

Politechnika Warszawska
Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych
Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej

Projektowanie układów sterowania
(projekt grupowy)

Sprawozdanie z projektu i ćwiczenia laboratoryjnego
nr 2, zadanie nr 7

Autorzy:
Grochowina Mateusz
Winnicki Konrad
Zgorzelski Jan

Warszawa, 4 kwietnia 2019

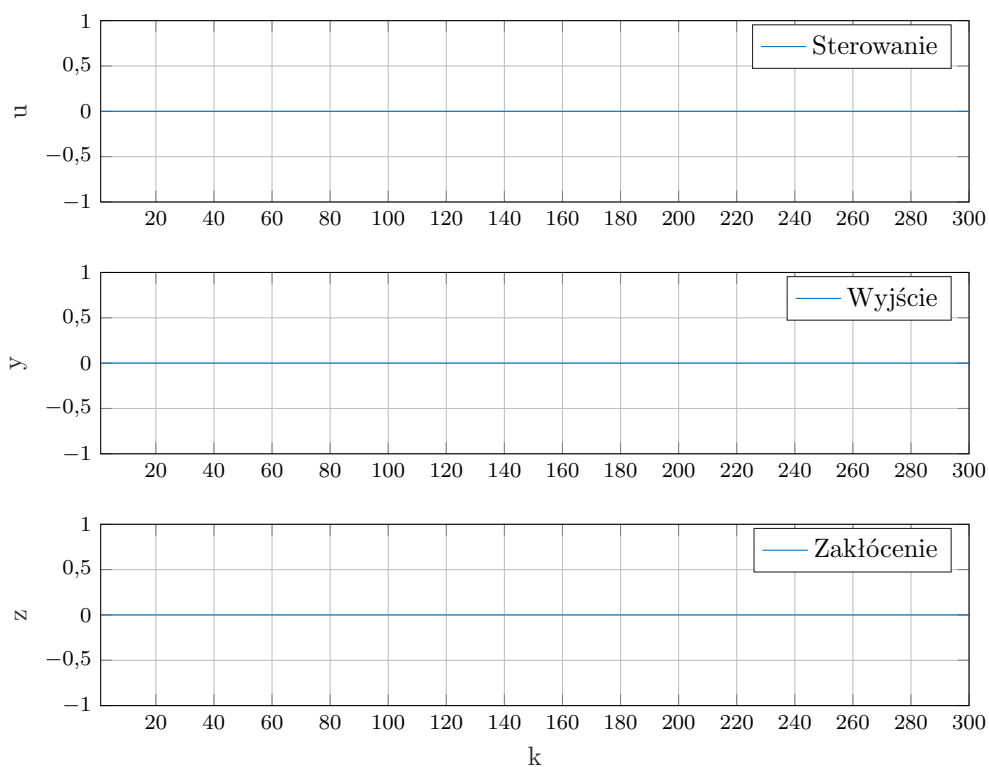
Spis treści

1. Projekt	2
1.1. Poprawność podanego punktu pracy	2
1.2. Wyznaczenie symulacyjne odpowiedzi skokowych	3
1.2.1. Odpowiedź wyjścia na skok wejścia	3
1.2.2. Odpowiedź wyjścia na skok zakłócenia	3
1.2.3. Charakterystyka statyczna $Y(U, Z)$	4
1.3. Wyznaczenie wektorów s i s_z	5
1.3.1. Wyznaczenie wektora s	5
1.3.2. Wyznaczenie wektora s_z	6
1.4. Regulator DMC	6
1.4.1. Program do symulacji algorytmu DMC	7
1.4.2. Dobór parametrów regulatora	7
1.5. Wpływ skokowej zmiany sygnału zakłócenia	7
1.5.1. Dobór parametru D_z	7
1.5.2. Regulacja bez uwzględnienia zakłócenia	7
1.5.3. Regulacja z uwzględnieniem zakłócenia	8
1.5.4. Porównanie wskaźnika jakości	8
1.6. Wpływ ciągłej sinusoidalnej zmiany sygnału zakłócenia	8
1.6.1. Regulacja bez uwzględnienia zakłócenia	8
1.6.2. Regulacja z uwzględnieniem zakłócenia	8
1.7. Odporność algorytmu przy błędach pomiarowych sygnału zakłócenia	8
2. Laboratorium	9
2.1. Poprawność sterowania i punkt pracy stanowiska	9
2.2. Wyznaczenie odpowiedzi skokowej toru zakłócenie-wyjście	9
2.2.1. Odpowiedzi skokowe obiektu	9
2.2.2. Właściwości statyczne obiektu	9
2.2.3. Wzmocnienie statyczne	9
2.3. Wyznaczenie aproksymowanych wektorów s i s_z	9
2.3.1. Odpowiedzi skokowe	10
2.3.2. Aproksymacja odpowiedzi skokowych	10
2.4. Regulator DMC	10
2.4.1. Program do symulacji algorytmu DMC	10
2.4.2. Dobór parametrów regulatora	10
2.5. Wpływ skokowej zmiany sygnału zakłócenia	10
2.5.1. Dobór parametru D_z	10
2.5.2. Regulacja bez uwzględnienia zakłócenia	10
2.5.3. Regulacja z uwzględnieniem zakłócenia	10
2.5.4. Porównanie wskaźnika jakości	11

