

# Cyfrowa stacja lutownicza RL1, część 1

## AVT-987

Stację lutowniczą umożliwiającą ustawienie wybranej temperatury w sposób analogowy za pomocą potencjometru można nabyć już za około 300 zł. Trzeba jednak pamiętać, że proste stacje wykorzystując do regulacji temperatury najczęściej regulację dwustanową typu załącz-wyłącz, przez co temperatura grota może oscylować wokół ustawionej wartości nawet o kilkadziesiąt stopni.

### Rekomendacje:

lutownica to podstawowe narzędzie elektronika; wykonanie stacji według poniższego projektu pozwoli zaoszczędzić trochę funduszy.



Jeżeli zależy nam na precyzyjnej stabilizacji temperatury, do sterowania grzałki należy wykorzystać algorytm regulacji ciągłej, w którym w zależności od wartości temperatury, moc grzałki jest regulowana płynnie. Zaprezentowana w artykule stacja lutownicza, wykorzystuje do regulacji ciągły algorytm PID (proporcjonalno-całkująco-różniczkujący), zapewniając precyzyjne utrzymywanie temperatury na wybranym poziomie. Czytelny wyświetlacz LCD wyświetla temperaturę zadaną, temperaturę bieżącą oraz procentową moc grzałki lutownicy. Do regulacji mocy grzałki zastosowano algorytm grupowej regulacji mocy, który umożliwia płynną regulację mocy, zapewniając przy tym minimalny poziom zakłóceń radioelektrycznych. Stacja może pracować w trzech trybach: w trybie załączenia (zadana temperatura jest utrzymywana na ustawionym poziomie), w trybie uśpienia (temperatura jest utrzymywana na połowie temperatury zadanej, co umożliwia później powrót do temperatury nominalnej w ciągu dziesięciu sekund oraz powoduje zmniejszenie utleniania grota) oraz w trybie całkowitego wyłączenia (grzałka jest wyłączona). Stacja może współpracować z dowolną lutownicą posiadającą termoparę typu K i grzałkę na napięcie 24 V. Została wyposażona w algorytm au-

tomatycznego doboru nastaw, umożliwiając tym samym zastosowanie dowolnej lutownicy, która posiada czujnik temperatury w postaci termopary typu K. Doboru nastaw stacji dokonujemy tylko raz po pierwszym włączeniu lutownicy lub po jej wymianie. Po wykonaniu samonastrajania parametry regulatora są zapamiętywane w pamięci EEPROM.

### Budowa urządzenia

Schemat elektryczny sterownika mikroprocesorowego stacji przedstawiono na rys 1, na rys. 2 natomiast schemat zasilacza. Sercem sterownika jest dobrze znany wszystkim czytelnikom mikrokontroler ATmega8 (U1) posiadający 8 kB pamięci Flash i 1 kB pamięci RAM, oraz 10-bitowy przetwornik A/C wykorzystywany do pomiaru temperatury. Do taktowania mikrokontrolera wykorzystano klasyczny układ z zewnętrznym rezonatorem kwarcowym o częstotliwości 8 MHz (X1). Dość duża częstotliwość pracy mikrokontrolera jest podyktowana wykorzystywaniem przez algorytm sterujący liczb zmiennoprzecinkowych. Do komunikacji z użytkownikiem służy wyświetlacz LCD 2x16 znaków, który ze względu na oszczędność wyprowadzeń pracuje w trybie 4-bitowym. Linie danych D0...D3 wyświetlacza zostały podłączone do linii PD4...PD7, natomiast linie

#### PODSTAWOWE PARAMETRY

- Współpraca z dowolną lutownicą na napięcie 24 V wykorzystującą jako czujnik temperatury termoparę typu K (na przykład Pensol SL1)
- Regulacja PID zapewniająca dużą stabilność temperatury
- Dokładność pomiaru temperatury: 1°C
- Zakres regulacji temperatury 80...450°C
- Funkcja SLEEP redukująca utlenianie grota
- Samostrojenie regulatora dostosowujące nastawy regulatora PID do lutownicy

