



Cyfrowa stacja lutownicza z regulatorem PID i graficznym wyświetlaczem LCD



AVT 5228

Mimo że w handlu za przystępną cenę dostępne są różne lutownice z regulatorami, jednak czasami działanie tych tańszych jest niezadowolające. Prezentujemy projekt regulatora do lutownicy, który może być panaceum na takie sytuacje lub po prostu pozwoli nie wyrzucać lutownicy, której regulator uległ uszkodzeniu.

Niewątpliwie atutem naszego regulatora jest czytelny, kolorowy wyświetlacz i możliwość ustawiania parametrów z poziomu menu.

Rekomendacje: to doskonała propozycja dla każdego, nie tylko elektronika. Na pewno znajdzie swoje miejsce w każdym warsztacie.

Wskazane jest, aby stacja lutownicza miała jak najlepszą stabilizację temperatury. Jednak najczęściej producenci wykorzystują histerezę o znacznej wartości. Takie sterowanie grzałką o dużej bezwładności jest mało efektywne (wahania temperatury wynoszą np. $\pm 15^{\circ}\text{C}$), choć w większości przypadków wystarczające. W dobie wszechobecnych mikrokontrolerów nic nie stoi na przeszkodzie, aby zastosować cyfrowy algorytm regulacji temperatury, co najważniejsze – nie zwiększając kosztów regulatora.

W przypadku sterowania grzałką (w tym przypadku grzałką kolby lutowniczej) najefektywniejsze wyniki daje algorytm PID (proporcjonalno-różniczkująco-całkujący), który zapewnia dokładność temperatury na poziomie nawet $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Dokładność jest w dużym stopniu zależna od parametrów nastaw regulatora. Jego implementacja nie stanowi większego problemu, należy tylko dokonać dyskretyzacji algorytmu.

Wzór dyskretnego regulatora PID wygląda następująco:

AVT-5228 w ofercie AVT:
AVT-5228A – płytka drukowana

Podstawowe informacje:

- Zasilanie: 230 VAC
- Obciążenie: lutownica o mocy do 40 W i napięciu zasilania 24 V wyposażona w termoparę K
- Zakres nastaw: $+60 \dots 450^{\circ}\text{C}$, dokładność 1 K
- Funkcje: regulacja PID, sleep, samostrojzenie
- Mikrokontroler: ATmega16 taktowany zegarem 16 MHz
- Wyświetlacz kolorowy z telefonu Nokia 3510i, podświetlenie LED
- Płytko drukowana: jednostronna, o wymiarach 75x93 mm

Dodatkowe materiały na CD i FTP:

- <ftp://ep.com.pl>, user: 16489, pass: 1xh8b8t1
- wzory płytek PCB
- program
- karty katalogowe i noty aplikacyjne elementów oznaczonych na Wykazie elementów kolorem czerwonym

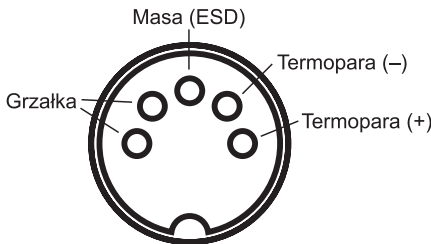
Projekty pokrewne na CD i FTP:

- (wymienione artykuły są w całości dostępne na CD)
- AVT-987 Cyfrowa stacja lutownicza RL1 (EP 7-8/2007)
- AVT-420 Stacja lutownicza (EP 5/1998)
- AVT-2727 Cyfrowa stacja lutownicza (EdW 7/2004)
- Stacja lutownicza – projekt 050 (EP 8/1998)

$$u(k) = k_p \left(e(k) + \frac{T_p}{T_i} \sum e(i-1) + \frac{T_d}{T_p} (e(k) - e(k-1)) \right)$$

We wzorze wyróżniamy człon proporcjonalny P o wzmacnieniu k_p , całkujący I o czasie zdwojenia T_i oraz różniczkujący D o czasie wyprzedzenia T_d . Działaniu algorytmu PID poddaje się uchyb regulacji, tj. różnicę wartości na wyjściu obiektu (temperatura aktualna) oraz wartości wejściowej (temperatura zadana). Po wyliczeniu wartości sygnału sterującego następuje wyregulowanie urządzenia zgodnie z oczekiwaniem, czyli w tym przypadku – podanie impulsu sterującego o odpowiedniej długości.

