

Mikroprocesorowy regulator temperatury PID z interfejsem MODBUS, część 3

Praktyka AVT-5113



Regulatory PID (Proportional-Integral-Derivative – Proporcjonalno-Całkująco-Różniczkujące) wykorzystywane są powszechnie w systemach regulacji parametrów technicznych takich jak: temperatura, ciśnienie, siła, prędkość itp. Dzięki zasadzie działania zapewniają dużą dokładność regulacji.

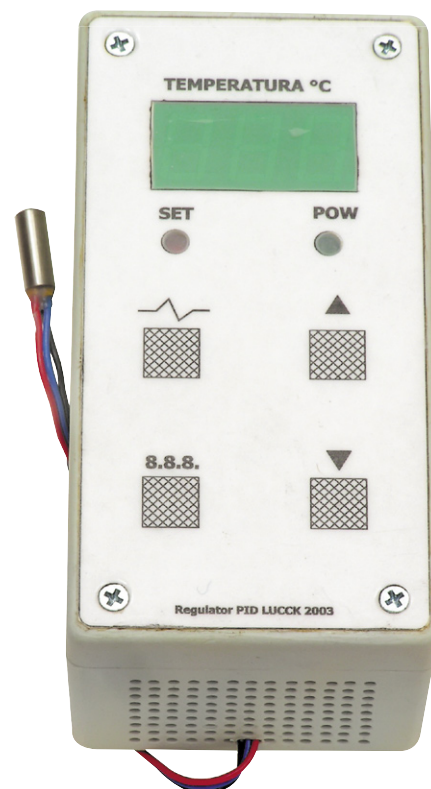
Rekomendacje:

wykonanie regulatora polecamy szczególnie tym, którzy planują generalny remont swoich mieszkań uwzględniający instalację ogrzewania podłogowego.

Montaż i uruchomienie

Cały układ zmontowano na trzech płytkach jednostronnych (rys. 7...9). Zostały one zaprojektowane tak, aby cały regulator zmieścił się w obudowie HM-1594ESGY firmy Hammond. Płytki są umieszczone jedna nad drugą, w postaci „kanapki”. Na tylnej ścianie obudowy zamontowana jest mała płytka zawierająca złącza ARK służące do podłączenia napięcia zasilania, grzałki oraz interfejsu RS485. Z rozebranego wyłącznika sieciowego wykorzystano „motylki” służące do zamontowania gniazdka w puszcze podtynkowej. Montaż płytek rozpoczynamy od zwerek oraz dolutowania drutu o średnicy 1 mm² do ścieżek mocy biegnących w okolicy triaka (Q3). Następnie montujemy rezystory, kondensatory, podstawki pod układy scalone i pozostałe elementy. Korzystając z zewnętrznego programatora, programujemy mikrokontroler AT89C52 (U2) oraz układ pamięci EEPROM 24C02 (U3). Następnie wkładamy w podstawki układy scalone. Wszystkie płytki łączymy ze sobą i umieszczamy w przygotowanej wcześniej obudowie.

W górnej pokrywie obudowy wycinamy otwory na wyświetlacz oraz klawisze. Nadruk płyty czołowej (rys. 10) wykonujemy na drukarce, następnie wycinamy otwór na wyświetlacz, laminujemy i naklejamy na pokrywę obudowy. Przed naklejeniem na wyświetlacz możemy założyć



