

**Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych  
Politechnika Warszawska**

**Projektowanie układów sterowania  
(projekt grupowy)**

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

**Sobolewski Konrad, Różański Antoni, Giełdowski Daniel**

**Warszawa, 2017**

# Spis treści

|  |          |
|--|----------|
| <b>1. Zadanie 4: Strojenie regulatorów</b> | <b>2</b> |
| 1.1. PID                                   | 2        |
| 1.1.1. Konfiguracja                        | 2        |
| 1.1.2. PID - konfiguracja pierwsza         | 4        |

# 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  $\text{KK}_3$ ) 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  $\text{KK}_i$ .

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

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

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

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

Normalnie wybralibyśmy jedynie konfigurację uzyskaną z macierzy o najniższym wskaźniku uwarunkowania ( $\text{KK}_3$ ), 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  $\text{KK}_1$ : y1-u3 y2-u2 y3-u4
- Dla  $\text{KK}_2$ : y1-u3 y2-u1 y3-u4
- Dla  $\text{KK}_3$ : y1-u2 y2-u1 y3-u4
- Dla  $\text{KK}_4$ : 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.

| $y$   | $u$   |
|-------|-------|
| $y_1$ | $u_3$ |
| $y_2$ | $u_2$ |
| $y_3$ | $u_4$ |

