

# Modułowy zasilacz laboratoryjny

## Do czego to służy?

Oj te zasilacze, zasilacze! Nieważne ile by ich zaprojektować, to i tak będzie Wam mało! Bez najmniejszej przesady można stwierdzić, że ilu elektroników, tyle koncepcji budowy jednego z najważniejszych urządzeń w pracowni elektronicznej, jakim bez wątpienia jest zasilacz sieciowy! Jeżeli na przykład ktoś specjalizuje się w wykonywaniu układów „motorzacyjnych”, to chciałby mieć zasilacz o dużej wydajności prądowej, ale wystarczy mu tylko jedno napięcie wyjściowe. Z kolei ktoś zajmujący się skomplikowanymi układami analogowymi żąda zaprojektowania zasilacza o wielu napięciach wyjściowych, ale zadowolony jest maksymalnym prądem rzędu kilkunastu czy kilkudziesięciu miliamperów. Kolega budujący głównie układy cyfrowe ma najmniejsze wymagania: wystarczy mu jedno napięcie +5VDC .... ale tak naprawdę, to przydałoby się jeszcze jedno, np. +12VDC do zasilania przełączników czy innych układów wykonawczych. Czy zatem pogodzenie ze sobą tych sprzecznych żądań i zbudowanie zasilacza, który zadowoliliby wszystkich Konstruktorów jest niemożliwe? Autor z całym przekonaniem twierdzi że taki zasilacz może zostać zaprojektowany, a nawet już został zbudowany.

Podczas projektowania naszego „idealnego” zasilacza przyjęto zupełnie nową w tej grupie urządzeń elektronicznych koncepcję konstrukcyjną: konstrukcję modułową, tak dobrze sprawdzającą się na wielu innych obszarach działalności projektantów urządzeń elektronicznych.

Nasz zasilacz będzie składał się z klocków, które podobnie jak klocki LEGO będziemy mogli w dowolny sposób łączyć ze sobą. Nie zakładamy jakichkolwiek ograniczeń jeżeli chodzi o maksymalny prąd wyjściowy ani o ilość dostępnych napięć. Każdy będzie mógł sobie złożyć z klocków taki zasilacz, jaki mu odpowiada, zachowując możliwość natychmiastowej zmiany jego konfiguracji. No i spróbujcie teraz jeszcze narzekać, że nie macie dobrego zasilacza warsztatowego!

W rozwiązaniu modelowym zasilacz składał się z czterech podstawowych modułów, co zapewniło mu następujące parametry, uzależnione jedynie od położenia trzech przełączników na płycie czołowej.

1. Cztery niezależne, galwanicznie odizolowane od siebie, napięcia wyjściowe, każde o maksymalnej wydajności prądowej prawie do 2,5A.
2. Dwa niezależne, galwanicznie odizolowane od siebie, napięcia wyjściowe, każde o maksymalnej wydajności prądowej prawie do 5A.
3. Jedno napięcie wyjściowe o maksymalnej wydajności prądowej prawie do 10A.

Wielu Czytelników zainteresowało się z pewnością enigmatycznym określeniem „prawie”. Przecież wiadomo, że układ LM350 dopuszcza maksymalny prąd wyjściowy 2,5A, a nie „prawie 2,5A”! Wyjaśnienie tego określenia znajdziecie w dalszej części artykułu.

Oczywiście, możliwe są także kombinacje pośrednie, np. jedno wyjście o wydajności prądowej 2,5A i drugie, odizolowane od niego lub nie, o wydajności 7,5A.

Drugą, bardzo interesującą zaletą proponowanego zasilacza jest możliwość szeregowego łączenia odizolowanych od siebie galwanicznie modułów. Możemy tworzyć dowolne konfiguracje i dysponować nawet czterema i więcej źródłami napięcia połączonymi za sobą szeregowo. Każde z napięć może być osobno regulowane w zakresie od 1,5 do ok. 27V.

Kolejną, być może najpotrzebniejszą cechą naszego układu jest możliwość galwanicznego połączenia tylko po jednym z wyjść każdego z modułów. Możemy w ten sposób uzyskać np. dwa napięcia +15V i – 15V do zasilania części analogowej testowanego urządzenia, +5V do zasilania części cyfrowej układu i +12V do zaopatrzenia w prąd elementów wykonawczych.

Wszystkie wymienione cechy umożliwiają zastosowanie naszego zasilacza do zasilania w laboratorium praktycznie dowolnie rozbudowanych układów elektronicznych.

