Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych
Politechnika Warszawska

Projektowanie układów sterowania
(projekt grupowy)

Sprawozdanie z projektu nr 3, zadanie nr 3

Sobolewski Konrad, Różański Antoni, Giełdowski Daniel

Warszawa, 2017

Spis treści

1. Opis obiektu

Obiekt dwuwymiarowy używany w projekcie opisany jest danymi przez prowadzącego funkcjami:

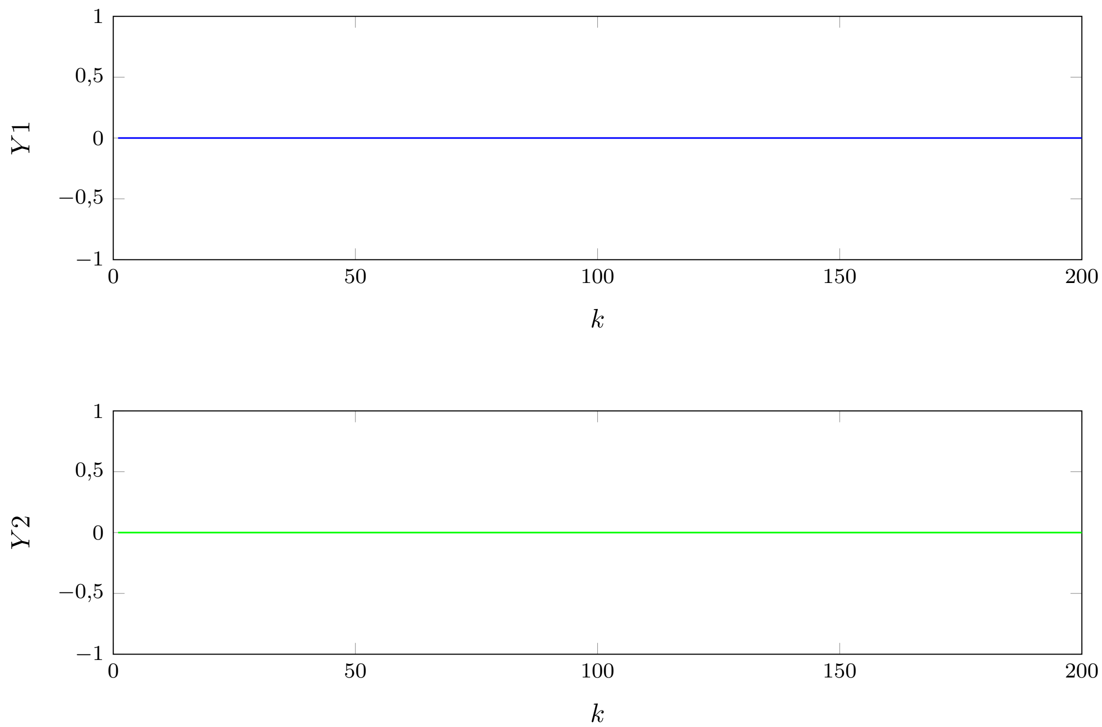
$$Y1(k) = symulacja\_obiektu3y1(U1(k-5), U1(k-6), U2(k-2), U2(k-3), Y1(k-1), Y1(k-2)) \tag{1.1}$$

$$Y2(k) = symulacja\_obiektu3y2(U1(k-6), U1(k-7), U2(k-4), U2(k-5), Y2(k-1), Y2(k-2)) \tag{1.2}$$

gdzie k jest aktualną chwilą symulacji sygnału próbkowanego. Wartość sygnałów w punkcie pracy (w stanie ustalonym) mają wartość $u = y = z = 0$. Okres próbkowania obiektu wynosi $T_p = 0,5s$.

2. Zadanie 1: Punkt pracy

Pierwszym poleceniem było zweryfikowanie poprawności punktu pracy obiektu. Udało się to osiągnąć za pomocą prostego sprawdzenia, przy jakiej wartości wyjścia stabilizuje się obiekt przy stałych sterowaniach, równym ich wartościom w punkcie pracy ($U1_{pp} = 0$, $U2_{pp} = 0$). Eksperyment potwierdził wcześniej podaną wartość wyjścia ($Y_{pp} = 0$), a jego przebieg obrazuje wykres rys.2.1.

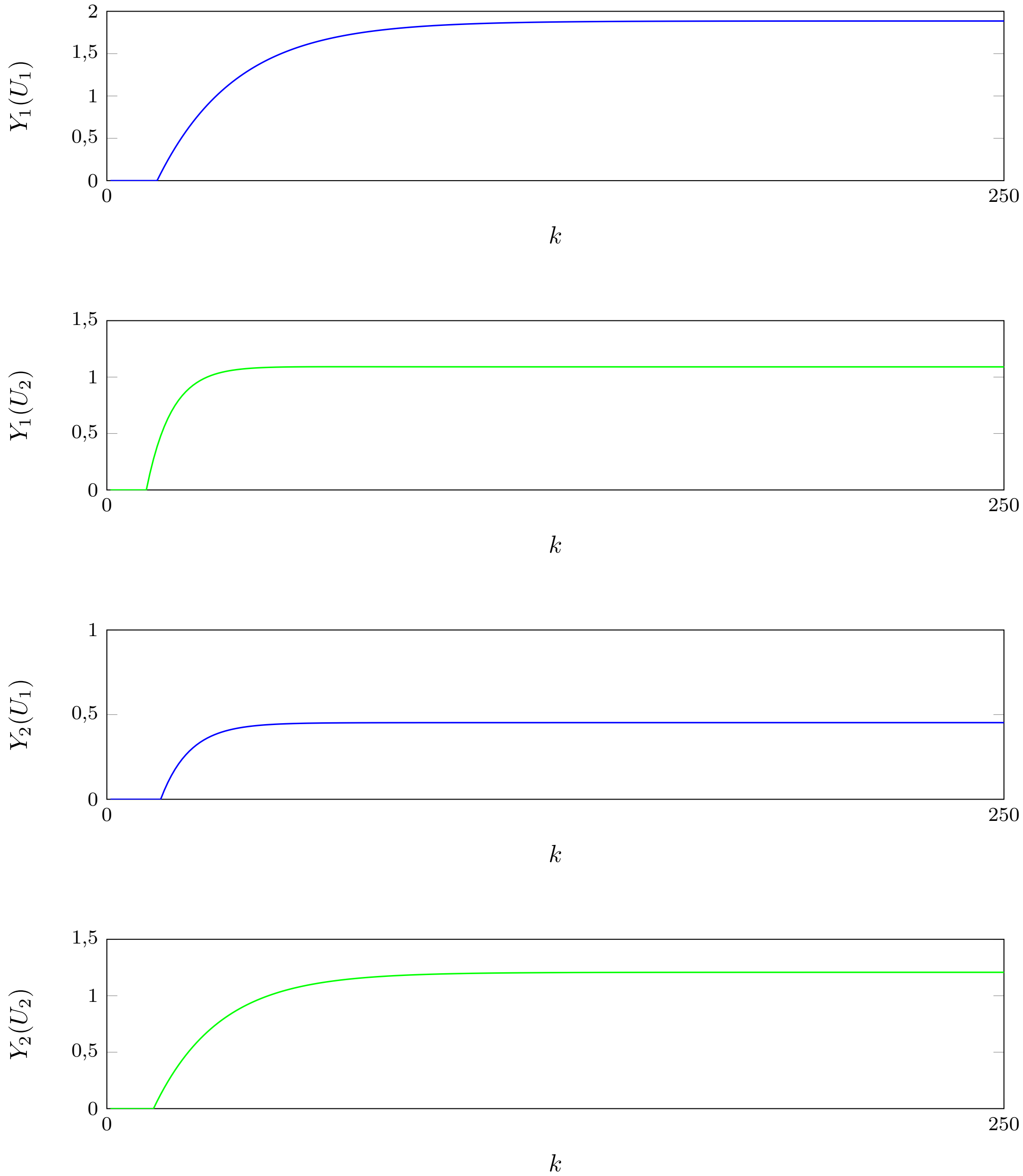


Rys. 2.1. Zachowanie obiektu w punkcie pracy

3. Zadanie 2: Odpowiedzi skokowe

3.1. Odpowiedzi skokowe

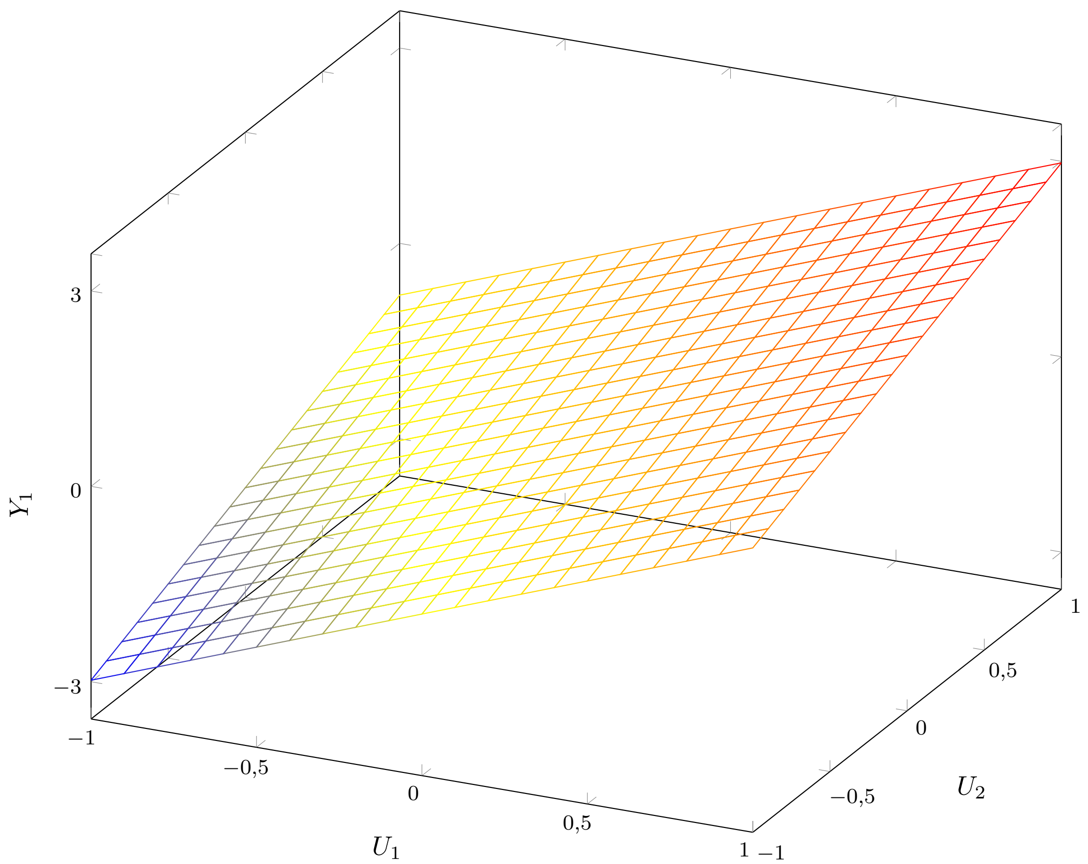
W tej części projektu należało wyznaczyć symulacyjnie odpowiedzi skokowe dla wszystkich czterech torów rys. 3.1. Eksperyment zakładał, iż obiekt będzie na początku w punkcie pracy, a następnie w chwili $k = 10$ zostanie wykonany skok jednostkowy.



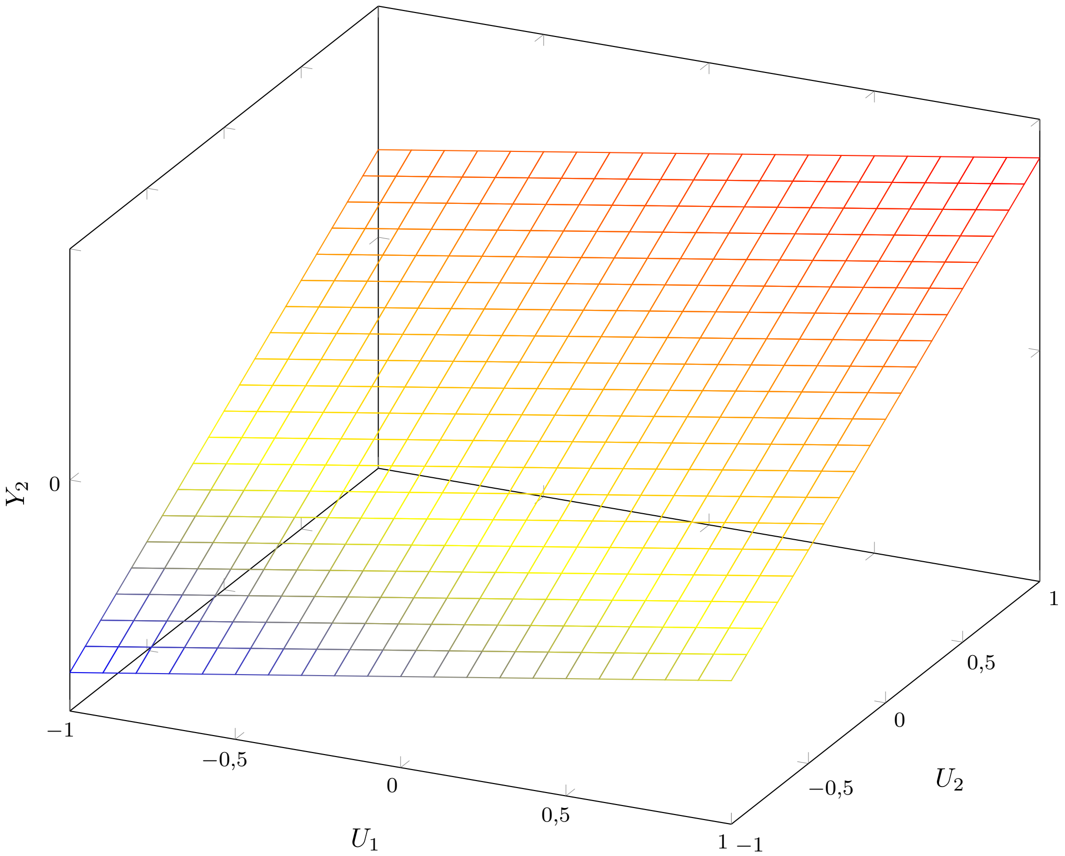
Rys. 3.1. Odpowiedzi skokowe

3.2. Charakterystyka statyczna

Poniżej została zaprezentowana charakterystyka statyczna dla procesu $y_1(u_1, u_2)$ rys. 3.2 oraz $y_2(u_1, u_2)$ rys. 3.3. Na podstawie zawartych wykresów można wywnioskować, iż właściwości statyczne procesu są liniowe. Wzmocnienia statyczne są równe wartościom końcowych odpowiedzi skokowych i wynoszą :
— Tor $Y_1(U_1) = 1,8857$
— Tor $Y_1(U_2) = 0,4258$
— Tor $Y_2(U_1) = 1,0905$
— Tor $Y_2(U_2) = 1,2076$



Rys. 3.2. $y_1(u_1, u_2)$

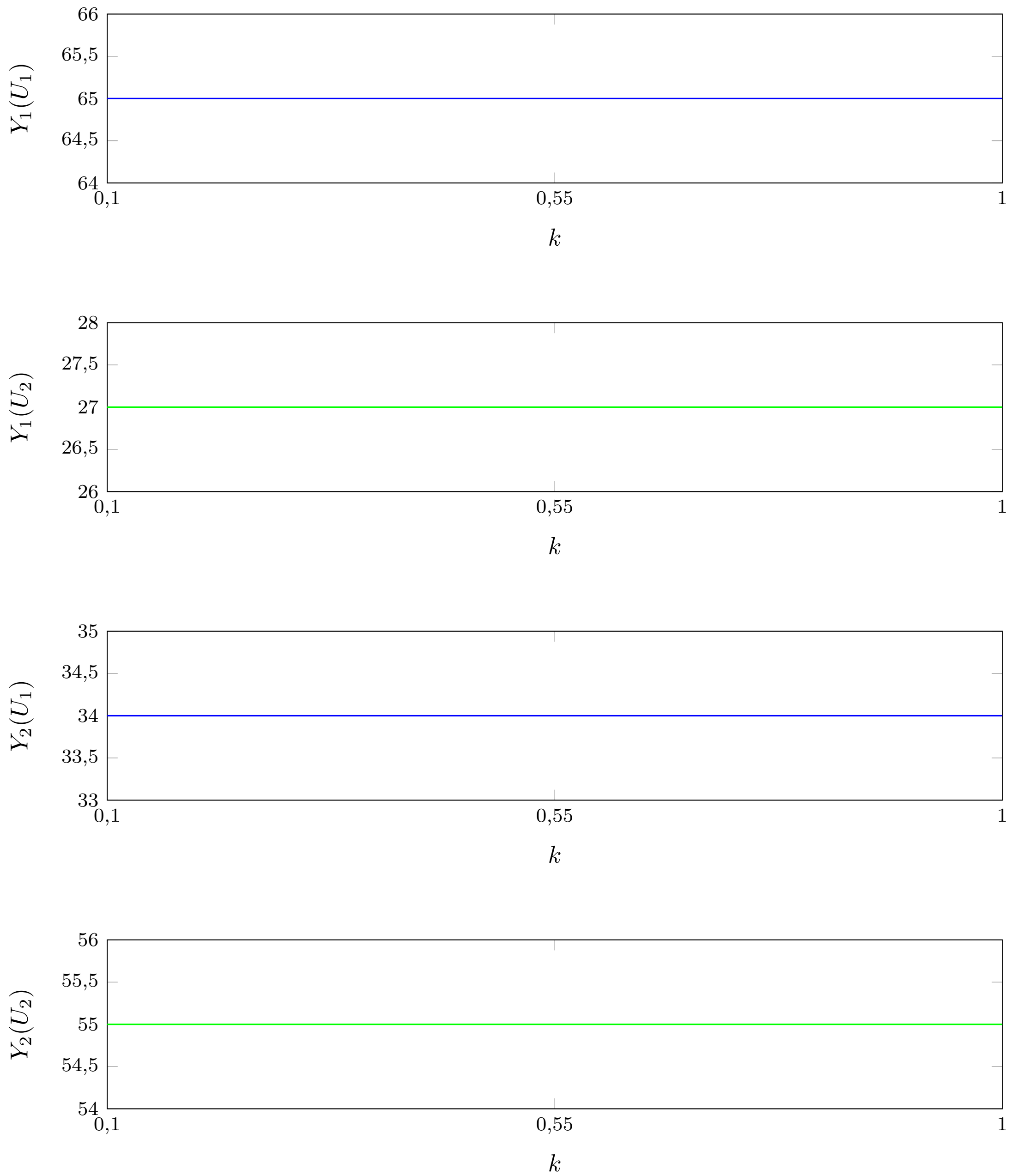


Rys. 3.3. $y_2(u_1, u_2)$

3.3. Charakterystyka dynamiczna

Charakterystyka dynamiczna została wyznaczona zależnie od wielkości skoku sterowania. Zmierzone zostało po ilu krokach od momentu skoku różnica wartości wyjść obiektu i Y_{pp} wynosiła powyżej 90% całkowitego skoku wartości $Y(k)$ wyjść obiektu. Z otrzymanych danych wynika rys. 3.4, iż charakterystyka dynamiczna jest liniowa, gdzie ilość kroków była następująca :

