

Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych
Politechnika Warszawska

Projektowanie układów sterowania
(projekt grupowy)

Sprawozdanie z projektu nr 5

Bartłomiej Boczek, Aleksander Piotrowski, Łukasz Śmigielski

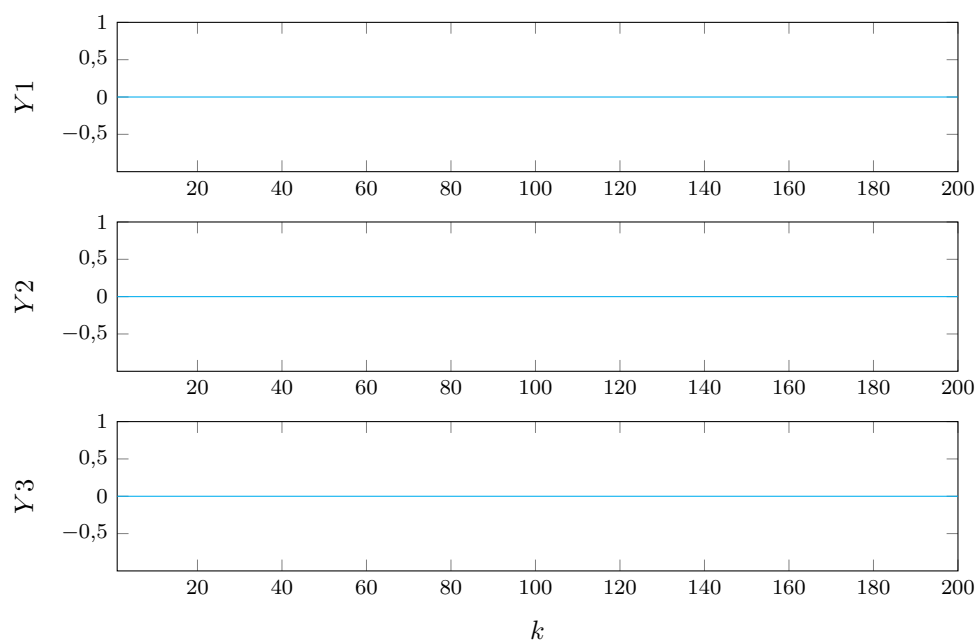
Warszawa, 11 czerwca 2017

Spis treści

1. Punkt 1	2
2. Punkt 2	3
3. Punkt 3, 4 oraz 5	6
4. Punkt 6	16

1. Punkt 1

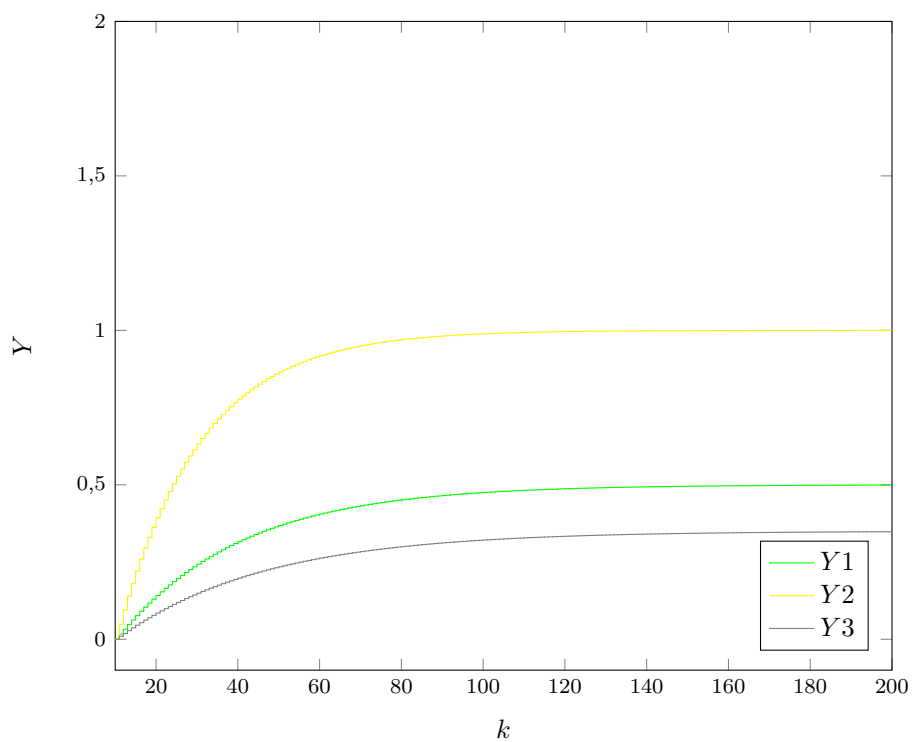
Obiekt po podaniu zerowego sterowania na wszystkie 4 wejścia, nie zmienia swojego stanu, wszystkie wyjścia są w stanie ustalonym i mają wartość $y_1=y_2=y_3=0$, co potwierdza prawdziwość punktów pracy U_{pp} i Y_{pp} dla każdego z wejść/wyjść.



