

Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych
Politechnika Warszawska

Projektowanie układów sterowania
(projekt grupowy)

Sprawozdanie z projektu i ćwiczenia laboratoryjnego
nr 1, zadanie nr 1

Stanislau Stankevich, Rafał Bednarz, Ostrysz Jakub

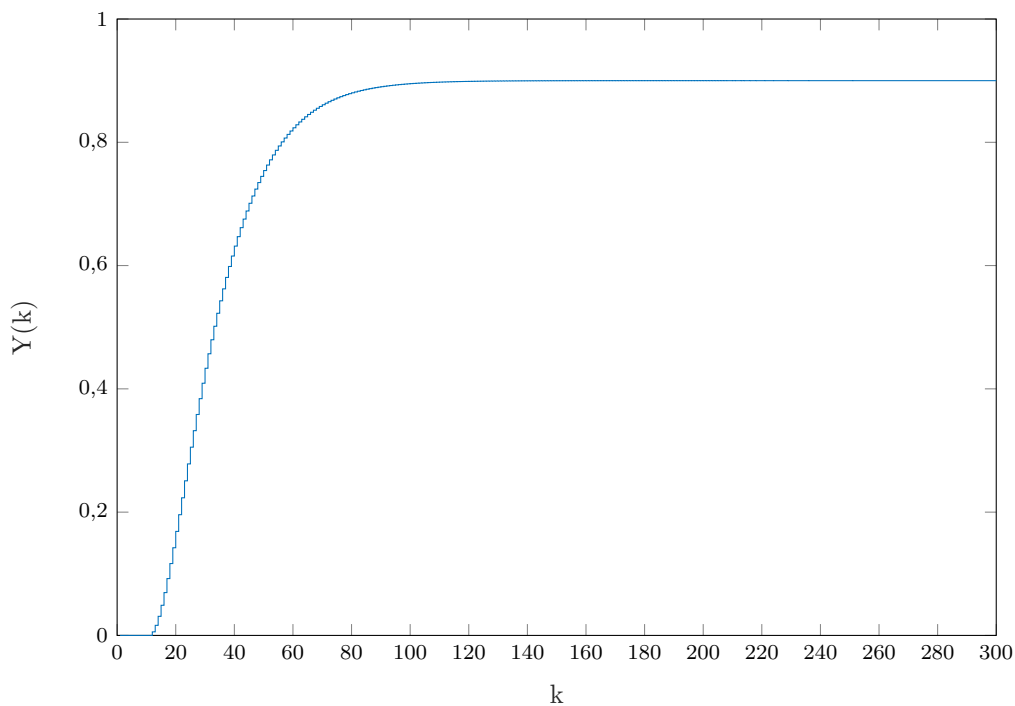
Warszawa, 2021

Spis treści

1. Sprawdzenie poprawności podanych wartości	2
2. Odpowiedzi skokowe	3
2.1. Odpowiedzi skokowe	3
2.2. Charakterystyka statyczna	3
2.3. Wzmocnienie statyczne	4
3. Przekształcenie odpowiedzi skokowej na potrzeby algorytmu DMC	5
3.1. Przekształcenie odpowiedzi	5
3.2. Wykres odpowiedzi skokowej	5
4. Algorytmy regulacji	7
4.1. Algorytm cyfrowy regulacji PID	7
4.2. Algorytm DMC w wersji analitycznej	7
5. Strojenie regulatorów	8
5.1. Strojenie regulatora PID	8
5.2. Strojenie regulatora DMC	10
6. Optymalizacja wskaźników jakości	15
6.1. Regulator PID	15
6.2. Regulator DMC	18

1. Sprawdzenie poprawności podanych wartości

Żeby sprawdzić poprawność podanych wartości podajemy na wejście wartość U_{PP} i patrzymy na jakiej wartości się ustali Y_{PP} .



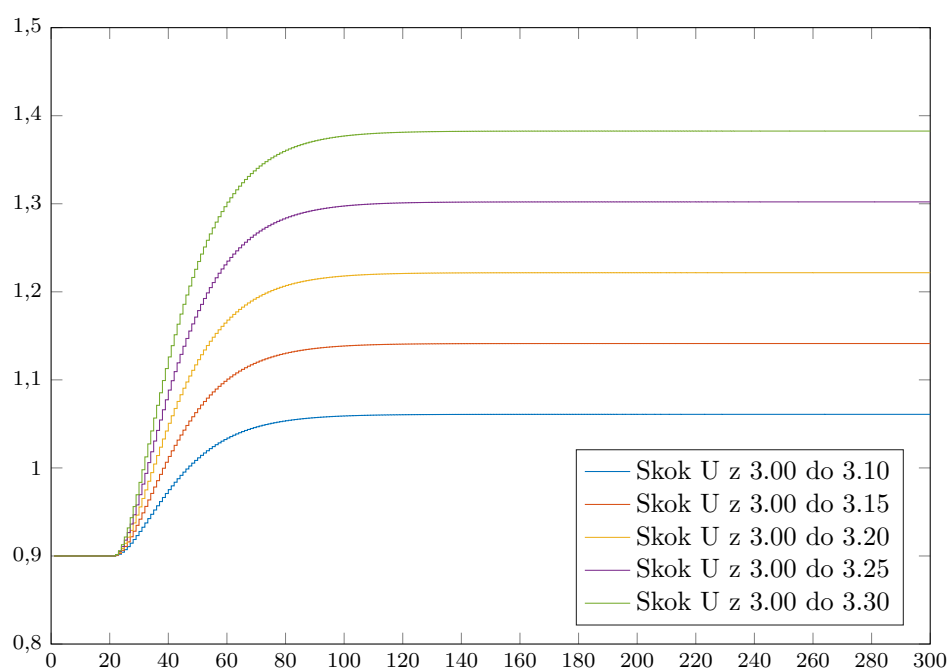
Rys. 1.1. Przebieg wyjścia obiektu przy stałym wejściu równym U_{PP}

Jak możemy obserwować wyjście się ustala na poprawnej wartości, czyli na 0,9.

2. Odpowiedzi skokowe

2.1. Odpowiedzi skokowe

Rozważamy 5 różnych wartości skoku: 0,1, 0,15, 0,2, 0,25, 0,3.