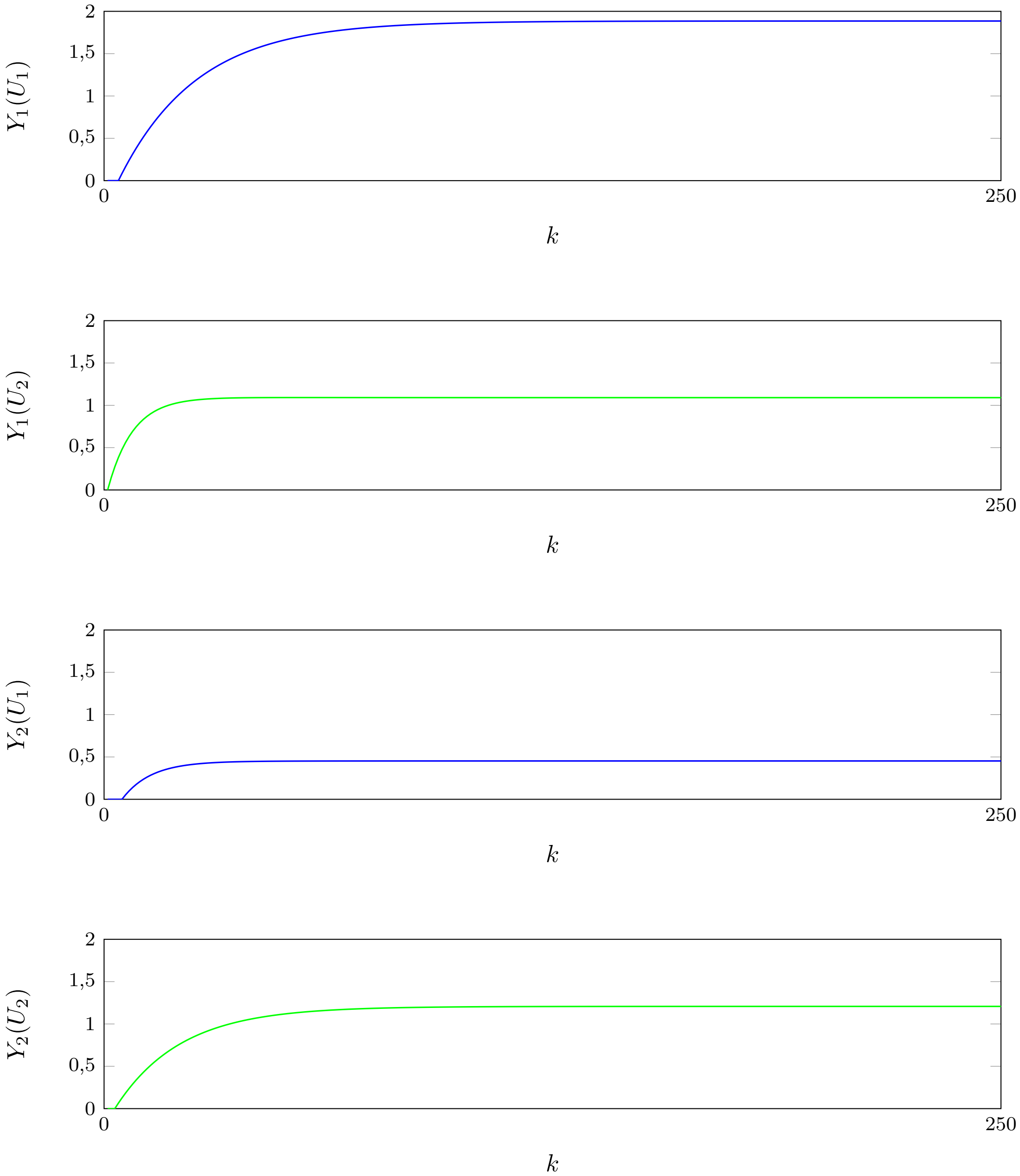
— Tor $Y_1(U_1) = 65$ kroków,
— Tor $Y_1(U_2) = 27$ kroków,
— Tor $Y_2(U_1) = 34$ kroków,
— Tor $Y_2(U_2) = 55$ kroków.



Rys. 3.4. Charakterystyka dynamiczna

4. Zadanie 3: Znormalizowane odpowiedzi skokowe

Przedstawione odpowiedzi skokowe na rys. 4.1 zostały wykonane przez wykonanie skoków jednostkowych na wszystkich torach oraz obcięcie pierwszych 10 próbek, gdyż zmiana sterowania odbywała się we wspomnianym kroku. Z tego wynika, iż wykresy startują od chwili $k = 11$.



Rys. 4.1. Znormalizowane odpowiedzi skokowe

5. Zadanie 4: Algorytmy PID i DMC

5.1. Cyfrowy algorytm PID

W projekcie został wykorzystany regulator cyfrowy PID, którego parametry są opisane poniższymi wzorami, gdzie K - wzmocnienie członu P , T_p - czas próbkowania, T_i - czas zdwojenia członu całkującego I, T_d - czas wyprzedzenia członu różniczkującego D , n_u - ilość sterowań , n_y - ilość wyjść.

$$r_0{}^j = K^j * (1 + T_p/(2 * T_i^j) + T_d{}^j/T_p) \quad \forall j \in < 1, n_u > \tag{5.1}$$

$$r_1{}^j = K^j * (T_p/(2 * T_i^j) - 2 * T_d{}^j/T_p - 1) \quad \forall j \in < 1, n_u > \tag{5.2}$$

$$r_2{}^j = K * T_d{}^j/T_p \quad \forall j \in < 1, n_u > \tag{5.3}$$

W każdej iteracji pętli sterowania są obliczane uchyby wyjść obiektu.

$$e(k)^j = Y^{\text{zad}}(k)^j - Y(k)^j \quad \forall j \in < 1, n_y > \tag{5.4}$$

Sterowania regulatora zostają wyliczone na bieżącą chwile przy użyciu wzoru:

$$U(k)^j = r_2{}^j * e(k-2)^i + r_1{}^j * e(k-1)^i + r_0{}^j * e(k)^i + U(k-1)^j \quad gdzie \quad j \in < 1, n_u >, \quad i \in < 1, n_y > \tag{5.5}$$

5.2. Analityczny algorytm DMC

Do obliczeń wykorzystujemy następujące wzory:

$$\boldsymbol{y}^{\text{zad}}(k) = \begin{bmatrix} y_1^{\text{zad}}(k) \\ \vdots \\ y_{ny}^{\text{zad}}(k) \end{bmatrix}_{\mathrm{n_y x1}} \tag{5.6}$$

$$\boldsymbol{y}(k) = \begin{bmatrix} y_1(k) \\ \vdots \\ y_{ny}(k) \end{bmatrix}_{\mathrm{n_y x1}} \tag{5.7}$$

$$\boldsymbol{u}(k) = \begin{bmatrix} u_1(k) \\ \vdots \\ u_{n_u}(k) \end{bmatrix}_{\mathrm{n_u x1}} \tag{5.8}$$

$$\triangle\boldsymbol{u}(k) = \begin{bmatrix} \triangle u_1(k) \\ \vdots \\ \triangle u_{n_u}(k) \end{bmatrix}_{\mathrm{n_u x1}} \tag{5.9}$$

$$\boldsymbol{Y}^{\mathrm{zad}}(k) = \begin{bmatrix} y^{\mathrm{zad}}(k|k) \\ \vdots \\ y^{\mathrm{zad}}(k|k) \end{bmatrix}_{\mathrm{N*n_y x1}} \tag{5.10}$$

$$\triangle\boldsymbol{U}(k) = \begin{bmatrix} \triangle u_1(k|k) \\ \vdots \\ \triangle u_{n_u}(k+N_u-1|k) \end{bmatrix}_{\mathrm{N*n_y x1}} \tag{5.11}$$

$$\triangle\boldsymbol{U}^{\boldsymbol{P}}(k) = \begin{bmatrix} \triangle u(k-1) \\ \vdots \\ \triangle u(k-(D-1)) \end{bmatrix}_{\mathrm{(D-1)*n_u x1}} \tag{5.12}$$

$$\boldsymbol{S_l} = \begin{bmatrix} s_l^{11} & s_l^{12} & \dots & s_l^{1n_u} \\ s_l^{21} & s_l^{22} & \dots & s_l^{2n_u} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_l^{n_y1} & s_l^{n_y2} & \dots & s_l^{n_yn_u} \end{bmatrix}_{\mathrm{n_y x n_u}} \quad , l = 1, ..., D. \tag{5.13}$$

$$\boldsymbol{M} = \begin{bmatrix} S_1 & 0 & \dots & 0 \\ S_2 & S_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_N & S_{N-1} & \dots & S_{N-N_\mathrm{u}+1} \end{bmatrix}_{\mathrm{(N*n_y)x(N_u*n_u)}} \tag{5.14}$$

$$\boldsymbol{M^P} = \begin{bmatrix} S_2 - S_1 & S_3 - S_2 & \dots & S_D - S_{D-1} \\ S_3 - S_1 & S_4 - S_2 & \dots & S_{D+1} - S_{D-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{N+1} - S_1 & S_{N+2} - S_2 & \dots & S_{N+D-1} - S_{D-1} \end{bmatrix}_{\mathrm{(N*n_y)x((D-1)*n_u)}} \tag{5.15}$$

$$Y^0(k) = Y(k) + M^P \triangle U^P(k) \tag{5.16}$$

$$K = (M^T M + \lambda * I)^{-1} M^T \tag{5.17}$$

$$\triangle U(k) = K(Y^{zad}(k) - Y^0(k)) \tag{5.18}$$

W naszej regulacji potrzebujemy wyznaczyć tylko pierwszy element macierzy $\triangle U(k)$ czyli $\triangle u(k|k)$. W tym celu rozwijamy wzór do postaci:

$$\triangle u(k|k) = k_e e(k) - k_u \triangle\boldsymbol{U}^P \tag{5.19}$$

gdzie:

$$e(k) = y^{zad}(k) - y(k) \tag{5.20}$$

Ponieważ nasze $n_u = 2$ i $n_y = 2$ to:

$$\boldsymbol{k_e} = \begin{bmatrix} k_e^1 & k_e^2 \\ k_e^3 & k_e^4 \end{bmatrix} \tag{5.21}$$

Dla nieparzystych j k_e^j to suma nieparzystych elementów (j+1)/2-tego wiersza macierzy K. Dla parzystych j k_e^j to suma parzystych elementów j/2-tego wiersza macierzy K.

$$k_u = kM^P \tag{5.22}$$

k to oznaczenie macierzy będącej n_u początkowymi wierszami macierzy K (u nas 2 pierwsze wiersze). Aktualne sterowanie otrzymujemy poprzez zsumowanie poprzedniego sterowania i aktualnie wyliczonego $\triangle u(k|k)$.

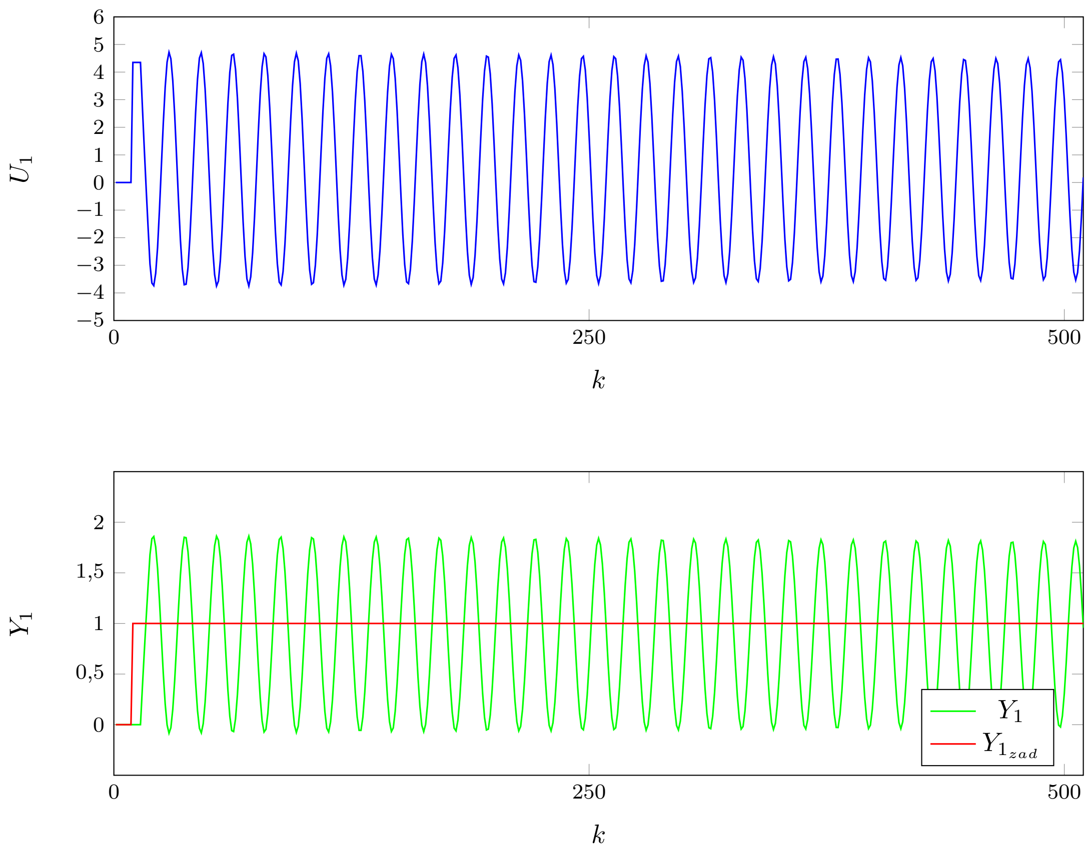
6. Zadanie 5: Strojenie regulatora PID i DMC

6.1. Regulator PID

6.1.1. Wariant pierwszy

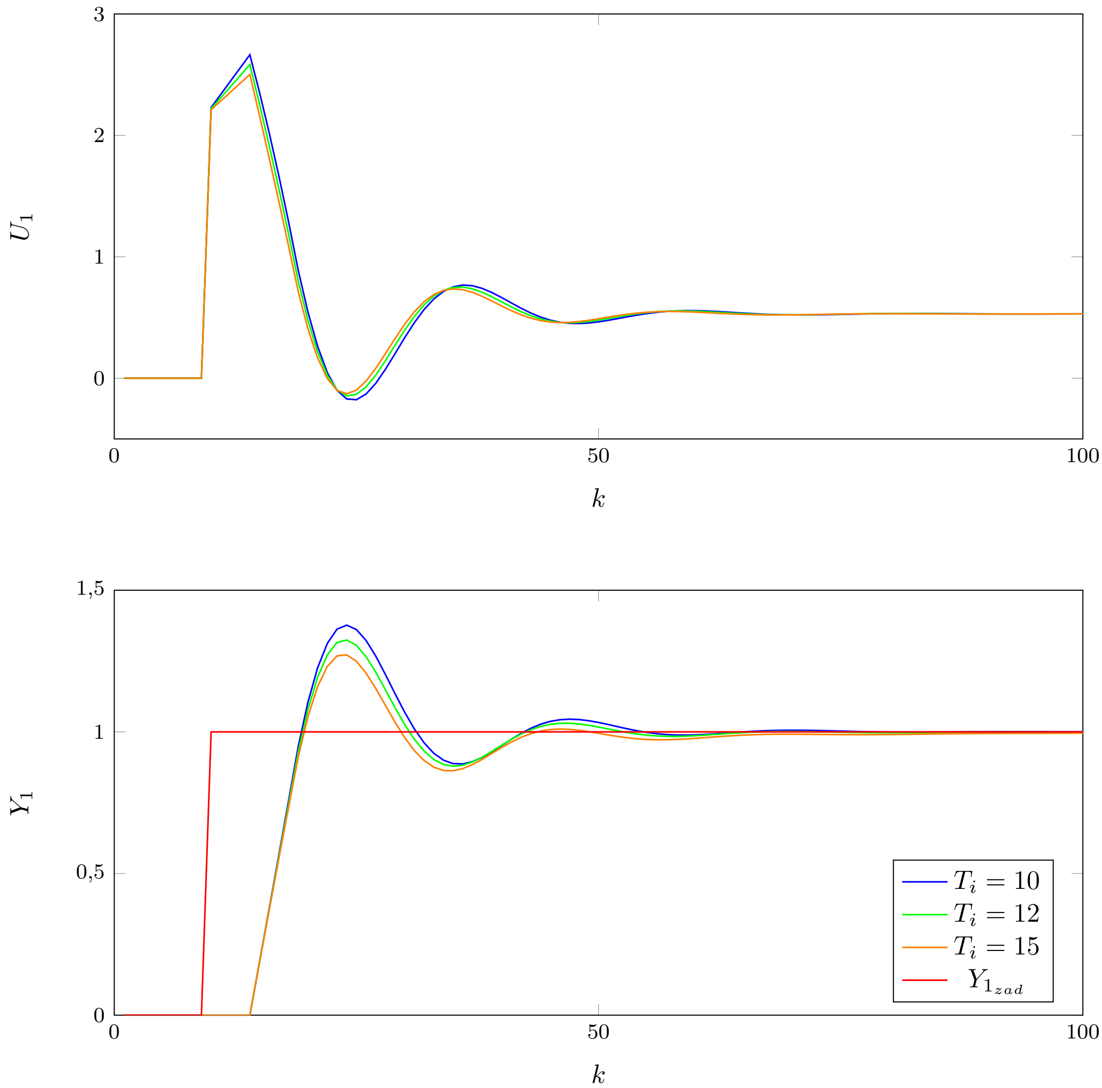
Pierwszy wariant obejmuje oddziaływanie uchybu pierwszego wyjścia na pierwszy sygnał sterujący, drugiego wyjścia na na drugi sygnał sterujący.
Pierwszym krokiem strojenia regulatora jest wyłączenie drugiego wyjścia obiektu, a następnie dobranie parametrów regulatora wyłącznie dla pierwszego wyjścia. Po uzyskaniu zadawalających wyników analogicznie postępuje z wyjściem drugim. Po dostrojeniu obu torów uruchamiamy cały regulator i dokonujemy ewentualnych poprawek nastaw dla poprawy przebiegów. W trakcie strojenia obu wyjść została wykorzystana metoda inżynierska.

