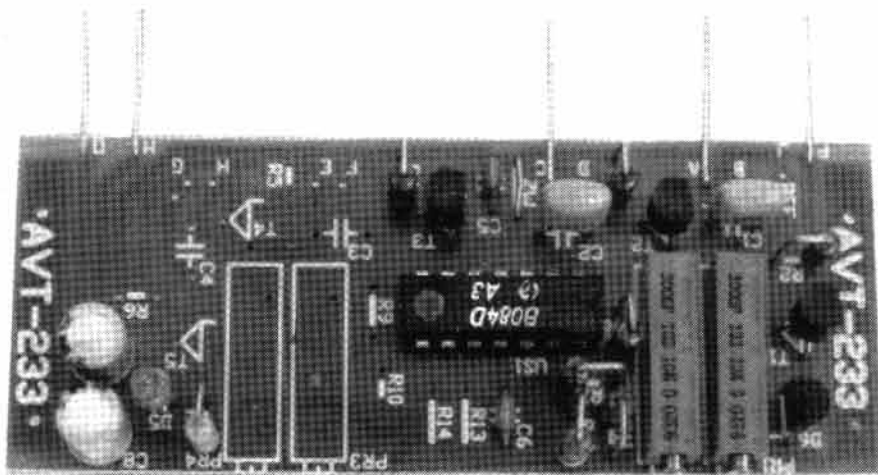


# Przetwornik temperatura - napięcie z układami LM335

## kit AVT-233

W artykule przedstawiono prosty układ przetwornika temperatura/napięcie. Podstawową zaletą układu jest łatwa jednopunktowa kalibracja - wystarczy po prostu w dowolnej znanej temperaturze ustawić wskazanie wyświetlacza odpowiadające liczbie stopni Celsjusza.

Kolejna ważna zaleta ujawni się w razie konieczności wymiany czujnika - nie jest potrzebna żadna ponowna kalibracja. Prosta konstrukcja i brak jakichkolwiek kłopotów ze skalowaniem z pewnością zachęcą wielu Czytelników do budowy przedstawionego układu.



Na łamach Elektroniki Praktycznej kontynuujemy cykl artykułów o urządzeniach automatyki przemysłowej. Ostatnio zamieściliśmy opis regulatora poziomu cieczy, dziś wracamy do układu uniwersalnego termometru-regulatora. Dotychczas przedstawiliśmy dwa układy przetwornika temperatura/napięcie: w EP8/93 dwukanałowy z czujnikiem diodowym i w EP7/94 z czujnikiem platynowym.

Czy jest sens stosować układ z względnie drogimi czujnikami LM335 zamiast modułu AVT-104/1 ze zwykłymi, tanimi diodami?

Zdecydowanie tak, jeśli przewidujemy możliwość uszkodzenia

i wymiany czujnika (a to, niestety, w warunkach przemysłowych dość często się zdarza).

W układzie z diodą wymiana czujnika oznacza konieczność ponownej kalibracji w lodzie i wrzasku.

Przy zastosowaniu układów LM335 nic takiego nie jest potrzebne - po prostu wymieniamy czujnik.

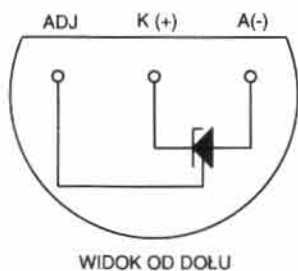
### Opis układu scalonego LM335

Czujnik LM335 jest układem scalonym zachowującym się jak dioda Zenera o napięciu przebicia wprost proporcjonalnym do temperatury bezwzględnej, o współczynniku temperaturowym 10mV/K.

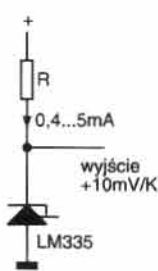
Najpopularniejszy i najtańszy jest układ LM335, ale produkowane są również wersje LM135, LM235 i LM335A mające szerszy zakres mierzonych temperatur i lepszą dokładność.

Wszystkie układy wyposażone są w dodatkową końcówkę ADJ(ust) umożliwiającą przeprowadzenie dodatkowej kalibracji za pomocą dołączonego potencjometru.

