

Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych  
Politechnika Warszawska

Projektowanie układów sterowania  
(projekt grupowy)

Sprawozdanie z ćwiczenia laboratoryjnego nr 4

Bartłomiej Boczek, Aleksander Piotrowski, Łukasz Śmigielski

Warszawa, 7 maja 2017

## Spis treści

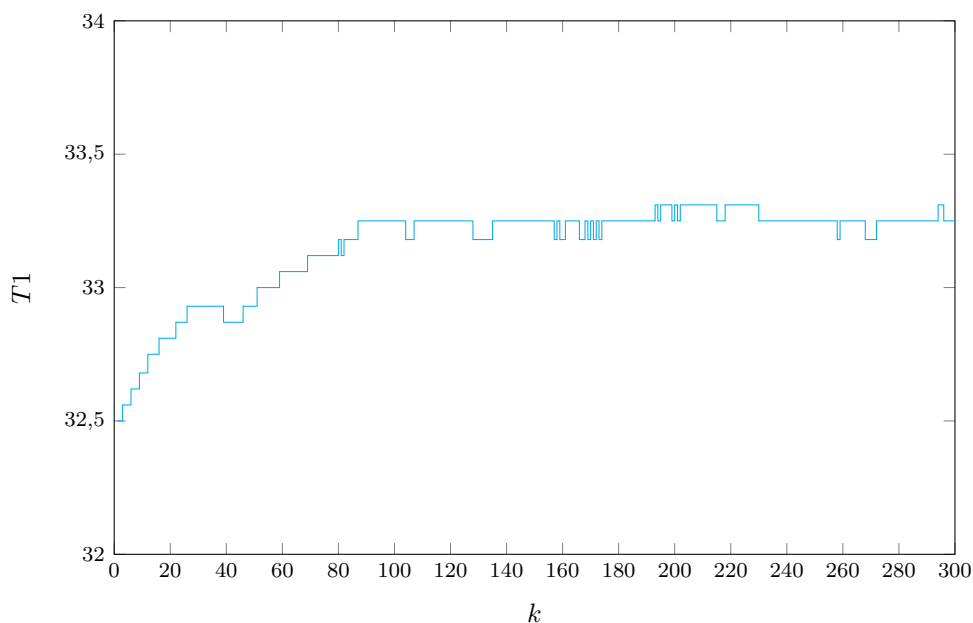
1. Punkt 1	2
2. Punkt 2	3
3. Punkt 3	6
4. Punkt 4	8
5. Punkt 5	11
6. Punkt 6	12

# 1. Punkt 1

Komunikacja z obiektem grzejąco-chłodzącym przebiega poprzez port szeregowy. Udało nam się skomunikować ze środowiskiem za pomocą funkcji `readMeasurements` oraz `sendControls` dostarczonych w pakiecie laboratoryjnym. Wysyłanie sygnałów sterujących do wiatraczka, grzałki oraz odczyt pomiarów z czujników znajdujących się na obiekcie przebiegał pomyślnie. Wartości, którymi będziemy sterować w tym ćwiczeniu to  $W1$  - 1 parametru funkcji `sendControls`, oraz  $G1$  - 5 parametrów. Pomiarom nas interesującym będzie pierwsza wartość w wektorze zwracany przez `readMeasurements`, czyli pomiar temperatury  $T1$ .

Wyznaczanie punktu pracy:  
wysłaliśmy stałą wartość sterowania  $U_{pp} = 35\%$  oraz zmierzaliśmy wartość wyjścia. Wiatraczek  $W1$  (cecha środowiska) został ustawiony na  $W1 = 50\%$  obrotów maksymalnych.

Poniżej przedstawiony został przebieg eksperymentu:



Rys. 1.1. Punkt pracy

Na wykresie możemy zaobserwować, że wartość temperatury  $T1$  (wyjścia obiektu) stabilizuje się na wartości  $33,25^{\circ}\text{C}$ . Zatem możemy stwierdzić, że punkt pracy obiektu to:  $(U_{pp}; Y_{pp}) = (35; 33,25)$ .