Rozpoczęcie strojenia toru pierwszego wyjścia rozpoczęliśmy od wprowadzenia regulatora P_1 w nieskończone oscylacje rys. 6.1. Efekt ten został uzyskany dla wzmocnienia o wartości $K_{k_1} = 4,35$.



Rys. 6.1. Regulator P_1 ze stałymi oscylacjami

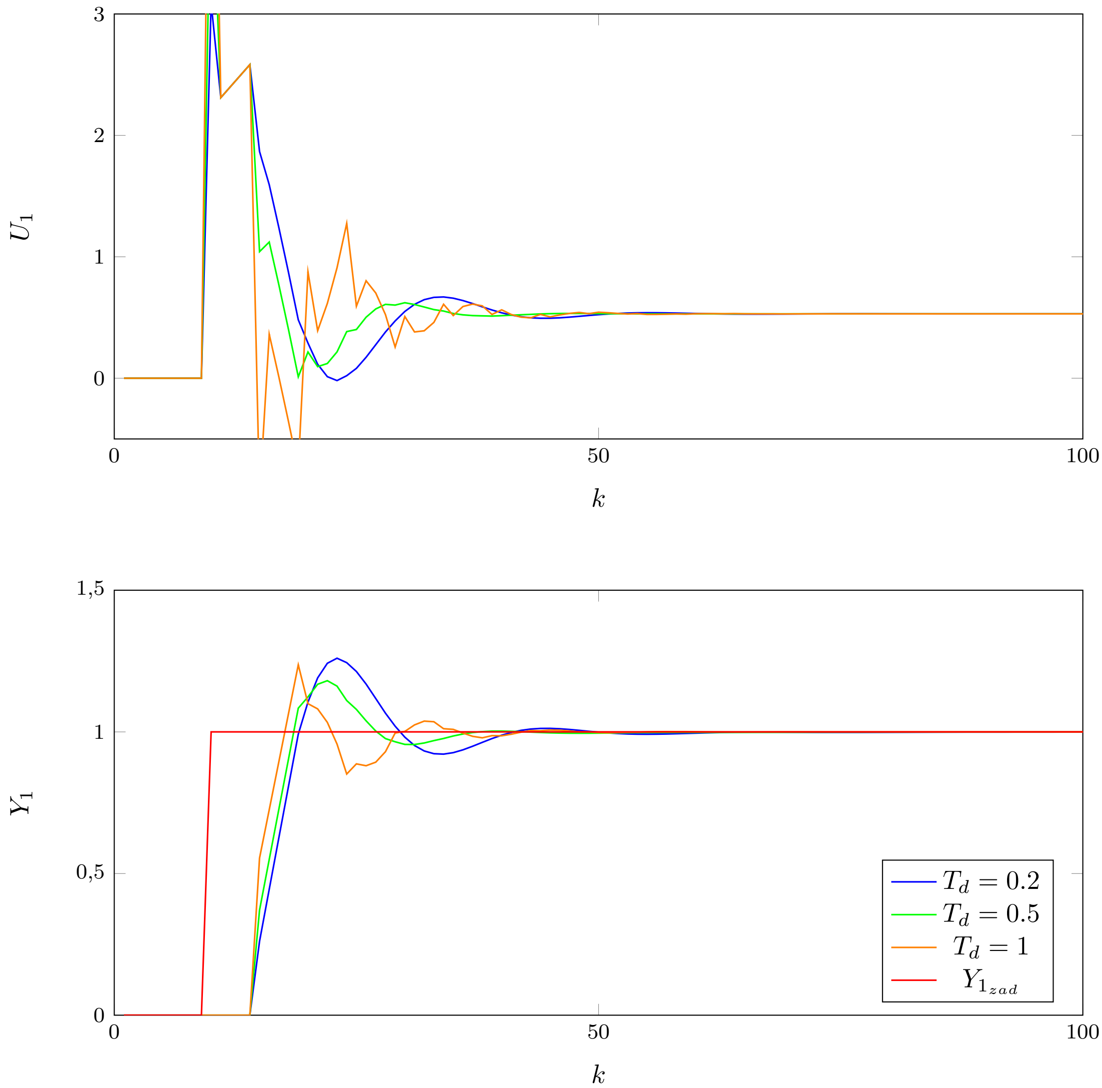
W następnym kroku przeprowadziliśmy dobranie parametrów regulatora PI_1 rys. 6.2. Przy wzmocnieniu $K_1 = 0,5K_{k_1}$ przeprowadziliśmy szereg testów i z pośród zilustrowanych wartości wybraliśmy $T_{i_1} = 12$ jako najlepszy wynik. Można zauważyć, iż przebieg wyjścia dla wspomnianego parametru charakteryzuje się najlepszym czasem regulacji przy stosunkowo niskim przeregulowaniu. Biorąc pod uwagę wartość błędów :
— $T_i = 10 = 168,88$,
— $T_i = 12 = 168,41$,
— $T_i = 15 = 167,98$,
zauważamy, że różnice między nimi są bardzo małe. Z tego powodu głównym aspektem wyboru była ocena jakościowa przebiegu.



Rys. 6.2. Strojenie regulatora PI_1

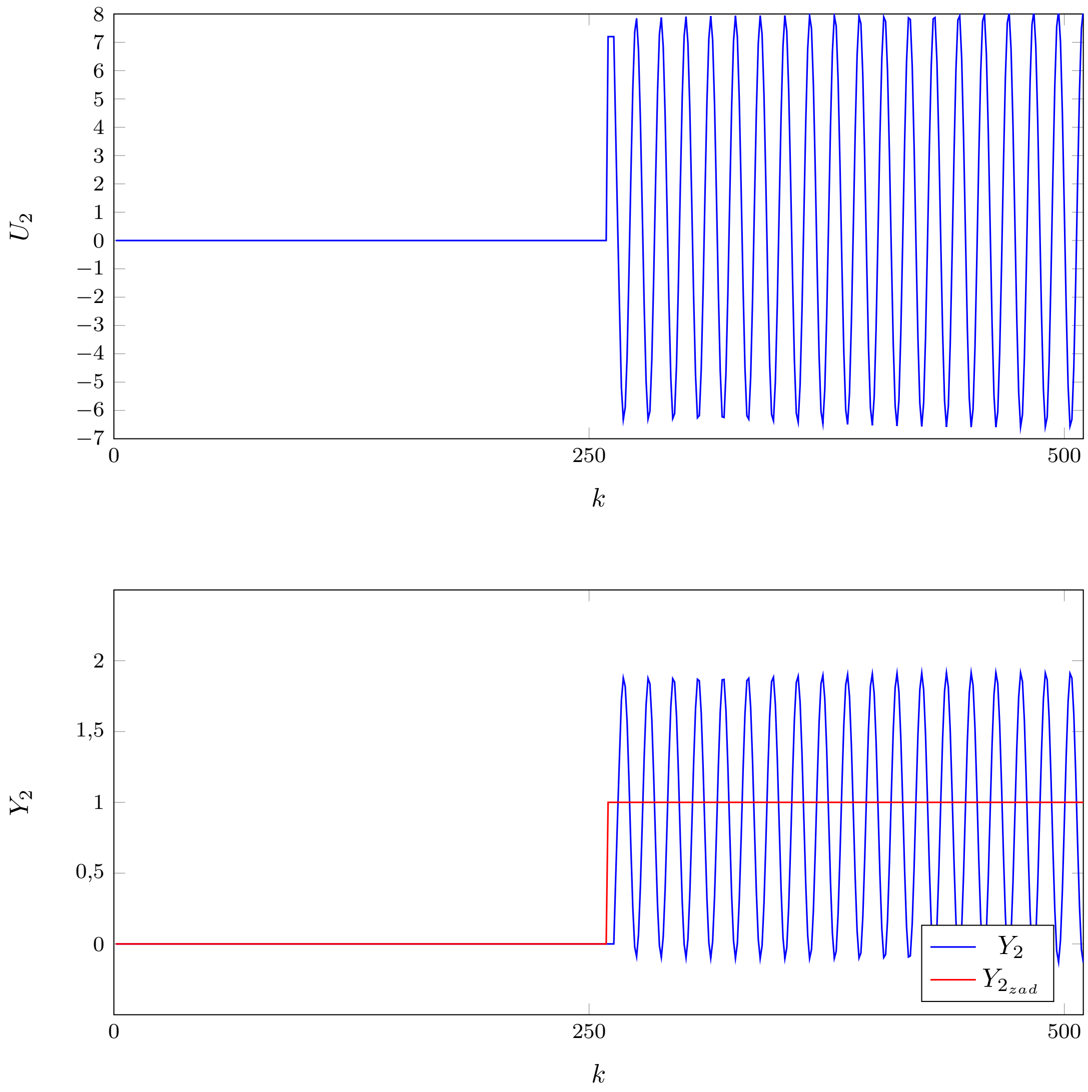
W kolejnym kroku został dobrany parametr T_{d_1} regulatora PID_1. Z pośród zaprezentowanych wartości rys. 6.3 najlepszy przebieg o dobrym czasie regulacji, najniższym przeregulowaniu oraz zadawalającej płynności regulacji uzyskaliśmy dla wartości $T_{d_1} = 0,5$. Wartości błędów :
— $T_d = 0,2 = 6.39$,
— $T_d = 0,5 = 5.81$,
— $T_d = 1 = 5.43$,
Mimo, iż z oceny ilościowej wynika najmniejsza wartość błędu dla $T_{d_1} = 1$ postanowiliśmy pozostać przy wartości $T_{d_1} = 0,5$, gdyż niesie ze sobą większe korzyści.
Nastawy pierwszego toru wyjścia regulatora PID_1 :

$$K = 2,175, T_i = 12, T_d = 0,5$$



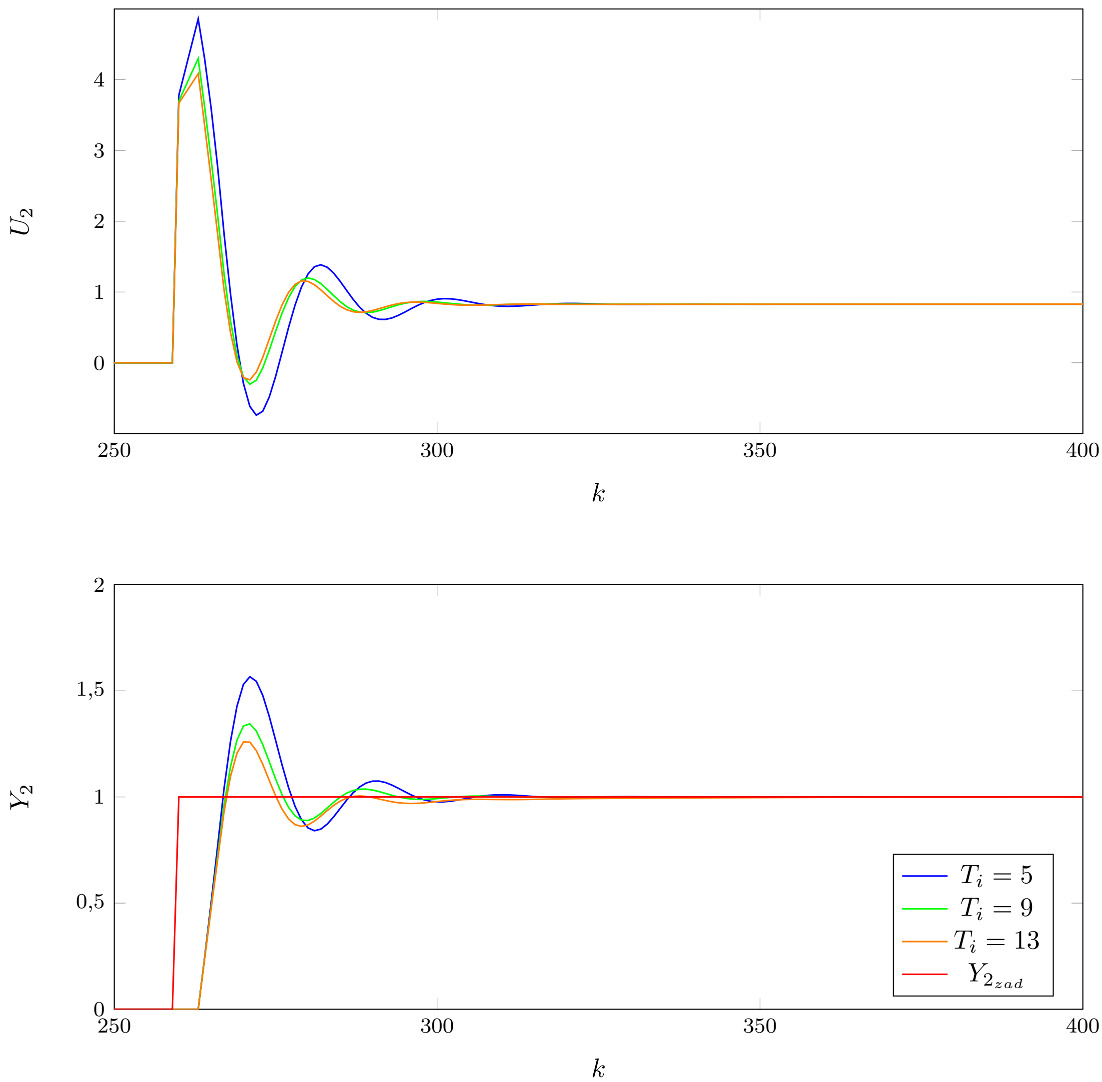
Rys. 6.3. Strojenie regulatora PID_1

W tym etapie tor pierwszy został wyłączony, a przeszliśmy do strojenia drugiego toru wyjścia. W tym celu wprowadziliśmy regulator P_2 w stałe oscylacje dla $K_{k_2} = 7,2$.



Rys. 6.4. Regulator P_2 ze stałymi oscylacjami

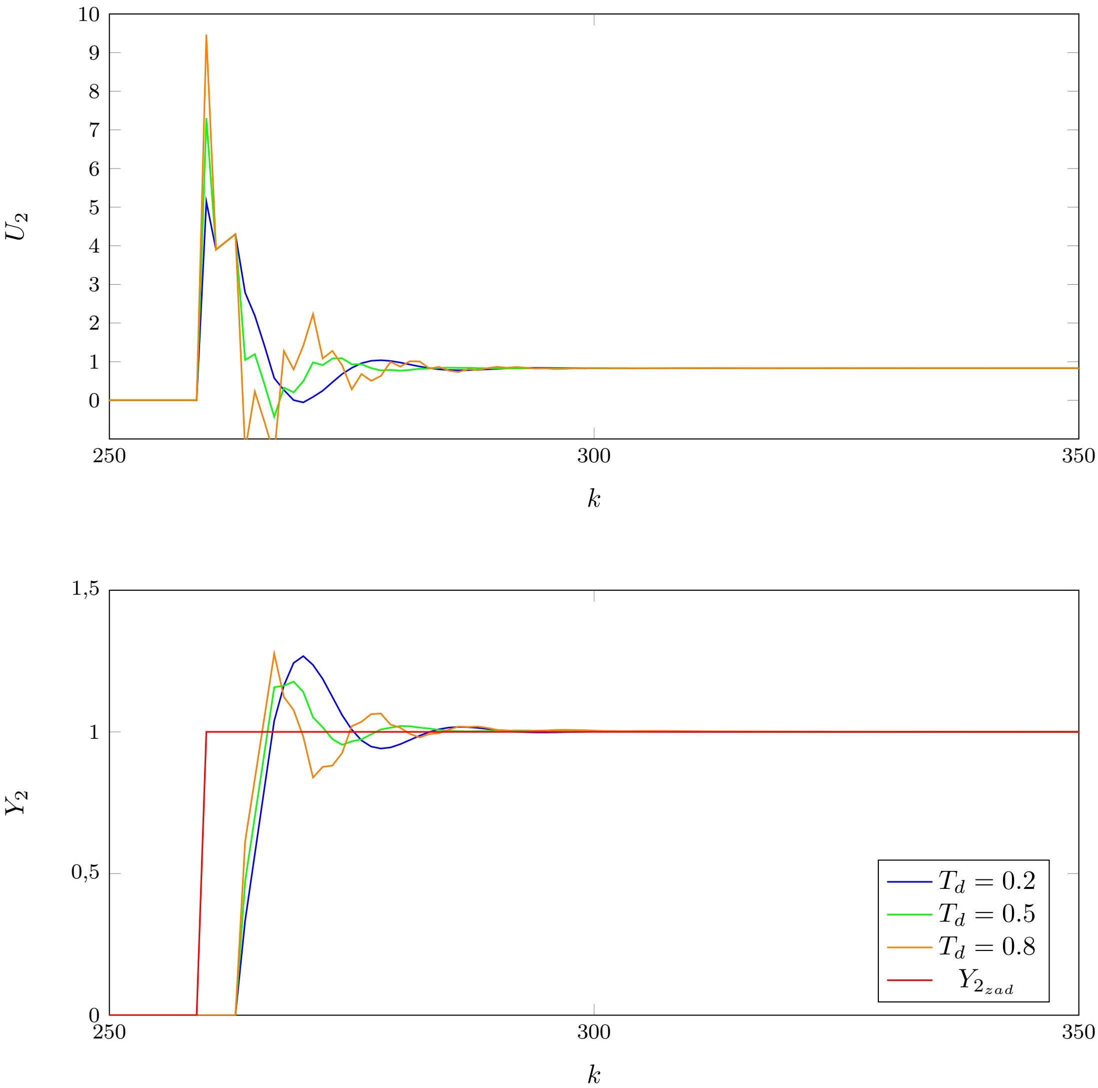
W następnym kroku przeprowadziliśmy dobranie parametrów regulatora PI_2 rys. 6.5. Przy wzmocnieniu $K_2 = 0,5K_{k_2}$ przeprowadziliśmy szereg testów i z pośród zilustrowanych wartości wybraliśmy $T_{i_2} = 9$ jako najlepszy wynik. Można zauważyć, iż przebieg wyjścia dla wspomnianego parametru charakteryzuje się najlepszym czasem regulacji przy stosunkowo niskim przeregulowaniu. Biorąc pod uwagę wartość błędów :
— $T_i = 5 = 271.40$,
— $T_i = 9 = 263.90$,
— $T_i = 12 = 261.87$,
zauważamy, że najmniejszy wskaznik jakości uzyskaliśmy dla $T_{i_2} = 12$. Mając na względzie kształt toru pozostaliśmy przy wartości $T_{i_2} = 9$.



