

Laboratorium problemowe

Suwnica 3-D

Maciej Cebula
Maciej Talar

Spis treści

1	Laboratorium nr 1	2
1.1	Cel zajęć	2
1.2	Plan działania	3
2	Laboratorium nr 2	4
2.1	Identyfikacja parametrów	4
2.2	Model matematyczny	8
2.2.1	Model nieliniowy	9
2.2.2	Model liniowy	9
2.2.3	Przykładowy regulator PID i PD	10

Laboratorium nr 1

1.1 Cel zajęć

Celem zajęć jest zaproponowanie sposobu sterowania suwnicą 3D, które umożliwi przetransportowanie podwieszonego ładunku pomiędzy dwoma punktami w przestrzeni. Zadanie to polega na przeprowadzeniu szeregu badań, na bazie których to zaprojektowany zostanie regulator realizujący postawione zadanie. Wartości sterowania w tym przypadku będą podawane na trzy silniki prądu stałego odpowiedzialne za przemieszczanie wózka z podwieszonym ładunkiem wzdłuż trzech osi. Przebieg całego zadania można wstępnie podzielić na następujące etapy:

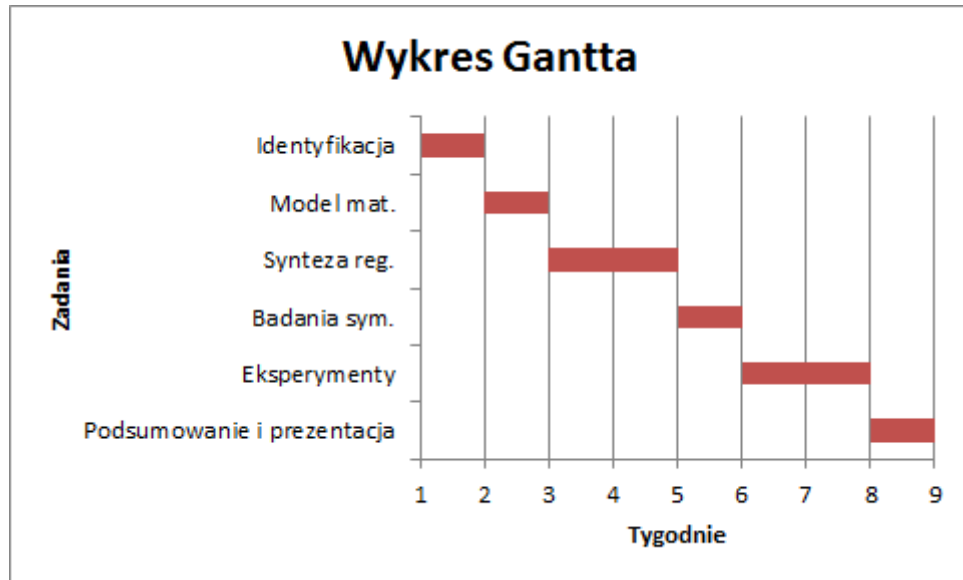
1. Identyfikacja parametrów obiektu
2. Stworzenie modelu matematycznego
3. Zaproponowanie struktury regulatora w formie ciągłej odpowiedzialnego za realizację postawionego zadania
4. Przeprowadzenie badań symulacyjnych w środowisku MATLAB/SIMULINK
5. Przeprowadzeniu eksperymentów i porównaniu ich wyników z wynikami symulacji
6. Realizacja wybranego regulatora w formie dyskretniej i porównaniu efektów jego działania z wersją ciągłą
7. Prezentacja i omówienie otrzymanych wyników

Aby móc porównać poszczególne wyniki sterowania uzyskane dla różnych struktur regulatora konieczne będzie zdefiniowanie wskaźników jakości. Na tym etapie najbardziej odpowiednio wydają się być:

1. czas regulacji
2. maksymalne odchylenie od położenia pionowego podwieszonego ładunku

1.2 Plan działania

Z racji na dość napięty grafik na poniższym wykresie Gantta przedstawiającym szacunkowy czas potrzebny na realizację poszczególnych etapów laboratorium nie uwzględniono syntezy regulatora dyskretnego. Przedstawiony podział może ulegać korektom w wyniku wystąpienia trudności w realizacji poszczególnych zadań.



