

10. REGULACJA TEMPERATURY Z SAMODOSTRAJAJĄCYM SIĘ MIKROPROCESOROWYM REGULATOREM PID

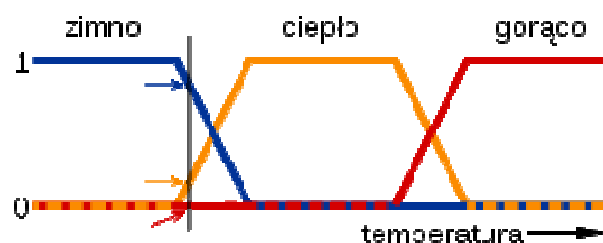
Cel zadania: *Poznanie działania układu automatycznej regulacji temperatury termostatu z samodostrajającym się mikroprocesorowym regulatorem PID, wykorzystującym algorytm logiki rozmytej (Fuzzy Logic).*

10.1. WSTĘP

W powszechnym przekonaniu regulacja temperatury różnych obiektów to dojrzała i w zasadzie nie ulegająca już zmianom dziedzina automatyki i technologii. Jednak wciąż spotyka się zastosowania przemysłowe, w których konieczna jest nie tylko dokładna regulacja temperatury, ale także szybsza faza podgrzewania i szybsza odpowiedź na zakłócenia, z minimalizacją przeregulowania gdy zmienia się nastawę wielkości zadanej. Tradycyjne proporcjonalno-całkująco-różniczkujące (PID) techniki regulacji nie mogą sprostać tym dodatkowym wyzwaniom. Jednym z rozwiązań projektowania zaawansowanych regulatorów temperatury jest stosowanie regulacji opartej na logice rozmytej.

Klasyczna logika bazuje na dwóch wartościach reprezentowanych najczęściej przez 0 i 1 lub prawda i fałsz. Granica między nimi jest jednoznacznie określona i niezmienna. Logika rozmyta wprowadza inne wartości pomiędzy standardowe 0 i 1 – „rozmywa” granice pomiędzy nimi, dając możliwość zaistnienia wartościom z pomiędzy tego przedziału (np. prawie fałsz, w połowie prawda).

Logika rozmyta (ang. *Fuzzy Logic*), jedna z logik wielowartościowych (ang. *Multi-Valued Logic*), stanowi uogólnienie klasycznej dwuwartościowej logiki. Jest ściśle powiązana z teorią zbiorów rozmytych i teorią prawdopodobieństwa. Została zaproponowana przez Lotfi Zadeha w 1965 roku. W logice rozmytej między stanem 0 (fałsz) a stanem 1 (prawda) rozciąga się szereg wartości pośrednich, które określają stopień przynależności elementu do zbioru (Rys. 10.1).



Rys. 10.1. Zaznaczonej czarną pionową linią temperaturze można przypisać jednocześnie wartości, które można określić np. jako: dość zimno, ledwo ciepło i zupełnie nie gorąco.

Logika rozmyta okazała się bardzo przydatna w zastosowaniach inżynierskich, czyli tam, gdzie klasyczna logika klasyfikująca jedynie według kryterium prawda-falsz nie potrafi skutecznie poradzić sobie z wieloma niejednoznacznościami i sprzecznościami. Regulacja rozmyta, w swojej formie podstawowej jest tu podobna do procesu sterowania ręcznego. Znajduje wiele zastosowań, między innymi w elektronicznych systemach sterowania (maszynami, pojazdami i robotami), zadaniach eksploracji danych czy też w budowie systemów ekspertowych. Logika rozmyta staje się atrakcyjna szczególnie w przypadku mikroregulatorów, ponieważ wymaga ona mniejszej mocy obliczeniowej i mniej pamięci operacyjnej niż konwencjonalna regulacja PID.

Zmienne szybkości (tj. stałe czasowe) procesów ogrzewania i chłodzenia wymagają dynamicznego dostosowywania współczynników algorytmu PID wraz ze zmianami zadanych wartości temperatury. Logika rozmyta stanowi tu rozszerzenie klasycznego „rozumowania” automatu na rozumowanie bliższe ludzkiemu. Człowiek – operator procesu ogrzewania steruje mocą dostarczaną do elementu ogrzewającego zgodnie z chwilowym (w momencie n) odchyleniem temperatury od wartości zadanej (odchyleniem regulacji e_n) i tempem zmian temperatury (pochodną odchylenia regulacji $de_n/d\tau$). W sterowaniu procesem kieruje się raczej rozsądkiem niż wiedzą o jego zachowaniu fizycznym i matematycznym. Ocenia np. czy odchylenie temperatury i tempo zmian temperatury są małe, duże czy średnie. Logika rozmyta posługuje się identycznymi stanami zmiennych procesu. Regulator oparty na logice rozmytej optymalizuje proces precyzowania (tzw. odwzorowanie rozmytej zmiennej) i pomaga matematycznemu modelowi grzejnika „nauczyć się” reagowania na zmiany odchylenia regulacji w procesie ogrzewania.

