

**Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych
Politechnika Warszawska**

**Projektowanie układów sterowania
(projekt grupowy)**

Sprawozdanie z projektu nr 5, zadanie nr 3

Sobolewski Konrad, Róžański Antoni, Giełdowski Daniel

Warszawa, 2017

Spis treści

1. Zadanie 4: Strojenie regulatorów	2
1.1. PID	2
1.1.1. Konfiguracja	2
1.1.2. PID - konfiguracja pierwsza	4
1.1.3. PID - konfiguracja druga	21

1. Zadanie 4: Strojenie regulatorów

Następnym zadaniem było wyznaczenie optymalnych parametrów algorytmów PID i DMC odpowiednio za pomocą metody inżynierskiej(PID) i eksperymentalnej(DMC). Jakość regulacji oceniana była wizualnie - na podstawie wykresów - oraz obliczeniowo na podstawie wskaźnika jakości regulacji. Wzór na ten wskaźnik znajduje się poniżej.

$$E = \sum_{k=1}^{k_{kone}} (Y^{zad}(k) - Y(k))^2 \quad (1.1)$$

1.1. PID

Nastawy PID dobieramy włączając w tym samym czasie tylko jeden tor regulacji z istniejących trzech i dobierając jego parametry. Na końcu łączymy 3 tory i korygujemy nastawy. Strojąc jeden tor nie będziemy się przejmować innymi, więc nie umieszczaliśmy ich wykresów, a przedstawione wartości błędów będą sumą tylko z tego jednego toru.

1.1.1. Konfiguracja

Ponieważ posiadamy 4 wejścia i 3 wyjścia w celu napisania regulatora PID jedno z wejść będziemy musieli odrzucić. Pozostaje zdecydować które. W tym celu tworzymy macierz wzmocnień KKK zawierającą wzmocnienia statyczne wszystkich torów procesów (wersy odzwierciedlają kolejne sterowania, a kolumny kolejne wyjścia).

$$KKK = \begin{bmatrix} 0,5 & 1,5 & 1,3 \\ 1,25 & 1,1 & 0,4 \\ 0,9 & 0,1 & 0,3 \\ 1,2 & 0,45 & 1,15 \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

Oczywiście już na jej podstawie moglibyśmy wybrać niezłą konfigurację wyjść, jednakże my szukamy najlepszej. W tym celu dzielimy macierz KKK na cztery macierze KK_i o wymiarach 3x3 usuwając za każdym razem inny wiersz (numer i nową macierz to numer usuniętego wiersza).

$$KK_1 = \begin{bmatrix} 1,25 & 1,1 & 0,4 \\ 0,9 & 0,1 & 0,3 \\ 1,2 & 0,45 & 1,15 \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

$$KK_2 = \begin{bmatrix} 0,5 & 1,5 & 1,3 \\ 0,9 & 0,1 & 0,3 \\ 1,2 & 0,45 & 1,15 \end{bmatrix} \quad (1.4)$$

$$KK_3 = \begin{bmatrix} 0,5 & 1,5 & 1,3 \\ 1,25 & 1,1 & 0,4 \\ 1,2 & 0,45 & 1,15 \end{bmatrix} \quad (1.5)$$

$$KK_4 = \begin{bmatrix} 0,5 & 1,5 & 1,3 \\ 1,25 & 1,1 & 0,4 \\ 0,9 & 0,1 & 0,3 \end{bmatrix} \quad (1.6)$$

Następnie obliczamy w Matlabie wskaźniki uwarunkowania tych macierzy, które wynoszą odpowiednio:

- $\text{cond}(\text{KK}_1)=6,7173$
- $\text{cond}(\text{KK}_2)=11,1599$
- $\text{cond}(\text{KK}_3)=4,2242$
- $\text{cond}(\text{KK}_4)=6,9254$

Następnie wybieramy tą, której wskaźnik jest najmniejszy (w naszym przypadku KK_3) i obliczamy dla niej (w matlabie) macierz $\text{KK}_i \cdot (\text{KK}_i^{-1})'$. Następnie wybieramy z obliczonej macierzy 3 elementy, po jednym na każdy wiersz i kolumnę, mające wartości jak najbliższe jeden (wartości ujemne są wykluczone). Położenie tych elementów określa które sterowanie powinno odpowiadać któremu wyjściu. Poniżej przedstawiam wyniki tego równania dla wszystkich macierzy KK_i .

$$\text{Dla } \text{KK}_1 : \begin{bmatrix} 0,0383 & 1,1362 & -0,1744 \\ 1,4943 & -0,1465 & -0,3477 \\ -0,5325 & 0,0103 & 1,5222 \end{bmatrix} \quad (1.7)$$

$$\text{Dla } \text{KK}_2 : \begin{bmatrix} 0,0153 & 1,5529 & -0,5683 \\ 1,5736 & 0,1511 & -0,7247 \\ -0,5890 & -0,7040 & 2,2929 \end{bmatrix} \quad (1.8)$$

$$\text{Dla } \text{KK}_3 : \begin{bmatrix} -0,2888 & 0,7646 & 0,5242 \\ 0,7586 & 0,5768 & -0,3354 \\ 0,5302 & -0,3414 & 0,8112 \end{bmatrix} \quad (1.9)$$

$$\text{Dla } \text{KK}_4 : \begin{bmatrix} -0,1447 & 0,0225 & 1,1223 \\ 0,3992 & 1,1198 & -0,5190 \\ 0,7455 & -0,1422 & 0,3967 \end{bmatrix} \quad (1.10)$$

Normalnie wybralibyśmy jedynie konfigurację uzyskaną z macierzy o najniższym wskaźniku uwarunkowania (KK_3), jednakże zadanie nakazuje przetestować różne konfiguracje regulatora PID. Z tego powodu zdecydowaliśmy się wybrać po jednej (najlepszej) konfiguracji z każdej z macierzy. Będą to:

- Dla KK_1 : y1-u3 y2-u2 y3-u4
- Dla KK_2 : y1-u3 y2-u1 y3-u4
- Dla KK_3 : y1-u2 y2-u1 y3-u4
- Dla KK_4 : y1-u3 y2-u2 y3-u1

1.1.2. PID - konfiguracja pierwsza

Pierwsza konfiguracja naszego PID'a zakłada, że wyjście pierwsze sterujemy wejściem trzecim, wyjście drugie wejściem drugim, a wyjście trzecie wejściem czwartym.

Tor pierwszy

Nastawy PID wyznaczamy metodą inżynierską. Oznacza to, że zaczynamy od wyznaczenia wzmocnienia K . Jego wartość ustawiamy na połowę wartości, dla której obiekt wpada w niekończące się i nierosnące oscylacje. Dla pierwszego toru $K_{osc} = 13,3642$, co oznacza, że jako wartość K przyjmujemy $K = 6,6821$. Oscylacje przedstawia poniższy wykres 1.1.

Następnie przystąpiliśmy do wyznaczenia czasu zdwojenia T_i . Po wielu testach zdecydowaliśmy się, że najlepszy przebieg oraz najniższa wartość błędu występuje dla $T_i = 3$. Choć w przebiegu sterowania nie ma ona większej przewagi, to przebieg wyjścia jest o wiele lepszy od konkurentów. Na wykresie wyjście dosłownie stapia się w jeden przebieg z wartością zadaną. Poniżej w tabeli 1.2 przedstawiono wartości błędów dla różnych wartości T_i . Przebiegi dla tych wartości pokazano na wykresie 1.2.

