Sterowanie adaptacyjne

**Sprawozdanie**

Projekt 3

Mateusz Zubrzycki, 272568

Piotr Kosior, 272503

Kierunek: ISA

Termin zajęć: TP. Wt. 11:15 – 13:00

Spis treści

[I. Wstęp do sprawozdania: 3](#_Toc187797159)

[II. Część 1: 3](#_Toc187797160)

[Wstęp do części pierwszej: 3](#_Toc187797161)

[Równanie różniczkowe i opis w przestrzeni stanów: 4](#_Toc187797162)

[Symulacja odpowiedzi skokowej: 4](#_Toc187797163)

[Parametry symulacji: 4](#_Toc187797164)

[Otrzymane wyniki: 5](#_Toc187797165)

[Wnioski: 5](#_Toc187797166)

[Próba regulacji regulatorem typu P: 5](#_Toc187797167)

[Parametry symulacji: 6](#_Toc187797168)

[Otrzymane wyniki: 6](#_Toc187797169)

[Wnioski: 6](#_Toc187797170)

[Sterowanie liniowo-kwadratowe – LQR: 7](#_Toc187797171)

[Parametry symulacji: 7](#_Toc187797172)

[Otrzymane wyniki: 8](#_Toc187797173)

[Wnioski: 8](#_Toc187797174)

[III. Część 2: 9](#_Toc187797175)

[Wstęp do części drugiej: 9](#_Toc187797176)

[Schemat w Simulinku: 10](#_Toc187797177)

[Opis przestrzeni stanu dla obiektu: 10](#_Toc187797178)

[Opis przestrzeni stanu dla modelu: 10](#_Toc187797179)

[Przygotowanie równania fazowego (liniowego): 10](#_Toc187797180)

[Parametry symulacji: 11](#_Toc187797181)

[Otrzymane wyniki: 12](#_Toc187797182)

[Wnioski: 13](#_Toc187797183)

[IV. Spis obrazów: 13](#_Toc187797184)

[V. Źródła: 13](#_Toc187797185)

# Wstęp do sprawozdania:

Sprawozdanie dotyczy realizacji obu części projektu numer 3.

Parametry a1, a2 i a3 wzięte z naszych indeksów mają kolejno wartości 3, 5 oraz 2.

Całość kodu, badań oraz sprawozdania wykonali Mateusz Zubrzycki oraz Piotr Kosior, posiłkując się źródłami podanymi na końcu tego sprawozdania.

# Część 1:

## Wstęp do części pierwszej:

Otrzymana w zadaniu transmitancja:

W tej części należało w pierwszej kolejności utworzyć równanie różniczkowe na podstawie otrzymanej transmitancji oraz zbudować opis w przestrzeni stanów:

Następnie korzystając z funkcji ode45( ) zasymulować odpowiedź skokową i w dalszym kroku spróbować dokonać regulacji regulatorem typu P, a na koniec wprowadzić sterowanie liniowo-kwadratowe z użyciem funkcji LQR( ) i zastosować regulację.

**Ważne!** W tej części projekty zakładamy, że stan x jest dla nas dostępny.

## Równanie różniczkowe i opis w przestrzeni stanów:

W celu zbudowania opisu w przestrzeni stanów najpierw należało utworzyć równanie różniczkowe:

∫

Gdzie takie, że: oraz .

Obraz zawierający Czcionka, tekst, numer, linia

Opis wygenerowany automatycznieObraz zawierający Czcionka, numer, biały, typografia

Opis wygenerowany automatycznieWięc:  
 =>

=>

Otrzymano:

Obraz zawierający Czcionka, tekst, linia, diagram

Opis wygenerowany automatycznie

## Symulacja odpowiedzi skokowej:

Do realizacji symulacji wykorzystano funkcję ode45( ), która stosuje metodę Runge-Kutty ze zmiennym krokiem czasowym.

### Parametry symulacji:

* Warunki początkowe: , co oznacza , że układ startuje ze stanu spoczynkowego.
* Przedział czasowy: sekund.

