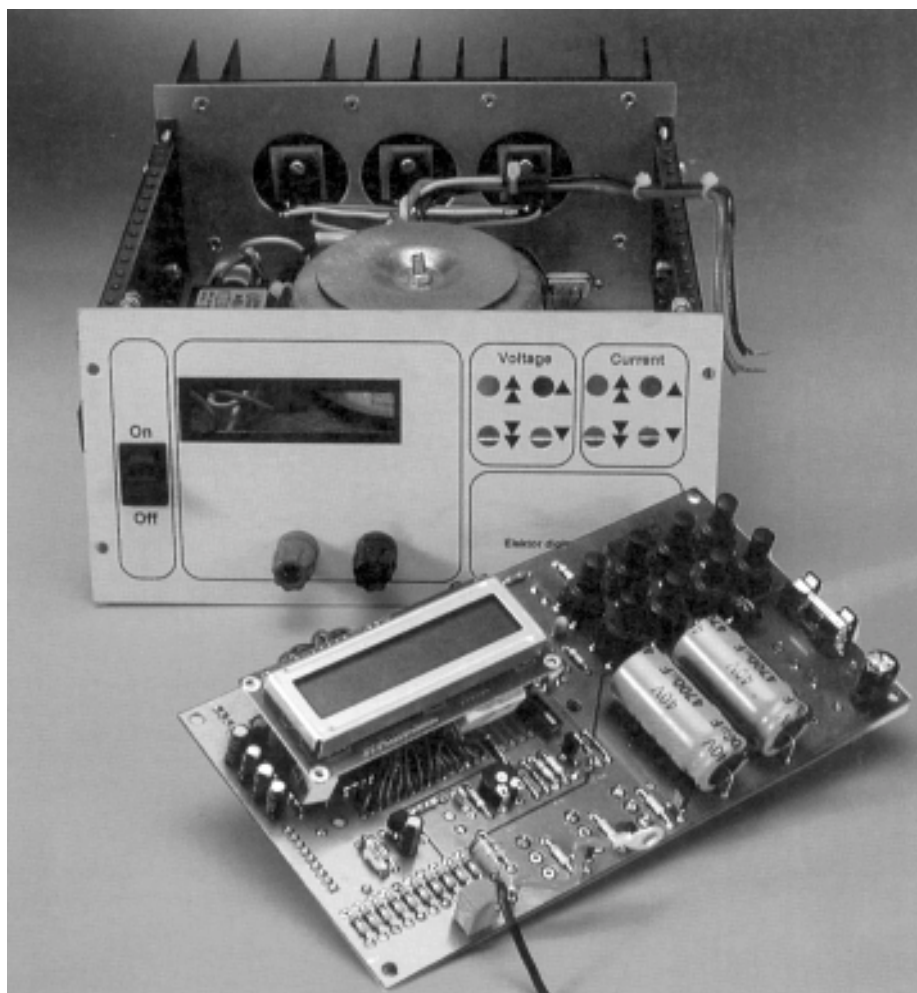


# Zasilacz laboratoryjny sterowany cyfrowo, część 1

W każdym laboratorium elektronicznym jest potrzebny zasilacz o dużej mocy i regulowanym napięciu na wyjściu. W zasilaczu opisanym w artykule wszelkie nastawy są monitorowane przez mikrokontroler.



Istnieje wiele rodzajów zasilaczy laboratoryjnych, od bardzo prostych do niezwykle złożonych. Od liniowych analogowych zasilaczy z regulacją jedynie napięcia, do zasilaczy impulsowych, z mikroprocesorową stabilizacją napięcia i prądu, z programowalnymi przebiegami sygnałów i różnymi funkcjami monitorowania oraz z interfejsem GPIB.