Ostatnim dobieranym parametrem był czas wyprzedzenia T_d . Niemniej okazało się, że włączenie członu różniczkowego powoduje bardziej pogorszenie przebiegu niż jego polepszenie. Z tego powodu postanowiliśmy pozostać przy wartości $T_d = 0$. Wartości błędów dla wybranych wartości przedstawione zostały w tabeli 1.3, a przebiegi na wykresie 1.3.

y	u
y_1	u_3
y_2	u_2
y_3	u_4

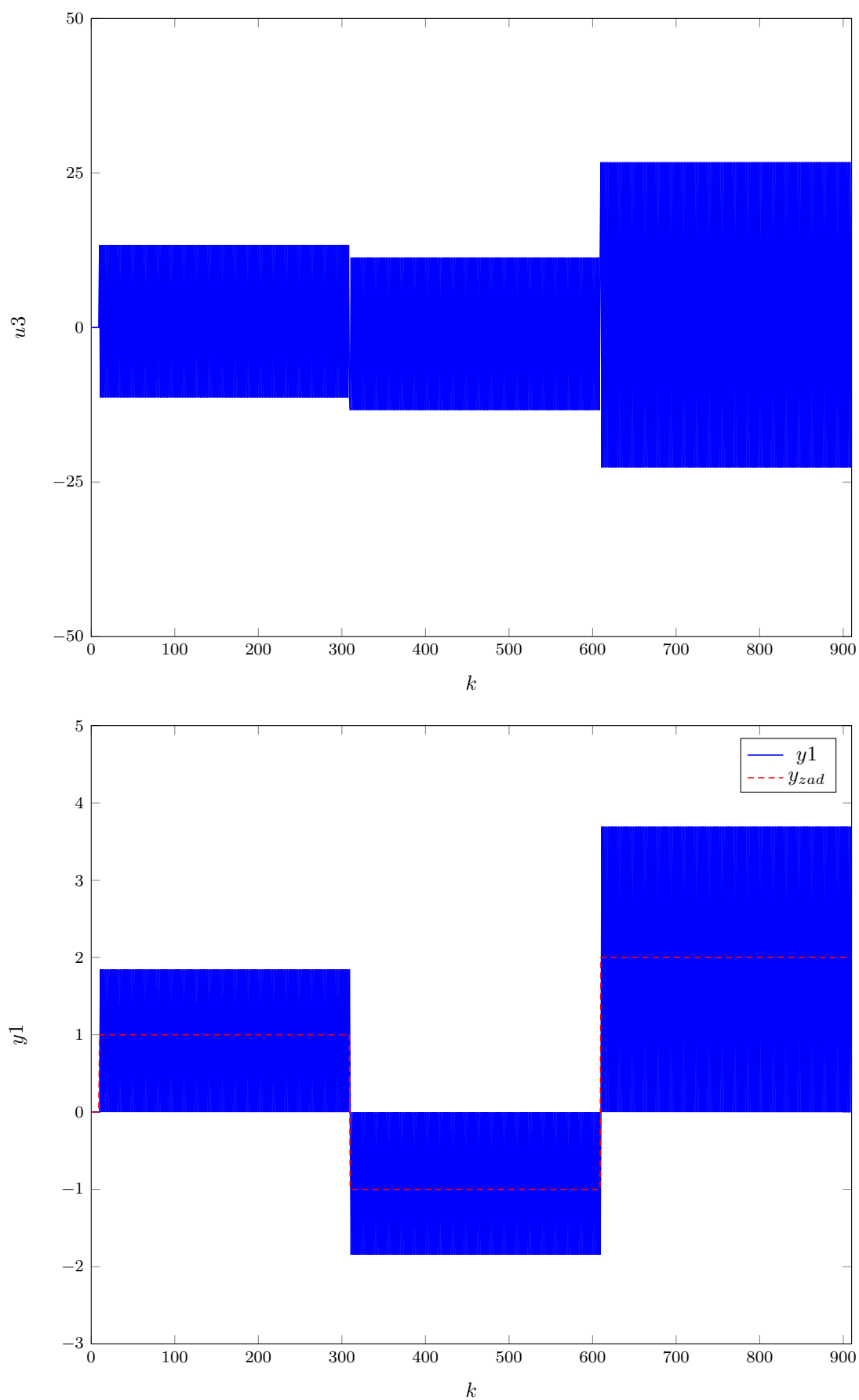
Tab. 1.1. Pierwsza konfiguracja

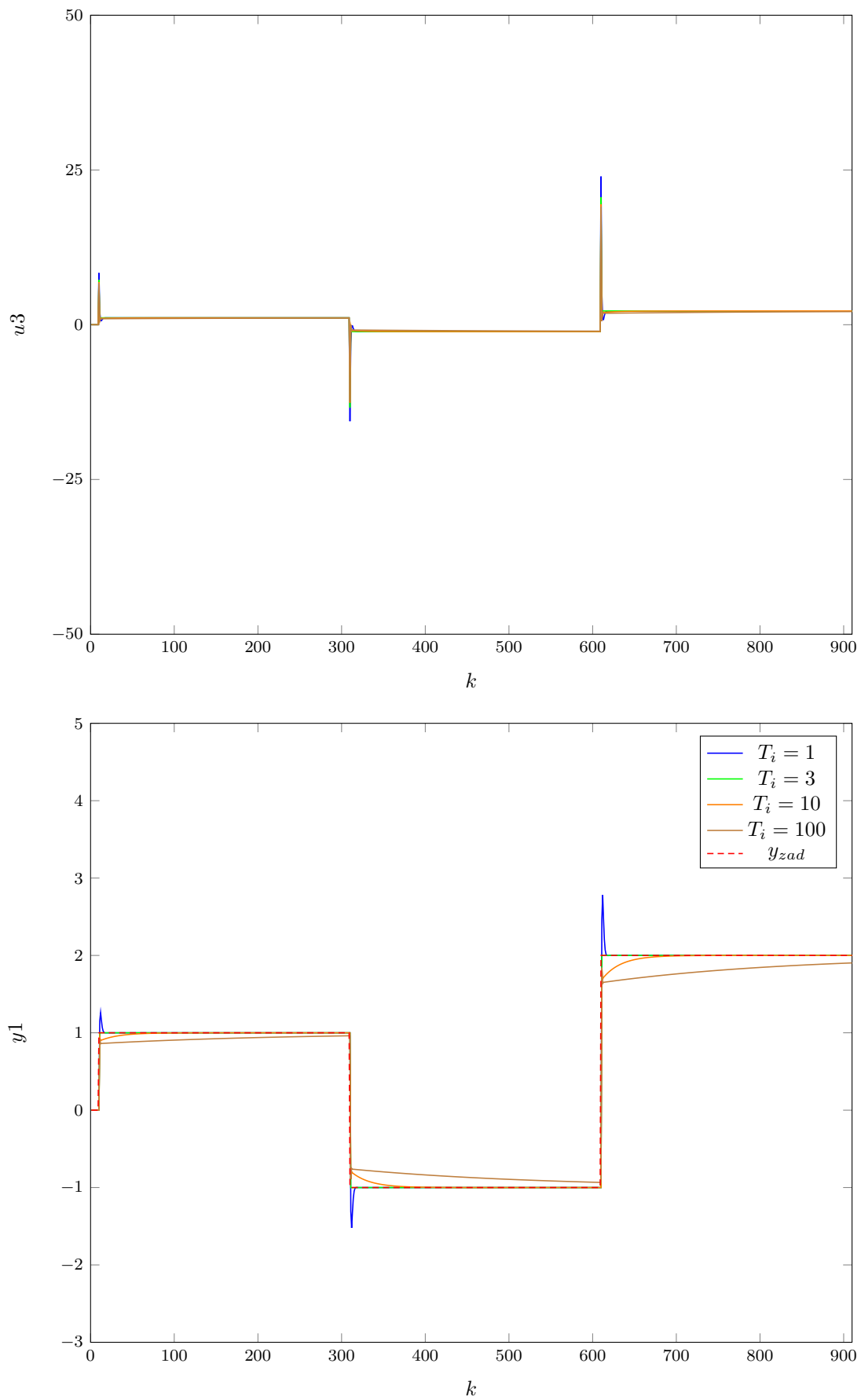
T_i	$E1$
1	15,7016
3	14,0000
10	15,6587
100	34,8237

