

**Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych  
Politechnika Warszawska**

**Projektowanie układów sterowania  
(projekt grupowy)**

**Sprawozdanie z projektu nr 3, zadanie nr 5**

**Kamil Gabryjelski, Paweł Rybak, Paweł Walczak**

**Warszawa, 2017**

# Spis treści

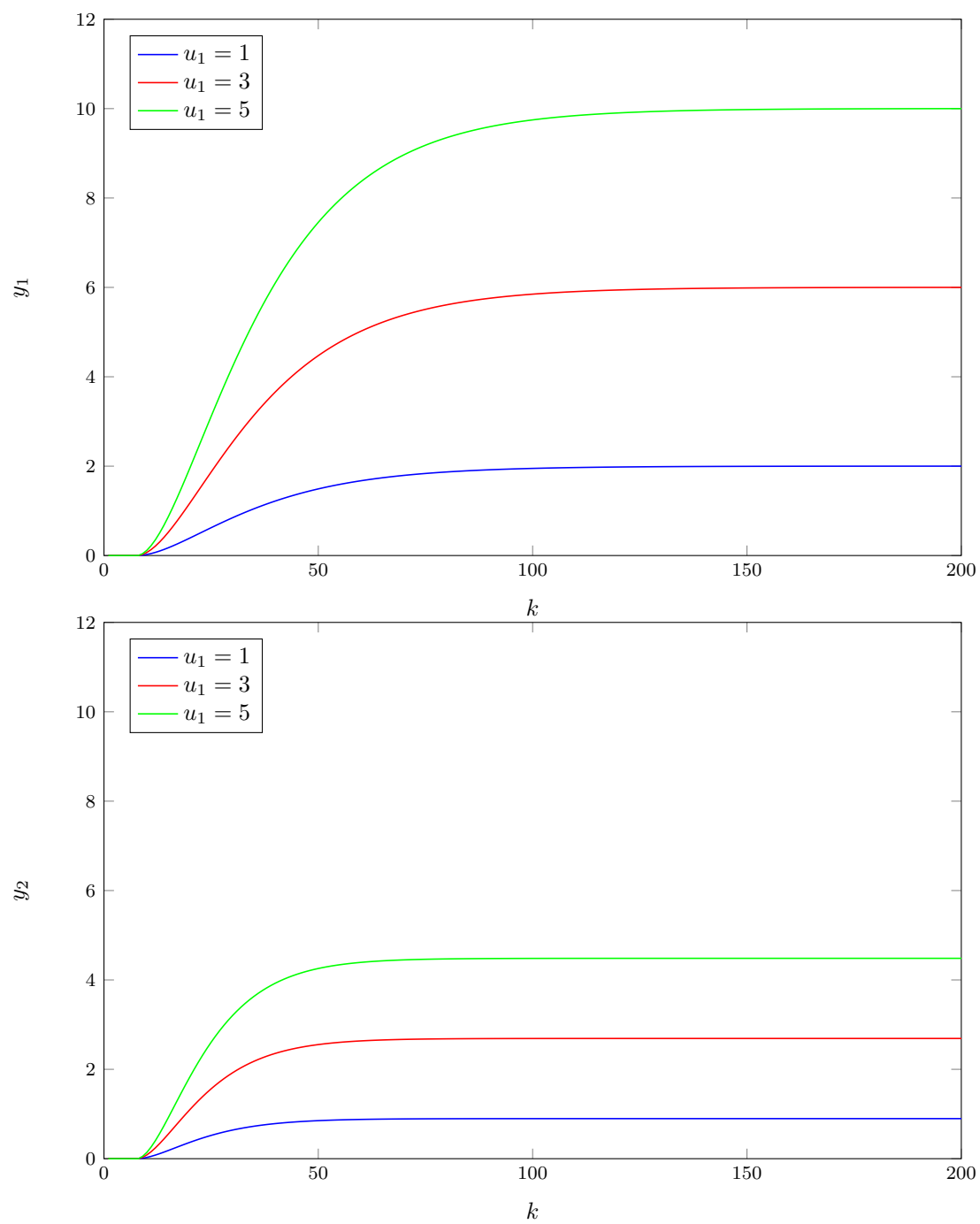
1. Opis obiektu . . . . .	2
2. Charakterystyka obiektu . . . . .	3
3. Odpowiedź skokowa DMC . . . . .	6
4. Regulacja . . . . .	8
5. Zakłócenia . . . . .	11
6. Skok zakłócenia . . . . .	13

