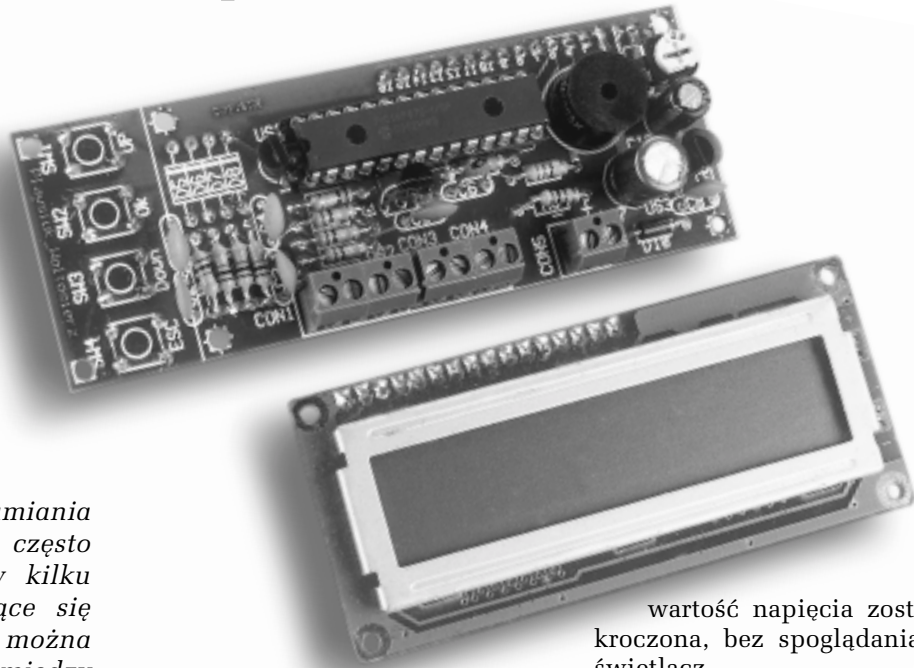


Programowany 4-kanałowy komparator/woltomierz

AVT-5086



Podczas uruchamiania układów analogowych często trzeba śledzić w kilku punktach zmieniające się napięcia. Wówczas można przełączać multimetr między tymi punktami lub dołączyć kilka woltomierzy.

Przełączanie miernika jest uciążliwe i nie jest możliwe do zastosowania, jeśli napięcia w kilku punktach muszą być mierzone jednocześnie, a zastosowanie kilku mierników jest kosztowne.

Rekomendacje: pomiar napięcia w wielu punktach (a pośrednio: temperatury, ciśnienia, wilgotności, masy itp.), na przykład w systemach ciągłej kontroli wartości parametrów śledzonego procesu.

Prezentowany w artykule woltomierz umożliwia jednoczesny pomiar czterech napięć. Ma jeden zakres pomiarowy 0...50 V. Wynik pomiaru napięcia jest wyświetlany z rozdzielczością 0,1 V, ale w większości przypadków jest ona wystarczająca.