Problemem może okazać się dobranie wspomnianych parametrów regulatora. Istnieje wiele metod ich obliczania. Najczęściej obliczenia wykonuje się, wystawiając badany obiekt na działanie skoku jednostkowego oraz obserwując sygnał wyjściowy. Na ich podstawie określa się opóźnienie obiektu (czas reakcji od chwili włączenia), stałą czasową oraz wzmacnienie. Następnie określa się poszczególne parametry, korzystając z odpowiednich tablic i zależności. Można jednak uniknąć tych żmudnych obserwacji i obliczeń. Prezentowana stacja jest wyposażona w algorytm samostrojenia, a już standardowo doskonale współpracuje z popularnymi kolbami SL1 Pensol firmy Solomon (wersja ESD – czarna i bez ESD – biała z niebieską nasadką). Opis wyprowadzeń wtyczki kolby pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Opis wyprowadzeń wtyczki kolby lutowniczej

Budowa oraz działanie

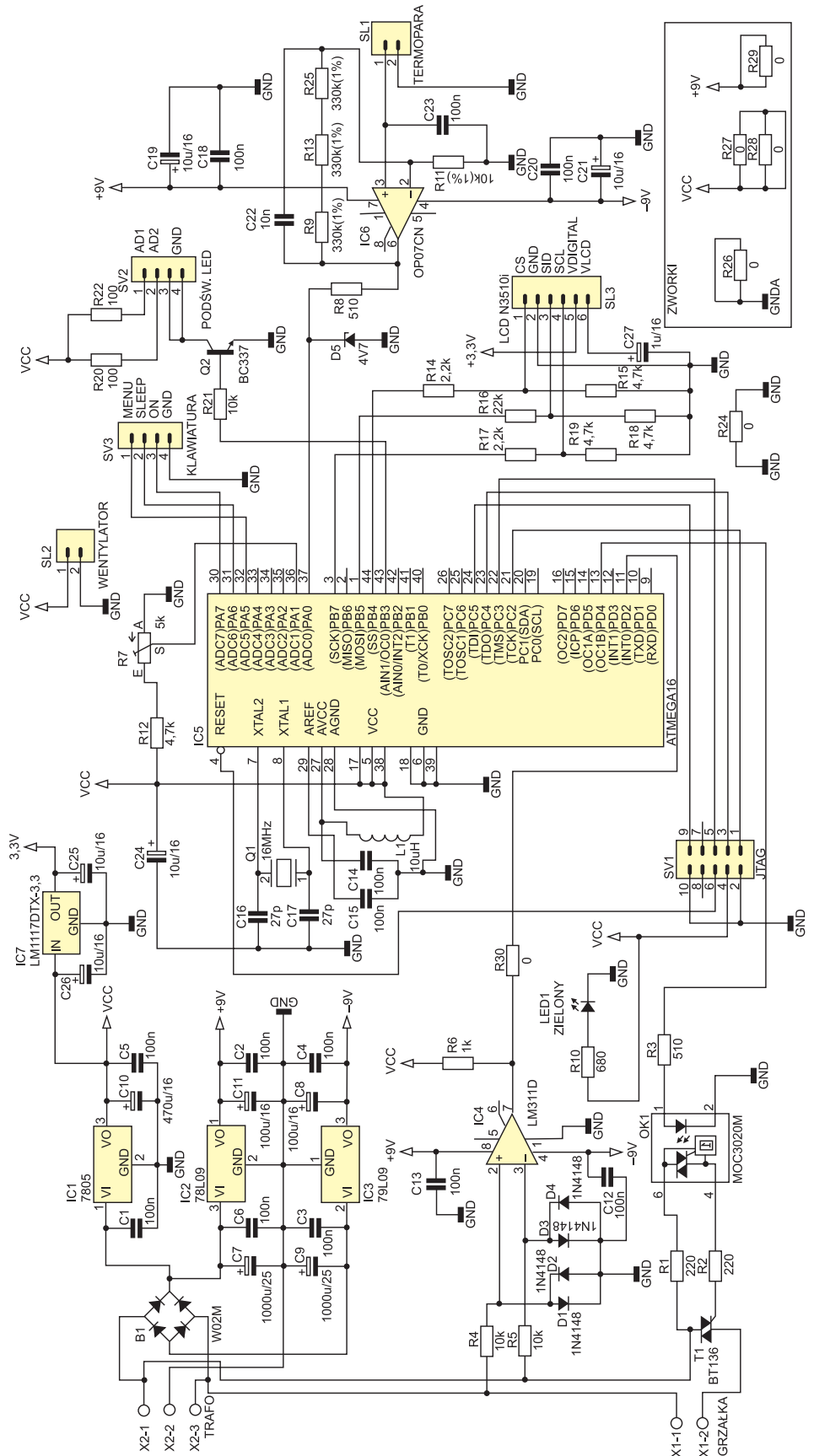
Schemat ideowy regulatora pokazano na rys. 2. Zasilania dostarcza transformator 2x12 V/2 A. Pozwala to na zasilanie zarówno części sterującej, jak i kolby o napięciu 24 V i mocy 48 W.