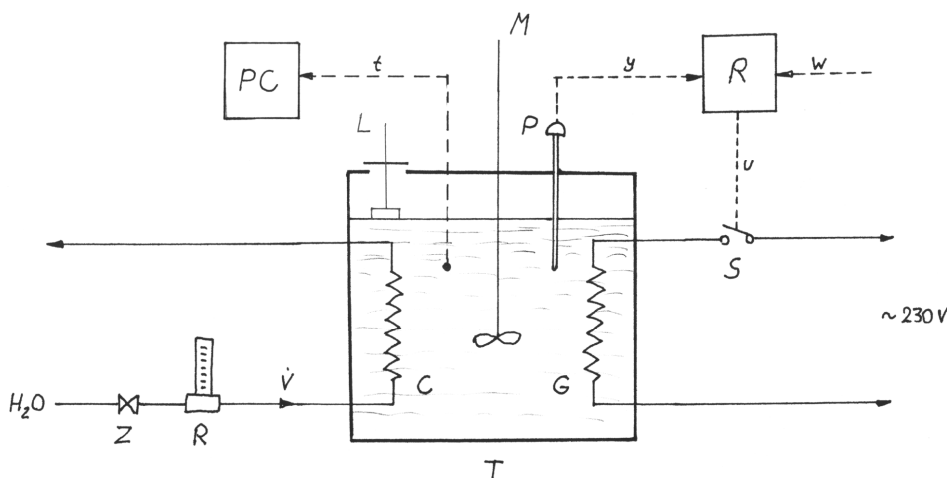
10.2. UKŁAD REGULACJI TEMPERATURY

W badanym układzie regulacji zastosowano regulator RE-3 firmy Lumel, który jest nowoczesnym regulatorem mikroprocesorowym, wykorzystującym w swym działaniu połączone algorytmy PID i Fuzzy Logic. Może być stosowany do regulacji temperatury, ale również i innych wielkości fizycznych, np. ciśnienia, wilgotności, poziomu lub przepływu płynów. Posiada uniwersalne wejścia pomiarowe do termorezystorów, termoogniw oraz liniowych sygnałów analogowych (4...20 mA). Na jego dwóch wyświetlaczach jest pokazywana wartość mierzona (regulowana) y (u góry) i wartość zadana w (u dołu); wartość zadaną można nastawiać odpowiednimi przyciskami (rys. 10.4). Regulator umożliwia też ręczne sterowanie obiektem. Wszystkie parametry eksploatacyjne ma swobodnie programowalne i zabezpieczone hasłem.

Regulator RE-3 posiada funkcję autoadaptacji (samodostrajania się), pozwalającą na samoczynne dobranie współczynników algorytmu PID z wykorzystaniem zasad logiki rozmytej (Fuzzy Logic). Autoadaptacja umożliwia osiągnięcie optymalnych parametrów regulacji

i właściwego poziomu wielkości regulowanej w jak najkrótszym czasie i przy minimalnych przeregulowaniach (patrz [1], rozdz. 22.2).

Schemat blokowy całego układu regulacji przedstawia rysunek 10.2. Termostatowany zbiornik T (ultratermostat UTU-5 firmy Rems) o pojemności 15 dm^3 , wypełniony wodą i wyposażony w mieszadło M , posiada dwa układy funkcjonalne. Układ ogrzewania z grzejnikiem elektrycznym G (z prawej) i układ chłodzenia C (z lewej) z wymiennikiem ciepła – spiralną rurką, przez którą przepływa woda z sieci wodociągowej. Zespół zaworów Z (odcinający i regulacyjny) oraz rotametr R umożliwiają nastawianie określonego przepływu \dot{V} czynnika chłodzącego. W termostacie zainstalowano też pływakowy wskaźnik poziomu wody L .



Rys. 10.2 Schemat układu regulacji temperatury

Grzejnik elektryczny G o mocy ok. 2 kW jest zasilany z sieci 230 V i sterowany dwupołożeniowo łącznikiem (przełącznikiem) tyrystorowym S z wyjścia opisanego wyżej mikroprocesorowego regulatora R . Regulator ma za zadanie utrzymać w termostacie stałą, zadaną wartość temperatury (regulacja stałowartościowa). Wielkość regulowana y z czujnika pomiarowego temperatury P (termorezystor Pt-1000) jest w tym celu porównywana z wielkością zadaną w nastawioną w regulatorze, a sygnał wyjściowy wielkości regulującej u regulatora steruje łącznikiem S zgodnie z algorytmem regulatora proporcjonalno-całkująco-różniczkującego PID (patrz [1], rozdz. 18.2 i dodatkowa instrukcja teoretyczna do laboratorium nr 4) z pewnymi modyfikacjami opisanymi niżej.

Uzupełnieniem układu pomiarowego jest zestaw komputerowy PC z monitorem, klawiaturą i drukarką, rejestrujący w funkcji czasu przebieg zmian temperatury t wody w termostacie. Komputer ma podłączony do wejścia szeregowego ($RS-232$) specjalny czujnik pomiarowy (układ scalony DS-1820 firmy Dallas), komunikujący się z systemem za pomocą trójprzewodowej magistrali 1-wire . Magistrala ta, wykorzystując indywidualne adresowanie czujników, umożliwia

dokładne pomiary temperatury i innych parametrów kilkudziesięcioma różnymi czujnikami podłączonymi równolegle do tych samych trzech przewodów na długości do kilkudziesięciu metrów. W naszym przypadku, uruchomiony w komputerze program „PC-Termometr” wyświetla na ekranie monitora co 1 s wynik pomiaru temperatury t wody w termostacie z dokładnością $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (jest to też wielkość regulowana y regulatora), tworzy wykres zmian tej temperatury w funkcji czasu i umożliwia wydrukowanie tego wykresu.

