Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych
Politechnika Warszawska

Projektowanie układów sterowania (projekt grupowy)

Sprawozdanie z projektu nr 2, zadanie nr 11

Kamil Gabryjelski, Paweł Rybak, Paweł Walczak

Warszawa, 2017

Spis treści

1. Opis obiektu

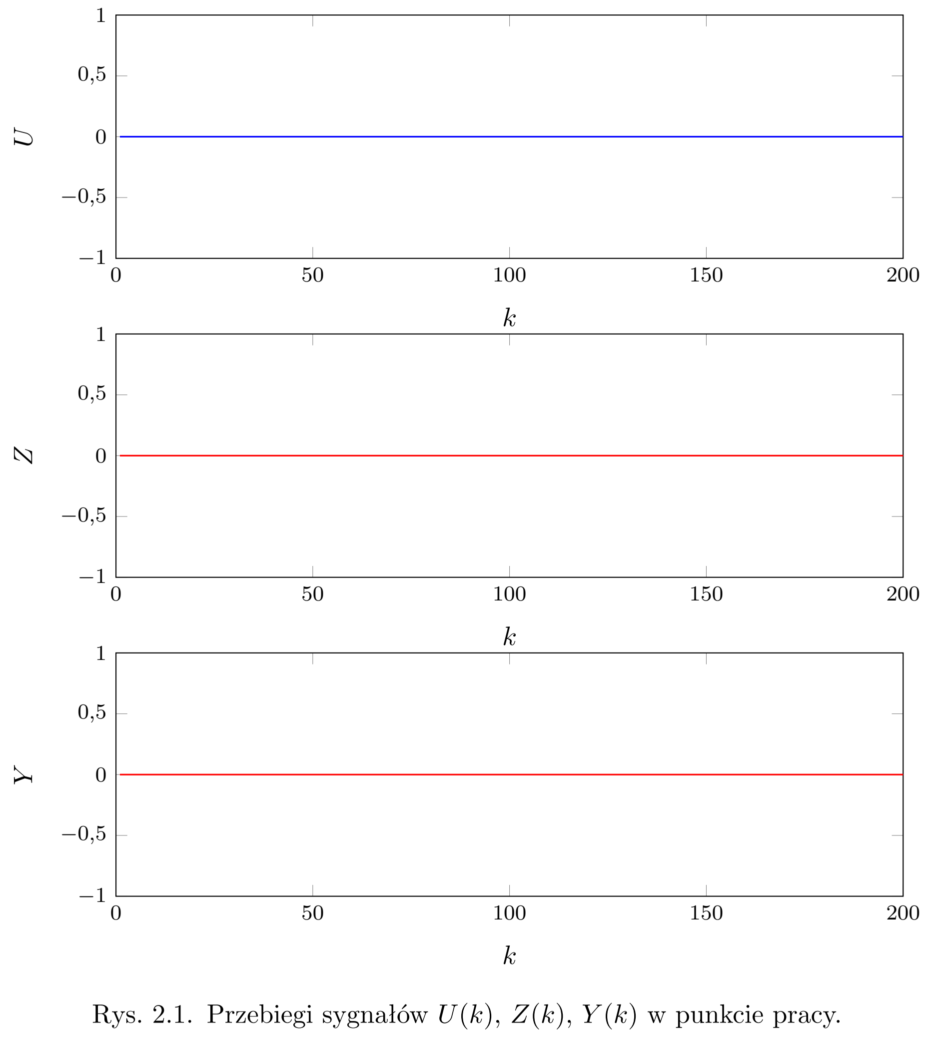
Obiekt używany w projekcie jest symulacją obiektu, napisaną w języku MATLAB. Opisywany jest on wzorem

$$Y(k) = f(U(k-7), U(k-8), Z(k-3), Z(k-4), Y(k-1), Y(k-2)) \tag{1.1}$$

gdzie k jest aktualną chwilą symulacji. Wartości sygnałów w punkcie pracy mają wartość $u = y = z = 0$. Okres próbkowania wynosi $T_p = 0,5s$

2. Punkt pracy

Celem zadania było sprawdzenie poprawności punktu pracy opisanego w sekcji 1. W celu weryfikacji zbadano odpowiedź obiektu na sygnał sterowania równy $U = 0$ oraz sygnał zakłócenia równy $Z = 0$. Zgodnie z oczekiwaniem, wyjście obiektu miało wartość $Y = 0$. Stąd podany punkt pracy $u = y = z = 0$ jest poprawny. Przebieg symulacji przedstawiony jest na wykresie 2.1.

