

Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych  
Politechnika Warszawska

Projektowanie układów sterowania  
(projekt grupowy)

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

Stanislau Stankevich, Rafał Bednarz, Ostrysz Jakub

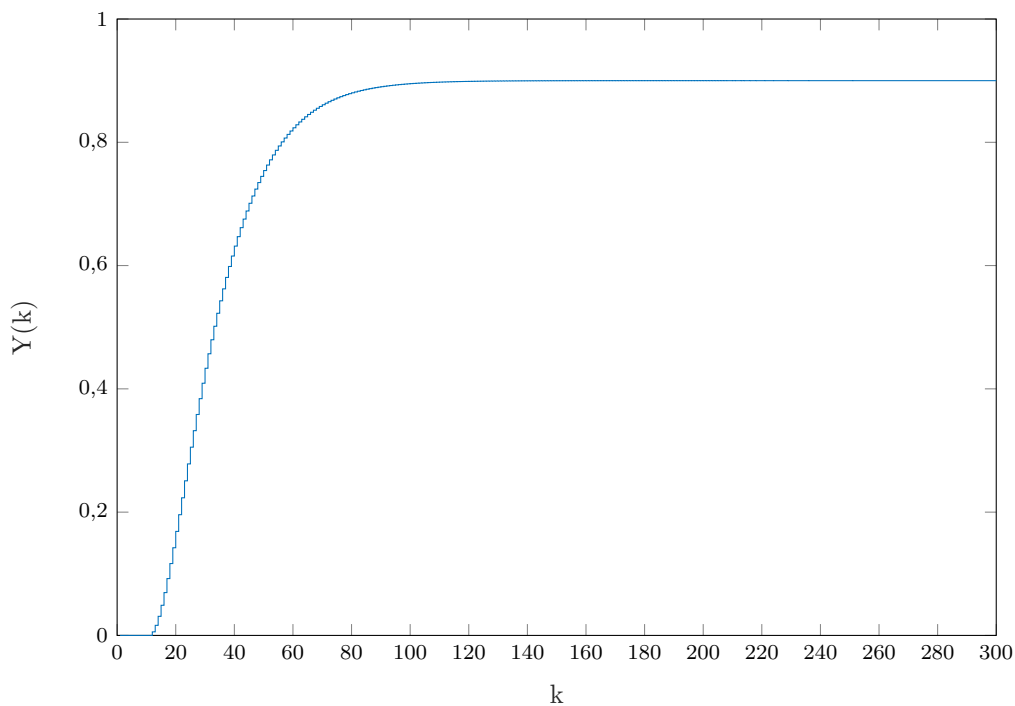
Warszawa, 2021

# Spis treści

<b>1. Sprawdzenie poprawności podanych wartości . . . . .</b>	<b>2</b>
<b>2. Odpowiedzi skokowe . . . . .</b>	<b>3</b>
2.1. Odpowiedzi skokowe . . . . .	3
2.2. Charakterystyka statyczna . . . . .	3
2.3. Wzmocnienie statyczne . . . . .	4
<b>3. Przekształcenie odpowiedzi skokowej na potrzeby algorytmu DMC . . . . .</b>	<b>5</b>
3.1. Przekształcenie odpowiedzi . . . . .	5
3.2. Wykres odpowiedzi skokowej . . . . .	5
<b>4. Algorytm regulacji . . . . .</b>	<b>7</b>
4.1. Algorytm cyfrowy regulacji PID . . . . .	7
4.2. Algorytm DMC w wersji analitycznej . . . . .	7
<b>5. Strojenie regulatorów . . . . .</b>	<b>8</b>
5.1. Strojenie regulatora PID . . . . .	8

## 1. Sprawdzenie poprawności podanych wartości

Żeby sprawdzić poprawność podanych wartości podajemy na wejście wartość  $U_{PP}$  i patrzymy na jakiej wartości się ustali  $Y_{PP}$ .