Ponieważ wykorzystane w badanym układzie sterowanie grzejnikiem G ma charakterystykę dwupołożeniową (przełącznikową), najczęściej stosowaną w układach regulacji temperatury ze względu na prostotę i niewielki koszt sterownika (łącznika), zastosowano tu regulator PID w konfiguracji regulacji impulsowej. Wyjściowa wielkość regulująca u z regulatora PID jest w tym przypadku, podobnie jak w klasycznym regulatorze impulsowym (patrz [1], rozdz. 18.1.3) równa współczynnikowi wypełnienia impulsów A :

$$u = A = \frac{\tau_a}{\tau_a + \tau_b} \cdot 100 = f(e = w - y) \quad [\%] \quad (10.1)$$

gdzie τ_a – czas włączenia grzejnika
 τ_b – czas wyłączenia grzejnika.

Jednocześnie:

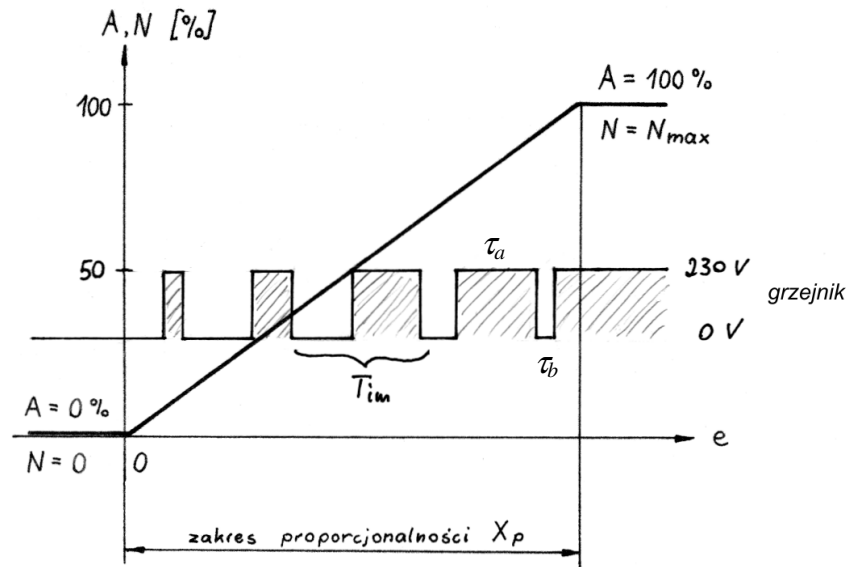
$$\tau_a + \tau_b = T_{im} = \text{const.} \quad (10.2)$$

gdzie T_{im} – okres impulsowania.

W zależności od różnicy między wielkością regulowaną y i wielkością zadaną w (obie te wielkości są wyświetlane w regulatorze), regulator zmienia wartość współczynnika A – proporcję między czasem włączenia i czasem wyłączenia grzejnika podgrzewającego ciecz w termostacie. Suma obu czasów – okres impulsowania T_{im} jest stała.

Działanie układu impulsowej regulacji temperatury termostatu, będącego obiektem inercyjnym o znacznej stałej czasowej, można przeanalizować w oparciu o wykres charakterystyki statycznej regulatora, przedstawiony na rysunku 10.3. W zależności od wartości odchylenia regulacji, regulator cyklicznie włącza i wyłącza zasilanie grzejnika termostatu. Przy temperaturze w obiekcie równej lub wyższej od zadanej ($e = w - y \leq 0$), czas włączenia grzejnika τ_a będzie równy 0 i wykorzystanie mocy grzejnika będzie wynosiło $N = 0\% N_{\max}$. Jeśli temperatura w obiekcie regulacji będzie spadała w porównaniu z temperaturą zadaną, czas włączenia grzejnika τ_a będzie wzrastał, a czas wyłączenia τ_b malał (przy zachowaniu warunków $\tau_a + \tau_b = T_{im}$ i $T_{im} = \text{const.}$) proporcjonalnie do wartości odchylenia regulacji e , aż do przekroczenia granicy tzw. zakresu proporcjonalności (X_p), kiedy to czas τ_a osiągnie nieskończoność ($\tau_b = 0$) i grzejnik będzie stale włączony ($N = 100\% N_{\max}$).

Oczywiście, uruchomienie w regulatorze opcji algorytmu PID, spowoduje powolne przesunięcie się wykresu $A = f(e)$ z rys. 10.3 w lewo, aż do osiągnięcia optymalnej wartości współczynnika A przy zerowym poziomie odchylenia regulacji e . Jest to realizowane przez astatyczną składową całkującą „I” algorytmu PID (tylko całka z zerowej wartości e jest stała) i zastępuje ręczne dobranie wartości stałej u_0 w regulatorze P lub PD (patrz [1], rozdz. 18.2.2).



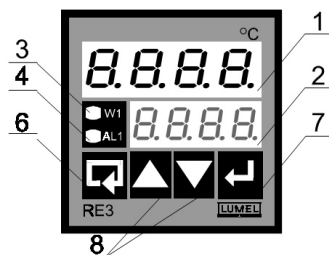
Rys. 10.3. Charakterystyka statyczna układu regulacji impulsowej temperatury termostatu (bez włączonego algorytmu PID)

Analizując wykres $N = f(e)$ na rys. 10.3 można stwierdzić, że mimo nieciągłego, impulsowego charakteru sygnału wyjściowego regulatora, inercyjny układ regulacji, w którym został on zastosowany, ma w pewnym zakresie wartości e charakterystykę ciągłą, proporcjonalną. Zakres ten, wyrażony w procentach całego zakresu zmian e (lub y), nazywa się tak jak w regulatorach analogowych zakresem proporcjonalności X_p . Poza zakresem proporcjonalności, charakterystyka statyczna regulatora impulsowego odpowiada charakterystyce regulatora dwupołożeniowego (patrz [1], rozdz. 18.1.1).

