

Cel ćwiczenia: Zapoznanie się z metodami badania i analitycznego wyznaczania parametrów dynamicznych rzeczywistego obiektu regulacji (identyfikacji obiektu regulacji) na przykładzie mikrotermostatu oraz z metodami symulacyjnymi umożliwiającymi eksperymentalne wyznaczanie parametrów dynamicznych obiektu regulacji.

Pytania kontrolne:

1. Omów, na czym polega proces identyfikacji obiektu.
2. Narysuj i omów odpowiedź skokową obiektu rzeczywistego (charakterystyka dynamiczna).
3. Zdefiniuj i opisz sposób wyznaczania parametrów charakterystycznych odpowiedzi skokowej obiektu.
4. Jakim modelem można przybliżyć odpowiedź skokową obiektu rzeczywistego (narysuj schemat zastępczy układu i podaj parametry charakterystyczne).

UWAGA 1

Temperatura mikrotermostatu może być nastawiana w zakresie od temperatury otoczenia ($T_{\min}$) do ok. 60 °C ($T_{\max}$). W trakcie eksperymentów nie należy dotykać metalowych elementów mikrotermostatu, ponieważ w czasie pracy mogą się one nagrzewać do temperatury ok. 60 °C.

UWAGA 2

Wszystkie wyniki należy zapisywać na dysku Dane E:

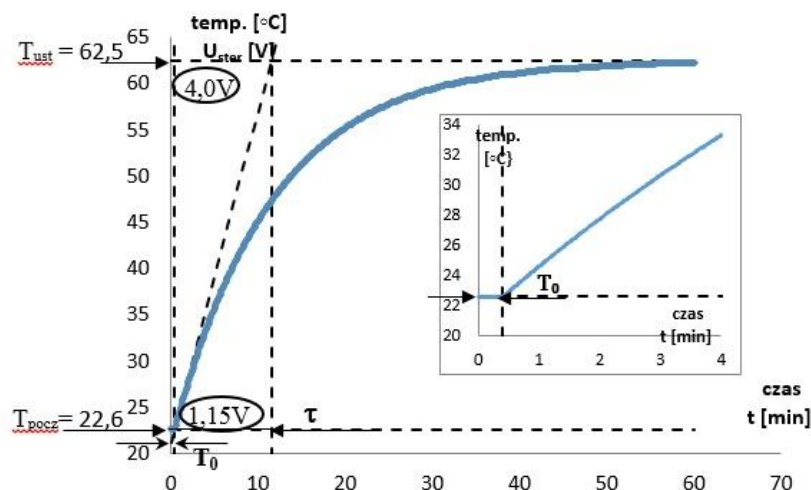
Program i przebieg ćwiczenia:**1. Rejestracja odpowiedzi skokowej obiektu rzeczywistego i wyznaczenie podstawowych parametrów dynamicznych obiektu**

Zarejestrować odpowiedź skokową obiektu tj. temperaturę mikrotermostatu w funkcji czasu jako odpowiedź na skokową zmianę napięcia sterującego grzejnika U_{ster} .

- Uruchomić program **L1_char_grz.exe** (C: > Sala 026A > Lab Jack > My Application4). Zaznaczyć domyślnie proponowaną bibliotekę „lvStoroge.dll”, zatwierdzamy poprzez wciśnięcie OK
- Ustawić czas próbkowania na 100 ms.
- Po „naciśnięciu” przycisku START na ekranie wirtualnego przyrządu uruchamiana jest rejestracja. Należy rejestrować przebieg przez ok. 60 min.
- „Naciśnięcie” przycisku STOP zatrzymuje działanie przyrządu, dane pomiarowe zapisywane są automatycznie do pliku tekstowego E:\Now@\Charakterystyka_grzania.lvm. Dane te mogą być importowane do arkusza kalkulacyjnego do dalszej analizy.
- Korzystając z zarejestrowanej charakterystyki wyznaczyć wartości T_{pocz} , T_{ust} , K_{ob} , T_0 oraz τ (na podstawie przykładu opisanego poniżej). Jeśli w czasie rejestracji obiekt nie osiągnie wartości T_{ust} to można ją obliczyć ekstrapolując uzyskaną charakterystykę grzania obiektu.

PRZYKŁAD: Identyfikacja parametrów obiektu regulacji

Na Rys.1 przedstawiono przykładową odpowiedź rzeczywistego obiektu na skokowo włączone napięcie $U_{ster} = 4.0 \text{ V}$. Na podstawie tej charakterystyki wyznaczono następujące parametry: wzmocnienie obiektu K_{ob} , opóźnienie T_0 oraz stałą czasową τ .