1. Projekt

1.1. Poprawność podanego punktu pracy

Przeprowadzono symulację odpowiedzi procesu dla punktu pracy. Ustalono stałe stałe sterowania o wartości $U_{pp} = 0$ oraz stałe zakłócenie o wartości $Z_{pp} = 0$.



Rys. 1.1. Punkt pracy obiektu symulacji

Wynik:

Uzyskane wyjście procesu jest stałe i wynosi $Y_{pp} = 0$.

Wniosek:

Stała wartość wyjścia oznacza poprawność danych punktu pracy.

1.2. Wyznaczenie symulacyjne odpowiedzi skokowych

——-POLECENIE——-

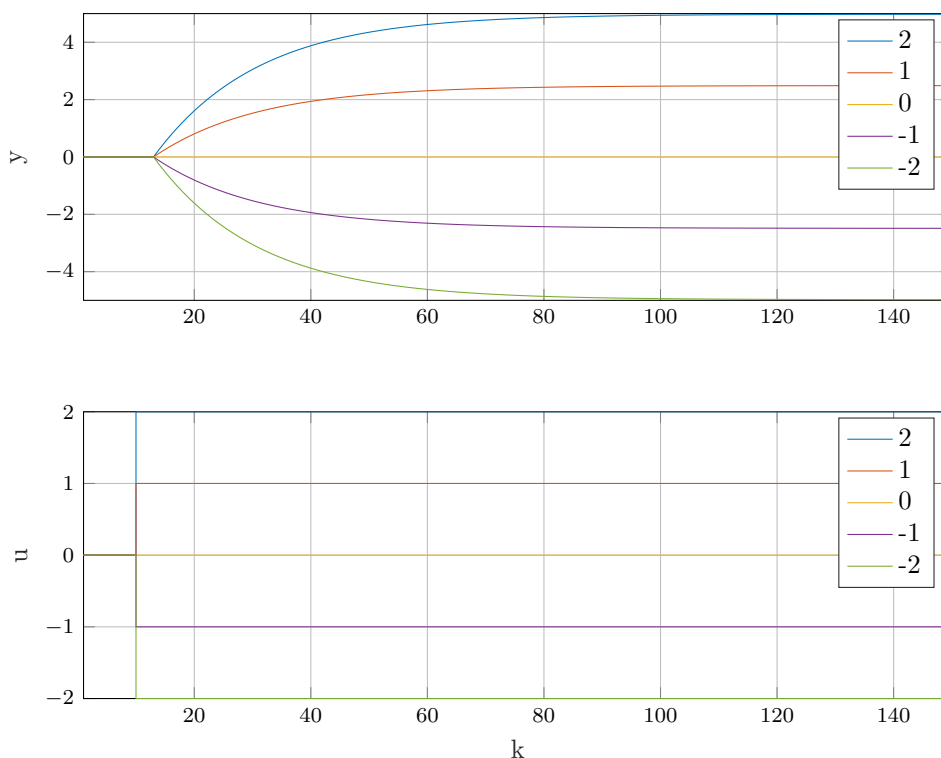
Wyznaczyć symulacyjnie odpowiedzi skokowe torów wejście-wyjście i zakłócenie-wyjście procesu dla kilku zmian sygnału sterującego. Narysować te odpowiedzi, oddzielnie dla obydwu torów. Narysować charakterystykę statyczną procesu $y(u, z)$. Czy właściwości statyczne i dynamiczne procesu są (w przybliżeniu) liniowe? Jeżeli tak, określić wzmocnienie statyczne obu torów procesu.

——-POLECENIE——-

Odpowiedzi skokowe torów wejście-wyjście i zakłócenie-wyjście zostały wyznaczone symulacyjnie dla pięciu zmian sygnału sterującego oraz pięciu zmian zakłócenia.

