

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

Projektowanie układów sterowania  
(projekt grupowy)

Sprawozdanie z projektu i ćwiczenia laboratoryjnego  
nr 3, zadanie nr 7

Autorzy:  
Grochowina Mateusz  
Winnicki Konrad  
Zgorzelski Jan

Warszawa, 18 kwietnia 2019

# Spis treści

<b>1. Projekt</b>	2
1.1. Poprawność podanego punktu pracy	2
1.2. Wyznaczenie symulacyjne odpowiedzi skokowych	3
1.2.1. Odpowiedź wyjścia na skok wejścia	3
1.3. Program do symulacji algorytmów PID i DMC	4
1.3.1. Algorytm DMC	4
1.3.2. Algorytm PID	6
1.4. Dobór parametrów regulatorów PID i DMC	9
1.4.1. Regulator PID	9
1.4.2. Regulator DMC	9
1.5. zad5	10
1.6. zad6	11
1.7. zad7	12
<b>2. Laboratorium</b>	13
2.1. Poprawność podanego punktu pracy	13
2.2. zad2	14
2.3. zad3	15
2.4. zad4	16
2.5. zad5	17
2.6. zad6	18

# 1. Projekt

## 1.1. Poprawność podanego punktu pracy

Przeprowadzono symulację odpowiedzi procesu dla punktu pracy. Ustalono stałe sterowanie  $U_{pp} = 0$ .

Wynik:

Uzyskany punkt pracy wyjścia  $Y_{pp} = 0$ .

Wniosek:

Stała wartość wyjścia oznacza poprawność danych punktu pracy.

## 1.2. Wyznaczenie symulacyjne odpowiedzi skokowych

Wyznaczyć symulacyjnie odpowiedzi skokowe procesu dla kilku zmian sygnału sterującego, przy uwzględnieniu ograniczeń wartości tego sygnału, jego wartość na początku eksperymentu wynosi 0. Narysować te odpowiedzi na jednym rysunku. Narysować charakterystykę statyczną procesu  $y(u)$ . Czy właściwości statyczne i dynamiczne procesu są liniowe?

Odpowiedzi skokowe toru wejście-wyjście zostały wyznaczone symulacyjnie dla pięciu zmian sygnału sterującego.

### 1.2.1. Odpowiedź wyjścia na skok wejścia

Na podstawie wykresu charakterystyki statycznej można ustalić, że właściwości statyczne procesu są nieliniowe.

### 1.3. Program do symulacji algorytmów PID i DMC

#### 1.3.1. Algorytm DMC

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.

#### Inicjacja parametrów

---

## Obliczanie macierzy DMC

---

**Pętla główna regulatora**

**1.3.2. Algorytm PID**

OPIS PID

**Inicjacja parametrów**

---

**Obliczanie coś do pid**



---

## Pętla główna regulatora

## 1.4. Dobór parametrów regulatorów PID i DMC

Ocena jakości regulacji na podstawie rysunków przebiegów sygnałów polega na ocenie jakościowej, analizowane są takie kryteria jak czas regulacji czy przeregulowanie. Na podstawie tych kryteriów oceny dobierane są nastawy regulatora PID.

Ocena jakości regulacji ilościowa polega na wyznaczaniu wskaźnika jakości regulacji, którym jest suma kwadratów uchybów, a  $k_{conc}$  oznacza ilość kroków symulacji.

$$E = \sum_{k=1}^{k_{conc}} (y_{zad}(k) - y(k))^2$$

Ocena jakości regulacji jakościowa jest metodą mniej dokładną od oceny ilościowej, nie występują tam obliczenia a jedynie analiza rysunków przebiegów. Podczas analizy rysunku osoba oceniająca jakość regulacji narażona jest na mało precyzyjne wnioski, gdyż należy wtedy zwracać uwagę na skalę rysunku i wiele innych parametrów. Ocena ilościowa nie bierze pod uwagę takich czynników jak np. oscylacje, jedynym kryterium jest suma kwadratów uchybów. Jeżeli do oceny jakości regulacji wymagane są inne kryteria niż podany wskaźnik jakości należy rozpatrzyć metodę oceny jakościowej.

### 1.4.1. Regulator PID

Do doboru nastaw regulatora PID zastosowano metodę inżynierską, która polega na przeprowadzeniu doświadczeń i analizy uzyskanych wyników. Na podstawie wyciągniętych wniosków modyfikowane są nastawy regulatora. Parametry dobierane są metodą prób i błędów, aż do osiągnięcia oczekiwanych wyników. Jako pierwszy dobierany był parametr wzmocnienia członu proporcjonalnego, poprzez obserwację zachowania się uchybu regulacji w stanie ustalonym oraz przeregulowanie. Zmniejszając stopniowo wzmocnienie zmniejszano przeregulowanie, a uchyb zwiększał się. Parametr zwiększając go co likwidowało uchyb regulacji, zbyt duży czas zdwojenia zwiększał czas regulacji. Ostatnim elementem strojenia jest wyznaczenie parametru czasu wyprzedzenia, również metodą prób i błędów, tak by zminimalizować czas regulacji. Po wykonaniu tej czynności kończy się proces strojenia regulatora.