Rys. 6.5. Strojenie regulatora PI_2

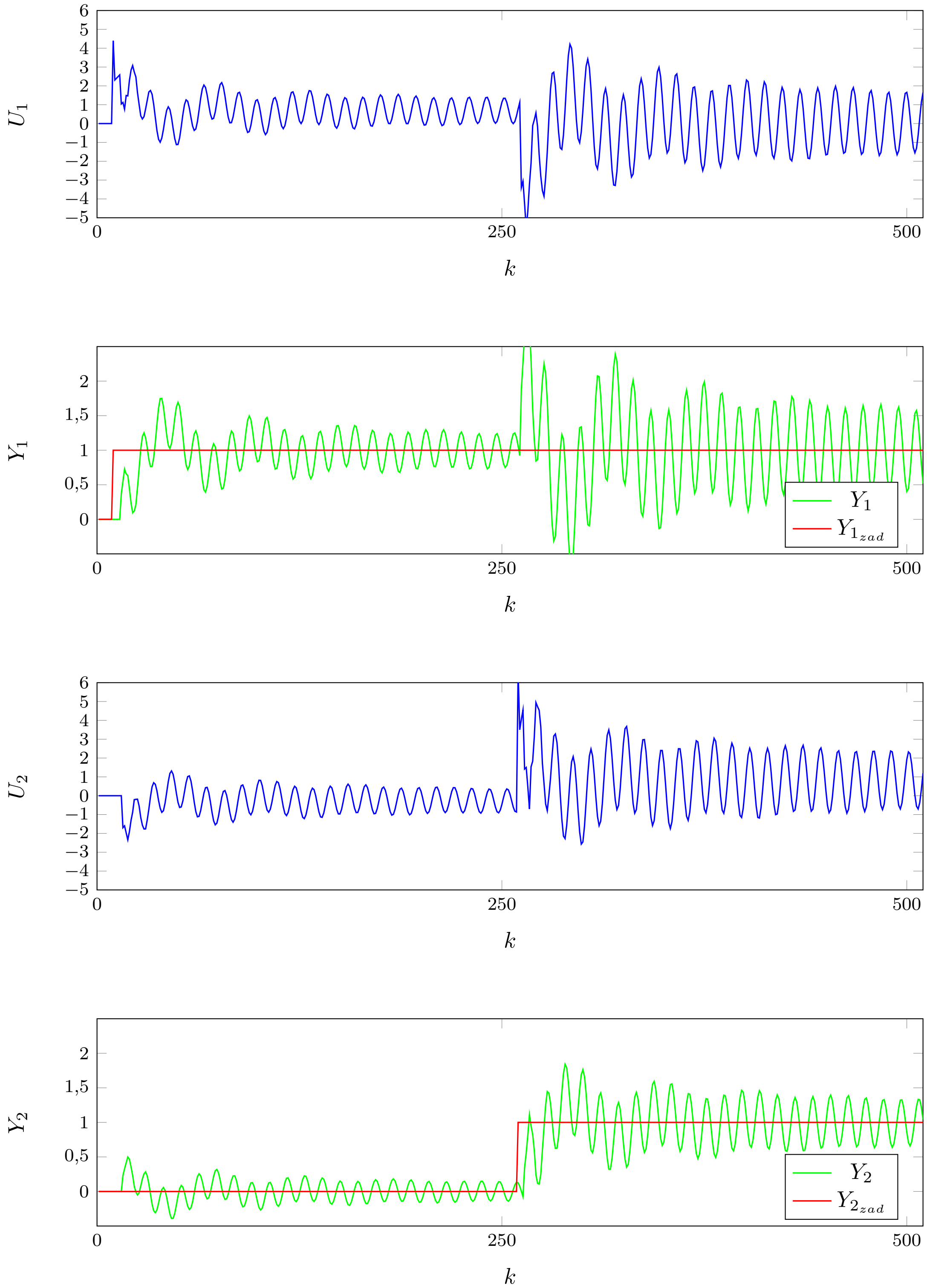
W kolejnym kroku został dobrany parametr T_{d_2} regulatora PID_2. Z pośród zaprezentowanych wartości rys. 6.6 najlepszy przebieg o dobrym czasie regulacji, najniższym przeregulowaniu oraz zadawalającej płynności regulacji uzyskaliśmy dla wartości $T_{d_2} = 0,5$. Wartości błędów :
— $T_d = 0,2 = 4.95$,
— $T_d = 0,5 = 4.48$,
— $T_d = 0,8 = 4.35$,
Mimo, iż z oceny ilościowej wynika najmniejsza wartość błędu dla $T_{d_2} = 0,8$ postanowiliśmy pozostać przy wartości $T_{d_2} = 0,5$, gdyż niesie ze sobą większe korzyści.
Nastawy drugiego toru wyjścia regulatora PID_2 :

$$K = 3,6, T_i = 9, T_d = 0,5$$



Rys. 6.6. Strojenie regulatora PID_2

Po uruchomieniu obu dostrojonych torów wyjścia regulatora PID zauważamy stałe oscylacje w okolicach wartości zadanych rys. 6.7.

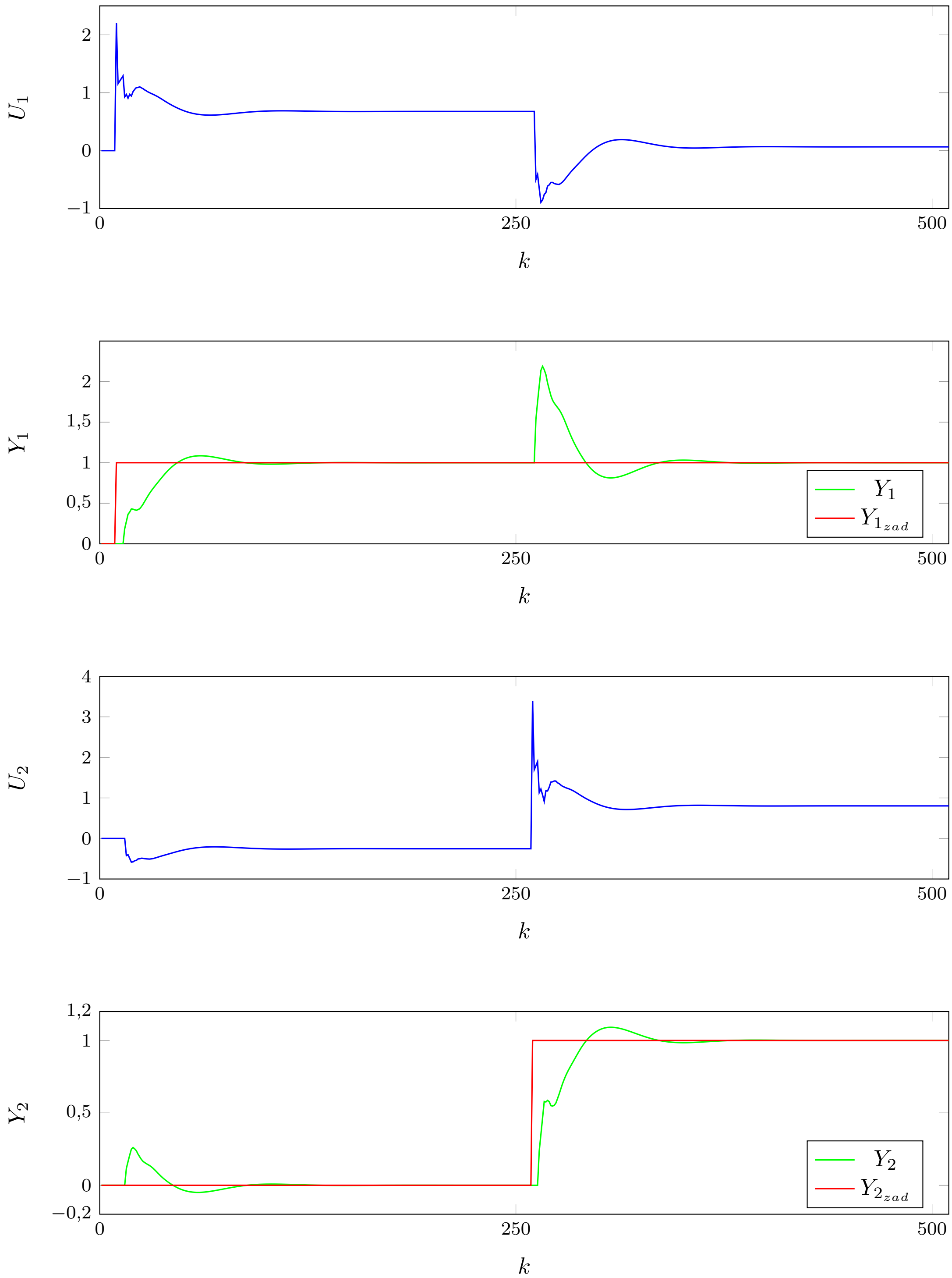


Rys. 6.7. Oba regulatory PID

Zgodnie z ideą metody inżynierskiej ponownie zmniejszyliśmy wzmocnienie obu regulatorów o połowę. Uzyskane przebiegi zaprezentowane są na rys. 6.8. Widać, że po dokonanych zmianach regulator pracuje prawidłowo. Wartość wskaznika jakości wynosi : $34,0364$. Obecne nastawy:

$$K_1 = 1,0875, T_{i_1} = 12, T_{d_1} = 0,5$$

$$K_2 = 1,8, T_{i_2} = 9, T_{d_2} = 0,5$$

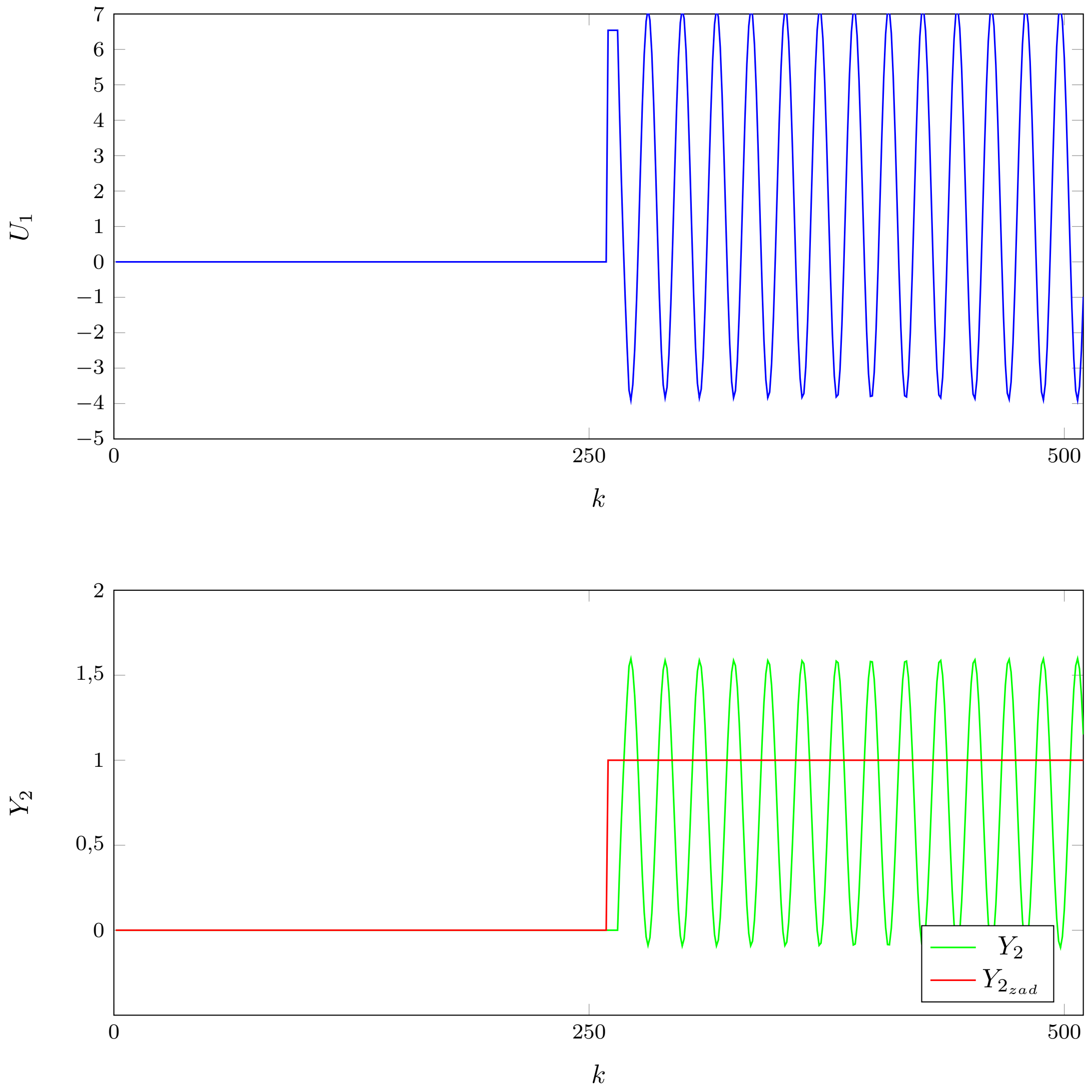


Rys. 6.8. Oba regulatory PID dostrojone

6.1.2. Wariant drugi

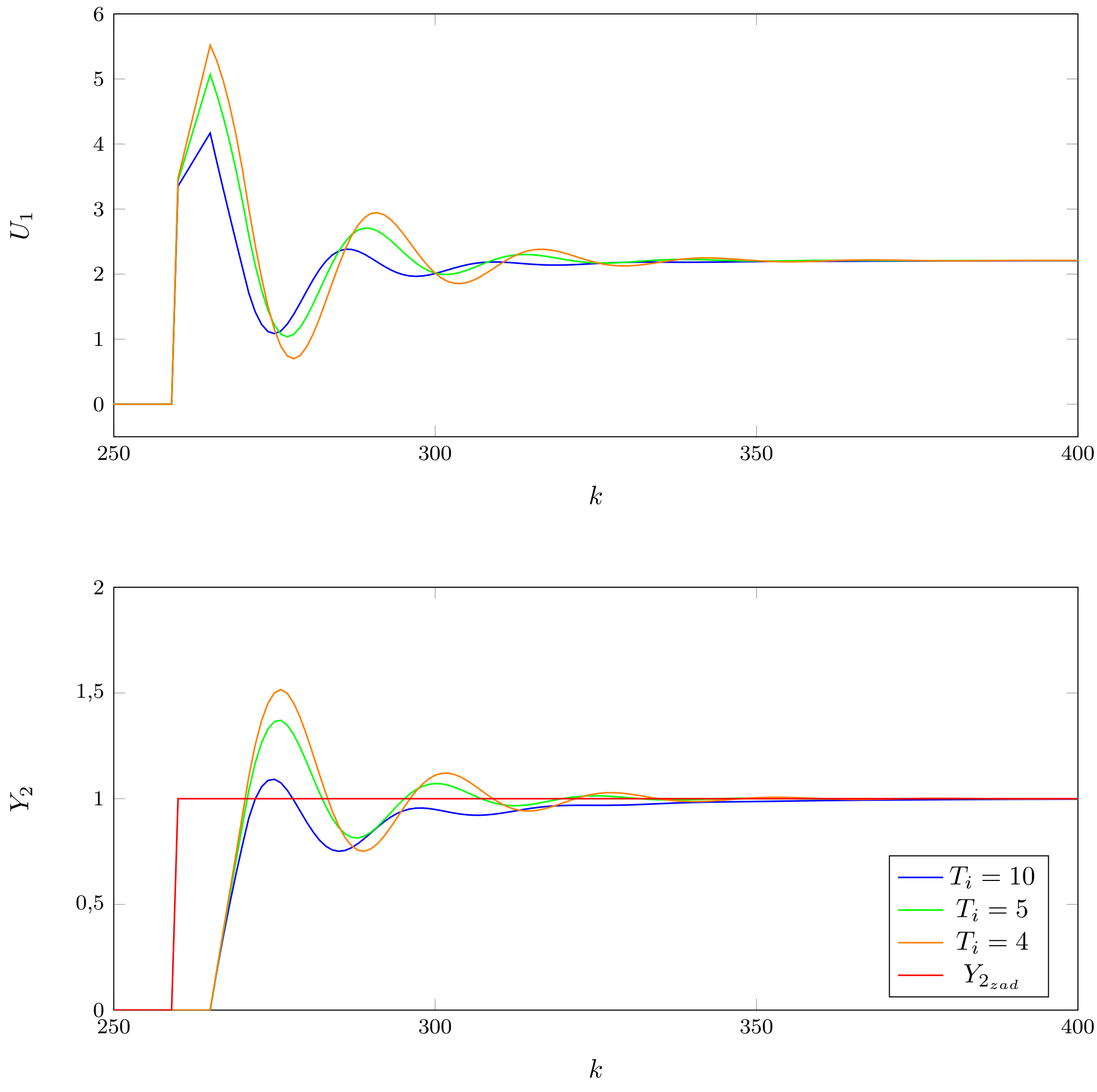
Drugi wariant obejmuje oddziaływanie uchybu pierwszego wyjścia na drugi sygnał sterujący, drugiego wyjścia na na pierwszy sygnał sterujący.
Pierwszym krokiem strojenia regulatora jest wyłączenie drugiego wyjścia obiektu, a następnie dobranie parametrów regulatora wyłącznie dla pierwszego wyjścia. Po uzyskaniu zadawalających wyników analogicznie postępuje z wyjściem drugim. Po dostrojeniu obu torów uruchamiamy cały regulator i dokonujemy ewentualnych poprawek nastaw dla poprawy przebiegów. W trakcie strojenia obu wyjść została wykorzystana metoda inżynierska.