Zasilacz regulatora wytwarza napięcie symetryczne 9 V wymaganego do zasilania wzmacniaczy operacyjnych, 5 V dla mikrokontrolera oraz 3,3 V dla wyświetlacza LCD. Zbudowano go z mostka, kondensatorów filtrujących oraz popularnych stabilizatorów liniowych 78xx. Do stabilizowania napięcia 9 V zastosowano stabilizator typu „L”, o prądzie obciążenia wynoszącym 100 mA. Napięcia 3,3 V dostarcza stabilizator LM1117-3.3V, natomiast 5 V standardowy stabilizator LM7805, który warto przymocować do radiatora.

Sercem regulatora jest mikrokontroler ATmega16, który pracuje taktowany częstotliwością 16 MHz. Elementem wykonawczym jest triak sterowany przez optotriak i przełączany w momencie przejścia fazy

przez zero. Triak należy wyposażyć w niewielki radiator.

Układem odpowiedzialnym za sygnalizację przejść fazy przez zero jest detektor zbudowany w oparciu o wzmacniacz operacyjny LM311N.



Rys. 2. Schemat ideowy regulatora stacji lutowniczej

Wykaz elementów

Rezystory:

- R1, R2: 220 Ω
- R3, R8: 510 Ω
- R4, R5, R21: 10 kΩ
- R7: 5 kΩ (potencjometr)
- R9, R13, R25: 330 kΩ/1%
- R10: 680 Ω
- R11: 10 kΩ/1%
- R12, R15, R18, R19: 4,7 kΩ
- R14, R16, R17: 2,2 kΩ
- R20, R22: 100 Ω
- R24, R26...R30: 0 Ω (SMD 1206)
- R6: 1 kΩ

Kondensatory:

- C1...C6, C12...C15, C18, C20, C23: 100 nF
- C7, C9: 1000 μF/25 V
- C8, C11: 100 μF/16 V
- C10: 470 μF/16 V
- C16, C17: 27 pF
- C19, C21, C24...C26: 10 μF/16 V
- C22: 10 nF
- C27: 1 μF/16 V

Półprzewodniki:

- D1...D4: 1N4148
- IC1: 7805
- IC2: 78L09
- IC3: 79L09
- IC7: LM1117-3,3V
- IC5: ATmega16 (SMD)
- Q2: BC337
- T1: BT136
- OK1: MOC3020M
- IC6: OP07CN
- IC4: LM311
- B1: W02M (mostek 1,5 A)
- LED (zielony)
- D5: dioda Zenera 4,7 V

Inne:

- L1: 10 μH
- Q1: kwarc 16 MHz
- LCD z Nokii 3510i
- SW1, SW2, SW3: mikroprzyciski
- TRANSFORMATOR 2 × 12 V, 2 A
- Lutownica np. Pensol SL1 (TME)
- SV1: gniazdo IDC 10 pin (JTAG)
- X1: Gniazdo DIN na panel 5 pin (DC-102)
- SV2, SV3, SL1...SL3: goldpin 2,54 mm

Generuje on na wyjściu przebieg prostokątny, który z kolei uruchamia odpowiednie przerwanie. Do pomiaru temperatury kolby (termopara typu K) zastosowano wzmacniacz operacyjny OP07 o wzmacnieniu ustalonym za pomocą rezystorów na wartość 100. Jeśli z jakichś względów konstrukcyjnych wymagane jest inne wzmacnienie, to w pewnym zakresie można je skorygować z poziomu menu. Kondensator w pętli sprzężenia zwrotnego ma za zadanie ograniczyć pasmo przenoszenia wzmacniacza.