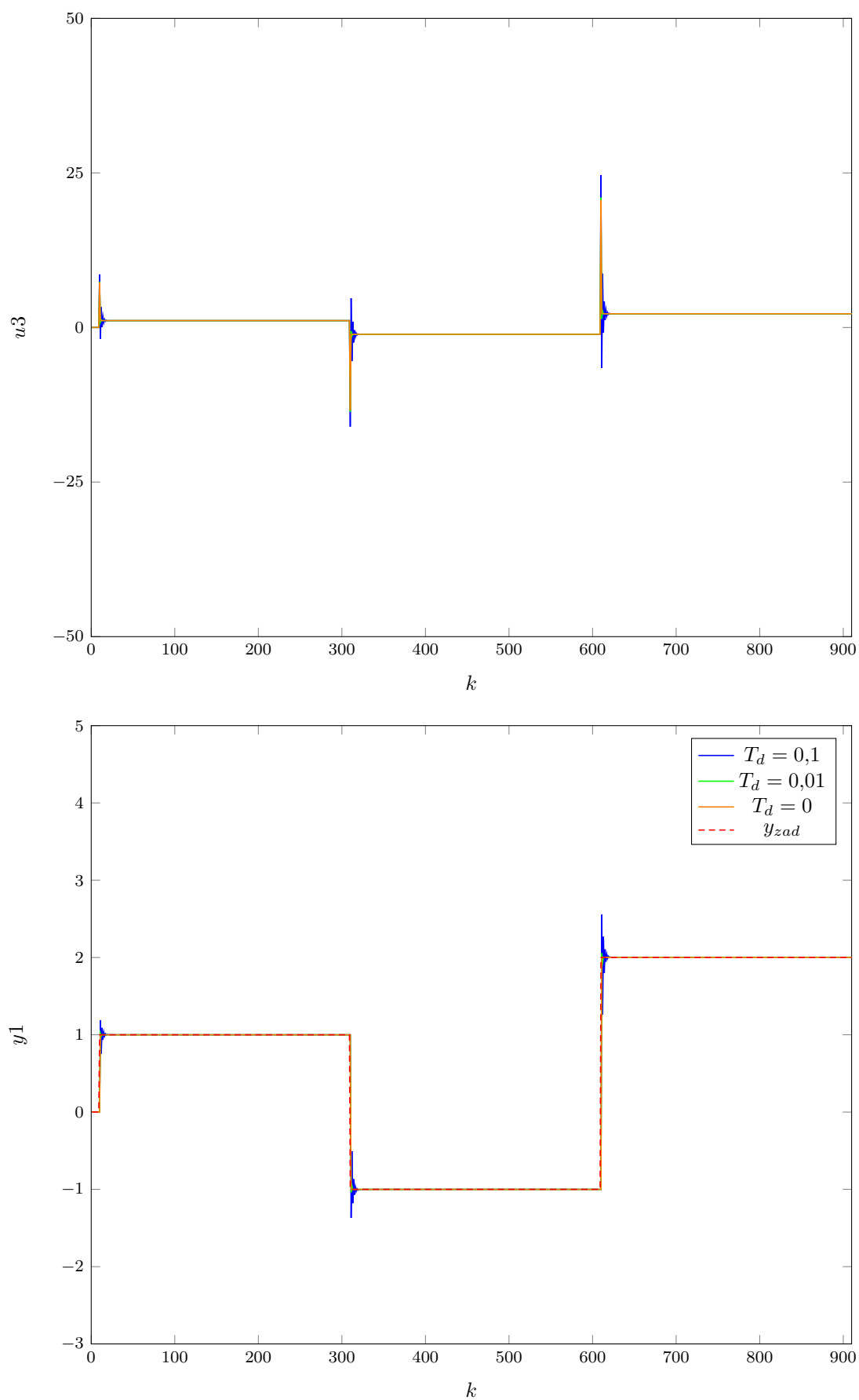
Tab. 1.2. Wartości błędu dla różnych wartości T_i

T_i	$E1$
0	14
0.01	14,0113
0.1	15,5293

Tab. 1.3. Wartości błędu dla różnych wartości T_d

Rys. 1.1. Przebieg wyjścia pierwszego i wejścia trzeciego dla wzmocnienia oscylacyjnego $K_{osc} = 13,3642$

Rys. 1.2. Przebieg wyjścia pierwszego i wejścia trzeciego dla różnych wartości T_i

Rys. 1.3. Przebieg wyjścia pierwszego i wejścia trzeciego dla różnych wartości T_d

Tor drugi

Oczywiście zaczynamy od dobrania wzmocnienia K . Dla wyjścia drugiego sterowanego drugim wejściem wartość wzmocnienia dla którego wpada ono w oscylacje to $K_{osc}=18,197$. Oznacza to, że dla regulatora przyjmujemy wzmocnienie równe $K=9,0985$. Wykres zawierający przebiegi dla wzmocnienia oscylacyjnego umieściliśmy pod numerem 1.4.

Następną dobieraną wartością było T_i . Po kilku próbach doszliśmy do wniosku, że najlepszą wartością jest $T_i=5$. Dla tej wartości zarówno przebieg jak i wartość błędu są najmniejsze. Błędy dla różnych wartości znajdują się w tabeli 1.4. Przebiegi zamieściliśmy na wykresie 1.5.

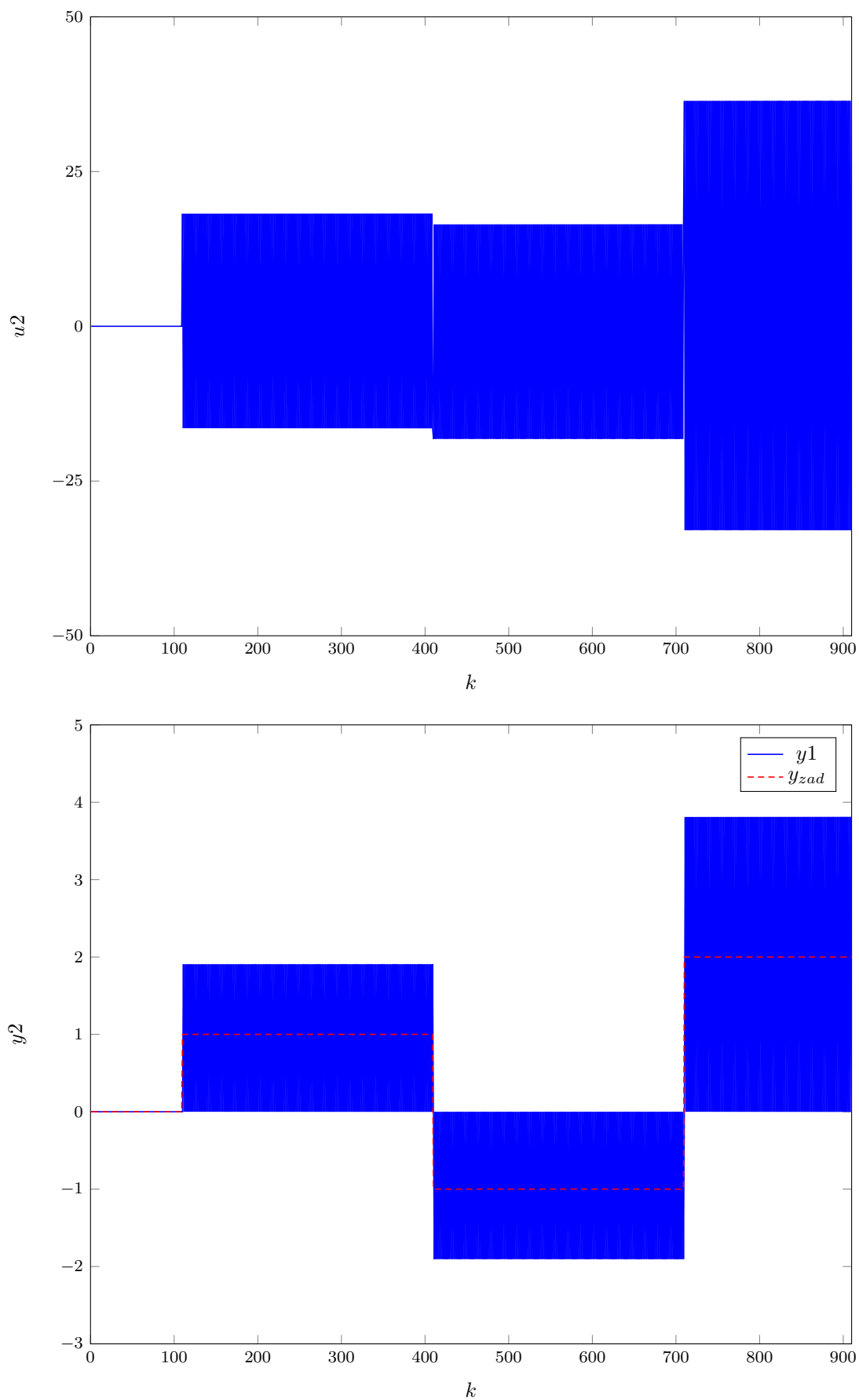
Ostatnim dobieranym parametrem był czas wyprzedzenia T_d . Niemniej okazało się, że włączenie członu różniczkowego powoduje bardziej pogorszenie przebiegu niż jego polepszenie. Z tego powodu postanowiliśmy pozostać przy wartości $T_d = 0$. Wartości błędów dla wybranych wartości przedstawione zostały w tabeli 1.5, a przebiegi na wykresie 1.6.