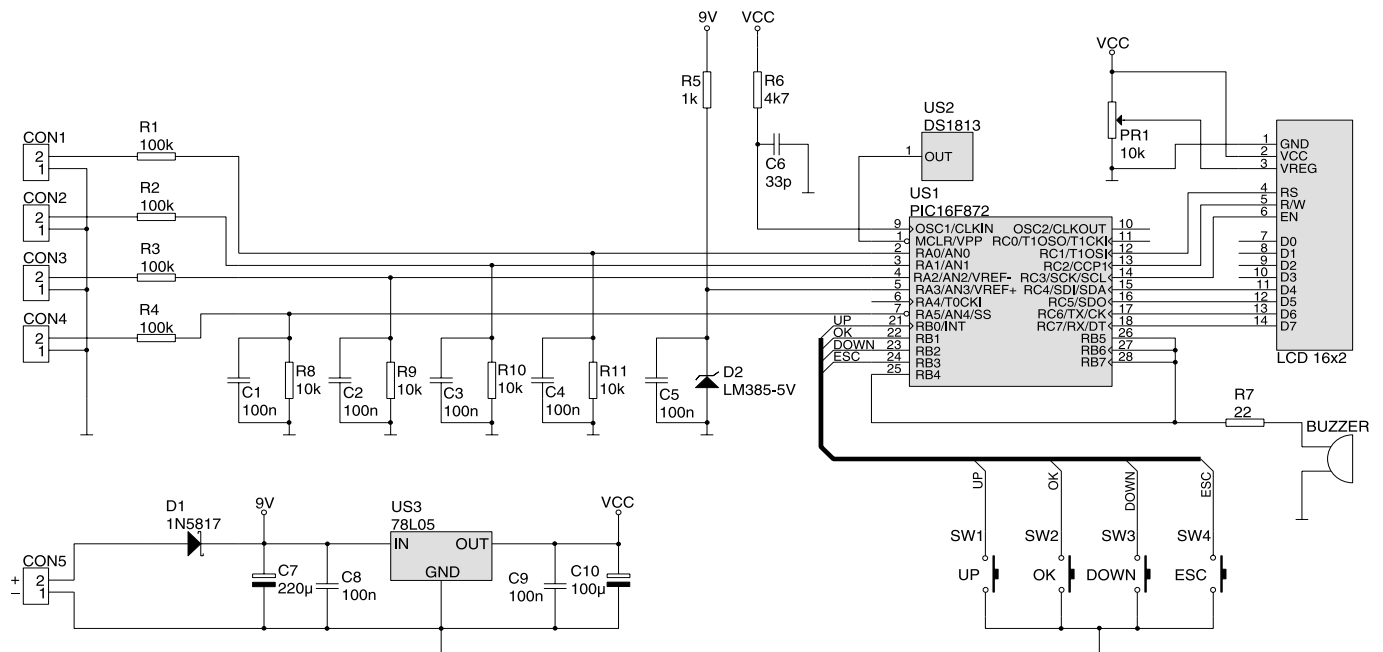
Woltomierz został wykonany dość nietypowo, gdyż nie posiada żadnego specjalizowanego układu pomiaru napięcia. Jedynym układem scalonym jest mikrokontroler PIC16F872 z wbudowanym przetwornikiem A/C. Wewnętrzny multiplexer umożliwia dołączenie do przetwornika każdego z wejść analogowych będących wyprowadzeniami portu RA i pomiar napięcia na tych wejściach. Takie wyposażenie pozwala na wykonanie wielokanałowego woltomierza bez wyspecjalizowanych układów multimetrów. Oprogramowanie sterujące mikrokontrolerem umożliwia śledzenie zmian wartości napięcia na każdym z wejść i włączenie sygnalizacji akustycznej w przypadku przekroczenia przez napięcie mierzone zadanej (zaprogramowanej) wartości. Sygnał akustyczny jest odmienny dla każdego z kanałów pomiarowych, co jednoznacznie określa, w którym kanale

wartość napięcia została przekroczona, bez spoglądania na wyświetlacz.

Ze względu na modułową budowę, woltomierz może być także stosowany jako miernik napięcia wejściowego na przykład w zasilaczu regulowanym.

Opis układu i zasada działania

Schemat elektryczny woltomierza przedstawiono na **rys. 1**. Głównym elementem przyrządu jest mikrokontroler firmy Microchip PIC16F872. Zawiera on w swojej strukturze pamięć programu Flash o pojemności 2 kbajtów, pamięci RAM o pojemności 128 bajtów oraz 128 bajtów pamięci EEPROM. Jak wspomniano, mikrokontroler ma wbudowany także 10-bitowy przetwornik analogowo-cyfrowy. Dołączanie napięć mierzonych i odniesienia do przetwornika zawartego w układzie US1 przedstawiono na **rys. 2**. Wewnętrzny multiplexer umożliwia pomiar napięcia na jednym z pięciu wejść. Wejściami przetwornika są wyprowadzenia portu RA, które w zależności od konfiguracji mogą być normalnymi liniami portu cyfrowego lub wejściami analogowymi przetwornika A/C. W trybie analogowym wejścia RA2 i RA3 mogą pełnić rolę wejść napięcia odnie-



Rys. 1. Schemat elektryczny woltomierza

sienia dla przetwornika, odpowiednio napięcia ujemnego i dodatniego. Wartość napięć wejściowych, zarówno odniesienia, jak i mierzonych muszą zawierać się w przedziale 0...5V (przy napięciu zasilania mikrokontrolera równym 5V). Zatem „ujemne“ napięcie odniesienia oznacza napięcie o mniejszej wartości (określa dolną wartość zakresu pomiarowego -zwykle 0 V), a „dodatnie“ oznacza napięcie o większej wartości (określa górną wartość zakresu pomiarowego - zwykle 5 V).

