

Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych  
Politechnika Warszawska

Projektowanie układów sterowania  
(projekt grupowy)

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

Stanisław Borkowski, Piotr Czajkowski, Maciej Grudziąż

Warszawa, 2018

# Spis treści

<b>1. Wstęp</b>	2
<b>2. Podstawy teoretyczne</b>	3
2.1. Charakterystyka skokowa	3
2.2. Algorytm PID	3
2.3. Algorytm DMC	3
2.4. Ograniczenia	4
<b>3. Obiekt symulowany - część projektowa</b>	5
3.1. Wyznaczenie odpowiedzi skokowych procesu	5
3.2. Programy do symulacji algorytmów	5
3.3. Ręczny dobór odpowiednich wartości parametrów	7
3.4. Optymalizacja wskaźnika jakości	7
<b>4. Sterowanie rzeczywistym obiektem - część laboratoryjna</b>	8
4.1. Odpowiedzi skokowe	8
4.2. Programy do symulacji algorytmów	8
4.3. Regulator PID	8
4.4. Algorytm DMC	8
<b>5. Wnioski</b>	9

# 1. Wstęp

Celem projektu była implementacja, weryfikacja poprawności działania i dobór parametrów algorytmów regulacji jednowymiarowego procesu laboratoryjnego. W pierwszej jego części zajęliśmy się funkcją symulującą działanie procesu zrealizowaną w środowisku MATLAB, natomiast później zajmowaliśmy się rzeczywistym obiektem (stanowiskiem grzejąco-chłodzącym).

W obu przypadkach naszym zadaniem była analiza zachowań obiektów - badaliśmy m.in. takie parametry jak ich odpowiedzi skokowe i wartości sygnałów w punkcie pracy. Następnie zajęliśmy się implementacją oraz optymalizacją algorytmów regulacji.

## 2. Podstawy teoretyczne

### 2.1. Charakterystyka skokowa

Podstawowym opisem działania każdego układu regulacji są trzy charakterystyki: *skokowa*, *impulsowa* i *częstotliwościowa*. W przypadku tego zadania badaliśmy jedynie charakterystykę skokową. Definiuje się ją jako odpowiedź układu na wymuszenie w postaci skoku jednostkowego przy zerowych warunkach początkowych. Innymi słowy, jest to przebieg wyjścia  $y(t)$  układu przy sterowaniu:

$$u(t) = \begin{cases} 0 & \text{gdy } t < 0 \\ 1 & \text{gdy } t \geq 0 \end{cases}$$

Metoda umożliwia proste wyznaczenie charakterystyki statycznej  $y(u)$  dla danej wartości sterowania  $u$ .

### 2.2. Algorytm PID

Algorytm PID (w tym przypadku dyskretny) jest jednym z prostszych i najbardziej znanych sposobów na wyznaczenie wartości sterowania w automatycznym układzie regulacji. Taki regulator oblicza wartość uchybu  $e(k)$  jako różnicę pomiędzy wartością zadaną  $y^{\text{zad}}(k)$ , a rzeczywistą zmienną procesu  $y(k)$  i dąży do tego, aby ten uchyb zminimalizować. Regulator składa się z trzech członów (proporcjonalnego, całkującego i różniczkującego).

Parametrami algorytmu dostawanymi przez projektanta są:

- wzmocnienie  $k$
- stała całkowania  $T_i$
- stała różniczkowania  $T_{\text{mathrmd}}$

Zasada działania regulatora PID jest bardzo prosta, największy problem sprawia dobór odpowiednich parametrów w taki sposób, aby znaleźć zadowalający nas balans między szybkością regulacji, przeregulowaniem i uchybem ustalonym. Jest on prosty w implementacji i nie wymaga dużych nakładów obliczeniowych. Niestety, sprawdza się on dobrze tylko w przypadku układów z łagodną dynamiką i niewielkimi opóźnieniami.

### 2.3. Algorytm DMC

W przypadku obiektów z dużym opóźnieniem znacznie lepsze efekty przynosi zastosowanie algorytmów predykcyjnych, tzn. takich, które nie tylko wykorzystują obecną wartość wyjścia układu, ale także przewidują jego przyszłe zachowanie. Przykładem takiego algorytmu jest algorytm DMC. W każdej kolejnej dyskretniej chwili na podstawie obecnego stanu układu i w zależności od dobranych parametrów oblicza wektor przyszłych wartości sterowania i wykorzystuje pierwszy jego element  $\Delta u(k|k)$  jako właściwą wartość wysyłaną na sterowanie obiektem.

