

Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych
Politechnika Warszawska

Projektowanie układów sterowania
(projekt grupowy)

Sprawozdanie z projektu i ćwiczenia laboratoryjnego
nr 1, zadanie nr 4

Piotr Chachuła, Cezary Dudkiewicz, Piotr Roszkowski

Warszawa, 2019

Spis treści

I. Projekt

1. Weryfikacja punktu pracy	3
1.1. Opis postępowania	3
1.2. Wyniki	3
2. DMC	4
3. Przekształcenie odpowiedzi skokowej	23
4. Odpowiedzi skokowe	24
4.1. Wyznaczanie odpowiedzi skokowych	24
4.2. Wyznaczanie charakterystyki statycznej procesu	24
4.3. Wzmocnienie statyczne	24

Część I

Projekt

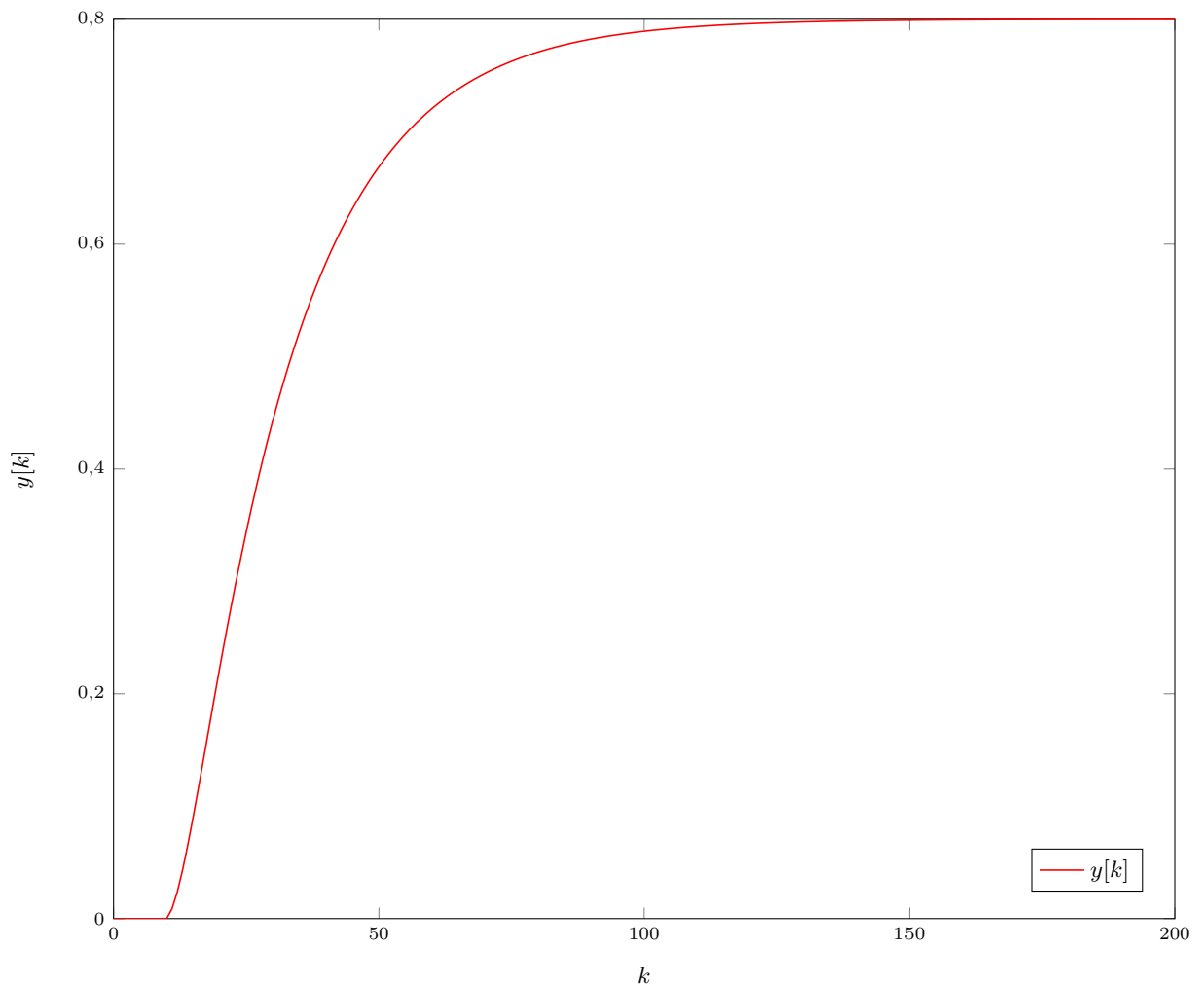
1. Weryfikacja punktu pracy

1.1. Opis postępowania

W celu sprawdzenia poprawności wartości sygnałów U_{pp} i Y_{pp} pobudzono obiekt sterowaniem o wartości $U_{pp} = 2,0$ i sprawdzaniu czy stabilizuje się on w punkcie pracy $Y_{pp} = 0,8$. Do symulacji wyjścia obiektu użyto udostępnionej funkcji `symulacja_obiektu4Y`. Do testów napisano skrypt `PROJ1_1.m`. Wyniki przedstawiono poniżej.

1.2. Wyniki

Zgodnie z przewidywaniami wyjście obiektu ustaliło się na wartości $Y_{pp} = 2,0$. Punkt pracy ustalony jest więc poprawnie.



