

Dział "Projekty Czytelników" zawiera opisy projektów nadesłanych do redakcji EP przez Czytelników. Redakcja nie bierze odpowiedzialności za prawidłowe działanie opisywanych układów, gdyż nie testujemy ich laboratoryjnie, chociaż sprawdzamy poprawność konstrukcji.

Prosimy o nadsyłanie własnych projektów z modelami (do zwrotu). Do artykułu należy dołączyć podpisane oświadczenie, że artykuł jest własnym opracowaniem autora i nie był dotychczas nigdzie publikowany. Honorarium za publikację w tym dziale wynosi 250,- zł (brutto) za 1 stronę w EP. Przesyłanych tekstów nie zwracamy. Redakcja zastrzega sobie prawo do dokonywania skrótów.

# Mikroprocesorowy regulator temperatury z czujnikiem Pt100

Jednym z częściej stosowanych elementów automatyki są regulatory temperatury. Wynika to przede wszystkim z dużej liczby urządzeń, w których wymagana jest stabilizacja temperatury. Stosowane są zarówno w urządzeniach domowych, takich jak instalacja CO i CW, jak i przemysłowych, tj. w tunelach grzewczych, chłodniach, kotłach itp. Kolejny, lecz niestandardowy konstrukcyjnie projekt takiego regulatora prezentujemy w artykule.

W artykule przedstawiłem rozwiązanie regulatora temperatury o zakresie od 0 do 500°C i rozdzielczości 1°C wykonanego w oparciu o tani sterownik mikroprocesorowy AT89C2051, który z niewielką liczbą elementów towarzyszących jest alternatywny ekonomicznie do rozwiązań analogowych. Do mierzenia temperatury wykorzystałem czujnik Pt100, dzięki czemu regulator nadaje się do zastosowań przemysłowych.

## Przetwornik A/C

Ważnym elementem regulatora jest oczywiście przetwornik A/C, którego niestety AT89C2051 nie posiada. Na szczęście jego konstruktorzy umieścili w strukturze sterownika komparator, na bazie którego można wykonać dość prosty przetwornik - jego schemat ideowy przedstawiono na rys. 1. Przetwarzanie A/C odbywa się według metody czasowej prostej:

- na początku zerowany jest licznik L1 oraz rozładowywany kondensator C poprzez ustawienie stanu „0” na wejściu odwracającym P1.1 komparatora K - wymusza to logiczną „1” na jego wyjściu P3.6,
- po pewnym czasie, gdy kondensator zostanie rozładowany, następuje właściwe przetwarzanie A/C,
- na wejściu P1.1 ustawiane jest „1”, po czym program sprawdza stan wyjścia komparatora K i jeżeli jest to „1”, to zawartość licznika L1 jest zwiększana o jeden i ponownie sprawdzany jest stan wyjścia komparatora (zawartość licznika będzie zwiększana, dopóki wyjście komparatora K nie zmieni stanu na „0”).

Ponieważ wejście P1.1 nie posiada rezystora podciągającego, więc napięcie na nim będzie liniowo narastało tylko dzięki ładowaniu kondensatora C przez źródło prądowe I. Zmiana stanu komparatora, a tym samym przerwanie zliczania nastąpi, gdy napięcie na kondensatorze zrówna się z napięciem mierzonym Um, doprowadzonym do wejścia nieodwracającego P1.0. Zawartość licznika L1 jest cyfrową reprezentacją tego napięcia. Rozdzielczość takiego przetwornika zależy od szybkości instrukcji zliczających oraz czasu przeznaczanego na proces przetwarzania. Teoretycznie można uzyskać bardzo dobry



przetwornik o dużej rozdzielczości (szybki zegar sterownika, duża pojemność kondensatora C). Niestety, taki sposób przetwarzania A/C jest mało precyzyjny, gdyż wynik zależy od wielu parametrów zmieniających się pod wpływem temperatury i czasu, a są to:

- dryft temperaturowy pojemności C,
- niestabilność częstotliwości zegara,
- dryft temperaturowy wartości prądu ładującego.

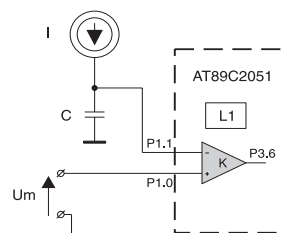
Podsumowując, można stwierdzić, że tak zbudowany przetwornik A/C może być wykorzystany jedynie do mało dokładnych pomiarów, nie nadaje się natomiast do dokładnego pomiaru temperatury (sprawdziłem to empirycznie).