Rys. 1.1: Wykres Gantta poszczególnych etapów laboratorium.

Laboratorium nr 2

2.1 Identyfikacja parametrów

Proces identyfikacji polegał na wyznaczeniu parametrów silników napędzających wózek wzdłuż osi X i Y. Z racji na to, że w układzie występuje racie statyczne przyjęto model o następującej transmitancji:

$$G(s) = \frac{X(s)}{U(s)} = \frac{K}{s(Ts + 1)} \quad (2.1)$$

gdzie:

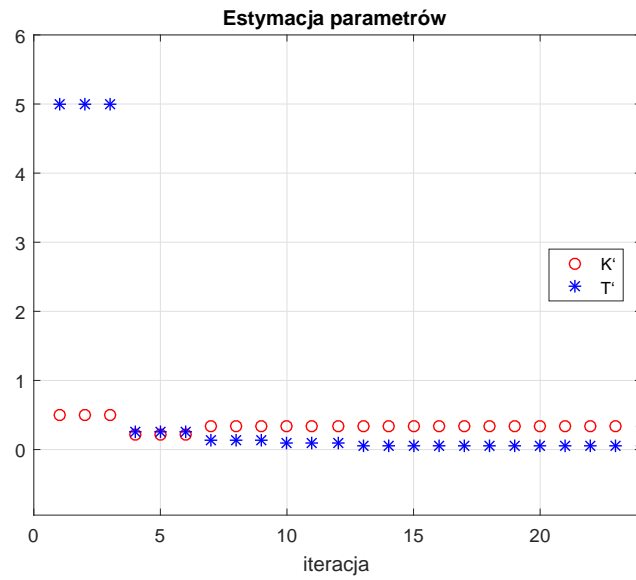
$X(s)$ - położenie wózka

$u(s)$ - sterowanie w postaci współczynnika wypełnienia sygnału PWM

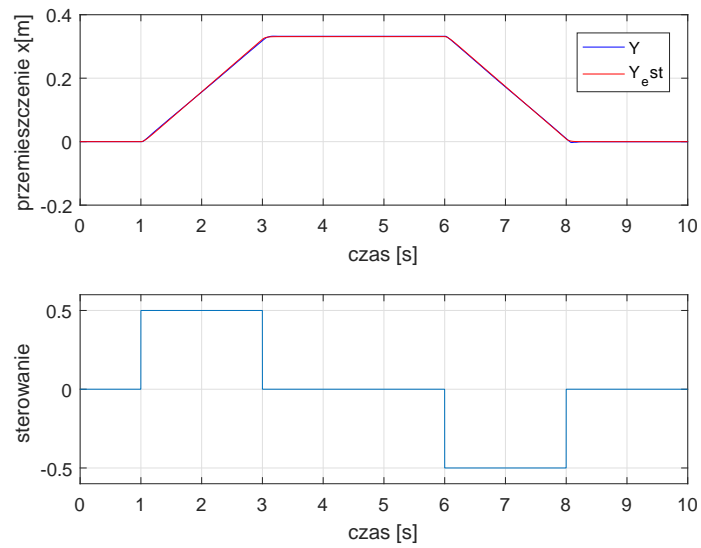
Dla każdej z osi X i Y przeprowadzano eksperyment polegający na rejestrowaniu położenia wózka w reakcji na zadane sterowanie. Na podstawie otrzymanych danych otrzymano przybliżone wartości parametrów K , T , $I\tau$ z wykorzystaniem metody najmniejszych kwadratów. W tabeli 2.1 zamieszczono wyniki całej procedury.

Tabela 2.1: Parametry przyjętego modelu silników.