Rozpoczęcie strojenia toru pierwszego wyjścia rozpoczęliśmy od wprowadzenia regulatora P_1 w nieskończone oscylacje rys. 6.9. Efekt ten został uzyskany dla wzmocnienia o wartości $K_{k_1} = 6.54$.



Rys. 6.9. Regulator P_1 ze stałymi oscylacjami

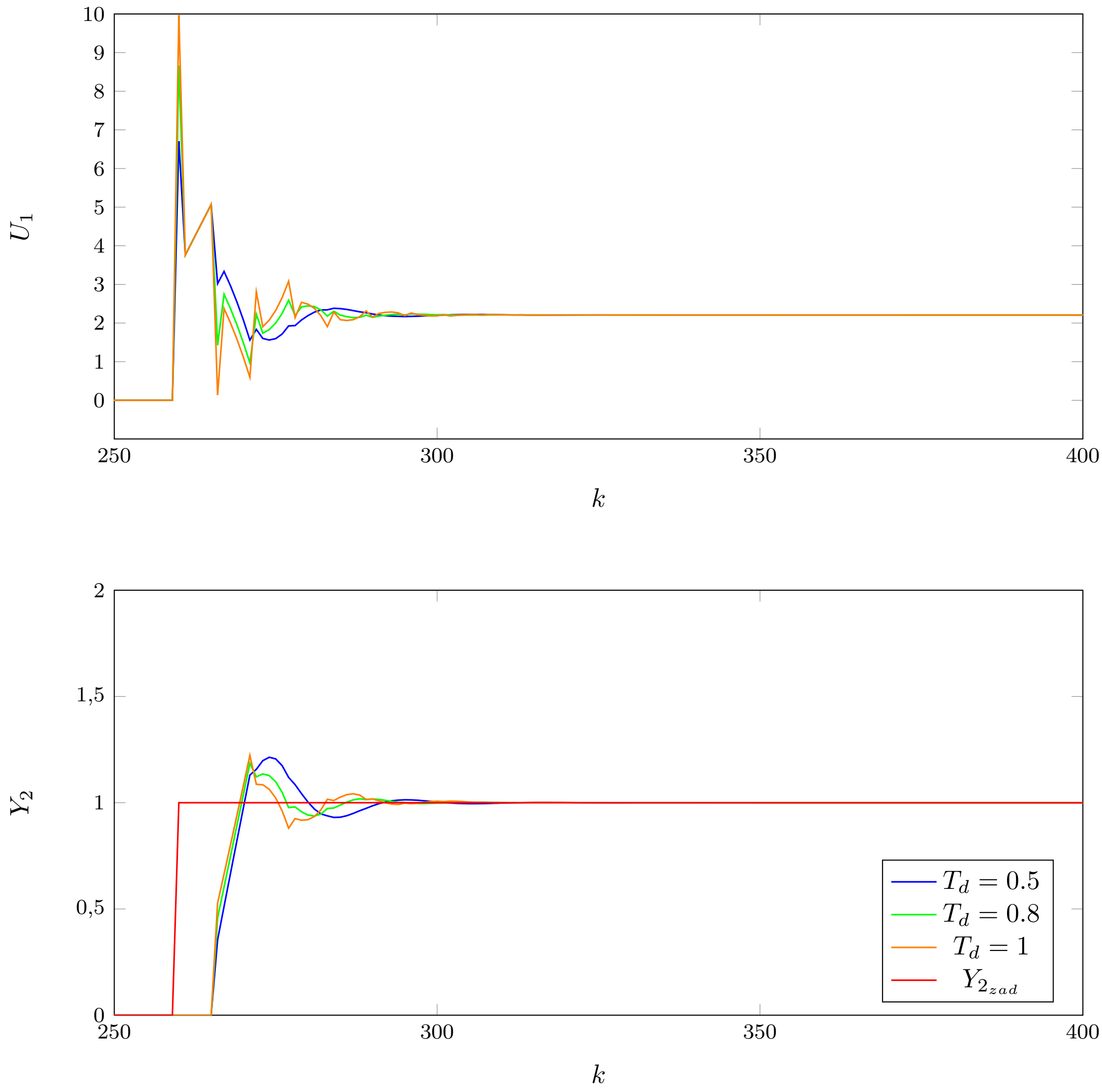
W następnym kroku przeprowadziliśmy dobranie parametrów regulatora PI_1 rys. 6.10. Przy wzmocnieniu $K_1 = 0,5K_{k_1}$ przeprowadziliśmy szereg testów i z pośród zilustrowanych wartości wybraliśmy $T_{i_1} = 5$ jako najlepszy wynik. Biorąc pod uwagę wartość błędów :
— $T_i = 10 = 8,19$,
— $T_i = 5 = 8,44$,
— $T_i = 4 = 9,53$,
zauważamy, że najmniejszy błąd uzyskaliśmy dla $T_{i_1} = 10$, jednakże przebieg funkcji zachowuje się dość niepokojąco (oscylacje pod wartością zadaną) zdecydowaliśmy się zostać przy wartości $T_{i_1} = 5$.



Rys. 6.10. Strojenie regulatora PI_1

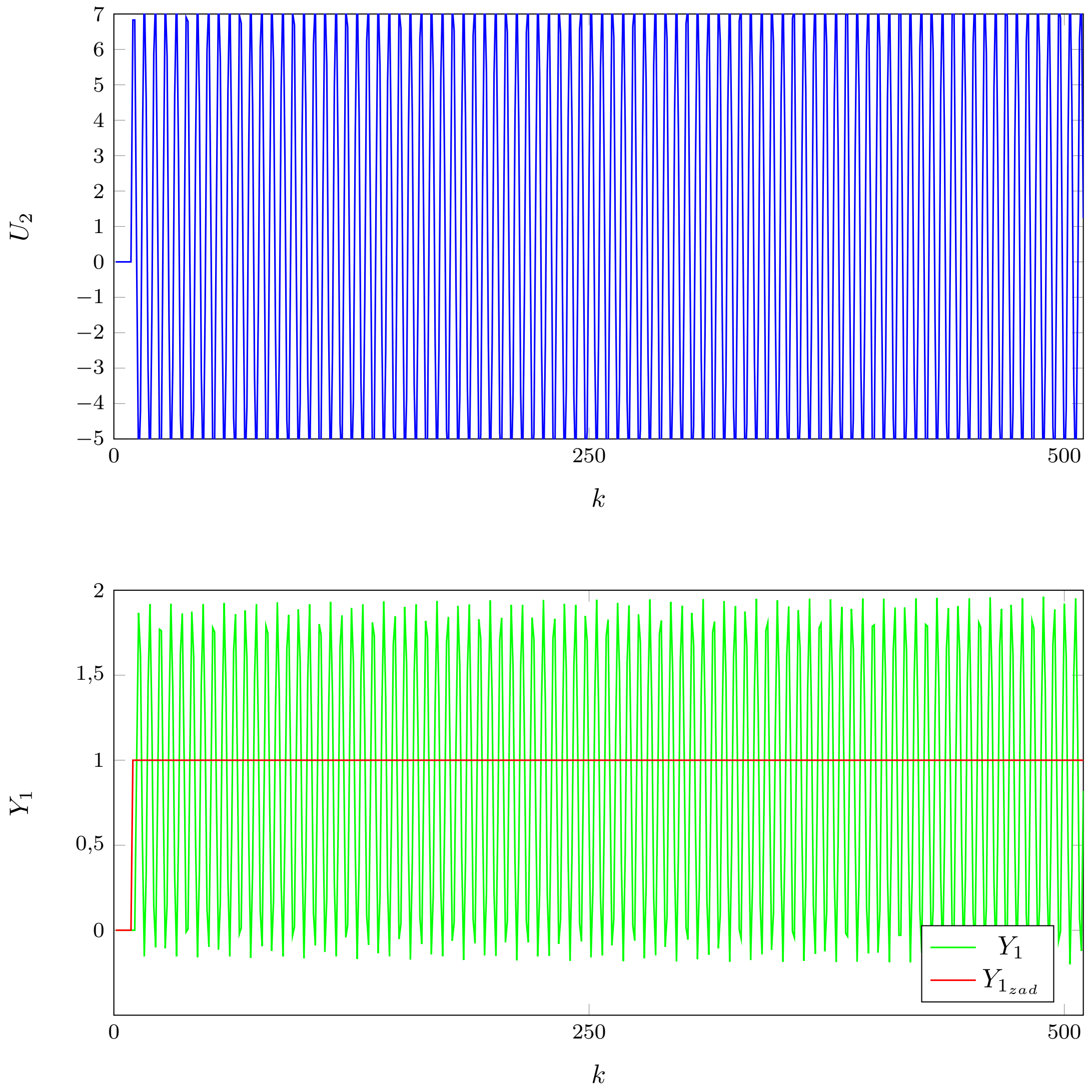
W kolejnym kroku został dobrany parametr T_{d_1} regulatora PID_1. Z pośród zaprezentowanych wartości rys. 6.11 najlepszy przebieg o dobrym czasie regulacji, najniższym przeregulowaniu oraz zadawalającej płynności regulacji uzyskaliśmy dla wartości $T_{d_1} = 0,8$. Wartości błędów :
— $T_d = 1 = 6,50$,
— $T_d = 0,8 = 6,64$,
— $T_d = 0,5 = 7,04$,
Mimo, iż z oceny ilościowej wynika najmniejsza wartość błędu dla $T_{d_1} = 1$ postanowiliśmy pozostać przy wartości $T_{d_1} = 0,8$, gdyż niesie ze sobą większe korzyści.
Nastawy pierwszego toru wyjścia regulatora PID_1 :

$$K = 3,27, T_i = 5, T_d = 0,8$$



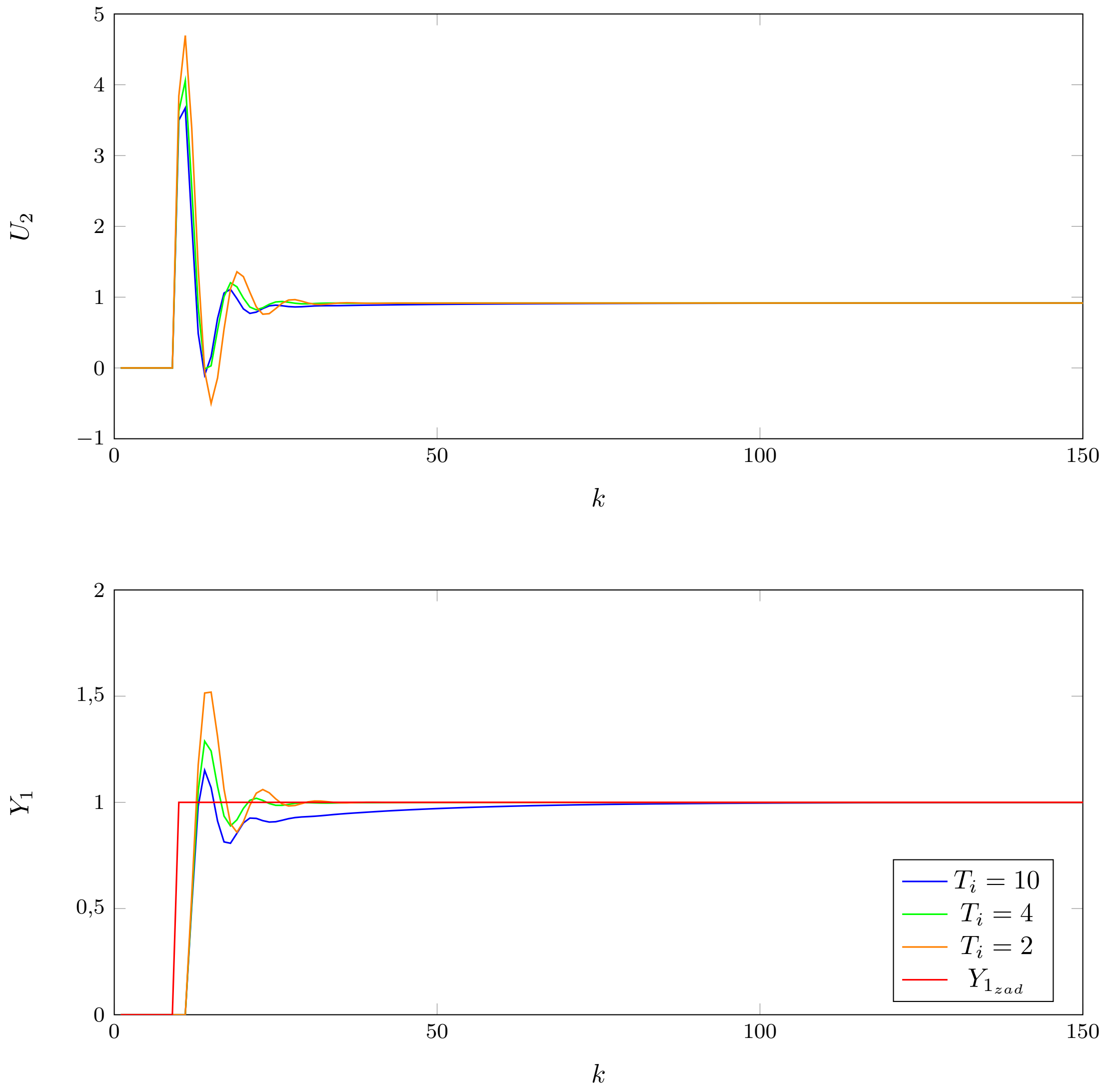
Rys. 6.11. Strojenie regulatora PID_2

W tym etapie tor pierwszy został wyłączony, a przeszliśmy do strojenia drugiego toru wyjścia. W tym celu wprowadziliśmy regulator P_2 w stałe oscylacje dla $K_{k_2} = 6,83$ rys. 6.12.



Rys. 6.12. Regulator P_2 ze stałymi oscylacjami

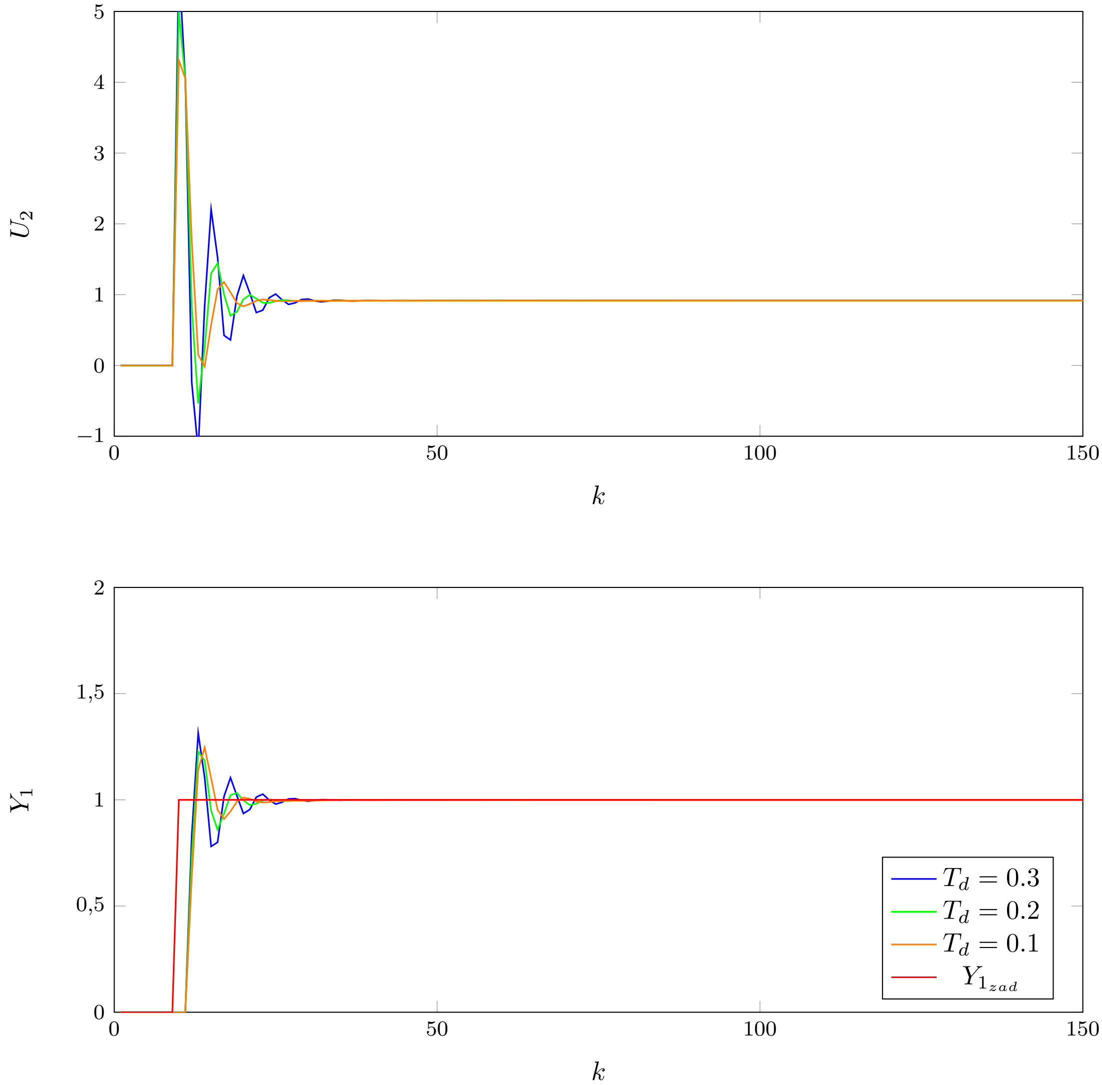
W następnym kroku przeprowadziliśmy dobranie parametrów regulatora PI_2 rys. 6.13. Przy wzmocnieniu $K_2 = 0,5K_{k_2}$ przeprowadziliśmy szereg testów i z pośród zilustrowanych wartości wybraliśmy $T_{i_2} = 4$ jako najlepszy wynik. Można zauważyć, iż przebieg wyjścia dla wspomnianego parametru charakteryzuje się najlepszym czasem regulacji przy stosunkowo niskim przeregulowaniu. Biorąc pod uwagę wartość błędów :
— $T_i = 2 = 2,90$,
— $T_i = 4 = 2,39$,
— $T_i = 10 = 2,87$,
zauważamy, że najmniejszy wskaznik jakości uzyskaliśmy także dla $T_{i_2} = 4$.