Powyższe zestawienie odnosi się do wykonania prototypowego zasilacza. Ilość dostępnych napięć wyjściowych i maksymalny prąd z nich pobierany zależą jedynie od ilości zastosowanych modułów i oczywiście, od typu, ilości uzwojeń i wydajności prądowej zastosowanego transformatora (transformatorów) sieciowego.

W naszym zasilaczu przewidziano płynną regulację napięć wyjściowych dokonywaną za pomocą potencjometru wielobrotowego lub, opcjonalnie za pomocą dwóch szeregowo połączonych potencjometrów jednoobrotowych. Jeżeli chcemy zapewnić sobie choćby minimum komfortu pracy, to taki sposób re-

gulacji napięcia wymusza na konstruktorze zastosowanie woltomierza, a w naszym przypadku aż czterech woltomierzy monitorujących napięcie wyjściowe zasilacza. W układzie modelowym zastosowano cztery moduły miliwoltomierzy typu AVT-2004. W laboratorium AVT został opracowany nowy moduł woltomierza, dedykowany specjalnie do współpracy z zasilaczem modułowym AVT-2265 (i oczywiście, z zasilaczami innego typu). Moduł ten był zaprezentowany w poprzednim numerze EdW. Wiemy już, jakie możliwości będzie posiadał nasz zasilacz modułowy i jakie prądy będziemy mogli z niego pobierać. Najczęściej nie będziemy wykorzystywać maksymalnych możliwych do uzyskania prądów i do chłodzenia monolitycznych stabilizatorów napięcia będących elementami wykonawczymi zasilacza w zupełności wystarczy radiator o przeciętnych rozmiarach. Zastanówmy się jednak, co się stanie w sytuacji zbliżonej do ekstremalnej, kiedy to z zasilacza pobierać będziemy maksymalny prąd przy stosunkowo niskim napięciu wyjściowym.

Załóżmy, że nasz zasilacz został ustawiony na pracę z maksymalnym prądem przy wykorzystywaniu jedynie jednego napięcia wyjściowego, wynoszącego 5V. Prąd pobierany z zasilacza wynosi, powiedzmy 8A, a napięcie na mostku prostowniczym i kondensatorze wygładzającym nie spada poniżej 30V. A zatem moc strat odkładana na stabilizatorach napięcia wyniesie  $8 \times 25 = 200W!$  Taką właśnie moc będzie musiał odprowadzić zastosowany radiator, a jest to moc nie mała! Prawdę mówiąc jest to moc wydzielana przez mały piecyk elektryczny lub grzałkę do wody! Przegrzanie naszego zasilacza nie grozi wprawdzie żadnymi przykrymi konsekwencjami w rodzaju uszkodzenia urządzenia, ale po przekroczeniu bezpiecznej temperatury scalone stabilizatory napięcia po prostu się wyłączą i urządzenie przestanie spełniać swoje zadanie. Co więc zatem wypada nam uczynić: wyposażyć nasz zasilacz w monstrualnej wielkości radiator, którego możliwości będą wykorzystywane jedynie sporadycznie? Zdaniem autora nie miałoby to wielkiego sensu i dlatego zastosujemy jedyną racjonalną (także zdaniem autora) metodę odprowadzania nadmiaru ciepła – chłodzenie wymuszone, włączane tylko w momentach, kiedy rzeczywiście jest potrzebne. Do chłodzenia radiatora zastosowaliśmy wentylator „nieco” większej wydajności niż wentylatorek od procesora użyty w projekcie „aktywnego radiatora” i dlatego konieczne stało wprowadzenie układu automatyki włączającego chłodzenie dopiero w momencie nagrzania się radiatora ponad określoną, regulowaną przez użytkownika granicę. Wentylator mógłby wprawdzie pracować bez przerw, ale jego szum na dłuższą metę mógłby stać się dokuczliwy (dobrze o tym wiedzą posiadacze komputerów PC).