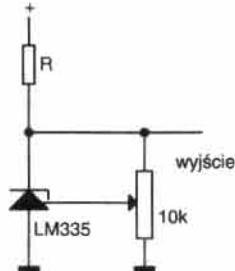
Rozkład wyprowadzeń, podstawowy układ pracy i sposób dołączenia potencjometru kalibracji przedstawione są na rysunkach 1a...1c.



Rys. 1a. Układ wyprowadzeń



Rys. 1b. Podstawowy układ pracy



Rys. 1c. Dołączenie potencjometru kalibracji

Jak powiedzieliśmy, układ zachowuje się jak dioda Zenera, natomiast przy polaryzacji w kierunku przewodzenia - jak zwykła dioda. Dopuszczalny prąd w kierunku przewodzenia wynosi 10mA.

Przy analizie danych dotyczących dokładności należy mieć na uwadze, że błędy wynikają wyłącznie z nieidealnej wartości współczynnika przetwarzania, który powinien wynosić dokładnie 10mV/K. Konstrukcja układu zapewnia uzyskanie napięcia wyjściowego ściśle proporcjonalnego do temperatury bezwzględnej, co znaczy, że w temperaturze -273,15°C uzyskalibyśmy dokładnie 0V.

Rozrzut między egzemplarzami polega więc tylko na różnym nachyleniu charakterystyki przetwarzania, nie występuje natomiast żaden „offset” (jak było na przykład w układzie barometru). Dlatego też, o ile interesuje nas temperatura w skali bezwzględnej i chcemy dokładnie wyskalować czujnik, wystarczy przeprowadzić kalibrację jednopunktową - na przykład producent proponuje po prostu w temperaturze +25°C ustawić za pomocą potencjometru kalibracji napięcie czujnika równe 298,15K x 10mV/K = 2,9815V.

Inna jest natomiast sytuacja, gdy chcemy mierzyć temperaturę w skali Celsjusza. Wtedy musimy zbudować układ, który będzie wprowadzał stabilny „offset” równy 2,7315V. Oczywiście, sam czujnik nie daje takiej możliwości - trzeba zastosować jakiś układ zawierający stabilne temperaturowo źródło napięcia odniesienia.

W takiej sytuacji pojawia się drugie źródło błędów - oprócz wspomnianego nachylenia charakterystyki przetwarzania musimy liczyć się ze zmianami napięcia przewodzonego „offsetu”, choćby pod wpływem zmian temperatury otoczenia.

Zazwyczaj wykonujemy termometry mierzące w stopniach Celsjusza, a więc w świetle podanych informacji w zasadzie należałoby zastosować kalibrację dwupunktową (0 i 100°C), podobnie jak w układzie przetwornika z czujnikami diodowymi. W praktyce nie jest to jednak konieczne.

Diody charakteryzują się bowiem bardzo dużym rozrzutem parametrów, w tym nachylenia charakterystyki przetwarzania (około 2...2,2mV/K).

Opisywane układy LMX35 mają zdecydowanie mniejszy rozrzut nachylenia charakterystyki i w większości zastosowań wystarczy tylko ustawić napięcie „offsetu” zmieniającego skalę Kelvina na skalę Celsjusza. Ponieważ będziemy mierzyć temperatury w zakresie znacznie węższym niż maksymalny, uzyskany błąd będzie dużo mniejszy niż 4°C podane w tabeli jako błąd czujnika niekalibrowanego w pełnym zakresie temperatur pracy.

I tu tkwi główna zaleta używania czujników LM335.

Natomiast jeśli wymagana byłaby duża dokładność można zastosować potencjometr kalibracji według rysunku 1c.

Dodatkowe istotne szczegóły dotyczące kalibracji podane będą w końcowej części artykułu.

## Opis modułu

Schemat ideowy modułu pokazany jest na rysunku 3.

Jak widać, moduł przeznaczony jest do zasilania napięciem bipolarnym w zakresie -4V/+5V...-15/+15V.

