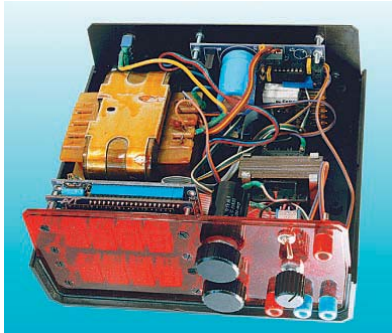


# Zasilacz



## amatorski

(część I)

KIT  
AVT  
2001

Każde urządzenie elektroniczne musi posiadać układ zasilający. Zasilacze urządzeń elektronicznych możemy z pewnym przybliżeniem podzielić na dwa podstawowe rodzaje: zasilacze sieciowe i chemiczne, wykorzystujące energię zgromadzoną w bateriach lub akumulatorach. Oczywiście, istnieją jeszcze inne rodzaje zasilaczy: np. zasilacze wykorzystujące energię światła (być może najbardziej przyszłościowy sposób pozyskiwania energii elektrycznej). Takie zasilacze spotykamy bardzo często w codziennym życiu: jest to sposób zasilania wielu kalkulatorów "na światło". W tym artykule zajmiemy się jednak wyłącznie zasilaczami sieciowymi, a konkretnie uniwersalnym zasilaczem laboratoryjnym, skonstruowanym specjalnie dla potrzeb amatorów.

Jeszcze raz dokonajmy podziału, tym razem już tylko zasilaczy sieciowych. Dzielią się one na dwa podstawowe rodzaje: zasilacze wyspecjalizowane, przeznaczone do współpracy z określonym urządzeniem i zasilacze uniwersalne przeznaczone do uruchamiania i testowania urządzeń elektronicznych w warunkach laboratoryjnych.

Większość klasycznych zasilaczy sieciowych składa się z następujących bloków konstrukcyjnych:

- transformator sieciowy
- prostownik
- kondensator filtrujący
- stabilizator napięcia

**1. Transformator sieciowy** pełni w zasilaczu dwie role. Po pierwsze, obniża napięcie sieci energetycznej do potrzebnej wartości. Większość urządzeń elektronicznych zasilanych jest napięciami z przedziału 3...100V prądu stałego. Gdybyśmy zastosowali zasilacza

### Właściwości:

- ★ Prostota i taniość konstrukcji
- ★ Możliwości dostosowania konstrukcji do aktualnych potrzeb
- ★ Prawie nieograniczone możliwości rozbudowy

### Zastosowanie:

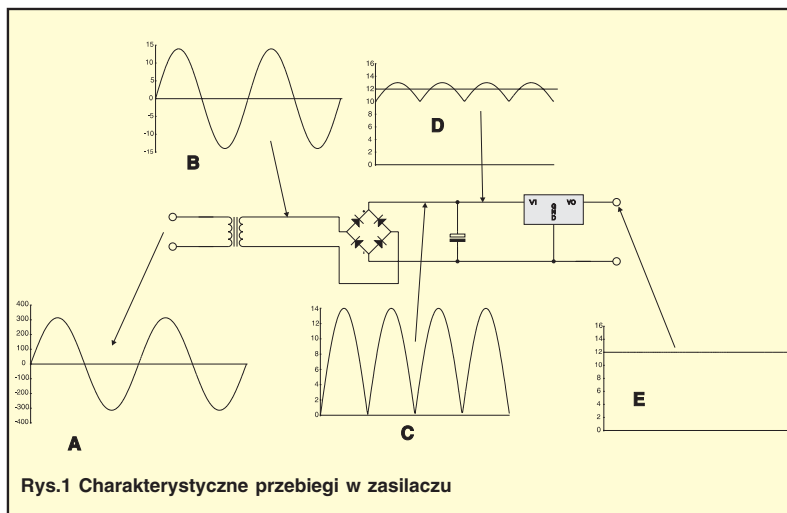
- ★ Uniwersalny zasilacz do pracowni elektronika amatora
- ★ Po rozbudowie zasilacz może być stosowany także do celów profesjonalnych

nie bezpośrednio z sieci prądu przemiennego 220V, to po wyprostowaniu (zdecydowana większość urządzeń elektronicznych wymaga zasilania prądem stałym) i wygładzeniu otrzymalibyśmy napięcie wynoszące ok. 314V! Zatem konieczne jest obniżenie tego napięcia.