Rys. 1.1. Odpowiedź obiektu na sterowaniu $U_{pp} = 0,8$

2. DMC

```
function [ error ] = doDMC( paras ) % Tylko dla auto

manual=1;

% Tylko dla auto
N=round( paras(1) );
Nu=round( paras(2) );
lambda=paras(3);

load StepResponse.mat;

% Tylko dla manual
% eNs=linspace(25,100,4);
% eNus=[linspace(5,20,4)];
% lambdas=[0.2,1,5];

% Ucinamy moment 0 zeby latwiej bylo operowac
stepResp=stepResp(2:end);

% Pobieramy horyzont dynamiki obiektu
D=length( stepResp );

% paras = [N, Nu, lambda]
% Wartości są zaokrąglane, żeby fmincon zwracał wartości całkowite
% N=round(N);
% Nu=round(Nu);

% Tylko dla manual
% for i=1:length(eNs)
%     N=eNs(i);
%     for j=1:length(eNus)
%         Nu=eNus(j);
%         for k=1:length(lambdas)
%             lambda=lambdas(k);

error=0;

% Inicjalizacja macierzy M
M=zeros(N,Nu);
for j=1:Nu
    for i=j:N
        M(i,j)=stepResp(i-j+1);
    end
end

% Inicjalizacja macierzy Mp
Mp=zeros(N,D-1);
for i=1:N
```

```

for j=1:D-1
    if (i+j)<=D
        Mp(i,j)=stepResp(i+j)-stepResp(j);
    else
        Mp(i,j)=stepResp(end)-stepResp(j);
    end
end
end

% Liczymy macierze K, Ke, Ku
K=(M'*M+lambda*lambda*eye(Nu))^( -1)*M';
Ke=sum(K(1,:));
Ku=K(1,:)*Mp;

% Inicjalizujemy macierze przechowujace zmienne

sim_len=1200;
dUp=zeros(D-1,1);
Y=zeros(sim_len,1);
U=zeros(sim_len,1);
du=zeros(sim_len,1);
e=zeros(sim_len,1);
y=zeros(sim_len,1);
u=zeros(sim_len,1);
Yzad=zeros(sim_len,1);
kk=linspace(1,sim_len,sim_len)';

% Tworzymy horyzont wartosci zadanej
Yzad(1:D+11)=0.8;
Yzad(D+12:sim_len/3-1)=1.0;
Yzad(sim_len/3:2*sim_len/3-1)=0.6;
Yzad(2*sim_len/3:sim_len)=0.7;

% Ustalamy wartosci przed rozpoczeciem symulacji na wartosci w punktu pracy
Ypp=0.8;
Upp=2.0;
Y(1:D+11)=0.8;
U(1:D+11)=2.0;

% Wprowadzamy ograniczenia
Umin=1.2;
Umax=2.8;
deltaumax=0.25;
deltaumin=-0.25;
umin=Umin-Upp;
umax=Umax-Upp;

% Poczatek symulacji - zaczynamy w tej chwili w celu uproszczenia
% pozyskiwania wektora dUp
for k=D+12:sim_len
    % Symulujemy wyjscie obiektu
    Y(k)=symulacja_obiektu4Y(U(k-10),U(k-11),Y(k-1),Y(k-2));
    % Rzutujemy wartosc wyjscia wzgledem punktu pracy
    y(k)=Y(k)-Ypp;
    % Liczymy uchyb i uaktualniamy wspolczynnik bledu
    e(k)=Yzad(k)-Y(k);
    error=error+e(k)^2;
    % Pozyskujemy wektor dUp z wektora du