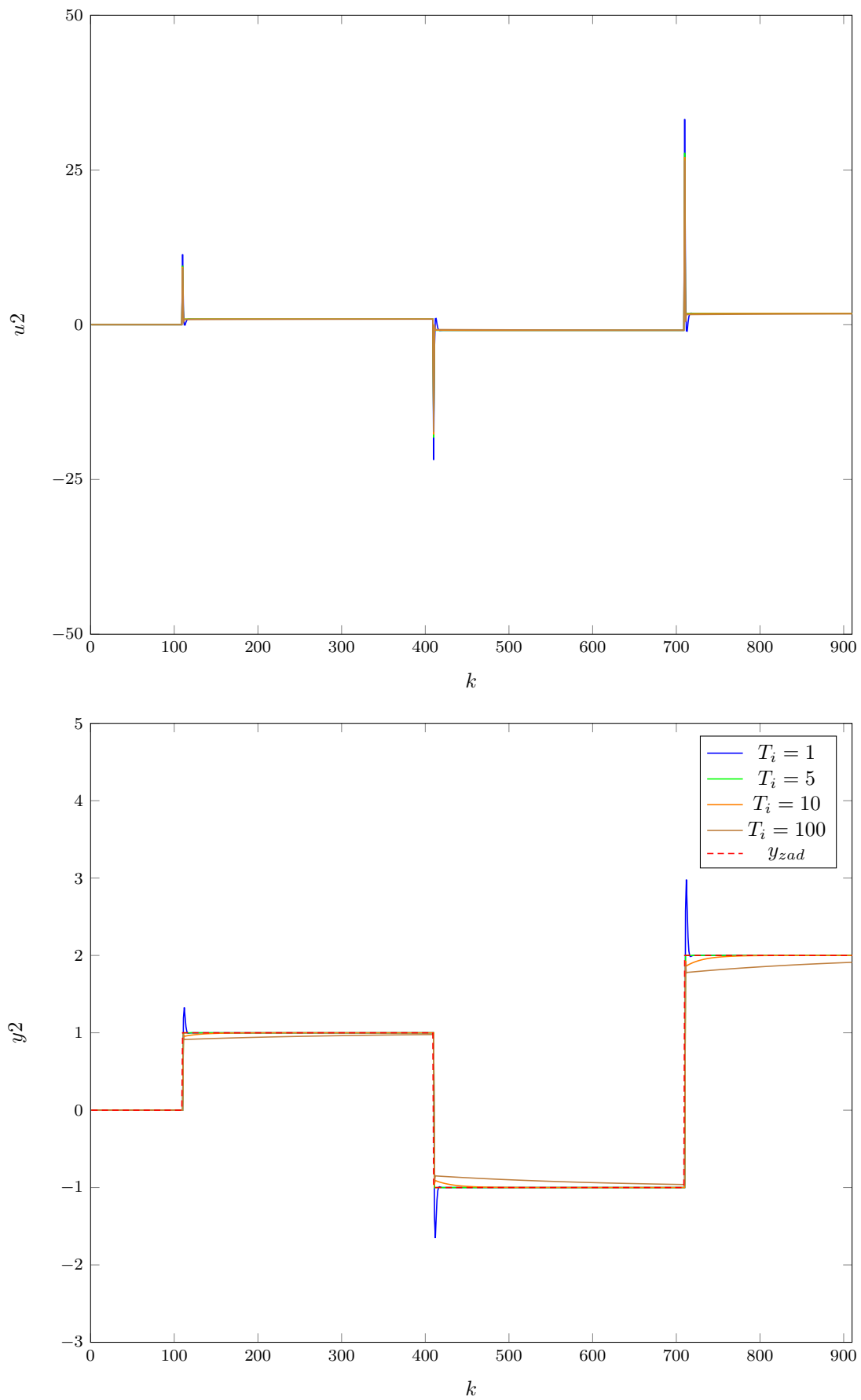
T_i	$E1$
1	16,6367
5	14,0000
10	14,3245
100	21,2770

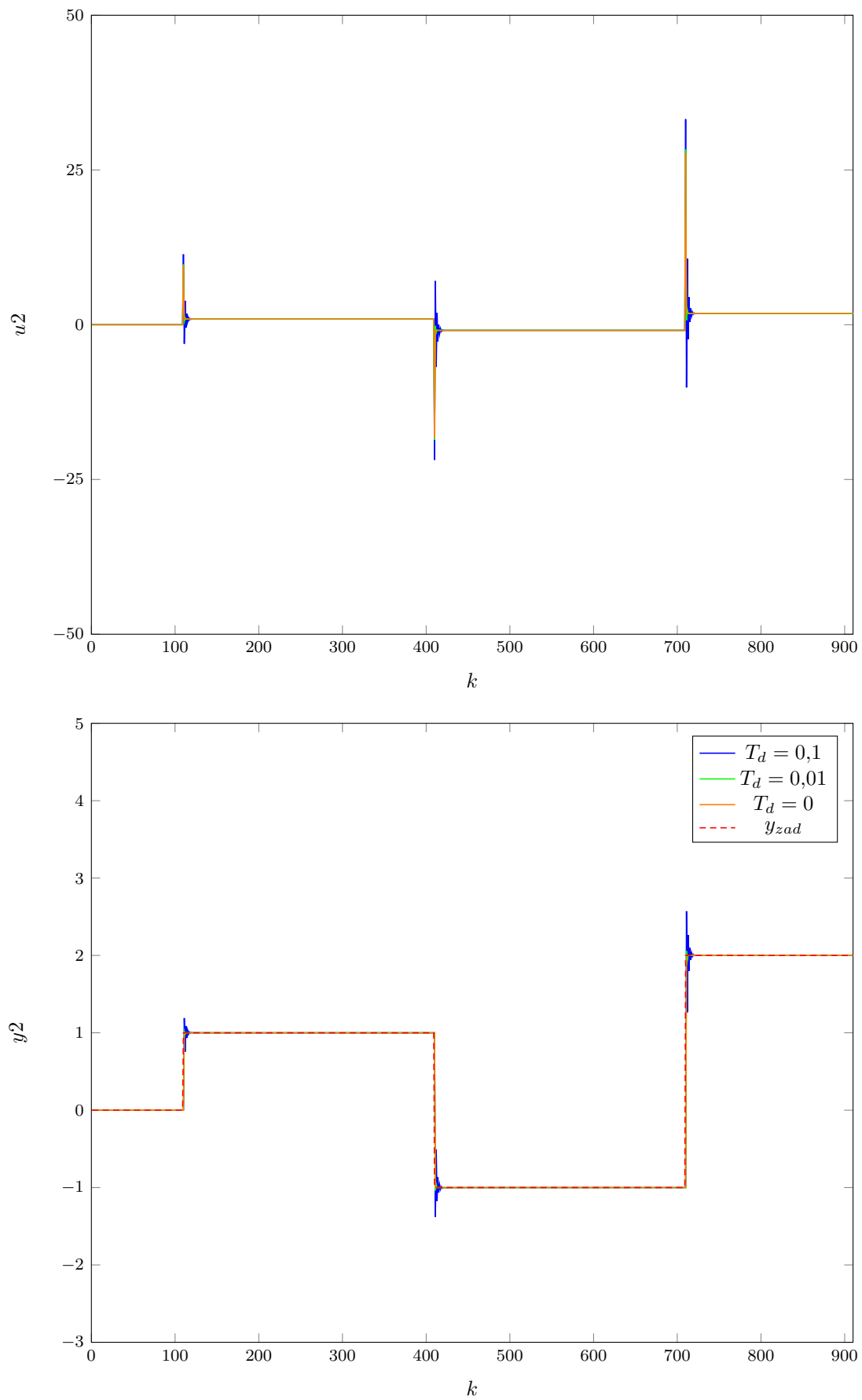
Tab. 1.4. Wartości błędu dla różnych wartości T_i

T_i	$E1$
0	14
0.01	14,0114
0.1	15,5409

Tab. 1.5. Wartości błędu dla różnych wartości T_d

Rys. 1.4. Przebieg wyjścia drugiego i wejścia drugiego dla wzmocnienia oscylacyjnego $K_{osc} = 18,197$

Rys. 1.5. Przebieg wyjścia drugiego i wejścia drugiego dla różnych wartości T_i

Rys. 1.6. Przebieg wyjścia drugiego i wejścia drugiego dla różnych wartości T_d

Tor trzeci

Zaczynamy od wyznaczenia wzmocnienia K . Dla trzeciego toru $K_{osc} = 10,459$, co oznacza, że jako wartość K przyjmujemy $K = 5,2295$. Oscylacje przedstawia poniższy wykres 1.7.