Parametrami algorytmu dostawanymi przez projektanta są:

- horyzont sterowania  $N_u$
- horyzont predykcji  $N$
- parametr  $\lambda$

## 2.4. Ograniczenia

W przypadku sterowania obiektem rzeczywistym bardzo ważną rolę pełnią ograniczenia narzucane na projektanta przez fizyczne właściwości sprzętu. Ograniczeń takich są dwa typy - na wartość sterowania oraz na jej przyrost. Niezastosowanie się do tych restrykcji może spowodować zniszczenie sprzętu, ważna jest więc ich implementacja w kodzie algorytmu. Na szczęście jest to bardzo proste - wystarczy obliczone wartości rzutować na dopuszczalny ich zbiór przed przekazaniem ich na obiekt.

### 3. Obiekt symulowany - część projektowa

Pierwszym etapem naszej pracy była analiza dostarczonego przez prowadzącego programu symulującego działanie obiektu. Był to obiekt dyskretny z opóźnieniem zależny od zmiennych procesu  $U(k-11)$ ,  $U(k-10)$ ,  $Y(k-1)$ ,  $Y(k-2)$ .

Program do obsługi całego zadania symulacji został zaimplementowany w pliku `Projekt1.m`. Wykonywane są w nim wszystkie wymagane polecenia niezbędne do wykonania zadania, tj. sprawdzenie poprawności wartości w punkcie pracy  $U_{pp}$  i  $Y_{pp}$ , wyznaczenie odpowiedzi skokowych procesu, wywołanie funkcji implementujących algorytmy PID i DMC, a także optymalizacja wskaźnika jakości regulacji  $E$ .

#### 3.1. Wyznaczenie odpowiedzi skokowych procesu

Rozpoczynając od punktu pracy  $U_{pp} = 0,8$  i  $Y_{pp} = 2$  wyznaczaliśmy różne odpowiedzi skokowe dla kilku zmian sygnału sterującego. Wyniki symulacji przedstawione są na Rys. 3.1. Jak widać, symulowany obiekt jest stabilny (charakterystyki po pewnym czasie ustalają się na stałym poziomie) oraz liniowy (charakterystyki statyczne  $Y(U)$  leżą w przybliżeniu na linii prostej, co przedstawione jest na Rys. 3.1).

Na podstawie tej charakterystyki możemy obliczyć wzmocnienie statyczne procesu. Definiuje się je jako

$$K = \frac{\Delta Y}{\Delta U} \quad (3.1)$$

Parametry  $\Delta Y$  i  $\Delta U$  są stałe dla dowolnie wybranych punktów na wykresie  $Y(U)$ , ponieważ charakterystyka jest liniowa. Należy więc wybrać dowolne punkty  $(U_i, Y_i)$  i  $(U_j, Y_j)$  i na ich podstawie obliczyć wzmocnienie statyczne  $K$ . Wynik:

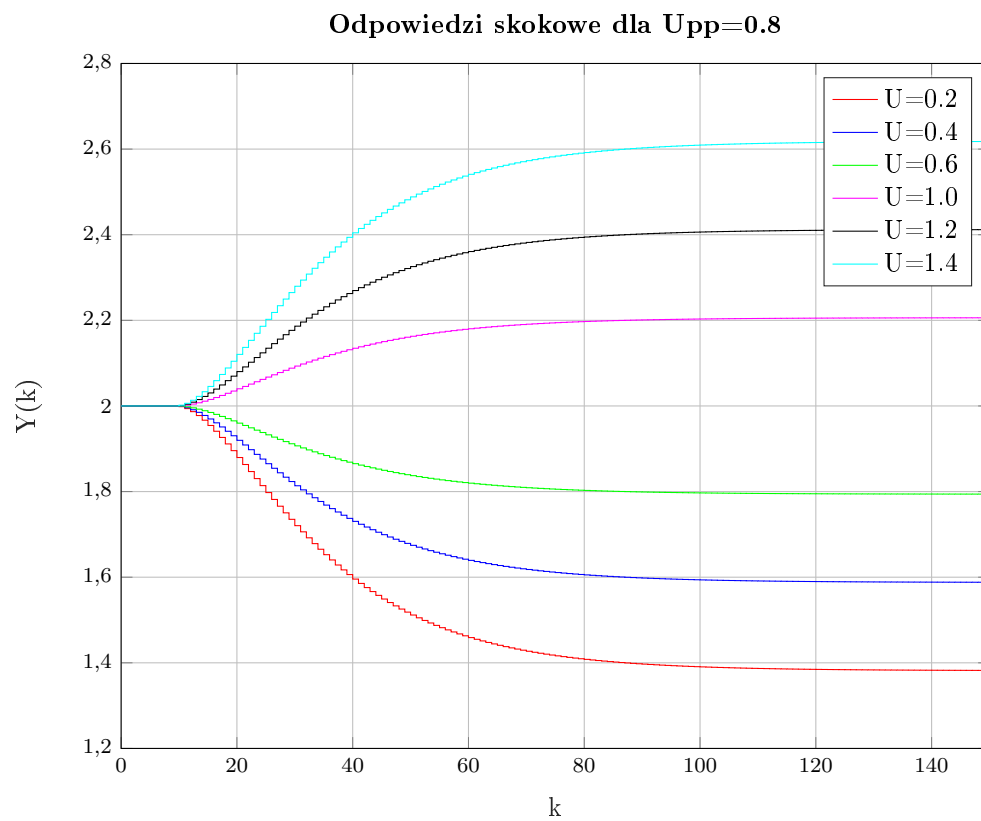
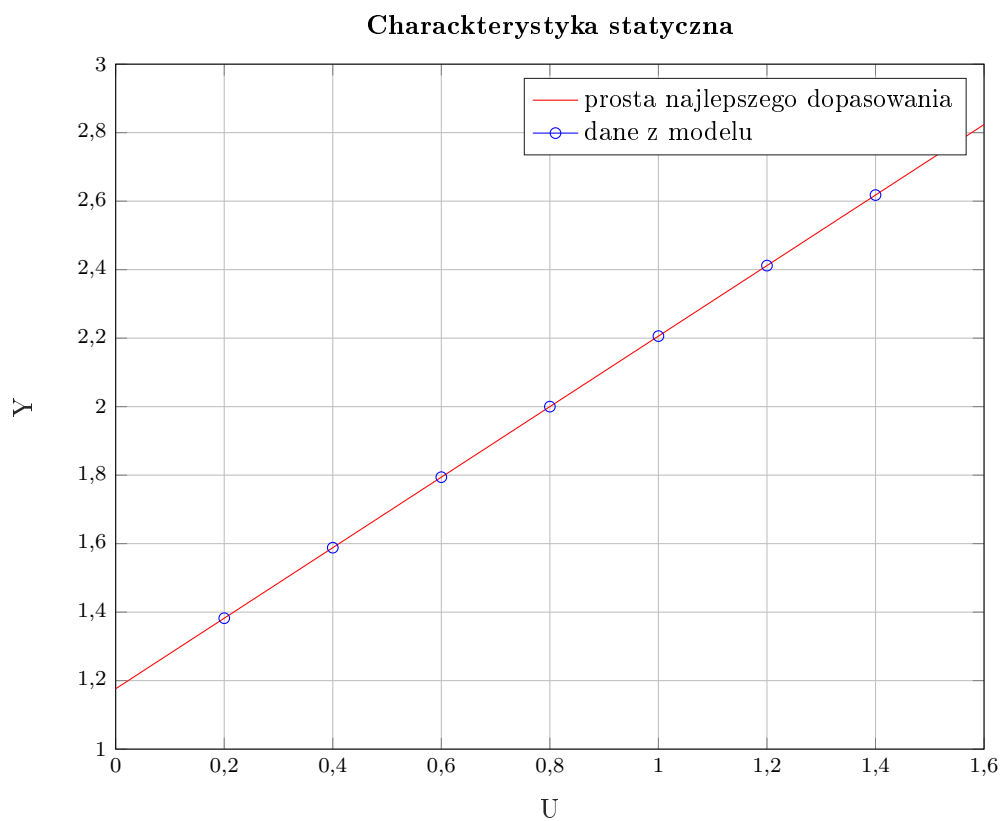
$$K = 1 \quad (3.2)$$