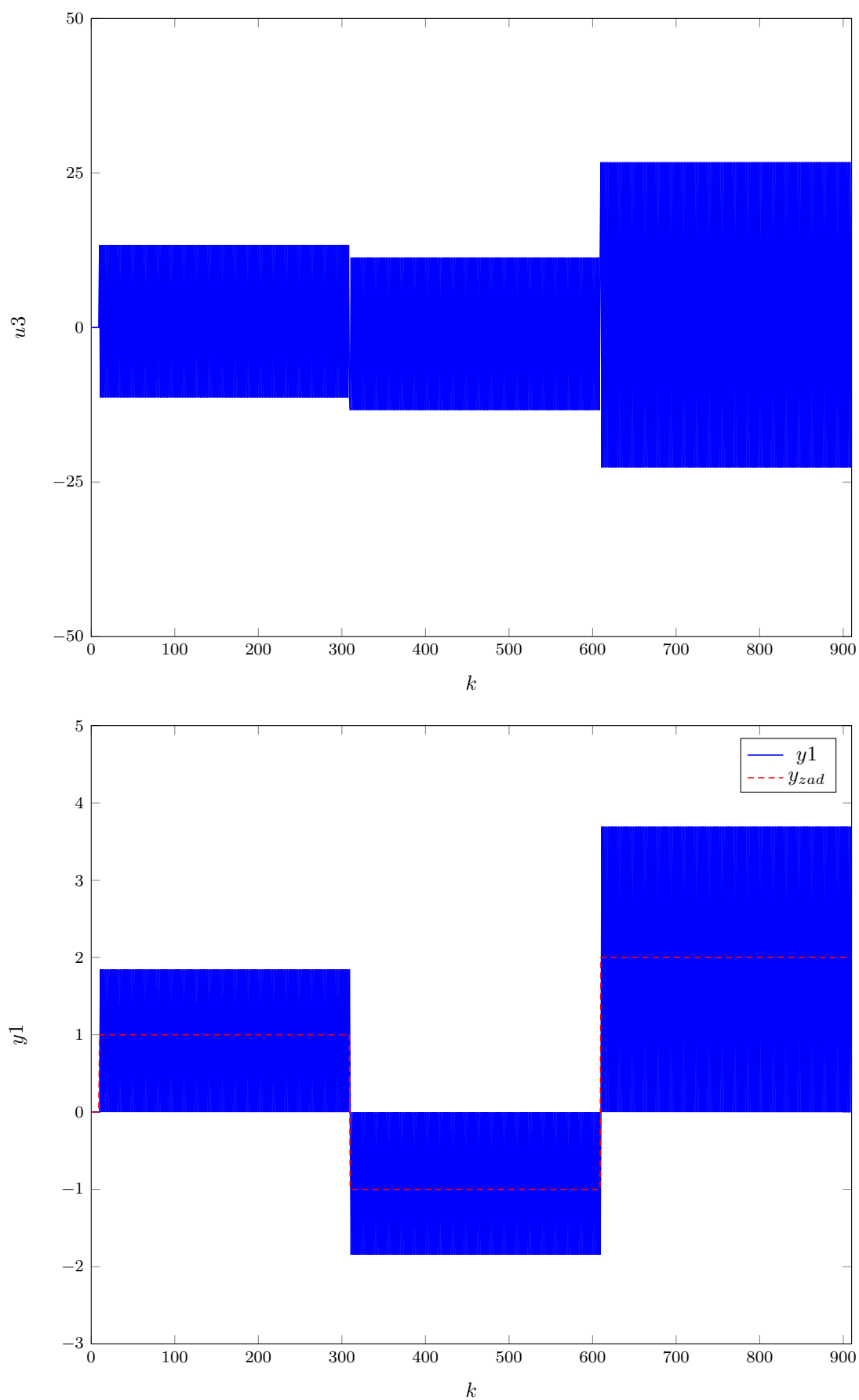
Tab. 1.1. Pierwsza konfiguracja

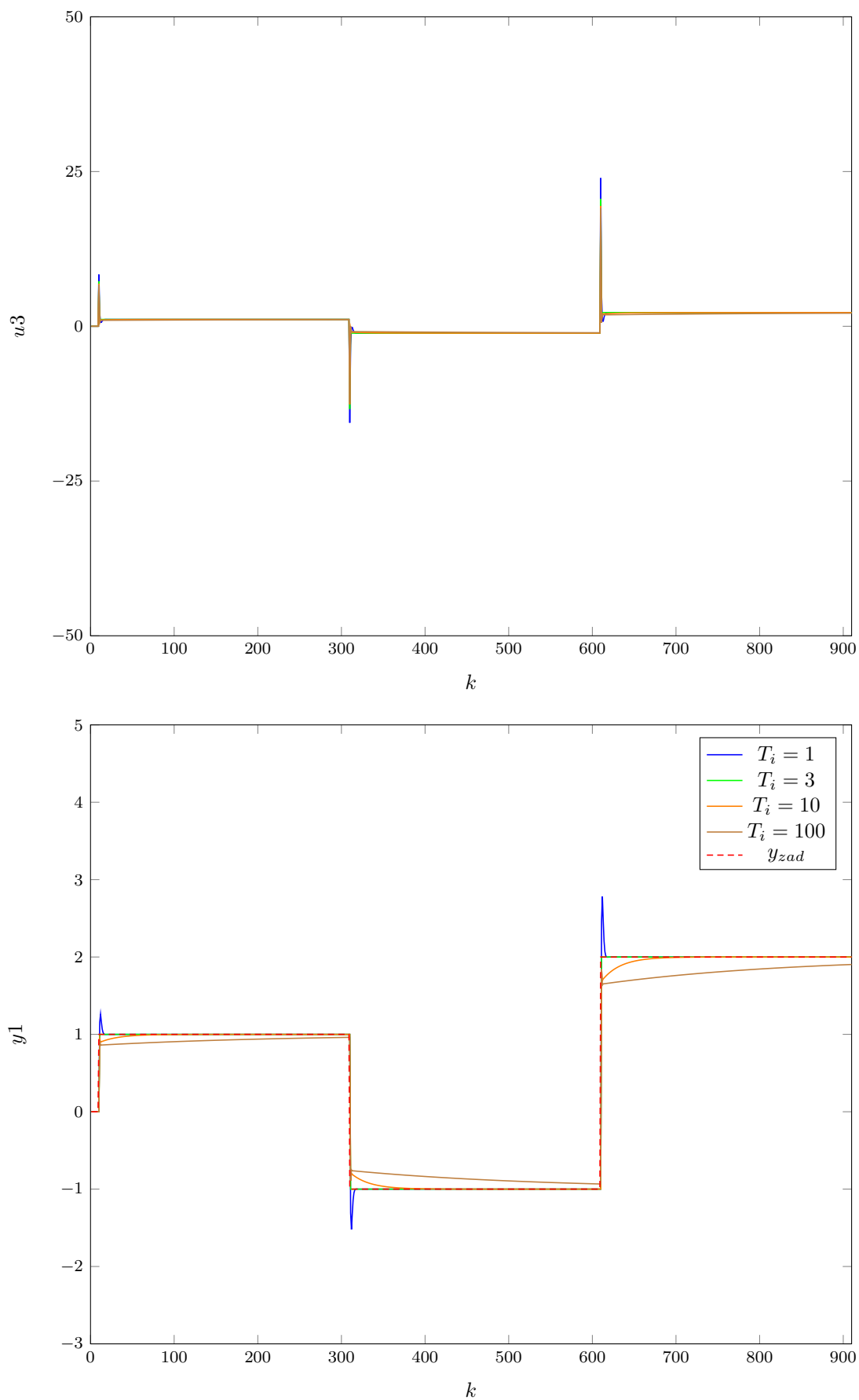
| $T_i$ | $E1$    |
|-------|---------|
| 1     | 15,7016 |
| 3     | 14,0000 |
| 10    | 15,6587 |
| 100   | 34,8237 |