Aby wykorzystać wszystkie wejścia analogowe, można tak skonfigurować przetwornik, że wejście dodatniego napięcia odniesienia będzie wewnętrznie zwarte do plusa zasilania, a wejście ujemnego do masy. W ten sposób uzyskamy pięciowejsiowy przetwornik o zakresie napięć wejściowych 0...5 V. Dokładność pomiaru takiego przetwornika będzie zależała głównie od wartości i stabilności napięcia zasilającego mikrokontroler.

Jeżeli wymagana jest duża dokładność pomiaru napięcia, to jako napięcie odniesienia można zastosować zewnętrzne źródło, niestety kosztem jednego lub dwóch kanałów pomiarowych przetwornika. Dzięki temu uzyska się dużo większą stabilność niż w przypadku korzystania z napięcia zasilającego mikrokontroler. W przedstawionym układzie zastosowano zewnętrzne źródło na-

pięcia odniesienia w postaci diody typu LM385-5, która wraz z rezystorem R5 i kondensatorem C5 dostarcza napięcia o wartości 5 V dla dodatniego wejścia odniesienia przetwornika analogowo-cyfrowego. Ujemne wejście napięcia odniesienia zostało wewnętrznie zwarte do masy. W takiej konfiguracji uzyskano czterowejsiowy przetwornik o stabilnym napięciu odniesienia zapewniającym wykonywanie pomiarów napięć w zakresie 0...5 V z rozdzielczością około 5 mV.

Obsługa przetwornika zawartego w mikrokontrolerze jest bardzo łatwa. Na list. 1 przedstawiono najprostszą procedurę odczytującą napięcie na wejściu przetwornika analogowo-cyfrowego.

W procedurze tej linia RA.0 jest wejściem analogowym, wejść napięć odniesienia dla przetwornika A/C zostały wewnętrznie odpowiednio dołączone do masy i plusa zasilania.

Na początku programu ustawiane są ustawiane wstępne parametry przetwornika A/C i portów. Przetwornik A/C został skonfigurowany do pomiarów w ośmiu taktach zegara, czyli wynik pomiaru otrzymujemy po około 8 μs. Wynik pomiaru jest dostępny w postaci binarnej na porcie RC, dlatego port ten został skonfigurowany jako wyjściowy. Do tego portu można dołączyć osiem diod świecących - poprzez rezystory szeregowo o war-

tości 470 Ω z katodą dołączoną do masy. W ten sposób będzie można wyświetlić wynik pomiaru widoczny na dołączonych diodach.

Po skonfigurowaniu przetwornika pomiar rozpoczyna się od ustawienia bitu GO w rejestrze ADCON0. Następnie należy czekać na wyzerowanie tego bitu. Zerowanie odbywa się automatycznie po zakończeniu pomiaru. Wynik przetwarzania jest zawarty w rejestrach ADRESH - osiem bitów bardziej znaczących („starszych“) i w ADRESL - dwa bity mniej znaczące („młodsze“). W naszym przykładzie odczytywane są tylko