Kondensatory C5 - C8 odsprężają zasilanie zarówno w zakresie małych, jak i dużych częstotliwości.

D1 - zielona dioda LED pracuje w roli diody Zenera 2,2V. Zapewnia ona właściwą pracę źródeł prądowych zbudowanych z tranzystorami T1 - T5 i R2 - R6.

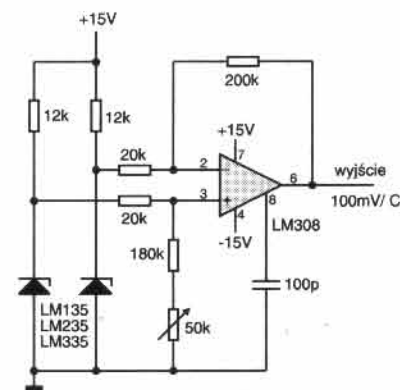
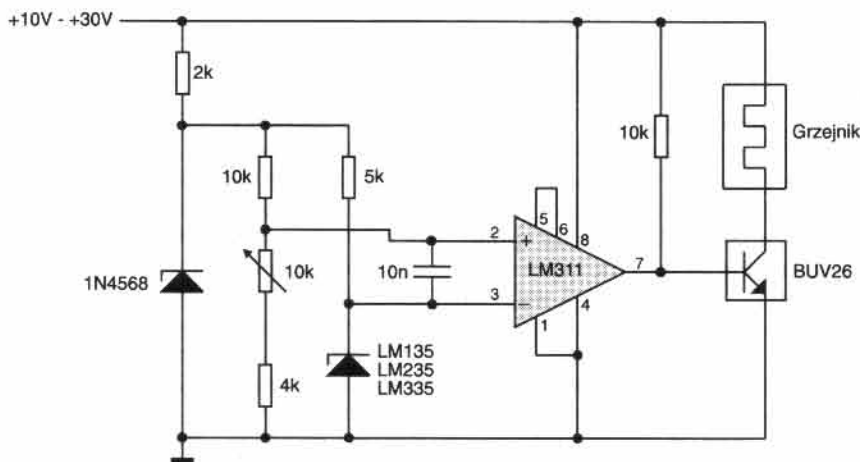
Dzięki zastosowaniu źródeł prądowych zupełnie wyeliminowany został wpływ ewentualnych zmian napięcia zasilającego na parametry układu.

Gdy dodatkowo napięcie zasilające jest stabilizowane nie ma potrzeby stosowania źródeł prądowych.

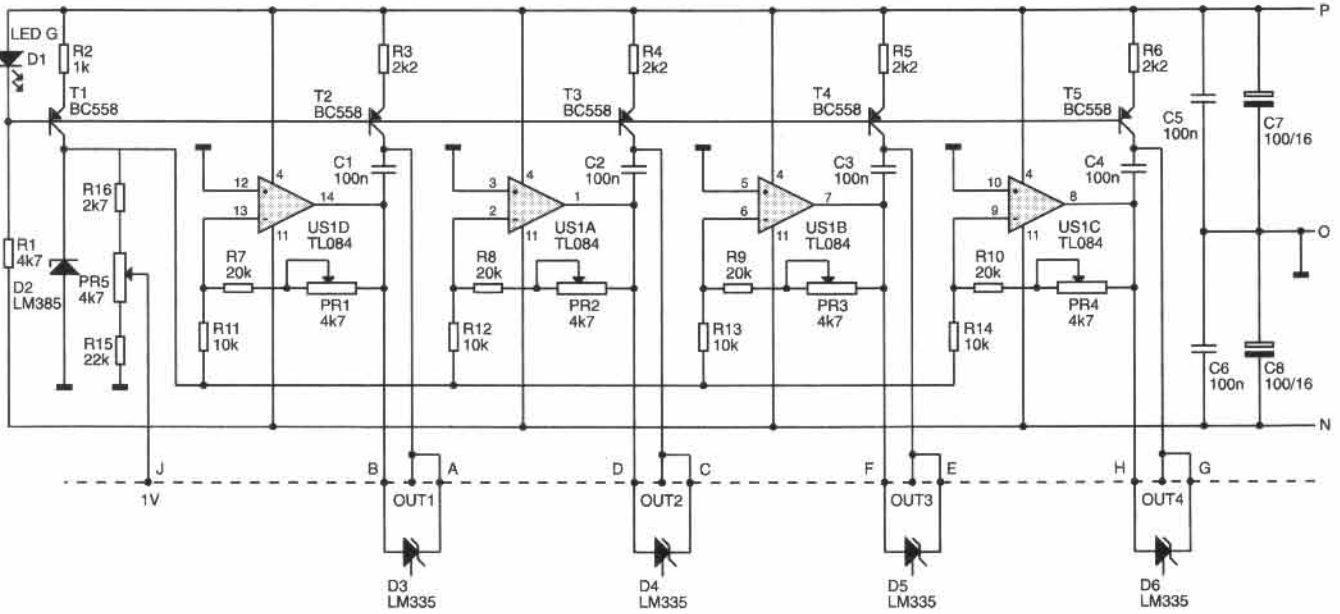
Nie trzeba wtedy montować R1, D1, T1-T5, a rezystory R2 - R6 należy włączyć między plus zasilania i katody czujników D3-D6 i układu D2.