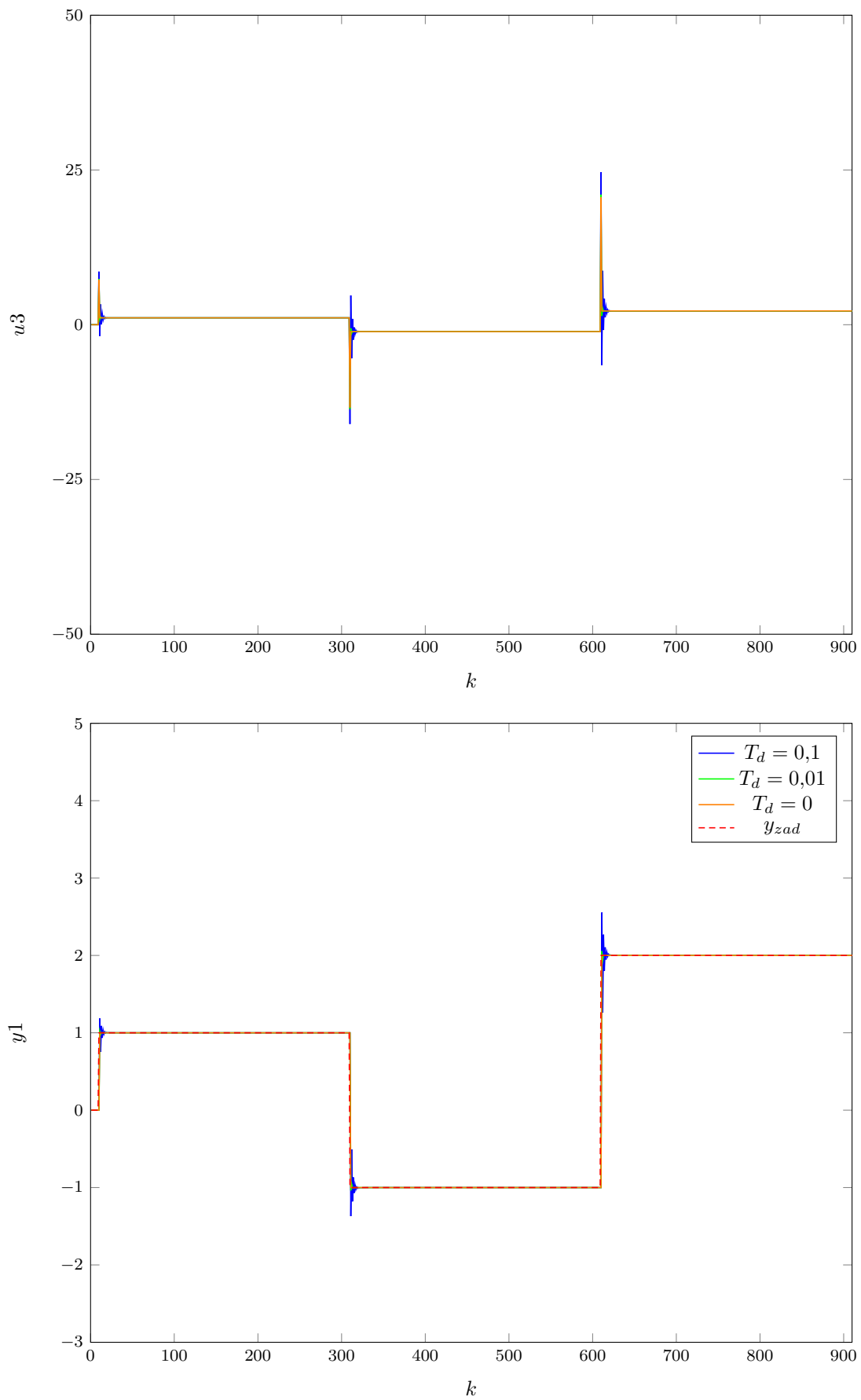
Tab. 1.2. Wartości błędu dla różnych wartości  $T_i$

| $T_i$ | $E1$    |
|-------|---------|
| 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.