**WYKAZ ELEMENTÓW**

*Płytki zasilacza*

**Rezystory**

- R1, R2: 10 kΩ (1206)
- R3: 1 kΩ (1206)
- R4, R5: 220 Ω (1206)
- R6: 510 Ω (1206)

**Kondensatory**

- C1, C2: 1000 μF/25 V
- C3, C4, C5, C8, C9, C11, C12, C13: 100 nF (1206)
- C6, C7: 100 μF/16 V
- C10: 470 μF/16 V

**Półprzewodniki**

- M1: B1000C1500R mostek prostowniczy
- TY1: BT136 triak
- D1, D2, D3, D4: LL4148
- U4: LM311N smd
- U3: LM7805
- U1: LM78L09
- U2: LM79L09
- Q1: MOC3020

**Inne**

- J3: złącze
- J1: złącze ARK3
- J2: złącze ARK2

*Płytki sterownika*

**Rezystory**

- ZM1: 0 Ω
- P1: 10 kΩ potencjometr
- R5: 10 kΩ 1% (1206)
- R1: 22 kΩ (1206)
- R2, R3: 510 Ω (1206)
- R4: 990 kΩ 1% (1206)

**Kondensatory**

- C2, C5, C7, C8, C10, C11, C12: 100 nF (1206)
- C1, C6, C13: 10 μF/16 V
- C3, C4: 27 pF (1206)
- C9: 470 nF (1206)

