

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

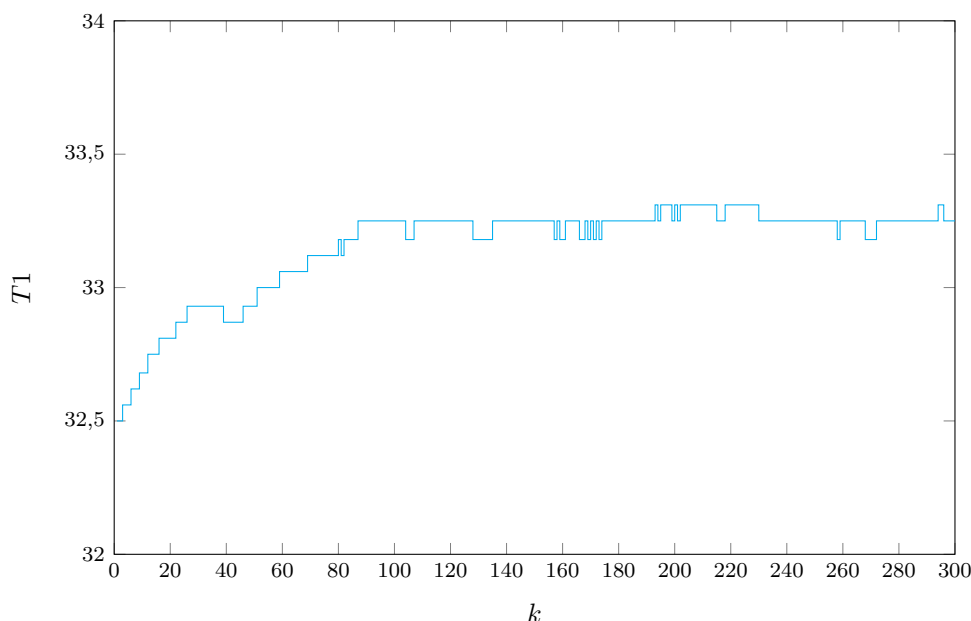
1. Punkt 1	2
2. Punkt 2	3
3. Punkt 3	6
4. Punkt 4	8
5. Punkt 5	11
6. Punkt 6	12

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: $(U_{pp}; Y_{pp}) = (35; 33,25)$.