Wielkość zakresu proporcjonalności X_p (proporcjonalnego wzmocnienia regulatora), okresu impulsowania T_{im} oraz pozostałe parametry regulatora PID (czas zdwojenia T_I oraz czas wyprzedzenia T_D), a także wejściowy zakres pomiarowy (Δy) i zakres nastaw wartości zadanej (Δw), mogą być w regulatorze dowolnie programowane. W naszym regulatorze zakres proporcjonalności ustawiono wstępnie na 10°C (ok. 20% przy zaprogramowanym zakresie zmienności temperatury $+15\dots+65^\circ\text{C}$ czyli 50°C), T_I na 120 s i T_D na 30 s. Okres impulsowania T_{im} powinien być znacznie krótszy od stałej czasowej obiektu regulacji (T lub T_z), zaprogramowano więc jego bardzo małą wartość, wynoszącą 10 s.

10.3. URUCHOMIENIE UKŁADU REGULACJI

Wygląd przedniego panelu regulatora RE-3 pokazano na rys. 10.4. Podstawowymi jego funkcjami, poza programowaniem kilkudziesięciu parametrów (wg instrukcji obsługi) i ich ewentualnym zabezpieczeniu hasłem dostępowym, jest odczytywanie wartości wielkości regulowanej y (czerwony wyświetlacz górny) i wprowadzanie wartości wielkości zadanej w (zielony wyświetlacz dolny i przyciski 8) – obie wielkości z rozdzielczością $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Różnica wskazań obu wyświetlaczy ($w - y$) wskazuje na występowanie różnego od zera odchylenia regulacji (e).



Rys. 10.4. Panel regulatora RE-3: 1 – wyświetlacz wartości wielkości regulowanej (y), 2 – wyświetlacz wartości zadanej (w), 3 – dioda sygnalizacyjna wyjścia regulacji (u), 4 – dioda sygnalizacyjna alarmu, 6 – przycisk przeglądania listy parametrów, 7 – przycisk akceptacji, 8 – przyciski zwiększania i zmniejszania wartości parametrów, w tym i wielkości zadanej.

Włączyć zasilanie elektryczne termostatu przełącznikiem „Sieć” (zielonym), przełącznik „Grzałka/Pompka” (czerwony) **wyłączony!** Temperatura wskazywana przez górny wskaźnik regulatora powinna mieścić się w przedziale $+15\dots+30^{\circ}\text{C}$. Jeśli tak nie jest, wezwać laboranta! Poprosić laboranta o uruchomienie zestawu komputerowego (jeśli nie jest już uruchomiony). Kliknięciem ikony na ekranie monitora uruchomić program „PC-Termometr”. Sprawdzić właściwy poziom wody w termostacie – czerwony pasek wskaźnika pływakowego (L na rys. 10.2) powinien znajdować się na poziomie pokrywy z tworzywa sztucznego (lewej). Zawór dopływowy wody Z (przy ścianie) powinie być zamknięty. Uruchomić rejestrację temperatury przyciskiem „Start pomiaru” na planszy programu „PC-Termometr”.

Przełączyć regulator w tryb sterowania ręcznego przez jednoczesne naciśnięcie przycisków 6 i 7, ich przytrzymanie przez **co najmniej** 10 sekund i puszczenie. Ten tryb umożliwia ręczne sterowanie sygnałem wyjściowym u regulatora za pomocą przycisków 8 – ręczne nastawianie wartości współczynnika A i tym samym mocy grzejnika N (wzór 10.1) w zakresie od 0 do 100%. O trybie pracy ręcznej informuje kropka migająca na dolnym, zielonym wyświetlaczu regulatora i litera „H” z lewej jego strony. Ustawić przyciskami 8 regulatora wartość u na 0 (0% mocy grzejnika termostatu – grzejnik **stałe wyłączony**) i uruchomić mieszanie cieczy w zbiorniku przełącznikiem „Grzałka/Pompka” (czerwonym) na panelu termostatu. Prędkość mieszania nastawić pokrętkiem z lewej, bocznej strony panelu termostatu **na maksimum**.

10.4. OKREŚLENIE DYNAMICZNYCH WŁAŚCIWOŚCI OBIEKTU REGULACJI

Badany termostat jest, ze względu na sporą pojemność cieplną zawartej w nim cieczy, obiektem inercyjnym pierwszego lub wyższego rzędu. Zbadanie dynamicznych właściwości tego termostatu będzie polegało na wykonaniu wymuszenia skokowej zmiany ilości dostarczanego ciepła. Analizując po wykonaniu wymuszenia przebieg zmian temperatury t w funkcji czasu τ , możemy określić stopień inercyjności obiektu (czy jest I-go czy wyższego rzędu) oraz wyznaczyć podstawowe parametry dynamiczne obiektu regulacji: stałą czasową T lub w przypadku obiektu wyższego rzędu zastępczą stałą czasową T_z i zastępczy czas opóźnienia τ_{oz} .