1.2.1. Odpowiedź wyjścia na skok wejścia

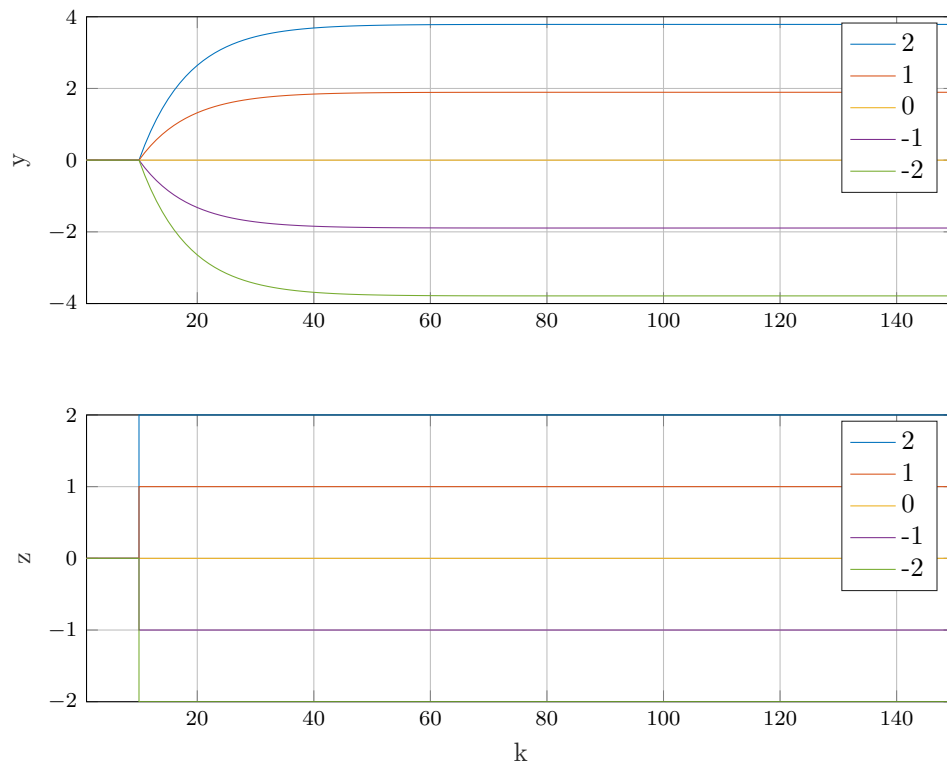
Do uzyskania odpowiedzi skokowych dla tego toru ustawiono zakłócenie na stałą wartość $Z=0$ oraz przeprowadzone zostały skoki sterowania z $U_{pp}=0$ na ...



Rys. 1.2. Odpowiedzi skokowe obiektu od sterowania

1.2.2. Odpowiedź wyjścia na skok zakłócenia

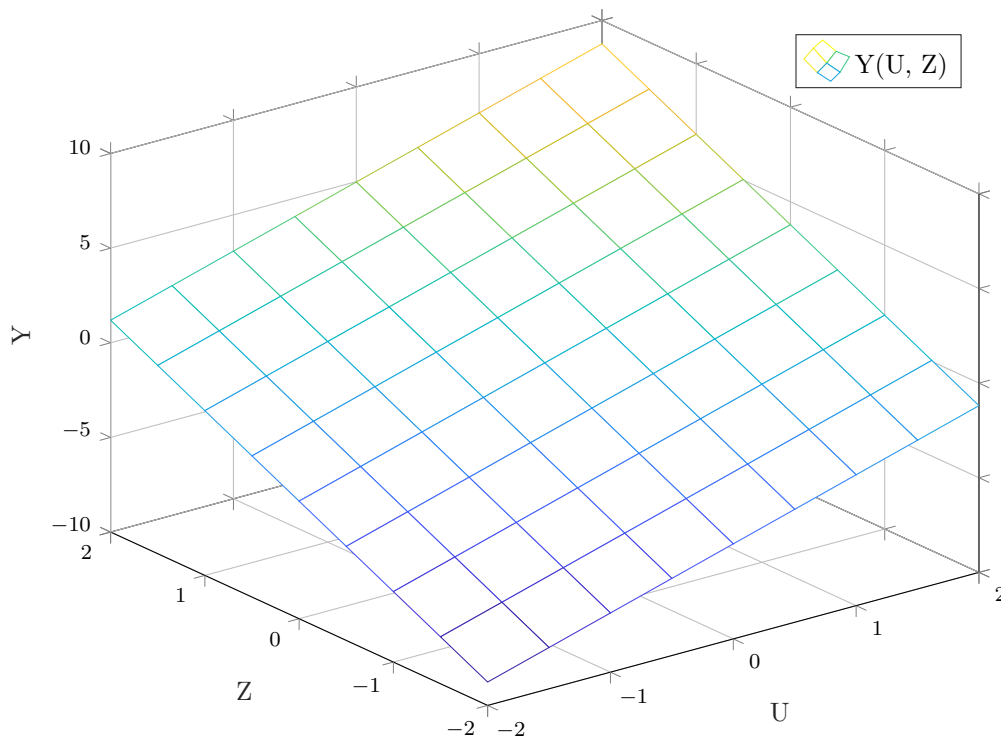
Do uzyskania odpowiedzi skokowych dla tego toru ustawiono sygnał wejściowy na stałą wartość $U=0$ oraz przeprowadzone zostały skoki sterowania z $Z_{pp}=0$ na ...