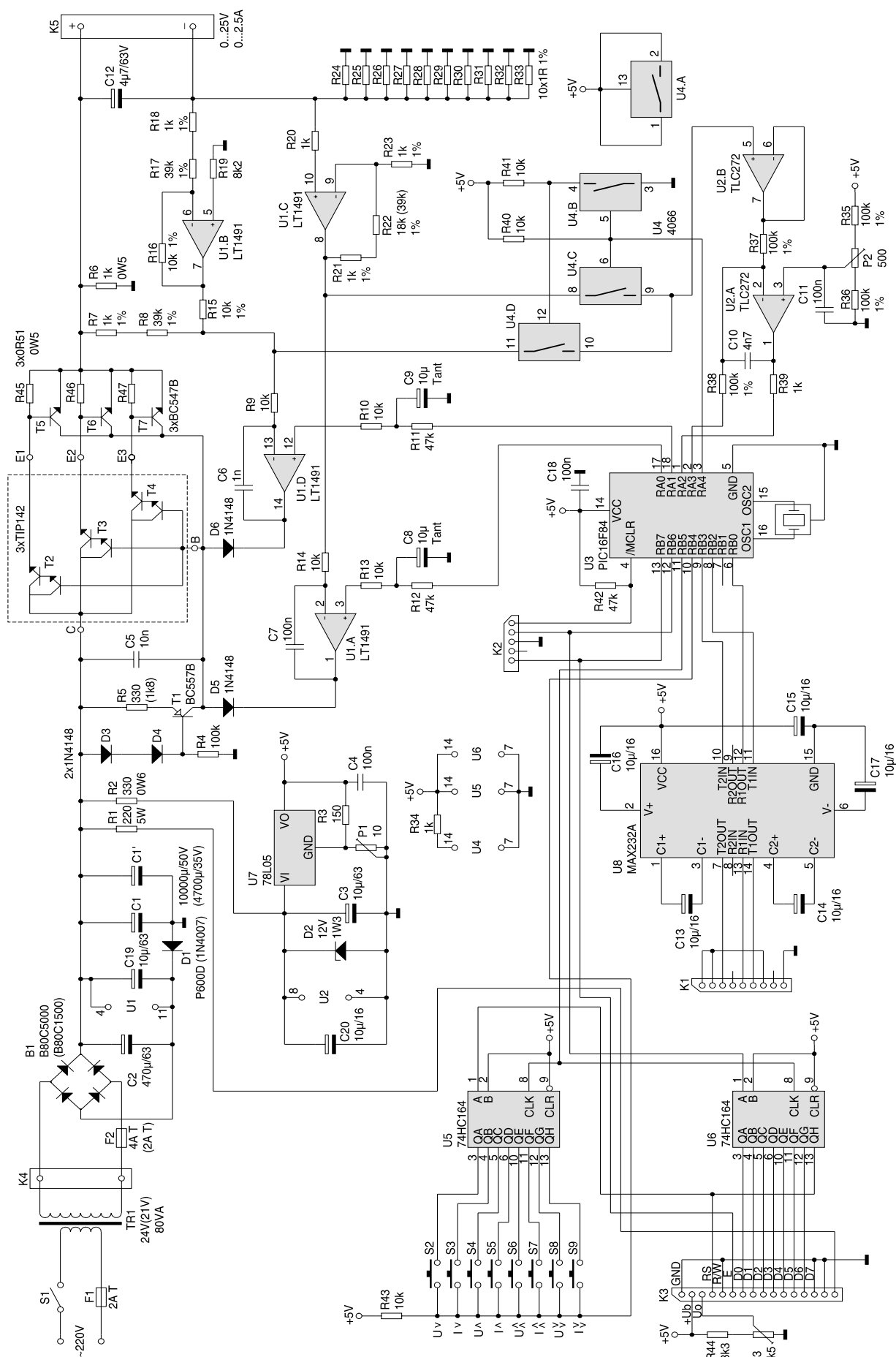
Prezentowany zasilacz należy do grupy plasującej się pośrodku. W zależności od wersji, napięcie wyjściowe wynosi 0...25V, przy prądzie wyjściowym do 2,5A lub 0...20V, przy maksymalnym prądzie wyjściowym 1A. Napięcie i natężenie prądu są nastawialne cyfrowo, każde za pomocą czterech przycisków (dwoma zgrubnie i dwoma dokładnie), z rozdziel-

Artykuł publikujemy na podstawie umowy z wydawcą miesięcznika "Elektor Electronics".