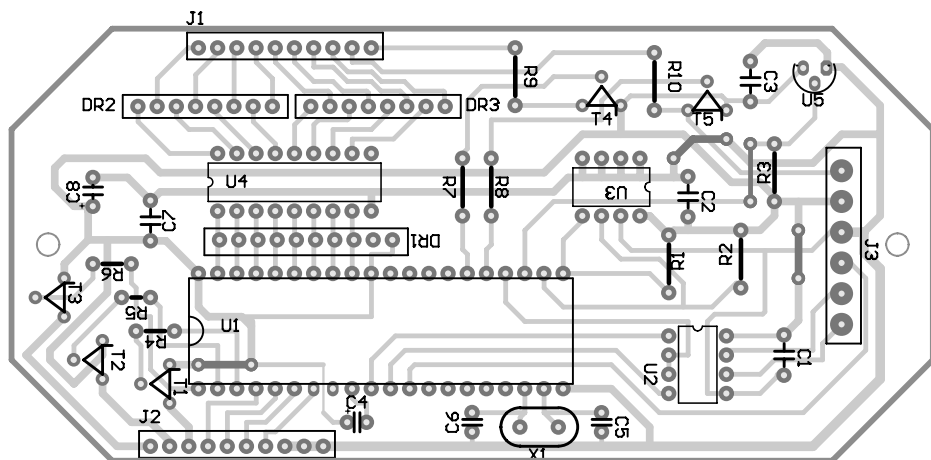
kawałek folii w zielonym kolorze. Podczas prób modelu okazało się, że układ służący do pomiaru temperatury DS1820 (U5) musi być umiesz-

PODSTAWOWE PARAMETRY

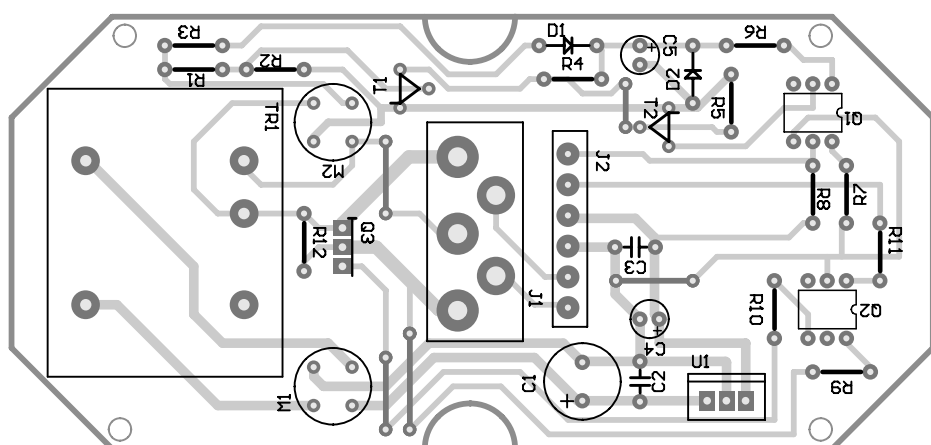
- Płytki o wymiarach: 122x57 mm
- Zasilanie 230 V
- Zakres pomiaru temperatury: -10°C...+85°C
- Dokładność pomiaru temperatury: 0,5°C
- Moc grzałki dołączonej do regulatora 2,5 kW
- Interfejs: RS485
- Parametry transmisji: 1200, 8,e,1

List. 1. Funkcja obsługi przerwania INTO

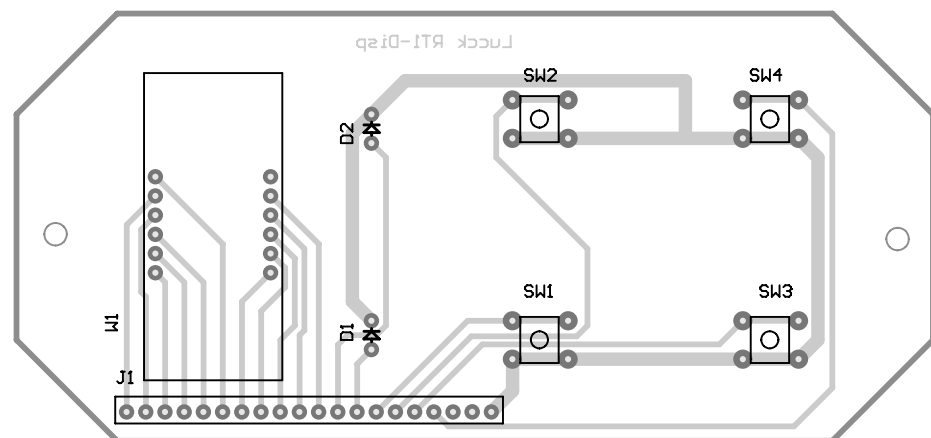
```
void PwmIntr(void) interrupt IE0_VECTOR using 2
{
    static unsigned char st_pos;
    static bit pwm=0;
    if(pwm_p==0) {Ty = 1; return;}
    else if(pwm_p==0xff) {Ty = 0; return;}
    if(pwm)
    {
        if(!st_pos--)
        {
            pwm = !pwm;
            Ty = 1;
            st_pos = 255u - pwm_p;
        }
    }
    else
    {
        if(!st_pos--)
        {
            pwm = !pwm;
            Ty = 0;
            st_pos = pwm_p;
        }
    }
}
```



