

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA

Wydziałowy Zakład Inżynierii Biomedycznej i Pomiarowej

**Laboratorium elementów automatyki i pomiarów w
technologii chemicznej**

**Instrukcja do ćwiczenia
Regulacja dwupołożeniowa**

Wrocław 2005

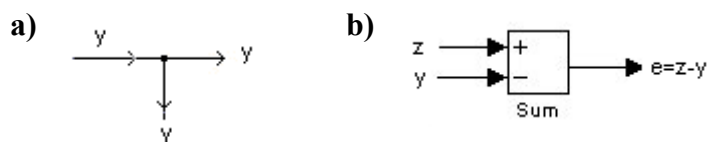
1. Wprowadzenie

Z regulacją dwupołożeniową (dwustawną, dwustanową - zwłaszcza temperatury) mamy często do czynienia 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.

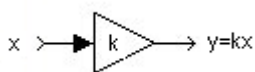
Innym pojęciem (elementem, członem układu automatyki) jest **węzeł**. Na Rys. 1 pierwszym przedstawione są:

- **węzeł informacyjny** (Rys. 1a), rozdzielający ten sam sygnał y na wiele ścieżek
- **węzeł sumacyjny** (Rys. 1b), realizujący sumę algebraiczną sygnałów wchodzących do węzła



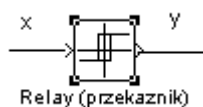
Rys. 1 Węzły
a) informacyjny
b) sumacyjny

Na Rys. 2 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. 2 Człon proporcjonalny (wzmacniacz)

Charakterystyka wzmacniacza jest z definicji **liniowa**. W układach regulacji występują również człony o **charakterystyce nieliniowej** – przykładem jest przekaźnik przedstawiony na Rys. 3.

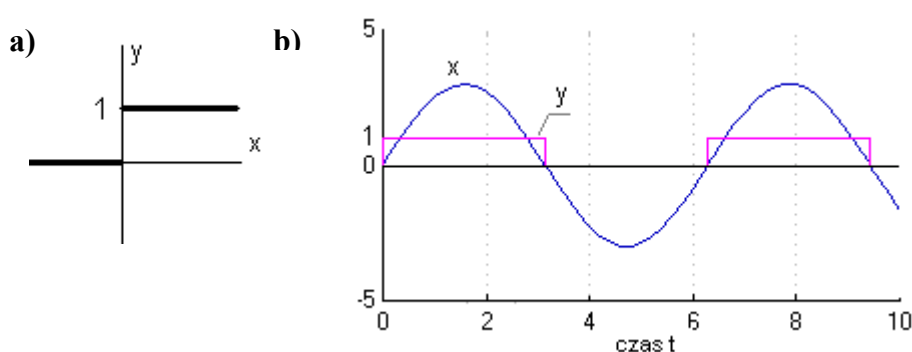


Rys. 3 Przekaźnik

W najprostszym przypadku przekaźnik realizuje następującą funkcję:

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

co ilustruje Rys. 4. Stan $y = 1$ nazywamy załączeniem, a $y = 0$ wyłączeniem przekaźnika.



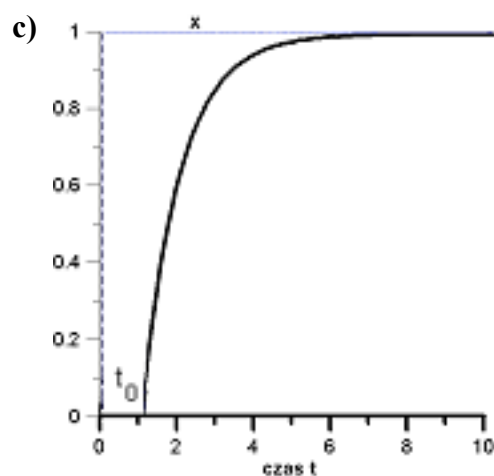
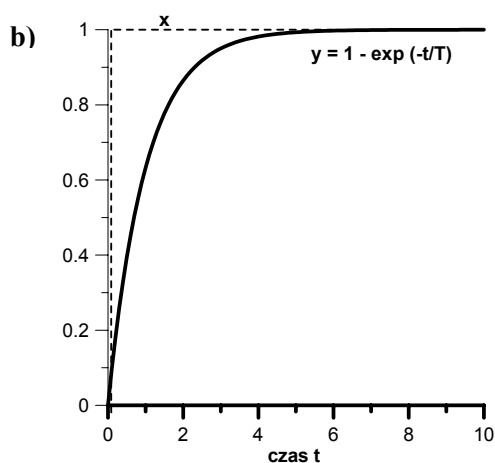
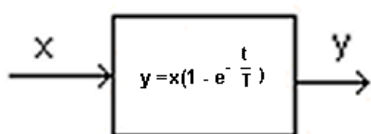
Rys. 4 Graficzna prezentacja funkcji realizowanej przez przekaźnik
a) charakterystyka przekaźnika
b) przykład pracy przekaźnika