Mamy więc do wyboru dwie drogi:

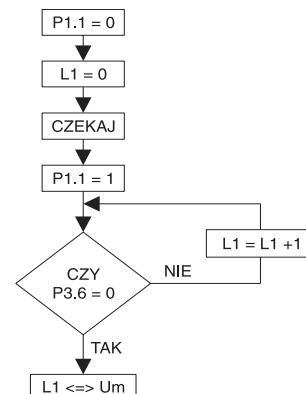
- zakup precyzyjnego i drogiego scalonego przetwornika A/C z wyjściem szeregowym,
- wykonanie go samodzielnie, przy wykorzystywaniu właściwości sterownika AT89C2051.

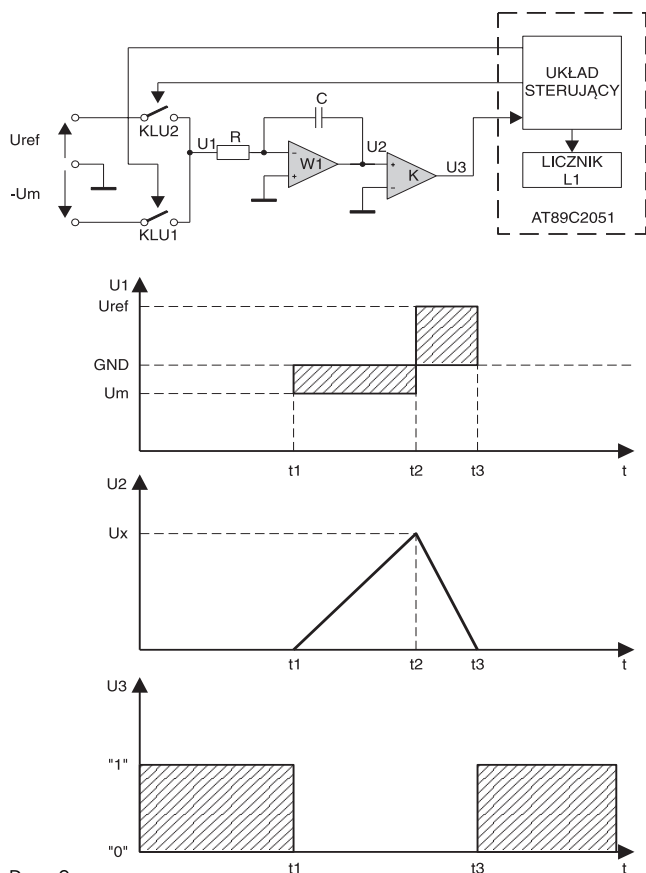
Rozwiązanie drugie jest ambitniejsze i dlatego zostało wybrane.

W literaturze dotyczącej przetworników A/C dużo



Rys. 1.





Rys. 2.

miejsca poświęca się metodzie przetwarzania z podwójnym całkowaniem, która eliminuje błędy metody opisanej wcześniej. Bardzo popularne kostki ICL7106/7 działają właśnie w oparciu o tę metodę, a wszyscy, którzy je stosowali, wiedzą jak świetne są to układy. Widziałem nawet w jednym z czasopism opis mikroprocesorowego regulatora temperatury na AT89C2051, w którym wykorzystano przetwornik ICL7107. Wymagało to oczywiście zastosowania dodatkowo trzech rejestrów (wejście równoległe, wyjście szeregowo), które zapamiętywały wynik przetwarzania z wyjść przetwornika, normalnie przeznaczonych dla wyświetlaczy LED. Jak dla mnie, rozwiązanie takie jest mało „eleganckie” lub, jak kto woli, „eleganckie inaczej”.

Do wykonania przetwornika działającego według metody podwójnego całkowania potrzebne są tylko dwa wzmacniacze operacyjne i dwa klucze analogowe oraz coś, co tym wszystkim steruje.

Ideę metody podwójnego całkowania przedstawiłem na rys. 2. W pierwszej fazie ( $t < t_1$ ) zerowany jest licznik L1, a klucz KLU1 zostaje ustawiony w pozycji załączony.

Powoduje to podanie na wejście wzmacniacza W1, pełniącego funkcję układu całkującego napięcie mierzone  $U_m$ . Napięcie to jest ujemne w stosunku do masy, tak samo jak w układzie rzeczywistym.

Rozpoczyna się ładowanie kondensatora C i liniowe narastanie napięcia na wyjściu wzmacniacza W1 ( $U_2$ ). W tym czasie układ sterujący sprawdza stan wyjścia komparatora K (drugi wzmacniacz) i jeżeli zmieni on stan z 1 na 0 ( $t = t_1$ ), to następuje uruchomienie

zliczania impulsów w liczniku L1. Zliczanie trwa do chwili, aż licznik się przepełni, co oznacza, że zostanie zliczona maksymalna liczba impulsów dla danej rozdzielczości, np. dla rozdzielczości 10-bitowej jest to 1024 impulsów. Na wykresie przepełnienie licznika wystąpiło w chwili  $t_2$ . Do tego czasu kondensator C naładował się do wartości  $U_x$ . Teraz układ sterujący wykonuje następujące czynności:

- zeruje licznik L1,
- wyłącza klucz KLU1,
- załącza klucz KLU2 (zaczyna się zliczanie impulsów w liczniku L1) i sprawdza cyklicznie stan wyjścia komparatora.