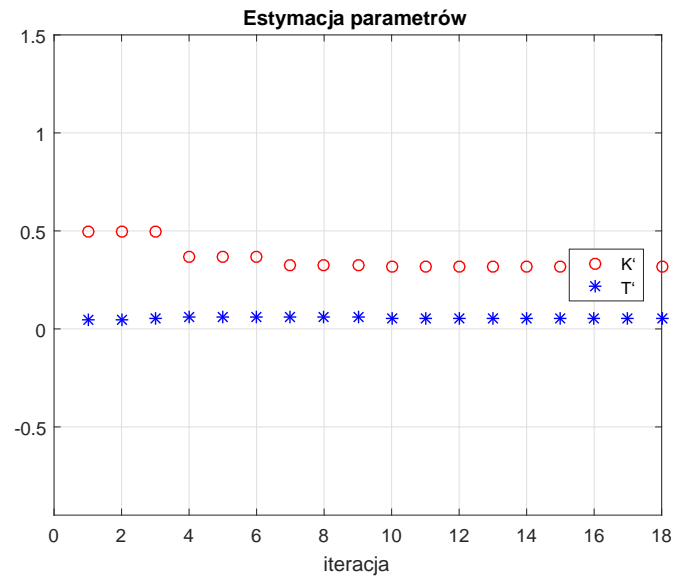
Oś	K	T
X	0.3224	0.0471
Y	0.3184	0.057



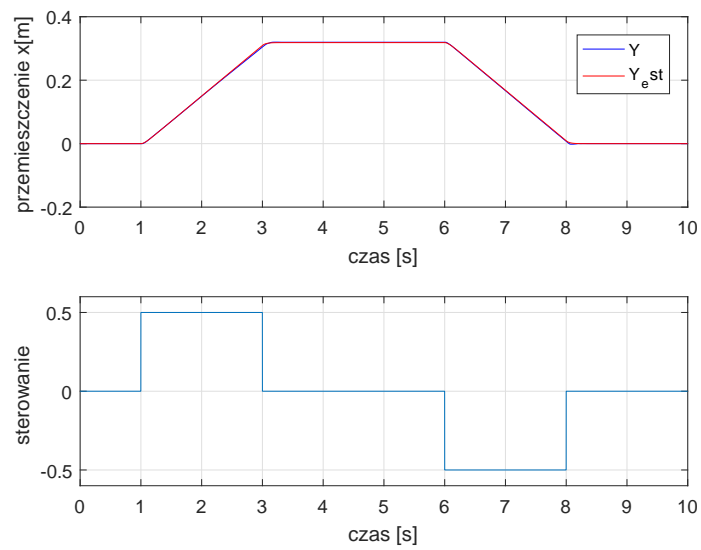
Rys. 2.1: Przebieg estymacji parametrów . Ruch wzdłuż osi X. Metoda najmniejszych kwadratów.



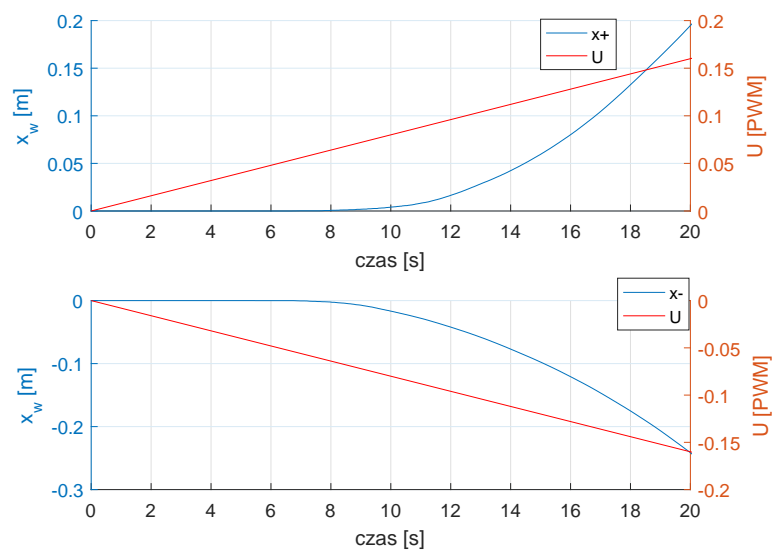
Rys. 2.2: Porównanie odpowiedzi obiektu z modelem.



