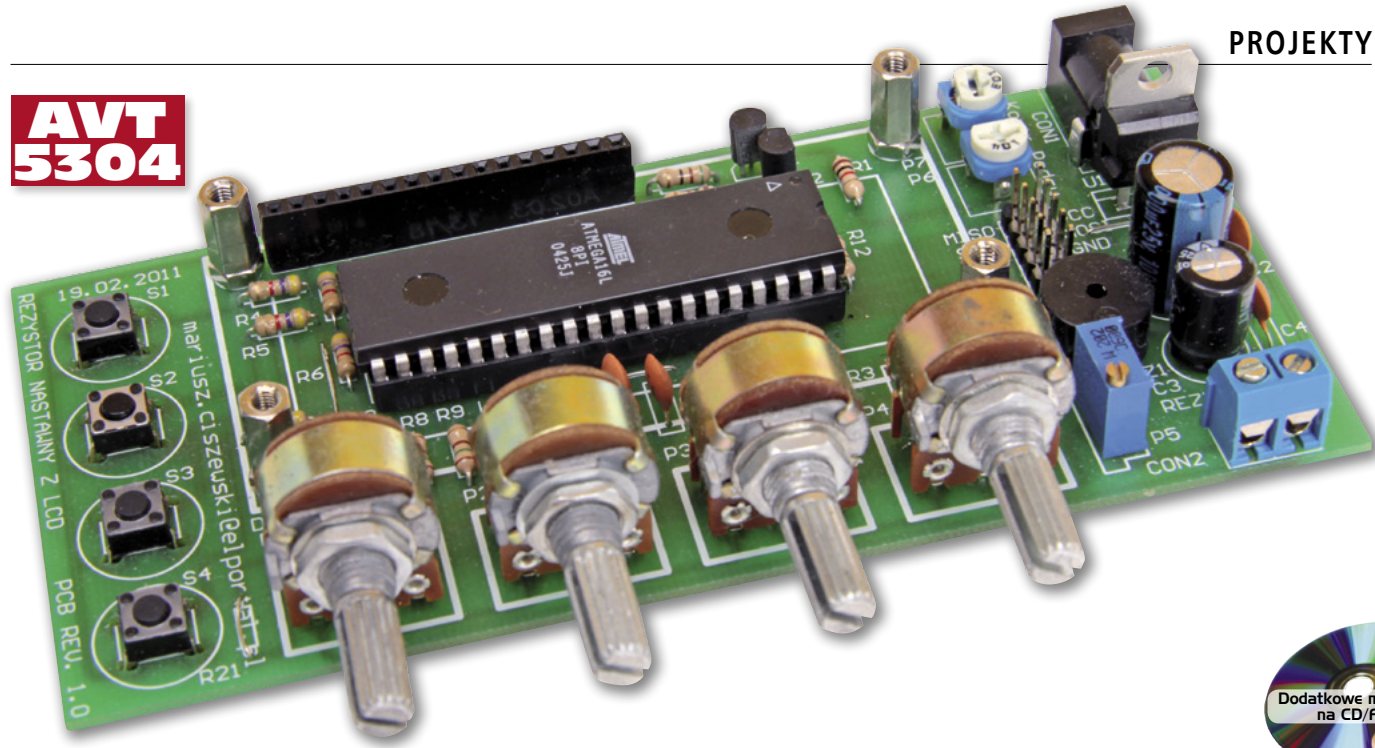


**AVT  
5304**



# Rezystor nastawny z wyświetlaczem LCD

*Przyrząd warsztatowy przypominający zasadą działania klasyczną opornicę dekadową. Umożliwia ustawienie za pomocą czterech potencjometrów (1 M $\Omega$ , 100 k $\Omega$ , 10 k $\Omega$  oraz 1 k $\Omega$ ) dowolnej wartości rezystancji z przedziału od 0  $\Omega$  do 1111 k $\Omega$ . Wartość aktualnie nastawionej rezystancji jest wyświetlana na wyświetlaczu LCD.*

**Rekomendacje:** opisywany rezystor przyda się w pracowni konstrukcyjnej lub laboratorium pomiarowym.

Podczas uruchamiania układów elektronicznych od czasu do czasu zachodzi potrzeba doświadczalnego wyznaczenia wartości jakiegoś rezystora lub też taki właśnie sposób wyznaczenia wartości rezystora okazuje się najszybszy/najbardziej optymalny. Często wiąże się to z wielokrotną wymianą rezystora w celu znalezienia tej najbardziej odpowiedniej wartości. Jest to rozwiązanie najprostsze, a zarazem najmniej komfortowe. Wygodniejsze byłoby użycie klasycznej opornicy dekadowej, którą można spotkać np. w laboratoriach studenckich i często, niestety, wyłącznie tam. Proponowany układ jest rozwiązaniem osiągalnym dla każdego.