Drugą, bardzo ważną rolą transformatora sieciowego jest galwaniczna izolacja zasilanego urządzenia od sieci energetycznej. Przy braku takiej izolacji nasze urządzenia byłyby po prostu niebezpieczne w użyciu: w niesprzyjających warunkach ich dotknięcie groziłoby porażeniem prądem. Na transformatorze sieciowym nawinięte są dwa (niekiedy więcej) uzwojenia: pierwotne, w którym płynie prąd z sieci 220V i wtórne, w którym indukują się potrzebne nam napięcia, z reguły znacznie niższe od sieciowego. Uzwojenie (lub uzwojenia) wtórne oddzielone są od pierwotnego grubą warstwą izolacji, odpornej na przebicie napięciem wielokrotnie wyższym od sieciowego. Tak więc zadaniem transformatora jest dostarczenie do dalszej części zasilacza prądu przemiennego o odpowiednio zmniejszonym napięciu i odizolowanie

urządzenia od sieci. W dalszej części artykułu omówimy pokrótce inne cechy stosowanych w zasilaczach transformatorów.

**2.** Kolejnym segmentem każdego zasilacza jest **prostownik**. Jak powiedziano wyżej, transformator dostarcza napięcia o wartości odpowiedniej dla zasilania danego urządzenia. Jest to jednak prąd przemienny (nie mylić ze zmiennym) zmieniający kierunek przepływu 50 razy na sekundę, zupełnie nie nadający się do zasilania większości układów elektronicznych. Dlatego też skierowany on zostaje do układu prostującego, zamieniającego go na prąd **zmienny (tak!)**, pulsujący, nie zmieniający już wprawdzie kierunku przepływu ale nadal zmieniający napięcie od zera do wartości nominalnej i to nawet 100 razy na sekundę! Na **rysunku 1** widzimy przebiegi napięcia w sieci energetycznej (A), po obniżeniu napięcia przez transformator (B) i na wyjściu prostownika (C). Prąd otrzymany z prostownika musimy więc wygładzić i tę rolę powierzmy kondensatorowi filtrującemu napięcie. Na tym kondensatorze otrzymujemy już napięcie stałe, ale jeszcze bardzo dalekie od potrzebnego nam ideału.



Rys.1 Charakterystyczne przebiegi w zasilaczu

**3. Kondensator filtrujący** pełni w układzie rolę podobną do elektrowni szczytowo - pompowej. Magazynuje on dostarczoną mu energię i podczas przerw w jej dostawach oddaje ją do zasilanego układu. Rysunek 1 przedstawia w uproszczony sposób przebieg napięcia na kondensatorze filtrującym (D).

W wielu przypadkach taki zasilacz, dostarczający napięcia tętniącego może okazać się wystarczający. Ma on jednak dwie wady: wiele urządzeń elektronicznych, a w szczególności elektroakustycznych nie będzie poprawnie pracować przy dużym współczynniku tętnień i przy nieuniknionych zmianach napięcia pochodzących zarówno z sieci energetycznej jak i będących skutkiem zmiennego obciążenia zasilacza. Ponadto, zasilacz taki dostarcza tylko jednego napięcia, a do uruchamiania i testowania różnych urządzeń będziemy z pewnością potrzebować różnych napięć. A zatem nasz zasilacz będziemy musieli wyposażać w jeszcze jeden element, a mianowicie stabilizator napięcia.