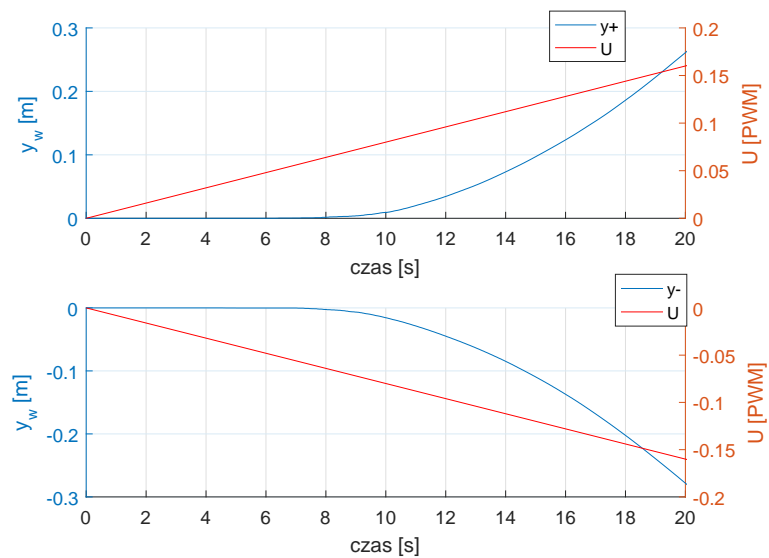
Rys. 2.3: Przebieg estymacji parametrów . Ruch wzdłuż osi Y. Metoda najmniejszych kwadratów.



Rys. 2.4: Porównanie odpowiedzi obiektu z modelem.

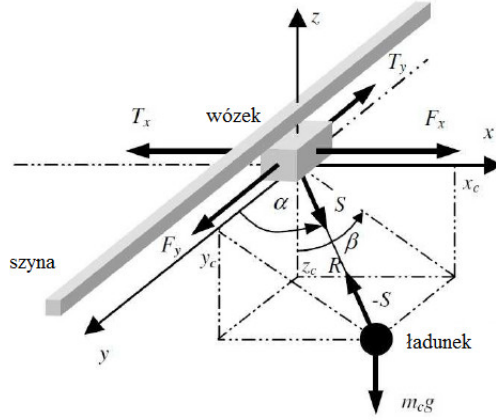


Rys. 2.5: Wyznaczenie tarcia statycznego oś X .



Rys. 2.6: Wyznaczenie tarcia statycznego oś Y.

2.2 Model matematyczny



Rys. 2.7: Schemat stanowiska. Opracowano na podstawie [2]

Na podstawie [1] i [2] opracowano następujący model matematyczny obiektu. W zaprezentowanych poniżej równaniach przyjęto następujące oznaczenia:

- x_c, y_c - położenie wózka odpowiednio wzdłuż osi x i y ,
- x_c, y_c, z_c - położenie ładunku odpowiednio wzdłuż osi X, Y, Z ,
- R - długość linki na której podwieszony jest ładunek,
- α - kąt pomiędzy osią X a linką,
- β - kąt pomiędzy ujemną częścią osi Z a rzutem linki na płaszczyznę YZ ,
- $m_w = 1.155 \text{ kg}$ - masa wózka,
- $m_s = 2.2 \text{ kg}$ - masa szyny,
- $m_c = 1 \text{ kg}$ - masa ładunku,
- u_1, u_2, u_3 - sterowania w postaci przyspieszenia działające wzdłuż kolejnych osi X, Y, Z .