Załączenie klucza KLU2 powoduje podanie na wejście integratora napięcia wzorcowego  $U_{ref}$ , które ma odwrotną polaryzację niż napięcie mierzone  $U_m$ . Powoduje to rozładowywanie kondensatora C i zmniejszanie się napięcia na wyjściu wzmacniacza W1 ( $U_2$ ). Zliczanie impulsów w liczniku L1 trwa do chwili zrównania się napięć wejściowych komparatora K, wtedy zmienia on swój stan z 0 na 1 ( $t = t_3$ ). Wartość zliczona w liczniku L1 jest cyfrową reprezentacją napięcia mierzonego. Z rozważań teoretycznych (patrz [1]) wynika, że na wynik przetwarzania nie mają wpływu zmiany wartości R, C i f (częstotliwość zegara sterownika), a jedynie wartość napięcia wzorcowego  $U_{ref}$ . Zostało to potwierdzone w praktyce, gdyż wykonany przetwornik charakteryzował się dużą stabilnością przetwarzania. Algorytm sterowania

przetwarzaniem A/C z podwójnym całkowaniem pokazano na rys. 3.

W krokach od 1. do 6. jest sprawdzane czy napięcie mierzone  $U_m$  nie jest mniejsze lub równe zero, a jeżeli tak jest, to przetwarzanie jest przerywane. Gdyby ich nie było, to dla takiego przypadku program by się zawieszał, gdyż wyjście komparatora nigdy nie przyjęłoby stanu 0.

Kroki od 7. do 9. to faza  $t_1-t_2$ , gdy do wejścia integratora podane jest napięcie mierzone  $U_m$  i trwa ładowanie kondensatora C. Kroki od 10. do 18. to faza  $t_2-t_3$ . W kroku 15. sprawdza się czy napięcie mierzone nie przekroczyło zakresu pomiarowego.

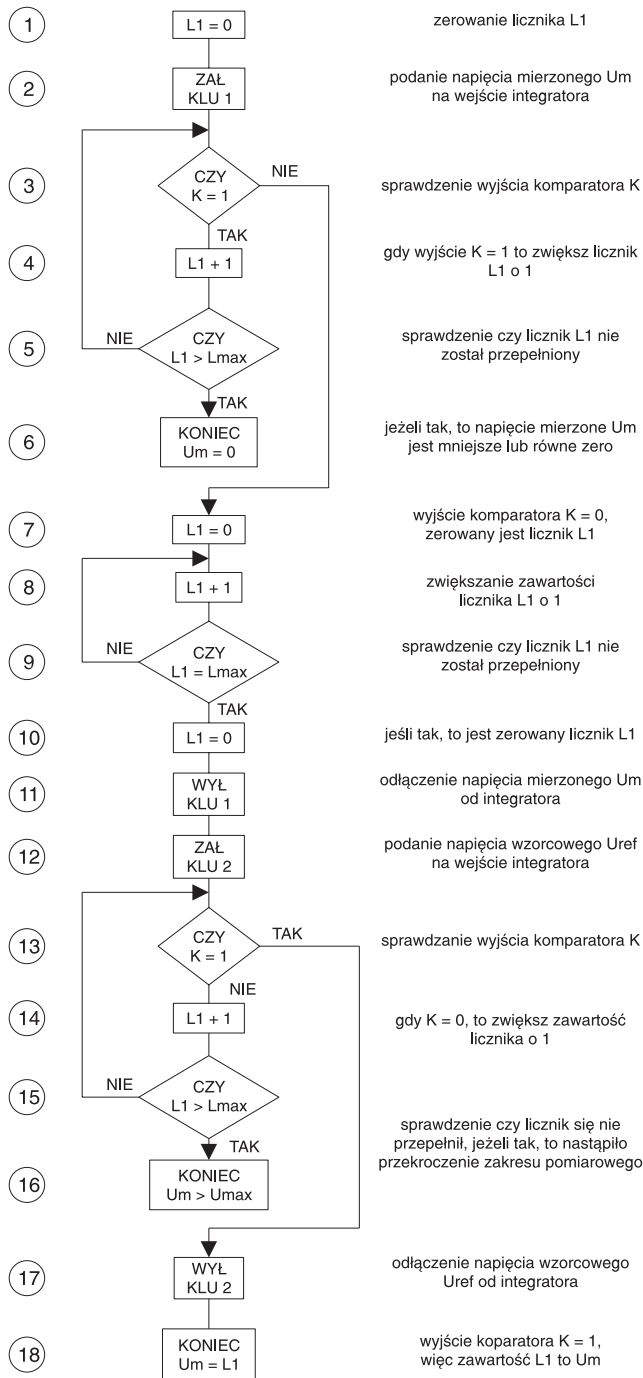
Jak wynika z przedstawionego algorytmu, rozdzielczość przetwarzania jest dowolna i zależy jedynie od przyjęcia wartości  $U_{max}$ . W układzie rzeczywistym przyjęto, że  $U_{max} = 1000$ , co daje około 10-bitową rozdzielczość, ale nic nie stoi na przeszkodzie żeby rozdzielczość wynosiła np. 327 lub 2458; należy jedynie dopasować wartości C i R tak, aby napięcie  $U_x$  zmieściło się w zakresie liniowej pracy wzmacniacza W1 (patrz rys. 2). Oczywiście, im większa rozdzielczość, tym bardziej wydłuża się czas przetwarzania.