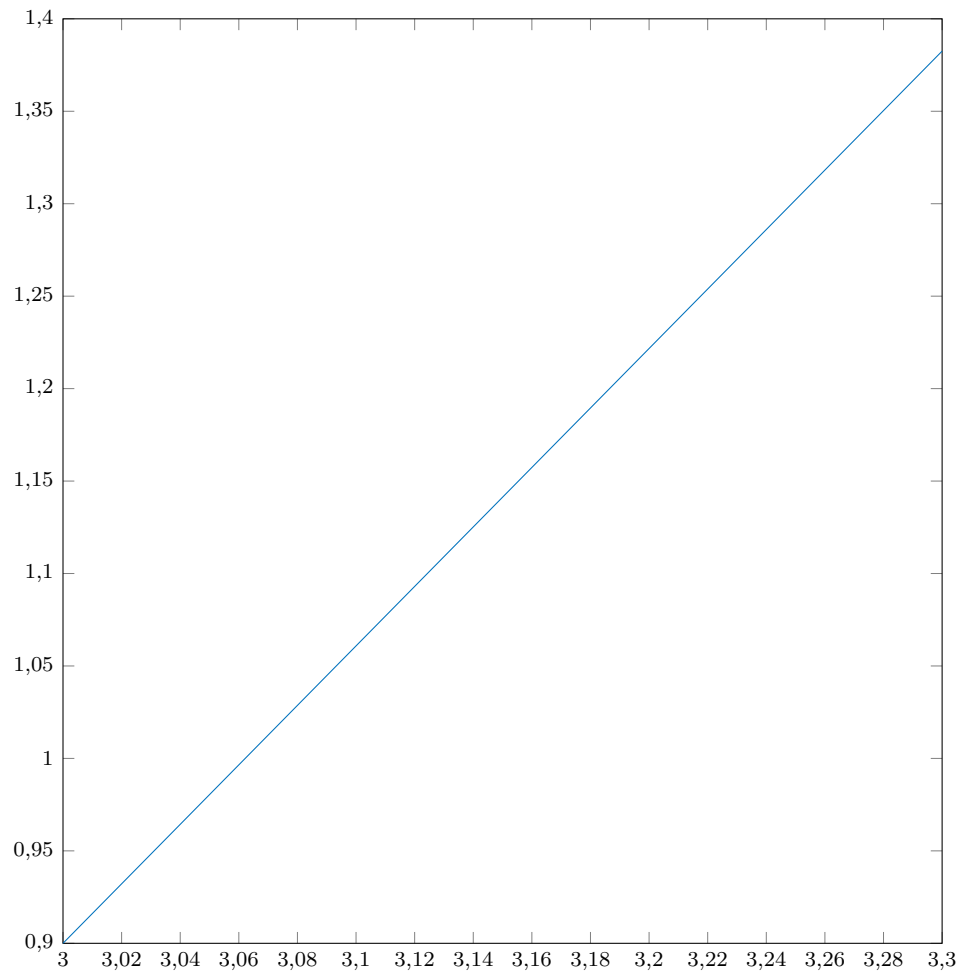


Rys. 2.1. Wykresy odpowiedzi skokowych

Jak widać wartość skoku na wyjściu jest proporcjonalna wartości skoku wejścia.

2.2. Charakterystyka statyczna

Jako dane do wykresu bierzemy 6 punktów. Pierwszy punkt to U_{PP} i Y_{PP} . Kolejne punkty to wejścia razem ze skokiem i odpowiednie wartości wyjścia.

Rys. 2.2. Charakterystyka statyczna $y(u)$

2.3. Wzmocnienie statyczne

Jak widać z powyższego wykresu, charakterystyka jest prawie idealnie liniowa. Wyliczone wzmocnienie statyczne:

$$K_{\text{stat}} = 1,6085 \quad (2.1)$$

3. Przekształcenie odpowiedzi skokowej na potrzeby algorytmu DMC

3.1. Przekształcenie odpowiedzi

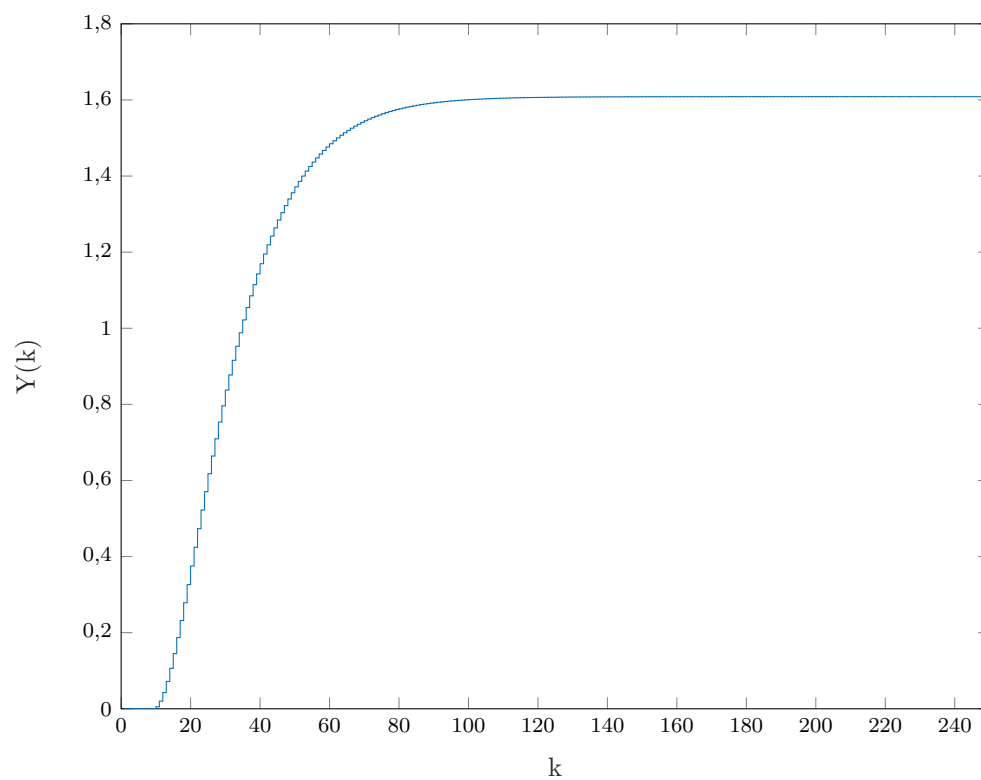
Odpowiedź skokowa wykorzystywana w algorytmach DMC tworzona jest przy skoku jednostkowym od chwili $k=0$ (od $k \geq 0$ sygnał sterujący ma wartość 1, a dla $k < 0$ wartość 0). Żadna z odpowiedzi skokowych z podpunktu 2 nie posiada tej własności, dlatego też należy skorzystać z poniższego wzoru:

$$S_i = \frac{Y(i) - Y_{pp}}{\Delta U}, \text{ dla } i = 1, 2 \dots D \quad (3.1)$$

Przy jego pomocy można wyznaczyć kolejne zestawy liczb $s_1, s_2 \dots$, które są kolejnymi wartościami wyznaczanej odpowiedzi skokowej. We wzorze Y_{pp} oznacza wyjście w punkcie pracy, ΔU wartość skoku sygnału sterującego. Natomiast $Y(i)$ to wartości przekształcanej odpowiedzi skokowej, dla kolejnych chwil od momentu wystąpienia skoku sygnału sterującego. Do przekształcenia odpowiedzi skokowej według powyższego wzoru wybrano odpowiedź procesu dla zmiany sygnału sterującego o $\Delta U = 0,3$ (skok z $U_{pp} = 3$ do $U = 3,3$). Skok sygnału sterującego zadany był w chwili $k=12$.

3.2. Wykres odpowiedzi skokowej

Po wyliczeniu kolejnych współczynników s i naniesieniu ich na wykres odpowiedź skokowa wygląda następująco:



Rys. 3.1. Odpowiedź skokowa przekształcona

4. Algorytmy regulacji

4.1. Algorytm cyfrowy regulacji PID

Prawo regulacji cyfrowego PID:

$$u(k) = r_2 e(k-2) + r_1 e(k-1) + r_0 e(k) + u(k-1), \text{ dla } k = 12, 13 \dots N \quad (4.1)$$

Współczynniki regulacji r_i są wyliczane ze standardowych wzorów i zależą od wzmocnienia członu proporcjonalnego K_p , parametru całkowania T_i , parametru różniczkowania T_d , które są parametrami dostrojalnymi regulatora, oraz od wartości okresu próbkowania $T = 0,5s$.

Wartości wejścia i wyjścia będą wystawiane na U_{PP} i Y_{PP} dla $k = 1, 2 \dots 11$, a dla następnych chwil czasu wejście będzie liczone z prawa regulacji, uwzględniając ograniczenia u_{min} , u_{max} , Δu^{max} .