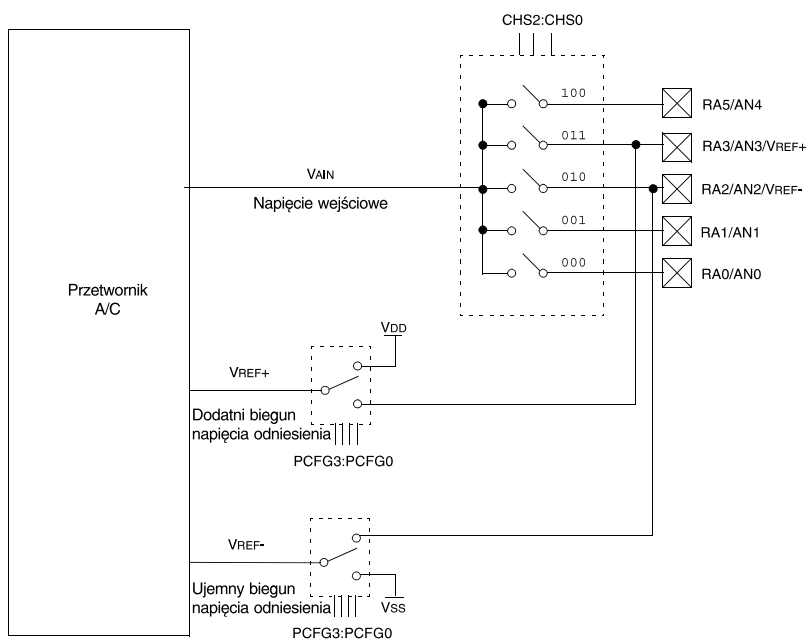
List.1. Przykładowa procedura odczytu napięcie z wejścia przetwornika A/C

```
list p=16f872
include "p16f872.inc"

org 0x000
__config
b'00100100111001';konfiguracja(fuses)

Start
banksel PORTC ;ustaw bank na portc
clrf PORTC ;zeruj portc
movlw B'01000001' ;Fosc/8, A/D włączony
movwf ADCON0
banksel OPTION_REG ;ustaw bank na
;OPTION_REG
clrf TRISC ;PORTC jako wyjścia
movlw B'00001110' ;port PA0 analogowy,
;pozostałe cyfrowe,
;napiecie odniesienia
;VCC i GND
banksel PORTC ;ustaw bank na portc

Main
bsf ADCON0,GO ;start przetwarzania A/C
Wait
btfsc ADCON0,GO ;czekaj na koniec
;przetwarzania
goto Wait
movf ADRESH,W ;wyślij wynik
;przetwarzania
movwf PORTC ;do portu RC
goto Main ;ponowny pomiar
end
```



Rys. 2. Dołączanie napięć (mierzonych i referencyjnych) do przetwornika A/C zawartego w mikrokontrolerze

„starsze“ bity i wysyłane do portu RC. Zmieniając napięcie na wejściu RA0, możemy obserwować na diodach wartość mierzonego napięcia w postaci binarnej. Odczyt tylko rejestru „ADRESH“ powoduje, że wynik pomiaru jest reprezentowany tylko ośmioma bitami, czyli przetwornik staje się 8-bitowym. Gdy nie jest konieczna duża dokładność pomiarów, znacznie upraszczają się procedury obliczeniowe, gdyż operacje wykonywane są na danych jednobajtowych.

W woltomierzu przetwornik został skonfigurowany do pomiaru napięć w zakresie 0...5 V. Cyfrowy wynik przetwarzania jest 10-bitowy, czyli możliwe jest uzyskanie 1024 poziomów wartości o rozdzielczości 5 V/1023. W celu wyrażenia w voltach wartości wskazywanej przez przetwornik, należy cyfrowy (dwójkowy) wynik pomiaru przekształcić do postaci dziesiętnej i skorzystać ze wzoru:

$$U_x = D \cdot (5V/1024) \text{ [V]}$$

Aby rozszerzyć zakres pomiarowy, na wejściach przetwornika zastosowano dzielniki napięcia zbudowane z rezystorów R1...R4 i R8...R11 (kondensatory C1...C4 filtrują napięcie wejściowe). Tak wykonany dzielnik powoduje podział napięcia wejściowego przez jedenaście, w konsekwencji mierzone napięcie wyliczane jest ze wzoru:

$$U_x = D \cdot (11 \cdot 5V/1024)$$

Woltomierz umożliwia więc pomiar napięcia w zakresie 0...55 V (maksymalne napięcie może wynosić 55 V), przy rezystancji wejściowej równej około 110 kΩ. Wyniki pomiarów z rozdzielczością 0,1V są przedstawiane na wyświetlaczu alfanumerycznym o organizacji 2*16 znaków. Przykładowo, wyniki wyświetlania mogą być takie, jak na rys. 3.