**4. Stabilizator napięcia** jest wyposażony w ogranicznik prądu wpływającego z zasilacza, co pozwala niejednokrotnie uniknąć uszkodzenia cennego, lecz błędnie zmontowanego urządzenia. Wyidealizowany obraz przebiegu napięcia na wyjściu stabilizatora widzimy na rysunku 1E. Nawet najlepszy stabilizator nie zapewni nam jednak tak równego i pozbawionego tętnień napięcia. W większości zastosowań, czy to profesjonalnych, czy amatorskich, niewielkie tętnienia pozostające zawsze na wyjściu każdego zasilacza sieciowego i nie mają najmniejszego nawet znaczenia. Pamiętajmy, że **napięcie całkowicie pozbawione tętnień uzyskać możemy jedynie z baterii lub akumulatora.**

### Założenia projektowe

Sprecyzujemy teraz nasze wymagania wobec projektowanego zasilacza. Powinien on dostarczać napięcia stałego o wartości odpowiedniej do zasilania większości urządzeń elektronicznych. Wartość tego napięcia powinna być regulowana. Rozróżniamy dwa sposoby regulacji napięcia wyjściowego zasilacza: płynną i skokową. W pierwszym wypadku dysponujemy nieograniczoną ilością różnych napięć, oczywiście, w zakresie określonym parametrami naszego zasilacza. Najczęściej jest to zakres 3...30V. Regulacji napięcia dokonujemy za pomocą potencjometru, w większości przypadków ze względu na konieczną precyzję potencjometru wieloobrotowego. Zasilacz tego typu powinien być wyposażony w wbudowany woltomierz, co zwiększa koszty jego wykonania. Płynna regulacja napięcia potrzebna będzie tym, którzy mają zamiar dokonywać licznych eksperymentów ze swoimi urządzeniami i badać ich działanie w różnych warunkach.

Drugim sposobem regulacji napięcia wyjściowego zasilaczy warsztatowych jest regulacja skokowa. Najczęściej potrzebujemy tylko kilku wartości napięcia, takich jak: 3, 5, 6, 9, 12, 14,5V (ta ostatnia wartość będzie nam potrzebna do uruchamiania urządzeń przeznaczonych do instalacji samochodowej, o czym wspomniemy jeszcze w dalszej części artykułu). Wymienione wyżej wartości są tylko przykładowe i każdy będzie mógł zaprogramować swój zasilacz według indywidualnych potrzeb. Możemy więc skonstruować zasilacz dostarczający tylko tych napięć, przełączanych skokowo. Takie rozwiązanie może nas postawić w kłopotliwej sytuacji, kiedy będziemy chcieli na przykład sprawdzić

czy urządzenie zaprojektowane do pracy pod napięciem 12V będzie działać poprawnie jeszcze przy 13V.

Jak widzimy, obydwa omówione rozwiązania mają swoje zalety i wady. Które więc wybrać? Odpowiedź jest prosta: obydwa naraz! Tak, tak właśnie postąpimy: zbudujemy zasilacz, który w wersji podstawowej będzie posiadał skokową regulację napięcia. Na początku nie musimy go wyposażać w woltomierz. Ale kiedy jego możliwości przestaną nam wystarczać to przypomniemy sobie, że ostatnia pozycja w skokowym przełączniku napięcia została zarezerwowana na regulację płynną. Wystarczy wtedy dobudować woltomierz cyfrowy (specjalnie skonstruowany do zasilaczy amatorskich moduł AVT-2004), dodać dwa rezystory i potencjometr wieloobrotowy i gotowe!

Następnym parametrem, jaki musimy ustalić jest maksymalna wydajność prądowa zasilacza. Autor sądzi, że maksymalny prąd potrzebny do zasilania urządzeń amatorskich nie przekracza 1A. Ale i tu pozostawimy sobie otwartą furtkę: nasz zasilacz będzie konstrukcją w pełni uniwersalną: przez prostą wymianę transformatora, tranzystora regulacyjnego i ewentualnie radiatora chłodzącego ten tranzystor będziemy mogli uzyskać praktycznie dowolnie wielkie prądy wyjściowe. Na razie jednak nie wpędzajmy się w koszty i pozostanmy przy maksymalnym prądzie 1A.

Kolejna ważna sprawa: z konstrukcjami amatorskimi (i nie tylko amatorskimi) różnie bywa i nieraz chwila nieuwagi, odwrotnie włożona w podstawkę kostka i nadmierny prąd płynący przez układ może zniszczyć cenne elementy. Tak więc nasz zasilacz zostanie wyposażony w układ ograniczający dostarczany przez niego prąd. Za dolną granicę ograniczenia prądowego przyjmijmy wartość 10mA, a za górną tymczasowo 1A. Zarówno dolną jak i górną granicę ograniczenia prądowego będziemy mogli w przyszłości łatwo zmienić: wystarczy wymienić tylko jeden opornik. Regulację maksymalnego prądu wyjściowego możemy przeprowadzać zarówno skokowo jak i płynnie. Ze względu na chęć uproszczenia układu i zminimalizowania kosztów wybieramy na razie metodę drugą. Zawsze jednak będziemy mogli zmienić decyzję dodając przełącznik wielopozycyjny i kilka rezystorów.