**Opis układu**

Schemat elektryczny regulatora pokazano na rys. 4. Do budowy przetwornika A/C wykorzystano jedynie połówki dwóch popularnych układów scalonych tj. początkowo wzmacniacza operacyjnego TL084 oraz czterokrotnego klucza analogowego 4066. Na-

Stan	Operacja	Wyświetlacz	Diody LED	Uwagi
Normalny	-	Wskazuje bieżącą temperaturę	Świeci się jedna z diod sygnalizująca stan wyjścia ZAL/WYL	-
Nastawa WYL	Naciśnięcie przycisku "wybór"	Wskazuje wartość temperatury, po przekroczeniu której nastąpi wyłączenie sterowanego urządzenia	Migocze dioda WYL	Można dokonać zmian nastaw przełącznikami "górze" i "dół"
Nastawa ZAL <sup>1)</sup>	Powtórne naciśnięcie przycisku "wybór"	Wskazuje wartość histerezy. Załączenie urządzenia nastąpi po obniżeniu się temperatury poniżej temperatury WYL-HISTEREZA	Migocze dioda ZAL	Można dokonać zmian nastaw przełącznikami "górze" i "dół"
Nastawa OFFSET <sup>2)</sup>	Jednoczesne naciśnięcie przycisków "górze" i "dół"	Wskazuje wartość OFFSET-u z odpowiednim znakiem	Diody WYL i Zal migoczą naprzemiennie	Można dokonać zmian nastaw przełącznikami "górze" i "dół"

<sup>1)</sup> Powrót do stanu normalnego następuje po powtórnym naciśnięciu przełącznika "wybór".  
<sup>2)</sup> Po ponownym naciśnięciu przycisku "wybór" sterownik przechodzi do nastawy WYL.



Rys. 3.

pięć wzorców  $U_{ref} = 1,2V$  otrzymywane jest z układu REF (LM385-1,2). Dzielnik R5, R6, ustalający napięcie na wejściu nieodwracającym wzmacniacza US4/C, razem z rezystorem R4 wymuszają stałą wartość prądu płynącego przez czujnik Pt100. Wartość tego prądu oblicza się według następującego wzoru:

$$I_{czujnika} = \frac{1,2V \cdot R_6}{(R_5 + R_6)} \cdot R_7$$

Dla wartości podanych na schemacie jego wartość wynosi około 3mA.

Kondensator C5 włączony równoległe do czujnika tłumi

zakłócenia, jakie powstają w jego doprowadzeniach. Wzmacniacz US4/D służy do obróbki napięcia otrzymywanego z wyjścia US4/C, przy czym potencjometrem HE2 reguluje się koniec, a potencjometrem HE1 początek zakresu pomiarowego. W pętli sprzężenia zwrotnego umieszczono termistor służący do kompensacji termicznej obwodów wejściowych regulatora. Drugą ważną funkcją jaką pełni US4/D jest odwrócenie polarizacji napięcia mierzonego - jest to niezbędne do procesu przetwarzania A/C. Wzmac-

niacz US4/B pełni rolę integratora, natomiast US4/A wykorzystano jako komparator przetwornika A/C.

Klucze analogowe KLU1 i KLU2 sterowane są za pomocą tranzystorów T 1 i T 2. Gdy tranzystory są w stanie odcięcia (jedynki logiczne na wyjściach KL1 i KL2), to klucze są rozwarte (bardzo duża rezystancja), gdyż dochodzi do nich ujemne napięcie sterujące poprzez rezystory R14 i R11. Ustawienie logicznego zera na wyjściu KL 1 lub KL2 powoduje podanie dodatniego napięcia sterującego i zamknięcie odpowiedniego klucza. Tranzystor T3 służy do dopasowania wyjścia komparatora do zakresu napięć wejściowych sterownika AT89C2051.