Ze względu na ograniczoną liczbę znaków możliwych do wyświetlenia, na wyświetlaczu jest podawany numer kanału mierzonego napięcia oraz jego wartość bez jednostki. Nie stanowi to istotnego ograniczenia, gdyż woltomierz jest jednozakresowy, więc mierzone napięcie zawsze będzie podawane w voltach.

Ponieważ mikrokontroler nie wykonuje operacji ściśle zależnych od czasu, więc wewnętrzny układ oscylatora został skonfigurowany do pracy z elementami RC (są to rezystor R6 i kondensator C6). Do zerowania mikrokontrolera zastosowano zewnętrzny układ zerowania w postaci specjalizowanego układu US2. Jako sygnalizator zastosowano brzęczyk, który sterowany jest z czterech, równoległe połączonych wyprowadzeń portu RB, dodatkowy rezystor R7 ogranicza prąd płynący przez brzęczyk.

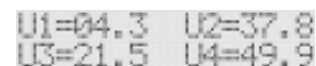
Napięcie zasilania 5V jest dostarczane przez stabilizator typu LM78L05. Kondensatory C7...C10

wygładzają napięcie zarówno na wejściu, jak i na wyjściu stabilizatora. Dioda D1 zabezpiecza układ przy odwrotnej polaryzacji napięcia zasilania.

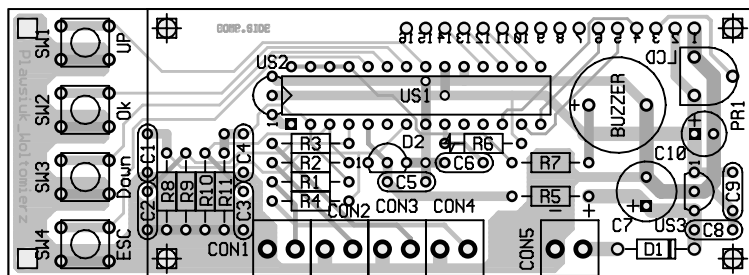
Montaż i uruchomienie

Schemat montażowy płytki woltomierza zamieszczono na rys. 4. Montaż rozpoczynamy od wlutowania rezystorów, podstawki pod mikrokontroler, a następnie montujemy kondensatory i złącza CON1...CON5. Na końcu, od strony elementów, montujemy potencjometr i brzęczyk. Przyciski SW1... SW4 oraz wyświetlacz montujemy od strony lutowania. Przed wlutowaniem wyświetlacza należy dokonać małej modyfikacji połączeń na jego płytce. Zastosowany w modelu wyświetlacz GDM1602A posiada podświetlenie, które jest włączone na stałe. Prąd pobierany przez diody podświetlenia wynosi około 100 mA. Zastosowany stabilizator napięcia może być obciążony prądem do 100 mA. Sumaryczny prąd pobierany przez woltomierz znacznie przekracza tę wartość, dlatego należy wyłączyć podświetlenie wyświetlacza, aby stabilizator nie został uszkodzony. Wykonuje się to przez wyłutowanie jednego z dwóch rezystorów SMD na płytce wyświetlacza oznaczonych symbolami R6 i R7. Rezystor R6 jest rezystorem o wartości „zerowej“ (rezystancja wynosi 0Ω) i służy jedynie jako połączenie katod diod podświetlających z masą zasilania, natomiast rezystor R7, o wartości 6,8 Ω, jest dołączony do anod diod podświetlających oraz plusa zasilania i zapewnia ograniczenie płynącego przez nie prądu do wartości około 100 mA. Przerwanie obwodu w którymkolwiek miejscu spowoduje wyłączenie podświetlenia. Po tej czynności układ pobiera zaledwie kilka miliamperów prądu i zastosowany stabilizator nie jest przeciążony. W przypadku zastosowania innego typu wyświetlacza (bez podświetlenia) czynności te są zbędne.

Po przygotowaniu wyświetlacza należy go wmontować w płyt-



Rys. 3. Przykładowe wskazania podczas pomiaru napięć



Rys. 4. Rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej

kę, tak jak przyciski SW1...SW4, od strony lutowania. Prawidłowo zmontowany woltomierz należy wstępnie uruchomić. W tym celu do złącza CON5 należy dołączyć napięcie zasilania o wartości około 9V. Potencjometrem PR1 ustalamy najlepszy kontrast wyświetlacza. Wówczas na wyświetlaczu pojawi się napis jak na rys. 5.