Wzmocnione napięcie z termopary jest podawane na jedno z wejść przetwornika A/C mikrokontrolera. Ze względu na fakt, że mikrokontroler jest zasilany innym napięciem (5 V) niż LCD (3,3 V), do linii sterujących wyświetlaczem podłączono dzielnik składający się z dwóch rezystorów dla każdej linii. Najlepiej zastosować rezystory precyzyjne, tak aby napięcie na wyjściu dzielnika wynosiło ok. 3,3 V. Jest to ważne, ponieważ jeśli napięcie będzie niższe, to podczas transmisji danych do wyświetlacza mogą pojawić się błędy.

Wyświetlacz nie ma wbudowanego podświetlenia i dlatego niezbędne było wyposażenie regulatora w zasilacz diod LED mogących posłużyć do podświetlenia tła LCD. Zdecydowano się na sterowanie diod z użyciem sygnału PWM, co pozwala na regulację jasności świecenia (np. zmniejszenie jasności podświetlenia w trybie uśpienia). Diody połączone są równolegle, tj. katody diod są zwarte na doprowadzeniu tranzystora, natomiast do anod podłączone są osobne rezystory ograniczające prąd (po jednym dla każdej z diod).

Modelowa stacja ma podłączone do gniazda bananowego z tyłu obudowy doprowadzenie uziemienia grota. Pozwala to na lutowanie zgodnie z zasadami zabezpieczenia przed wyładowaniami elektrostatycznymi, jednak pod warunkiem zastosowania odpowiedniej kolby lutowniczej. Wyprowadzono również zasilanie 5 V dla wentylatora, lecz w trakcie użytkowania okazało się, że nie jest on potrzebny.

Wyłącznik sieciowy stacji jest włączony szeregowo w obwód uzwojenia pierwotnego transformatora.

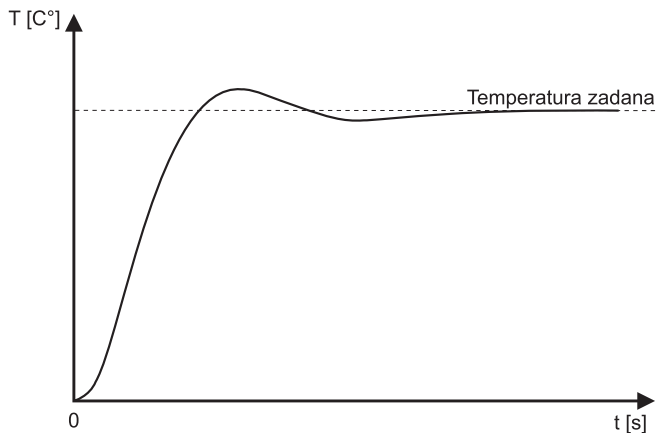
Program sterujący

Oprogramowanie stacji napisano w języku C. Posłużono się przy tym darmowym kompilatorem AVR-GCC pracującym w środowisku AVR Studio. Programowanie oraz debugowanie jest możliwe dzięki złączu JTAG.

Po włączeniu stacji wyświetlany jest ekran powitalny, a następnie ekran główny (fot. 4). Są na nim wyświetlane: temperatura grota, temperatura zadana, zakres regulacji, stan włączenia oraz obrazek lutownicy, której końcówka zmienia kolor w trakcie rozgrzewania się grzałki. Widoczny jest też wskaźnik pokazujący odchyłkę pomiędzy temperaturą grota a temperaturąadaną. „Wychyla się” on albo w prawą (do t0 +24°C), albo w lewą stronę (do t0 -24°C), zależnie od znaku różnicy i jej wartości. Zależnie od różnicy zmienia się również kolor czcionki temperatury grota: niebieski (-) – zielony – czerwony (+).

Temperaturę grota ustawia się potencjometrem wyskalowanym od 0 do 100°C oraz zakresem zmienianym przyciskiem (zakres 0, 100, 200, 300, 400). Zakres jest zapisywany do pamięci automatycznie po 5 sekundach od ustawienia, dzięki czemu po włączeniu lutownicy ustawiany jest ostatni zapis. Minimalna temperatura, jaką można uzyskać, to 60°C, maksymalna 450°C. Grzanie można włączyć przyciskiem ON/OFF.