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 ośrodka o temperaturze wyższej (mówimy, że na wejściu czujnika nastąpił skok wartości), to sygnał wyjściowy czujnika (np. słupkę 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. 5a przedstawiony jest taki człon wraz z funkcją opisującą zmianę sygnału wyjściowego,

gdy na wejściu następuje skok wartości. Rys. 5b 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. 5b.

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. 5c 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.

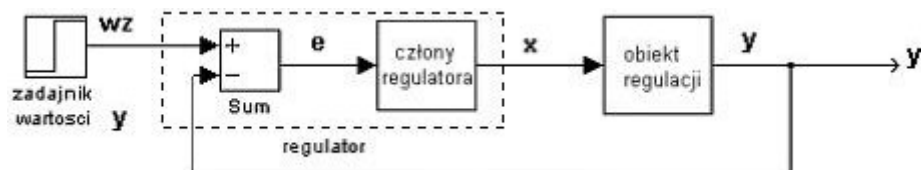
a)



Rys. 5 Człon inercyjny a) i jego odpowiedź na skok wartości na wejściu
b) człon inercyjny pierwszego rzędu
c) człon inercyjny wyższego rzędu

2. Układ dwupołożeniowej regulacji automatycznej

Ogólny schemat układu automatycznej regulacji przedstawia Rys. 6.



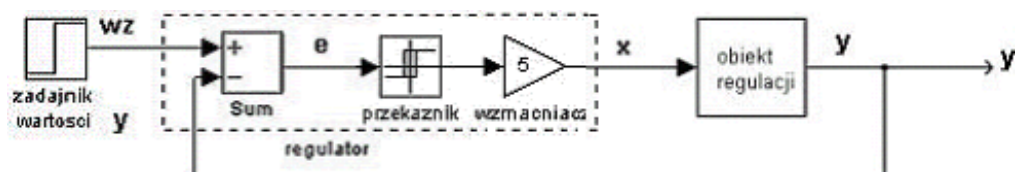
Rys. 6 Układ regulacji automatycznej

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 błędu 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:

$$\begin{aligned} \text{dla } e \geq 0 \quad (y < wz) \quad x > 0 \quad (\text{regulator dostarcza mocy do obiektu}) \\ \text{dla } e < 0 \quad (y > wz) \quad x = 0 \quad (\text{regulator nie dostarcza mocy do obiektu}) \end{aligned} \quad (3)$$

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 większa od wartości wyjściowej z obiektu. Takie działanie można zrealizować w oparciu o przedstawiony powyżej człon zwany przekaźnikiem, uzyskując układ przedstawiony na Rys. 7. 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.