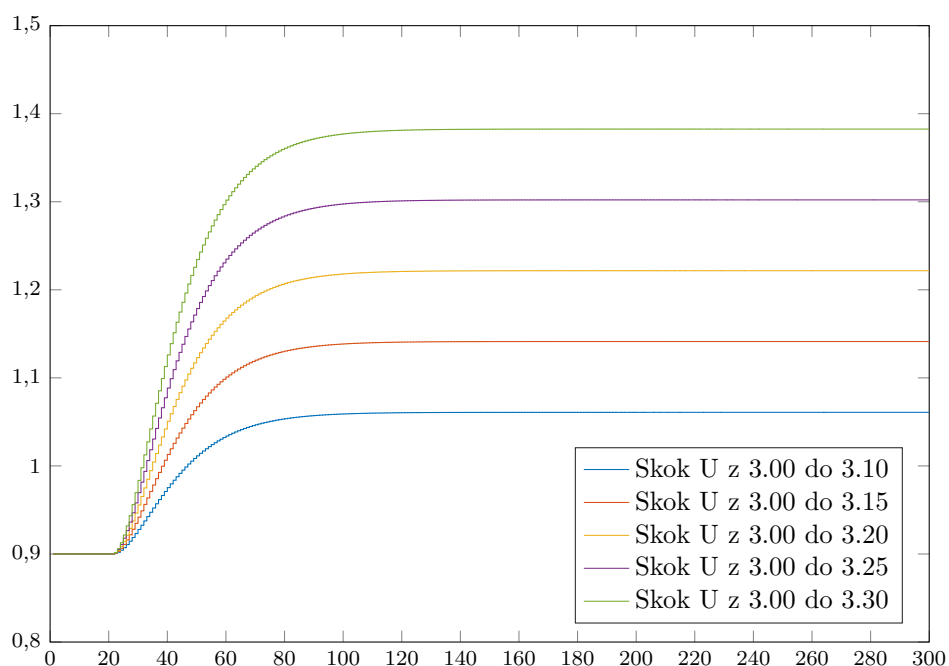
Rys. 1.1. Przebieg wyjścia obiektu przy stałym wejściu równym  $U_{PP}$

Jak możemy obserwować wyjście się ustala na poprawnej wartości, czyli na 0,9.

## 2. Odpowiedzi skokowe

### 2.1. Odpowiedzi skokowe

Rozważamy 5 różnych wartości skoku: 0,1, 0,15, 0,2, 0,25, 0,3.

