

Laboratorium problemowe Układy Sterowania Inteligentnego.

Maciej Cebula
Marcin Kowalczyk
Daniel Rubak

Spis treści

1	Wstęp	2
1.1	Cel zajęć	2
1.2	Obiekt sterowania	2
1.3	Wskaźniki jakości	2
2	Model matematyczny	4
2.1	Model silnika elektrycznego prądu stałego	4
2.2	Model matematyczny obiektu	4
3	Regulator	7
3.1	Zaproponowany regulator	7

Wstęp

1.1 Cel zajęć

Celem projektu wykonywanego w ramach zajęć z przedmiotu *Układy Sterowania Inteligentnego* było zaprojektowanie regulatora dla manipulatora, którego zadaniem było zabranie szklanki z wodą z jednego miejsca i odstawienie jej w innym miejscu. Przemieszczał się on w płaszczyźnie poziomej. Napędzany był jednym silnikiem prądu stałego.

Projektowany regulator miał być układem sterowania inteligentnego. W ramach tego projektu należało również przeprowadzić porównanie inteligentnych algorytmów sterowania (np. sieć neuronowa lub regulator fuzzy) z regulatorami klasycznymi (np. PID, LQ lub czasoop-tymalny).

1.2 Obiekt sterowania

Obiektem sterowania był manipulator, który przenosił szklankę z wodą, a następnie powracał do położenia początkowego. Musiał on przenieść szklankę bez wylewania jej zawartości. Takie zadanie nie jest tożsame z samym pozycjonowaniem manipulatora. Wymaganie, by nie wylać wody narzuca ograniczenia na ruch obiektu. Musi poruszać się on z odpowiednio małym przyspieszeniem, gdy trzyma szklankę z wodą. Ograniczenie to nie jest jednak ważne, gdy powraca do położenia początkowego. Jest więc oczywiste, że dla ruchu w obie strony powinny zostać użyte inne regulatory. Pierwszy z regulatorów powinien zapewnić spełnienie następującego ograniczenia:

$$\ddot{\phi}(t) \leq \epsilon_{max} \quad (1.1)$$

gdzie:

ϕ jest położeniem kątowym manipulatora,

ϵ_{max} jest maksymalnym przyspieszeniem kątowym.

1.3 Wskaźniki jakości

Aby móc porównać ze sobą różne struktury regulatorów konieczne było zdefiniowanie wskaźników jakości, które minimalizować miał projektowany regulator. Zdecydowano, że będą one następującej postaci:

1. całka z kwadratu uchybu regulacji $J_1 = \int_0^{t_k} e(t)^2 dt \text{ [rad}^2 \cdot \text{s]}$

2. wskaźnik energetyczny $J_2 = \int_0^{t_k} u(t)^2 dt$ [$V^2 \cdot s$]
3. suma powyższych wskaźników $J_3 = J_1 + J_2$

(1.2)

gdzie:

$e(t) = r - \phi(t)$ to uchyb regulacji

ϕ jest położeniem kątowym manipulatora,

r jest zadaną pozycją manipulatora,

u jest sterowaniem podawanym na obiekt.

Należy zwrócić uwagę, że postanowiono zaniedbać opory ruchu. W związku z tym jedynym momentem siły działającym na manipulator był moment pochodzący od silnika prądu stałego. W dalszej części projektu możliwe jest zmodyfikowanie zadania w taki sposób, by wziąć pod uwagę opory związane z ruchem obrotowym manipulatora.

Model matematyczny

2.1 Model silnika elektrycznego prądu stałego

Silnik elektryczny odpowiedzialny za poruszanie ramieniem został zamodelowany jako obiekt inercyjny pierwszego rzędu. Równania 2.1 i 2.2 opisują zależność generowanego momentu obrotowego od prądu.

$$M(t) = k_e \cdot i(t) \quad (2.1)$$

$$U(t) = i(t) \cdot R + L \cdot \frac{di(t)}{dt} \quad (2.2)$$

gdzie:

$M(t)$ - moment generowany przez silnik,

$i(t)$ - prąd elektryczny,

k_e - stała elektryczna silnika,

L - indukcyjność silnika,

R - opór elektryczny silnika.