```

```

dUp=du(k-D+1:k-1);
dUp=flip(dUp);
% Liczymy wartosc zmiany sterowania
du_wyliczone=Ke*e(k)-Ku*dUp;

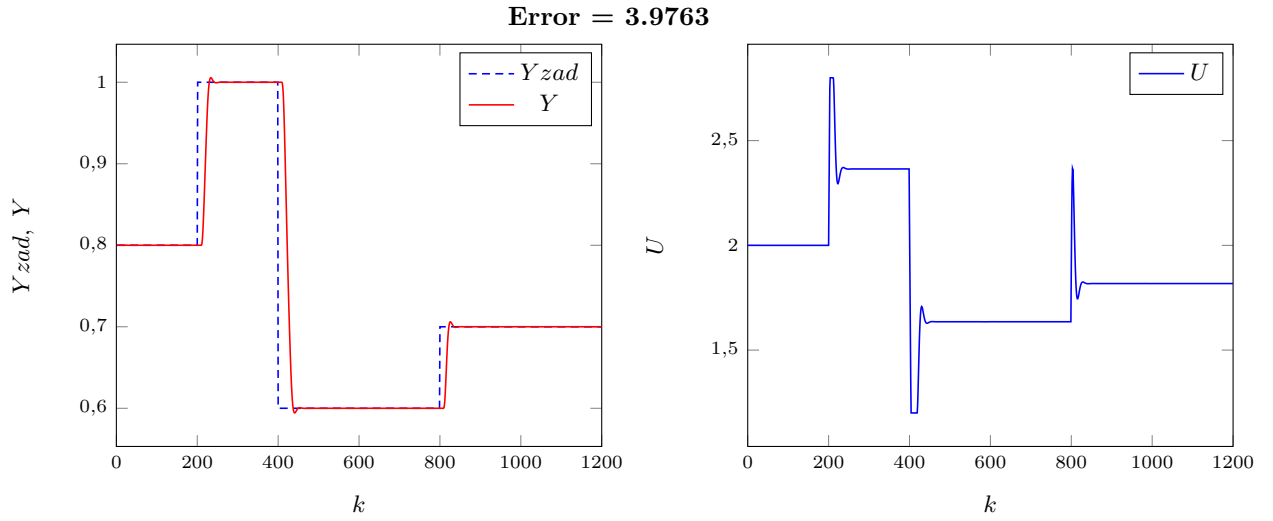
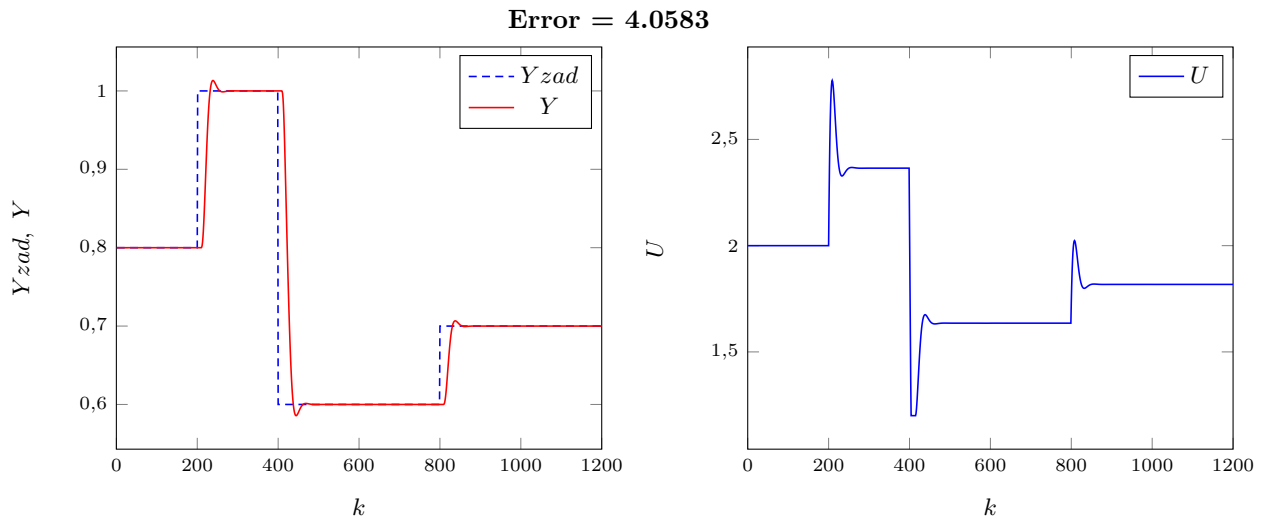
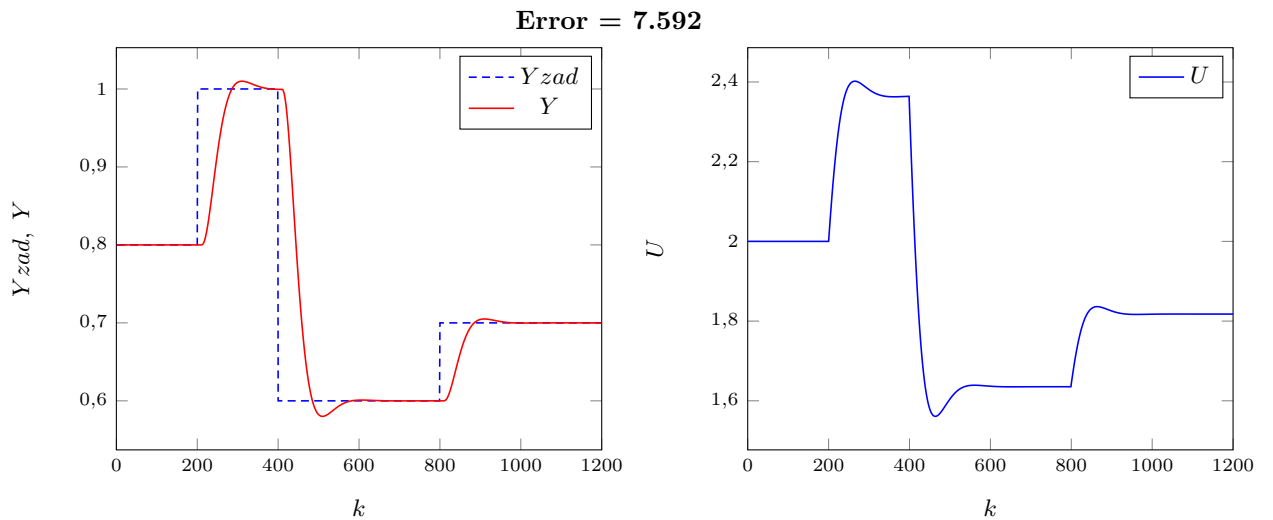
% Rzutowanie ograniczen na wartosc sterowania
if du_wyliczone<deltaumin
du_wyliczone=deltaumin;
elseif du_wyliczone>deltaumax