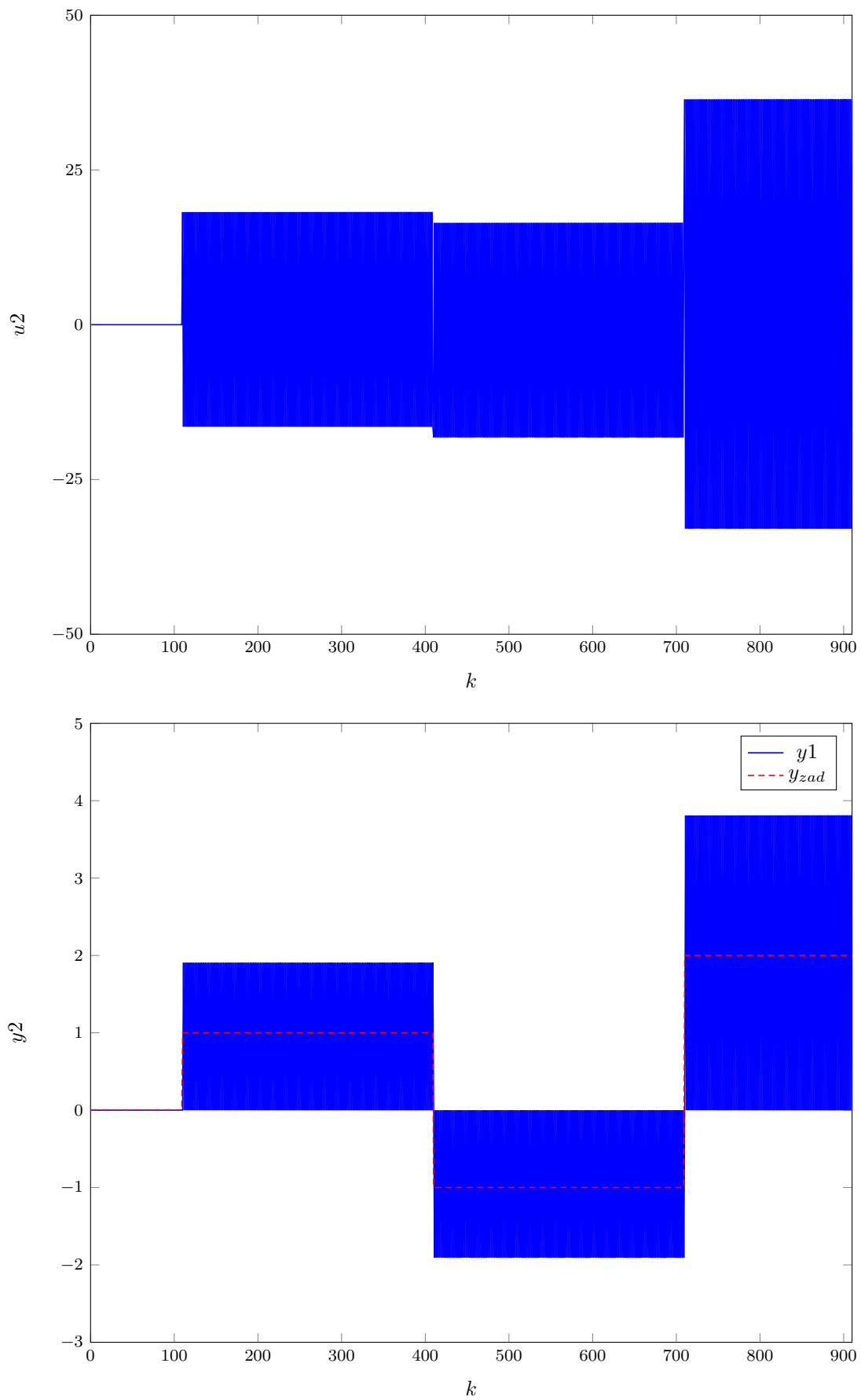
Ostatnim dobieranym parametrem był czas wyprzedzenia  $T_d$ . Niemniej okazało się, że włączenie członu różniczkowego powoduje bardziej pogorszenie przebiegu niż jego polepszenie. Z tego powodu postanowiliśmy pozostać przy wartości  $T_d = 0$ . Wartości błędów dla wybranych wartości przedstawione zostały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