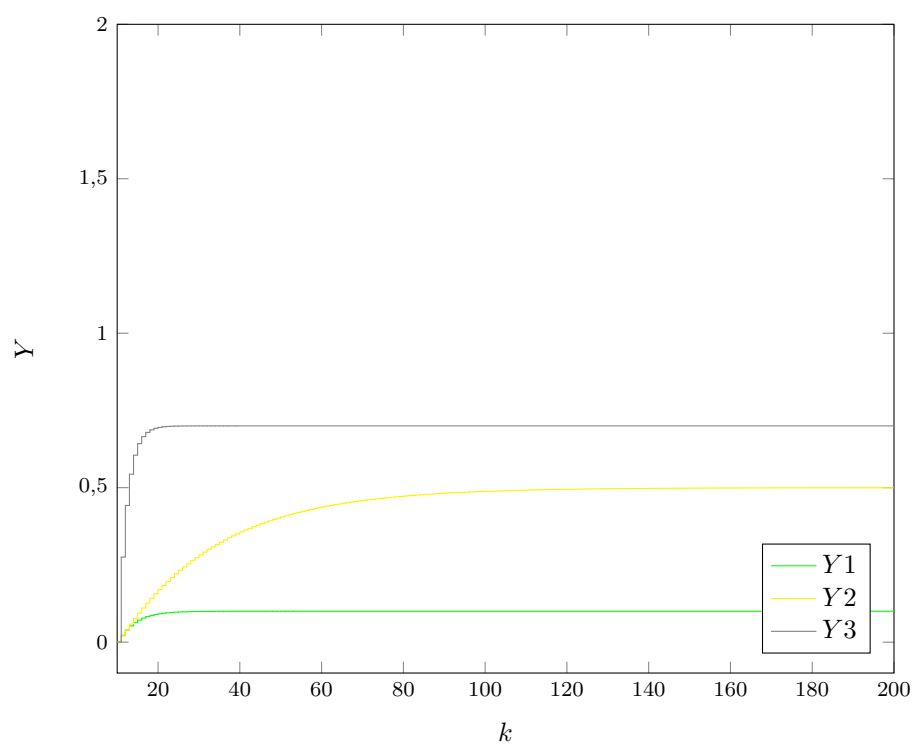
Rys. 1.1. Punkt pracy

2. Punkt 2

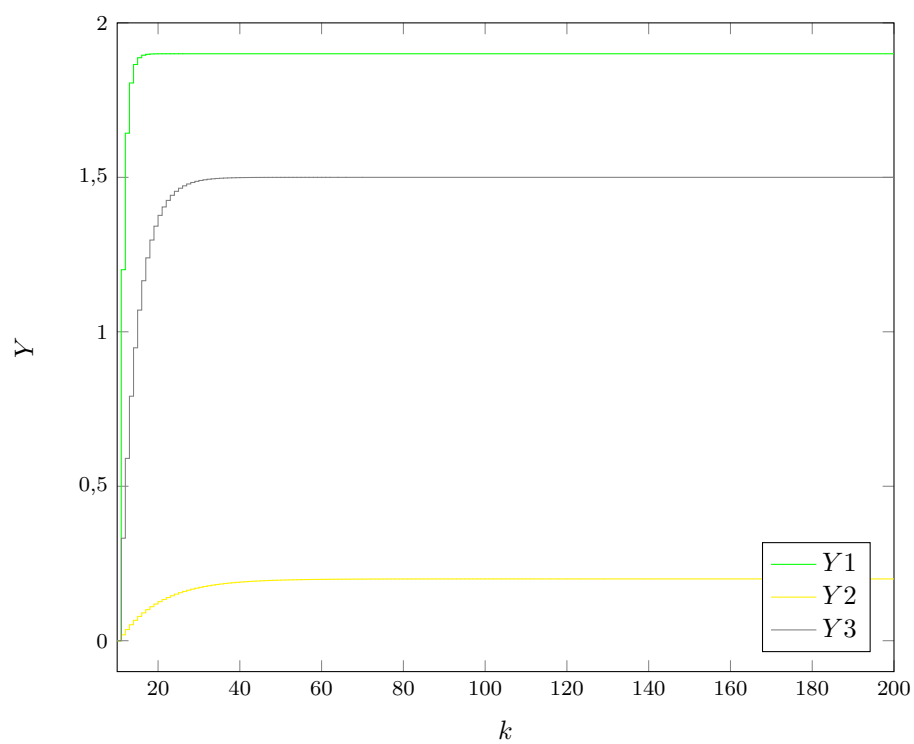
Zebrane symulacyjnie odpowiedzi skokowe ('równoległe' i skrośne) dla skoków z punktów pracy $U_{pp}=0$ do $U=1$ w chwili $k=0$.



