

# Uniwersalny termometr-regulator

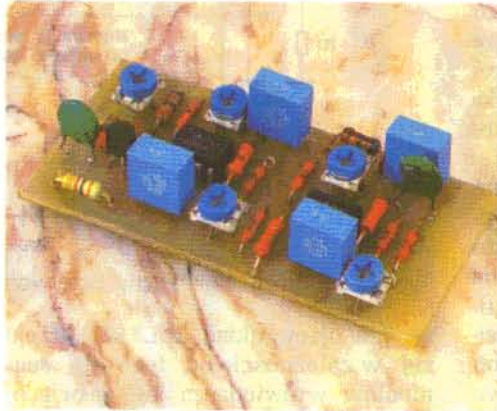
## kit AVT-104

Jednym z częściej używanych w domu przyrządów pomiarowych jest termometr. Przedstawiamy uniwersalny układ, który może być użyty do różnych zastosowań wg potrzeb wykonawcy.

Można wykonać elegancki termometr domowy z dwoma czujnikami umieszczonymi w domu i na dworze.

Przy dalszej rozbudowie układ można uzupełnić regulatorem zapewniającym stabilizację temperatury z dużą dokładnością, można jeszcze dodać cyfrowy nastawnik temperatury stabilizacji.

W niniejszym pierwszym artykule cyklu przedstawimy informacje wprowadzające oraz zaproponujemy wykonanie „serca” systemu - układu przetwornika temperatura-napięcie. System ma budowę modułową; opisy następnych „klocków” zamieszczamy w kolejnych numerach EP.



Do pomiaru temperatury używa się różnych czujników. Typowymi są:

1. czujka platynowa, gdzie rezystancja jest zależna od temperatury; zakres:  $-200^{\circ}\text{C}..+600^{\circ}\text{C}$ . Zalety: duży zakres mierzonych temperatur, powtarzalność charakterystyki przy wymianie egzemplarza. Wady: wysoka cena (platyna) oraz pewna nieliniowość charakterystyki.

2. termopary - połączone ze sobą dwa różne metale lub stopy, które wytwarzają napięcie proporcjonalne do różnicy temperatur obu końców termopary. Zalety: powtarzalność parametrów różnych egzemplarzy, szeroki zakres temperatur (niektóre typy pracują do  $1300^{\circ}\text{C}$ ), niezbyt wysoka cena. Wady: konieczność kompensowania temperatury tzw. zimnego końca termopary.

3. czujniki krzemowe, gdzie rezystancja odpowiednio domieszkowanego krzemu zmienia się z temperaturą (np. Philipsa seria KTY8xxx); zakres do  $+150^{\circ}\text{C}$ . Zalety: duża szybkość reakcji, niska cena. Wady: nieliniowa charakterystyka.

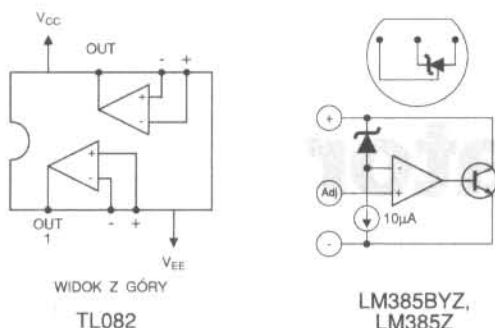
4. czujniki scalone (układ scalony specjalnie opracowany do tego celu), gdzie napięcie lub prąd są proporcjonalne do temperatury bezwzględnej, np. LM135 firmy Thom-

son. Zakres:  $-55^{\circ}\text{C}..150^{\circ}\text{C}$ . Zalety: prosta aplikacja, liniowość, duża czułość, szybka reakcja na zmiany temperatury. Wady: w naszych warunkach wysoka cena, dla niektórych typów rozrzut parametrów egzemplarzy.

