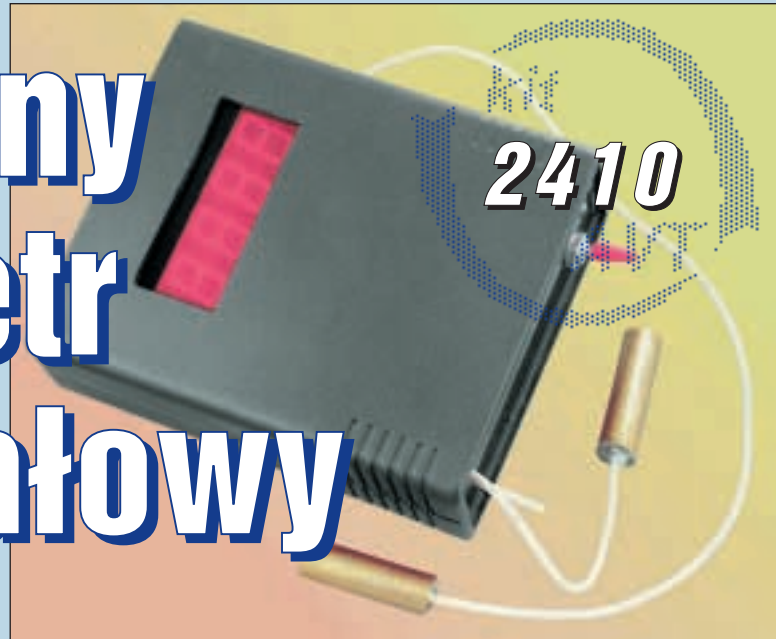




# Precyzyjny termometr dwukanałowy



Każdy współczesny elektronik-praktyk w swej karierze wykonuje co najmniej jeden termometr elektroniczny. Dla wielu posiadanie w mieszkaniu własnej roboty termometru cyfrowego to wręcz punkt honoru.

Opisany w artykule precyzyjny termometr dwukanałowy, o rozdzielczości  $0,1^{\circ}\text{C}$  zaprojektowano z myślą o tych wszystkich, którzy chcą wykonać elegancki termometr domowy, pokazujący temperaturę w mieszkaniu i na zewnątrz. W prostej wersji termometr ma jeden wyświetlacz, a przełącznik pozwala wybrać czujnik, którego temperatura pokazywana jest na wyświetlaczu. Niewielkie wymiary, prostota i niewygórowana cena spowodują, że niektórzy będą chcieli zastosować w jednej obudowie dwa takie układy, by jednocześnie, na dwóch wyświetlaczach obserwować temperaturę w mieszkaniu i na zewnątrz. Układ może być wykorzystany nie tylko jako termometr domowy, ponieważ zakres mierzonych temperatur to  $-40^{\circ}\text{C}...+100^{\circ}\text{C}$  (okresowo do  $+125^{\circ}\text{C}$ ).

W układzie celowo zastosowano wyświetlacze LED, które zdaniem wielu osób są znacznie atrakcyjniejsze od szarych wyświetlaczy LCD. Ze względu na znaczny pobór prądu przez wyświetlacze LED układ jest zasilany z typowego zasilacza o napięciu 5V i prądzie 150...200mA.

Bardzo ważną zaletą układu jest wyjątkowo prosta procedura kalibracji. W wersji podstawowej polega ona na ustawieniu dwóch napięć za pomocą jakiegokolwiek miernika cyfrowego. Można też w prosty sposób skalibrować przyrząd na podstawie wskazań jakiegokolwiek godnego zaufania termometru (np. laboratoryjnego). A kto chce uzyskać jeszcze większą dokładność, może przeprowadzić dodatkową nieskomplikowaną kalibrację z wykorzystaniem topniejącego lodu (śniegu).