Rys. 6.13. Strojenie regulatora PI_2

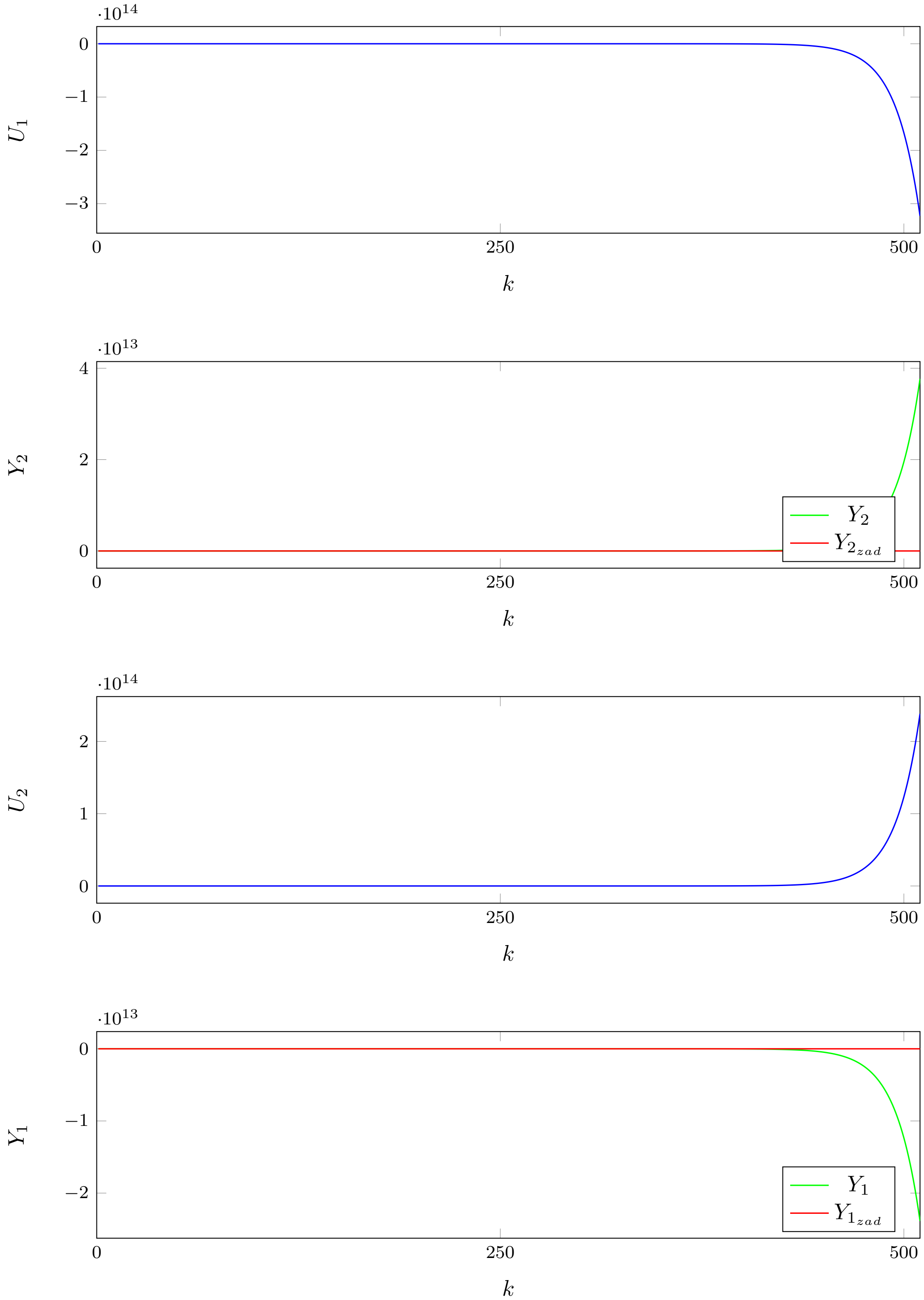
W kolejnym kroku został dobrany parametr T_{d_2} regulatora PID_2. Z pośród zaprezentowanych wartości rys. 6.14 najlepszy przebieg o dobrym czasie regulacji, najniższym przeregulowaniu oraz zadawalającej płynności regulacji uzyskaliśmy dla wartości $T_{d_2} = 0,2$. Przy wartości błędów:
— $T_d = 0,3 = 2,243$,
— $T_d = 0,2 = 2,18$,
— $T_d = 0,1 = 2,241$,
zauważamy, że najmniejszy wskaznik jakości uzyskaliśmy także dla $T_{d_2} = 0,2$.
Nastawy pierwszego toru wyjścia regulatora PID_2 :

$$K = 3,415, T_i = 4, T_d = 0,2$$



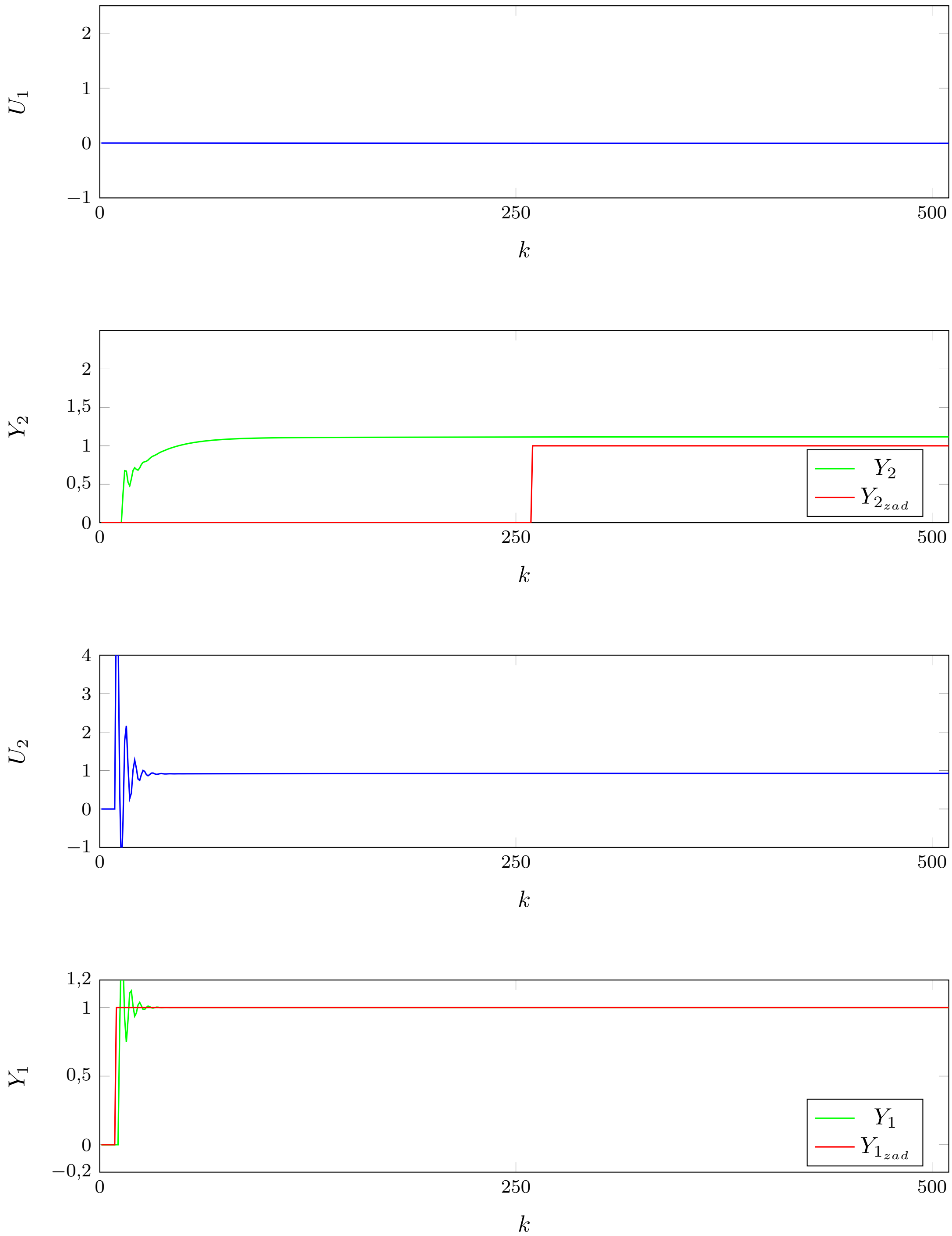
Rys. 6.14. Strojenie regulatora PID_2

Po uruchomieniu obu torów regulatora okazało się, że obiekt jest niedziałający i po próbie dobrania lepszych nastaw rezultat nie uległ większym zmianom rys . 6.15.



Rys. 6.15. Oba regulatory PID włączone

W celu poprawy zaistniałej sytuacji posłużyliśmy się funkcją $fmincon$ do znalezienia rozwiązania optymalnego. Ku naszemu zdziwieniu funkcja ta nie podołała zadaniu i zwrócony wynik został zaprezentowany na rys. 6.16.
Wniosek :
Dla naszego obiektu wariant drugi jest nieskuteczny.

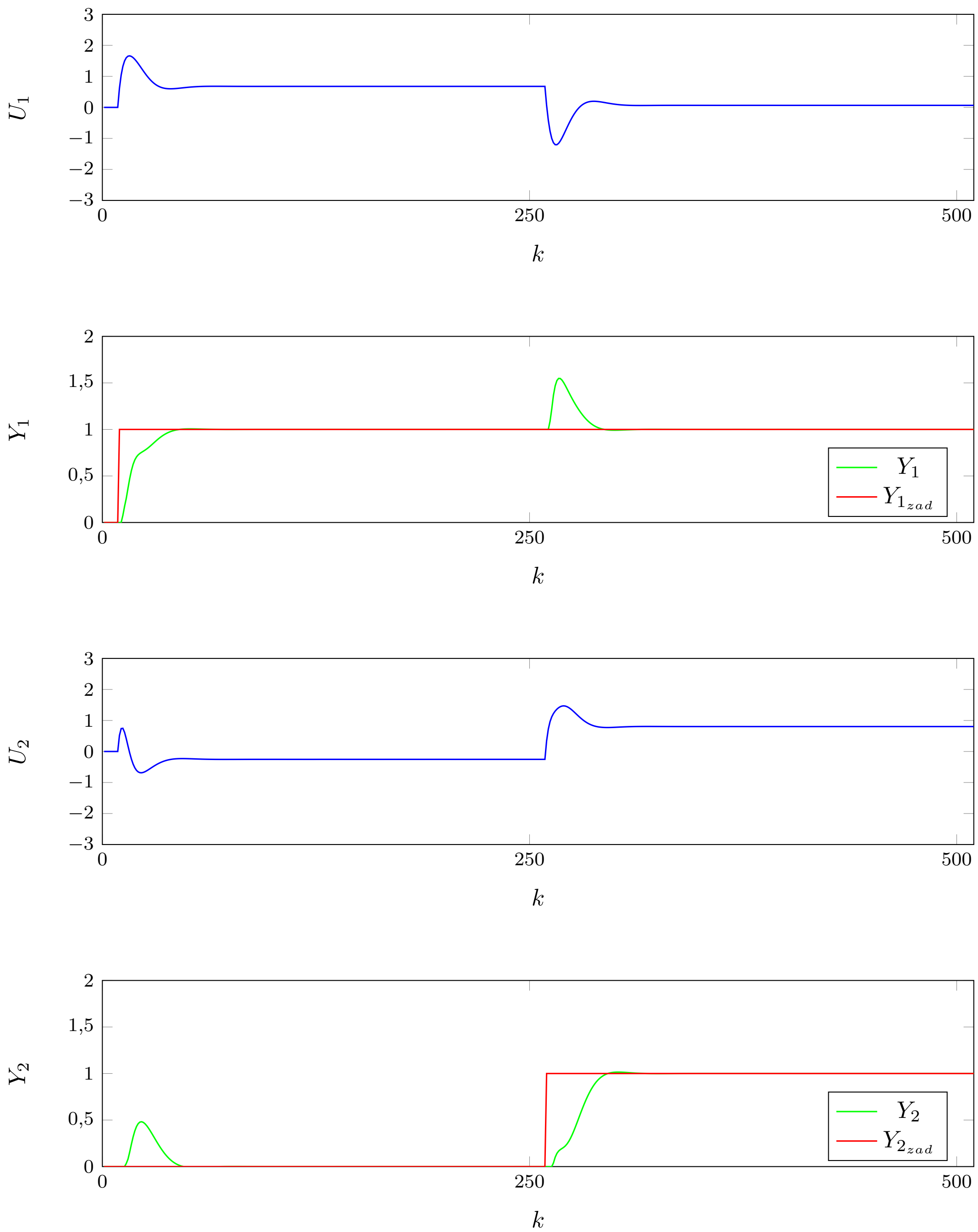


Rys. 6.16. Oba regulatory PID włączone

6.2. Regulator DMC

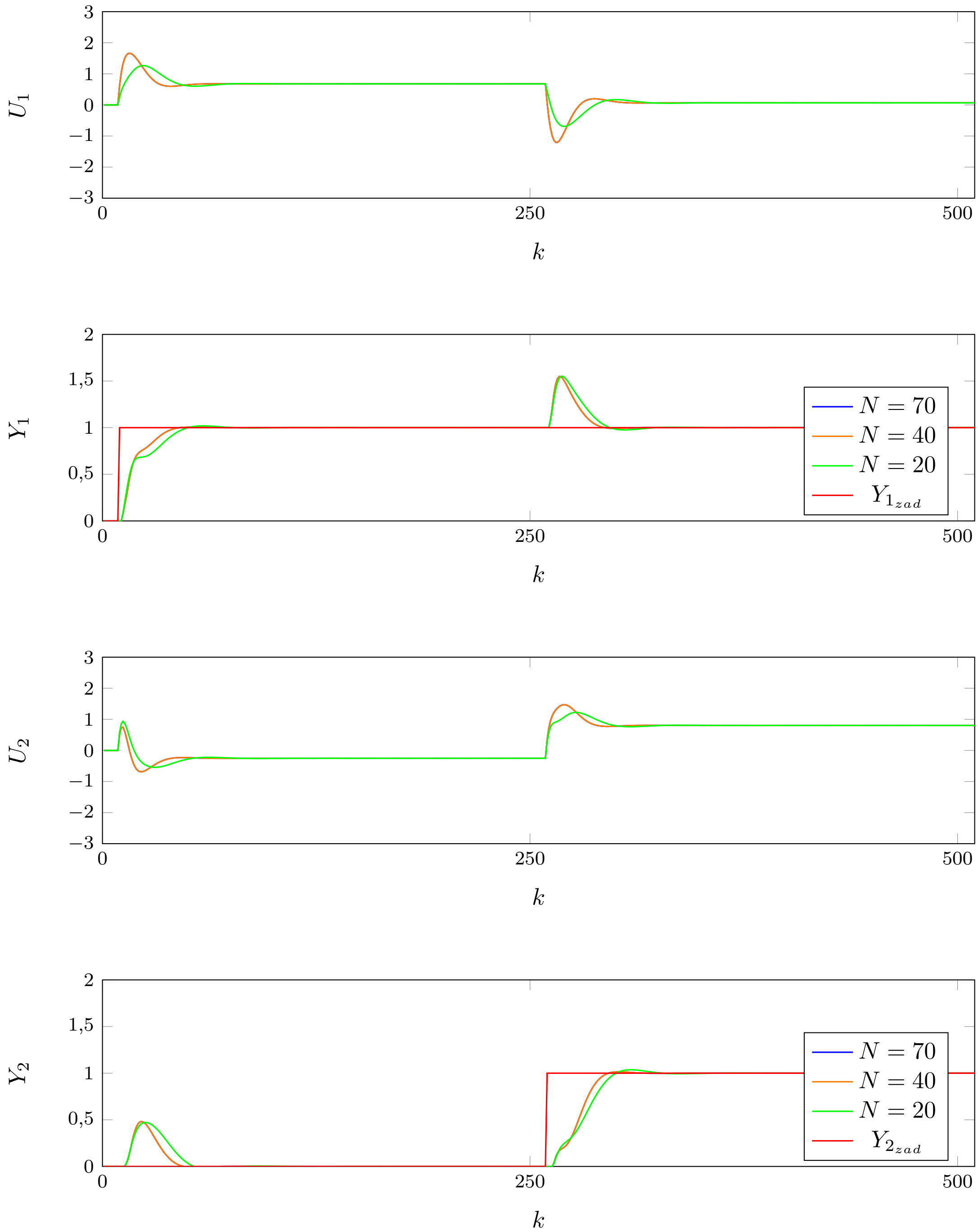
Nastawy regulatora DMC zostały dobrane eksperymentalnie. Regulator DMC korzysta z odpowiedzi skokowej s uzyskanej w punkcie 3.

Obserwując obiekt bezpiecznie założyliśmy, że jego horyzont dynamiki jest równy $D = 200$. Taką również przyjęliśmy wartość początkową N oraz N_u, natomast pierwotną wartością λ było 1, tj: $N = 200, N_u = 200, \lambda = 1$ rys. 6.17.