4.2. Algorytm DMC w wersji analitycznej

Prawo regulacji DMC:

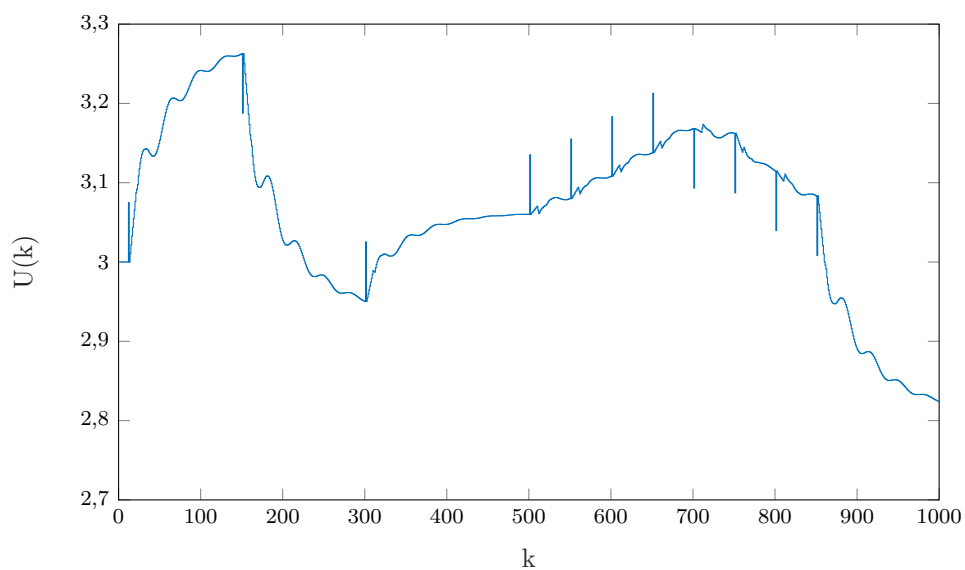
$$\Delta U(k) = K(Y^{zad}(k) - Y^0(k)) \quad (4.2)$$

Gdzie $\Delta U(k)$ to wektor N_u (horyzont sterowania) przyszłych wartości sterowania, $Y^0(k)$ to przewidywana odpowiedź z modelu procesu, K - macierz policzona raz na początku ze współczynników odpowiedzi skokowej, uwzględniając wybrany współczynnik λ oraz horyzonty predykcji i sterowania.

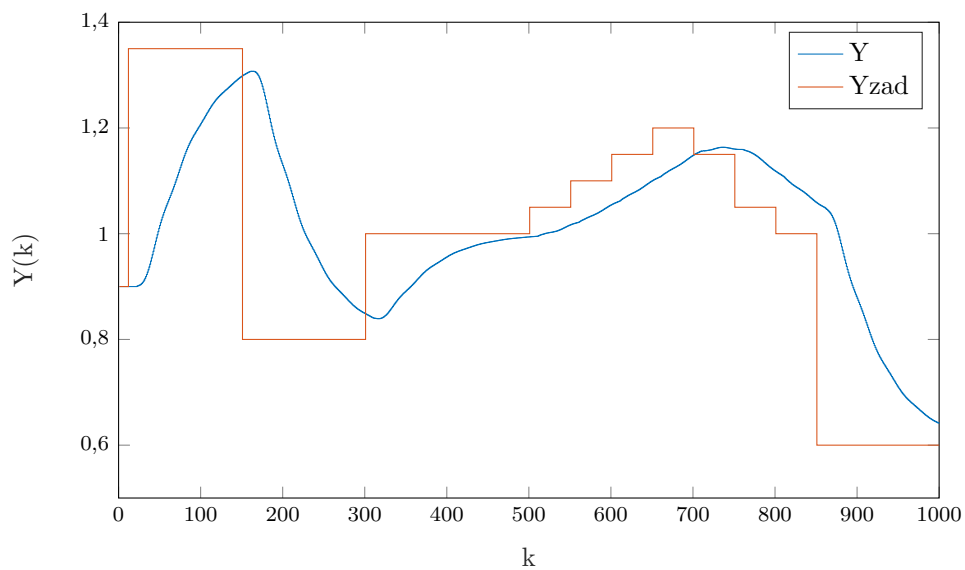
5. Strojenie regulatorów

5.1. Strojenie regulatora PID

Otrzymane metodą ZN nastawy regulatora PID: $K_p = 1.212$, $T_i = 25$, $T_d = 6$.
Wyniki symulacji o długości $n = 1000$ dla parametrów:



Rys. 5.1. Sterowanie PID dla parametrów ZN

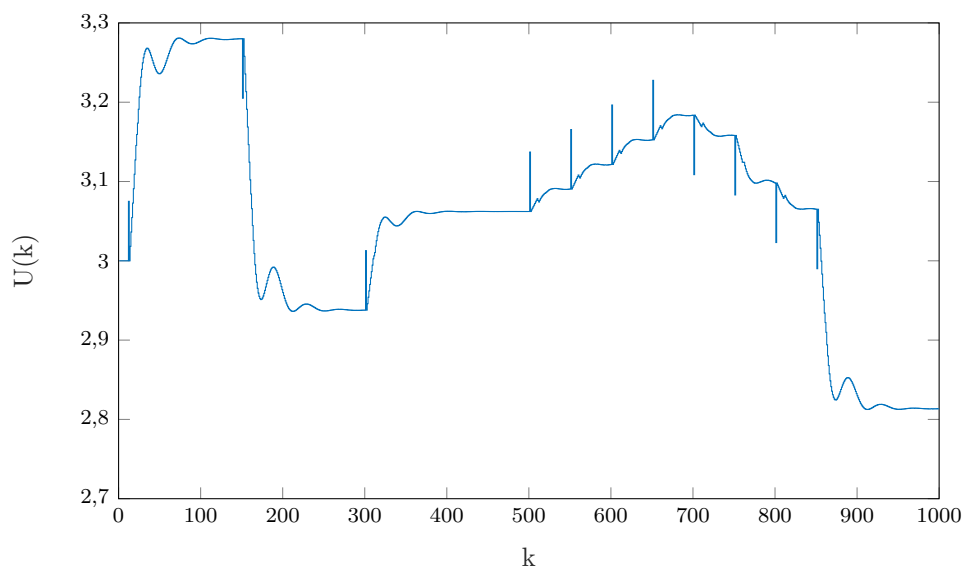


Rys. 5.2. Śledzenie wartości zadanej dla parametrów ZN

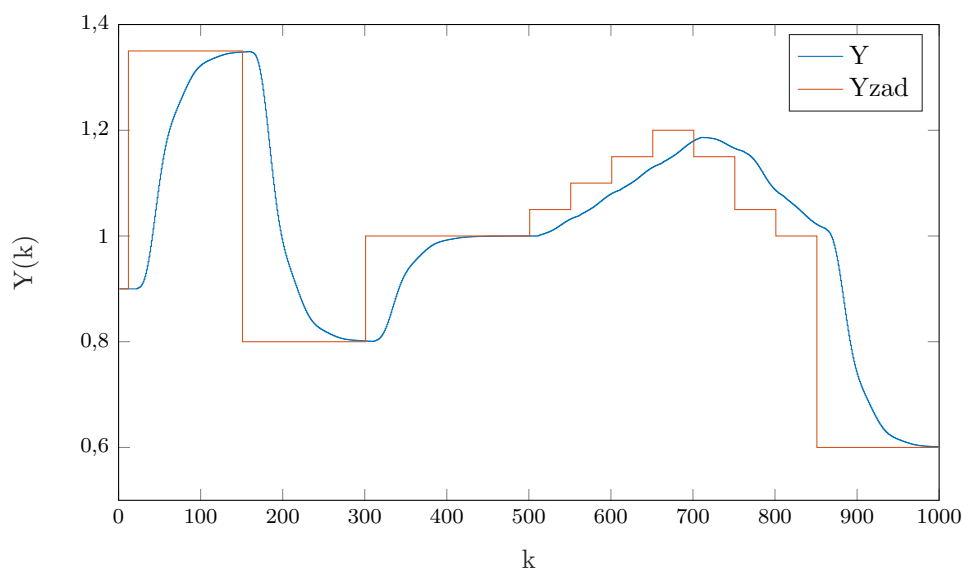
Wskaźnik jakości regulacji:

$$E = 36,0711 \quad (5.1)$$

Zmieniając T_i i T_d na 15 i 4 odpowiednio:



Rys. 5.3. Sterowanie PID dla parametrów $K = 1,212$, $T_i = 15$, $T_d = 4$



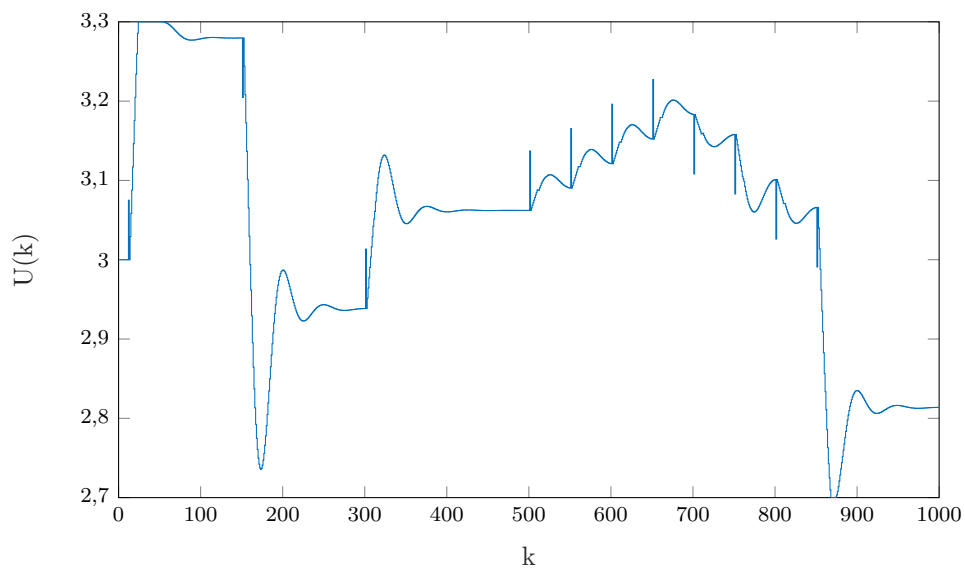
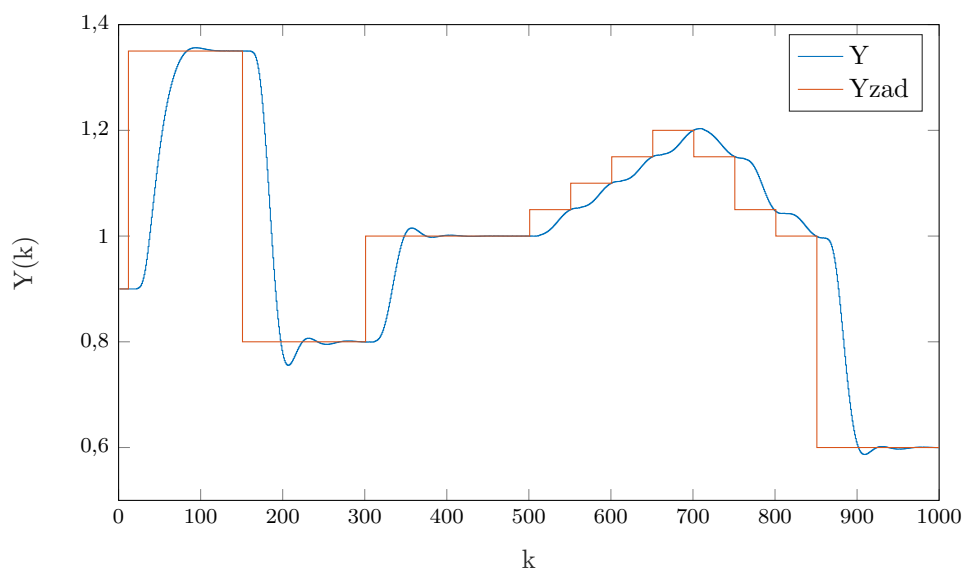
Rys. 5.4. Śledzenie wartości zadanej dla parametrów $K = 1,212$, $T_i = 15$, $T_d = 4$

Wskaźnik jakości regulacji:

$$E = 25,6710 \quad (5.2)$$

Wartości parametrów dla których wartość wyjścia najlepiej śledzi wartość zadaną (na oko) to:

$$K = 1,3; T_i = 10; T_d = 3; \quad (5.3)$$

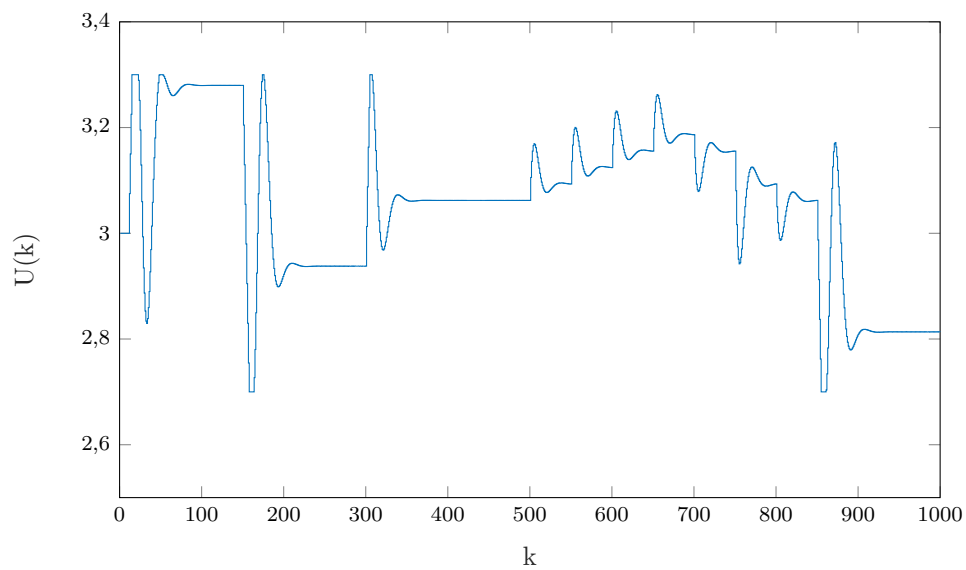
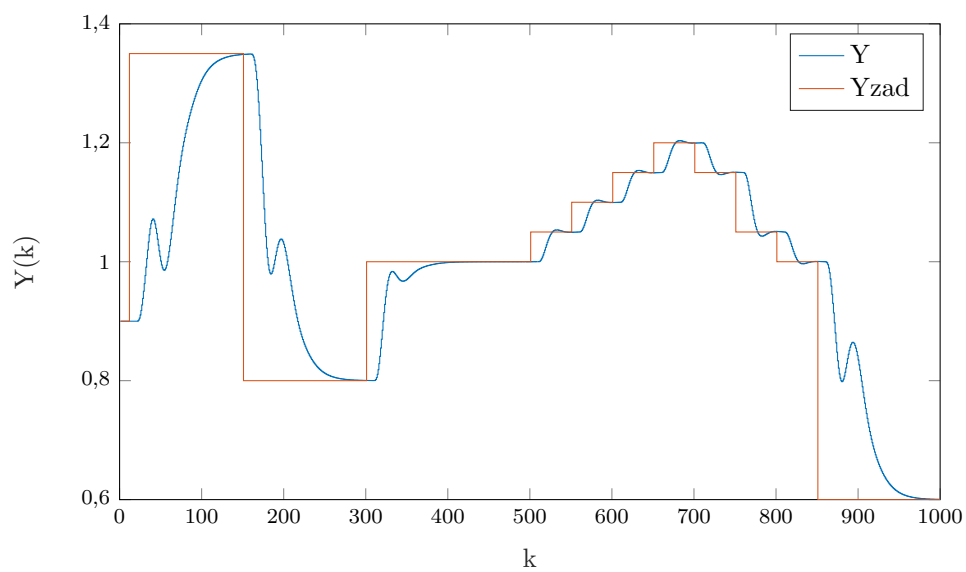
Rys. 5.5. Sterowanie PID dla parametrów $K = 1,3$, $T_i = 10$, $T_d = 3$ Rys. 5.6. Śledzenie wartości zadanej dla parametrów $K = 1,3$, $T_i = 10$, $T_d = 3$