Rys. 7. Schemat montażowy płytki - CPU



Rys. 8. Schemat montażowy płytki - zasilacz



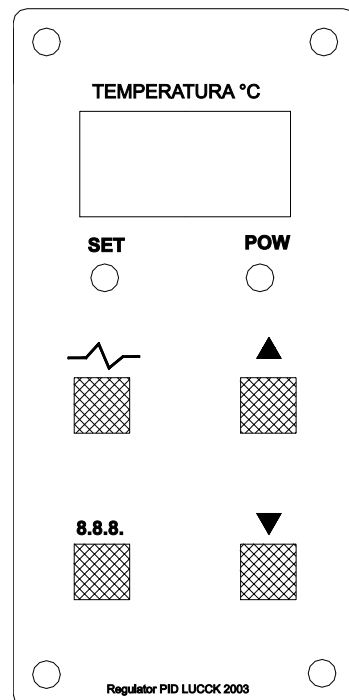
Rys. 9. Schemat montażowy płytki - wyświetlacz

czony poza obudową na cienkim przewodzie o długości min. 0,4 m, gdyż zastosowanie krótszego przewodu powodowało przewodzenie ciepła z wnętrza obudowy poprzez przewód i w efekcie wskazywana temperatura była większa od rzeczywistej temperatury otoczenia. Zastosowanie odpowiednio długiego przewodu pozwoliło uniknąć tego efektu. Czujnik U5 został umieszczony w kawałku rurki miedzianej i zalany klejem DISTAL.

Układ po prawidłowym złożeniu jest od razu gotowy do działania. Po włączeniu zasilania na wyświetlaczu powinien pojawić się przez chwilę napis „RT1”, a następnie aktualna wartość temperatury otoczenia.

Instalacja regulatora

Po zmontowaniu i uruchomieniu regulatora możemy przystąpić do jego montażu na właściwym obiekcie. Regulator mocujemy w puszcze podtyn-



Rys. 10. Widok płyty czołowej regulatora

kowej, przykręcając go do ściany. Czujnik temperatury mocujemy z dala od regulatora. Do puszek powinny być doprowadzone wyprowadzenia z mat grzejnych, napięcie zasilające oraz magistrala RS485. Można wykorzystać do tego skrętkę do sieci komputerowych, albo zwykłą skrętkę telefoniczną. Na obu końcach skrętki powinien być umieszczony rezystor terminujący o wartości 120 Ω. Przy podłączaniu regulatorów do magistrali musimy pamiętać, aby punkty A, B magistrali RS485 były połączone zgodnie, w przeciwnym wypadku regulatory nie będą mogły się prawidłowo skomunikować.

Regulatory mają domyślnie ustawiony adres MODBUS na wartość 1, więc przed połączeniem ich w sieć dobrze jest podłączyć je indywidualnie z komputerem PC za pomocą konwertera RS485 i za pomocą programu *rt1_service* każdemu z nich przypisać inny adres. Dopiero po skonfigurowaniu każdego regulatora indywidualnie możemy przystąpić do podłączenia regulatorów do sieci. Po skonfigurowaniu i zainstalowaniu urządzeń w obiektach docelowych możemy dobrać nastawy dla regulatora. Możemy postąpić dwojako: albo skorzystać z algorytmu samostrojenia zasytowanego w regulatorze, albo sami dobrać nastawy na podstawie wcześniejszego opisu. W celu rozpoczęcia automa-