Obserwując tworzący się na ekranie monitora wykres $t=f(\tau)$ poczekać, aż górny wyświetlacz regulatora (y) i wskaźnik cyfrowy na ekranie monitora (t), pokazujące wartości temperatury w termostacie, ustalą swoje wskazania w przedziale $+15\dots+30^\circ\text{C}$. Za stan ustalony przyjąć **zbliżony do płaskiego** przebieg wykresu $t=f(\tau)$ na ekranie monitora przez co najmniej 5 min. Wskazania obu mierników mogą się nieco różnić, dlatego przy realizacji dalszej części tego punktu zadania wyniki pomiarów **odczytywać wyłącznie z ekranu monitora!**

Przygotować tabelkę z rubrykami τ i t oraz **przeczytać ten i następny akapit do końca**. Po ustabilizowaniu się temperatury w termostacie (patrz wyżej), odczytać z ekranu wskazywaną wartość temperatury t (będzie to wynik pomiaru w czasie $\tau=0$) i **natychmiast uruchomić pomiar od nowa** – zresetować wykres i pomiar czasu kliknięciem przycisku „Powtórz” (zignorować komunikat ostrzegawczy!). Następnie **szybko** wykonać wymuszenie skokowe na wejściu badanego obiektu – nastawić zaworem regulacyjnym Z przepływ \dot{V} wody chłodzącej termostat na wartość 0,75 l/min (korzystać z środkowego pierścienia nurnika rotametri). **Jak najszybciej** ustawić też na dolnym wyświetlaczu regulatora (przyciskami 8) wartość u równą 50% (regulator jest wciąż w trybie sterowania ręcznego „H”). Nastawienie w regulatorze impulsowym pracującym w trybie sterowania ręcznego wartości $u=50\%$ oznacza, że regulator z zaprogramowanym okresem impulsowania $T_{im}=10$ s, przez 5 s (50% okresu impulsowania) będzie włączał grzejnik termostatu, a przez następne 5 s grzejnik będzie wyłączony. Średnia moc ogrzewania będzie wtedy równa połowie maksymalnej mocy grzejnika ($N=50\% N_{max}$).

Obserwując wyświetlone **na ekranie monitora** cyfrowe wskaźniki τ i t , **notować w tabelce co 60 sekund** wartości czasu i temperatury **przez 30 minut**. Notowanie wyników pomiaru ułatwia uruchamiany co 60 sekund sygnał akustyczny. **Okresowo kontrolować przepływ wody \dot{V} !** Zaobserwować impulsową pracę ogrzewania – cykliczne włączanie grzejnika sygnalizuje w regulatorze świecenie diody W_1 (poz. 3 na rys. 10.4).

Po upływie 30 minut od momentu wykonania wymuszenia skokowego (ze względu na dużą stałą czasową termostatu proces całkowitego ustabilizowania się temperatury trwałby znacznie dłużej), zakończyć wypełnianie tabelki i przejść do następnego etapu doświadczeń. **Do końca wykonywania zadania nie uruchamiać już funkcji „Powtórz”, bo spowoduje to skasowanie zarejestrowanych wyników!**

10.5. SAMODOSTRAJANIE SIĘ REGULATORA

Przyciskając na chwilę przycisk akceptacji 7, przełączyć regulator z trybu sterowania ręcznego w tryb pracy automatycznej. Kropka na dolnym wyświetlaczu powinna przestać migać. Sprawdzić ustawienie na dolnym wyświetlaczu zadanej wartości temperatury $w = +50,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, ewentualnie skorygować je przyciskami 8. **Szybko** włączyć tryb autoadaptacji PID-Fuzzy Logic przez naciśnięcie i przytrzymanie przycisku akceptacji (7) przez **co najmniej** 10 sekund i jego puszczenie. **Migający punkt dziesiętny** w dolnym prawym rogu górnego, czerwonego wyświetlacza informuje o aktywności funkcji autoadaptacji. Czas działania autoadaptacji zależy od właściwości obiektu regulacji i może trwać od kilku do kilkunastu minut. Po zakończeniu procesu autoadaptacji regulator sam przejdzie do trybu regulacji, a zoptymalizowane wartości współczynników algorytmu PID zostaną automatycznie zapamiętywane w jego nieulotnej pamięci.