Wskaźnik jakości regulacji:

$$E = 20,5988 \quad (5.4)$$

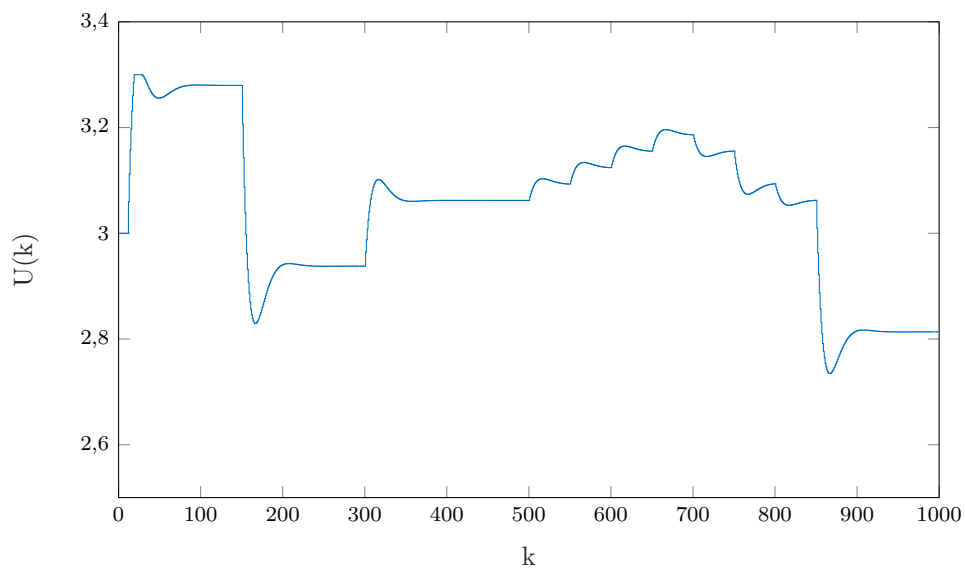
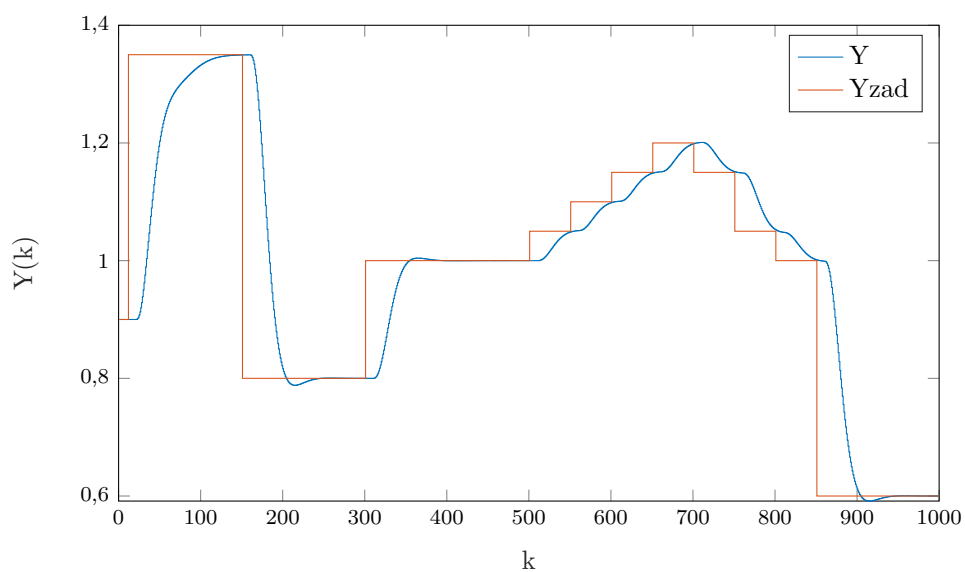
5.2. Strojenie regulatora DMC

Dostrojenie regulatora zaczynamy od losowy wybranych parametrów: $N = 100$, $N_u = 10$, $\lambda = 1$.

Rys. 5.7. Sterowanie DMC dla parametrów $N = 100$, $N_u = 10$, $\lambda = 1$ Rys. 5.8. Wyjście DMC dla parametrów $N = 100$, $N_u = 10$, $\lambda = 1$

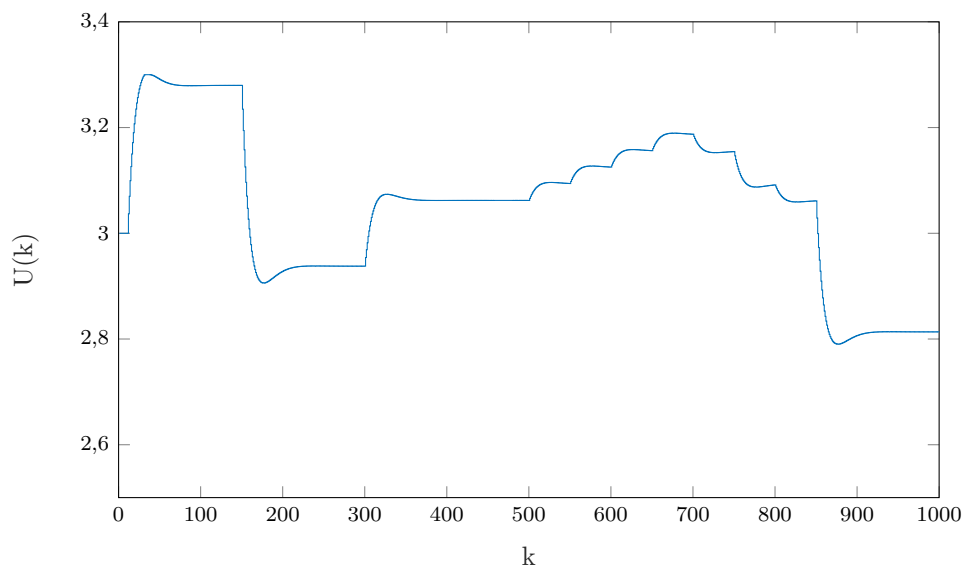
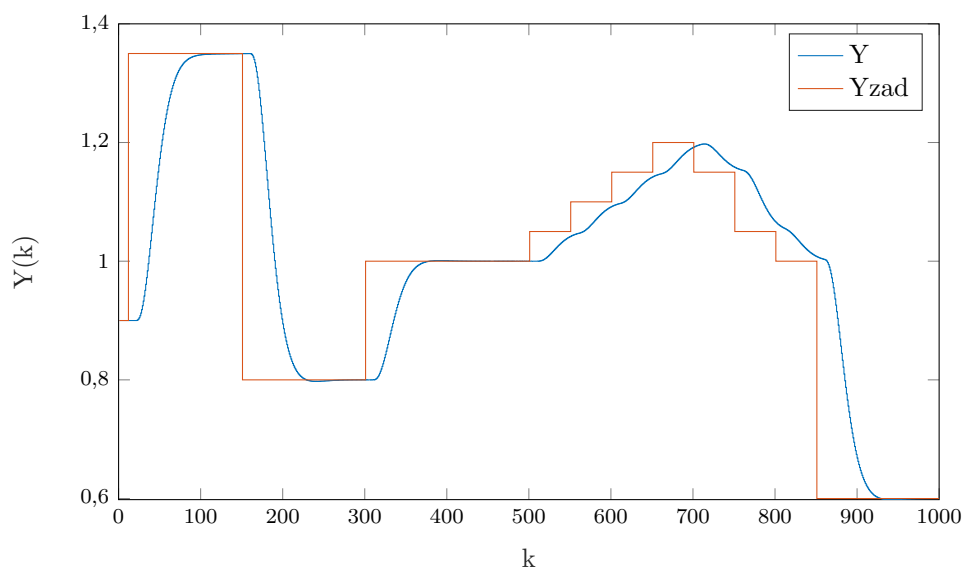
$$E = 22,3271 \quad (5.5)$$

Zwiększając λ do 50 otrzymujemy dużo lepsze śledzenie na wyjściu.