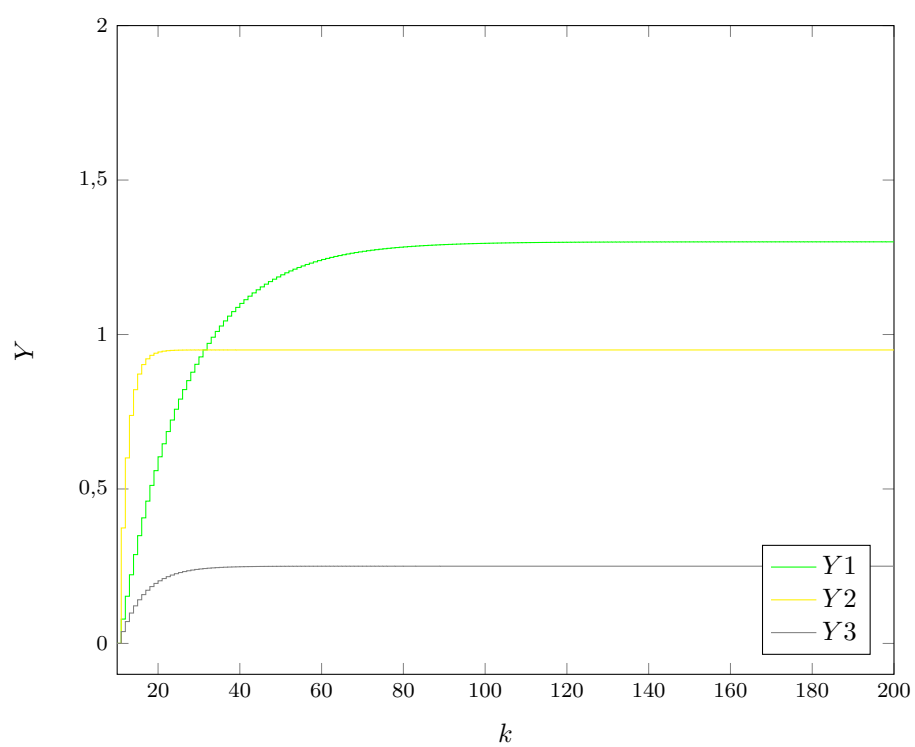
Rys. 2.1. Przy skoku $U1$



Rys. 2.2. Przy skoku U2



Rys. 2.3. Przy skoku U3



Rys. 2.4. Przy skoku U4

3. Punkt 3, 4 oraz 5

Implementacja znana z poprzednich projektów. W tym przypadku obiekt ma 4 wejścia i 3 wyjścia, jednak nasza implementacja regulatora PID i DMC przewiduje obliczanie jednego sterowania na podstawie sprzężenia zwrotnego od jednego wyjścia więc jedno wejście jest nadmiarowe. Decyzję które wejście odrzucamy podejmujemy na podstawie macierzy wzmocnień statycznych

$$\begin{bmatrix} 0.4991 & 0.9999 & 0.3482 \\ 0.1000 & 0.4998 & 0.7000 \\ 1.9000 & 0.2000 & 1.5000 \\ 1.2999 & 0.9500 & 0.2500 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Aby znaleźć optymalne rozwiązanie, musimy wydzielić z tej macierzy 4 macierze kwadratowe (minory) usuwając kolejno po jednym wierszu a następnie policzyć wskaźniki uwarunkowania dla tych macierzy metodą 'cond()' matlaba.

a)

$$\begin{bmatrix} 0.1000 & 0.4998 & 0.7000 \\ 1.9000 & 0.2000 & 1.5000 \\ 1.2999 & 0.9500 & 0.2500 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

wskaźnik jakości $E = 4.3788$

b)

$$\begin{bmatrix} 0.4991 & 0.9999 & 0.3482 \\ 1.9000 & 0.2000 & 1.5000 \\ 1.2999 & 0.9500 & 0.2500 \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

wskaźnik jakości $E = 7.2582$

c)

$$\begin{bmatrix} 0.4991 & 0.9999 & 0.3482 \\ 0.1000 & 0.4998 & 0.7000 \\ 1.2999 & 0.9500 & 0.2500 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

wskaźnik jakości $E = 7.1957$

d)

$$\begin{bmatrix} 0.4991 & 0.9999 & 0.3482 \\ 0.1000 & 0.4998 & 0.7000 \\ 1.9000 & 0.2000 & 1.5000 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

wskaźnik jakości $E = 5.8635$

Wybieramy macierz, dla której wskaźnik uwarunkowania jest najmniejszy, w naszym przypadku to macierz pierwsza, a następnie mnożymy ją przez jej odwrotność. Otrzymujemy także macierz kwadratową, na podstawie której wyciągamy wnioski o torach wejście-wyjście. Jako że wykreśliśmy pierwszy wiersz, wejście U1 zostaje odrzucone. Następnie patrzymy, które wartości macierzy mają wartość jak najbliższą jedności i na podstawie tego dobieramy tory sterowań. W naszym przypadku najrozsądniej jest wybrać U2-Y3, U3-Y1, U4-Y2.