2.2 Model matematyczny obiektu

Równania mechaniczne opisujące dynamikę całego układu mają postać:

$$\frac{d^2\alpha(t)}{dt^2} \cdot J = k_e \cdot i(t) \quad (2.3)$$

$$U(t) = i(t) \cdot R + \frac{di(t)}{dt} \cdot L \quad (2.4)$$

gdzie:

α - kąt wychylenia,

J - moment bezwładności ramienia,

$U(t)$ - napięcie podawane na silnik,

W przyjętym modelu obiektu założono że wielkością sterującą jest napięcie podawane na silnik, a wyjściową kąt wychylenia ramienia.

Na podstawie równań 2.3 i 2.4 zapisano model matematyczny w postać równań stanu przyjmując następujące zmienne stanu:

x_1 - prąd silnika

x_2 - położenie katowe ramienia

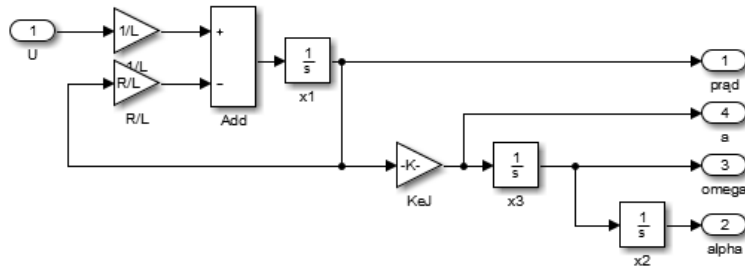
x_3 - prędkość kątowna ramienia

$$\dot{x}_1 = -x_1 \cdot \frac{R}{L} + \frac{U}{L} \quad (2.5)$$

$$\dot{x}_2 = x_3 \quad (2.6)$$

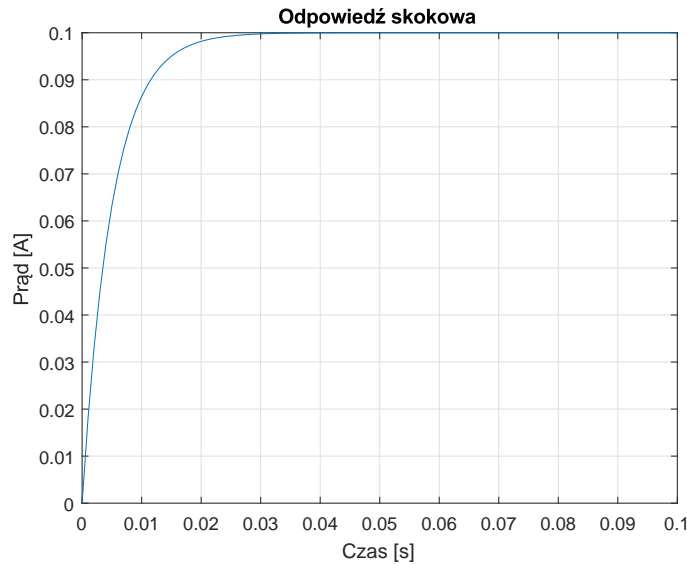
$$\dot{x}_3 = \frac{k_e}{J} \cdot x_1 \quad (2.7)$$

Schemat blokowy programu *Simulink* realizujący opisany powyższy model został przedstawiony na rysunku

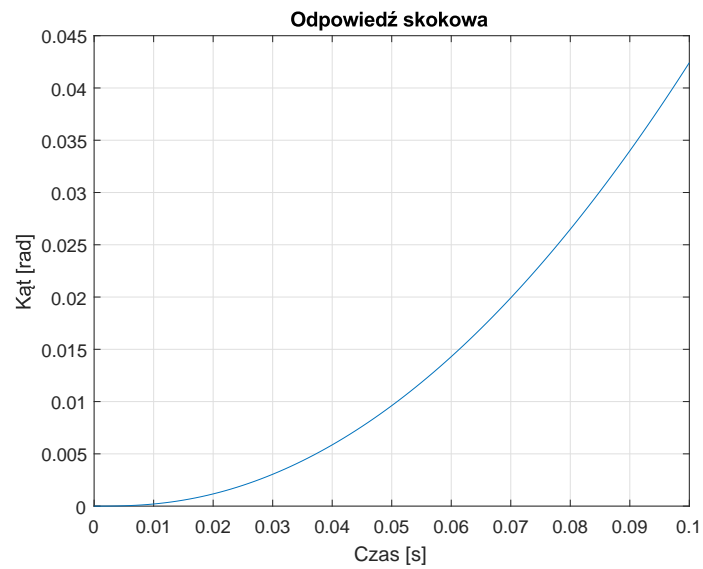


Rys. 2.1: Schemat blokowy programu *Simulink*.

