

**Cel ćwiczenia:** Zapoznanie się z zasadą działania regulatora dwustanowego oraz ocena, jakości regulacji dwupołożeniowej na przykładzie obiektu rzeczywistego (mikrotermostat) i badań symulacyjnych.

## UWAGA

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

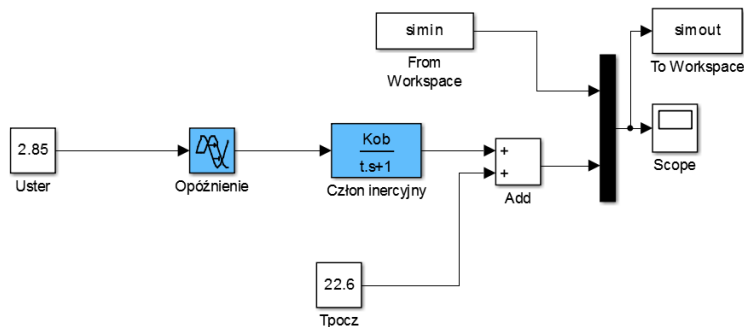
(Wszystkie wyniki zapisywać na dysku Dane E:)

### Program i przebieg ćwiczenia:

1. Badanie mikrotermostatu w układzie zamkniętym z regulatorem dwustanowym
  - Uruchomić program L2\_2stan.exe (Pulpit, zakładka *Lab Jack*, folder *Regulacja dwupołożeniowa*). Zaznaczyć domyślnie proponowaną bibliotekę „lvStorage.dll”, zatwierdzamy OK.
  - Zadać uzgodnioną z prowadzącym wartość temperatury mikrotermostatu (zalecane wartości z przedziału 30 °C do 50 °C) oraz wartość histerezy.
  - Po „naciśnięciu” przycisku START na ekranie wirtualnego przyrządu uruchomić rejestrację. Należy rejestrować przebieg minimum 30 min do 60 min.
  - Zapisać temperaturę początkową mikrotermostatu.
  - „Naciśnięcie” przycisku STOP zatrzymuje działanie przyrządu, dane pomiarowe zapisywane są automatycznie do pliku tekstowego E:\Now@\dwustanowy\_T\_czujnika.lvm E:\Now@\dwustanowy\_Ub.lvm. Dane te mogą być importowane do arkusza kalkulacyjnego do dalszej analizy.
  - Przeanalizować uzyskane rezultaty, wyznaczyć parametry regulacji (wg procedur opisanych w pkt 2.4).
  - W trakcie realizacji punktu c) można wymusić zakłócenie pracy obiektu poprzez wymuszenie ruchu powietrza wokół komory roboczej mikrotermostatu lub włożenie do komory próbki materiału. Na podstawie zarejestrowanego przebiegu ocenić, jakość regulacji przy wystąpieniu zakłócenia.
2. Badania symulacyjne – Simulink
  - 2.1. Porównać charakterystykę rzeczywistą, zarejestrowaną na poprzednich zajęciach z modelem uproszczonym o parametrach wyznaczonych na podstawie uzyskanej charakterystyki. (Rys. 1) W przypadku złego dopasowania modelu zmodyfikować parametry:  $K_{ob}$ ,  $T_0$  i  $\tau$  tak aby uzyskać jak najlepsze dopasowanie. Zapisać wszystkie wyniki w postaci plików danych, umieścić w sprawozdaniu i opisać.

W celu wczytania danych skorzystać z funkcji From Workspace (w oknie poleceń programu Matlab wpisać `>>M = xlsread('filename')`)

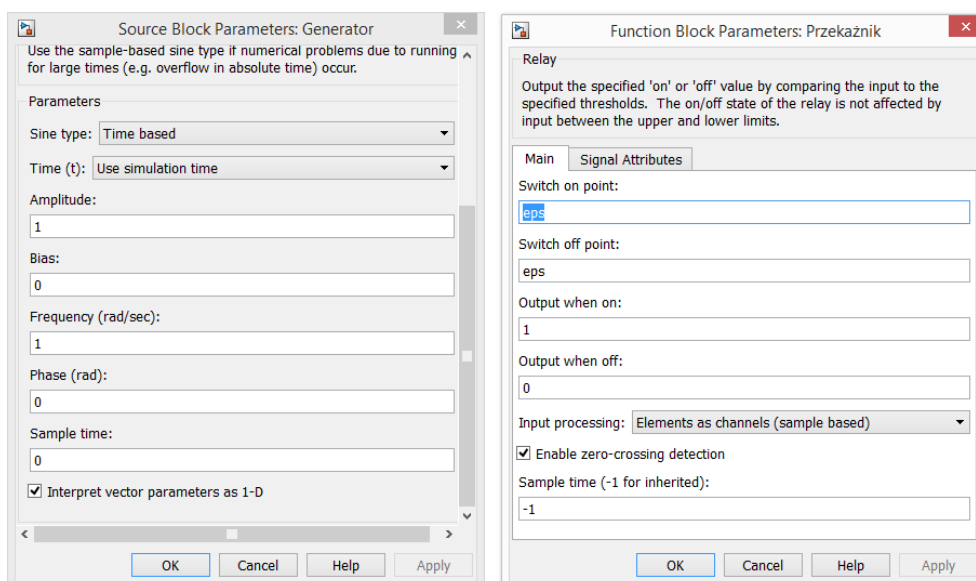
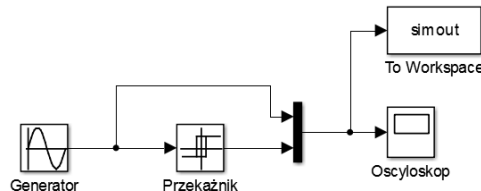
## Ćwiczenie nr 7. Regulacja dwupołożeniowa.