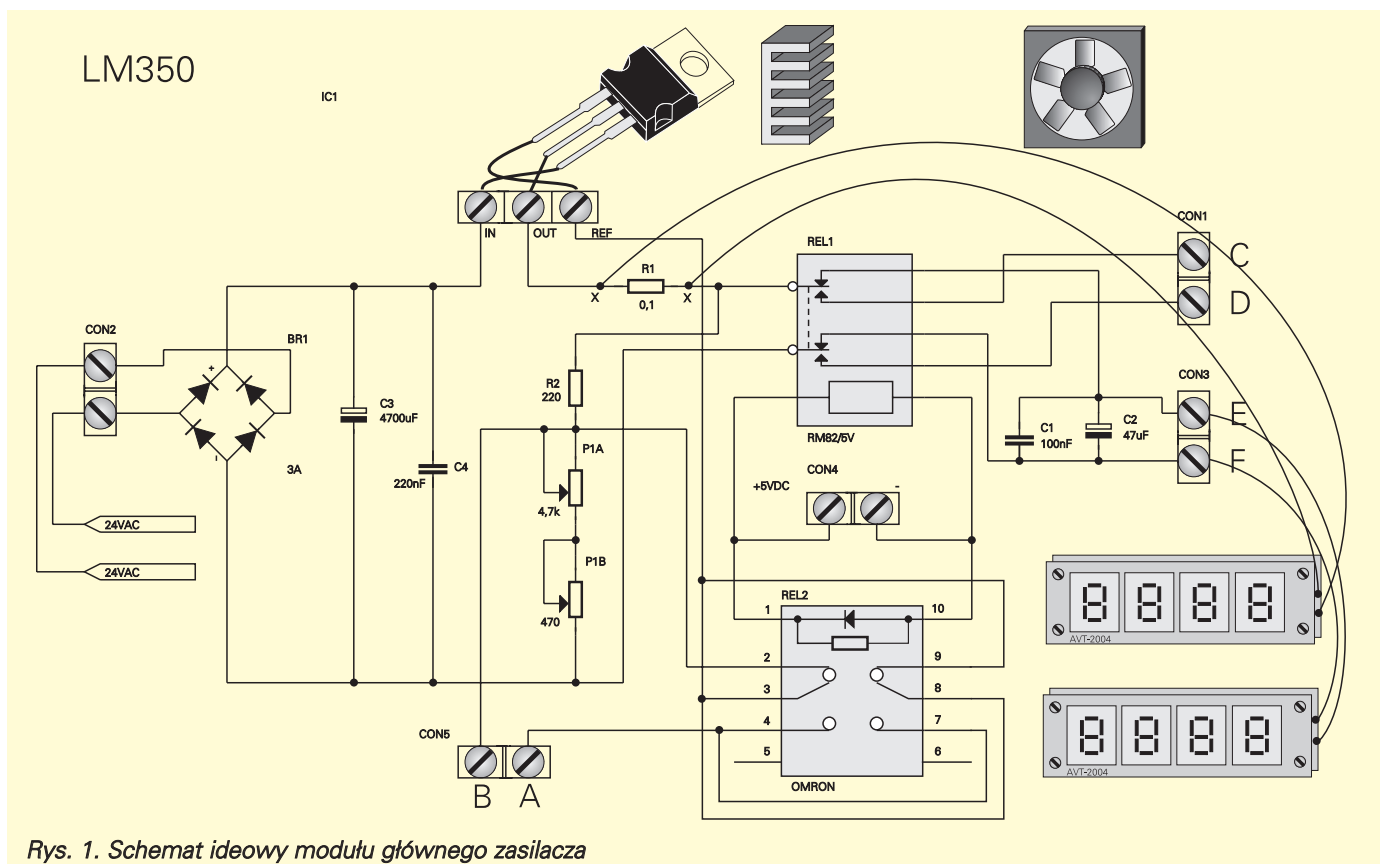
Podstawowymi elementami funkcjonalnymi proponowanego zasilacza są scalone stabilizatory napięcia typu LM350. Są to układy dobrze znane i sprawdzone w wielu aplikacjach. Ich bardzo ważną cechą jest prawie całkowita odporność na czynniki niszczące, takie jak przeciążenie prądowe czy termiczne. Z naszego zasilacza będziemy mogli korzystać bez obawy o jego uszkodzenie na skutek np. zwarcia obwodu wyjściowego lub przegrzania struktur układów scalonych. Daje to znaczny komfort pracy i pozwala uniknąć stresów związanych z obawą o całość bądź co bądź kosztownej konstrukcji.

W zasilaczu nie przewidziano regulacji maksymalnego prądu pobieranego z jego wyjść, wynoszącego zgodnie z specyfikacją kostek LM350 2,5A. W dalszej części artykułu dowiemy się natomiast, w jaki sposób zrealizować pomiar prądu wyjściowego za pomocą typowego miliwoltomierza.