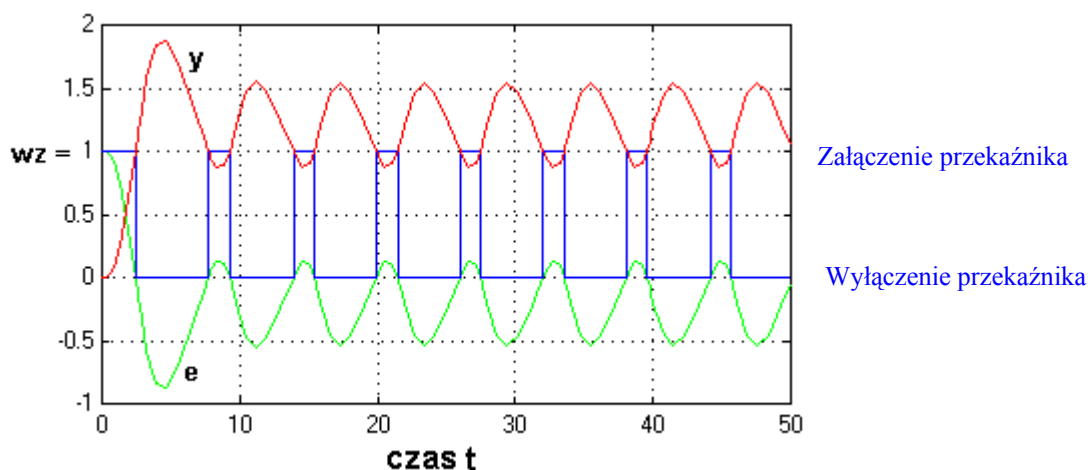


Rys. 7 Układ regulacji dwupołożeniowej

Przykład odpowiedzi układu regulacji dwupołożeniowej na skokową zmianę wartości zadanej przedstawia Rys. 8 (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. 8 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 przełącznika. Jak widać, przełącznik realizuje funkcję podaną zależnością (1) i (3). 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 przełącznika mają wartości większe od kolejnych, widocznych na rysunku
- pomimo wyłączenia przełącznika (regulator nie dostarcza mocy do obiektu) sygnał na wyjściu rośnie przez pewien czas, i odwrotnie – pomimo załączenia przełącznika sygnał na wyjściu maleje przez pewien czas. Efekty te mają związek z przedstawionym na Rys. 5c parametrem obiektu zwanym czasem opóźnienia t_0 .



Rys. 8 Przebieg regulacji dwupołożeniowej

Przedstawiony na rys. 8 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.

3. Program i realizacja ćwiczenia

3.1 Badanie charakterystyki statycznej przełącznika

Po uruchomieniu pakietu Simulink otworzyć ze wskazanego folderu plik o nazwie **przekaznik.mdl**. Dwukrotnie „kliknąć” lewym przyciskiem myszy człon przełącznik. Pojawi się okno edycji parametrów przełącznika, w którym podaje się:

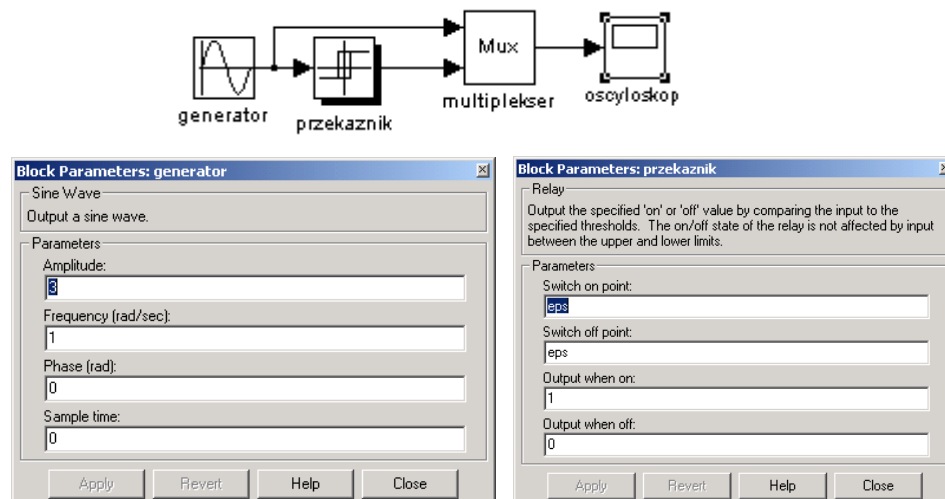
- wartość, przy której następuje załączenie przełącznika (switch on point)
 - wartość, przy której następuje wyłączenie przełącznika (switch off point)
- (domyślnie wpisane są wartości **eps**, co oznacza brak histerezy – przełącznik o charakterystyce podanej zależnością (1)) i na Rys. 3)

- wartość na wyjściu przełącznika, gdy jest on załączony (Output when on) – pozostawić **1**
- wartość na wyjściu przełącznika, gdy jest on wyłączony (Output when off) – pozostawić **0**

Należy zaakceptować powyższe parametry (Apply) i zamknąć okno (close).

Podobnie należy otworzyć okno generatora i ustawić wartość jego amplitudy większą od 1 np. **3**.