Kondensatory C1 - C4 tłumia ewentualne zakłócenia w.c.z, jakie mogą indukować się w długich przewodach dołączeniowych. Zakłócenia m.c.z. zostaną stłumione przez małą rezystancję dynamiczną czujnika (poniżej 1Ω).

Jak wiemy, napięcie czujników D3 - D6 jest proporcjonalne do temperatury bezwzględnej. Aby na wyjściu uzyskać napięcie odpowiadające temperaturze w skali Celsjusza należy na wyjściach



Rys. 2. Przykłady zastosowania układu LM335.



Rys. 3. Schemat ideowy modułu

wszystkich wzmacniaczy operacyjnych (punkty B, D F, H) ustawić napięcie „offsetu“ równe  $-2,7315V$ .

Aby to napięcie było stabilne konieczne jest zastosowanie precyzyjnego źródła napięcia odniesienia. W modelu użyto układu ICL8069 (napięcie  $1,23V$ ). Oczywiście, można tu stosować popularny LM385  $1,23V$ , a po zmianie rezystorów R11 - R14 także LM385  $2,5V$  lub LM336.

Co ciekawe, układ LM336 jest bardzo blisko spokrewniony z omawianym przez nas LM335 - ideowy schemat wewnętrzny jest taki sam w obydwu układach. Inna jest natomiast geometria tranzystorów składowych i w efekcie uzyskujemy bądź źródło napięcia odniesienia o stabilności  $2mV$  w pełnym zakresie temperatur pracy, bądź czujnik temperatury zmieniający swe napięcie w tym zakresie temperatur o około  $1000mV$ .

Ktoś powie, że wystarczy tylko jeden kanał (układ wytwarzający „offset  $2,73V$ ”) - anody wszystkich czujników mogłyby być dołączone do jego wyjścia.

W układzie w podstawowej wersji nie przewidujemy jednak kalibracji poszczególnych czujników za pomocą potencjometrów (rys. 1c), a jak wynika z katalogu napięcia poszczególnych czujników mogą się nieco różnić. Dlatego zdecydowaliśmy się na wprowadzenie czterech niezależnych układów wprowadzania napięcia „offsetu“. W ten sposób podczas

skalowania zmniejszamy ewentualne błędy wynikające z rozrzutu parametrów czujników.

Jest to potrzebne wtedy, gdy długie przewody dołączeniowe poszczególnych czujników mają różne długości. W tym wypadku niezależna kalibracja każdego kanału pozwoli uwzględnić i wyeliminować błąd wynikający ze spadku napięcia na rezystancji przewodów doprowadzających.

Długość przewodów nie ma przy tym wielkiego wpływu - przykładowo dopiero przewód o długości  $60m$  i przekroju żył  $0,2mm^2$  daje błąd  $1^{\circ}C$  przy prądzie pracy czujnika  $1mA$ .