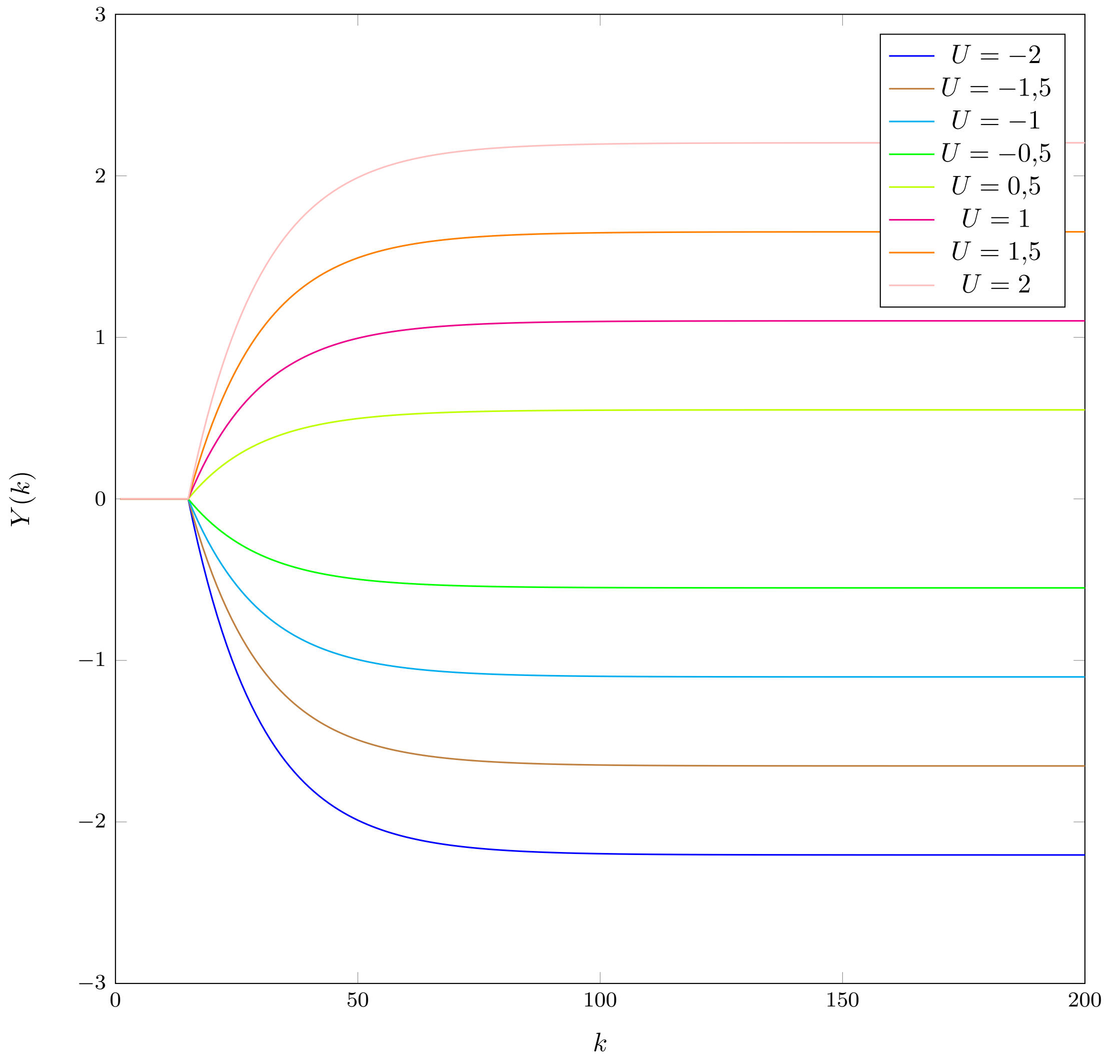


Rys. 2.1. Przebiegi sygnałów $U(k)$, $Z(k)$, $Y(k)$ w punkcie pracy.

3. Odpowiedzi skokowe

3.1. Tor sterowania

W tym punkcie badane są odpowiedzi skokowe obiektu na różne wartości skoku sygnału sterowania. Założono, że w chwili początkowej obiekt znajduje się w punkcie pracy. W chwili $k = 9$ wykonywany jest sterowania do zadanej wartości. Sygnał zakłócenia ma wartość $Z = 0$. Wyniki badań przedstawia wykres 3.1.