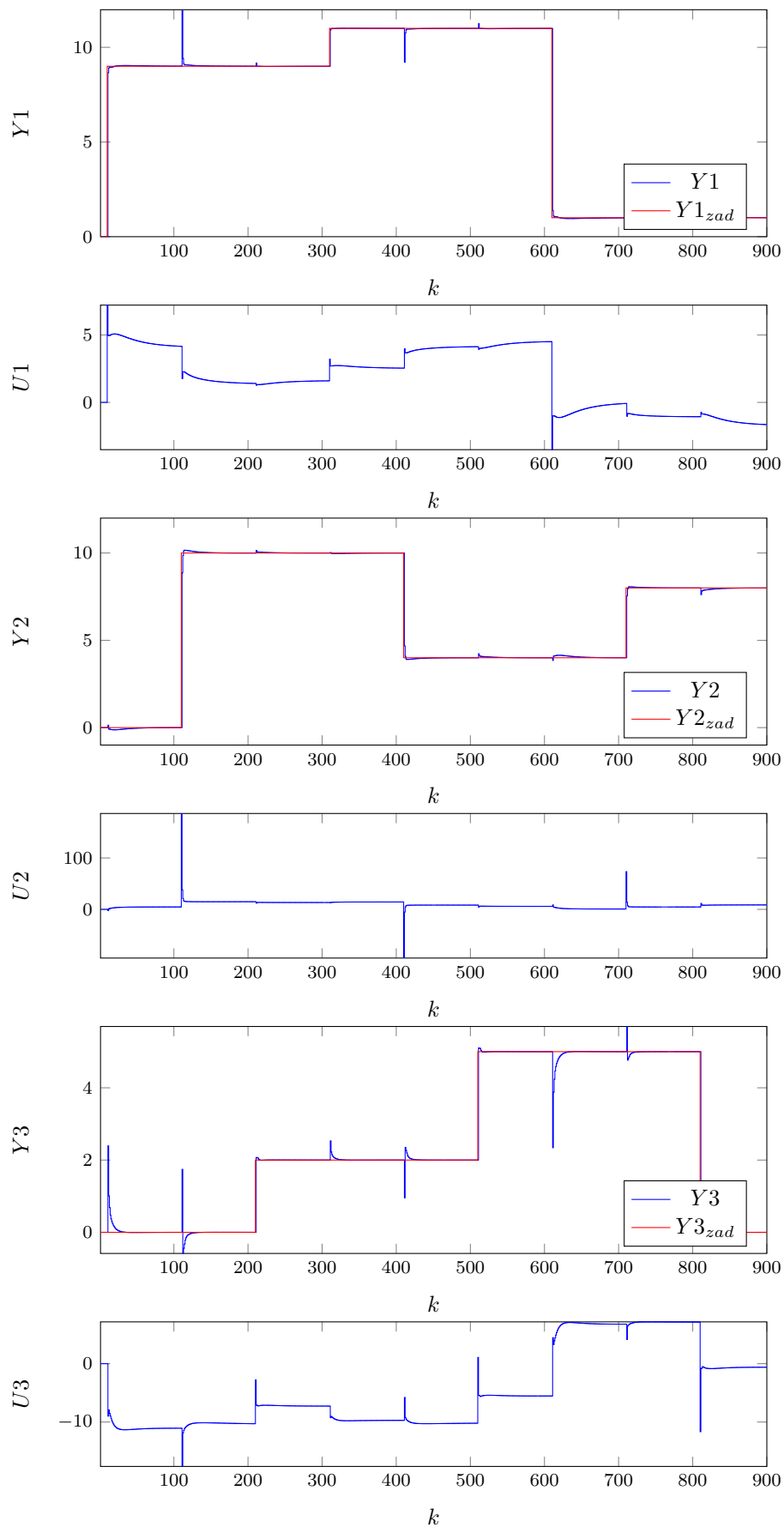
$$\begin{bmatrix} -0.0818 & 0.4386 & 0.6432 \\ 0.6102 & -0.1053 & 0.4951 \\ 0.4716 & 0.6667 & -0.1383 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Po wybraniu odpowiednich torów, jesteśmy w stanie dla różnych oddziaływań uchyb-sterowanie dobrać optymalne nastawy optymalizatorem `fmincon` optymalizując 3 zestawy stałych: wzmocnienia K , stałej całkowania T_i oraz stałej różniczkowania T_d . Eksperymentalnie dobraliśmy punkt startowy optymalizatora, tak aby regulator w nim nie uciekał do nieskończoności.