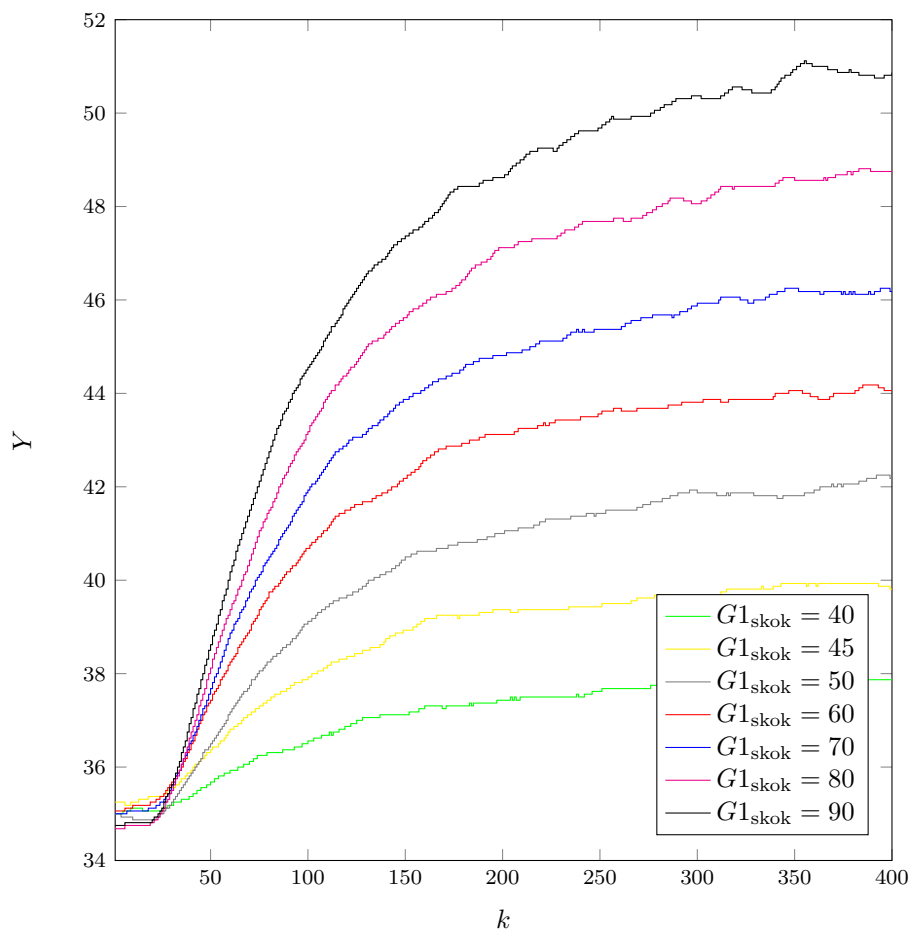
## 2. Punkt 2

W tym eksperymencie wyznaczaliśmy odpowiedzi skokowe dla pięciu różnych zmian sygnału strującego G1 rozpoczynając z punktu pracy. Niestety, zanim zaczęliśmy pomiary, w labolatorium zaczęło świecić słońce i punkt pracy naszego obiektu przesunął się do wartości  $(U_{pp}; Y_{pp}) = (35; 35)$  i aby ujednolicić wyniki to właśnie dla niego zebraliśmy odpowiedzi skokowe dla wszystkich skoków sygnału sterującego.