5. złącze p-n (zwykła dioda lub tranzystor). Zakres  $-30^{\circ}\text{C}..+120^{\circ}\text{C}$ . Zalety: niska cena, liniowość, szybka reakcja na zmiany temperatury. Wady: rozrzut parametrów egzemplarzy.

Do przedstawionego rozwiązania zastosowano wersję najprostszą i najtańszą: zwykle diody krzemowe, tzw. „szklaczki”, np. typu BAV17..21, BAY95 itp. Można również zastosować dowolny tranzystor ze zwartymi bazą i kolektorem.

Jak wiadomo, napięcie złącza p-n w kierunku przewodzenia maleje liniowo wraz ze wzrostem temperatury. Nie wchodząc w ścisłe wzory i teoretyczne rozważania stwierdzić można, że napięcie na złączu przy stałym prądzie przewodzenia zmienia się o około  $-2,2\text{mV/K}$ . Niestety dla poszczególnych egzemplarzy parametry wykazują znaczny rozrzut co uniemożliwia zastosowanie jednego układu przetwornika i przełączenie kilku czujników na jego wejściu. Dla każdego czujnika trzeba zastosować oddzielny układ indywidualnie wyskalowany.



Na szczęście jest to układ bardzo prosty. Prezentowana płytka zawiera dwa tora pomiarowe; nic nie stoi na przeszkodzie aby wykonać kilka takich płytek i mierzyć temperaturę nawet w kilkunastu punktach.

W wersji podstawowej można np. jednym czujnikiem mierzyć temperaturę w mieszkaniu, a drugim temperaturę na zewnątrz, najlepiej na północnej stronie domu (w cieniu).

Przyjrzyjmy się teraz układowi przetwornika (rys. 1). Zasilany jest on dwoma napięciami +U i -U typowo są one równe  $\pm 5V$  ale mogą być inne w zależności od rodzaju zasilacza. Sam termometr może być zasilany napięciem 9V; gdy jest regulatorem wymaga 12V z uwagi na przełącznik wykonawczy. Tak więc napięcie 9V trzeba podzielić aby uzyskać środkowy punkt-masę.

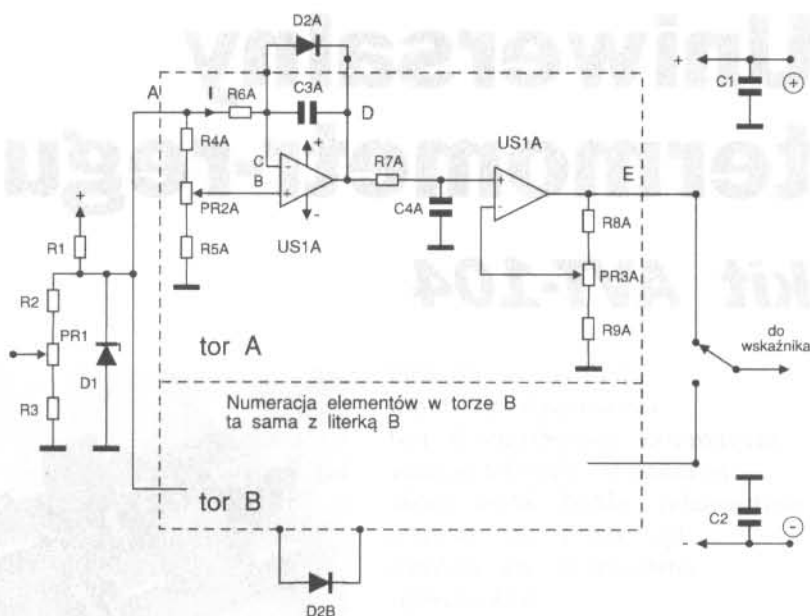
Aby uzyskać niewrażliwość na zmiany temperatury samego układu przetwornika zastosowano wysokostabilny układ źródła odniesienia D1 typu LM385 1.2V lub LT1004 o napięciu 1,23V, o współczynniku temperaturowym 60ppm/K (1ppm = 1 część na milion =  $1/10^6 = 0,0001\%$ ).