Editorial items appearing on pages 41...44 are the copyright property of (C) Segment B.V., the Netherlands, 1998 which reserves all rights.

**Tab. 1. Skrócone dane techniczne zasilacza laboratoryjnego**

Parametr	wersja 2,5A	wersja 1A
Napięcie zasilania	230VAC -0/+10% przy 25V, 2,5A ±10% przy 24V, 2,5A	230VAC ±10% przy 20V, 1A
Dokładność ustalonego napięcia	typowo +30mV	typowo +30mV
Dokładność ustalonego ograniczenia prądu	typowo +5mA	typowo +5mA
Tętnienia napięciowe na wyjściu	5mV (stabilizacja napięcia) 10mV (stabilizacja prądu)	5mV (stabilizacja napięcia) 25mV (stabilizacja prądu)



Rys. 1. Schemat zasilacza 2,5A. W nawiasach podano wartości dla zasilacza 1A.

czością 100mV i 10mA. Zadane i faktyczne wartości napięcia i prądu są wyświetlane na podświetlanym wyświetlaczu ciekłokrystalicznym. Zasilacz może być sterowany zdalnie przez wbudowany interfejs RS232, a mierzone wartości napięcia i natężenia prądu są przesyłane przez ten interfejs w sposób ciągły. W protokole komunikacyjnym są używane tylko znaki ASCII, zatem w najprostszym przypadku do wyświetlania i regulacji wystarczy *HyperTerminal*. Odpowiedni program sterowania zasilaczem jest dostępny bezpłatnie z autorskiej witryny [www.pic-basic.de](http://www.pic-basic.de). Kod źródłowy także został tam opublikowany, a więc program ten może być modyfikowany do innych aplikacji.

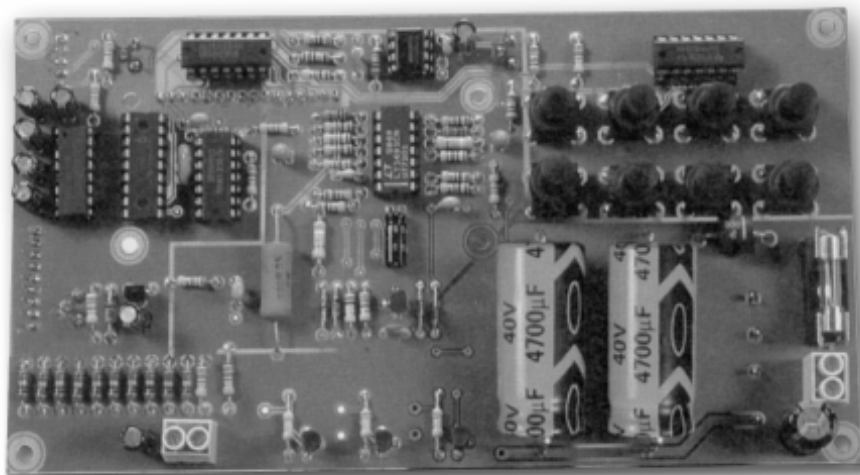
Do sterowania zasilaczem służy mikrosterownik PIC16F84 firmy Microchip z programem napisanym w PIC-Basic 1.3. Kod źródłowy, listing assemblera i szesnastkowy „zrzut“ kodu maszynowego tego programu są także udostępnione bezpłatnie pod wyżej podanym adresem. W **tab. 1** zawarto główne dane techniczne zasilacza.

### Klasyczna stabilizacja analogowa

Układ składa się z bloku analogowego i cyfrowego (schemat pokazano na **rys. 1**), mieszczących się na jednej płytce drukowanej. Jedynie tranzystory szeregowy, moduł wyświetlacza i transformator sieciowy (wraz z doprowadzeniem sieci i wyłącznikiem) umieszczono poza płytką. Schemat klasycznego stabilizatora analogowego został unowocześniony przez zastosowanie układu scalonego LT1491. Jest to począwszy wzmacniacz operacyjny o identycznych wyprowadzeniach i takich samych (jeśli nie lepszych) parametrach jak legendarny LM324.