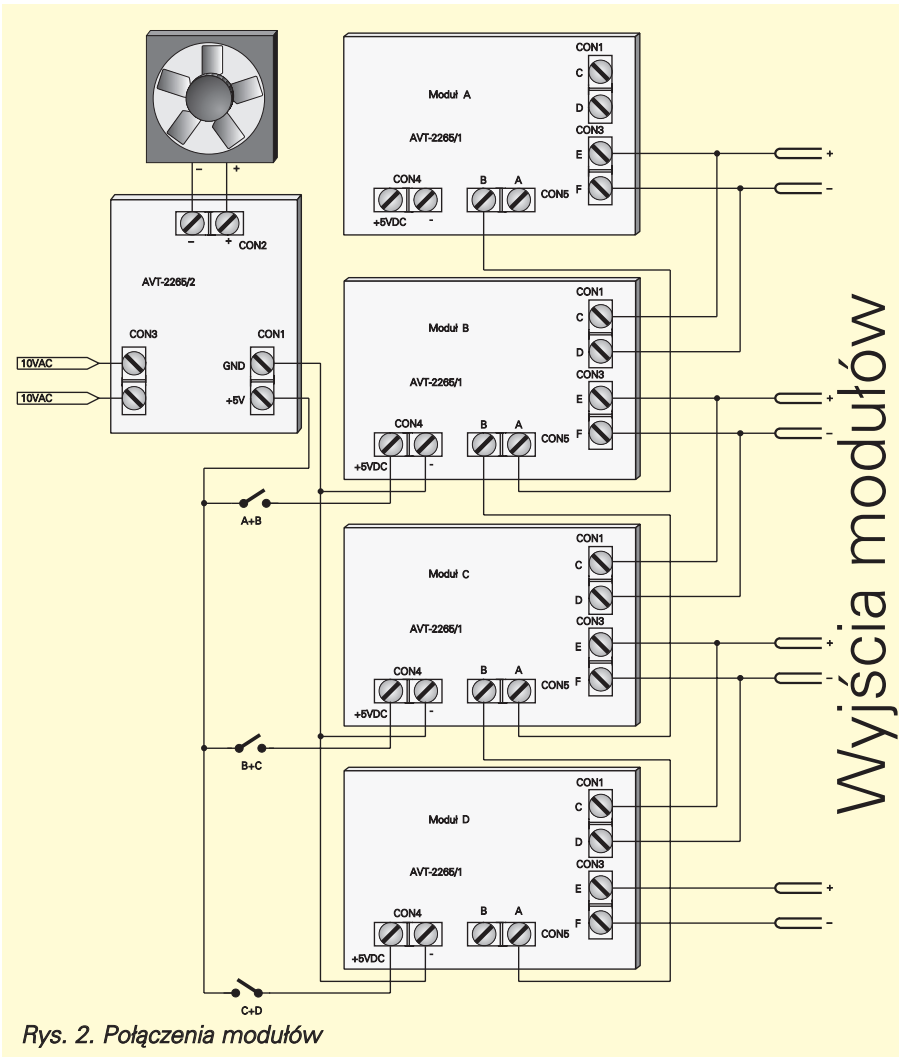
Wiemy już o proponowanym układzie zasilacza wystarczająco dużo, aby przystąpić do analizy jego trywialnie prostego schematu, a następnie do budowy tego prawdziwego „kombajnu” zasilającego.

## Jak to działa?

Na **rysunku 1** pokazany został schemat ideowy jednego modułu zasilacza AVT-2265, a na **rysunku 2** schemat łączenia pojedynczych modułów ze sobą. **Rysunek 3** przedstawia schemat zasilacza pomocniczego, którego rola zostanie wyjaśniona za chwilę. Analizę schematu mu-