Dla ścisłości należy wspomnieć, że choć **rozdzielczość** wskazań termometrów cyfro-

wych wynosi  $0,1^{\circ}\text{C}$ , prawie nigdy nie udaje się uzyskać **dokładności**  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$  w całym zakresie spodziewanych temperatur otoczenia. Składa się na to wiele czynników. Za znakomitą należy uznać dokładność  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ . Za bardzo dobrą  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Opisany przyrząd, dzięki zastosowaniu zewnętrznego źródła napięcia odniesienia oraz precyzyjnych rezystorów, umożliwi uzyskanie takiej dokładności w zakresie mierzonych temperatur  $-30...+30^{\circ}\text{C}$ . W całym zakresie mierzonych temperatur  $-40...+100^{\circ}\text{C}$  dokładność nie powinna być gorsza niż  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

## Opis układu

Schemat ideowy urządzenia pokazany jest na **rysunku 1**. Popularny układ scalony ICL7107 (U1) zasilany jest nietypowo - pojedynczym napięciem +5V. Układ może pracować w takich warunkach (nóżki 21, 26 zwarte do masy), jednak musi być zastosowane zewnętrzne źródło napięcia odniesienia i spełnione muszą być podane przez producenta warunki na zakres wspólnych napięć wejściowych.

Zewnętrzne źródło napięcia odniesienia w precyzyjnym termometrze i tak jest potrzebne ze względu na zmiany temperaturowe wewnętrznego wzorca w zależności od poboru prądu przez układ U1 (w praktyce od ilości zaświeconych segmentów).

W układzie zastosowano czujniki temperatury w postaci układów scalonych LM335, oznaczone na schemacie U4, U5. Układ LM335 jest czujnikiem działającym bardzo podobnie, jak znany Czytelnikom EdW LM35 - napięcie na nim jest proporcjonalne do temperatury, a czułość też wynosi 10mV na stopień. Napięcie proporcjonalne jest do temperatury bezwzględnej (wyrażonej w kelwinach), czyli w temperaturze  $0^{\circ}\text{C}$  napięcie wynosi 2,73V, a przy  $+100^{\circ}\text{C}$  napięcie wynosi 3,73V. Układ LM335 ma dodatkową końcówkę korekcyjną,

która za pomocą potencjometru 10k $\Omega$  pozwala precyzyjnie skalibrować czujnik.

W układzie celowo nie zastosowano znacznie droższych kostek LM35, które tylko teoretycznie nie wymagają kalibracji. W rzeczywistości błąd najtańszej wersji LM35D może wynosić  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ , czyli w skrajnym przypadku dwa czujniki umieszczone w tej samej temperaturze mogą dawać wskazania różniące się aż o  $4^{\circ}\text{C}$ . Obecnie praktycznie nie ma na rynku czujników temperatury, które bez kalibracji dawałyby precyzyjne wskazania temperatury z dokładnością przynajmniej  $0,5^{\circ}\text{C}$ .

Starsze rozwiązania termometrów elektronicznych z diodą w roli czujnika wymagały regulacji dwupunktowej, zazwyczaj przeprowadzanej w temperaturach  $0^{\circ}\text{C}$  i  $+100^{\circ}\text{C}$ . Wykorzystanie scalonych czujników LM335 do precyzyjnych pomiarów też wymaga kalibracji, jednak całkowicie wystarczy kalibracja jednopunktowa. Najłatwiej przeprowadzić ją w temperaturze  $0^{\circ}\text{C}$ , używając mieszaniny wody z lodem. Temperatura mieszaniny na pewno ma temperaturę  $0^{\circ}\text{C}$  z dokładnością lepszą niż  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ . Kalibracja we wrzącej wodzie dla temperatury  $+100^{\circ}\text{C}$  jest zdecydowanie mniej precyzyjna, ponieważ, jak wiadomo, temperatura wrzenia wody znacząco zależy od ciśnienia (atmosferycznego).

W układzie termometru przewidziano dwa potencjometry PR1, PR2 typu helitrim, które mogą służyć do wyrównania parametrów obu czujników. Gdyby się okazało, że zastosowane układy LM335 dają wskazania różniące się mniej niż o  $0,5^{\circ}\text{C}$ , nie trzeba stosować tych potencjometrów.

Napięcie jednego z czujników U4, U5 jest podawane przez przełącznik S1 na wejście INHI układu ICL7107. Wejście INLO oraz REFHI połączone są do napięcia odniesienia, wytwarzanego przez źródło napięcia wzorcowego LM385 1,2V (U3) oraz wzmacniacz



dy mogą występować okresowo, na przykład tylko przy wyjątkowo dużej wilgotności, a wtedy użytkownik nie będzie wiedział, że wskazania są błędne. Dlatego czujnikom trzeba poświęcić szczególną uwagę.