Rys. 5.9. Sterowanie DMC dla parametrów $N = 100$, $N_u = 10$, $\lambda = 50$ Rys. 5.10. Wyjście DMC dla parametrów $N = 100$, $N_u = 10$, $\lambda = 50$

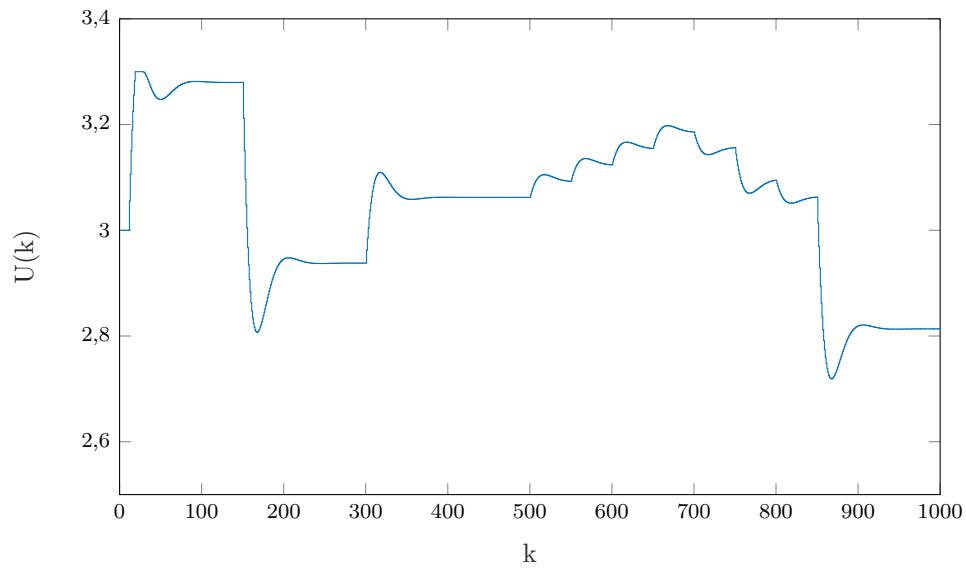
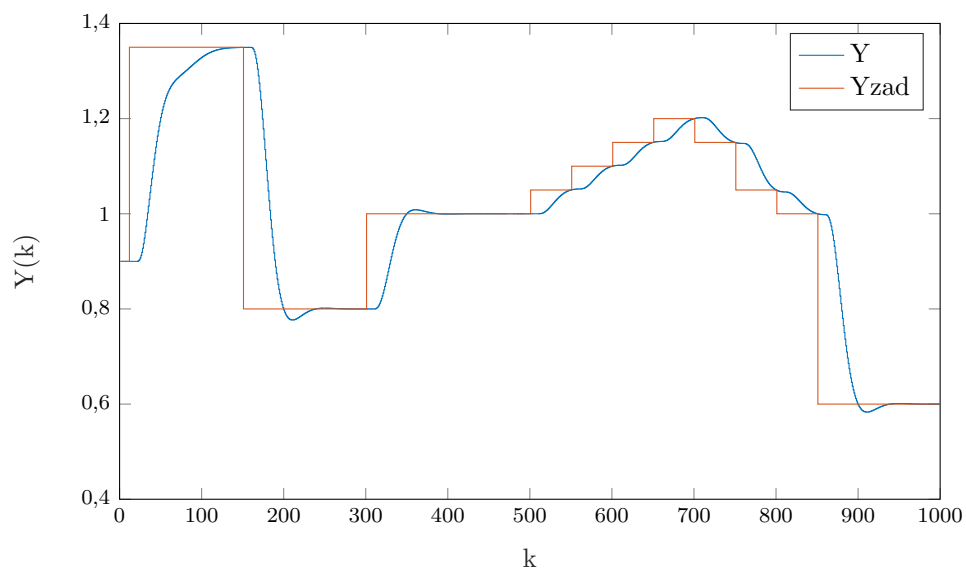
$$E = 18,4148 \quad (5.6)$$

Zwiększając jeszcze bardziej λ widzimy że regulacja przy dużym skoku jest szybsza, natomiast przy częstych małych zmianach wartości zadanej regulacja działa gorzej.

Rys. 5.11. Sterowanie DMC dla parametrów $N = 100$, $N_u = 10$, $\lambda = 200$ Rys. 5.12. Wyjście DMC dla parametrów $N = 100$, $N_u = 10$, $\lambda = 200$

$$E = 20,9602 \quad (5.7)$$

Najlepszy wynik eksperymentu dały parametry: $N = 80$, $N_u = 20$, $\lambda = 60$.

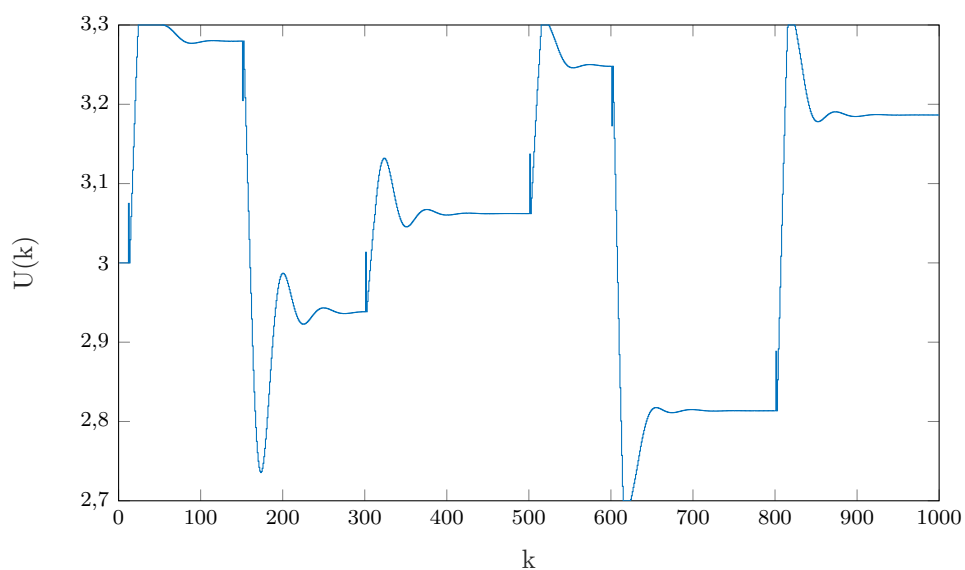
Rys. 5.13. Sterowanie DMC dla parametrów $N = 80$, $N_u = 20$, $\lambda = 60$ Rys. 5.14. Wyjście DMC dla parametrów $N = 80$, $N_u = 20$, $\lambda = 60$