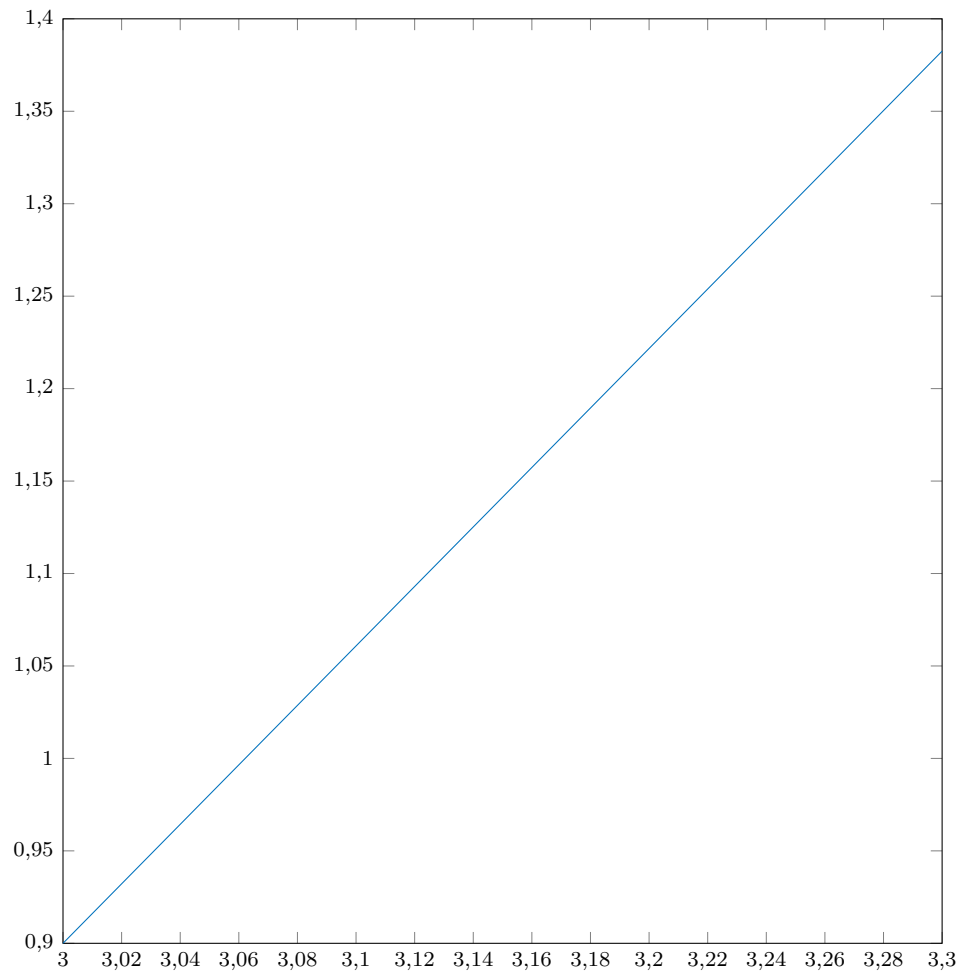


Rys. 2.1. Wykresy odpowiedzi skokowych

Jak widać wartość skoku na wyjściu jest proporcjonalna wartości skoku wejścia.

### 2.2. Charakterystyka statyczna

Jako dane do wykresu bierzemy 6 punktów. Pierwszy punkt to  $U_{PP}$  i  $Y_{PP}$ . Kolejne punkty to wejścia razem ze skokiem i odpowiednie wartości wyjścia.

Rys. 2.2. Charakterystyka statyczna  $y(u)$ 

### 2.3. Wzmocnienie statyczne

Jak widać z powyższego wykresu, charakterystyka jest prawie idealnie liniowa. Wyliczone wzmocnienie statyczne:

$$K_{\text{stat}} = 1,6085 \quad (2.1)$$

### 3. Przekształcenie odpowiedzi skokowej na potrzeby algorytmu DMC

#### 3.1. Przekształcenie odpowiedzi

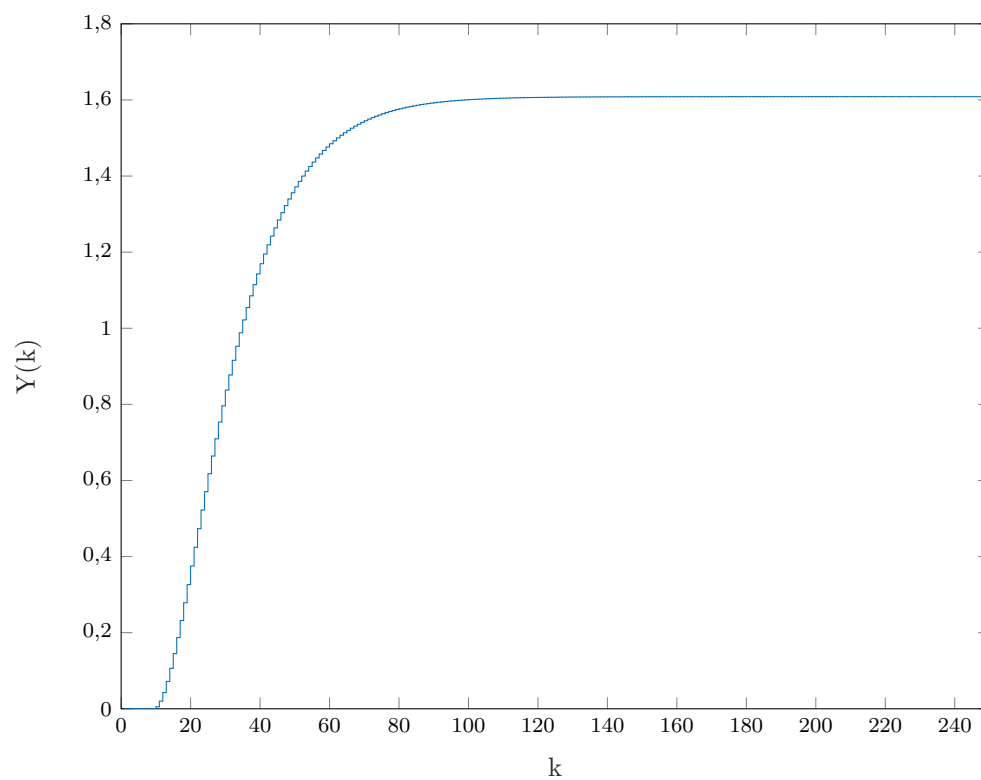
Odpowiedź skokowa wykorzystywana w algorytmach DMC tworzona jest przy skoku jednostkowym od chwili  $k=0$  (od  $k \geq 0$  sygnał sterujący ma wartość 1, a dla  $k < 0$  wartość 0). Żadna z odpowiedzi skokowych z podpunktu 2 nie posiada tej własności, dlatego też należy skorzystać z poniższego wzoru:

$$S_i = \frac{Y(i) - Y_{pp}}{\Delta U}, \text{ dla } i = 1, 2 \dots D \quad (3.1)$$

Przy jego pomocy można wyznaczyć kolejne zestawy liczb  $s_1, s_2 \dots$ , które są kolejnymi wartościami wyznaczanej odpowiedzi skokowej. We wzorze  $Y_{pp}$  oznacza wyjście w punkcie pracy,  $\Delta U$  wartość skoku sygnału sterującego. Natomiast  $Y(i)$  to wartości przekształcanej odpowiedzi skokowej, dla kolejnych chwil od momentu wystąpienia skoku sygnału sterującego. Do przekształcenia odpowiedzi skokowej według powyższego wzoru wybrano odpowiedź procesu dla zmiany sygnału sterującego o  $\Delta U = 0,3$  (skok z  $U_{pp} = 3$  do  $U = 3,3$ ). Skok sygnału sterującego zadany był w chwili  $k=12$ .

#### 3.2. Wykres odpowiedzi skokowej

Po wyliczeniu kolejnych współczynników  $s$  i naniesieniu ich na wykres odpowiedź skokowa wygląda następująco:



Rys. 3.1. Odpowiedź skokowa przekształcona

## 4. Algorytmy regulacji

### 4.1. Algorytm cyfrowy regulacji PID

Prawo regulacji cyfrowego PID:

$$u(k) = r_2 e(k-2) + r_1 e(k-1) + r_0 e(k) + u(k-1), \text{ dla } k = 12, 13 \dots N \quad (4.1)$$

Współczynniki regulacji  $r_i$  są wyliczane ze standardowych wzorów i zależą od wzmocnienia członu proporcjonalnego  $K_p$ , parametru całkowania  $T_i$ , parametru różniczkowania  $T_d$ , które są parametrami dostrojalnymi regulatora, oraz od wartości okresu próbkowania  $T = 0,5s$ .

Wartości wejścia i wyjścia będą wystawiane na  $U_{PP}$  i  $Y_{PP}$  dla  $k = 1, 2 \dots 11$ , a dla następnych chwil czasu wejście będzie liczone z prawa regulacji, uwzględniając ograniczenia  $u_{min}$ ,  $u_{max}$ ,  $\Delta u^{max}$ .

### 4.2. Algorytm DMC w wersji analitycznej

Prawo regulacji DMC:

$$\Delta U(k) = K(Y^{zad}(k) - Y^0(k)) \quad (4.2)$$

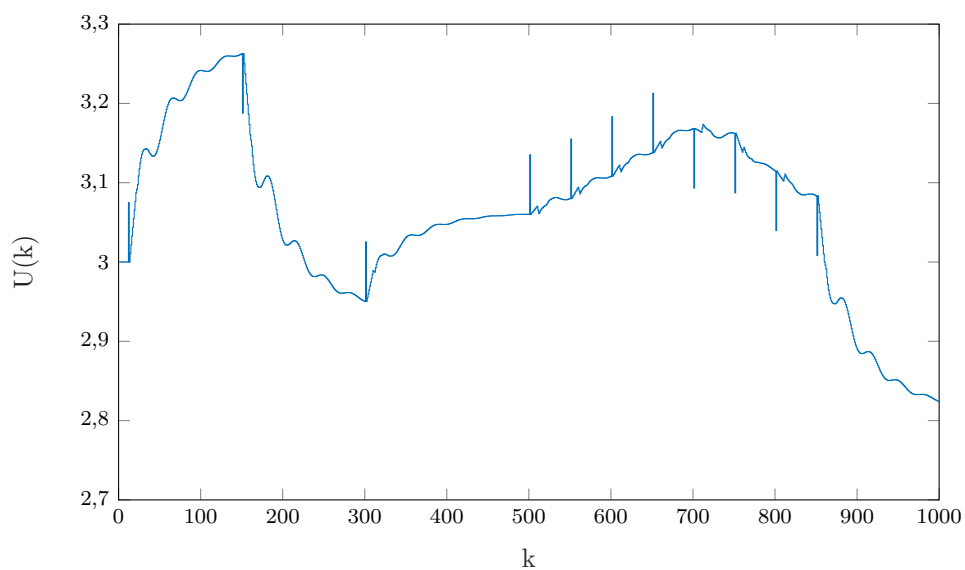
Gdzie  $\Delta U(k)$  to wektor  $N_u$  (horyzont sterowania) przyszłych wartości sterowania,  $Y^0(k)$  to przewidywana odpowiedź z modelu procesu,  $K$  - macierz policzona raz na początku ze współczynników odpowiedzi skokowej, uwzględniając wybrany współczynnik  $\lambda$  oraz horyzonty predykcji i sterowania.



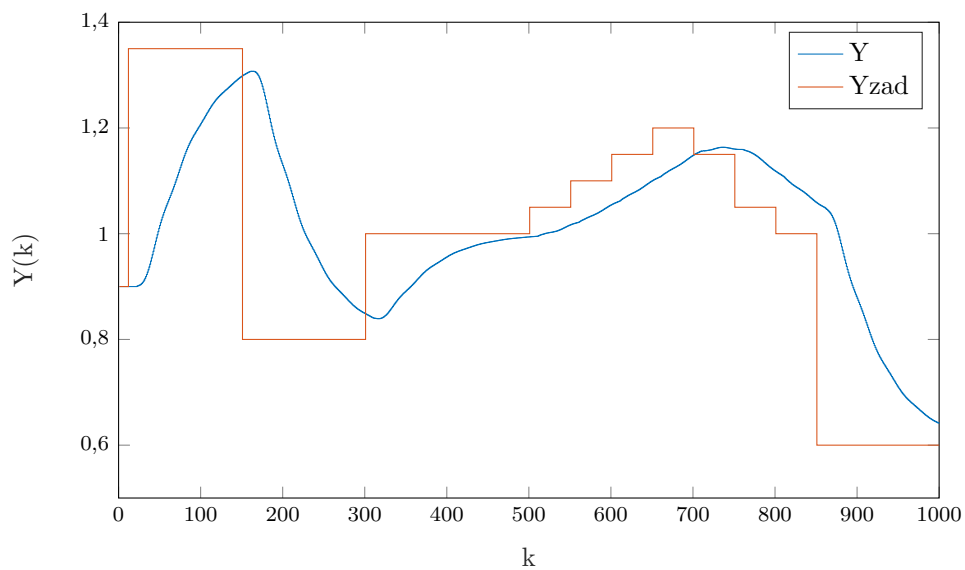
## 5. Strojenie regulatorów

### 5.1. Strojenie regulatora PID

Otrzymane metodą ZN nastawy regulatora PID:  $K_p = 1.212$ ,  $T_i = 25$ ,  $T_d = 6$ .  
Wyniki symulacji o długości  $n = 1000$  dla parametrów:



Rys. 5.1. Sterowanie PID dla parametrów ZN

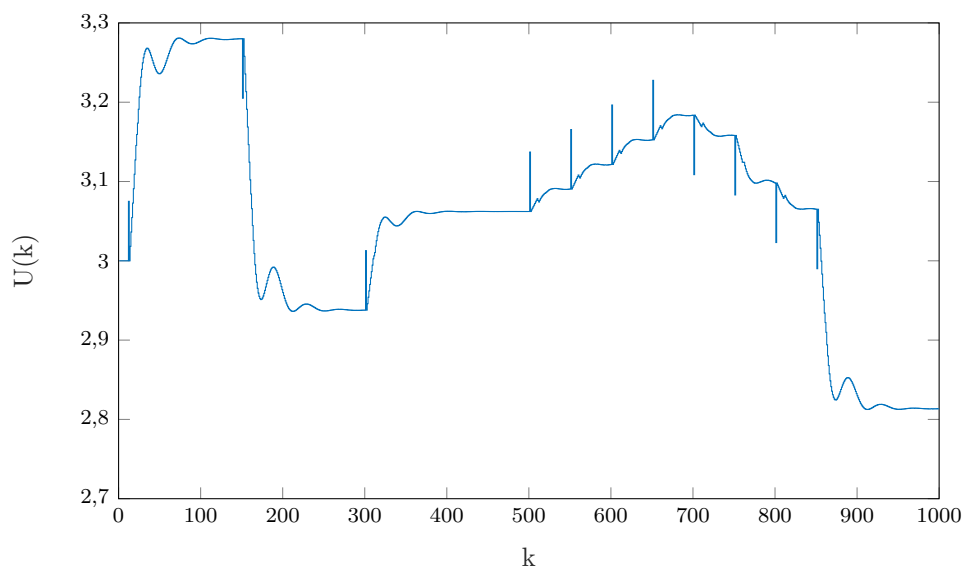


Rys. 5.2. Śledzenie wartości zadanej dla parametrów ZN

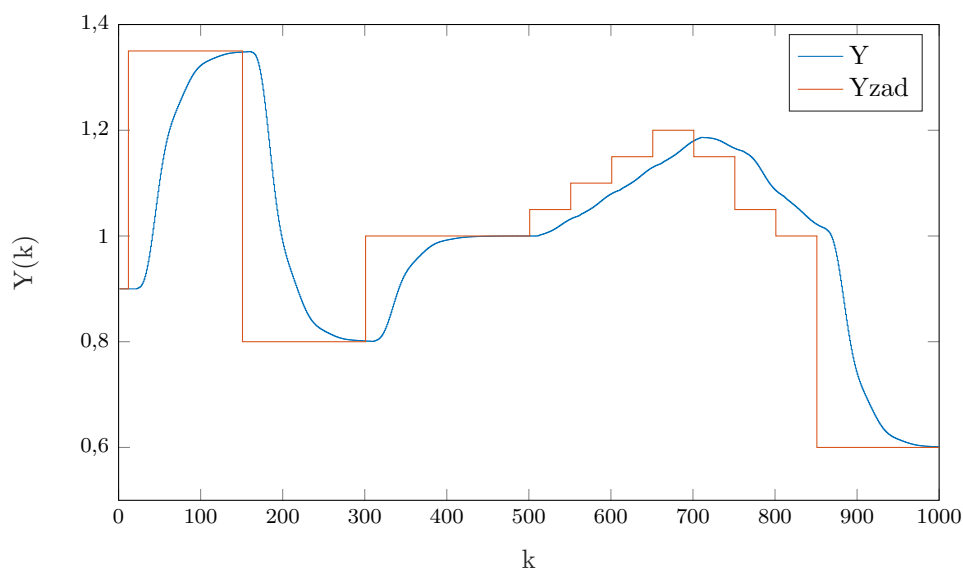
Wskaźnik jakości regulacji:

$$E = 36,0711 \quad (5.1)$$

Zmieniając  $T_i$  i  $T_d$  na 15 i 4 odpowiednio:



Rys. 5.3. Sterowanie PID dla parametrów  $K = 1,212$ ,  $T_i = 15$ ,  $T_d = 4$



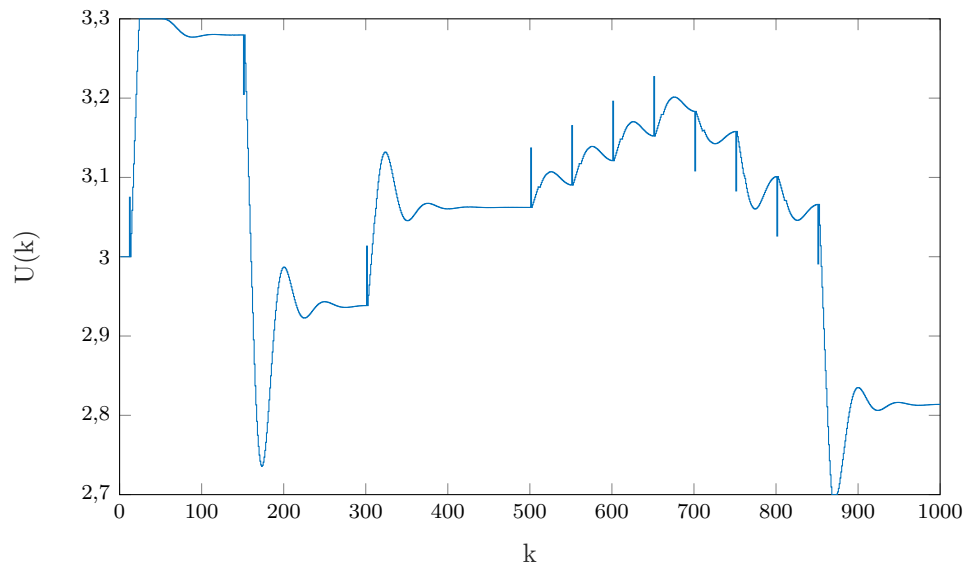
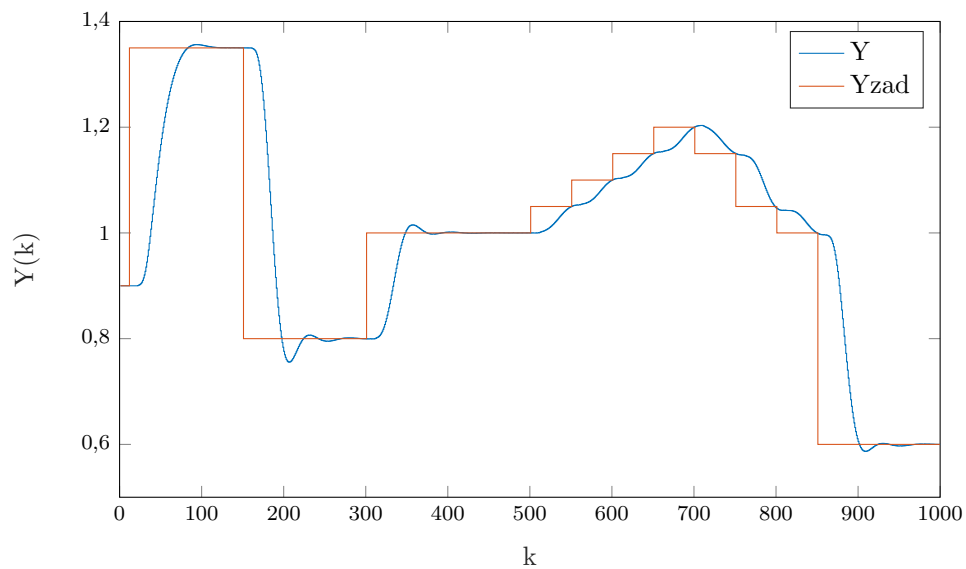
Rys. 5.4. Śledzenie wartości zadanej dla parametrów  $K = 1,212$ ,  $T_i = 15$ ,  $T_d = 4$

Wskaźnik jakości regulacji:

$$E = 25,6710 \quad (5.2)$$

Wartości parametrów dla których wartość wyjścia najlepiej śledzi wartość zadaną (na oko) to:

$$K = 1,3; T_i = 10; T_d = 3; \quad (5.3)$$

Rys. 5.5. Sterowanie PID dla parametrów  $K = 1,3$ ,  $T_i = 10$ ,  $T_d = 3$ Rys. 5.6. Śledzenie wartości zadanej dla parametrów  $K = 1,3$ ,  $T_i = 10$ ,  $T_d = 3$ 

Wskaźnik jakości regulacji:

$$E = 20,5988 \quad (5.4)$$