Rys. 1. Struktura przykładowa umożliwiająca porównanie charakterystyki dynamicznej rzeczywistego obiektu z modelem uproszczonym składającym się z członu opóźniającego i członu inercyjnego 1-go rzędu (kolor niebieski).

## 2.2. Badanie charakterystyki statycznej przełącznika

- Uruchomić pakiet Simulink, zbudować układ jak na Rys. 2.
- Ustawić parametry przełącznika: dwukrotnie „kliknąć” lewym przyciskiem myszy człon przełącznik. Pojawi się okno edycji parametrów przełącznika, (jak na Rys. 2) w którym podaje się:
  - wartość, przy której następuje załączenie przełącznika (switch on point)
  - wartość, przy której następuje wyłączenie przełącznika (switch off point) (domyślnie wpisane są wartości eps, co oznacza brak histerezy)
  - wartość na wyjściu przełącznika, gdy jest on załączony (Output when on) – wpisać 1
  - wartość na wyjściu przełącznika, gdy jest on wyłączony (Output when off) – wpisać 0



Rys. 2 Układ do badania charakterystyki przełącznika wraz z oknami edycji jego parametrów

## Ćwiczenie nr 7. Regulacja dwupołożeniowa.

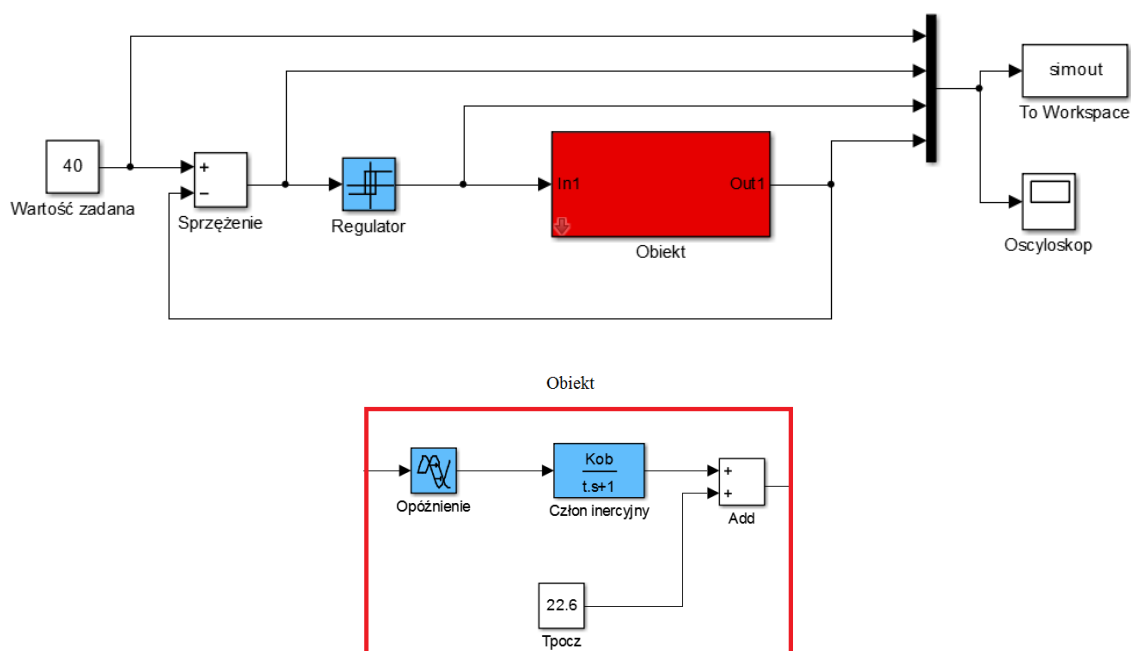
Należy zaakceptować powyższe parametry (Apply) i zamknąć okno. Podobnie należy otworzyć okno generatora i ustawić wartość jego amplitudy większą od 1 np. 3.