## Opis układu

Zasada działania układu jest nieskomplikowana i zarazem oryginalna – osobiście dotychczas nigdy nie spotkałem się z takim rozwiązaniem. Dla osiągnięcia ciągłego po-

miaru wartości rzeczywistej ustawionej rezystancji potencjometru (potencjometrów), który jest przy tym włączony w badany układ, zastosowano potencjometr podwójny (stereofoniczny). Pierwszy tor jest używany jako rzeczywista rezystancja włączana do badanego obwodu, natomiast drugi tor wyłącznie w celu dokonywania pomiaru wartości aktualnie ustawionej rezystancji. W układzie zastosowano cztery potencjometry o wartościach 1 M $\Omega$ , 100 k $\Omega$ , 10 k $\Omega$  oraz 1 k $\Omega$ . Ich pierwsze sekcje są połączone szeregowo, dając sumaryczną wartość maksymalnej ustawianej wartości rezystancji wynoszącą 1111 k $\Omega$ . Drugie sekcje są włączone pomiędzy masę a plus zasilania mikrokontrolera (+5 V), a ich odczepy (P1, P2, P3 i P4) zostały dołączone do kolejnych wejść przetwornika A/C mikrokontrolera (odpowiednio PA3, PA2, PA1 oraz PA0). Przy gałce potencjometru skróconej maksymalnie w stronę masy

**AVT-5304 w ofercie AVT:**  
AVT-5304A – płytka drukowana  
AVT-5304B – płytka drukowana + elementy

- Podstawowe informacje:**
- Płytko jednostronna o wymiarach 134 mm  $\times$  63 mm.
  - Rezystancja ustawiania w zakresie 0...1111 k $\Omega$ .
  - Napięcie zasilania 7...16 V.
  - Nastawa rezystancji wyświetlana na wyświetlaczu LCD.
  - Mikrokontroler ATmega16 taktowany sygnałem o częstotliwości 1 MHz.
  - Oprogramowanie w Bascom AVR.

**Dodatkowe materiały na CD/FTP:**  
<ftp://ep.com.pl>, user: 12040, pass: 15735862  
• wzory płytek PCB  
• karty katalogowe i noty aplikacyjne elementów oznaczonych w Wykazie elementów kolorem czerwonym

10-bitowy przetwornik mikrokontrolera ATmega16 zwróci wartość 0. Przy gałce potencjometru skróconej maksymalnie w stronę napięcia zasilania 10-bitowy przetwornik mikrokontrolera zwróci wartość 1023.

Każdy potencjometr ma pewną tolerancję wykonania skutkującą różnicą pomiędzy wartością rzeczywistą a wartością zadeklarowaną przez producenta. Poszczególne sekcje potencjometru różnią się także pomiędzy sobą. I dlatego powinny być zastosowane potencjometry dobrej jakości, które dodatkowo muszą zostać skalibrowane. Procedura kalibracji zostaje uruchomiona w sposób au-

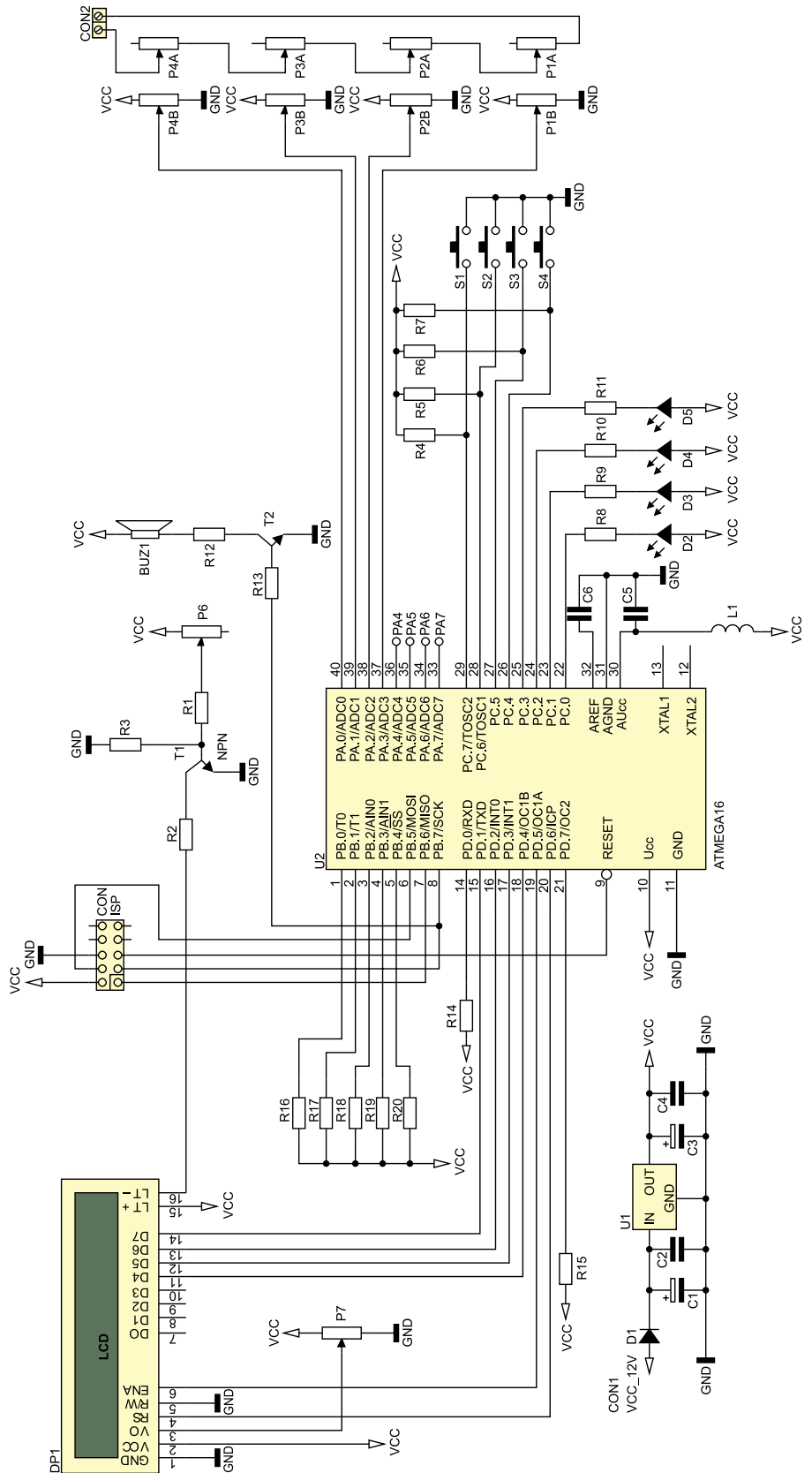
tomatyczny podczas pierwszego włączenia zmontowanego urządzenia. Można ją również wywołać później, wybierając odpowiednią kombinację klawiszy S1...S4 podczas włączania zasilania. W czasie wykonywania procedury każdy z potencjometrów zostanie skalibrowany oddzielnie. Zapamiętana zostanie również wielkość minimalnej wartości rezystancji dostępnej na złączu śrubowym oznaczonym jako „rezystancja” (z dużym prawdopodobieństwem wartość rezystancji uzyskanej na tym złączu przy skręceniu gałek potencjometrów na minimum wyniesie nieco więcej niż 0 Ω – w urządzeniu modelowym wyniosła ona 6 Ω).