Można zastosować inne źródło napięcia odniesienia o napięciu 2,5V, zmieniając wartości rezystorów R1, R2 i R3. Nie można stosować zwykłej diody Zenera bo musiałaby być ona na napięciu 3,3V, a takie diody mają duży współczynnik temperaturowy.

Tak więc w punkcie A mamy napięcie odniesienia, które jest podzielone w dzielniku R2, R3, PR1 aby otrzymać dokładnie 1V jako napięcie skali dla współpracującego wskaźnika cyfrowego na układzie ICL7107, specjalnie opracowanego do tego celu.

Przy zastosowaniu innego typu wskaźnika, np. kit AVT-02 elementów R2, R3, PR1 można nie montować.

Rozwiązanie takie wynika z faktu,



Rys. 1. Schemat elektryczny przetwornika

że pracujący układ ICL7107 grzeje się w zależności od tego ile segmentów wyświetlacza jest zaświeconych. Zmienna temperatura powoduje zmiany wewnętrznego napięcia odniesienia układu ICL co wywołuje pewien błąd wskazań. Poza tym współczynnik temperaturowy napięcia odniesienia układów ICL7106 lub ICL7107 jest gorszy od użytego układu scalonego LM385. Szczerze mówiąc, błąd taki nie jest znaczący - i tak zwykle błędy skalowania są większe, ale o tym w dalszej części artykułu.

Rozpatrzmy działanie zasadniczego przetwornika z układem US1A. Układ ten jest bardzo popularnym i wygodnym podwójnym wzmacniaczem operacyjnym TL082.

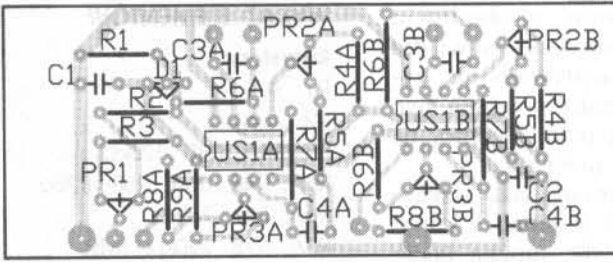
Analizując pracę układu zauważmy, że potencjometrem PR2 ustawiamy jakieś napięcie na wejściu nieodwracającym US1A (punkt B). Z zasady pracy wzmacniacza operacyjnego wiemy, że napięcie na wyjściu ustawi się tak, aby napięcie na obydwu wejściach US1A było równe (bo doysterowania wyjścia np. o 1V przy dużym wzmacnieniu wzmacniacza operacyjnego, wynoszącym np. 100 000 potrzeba  $10\mu V$  różnicy napięć na wejściach B i C. co jest do pominięcia). Nie uwzględniamy tu napięcia niezrównoważenia, ale ono nie gra tu żadnej roli.

Ponieważ w punkcie A napięcie jest niezmienne, na stałe ustalone jest także napięcie z suwaka PR2 (punkt B), a napięcie w pun-

ktcie C nadąża za napięciem w punkcie B, wynika stąd, że przez rezystor R6 płynie stały prąd o wartości  $I = (U_A - U_B)/R_6$ . Należy zastosować taki R6 aby prąd I był w zakresie 0,1..1mA. Nie jest to parametr krytyczny. Ten sam prąd płynie przez diodę pomiarową D2. Istotne, że prąd ten jest stały. Napięcie na diodzie jest zależne więc tylko od temperatury. Tak więc napięcie w punkcie D będzie rosło ze wzrostem temperatury ze współczynnikiem około 2,2mV/K. Zauważmy, że jeśli dla temperatury diody pomiarowej równej 0°C ustawimy tak napięcie  $U_B$  aby na wyjściu było 0V otrzymamy pierwszy punkt stały do skalowania. Dodać tylko trzeba, że kondensator C3 pełni rolę filtru zakłóceń indukowanych w przewodach (zwykle dosyć długich) prowadzących do czujki pomiarowej. Również elementy R7 i C4 filtrują dodatkowo sygnał usuwając wszelkie zakłócenia zmiennoprądowe. Stałe napięcie z kondensatora C4 jest wzmocnione w typowym układzie wzmacniacza nieodwracającego o wzmacnieniu około 4,5x.