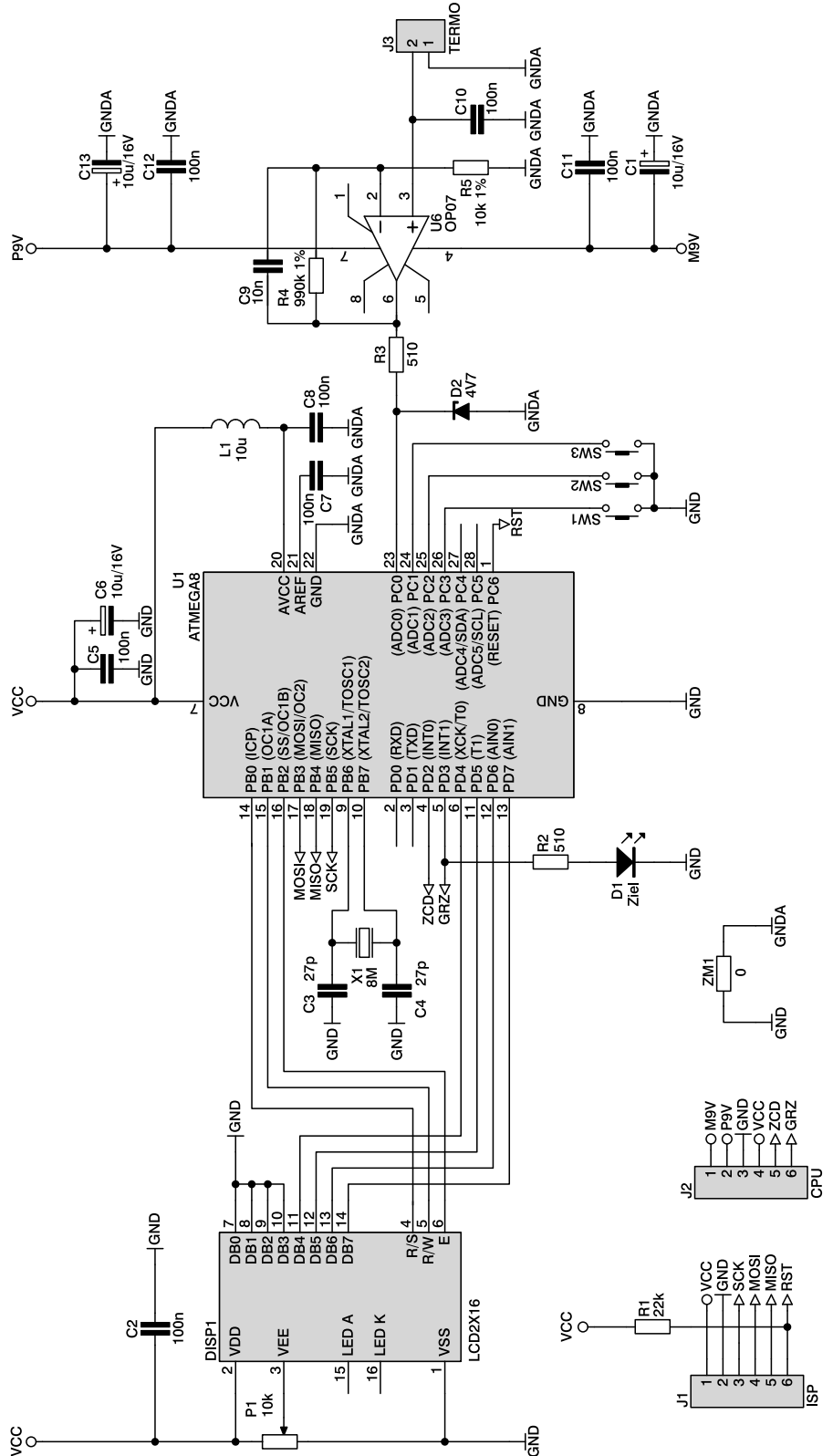
**Półprzewodniki**

- D2: dioda Zenera 4V7 smd
- U1: ATmega8 zaprogramowany
- U6: OP07 smd
- D1: dioda LED

**Inne**

- L1: 10 μH
- X1: kwarc 8 MHz
- J1, J2: złącze
- DISP1: DTECH162A – wyświetlacz LCD2x16
- SW1, SW2, SW3: mikroprzyciski
- J3: złącze ARK2
- \* Transformator TST100 2x12 V
- \* Lutownica SL1 (TME)