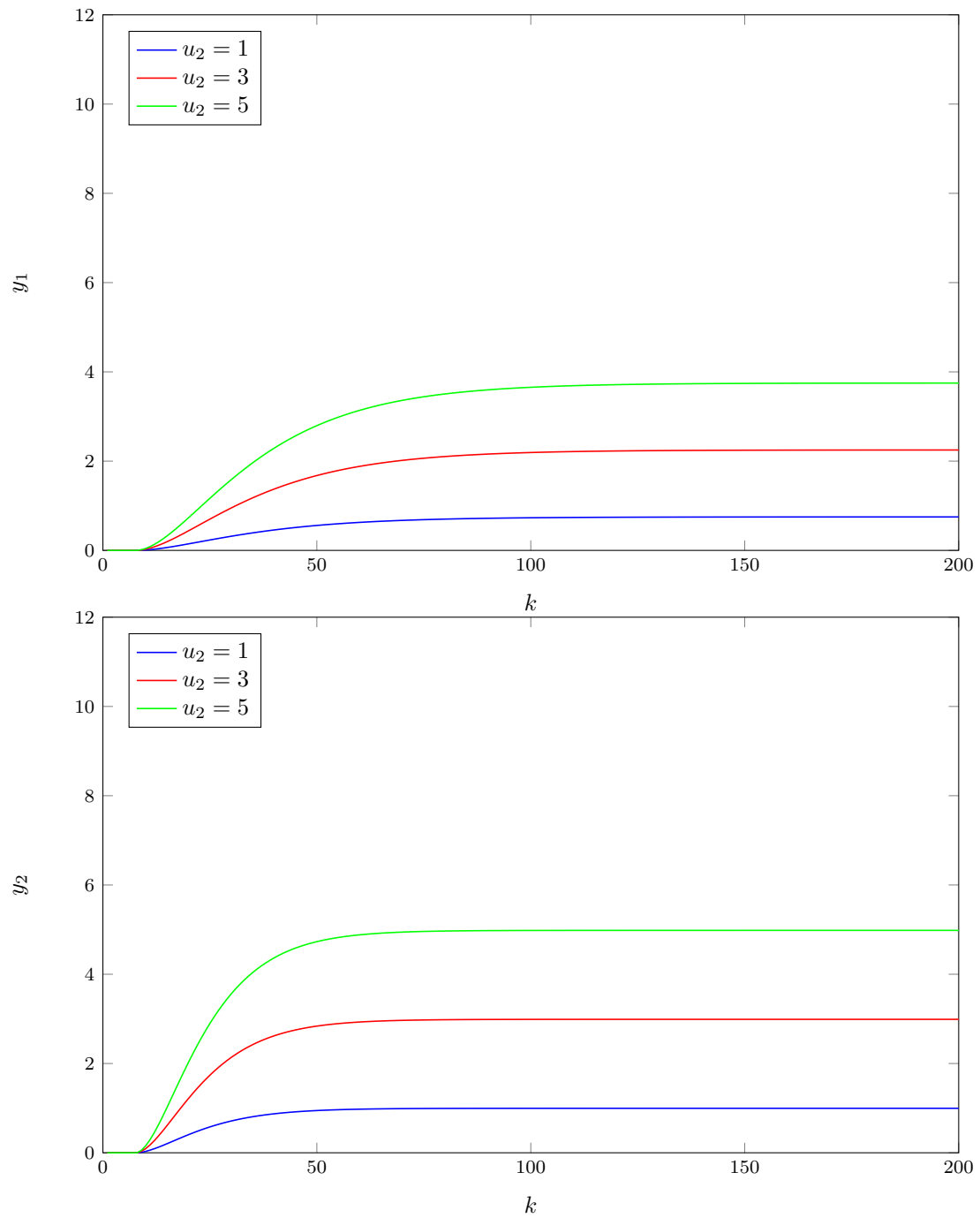
# 1. Opis obiektu

Badany obiekt jest obiektem o dwóch sygnałach wejściowych ( $u_1, u_2$ ), oraz dwóch sygnałach wyjściowych ( $y_1, y_2$ ). Obiekt jest obiektem dyskretnym, a jego okres próbkowania wynosi 0,5s. Punktem pracy naszego obiektu, będzie zerowa wartość obydwu wejść. W takim przypadku obiekt stabilizuje się przy zerowej wartości wyjść.

## 2. Charakterystyka obiektu

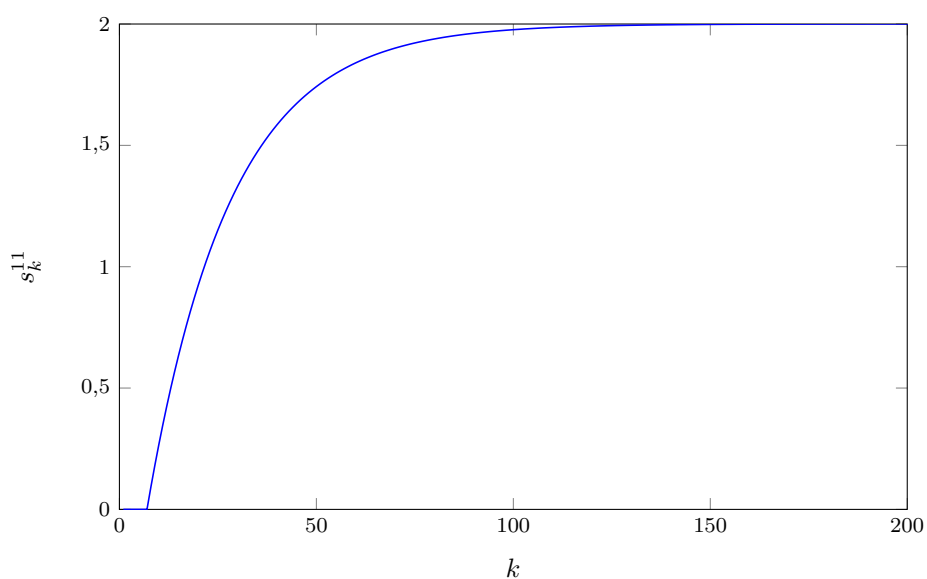
Następnym punktem naszych badań było zbadanie zachowania wyjść obiektu przy różnych wartościach wejściowych. Eksperyment był przeprowadzany poprzez skok wartości sterującej przy drugiej wartości sterowania utrzymywanej w punkcie pracy. W ten sposób otrzymujemy cztery tory opisujące obiekt. Zachowanie dwóch wyjść na każdy z dwóch sygnałów wejściowych. Eksperymenty były przeprowadzane zaczynając z punktu pracy. Zbadane zostały skoki sygnałów sterujących do wartości 1, 3, oraz 5. Wyniki przedstawiają wykresy 2.1, oraz 2.2. Wszystkie te wykresy zostały wyskalowane na takie same wartości, tak aby dobrze pokazywały zależności między wzmocnieniami sygnałów. Wzmocnienie statyczne jest w przybliżeniu liniowe. Zostało one opisane dalej zmienną  $k^{ij}$ , gdzie  $i$  oznacza numer wyjścia, natomiast  $j$  numer sygnału sterującego. Przy takim oznaczeniu:  $k^{11} \approx 2,00$ ,  $k^{12} \approx 0,75$ ,  $k^{21} \approx 0,90$ ,  $k^{22} \approx 0,99$ .