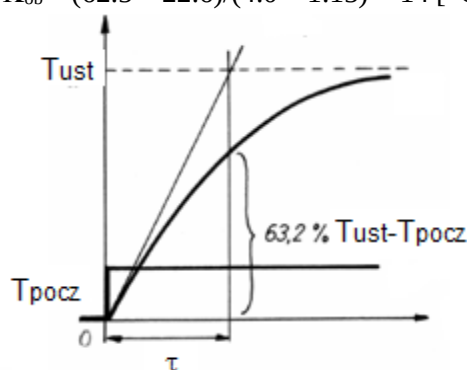


Rys. 1. Odpowiedź badanego obiektu rzeczywistego na wymuszenie skokowe (zmiana U_{ster} z 1,15V na 4V).

Sygnałem wejściowym w badanym układzie jest napięcie sterujące grzałką które po włączeniu układu wzrasta z wartości 1,15 V na 4 V. Rejestrowanym sygnałem wyjściowym jest napięcie na wyjściu czujnika mierzącego temperaturę wewnątrz komory mikrotermostatu, które należy przeliczyć na temperaturę z uwzględnieniem czułości czujnika równej $10 \text{ mV}/^\circ\text{C}$. W przedstawionym przykładzie temperatura początkowa T_{pocz} wynosiła $22,6^\circ\text{C}$, ustalona temperatura końcowa T_{ust} wynosiła $62,5^\circ\text{C}$. Odczytano z wykresu wartości opóźnienia $T_0 = 24 \text{ s}$ oraz stałą czasową $\tau = 690 \text{ s}$. Graficzną metodę wyznaczania τ przedstawia Rys.2. Parametr K_{ob} wyznaczamy z zależności:

$$K_{ob} = (T_{ust} - T_{pocz}) / (4 - 1,15)$$

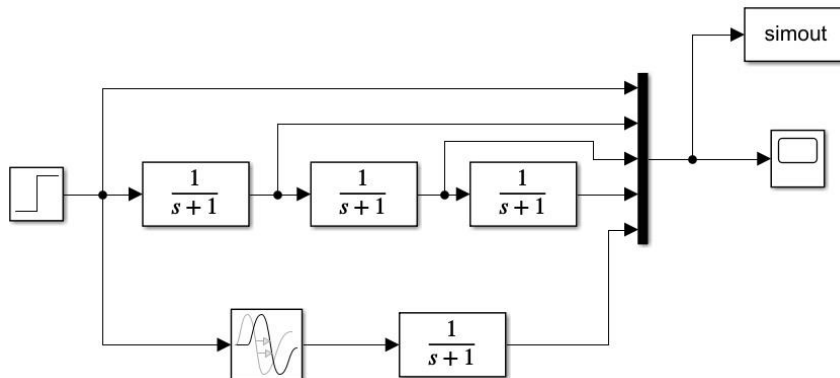
W prezentowanym przykładzie $K_{ob} = (62,5 - 22,6) / (4,0 - 1,15) = 14 [^\circ\text{C}/\text{V}]$.



Rys.2. Graficzna metoda wyznaczenia stałej czasowej.

2. Badania symulacyjne teoretycznego obiektu inercyjnego wyższego rzędu

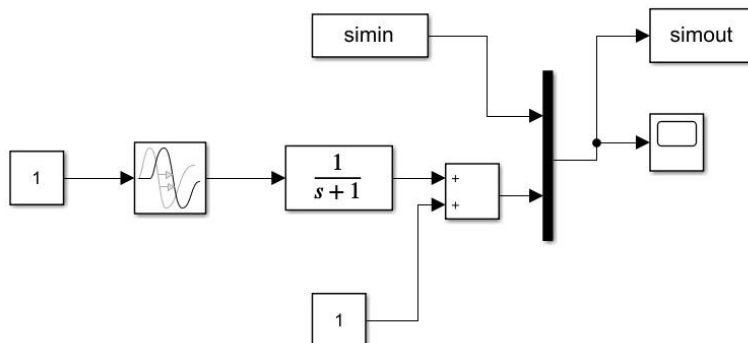
- Dla obiektu inercyjnego wyższego rzędu (np. pieca, czujnika) o modelu zadanym przez prowadzącego dobrać eksperymentalnie model przybliżony w postaci łańcuchowego połączenia członu opóźniającego i członu inercyjnego pierwszego rzędu (Rys.3.). Wynik końcowy zapisać w postaci pliku danych, korzystając z bloku To Workspace i następnie funkcji xlswrite lub save.



Rys. 3. Struktura modelu umożliwiająca porównanie odpowiedzi skokowej obiektu: człon inercyjny 3-go rzędu z odpowiedzią skokową modelu przybliżającego: łańcuchowe połączenie członu opóźniającego i członu inercyjnego 1-go rzędu.

3. Ocena poprawności wyznaczonych parametrów obiektu rzeczywistego

- W Simulinku utworzyć model obiektu mikrotermostatu (Rys.4.) o parametrach wyznaczonych na podstawie zarejestrowanej charakterystyki rzeczywistej badanego obiektu regulacji.