elementy oznaczone \* nie wchodzi w skład zestawu

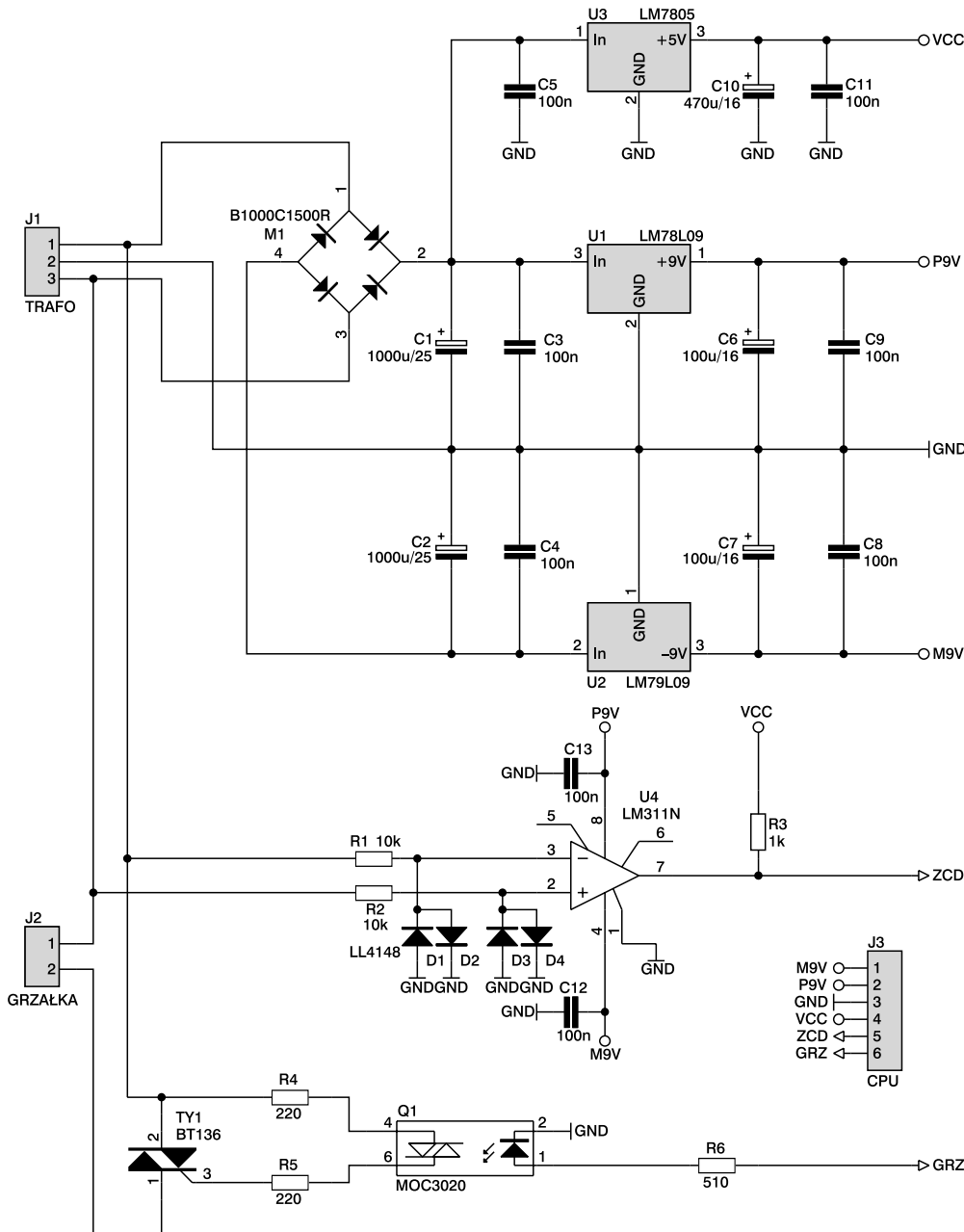


Rys. 1. Schemat elektryczny sterownika mikroprocesorowego stacji

sterujące RS, RW, E do linii portu PB0...PB2. Dzięki wykorzystaniu wszystkich linii sterujących możemy sprawdzać stan zajętości wyświetlacza LCD w programie. Potencjometr montażowy P1 podłączony do linii VEE służy do regulacji kontrastu

wyświetlacza. Do linii portu PC1...PC3 została podłączona klawiatura z trzema przyciskami służąca do komunikacji z użytkownikiem. Napięcie z termopary umieszczonej w lutownicy podawane jest na klasyczny wzmacniacz nieodwracający

zbudowany w oparciu o wzmacniacz operacyjny OP07 (U6). Układ ten charakteryzuje się niewielkim napięciem niezrównoważenia. Napięcie występujące na termoparze typu K dla różnicy temperatur 500°C wynosi około 21 mV, więc aby wyko-



Rys. 2. Schemat ideowy zasilacza

rzystać jak największy zakres przetwornika A/C, wzmacnienie wzmacniacza zostało ustalone na 100. Dla wyżej wspomianej temperatury napięcie wyjściowe będzie miało wartość ok. 2,1 V. W pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego, równolegle do rezystora podłączono kondensator o wartości 10 nF, który powoduje ograniczenie pasma przenoszenia wzmacniacza do około 10 Hz. Wyjście wzmacniacza, za pośrednictwem ogranicznika z diodą Zenera D2 i rezystora R3, podłączone jest do wejścia ADC0 przetwornika A/C. Do wejścia INTO (PD2) podłączony jest sygnał informujący o przejściu napięcia zasilającego przez zero,

który jest wykorzystywany do sterowania grzałką według algorytmu grupowej regulacji mocy. Linia PD3 jest wykorzystywana do sterowania załączeniem grzałki, której układ sterujący znajduje się w bloku zasilacza. Do linii PD3 podłączona jest także dioda LED (D1), sygnalizująca stan załączenia grzałki. Zasilanie części analogowej mikrokontrolera podłączono za pomocą filtra L1, C8, zapobiegającego przedostawaniu się zakłóceń z części cyfrowej mikrokontrolera. Blok zasilania i część sterującą mocy wykonano na oddzielnej płytce drukowanej. Do zasilania lutownicy wykorzystano transformator TST100 2x12 V, który do-