Regulator można przełączyć w tryb uśpienia przyciskiem SLEEP. Wtedy podświetlenie



Rys. 3. Działanie regulatora PID

LCD zostanie przyciemnione, a temperatura grota spada do połowy temperatury zadanej. Wyjście z tego trybu następuje po ponownym wciśnięciu przycisku SLEEP. Jeśli stacja pozostaje w trybie uśpienia dłużej niż 30 minut, to automatycznie przestawi się w tryb wyłączenia. Można ją wtedy jeszcze raz włączyć przyciskiem ON/OFF.



Fot. 4. Ekran główny, wyświetlany podczas pracy



Fot. 5. Ekran menu głównego



Fot. 6. Ekran procedury samostrojzenia

List. 1. Funkcja wysyłająca dane do LCD

```
//Funkcja - 0-dana, 1-instrukcja
void LCD_Out(uint8_t Dana, uint8_t Funkcja)
{
    uint8_t x;
    if(Funkcja) PORTB |= LCD_CS;
    LCD_PORT &= ~(LCD_CLK|LCD_CS);
    LCD_PORT |= LCD_SIO;
    if(Funkcja) LCD_PORT &= ~LCD_SIO;
    LCD_PORT |= LCD_CLK;
    for(x=0; x<8; x++)
    {
        LCD_PORT &= ~(LCD_SIO|LCD_CLK);
        if(Dana & 128) LCD_PORT |= LCD_SIO;
        LCD_PORT |= LCD_CLK;
        Dana=Dana<<1;
    }
}
```

Stacja ma MENU, dzięki któremu można zmienić nastawy, takie jak: wzmocnienie, parametry regulatora PID (Kp, Td, Ti, Tp) oraz wykonać samostrojenie. Menu (fot. 5) jest wywoływane przez przytrzymanie przycisku MENU. Zmianę opcji wykonuje się klawiszami góra/dół, natomiast ich nastawa jest dostępna po wciśnięciu przycisku MENU. Zmieniać parametry można o jedną jednostkę naciskając, klawisze góra/dół lub o dziesięć jednostek, naciskając i przytrzymując dłużej te same klawisze.

Po uruchomieniu procedury samostrojenia na ekranie lutownicy wyświetlony zostaje aktualny status regulacji oraz temperatura (fot. 6). Samostrojenie można przerwać w każdej chwili, naciskając klawisz MENU. Jeśli zostanie ono zakończone sukcesem, to na LCD zostanie wyświetlona propozycja zapisu nastaw do pamięci nieulotnej EEPROM. Procedurę można uruchomić tylko i wyłącznie wtedy, gdy temperatura grota jest równa temperaturze pokojowej, czyli wynosi około 25°C. Funkcja samostrojenia wylicza odpowiednie parametry regulacji na podstawie zebranych pomiarów, korzystając z odpowiednich kryteriów doboru nastaw parametrów PID.

Warto wspomnieć o tym, jak wyliczana jest temperatura termopary lutownicy. Otrzymywany z termopary sygnał jest wzmacniany dla uzyskania odpowiedniej rozdzielczości pomiaru, a następnie wewnętrznie znów jest przekształcany do postaci swojej reprezentacji w mV (odtworzane jest rzeczywiste napięcie termopary). Napięcie termopary jest podstawiane jako zmienna wielomianu o odpowiednio dobranych współczynnikach. Najprościej taki wielomian obliczyć schematem Hornera. W ten sposób otrzymuje się bardzo dokładną wartość temperatury z termopary (błąd obli-

czeń nie przekracza 0,05°C, nie licząc niepewności odczytu i przetwarzania przez przetwornik ADC). Obliczanie wielomianu nie jest wymagane, a termoparę można potraktować jako element liniowy lub też stworzyć tablice wartości temperatur dla poszczególnych napięć, lecz te metody zajmują więcej miejsca w pamięci mikrokontrolera, będąc przy tym mniej dokładne niż metoda liczenia wielomianu.

Zastosowany wyświetlacz LCD komunikuje się z mikrokontrolerem z użyciem interfejsu szeregowego SPI. Słowo przesyłane do wyświetlacza ma długość 9 bitów. W związku z tym że standardowy, sprzętowy interfejs SPI ATmegi wysyła dane 8-bitowe, znacznie prostsze było zaimplementowanie programowego interfejsu szeregowego, aniżeli „przymuszanie” sprzętowego SPI do wysyłania słów o niestandardowej długości. Funkcję wysyłającą dane do wyświetlacza LCD pokazano list. 1.