Rys. 4. Struktura układu do oceny poprawności wyznaczenia parametrów modelu mikrotermostatu.

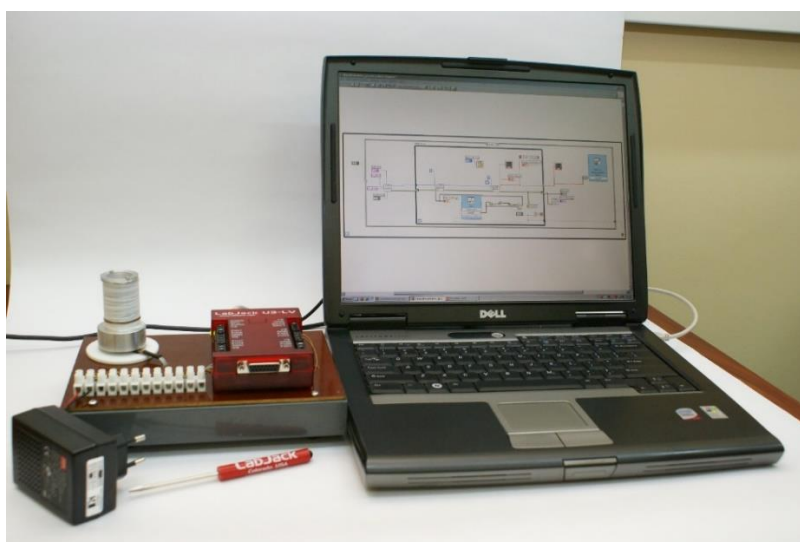
- Wczytać zarejestrowaną charakterystykę obiektu do Matlaba z Exela korzystając z funkcji readxls lub opcji importuj dane (W celu wczytania danych skorzystać z funkcji From Workspace. Plik wejściowy w pierwszej kolumnie musi zawierać czas w s w drugiej temperaturę w °C, nazwa w bloku From Workspace musi być taka jak macierzy powstałej po wczytaniu danych).
- Zbadać odpowiedź modelu na wartość równą różnicy (ΔU_{ster}) napięcia na wejściu mikrotermostatu (w bloku Constant1 wpisać wartość 2,85).
Parametry modelu ustawia się następująco:
 K_{ob} to licznik w „Transfer Fcn”
 τ to wartość przy s w „Transfer Fcn”
 T_0 to wartość w „Transport Delay”
W bloku Constant ustawiamy wartość temperatury początkowej.

- Porównać charakterystykę rzeczywistą, zarejestrowaną dla mikrotermostatu z modelem uproszczonym o parametrach wyznaczonych na podstawie uzyskanej charakterystyki dla mikrotermostatu. W przypadku złego dopasowania modelu należy zmodyfikować parametry modelu uproszczonego: K_{ob} , T_0 i τ tak aby uzyskać jak najlepsze dopasowanie.
- Zapisać wszystkie wyniki w postaci plików danych, umieścić w sprawozdaniu i opisać.

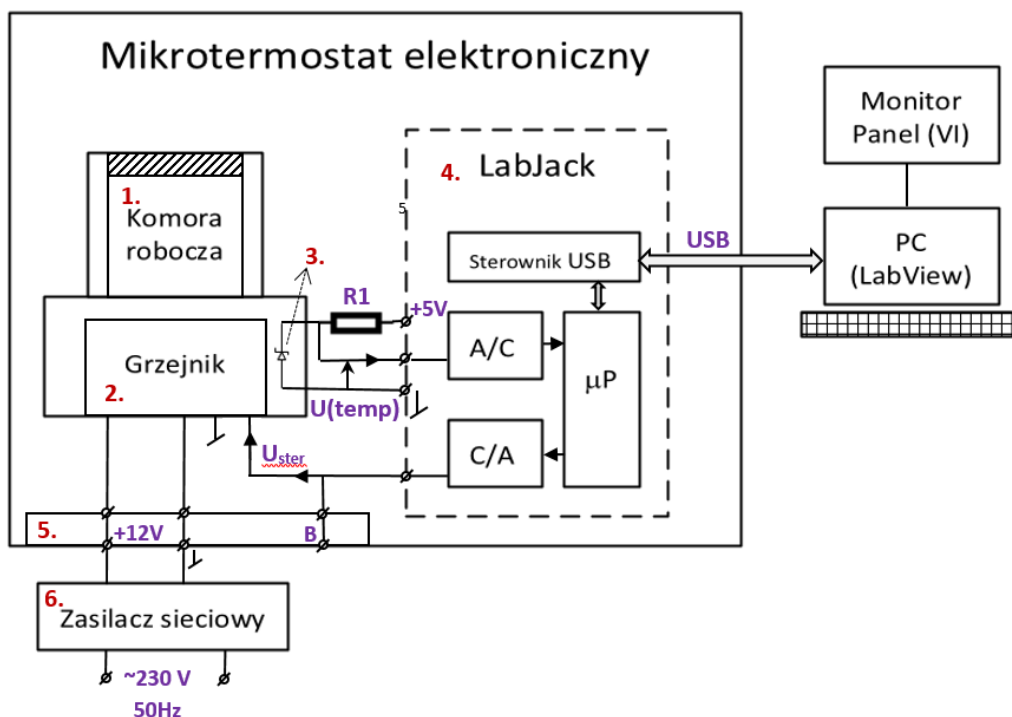
WPROWADZENIE TEORETYCZNE:

1. Opis obiektu badań - Mikrotermostat

Na Rys.5. przedstawiono widok badanego mikrotermostatu. Komora robocza mikrotermostatu (1) podgrzewana jest sterowanym elektronicznie grzejnikiem (2). Komora robocza wraz z grzejnikiem stanowią obiekt regulacji. Zmianę zadawanej temperatury obiektu uzyskuje się poprzez dołączenie do wejścia grzejnika napięcia sterującego U_{ster} . Warunki pracy układu zostały tak dobrane, że dla napięcia U_{ster} mniejszego od 1.15V grzejnik nie włącza się, a temperatura ustalona mikrotermostatu równa się temperaturze otoczenia. Dla maksymalnej wartości U_{ster} ok. 4.5V w warunkach laboratoryjnych temperatura mikrotermostatu osiąga ok. 70 °C. Do pomiaru bieżącej temperatury obiektu użyto czujnika temperatury (3) typu LM335, który temperaturę mierzoną przetwarza na napięcie stałe; jego czułość wynosi 10 mV/°C. Wyjście czujnika temperatury dołączone jest do wejścia przetwornika A/C w module pomiarowym LabJack (4). Zadawanie temperatury, obliczenie bieżącej temperatury mikrotermostatu oraz obliczenie wymaganego napięcia sterującego U_{ster} grzejnika realizowane są programowo. Obliczona wartość wymaganego napięcia sterującego grzejnika podawana jest na wejście przetwornika C/A w module pomiarowym LabJack (4). Napięcie wyjściowe U_{ster} z przetwornika C/A dołączone jest do wejścia sterującego grzejnika (ozn. B na listwie zaciskowej 5). Zadawanie warunków pracy mikrotermostatu, obliczenia, sterowanie modulem pomiarowym LabJack (4) oraz rejestracja wartości wielkości charakteryzujących pracę mikrotermostatu realizowane są programowo w środowisku LabView. Komunikacja modułu pomiarowego z komputerem odbywa się poprzez łącze USB. Napięcie wyjściowe 12V zasilacza sieciowego (6) mikrotermostatu dołączone jest do odpowiednich zacisków listwy zaciskowej 5.



a

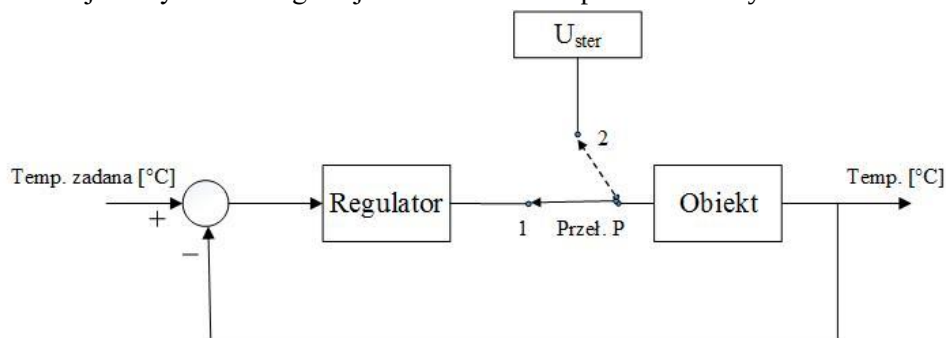


b

Rys.5. Zdjęcie mikrotermostatu (a) i jego schemat blokowy (b).

2. Tryby pracy mikrotermostatu i oprogramowanie

Schemat funkcjonalny układu regulacji mikrotermostatu przedstawia Rys.6.