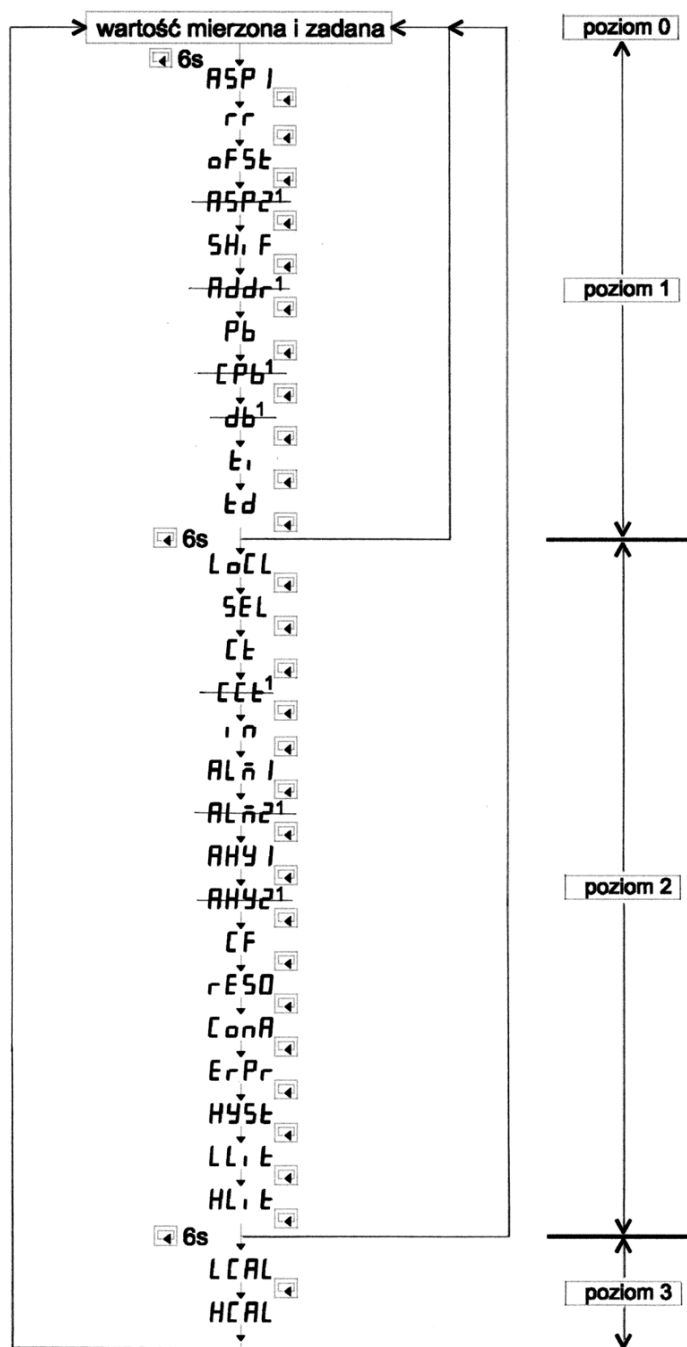
Obserwować na ekranie monitora działanie układu autoadaptacji regulatora – szybki wzrost temperatury wody w termostacie w pobliże wartości zadanej ($+50,0\text{ }^{\circ}\text{C}$) i następnie jej oscylowanie, będące wynikiem dokonywania przez regulator niewielkich wymuszeń skokowych w obu kierunkach. Wymuszenia te pozwalają regulatorowi określić parametry dynamiczne obiektu regulacji. Kiedy regulator zakończy tryb uczenia się, punkt dziesiętny w dolnym prawym rogu górnego wyświetlacza przestanie migać. Wtedy temperatura cieczy w termostacie powinna po kilku minutach osiągnąć poziom bardzo zbliżony do zadanego.

Poczekać, aż temperatura wody w termostacie ustabilizuje się (zbliżony do płaskiego wykres $t = f(\tau)$ na ekranie monitora przez co najmniej 5 min). Określić **ze wskaźnika y regulatora** (górnego) średnią wartość tej temperatury ($t_{PIDv=0,75}$) – dokonać w odstępach kilku sekund pięciu odczytów t z dokładnością $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ i obliczyć ich średnią arytmetyczną.

10.6. ODCZYTANIE ZOPTYMALIZOWANYCH PARAMETRÓW REGULATORA PID

Odczytanie dobranych w wyniku autoadaptacji regulatora parametrów algorytmu PID jest możliwe po wciśnięciu na co najmniej 6 sekund i puszczeniu przycisku przeglądania 6. Weszliśmy na pierwszy poziom menu nastaw (poziomem zerowym jest wprowadzanie wielkości zadanej).

Na wyświetlaczu pojawił się pierwszy parametr regulatora (napis *ASPI* i odpowiednia wartość liczbową). Kolejne naciśnięcia przycisku 6 pozwolą na wyświetlenie dalszych parametrów z pierwszego poziomu menu, co ilustruje schemat na rys. 10.5. Wejście na drugi poziom ustawień wymaga przytrzymania przycisku 6 przy ostatnim parametrze z poziomu 1, a poziom 3 osiąga się po przytrzymaniu tego przycisku przy ostatnim parametrze z poziomu 2. Do naszych celów wystarczy dostęp do **pierwszego poziomu** ustawień, a szczegółowy wykaz parametrów tego poziomu podaje tabela 1 na następnej stronie. Interesujące nas współczynniki algorytmu PID zaznaczono w niej pogrubionymi ramkami.



Rys. 10.5. Kolejność zmiany parametrów regulatorów serii RE
(¹ - nie występuje w tym regulatorze typu RE-3)

Tabela 1. Początkowy fragment listy parametrów regulatorów serii RE (poziomy 0 i 1) z podaniem nastaw fabrycznych (domyślnych producenta)