du_wyliczone=deltaumax;
end
% Rzutowanie ograniczen na wartosc zmiany sterowania
if du_wyliczone+u(k-1)<umin
du_wyliczone=umin-u(k-1);
elseif du_wyliczone+u(k-1)>umax
du_wyliczone=umax-u(k-1);
end
du(k)=du_wyliczone;
% Liczymy wartosc sterowania i ja rzutujemy wzgledem punktu pracy
u(k)=u(k-1)+du(k);
U(k)=u(k)+Upp;
end

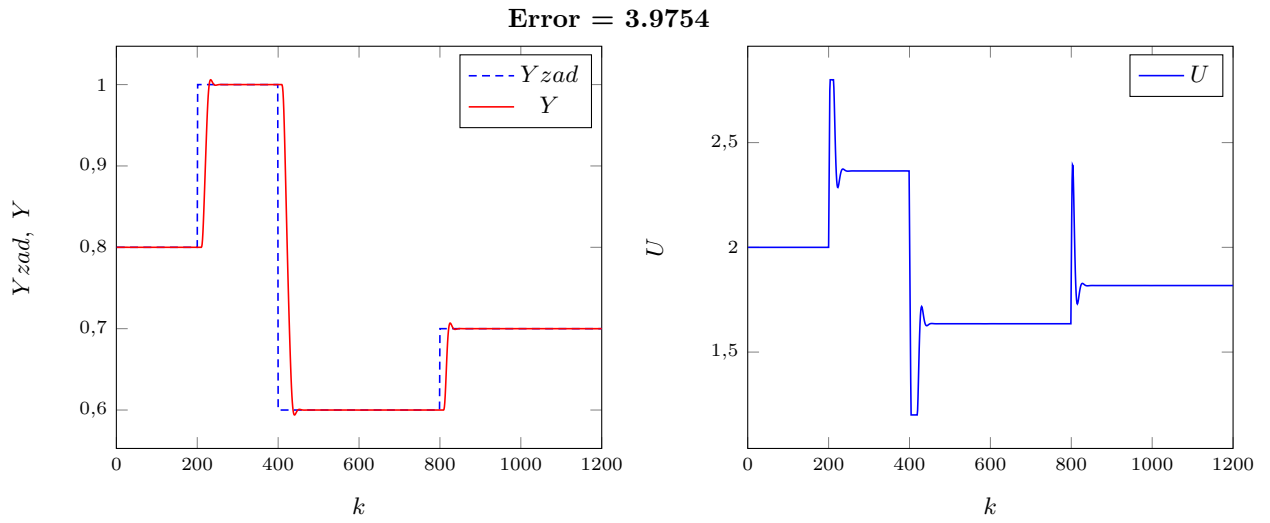
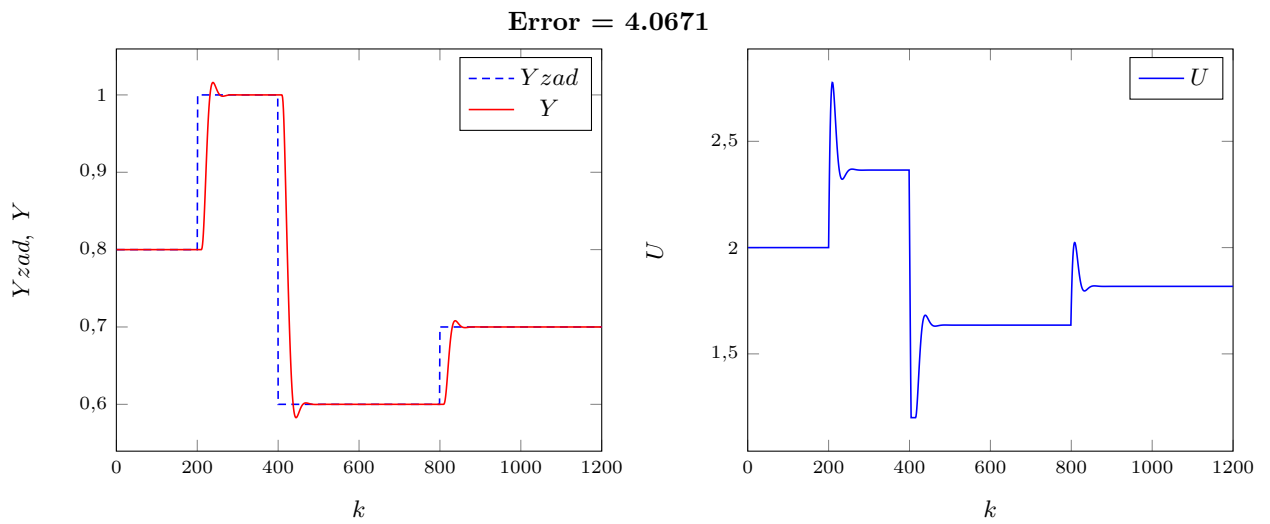
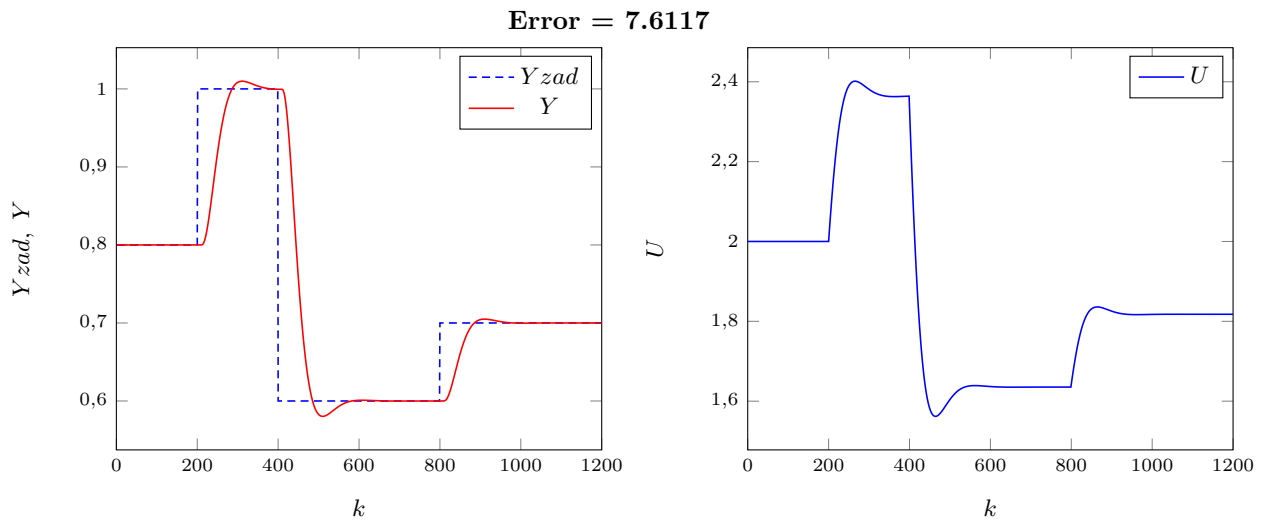
plot(Y);
hold on;
plot(Yzad,'--');
hold on;
title(num2str(error));
% plot (U);
hold off;

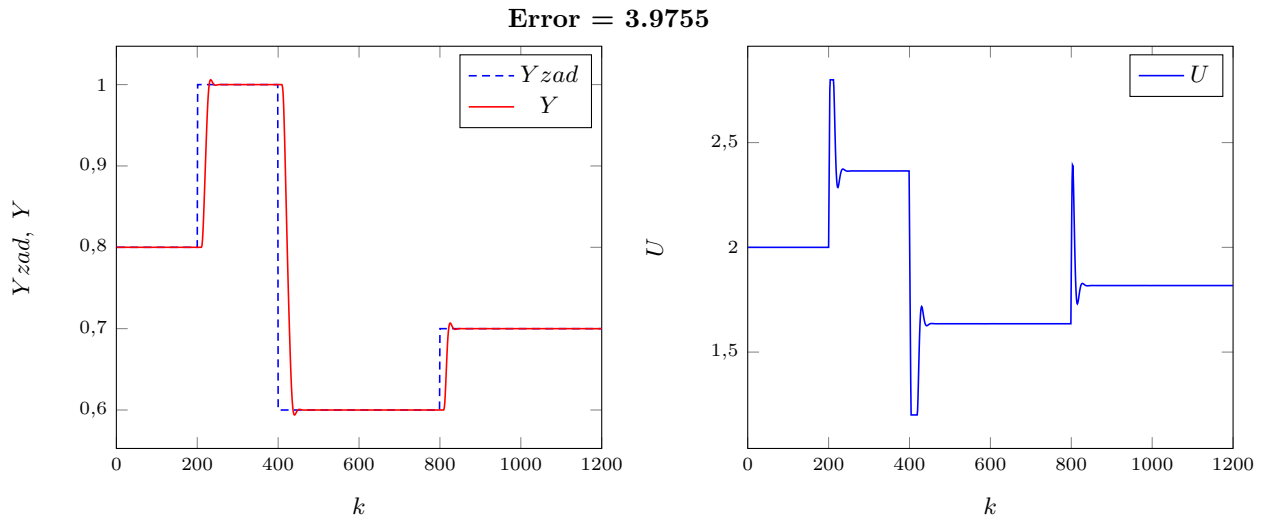
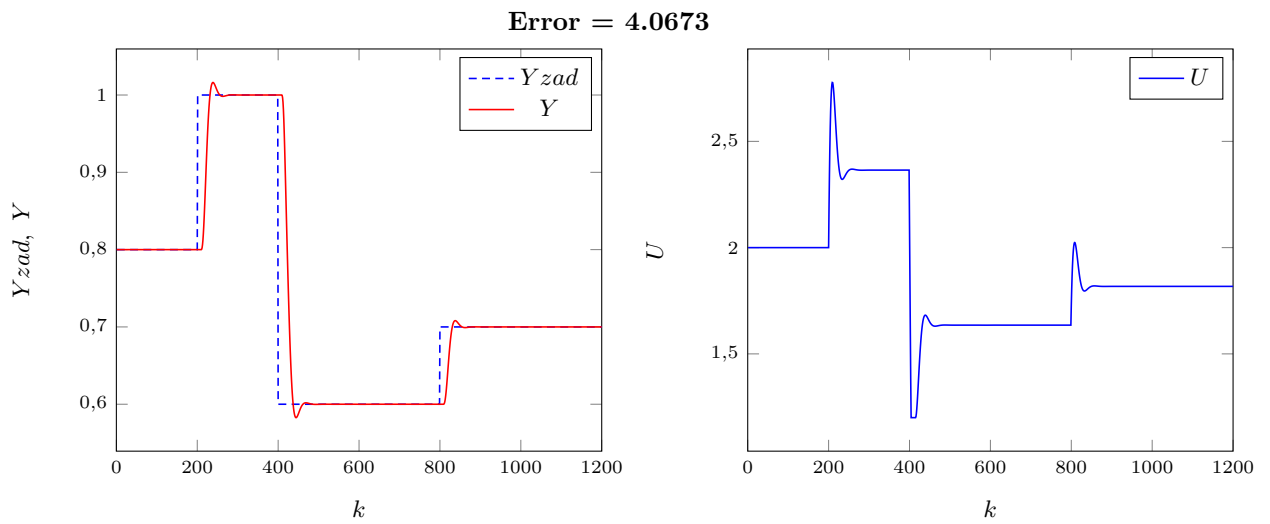
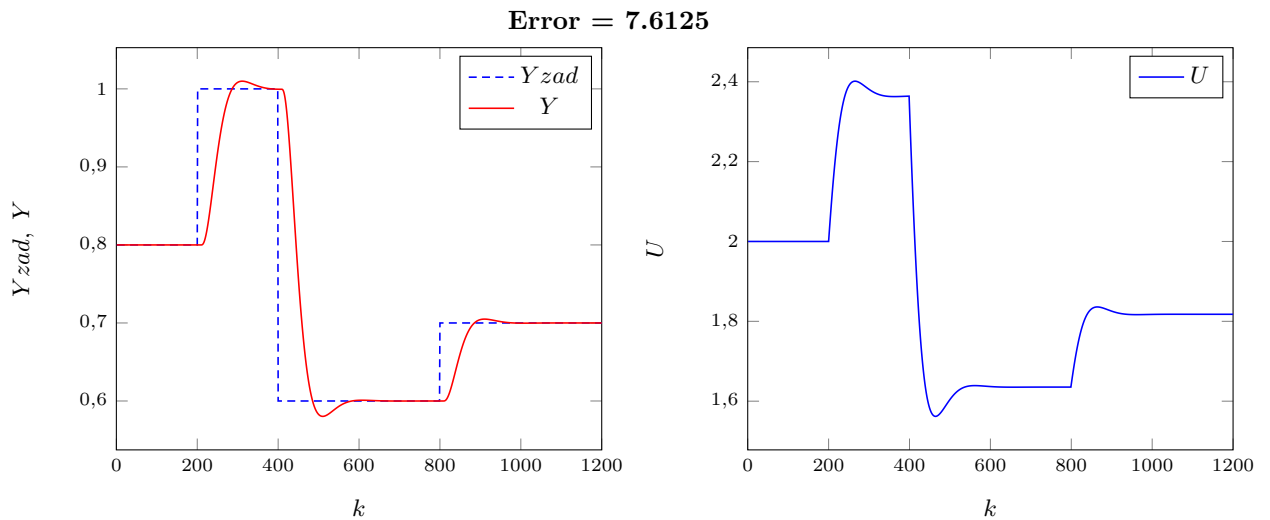
Tb=table(kk,Yzad);