Wykonane przez nas skoki sygnału to:

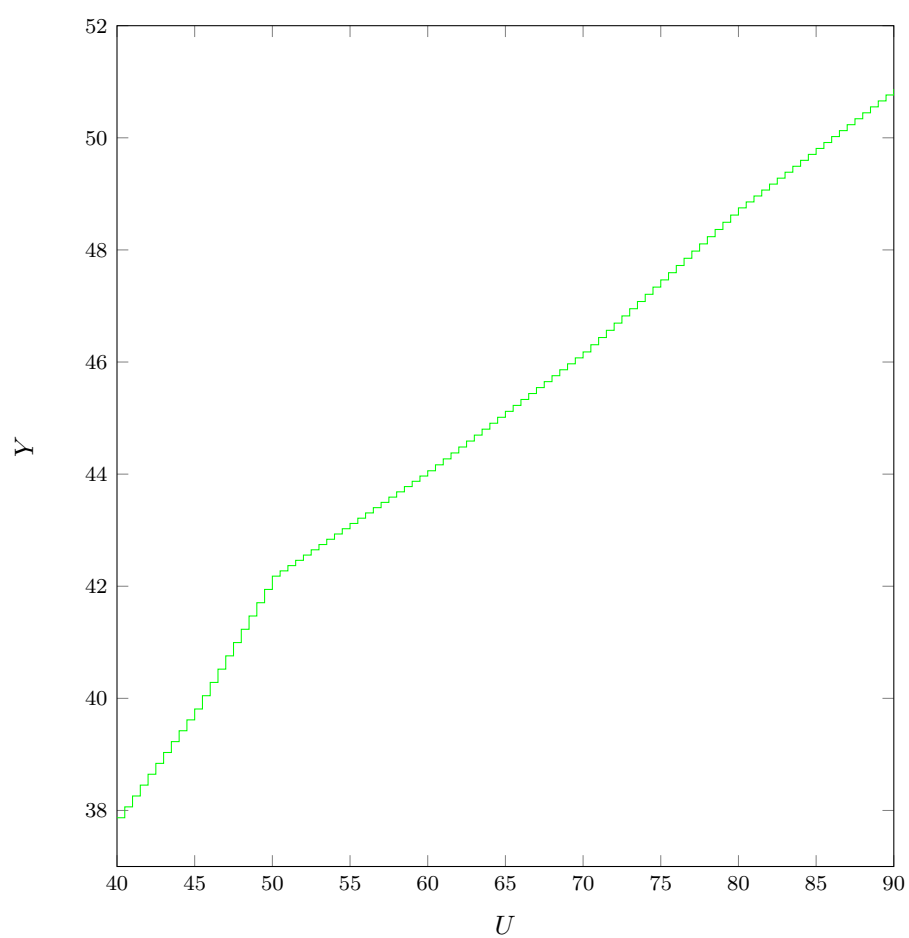
- 1)  $35 \rightarrow 40$
- 2)  $35 \rightarrow 45$
- 3)  $35 \rightarrow 50$
- 4)  $35 \rightarrow 60$
- 5)  $35 \rightarrow 70$
- 6)  $35 \rightarrow 80$
- 7)  $35 \rightarrow 90$

Wykonaliśmy więcej pomiarów by lepiej móc zaobserwować punkt przegięcia charakterystyki statycznej obiektu. Wyniki pomiarów zostały przedstawione na poniższym wykresie zbiorczym:



Rys. 2.1. Odpowiedzi skokowe procesu dla siedmiu różnych zmian sygnału sterującego

Właściwości statycznych tego obiektu nie możemy określić jako w przybliżeniu liniowe. Jako dowód można podać charakterystykę statyczną obiektu, na której doskonale widać, że charakterystyka obiektu jest złożona z dwóch liniowych części, których przegięcie następuje w okolicach punktu  $(X_{przeg}; Y_{przeg}) = (50; 42)$ .



Rys. 2.2. Charakterystyka statyczna

### 3. Punkt 3

Obliczyliśmy dwie odpowiedzi skokowe, odpowiednio dla dwóch skoków odpowiadającym dwóm liniowym częściom charakterystyki statycznej. Pierwszy to skok sterowania  $U$  z 35%  $\rightarrow$  50% (gdyż właśnie w punkcie 50 jest przegięcie charakterystyki statycznej), drugi z 35%  $\rightarrow$  90%. Skoki zostały przeskalowane, tak aby mogły być uznane za odpowiedź skokową, czyli odpowiedź obiektu na skok jednostkowy.