- Uruchomić symulację poleceniem Run w menu Simulation lub przyciskiem na pasku zadań.
- Na podstawie przebiegów pokazanych przez oscyloskop należy ustalić, przy jakich wartościach sygnału na wejściu, przełącznik zmienia stan na wyjściu.
- Zapisać wyniki w postaci pliku
- Badania powtórzyć dla kilku wartości histerezy przełącznika i kilku wartości amplitudy sygnału sterującego
- Porównać wyniki w sprawozdaniu

## 2.3. Badanie układu regulacji dwupołożeniowej

## 2.3.1. Badanie układu regulacji dwupołożeniowej mikrotermostatu

- Zbudować układ jak na. Rys. 3 wykorzystując obiekt z pkt. 2.1 lub 2.2.
- Ustawić parametry przełącznika:
  - Histerezę wartość taka jaką podano podczas badania mikrotermostatu (pkt1)
  - wartość na wyjściu przełącznika, gdy jest on załączony (Output when on) – wpisać 2.85
  - wartość na wyjściu przełącznika, gdy jest on wyłączony (Output when off) – wpisać 0
- Ustawić parametry obiektu:
  - Wartości wyznaczone na podstawie charakterystyki rzeczywistej zarejestrowanej dla mikrotermostatu na poprzednich zajęciach  $K_{ob}$ ,  $T_0$  i  $\tau$
  - Wartość zadaną – taka sama jak dla mikrotermostatu.
- Ustawić czas symulacji na min 3600 s i uruchomić symulację poleceniem Run w menu Simulation lub przyciskiem na pasku zadań.
- Zapisać wyniki w postaci pliku
- Jeżeli podczas badań w pkt. 2.2 zmieniano parametry obiektu w celu lepszego dopasowania modelu do charakterystyki rzeczywistej, badania powtórzyć dla tych parametrów. Zapisać wyniki

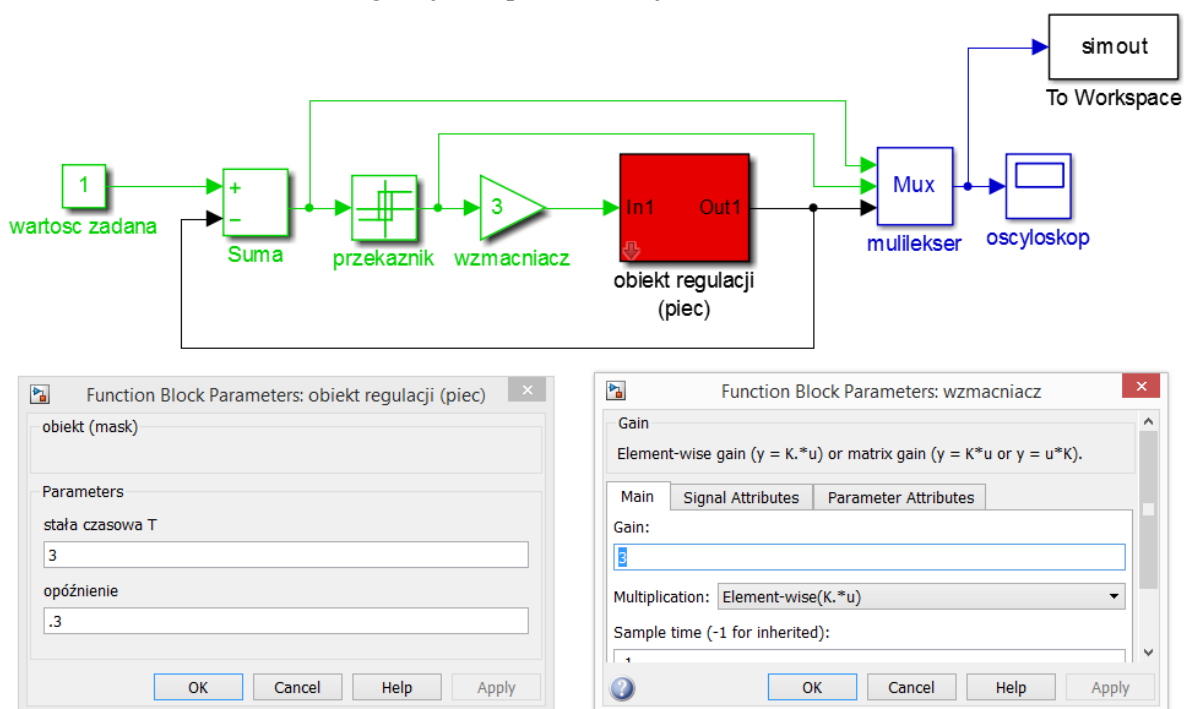


Rys. 3 Układ automatycznej regulacji dwupołożeniowej obiekt –model mikrotermostatu

## Ćwiczenie nr 7. Regulacja dwupołożeniowa.

- Wyznaczyć **parametry** do oceny jakości regulacji
  - czas, po którym sygnał wyjściowy z obiektu osiąga po raz pierwszy wartość zadaną
  - wartość przeregulowań (maksymalnych odchyłek od wartości zadanej) na wyjściu obiektu
  - czas pierwszego załączenia przekaźnika,
  - stosunek kolejnych czasów załączeń i wyłączeń
  - czas trwania cyklu załączenie/wyłączenie
  - wartość średnią sygnału wyjściowego z obiektu (z pominięciem pierwszego przeregulowania)
- W sprawozdaniu porównać parametry i charakterystyki rzeczywiste i symulacyjne.