	Kod parametru	Opis	Nastawa fabryczna																
poziomy 0	1	2	3																
↓		wartość zadana (zmiana przyciskami: ▲ i ▼); -zakres: od dolnej do górnej granicy zakresu wejściowego ($L_L, t \dots H_L, t$)	niezdefiniowana																
poziomy 1	RSP RSP2	wartość zadana alarmu -zakres dla $R_L n$ i $R_L n^2=0, 1, 4$ lub 5 : od L_L, t do H_L, t ; -zakres dla $R_L n$ i $R_L n^2=2, 3, 6$ do 11 : od (L_L, t -wartość zadana) do (H_L, t -wartość zadana); -zakres dla $R_L n$ i $R_L n^2=12$ lub 13 : od $0 \dots 3600$ minut;	200°C																
↓	rr	prędkość narostu wartości zadanej ograniczająca jej skokowe zmiany (miękkie start) -zakres: $0 \dots 200^\circ\text{C}$ (360°F)/min. dla $i, n = 0$ do 9 -zakres: $0 \dots 3600$ jednostek/min. dla $i, n = 10$	0°C / min.																
	oFS	kompensacja wartości sygnału wyjściowego dla $t_i = 0$ -zakres: $0 \dots 100\%$ zakresu wejściowego	0.0%																
	Sh, F	kompensacja różnicy temperatur między czujnikiem a obiektem -zakres: $-111 \dots 111^\circ\text{C}$	0°C																
	Rddr	rodzaj sygnału dla wyjścia retransmisji -zakres: $192 \dots 199$	192																
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Wartość parametru</th> <th>Typ sygnału</th> <th>Wielkość retransmitowana</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>192, 196</td> <td>4, 0...20 mA</td> <td>wartość wielkości mierzonej</td> </tr> <tr> <td>193, 197</td> <td>4, 0...20 mA</td> <td>wartość zadana</td> </tr> <tr> <td>194, 198</td> <td>4, 0...20 mA</td> <td>wartość mocy wyjściowej wyjścia 1</td> </tr> <tr> <td>195, 199</td> <td>4, 0...20 mA</td> <td>wartość mocy wyjściowej wyjścia 2</td> </tr> </tbody> </table>	Wartość parametru	Typ sygnału	Wielkość retransmitowana	192, 196	4, 0...20 mA	wartość wielkości mierzonej	193, 197	4, 0...20 mA	wartość zadana	194, 198	4, 0...20 mA	wartość mocy wyjściowej wyjścia 1	195, 199	4, 0...20 mA	wartość mocy wyjściowej wyjścia 2		
Wartość parametru	Typ sygnału	Wielkość retransmitowana																	
192, 196	4, 0...20 mA	wartość wielkości mierzonej																	
193, 197	4, 0...20 mA	wartość zadana																	
194, 198	4, 0...20 mA	wartość mocy wyjściowej wyjścia 1																	
195, 199	4, 0...20 mA	wartość mocy wyjściowej wyjścia 2																	
	Pb	zakres proporcjonalności dla wyjścia 1 (0 dla regulacji dwustawnej) -zakres: $0 \dots 200^\circ\text{C}$	10°C	(przykładowo)															
	ζP_b	zakres proporcjonalności dla wyjścia 2 -zakres: $0 \dots 4.0 \times P_b$	1.0																
	db	strefa nieczułości -zakres: $-100 \dots 100\% P_b$	5%																
	t_i	stała czasowa całkowania -zakres: $0 \dots 3600$ s	120 s	(przykładowo)															
	t_d	stała czasowa różniczkowania -zakres: $0 \dots 1000$ s	30 s	(przykładowo)															
poziomy 2	L0L1	tryb dostępu do parametrów -zakres: 0, 1 0: zakaz zmiany wartości parametrów, 1: możliwość zmiany wartości parametrów	1																

(¹ nie występuje w tym regulatorze typu RE-3)

Przyciskając przycisk 6 wyświetlać kolejne parametry regulatora, aż do pokazania się symbolu P_b . Zanotować wartość tego parametru – zakresu proporcjonalności X_p (w stopniach Celsjusza). Następnie odczytać pozostałe zoptymalizowane współczynniki algorytmu PID – stałą czasową całkowania t_i (czas zdwojenia T_I) i stałą czasową różniczkowania t_d (czas wyprzedzenia T_D). Po wyświetleniu parametru t_d , następne krótkie przyciśnięcie przycisku 6 spowoduje powrót do zerowego poziomu nastaw (wprowadzania wartości zadanej). Jeśli chcemy powtórzyć odczytywanie parametrów regulatora, należy wtedy ponownie wejść na poziom 1 (powtórzyć punkt 10.6).

10.7. WPŁYW WIELKOŚCI ZAKŁÓCAJĄCEJ

W tym doświadczeniu zbadamy, jak jeden z czynników zakłócających proces regulacji temperatury w naszym termostacie wpłynie na jakość regulacji układu z regulatorem PID ze zoptymalizowanymi parametrami. Czynnikiem zakłócającym będzie zmiana natężenia przepływu wody chłodzącej termostat.

Zaworem Z zwiększyć przepływ \dot{V} wody chłodzącej termostat z 0,75 do 1,5 l/min (korzystać z lewej podziałki rotametu R i środkowego pierścienia nurnika). **Zanotować z ekranu monitora czas, w którym wprowadzono zakłócenie.** Obserwować działanie układu regulacji i stopniowe ustalanie się poziomu temperatury w termostacie (zbliżony do płaskiego wykres $t = f(\tau)$ na ekranie monitora przez co najmniej 5 min.). W ustalonym stanie pracy układu regulacji określić **ze wskaźnika y regulatora** (górnego) średnią wartość tej temperatury ($t_{PIDv=1,5}$) – dokonać w odstępach kilku sekund pięciu odczytów t z dokładnością 0,1 °C i obliczyć ich średnią arytmetyczną.

10.8. ZAKOŃCZENIE ZADANIA

Zatrzymać pomiary kliknięciem przycisku „Stop” na ekranie monitora (**nie klikać „Powtórz” ani „Start”, bo spowoduje to skasowanie zarejestrowanych wyników!**). Następnie wydrukować wykres z ekranu kliknięciem przycisku „Drukuj”. Uruchomi się systemowy program skojarzony z plikami graficznymi, w którym należy użyć opcji „drukuj”, potem 3 razy „dalej”, a **po zakończeniu drukowania** „zakończ”. Zamknąć program graficzny.