starcza napięć 2x12 V i zapewnia odpowiedni zapas mocy dla grzałki lutownicy. Do zasilania grzałki lutownicy wykorzystywane jest bezpośrednio napięcie przemienne 24 V, załączane za pomocą układu sterującego z triakiem BT136 (TY1) oraz optotriakiem MOC2030 (Q1). Załączenie grzałki następuje w momencie wystawienia przez mikrokontroler stanu wysokiego na linii PD3. Do układu specjalnie został wybrany optotriak nie posiadający detekcji przejścia napięcia przez zero, ponieważ nad włączeniem sterowania w odpowiednim momencie czuwa mikrokontroler. Blok zasilania sterownika lutownicy dostarcza trzech napięć zasilających ±9 V do wzmacniacza termopary i detektora napięcia zasilającego oraz +5 V dla mikrokontrolera oraz pozostałej części układu. Został on zrealizowany w tradycyjny sposób z wykorzystaniem stabilizatorów liniowych. Dla napięć ±9 V zastosowano małe, 100 mA stabilizatory 78L09 (U1) i 79L09 (U2) w obudowie TO-92, natomiast dla napięcia 5 V wykorzystano 1 A układ 7805 (U3). Detektor przejścia napięcia zasilającego przez zero zrealizowano z wykorzystaniem układu komparatora LM311 (U4), na wyjściu którego występuje przebieg prostokątny o częstotliwości 50 Hz. Każde zbocze sygnału oznacza przejście napięcia sieci przez zero, tak więc system przerwań zewnętrznych mikrokontrolera musi być ustawiony w taki sposób, aby reagował na oba zbocza sygnału.

Oprogramowanie

Oprogramowanie sterujące pracą regulatora zostało napisane z wykorzystaniem kompilatora GCC dla mikrokontrolerów AVR. Algorytm działania programu sterownika przedstawiono na rys. 3.

Program rozpoczyna działanie od inicjalizacji układów peryferyjnych mikrokontrolera używanych w projekcie, takich jak: przetwornik A/C, układ czasowy (timer)

**List. 1. Funkcja wyznaczająca temperaturę**

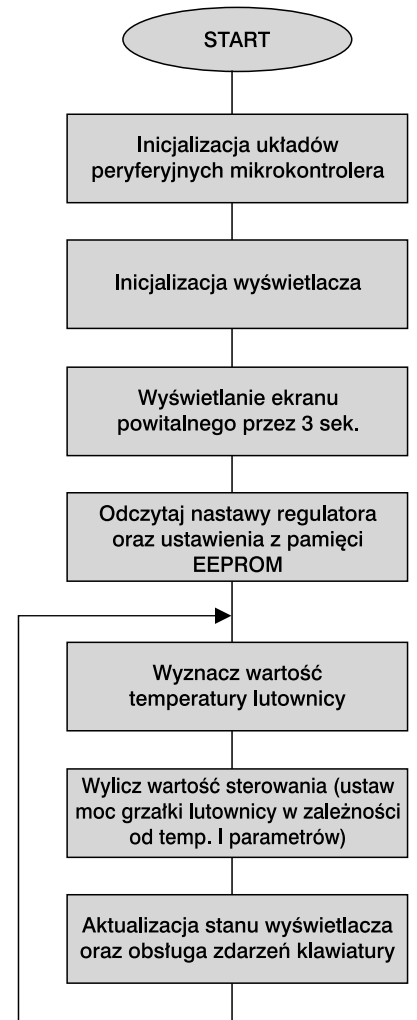
```
//Pobiera wartosc z AC i przekształca
//ja na liczbę
float GetTemp(u16 Adc,float ku)
{
//Tablica wielomianu dla termopary K
const static float dw[] PROGMEM =
{
2.508355E+01,
7.860106E-02,
-2.503131E-01,
8.315270E-02,
-1.228034E-02,
9.804036E-04,
-4.413030E-05,
1.057734E-06,
-1.052755E-08
};
//Napięcie z przetwornika w mV
float Vi = (Adc*10.0)/(4.0*ku);
float di;
float t = 0.0;
for(char i=8;i>=0;i--)
{
mempcy_P(&di,&dw[i],sizeof(float));
t += di;
t *= Vi;
}
t+= TPOCZ0;
return t;
}
```