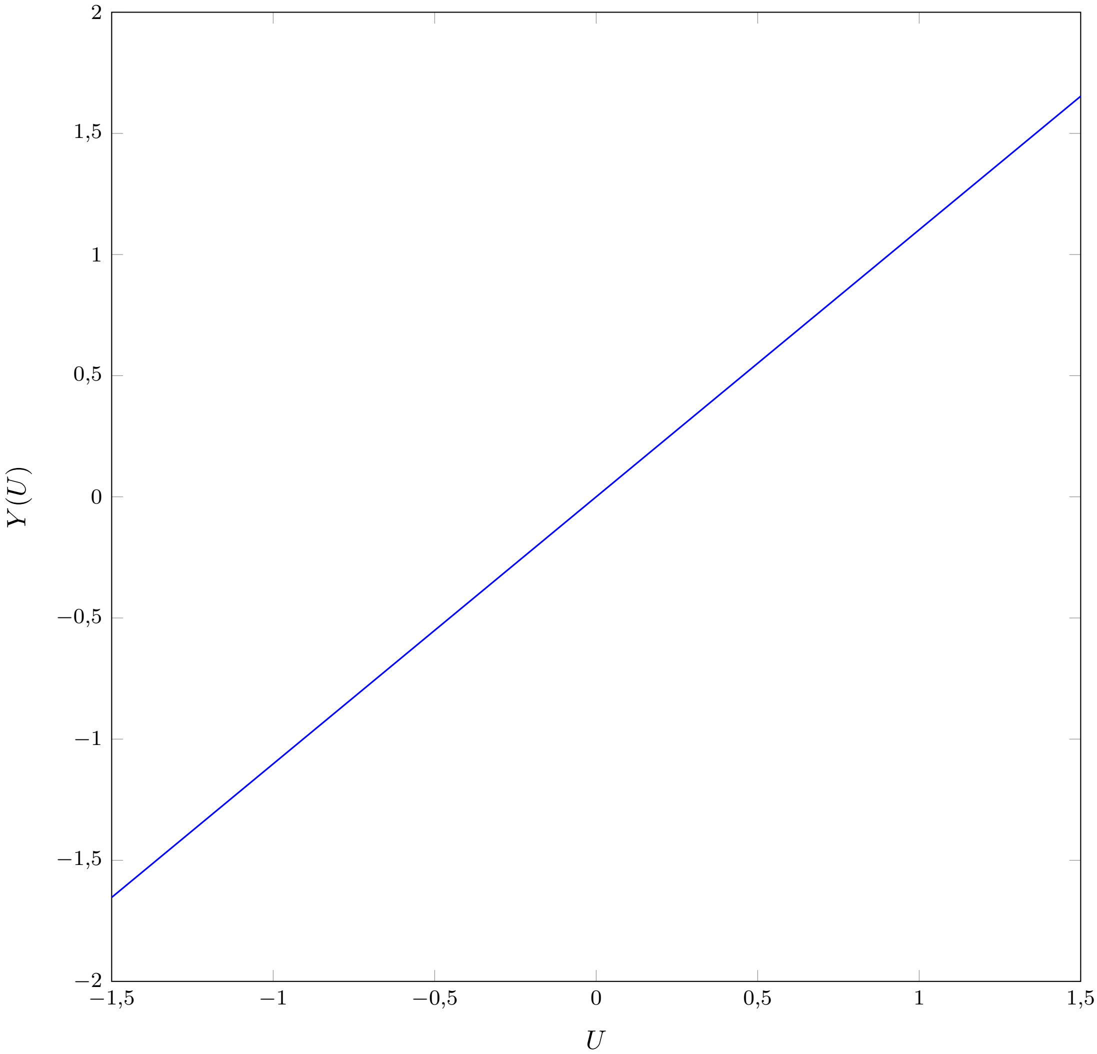


Rys. 3.1. Odpowiedź $Y(k)$ dla skoków sterowania U

3.2. Charakterystyka statyczna toru sterowania

Charakterystyka statyczna toru sterowania wyznaczona została poprzez sprawdzenie, na jakich wartościach stabilizuje się wyjście obiektu dla różnych wartości sygnału U. Liniowości charakterystki statycznej dowodzi wykres 3.2, który (w przybliżeniu) jest liniowy.

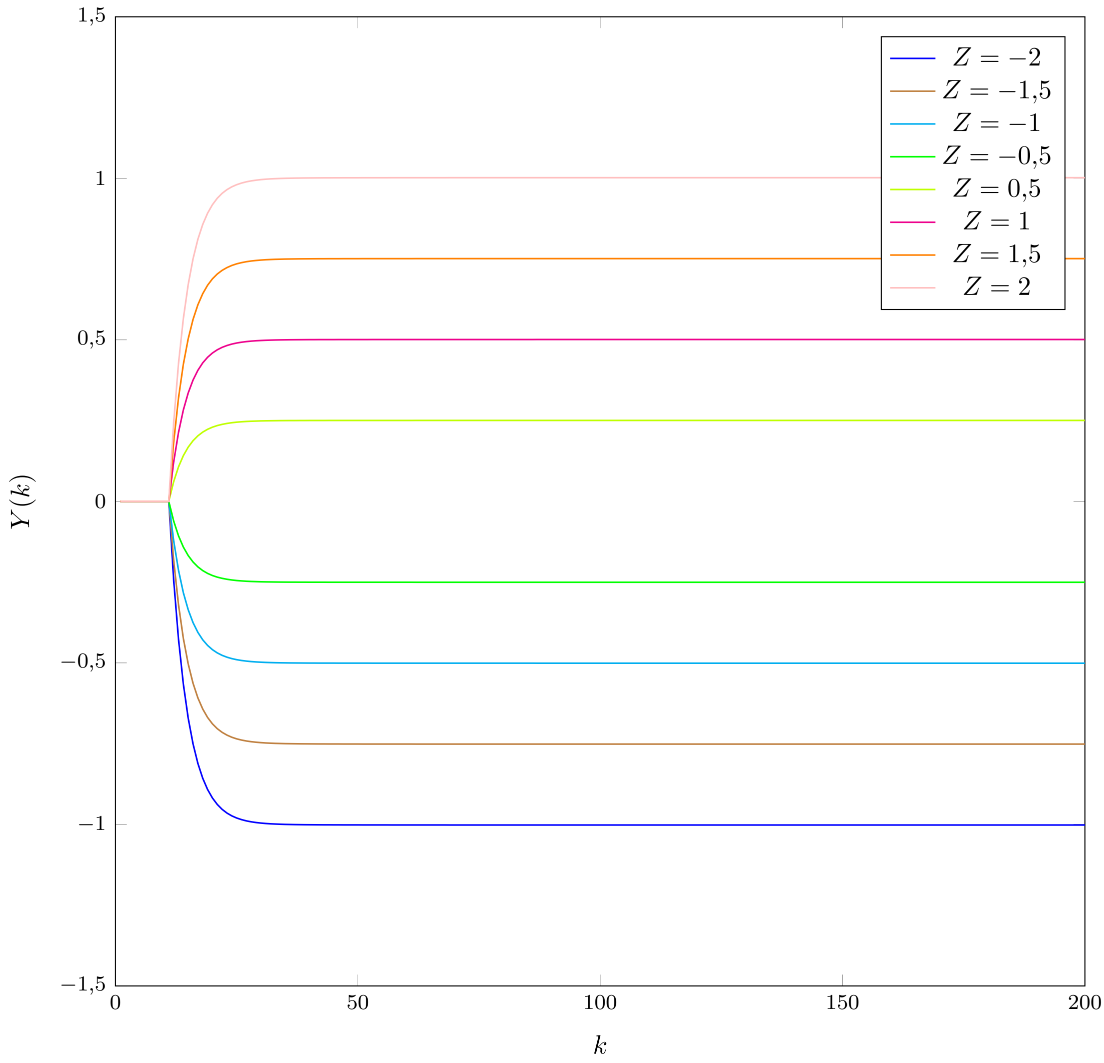
Wartość wzmocnienia statycznego można wyznaczyć normalizując odpowiedź skokową. Wynosi ona $s_u = 1,1022$.