Następnym krokiem była aproksymacja uzyskanych wcześniej odpowiedzi skokowych członem inercyjnym drugiego rzędu z opóźnieniem. Parametry  $T_1$ ,  $T_2$  oraz  $K$  tego członu wyznaczone zostały za pomocą optymalizatora `ga`. Jako, że jest on optymalizatorem niedeterministycznym (nie daje przy każdym uruchomieniu takich samych rezultatów), kilka razy powtarzaliśmy nasze eksperymenty oraz ocenialiśmy wizualnie (na wykresach) jakość dopasowania funkcji aproksymującej do obliczonej odpowiedzi skokowej. Okazało się, że bardzo dobre rezultaty udawało się uzyskać nie podając optymalizatorowi żadnych ograniczeń, dlatego też nie zdecydowaliśmy się na tego typu kroki.

Parametry członu inercyjnego drugiego rzędu z opóźnieniem wyznaczone przy pomocy optymalizatora: dla odpowiedzi skokowej obliczonej dla skoku sterowania do wartości 50%:

$$T_1 = 14,875\,560;$$

$$T_2 = 77,388\,071;$$

$$K = 0,461\,244;$$

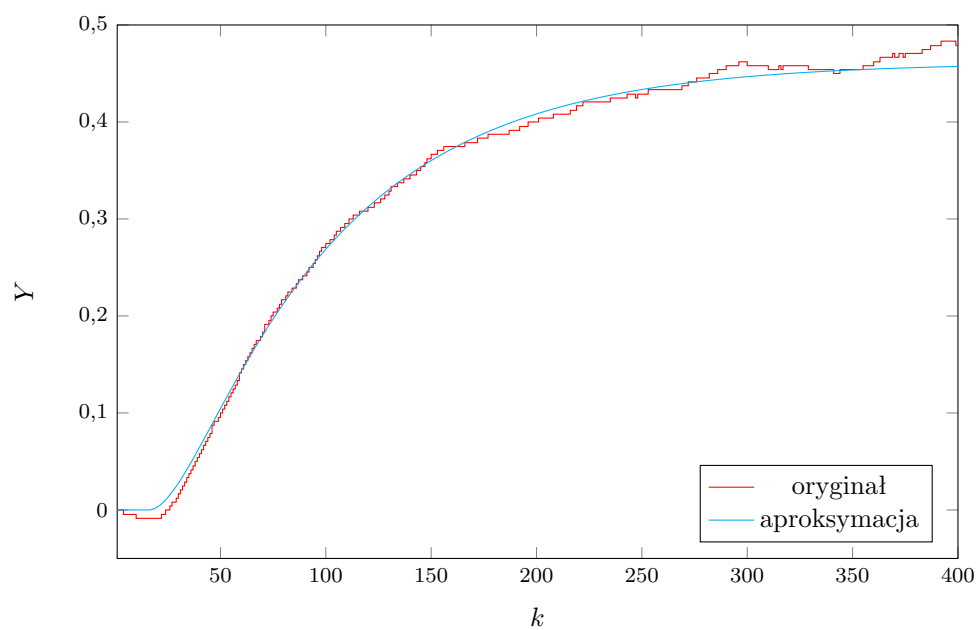
dla odpowiedzi skokowej obliczonej dla skoku sterowania do wartości 90%:

$$T_1 = 13,342\,281;$$

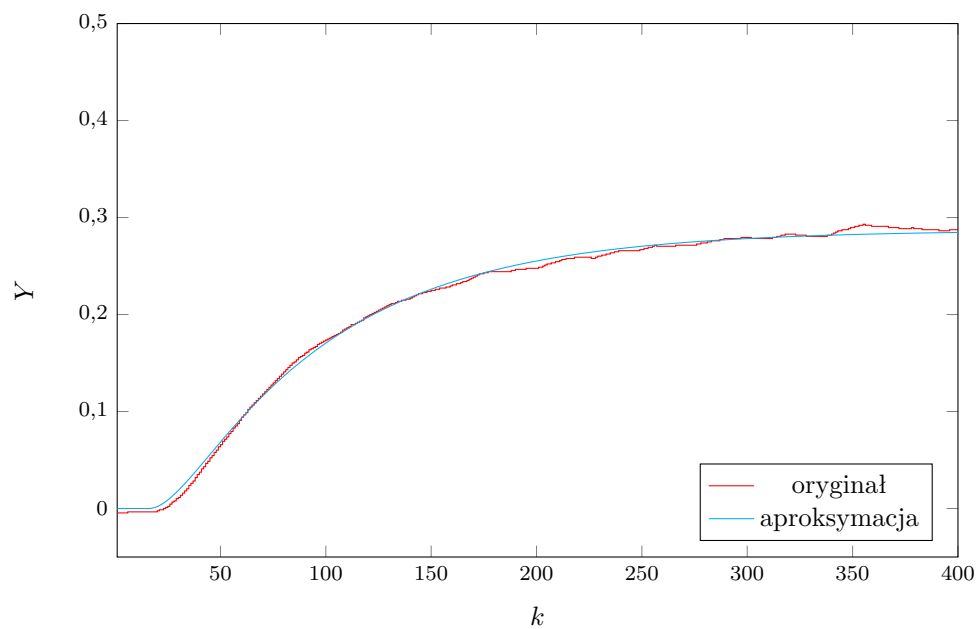
$$T_2 = 76,794\,32;$$

$$K = 0,286\,991;$$

Rezultaty, które udało nam się uzyskać zostały przedstawione na poniższych wykresach:



Rys. 3.1. Porównanie odpowiedzi skokowej i jej aproksymacji przy skoku sterowania do wartości 50%



Rys. 3.2. Porównanie odpowiedzi skokowej i jej aproksymacji przy skoku sterowania do wartości 90%



## 4. Punkt 4

Zaimplementowaliśmy algorytmy do regulacji PID i DMC. W tym punkcie warto dodać, że przed przystąpieniem do eksperymentów na rzeczywistym obiekcie stworzyliśmy jego model na podstawie jego odpowiedzi skokowych. Dzięki temu mogliśmy go symulować w środowisku Matlab i tutaj też ustalić optymalne parametry algorytmów regulacji.

Do celów symulacyjnych przygotowaliśmy dwa modele naszego obiektu - pierwszy wykorzystując otrzymaną w zadaniu 3 aproksymację odpowiedzi skokowej dla pierwszej z liniowych części charakterystyki statycznej (czyli dla  $0 \leq U \leq 50$ ) oraz drugi na drugiej liniowej części tejże charakterystyki ( $50 \leq U \leq 100$ ).

Następnie wyznaczyliśmy korzystając z optymalizatora **ga** (ograniczenia  $lb=[0,01;1;0,01]$ ;  $ub=[50;50;50]$ ) a następnie eksperymentalnie dostrajając parametry algorytmów PID i DMC każdego z liniowych przedziałów charakterystyki statycznej. Otrzymane rezultaty:

dla przedziału  $0 \leq U \leq 50$ :

PID:

$K=0,146\ 61$ ;  $T_i=1,631\ 38$ ;  $T_d=0,010\ 002$ ;