W konkretnym układzie kondensatory C3, C4 i rezystor R7 mogą okazać się zbędne, lepiej jest jednak nie oszczędzać kilkuset złotych i mieć pewność, że w każdych warunkach zakłócenia zostaną odfiltrowane. Wartości bezwzględne rezystorów R2-R5, R8, R9 oraz PR1, PR2, PR3 nie są istotne, ważne tylko aby uzyskać dokładnie 1,000V na suwaku PR1,





Rys. 2. Rozmieszczenie elementów na płytce

mieć margines regulacji PR2 i PR3 aby dla rozrzutu parametrów egzemplarzy diody uzyskać 0V dla temperatury 0°C i 1,000V (regulacja PR3) dla temperatury 100°C. Nie należy jednak w skrajnym przypadku usuwać obydwu rezystorów z obu stron potencjometrów w przekonaniu, że wtedy z pewnością uzyskamy wymagane nastawy - uzyskamy, ale stabilność temperaturowa PR-ków (a szczególnie węglowych) jest o wiele gorsza od rezystorów metalizowanych i pojawi się dodatkowy duży błąd z niestabilności potencjometrów.

Ideąłem byłoby zupełne zrezygnowanie z potencjometrów, a dobranie rezystorów stałych MFR lub MLT. Jest to jednak bardzo uciążliwe i wybieramy rozwiązanie z PR-kami (jeśli możliwe należy stosować potencjometry ceramiczne).

Dobór rezystora R1 polega na zapewnieniu przepływu takiego prądu, aby mieć pewność, że przez układ diody referencyjnej D1 (w rzeczywistości jest to układ scalony) zawsze płynie prąd. Wg katalogu prąd diody D1 może wynosić od 10µA do 1mA zapewniając doskonałą stabilność napięcia.

Wspomnieć tu jeszcze należy o napięciu niezrównoważenia obydwu wzmacniaczy operacyjnych. Ponieważ regulację przeprowadzamy dla konkretnego wzmacniacza i konkretnej diody pomiarowej, istniejące napięcia niezrównoważenia zostaną uwzględnione przy kalibracji. Ewentualny niewielki błąd powstanie tylko ze zmian temperaturowych - dryftu napięcia niezrównoważenia - jest to jednak wpływ niewielki, poza tym układ przetwornika umieszczony jest zazwyczaj w mieszkaniu gdzie temperatura jest w granicach 17..25°C. Błąd ten jest do pominięcia.

### Montaż i uruchomienie

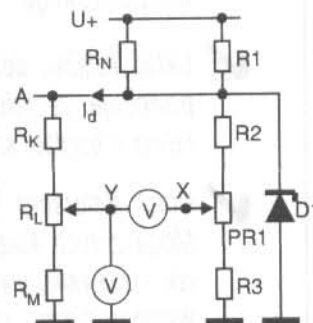
Układ można zmontować na płytce wg rys. 2. Najpierw elementy

biernie, potem półprzewodniki. Dobrze jest dołączyć diodę pomiarową przewodami dwie żyły + ekran i ekran połączyć z masą układu. Kalibracja modułu polega na ustawieniu na suwaku PR1 napięcia dokładnie 1V. Ponieważ oporność wewnętrznego punktu jest duża (prawie 20kΩ) należy użyć woltomierza o rezystancji wejściowej powyżej 100MΩ (np. kit AVT 01 lub 02). Gdy mamy woltomierz cyfrowy o mniejszej rezystancji wewnętrznej (typowo 10MΩ) możemy zmierzyć to napięcie metodą kompensacyjną wg rys. 3.