W układach modelowych wypróbowano wzmacniacze operacyjne LM324 i TL084. Gdy ujemne napięcie zasilania ma wartość  $4V$ , na przykład w układzie termometru zasilanego podzielonym napięciem  $9V$ , konieczne należy stosować układ LM324. Gdy ujemne napięcie zasilania jest większe niż  $5V$  bez obawy można stosować TL084. Wynika to z właściwości stopni wyjściowych wzmacniaczy operacyjnych. Układ LM324 (oraz LM358) może być zasilany pojedynczym napięciem, a zakres liniowej pracy jego wejść i wyjścia sięga ujemnego napięcia zasilającego. W naszym układzie minimalne napięcie na wyjściu (w stanie nasycenia) różniło się od ujemnego napięcia zasilającego o  $0,6V$  dla LM324 i o  $1,35V$  dla TL084. Ponieważ na wyjściu mu-

simy ustawić „offset“  $-2,73V$ , więc układ TL084 przy zasilaniu napięciem  $-4V$  nie poradzi sobie z tym zadaniem.

## Montaż i uruchomienie

Układ można zmontować na płytce pokazanej na wkładce wewnątrz numeru.

Na płytce przewidziano cztery niezależne kanały. Ponieważ jednak w większości przypadków stosuje się tylko dwa czujniki, zestaw AVT-233 zawiera elementy dla dwóch kanałów.

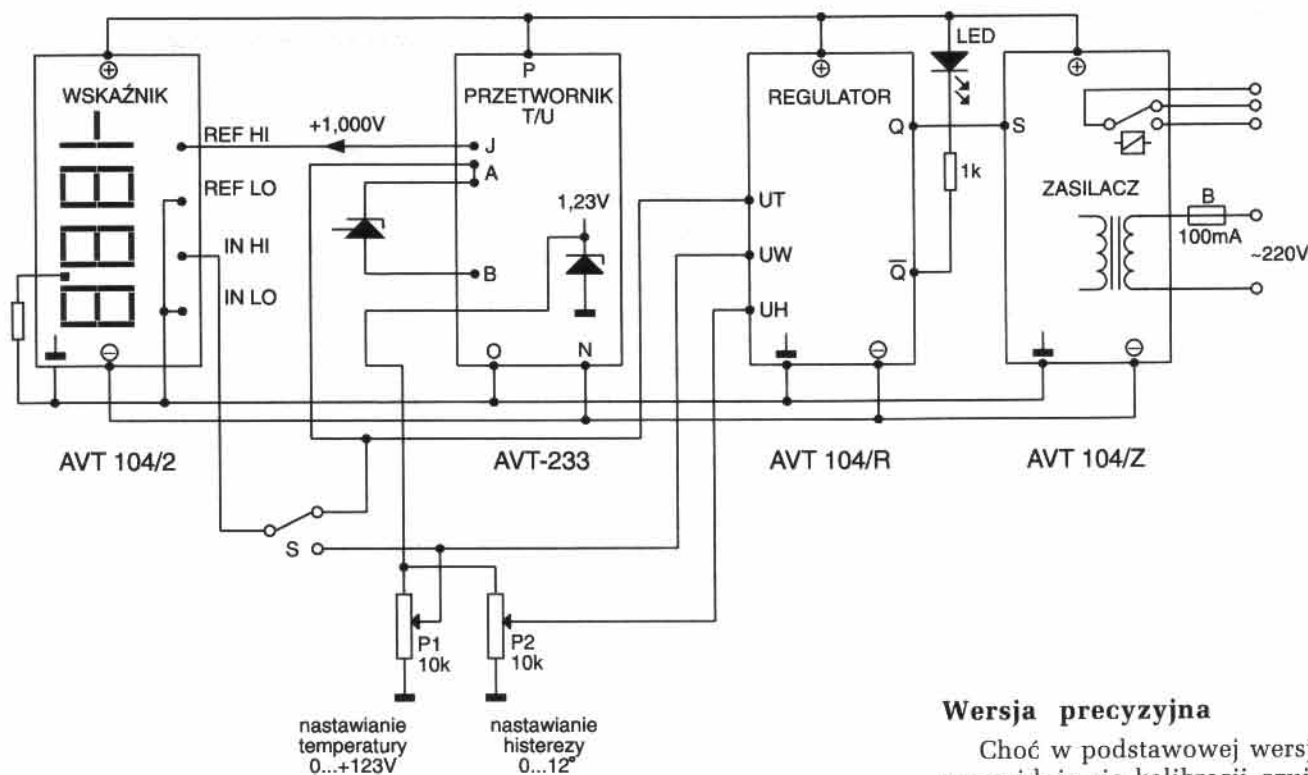
Wejścia odwracające niewykorzystanych wzmacniaczy operacyjnych należy zewrzeć do masy.