Do opisu całego układu za pomocą równań stanu przyjęto następujące zmienne stanu:

$$\begin{aligned}
 x_1 &= x_c \\
 x_2 &= \dot{x}_c = \dot{x}_1 \\
 x_3 &= y_c \\
 x_4 &= \dot{y}_c = \dot{x}_3 \\
 x_5 &= \alpha \\
 x_6 &= \dot{\alpha} = \dot{x}_5 \\
 x_7 &= \beta \\
 x_8 &= \dot{\beta} = \dot{x}_7 \\
 x_9 &= R \\
 x_{10} &= \dot{R} = \dot{x}_9
 \end{aligned}$$

Dodatkowo wprowadzono oznaczenia:

$$\sin(x_i) = s_i \quad (2.2)$$

$$\cos(x_i) = c_i \quad (2.3)$$

$$\mu_1 = \frac{m_c}{m_w} \quad (2.4)$$

$$\mu_2 = \frac{m_c}{m_w + m_s} \quad (2.5)$$

$$V_5 = c_5 s_5 x_8^2 x_9 - 2x_{10} x_6 + g c_5 c_7 \quad (2.6)$$

$$V_6 = 2x_8 (c_5 x_6 x_9 + s_5 x_{10}) + 2g s_7 \quad (2.7)$$

$$V_7 = (s_5 x_8)^2 x_9 + g s_5 c_7 + x_6^2 x_9 \quad (2.8)$$

2.2.1 Model nieliniowy

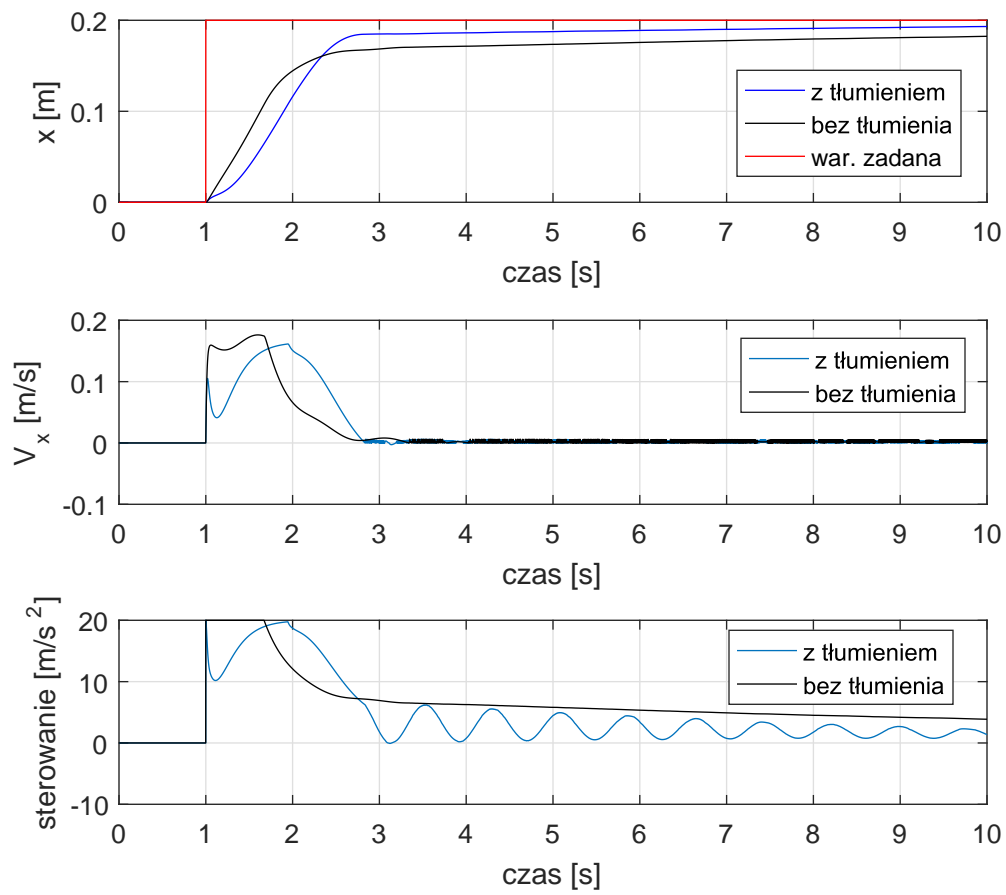
$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= u_1 = \mu_1 c_5 u_3 \\ \dot{x}_3 &= x_4 \\ \dot{x}_4 &= u_2 + \mu_2 s_5 s_7 u_3 \\ \dot{x}_5 &= x_6 \\ \dot{x}_6 &= (s_5 u_1 - c_5 s_7 u_2 + (\mu - \mu_2 s_7^2) c_5 s_5 u_3 + V_5) / x_9 \\ \dot{x}_7 &= x_8 \\ \dot{x}_8 &= -(c_7 u_2 + \mu_2 s_5 c_7 s_7 u_3 + V_6) / (s_5 x_9) \\ \dot{x}_9 &= x_9 \\ \dot{x}_{10} &= -c_5 u_1 - s_5 s_7 u_2 - (1 + \mu_1 c_5^2 + \mu_2 s_5^2 s_7^2) u_3 + V_7 \end{aligned} \quad (2.9)$$