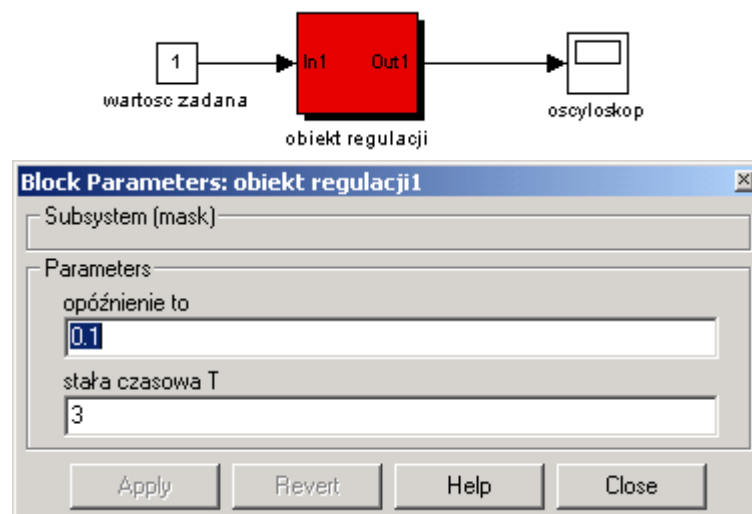
Pokazany na Rys. 9 oscyloskop służy do obserwowania przebiegów na wejściu i wyjściu przełącznika (sygnały te zbiera człon zwany multiplekserem).



Rys. 9 Układ do badania charakterystyki przełącznika wraz z oknami edycji jego parametrów

Uruchomić symulację poleceniem Start w menu Simulation. Na podstawie przebiegów pokazanych przez oscyloskop należy ustalić, przy jakich wartościach sygnału na wejściu, przełącznik zmienia stan na wyjściu. Zamknąć plik przekaznik.mdl.

3.2 Badanie odpowiedzi obiektu na skok wartości



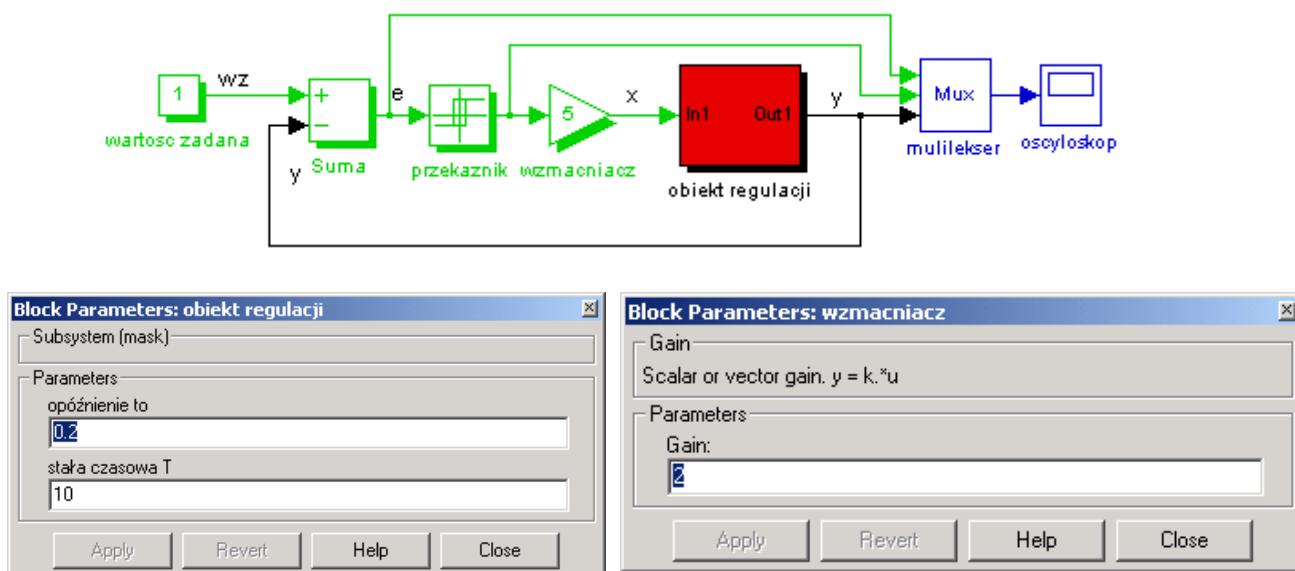
Rys. 10 Układ do badania odpowiedzi obiektu na skok wartości wraz z oknem edycji parametrów obiektu regulacji

Otworzyć plik o nazwie **obiekt.mdl**. Z badać odpowiedzi obiektu na skok wartości (podawanie na jego wejściu stałej wartości, tu równej 1).