Rys. 3.2. Charakterystyka statyczna $Y(U)$

3.3. Tor zakłócenia

W tym punkcie badane są odpowiedzi skokowe obiektu na różne wartości skoku sygnału zakłócenia. Założono, że w chwili początkowej obiekt znajduje się w punkcie pracy. W chwili $k = 9$ wykonywany jest sterowania do zadanej wartości. Sygnał sterowania ma wartość $U = 0$. Wyniki badań przedstawia wykres 3.3.

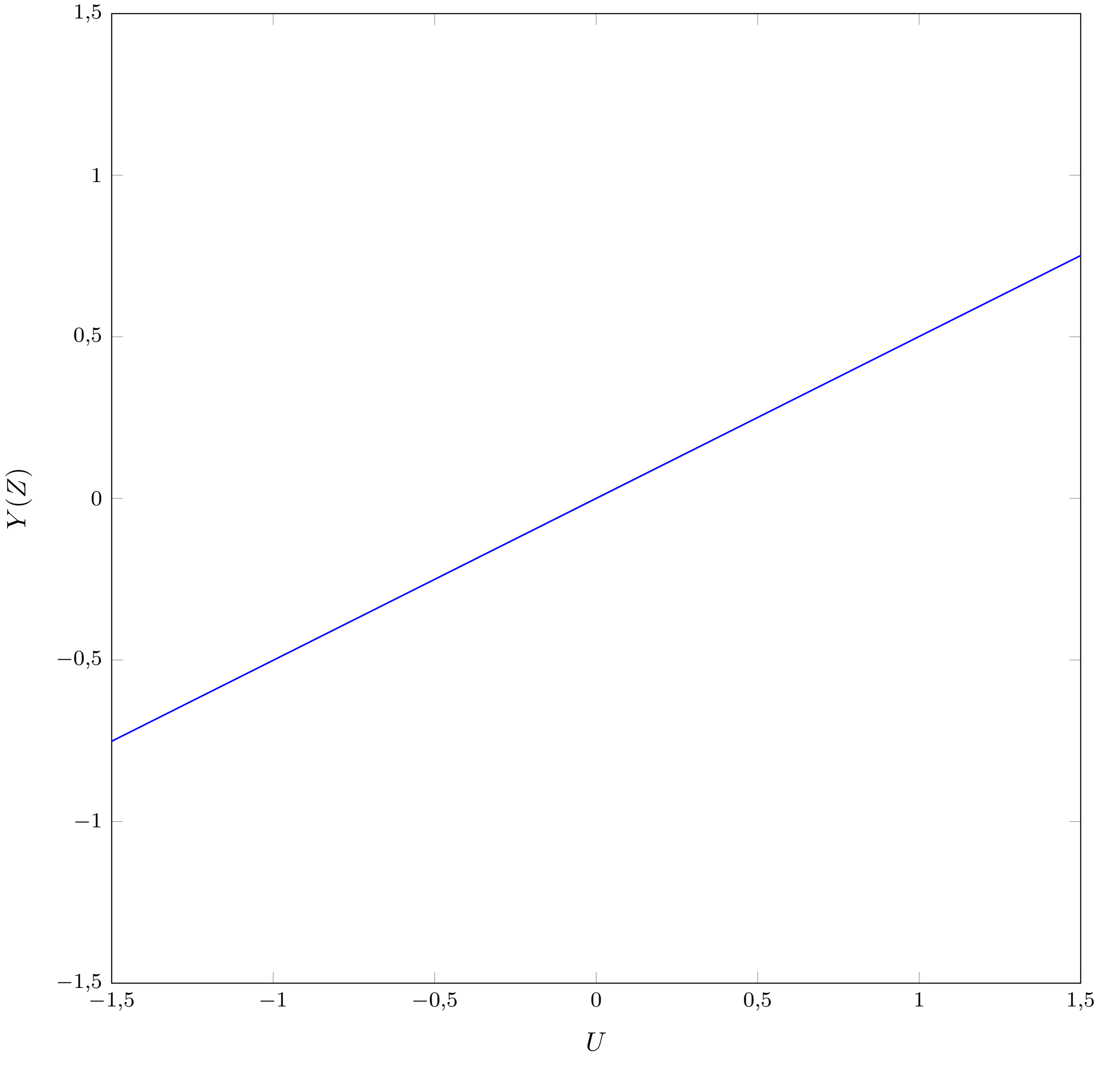


Rys. 3.3. Odpowiedź $Y(k)$ dla skoków zakłócenia Z

3.4. Charakterystyka statyczna toru zakłócenia

Charakterystyka statyczna toru zakłócenia wyznaczona została poprzez sprawdzenie, na jakich wartościach stabilizuje się wyjście obiektu dla różnych wartości sygnału Z. Liniowości charakterystki statycznej dowodzi wykres 3.4, który (w przybliżeniu) jest liniowy.

Wartość wzmocnienia statycznego można wyznaczyć normalizując odpowiedź skokową. Wynosi ona $s_z = 0,501$.