Rys. 1. Schemat ideowy modułu głównego zasilacza



## Wyjścia modułów

Rys. 2. Połączenia modułów

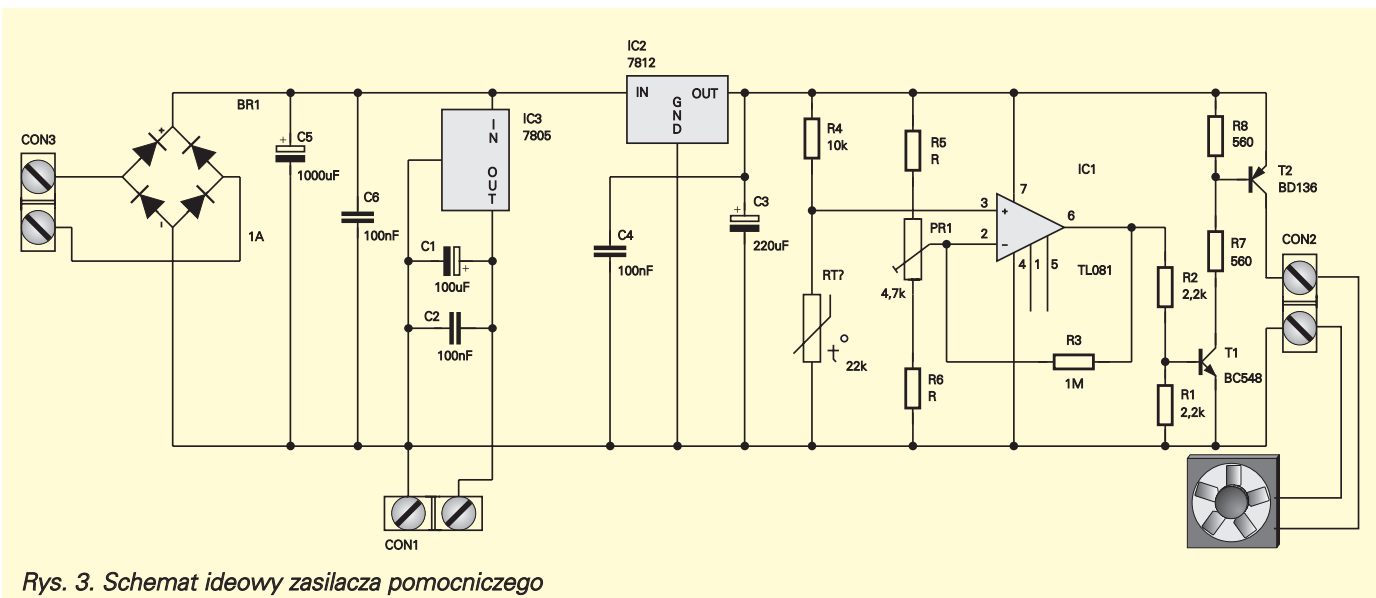
simy przeprowadzić w nieco niewygodny sposób, posługując się jednocześnie dwoma rysunkami: 1 i 2.

Przedstawiona na rysunku 1 aplikacja scalonego stabilizatora napięcia typu LM350 nie wyróżnia się z pozoru niczym szczególnym. Stabilizator pracuje tu w całkowicie typowy sposób, opisywany

wiele razy w literaturze. Zdziwienie Czytelników mogą wzbudzić jedynie dwa przekaźniki, jeden przeznaczony do przełączania dużych prądów i drugi miniaturowy. Popatrmy teraz uważnie na schemat: w pozycji takiej jak na rysunku styki przekaźnika REL1 dołączają wyjście stabilizatora IC1 do kondensatorów blokują-

cych i do wyjścia oznaczonego CON3. Do tego samego wyjścia dołączona jest także masa zasilania. W zatem wyjście CON3 jest wyjściem modułu, z którego korzystamy jeżeli dany moduł nie jest połączony z żadnym innym. Wejście napięcia odniesienia układu IC1 zostało także dołączone za pośrednictwem styku przekaźnika REL2 do potencjometrów regulacyjnych P1, a zatem mamy możliwość płynnej regulacji napięcia na wyjściu układu. Dlaczego jednak zastosowano dwa szeregowo połączone potencjometry zamiast jednego, stosowanego zwykle w aplikacjach LM350? Jest to rozwiązanie będące kompromisem pomiędzy ceną układu a wygodą obsługi. Zastosowanie jednego, zwykłego potencjometru bardzo utrudniłoby regulację na wyjściu. Rozwiązaniem idealnym byłoby użycie potencjometru wieloobrotowego, ale cena takiego podzespołu jest bardzo wysoka, tym bardziej że budując nasz zasilacz musielibyśmy pomnożyć ją przez cztery. Tak więc zastosowano rozwiązanie zastępcze: potencjometr P1A służy do zgrubej regulacji napięcia, a P1B do precyzyjnej. Czytelnikom pozostawiamy wybór: czy zastosować pokazane na schemacie rozwiązanie, czy też zainwestować w cztery potencjometry wieloobrotowe i uzyskać w zamian wyższy komfort obsługi zasilacza (tak jak w układzie modelowym pokazanym na fotografiach).