Rys. 2.1. Odpowiedzi na skoki sygnału  $u_1$

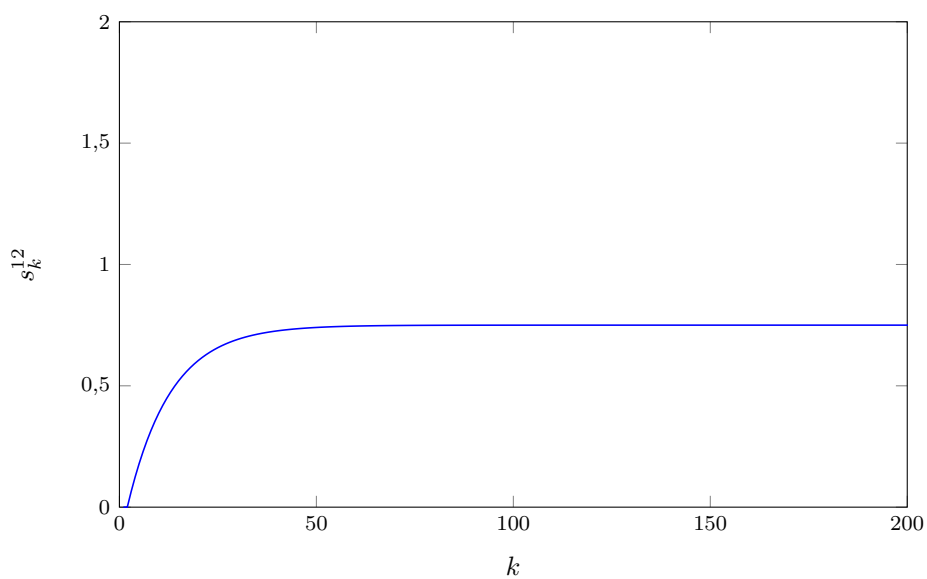
Rys. 2.2. Odpowiedzi na skoki sygnału  $u_2$

### 3. Odpowiedź skokowa DMC

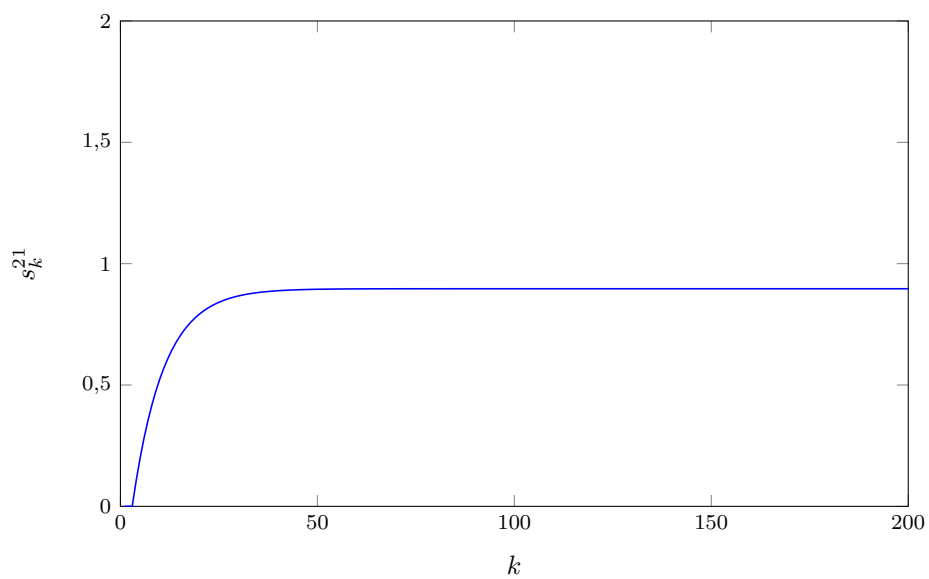
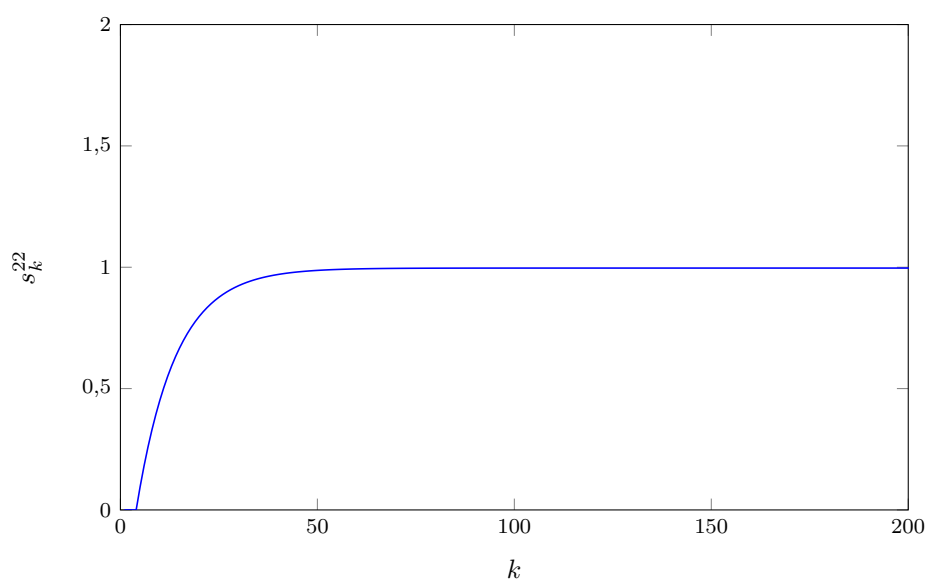
W kolejnym kroku poczyniliśmy przygotowania do zaprojektowania regulatora DMC dla obiektu. W tym celu zebraliśmy odpowiedzi skokowe podobnie jak w poprzednim punkcie. Wykonany został skok jednostkowy każdego sygnału sterującego z osobna. Wyniki przedstawiają wykresy poniżej.