Następnie przystąpiliśmy do wyznaczenia czasu zdwojenia T_i . Po wielu testach zdecydowaliśmy się, że najlepszy przebieg oraz najniższa wartość błędu występuje dla $T_i = 3$. Choć w przebiegu sterowania nie ma ona większej przewagi, to przebieg wyjścia jest o wiele lepszy od konkurentów. Na wykresie wyjście dosłownie stapia się w jeden przebieg z wartością zadaną. Poniżej w tabeli 1.6 przedstawiono wartości błędów dla różnych wartości T_i . Przebiegi dla tych wartości pokazano na wykresie 1.8.

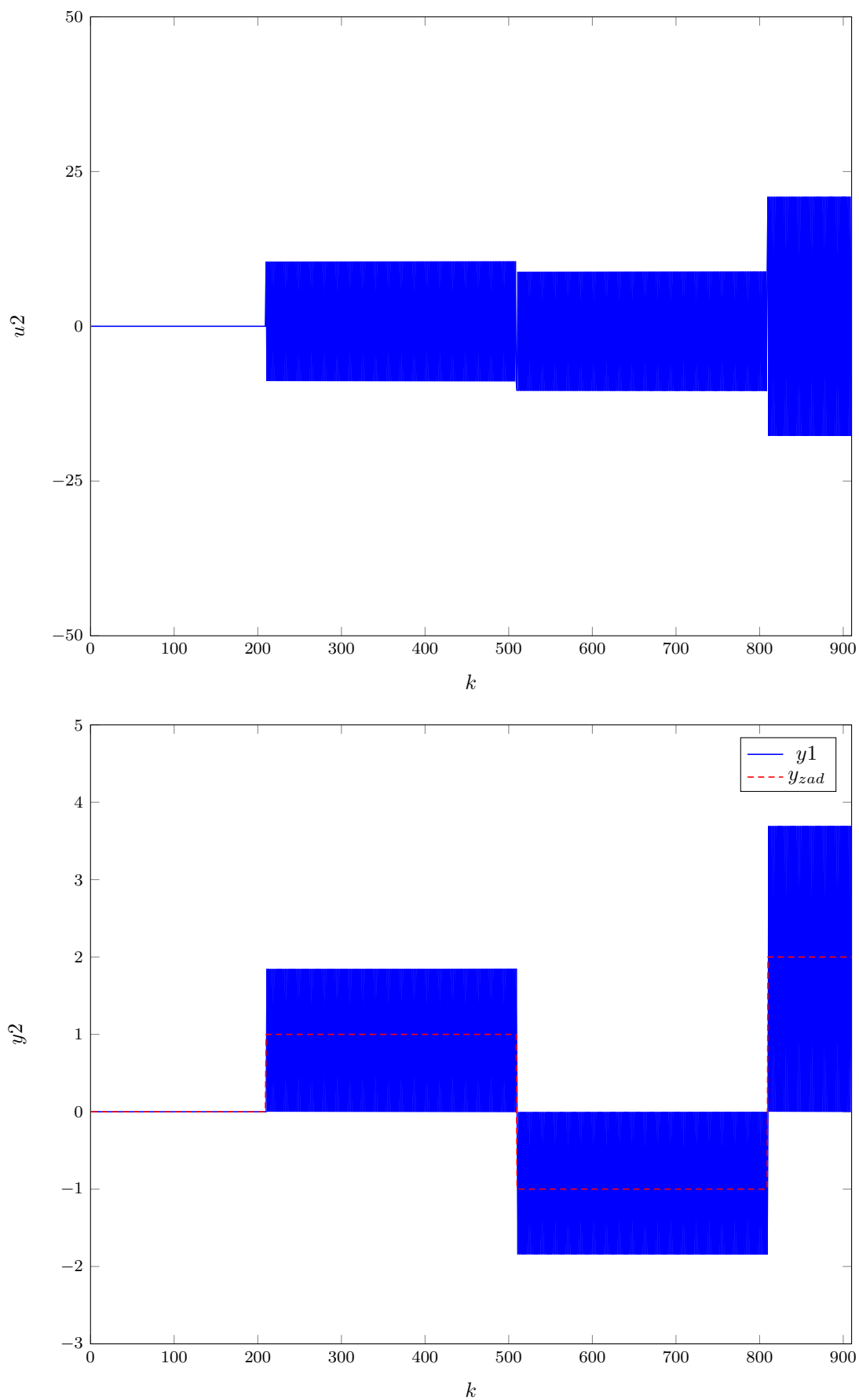
Ostatnim dobieranym parametrem był czas wyprzedzenia T_d . Niemniej okazało się, że włączenie członu różniczkowego powoduje bardziej pogorszenie przebiegu niż jego polepszenie. Z tego powodu postanowiliśmy pozostać przy wartości $T_d = 0$. Wartości błędów dla wybranych wartości przedstawione zostały w tabeli 1.7, a przebiegi na wykresie 1.9.

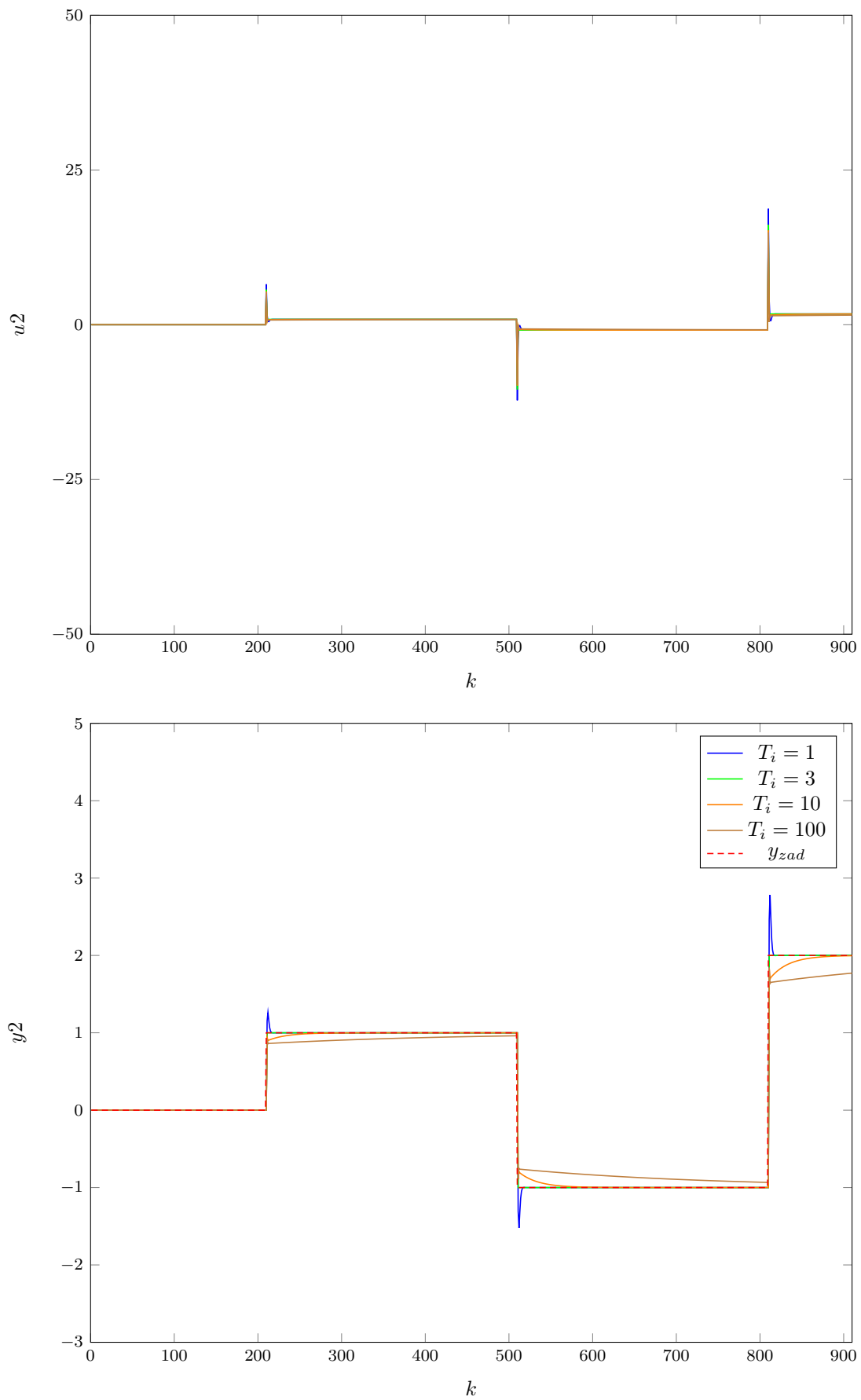
T_i	$E3$
1	15,7016
3	14,0000
10	15,6585
100	29,845