Najpierw zrobimy dodatkowe źródło napięcia 1,000V o małej rezystancji wewnętrznej. Wykorzystamy napięcie referencyjne z diody D1. Równolegle do tej diody dołączamy dzielnik napięcia podobny do R2, R3, PR1 tylko o innych wartościach, np. RK = 240Ω, RL = 100Ω, RM = 1,2kΩ. Trzeba także dodać rezystor RN o wartości około

$$RN \approx \frac{U_+ - U_A}{1,23V} (RK + RL + RM)$$

który dostarczy prądu równego przepływającemu przez dzielnik RK, RL, RM. Ponieważ rezystancja wewnętrzna widziana z punktu Y jest rzędu 200Ω można to napięcie mierzyć przyrządem o mniejszej rezystancji wejściowej (nawet 1MΩ). Gdy mamy już dokładnie ustawione napięcie 1,000V w p. Y należy



Rys. 3.

miernik włączyć między punkty X, Y i potencjometrem PR1 doprowadzić do zerowej różnicy napięć UY i UX co oznacza, że w p. X także będzie równo 1,000V. Powyższa procedura jest potrzebna tylko wtedy, gdy używamy wskaźnika opracowanego specjalnie do tego przyrządu i chcemy uzyskać współczynnik skali na wyjściu przetwornika (punkt E) równy dokładnie 10mV/K. Takie wysiłki potrzebne są więc wtedy, gdy układ będzie pracował w szerszym systemie zawierającym więcej punktów pomiarowych i chcemy osiągnąć maksymalną dokładność.

W typowym układzie domowego termometru wystarczy, aby to napięcie było tylko zbliżone do 1V (np. 1V±0,2V). Przy kalibracji w temp. 0° i 100°C różnice będą uwzględnione i odczyt będzie prawidłowy.

Oczywiście, dodatkowe elementy RK, RL, RM, RN po ustawieniu należy odłączyć.

Skalowanie należy zacząć od temperatury 0°C. Kalibrację 0°C najwygodniej jest przeprowadzić używając lodu z zamrażalnika - jeśli jest to szron użyjemy go bezpośrednio, gdy kostki lodu - trzeba je zawinąć w kawałek szmaty potłucz młotkiem na miazgę. Gdy masa lodowa zacznie się topić - pojawi się mieszanina wody z lodem - mamy wzorzec temperatury 0°C z dużą dokładnością.

Drugim punktem kalibracji jest 100°C - tu sprawa jest nieco trudniejsza. Każdy wie, że woda wrze w tej temperaturze. Tak, ale przy normalnym ciśnieniu na poziomie morza. Wypadałoby więc wyskoczyć do Gdańska lub Szczecina i czekać tam na 1013hPa. Słyszeliśmy wszyscy, że wysoko w górach jajka trzeba gotować dużo dłużej, bo woda przy niższym ciśnieniu wrze w niższej temperaturze. Różnica jest na tyle istotna, że jeśli chcemy mieć naprawdę dokładny termometr trzeba to uwzględnić. Ale kiedy robimy termometr do domu, aby nam pokazywał rano jak mamy się ubrać do pracy czy szkoły nie warto sobie tym zawracać głowy.

Prezentowana płytka przeznaczona jest zasadniczo do takiej, domowej wersji - zastosowano potencjometry montażowe produkcji zagranicznej sporo lepsze od tych, które spotykamy w starszych radiach i telewizorach. Jeśli chcemy uzyskać jeszcze lepszą dokładność i stabilność moż-

na zastosować 10 i więcej obrotowe Helitrimy. Wymaga to przeróbki płytki lub montażu na przewodach.

Dla tych, którzy chcą uwzględnić przy dokładnym skalowaniu także wpływ ciśnienia na temperaturę wrzenia wody podajemy że przy 1013,25hPa jest dokładnie 100°C, a temperatura wrzenia spada ok. 0,28°C przy spadku ciśnienia o 10hPa.