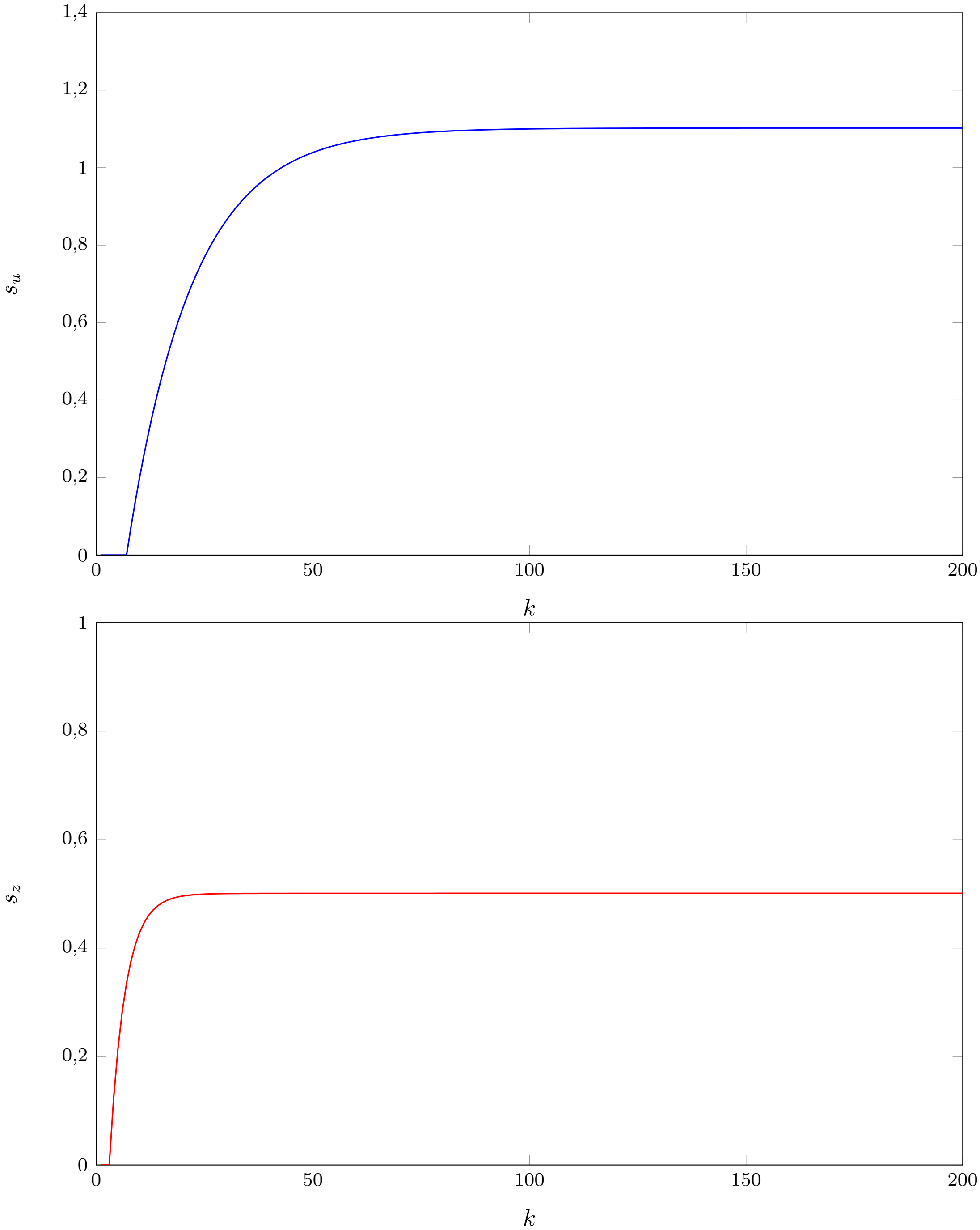
Rys. 3.4. Charakterystyka statyczna $Y(Z)$

4. Odpowiedzi skokowe dla algorytmu DMC

Do poprawnego działania algorytmu DMC wymagana jest znajomość odpowiedzi obiektu na skok jednostkowy. Często jednak dla niskich wartości sterowania odpowiedź jest zbyt zaszumiona, by można ją uznać za poprawną. W takich wypadkach stosuje się wyższą wartość sygnału sterowania, a otrzymaną odpowiedź normalizuje. Aby znormalizować odpowiedź skokową, należy od jej wartości odjąć punkt pracy obiektu, a otrzymany wynik podzielić przez wartość skoku sterowania (dla s_u) lub zakłócenia (dla s_z). Zależność tę określają wzory 4.1 i 4.2. Przebiegi znormalizowanych odpowiedzi skokowych przedstawia wykres 4.1.

$$s_u = \frac{Y - Y_{pp}}{dU} \tag{4.1}$$

$$s_z = \frac{Y - Y_{pp}}{dZ} \tag{4.2}$$



Rys. 4.1. Znormalizowane odpowiedzi skokowe na skoki sygnałów sterowania i zakłócenia