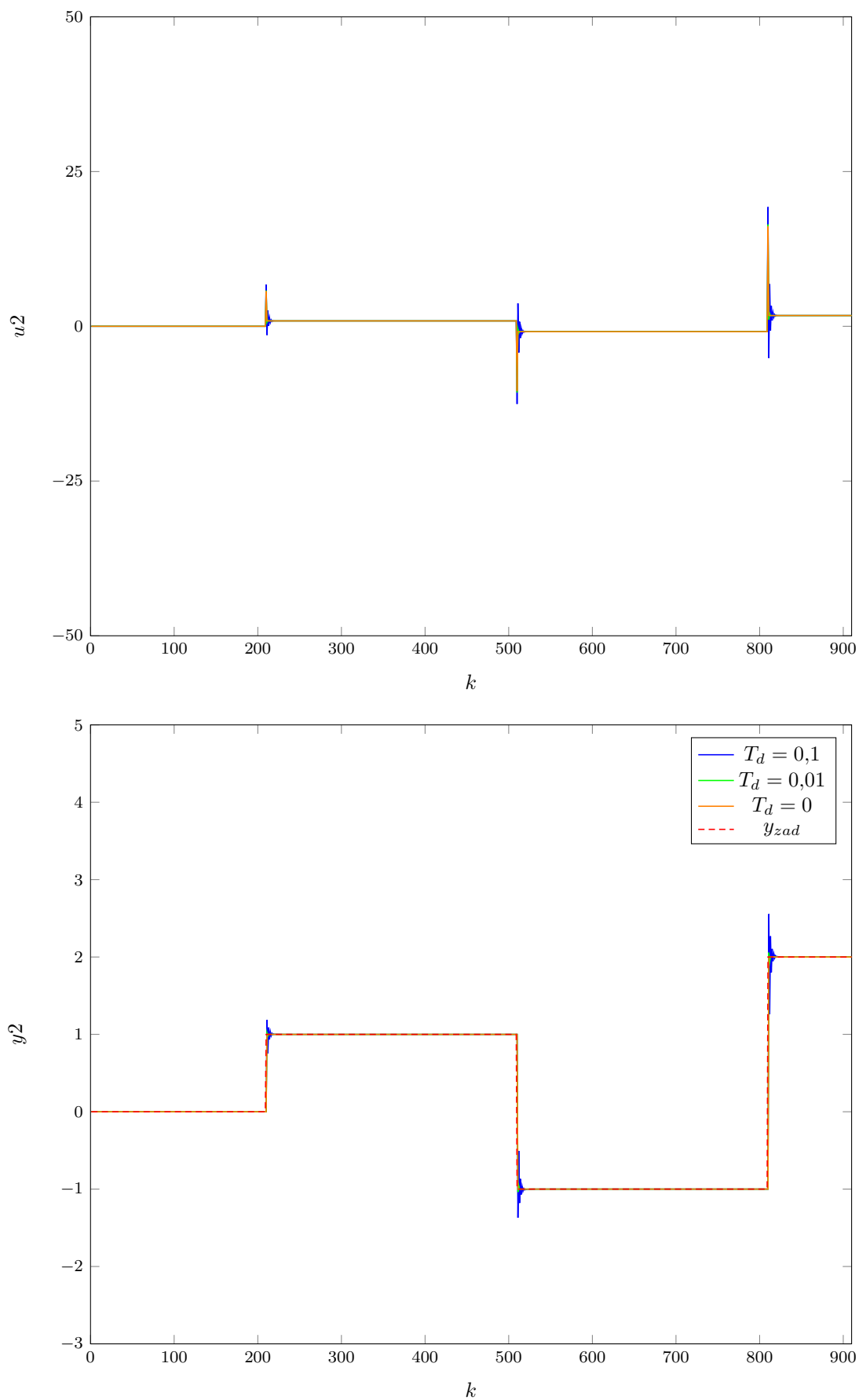
Tab. 1.6. Wartości błędu dla różnych wartości T_i

T_i	$E3$
0	14
0.01	14,0113
0.1	15,5294

Tab. 1.7. Wartości błędu dla różnych wartości T_d

Rys. 1.7. Przebieg wyjścia trzeciego i wejścia czwartego dla wzmocnienia oscylacyjnego $K_{osc} = 10,459$

Rys. 1.8. Przebieg wyjścia trzeciego i wejścia czwartego dla różnych wartości T_i

Rys. 1.9. Przebieg wyjścia trzeciego i wejścia czwartego dla różnych wartości T_d

Całość

Poniżej na wykresach 1.10 oraz 1.11 znajduje się przebieg działania całego procesu (wszystkie tory aktywne, trzy sterowania w odpowiedniej kolejności i trzy wyjścia) dla nastaw wybranych w poprzednich podpunktach. Wartości błędów znajdują się w tabeli 1.8. Jak można zauważyć przebiegi nie są idealne, zwłaszcza dla toru pierwszego z którym występują znaczne odchylenia. Fakt, że nastawy należy poprawić nie był dla nas zaskoczeniem, w końcu każde sterowanie ma wpływ na każde wyjście. Po wielu próbach doszliśmy do następujących wniosków:

- włączenie któregośkolwiek członu D pogarsza regulację
- zmienianie czasu T_I członów ma bardzo mały wpływ na poprawę regulacji i często ją pogarsza
- najlepszy wpływ na regulację ma zmniejszanie wzmocnień członów