Opisany układ przeznaczony jest do współpracy z modułami uniwersalnego termometru-regulatora: zasilaczem AVT-104/Z, wskaźnikiem np. AVT-104/2 i ewentualnie regulatorem AVT-104/R.

Ponieważ stosowane będzie wtedy stabilizowane źródło zasilania, w zestawie AVT-233 nie występują elementy R1, D1, T1 - T5, a rezystory R2 - R4 mają wartości inne niż na rysunku 2.

Dlatego też podczas montażu należy zewrzeć otwory przewidziane dla emitera i kolektora poszczególnych tranzystorów

Płytką modelowa pokazana na fotografii różni się nieco od płytki oferowanej obecnie. Po wykonaniu pierwszych egzemplarzy wprowadzono bowiem drobne zmiany ułatwiające współpracę modułu z układami rodziny AVT-104.



Rys. 4. Układ połączeń regulatora

Układ połączeń kompletnego regulatora temperatury składający się z modułów AVT-233, -104/2, -104/R, -104/Z pokazano na **rysunku 4**.

W zastosowanym module AVT-233 wykorzystano tylko jeden kanał pomiarowy.

Przy montażu i uruchomieniu nie wystąpiły żadne kłopoty. Jedynie w zasilaczu AVT-104/Z na wszelki wypadek jako C2 i C3 zamiast ceramicznych 100nF wlutowano elektrolity 100μF/16V (patrz EP10/93). Wcześniej w sporadycznych przypadkach zdarzało się bowiem, że niektóre stabilizatory przy wzroście temperatury struktury zaczynały się wzbudzać, co powodowało powolne zmiany wyświetlanego wyniku.

### Kalibracja modułu

Do kalibracji potrzebny jest tylko dokładny termometr i miernik cyfrowy.

Najprościej jest przeprowadzić skalowanie już po połączeniu naszego przetwornika z zasilaczem i wyświetlaczem. Gotowy układ dobrze jest włączyć i pozostawić na kilka godzin. Gdy układ zostanie wygrzany i ustalą się normalne warunki pracy, należy przystąpić do skalowania.

### Wersja standardowa

Na początek na wyjściu J należy ustawić napięcie (w stosunku do masy) równe +1,000V. Kto chce uwzględnić wpływ rezystancji wejściowej użytego miernika powinien uwzględnić rezystancję wewnętrzną naszego źródła odniesienia (jest to wypadkowa rezystancja widziana z punktu J) wynoszącą około 4,2kΩ. Jeśli użyty miernik ma rezystancję wejściową 1MΩ, należy helitrimem PR5 ustawić napięcie 0,9958V, gdy 10MΩ - 0,9996V.

W większości domowych zastosowań nie trzeba kalibrować czujników. Egzemplarze będące w posiadaniu autora miały rozrzut napięcia w temperaturze +20°C mniejszy niż 3mV (co odpowiada różnicy o 0,3°C). Jeśli posiadane czujniki miały większy rozrzut, można je dokładnie skalibrować w sposób opisany w dalszej części artykułu.

W wersji standardowej wystarczy za pomocą PR1 - PR4 w dowolnej pokojowej temperaturze ustawić wskazanie na wyświetlaczu równe temperaturze odczytanej z termometru wzorcowego (co oznacza, że na wyjściach A, C, E, G napięcie ma wynosić  $(10\text{mV} \times \text{temperatura w } ^\circ\text{C})$  odczytana z termometru wzorcowego).