Po zmontowaniu elementów biernych, podstawek i drobnych elementów aktywnych, należy starannie skontrolować poprawność montażu, a na koniec włożyć w podstawki wyświetlacze oraz układ U2. **Nie wkładać układu U1 (ICL7107)!**

## Kalibracja

Po zasileniu modułu napięciem 5V należy dokonać kalibracji (bez układu U1). Używając jakiegokolwiek woltomierza cy-

precyzyja, wystarczy ustawienie napięć 2,73V oraz 1,000V, jak podano wyżej. W modelu, bez potencjometrów PR1, PR2, różnica wskazań obu czujników w tej samej temperaturze 20°C wynosiła tylko 0,2°C. Zrezygnowano więc z potencjometrów PR1, PR2.

**Kalibracja precyzyjna.** Dla uzyskania wysokiej precyzji wskazań zaleca się przeprowadzenie kalibracji w znanej temperaturze. Dalej opisano cztery sposoby przeprowadzenia takiej regulacji. Najprościej wykonać ją w temperaturze 0°C, przy wykorzystaniu mieszaniny wody z lodem (lub topniejącego śniegu). Oba czujniki należy włożyć do długiej foliowej torebki i włożyć do naczynia z topniejącym lodem. Po kilku minutach wskazania na wyświetlaczu powinny się ustalić.

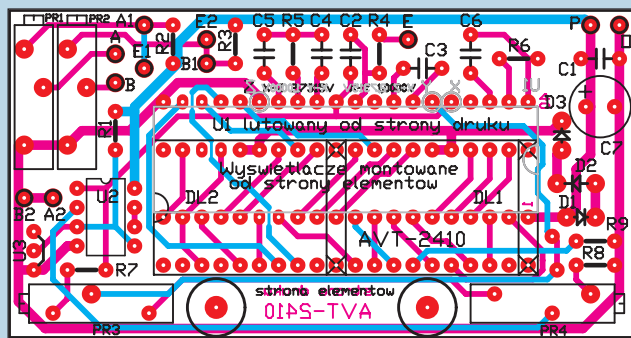
**1. POSIADACZE PRECYZYJNYCH MULTIMETRÓW 4,5-CYFROWYCH** wltują wcześniej PR1, PR2 i ustawią w punktach A1, B1 napięcia równe 2,7315V, odpowiadające temperaturze zera Celsjusza. Następnie ustawią z pomocą PR4 wskazanie wyświetlacza równe 00,0, a na koniec napięcie między punktami X, Y równe 1,0000V. Taka procedura zapewni wysoką dokładność kalibracji, a błąd w całym zakresie spodziewanych temperatur otoczenia powinien być mniejszy niż 0,3°C. (Dla ścisłości należałoby dodać, że jeśli woltomierz ma rezystancję wewnętrzną równą 10MΩ, a rezystancja między wspomnianymi punktami wynosi 2kΩ (R7 + część PR3), to po odłączeniu woltomierza napięcie nieco wzrośnie. Dlatego w zasadzie należałoby ustawiać napięcie na woltomierzu równe 0,9998V. Nie ma to jednak sensu, bo nawet woltomierze 4,5-cyfrowe mają dokładność nie lepszą niż 0,05%.)

**2. KTO NIE MA WOLTOMIERZA 4,5-CYFROWEGO, A TYLKO ZWYKŁY 3,5-CYFROWY,** również może precyzyjnie wyregulować układ wykorzystując PR1, PR2. Ponieważ dokładność popularnego, taniego multimetru zazwyczaj wynosi 0,5%, nie ma sensu próba precyzyjnego ustawiania napięcia 2,7315V w punktach A1, B1. Po włożeniu zabezpieczonych czujników do topniejącego lodu i ustaleniu wskazań, należy za pomocą PR4 z grubsza doprowadzić do wskazania zera na wyświetlaczu. Zapewne wystąpi różnica wskazań obu czujników. Dopiero wtedy należy wltować potencjometr PR1 i za jego pomocą zredukować różnicę wskazań do połowy. Następnie włączyc z pomocą S1 czujnik U4, który współpracuje z PR1, i za pomocą PR4 ustawić na wyświetlaczu wskazanie 00,0. Potem należy wltować potencjometr PR2 i po przełączeniu S1 ustawić wskazanie drugiego czujnika także równe 00,0.