$$E = 18,3800 \quad (5.8)$$

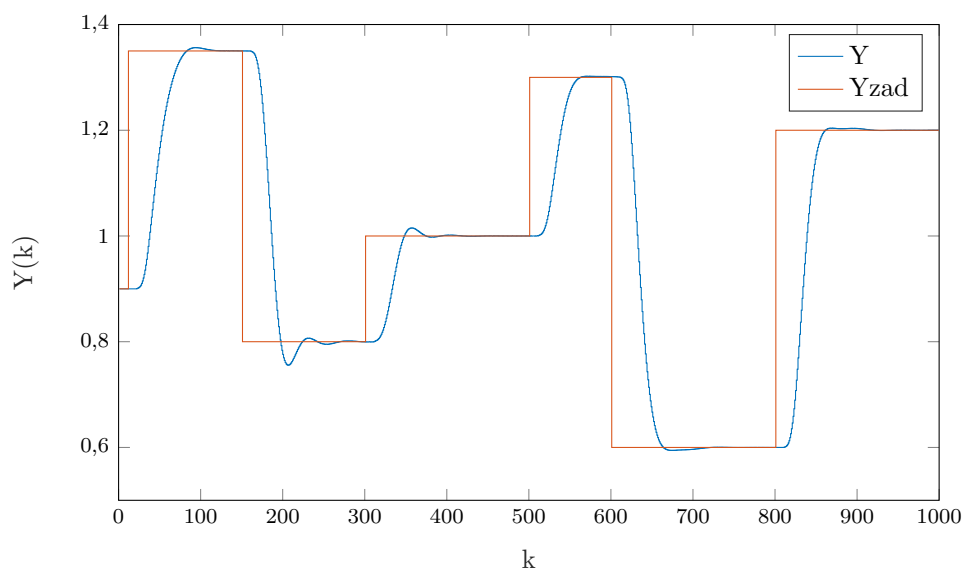
6. Optymalizacja wskaźników jakości

6.1. Regulator PID

Dla tego zadania zastosowaliśmy inną trajektorię zadaną. Wynik działania regulacji PID o wcześniej dobranych parametrach dla nowej trajektorii:



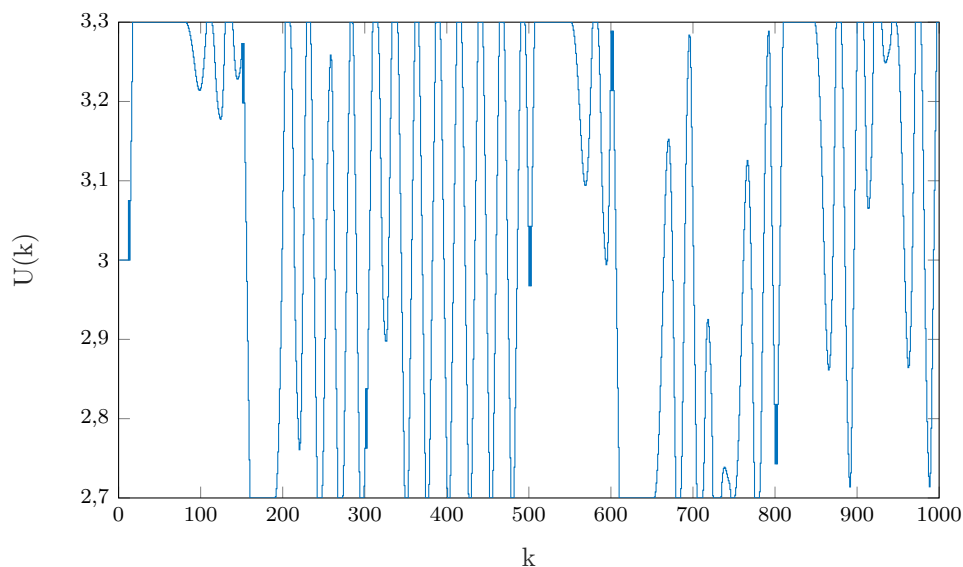
Rys. 6.1. Sterowanie PID dla parametrów $K = 1, 3$, $T_i = 10$, $T_d = 3$



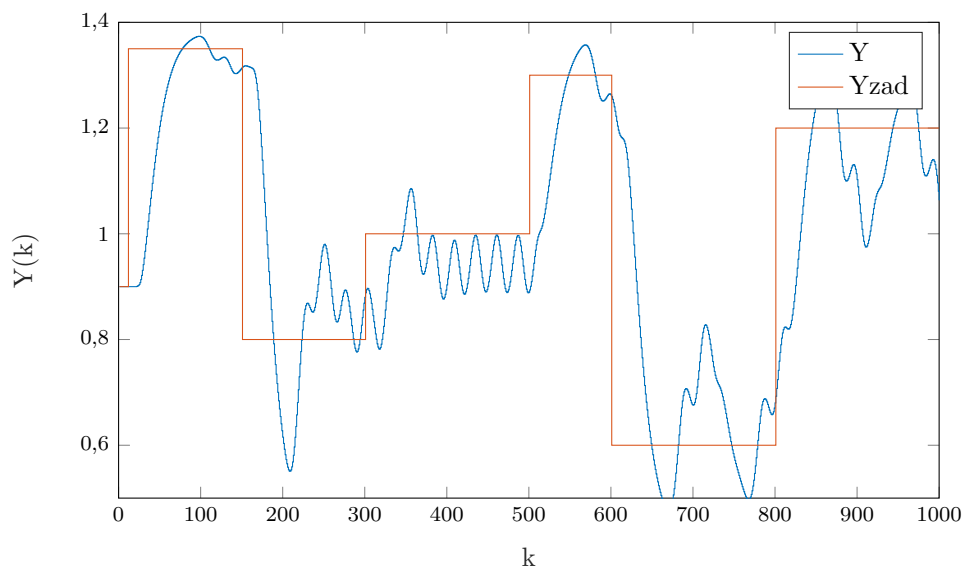
Rys. 6.2. Śledzenie wartości zadanej dla parametrów $K = 1, 3$, $T_i = 10$, $T_d = 3$

$$E = 42,3494 \quad (6.1)$$

W wyniku działania programu, który szukał lepszych parametrów regulatorów, patrząc na wskaźnik jakości E , dostaliśmy wartości, przy których regulacja jest bardzo oscylacyjna, przy czym wskaźnik jakości był tym mniejszy, im większe było wzmocnienie. Na przykład dla wartości $K = 1,4$, $T_i = 1,35$, $T_d = 19,55$ regulacja wyglądała następująco:



Rys. 6.3. Sterowanie PID dla parametrów $K = 1,4$, $T_i = 1,35$, $T_d = 19,55$



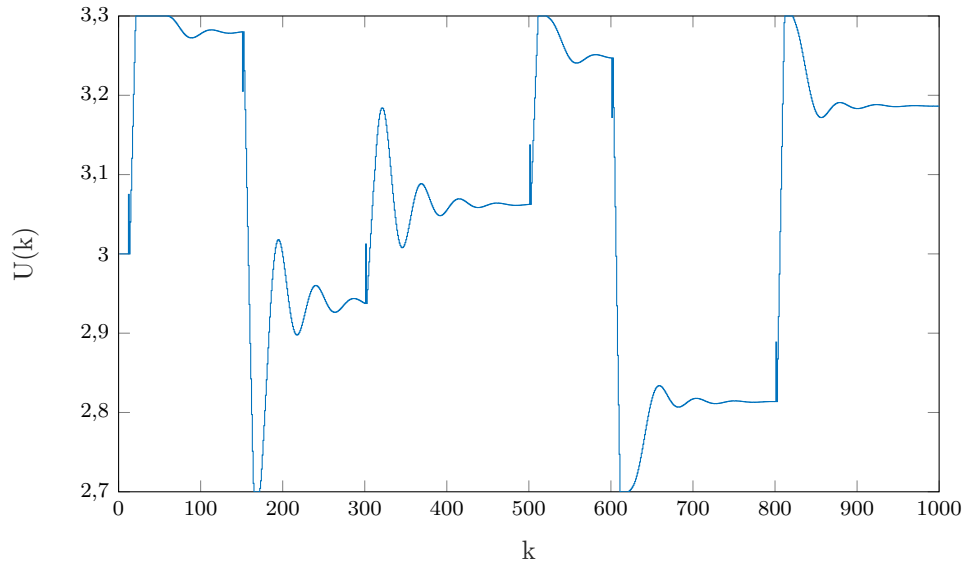
Rys. 6.4. Śledzenie wartości zadanej dla parametrów $K = 1,4$, $T_i = 1,35$, $T_d = 19,55$