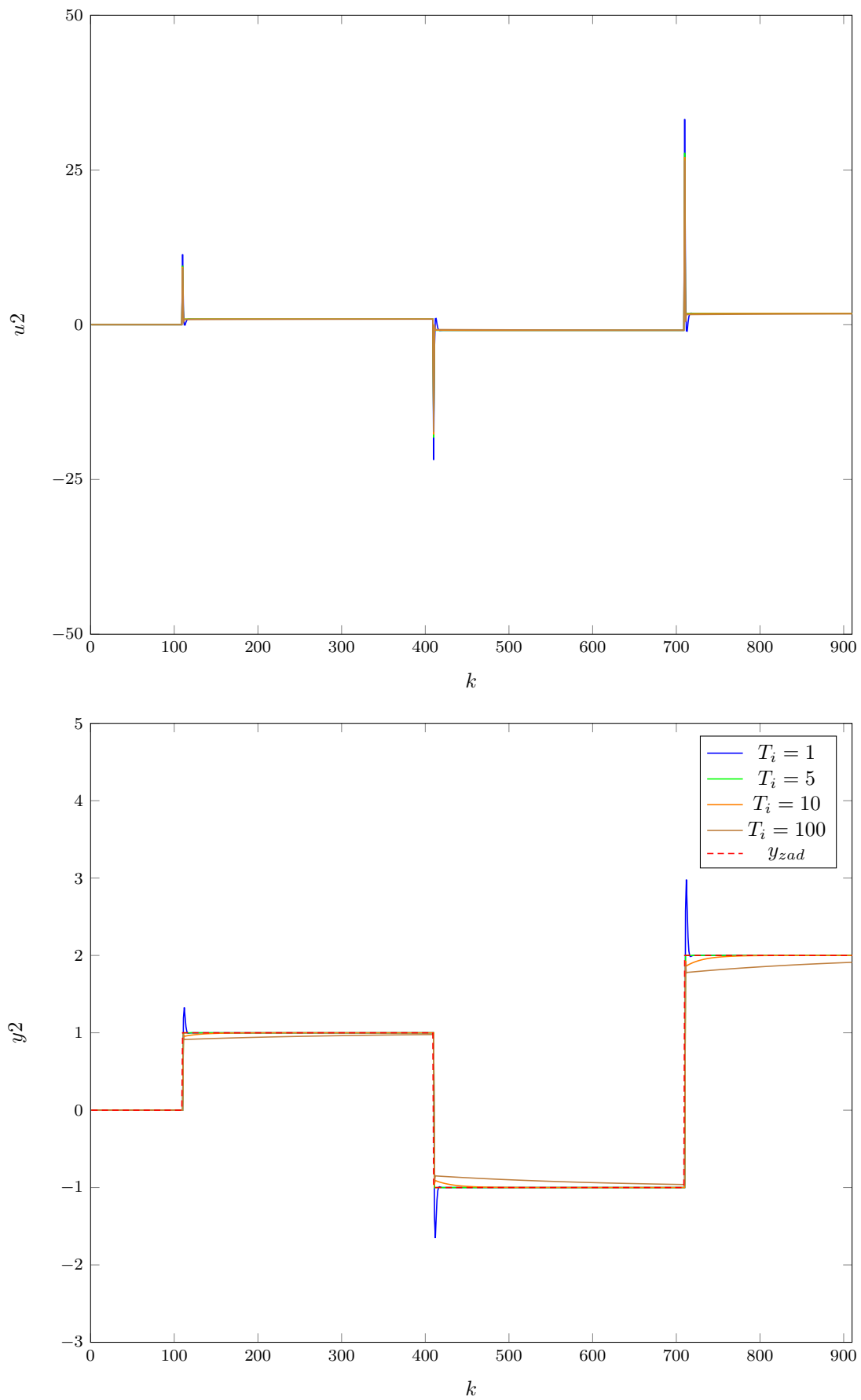
| $T_i$ | $E1$    |
|-------|---------|
| 1     | 16,6367 |
| 5     | 14,0000 |
| 10    | 14,3245 |
| 100   | 21,2770 |