Schemat ideowy układu pokazano na **rysunku 1**. Obok wspomnianych obwodów z potencjometrami P1...P4 układ zawiera także bloki, jak: zasilacz, wyświetlacz, blok sygnalizacji z buzzerem, klawiaturę oraz diody LED. Do poprawnego funkcjonowania obwodów z potencjometrami wymagane jest zastosowanie kondensatorów C5, C6 oraz dławika L1.

Zasilacz jest zbudowany z użyciem liniowego stabilizatora napięcia typu 7805 (U1). Dioda D1 zabezpiecza układ przed podaniem zasilania o błędnej polaryzacji na złącze CON1. W urządzeniu zastosowano typowy wyświetlacz tekstowy LCD o rozdzielczości 16×2 (DP1) z podświetlaniem regulowanym za pomocą potencjometru P6 za pośrednictwem rezystorów R1...R3 oraz tranzystora T1. Regulacji kontrastu wyświetlanych znaków dokonuje się za pomocą potencjometru P7. Urządzenie jest wyposażone

w buzzer BUZ1 załączany za pomocą tranzystora T2 sterowanego przez wyprowadzenie PB7 mikrokontrolera (linia współdzielona z sygnałem SCK złącza ISP – CON3). Przyciski S1...S4 pełnią zadania klawiatury niezbędnej przy kalibracji układu oraz służącej do zmiany podglądu ustalonej wartości rezystancji chwilowej na potencjometrach P1...

P4. Rezystory R4...R7 podciągają linie PC7...PC5 mikrokontrolera (do których podłączone są odpowiednio S1...S4) do plusa zasilania. Informacja o wybranym potencjometrze P1...P4, dla którego dokonywany jest w danej chwili pomiar ustawionej rezystancji, jest wskazywana za pomocą diod LED (D2...D5). Rezystory R8...R11 ograniczają prąd płynący



Rysunek 1. Schemat ideowy regulowanego rezystora z wyświetlaczem LCD

**Wykaz elementów**

**Rezystory:**

- R1, R13: 1 kΩ
- R2, R12: 51 Ω
- R3: 15 kΩ
- R4...R7, R14...R20: 4,7 kΩ
- R8...R11: 150 Ω
- P1: B1M potencjometr podwójny 1 MΩ/A
- P2: B100k potencjometr podwójny 100 kΩ/A
- P3: B10k potencjometr podwójny 10 kΩ
- P4: B1k potencjometr podwójny 1 kΩ
- P6: potencjometr montażowy 100 kΩ
- P7: potencjometr montażowy 10 kΩ

**Kondensatory:**

- C1: 1000 µF/16 V
- C2, C4...C6: 100 nF
- C3: 470 µF/16 V

**Półprzewodniki:**

- D1: 1N4007
- D2...D5: LED 3 mm (czerwona)
- T1...T2: BC547
- U1: 7805
- U2: ATmega16

**Inne:**

- Podstawa 40-pinowa pod mikrokontroler
- DP1: Wyświetlacz 16×2
- L1: dławik 10 µH
- S1...S4: mikroprzełącznik
- BUZ1: buzzer z generatorem (Vcc=5 V)
- CON1: gniazdo zasilające
- CON2: ARK2 5 mm
- CON3: goldpin 5×2

Na CD: karty katalogowe i noty aplikacyjne elementów oznaczonych w wykazie elementów kolorem czerwonym

przez diody LED. Niewykorzystane linie portów mikrokontrolera zostały podciągnięte do plusa zasilania za pomocą rezystorów R14...R20.