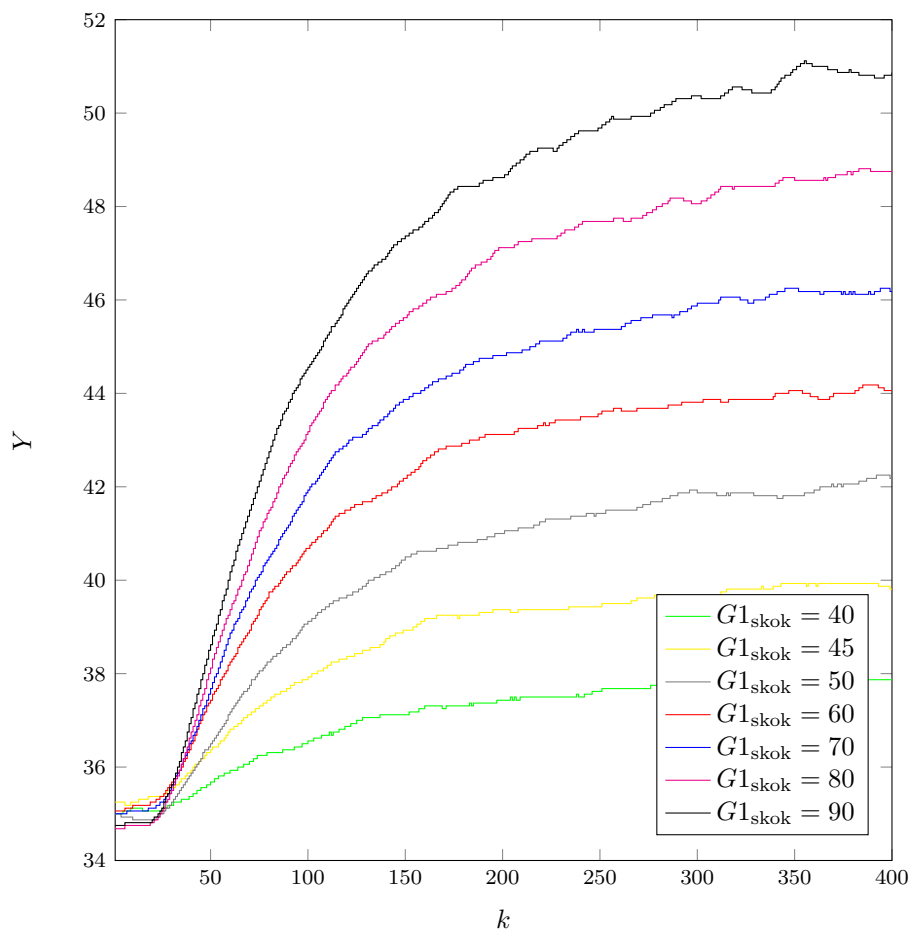
2. Punkt 2

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:

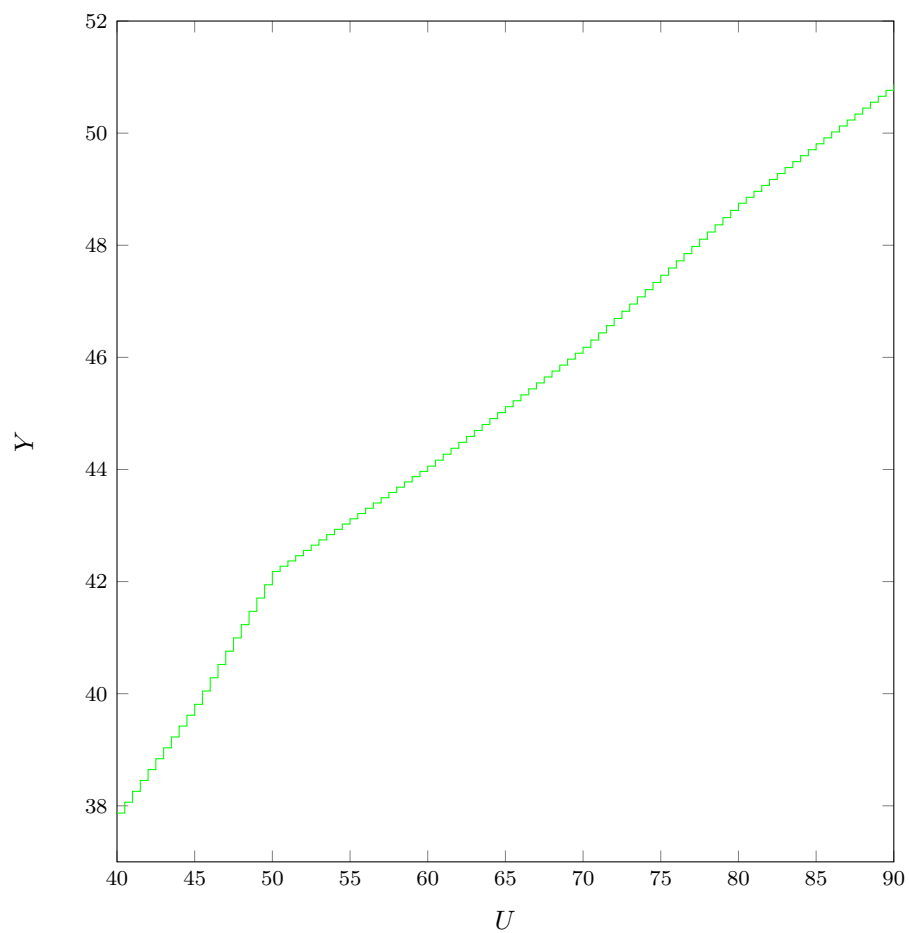
- 1) $35 \rightarrow 40$
- 2) $35 \rightarrow 45$
- 3) $35 \rightarrow 50$
- 4) $35 \rightarrow 60$
- 5) $35 \rightarrow 70$
- 6) $35 \rightarrow 80$
- 7) $35 \rightarrow 90$

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

Nie można obliczyć wzmocnienia statycznego dla nieliniowego procesu.