Wyświetlacze i diody sygnalizacyjne LED sterowane są multipleksowo za pomocą tranzystorów T7..T10 oraz rejestru przesuwającego 74HC164. Pamięć szeregową EEPROM 24C02 (US2) służy do przechowywania nastaw, aby nie trzeba było ich wpisywać po każdym włączeniu regulatora. W stopniu wyjściowym mocy jest triak TRIA włączany optotriakiem US6. Zasilacz symetryczny  $\pm 5V$  wykonano w układzie jednopółkownikowym, wykorzystując do stabilizacji napięcia układy 7805 (ST1) i 79L05 (ST2). Do zmiany nastaw służą trzy przełączniki astabilne PR1..PR3, przy czym przełącznikiem PR1 wybiera się rodzaj nastawy, a przełącznikami PR2 i PR3 dokonuje się jej zmiany. Najważniejszym elementem jest oczywiście sterownik mikroprocesorowy AT89C2051 US1, który tym wszystkim „zawiaduje“.

**Opis programu**

Po starcie program uruchamia przerwanie realizowane na liczniku T0. Wykorzystywane jest ono do multipleksowego sterowania wyświetlaczy i diod sygnalizacyjnych LED. Po wyświetleniu każdej z cyfr przerwanie jest zawieszane i wykonywane jest przetwarzanie A/C. Następnie program ponownie uruchamia przerwanie i przechodzi do procedury wczytania nastaw z pamięci US2 i jeżeli któraś z nich nie mieści się w dopuszczalnym zakresie, to do pamięci wpisywane są nastawy domyślne, program zostaje zatrzymany, a na wyświetlaczu pojawia się napis „Pro“. Wymaga to ponownego wyłączenia i załączenia regulatora,

w wyniku którego startuje on z nastawami domyślnymi ( $WYŁ=20^{\circ}C$ ,  $HISTEREZA=-10^{\circ}C$ ,  $OFFSET=0^{\circ}C$ ).

Zatrzymanie pracy regulatora i ręczna ingerencja aby ją przywrócić jest zabezpieczeniem sterowanego urządzenia w sytuacji „ucieczki“ nastaw z pamięci EEPROM. Dlatego po każdym takim przypadku należy skorygować nastawy.

Następnie program przechodzi do pętli głównej, której podstawowym zadaniem jest sprawdzanie przełączników PR1..PR3 i odpowiednie zareagowanie na ewentualne zmiany ich stanów. Pętla główna okresowo jest przerywana przez procedurę przerwania, która wpisuje do rejestru US3 wartość kolejnej cyfry do wyświetlenia oraz włącza odpowiadający jej tranzystor anodowy (T7..T10). Po wyświetleniu wszystkich cyfr program przechodzi do procedury pomiarowej, w wyniku której otrzymywana jest pewna liczba będąca cyfrową reprezentacją temperatury mierzonej przez czujnik. Wynik przetwarzania zapisywany jest w specjalnym rejestrze, gdyż do dalszej obróbki wykorzystuje się wartość średnią z kilku pomiarów.

Założono, że regulator ma pracować w zakresie  $0..500^{\circ}C$ . Charakterystyka czujnika Pt100 jest nieliniowa (patrz [2]) została więc przeprowadzona jej aproksymacja za pomocą pięciu odcinków, dzięki czemu udało się uzyskać liniowe zależności napięcia od temperatury wskazanej w całym zakresie pomiarowym. Kolejnym czynnikiem wpływającym na dokładność pomiaru temperatury jest rezystancja doprowadzeń oraz klasa wykonania czujnika, co w praktyce oznacza, że rezystancja Pt100 mierzona łącznie z doprowadzeniami różni się od tej, która wynika z charakterystyki (patrz [2]).

Dlatego też następnym krokiem, jaki wykonuje program, jest korekcja temperatury o wartość tego błędu zwanego OFFSET-em. OFFSET należy wyznaczyć doświadczalnie, porównując temperaturę wskazywaną przez regulator z temperaturą, jaka naprawdę panuje w miejscu pomiaru:

$$OFFSET = T_{rzeczywista} - T_{wskazywana}$$

Schemat blokowy procedury otrzymywania wskazań temperatury przedstawiono na rys. 5.

Tak skorygowana wartość temperatury jest porównywana z nastawami regulatora, tzn. z wartością, przy której następuje wyłączenie urządzenia sterowanego (WYŁ) oraz z wartością, przy której następuje jego załączenie (ZAŁ):

jeżeli  $T2 > WYŁ$  to *wyłącz*  
 jeżeli  $T2 < ZAŁ$  to *załóż*  
 gdzie:

- T2 - temperatura po korekcji,
- ZAŁ = WYŁ - HISTEREZA.

Przełączenie stanu wyjścia nastąpi, gdy powyższe warunki są spełnione w czasie kilkusekundowej zwłoki czasowej. Po zakończeniu procedury pomiarowej następuje odblokowanie przerwań, a program wraca do pętli głównej.