## Montaż i uruchomienie

Schemat montażowy rezystora nastawnego pokazano na **rysunku 2**. Montaż elementów rozpoczynamy w kolejności od najniższych po najwyższe. Ponieważ płytka jest jednostronna, po stronie elementów znajduje się 11 mostków wykonanych z drutu, które należy wlotować w pierwszej kolejności. Najlepiej jest je wykonać z miękkiego drutu w izolacji kynarowej. Następnie montujemy rezystory R1...R20, dławik L1, diodę D1, podstawkę pod mikrokontroler U2, potencjometry P6, P7, listwę goldpin DP1, złącza CON2 i CON3, buzzer BUZ1, kondensatory C2, C4...C6, tranzystory T1 i T2, diody LED D2...D5, gniazdo zasilania CON1, kondensatory C3, C1, potencjometry P1...P4, stabilizator U1 oraz przyciski typu S1...S4. Do otworów złącza na wyświetlaczu wlotowujemy listwę goldpin 16×1. W czterech otworach przeznaczonych do przykręcenia wyświetlacza LCD montujemy słupki dystansowe o wysokości ok. 15 mm (otwór na wylot). Przytwierdzamy je do płytki czterema śrubami M3 (dystanse po stronie elementów, śruba wkręcana od strony lutowania). Następnie zakładamy wyświetlacz LCD, pilnując, aby listwa goldpin wyświetlacza trafiła dokładnie w gniazdo DP1. Wyświetlacz mocujemy do słupków dystansowych za pomocą czterech śrub M3. Po prawidłowym zmontowaniu, podłączeniu zasilania i zmierzeniu napięcia +5 V na pinach 10 (GND) i 11 (VCC) podstawki U2 można wyłączyć zasilanie oraz umieścić mikrokontroler U2 w podstawce.

## Wgrzywanie firmware'u

Jeśli w podstawie jest umieszczony zaprogramowany mikrokontroler, to ten krok można pominąć. Jednak w wypadku, gdy zastosowany został „czysty” mikrokontroler,

należy go na tym etapie zaprogramować. Najpierw jednak w sekcji *fuse bit* należy wyłączyć interfejs JTAG. Ponieważ linia PB7 jest wspólna dla sygnału SCK oraz buzzera BUZ1, dźwięk (szum) generowany podczas programowania mikrokontrolera jest sytuacją prawidłową. Do zaprogramowania mikrokontrolera można użyć dowolnego programatora ISP przeznaczonego dla mikrokontrolerów z rodziny AVR.

## Oprogramowanie

Po zaprogramowaniu pamięci Flash mikrokontrolera jego pamięć EEPROM wciąż pozostaje pusta, co oznacza, że wszystkie komórki pamięci EEPROM przechowują wartość 255. Po podłączeniu zasilania pierwszą czynnością programu mikrokontrolera jest sprawdzenie, czy nie został naciśnięty klawisz S1 lub S2. Jeśli został naciśnięty klawisz S1, wówczas zostanie uruchomiona procedura kalibracji urządzenia, nawet jeśli było ono już wcześniej skalibrowane. Jeśli w momencie włączenia zasilania jest wciśnięty przycisk S2, to urządzenie zostanie uruchomione z zestawem parametrów zapisanych w pamięci programu. Jeśli nie został naciśnięty żaden z klawiszy, wówczas mikrokontroler sprawdzi komórkę pamięci EEPROM o adresie 90 i jeżeli odczyta z niej wartość inną niż 255, to uzna, że urządzenie zostało już skalibrowane, załaduje zapisane uprzednio w pamięci EEPROM wartości (adres 100 – rezystancja początkowa, 110 – przelicznik wartości A/C na R dla P1, 120 – przelicznik wartości A/C na R dla P2, 130 – przelicznik wartości A/C na R dla P3, 140 – przelicznik wartości A/C na R dla P4) ustalone podczas kalibracji do odpowiednich zmiennych i wyświetli na ekranie LCD wartości rezystancji ustawionej za pomocą potencjometrów P1...P4. Jeśli jednak zostanie odczytana wartość 255, to mikrokontroler automatycznie uruchomi procedurę kalibracji.

Procedura kalibracji jest wykonywana za pomocą kreatora, który przeprowadza użytkownika przez wszystkie kroki procedury