Najlepszym regulatorem PID okazał się ten z przypadku pierwszego, gdzie e_1 na u_1 , e_2 na u_2 , e_3 na u_3 . Po przebiegach możemy ocenić, że wahania oraz nagłe skoki sygnału wyjściowego są dużo mniejsze niż w pozostałych PIDach, więc jakość regulacji jest najlepsza. Potwierdza to najmniejsza wartość wskaźnika jakości E dla tego przypadku.

pierwszy przypadek

```
K=[0,538210731709642 17,5567698133576 2,84874354508141];
Ti=[0,514450740056430 7,09460846761444 0,811278380840613];
Td=[0,00139346599837573 7,42420077987114e-06 0,00565178796268570];
```

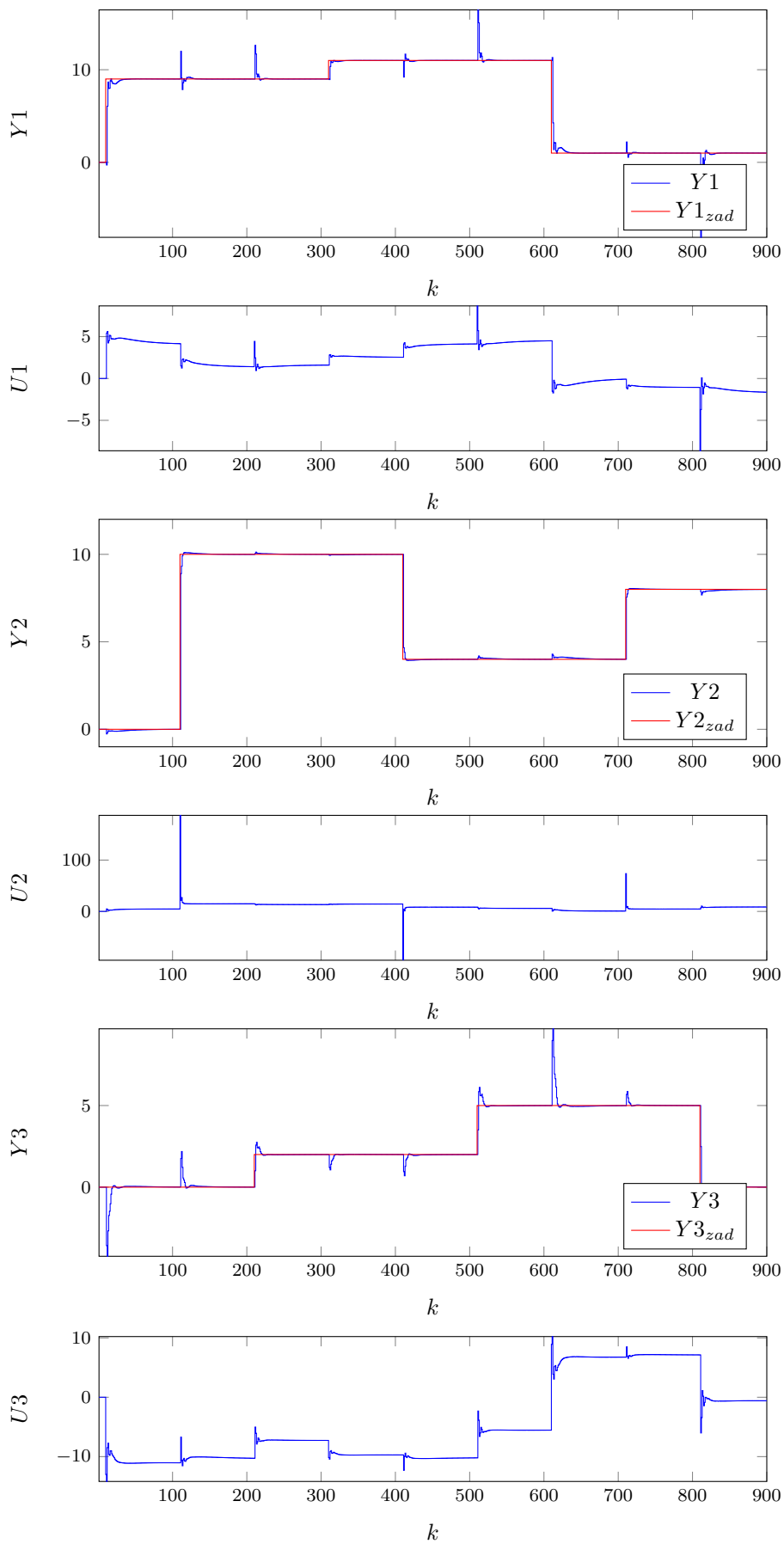
Rys. 3.1. PID - Sygnały procesu, oddziaływanie e1 na u1, e2 na u2, e3 na u3, błąd E = 417,188 697