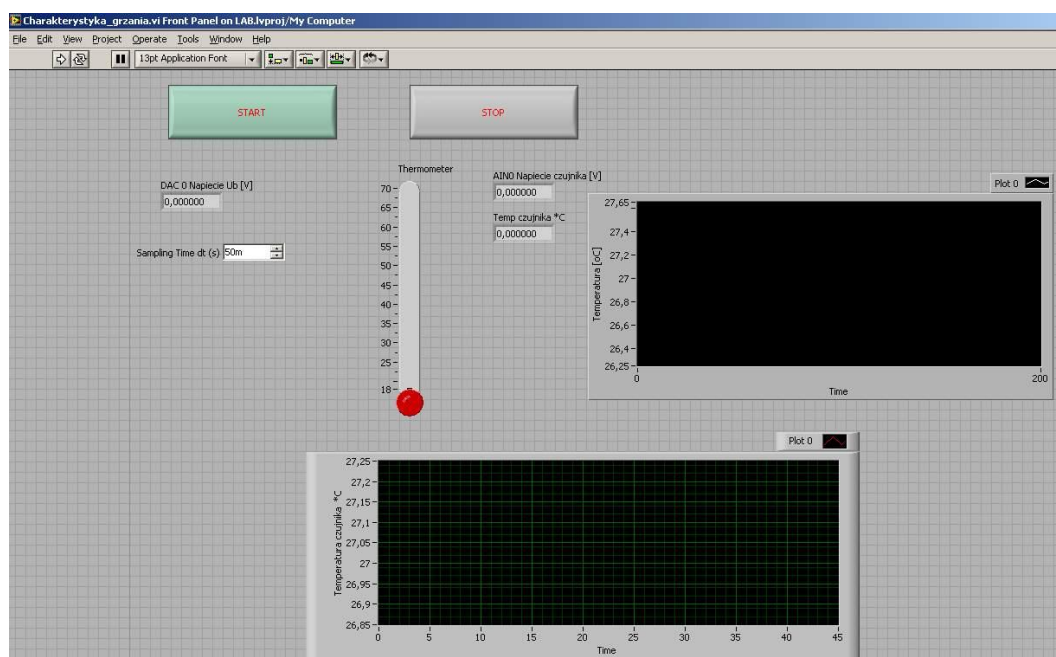


Rys.6. Schemat funkcjonalny układu regulacji mikrotermostatu.

2.1. Praca obiektu w układzie otwartym

(Dotyczy ćwiczenia nr 6)

W pozycji 2 przełącznika P obiekt pracuje w układzie otwartym. W tym trybie pracy można wyznaczyć **odpowiedź skokową** obiektu tzn. zarejestrować zmiany temperatury wyjściowej obiektu (temperatura mikrotermostatu) w funkcji czasu jako odpowiedź na zadaną, skokową zmianę napięcia sterującego U_{ster} . Pracę w tym trybie uzyskuje się po uruchomieniu programu **L1_char_grz.exe (Rys.7)**.

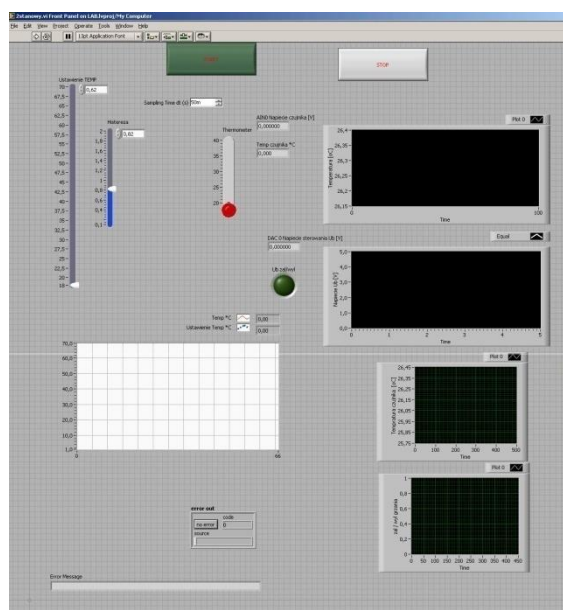


Rys. 7. Widok ekranu wirtualnego przyrządu realizującego pracę obiektu w układzie otwartym

2.2. Praca obiektu w układzie zamkniętym z regulatorem dwupołożeniowym

(dotyczy ćwiczenia nr 7)

Praca mikrotermostatu w układzie zamkniętym realizowana jest w układzie z Rys.6, gdy przełącznik P znajduje się w pozycji 1. Pracę w trybie **regulacji dwupołożeniowej** uzyskuje się po uruchomieniu programu **L2_2stan.exe**. Regulator dwupołożeniowy realizowany jest programowo (Rys.8.).