Aby uwzględnić wysokość nad poziom morza trzeba odejmować 1hPa na 8m wysokości n.p.m.

Ci, którzy są posiadaczami kitów AVT-01 lub AVT-02 nie muszą się martwić o kalibrację, tak samo ci którzy nie mają dokładnie wyskalowanego cyfrowego miernika a tylko kupiony na ulicy od Rosjan amatorski przyrząd wskazówkowy. Opisana procedura kalibracji przy 0° i 100°C w każdym przypadku zapewni dokładność i powtarzalność.

Kilka słów o zastosowanej czujce. Autor z powodzeniem stosował ok. 4cm kawałki miedzianej rurki o  $\varnothing$  zewn. 5mm. Dioda typu BAV17 była wklejona do środka klejem epoksydowym Distal. Jeśli użyje się przewodu w ekranie, żyłę środkową należy dołączyć do punktu C i anody diody, a ekran do katody czyli punktu D, bo ma on mniejszą oporność wewnętrzną.

Uwaga tylko aby nie łączyć nigdzie przewodów pomiarowych z obydwu torów - mają one inne potencjały i termometr „zglupieje“. To samo stanie się jeśli przy kalibracji dwie diody mają połączenie z miedzianą rurką obudowy i zostaną zanurzone razem do wody. Dlatego dobrze jest dołożyć starań aby zizolować diodę przy wklejaniu do rurki.

Jako czujnika można też użyć tranzystora, najlepiej z metalową obudową ale też od strony nóżek i przewodu trzeba go zalać klejem epoksydowym (uwaga niektóre lakiery i farby trochę przewodzą) bo nie będzie można go zanurzyć w wodzie do kalibracji - nastąpi zwarcie przez wodę.

Połączenie przetwornika ze wskaźnikiem można wykonać przy użyciu jednoobwodowego przełącznika - najlepiej o działaniu chwilowym - wtedy termometr ciągle wskazuje temperaturę np. na zewnątrz, a po przyśnięciu - w mieszkaniu.

Jeszcze jedna uwaga praktyczna - okazało się, że czujki do pomiaru

temperatury w mieszkaniu nie powinno się mocować w obudowie termometru - wydzielane wewnątrz obudowy ciepło wpływało na wynik pomiaru - czujka powinna być raczej umieszczona poza obudową na krótkim odcinku przewodu.

Jak już wspomniano jako wskaźnika można użyć jednego z kitów AVT-01 lub AVT-02, można także zastosować specjalny wyświetlacz opracowany specjalnie do tego celu, który będzie zaprezentowany w następnym artykule na ten temat - umożliwi on zastosowanie dużych wyświetlaczy LED o wysokości 25mm lub nawet więcej.

Oczywiście, można do wyjścia przetwornika dołączyć zwykły miernik wskazówkowy - kłopot tylko z przełączeniem dla ujemnych temperatur.

W następnych artykułach przedstawimy także zalecane obudowy i sposoby zasilania.

**Piotr Górecki, AVT**

## WYKAZ ELEMENTÓW

### Rezystory

R1: 3k $\Omega$   
 R2: 24k $\Omega$   
 R3, R8A, R8B: 120k $\Omega$   
 R4A, R4B, R5A, R5B: 82k $\Omega$   
 R6A, R6B: 1,5k $\Omega$   
 R7A, R7B: 220k $\Omega$ -1M $\Omega$   
 R9A, R9B: 30k $\Omega$   
 PR1, PR2A, PR2B, PR3A, PR3B: 10k $\Omega$  cermetowe miniaturowe

### Kondensatory

C1, C2: 100nF bezindukcyjny (ceramiczny)  
 C3A, C3B, C4A, C4B: 0,47 $\mu$ F-1 $\mu$ F

### Półprzewodniki

US1A, US1B: TL082  
 D1: układ scalony LM385 lub LT1004 1,2V  
 D2A, D2B: dowolna dioda krzemowa lub tranzystor w połączeniu diodowym