Wyobraźmy sobie teraz, że obydwa przekaźniki w module zasilacza zostały włączone. Obydwa wejścia modułu zostały dołączone do zacisków oznaczonych jako CON1, a wejście napięcia odniesienia do zacisku CON5A. Teraz konieczny będzie rzut oka na rysunek 2. Przedstawiono tam cztery połączone ze sobą moduły i dla ułatwienia przyjmijmy, że omawiany wyżej układ jest modułem B. A zatem po włączeniu przekaźników w tym module



Rys. 3. Schemat ideowy zasilacza pomocniczego

jego wyjścia prądowe zostały dołączone równolegle do analogicznych wyjść modułu A. Natomiast wejście napięcia stabilizatora podłączone zostało do zacisku CON5B tego modułu. Znowu musimy popatrzeć na schemat z rysunku 1. Przecież do wyjścia CON5B zostało dołączone napięcie pochodzące z dzielnika służącego regulacji napięcia wyjściowego. A zatem podsumujmy, co zaszło w dwóch połączonych ze sobą modułach po włączeniu przekaźników w module B:

- wyjścia prądowe obydwóch modułów zostały połączone równolegle ze sobą, umożliwiając pobór prądu dwukrotnie większy niż dopuszczalny prąd pojedynczego bloku
- wejścia napięcia odniesienia obydwóch stabilizatorów zasilane są teraz z jednego źródła: dzielnika napięcia umieszczonego w module A. A zatem regulacja napięcia dla obydwóch modułów jest teraz wspólna. Można powiedzieć, że moduł A przejął kontrolę nad modułem B!

Patrząc na rysunek 2 z łatwością zauważymy, że moduły możemy łączyć ze sobą w dowolny sposób, w skrajnym przypadku „podporządkowując” je wszystkie modułowi A! Tylko tego ostatniego nie ma już do czego podłączyć i w związku z tym nie musi on być wyposażony w żadne przekaźniki.

Mamy nadzieję, że Czytelnicy pomimo pewnych trudności zrozumieli zasadę działania naszego zasilacza. Popatrzymy jednak jeszcze raz na schemat z rysunku 1. Wyjaśnienia wymaga jeszcze rola pełniona przez rezystor R1. Element ten spełnia dwie ważne funkcje: zapewnia równomierny rozptyw prądu pobieranego z każdego z połączonych ze sobą modułów i może służyć jako rezystor pomiarowy przy monitorowaniu poboru prądu z zasilacza. Ten właśnie rezystor powoduje pewne ograniczenie maksymalnego prądu wyjściowego, o którym wspomniano na początku artykułu. Jego wartość nie została wybrana przypadkowo, policzmy trochę:

Przy prądzie wyjściowym równym 1A zgodnie z prawem Ohma na rezystorze tym odłoży się napięcie równe dokładnie 100mV. A zatem mamy możliwość zastosowania jako amperomierza dowolnego

miliwoltomierza, i to bez jakichkolwiek przeróbek. Nie bez przyczyny na schemacie narysowane zostały dwa miliwoltomierze typu AVT-2004. Rola jednego z nich, dołączonego do wyjścia prądowego modułu była od początku oczywista. Drugi może, po dodaniu prostego dzielnika napięcia na wejściu może pracować jako amperomierz. W tym momencie wielu Czytelników z pewnością ogarnęło przerażenie: czyżby autor proponował nam budowę zasilacza monstrem, wyposażonego w osiem, dość przecież kosztownych przyrządów pomiarowych? Oczywiście, takie rozwiązanie byłoby bardzo wygodne, ale wiązałoby się ze znacznym zwiększeniem wymiarów płyty czołowej, nie mówiąc o kosztach budowy. Dlatego też autor poleca jak zwykle metodę kompromisową: zastosowanie czterech miliwoltomierzy mierzących napięcie wyjściowe każdego z modułów i jednego amperomierza, przełączanego np. za pomocą przełącznika czteropozycyjnego.

Rzućmy jeszcze okiem na rysunek 3 przedstawiający schemat zasilacza pomocniczego. Zadaniem tego układu jest zasilanie przekaźników pracujących w poszczególnych modułach i sterowanie pracą wentylatora chłodzącego radiator zasilacza. Do zasilania przekaźników służy fragment układu wykorzystujący scalony stabilizator typu 7805 – IC3 i nie wymaga on chyba komentarza. Warto natomiast powiedzieć parę słów na temat układu sterowania wentylatorem.