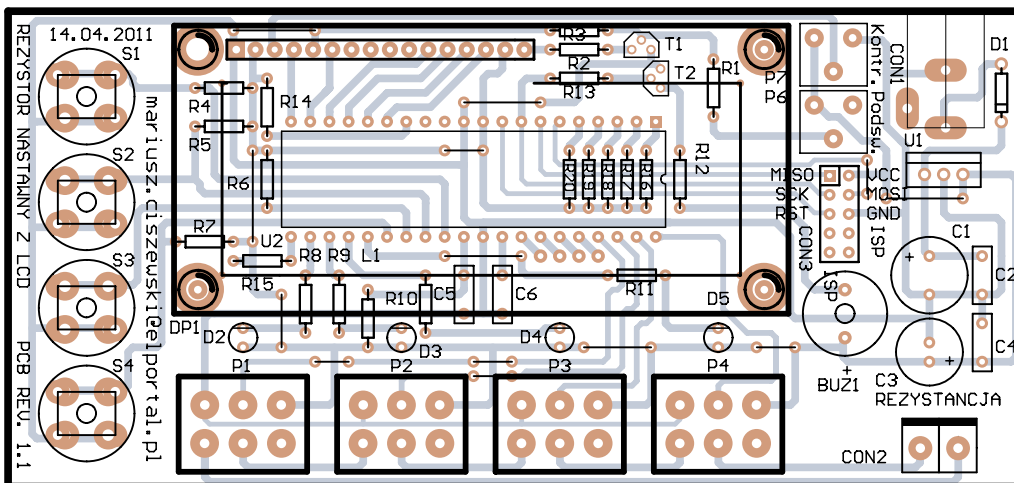
kalibracyjnej i dodatkowo kontroluje wykonywane czynności, nie pozwalając na popełnienie błędów. Gdy uruchomiona zostanie procedura kalibracji, do zacisków „rezystancja” należy dołączyć omomierz. W pierwszej kolejności kreator poprosi użytkownika o ustawienie wszystkich potencjometrów P1...P4 w pozycję „zero”, tj. w lewym, skrajnym położeniu. Dopiero gdy użytkownik wykona to polecenie, kreator zapyta o wartość rezystancji wyświetlanej na omomierzu. Powinna ona być zbliżona do zera, prawdopodobnie jednak będzie od niego różna. W prototypie wyniosła ona 6 Ω. Jest to wartość minimalna możliwa do ustawienia na naszym elektronicznym rezystorze. Informację tę trzeba wprowadzić do układu (odpowiedzieć na pytanie zadane przez kreatora). Na wyświetlaczu LCD zostanie w tym momencie wyświetlony komunikat w postaci *R: 000.000 kΩ*, a na pierwszej pozycji zostanie ustawiony migający kursor sugerujący konieczność wprowadzenia danych z klawiatury. Za pomocą przycisków należy teraz ustawić każdą z cyfr tej wyświetlonej liczby. Podczas kalibracji przyciski S1...S4 pełnią następujące funkcje:

- S1** – zwiększ wartość cyfry na pozycji, na której znajduje się migający kursor o 1,
- S2** – zmniejsz wartość cyfry na pozycji, na której znajduje się migający kursor o 1,
- S3** – przesun kursor na kolejną pozycję liczby,
- S4** – wprowadź ponownie.

Po wprowadzeniu odpowiedniej wartości i podaniu wszystkich 6 cyfr rezystancja minimalna zostanie zapisana w komórce pamięci EEPROM o adresie 100, a kreator przejdzie do kolejnego etapu procedury kalibracji i poprosi ponownie o skręcenie wszystkich potencjometrów na „zero”. Gdy to zostanie zrobione, pojawi się komunikat z prośbą o ustawienie potencjometru P1 na wartość 512, a w dolnej linii wyświetlacza będzie wyświetlana aktualnie ustawiona wartość. Nie jest to wartość rezystancji, tylko liczba zwracana przez przetwornik A/C. Ponieważ

mikrokontroler Atmega16 ma przetworniki 10-bitowy, będzie wyświetlana liczba z zakresu od 0 do 1023. Wyświetlenie wartości 512 jest skutkiem ustawienia potencjometru dokładnie na połowę jego rezystancji. Kreator dopiero gdy upewni się (kilkanaście razy sprawdzi), czy na pewno jest ustawiona stabilna wartość 512, wygeneruje krótki sygnał dźwiękowy i zapyta o wartość mierzoną przez omomierz. Należy ją wprowadzić do urządzenia analogicznie jak poprzednio.