Odciąć zaworem Z dopływ wody chłodzącej do termostatu i wyłączyć termostat (przełączniki „Sieć” i „Grzałka/Pompka”). Zakończenie programu „Temperatura” i zamknięcie systemu Windows wykona laborant.

10.9. OPRACOWANIE WYNIKÓW DOŚWIADCZEŃ

10.9.1. ODPOWIEDŹ OBIEKTU NA WYMUSZENIA SKOKOWE

Korzystając z wyników doświadczeń z punktu 10.4, sporządzić na **poziomym** arkuszu papieru o formacie A-4 (najlepiej ręcznie, na papierze milimetrowym) wykres charakterystyki dynamicznej skokowej $t = f(\tau)$ badanego obiektu z regulatorem w trybie sterowania ręcznego, po włączeniu podgrzewania cieczy w termostacie grzejnikiem o sterowanej impulsowo mocy

$N = 50\% N_{\max}$ i przepływu wody chłodzącej 0,75 l/min. Zakres temperatury na osi t powinien wynosić +15...+65°C.

Z charakteru wykresu określić stopień inercyjności obiektu regulacji. Wyznaczyć sposobem graficznym stałą czasową T (przy obiekcie I-go rzędu) lub (przy obiekcie wyższego rzędu) zastępczą stałą czasową T_z i zastępczy czas opóźnienia τ_{oz} (patrz [1], rozdz. 16.2.3 rys. 16.7 lub rozdz. 16.3.2, rys. 16.20 oraz dodatkowa instrukcja teoretyczna do laboratorium nr 3).
Za poziom asymptoty wykresu $t = f(\tau)$ przyjąć temperaturę +45°C!

Sprawdzić spełnienie warunku $T_{im} \ll T$ (lub $T_{im} \ll T_z$) uwzględniając, że $T_{im} = 10$ s.

10.9.2. ZOPTYMALIZOWANE WSPÓŁCZYNNIKI ALGORYTMU PID

Przeliczyć odczytany z regulatora zakres proporcjonalność P_b (w °C) na wartość procentową X_p (w procentach zakresu pomiarowego $\Delta y = +15...+65$ °C). Zoptymalizowane współczynniki algorytmu PID: X_p , T_I i T_D zebrać w tabelce.

10.9.3. WPŁYW WIELKOŚCI ZAKŁÓCAJĄCEJ

Zaznaczyć na wydruku przebiegu zmian temperatury w termostacie moment zmiany przepływu wody chłodzącej termostat (wg zanotowanego czasu wprowadzenia zakłócenia).

Korzystając z wyników doświadczeń z punktów 10.5 i 10.7 (wyznaczonych średnich wartości $t_{PIDv=0,75}$ i $t_{PIDv=1,5}$), określić średni statyczny błąd regulacji PID $\Delta e_{st} = t_{PIDv=0,75} - t_{PIDv=1,5}$ dla zwiększenia wartości przepływu wody przez reaktor z $\dot{V} = 0,75$ dm³/min do $\dot{V} = 1,5$ dm³/min. Przeliczyć wartość błędu statycznego bezwzględnego Δe_{st} na wartości błędu względnego ΔE_{st} , wyrażonego w procentach zakresu mierzonej temperatury (+15...+65 °C).

10.10. SPRAWOZDANIE

Sprawozdanie z wykonania zadania powinno zawierać:

- prosty schemat blokowy układu automatycznej regulacji temperatury w termostacie z krótkim opisem,
- tabelę z wynikami pomiarów właściwości dynamicznych obiektu regulacji,
- wydruk przebiegu zmian temperatury w termostacie,

- wykres odpowiedzi obiektu regulacji na wymuszenie skoku ilości dostarczanego ciepła, z wyznaczeniem metodą graficzną wartości T lub T_z i τ_{oz} ,
- tabelkę z odczytanymi z regulatora zoptymalizowanymi parametrami regulacji PID: zakresem proporcjonalności X_p (P_b) w °C i w %, stałą czasową całkowania (czasem zdwojenia) T_I (t_i) i stałą czasową różniczkowania (czasem wyprzedzenia) T_D (t_d).
- obliczone wartości błędów statycznych regulacji Δe_{st} i ΔE_{st} dla regulacji automatycznej PID i dwukrotnej zmiany przepływu wody przez reaktor.
- wnioski dotyczące **wszystkich** wykonanych doświadczeń i wyników obliczeń.

10.11. LITERATURA

Podstawowymi źródłami umożliwiającymi poszerzenie materiału zawartego w instrukcji są notatki z wykładów „Pomiary i automatyka” na Wydziale Biotechnologii i Nauk o Żywności, dodatkowe cztery instrukcje teoretyczne do laboratorium oraz książki:

- [1] **Ludwicki M.: Sterowanie procesami w przemyśle spożywczym, PTTŻ, Łódź 2002.**
- [2] Romer E.: Miernictwo przemysłowe, PWN, W-wa 1978.
- [3] Żelazny M.: Podstawy automatyki, PWN, W-wa 1976.

Opracował: dr inż. Marek Ludwicki, Politechnika Łódzka, I-30

<http://snack.p.lodz.pl/ludwicki>
marek.ludwicki@p.lodz.pl

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część tej pracy nie może być powielana, czy rozpowszechniana w jakiegokolwiek formie w jakikolwiek sposób, bądź elektroniczny, bądź mechaniczny, włącznie z fotokopiowaniem, nagrywaniem na taśmy lub przy użyciu innych nośników informacji, bez zgody autora.

Copyright © 2015-01-22
All rights reserved