Rys. 3.1. Wyjście  $y_1$ , sygnał sterujący  $u_1$ .



Rys. 3.2. Wyjście  $y_1$ , sygnał sterujący  $u_2$ .

Rys. 3.3. Wyjście  $y_2$ , sygnał sterujący  $u_1$ .Rys. 3.4. Wyjście  $y_2$ , sygnał sterujący  $u_2$ .



## 4. Regulacja

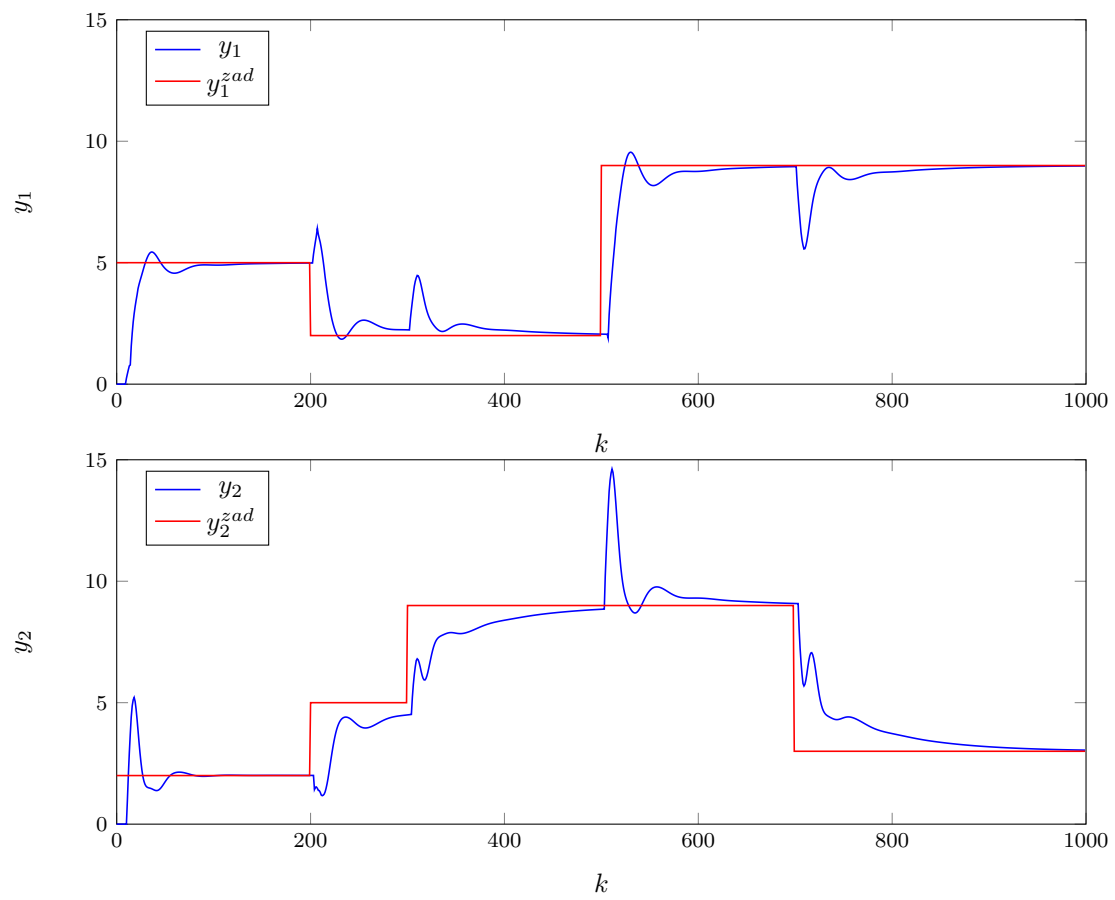
Wykorzystując wcześniej zdobyte informacje stworzyliśmy dwa regulatory dla naszego obiektu — regulator PID, oraz regulator DMC. Porównaliśmy je dla zadanej ścieżki wartości zadanych. Została ona dobrana tak, aby uwzględniać zarówno jednoczesne skoki w przeciwnych kierunkach, oraz zmianę wartości zadanej dla jednego wyjścia przy stałej wartości zadanej drugiego wyjścia, aby zaobserwować ewentualny wpływ wartości zadanej wyjścia na sterowanie drugim wyjściem. Przebiegi, wraz z wartościami zadanymi ilustrują wykresy 4.1, oraz 4.2. Wskaźniki jakości regulacji dla tych dwóch przypadków wynoszą  $E_{DMC} \approx 2875,4$ , oraz  $E_{PID} \approx 3060,3$ . Nastawy obydwu regulatorów zostały dobrane eksperymentalnie. Dla regulatora PID wynoszą one:

$$K^1 = 1,5 \quad T_i^1 = 20 \quad T_d^1 = 0.1 \quad (4.1)$$

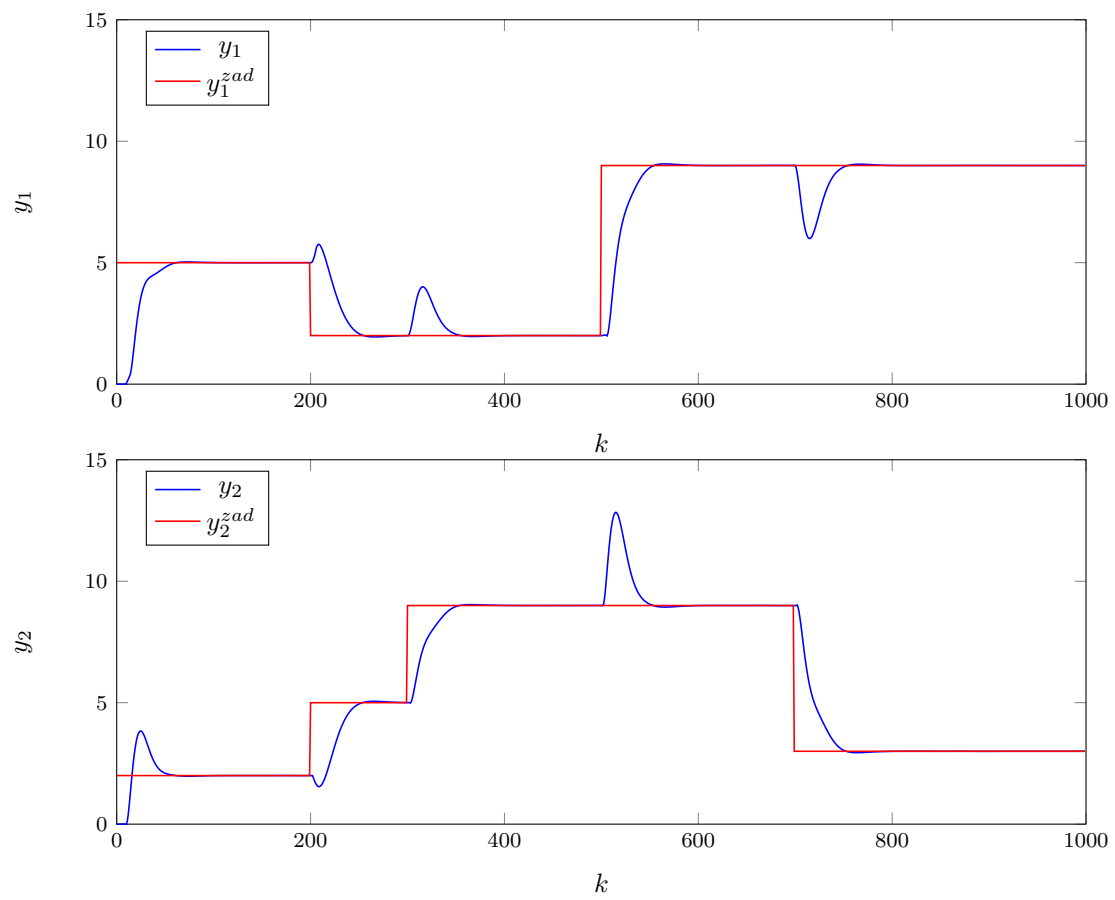
$$K^2 = 1,5 \quad T_i^2 = 20 \quad T_d^2 = 0.1 \quad (4.2)$$

Tory sterowania regulatora PID zostały ustalone  $y_1 - u_1$ ,  $y_2 - u_2$ . Przy innym zestawieniu regulator w ogóle nie zdawał egzaminu. Dla regulatora DMC ustawiony został horyzont predykcji i horyzont sterowania równy horyzontowi dynamiki. Uznaliśmy, iż chcemy osiągnąć jak najlepsze rezultaty, podczas gdy mocy obliczeniowej mamy aż nadto. Parametr  $\lambda$  ustawiliśmy taki sam dla obydwu sygnałów sterujących i równy 10. Celem takiego działania było ograniczenie zmian jednego wyjścia, przy skoku wartości zadanej drugiego wyjścia. Zgodnie z powyższym nastawy regulatora DMC prezentują się następująco:

$$D = 150 \quad N = 150 \quad N_u = 150 \quad \lambda = 10 \quad (4.3)$$



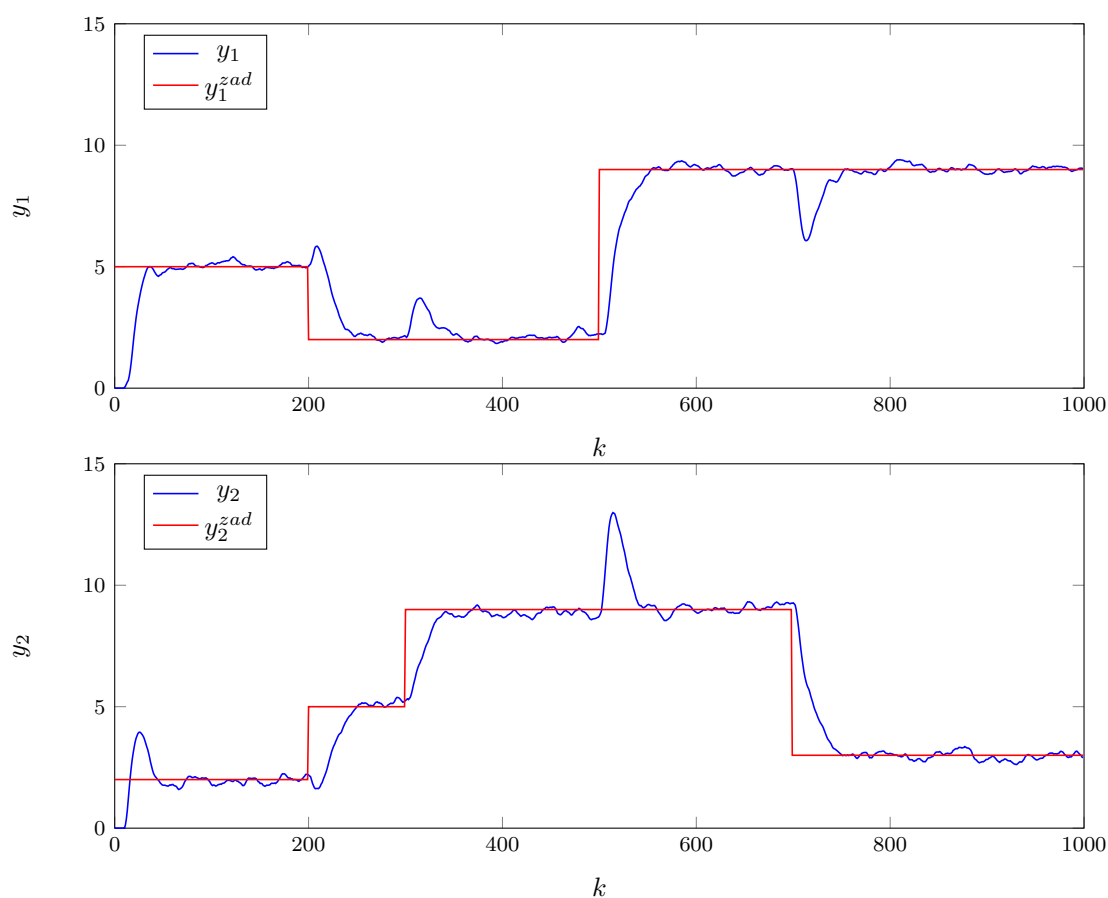
Rys. 4.1. Regulacja PID.



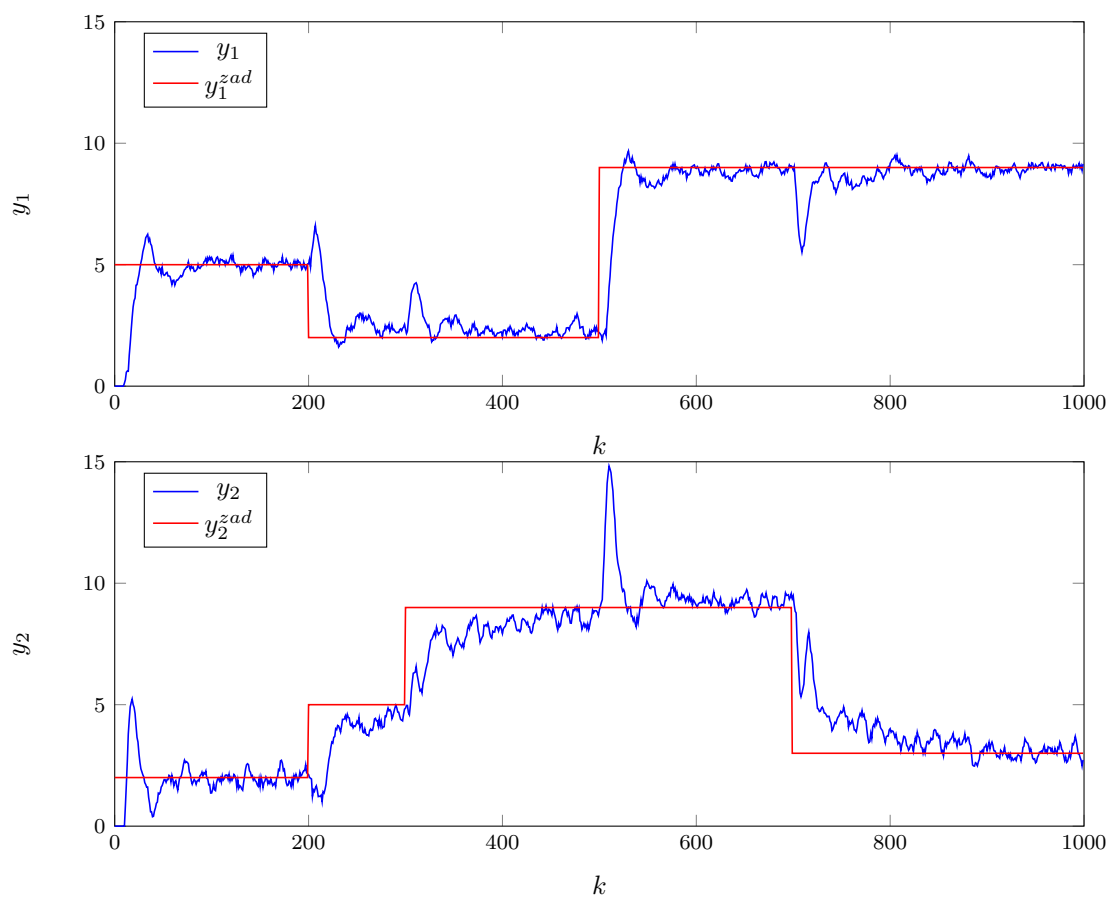
Rys. 4.2. Regulacja DMC.