Rys. 1.3. Odpowiedzi skokowe obiektu od zakłócenia

1.2.3. Charakterystyka statyczna $Y(U, Z)$

Dzięki uzyskanym odpowiedziom skokowym otrzymano charakterystykę statyczną $y(u, z)$

Rys. 1.4. Charakterystyka statyczna obiektu $y(u, z)$

Wniosek:

Na podstawie wykresu charakterystyki statycznej można ustalić, że właściwości statyczne procesu są liniowe. Wzmocnienie statyczne procesu określone zostało dzięki ..., wynosi on $K=1,0305$.

1.3. Wyznaczenie wektorów s i s_z

——-POLECENIE——-

Wyznaczyć odpowiedzi skokowe obu torów wykorzystywane w algorytmie DMC, tzn. zestaw liczb s_1, s_2, \dots oraz s_{z1}, s_{z2}, \dots (przy skoku jednostkowym, odpowiednio sygnału sterującego i zakłócającego: od chwili $k = 0$ włącznie sygnał wymuszenia ma wartość 1, w przeszłości jest zerowy). Zamieścić rysunki odpowiedzi skokowych obu torów.

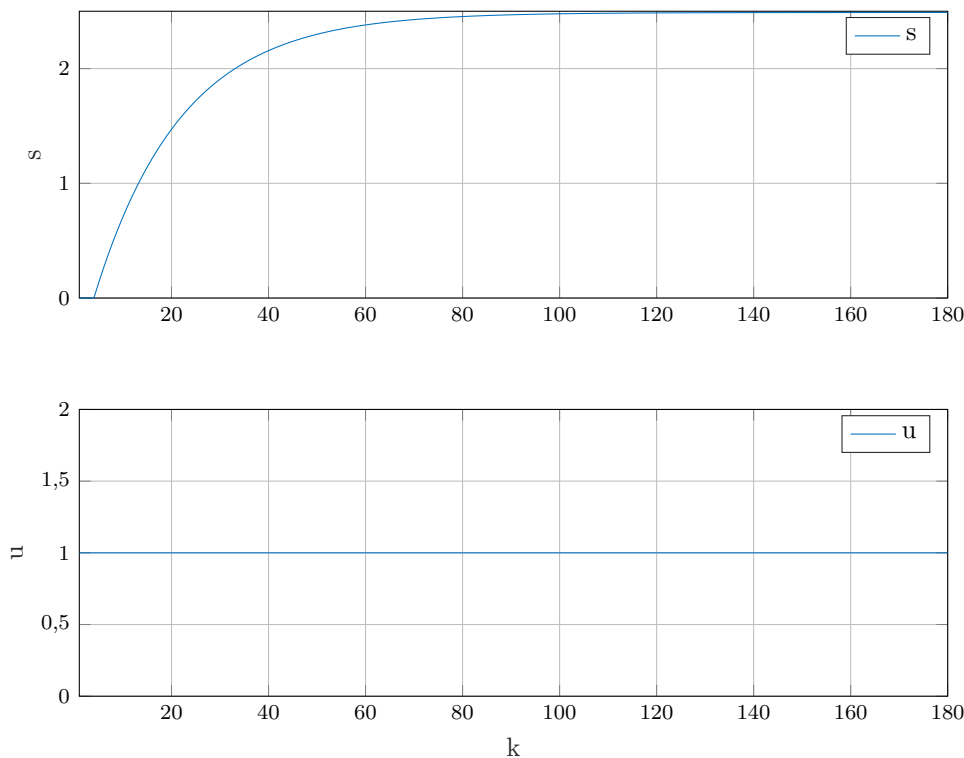
——-POLECENIE——-

1.3.1. Wyznaczenie wektora s

Uzyskaną odpowiedź procesu na zmianę sygnału sterującego z punktu pracy $U_{pp}=32$ na $U_{max}=55$ przekształcono w następujący sposób:

- Ograniczono (przycięto) czas zmiany sterowania u oraz wyjścia y od chwili skoku do ustabilizowania,
* subsec
- Wykres sterowania u przesunięty został o wartość początkową $U_{pp}=?$ w dół,
- Wykres wyjścia y przesunięty został o wartość początkową $Y_{pp}=?$ w dół,
- Wykres sterowania u i wyjścia y podzielono przez $\Delta u=23$.

Uzyskana odpowiedź skokowa daje nam zestaw liczb s_1, s_2, \dots , która wykorzystana będzie w algorytmie DMC.



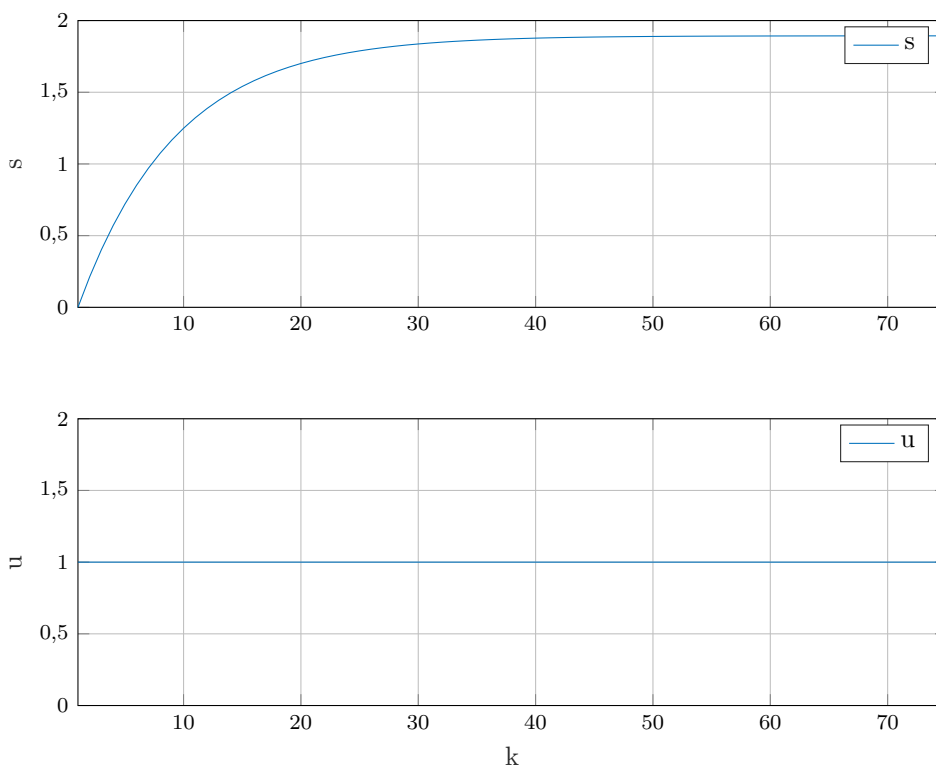
Rys. 1.5. Wektor s

1.3.2. Wyznaczenie wektora s_z

Uzyskaną odpowiedź procesu na zmianę sygnału zakłócenia z punktu pracy $Z_{pp}=0$ na $Z_{max}=30$ przekształcono w następujący sposób:

- Ograniczono (przycięto) czas zmiany sterowania u oraz wyjścia y od chwili skoku do ustabilizowania,
- Wykres sterowania u przesunięty został o wartość początkową $U_{pp}=?$ w dół,
- Wykres wyjścia y przesunięty został o wartość początkową $Y_{pp}=?$ w dół,
- Wykres sterowania u i wyjścia y podzielono przez $\Delta z = 30$.

Uzyskana odpowiedź skokowa toru zakłócenie wyjście daje nam zestaw liczb s_{1z}, s_{2z}, \dots , która wykorzystana będzie w algorytmie DMC.