Przy pierwszym grzaniu grota widać wyraźnie oddziaływanie regulatora PID. Objawia się to tym, że temperatura wykracza o kilka stopni poza temperaturę zadaną, następnie spada o kilka stopni poniżej tej wartości, by w końcu ustabilizować się (rys. 5). Funkcja sterująca PID działa w ten sposób, że co pewien czas (ustalony przez czas próbkowania) obliczany jest uchyb regulacji (liczba z zakresu 0...1), po czym jest on poddawany działaniu algorytmu PID przedstawionego na list. 2. Następnie wyliczona wartość jest odpowiednio interpretowana przez przerwanie, które ma za zadanie wysterować wyjście grzałki.

Okres sterowania wynosi 2,55 sekundy, co jest odpowiednie dla takiego obiektu jak grzałka mająca sporą inercję termiczną. W czasie tych 2,55 sekund następuje włączenie grzałki na czas otrzymany z regulatora PID. Jeśli np. efektem działania funkcji regulatora była liczba 0,45, to czas włączenia grzałki będzie równy $0,45 \cdot 2,55 = 1,14$ sekundy, a czas wyłączenia $2,55 - 1,14 = 1,41$ sekundy. Po upływie czasu określonego przez czas próbkowania proces powtarza się. Takie sterowanie można porównać do sterowania PWM o bardzo niskiej częstotliwości.

Bardziej zaawansowaną funkcją jest funkcja samostrojenia. Po jej wyborze następuje znalezienie czasu opóźnienia dla obiektu. Jest

to czas reakcji obiektu na wymuszenie, w tym przypadku na zmianę temperatury. Jeśli temperatura wzrośnie o 4 stopnie od temperatury początkowej, to oznacza, że wartość opóźnienia została znaleziona i wynosi dokładnie tyle, ile potrzebne było na wywołanie zmiany temperatury. Następnie szukany jest czas obiektu oraz jego wzmocnienie. Obie wartości zostaną znalezo-

Ustawienia fusebitów

```
(0-zaprogramowany):
CKSEL3.:0:1111
CKOPT: 0
JTAGEN: 0
SPIEN: 0
BOOTRST: 1
BODEN: 0
BODLEVEL: 0
SUT1: 0
SUTO: 1
```

ne, gdy stan obiektu zostanie ustalony, czyli w tym wypadku zostanie osiągnięta temperatura maksymalna. W uproszczeniu można powiedzieć, że czasem obiektu jest czas narastania temperatury, a wzmocnieniem jej wartość. Na podstawie otrzymanych wartości obliczane są poszczególne parametry regulacji. Omówione tu metody są dużym przybliżeniem problematyki regulatorów, która jest o wiele szersza.

Przetwornik A/C działa z wewnętrznym źródłem napięcia odniesienia o wartości 2,56 V. Jednak zastosowanie potencjometru do nastaw temperatury wymusiło zastosowanie razem z nim dzielnika rezystancyjnego. Tworzą go wspomniany potencjometr oraz rezystor. W ten sposób na skrajnych stykach potencjometru występuje napięcie od 0 do ok. 2,57 V. Jako że przetwornik ADC dla maksymalnego napięcia odniesienia zwraca wartość 1023, a ustawiona wartość na potencjometrze ma zakres od 0 do 100, wartość z przetwornika została odpowiednio skorygowana w programie.