Rys. 6.17. Regulator DMC

Następnie próbowaliśmy, w celu zmniejszenia złożoności obliczeniowej obniżyć parametr N: jak się okazało, jego wpływ dla wartości powyżej 70 jest znikomy. Efekty eksperymentu dla różnych wartości zostały przedstawione na poniższym wykresie:

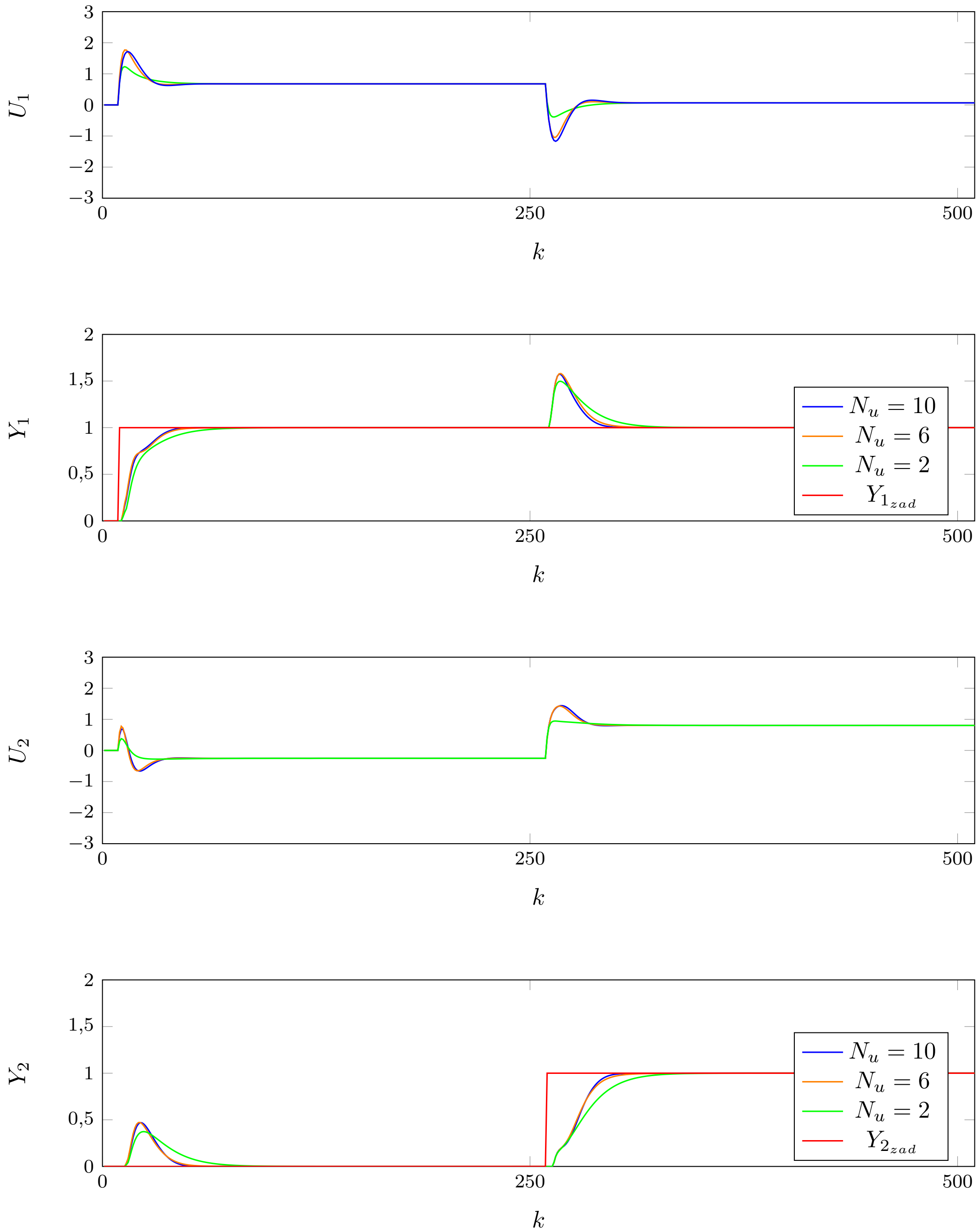


Rys. 6.18. Regulator DMC strojenie N

Wskaźnik regulacji E dla tych nastaw :

- $N = 70$: $E = 25,1526$
- $N = 40$: $E = 25,1585$
- $N = 20$: $E = 28,3286$

Zdecydowaliśmy więc ustawić N na 70 - błąd jest najmniejszy,przeregulowanie mniejsze. Eksperyment wykazał, że zmniejszanie N prowadzi do pogorszenia przebiegu. Następnym parametrem, na którego minimalizacji nam zależy jest N_u:

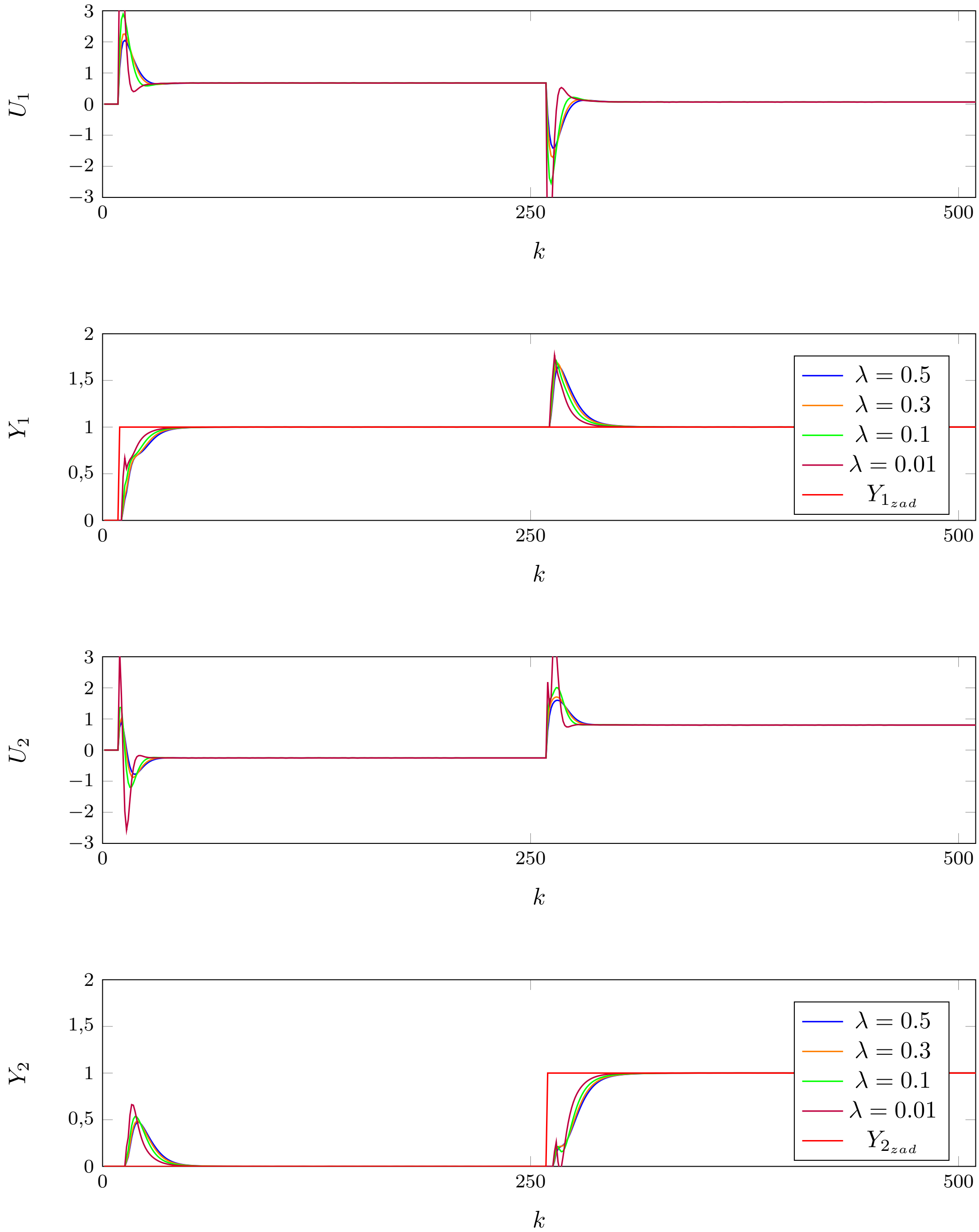


Rys. 6.19. Regulator DMC strojenie N_u

Wskaźnik regulacji E dla tych nastaw :

— $N_u = 10$: $E = 25,0205$
— $N_u = 6$: $E = 24,9633$
— $N_u = 2$: $E = 28,5941$

Jak widać, dla $N_u = 6$ wyjście najszybciej zbiega do wartości zadanej, sterowanie jest tylko odrobinę ostrzejsze od $N_u = 2$, a błąd jest najmniejszy. Następnym parametrem do dobrania jest λ:



Rys. 6.20. Regulator DMC strojenie λ

Wskaźnik regulacji E dla tych nastaw :

— $\lambda = 0,5$: $E = 23,7389$
— $\lambda = 0,3$: $E = 22,9920$
— $\lambda = 0,1$: $E = 21,5220$
— $\lambda = 0,01$: $E = 19,4842$

Zmniejszając λ, uzyskujemy drastyczną poprawę wskaźnika jakości regulacji, jednakże kosztem sterowania. Zbyt gwałtowne sterowanie nie jest pożądane - może wpływać niekorzystnie na elementy wykonawcze układu sterowania. Bazując na tym wniosku, jak i na spostrzeżeniu, że poniżej wartości $\lambda = 0,3$ zysk w jakości sterowania jest niewielki, a skok sterowania dużo ostrzejszy,dodatkowo zbliżając się do 0 zauważamy niepożądane zachwiania torów wyjściowych co zaburza płynność przebiegów, postanowiliśmy zatrzymać tę wielkość $\lambda = 0,3$.

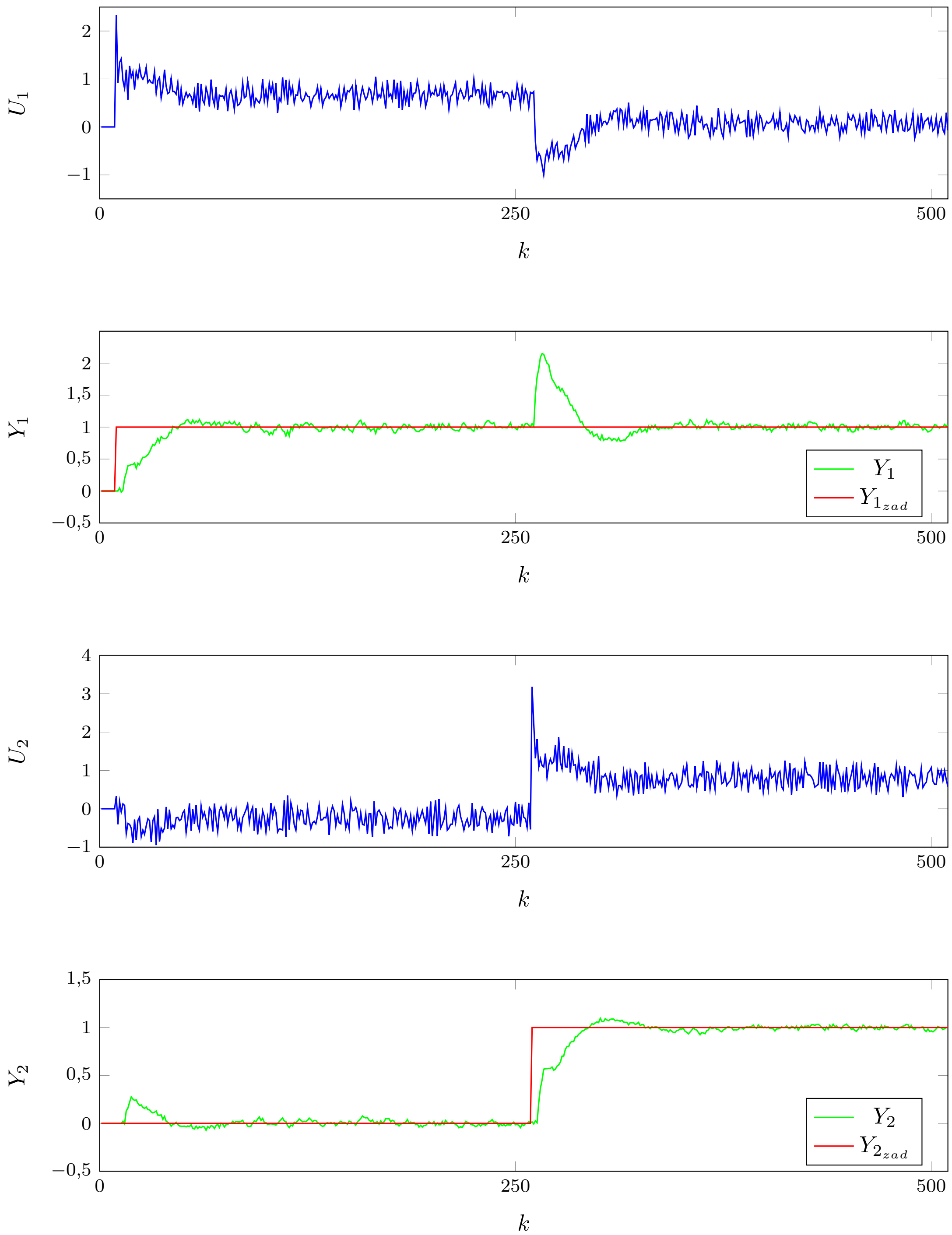
Końcowe wartości dobranego regulatora DMC: $N = 70, N_u = 6, \lambda = 0,3$.

7. Zadanie 6: Algorytmy przy zaszumionym pomiarze wyjść

7.1. PID

7.1.1. Szum o rozkładzie jednostajnym i amplitudzie 0,1

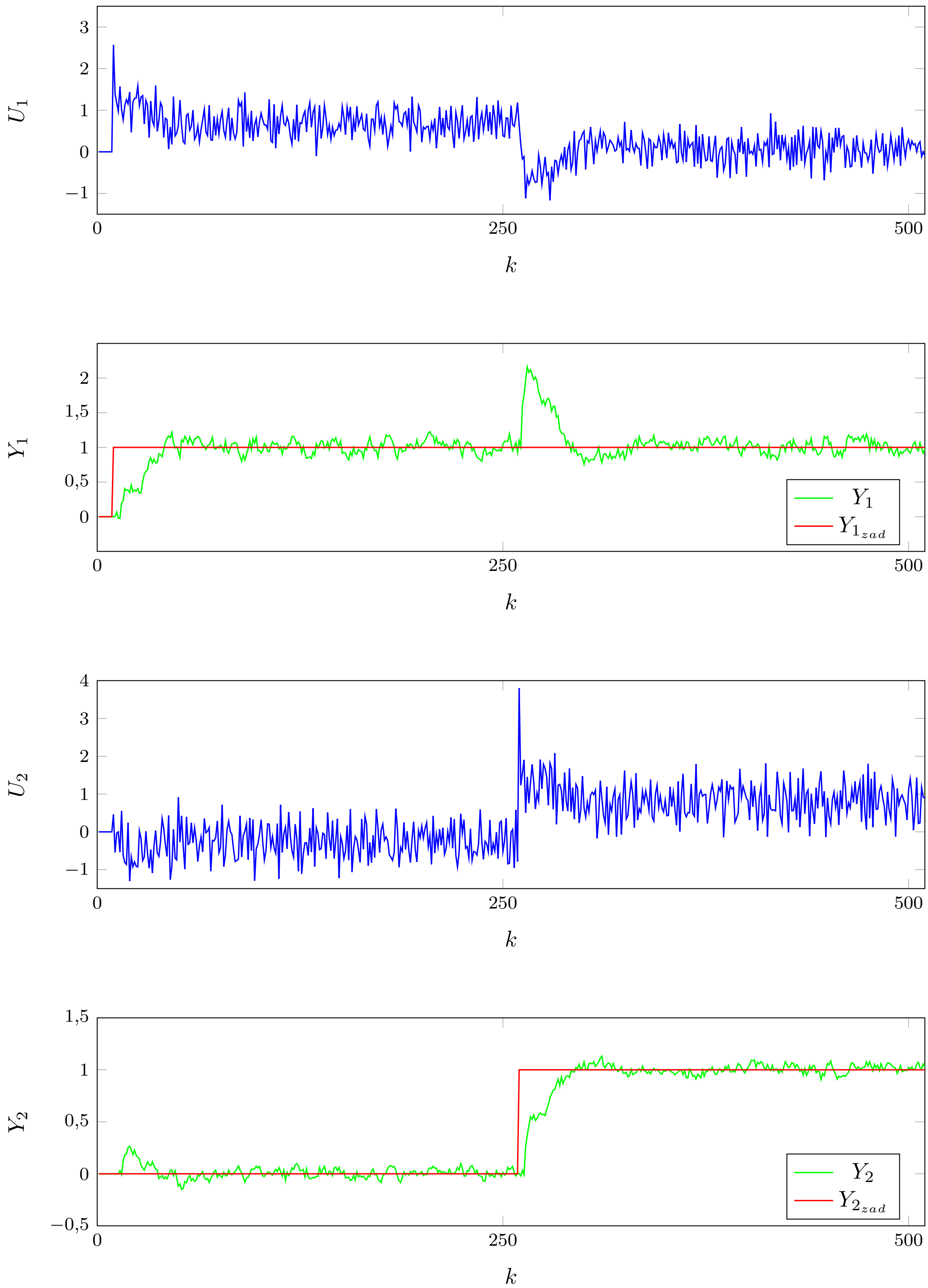
Jak widać na wykresie 7.1, dla amplitudy szumu o wartości $0,1$ jakość sterowania jest wciąż dosyć dobra. Błąd wyniósł $E = 34.6689$.