Ostatnie wymaganie względem naszego wymarzonego urządzenia: warto by było wyposażać go w dodatkowe źródło zasilania, taki zasilacz w zasilaczu, przeznaczony do zasilania układów pomocniczych, na przykład

amperomierza i woltomierza, w które to od razu lub w przyszłości wyposażymy nasz układ.

Wszystkie powyższe postulaty zostały spełnione i odpowiadający im zasilacz został zaprojektowany, wykonany i przeszedł męcznie przy długotrwałych próbach.

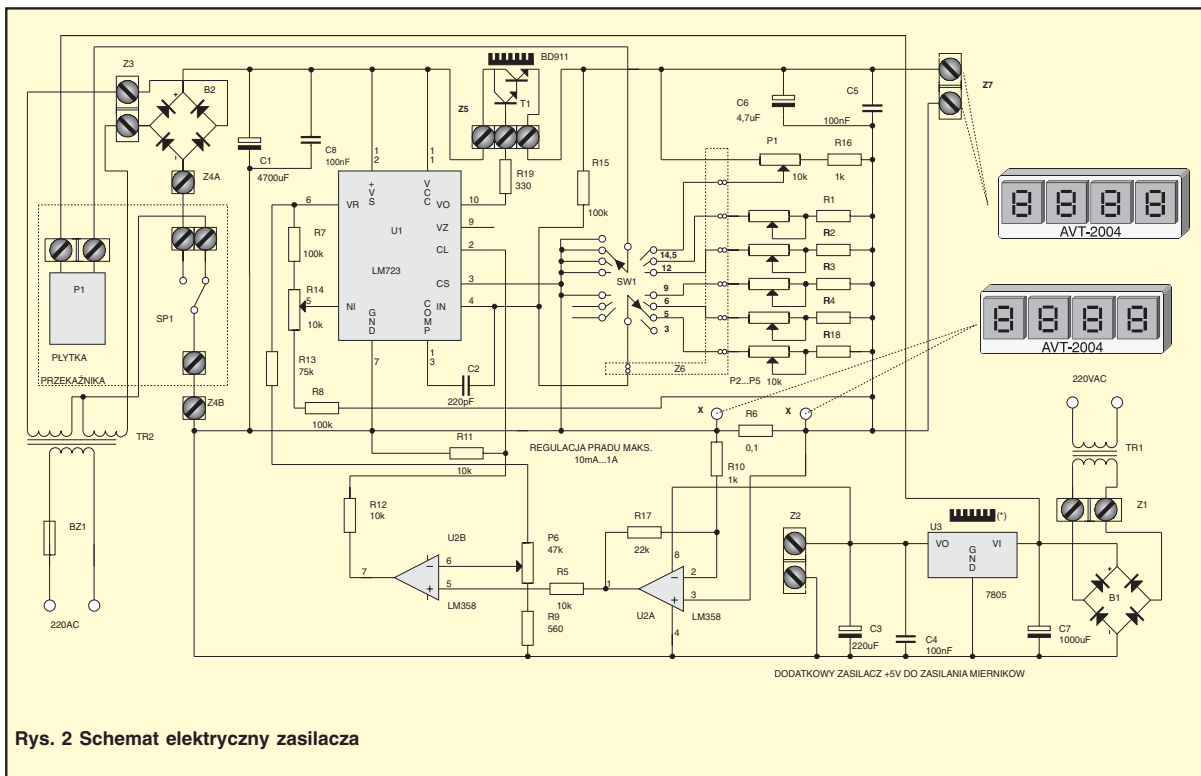
### Opis działania

Schemat ideowy zasilacza został przedstawiony na **rysunku 2**. Pomimo sporej ilości użytych elementów układ wcale nie jest skomplikowany i odczytanie schematu nie nastręczy nikomu kłopotu. Dla wygody możemy nasz układ podzielić na następujące bloki funkcjonalne: blok stabilizatora napięcia (LM723) z tranzystorem wykonawczym mocy, prostownikiem wejściowym i dzielnikami napięcia, blok układu ograniczenia prądowego z wzmacniaczem operacyjnym LM358 i blok zasilacza pomocniczego dostarczającego napięcia +5VDC do zasilania urządzeń pomiarowych. Omówimy kolejno te bloki.