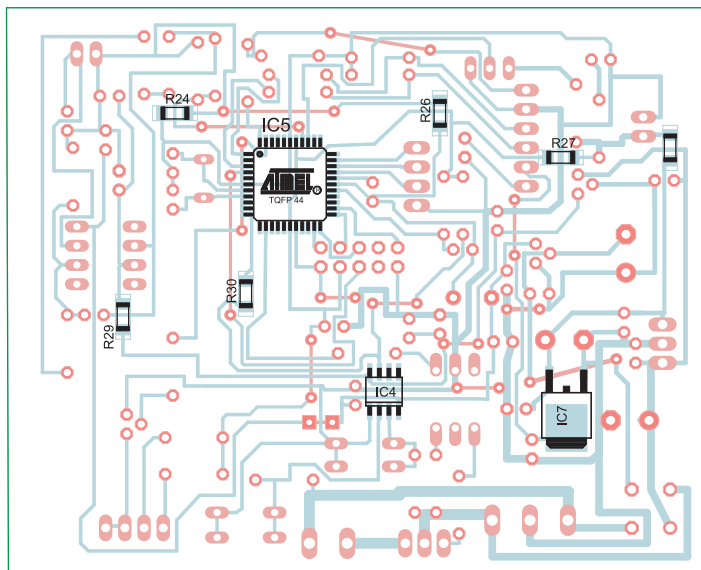
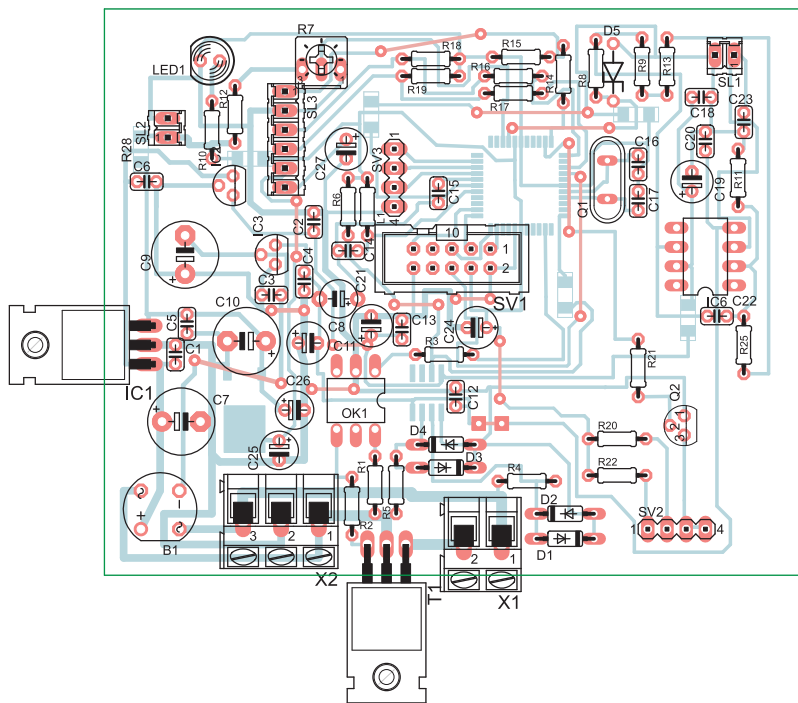
Montaż i uruchomienie

Schemat montażowy regulatora pokazano na rys. 7. Całość zmontowano na pojedynczej, jednostronnej płytce drukowanej. Umieszczono na niej moduł zasilacza oraz części cyfrową i analogową. Elementy, takie jak przyciski, wyświetlacz czy potencjometr, są przymocowane do panelu głównego, toteż ich styki doprowadzono do odpowiednich złączy.

Część elementów, takich jak mikrokontroler, wzmacniacz operacyjny czy LM1117, są w wersji SMD. W celu zmniejszenia liczby przelotek zastosowano kilka zworek SMD 1206 w miejscach, w których występowało przecięcie z jedną ścieżką.

List. 2. Funkcja regulacji PID

```
float RegPID(float e)
{
    static float sum=0, ep=0;
    float u;
    static u08 ov = 0;
    u = pid[_KP] * e;
    if(!ov) sum += e;
    u += pid[_KP] * (pid[_TP]/pid[_TI]) * sum;
    u += pid[_KP] * (pid[_TD]/pid[_TP]) * (e - ep);
    ep = e;
    ov = 0;
    if(u > 1.0) {u = 1.0; ov = 1;}
    else if(u < 0.0) {u = 0.0; ov = 1;}
    return u;
}
```



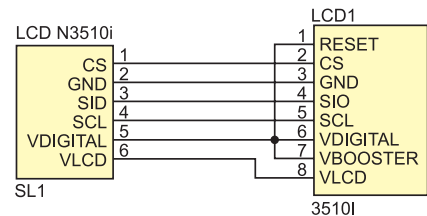
Rys. 7. Schemat montażowy regulatora

Zrezygnowano z gniazd typu ARK, ponieważ wylutowano kable zasilające bezpośrednio do płytki. Ścieżki połączone do tych punktów lutowniczych dodatkowo pocynowano. Wyprowadzenia wszystkich sygnałów z płytki zrealizowano za pomocą popularnych złączy kołkowych tzw. golpinów. Na nie są wciskane bezpośrednio złącza zaciśnięte na kablu oraz zaizolowane za pomocą koszulek termokurczliwych. Jedynie złącze JTAG to popularne IDC.