writetable(Tb,'PROJ1_4_YzadDMC','WriteVariableNames',false,'Delimiter','space');

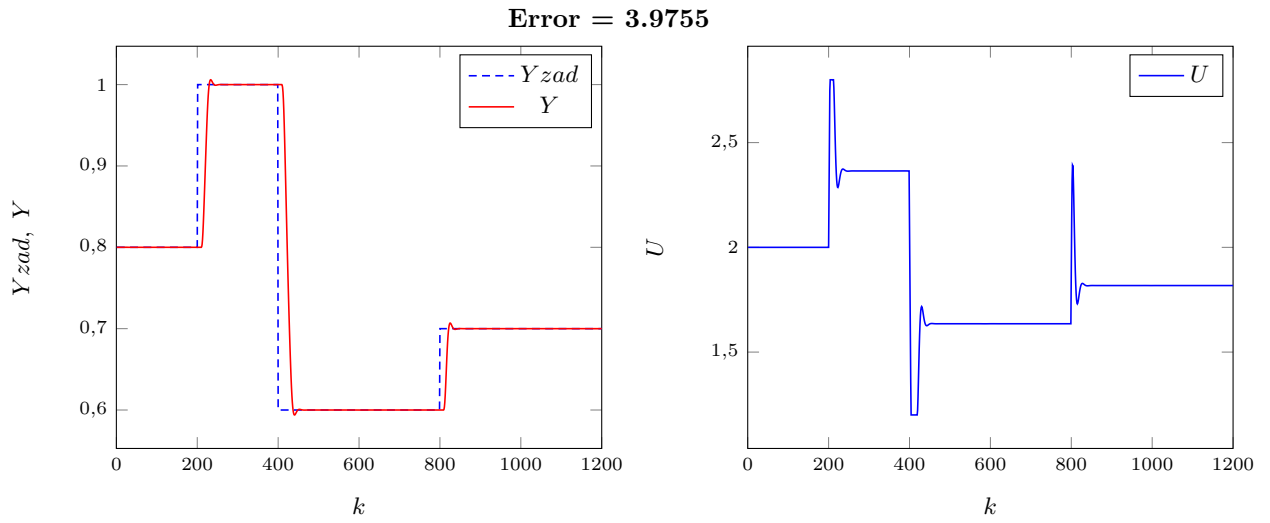
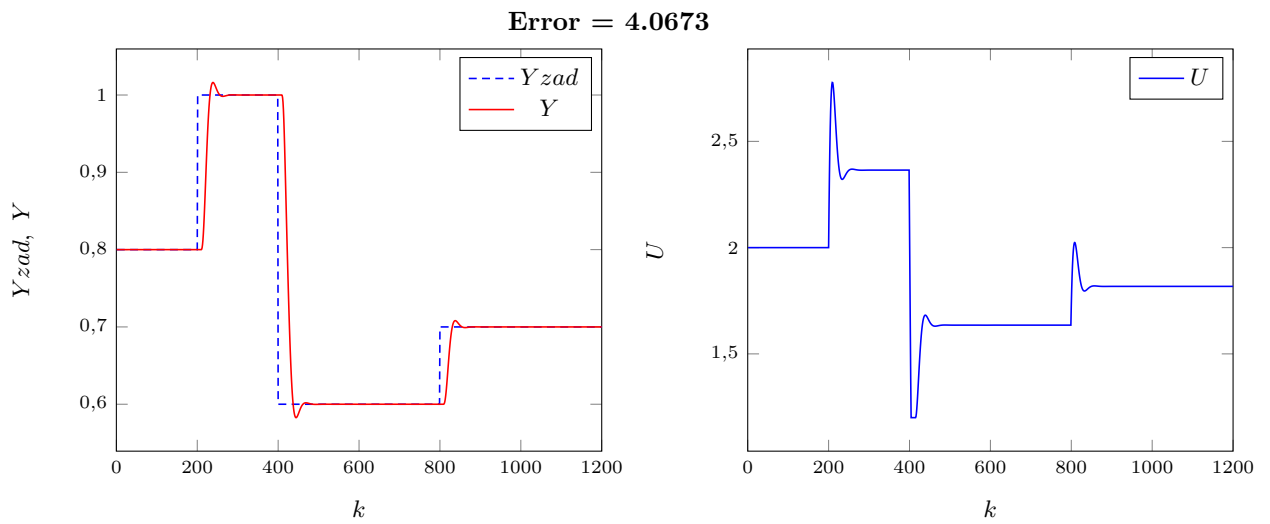
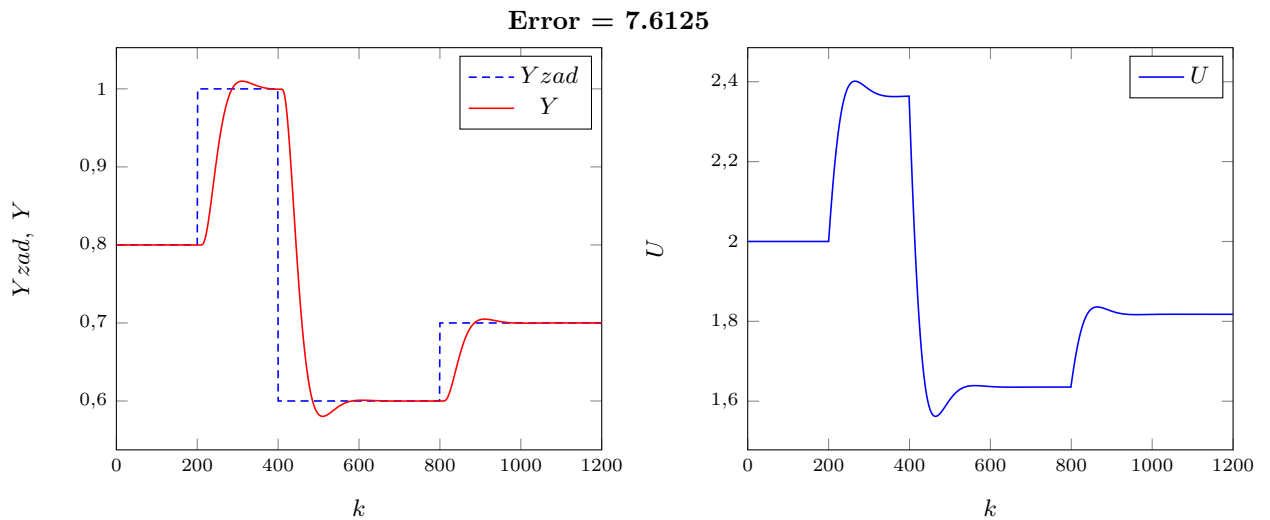
T=table(kk,Y);
TT=table(kk,U);
if manual==1
name="APROJ1_DMC_EXP_N="+string(N)+"_Nu="+string(Nu)+"_lambda="+string(lambda);