**Stabilizator napięcia** został zrealizowany z wykorzystaniem popularnego układu scalonego LM723. Kostka ta, będąca Matuzalem wśród standardowych układów scalonych, ma się nadal dobrze i doskonale nadaje się do naszych celów. LM723 ma jedną, istotną przewagę nad monolitycznymi

scalonymi stabilizatorami napięcia w rodzaju popularnego LM317: nie narzuca konstruktorowi żadnych ograniczeń co do maksymalnego prądu wyjściowego (jest to zależne tylko od typu tranzystora wykonawczego), łatwo z nią możemy zrealizować regulowane ograniczenie prądu wyjściowego, posiada wyprowadzone, wysokostabilne źródło napięcia odniesienia, co jak za chwilę się okaże jest niekiedy bardzo użyteczne. Jedynym ograniczeniem jest maksymalne napięcie wejściowe, wynoszące ok. 35V (różnie podawane przez producentów). W naszym przypadku to ograniczenie nie ma najmniejszego znaczenia, ale warto wiedzieć, że z układem 723, stosując różne "sztuczki" konstrukcyjne można budować zasilacze dostarczające nawet setek woltów. W wyborze układu 723 miała też znaczenie jego przystępna cena. 723 był już szczegółowo omawiany w tytu publikacjach, że tym razem możemy opis jego budowy wewnętrznej skrócić do minimum i przejść od razu do naszej konkretnej aplikacji. Układ 723, którego strukturę wewnętrzną przedstawiono w uproszczonej formie na **rys. 3**, posiada wbudowane wysokostabilne źródło napięcia odniesienia. W zależności od wersji układu i producenta napięcie to wynosi od 7,1 do 7,4V i w danym egzemplarzu układu jest praktycznie niezależne od czynników zewnętrznych. Nawet tortury, polegające na

przypiekaniu kostki lutownicą, nie były w stanie w znaczący sposób zmienić wartości tego napięcia. Drugim ważnym elementem struktury 723 jest komparator napięcia. Na jedno z jego wejść (nieodwracające) podajemy wzorcowe napięcie odniesienia, a na wejście odwracające - napięcie z wyjścia zasilacza. Komparator napięcia steruje za pośrednictwem wewnętrznego wzmacniacza zewnętrznym tranzystorem mocy T1, tak ustalając parametry jego pracy aby obydwa napięcia - odniesienia i wyjściowe były sobie równe. Przy takim połączeniu otrzymalibyśmy stabilizator bardzo dokładny, ale tylko jednego i to nie bardzo nam potrzebnego napięcia: 7,3V. Zmianę napięcia możemy uzyskać dodając na wyjściu zasilacza dzielnik, tak aby komparator porównywał napięcie odniesienia z ustaloną częścią napięcia wyjściowego. Takie rozwiązanie byłoby dobre, gdybyśmy chcieli korzystać z napięć o wartości powyżej 7,3V. Nam jednak potrzebne są także napięcia mniejsze i dlatego musimy napięcie odniesienia odpowiednio zmniejszyć. Uczynimy do za pomocą dzielnika składającego się z rezystorów R7, R8 i potencjometru montażowego P8. Zauważmy, że zredukowane napięcie odniesienia musi być mniejsze lub równe minimalnemu napięciu jakie chcemy pobierać z naszego zasilacza, czyli w naszym układzie  $U_{ref} \leq 3V$ . Takie też napięcie