Aby otrzymać odpowiedź skokową wykorzystywaną w algorytmie DMC należy pobudzić obiekt skokiem jednostkowym, gdzie od chwili zerowej sygnał sterujący ma wartość 1, a w przeszłości jest zerowy. Wynik tej odpowiedzi skokowej jest przedstawiony na rys //TODO

#### 3.2. Programy do symulacji algorytmów

Programy do symulacji algorytmów zostały zaimplementowane w plikach `PID.m` i `DMC.m`. Funkcje te są wywoływane w każdej kolejnej dyskretnych chwili  $k$  i obliczają wartość sterowania jaką należy przesłać na obiekt. Na wejście przyjmują więc obecne wartości zmiennych (PID - uchyb  $E$ , numer dyskretnych chwili  $k$ , parametry regulatora dyskretnego  $r_0, r_1, r_2$  i wartość punktu pracy  $U_{pp}$ , a DMC dodatkowo jeszcze macierze  $K$ ,  $M_P$ , wektor  $\Delta U_P$ ). Nakładają one także omówione wcześniej ograniczenia na sygnał sterujący. Funkcje te wywoływane są przez funkcje przeprowadzające symulacje `PIDsimulation.m` i `DMCsimulation.m`, które to z kolei zwracają wartości wyjścia, sterowania i wskaźnika jakości i przekazują je do głównego programu.

Rys. 3.1. Odpowiedzi skokowe dla procesu symulowanego

Rys. 3.2. Charakterystyki statyczne  $Y(U)$ 

//TODO

### 3.3. Ręczny dobór odpowiednich wartości parametrów

Nastawy regulatora PID i parametry regulatora DMC dobieraliśmy metodą eksperymentalną, tj. powoli i cierpliwie zmieniając ich wartości oraz obserwując rysunki przedstawiające przebiegi wyjścia procesu. Jak się okazuje optymalnie działający regulator PID przy nastawach ręcznych otrzymaliśmy przy następujących wartościach:  $K = 0,01$ ,  $T_i = 10000$ ,  $T_d = 0$ , natomiast wskaźnik jakości przyjął w tym wypadku wartość  $E = 122,243$ . Dla algorytmu DMC optymalnymi okazały się parametry:  $N = 200$ ,  $N_u = 15$ ,  $\lambda = 1$ . Wyniki symulacji z takimi parametrami znajdują się na rysunkach: //TODO

### 3.4. Optymalizacja wskaźnika jakości



## 4. Sterowanie rzeczywistym obiektem - część laboratoryjna

4.1. Odpowiedzi skokowe

4.2. Programy do symulacji algorytmów

4.3. Regulator PID

4.4. Algorytm DMC

## 5. Wnioski

Przeprowadzone eksperymenty dowodzą, że w rozważanym typie procesu jednowymiarowego z opóźnieniem oba algorytmy radzą sobie ze sterowaniem - nie pojawiają się znaczące przeregulowania ani rosnące oscylacje. Niemniej jednak, zgodnie z hipotezą postawioną na początku, algorytm DMC przeprowadza regulację o wiele sprawniej i dokładniej dzięki predykcjom przyszłego sterowania wykonywanym na każdym kroku i to właśnie tego algorytmu powinniśmy używać w przypadku projektowania regulatora dla obiektów podobnych do testowanego przez nas stanowiska grzejąco-chłodzącego.

Warto zwrócić uwagę na fakt, że obiekt zarówno symulowany, jak i rzeczywisty był bardzo uproszczony - pomijaliśmy wpływ jakichkolwiek zakłóceń na jego działanie i tak naprawdę nie miało się co tam popsuć. Aby lepiej odwzorować procesy realizowane w prawdziwym świecie (np. przemyśle), należałoby jeszcze zbadać zachowanie układu w warunkach trudniejszych (z różnego rodzaju zakłóceniami) i dopiero na tej podstawie dobrać. Takie eksperymenty i rozważania przeprowadzać będziemy na kolejnych zadaniach laboratoryjnych.