W podobny sposób kreator przeprowadzi kalibrację dla



Rysunek 2. Schemat montażowy regulowanego rezystora z wyświetlaczem LCD

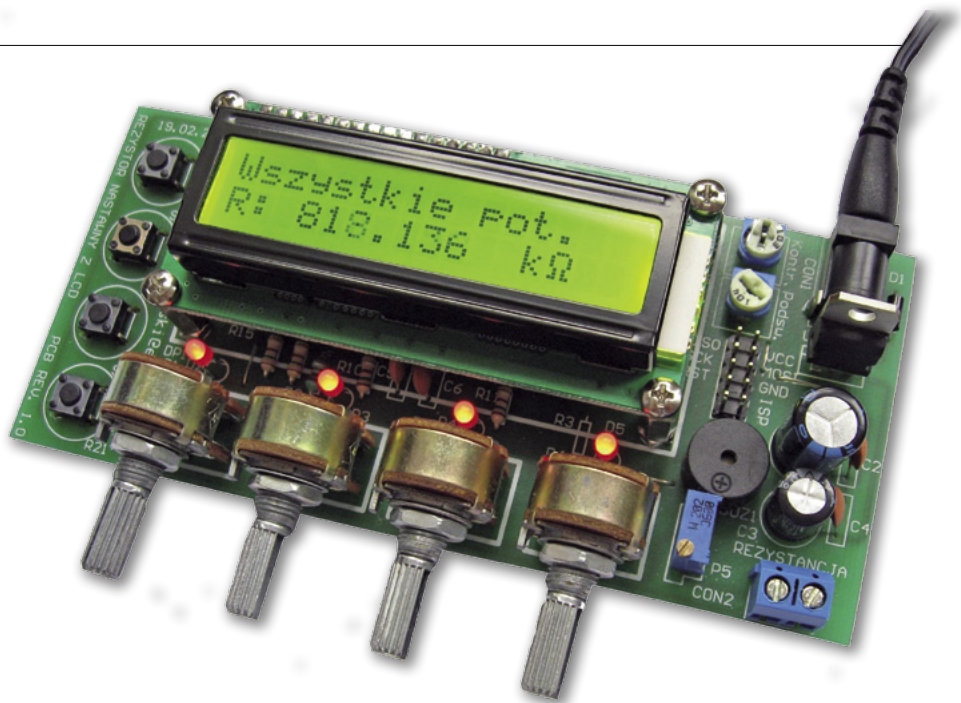


pozostałych potencjometrów (P2...P4). Kalibracja każdego z potencjometrów odbywa się oddzielnie i wymaga skrócenia pozostałych potencjometrów w pozycję „zero”. Ich ustawienie na wartość inną niż „zero” spowodowałoby wystąpienie na zaciskach złącza „rezystancja” nieprawidłowej wartości i doprowadziłoby do błędnej kalibracji układu. Kreator nie dopuszcza do takiej sytuacji i w momencie, gdy wykryje nieprawidłowe ustawienie któregokolwiek z potencjometrów, natychmiast przerywa kalibrację i informuje o konieczności wykonania korekty. Dopiero gdy stwierdzi prawidłowe ich ustawienie, wraca do przerwanej uprzednio procedury kalibracji.

Kolejne wartości wprowadzone przez użytkownika zostaną zapisane pod właściwe adresy pamięci EEPROM, a po przejściu wszystkich 5 kroków kalibracji urządzenie automatycznie przełączy się do trybu normalnej pracy. Po tym fakcie rezystancja ustawiona za pomocą potencjometrów i wyświetlana przez przyrząd powinna zgadzać się ze zmierzoną przez dołączony omomierz na zaciskach „rezystancja” z dokładnością do tolerancji wykonania potencjometrów. Można też sprawdzić wartość rezystancji ustawioną oddzielnie za pomocą każdego z potencjometrów. W tym celu posługujemy się klawiszami S1...S4, a wybrany w danej chwili potencjometr będzie podświetlony za pomocą diody LED D2...D5. Aby ponownie wyświetlić wartość sumaryczną, należy jednocześnie wcisnąć wszystkie przyciski S1...S4. Potwierdzeniem będzie zaświecenie się wszystkich diod LED D2...D5.

**Uwagi odnośnie do kalibracji**

Każdy z potencjometrów P1...P4 włączony jest pomiędzy napięcie zasilania (+5 V) a masę (GND), więc zależnie od położenia potencjometru na jego odczepie wystąpi napięcie z przedziału 0...5 V. Odczepy potencjometrów P1...P4 dołączona są kolejno do wejścia przetwornika A/C (porty PA0...PA3). W zależności od ustawionego napięcia 0...5 V mikrokontroler odczyta wartości 0...1023. Aby móc dokonać przeliczenia wartości zwracanej przez ADC (0...1023) na wartość rezystancji (0...Pot-max), należy obliczyć wartość rezystancji dla pojedynczego potencjometru. Ponieważ kreator wymusza ustawienie każdego z potencjometrów dokładnie w połowie, otrzymujemy prostą zależność: wartość 512 odpowiada wartości mierzonej przez omomierz na zaciskach „rezystancja”. Aby uzyskać wartość rezystancji dla poszczególnych potencjometrów, należy wartość zmierzoną przez omomierz podzielić przez 512. Dla każdego z potencjometrów, w celu wyświetlenia na wyświetlaczu LCD wartości rezystancji, zwracana wartość A/C jest mnożona przez przelicznik właściwy dla danego potencjometru (ustalony podczas



kalibracji). Podczas normalnej pracy wynik rezystancji wyświetlany na wyświetlaczu LCD jest obliczany jako suma obliczonych wartości rezystancji dla wszystkich czterech potencjometrów oraz wartości rezystancji minimalnej (pierwszy krok kalibracji). Łatwo powiedzieć, trudniej wykonać. Mamy wykonywane operacje dzielenia przez 512, w wyniku których otrzymujemy liczby zmiennoprzecinkowe, a więc teoretycznie konieczność operowania na zmiennych typu single. Te z kolei mają ograniczoną dokładność. Jako przykład może posłużyć wynik operacji mnożenia wykonanej na zmiennych typu single:  $1 * 0.1 = 0.09999999999$ .