Rys. 11. Okno programu sterującego regulatorem RT1

tycznego doboru nastaw musimy wcześniej zapewnić stabilne warunki w pomieszczeniu. W tym czasie nie wolno więc otwierać drzwi, okien itp. Teraz na panelu regulatora wciskamy przycisk symbolizujący wyświetlacz, a następnie przed upływem 0,5 s przycisk ↓. W tym momencie rozpocznie się proces samostrojzenia, który może potrwać nawet kilkanaście godzin (ponieważ stała czasowa obiektu jest bardzo duża). Samostrojzenie składa się z dwóch faz. Pierwsza faza to znalezienie współczynnika τ – na wyświetlaczu pojawia się napis SET1. Po niej następuje faza druga, w której znajdujemy T_z , a na wyświetlaczu pojawia się napis SET2. Kiedy proces samostrojzenia zakończy się, wtedy na wyświetlaczu pojawi się napis GOD, co oznacza że proces samostrojzenia został zakończony pomyślnie. Natomiast, gdy proces samostrojzenia został zakłócony, np. poprzez otwarcie okna, wówczas na wyświetlaczu pojawi się napis ERR i proces samostrojzenia należy powtórzyć. Jeżeli zdecydujemy się na ręczne dobranie nastaw regulatora, to musimy przeprowadzić eksperyment ze skokiem jednostkowym. W tym celu matę grzejną należy dołączyć na stałe i korzystając np. z programu *rt1_work.exe*, który rejestruje dane o temperaturze do pliku tekstowego, zarejestrować zmiany

temperatury od momentu włączenia do chwili, gdy zaobserwujemy, że temperatura przestała już rosnąć. Plik tekstowy importujemy w Excelu i rysujemy wykres funkcji $T=f(t)$. Na podstawie tego wykresu wyznaczamy potrzebne parametry K_p , T_i , T_d zgodnie z procedurą opisaną w części teoretycznej.

Obsługa

Teraz parę słów o obsłudze regulatora. Przycisk o symbolu rezystora służy do załączania lub wyłączania procesu regulacji. Przycisk z symbolem wyświetlacza służy do włączania i wyłączenia wyświetlacza. Przyciski ↑ ↓ służą do zwiększania lub zmniejszania temperatury zadanej. Po wciśnięciu któregoś z tych przycisków na krótko, wyświetlana jest temperatura zadana (normalnie regulator wyświetla temperaturę bieżącą). Dioda żółta sygnalizuje załączenie grzałki i powinna migać cyklicznie lub świecić światłem ciągłym, jeżeli temperatura bieżąca jest mniejsza od temperatury zadanej. Sterowanie regulatorem możemy przeprowadzać również w sposób zdalny za pomocą programu *rt1_work* (rys. 11).

Mamy tutaj możliwość ustawiania wszystkich parametrów regulatora. Możemy także w określonych odstępach czasu dokonywać odczytu temperatury, która jest automatycznie logowana do pliku tekstowego. Do obsługi regulatora możemy użyć także innego, gotowego programu pracującego w protokole MODBUS lub napisać swój własny. W programie służącym do obsługi protokołu MODBUS musimy wybrać odpowiedni port szeregowy i ustawić jego parametry: 1200,e,1 oraz tryb MODBUS–RTU. Poszczególne parametry znajdują się w rejestrach przedstawionych w tab. 1.

Adres MODBUS sterownika ma domyślnie ustawioną wartość równą 1. Zmiana tego adresu jest

Tab. 2. Mapa pamięci EEPROM sterownika

KP	0x0
TI	0x4
TD	0x8
TP	0x0C
Status regulatora	0x10
Temperatura zadana	0x11
Adres sterownika	0x20
0x80	0xFF

możliwa poprzez zmianę zawartości EEPROM-u.

W celu odczytania bajtu danych z pamięci EEPROM należy:

- funkcją 6 ustawić rejestr A101 na żądany adres komórki w pamięci EEPROM,
- funkcją 3 odczytać rejestr A102; zwraca on zawartość komórki pamięci wskazywanej przez rejestr A101.