### Otrzymane wyniki:

Obraz zawierający tekst, Wykres, diagram, linia

Opis wygenerowany automatycznie

Rysunek - Wykres zasymulowanej odpowiedzi skokowej układu dla u = 1

### Wnioski:

* Na początku obserwujemy niewielki pik w wyjściu, co jest wynikiem dynamicznej reakcji układu na nagłe pobudzenie.
* Następnie wyjście układu stabilizuje się na bo jest zgodne z teorią, którą podał prowadzący, a mianowicie że układ powinien się ustabilizować na wartości, która jest wynikową wzoru:

## Próba regulacji regulatorem typu P:

W ramach kolejnego etapu przeprowadzono próbę regulacji układu przy użyciu regulatora typu P. Celem było doprowadzenie wyjścia układu do wartości żądanej.

Regulator typu P działa zgodnie z zasadą:

gdzie:

* – wzmocnienie regulatora,
* – uchyb, różnica między wartością żądaną a aktualnym wyjściem układu ( ).

### Parametry symulacji:

* Wzmocnienie regulatora:
* Wartość zadana:
* Warunki początkowe:
* Czas symulacji:

### Otrzymane wyniki:

Obraz zawierający tekst, Wykres, linia, diagram

Opis wygenerowany automatycznie

Rysunek - Wykres przedstawiający próbę regulacji regulatorem typu P

### Wnioski:

* Regulator P nie jest w stanie zapewnić osiągnięcia wartości zadanej w tym układzie. Wynika to z ograniczeń regulatora proporcjonalnego, który w układach o niezerowym uchybie ustalonym wymaga dodatkowych metod regulacji.
* Uzyskane wyniki wskazują na konieczność zastosowania regulatora, który będzie uwzględniał zarówno stany układu, jak i wartość żądaną, np. regulatora liniowo-kwadratowego (LQR).

## Sterowanie liniowo-kwadratowe – LQR:

W ostatnim etapie części pierwszej zaimplementowano sterowanie liniowo-kwadratowe (LQR) w celu regulacji układu do wartości zadanej .

Regulator LQR minimalizuje funkcję kosztu zdefiniowaną jako:

gdzie:

* – macierz wag dla stanów, określająca znaczenie minimalizacji energii stanu,
* – skalar określający wagę minimalizacji sygnału sterującego.

### Parametry symulacji:

* Macierze kosztów:
* ,
* Wartość zadana:
* Czas symulacji:
* Warunki początkowe:

### Otrzymane wyniki:

Obraz zawierający tekst, linia, Wykres, diagram

Opis wygenerowany automatycznie

Rysunek - Wykres odpowiedzi układu z regulacją stosującą LQR

### Wnioski:

* Na początku obserwujemy krótkotrwałe oscylacje, które szybko się wygaszają.
* Odpowiedź układu charakteryzuje się szybkim czasem narastania oraz niewielkim przeregulowaniem.
* Wyjście stabilizuje się na wartości , co wskazuje na skuteczność metody.

# Część 2:

## Wstęp do części drugiej:

W poprzedniej części założono, że jest dostęp do x, co w prawdziwych warunkach jest niemożliwe. Teraz w części drugiej rozwiązanie zostało urealnione ponieważ mierzone jest jedynie wejście oraz wyjście . Pomiary te zostaną puszczone na układ liczący zwany obserwatorem, którego zadaniem będzie przybliżenie rzeczywistego stanu x.

Na schemacie poniżej przedstawiono różnicę między podejściem w części pierwszej i drugiej:

Obraz zawierający tekst, diagram, Plan, Czcionka

Opis wygenerowany automatycznie

Rysunek - Porównanie podejścia w części pierwszej i drugiej

## Schemat w Simulinku:

W celu symulacji zachowania układu został stworzony poniższy schemat w simulinku. Naniesiono na niego dodatkowe oznaczenia zgodne z tłumaczeniami prowadzącego.