drugi przypadek

$K=[0,816330655981226 \ 16,3643555598206 \ -0,954969903810093];$

$Ti=[1,28949929474805 \ 7,85960058872968 \ 1,24575952603491];$

$Td=[0,330632288546404 \ 0,0415636656320979 \ 0,156826026915013];$

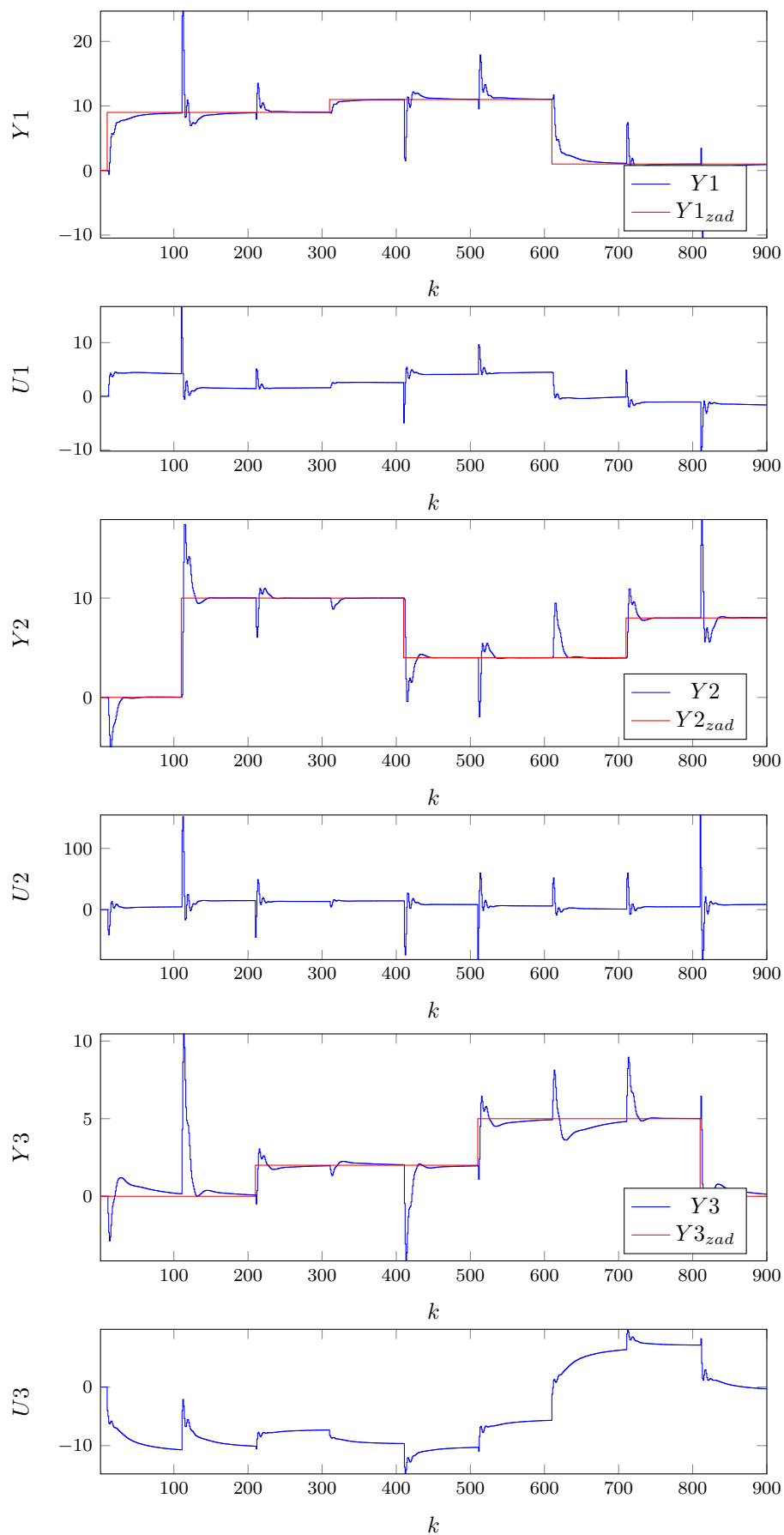
Rys. 3.2. PID - Sygnały procesu, oddziaływanie: e1 na u3, e2 na u2, e3 na u1, błąd $E = 965,867074$

trzeci przypadek

$K=[0,540533050840108 \ -3,93533097394258 \ -0,401112728951613];$

$Ti=[2,52943070390993 \ 16,9552270428315 \ 2,01049506267861];$

$Td=[0,609413583637298 \ 3,30122276050988 \ -0,00822846142602021];$



Rys. 3.3. PID - Sygnały procesu, oddziaływanie: e1 na u3, e3 na u2, e2 na u1, błąd E = 5006,339 140