### 1.4.2. Regulator DMC

Do doboru nastaw regulatora DMC zastosowano metodę inżynierską, która polega na przeprowadzeniu doświadczeń i analizy uzyskanych wyników. Na podstawie wyciągniętych wniosków modyfikowane są nastawy regulatora. Parametry dobierane są metodą prób i błędów, aż do osiągnięcia oczekiwanych wyników.

Horyzont dynamiki  $D$  jest to liczba współczynników odpowiedzi skokowej, tzn. liczbę kroków dyskretyzacji, po której można uznać odpowiedź skokową za stabilną równą  $K_{stat}$ . Wyznaczona ona została z odpowiedzi skokowej obiektu poprzez wyznaczenie z niej chwili, w której odpowiedź jest stabilna.

Horyzont predykcji  $N$  jest to wartość na podstawie, której prognozuje się zachowanie modelu. Zwiększając ten parametr uzyskaliśmy bardzo dobry czas regulacji oraz praktycznie zerowe przesterowanie.

Horyzont sterowania  $N_u$  tak jak horyzont predykcji jest parametrem dostrajania regulatora, zależnymi od szybkości dynamiki procesu, możliwości obliczeniowych oraz dokładności modelu, eksperymentalnie dobrano wartość tego parametru.

Ostatnim krokiem w dostrajaniu naszego regulatora było wyznaczenie współczynnika kary lambda, za pomocą którego można zapewnić kompromis pomiędzy szybkością regulacji, a postacią sygnału sterującego. Ponownie był on wyznaczany metodą testowania. Zwiększenie współczynnika kary pogorszyło wynik działania regulatora, został więc on zmniejszony.

**1.5. zad5**

W tym samym programie zaimplementować i omówić rozmyty algorytm PID i rozmyty algorytm DMC w najprostszej wersji analitycznej. Uzasadnić wybór zmiennej, na podstawie której dokonywane jest rozmywanie. Uzasadnić wybór i kształt funkcji przynależności.

**1.6. zad6**

Dobrac parametry każdego z lokalnych regulatorów w taki sposób, aby osiągnąć możliwie wysoką jakość regulacji w okolicach jego punktu pracy (przyjąć dla DMC  $\lambda = 1$ ). Wykonać, dla założonej trajektorii zmian sygnału wartości zadanej, eksperymenty uwzględniając różną liczbę regulatorów lokalnych (2, 3, 4, 5, . . .). Zamieścić wyniki symulacji.

**1.7. zad7**

Dla zaproponowanej trajektorii zmian sygnału zadanego oraz dla różnej liczby regulatorów lokalnych (2, 3, 4, 5, . . . ) spróbować dobrać parametry  $\lambda$  dla każdego z lokalnych regulatorów DMC. Zamieścić wyniki symulacji.

## 2. Laboratorium

### 2.1. Poprawność podanego punktu pracy

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

**2.2. zad2**

Przeprowadzić eksperyment mający na celu określenie wzmocnienia w funkcji sterowania: dla kolejnych wartości sterowania: 20, 30, . . . , 80 pozyskać wartość ustabilizowanego sygnału wyjściowego. Narysować otrzymany przebieg. Narysować na jego podstawie punkty tworzące charakterystykę statyczną (można dokonać jej aproksymacji). Czy właściwości statyczne obiektu można określić jako (w przybliżeniu) liniowe? Jeżeli tak, określić wzmocnienie statyczne procesu.

**2.3. zad3**

Dla trajektorii zmian sygnałów zadanych:  $T_{pp}$ ,  $T_{pp} + 5$ ,  $T_{pp} + 15$ ,  $T_{pp}$  przetestować regulatory z laboratorium 1 (tj. wykorzystywane dla obiektu liniowego). Omówić wyniki. Jakość regulacji ocenić jakościowo (na podstawie rysunków przebiegów sygnałów) oraz ilościowo, wyznaczając wskaźnik jakości regulacji. Zamieścić wyniki pomiarów (przebiegi sygnałów wejściowych i wyjściowych procesu oraz wartości wskaźnika E).



**2.4. zad4**

W tym samym programie zaimplementować rozmyty algorytm PI lub PID. Dla tej samej trajektorii zmian sygnału wartości zadanej spróbować dobrać parametry lokalnych algorytmów PI (PID) w taki sposób, aby osiągnąć lepszą jakość regulacji w porównaniu z regulatorem klasycznym (pojedynczym). Wykonać eksperymenty dla 3 regulatorów lokalnych. Omówić proces doboru parametrów i zamieścić uzyskane przebiegi regulacji.

**2.5. zad5**

W tym samym programie zaimplementować rozmyty algorytm DMC w najprostszej wersji analitycznej, o parametrach  $N_u = N = D$  i  $\lambda = 1$ . Dla powyższej trajektorii zmian sygnału wartości zadanej wykonać eksperymenty dla różnych 3 regulatorów lokalnych. Zamieścić wyniki eksperymentów.

**2.6. zad6**

Spróbować dobrać parametry określające kary za przyrosty sterowania lokalnych algorytmów DMC metoda eksperymentalna. Zamieścić wybrane wyniki eksperymentów.