Rys. 7.1. Oba regulatory PID dla szumu o rozkładzie jednostajnym i amplitudzie $0,1$

7.1.2. Szum o rozkładzie jednostajnym i amplitudzie 0,2

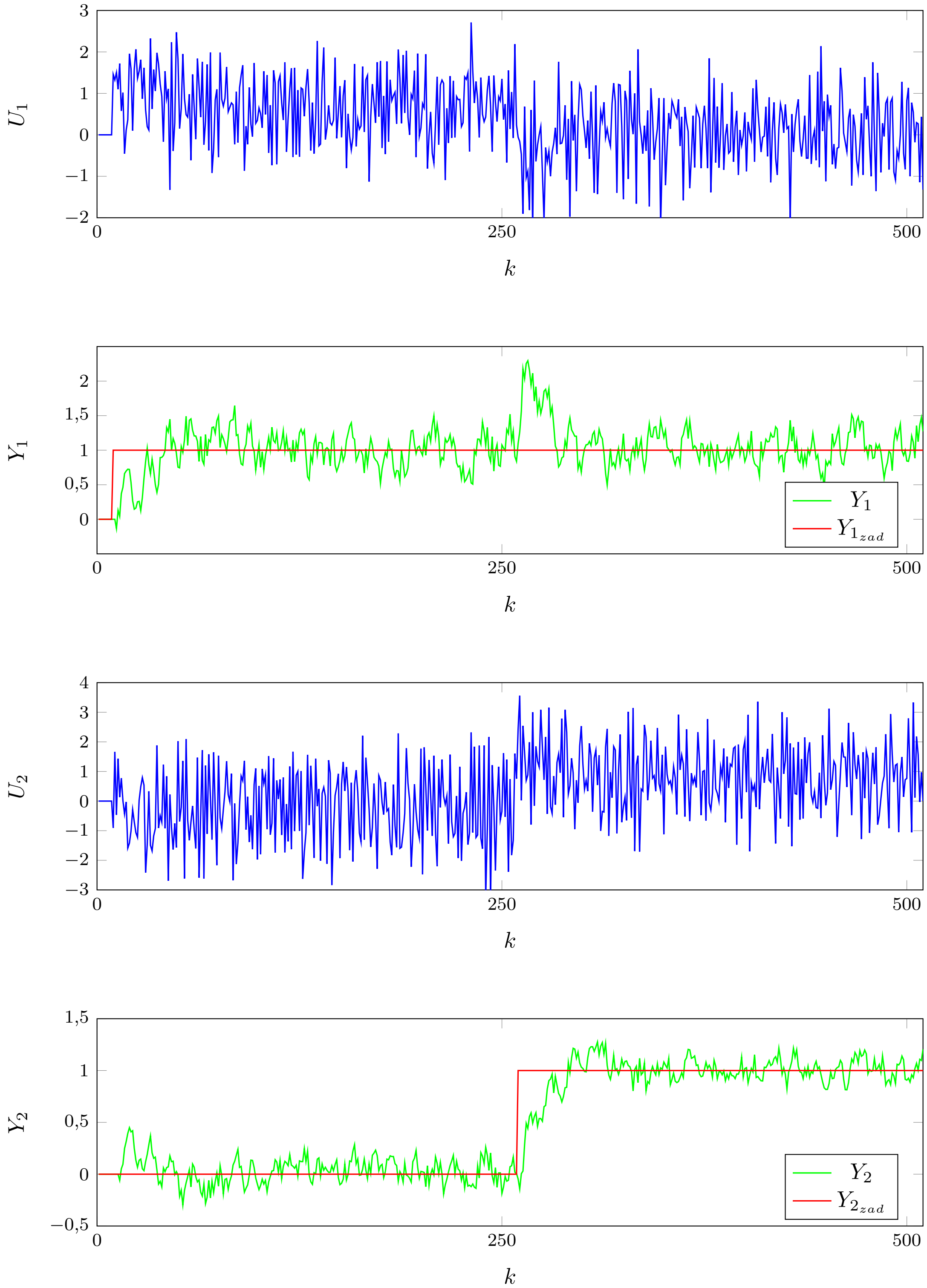
Efekt zaszumienia pomiaru wyjścia obiektu szumem o rozkładzie jednostajnym i amplitudzie 0,2 został zaprezentowany na wykresie 7.2, Jakość regulacji jest akceptowalna, chociaż przebiegi są dalekie od gładkich. Błąd niewiele większy niż ten w poprzednim podpunkcie, wyniósł $E = 39.2142$.



Rys. 7.2. Oba regulatory PID dla szumu o rozkładzie jednostajnym i amplitudzie $0,2$

7.1.3. Szum o rozkładzie jednostajnym i amplitudzie 0,5

Gdy błędu pomiarów sygnałów wyjściowych są modelowane szumem o amplitudzie $0,5$, algorytm staje się nieskuteczny. Błąd wynosi aż $E = 57.8277$, a oscylacje sygnału wyjściowego przyjmują wartości aż +/- 0,4. Sygnał sterujący zmienia się z taką szybkością i ma tak dużą amplitudę, że z trudnością można dostrzec chwile k zmiany wartości zadanych. Wykres 7.3.



Rys. 7.3. Oba regulatory PID dla szumu o rozkładzie jednostajnym i amplitudzie $0,5$

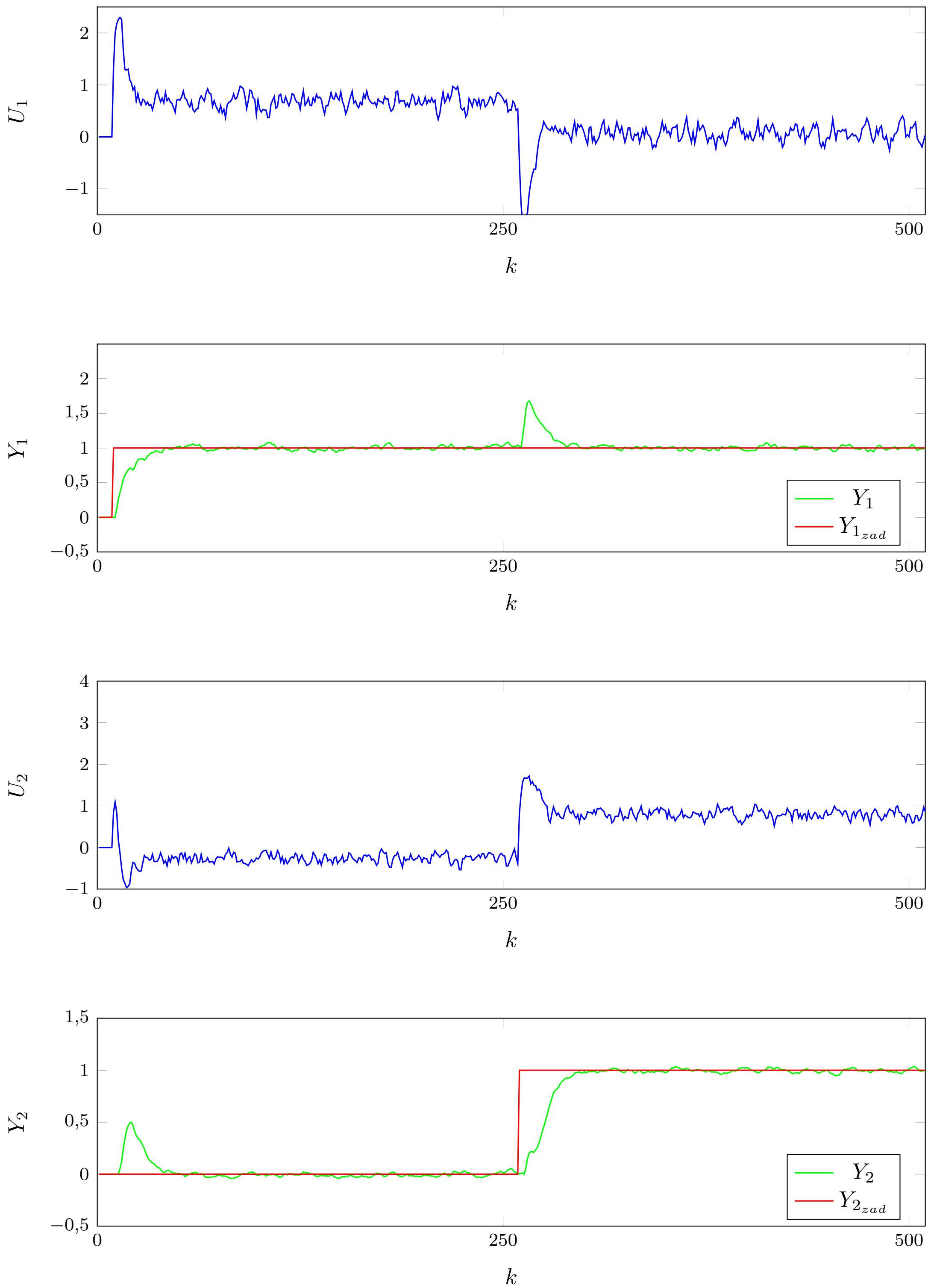
7.1.4. Wnioski

Regulatory wykazują się zadowalającą odpornością na szumy pomiarowe w sygnale wyjściowym. Zarówno dla amplitudy $0,1$ jak i $0,2$ sygnał wyjściowy jak i sterujący mają zadowalające przebiegi. Dla amplitudy $0,5$ regulatory nie pracują prawidłowo. Oprócz tego warto zauważyć, że regulator nr 1 jest wrażliwszy na szumy - amplitudy są większe na jego przebiegach.

7.2. DMC

7.2.1. Szum o rozkładzie jednostajnym i amplitudzie 0,1

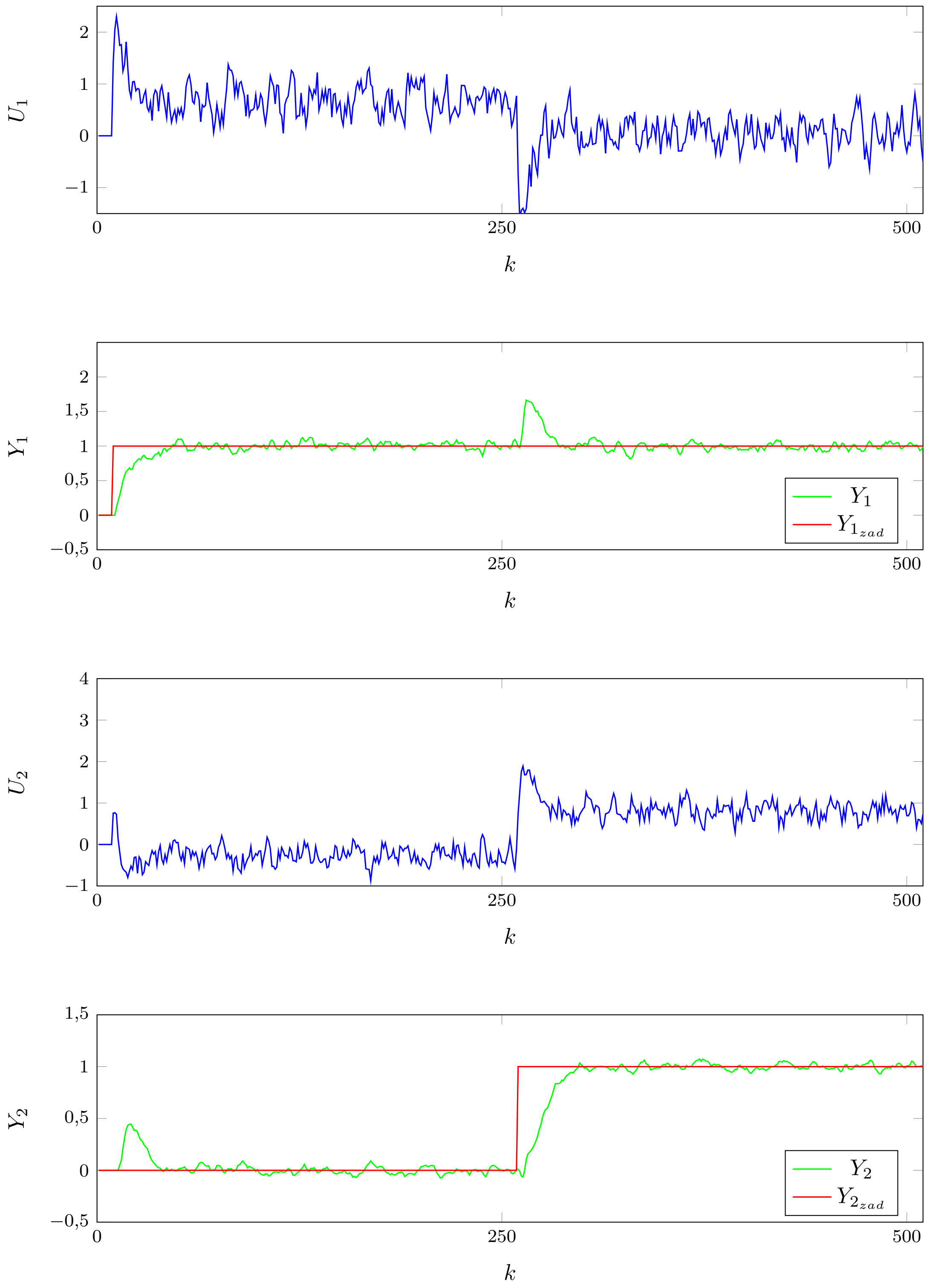
Jak widać na wykresie 7.4, dla amplitudy szumu o wartości $0,1$ jakość sterowania jest bardzo dobra. Algorytm DMC lepiej sobie radzi od PID. Błąd wyniósł $E = 23,2815$.



Rys. 7.4. Oba regulatory DMC dla szumu o rozkładzie jednostajnym i amplitudzie $0,1$

7.2.2. Szum o rozkładzie jednostajnym i amplitudzie 0,2

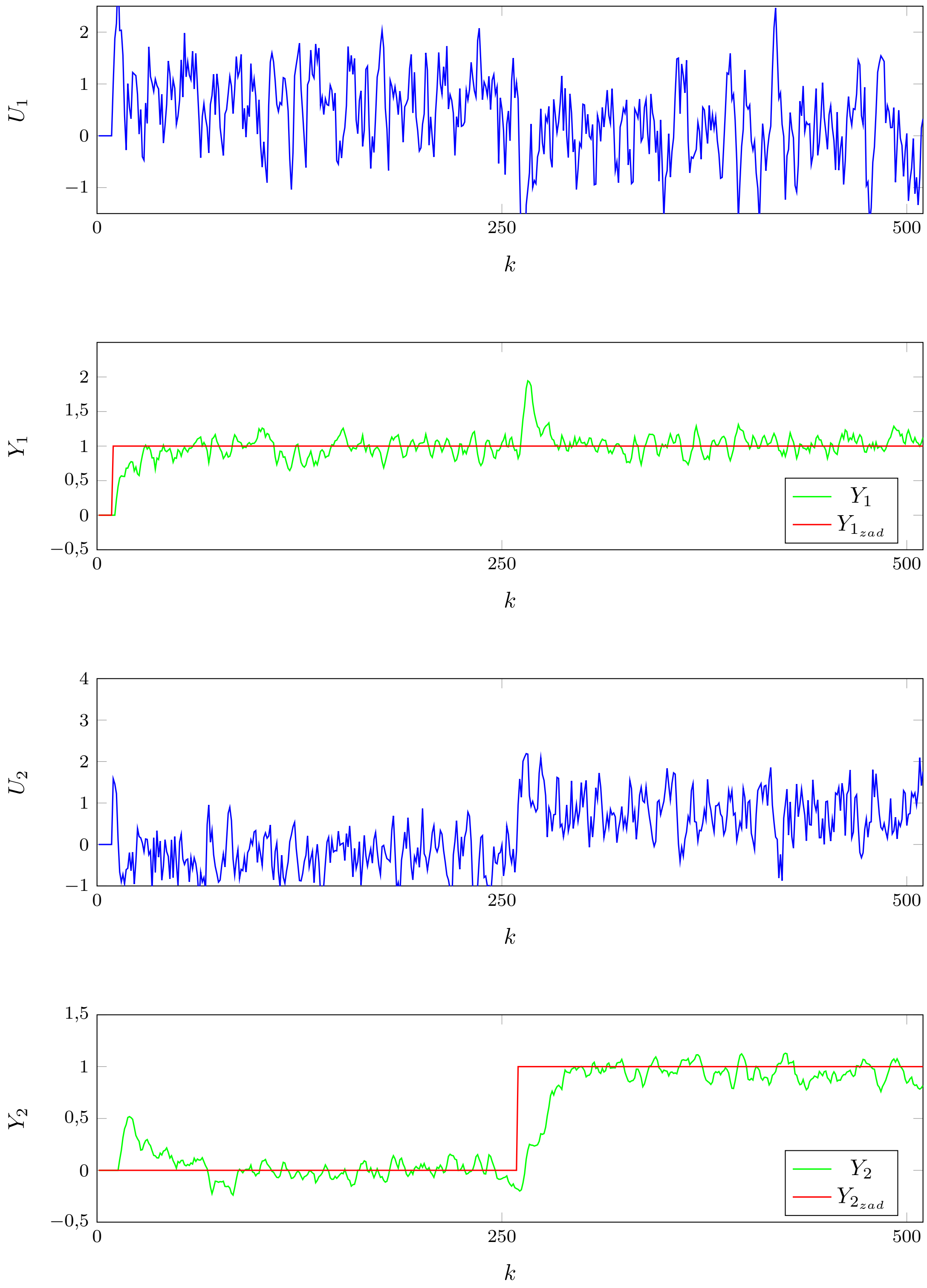
Efekt zaszumienia pomiaru wyjścia obiektu szumem o rozkładzie jednostajnym i amplitudzie $0,2$ został zaprezentowany na wykresie 7.5, Jakość regulacji jest wciąż dobra, chociaż przebiegi stają coraz mocniej odstawać od wartości zadanej. Błąd niewiele większy niż ten w poprzednim podpunkcie, wyniósł $E = 25,6682$.



Rys. 7.5. Oba regulatory DMC dla szumu o rozkładzie jednostajnym i amplitudzie $0,2$

7.2.3. Szum o rozkładzie jednostajnym i amplitudzie 0,5

Gdy błędu pomiarów sygnałów wyjściowych są modelowane szumem o amplitudzie $0,5$, algorytm DMC radzi sobie podobnie do PIDa, ale dla szumu o wartości $0,2$. Błąd wynosi $E = 37,6402$, a oscylacje sygnału wyjściowego przyjmują wartości aż +/- 0,25. Jest to ostatecznym dowodem na przewagę algorytmu DMC w reakcji na szum pomiarowy. Wykres 7.6.



Rys. 7.6. Oba regulatory DMC dla szumu o rozkładzie jednostajnym i amplitudzie $0,5$

7.2.4. Wnioski

Regulatory wykazują się zadowalającą odpornością na szumy pomiarowe w sygnale wyjściowym. Dla wszystkich wartości szumu DMC poradził sobie lepiej od regulatora PID.