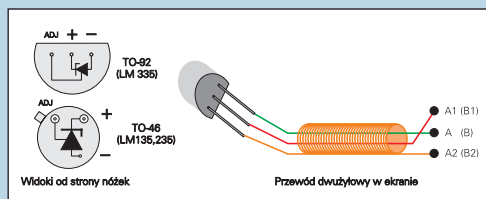
Na koniec za pomocą PR3 ustawić napięcie między punktami X, Y równe 1,000V. Również w tym wypadku dokładność w zakresie temperatur występujących w naszej strefie klimatycznej będzie znakomita, nie gorsza niż 0,5°C.

**3. KALIBRACJA NA PODSTAWIE TERMOMETRU WZORCOWEGO.** Zamiast wzorca w postaci topniejącego lodu można wykorzystać jakikolwiek dobry termometr. W takim wypadku należy się jednak liczyć z faktem, że ten termometr również obciążony jest jakimś błędem wskazań. Wcześniej trzeba ustawić za pomocą PR3 napięcie 1,000V między punktami X, Y. Procedura kalibracji wygląda następująco. Oba czujniki i termometr wzorcowy należy umieścić razem, by miały jednakową temperaturę. Jeśli na przykład termometr wzorcowy wskaże 21,2°C, należy za pomocą PR4 należy ustawić wskazanie na wyświetlaczu równe 21,2. Wskazania na wyświetlaczu z obu czujników powinny być jednakowe. Jeśli występuje istotna różnica, należy ją usunąć wltowując jeden z potencjometrów PR1, PR2. Także w tym wypadku uzyskana dokładność będzie dobra, ale nie lepsza niż termometru wzorcowego.

**4. POSIADACZE PRECYZYJNEGO MULTIMETRÓW 4,5-CYFROWYCH I DOKŁADNEGO TERMO-**



Rys. 2



Rys. 3 Sposób podłączenia dwużyłowego przewodu w ekranie

frowego trzeba ustawić za pomocą PR4 między masą a punktem X napięcie równe 2,7315V, a następnie za pomocą PR3 między punktami X, Y (nóżki 35, 36 U1) napięcie równe 1,000V. Dla ułatwienia na płytce drukowanej dodano punkty X, Y oraz odpowiednie napisy. Napięcia te można z łatwością ustawić, dotykając końcówkami pomiarowymi do odpowiednich kontaktów (pustej w tym czasie) podstawki pod U1.

Po ustawieniu napięć należy wyłączyć zasilanie i włożyć do podstawki układ U1. Taką kolejność jeszcze bardziej zabezpieczy przed uszkodzeniem delikatny układ scalony ICL7107. W zasadzie ustawienie napięć można również przeprowadzić przy włożonym układzie U1. Jednak podczas kalibracji modelu z niewiadomych przyczyn uległ uszkodzeniu właśnie układ U1 - stąd powyższe zalecenia. Po włożeniu U1 na wyświetlaczu pokazana będzie aktualna temperatura.

**Kalibracja uproszczona.** W wersji podstawowej potencjometry PR1, PR2 nie będą montowane. Jeśli nie jest wymagana wysoka

## Wykaz elementów

### Kondensatory

C1	.....	100nF ceramiczny
C2,C3	.....	100nF
C4	.....	47nF
C5	.....	220nF
C6	.....	120pF
C7	.....	220µF/25V

### Rezystory

R1	.....	4,7kΩ
R2,R3	.....	2,2kΩ
R4	.....	1MΩ
R5	.....	470kΩ
R6	.....	100kΩ
R7	.....	1,47kΩ 1% (1,33k...1,54k 1%)
R8	.....	1,96kΩ 1% (1,87k...2,05k 1%)
R9	.....	470Ω (330...1kΩ)

PR1,PR2	.....	10kΩ helitrim
PR3,PR4	.....	1kΩ helitrim

### Półprzewodniki

D1-D3	.....	1N4001
DL1,DL2	.....	wyświetlacz podwójny
U1	.....	ICL7107
U2	.....	LM358
U3	.....	LM385
U4,U5	.....	LM335