Obraz zawierający diagram, Plan, tekst, Rysunek techniczny

Opis wygenerowany automatycznie

Rysunek - Schemat w Simulinku

### Opis przestrzeni stanu dla obiektu:

Zadaniem było na podstawie obserwacji zaobserwować . W tym celu został zbudowany model (na rysunku powyżej na czerwono), korzystając z tzw. Obserwatora Luenbergera, aby wyciągać wnioski na podstawie różnicy wyjść.

### Opis przestrzeni stanu dla modelu:

### Przygotowanie równania fazowego (liniowego):

Podstawiając za oraz za do pierwszego równania stanu modelu otrzymujemy:

Teraz za podstawiamy :

Kolejnym krokiem będzie odjęcie od siebie pierwszego równania stanu modelu oraz pierwszego równania stanu obiektu, w ten sposób otrzymujemy:

Obraz zawierający tekst, Czcionka, biały, linia

Opis wygenerowany automatycznie

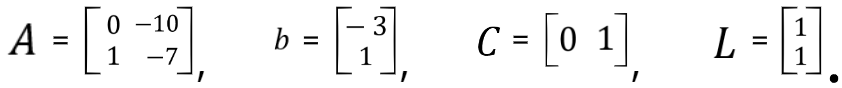
Korzystając z wcześniejszej zależności :

Teraz za podstawiono :

Otrzymane w ten sposób równanie fazowe jest stabilne wtedy gdy macierz jest stabilna, więc istotne jest aby z upływem czasu dzięki czemu z modelu zrównuje się z z obiektu.

Aby tak było wszystkie wartości własne muszą leżeć w lewej półpłaszczyźnie, a wpływ na tą macierz jest poprzez wektor kolumnowy, dwuelementowy .

## Parametry symulacji:



## Otrzymane wyniki:

Obraz zawierający tekst, Wykres, linia, zrzut ekranu

Opis wygenerowany automatycznie

Rysunek - Wykres porównujący wyjście obiektu oraz modelu

Obraz zawierający tekst, Wykres, linia, diagram

Opis wygenerowany automatycznie

Rysunek - Wykres porównujący x modelu oraz obiektu

## Wnioski:

* Wyniki symulacji pokazują, że obserwator Luenbergera skutecznie estymuje rzeczywiste stany układu.
* Na początku symulacji pojawia się niewielki błąd oszacowania wynikający z początkowych różnic pomiędzy rzeczywistym stanem a estymowanym stanem w obserwatorze.
* Obserwator szybko niweluje ten błąd, co wskazuje na prawidłowe działanie wektora .
* W warunkach rzeczywistych, gdzie pomiar pełnego wektora stanu xxx nie jest możliwy, zastosowanie obserwatora pozwala na przybliżenie rzeczywistych wartości stanów na podstawie dostępnych danych wejściowych i wyjściowych.

# Spis obrazów:

[Rysunek 1 - Wykres zasymulowanej odpowiedzi skokowej układu dla u = 1 5](#_Toc187797298)

[Rysunek 2 - Wykres przedstawiający próbę regulacji regulatorem typu P 6](#_Toc187797299)

[Rysunek 3 - Wykres odpowiedzi układu z regulacją stosującą LQR 8](#_Toc187797300)

[Rysunek 4 - Porównanie podejścia w części pierwszej i drugiej 9](#_Toc187797301)

[Rysunek 5 - Schemat w Simulinku 10](#_Toc187797302)

[Rysunek 6 - Wykres porównujący wyjście obiektu oraz modelu 12](#_Toc187797303)

[Rysunek 7 - Wykres porównujący x modelu oraz obiektu 12](#_Toc187797304)

# Źródła:

* Wiedza z wykładów prowadzonych przez Profesora Grzegorza Mzyka
* Materiały video udostępnione przez prowadzącego:
* <https://youtu.be/FWpnpSy3DTU>
* <https://youtu.be/JXMcexlBnbA>