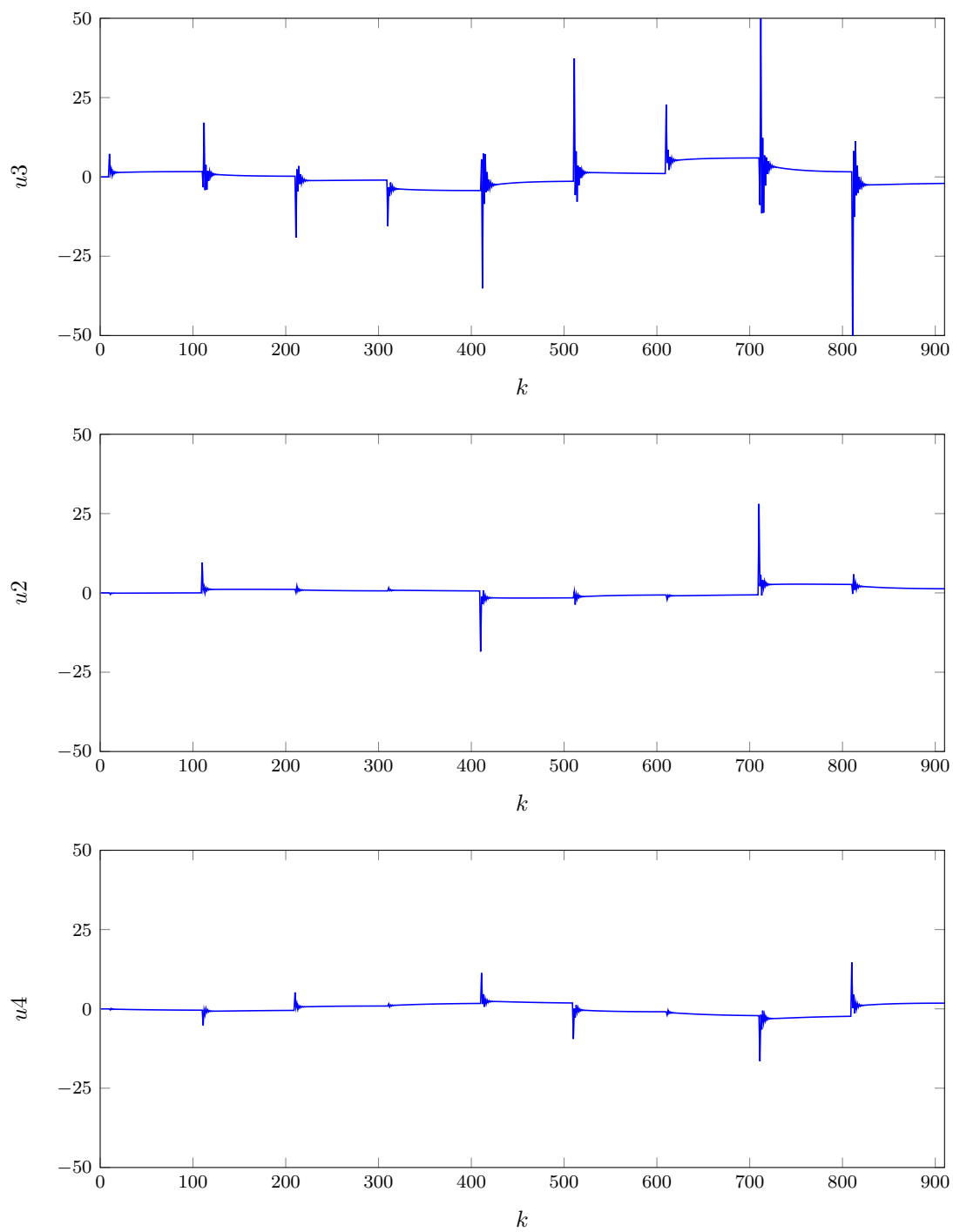
Ostatecznie zdecydowaliśmy się pozostawić wartości T_i i T_d członów niezmienione oraz zmniejszyć wzmocnienia toru drugiego i trzeciego (sterowania u_2 i u_4) trzykrotnie. Powód dla którego nie zmieniliśmy wzmocnienie pierwszego z torów wynika z tabeli wzmocnień znajdującej się na początku sekcji PID. Wyraźnie widać w niej, że u_3 ma mały wpływ na wyjścia y_2 oraz y_3 . Z drugiej strony u_2 i u_4 mają bardzo duży wpływ na y_1 . Wzmocnienia dla wszystkich torów po poprawkach przyjmują wartości $K_1 = 6,6821$, $K_2 = 4,4592$, $K_3 = 2,6147$. Poniżej w tabeli 1.9 znajdują się wyliczone nowe wartości błędów. Dużą poprawę widać zwłaszcza dla toru pierwszego. Błąd dla y_2 nieco się powiększył, ale mimo to i tak jest najmniejszy ze wszystkich. Przebiegi sterowań i wyjść dla poprawionych nastaw znajdują się na wykresach 1.12 oraz 1.13. Tu także widać ogromną poprawę przebiegu regulacji, zwłaszcza dla wyjścia pierwszego, ale nie tylko.

E	$E1$	$E2$	$E3$
284,3723	242,0791	15,0974	27,1958

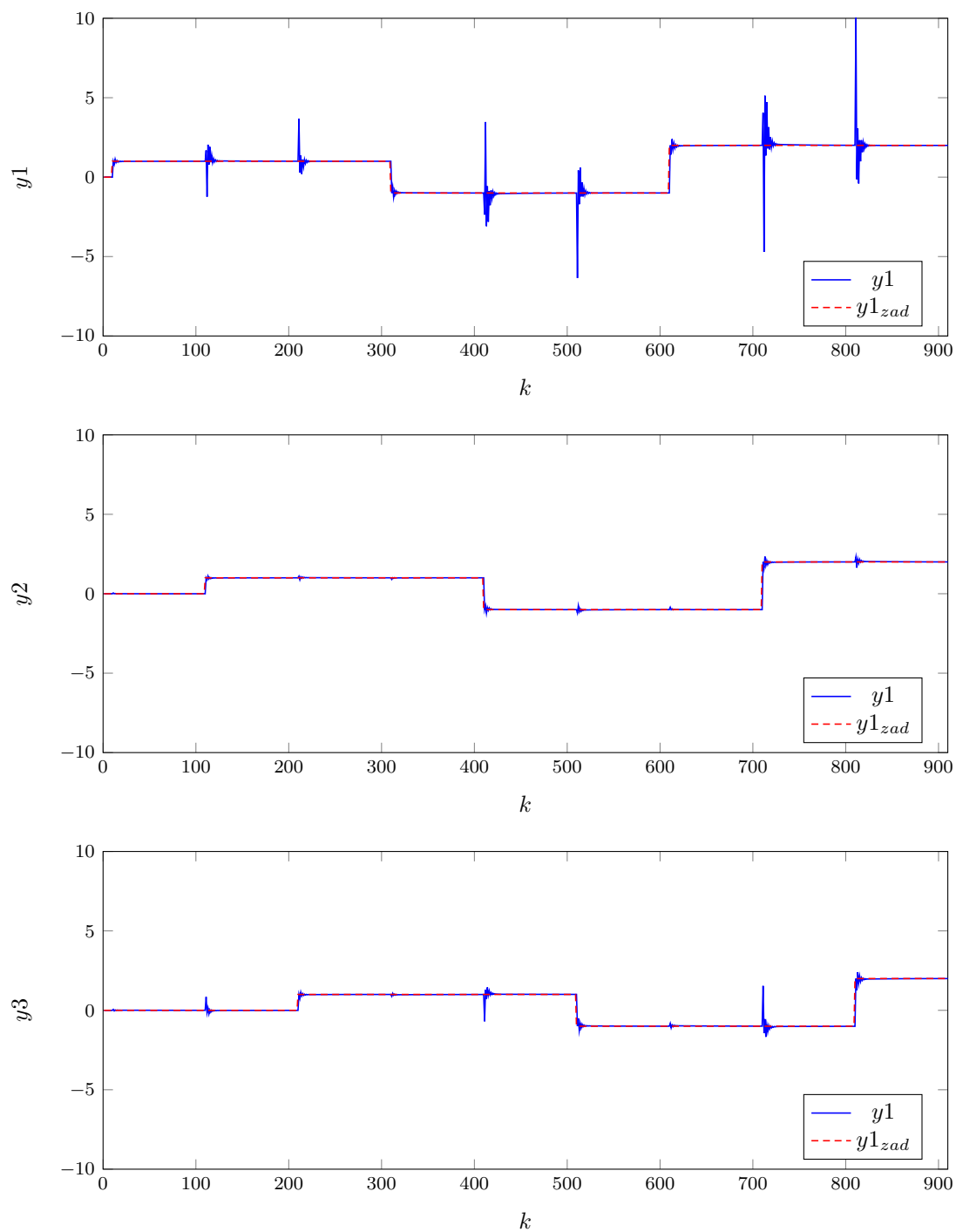
Tab. 1.8. Wartości błędów dla nastaw oryginalnych