2.2.2 Model liniowy

Przyjmując następujące przybliżenia:

dla $\alpha \simeq \frac{\pi}{2}$ $\cos(\alpha) \simeq -\alpha$, $\sin(\alpha) \simeq 1$ oraz dla $\beta \simeq 0$ $\cos(\beta) \simeq 1$, $\sin(\beta) \simeq \beta$ otrzymano:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= u_1 - \mu_1 x_5 u_3 \\ \dot{x}_3 &= x_4 \\ \dot{x}_4 &= u_2 + \mu_2 x_7 u_3 \\ \dot{x}_5 &= x_6 \\ \dot{x}_6 &= (u_1 - \mu_1 x_5 u_3 - g x_5 - 2x_6 x_{10}) / x_9 \\ \dot{x}_7 &= x_8 \\ \dot{x}_8 &= -(u_2 + \mu_2 x_7 u_3 + g x_7 + 2x_8 x_{10}) / x_9 \\ \dot{x}_9 &= x_{10} \\ \dot{x}_{10} &= 0; \end{aligned} \quad (2.10)$$



Rys. 2.8: Model liniowy - współrzędne wózka.

2.2.3 Przykładowy regulator PID i PD

Nastawy regulatora PID oś X.

$$K = 10$$

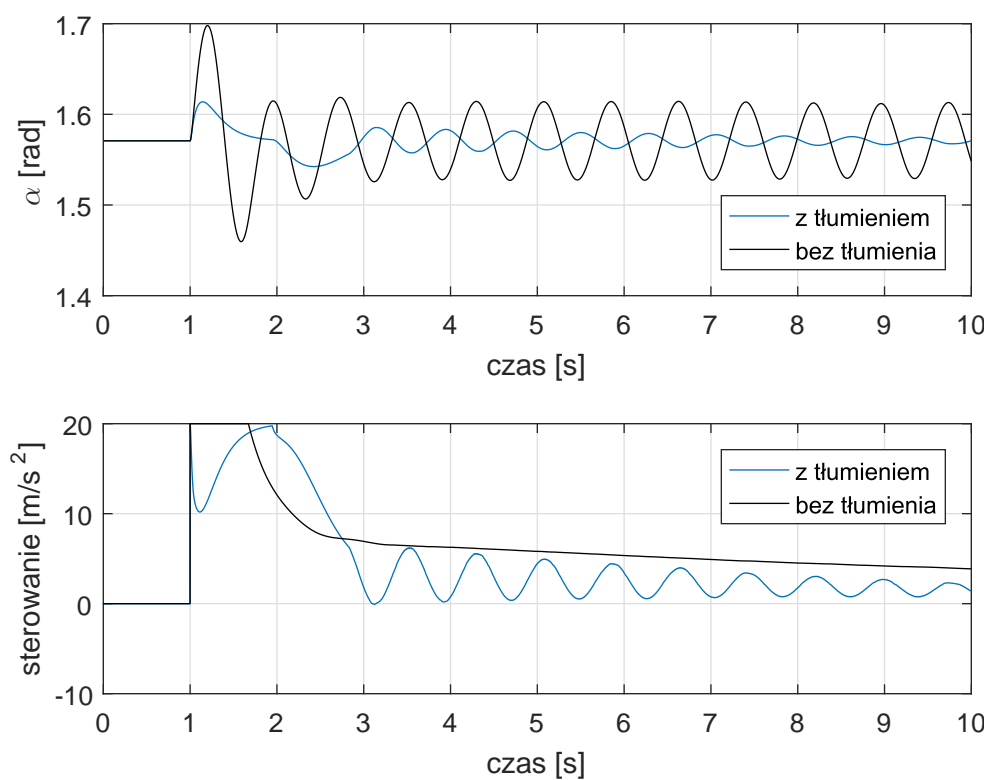
$$Ti = 0.005$$

$$Td = 2$$

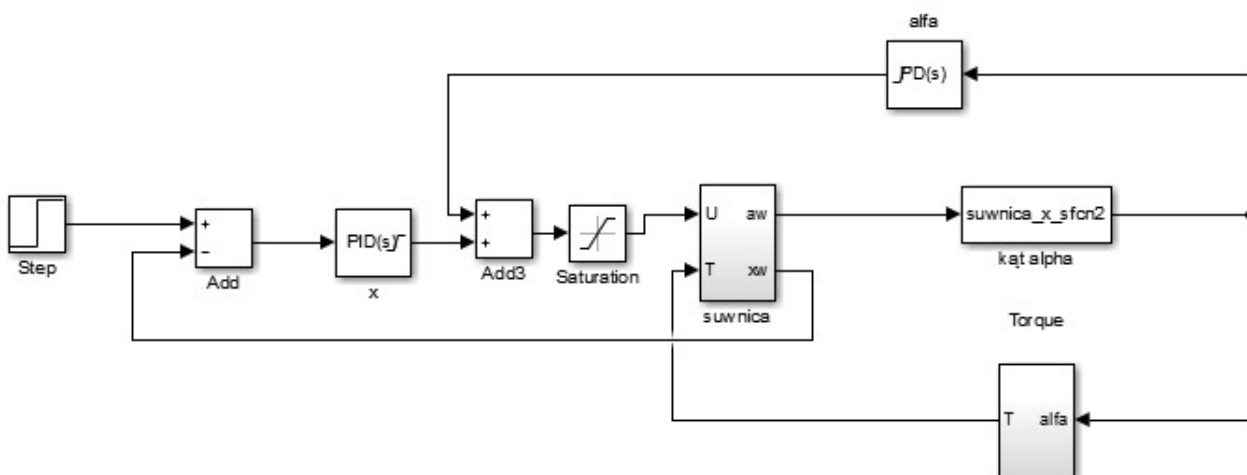
Nastawy regulatora PD kąt α .