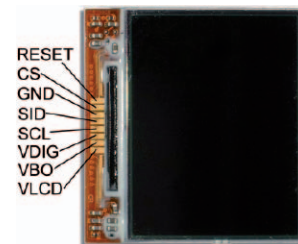
Masę części analogowej poprowadzono osobno, łącząc ją z masą części cyfrowej w jednym miejscu w celu ograniczenia zakłóceń docierających do przetwornika A/C. W torze wzmacniacza napięcia termopary należy zastosować jak najdokładniejsze rezystory. W pętli sprzężenia zwrotnego zastosowano 3 rezystory o wartości 330 kΩ. Spowodowane jest to faktem, że wymaganego rezystora 990 kΩ nie ma w typoszeregu.

Całość zamknięto w odpowiednio wyprofilowanej obudowie po zasilaczu ATX. Panel przedni wykonany jest z laminatu, od wewnętrznej strony na miedzi przylutowane są przyciski, diody LED. W stacji z powodu braku miejsca zrezygnowano ze złącza programowania ISP na rzecz złącza JTAG. Nic jednak nie stoi na przeszkodzie, żeby zaprogramować mikrokontroler przez ISP – trzeba tylko przylutować odpowiednie przewody do procesora. Zaprogramować należy pamięć Flash oraz EEPROM. Co prawda w przypadku braku parametrów w pamięci zostaną one zapisane przy pierwszym uruchomieniu stacji, jednak w EEPROM są umieszczone również wzory niektórych obrazów.

Do poprawnej pracy należy przeprowadzić kalibrację toru analogowego stacji. W tym celu konieczne jest określenie wzmacnienia. Aby to zrobić, na wejście złącza termopary należy po-



Rys. 8. Schemat podłączenia wyświetlacza LCD do złącza SL1



Rys. 9. Opis wyprowadzeń wyświetlacza LCD z telefonu Nokia 3510i

dać niskie napięcie rzędu kilkudziesięciu mV i zmierzyć napięcie wyjściowe. Jeśli nie będzie ono 100 razy większe, to trzeba obliczyć mnożnik i skorygować nastawę w menu stacji. Brak kalibracji może objawiać się złymi pomiarami temperatury, ale im dokładniejsze rezystory zastosowane we wzmacniaczu napięcia termopary, tym jest mniejszy uchyb wzmacnienia.

Przy pierwszym uruchomieniu wyświetlana jest informacja o wczytaniu parametrów standardowych, jednak warto wywołać procedurę samostrojenia. Można także wymusić załadowanie wartości standardowych dla kolby SL1, przytrzymując wciśnięte klawisze SLEEP oraz ON przy włączaniu lutownicy głównym wyłącznikiem.

Schemat podłączenia wyświetlacza LCD z telefonu Nokia 3510i pokazano na rys. 8, a opis jego wyprowadzeń na rys. 9. Wyświetlacz zamontowano w oryginalnej ramce, oczywiście po jej odpowiednim obciążeniu i wyprofilowaniu. Tworzywo ramki zostało użyte jako światłowód dla diod podświetlenia. Mimo to jest trudno dobrze podświetlić cały LCD. Zalecane jest zastosowanie diod o dużym kącie rozwarcia światła oraz o dużej jasności. Dodatkowo, trzeba je dobrze zamocować, tak aby trafiły w miejsca dla nich przeznaczone (2 małe wycięcia w dolnej części pod wyświetlaczem).

Program zajął blisko 100% pamięci Flash w ATmedze 16, nawet po zastosowaniu optymalizacji – Os. Można by było jeszcze bardziej rozbudować menu lutownicy, dodać nowe funkcje, takie jak automatyczne przejście w stan uśpienia, lecz wymaga to użycia innego mikrokontrolera, z większą ilością pamięci programu.

Konstrukcja lutownicy powstała na bazie publikowanej w EP 7 i 8/2007 „Cyfrowej stacji lutowniczej RL1” (AVT-987). Autor artykułu dziękuje panu Lucjanowi Bryndza za przekazane materiały i okazaną pomoc.

Miroslaw Szlachetka
mirek.szlachetka@wp.pl