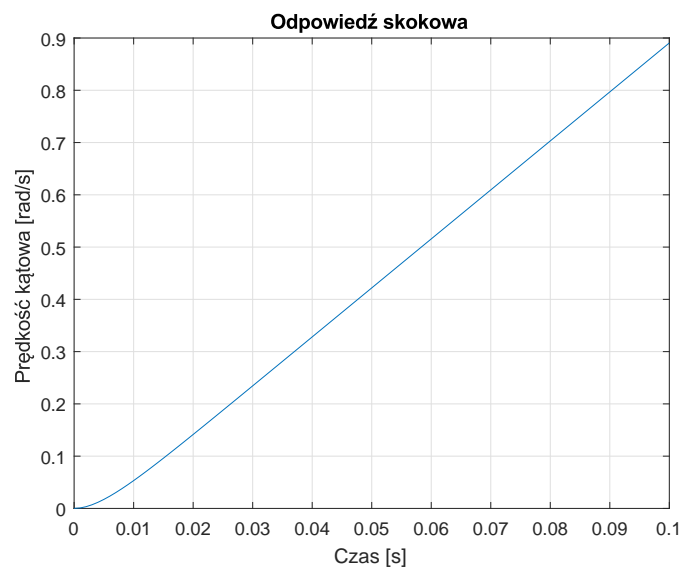
Na rysunkach przedstawiono odpowiedzi zmiennych stanu na skok napięcia.



Rys. 2.2: Odpowiedź prądu na skok napięcia.



Rys. 2.3: Odpowiedź kąta na skok napięcia.



Rys. 2.4: Odpowiedź prędkości kątowej na skok napięcia.

Regulator

3.1 Zaproponowany regulator

Do pozycjonowania manipulatora zaproponowany został regulator składający się z dwóch równolegle połączonych regulatorów PID. Kiedy trzymana jest pełna szklanka, to na wyjście przekazywane jest sterowanie z pierwszego regulatora, a kiedy jest pusta to z drugiego. Regulatorom postanowiono zadać inne nastawy, takie, by ograniczyć przyspieszenie kątowne w sytuacji, gdy trzymana jest pełna szklanka. Ma to na celu spełnienie warunku, by przyspieszenie było małe, aby nie wylać wody. Struktura obu regulatorów jest identyczna, wyrażona następującym wzorem:

$$U = (P + I\frac{1}{s} + D\frac{sN}{S + N})E \quad (3.1)$$

gdzie:

U - sterowanie

E - uchyb regulacji

P, I, D - współczynniki odpowiednio od części proporcjonalnej, całkującej i różniczkującej.

Na podstawie przeprowadzonych symulacji przyjęto następujące nastawy regulatorów:

Regulator odpowiedzialny za pozycjonowanie ramienia z napełnioną szklanką:

$$P = 7$$

$$I = 0.2$$

$$D = 5$$

Regulator pozycjonujący ramię z pustą szklanką:

$$P = 3$$

$$I = 0.002$$

$$D = 1$$

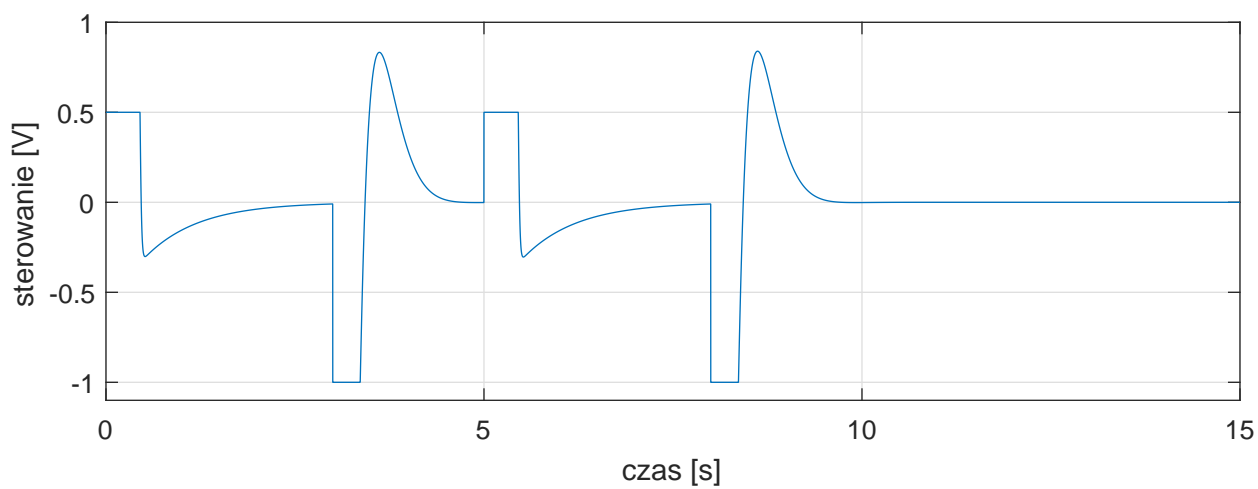
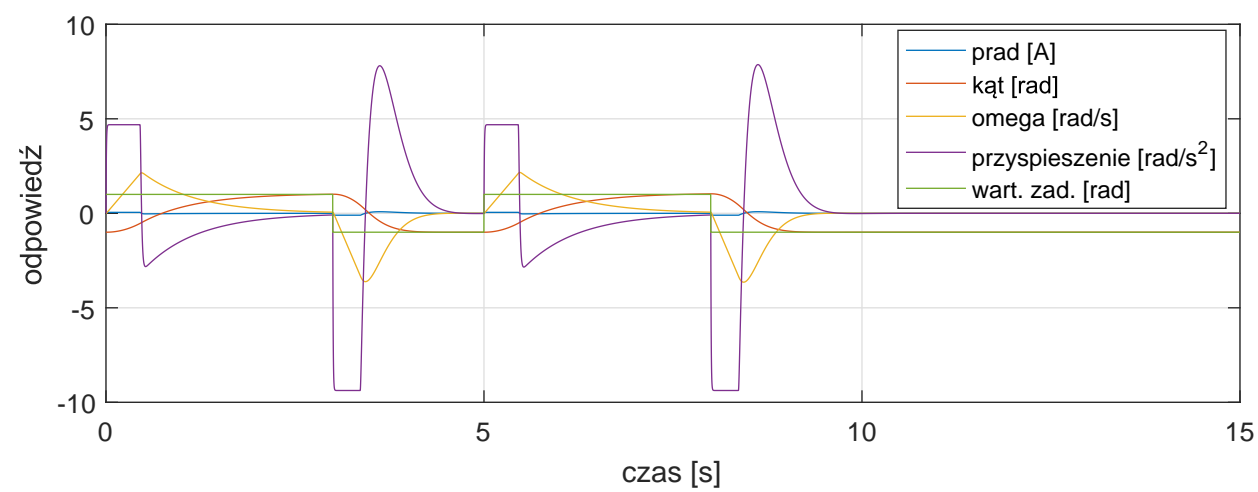
Pozycja zadana podawana na regulator manipulatora miała postać funkcji prostokątnej. Stwierdzono jednak, że z uwagi na ograniczenie przyspieszenia, czas pozycji zadanej dla ruchu z pełną szklanką powinien być dłuższy. Na tej podstawie przyjęto czas pozycjonowania ramienia z napełnioną szklanką na 3 s, a czas powrotu ramienia na pozycję początkową na 2 s.

Na rysunku 3.1 przedstawiono odpowiedź układu dla opisanych powyżej regulatorów. Dla tak przyjętych nastaw regulatorów otrzymano następujące wartości wskaźników jakości:

$$J_1 = 3.847 [rad^2 \cdot s]$$

$$J_2 = 0.7587 [V^2 \cdot s]$$

$$J_3 = 4.606$$



Rys. 3.1: Wartości zmiennych stanu i sterowania.

Bibliografia