DMC:

$$N=0; N_u=0; \lambda = 0$$

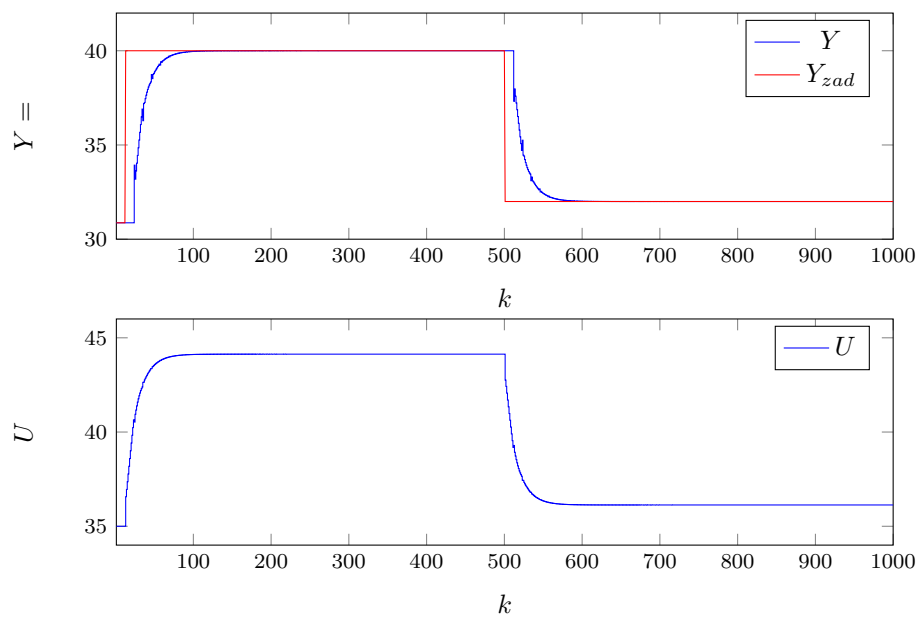
dla przedziału  $50 \leq U \leq 100$ :

PID:

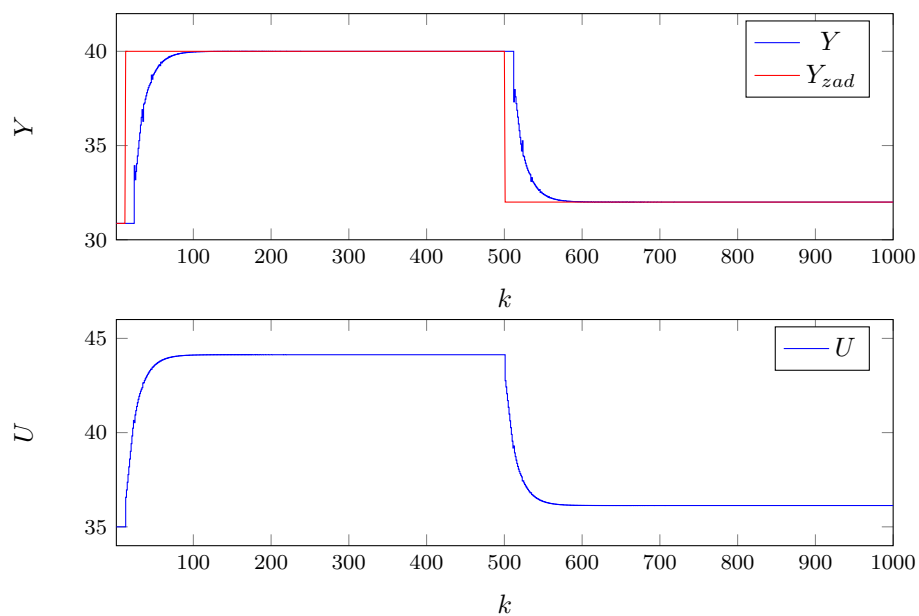
$$K=0,194\,661; T_i=1,531\,38; T_d=0,010\,002;$$

DMC:

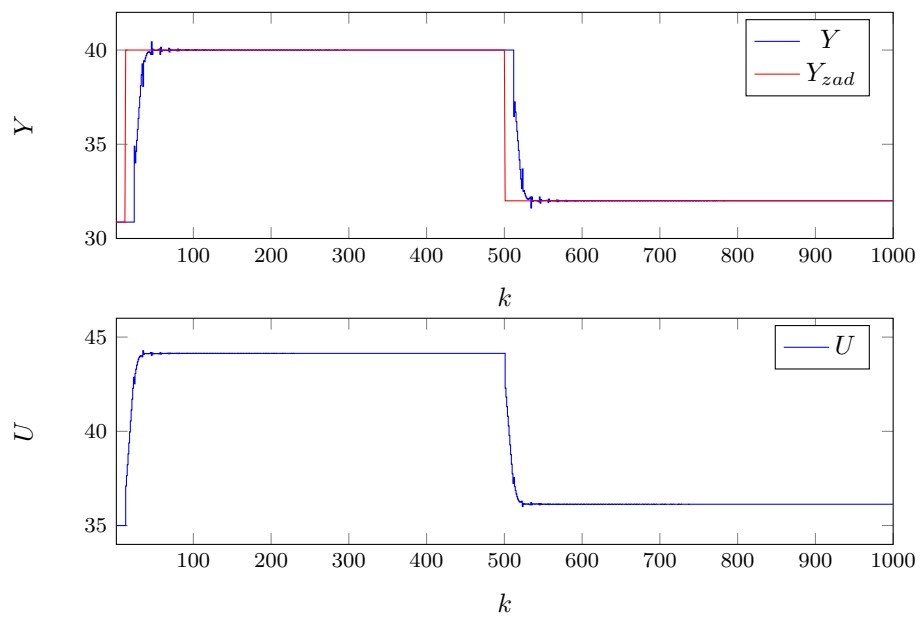
$$N=0; N_{\eta}=0; \lambda=0$$
[illegible]