służący do odczytania odcinków czasu oraz przerwania zewnętrznego INT0. Przerwanie jest zgłaszane w momencie wystąpienia zbocza narastającego lub opadającego. W efekcie takiej konfiguracji przerwanie zewnętrzne INT0 będzie zgłaszane przy przejściu napięcia zasilającego przez zero. Po zakończeniu inicjalizacji wewnętrznych układów peryferyjnych mikrokontrolera, program przechodzi do inicjalizacji wyświetlacza LCD, po czym jest wyświetlany ekran powitalny. Na zakończenie procedur inicjalizacyjnych odczytywane są z pamięci EEPROM nastawy konfiguracyjne, czyli współczynniki regulatora:  $k_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$ ,  $T_p$ , współczynnik wzmocnienia wzmacniacza  $K_u$  oraz temperatura grota, jaką ma utrzymywać stacja. Jeżeli pamięć EEPROM jest czysta, wówczas przywracane są domyślne nastawy regulatora oraz parametry konfiguracyjne dostosowane do lutownicy SL1. Przywrócenie parametrów domyślnych następuje również, jeżeli w momencie włączenia urządzenia równocześnie zostaną przytrzymane wszystkie klawisze. Po wykonaniu czynności inicjalizacyjnych program wchodzi do nieskończonej pętli głównej, w której odbywa się proces regulacji temperatury oraz ewentualnie samonastrajanie. Każdy cykl rozpoczyna się od odczytania wartości przetwornika A/C, na podstawie której jest wyliczana temperatura. Za proces wyznaczania temperatury odpowiedzialna jest funkcja *GetTemp*, która

jako argumenty przyjmuje wartość liczbową odczytaną z przetwornika oraz wzmocnienie toru wzmacniacza wejściowego, wpisane na etapie konfiguracji do pamięci EEPROM (list. 1).

W funkcji tej, na podstawie parametru wzmocnienia oraz wartości odczytanej z przetwornika A/C, wyznaczane jest napięcie występujące na zaciskach termopary wyrażone w mV. Następnie na podstawie napięcia, z wykorzystaniem aproksymacji wielomianowej, wyznaczana jest różnica temperatur pomiędzy zimnym i ciepłym końcem termopary. Tablica aproksymująca zawiera współczynniki wielomianu dla termopary typu K. Jako, że wyliczona wartość temperatury termopary jest różnicą temperatur pomiędzy zimnym, a gorącym końcem, do wartości końcowej jest dodawana średnia temperatura pokojowa ( $25^{\circ}\text{C}$ ), tak aby otrzymać rzeczywistą wartość temperatury grota. Po odczytaniu temperatury następuje rozpoczęcie wykonywania właściwego algorytmu regulacyjnego odpowiedzialnego za proces wyznaczenia mocy grzałki. Moc grzałki jest utrzymywana w zależności od trybu pracy (włączenie, uśpienie, wyłączenie).

Lutownica może pracować również w specyficznym trybie samonastrajania, w którym na podstawie zachowania obiektu (lutownicy) wy-



Rys. 3. Algorytm działania programu sterownika

**List. 2. Funkcja odpowiedzialna za proces regulacji temperatury**

```
void RegThread(void)
{
float e; //Uchyb
float TStab; //Temperatura do stabilizacji
u32 timt;
/* W zależności od tego czy lutownica działa
* normalnie czy została przełączona w stan
* standby to wybieramy albo temp cała, albo połowe temp
*/
TStab=(StanZal==ST_STB)?(TZad/2.0):(TZad);
switch(StanZal)
{
//Samonastrajanie
case ST_TUN:
Err = SelfTunning(&StanTunn);
if(Err != 2) StanZal= ST_WYL;
break;
//Wylaczona Regulacja
case ST_WYL:
pwm_p = 0;
YOut = 0;
break;
//Zalaczony Regulator
case ST_ZAL:
case ST_STB:
if(!TimPid)
{
timt = pid[TP] * TICKS_PER_SEC;
cli();
TimPid = timt;
sei();
e = (TStab/450.0) - (ActTemp/450.0);
YOut = RegPID(e);
pwm_p = YOut * 255;
}
break;
}
}
```