### Pozostałe

S1	.....	przełącznik dwupozycyjny jednoobwodowy
		Obudowa KM42
		podstawka 40pin pod wyświetlacz
		podstawki pod układy scalone
		przewód dwużyłowy ekranowany długość 2m

**Uwaga!** Zasilacz 5V 200mA nie wchodzi w skład zestawu AVT-2410 i należy go zamówić oddzielnie.

**Komplet podzespołów z płytka jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2410**



METRU mogą skalibrować układ dokładniej. Wlutują PR1 i PR2. Odczytują z termometru wzorcowego temperaturę  $T_c$  i wyrażą ją w kelwinach (dodając do temperatury w stopniach Celsjusza 273,15). Jeśli na przykład termometr wzorcowy wskaże 21,2°C, temperatura bezwzględna wynosi

$$21,2 + 273,15 = 294,35K$$

Ponieważ współczynnik przetwarzania wynosi 10mV/K, za pomocą potencjometrów PR1, PR2 w punktach A1, B1 ustawią napięcia jak najbardziej zbliżone do wartości 2,9435V. Następnie za pomocą PR4 uzyskają wskazanie na wyświetlaczu 21,2. Następnie za pomocą PR3 ustawią napięcie równe 1,0000V między punktami X, Y. Jeśli po takiej regulacji wskazanie wyświetlacza się zmieni, skorygują nieco położenie PR4, by powrócić do wskazania 21,2.

Po dokonaniu kalibracji dobrze byłoby zabezpieczyć płytkę dobrym lakierem izolacyjnym. Choć nie jest to konieczne, taki zabieg znacznie zwiększy odporność na wilgoć. Może to mieć znaczenie, gdy termometr zainstalowany będzie w kuchni, gdzie podczas gotowania posiłków wilgotność bardzo wzrasta.

## LM335

Użyty czujnik LM335 jest układem scalonym zawierającym 15 tranzystorów. Zachowuje się jak dioda Zenera o napięciu wprost proporcjonalnym do temperatury bezwzględnej, wyrażonej w kelwinach. Ze względu na bardzo małą oporność dynamiczną ( $<1\Omega$ ), czujnik może pracować w szerokim zakresie prądów. Producent zaleca pracę przy prądzie polaryzującym o wartości 0,4...5mA. Przy takich zmianach prądu wskazania będą się zmieniać typowo tylko o 0,3°C. Stabilność długoczasowa jest dobra - po 1000h pracy w maksymalnej temperaturze, zmiana wskazań wynosi typowo tylko 0,2°C.

Produkowane są różne wersje czujnika. Układ LM335 umieszczony w plastikowej obudowie TO-92 jest najtańszy, ale ma najgorsze parametry. Może pracować w temperaturach -40...+100°C (chwilowo do +125°C), a błąd początkowy w temperaturze pokojowej bez kalibracji może sięgnąć 2°C, w skrajnych przypadkach nawet 6°C.

Lepsze wersje LM235 i LM135 w obudowach metalowych TO-46 mogą pracować

w szerszym zakresie temperatur, odpowiednio -40...+125°C (+150°C), -55...+150°C (+200°C). Mają też mniejszy błąd początkowy bez kalibracji, typowo 1°C i 0,5°C w temperaturze pokojowej oraz lepszą gwarantowaną liniowość. Kilka przykładów zastosowania układów rodziny LM135...335 można zobaczyć na **rysunku 4**.

Szczegółowe dane można znaleźć w karcie katalogowej w katalogach i na interneto-

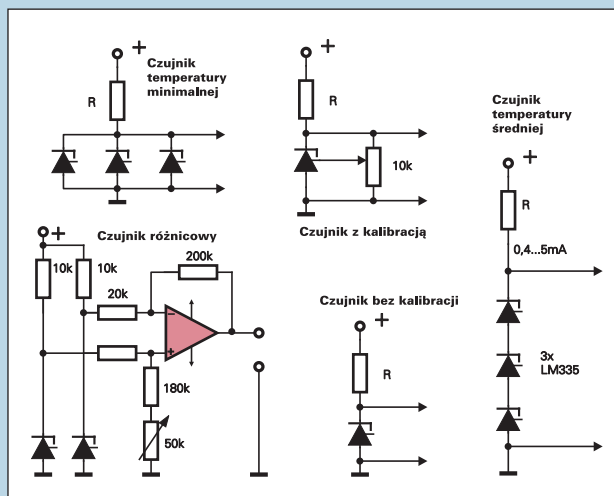
turach. Ustawienie takiego napięcia nie tylko kalibruje wskazanie dla 0°C, ale (**uwaga!**) jednocześnie powoduje, że współczynnik przetwarzania niejako automatycznie przyjmuje wartość dokładnie 10,00mV/K = 10,00mV/°C.