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%:

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

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

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

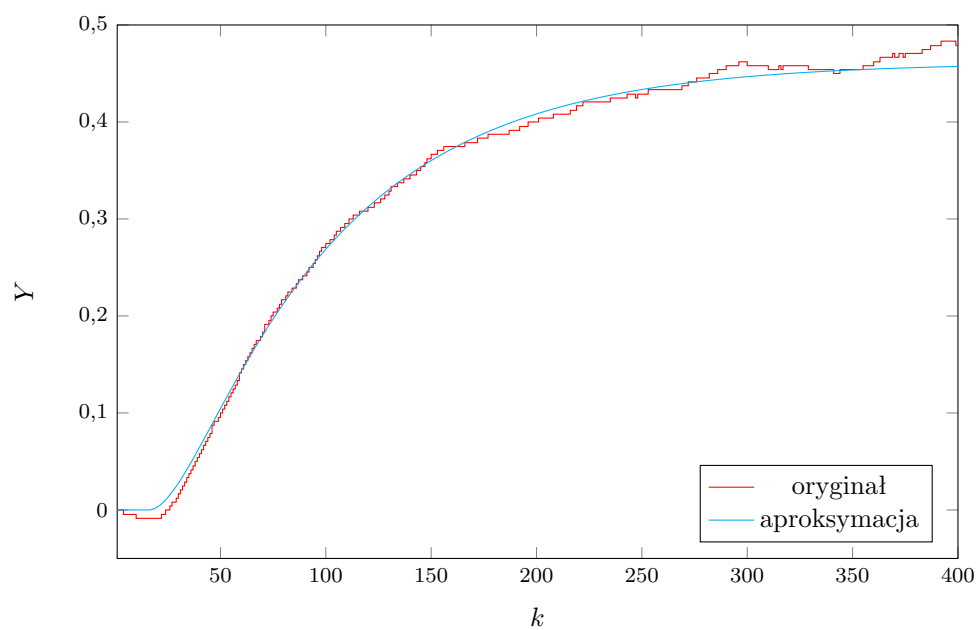
dla odpowiedzi skokowej obliczonej dla skoku sterowania do wartości 90%:

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

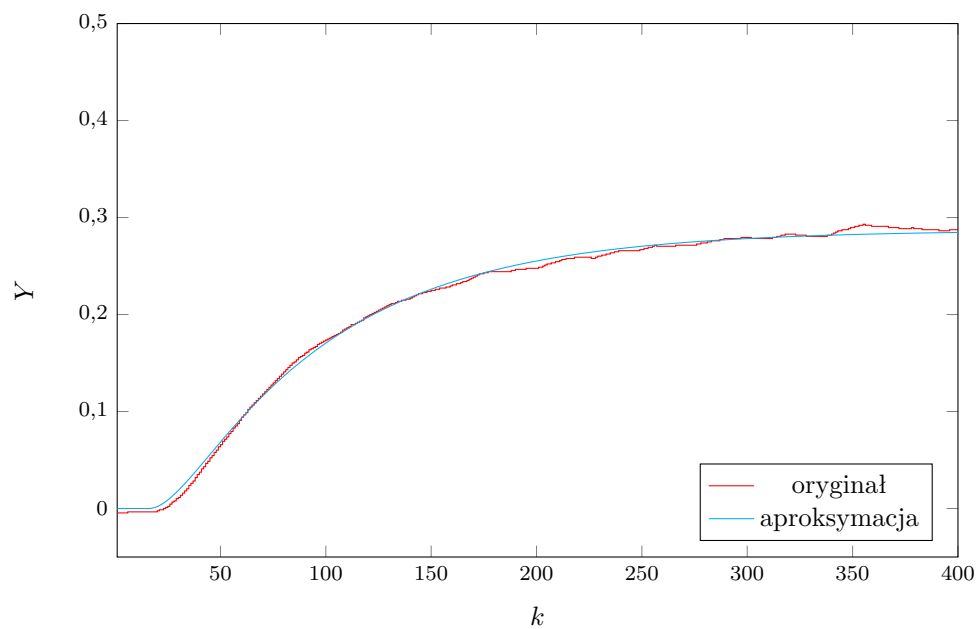
$$T_2 = 76,794\,32;$$

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

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:

$N=30$; $N_u=10$; $\lambda = 2,4$

dla przedziału $50 \leq U \leq 100$:

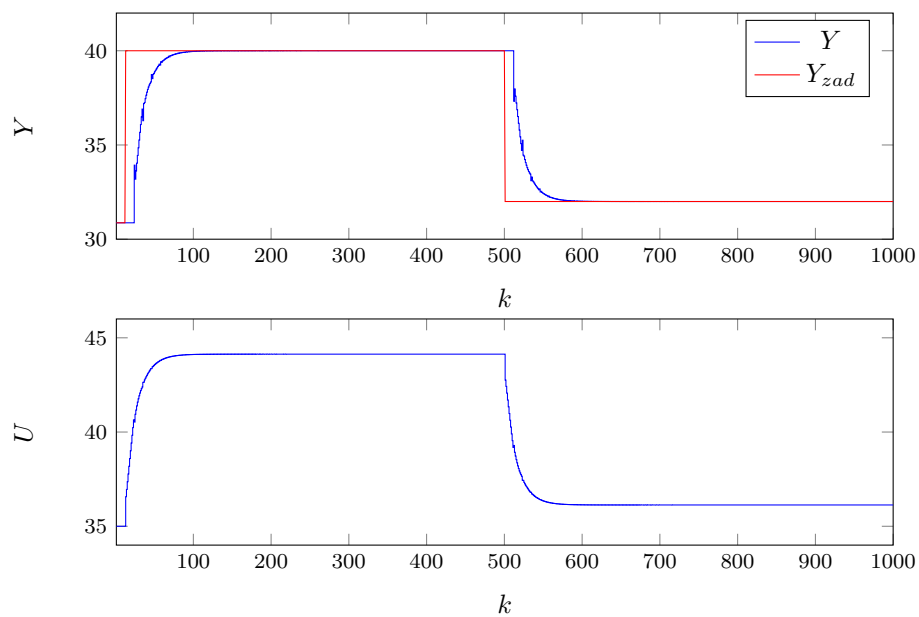
PID:

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

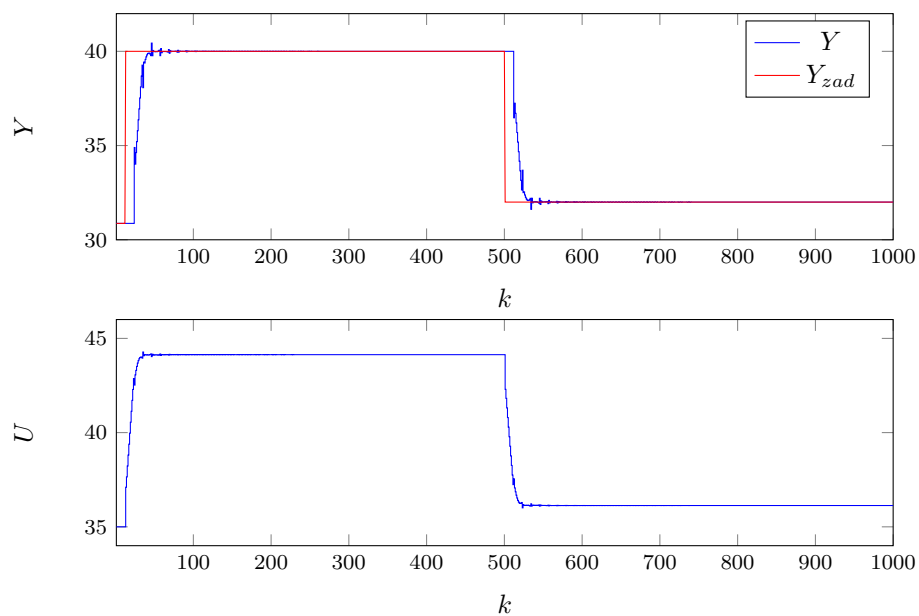
DMC:

$N=40$; $N_u=32$; $\lambda=6,864\ 02$

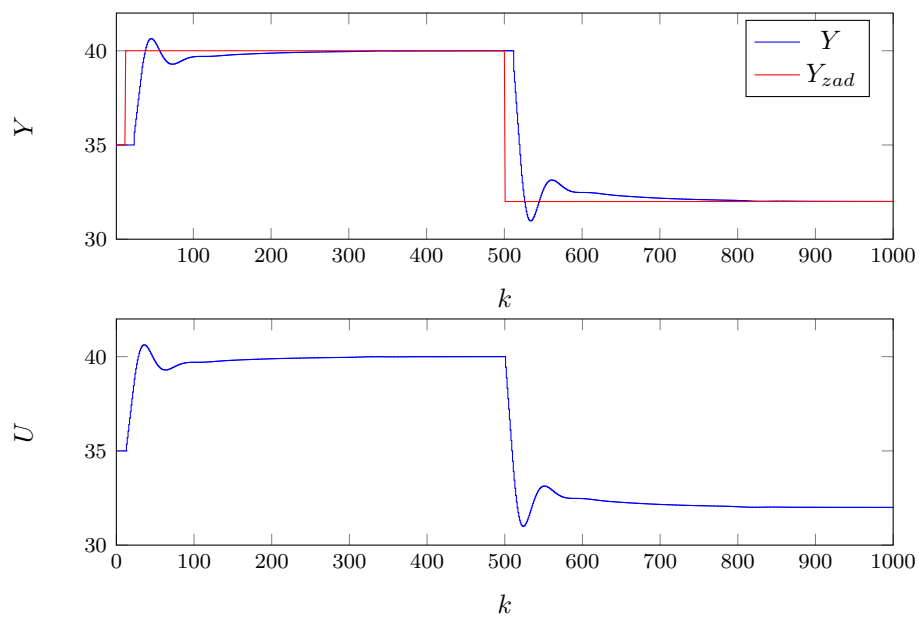
Jakość regulacji ocenialiśmy na podstawie symulacji przebiegów regulacji z wykorzystaniem konkretnych modeli dla kilku skoków wartości zadanej. Oto otrzymane rezultaty:



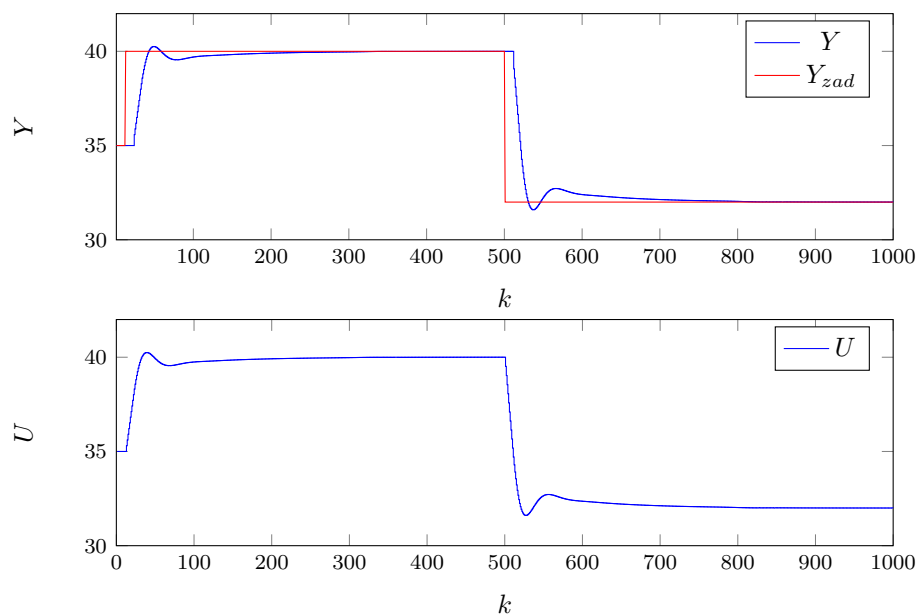
Rys. 4.1. Przebiegi symulacji dla regulatora PID dla pierwszej liniowej części charakterystyki statycznej