Bardzo istotne jest odpowiednie ustawienie okresu przerwania, czyli czasu, po którym jest wyświetlana następna cyfra, tak aby nie występowało zjawisko migotania. Doświadczalnie stwierdzono, że minimalna częstotliwość z jaką mogą być wyświetlane cyfry to około 40Hz.

Do sprawdzania i zmiany nastaw służą trzy przełączniki oznaczone następującymi symbolami:

- wybór na dół
- do góry

Ustawianie nastaw przedstawiono w **tab. 1**.

Po każdorazowym wyjściu z procedury sprawdza się czy nie uległy zmianie nastawy. Jeżeli tak się stało, to nowe nastawy zostają zapisane w pamięci US2. Zakres możliwych nastaw regulatora przedstawiono w **tab. 2**.

Program dopuszcza ustawienie wartości OFFSET-u równej +9°C, lecz przy powtórnym włączeniu regulatora wywoła to błąd i wpisanie nastaw domyślnych. Jest to „kruczek” służący do demonstrowania obsłudze jak ma się zachować, gdy na wyświetlaczu pojawi się napis „Pro”.

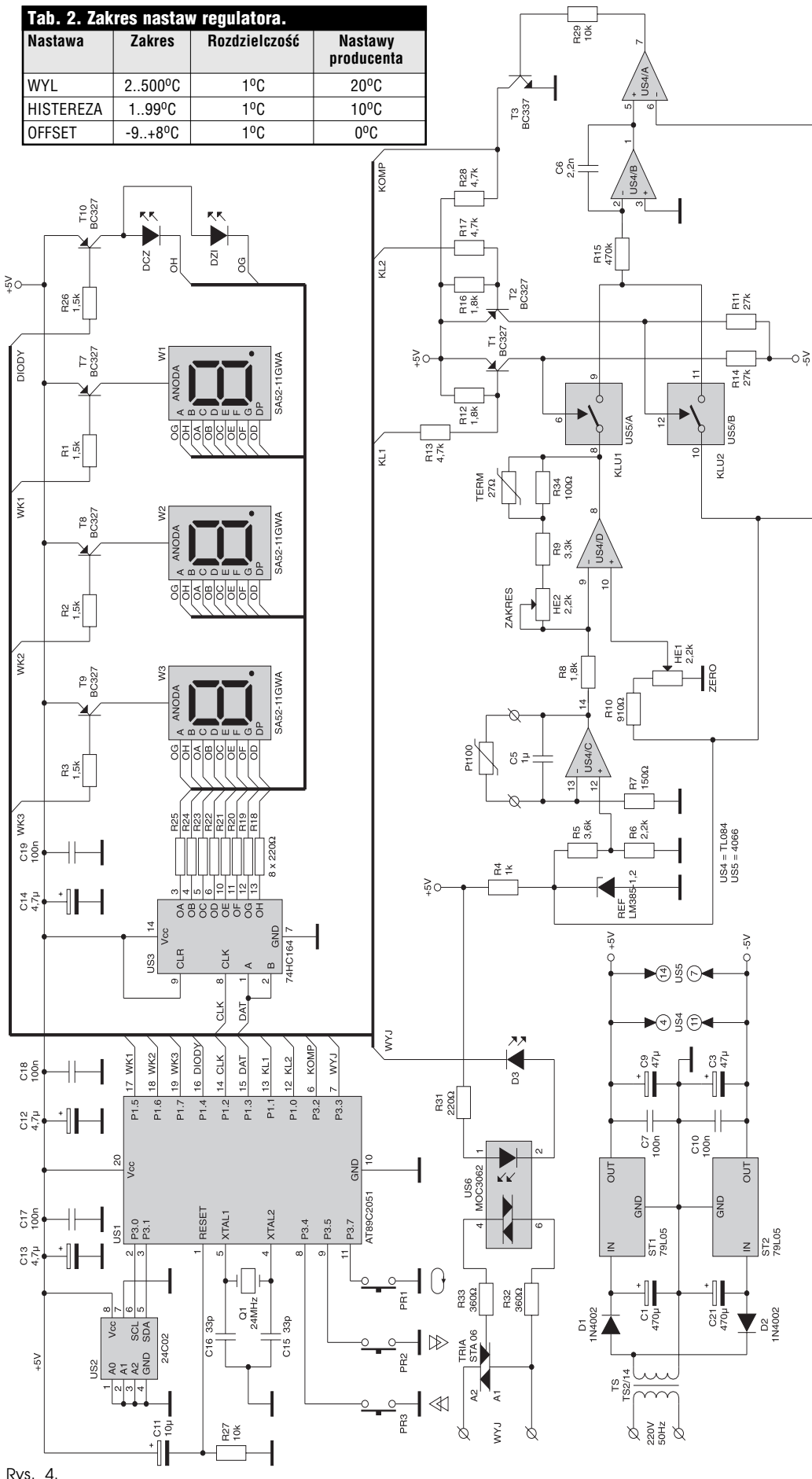
Regulator sygnalizuje następujące błędy w obwodzie czujnika:

- E01 - przekroczenie zakresu lub przerwa w obwodzie pomiarowym
- E02 - temperatura mniejsza niż -8°C lub zwarcie w obwodzie pomiarowym.