Taka kalibracja wcale nie musi być przeprowadzona w temperaturze 0°C, tylko w jakiegokolwiek innej, dokładnie określonej. Zawsze za pomocą potencjometru należy tak wyregulować

napięcie na czujniku, by było równe tej temperaturze w kelwinach pomnożonej przez 10mV. Taka pojedyncza regulacja zawsze w pełni kalibruje czujnik, by precyzyjnie wskazywał on temperaturę w kelwinach (oczywiście przy założeniu, że zmiany napięcia w funkcji temperatury są liniowe).

Aby zapewnić odczyt temperatury w stopniach Celsjusza, trzeba wprowadzić stabilne napięcie przesunięcia, tak zwany offset, o 2,7315V. Dodatkowo we współpracującym mierniku trzeba usta-

wić napięcie odniesienia równe 1,0000V, ale to żaden problem.



Rys. 4

wych stronach m.in. National Semiconductor oraz ST-Microelectronic

<http://eu.st.com/stonline/books/pdf/docs/2158.pdf>

<http://www.national.com/ds/LM/LM135.pdf>

Karta katalogowa układów LM135...335 dostępna jest również na stronie internetowej EdW [www.avt.com.pl](http://www.avt.com.pl)

Dalszych informacji, w tym not aplikacyjnych można szukać pod adresami

<http://eu.st.com/stonline>

<http://www.national.com/pdf/LM/LM335.html>

## Dla dociekliwych

Bardziej dociekliwi Czytelnicy mogą się zastanawiać, czy podana procedura kalibracji da zadowalające rezultaty. Wiedzą oni zapewne, że układy pomiaru temperatury, zwłaszcza z czujnikami diodowymi, wymagają kalibracji dwupunktowej. Najpierw w temperaturze 0°C ustawia się wskazanie równe zeru, a potem reguluje się współczynnik przetwarzania, by na przykład w temperaturze +100°C wskazanie wynosiło 100,0. W omawianym układzie kalibracja w dwóch różnych temperaturach absolutnie nie jest konieczna, a nawet nie ma większego sensu, a to dzięki użyciu kostki LM335.

Układ scalony LM335 jest w założeniu miernikiem temperatury bezwzględnej, wyrażonej w kelwinach. Jeśli, za pomocą współpracującego potencjometru, czujnik zostanie tak wyregulowany, by na przykład w temperaturze 0°C miał napięcie 2,7315V, to wskazania będą prawidłowe przy wszystkich innych tempera-

## Możliwości zmian

Jak wspomniano, można zastosować dwa jednakowe wskaźniki, by jednocześnie pokazywały temperatury wewnątrz i na zewnątrz. W drugim układzie nie trzeba stosować oddzielnego źródła napięcia wzorcowego U3 oraz wzmacniacza operacyjnego U2, a także elementów R1, R7, R8, PR3, PR4. Oznacza to, że drugi moduł nie wymaga kalibracji. Aby do drugiego układu doprowadzić odpowiednie napięcia, wystarczy zewrzeć punkty X-X oraz Y-Y obu płytek, oraz oczywiście obwody masy.

Nie ma potrzeby przeprowadzania innych modyfikacji w zaproponowanym układzie. Jedyne, jeśli ktoś chce, może zamiast zwykłego przełącznika S1 zastosować przełącznik lepszej jakości, przekaźnik albo we własnym zakresie dobudować układ z kluczami elektronicznymi (np. 4066, 4052, 4053). Oczywiście zamiast dwóch czujników temperatury można ich zastosować więcej. Trzeba jednak pamiętać, że na płytce są tylko dwa potencjometry kalibracyjne, PR1, PR2.

Kto chciałby wykorzystywać termometr w warunkach przemysłowych, powinien zadbać o staranne zabezpieczenie płytki przed wilgocią dobrym lakierem izolacyjnym.

Piotr Górecki  
Zbigniew Orłowski