Do złączy CON1...CON4 należy dołączyć regulowane źródła napięcia, zmierzone wartości napięć będą wyświetlane na wyświetlaczu. Symbole U1...U4 odnoszą się do napięć podawanych na złącza odpowiednio CON1...CON4.

Obsługa

Jak wspomniano, opisywany przyrząd oprócz funkcji typowego woltomierza wyposażono także w funkcję programowanego, 4-kanalowego komparatora napięcia. Oznacza to, że dla każdego kanału pomiarowego można określić wartości napięć, których przekroczenie będzie sygnalizowane akustycznie. Po włączeniu zasilania komparatory dla wszystkich kanałów są wyłączone. Aby włączyć ustawienia okienka komparatora dla dowolnego kanału pomiarowego, wystarczy nacisnąć odpowiedni przycisk SW1...SW4. Wówczas na wyświetlaczu zostaną wyświetlone wartości napięcia, przy których będzie włączona sygnalizacja akustyczna (dla kanału U1 przycisk SW1, dla U2 przycisk SW2 itd.). Przykładowo naciśnięcie przycisku SW1 spowoduje wyświetlanie wartości pokazanych na rys. 6.

Wartości początkowe napięć okienka komparatora zostały tak ustawione, że nigdy nie zostanie

U1=00.0 U2=00.0
U3=00.0 U4=00.0

Rys. 5. Wskazania wyświetlacza bez dołączonych napięć na wejściach

spełniony warunek przekroczenia napięcia alarmu komparatora, gdyż sygnalizacja akustyczna zostanie włączona, jeśli napięcie mierzone będzie mniejsze niż 0V lub większe niż 50V, a są to wartości napięcia wykraczające poza zakres pomiarowy woltomierza i nie powinny wystąpić na żadnym z wejść pomiarowych.

Aby zmienić wartości napięć okienkowy komparatora, należy naciskając klawisze UP (SW1) lub DOWN (SW3) ustawić odpowiednią wartość napięcia. W pierwszej kolejności ustawiana jest wartość napięcia, powyżej której nastąpi alarm - górna wartość okienka, co sygnalizowane, podkreśleniem wartości napięcia w pierwszej linii wyświetlacza. Po ustawieniu odpowiedniej wartości, naciskamy klawisz OK (SW2), zatwierdzając jego wartość, a następnie podkreślona zostanie wartość napięcia w drugiej linii wyświetlacza, czyli ustawiana będzie wartość napięcia, poniżej którego nastąpi alarm - dolna wartość okienka. Tak jak w pierwszym przypadku, klawiszami UP (SW1) lub DOWN (SW3) ustawiamy odpowiednią wartość i zatwierdzamy klawiszem OK (SW2). Wartości obydwu napięć zostaną zapisane w pamięci mikrokontrolera. Na wyświetlaczu pojawi się napis ZAPISANE i nastąpi powrót do wskazywania wartości mierzonych napięć.

Ustawianie wartości napięć komparatora okienkowego można w dowolnej chwili przerwać naciskając klawisz ESC (SW4). Wówczas żadna z wprowadzonych już wartości nie zostanie zapisana i nastąpi powrót do wskazywania zmierzonych napięć.

Jeśli U1>50.0V
Jeśli U1<00.0V

Rys. 6. Przykładowe nastawy napięć referencyjnych komparatora

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

R1...R4: 100kΩ/1%
R5: 1kΩ
R6: 4,7kΩ
R7: 22Ω
R8...R11: 10kΩ/1%
PR1: potencjometr montażowy 10kΩ

Kondensatory

C1...C5: 100nF
C6: 33pF
C7: 220μF/16V
C8, C9: 100nF
C10: 100μF/16V

Półprzewodniki

D1: 1N5817
D2: LM385-5V
US1: PIC16F872 zaprogramowany
US2: DS1813, DS1811
US3: LM78L05

Różne

CON1...CON5: ARK2(3,5mm)
SW1...SW4: mikroprzełącznik h=10mm
Wyświetlacz LCD 16*2 bez podświetlenia
BUZZER 5V - HCM1203X

Wartości napięć dla komparatora zapisywane są w wewnętrznej pamięci RAM, dlatego są pamiętane tylko do chwili wyłączenia zasilania. Po ponownym zasileniu układu, wartości napięć okienkowych komparatora będą równe 50V i 0V, czyli komparator będzie wyłączony.