W tym fragmencie układu zastosowano najprostszy i najtańszy wzmacniacz operacyjny typu TL081, pracujący w układzie komparatora napięcia. Porównuje on napięcie uzyskiwane z dzielnika z termistorem RT1 z napięciem regulowanym za pomocą potencjometru montażowego PR1. Jeżeli oporność termistora RT1 pod wpływem temperatury spadnie poniżej wartości powodującej powstanie na wejściu 2 wzmacniacza napięcia mniejszego od ustawionego na wejściu 3, to na wyjściu wzmacniacza postanie stan „wysoki”. Tranzystor T1 zacznie przewodzić, polaryzując bazę tranzystora mocy T2, który włączy wentylator. Zastosowanie jako T2 tranzystora o sporym dopuszczalnym prą-

## Wykaz elementów

Wykaz elementów dotyczy wersji zasilacza zbudowanego z czterech modułów i taki komplet elementów (bez transformatorów) będzie dostarczany w kicie AVT-2265.

W skład kitu nie wchodzi radiator i wentylator, dostępne w ofercie handlowej AVT.

### Moduły zasilające

#### Rezystory

R1: 0,1Ω/5W 4szt.  
R2: 220Ω 4szt.  
P1A: potencjometr obrotowy 4,7kΩ/A 4szt.  
P1B: potencjometr obrotowy 470Ω/A 4szt.

#### Kondensatory

C1: 100nF 4szt.  
C2: 47μF/50 4szt.  
C3: 4700μF/50 4szt.  
C4: 220nF 4szt.

#### Półprzewodniki

BR1: mostek prostowniczy 3A 4szt.  
IC1: LM350 4szt.

#### Pozostałe

REL1: Przełącznik RN82/5V 3szt.  
REL2: Przełącznik OMRON 3szt.  
CON1 CON5: ARK2 18szt.  
CON6: ARK3 4szt.  
Zaciski laboratoryjne 8szt.  
Płytki drukowane AVT-2265/2 4szt.

### Zasilacz pomocniczy

#### Rezystory

R1: 2,2kΩ  
R2: 5,6kΩ  
R3: 1MΩ  
R4: 10kΩ  
R5: 4,7kΩ  
R6: 1,6kΩ  
R7, R8: 560Ω

#### Kondensatory

C1: 100 μF/10V  
C2, C4, C6: 100nF  
C3: 220 μF/16  
C4: 100nF  
C5: 1000 μF/16

#### Półprzewodniki

BR1: mostek prostowniczy 1A, okrągły  
IC1: TL081 lub odpowiednik  
IC2: 7812  
IC3: 7805  
T1: BC548 lub odpowiednik  
T2: BD136 lub odpowiednik

#### Pozostałe

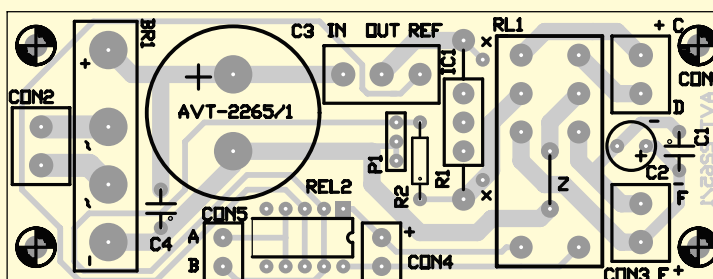
CON1 CON3: ARK2

dzie kolektora pozwala na stosowania wentylatorów o dość dużej mocy. Po opadnięciu temperatury wymuszone chłodzenie wyłączy się. Tak więc układ pracuje jakby jako regulator temperatury, zapewniając wszystkim stabilizatorom napięcia stabilne warunki pracy. Rezystor R3 wprowadza do układu niewielką histerezę, zabezpieczając go przed ewentualnym wzbudzeniem się.

## Montaż i uruchomienie

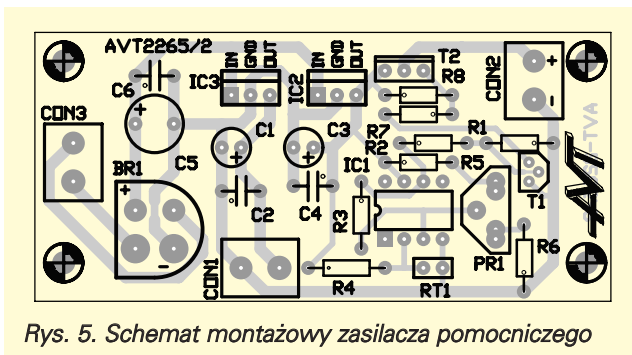
Mozaika ścieżek płytki drukowanej modułu zasilacza i rozmieszczenie na niej elementów przedstawione zostały na **rysunku 4**, a na **rysunku 5** możemy zobaczyć płytkę drukowaną zasilacza pomocniczego, zaopatrującego w energię wentylator i przekaźniki pracujące w pojedynczych modułach.