### Wersja precyzyjna

Choć w podstawowej wersji nie przewiduje się kalibracji czujnika, to jednak w niektórych przypadkach wymagana może być większa dokładność.

Zamiast jednak stosować potencjometr według **rysunku 1c**, zastosujemy drobny „chwyt układowy“.

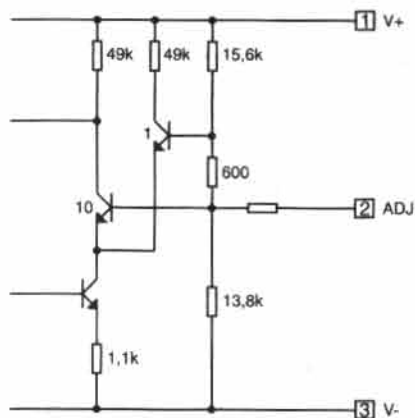
Na **rysunku 5** pokazano fragment schematu wewnętrznego układu LM335 zawierający obwód końcówki korekcyjnej ADJ(ust). Jak wiemy potencjometrem korekcyjnym powinniśmy uzyskać napięcie dokładnie równe  $(10\text{mV} \times \text{temperatura w kelwinach})$ .

Zauważmy jednak, że zamiast potencjometru wystarczy zastosować pojedynczy rezystor włączony między wyprowadzenie ADJ i, zależnie od potrzeb, katodę lub anodę czujnika. Powinien to być rezystor metalizowany, co najmniej MŁT lub lepiej klasy MFR, a nie węglowy. Oczywiście, wartość tego rezystora trzeba dobrać, aby uzyskać wspomniane napięcie równe  $(10\text{mV} \times \text{temperatura w kelwinach})$ . Wystarczy do tego celu jakikolwiek dokładny termometr, a całą operację znów możemy przeprowadzić w temperaturze pokojowej.

Do kalibracji potrzebne będą rezystory o wartości kilku...kilkunastu megaomów. Przykładowo zmiana „wskazania“ o 1°C wymaga dołączenia rezystora o wartości około 2,2MΩ.

Po takiej prostej kalibracji wszys-





Rys. 5. Fragment schematu wewnętrznego LM335

tkie czujniki będą mieć dokładnie jednakowe parametry.

Zaletą proponowanego rozwiązania z rezystorem jest wyeliminowanie

zawodnego potencjometru. Natomiast niewielki rezystor może być przylutowany wprost do wyprowadzeń czujnika, a całość można uszczelnić używając koszulki termokurczliwej lub umieścić wewnątrz metalowej rurki.

Tak więc w wersji precyzyjnej najpierw za pomocą rezystora kalibrujemy czujniki według skali Kelvina, a potem ustawiamy w punkcie J napięcie +1,000V i wreszcie za pomocą PR1 - PR4 wskazanie wyświetlacza według skali Celsjusza.

Gdy czujniki są jednakowo skalibrowane, a przewody dołączeniowe mają jednakową długość (i rezystancję), to można anody wszystkich czujników dołączyć do tego samego punktu (np. punkt B), a katody do punktów A, C, E i G.

**Piotr Górecki, AVT**

## WYKAZ ELEMENTÓW

(wartości w nawiasach dotyczą elementów wchodzących w skład kitu AVT-233)

### Rezystory

R1: 3,3...6,8k $\Omega$   
 R2: 1...1,5k $\Omega$  (2,2...2,7k $\Omega$ )  
 R3-R6: 2,2k $\Omega$  (5,1...6,8k $\Omega$ )  
 R7-R10: 20k $\Omega$   
 R11-R14: 10k $\Omega$   
 R15: 22k $\Omega$   
 R16: 2,7k $\Omega$   
 PR1-PR5: helltrim 4,7k $\Omega$

### Kondensatory

C1-C6: 100nF ceram.  
 C7, C8: 100 $\mu$ F/16V

### Półprzewodniki

D1: LED (kolor zielony)  
 D2: LM385 1,2V lub ICL 8069  
 D3-D6: LM335  
 T1-T5: np. BC558  
 U1: LM324