Rys. 4.1. Sygnały

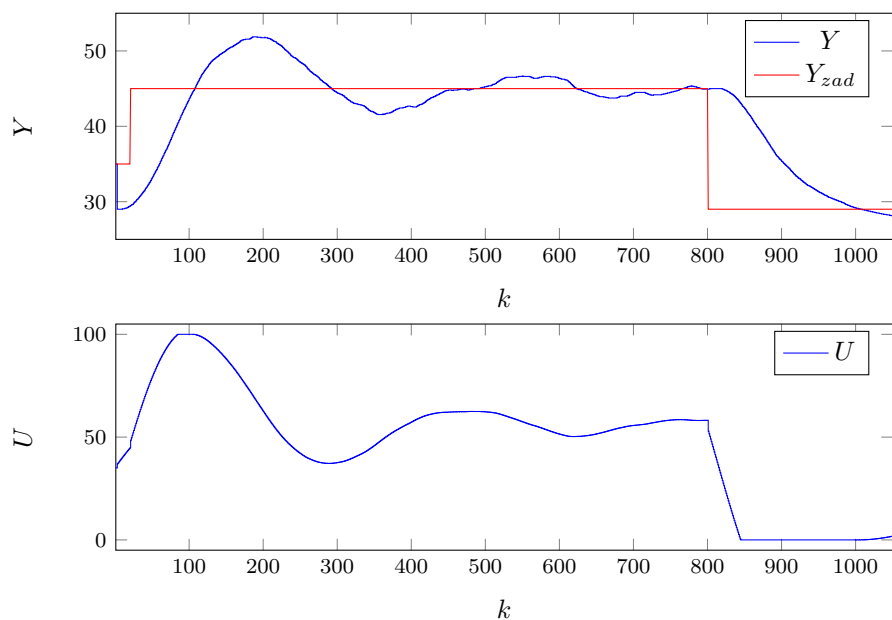


Rys. 4.2. Sygnały1

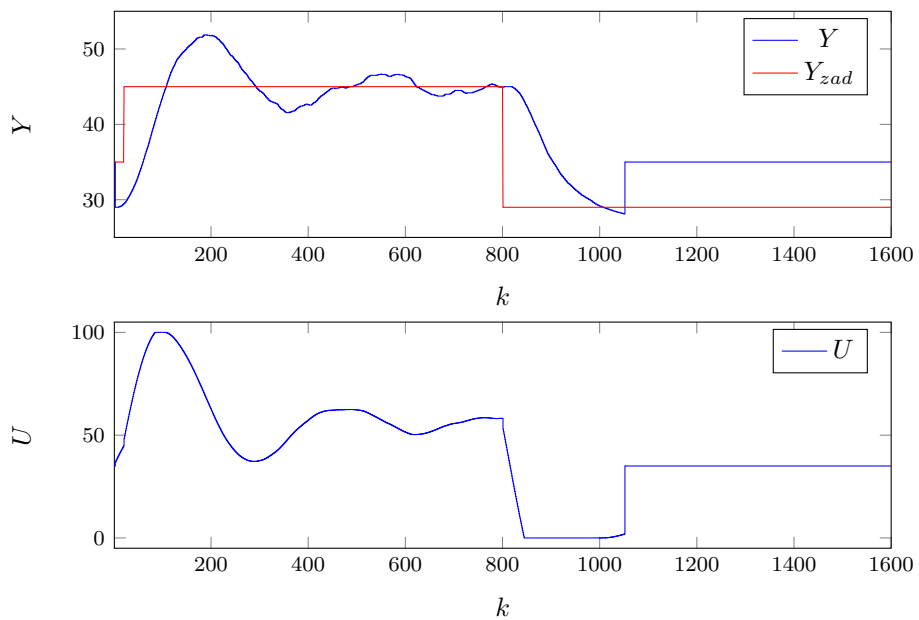


Rys. 4.3. Sygnały2

## 5. Punkt 5

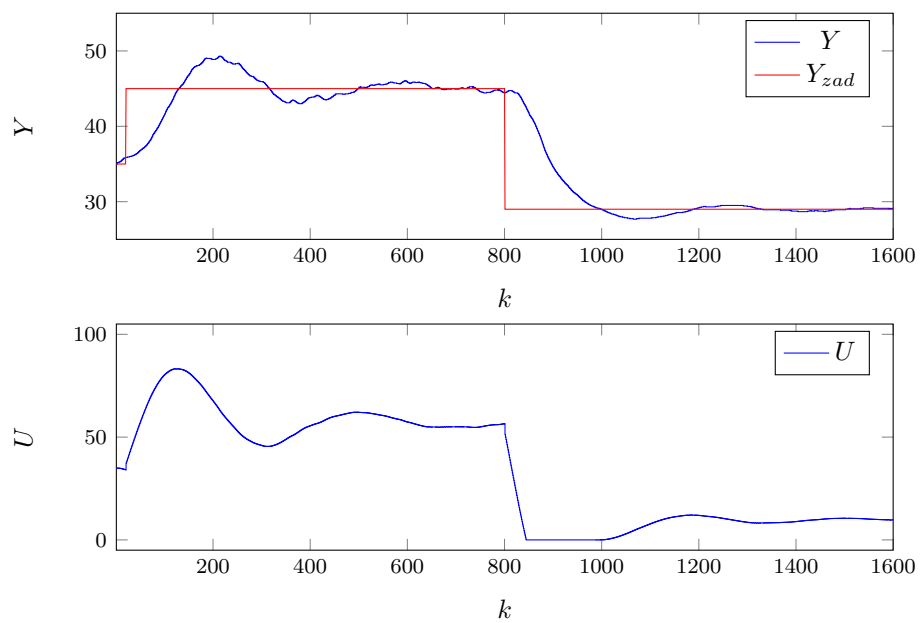


Rys. 5.1. zadanie5-PID-U.txt



Rys. 5.2. zadanie5-PIDreg-U.txt

## 6. Punkt 6



Rys. 6.1. zadanie6-2reg-PID-U.txt