W celu ustawienia bajtu w pamięci EEPROM należy:

- funkcją 6 ustawić rejestr A101 na żądany adres w pamięci EEPROM,
- funkcją 6 ustawić rejestr A102 na żadaną wartość, która zostanie wpisana do komórki pamięci wskazywanej przez rejestr A101.

Aby powyższe nastawy zostały uwzględnione, należy ponownie wystartować sterownik.

W celu wyzerowania procesora bez odłączania zasilania, należy funkcją 6 wysłać wartość 0xFFFF do rejestru A101. Wówczas sterownik zostanie zrestartowany i odczyta ponownie nastawy z pamięci EEPROM.

Mapa pamięci EEPROM sterownika jest pokazana w tab. 2.

Parametry K_p , T_i , T_d , T_p są liczbami typu float, w których poszczególne bajty są ułożone w kolejności big endian.

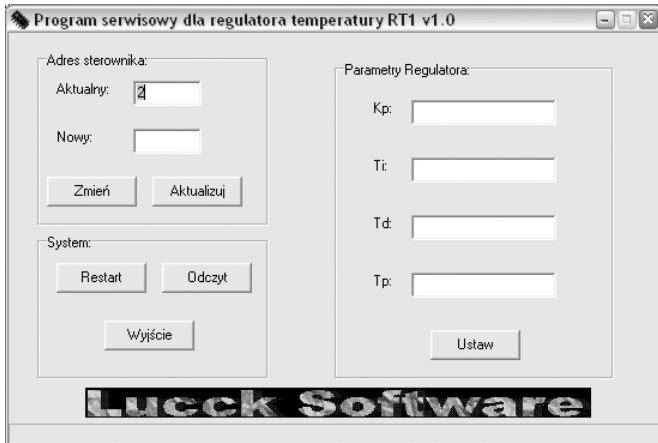
Wygląd okna programu serwisowego *rt1_service.exe* przedstawiono na rys. 12.

Opis programu regulatora

Program regulatora został napisany w języku ANSI-C. Składa się on z programów obsługi przerwań dla: klawiatury, wyświetlacza LED, grupowej regulacji mocy oraz programu głównego, w którym wykonywany jest podstawowy algorytm regulacji. Wszystkie funkcje zostały podzielone na moduły i znajdują się w oddzielnych plikach. W artykule ograniczymy się jedynie do opisu fragmentów programu odpowiedzialnych za regulację PID.

Tab. 1. Rejestry przechowujące parametry regulatora

A1	Temperatura bieżąca np. 21,2°C – rejestr A1 zawiera 212 (tylko odczyt)
A2	Temperatura zadana (zapis/odczyt), np.: 20,0°C=200
A3	Współczynnik mocy, np.70,2%=702 (odczyt)
A4	Włączenie wyświetlacza 0–wyłączony, 1–włączony (zapis/odczyt)
A5	Regulator: 0–wyłączony, 1–włączony
A101	Adres komórki EEPROM
A102	Zawartość komórki – ustawienie



Rys. 12. Okno programu serwisowego *rt1_service.exe*

Obsługa grupowej regulacji mocy grzałki (funkcja *PwmInit*) jest inicjalizowana po uruchomieniu sterownika. Po kolejnych czynnościach inicjalizujących sterownik program wchodzi w pętlę nieskończoną *while(1)* i cyklicznie wykonuje wszystkie funkcje programu.

Na uwagę zasługuje przerwanie zewnętrzne *INT0*, które jest wykorzystywane do grupowego sterowania mocą. Przerwanie to jest zgłaszane na opadającym zboczku. Jak było wcześniej opisane, następuje to na opadających zboczach impulsów szpilkowych z detektora zera.