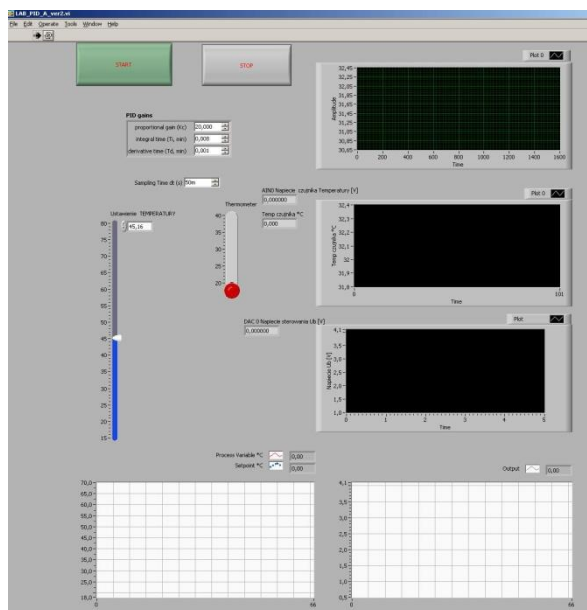


Rys.8. Widok ekranu wirtualnego przyrządu realizującego pracę obiektu w układzie regulacji dwustanowej.

2.3. Praca obiektu w układzie zamkniętym regulatorem PID

(dotyczy ćwiczenia nr 8)

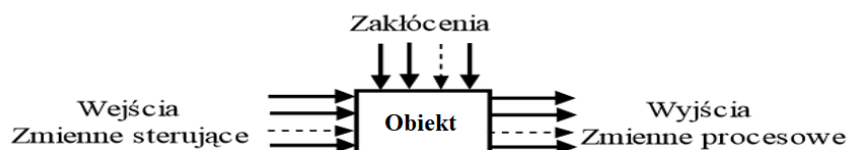
W pozycji 1 przełącznika P (Rys.6) obiekt pracuje w układzie zamkniętym. Pracę w trybie **regulacji ciągłej** uzyskuje się po uruchomieniu programu **L3_PID.exe**. Regulator PID realizowany jest programowo (Rys.9.).



Rys.9. Widok ekranu wirtualnego przyrządu realizującego pracę obiektu w układzie regulacji ciągłej z regulatorem PID.

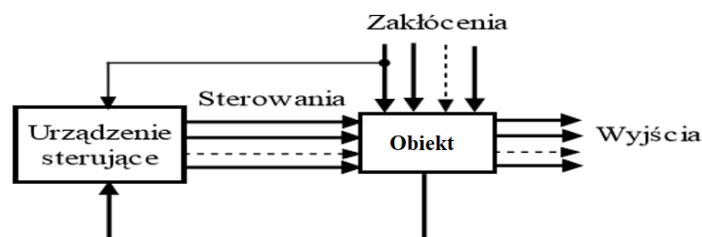
3. REGULACJA W UKŁADACH RZECZYWISTYCH

Regulacja w automatyce to zespół czynności mających na celu zapewnienie właściwego przebiegu procesu technologicznego. Proces technologiczny w którym zachodzi proces regulacji nazywamy **OBIEKTEM REGULACJI** lub krótko **OBIEKTEM**. Wyróżniamy dwa sposoby regulacji (sterowania) obiektu: sterowanie w układzie otwartym i sterowanie w układzie zamkniętym. Schemat ideowy oraz cechy charakterystyczne tych sterowań zebrano poniżej.



Sterowanie w układzie otwartym

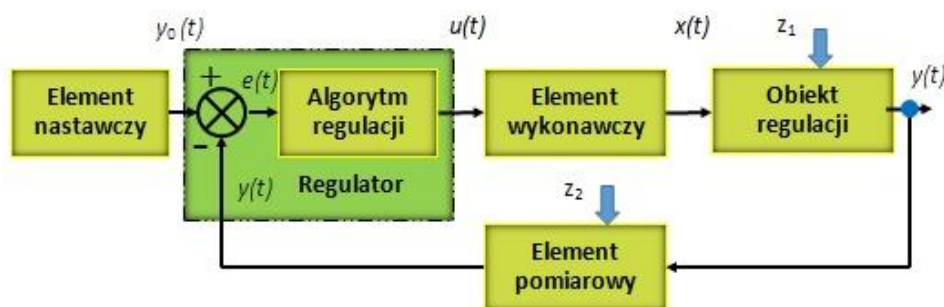
1. pobudza się wejście nie obserwując tego co dzieje się na wyjściu,
2. nie wykorzystuje się informacji wyjściowej,
3. wymaga się dogłębnej znajomości sterowanego obiektu i możliwości precyzyjnego sterowania.



Sterowanie w układzie zamkniętym

1. porównuje się wartości sygnałów wyjściowych z sygnałami zadanymi, poprzez sprzężenie zwrotne ujemne,
2. dzięki jego właściwościom układ „samodzielnie” realizuje stawiane mu zadanie polegające na wymuszeniu określonej wartości wielkości wyjściowej, niezależnie od zmian parametrów układu.

Układ regulacji automatycznej (URA) to układ regulacji ze sprzężeniem zwrotnym, który zapewnia bez ingerencji człowieka wymaganą zmienność jednej lub kilku wielkości charakteryzujących proces technologiczny (obiekt regulacji). Schemat URA przedstawiono na Rys.10.