writetable(T,char(name),'WriteVariableNames',false,'Delimiter','space');
name2="APROJ1_DMC_EXP_STER_N="+string(N)+"_Nu="+string(Nu)+"_lambda="+string(lambda);
writetable(TT,char(name2),'WriteVariableNames',false,'Delimiter','space');
end

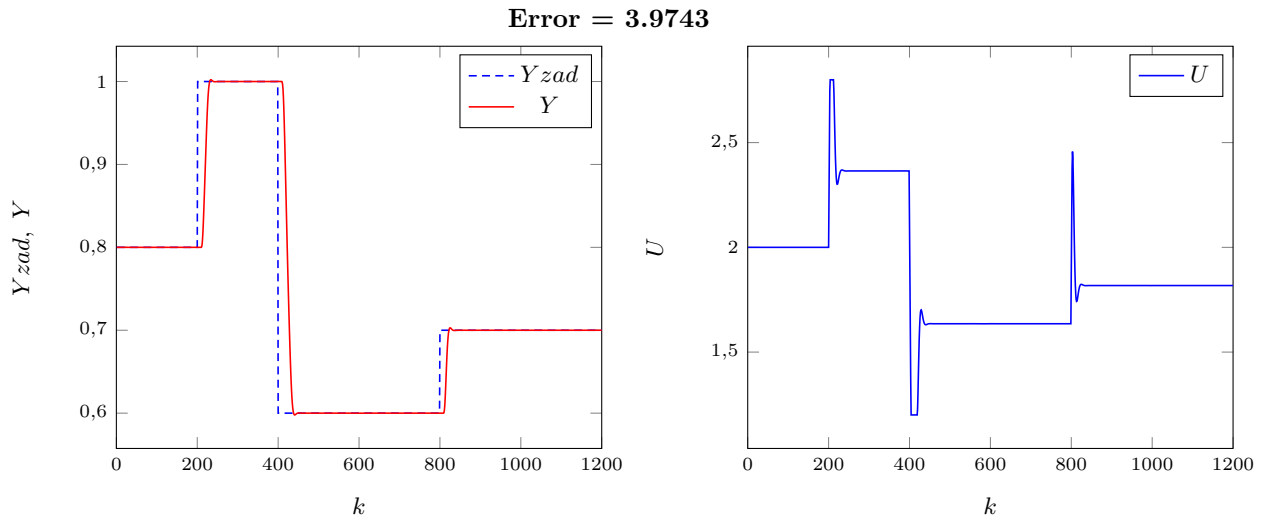
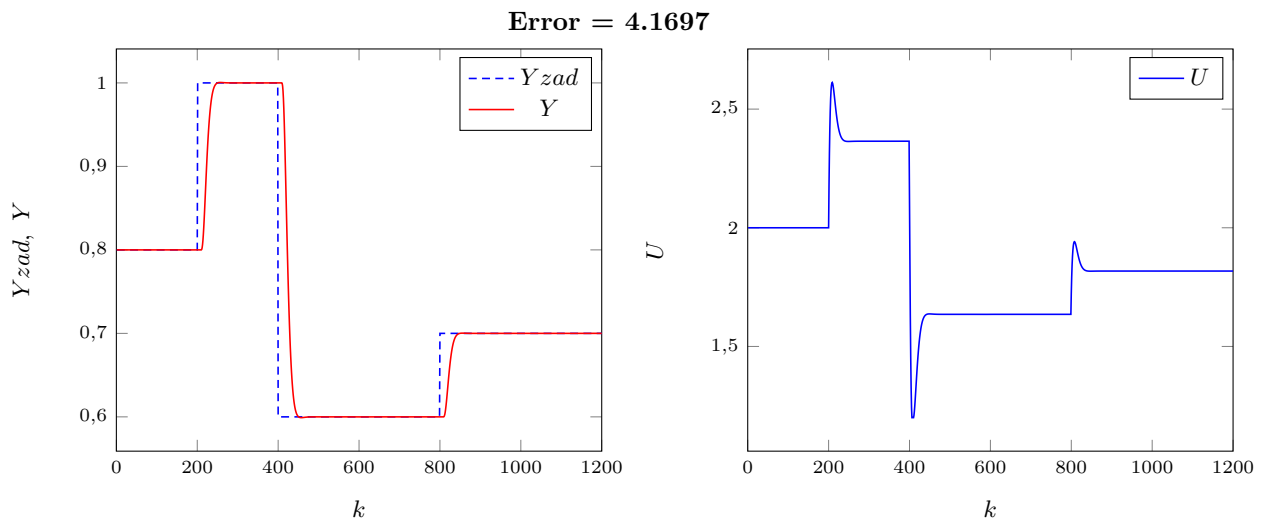
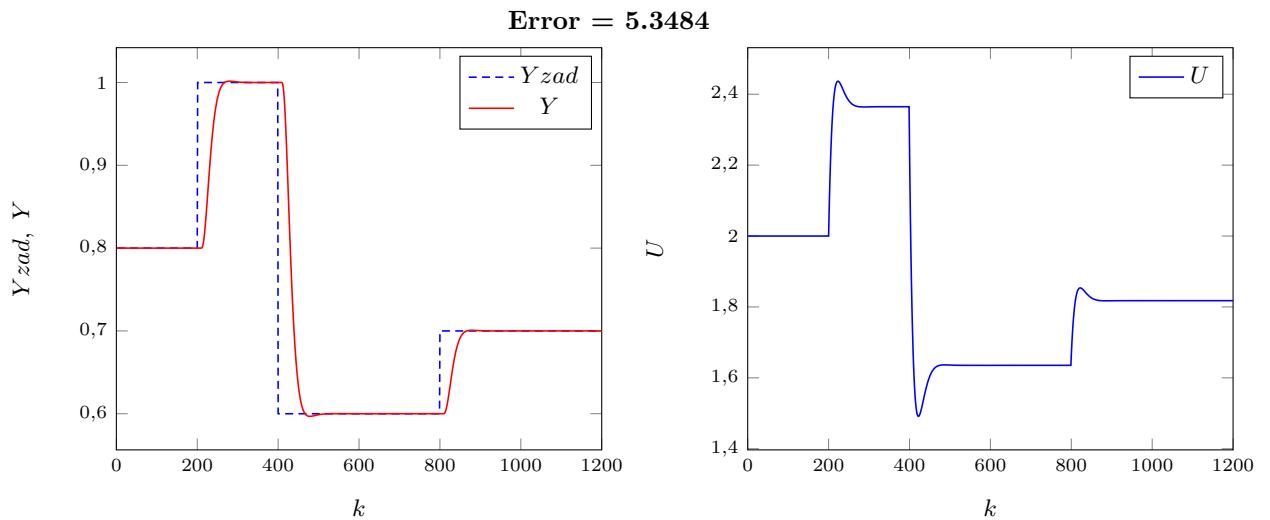
```