5. Algorytm DMC

5.1. Wersja analityczna

Do realizacji analitycznej wersji algorytmu DMC wykorzystano następujące wzory:

$$\boldsymbol{Y}(k) = \begin{bmatrix} y(k) \\ \vdots \\ y(k) \end{bmatrix}_{\mathrm{Nx1}} \tag{5.1}$$

$$\boldsymbol{Y}^{\mathrm{zad}}(k) = \begin{bmatrix} Y^{\mathrm{zad}}(k) \\ \vdots \\ Y^{\mathrm{zad}}(k) \end{bmatrix}_{\mathrm{Nx1}} \tag{5.2}$$

$$\triangle\boldsymbol{U}(k) = \begin{bmatrix} \triangle u(k|k) \\ \vdots \\ \triangle u(k+N_u-1|k) \end{bmatrix}_{\mathrm{N_ux1}} \tag{5.3}$$

$$\triangle\boldsymbol{U}^{\boldsymbol{P}}(k) = \begin{bmatrix} \triangle u(k-1) \\ \vdots \\ \triangle u(k-(D-1)) \end{bmatrix}_{\mathrm{(D-1)x1}} \tag{5.4}$$

$$\boldsymbol{M} = \begin{bmatrix} s_1 & 0 & \ldots & 0 \\ s_2 & s_1 & \ldots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_N & s_{N-1} & \ldots & s_{N-\mathrm{N_u}+1} \end{bmatrix}_{\mathrm{NxN_u}} \tag{5.5}$$

$$\boldsymbol{M}^{\boldsymbol{P}} = \begin{bmatrix} s_2-s_1 & s_3-s_2 & \ldots & s_D-s_{D-1} \\ s_3-s_1 & s_4-s_2 & \ldots & s_{D+1}-s_{D-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{N+1}-s_1 & s_{N+2}-s_2 & \ldots & s_{N+D-1}-S_{D-1} \end{bmatrix}_{\mathrm{NxD-1}} \tag{5.6}$$

$$Y^0(k) = Y(k) + M^P \triangle U^P(k) \tag{5.7}$$

$$K = (M^T M + \lambda * I)^{-1} M^T \tag{5.8}$$

$$\triangle U(k) = K(Y^{zad}(k) - Y^0(k)) \tag{5.9}$$

5.2. Dobieranie nastaw

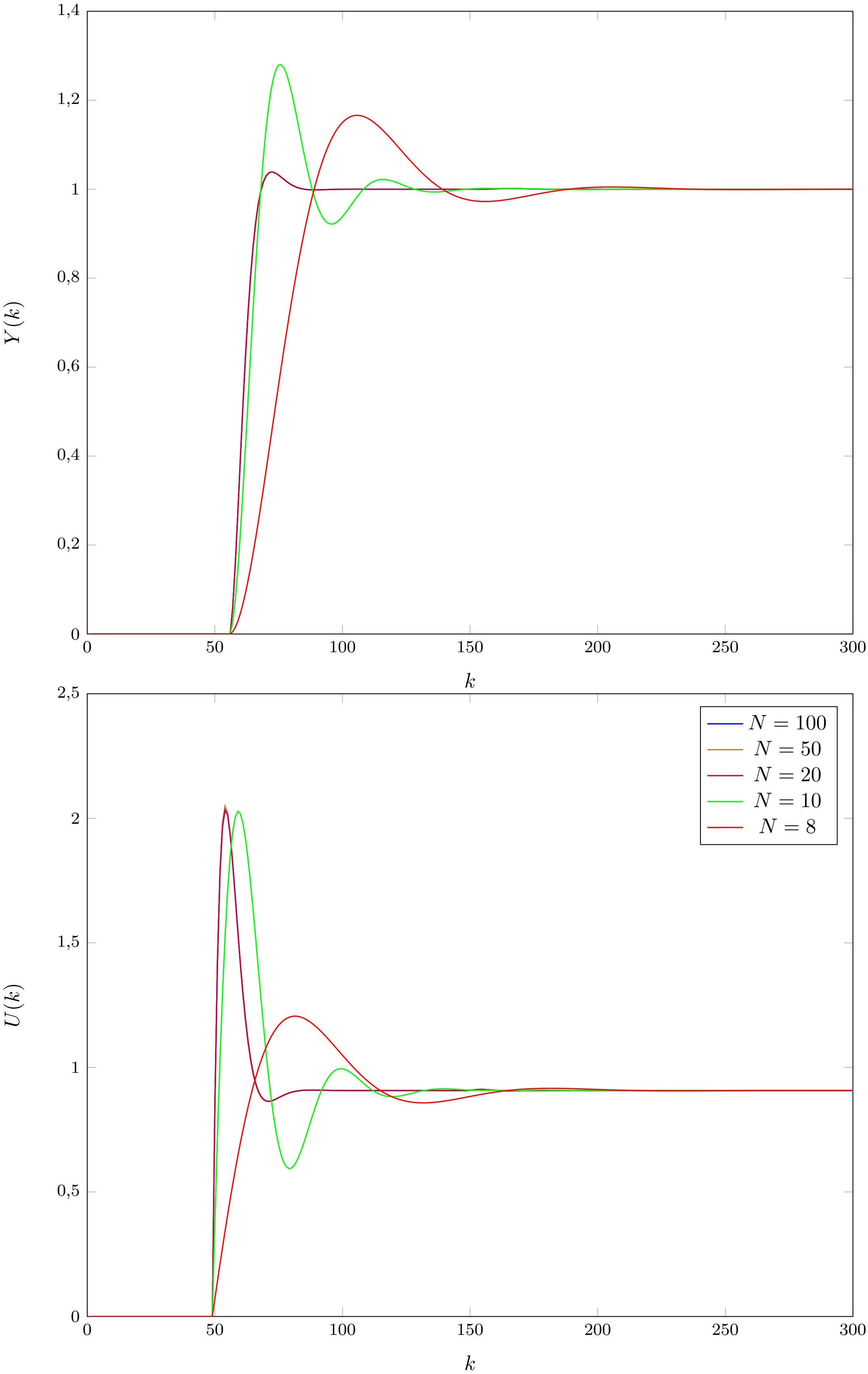
Długość horyzontu dynamiki została wyznaczona na podstawie obserwacji odpowiedzi skokowej wyznaczonej w poprzednim zadaniu. Na wykresie 4.1 można zaobserwować, że jej wartość ustala się w okolicach chwili $k = 100$. Dlatego też przyjęto, że wykorzystywaną dalej wartością horyzontu dynamiki jest $D = 100$. Parametr ten nie podlega optymalizacji.