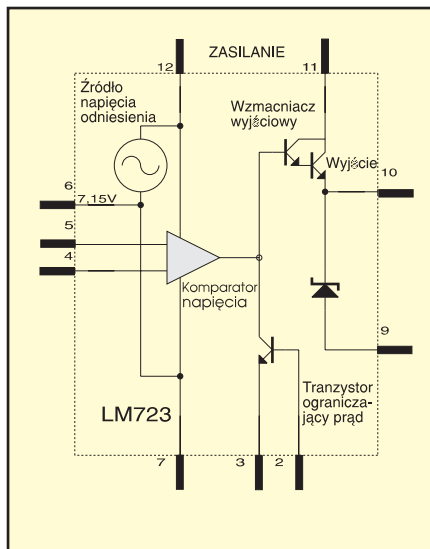


Rys. 2 Schemat elektryczny zasilacza

ustawimy na wejściu NI podczas uruchamiania urządzenia. Zamiast wspomnianego układu dzielnika napięcia moglibyśmy zastosować pojedynczy potencjometr regulacyjny, lecz dodanie dwóch rezystorów znacznie zwiększa precyzję dzielnika i ułatwia ustawienie potrzebnego napięcia odniesienia.

Wejście odwracające komparatora połączone jest na stałe, za pośrednictwem rezystora R15 z wyjściem zasilacza. Tak więc, jeżeli do wejścia tego nie dołączymy żadnego rezystora redukującego jego istniejące na nim napięcie, to na wyjściu naszego zasilacza otrzymamy dokładnie trzy wolty. I o to właśnie chodziło. Jak widać na schemacie, przełącznik SW1 ustawiony na pierwszej pozycji nie dołącza żadnego rezystora do tego wejścia i w tej pozycji otrzymujemy na wyjściu pierwsze z żądanych napięć - 3V. Przelączenie SW1 na kolejne pozycje powoduje dołączenie do wejścia odwracającego komparatora kolejnych zespołów: rezystor + potencjometr montażowy. Zastosowanie potencjometru połączonego w szereg z rezystorem miało na celu ułatwienie programowania zasilacza i zwiększenie precyzji ustawiania napięć. Zasady doboru rezystorów R1...R4 i R18 zostaną dokładnie omówione w części artykułu poświęconej uruchamianiu układu. Rozwiązanie polegające na dołączeniu wejścia odwracającego komparatora poprzez rezystor R15 do wyjścia zasilacza i dołączanie elementów dzielników napięcia od strony minusa zasilania zostało zastosowane nie przypadkowo. Unikamy w ten sposób niekontrolowanych skoków napięcia aż do wartości maksymalnej, które mogłyby się zdarzyć gdybyśmy rezystory dzielnika dołączali od strony wyjścia zasilacza. Każdy przełącznik wielopozycyjny posiada bowiem "martwe pola" kiedy to styk centralny nie jest zwarty z żadnym innym. Ostatnia pozycja przełącznika SW1 dołącza do wejścia komparatora dzielnik napięcia złożony z potencjometru wielobrotowego P1 i rezystora R16. W tej pozycji przechodzimy na regulację płynną napięcia wyjściowego. Zastosowanie potencjometru wielobrotowego pozwoliło uzyskać znaczną precyzję tej regulacji.

Cały układ zasilany jest z prostownika B2. Kondensator C1 redukuje tętnienia na wyjściu prostownika, a kondensator C8 zwiera do masy ewentualne krótkie przebiegi pochodzące z sieci energetycznej. Dołączony do wejść COMP i IN kondensator C2 zapobiega wzbudzeniu się komparatora i wzmacniacza prądowego w LM723. Zauważmy jeszcze, że wszystkie dzielniki napięciowe



zostały dołączone nie do wspólnej masy lecz bezpośrednio do wyjścia zasilacza, za rezystorem pomiarowym R6. Na rezystorze tym przy pełnym obciążeniu zasilacza (1A) powstanie spadek napięcia ok. 100mV i gdybyśmy dzielniki połączyli z masą, to o taką maksymalnie wartość zmieniłoby się ustalone bez obciążenia napięcie wyjściowe.