Nastawy regulatora DMC:

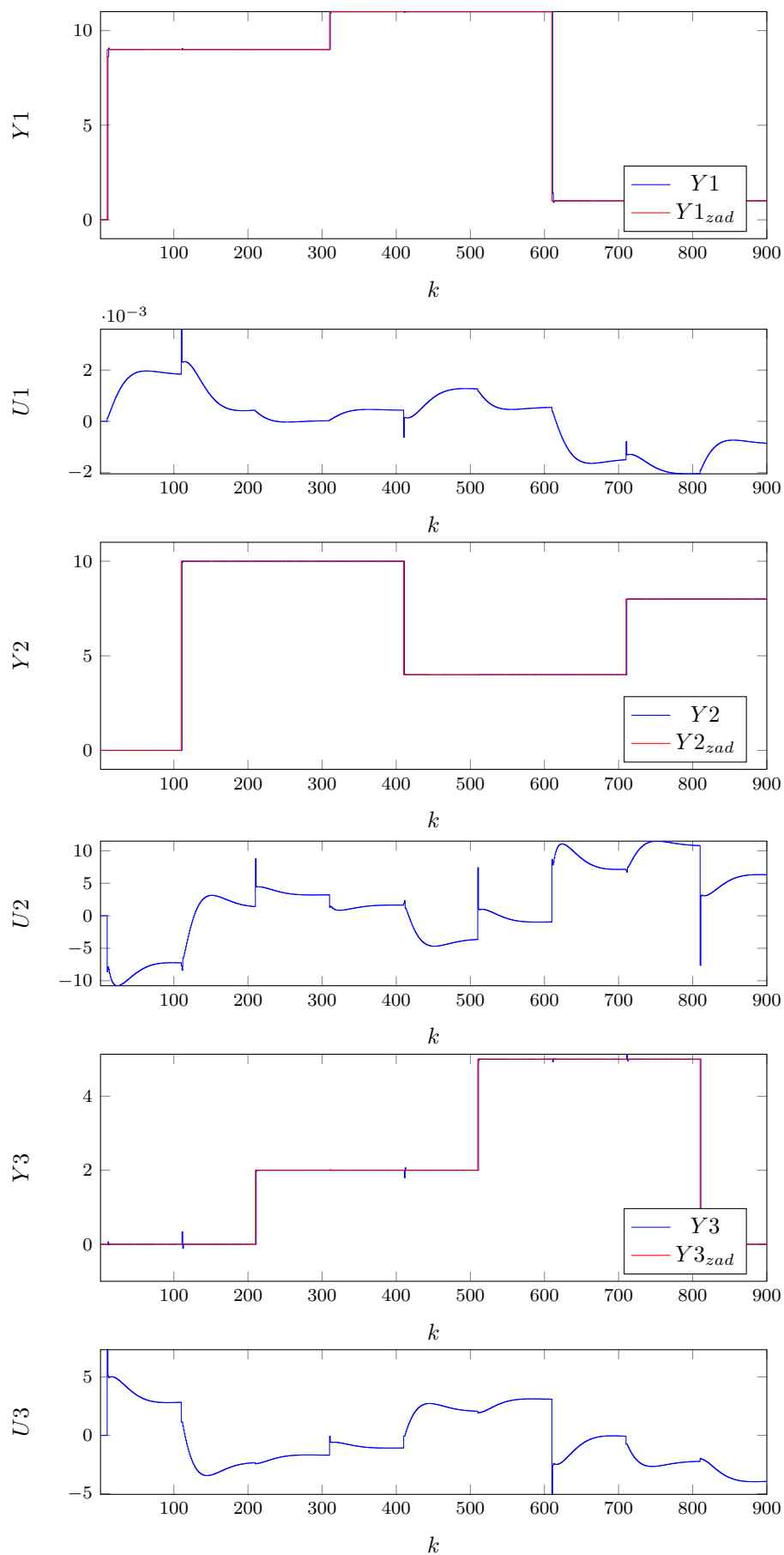
$\lambda=[809756633,229638 \ 4368.69435554494 \ 1201371,16173047 \ 512033,480105263];$

$\mu=[28729993,8373922 \ 1543438461,32905 \ 13758389,8059698];$

D=200;

N=200;