## 5. Zakłócenia

W kolejnym kroku została zbadana odporność obydwu algorytmów na zakłócenia pomiarowe. Zostały one zaimplementowane poprzez proste dodanie do wartości wyjścia podawanej do algorytmu losowej wartości z zakresu  $\langle -n, n \rangle$ . Z każdym krokiem produkowana była nowa wartość losowa z zakresu. Trajektoria wartości zadanej była taka sama jak poprzednio, tak aby można było rozróżnić, czy dane zachowanie jest efektem zakłócenia, czy występowało również bez niego. Eksperymenty zostały przeprowadzone dla różnych wartości  $n$ . Za każdym razem jednak szum był dokładnie taki sam dla obydwu regulatorów. Wykresy 5.1, oraz 5.2 obrazują zachowanie w przypadku  $n = 2$ . Przy innych wartościach szum po prostu się skalował. Na wykresach widać, iż wpływ szumu na regulator DMC jest mniejszy, jednak wynik to jedynie z dobranej wartości parametru  $\lambda$ . Regulator DMC mniej radykalnie zmienia sterowanie, co w tym przypadku wyszło mu na dobre i dało stabilniejsze wyjście. Sądzę, iż przy regulatoreze PID można osiągnąć podobny efekt ograniczając zmianę sygnału sterującego.

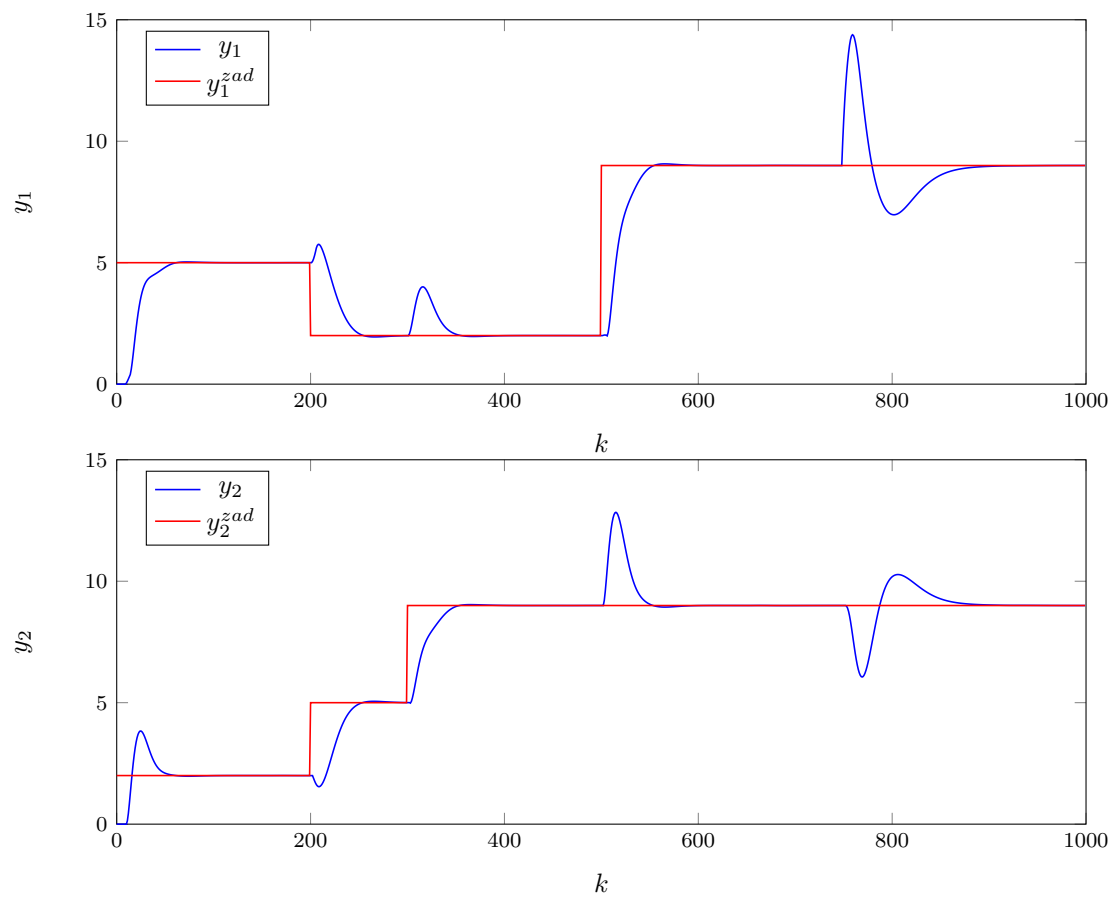


Rys. 5.1. Regulacja DMC z szumem pomiarowym z zakresu  $\langle -2, 2 \rangle$ .