Jako początkowe nastawy regulatora przyjęto parametry $D = N = N_u = 100$ oraz $\lambda = 1$.

5.2.1. Horyzont predykcji

Pierwszym optymalizacji nastaw jest badanie zachowania regulatora przy zmniejszaniu horyzontu predykcji N. Jak się okazało, wysoka wartość N nie jest konieczna dla prawidłowego działania algorytmu. Dla $N = 20$ spadek jakości regulacji jest niewielki i to właśnie ta wartość będzie używana w kolejnych etapach doboru nastaw. Przebiegi sterowania i odpowiedzi obiektu podczas regulacji do wartości zadanej $Y_{zad} = 1$ dla różnych horyzontów predykcji przedstawia wykres 5.1.

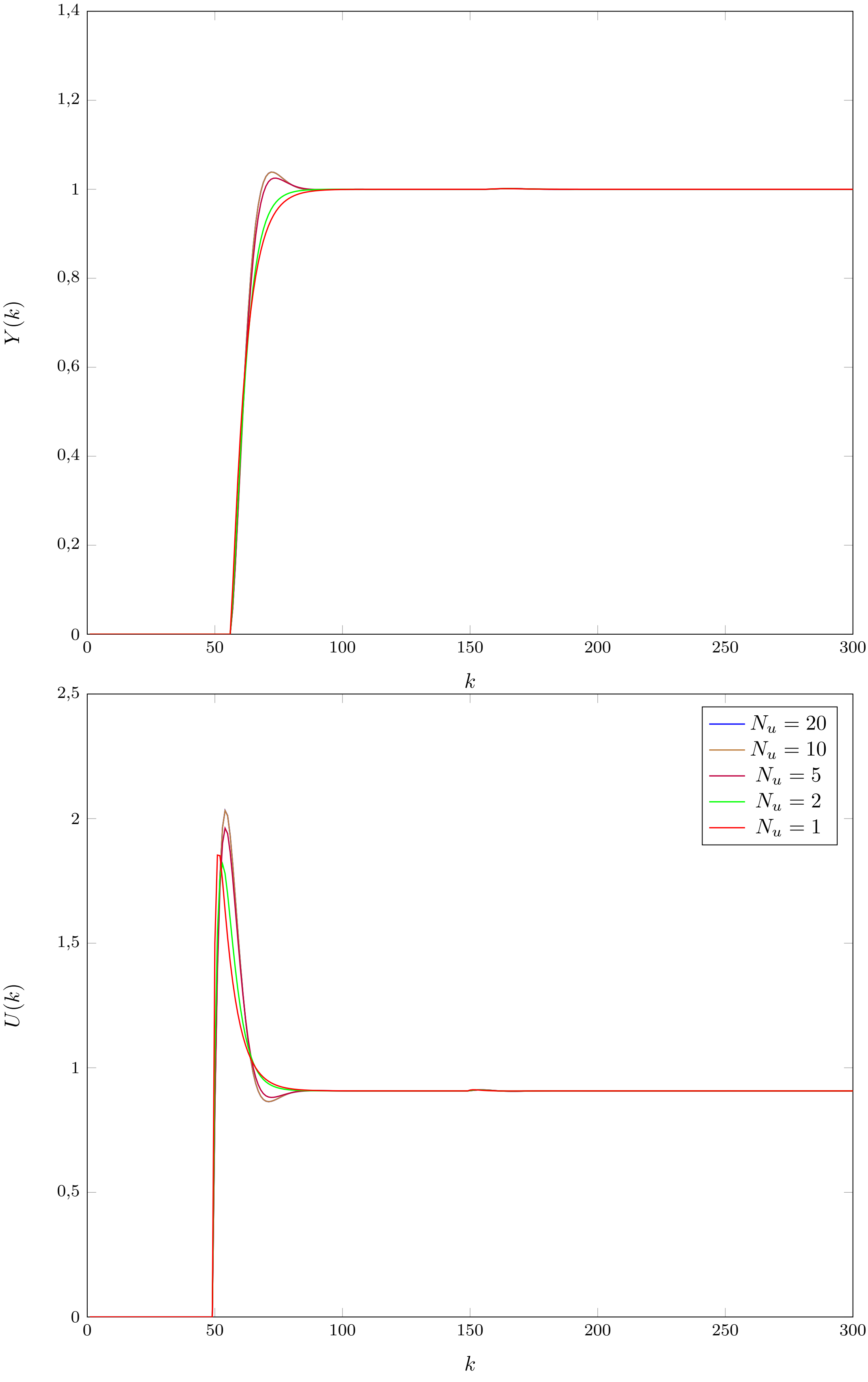
Wskaźniki jakości regulacji dla różnych horyzontów predykcji:
- $N = 100$, $E = 9,9973$
- $N = 50$, $E = 9,9973$
- $N = 20$, $E = 10,0289$
- $N = 10$, $E = 12,2101$
- $N = 8$, $E = 19,8924$