Zmienna *pwm_p* zawiera współczynnik wypełnienia, czyli określa stosunek czasu załączenia do czasu wyłączenia obwodu. Jest to zmienna 8-bitowa, a więc mamy możliwość regulacji mocy z dokładnością do 0,39%. Do zmiennej *st_pos* przepisywana jest liczba przejść sieci przez zero, jaka musi nastąpić, aby wyłączyć grzałkę. Gdy ta wartość osiągnie zero, wówczas grzałka jest wyłączana, a następnie do zmiennej *st_pos* jest ładowana liczba przejść przez zero przebiegu sieciowego, jaka musi upłynąć, aby znów załączyć grzałkę. W efekcie, w zależności od

255 ≈ 50%). Cały cykl trwa 2,55 s, ale ze względu na bardzo dużą bezwładność grzałki, można mówić o płynnej regulacji mocy.

Proces regulacji PID odpowiedzialny za prawidłowe sterowanie mocą grzałki jest realizowany w stanie załączenia regulatora (jest to normalny stan pracy). Regulacja odbywa się ze stałym cyklem, wyznaczonym przez parametr *TP* (czas próbkowania). Najpierw oczekujemy na zakończenie bieżącego cyklu. Jeżeli cykl trwał już określony czas, to do licznika cyklu *TimL* jest ładowana nowa wartość, określająca nowy czas próbkowania. Następnie wyznaczany jest uchyb procentowy, który jest podawany na wejście funkcji realizującej algorytm PID. W naszym przypadku przyjęto, że temperatura 0 stopni oznacza 0% natomiast temperatura 40 stopni to 100%. Następnie funkcja *RegPid* wyznacza wartość mocy grzałki (również w procentach). Procentowo wyznaczona moc pomnożona przez maksymalny współczynnik zmiennej grupowej regulacji mocy określa moc grzałki.

Regulację PID realizuje funkcja *RegPid()* na podstawie wzoru podanego w części teoretycznej. Musi

tego jaka liczba jest wpisana do zmiennej *pwm_p*, grzałka grzeje z takim stosunkiem procentowym mocy. Jeżeli np. do zmiennej *pwm_p* program główny wpisze wartość 127, wówczas grzałka będzie grzała z ok. 50% mocy maksymalnej (127/

być ona wywoływana cyklicznie, zgodnie z czasem próbkowania, określonym przez parametr *TP*. Jako parametr wejściowy podajemy wartość uchybu, a funkcja zwraca nam wartość sterowania. Na wejście podajemy liczbę, która określa uchyb (z zakresu 0...1, czyli 0...100%). Na wyjściu funkcja ta zwraca nam wartość sterowania również w procentach od 0 do 100%, czyli 0...1. Najpierw wyznaczana jest część proporcjonalna:

```
u=Pid[_KP]*e;
następnie, jeżeli wartość sterowania u nie wyszła poza zakres, wyznaczana jest część całkowa:
```

```
if (!ov) sum+=e;
u+=Pid[_KP]*(Pid[_TP]/Pid[_TI])*sum;
```

Teraz wyznaczamy część różniczkową:

```
u+=Pid[_KP]*(Pid[_TD]/Pid[_TP])*(e-ep);
ep=e;
ov=0;
```

Na końcu sprawdzane są ograniczenia. Jeżeli wartość sterowania będzie większa niż 100% (1.0) lub mniejsza niż 0% (0.0), wówczas ustawiany jest bit blokujący naliczanie całki oraz sterowanie ustawiane jest na wartość maksymalną 100% (1.0) lub minimalną 0% (0.0)

```
if(u > 1.0) {u = 1.0; ov = 1;}
else if(u < 0.0) {u = 0.0; ov = 1;}
return u;
```

W podanym algorytmie bardzo ważne jest sprawdzanie ograniczeń oraz zatrzymanie całkowania, gdy wartość sterowania przekracza 100% lub jest mniejsza niż 0%, w przeciwnym wypadku całka zacznie narastać w nieskończoność i regulator przestanie prawidłowo funkcjonować.

Zainteresowani poznananiem programu mogą ściągnąć jego źródła – program jest zbyt rozległy, aby mógł być tutaj opisany w całości. Informacje dotyczące regulatora można znaleźć na stronie: <http://www.mkeia.com>.

Lucjan Bryndza, EP
lucjan.bryndza@ep.com.pl

R
E
K
L
A
M
A



pld.ep.com.pl