Dzięki użyciu precyzyjnych rezystorów warstwowych o małych tolerancjach, wzmacniacze pracują na tyle dokładnie, że nie potrzeba wielu punktów kalibracyjnych.

W zasilaczu wyjściowe napięcie i prąd są nieustannie mierzone i porównywane z wymaganymi za pomocą komparatorów. Napięcie wyjściowe jest w tym celu pobierane bezpośrednio z zacisku wyjściowego i za pośrednictwem dzielnika rezystancyjnego (z po-



minięciem rezystancji ścieżek i styków) dostosowywane do wymagań napięciowych komparatora.

Pomiar prądu jest nieco bardziej złożony, ponieważ w pętli sprzężenia zwrotnego musi znaleźć się prądowy rezystor szeregowy. Jego rezystancja musi być możliwie mała, aby zbytnio nie ograniczać zakresu napięcia wyjściowego i zachować niskie straty mocy. Z drugiej strony jednak, rezystor szeregowy musi mieć na tyle dużą rezystancję i musi być dokładny, aby odkładający się na nim (proporcjonalny do prądu) spadek napięcia był mierzalny przez komparator i nie został zdominowany przez napięcie polaryzacji i szumy.

Rezystor szeregowy jest utworzony z dziesięciu połączonych równolegle rezystorów 1Ω o tolerancji 1% (R24...R33). Tak powstały rezystor jest tańszy od rezystora 0,1Ω/1%, a oczekiwana dokładność porównywalna. Elementy zostały tak rozmieszczone na płytce drukowanej, aby rezystancja skróconej do minimum ścieżki obwodu tego rezystora możliwie najmniej wpływała na pomiar.

Przy prądzie obciążenia 2,5A, spadek napięcia na rezystorze wynosi 0,25V. Wzmacniacz operacyjny IC1C w wersji 2,5A wzmacnia go 20-krotnie, a w wersji 1A 40-krotnie. Wzmocnione napięcie jest przez R14 doprowadzone do komparatora.

Jednakże na pomiar napięcia wpływa również prąd. Wzmacniacz operacyjny IC1B dzieli spadek napięcia na rezystorze szeregowym przez cztery i odwraca go, wytwarzając napięcie -0,0625V. Je-

żeli napięcie na zaciskach wyjściowych (czyli na obciążeniu) wynosi 25V, to na zacisku dodatnim względem masy zasilacza powstaje 25,25V. Całkowita rezystancja dzielnika napięcia (R7 + R8 + R15) wynosi 50kΩ a odkłada się na nim napięcie 25,25V + 0,0625V = 25,3125V. Cztery piąte tego napięcia odkłada się na R7 i R8, a na R15 jedna piąta, czyli 5,0625V. W miejscu połączenia R8 i R15 występuje zatem dokładnie 5V względem masy. Napięcie na wyjściu dzielnika wynosi więc zawsze dokładnie 1/5 napięcia wyjściowego, niezależnie od natężenia prądu, pobieranego przez obciążenie i płynącego przez rezystor szeregowy. Bez takiej kompensacji spadek napięcia na rezystorze szeregowym wpływałby na napięcie wyjściowe zasilacza. Wzmacniacze operacyjne IC1 wymagają także ujemnego napięcia względem masy zasilacza, muszą więc być zasilane odpowiednio ujemnym napięciem. Wystarczającego do tego celu napięcia dostarcza dioda D1.

Podzielone, wzmocnione i skompensowane napięcia pomiarowe są następnie kierowane do wejść odwracających wzmacniaczy operacyjnych IC1D (przez R9) i IC1A (przez R14), działających jako komparatory. Komparatory te porównują aktualne napięcie i aktualny prąd z wartościami wymaganymi, otrzymanymi z mikrosterownika PIC16F84 (IC3). Może on generować dwa analogowe sygnały napięciowe za pośrednictwem filtrów RC: R11, C9 i R12, C8. Napięcia te powstają przez całkowanie sygnałów z modulacją szerokości impulsów z wyjść mik-

rokontrolera. Rozdzielczość tych przetworników cyfrowo-analogowych wynosi 8 bitów.