Rys.10. Schemat ideowy URA.

- $y_0(t)$ - wartość zadana wartość wielkości regulowanej (wymuszenie),
 $e(t)$ - uchyb regulacji (lub inaczej sygnał uchybu),
 $u(t)$ - wielkość sterująca (lub inaczej sygnał sterujący),
 $x(t)$ - wielkość wykonawcza,
 $y(t)$ - wielkość regulowana (lub inaczej sygnał regulowany),
 z_1, z_2 - zakłócenia.

Definicja elementów układu regulacji automatycznej:

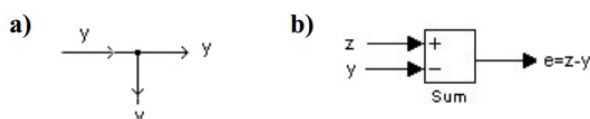
- Element nastawczy** urządzenie umożliwiające zadanie wymuszenia.
Regulator urządzenie, które poprzez odpowiednią zmianę wielkości sterującej zapewnia pożądane zachowanie się obiektu.
Element wykonawczy element przenoszący sygnał sterujący (uformowany w regulatorze) na obiekt regulacji.
Obiekt regulacji proces technologiczny, w którym zachodzi proces podlegający regulacji.
Element pomiarowy dokonuje pomiaru wielkości wyjściowej.

Ćwiczenie nr 6. Regulacja w układach rzeczywistych - identyfikacja obiektu.

Wielkość regulowana wielość $y(t)$, która mimo zmiennych warunków pracy obiektu, czyli mimo oddziaływania na obiekt wielkości zakłócających ma się zmieniać w sposób określony przez wartość zadaną wielkości regulowanej $y_0(t)$.

Regulator urządzenie porównujące sygnał wartości zadanej $y_0(t)$ z sygnałem regulowanym $y(t)$ i wytwarzające sygnał regulacji $u(t)$ według określonego algorytmu.

Innym pojęciem związanym z UAR jest węzeł. Na Rys.11 przedstawione są: **węzeł informacyjny** (Rys.11.a), rozdzielający ten sam sygnał y na wiele ścieżek i **węzeł sumacyjny** (Rys.11.b), realizujący sumę algebraiczną sygnałów wchodzących do węzła.



Rys.11. Typy węzłów. a) informacyjny b) sumacyjny

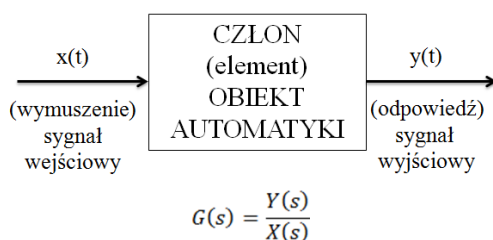
Modelowanie matematyczne **obiektów regulacji spotykanych w automatyce** dokonuje się za pomocą równań opisujących prawa fizyczne. Opis matematyczny obiektu regulacji składa się z dwóch części:

- równania (układu równań) statyki,
- równania (układu równań) dynamiki.

Równanie statyki obiektu regulacji jest to równanie algebraiczne wyrażające zależność między wielkością wyjściową obiektu regulacji (członu automatyki) a wielkością wejściową w stanach ustalonych (stanach równowagi).

Równanie dynamiki obiektu regulacji jest to równanie różniczkowe, w którym czas jest zmienną niezależną, wyrażające zależności między wielkościami wyjściową i wejściową w stanach nieustalonych, wywołanymi zmianami wielkości wejściowej lub zakłóceniami.

Dynamiczne własności obiektu, określa transmitancja obiektu, która "wyrażona jest językiem" przekształcenia Laplace'a. **Transmitancja operatorowa** jest to stosunek transformaty sygnału wyjściowego do transformaty sygnału wejściowego, przy zerowych warunkach początkowych.



gdzie:

$Y(s)$ - transformata Laplace'a sygnału wyjściowego członu,

$X(s)$ - transformata Laplace'a sygnału wejściowego członu

Podstawowe liniowe człony dynamiczne.

• Człon proporcjonalny

Równanie przetwarzania

$$y(t) = Ku(t)$$

Transmitancja operatorowa K

$$\frac{y(s)}{x(s)} = K$$

• Człon inercyjny pierwszego rzędu

Równanie przetwarzania

$$\tau \frac{dy(t)}{dt} = y(t) = Ku(t)$$

Transmitancja operatorowa

$$\frac{y(s)}{x(s)} = \frac{K}{\tau s + 1}$$

• Człon całkujący

Równanie przetwarzania

$$y(t) = \frac{1}{T_i} \int u(t) dt$$

Transmitancja operatorowa

$$\frac{y(s)}{x(s)} = \frac{1}{T_i s}$$

• Człon całkujący rzeczywisty

Równanie przetwarzania

$$\tau \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = \frac{1}{T_i} \int u(t) dt$$