## 2.3.2. Badanie układu regulacji dwupołożeniowej bez zakłóceń

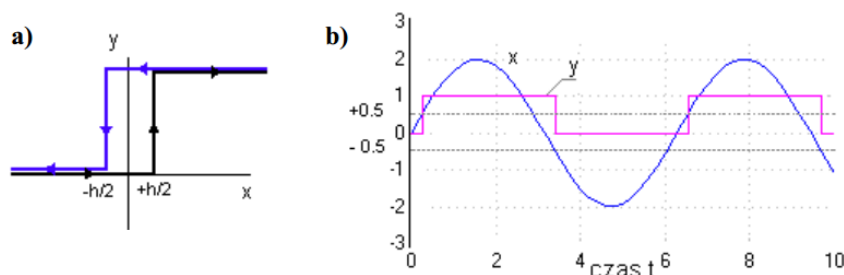


Rys. 4 Układ automatycznej regulacji dwupołożeniowej i okna edycji jego parametrów

- Otworzyć model dwustanowa\_1.mdl (plik pobrać ze strony [www.ibp.pwr.wroc.pl/Materialy\\_dydaktyczne/ETP0011L Miernictwo i automatyka](http://www.ibp.pwr.wroc.pl/Materialy_dydaktyczne/ETP0011L_Miernictwo_i_automatyka)), uruchomić symulację. Wyznaczyć **parametry** do oceny jakości regulacji (patrz pkt 2.3.1)
- Powtórzyć badania dla różnych wzmocnień wzmacniacza  $Gain \in (1.5, 10)$ .
- Powtórzyć badania dla różnych czasów opóźnienia  $T_0 \in (0.1, 1)$ .
- Powtórzyć badania dla różnych stałych czasowych obiektu  $\tau \in (2, 10)$
- Porównać parametry określone w trakcie badań i wyciągnąć wnioski.

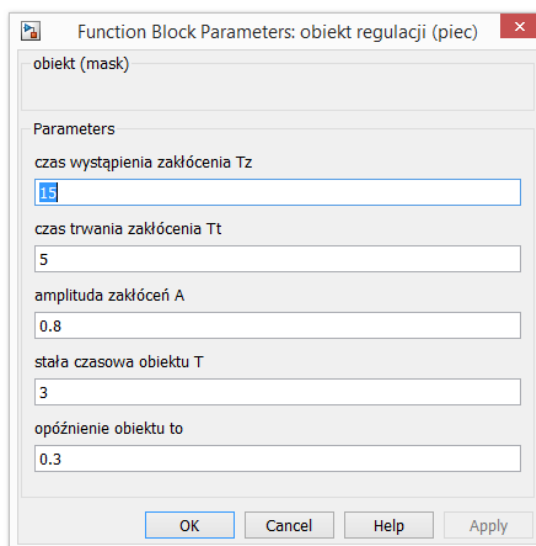
## 2.3.3. Badanie układu regulacji dwupołożeniowej z histerezą przekaźnik

- W układzie jak w punkcie 2.4.1 ustawić niezerową histerezę przekaźnika np. +0.2 oraz -0.2
- Omówić wpływ histerezy przekaźnika na częstotliwość jego załączeń w przypadku obiektów o małych czasach opóźnienia  $T_0$ .
- Przeanalizować wpływ histerezy na parametry regulacji.



Rys. 5 Graficzna prezentacja funkcji realizowanej przez przełącznik, a) charakterystyka przełącznika b) przykład pracy przełącznika

#### 2.3.4. Badanie układu regulacji dwupołożeniowej w przypadku zakłóceń występujących w obiekcie.



Rys. 6 Blok edycji parametrów obiektu regulacji z możliwością wystąpienia zakłóceń