Rys. 1.6. Wektor s_z

1.4. Regulator DMC

———POLECENIE———

Napisac program w jezyku MATLAB do symulacji algorytm DMC w najprostszej wersji analitycznej. Dobrac parametry D , N_u , N i λ algorytmu DMC przy skokowej zmianie sygnału wartosci zadanej z 0 do 1 i zerowym zakłóceniu. Jakosc regulacji oceniac jakosciowo (na podstawie rysunków przebiegów sygnałów) oraz ilosciowo, wyznaczajac wskaznik jakosci regulacji $E = \sum_{k=1}^{k_{konc}} (y_{zad}(k) - y(k))^2$ gdzie k_{konc} oznacza koniec symulacji (zawsze taki sam). Zamiescic wybrane wyniki symulacji (przebiegi sygnałów wejsciowych i wyjsciowych procesu oraz wartosci wskaznika E).

to samo co w proj 1

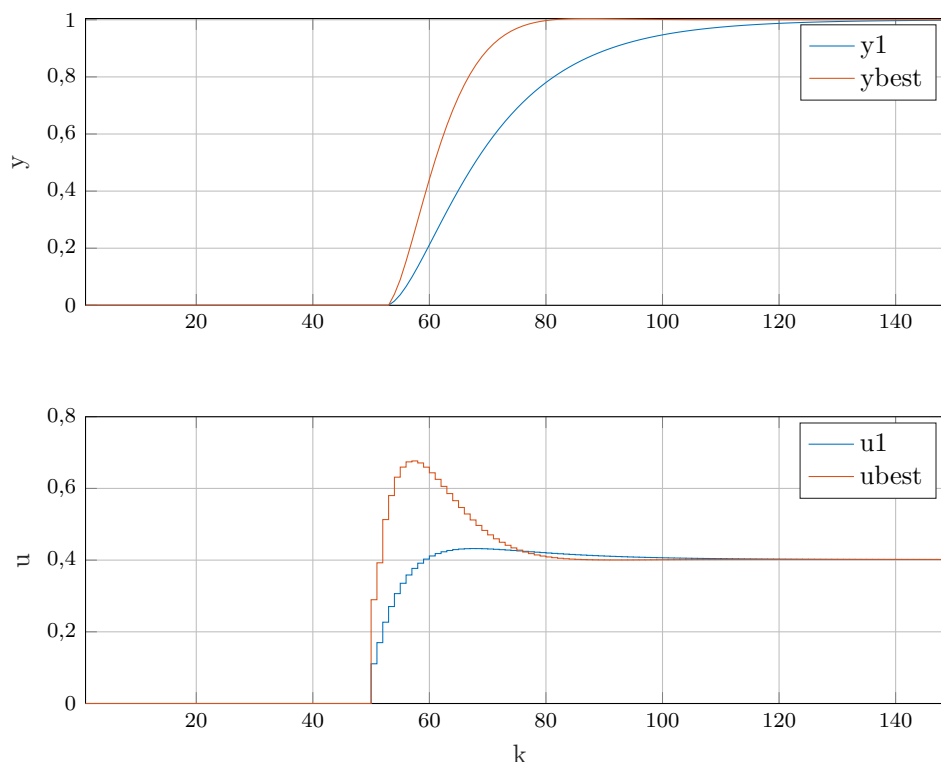
———POLECENIE———

Algorytm DMC (Dynamic Matrix Control) algorytm regulacji predykcyjnej. Do predykcji wykorzystuje się model procesu w postaci odpowiedzi skokowych. W algorytmie DMC dynamika

obiektu regulacji modelowana jest dyskretnymi odpowiedziami skokowymi, które opisują reakcję wyjścia na skok jednostkowy sygnału sterującego.

1.4.1. Program do symulacji algorytmu DMC

1.4.2. Dobór parametrów regulatora



Rys. 1.7. Przebiegi dla różnych nastaw regulatorów

1.5. Wpływ skokowej zmiany sygnału zakłócenia

——-POLECENIE——-

Założyc, że oprócz zmian sygnału wartości zadanej następuje skokowa zmiana sygnału zakłócenia z wartości 0 do 1 (zmiana ta ma miejsce po osiągnięciu przez proces wartości zadanej wyjścia). Dobrac parametr D_z . Zamieścić wybrane wyniki symulacji. Pokazać, że pomiar zakłócenia i jego uwzględnienie prowadzi do lepszej regulacji niż gdy brak jest tego pomiaru.

——-POLECENIE——-

1.5.1. Dobór parametru D_z

Parametr D_z jest to liczba próbek, dla której następuje stabilizacja odpowiedzi skokowych toru zakłóceń, dobrano go na podstawie analizy odpowiedzi skoku zakłócenia z 0 na 1. D_z wynosi = 75

1.5.2. Regulacja bez uwzględnienia zakłócenia

Po osiągnięciu przez proces wartości zadanej wyjścia następuje zmiana sygnału zakłócenia z wartości 0 na 1.