Transmitancja operatorowa

$$\frac{y(s)}{x(s)} = \frac{1}{T_i s (\tau s + 1)}$$

• Człon różniczkujący

Równanie przetwarzania

$$y(t) = T_d \frac{du(t)}{dt}$$

Transmitancja operatorowa

$$\frac{y(s)}{x(s)} = T_d s$$

• Człon różniczkujący rzeczywisty

Równanie przetwarzania

$$\tau \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = T_d \frac{du(t)}{dt}$$

Transmitancja operatorowa

$$\frac{y(s)}{x(s)} = \frac{T_d s}{\tau s + 1}$$

• Człon opóźniający

Równanie przetwarzania

$$y(t) = u(t - T_0)$$

Transmitancja operatorowa

$$\frac{y(s)}{x(s)} = e^{-sT_0}$$

4. IDENTYFIKACJA OBIEKTU REGULACJI

Identyfikacja charakteru i właściwości obiektu regulacji, jest podstawowym warunkiem prawidłowego zaprojektowania oraz dobrania warunków pracy obiektu regulacji. Właściwości obiektu mogą być określone z wyprowadzonego modelu matematycznego, często jednak łatwiejsze jest doświadczalne wyznaczenie charakterystyk badanego układu.

Doświadczalne wyznaczenie właściwości dynamicznych badanego obiektu regulacji wymaga wymuszenia skokowej zmiany wartości jego wielkości wejściowej i zbadania przebiegu **zmiany tej wielkości w funkcji czasu Y(t)**. Z wykresu odpowiedzi na wymuszenie skokowe wyznacza się podstawowe parametry dynamiczne obiektu.

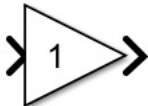
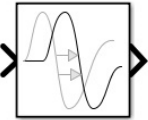
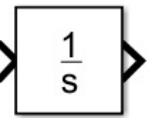
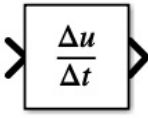
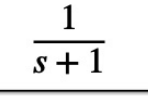
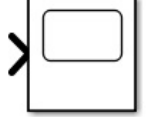
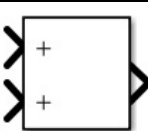
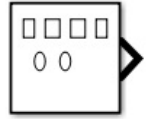
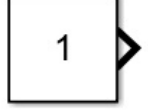
Przykładowo, (Patrz Rys.1) odpowiedź członu inercyjnego I rzędu ma charakter wykładniczy i asymptotycznie zmierza do wartości ustalonej T_{ust} . Czas ustalania się odpowiedzi obiektu zależy od jego właściwości fizycznych takich jak masa i ciepło właściwe. Matematycznie opisuje go **stała czasowa τ** . Rzeczywiste obiekty opisywane są jako człony inercyjne wyższego rzędu, a ich odpowiedź na skok wartości na wejściu można (choć tylko w przybliżeniu) traktować jako odpowiedź członu

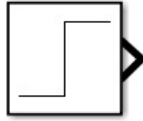
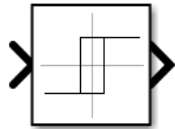
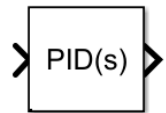
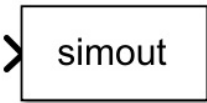
Ćwiczenie nr 6. Regulacja w układach rzeczywistych - identyfikacja obiektu.

inercyjnego I rzędu z opóźnieniem, na Rys.1. oznaczonym jako **czas opóźnienia T_0** . Należy podkreślić, że opóźnienie wprowadzane przez obiekty rzeczywiste ma bardzo istotne znaczenie z punktu widzenia układów regulacji, ponieważ oznacza, że obiekty te nie reagują natychmiast na sygnały podawane z regulatora. **Wzmocnienie K_{ob}** wyznacza się zgodnie z zależnością przedstawioną w przykładzie „Identyfikacja parametrów obiektu regulacji).

Tabela 1 przedstawia zestaw bloków Simulinka które należy wykorzystać do przygotowania modeli w opisanym ćwiczeniu.

Tabela 1. Wybrane bloki Simulinka

Element	Nazwa biblioteki w Simulinku	Blocek
Człon proporcjonalny - wzmacniający	Math Operations	
Człon opóźniający	Continuous	
Człon całkujący	Continuous	
Człon różniczkujący	Continuous	
Człon inercyjny pierwszego rzędu	Continuous	
Oscyloskop	Sinks	
Multiplekser	Signal Routing	
Sumator	Math Operations	
Generator sygnałowy	Sources	
Zadajnik wartości	Sources	

Skok jednostkowy	Sources	
Przebiegi	Discontinuities	
Regulator PID	Continuous	
Zapis danych	Sinks	
Wczytywanie danych	Sources	