Kreator musi mieć wprowadzone przez operatora 5 wartości: rezystancję minimalną oraz wartości rezystancji zmierzone dla potencjometrów nastawionych na połowie. Informacja o aktualnej pozycji liczby z szablony abc.xyz, gdzie „abc” to część dziesiętna, a „xyz” część ułamkowa, jest przechowywana w zmiennej *lkursor\$*. Początkowo ma ona wartość 0. Osiągnięcie przez zmienną wartości większej niż 5 kończy wprowadzanie liczby. W momencie, gdy *lkursor\$* przekroczy wartość 2 (a więc znajdziemy się na pierwszym polu po kropce dziesiętnej), zmiennej pomocniczej *ulamek* zostanie nadana wartość 1. Wszystkie 6 cyfr liczby pobierane jest w pętli. Kiedy zmienna *ulamek* przyjmie wartość 1, zacznie być inkre-

mentowana zmienna *mnozник\$* określająca, ile razy trzeba będzie uzyskaną wartość podzielić przez 10. Wprowadzenie każdej z 6 cyfr powoduje zmianę wartości ulokowanej w zmiennej *wartosc\$*. Wprowadzenie pierwszej cyfry spowoduje bezpośrednie przepisanie jej do zmiennej *wartosc\$*. Wprowadzenie kolejnych cyfr spowoduje operację pomnożenia zmiennej *wartosc\$* przez 10, a następnie dodanie do wyniku wpisanej cyfry. Pokazano to w procedurze zamieszczonej na **listingu 1**.

Na tym etapie w zmiennej *wartosc\$* jest przechowywana liczba *abcxyz*. Teraz należy ją podzielić odpowiednią liczbą razy (zmienna *mnozник\$*). Ostatecznie w zmiennej *wartosc\$* znajdzie się pożądana wartość rezystancji.

Działanie kreatora również odbywa się w pętli (Rpocz, P1, P2, P3, P4). Po wprowadzeniu rezystancji dla potencjometrów P1...P4, przed zapisaniem tych informacji do pamięci EEPROM, od wpisanej wyniku jest odejmowana wartość *Rpocz*. Gdy potencjometr Px ( $x=1...4$ ) zostanie ustawiony na 512 (wartość zwracana przez A/C), na omomierzu jest wyświetlana tak naprawdę wartość  $Px + Rmin$ . Tymczasem do kalibracji potencjometru Px jest potrzebna rzeczywista rezystancja Px. Aby uprościć procedurę kalibracji, program prosi użytkownika o przepisanie wartości z omomierza, ale odejmuje wartość *Rmin* jeszcze przed dokonaniem obliczeń, tj. przed wyzna-

**Listing 1. Odczyt wartości wprowadzanej przez użytkownika podczas kalibracji układu.**

```

If Ulamek = 1 Then Incr Mnozник$
'// dla pozycji "R: 000.X00" mnozник$ = 1
< // dla pozycji «R: 000.0X0» mnozник$ = 2
< // dla pozycji «R: 000.00X» mnozник$ = 3
If Cyfra$ < 10 Then
If Lkursor$ = 1 Then Wartosc$ = Cyfra$
< // jesli wprowadzana cyfra «R: X00.000» to wartosc$ = Cyfra$
If Lkursor$ > 1 Then
Wartosc$ = Wartosc$ * 10
< // jesli wprowadzana cyfra «R: 0XX.XXX» to wartosc$ = wartosc$*10
Wartosc$ = Wartosc$ + Cyfra$
< // oraz wartosc$ = wartosc$ + cyfra$
End If
End If
    
```

**Listing 2. Wylizanie wartości adresów komórek pamięci EEPROM przechowujących dane kalibracyjne.**

```
Zmienna_byte$ = Licznik_pot * 10
// obliczanie adresu eeprom dla nastawu Px. zmienna_byte$ przyjmuje
// wartosci 0...4, zatem wyniki: 0, 10, 20, 30, 40
Zmienna_byte$ = Zmienna_byte$ + 100
// wyniki po zsumowaniu: 100, 110, 120, 130, 140
If Licznik_pot > 0 Then Wartosc$ = Wartosc$ / 512
// kolejna operacja na zmiennej single
// Przed operacją: wartosc$ zawiera wartosc rezystancji dla ADC=512
// Po operacji: wartosc$ zawiera wartosc rezystancji dla ADC=1
// Od teraz mozliwe obliczenie rezystancji dla dowolnej wartosci ADC
// Wartosc$ to mnoznik rezystancyjny wlascywy indywidualnie dla PX
Writeeprom Wartosc$ , Zmienna_byte$
// Zapis mnoznika wartosc$ w zaleznosci od licznik_pot = 0...5
// do komorki eeprom odpowiednio 100, 110, 120, 130, 140
Upperline
If Licznik_pot = 0 Then Readeeprom Rmin$ , 100
// od razu po wprowadzeniu Rmin odczytaj go do zmiennej Rmin$ gdyz
// konieczny do odjecia wartosc$ przed wysw
```

**Listing 3. Procedura obsługi przerwania od Timer1.**

```
Przerwanie:
Timer1 = W_pocz_timera
Stan = Not Stan
If Noflash = 0 Then
  If Blink1 = 1 Then D2 = Stan
  If Blink2 = 1 Then D3 = Stan
  If Blink3 = 1 Then D4 = Stan
  If Blink4 = 1 Then D5 = Stan
  If Blink1 = 0 Then Set D2
  If Blink2 = 0 Then Set D3
  If Blink3 = 0 Then Set D4
  If Blink4 = 0 Then Set D5
End If
If Blink1 = 1 Or Blink2 = 1 Or Blink3 = 1 Or Blink4 = 1 Then Buzzer = Stan
If Blink1 = 0 And Blink2 = 0 And Blink3 = 0 And Blink4 = 0
And Buzzbeep = 0 Then Reset Buzzer
Return
```

zeniem mnożnika dla pojedynczego kroku z przedziału 0...1023. Działanie to jest pomijane jest w pierwszym kroku, gdy użytkownik wpisze wartość *Rpocz* (If Licznik\_pot > 0 Then Wartosc\$ = Wartosc\$ - Rmin\$).