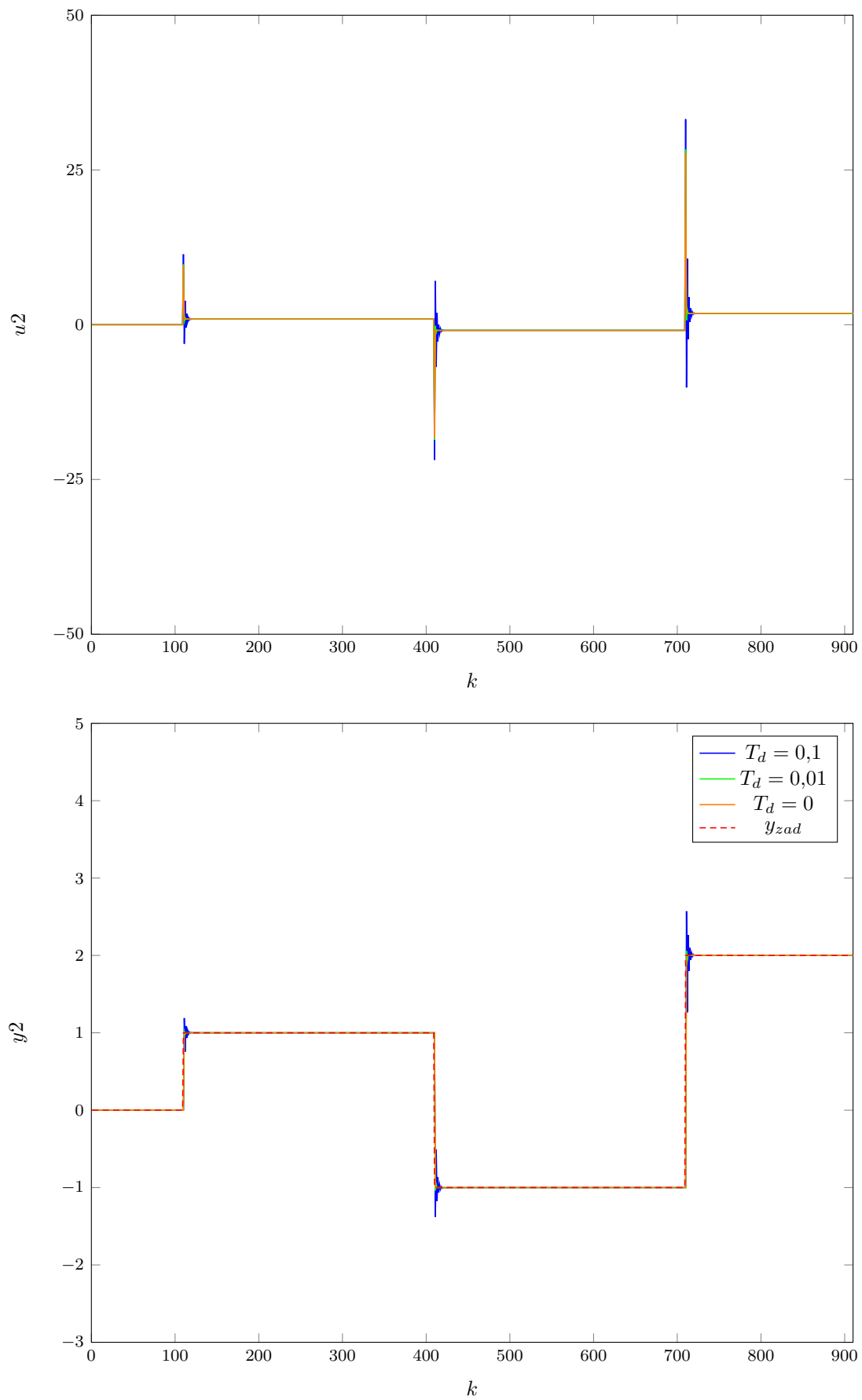
Tab. 1.4. Wartości błędu dla różnych wartości  $T_i$

| $T_i$ | $E1$    |
|-------|---------|
| 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  $T_d$