E	$E1$	$E2$	$E3$
93,5619	47,5939	19,5724	26,3956

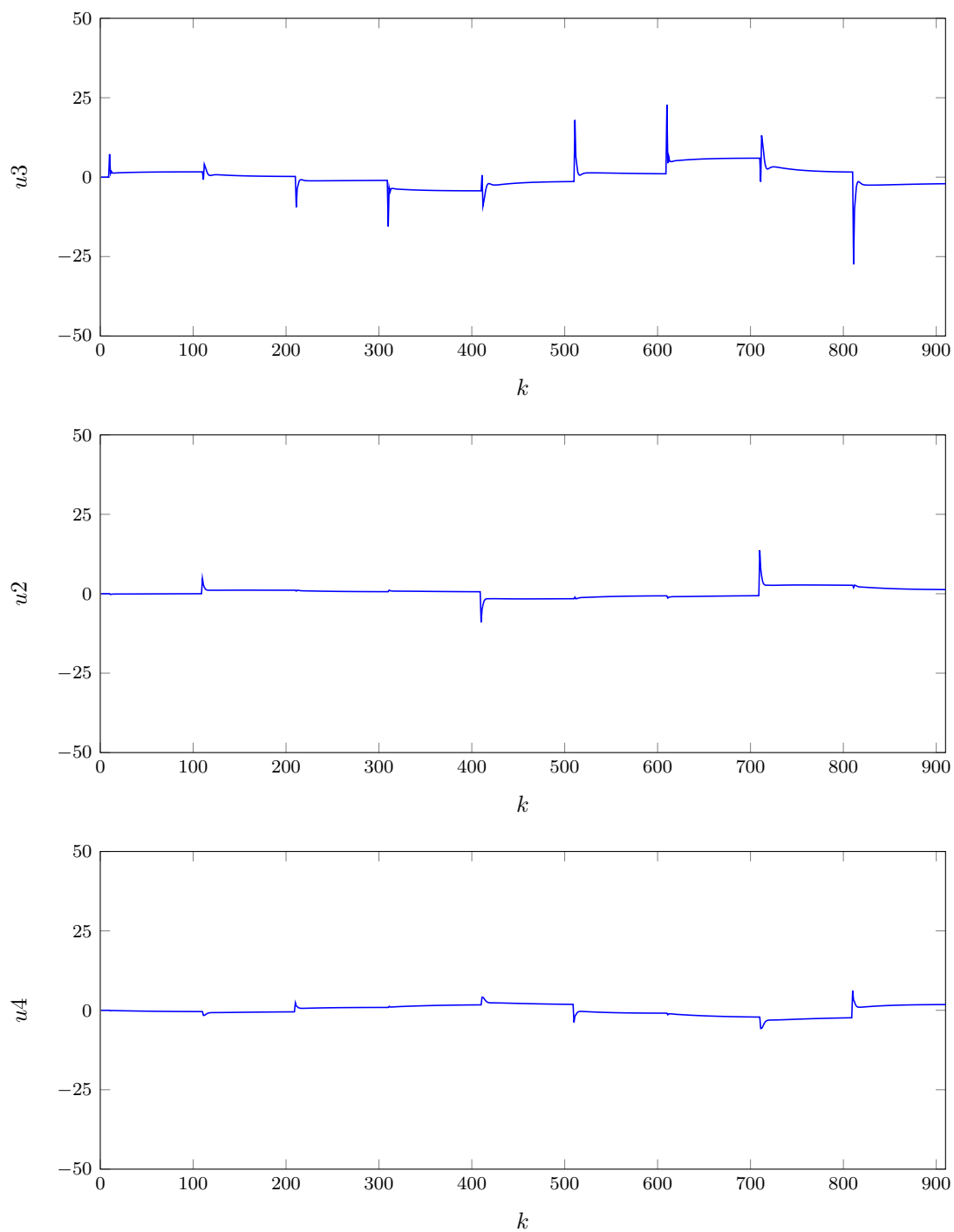
Tab. 1.9. Wartości błędów dla nastaw poprawionych



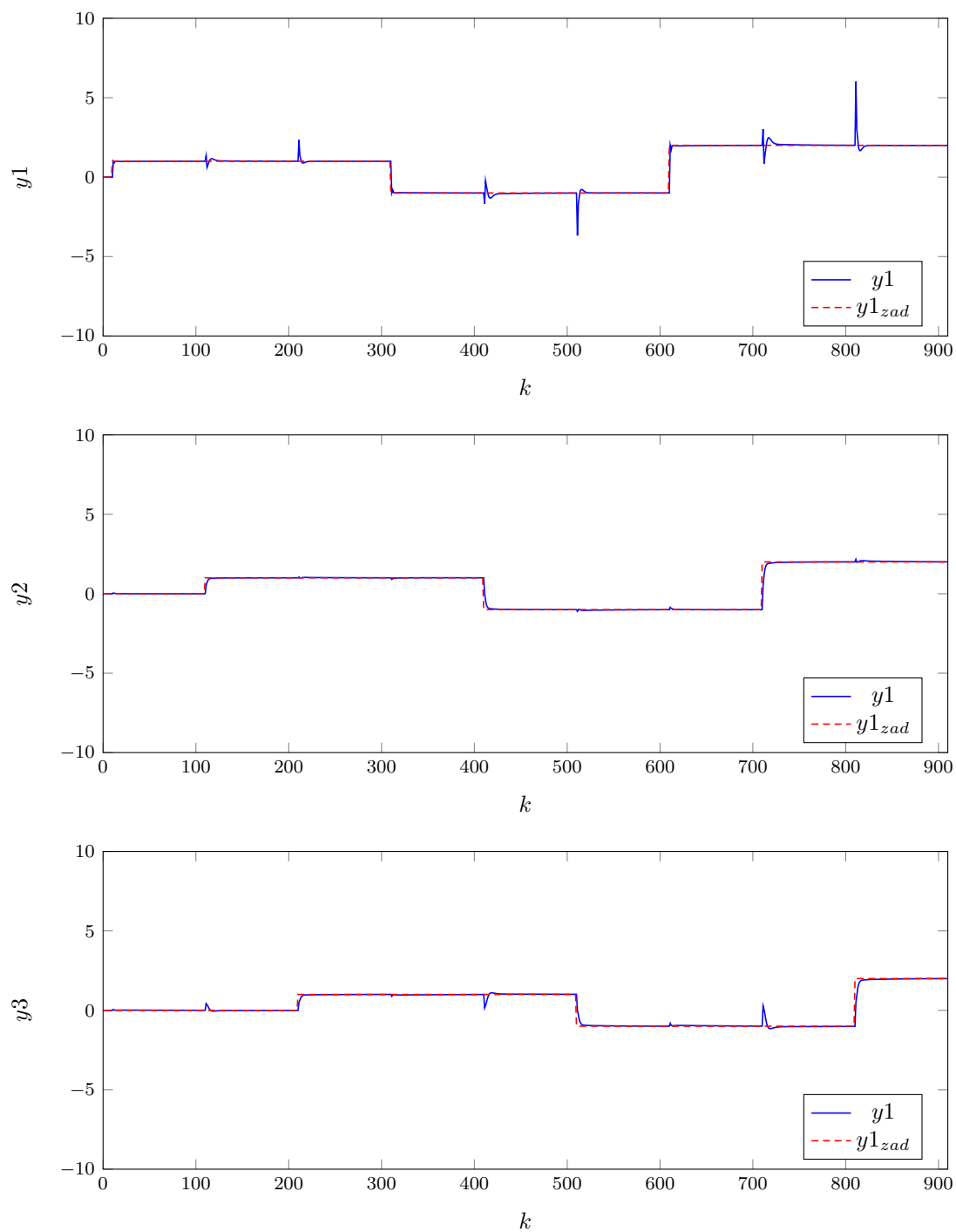
Rys. 1.10. Przebiegi sterowań dla oryginalnych nastaw



Rys. 1.11. Przebiegi wyjść dla oryginalnych nastaw



Rys. 1.12. Przebiegi sterowań dla poprawionych nastaw



Rys. 1.13. Przebiegi wyjść dla poprawionych nastaw

1.1.3. PID - konfiguracja druga

Pierwsza konfiguracja naszego PID'a zakłada, że wyjście pierwsze sterujemy wejściem trzecim, wyjście drugie wejściem pierwszym, a wyjście trzecie wejściem czwartym.

y	u
y_1	u_3
y_2	u_1
y_3	u_4

Tab. 1.10. Druga konfiguracja