Dzięki pojemnościom C6 i C7 charakterystyki komparatorów są dolnoprzepustowe. Ich wyjścia przez D6 i D5, połączone w układ sumy galwanicznej (*wired OR*), sterują bazami tranzystorów szeregowych stabilizatora. Jeśli jedna z wielkości mierzonych przekroczy wartość wymaganą, potencjał baz jest obniżany do poziomu masy, a nawet nieco poniżej, i tranzystory szeregowy są blokowane. Jeżeli wymagane napięcie lub wymagany prąd nie są osiągnięte, stałoprądowe źródło T1 dostarcza prądu bazy 2mA (w zasilaczu 2,5A) lub 360µA (w zasilaczu 1A), niezależnie od napięcia wyjściowego.

Tak niewielki prąd w zupełności wystarczy, ponieważ T2, T3 i T4 są tranzystorami Darlingtona. W zasilaczu 2,5A użyto trzech tranzystorów szeregowych. Dla zapewnienia równomiernego rozdziału prądu pomiędzy nimi, w ich obwodach emiterowych umieszczono rezystory 0,51Ω. Gdy napięcie na jednym z nich wzrośnie powyżej 0,65V (przy około 1,3A), odpowiadający mu jeden z tranzystorów T5, T6 i T7 znacznie przewodzi i przerwie przepływ prądu w tranzystorach Darlingtona. W ten sposób układ jest skutecznie zabezpieczony przed impulsami prądowymi, wywołwanymi zwarciami obciążenia, które mogłyby zniszczyć tranzystory szeregowy. W zasilaczu 1A użyto tylko jednego tranzystora Darlingtona, więc rezystory emiterowe i układ zabezpieczający stają się zbędne. Do zasilacza 2,5-amperowego jest potrzebny radiator 0,6K/W, a w 1-amperowym zastosowano radiator 2,4K/W. Przy maksymalnym obciążeniu - czyli przy zwartym wyjściu i maksymalnym możliwym prądzie - zostanie osiągnięta temperatura 80°C. Obie wersje zasilacza można więc bez ograniczeń eksploatować przy pełnym obciążeniu (bez aktywnego chłodzenia).

### Napięcie i prąd ustalane przez mikrokontroler

Elementem wspólnym części analogowej i cyfrowej zasilacza jest mikrokontroler IC3. Do do-

## WYKAZ ELEMENTÓW

Wersja 2,5A

(wersja 1A w nawiasach)

### Rezystory

(\* warstwowe metalizowane 1%)

R1: 220Ω, 5W

R2: 330Ω, 0,5W

R3: 150Ω

R4: 100kΩ

R5: 330Ω (1,8kΩ)

R6: 1kΩ, 0,5W

R7, R18, R23: 1kΩ\*

R8, R17: 39kΩ\*

R9, R10, R13, R14, R40, R41, R43: 10kΩ

R11, R12: 47kΩ

R15, R16: 10kΩ\*

R19: 8,2kΩ

R20, R39: 1kΩ

R21: 1kΩ\* (0Ω)

R22: 18kΩ\* (39kΩ\*)

R24-R34: 1Ω\*, 0,6W

R35-R38: 100kΩ\*

R42: 47kΩ

R44: 3,3kΩ

R45...R47: 0,51Ω, 0,5W (nie potrzebne)