Rys. 4.2. Przebiegi symulacji dla regulatora PID dla drugiej liniowej części charakterystyki statycznej



Rys. 4.3. Przebiegi symulacji dla regulatora DMC dla pierwszej liniowej części charakterystyki statycznej



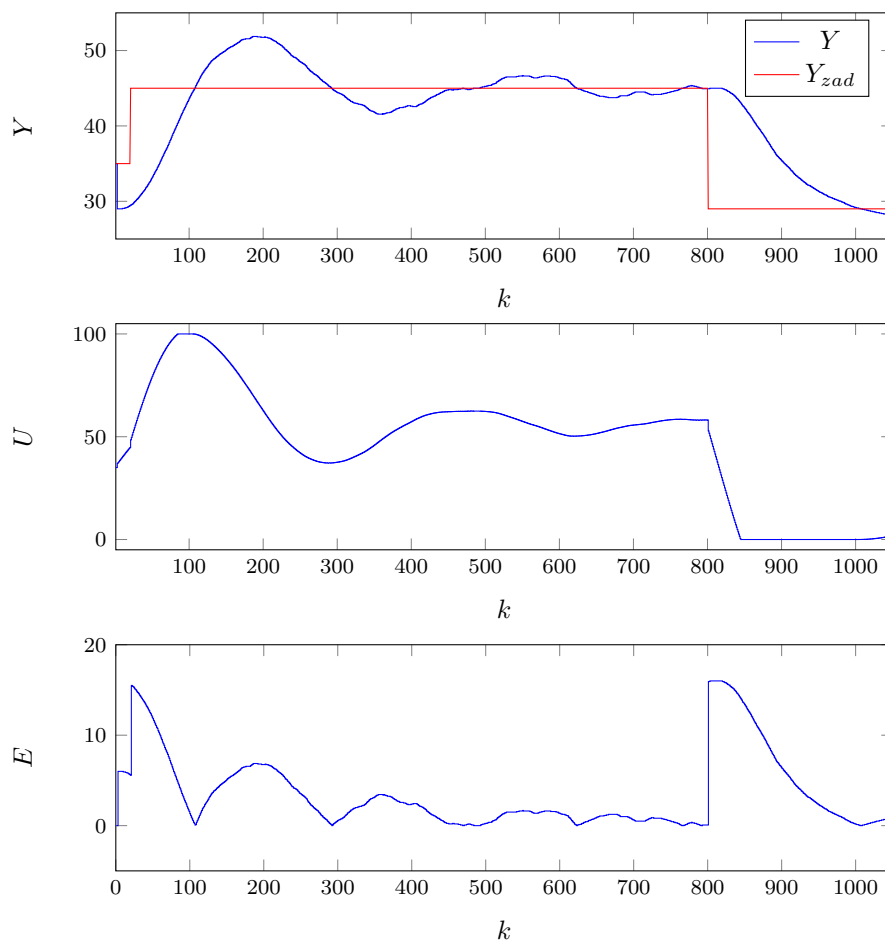
Rys. 4.4. Przebiegi symulacji dla regulatora DMC dla drugiej liniowej części charakterystyki statycznej

5. Punkt 5

W tym zadaniu wykonaliśmy eksperyment z użyciem pierwszego regulatora PID obliczonego w zadaniu poprzednim. Niestety, w związku z nieliniowością obiektu, regulacja nie daje zadowalających rezultatów. Regulator PID to regulator liniowy, który można zastosować jedynie do obiektów o charakterystyce liniowej.