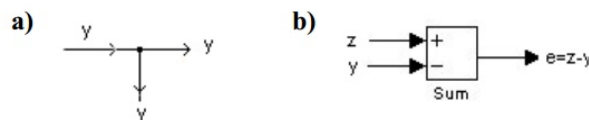
- Otworzyć model dwustanowa\_2.mdl (plik pobrać ze strony [www.ibp.pwr.wroc.pl/Materialy\\_dydaktyczne/ETP0011L\\_Miernictwo\\_i\\_automatyka](http://www.ibp.pwr.wroc.pl/Materialy_dydaktyczne/ETP0011L_Miernictwo_i_automatyka)), uruchomić symulację. Model ten ma wbudowany układ zakłócający, symulujący np. otwieranie drzwiczek komory suszarki. Okno edycji parametrów obiektu umożliwia określenie czasu, po którym występuje zakłócenie (domyślnie 15), czasu trwania zakłócenia (domyślnie 5) oraz amplitudy zakłócenia (domyślnie 0.8 - przy wartości zadanej 1) (Rys. 6).
- Uruchomić symulację dla kilku wartości czasu trwania i amplitudy zakłócenia.
- Porównać przebiegi wielkości regulowanej w obiekcie bez i z zakłóceniami obydwie obiekty muszą mieć te same wartości stałych czasowych  $\tau$  oraz czasu opóźnienia  $T_0$ , np. odpowiednio 3 i 0.3.

## Ćwiczenie nr 7. Regulacja dwupołożeniowa.

## Wprowadzenie:

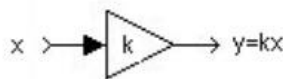
Z regulacją dwupołożeniową (dwustawną, dwustanową - zwłaszcza temperatury) spotykamy się często w życiu codziennym – przykładem jest lodówka, zamrażarka, pralka itd. Regulacja ta jest również szeroko stosowana w wielu procesach technologicznych i w laboratoriach (suszarki, termostaty). Powszechność zastosowań regulacji dwupołożeniowej wynika z faktu, że jest to najprostszy sposób regulacji automatycznej. Analiza układu regulacji automatycznej wymaga określenia kilku związanych z tym układem pojęć. Pierwszym z nich jest pojęcie sygnału. Przez sygnał będziemy rozumieli przebieg czasowy wielkości fizycznej – w praktyce elektrycznej tj. napięcia lub prądu, niosący jakąś informację. Często zamiast pojęcia sygnał na wejściu lub wyjściu członu układu automatyki mówi się w skrócie wejście lub wyjście tego członu. Na schematach sygnał jest zapisywany w postaci funkcji  $y(t)$ , gdzie  $t$  – oznacza czas, a  $y$  wartość wielkości stanowiącej sygnał, czasem używa się tylko samego symbolu  $y$ . Fizyczną interpretację sygnału może stanowić np. przebieg czasowy napięcia, którego wartość jest informacją o temperaturze obiektu. Innym pojęciem (elementem, członem układu automatyki) jest węzeł. Na Rys. 7 przedstawione są:

- **węzeł informacyjny** (Rys. 7a), rozdzielający ten sam sygnał  $y$  na wiele ścieżek
- **węzeł sumacyjny** (Rys. 7b), realizujący sumę algebraiczną sygnałów wchodzących do węzła



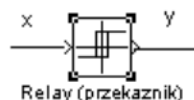
Rys. 7 Węzły a) informacyjny, b) sumacyjny

Na Rys. 8 przedstawiony jest inny człon używany w układach regulacji – człon proporcjonalny (mnożący sygnał wejściowy  $x$  przez stałą  $k$ ). Często człon ten nazywany wzmacniaczem, choć wartość  $k$  może być mniejsza od 1.



Rys. 8 Człon proporcjonalny (wzmacniacz)

Charakterystyka wzmacniacza jest z definicji liniowa. W układach regulacji występują również człony o charakterystyce nieliniowej – przykładem jest przekaźnik przedstawiony na Rys. 9.



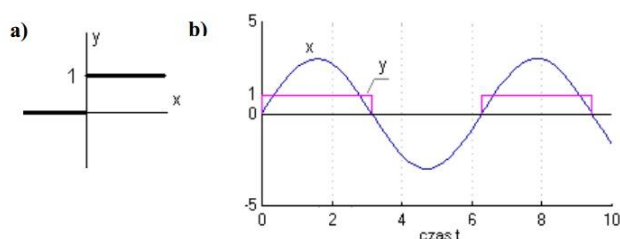
Rys. 9 Przekaznik

W najprostszym przypadku przekaźnik realizuje następującą funkcję:

$$\begin{aligned} y &= 1 \text{ dla } x \geq 0 \\ y &= 0 \text{ dla } x < 0 \end{aligned} \quad (1)$$

## Ćwiczenie nr 7. Regulacja dwupoleźniowa.

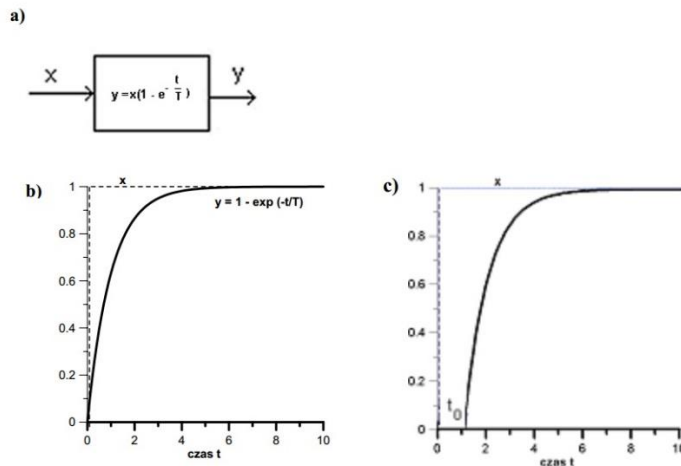
co ilustruje Rys. 10. Stan  $y = 1$  nazywamy załączeniem, a  $y = 0$  wyłączeniem przekaźnika.