Badania przeprowadzić dla kilku wartości opóźnień $t_o \in (0.1, 5)$, oraz stałych czasowych $T \in (2, 10)$ – por. Rys. 5. Zanotować przebieg uzyskanych na oscyloskopie charakterystyk. Zamknąć plik obiekt.mdl.

3.3 Badanie układu regulacji dwupołożeniowej

3.3.1 Badanie układu regulacji dwupołożeniowej bez zakłóceń



Rys. 11 Układ automatycznej regulacji dwupołożeniowej i okna edycji jego parametrów

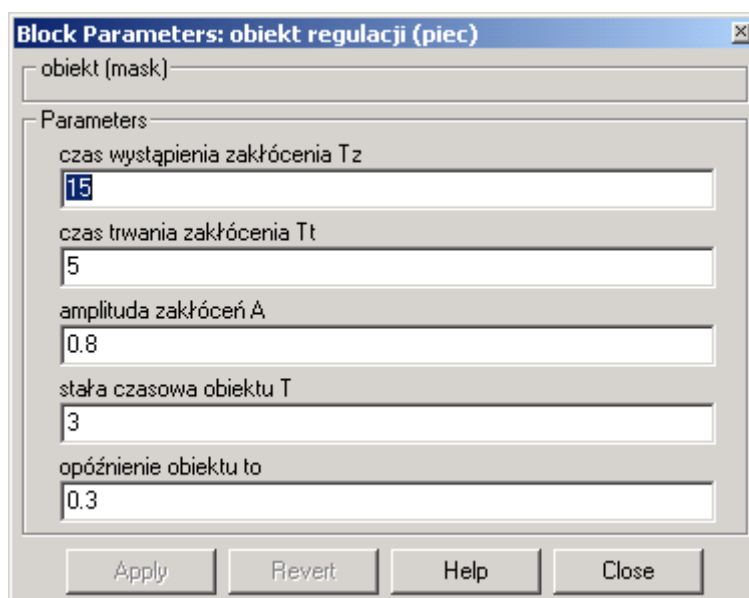
1. Z foldera podanego przez prowadzącego otworzyć plik o nazwie **dwustanowa1.mdl**. Uruchomić symulację i określić następujące parametry:
 - czas, po którym sygnał wyjściowy z obiektu osiąga po raz pierwszy wartość zadaną
 - wartość przeregulowań (maksymalnych odchyłek od wartości zadanej) na wyjściu obiektu
 - czas pierwszego załączenia przełącznika, stosunek kolejnych czasów załączeń i wyłączeń oraz czas trwania cyklu załączenie/wyłączenie
 - wartość średnią sygnału wyjściowego z obiektu (z pominięciem pierwszego przeregulowania)
2. Powtórzyć badania z p.1 dla różnych wzmocnień wzmacniacza $\text{Gain} \in (1.5, 10)$.
3. Powtórzyć badania z p.1 dla różnych czasów opóźnienia $t_o \in (0.1, 1)$.
4. Powtórzyć badania z p.1 dla różnych stałych czasowych obiektu $T \in (2, 10)$
5. Porównać parametry określone w trakcie badań w p. 1-6 i wyciągnąć wnioski.

3.3.2 Badanie układu regulacji dwupołożeniowej w przypadku zakłóceń występujących w obiekcie.

1. Z foldera podanego przez prowadzącego otworzyć plik o nazwie **dwustanowa2.mdl**. Model ten ma wbudowany układ zakłócający, symulujący np. otwieranie drzwiczek komory suszarki. Okno edycji parametrów obiektu – Rys. 12 - umożliwia określenie

czasu, po którym występuje zakłócenie (domyślnie 15), czasu trwania zakłócenia (domyślnie 5) oraz amplitudy zakłócenia (domyślnie 0.8 - przy wartości zadanej 1).