W związku z ograniczeniem czasowym zajęć laboratoryjnych oraz długim czasem stabilizacji obiektu po skoku sterowania (około 300 sekund), zdecydowaliśmy się zastosować mniej skoków sterowania niż zalecane było w poleceniu.

Błąd skumulowany w tym przypadku wyniósł: 3762,4

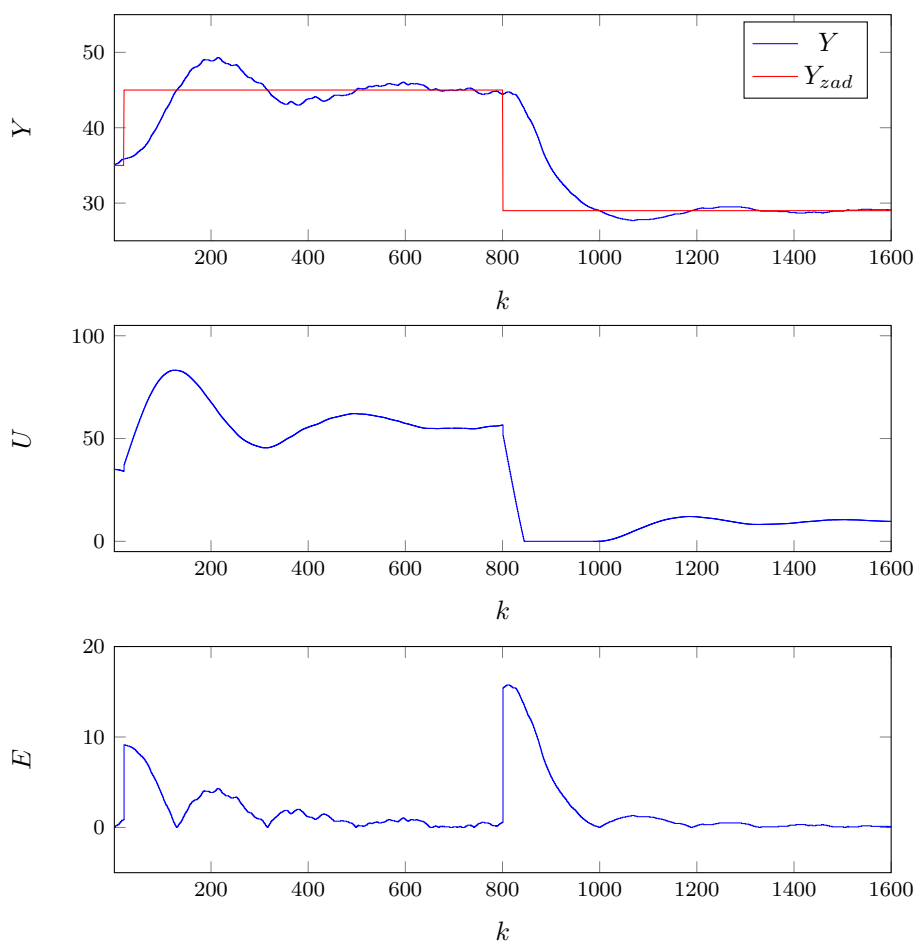


Rys. 5.1. Przebiegi sygnałów uzyskanych podczas eksperymentu na rzeczywistym obiekcie w przypadku zastosowania 1 regulatora PID