*c.d. na str. 25*



Rys. 4. Schemat montażowy modułu głównego





Rys. 5. Schemat montażowy zasilacza pomocniczego

Mamy zamiar wykonać zasilacz w wersji podstawowej, a zatem musimy zmontować następujące bloki funkcjonalne:

1. Cztery moduły stabilizatorów napięcia, w tym jeden bez przekaźników.
2. Jedną płytkę zasilacza pomocniczego i sterownika wentylatora.

Montaż zarówno modułów stabilizatorów jak i zasilacza pomocniczego nie wymaga szczególnego komentarza. Nie musimy tu stosować żadnych nietypowych „chwytów” konstrukcyjnych i montaż tych podzespołów będzie prawdziwym relaksem przed czekającymi nas torturami. A tak, wzorem Churchill a obiecuję Wam krew, pot i łzy podczas okablowywania tego wszystkiego i umieszczania w obudowie. Zanim jednak przejdziemy do ostatniego etapu montażu musimy jeszcze wyregulować układ sterujący wentylatorem. W tym celu należy termis-

tor RT1 podgrzać do temperatury np. ok. 60°C. Następnie pokręcając potencjometrem regulacyjnym PR1 „łapiemy” punkt włączenia się wentylatora. Okablowanie układu wykonujemy korzystając ze schematu zamieszczonego na rysunku 2. Przewody prowadzące do stabilizatorów napięcia i gniazd wyjściowych powinny być odpowiednio grube, minimum 2,5mm<sup>2</sup>. Stabilizatory napięcia możemy zamontować zarówno na czterech osobnych radiatorach, jak i na jednym, wspólnym. W tym drugim przypadku pod stabilizatory musimy zastosować podkładki mikowe lub z gumy silikonowej oraz tulejki izolacyjne.

Autorowi trudno jest polecić Wam jakiś konkretny typ obudowy. Układ modelowy został zmontowany w obudowie z tworzywa sztucznego. Zastosowanie obudowy z tworzywa znacznie ułatwiło prace mechaniczne, ale uzyskana konstrukcja nie była zbyt sztywna, szczególnie po zamontowaniu dwóch transformatorów toroidalnych o mocy 150W każdy. Tak więc, w układzie praktycznym lepiej byłoby zastosować obudowę metalową, jaką z pewnością znajdziecie w ofercie AVT.

tor RT1 podgrzać do temperatury np. ok. 60°C. Następnie pokręcając potencjometrem regulacyjnym PR1 „łapiemy” punkt włączenia się wentylatora.

Okablowanie układu wykonujemy korzystając ze schematu zamieszczonego na rysunku 2. Przewody prowadzące do stabilizatorów napięcia i gniazd wyjściowych

Na fotografiach pokazano zasilacz umieszczony w obudowie. Bardzo prosimy jednak, aby Czytelnicy nie brali z nich wzoru do naśladowania jeżeli chodzi o rozmieszczenie podzespołów względem wentylatora chłodzącego. Na zdjęciach pokazany jest układ prototypowy, służący przetestowaniu urządzenia w warunkach laboratoryjnych, a nie do stosowania go w codziennej praktyce. Wentylator został tu umieszczony w fatalny sposób, tak że chłodzi on bardziej transformatory (także niekiedy wymagające chłodzenia, ale powiedzmy, w drugiej kolejności) a nie radiator. W układzie praktycznym wentylator powinien zostać umieszczony tak, aby strumień powietrza kierowany był bezpośredni na radiator. Termistor pomiarowy powinien być przyklejony do radiatora, np. za pomocą kleju silikonowego.

Otwarta pozostaje jeszcze sprawa transformatorów przeznaczonych do zasilania naszego układu. Do zasilacza głównego można zastosować transformatory typu TST150 2x24V, natomiast do zasilacza pomocniczego najlepiej użyć transformatora TS6/40. Jeżeli chodzi o wentylator, to najlepiej użyć modelu DFBO812 firmy Fonsan lub podobny o parametrach: DC12V, 0,10A i średnicy wirnika kilku centymetrów.

Zbigniew Raabe