Rys. 5.1. Działanie regulatora DMC dla różnych horyzontów dynamiki

5.2.2. Horyzont sterowania

Kolejnym krokiem po doborze parametru N jest wybór horyzontu sterowania N_u. Wskaźniki jakości regulacji dla różnych horyzontów sterowania:
— $N_u = 20$, $E = 10,0289$
— $N_u = 10$, $E = 10,03$
— $N_u = 5$, $E = 10,1213$
— $N_u = 2$, $E = 12,1356$
— $N_u = 1$, $E = 9,8556$
Dobrym kompromisem między jakością regulacji a przebiegiem sygnału sterowania wydaje się wartość $N_u = 5$. Taki horyzont sterowania będzie wykorzystywany w kolejnych etapach projektu.

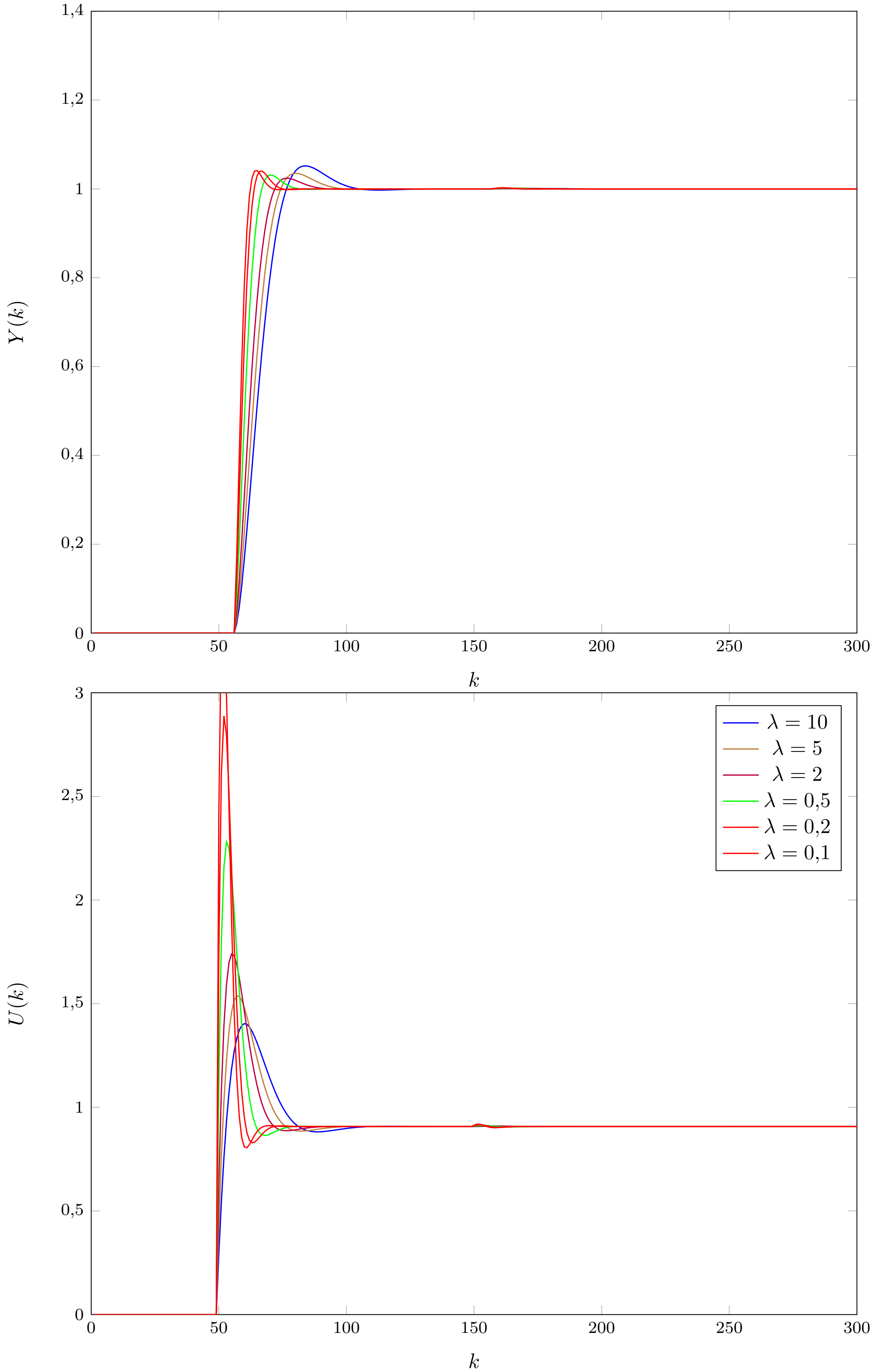


Rys. 5.2. Działanie regulatora DMC dla różnych horyzontów dynamiki

5.2.3. Parametr lambda

Ostatnim krokiem optymalizacji nastaw regulatora DMC jest dobranie parametru λ.

Wskaźniki jakości regulacji dla różnych wartości λ:
- $\lambda = 10$, $E = 12,9323$
- $\lambda = 5$, $E = 11,7987$
- $\lambda = 2$, $E = 10,7840$
- $\lambda = 0,5$, $E = 9,4717$
- $\lambda = 0,2$, $E = 8,7045$
- $\lambda = 0,1$, $E = 8,2595$



Rys. 5.3. Działanie regulatora DMC dla różnych horyzontów dynamiki