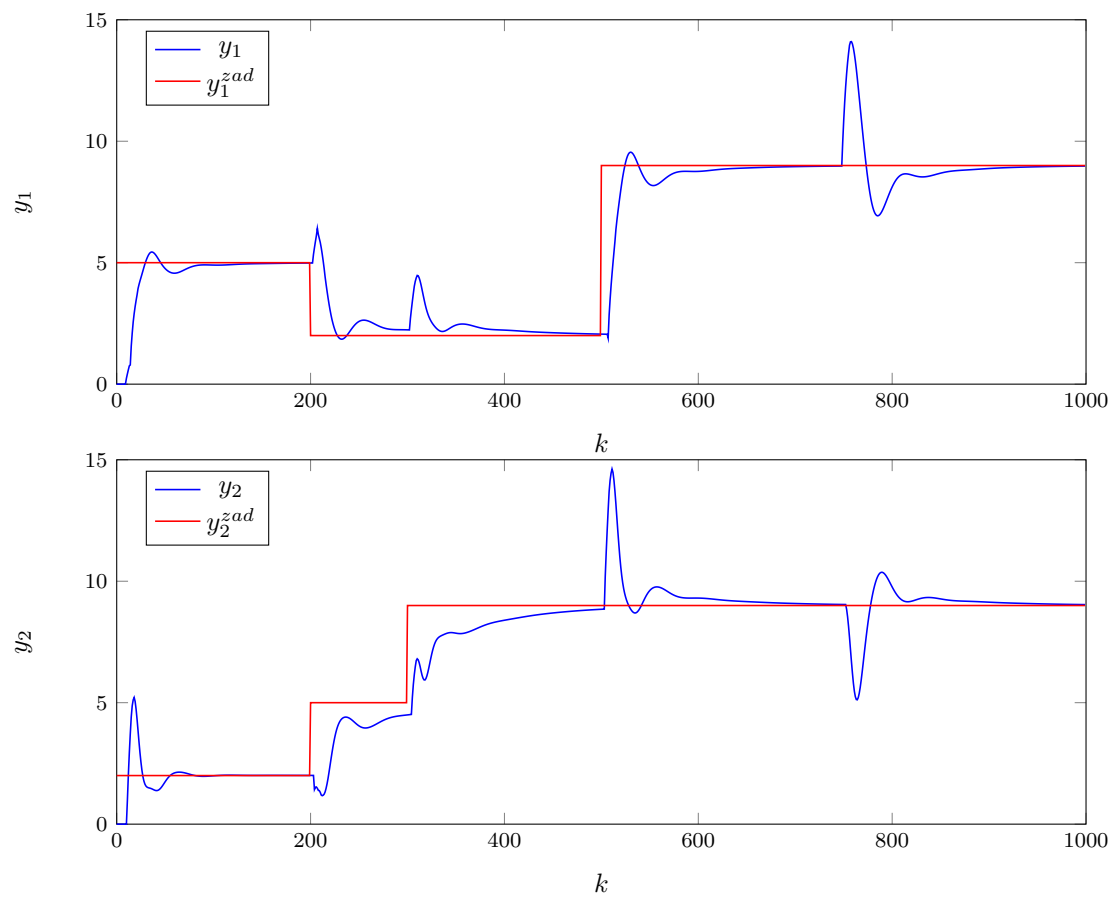
Rys. 5.2. Regulacja PID z szumem pomiarowym z zakresu  $\langle -2, 2 \rangle$ .

## 6. Skok zakłócenia

Na koniec zbadaliśmy odporność regulatorów na niemierzalny skok zakłócenia wyjścia obiektu. Eksperyment polegał na modyfikacji stanu obiektu w chwili 750, gdy obiekt jest ustabilizowany i wartość zadana stała na obydwu torach, tak aby nie nakładać na siebie efektów naszego zakłócenia i bliskiej zmiany wartości zadanej na którymkolwiek z torów. Skok zakłócenia był jednostkowy na wyjściu  $y_1$ . Wyniki przedstawiają wykresy 6.1 i 6.2. Widać na nich, iż obydwa regulatory natychmiast zareagowały. W obydwu przypadkach również widać przeregulowanie na torze na którym wystąpiło zakłócenie. Wielkość przeregulowania w obydwu przypadkach jest porównywalna, jednak regulator DMC wolniej wraca do wartości zadanej. Początkowo wydawało nam się, iż powodem tego jest wysoka wartość parametru  $\lambda$ , jednak jego zmniejszenie nie daje dużej poprawy pod tym względem. Uznaliśmy, iż taka jest charakterystyka regulatora. Regulator PID szybciej znajduje się w okolicy wartości zadanej jednak gdy jest już blisko dochodzi do niej bardzo powoli. Naszym zdaniem zachowuje się typowo dla regulatora PID. Oczywiście szybki spadek sterowania, będący efektem zakłócenia, miał też wpływ na wyjście  $y_2$  mimo, iż nie było na nim żadnego dodatkowego zakłócenia. Trajektoria tego wyjścia w trakcie zakłócenia wygląda podobnie do toru z zakłóceniem. Odejście od wartości zadanej jest odrobine mniejsze i zaczyna się odrobine później, gdyż nie jest bezpośrednim efektem zakłócenia, ale sterowania niwelującego zakłócenie.



Rys. 6.1. Regulacja DMC ze skokiem zakłócenia w chwili 750.



Rys. 6.2. Regulacja PID ze skokiem zakłócenia w chwili 750.