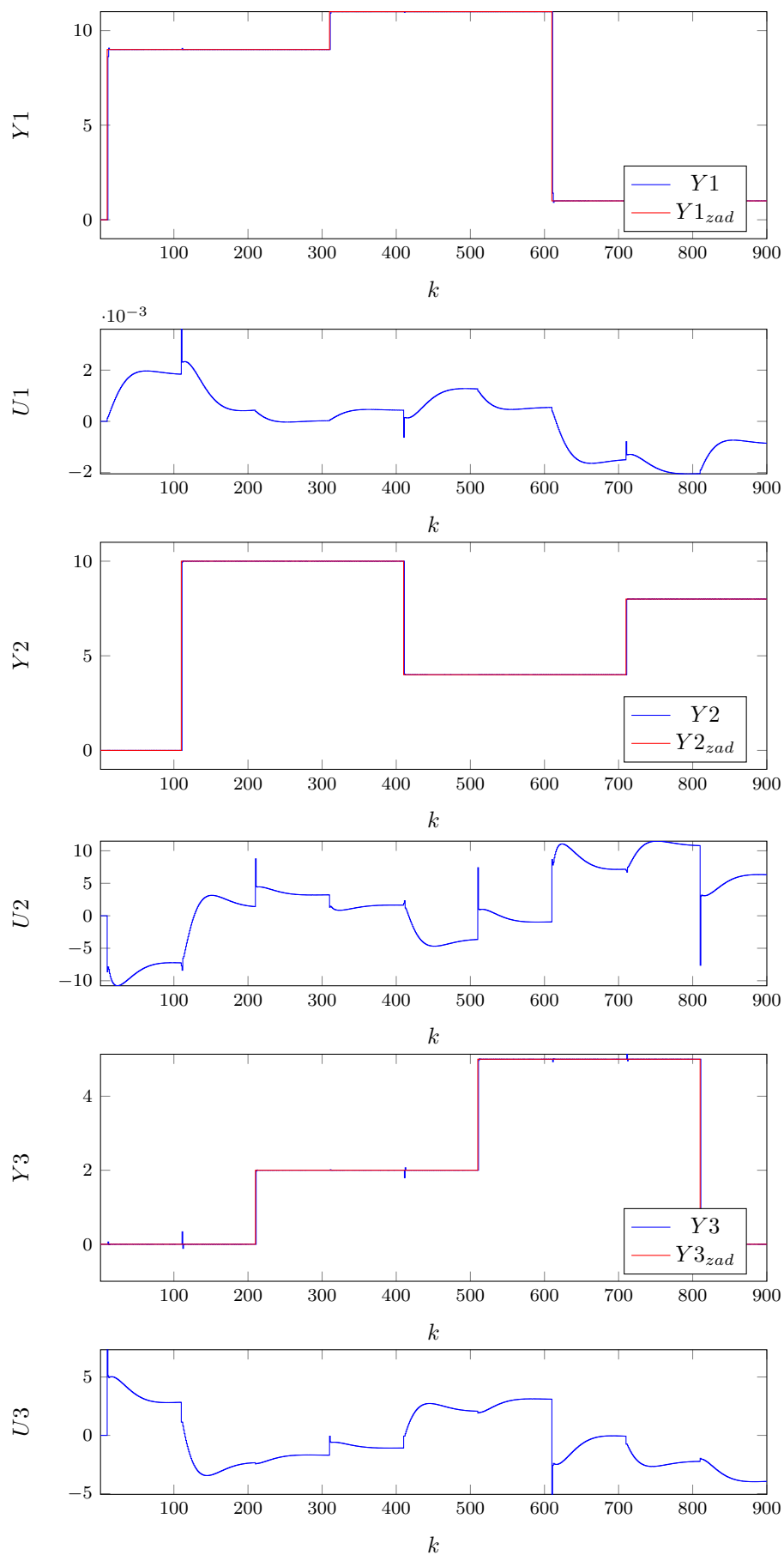
Nu=200;

Rys. 3.4. DMC - Sygnały procesu, błąd $E = 375,535\,682$

Zgodnie z oczekiwaniami algorytm DMC najlepiej poradził sobie z regulacją tego procesu. Wartość wyjściowa jest lepiej dopasowana do wartości zadanej niż w PID, a wskaźnik jakości regulacji E ma mniejszą wartość.

4. Punkt 6

Możemy ograniczyć ilość obliczeń poprzez zastąpienie pełnej macierzy K jedynie jej pierwszym elementem \overline{K}^1 ponieważ do wyznaczenia sterowania potrzebujemy jedynie $u(k|k)$ a następnie mnożymy przez to $Y^{zad} - Y$ tak jak w poprzednim przypadku



Rys. 4.1. DMC - Sygnały procesu, błąd E = 375,535 682

Otrzymane przebiegi są dokładnie takie same jak dla DMC z zadania poprzedniego w wersji klasycznej. Błąd również ma taką samą wartość