6. Punkt 6

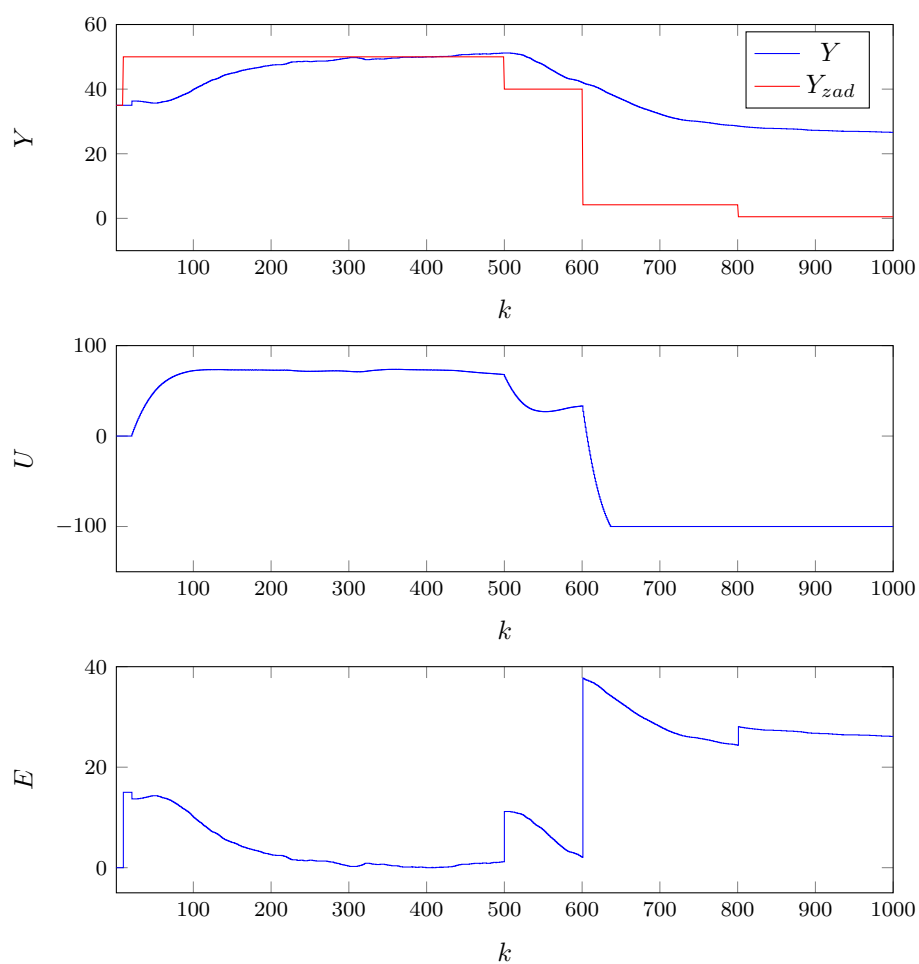
W tym zadaniu wykorzystaliśmy technikę regulacji rozmytej. Wykonaliśmy eksperymenty dla 2 lokalnych regulatorów PID i 2 lokalnych regulatorów DMC. Parametry lokalnych regulatorów dobraliśmy takie jak są przedstawione w zadaniu 4, czyli na podstawie modelowania oraz symulacji liniowych kawałków charakterystyki statycznej.

Na poniżej zamieszczonych przebiegach widać (dla PID), że regulacja przebiega znacznie lepiej, niż przy zastosowaniu klasycznego (liniowego) podejścia. Regulator oscyluje dużo mniej i zbiega do wartości zadanej. Lepsze wyniki regulacji można również stwierdzić bo wykresie przedstawiającym błąd. Niestety podczas laboratorium nie udało nam się zastosować 3 lub 4 regulatorów lokalnych, lecz po doświadczeniach na projekcie możemy stwierdzić, że regulacja zapewne byłaby dużo lepsza, co wynika z tego, że w punkcie przegięcia istnieje również nieliniowość, z którą nie radzą sobie tylko 2 regulatory.



Rys. 6.1. Przebiegi sygnałów uzyskanych podczas eksperymentu na rzeczywistym obiekcie w przypadku zastosowania dwóch regulatorów PID

Przebiegi regulacji DMC dla 2 regulatorów lokalnych również są dosyć zadowalające, sygnał wyjściowy zbiega do wartości zadanej. Przy zastosowaniu większej liczby regulatorów, oraz wykonaniu kilku eksperymentów na rzeczywistym obiekcie w celu dobrania optymalnych nastaw prawdopodobnie udałoby się polepszyć rezultaty regulacji.



Rys. 6.2. Przebiegi sygnałów uzyskanych podczas eksperymentu na rzeczywistym obiekcie w przypadku zastosowania dwóch regulatorów DMC