$$E = 34,7839 \quad (6.2)$$

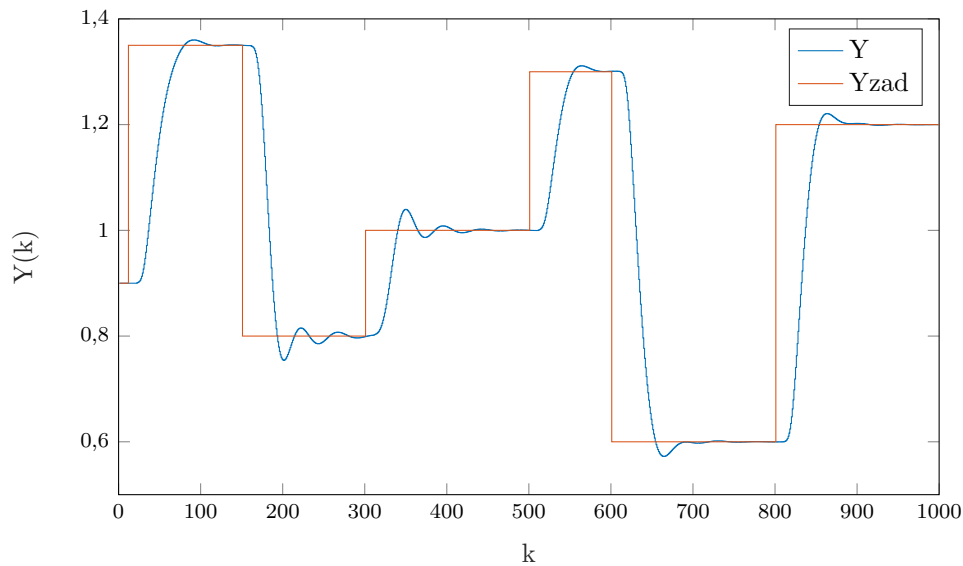
Spróbowałismy inny wskaźnik jakości - średniomodułowy zamiast średniokwadratowego:

$$E_{abs} = \sum_{k=1}^{k_{konc}} |y^{zad}(k) - y(k)| \quad (6.3)$$

Taki wskaźnik dawał bardziej sensowne wyniki. Dla parametrów z poprzedniego zadania $K = 1,3$, $T_i = 10$, $T_d = 3$ wskaźnik jest równy $E_{abs} = 97,4954$, a dla wartości otrzymanych w wyniku optymalizacji wskaźnika średniokwadratowego (wykres powyżej) wskaźnik nowy pokazuje $E_{abs} = 125,6801$. Dla rozpatrzonych wartości wzmocnienia od $K = 1,0$ do $K = 1,6$ oraz wartościami T_i i T_d od 1 do 20, najlepsze okazały się $K = 1,6$, $T_i = 8,95$, $T_d = 3,05$.



Rys. 6.5. Sterowanie PID dla parametrów $K = 1,6$, $T_i = 8,95$, $T_d = 3,05$



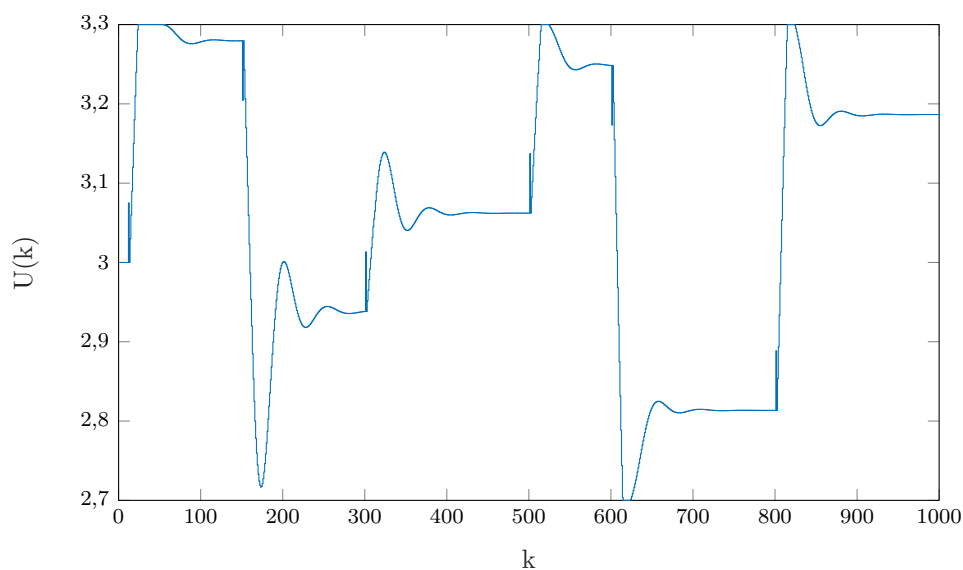
Rys. 6.6. Śledzenie wartości zadanej dla parametrów $K = 1,6$, $T_i = 8,95$, $T_d = 3,05$

$$E = 39,9123 \quad (6.4)$$

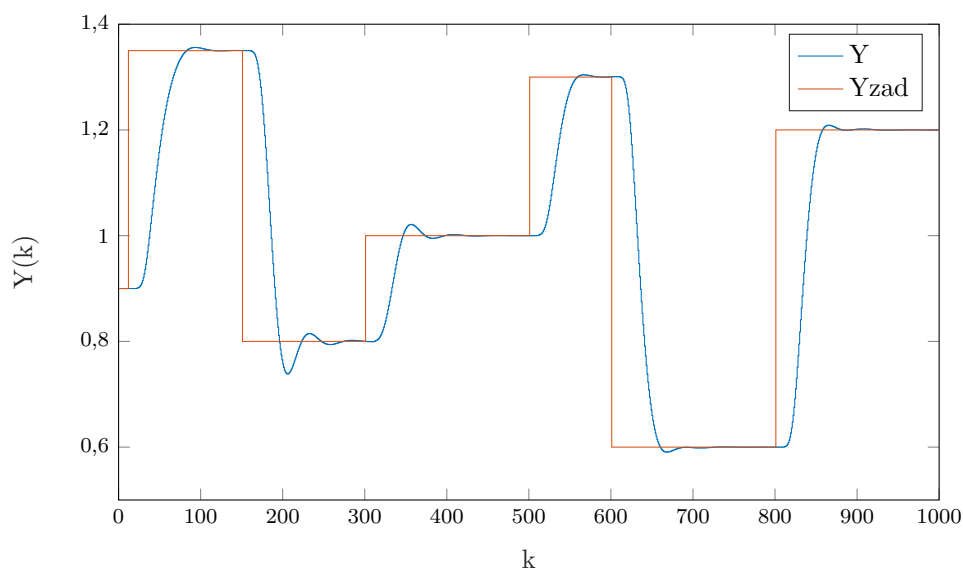
$$E_{abs} = 93,4427 \quad (6.5)$$

Regulacja wygląda lepiej, ale nadal są małe oscylacje. Parametry T_i i T_d dobrze się zoptymalizowały, natomiast wzmocnienie nadal jest zbyt duże.

Żeby tego uniknąć można nie rozpatrywać wartości K większe od 1,3. Przyjmując takie założenie, optymalne parametry to $K = 1,3$, $T_i = 9,75$, $T_d = 2,85$, czyli prawie takie same jak w poprzednim zadaniu.



Rys. 6.7. Sterowanie PID dla parametrów $K = 1,3$, $T_i = 9,75$, $T_d = 2,85$



Rys. 6.8. Śledzenie wartości zadanej dla parametrów $K = 1,3$, $T_i = 9,75$, $T_d = 2,85$

$$E = 42,1248 \quad (6.6)$$

$$E_{abs} = 97,2766 \quad (6.7)$$

6.2. Regulator DMC