Również adresy pamięci EEPROM, pod które mają zostać zapisane określone wartości, wylizane są w pętli, co zostało pokazane na **listingu 2**.

Wyżej wspomniano o możliwości uruchomienia układu przy użyciu nastaw domyślnych pochodzących nie z pamięci EEPROM, a z ustawień zapisanych bezpośrednio w kodzie programu. W ten sposób istnieje możliwość uruchomienia nieskalibrowanego urządzenia np. w celu wstępnego sprawdzenia poprawności montażu. Możliwość tę zaimplementowano na wypadek, gdyby wbudowana w firmwarę procedura kalibracji budziła czyjeś wątpliwości. Jeśli ktoś uzna, że woli samodzielnie skalibrować układ, może obliczenia wykonać we własnym zakresie i w miejsce stałych w kodzie programu wpisać obliczone przez siebie wartości. Oczywiście w takim wypadku użytkownik będzie musiał samodzielnie skompilować program, a plik wynikowy wgrać do mikrokontrolera.

Warto również mieć świadomość faktu, że rozbieżności pomiędzy wartością wyświetlaną na wyświetlaczu LCD a rzeczywistą rezystancją będą wynikały również z ograniczeń mechanicznych zastosowanych potencjometrów. Teoretycznie obie sekcje potencjometru powinny mieć identyczną wartość rezystancji, ale w rzeczywistości może być różnie. Dobrym pomysłem jest selekcja najlepszego potencjometru spośród kilku, o ile ma się taką możli-

wość. Wszystko to sprawia, że mimo zastosowane procedury kalibracji trudno jest uniknąć pewnych rozbieżności pomiędzy wartością wyświetlaną na LCD a rzeczywistą wartością dostępną na zaciskach „rezystancja”. Nietrudno zauważyć, że w szczególnych przypadkach, w których istnieje potrzeba jednoczesnego doboru kilku rezystorów w różnych miejscach konstruowanego układu, posiadanie kilku sztuk elektronicznego rezystora może okazać się bardzo wygodne.

Dla uzyskania lepszego efektu wizualnego podczas kalibracji układu diody LED wskazujące właściwy potencjometr migają w równym tempie. Załączanie i wyłączenie diod LED odbywa się w przerwanym generowanym co 0,15 s przez Timer1 (**listingu 3**). Oprócz diod LED w przerwanym kontrolowana jest również praca buzzera.

REKLAMA

**Listing 4. Konfigurowanie układu czasowo-licznikowego Timer1**

```
Config Timer1 = Timer , Prescale = 8
On Timer1 Przerwanie
Enable Interrupts
Enable Timer1
Const W_pocz_timera = 46786
Timer1 = W_pocz_timera
```

Aby skonfigurować przerwanie w taki sposób, aby było ono generowane co 0,15 s, należy:

- Obliczyć czas trwania pojedynczego cyklu maszynowego.
- Sprawdzić, ile takich cykli potrzeba do uzyskania potrzebnego czasu.
- Przy założeniu, że wykorzystany zostanie licznik 16-bitowy, upewnić się, że liczba potrzebnych cykli nie przekroczy wartości 65535. W przeciwnym wypadku zastosować optymalny prescaler (podział sygnału wejściowego) i obliczyć liczbę potrzebnych cykli z jego uwzględnieniem.
- Skonfigurować timer oraz, w celu ustawienia wartości, do jakiej ma zliczać licznik w celu wygenerowania przerwania, wpisać do jego rejestru wartość będącą różnicą 65535 oraz liczby potrzebnych cykli (obliczone w punkcie 2./3.).
- Uruchomić timer i przerwania

W projekcie mikrokontroler jest taktowany sygnałem o częstotliwości 1 MHz. Mikrokontrolery AVR mają cykl maszynowy równy cyklowi zegarowemu, a więc pojedynczy cykl maszynowy trwa 1  $\mu$ s. Dla uzyskania odcinków czasu trwających 0,15 s należy zliczyć 150000 cykli maszynowych, co przekracza jednak możliwości 16-bitowego Timera1, więc jest niezbędne zastosowanie preskalera. Przy zastosowaniu podziału przez 8 dla uzyskania wymaganego odcinka czasu wystarczy zliczyć już tylko 18750 cykli. Różnica pomiędzy 65535 a 18750 wynosi 46786. Fragment programu z instrukcjami konfiguracyjnymi Timer1 pokazano na **listingu 4**.

**Mariusz Ciszewski**  
mariusz.ciszewski@gmail.com