Zarówno błąd E01, jak i E02 ustawiają wyjście regulatora w stan WYŁĄCZONY.

**Tab. 2. Zakres nastaw regulatora.**

Nastawa	Zakres	Rozdzielczość	Nastawy producenta
WYŁ	2..500°C	1°C	20°C
HISTEREZA	1..99°C	1°C	10°C
OFFSET	-9..+8°C	1°C	0°C



Rys. 4.

Tab. 3. Charakterystyka rezystancja-temperatura czujnika Pt100

C	0	100	200	300	400	500	600	700	800
0	100,00	138,50	175,83	212,00	247,03	280,91	313,60	345,08	375,32
+10	103,90	142,29	179,50	215,56	250,47	284,23	316,80	348,16	378,27
+20	107,80	146,06	183,15	219,10	253,90	287,54	319,99	351,23	381,21
+30	111,68	149,82	186,80	222,63	257,32	290,84	323,17	354,29	384,14
+40	115,54	153,57	190,44	226,15	260,72	294,13	326,34	357,33	387,06
+50	119,40	157,31	194,06	229,66	264,11	297,40	329,49	360,36	389,96
+60	123,24	161,04	197,67	233,16	267,50	300,67	332,64	363,38	
+70	127,07	164,75	201,27	236,64	270,87	303,92	335,77	366,38	
+80	130,89	168,45	204,86	240,12	274,22	307,16	338,89	369,37	
+90	134,70	172,15	208,44	243,58	277,57	310,38	341,99	372,35	
+100	138,50	175,83	212,00	247,03	280,91	313,60	345,08	375,32	

**Montaż i uruchomienie**

Regulator został wykonany na dwóch jednostronnych płytkach i umieszczony w obudowie plastikowej o wymiarach 109x90x69mm (typ Z3A). Na płycie górnej umieszczono wyświetlacz, przełączniki PR1..PR3, sterownik AT89C2051 i pamięć 24C02. Na płycie dolnej znajduje się zasilacz ±5V, przetwornik A/C oraz obwód wyjściowy (triak + optotriak). Pod wszystkie układy scalone zastosowano podstawki.

**Kalibracja**

Do kalibracji potrzebne będą dwa oporniki, jeden o wartości 100Ω (lub nieco większej), a drugi o wartości bliskiej wartości rezystancji maksymalnego zakresu, tj. około 280,9Ω. W najlepszej sytuacji są posiadacze oporników dekadowych, można także posłużyć się potencjometrami wieloobrotowymi.

Potencjometry HE1 i HE2 należy ustawić w położeniu

środkowym. Pierwsze włączenie poprawnie wykonanego regulatora powinno spowodować wpisanie wstępnych nastaw domyślnych do pamięci 24C02 (US2) oraz pojawienie się na wyświetlaczu napisu „Pro”. Należy wówczas wyłączyć i powtórnie załączyć regulator. Tym razem powinien pojawić się napis „E01”, co świadczy o braku czujnika w obwodzie pomiarowym. Zwarcie zacisków czujnika powinno spowodować wyświetlenie komunikatu „E02”.

Kalibrację rozpoczynamy od umieszczenia w zaciskach czujnika rezystora równego 100Ω. Ważne jest, abyśmy wiedzieli, jakiej temperaturze odpowiada jego rezystancja (patrz tabela 3). Następnie tak regulujemy potencjometrem HE1, aby wyświetlacz pokazywał tę właśnie temperaturę. Umieszczamy w zaciskach drugi rezystor (którego rezystancję zmierzaliśmy i wiemy jaką reprezentuje temperaturę), po czym regulujemy potencjometrem HE2, tak aby wskazania tej właśnie temperatury otrzymać na wyświetlaczu. Powtórnie umieszczamy pierwszy rezystor w zaciskach czujnika i stwierdzamy, że regulator nie wskazuje wartości temperatury, którą ustawiliśmy poprzednio. Ustawiamy ją ponownie potencjometrem HE1 i powtarzamy kalibrację z drugim opornikiem, regulując potencjometrem HE2. Po kilku takich operacjach regulator będzie wskazywał obie temperatury poprawnie. Oznaczać to będzie, że kalibracja została zakończona.