Rys. 10 Graficzna prezentacja funkcji realizowanej przez przekaźnik  
 a) charakterystyka przekaźnika  
 b) przykład pracy przekaźnika

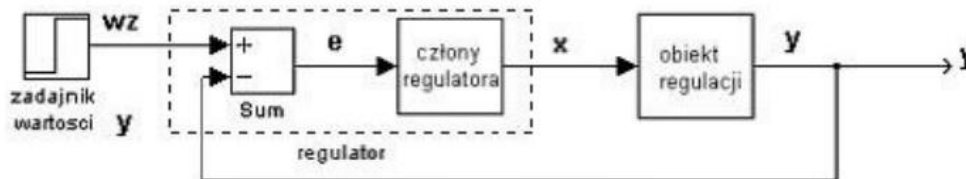
Omawiane dotychczas człony miały **charakter statyczny**, tzn. stan ich wyjścia zależał od wartości wejściowej, natomiast nie zależał od czasu. Z punktu widzenia automatyki istotne jest, że wiele obiektów ma **charakter dynamiczny**, co oznacza, że ich sygnał wyjściowy (ze względu na procesy przetwarzania energii) nie ustala się natychmiast po zmianie sygnału wejściowego. Dla przykładu: z doświadczenia wiadomo, że jeśli czujnik temperatury o ustalonej temperaturze początkowej włożymy do osrodka o temperaturze wyższej (mówimy, że na wejściu czujnika nastąpił skok wartości), to sygnał wyjściowy czujnika (np. słupek rtęci w termometrze rtęciowym) nie ustali się natychmiast na nowej wartości – czasem mówi się o bezwładności (lub inercji) takich obiektów. Zachowanie się obiektów takich jak termometr, termostat itd. Opisuje się równaniami różniczkowymi zwyczajnymi – w najprostszym przypadku równaniem różniczkowym pierwszego rzędu. Człon przedstawiający obiekt opisywany równaniem różniczkowym pierwszego rzędu nazywany jest **członem inercyjnym pierwszego rzędu**. Na Rys. 11 przedstawiony jest taki człon wraz z funkcją opisującą zmianę sygnału wyjściowego, gdy na wejściu następuje skok wartości. Rys. 11b podaje przykład jego odpowiedzi (sygnał wyjściowy  $y$ ) na skokową zmianę wartości sygnału wejściowego  $x$  (w chwili  $t = 0$  sygnał  $x$  zmienia wartość z 0 na 1). Odpowiedź członu inercyjnego pierwszego rzędu ma charakter wykładniczy i asymptotycznie zmierza do wartości wejściowej  $x$ . Czas ustalania się odpowiedzi obiektu zależy od jego właściwości fizycznych takich jak masa i ciepło właściwe. Matematycznie opisuje go stała czasowa  $T$ , występująca w równaniu na Rys. 11b. 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 inercyjnego pierwszego rzędu z opóźnieniem, na Rys. 11c oznaczonym jako  $t_0$ . 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.

## Ćwiczenie nr 7. Regulacja dwupołożeniowa.



Rys. 11 Człon inercyjny a) i jego odpowiedź na skok wartości na wejściu  
 b) człon inercyjny pierwszego rzędu  
 c) człon inercyjny wyższego rzędu

Ogólny schemat układ automatycznej regulacji przedstawia Rys. 12



Rys. 12 Układ regulacji automatycznej

W układzie tym istnieje człon zadający wartość  $wz$ , jaką chcemy uzyskać na wyjściu obiektu (np. zadajemy temperaturę termostatu). W węzle sumacyjnym (będącym częścią regulatora) od wartości zadanej  $wz$  odejmowana jest wartość sygnału wyjściowego z obiektu  $y$  (np. jego temperatura) – ich różnicę nazywamy sygnałem błędem  $e$ . W zależności od wartości sygnału  $e$  kolejne człony regulatora podejmują odpowiednie działanie w stosunku do obiektu.