Następnym blokiem funkcjonalnym zasilacza, który omówimy jest **układ ograniczenia prądowego**. Najwyższa pora, aby autor wytłumaczył się, dlaczego zrezygnował z wbudowanego w strukturę LM723 układu ograniczenia prądu wyjściowego i nakłania Czytelników do wydawania pieniędzy na dodatkowy element - wzmacniacz operacyjny LM358? Przypomnijmy sobie, jakie wymagania ma spełniać budowany zasilacz: ma zapewniać bezpieczne uruchamianie układów pobierających niewiele prądu. Obecnie konstruowane urządzenia amatorskie, szczególnie te zrealizowane w technologii CMOS pobierają przy prawidłowej pracy kilka miliamperów i przyjęliśmy dolny próg ograniczenia prądowego równy 10mA a górny 1A. Gdyby wykorzystać wewnętrzny układ "zaszyty" w LM723 to graniczne wartości rezystorów pomiarowych wyniosłyby odpowiednio 600 i 0,6Ω. Wyższe wartości tej rezystancji ograniczyłyby znacznie dynamikę zasilacza a o zastosowaniu potencjometru nie byłoby nawet mowy. Dlatego też postanowiono zastosować jeden rezystor pomiarowy o wartości 0,1Ω (wartość przyjęta nie przypadkowo, ułatwi to obliczenia i ewentualne podłączenie amperomierza) i odpowiednio wzmacnić odkładające się na nim napięcie. Opracowując ten fragment konstrukcji zasilacza autor "czerpał natchnienie" z artykułu autorstwa red. P. Góreckiego opisyującego "Szybki bezpiecznik elektroniczny DC" w EP 4/95. W układzie ograniczenia prą-

dowego zastosowano popularny i tani wzmacniacz operacyjny typu LM358. Interesującą cechą tego wzmacniacza jest to, że może on pracować z napięciami wejściowymi bliskimi ujemnemu napięciu zasilania i odpowiednio wzmacnić napięcie z rezystora pomiarowego R6. Pierwszy ze wzmacniaczy (w obudowie mamy dwa identyczne wzmacniacze operacyjne) - U2A pracuje w układzie wzmacniacza odwracającego o wzmacnieniu ograniczonym sprzężeniem zwrotnym. Tak więc o wartości wzmacnienia decydować będzie rezystor R17. Drugi wzmacniacz wykorzystamy jako komparator napięcia. Będzie on porównywał napięcie z wyjścia U2A, które jest wprost proporcjonalne do prądu płynącego przez rezystor pomiarowy R6 z napięciem wzorcowym, ustalonym za pomocą potencjometru P7. Wewnątrz układu LM723 znajduje się dodatkowy tranzystor NPN z kolektorem "fabrycznie" połączonym z bazą tranzystora stopnia wejściowego. Włączenie tego tranzystora spowoduje natychmiastowe zatkanie tranzystorów wyjściowych naszego zasilacza. Tak więc mamy już wszystkie potrzebne elementy bloku ograniczenia prądowego: U2A wzmacnia napięcie pobierane z rezystora pomiarowego, U2B porównuje je z zadaniem napięciem wzorcowym i steruje tranzystorem wewnątrz struktury U1. Tylko skąd mamy wziąć to napięcie wzorcowe? Okazuje się, że mamy je podane jak na talerzu: możemy wykorzystać wzorcowe napięcie odniesienia z wyjścia VR (pin 6) układu U1. Tak więc staruszek LM723 jeszcze raz wykazał swoją użyteczność. Na razie świadomie pomijamy sprawę doboru wartości rezystorów w obu omówionych blokach, ponieważ zajmiemy się tym w części opisu dotyczącej montażu i uruchamiania naszego zasilacza.

Kolejnym blokiem wymagającym choćby krótkiej wzmianki jest zasilacz pomocniczy. Jest to trywialna konstrukcja zasilacza jednonapięciowego, wykorzystująca popularny i tani stabilizator typu 7805. Zasilacz pomocniczy dostarcza dokładnie stabilizowanego napięcia o wartości 5V. Niezależnie od podstawowej funkcji, jaką jest zasilanie dwóch mierników cyfrowych, możemy go także wykorzystać do zasilania testowanych urządzeń. Zależnie od typu zastosowanego transformatora TR1 może on dostarczyć prądu o natężeniu do 1A.

**Zbigniew Raabe**  
c.d. w EdW 3/96