1.5.3. Regulacja z uwzględnieniem zakłócenia

Po osiągnięciu przez proces wartości zadanej wyjścia następuje zmiana sygnału zakłócenia z wartości 0 na 1.

1.5.4. Porównanie wskaźnika jakości

Dla symulacji regulowanego obiektu bez pomiaru zakłóceń wynosi on:

Dla symulacji regulowanego obiektu z pomiarem zakłóceń wynosi on:

Wnioski:

Uwzględnienie mierzalnego zakłócenia w algorytmie regulacji jest bardzo dobrym rozwiązaniem, odsprzęganie zakłócenia powoduje kompensację uchybu regulacji, a co za tym idzie wskaźnik jakości jest lepszy, a sama regulacja uznana jest za lepszą.

1.6. Wpływ ciągłej sinusoidalnej zmiany sygnału zakłócenia

——-POLECENIE——-

Sprawdź działanie algorytmu przy zakłóceniu zmiennym sinusoidalnie. Zamieść wybrane wyniki symulacji przy uwzględnieniu i nie uwzględnieniu mierzonego zakłócenia w algorytmie.

——-POLECENIE——-

1.6.1. Regulacja bez uwzględnienia zakłócenia

1.6.2. Regulacja z uwzględnieniem zakłócenia

Wnioski:

Zakłócenie sinusoidalne wpłynęło bardzo negatywnie na układ, w którym nie jest uwzględniona kompensacja zakłócenia co spowodowało, że wskaźnik jakości wynosi:

Uwzględniając mierzone zakłócenie w algorytmie udało się skompensować uchyb co poprawiło wskaźnik jakości do . . . :

Zakłócenie zmienne sinusoidalne jest trudniejsze do kompensacji niż zwykły skok zakłócenia, ponieważ wymaga ono innego modelu zakłóceń, którego nie zastosowano.

1.7. Odporność algorytmu przy błędach pomiarowych sygnału zakłócenia

——-POLECENIE——-

Dla dobranych parametrów algorytmu zbadać jego odporność przy błędach pomiaru sygnału zakłócenia (szum pomiarowy). Rozważyć kilka wartości błędów. Zamieść wybrane wyniki symulacji.

——-POLECENIE——-

Szum pomiarowy wygenerowano za pomocą dodania do wartości sygnału zakłócenia dodajemy funkcję MATLAB'a `normrnd()`, gdzie jako parametry podajemy 0 oraz sigma.

Dzięki tej funkcji sygnał zakłócenia zmienia się zgodnie z rozkładem Gauss'a. Poprzez zwiększanie parametru sigma, zwiększamy zmiany sygnału zakłócenia, a co za tym idzie - większe zakłócenia. Rozważono trzy różne wartości zakłócenia:

Wnioski:

Im większe zakłócenia tym jakość regulacji jest mniejsza.

2. Laboratorium

2.1. Poprawność sterowania i punkt pracy stanowiska

——-POLECENIE——-

Sprawdź możliwość sterowania i pomiaru w komunikacji ze stanowiskiem – w szczególności sygnałów sterujących $W1$, $G1$, Z oraz pomiaru $T1$. Określ wartość pomiaru temperatury w punkcie pracy ($Z = 0$, $G1 = 25 + F$, gdzie F oznacza numer zespołu).

——-POLECENIE——-

Przeprowadzono symulację odpowiedzi procesu dla punktu pracy. Ustalono stałe sygnały sterujące $G1 = 32$ $Z=0$.

Wynik: Uzyskane wyjście procesu wynosi $T1 = 35.4$ stopnia C.

2.2. Wyznaczenie odpowiedzi skokowej toru zakłócenie-wyjście

——-POLECENIE——-

Wyznaczyć odpowiedzi skokowe toru zakłócenie-wyjście procesu dla trzech różnych zmian sygnału zakłócającego Z rozpoczynając z punktu pracy. Narysować otrzymane przebiegi na jednym rysunku. Czy właściwości statyczne obiektu można określić jako (w przybliżeniu) liniowe? Jeżeli tak, określić wzmocnienie statyczne tego toru procesu.

——-POLECENIE——-

Odpowiedzi skokowe toru zakłócenie-wyjście zostały wyznaczone symulacyjnie dla pięciu zmian sygnału zakłócenia.