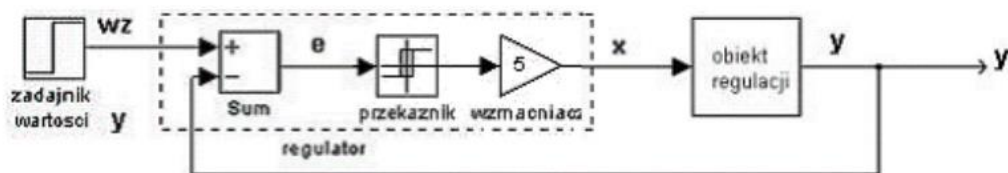
W najprostszym przypadku działanie regulatora może być dwustanowe:

$$\begin{aligned} \text{dla } e \geq 0 \text{ (} y < wz \text{)} & \quad x > 0 \text{ (regulator dostarcza mocy do obiektu)} \\ \text{dla } e < 0 \text{ (} y > wz \text{)} & \quad x = 0 \text{ (regulator nie dostarcza mocy do obiektu)} \end{aligned} \quad (2)$$

Przykładowo oznacza to, że jeśli temperatura zadana jest większa od wartości uzyskanej w obiekcie, to regulator włącza grzanie i wyłącza je, jeśli wartość zadana jest mniejsza od wartości wyjściowej z obiektu. Takie działanie można zrealizować w oparciu o przedstawiony powyżej człon zwany przekaźnikiem, uzyskując układ przedstawiony na Rys. 13. Należy jednak podkreślić, że z przyczyn energetycznych sygnał podawany na wejście obiektu musi mieć wartość większą od spodziewanej wartości wyjściowej z obiektu (regulator musi dysponować nadwyżką mocy), dlatego po przekaźniku wprowadzono człon proporcjonalny o wzmacnieniu większym od 1.



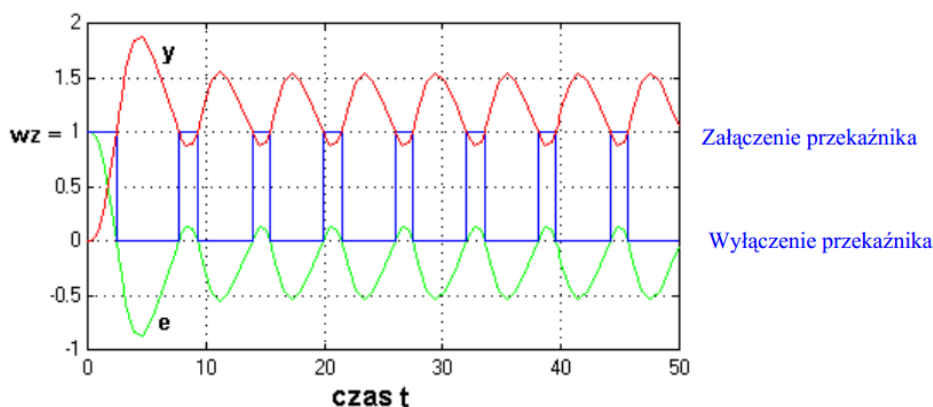
## Ćwiczenie nr 7. Regulacja dwupołożeniowa.



Rys. 13 Układ regulacji dwupołożeniowej

Przykład odpowiedzi układu regulacji dwupołożeniowej na skokową zmianę wartości zadanej przedstawia Rys. 14 (przykładowo: przez skokową zmianę wartości zadanej rozumiemy sytuację, gdy temperatura termostatu wynosi np. 20°C, a w pewnej chwili  $t$  ustawiamy nową wartość zadaną np. 30°C). W przykładzie na Rys. 14 wartość  $wz$  wynosi początkowo 0, a w chwili  $t = 0$  zmieniono ją na wartość  $wz = 1$  (skok jednostkowy). Na rysunku oprócz sygnału wyjściowego z obiektu  $y$  pokazano również przebieg sygnału błędu  $e$  oraz stany załączenia i wyłączenia przekaźnika. Jak widać, przekaźnik realizuje funkcję podaną zależnością (1) i (2). Należy zwrócić uwagę, że:

- sygnał wyjściowy z obiektu nie ma wartości stałej – widoczne są tętnienia o określonej amplitudzie i okresie powtarzania
- amplituda pierwszego przeregulowania i czas pierwszego włączenia przekaźnika mają wartości większe od kolejnych, widocznych na rysunku
- pomimo wyłączenia przekaźnika (regulator nie dostarcza mocy do obiektu) sygnał na wyjściu rośnie przez pewien czas, i odwrotnie – pomimo załączenia przekaźnika sygnał na wyjściu maleje przez pewien czas. Efekty te mają związek z przedstawionym na Rys. 11c parametrem obiektu zwanym czasem opóźnienia  $t_0$ .