**List. 3. Procedura obsługi przerwania INT0 realizująca regulację mocy grzałki**

```
SIGNAL(SIG_INTERRUPT0)
{
  static u08 st_pos;
  static u08 pwm=0;
  if(pwm_p==0) {TY0(); return;}
  else if(pwm_p==0xff) {TY1(); return;}
  if(pwm)
  {
    if(!st_pos--)
    {
      pwm = !pwm;
      TY0();
      st_pos = 255u - pwm_p;
    }
  }
  else
  {
    if(!st_pos--)
    {
      pwm = !pwm;
      TY1();
      st_pos = pwm_p;
    }
  }
}
```

znaczone są nastawy regulatora PID  $k_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$ , zapewniające optymalny sposób regulacji mocą grzałki, tak aby utrzymać temperaturę na zadanym poziomie. Dobór nastaw opiera się na identyfikacji parametrów obiektu cieplnego (lutownicy), a następnie na wyznaczeniu odpowiednich odstępach czasu, gdzie czas pojedynczego cyklu regulatora jest wyznaczany w procesie samonastrajania. Ostatnią czynnością wykonywaną w pętli głównej programu jest obsługa klawiatury oraz aktualizacja stanu wyświetlacza. Sterownik lutownicy wyświetla trzy podmenu: Menu główne w którym jest wyświetlana temperatura zadana oraz bieżąca tryb pracy lutownicy (On/Off/Sleep) oraz aktualna moc grzałki lutownicy. Będąc w tym trybie wciśnięcie klawisza  $\pm$  powoduje

zwiększanie oraz zmniejszanie żądanej temperatury przytrzymanie klawisza powoduje cykliczne zwiększanie i zmniejszanie temperatury o 10 stopni. Wciśnięcie klawisza MNU powoduje przechodzenie pomiędzy trybem On/Off/Standby, umożliwiając szybkie przełączenie lutownicy. Równoczesne wciśnięcie klawiszy  $+$  i  $-$  spowoduje wejście w tryb ustawień

sterownika, w którym mamy możliwość ręcznego wpisania wzmocnienia wzmacniacza oraz parametrów  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$ , oraz  $T_p$  regulatora. Będąc w tym podmenu, klawiszem MNU możemy przechodzić pomiędzy poszczególnymi ustawieniami, natomiast klawiszami  $+$  i  $-$  możemy zmieniać wartość poszczególnych ustawień. Wyjście do menu głównego następuje w momencie równoczesnego wciśnięcia klawiszy  $+$  i  $-$  lub po 2 minutach od braku reakcji na wciśnięcie określonego klawisza. Równoczesne wciśnięcie klawiszy MNU i  $-$  powoduje rozpoczęcie procesu samonastrajania, czyli automatycznego doboru nastaw parametrów regulatora  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$ , i  $T_p$ , tak aby zapewnić najbardziej optymalny sposób regulacji temperatury grzałki. Proces doboru nastaw trwa kilkanaście minut i kończy się wyświetleniem informacji o przebiegu całej operacji. Proces może zostać w każdej chwili przerwany poprzez wciśnięcie dowolnego klawisza. Za regulację mocy grzałki odpowiedzialny jest algorytm grupowej regulacji mocy, który jest realizowany przez procedurę obsługi przerwania INT0 przedstawioną na **list. 3**.

Przerwanie to jest wywoływane w momencie przejścia napięcia zasilającego przez zero. Przebieg sieciowy został podzielony na 255 półokresów, w których stosunek czasu załączenia do wyłączenia wyznacza bieżącą moc grzałki. W tym przypadku cały okres sterowania wynosi 2,55 sekundy, jednak obiekty cieplne takie jak lutownica mają stosunkowo dużą bezwładność cieplną, tak więc z punktu widzenia lutownicy moc grzałki jest regulowana w sposób ciągły. Procentową moc grzałki możemy wyznaczyć według wzoru:  $P[\%] = (pwm\_p/255) * 100\%$ . Procedura obsługi przerwania zlicza liczbę przejść napięcia zasilającego przez zero i na tej podstawie w zależności od zawartości zmiennej  $pwm\_p$  włącza lub wyłącza triak (TY1) za pomocą optotriaka (Q1). Moment włączenia triaka jest zsynchronizowany z przejściem napięcia zasilającego przez 0, nie są więc generowane zakłócenia radioelektryczne, jak ma to miejsce w przypadku regulacji fazowej.

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