P1: 10Ω wieloobrotowy, nastawczy

P2: 500Ω nastawczy płaski

P3: 2,5kΩ nastawczy płaski

### Kondensatory

C1: 10000µF/50V (4700µF/35V) leżący

C2: 470µF/50V, stojący

C3, C13...C17, C20: 10µF/16V

C4, C7, C11, C18: 100nF, ceramiczny, rozstaw 5mm

C5: 10nF, ceramiczny, rozstaw 5mm

C6: 1nF, ceramiczny, rozstaw 2,5mm

C8, C9: 10µF, tantalowy, kropłowy

C10: 4,7nF, FKS-2

C12: 4,7µF/63V, MKS-4

C19: 10µF/63V

### Półprzewodniki

B1: B80C5000 (B80C1500)

D1: P600D (1N4007)

D2: dioda Zenera 12V/1,3W

D3...D6: 1N4148

IC1: LT1491

IC2: TLC272

IC3: PIC16F84A-04P, zaprogramowany, kod 000166-42

IC4: 4066

IC5, IC6: 74HC164

IC7: 78L05

IC8: MAX232

T1: BC557B

T2...T4: TIP142 (tylko jeden)

T5...T7: BC547B (nie potrzebne)

### Różne

F1: bezpiecznik 2A, zwłoczny

F2: bezpiecznik 4A, zwłoczny (2A, zwłoczny)

S1...S8: przycisk, C&K 3FTL6 + IS09 22.5, albo zwykły 10x10x20mm, rozstęp 5mm

TR1: toroidalny transformator sieciowy 24V, 80VA, np. UI39/1721 V, 2571 mA

X1: rezonator ceramiczny 4MHz, 3 wyprowadzenia

moduł LCD 16x1, z

podświetlaniem

oprawka bezpiecznika do druku

oprawka bezpiecznika do chassis,

albo aparatowe gniazdko

sieciowe z bezpiecznikiem

dwa zaciski prądowe, czerwony

i czarny

F11: filtr sieciowy 2A

K1: 9-stykowy pinheader SIL ze złączem D-9 (żeńskim) do chassis

K2: 5-stykowy pinheader

K4, K5: blok dwuśrubowy do druku, rozstęp 5mm

14-stykowa podstawka układu scalonego

18-stykowa podstawka układu scalonego

12 szpilek lutowniczych

radiator 180x75x48mm, 0,6K/W (100x50x31mm, 2,4K/W)

obudowa (szer x głęb x wys)

200x180x100mm, np. Telet typu LC950

wyłącznik sieciowy

przewód sieciowy

plytka drukowana kod 000166-1

kładnego pomiaru i dostarczania dokładnego napięcia jest oczywiście potrzebne dokładne i stabilne napięcie wzorcowe. Otrzymuje się je za pomocą diody Zenera D2 (stabilizacja wstępna 12V) i następnie stabilizatora 5V, IC7. Napięciem 12V zasilają się także IC2.

Za pomocą R3 i P1 napięcie stabilizatora IC7 można nastawić

na 5,12V (w rzeczywistości 5,14...5,16V). Rezystor R3 jest głównym obciążeniem IC7 i przez P1 płynię około 33mA. Prąd ten został tak dobrany, aby dziesięciokrotnie przewyższał prąd odprowadzany do masy przez sam stabilizator IC7. Dzięki temu zależność jego napięcia od obciążenia jest bardzo mała.



W rezultacie tych zabiegów napięcie wzorcowe jest bardzo stabilne i zmienia się tylko pod wpływem normalnego starzenia się elementów. Zaleca się więc, jak w przypadku wszystkich elektronicznych przyrządów pomiarowych, rekalirować zasilacz po kilku latach.

Napięcie wzorcowe jest także wykorzystywane w przetworniku amplitudowo-cyfrowym delta-sigma, utworzonym z IC2. Korzystając z takiego sposobu konwersji A/C, z niewielu podzespołów można zbudować przetwornik o wysokiej precyzji, za pomocą którego można dokonywać bardzo dokładnych i powtarzalnych pomiarów, niezależnie od tolerancji elementów. Jednak w celu uproszczenia kalibracji napięcia za pomocą potencjometru P2, użyto rezystorów 1%. W procesie konwersji oczywiście bierze także udział mikroprocesor. Konwersja przebiega w następujących etapach: w stanie początkowym końcówka A2 mikrosterownika (ustawiona jako wejście) jest w stanie wysokiej impedancji, a końcówka A3 (wyjście) na poziomie niskim. Mierzone napięcie jest doprowadzone do wejścia nieodwracającego IC2B, a ponieważ działa on jako bufor, pojawia się również na jego wyjściu. Załóżmy, że napięcie to wynosi dokładnie 1,28V. Zatem wyjście integratora IC2A jest na potencjale dodatniego bieguna zasilania wzmacniacza. Wejście A2 interpretuje to jako stan wysoki. Gdy ma być dokonany pomiar, mikrosterownik zmienia poziom na wyjściu A3 z niskiego na wysoki (czyli 5,12V) i czeka aż