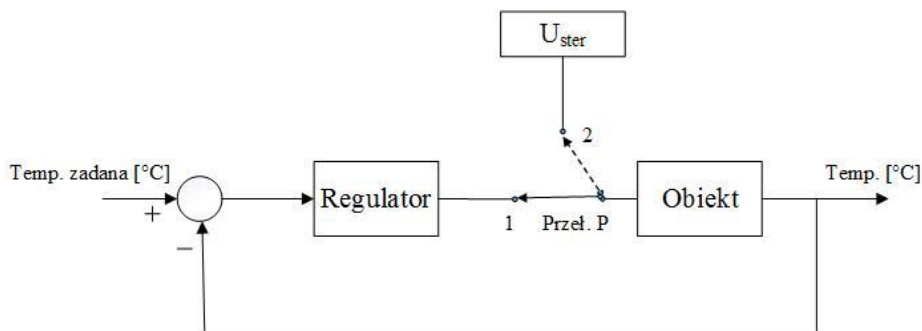
Rys. 14. Przebieg regulacji dwupołożeniowej

Przedstawiony na Rys. 14 przebieg sygnału wyjściowego  $y$  (wielkości regulowanej) jest przebiegiem typowym dla układów regulacji dwupołożeniowej w warunkach bez zakłóceń. Jeżeli w trakcie procesu regulacji, np. temperatury w komorze suszarki, dojdzie do chwilowego otwarcia drzwi tej komory, to mówimy, że w obiekcie regulacji wystąpiło zakłócenie. Zakłócenie może zmienić chwilowy przebieg wielkości regulowanej, jednak układ regulacji powinien w skończonym czasie przywrócić stan sprzed wystąpienia zakłócenia.

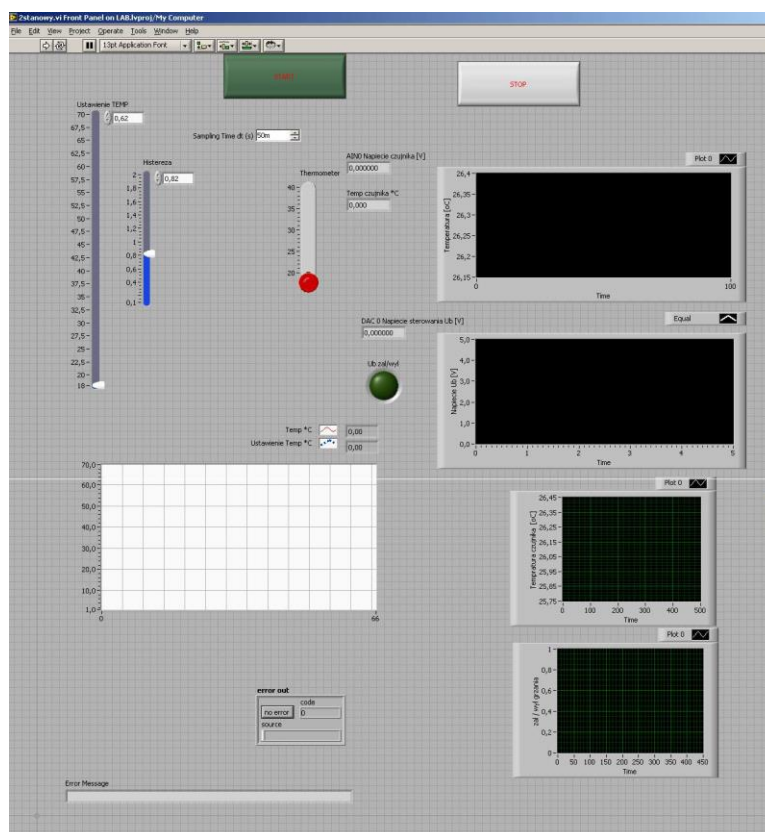
## Ćwiczenie nr 7. Regulacja dwupołożeniowa.

## 1. Praca obiektu w układzie zamkniętym z regulatorem dwustanowym

Praca mikrotermostatu w układzie zamkniętym realizowana jest w układzie, gdy przełącznik P znajduje się w pozycji 1 (Rys. 15). Pracę w tym trybie uzyskuje się po uruchomieniu programu L2\_2stan.exe. Regulator dwustanowy realizowany jest programowo.



Rys. 15. Schemat funkcjonalny układu regulacji mikrotermostatu



Rys. 16. Widok ekranu wirtualnego przyrządu realizującego pracę obiektu w układzie regulacji dwustanowej

## Pytania kontrolne:

1. Scharakteryzuj układ automatycznej regulacji (UAR).
2. Omów na czym polega proces identyfikacji obiektu.
3. Omów zasadę działania przekaźnika.
4. Omów zasadę działania węzła sumacyjnego.
5. Wymień i omów cechy regulacji dwupołożeniowej.
6. Wymień i omów parametry jakości regulacji dwupołożeniowej.

**Ćwiczenie nr 7. Regulacja dwupołożeniowa.**

7. Podaj praktyczne kryteria doboru rodzaju regulacji.
8. Narysuj i omów charakterystykę statyczną regulatora dwupołożeniowego.
9. Omów przebiegi w układzie regulacji dwupołożeniowej

*Opracowali:*     *dr inż. Wioletta Nowak*  
                  *dr inż. Andrzej Hachoł*  
                  *dr inż. Elżbieta Szul-Pietrzak*