$$P = 10$$

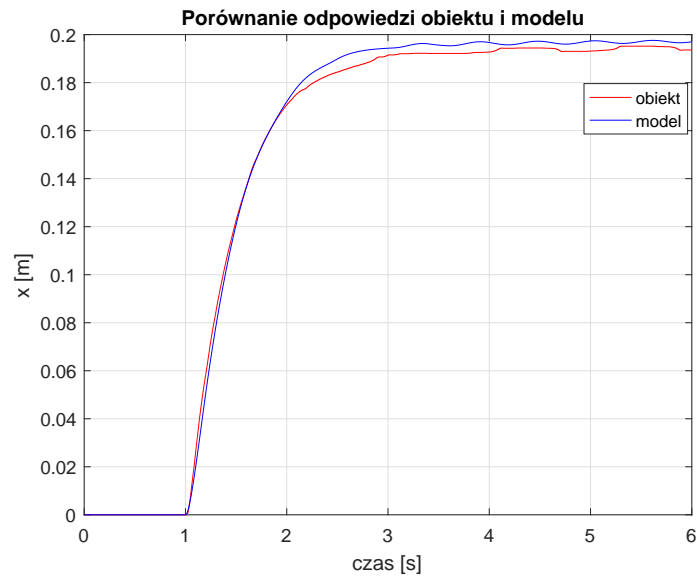
$$Td = 0.5$$



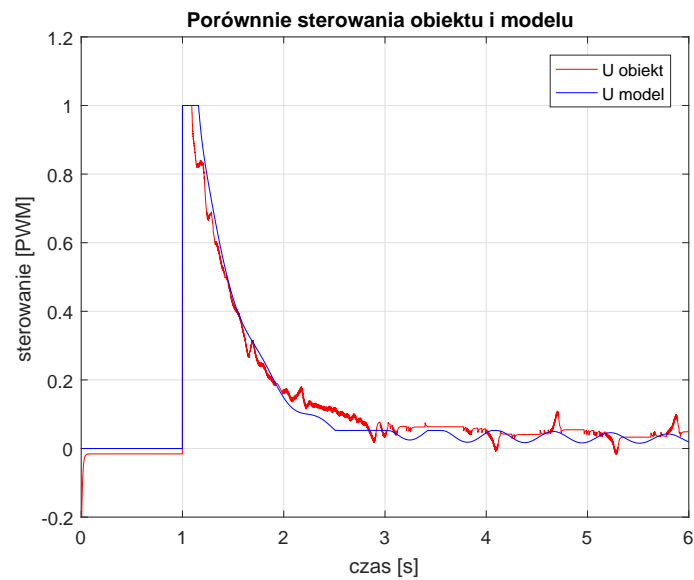
Rys. 2.9: Model liniowy - kąty wychYLENIA ładunku.



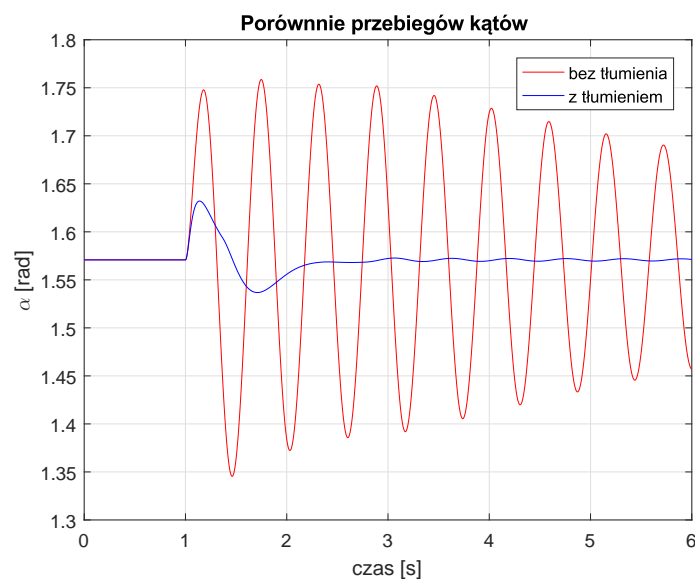
Rys. 2.10: Schemat sterowania oś X.



Rys. 2.11: Porównanie odpowiedzi obiektu i modelu .



Rys. 2.12: Porównanie sterowania obiektu i modelu .



Rys. 2.13: Przykład działania tłumienia drgań ładunku - model oś X.

Bibliografia

- [1] Pauluk, M.: *Model matematyczny trójwymiarowej suwnicy*. W: **Automatyka** 2002 tom 6 s. 69-102, ISSN: 1429-3447
- [2] Pauluk, M.: *Optimal and robust control of 3D crane*. W: **Przegląd Elektrotechniczny**, 2012 vol. 2 pp. 205-212 ISSN: 0033-2097