konstruktorowi większy komfort pracy i pozwoli uniknąć stresów związanych z obawą przed dotknięciem ścieżek znajdujących się pod napięciem sieci 220V.

Ostatnią czynnością przed zamknięciem układu w obudowie będzie regulacja amperomierza oraz układu chłodzenia i zabezpieczenia przed przeciążeniem termicznym.

Kalibrację amperomierza wykonujemy dokładnie tak, jak każdego innego układu wykorzystującego popularną „aj-si-elkę“ (ICL7107). Za pomocą potencjometru montażowego ustawiamy pomiędzy wyprowadzeniami COMMON i REF HI układu IC1 napięcie dokładnie równe 1000mV. Ale uwaga: tak skalibrowany przyrząd będzie dokładnie mierzył napięcie na wejściu IN HI, co jednak nie oznacza, że będzie równie dokładnie mierzył prąd płynący przez rezystor pomiarowy R5. Przyczyną błędu jest zbyt duża tolerancja wartości rezystorów dużej mocy. Mamy dwa wyjścia: albo pogodzić się z niezbyt dokładnym pomiarem wartości pobieranego przez nasz układ prądu, albo dokonać dokładnej kalibracji przez porównanie ze wskazaniami amperomierza dobrej klasy. Ze względu na „starzenie się“ rezystorów, dokładnej kalibracji musimy dokonać po pewnym okresie eksploatacji przyrządu. Jeszcze jednym rozwiązaniem problemu może być wykonanie precyzyjnego rezystora 0,1Ω/10W, ale wymagać to będzie korzystania z trudno dostępnej i kosztownej aparatury pomiarowej.

Przystąpmy teraz do regulacji układu zabezpieczenia termicznego. Będzie to czynność bardzo prosta, ponieważ nie musimy jej wykonywać zbyt dokładnie: wystarczy zupełnie ustawić dwie graniczne temperatury „na czucie“, nawet bez stosowania jakiegokolwiek termometru. Próg zadziałania wentylatora chłodzącego radiator ustawiamy tak, aby włączył się, kiedy radiator jest już bardzo gorący, ale daje się dotknąć ręką. Regulacji dokonujemy za pomocą potencjometru montażowego PR3, a potencjometrem PR2 ustawiamy próg zadziałania wyłącznika zabezpieczenia termicznego. Tranzystor T1 powinien być blokowany (co sygnalizowane jest świeceniem diody D1) w momencie, kiedy radiatora nie można już dotknąć ręką, ponieważ jego temperatura zbliżyła się do 100°C.

Po dokonaniu tych wszystkich regulacji możemy nasze urządzenie uznać za skalibrowane i sprawne.

**Zbigniew Raabe, AVT**

## WYKAZ ELEMENTÓW

### Rezystory

P1: potencjometr 100kΩ/A w kicie jednoobrotowy, zalecana wymiana na potencjometr wieloobrotowy o takiej samej wartości

PR1: potencjometr montażowy HELLITRIM 1kΩ

PR2, PR3: 4,7kΩ

R1, R9, R16, R20: 510Ω

R2: 100k

R3, R14, R19, R24: 1kΩ

R4: 470kΩ

R5: 0,1Ω/10W

R6: 820Ω

R7: 3,3kΩ

R10, R13, R18: 2,2kΩ

R11: 30Ω

R15: 22kΩ

R17: 1,8kΩ

R21: 1MΩ

RT1: termistor NTC ok. 20kΩ przy 20°C

### Kondensatory

C1: 100pF

C2, C10, C11, C13: 100nF

C3: 220nF

C4: 47nF

C5, C6, C14: 10μF/10V

C7: 10nF

C8: 1000μF/16V

C9, C12: 220μF/16V

### Półprzewodniki

BR1: mostek prostowniczy 1A

DP1, DP2, DP3: wyświetlacz siedmiosegmentowy LED wspólna anoda

D1: LED

IC1: ICL7107

IC2, IC3: LM358

IC4: ICL7660

IC5: 7812

IC6: 7805

T1: BDW83C

T2, T4: BC548

T3, T5: BD139

### Różne

CON1, CON2, CON3: ARK2

Złącze ARK3 (3,5mm)

F1: plastikowa oprawka bezpiecznika + bezpiecznik 200mA  
JP1, JP2: goldpin kątowny 25 pinów

TR1 transformator sieciowy typu TS6/46

Wentylator 12V do chłodzenia radiatora