napięcie A2 zmieni się na niskie. Mikrosterownik za pomocą przełączania napięcia na wyjściu A3 utrzymuje wyjście integratora w połowie jego zakresu. Zmieniający się sygnał wyjściowy integratora będzie interpretowany przez mikrosterownik jako wysoki lub niski. Teraz jest mierzony współczynnik wypełnienia sygnału integratora. Można sprawdzić, że wyjście A3 musi utrzymywać się na poziomie wysokim trzykrotnie dłużej niż na niskim. Jest tak wtedy, gdy średnie napięcie na wejściu odwracającym integratora jest takie samo, jak napięcie na jego wejściu nieodwracającym, czyli 2,56V.

Potrzebne jest zatem dodatnie napięcie polaryzacji tego wejścia za pomocą P2, bowiem ten rodzaj przetwornika A/C nie może działać przy napięciach ujemnych - algorytm mikrosterownika tego nie dopuszcza. Jako IC2 wybrano TLC272 z wejściami MOS, ponieważ przetwornik A/C jest dokładny tylko wtedy, gdy prądy wejściowe są znacznie mniejsze niż w bipolarnych układach scalonych. Za tę zaletę trzeba było jednak zapłacić stosunkowo wysokim napięciem polaryzacji. W tym jednak przypadku, gdy regulacja i tak jest konieczna, nie jest to niekorzystne. Układ IC4 jest przełącznikiem elektronicznym, doprowadzającym do bufora IC2B sygnał pomiaru napięcia lub prądu.

### Interfejsy

Mikrosterownik jest wyposażony w szereg interfejsów. Interfejs klawiatury został zrealizowany za

pomocą IC5, a interfejsem wyświetlacza ciekłokrystalicznego jest układ IC6. Są to 8-bitowe rejestry przesuwające typu 74HC164 z szeregowym wejściem i równoległym wyjściem. Mikrosterownik ładuje dane cyfrowe do rejestrów za pomocą RB5 (dane) i RB6 (taktowanie). W przypadku IC6 dane te są poleceniami sterującymi i kodami znaków, przesyłanymi do modułu wyświetlacza w trybie 8-bitowym z użyciem sygnału stroboju z wyjścia RB7. W przypadku IC5 dane tworzą układy bitów pozwalające mikroprocesorowi identyfikować (za pośrednictwem RB4) naciśnięty klawisz. Potencjometr P3 służy do regulacji kontrastu wyświetlacza. Suwak na potencjale masy odpowiada kątom patrzenia 10 do 20 powyżej pionu, który jest zalecany, gdy zasilacz jest używany na stole.

Wyprowadzenia mikrosterownika RB0, RB2, i RB3 wykorzystano do komunikacji szeregowej. Dzięki dobrze znanemu układowi MAX232 (IC8) poziom sygnałów mieści się w granicach  $\pm 10V$  od strony RS232, a w granicach poziomów TTL od strony mikrosterownika. Oprócz koniecznych wyprowadzeń dla sygnałów nadawanych i odbieranych (RXD i TXD) jest także wyprowadzony sygnał CTS (*Clear To Send*). Interfejs RS232 umożliwia zarówno zdalne wyświetlanie, jak i zdalne sterowanie.

Opis oprogramowania i działania zasilacza zostanie przedstawiony w następnej części artykułu.

**R. Pagel, EE**