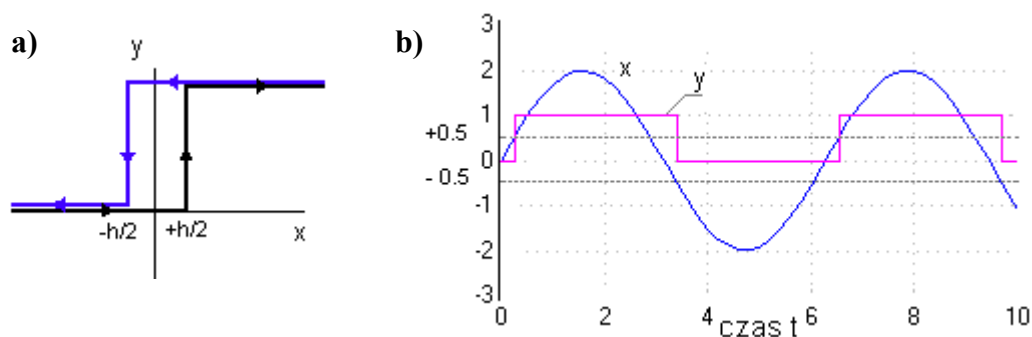
2. Uruchomić symulację dla kilku wartości czasu trwania i amplitudy zakłócenia. Porównać przebiegi wielkości regulowanej w obiekcie bez i z zakłóceniami obydwa obiekty muszą mieć te same wartości stałych czasowych T oraz czasu opóźnienia t_0 , np. odpowiednio 3 i 0.3.



Rys. 12 Pole edycji parametrów obiektu regulacji z możliwością wystąpienia zakłóceń

3.3.3 Badanie układu regulacji dwupołożeniowej z histerezą przekaźnika

Działanie przekaźnika z **histerezą** jest przedstawione na Rys. 13.



Rys. 13 Graficzna prezentacja funkcji realizowanej przez przekaźnik z histerezą
a) charakterystyka przekaźnika
b) przykład pracy przekaźnika, $h/2 = 0.5$

Przełączenie stanu wyjścia tego przekaźnika z wartości 1 na 0 (lub odwrotnie) zależy od kierunku zmian tej wartości wejściowej x i odbywa się przy różnych wartościach x , co przedstawia zależność (2) i Rys. 5

$$\begin{aligned} y &= 1 \text{ dla } x \geq +h/2, \text{ gdy wartość } x \text{ rośnie} \\ y &= 0 \text{ dla } x < -h/2 \text{ gdy wartość } x \text{ maleje} \end{aligned} \quad (2)$$

Innymi słowy, w przekaźniku z histerezą następuje rozdzielenie progów przełączania stanu wyjścia przekaźnika – załączenie odbywa się na innym poziomie ($+h/2$) niż wyłączenie ($-h/2$). Szerokość przedziału ($-h/2, +h/2$) nazywamy **strefą histerezy przekaźnika**. W przykładzie pokazanym na Rys. 13b strefa histerezy wynosi $(-0.5, +0.5)$.

W ramach badań należy:

1. Otworzyć plik `przekaznik.mdl`
Powtórzyć badanie z p. 3.1, ale z niezerową wartością histerezy przekaźnika. W tym celu należy zastąpić wartości `eps` w oknie edycji parametrów przekaźnika - Rys. 9 - wartościami liczbowymi np. $+0.2$ oraz -0.2 . Uruchomić symulację poleceniem Start w menu Simulation.
2. Na podstawie przebiegów pokazanych przez oscyloskop należy ustalić, przy jakich wartościach sygnału na wejściu przekaźnik zmienia stan na wyjściu. Zamknąć plik `przekaznik.mdl`.
3. Otworzyć plik o nazwie **`dwustanowa1.mdl`**.
4. Uruchomić symulację, zmieniając wartość czasu opóźnienia t_o w przedziale $t_o \in (0.05, 0.2)$. Zaobserwować zależność okresu załączeń przekaźnika od wartości t_o .
5. Ustawić niezerową histerezę przekaźnika np. $+0.2$ oraz -0.2 i powtórzyć badania z p. 4.
6. Omówić wpływ histerezy przekaźnika na częstotliwość jego załączeń w przypadku obiektów o małych czasach opóźnienia t_o .