Na rys. 7 przedstawiono sygnalizację alarmu komparatora w zależności od ustawionych wartości napięć. Jak widać, sygnalizacja dźwiękowa może zostać uruchomiona dla dowolnego zakresu napięć, jak również dla jednej konkretnej wartości. Aby sprawdzić wcześniej ustawione wartości komparatora, należy nacisnąć klawisz odpowiadający danemu kanałowi. Na wyświetlaczu zostaną wyświetlone zaprogramowane (ustalone) wartości napięć, tak jak w przypadku wpisywania wartości napięć okienkowych. Następnie należy nacisnąć klawisz ESC(SW4) i powrócić do wyświetlania wszystkich napięć, bez wprowadzania zmian w „podglądanym” napięciu komparatora.

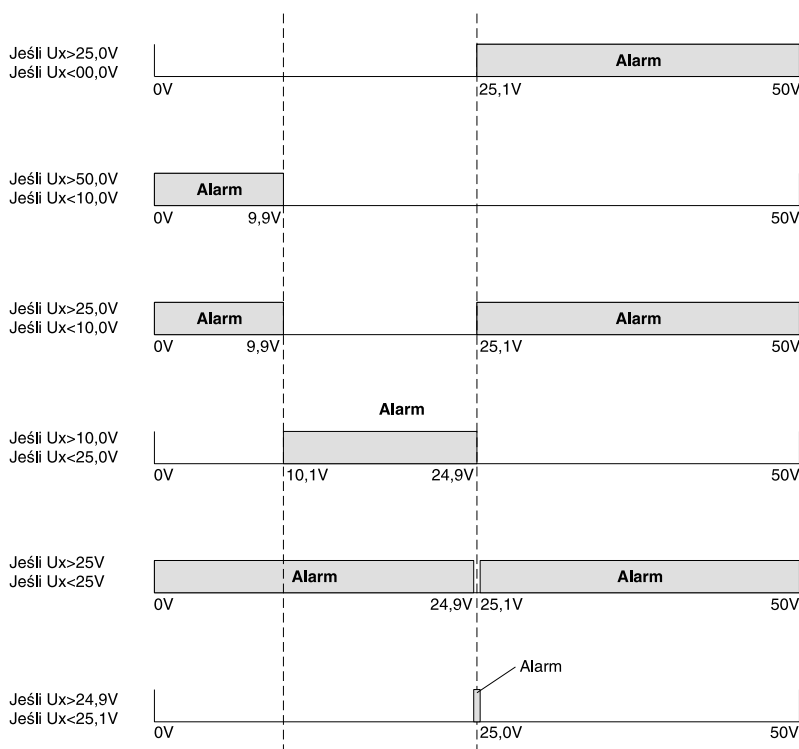
W zależności od tego, które napięcie nie spełni kryterium komparatora zostanie uruchomio-

ny sygnał dźwiękowy. Będą to krótkie „piknięcia“. Ich liczba będzie równa numerowi kanału, w którym napięcie zostało przekroczone. Jeżeli zostanie przekroczona zadana wartość napięcia w więcej niż jednym kanale, „piknięcia“ będą pojawiały się cyklicznie, z przerwą około dwóch sekund.

Przykładowo, jeśli zostanie przekroczone napięcie dla komparatora w pierwszym i trzecim kanale, to sygnalizacja będzie następująca: pik-przerwa 2 s, pik, pik, pik-przerwa 2 s, pik-przerwa 2 s, pik, pik, pik... Jak widać, nawet w przypadku przekroczenia wartości napięć w kilku kanałach, łatwo można je zidentyfikować.

Krzysztof Pławiuk, AVT
krzysztof.plawiuk@ep.com.pl

Wzory płytek drukowanych w formacie PDF są dostępne w Internecie pod adresem: <http://www.ep.com.pl/?pdf/listopad02.htm> oraz na płycie CD-EP11/2002B w katalogu PCB.



Rys. 7. Reakcja komparatora na zmierzone napięcie w zależności od jego nastaw