Następnie należy wyznaczyć wartość OFFSET-u, czyli błędu wnoszonego przez rezystancję doprowadzeń oraz niedo-

kładności wykonania samego czujnika Pt100. Najprościej jest wykonać to w warunkach rzeczywistych, przy czym musimy znać temperaturę jaka panuje w danej chwili w miejscu pomiaru. OFFSET obliczamy z następującego wzoru:

$$OFFSET = T_{rzeczywista} - T_{wskazywana}$$

gdzie:

OFFSET - wartość offsetu ze znakiem „+” lub „-“

T<sub>rzeczywista</sub> - rzeczywista temperatura w miejscu pomiaru

T<sub>wskazywana</sub> - temperatura wskazywana przez regulator

Po wpisaniu wartości offsetu temperatura wskazywana przez regulator powinna być taka sama jak temperatura rzeczywista (zmierzona np. innym termometrem). Po przeprowadzeniu powyższych czynności regulator jest gotowy do pracy i należy tylko ustawić odpowiednie wartości WYL i ZAŁ.

**Uwagi końcowe**

Moc jaką może sterować regulator zależy od typu zastosowanego triaka TRIA. Należy tylko pamiętać o zastosowaniu odpowiedniego radiatora przy bezpośrednim sterowaniu grzałkami. Użycie jako jednej z nastaw wartości histerezy znacznie ułatwia obsługę, gdyż na ogół zmienia się tylko wartość progu wyłączenia, a próg załączania ustala się samoczynnie. Niewykorzystane klucze z układu 4066 (US5) mogą posłużyć do rozbudowy regulatora o dwa dodatkowe kanały pomiarowe. Podczas prób zauważono zmianę wskazań pod wpływem wzrostu temperatury wewnątrz obudowy wywołanej wydzielaniem ciepła w stabilizatorze 7805. Okazało się, że winę za to ponoszą elementy obwodu wejściowego tj. US4/C, US4/D, HE1 i HE2.

Skutecznym sposobem eliminującym skutki tego zjawiska okazało się zastosowanie termistora TERM (27Ω) zbocznikowanego rezystorem R34 (100Ω), który został umieszczony w pętli sprzężenia zwrotnego wzmacniacza US4/D.

Mariusz Dulewicz

**Literatura:**

- [1] Kulka Z., Libura A., Nadachowski M., „Przetworniki analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe”, WKŁ, Warszawa 1987
- [2] Górecki P., „Termometr z czujnikiem platynowym Pt100”, Elektronika Praktyczna 7/94

**WYKAZ ELEMENTÓW**

**Rezystory**

- R1..R3, R26: 1,5kΩ
- R4: 1kΩ
- R5: 3,6kΩ
- R6: 2,2kΩ
- R7: 150Ω
- R8, R12, R16: 1,8kΩ
- R9: 3,3kΩ
- R10: 910Ω
- R11, R14: 27kΩ
- R13, R17, R28: 4,7kΩ
- R15: 470kΩ
- R18..R25, R31: 220Ω
- R29: 10kΩ
- R32, R33: 360Ω
- R34: 100Ω

**Kondensatory**

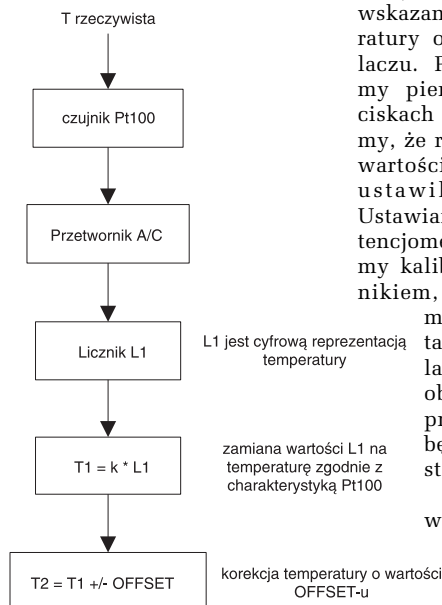
- C1, C21: 470μF/25V
- C3, C9: 100μF/25V
- C5: 1μF/25V
- C6: 2,2nF
- C7, C10, C17..C19: 100nF
- C8, C12..C14: 4,7μF/16V
- C11: 10μF
- C15, C16: 33pF

**Półprzewodniki**

- D1, D2: 1N4002
- D3: LED φ5mm czerwona
- DCZ: LED φ5mm czerwona
- DZl: LED φ5mm zielona
- T1, T2, T7..T10: BC 327
- T3: BC 337
- ST1: 7805
- ST2: 79L05
- REF: LM358-1,2
- US1: AT89C2051
- US2: 24C02
- US3: 74HC164
- US4: TL084
- US5: 4066
- US6: MOC3062
- TRIA: BTA 06
- W1..W3: SA52-11GWA KINGBRIGHT

**Różne**

- Q1: rezonator kwarcowy 24 MHz
- PR1..PR3: przełącznik astabilny zwierny
- TS: TS 2/14



Rys. 5.