2.2.1. Odpowiedzi skokowe obiektu

Do uzyskania odpowiedzi skokowych dla tego toru ustawiono sygnał wejściowy na stałą wartość $U=32$, przy ustabilizowanej temperaturze $T1=35.4$ stopni C przeprowadzone zostały skoki sterowania z $Z=0$ na 10, 15 oraz 30. Dzięki uzyskanym odpowiedziom skokowym otrzymano charakterystykę statyczną zakłócenia.

Wniosek:

Na podstawie wykresu charakterystyki statycznej można ustalić, że właściwości statyczne procesu są liniowe. Wzmocnienie statyczne procesu określone zostało na $K=0,1046$.

2.2.2. Właściwości statyczne obiektu

2.2.3. Wzmocnienie statyczne

2.3. Wyznaczenie aproksymowanych wektorów s i s_z

——-POLECENIE——-

Przygotować odpowiedzi skokowe wykorzystywane w algorytmie DMC, tzn. zestaw liczb s_1 , s_2 , ... oraz s_{z1} , s_{z2} , ... Zamieścić rysunki odpowiedzi skokowych. Należy wykonać aproksymację odpowiedzi skokowych. W celu można wykorzystać dowolne narzędzie. Zamieścić

rysunek porównujący odpowiedź skokowa oryginalna i wersję aproksymowaną. Opisać zastosowaną metodę (pozwalając na odtworzenie procesu aproksymacji) oraz uzasadnić wybór wszystkich parametrów z tym związanych.

——-POLECENIE——-

tutaj aproksymacja jak w proj 1 tylko zmiana na sz1

Do labki aproksymacja jeszcze Wykresy $T1 = 4.59$ $T2 = 100.4$ $K = 0.345$ $Td = 7$

2.3.1. Odpowiedzi skokowe

2.3.2. Aproksymacja odpowiedzi skokowych

2.4. Regulator DMC

——-POLECENIE——-

Napisac i omówić program w języku Matlab do regulacji algorytmu DMC (w najprostszej wersji analitycznej) dla procesu stanowiska. Dobrac parametry D , N , N_u , λ algorytmu DMC przy skokowej zmianie sygnału wartości zadanej i zerowym zakłóceniu. Uwzględnić istniejące ograniczenia wartości sygnału sterującego $0 \rightarrow G1(k) \rightarrow 100$.

——-POLECENIE——-

Tutaj z proj 1 DMC

2.4.1. Program do symulacji algorytmu DMC

2.4.2. Dobór parametrów regulatora

2.5. Wpływ skokowej zmiany sygnału zakłócenia

——-POLECENIE——-

Dobrac parametr D_z . Założyć, że oprócz zmian sygnału wartości zadanej następuje skokowa zmiana sygnału zakłócenia z wartości 0 do ok. 30 (zmiana ta ma miejsce po osiągnięciu przez proces wartości zadanej wyjścia). Uwzględnić co najmniej dwie zmiany sygnału zakłócenia. Zamieścić wybrane wyniki eksperymentu. Pokazać, że uwzględnienie pomiaru zakłócenia prowadzi do lepszej regulacji niż gdy brak jest tego pomiaru – porównać wyniki eksperymentu z regulatorem nie uwzględniającym pomiaru zakłóceń.

——-POLECENIE——-

2.5.1. Dobór parametru D_z

Parametr D_z jest to liczba próbek, dla której następuje stabilizacja odpowiedzi skokowych toru zakłóceń, dobrano go na podstawie analizy odpowiedzi skoku zakłócenia z 0 na 30.

D_z wynosi =

2.5.2. Regulacja bez uwzględnienia zakłócenia

Po osiągnięciu przez proces wartości zadanej wyjścia następuje zmiana sygnału zakłócenia z wartości 0 na 15 oraz na 30.

2.5.3. Regulacja z uwzględnieniem zakłócenia

Po osiągnięciu przez proces wartości zadanej wyjścia następuje zmiana sygnału zakłócenia z wartości 0 na 15 oraz na 30.

2.5.4. Porównanie wskaźnika jakości

Dla symulacji regulowanego obiektu bez pomiaru zakłóceń wynosi on:

Dla symulacji regulowanego obiektu z pomiarem zakłóceń wynosi on:

Wnioski:

Uwzględnienie mierzalnego zakłócenia w algorytmie regulacji jest bardzo dobrym rozwiązaniem, odsprężanie zakłócenia powoduje kompensację uchybu regulacji, a co za tym idzie wskaźnik jakości jest lepszy, a sama regulacja uznana jest za lepszą.