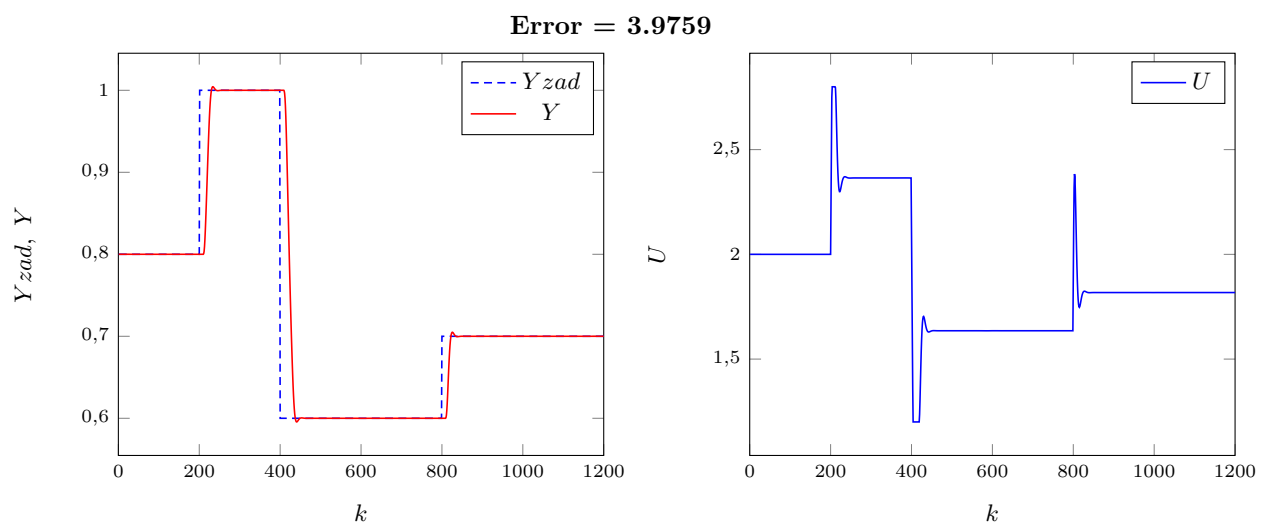
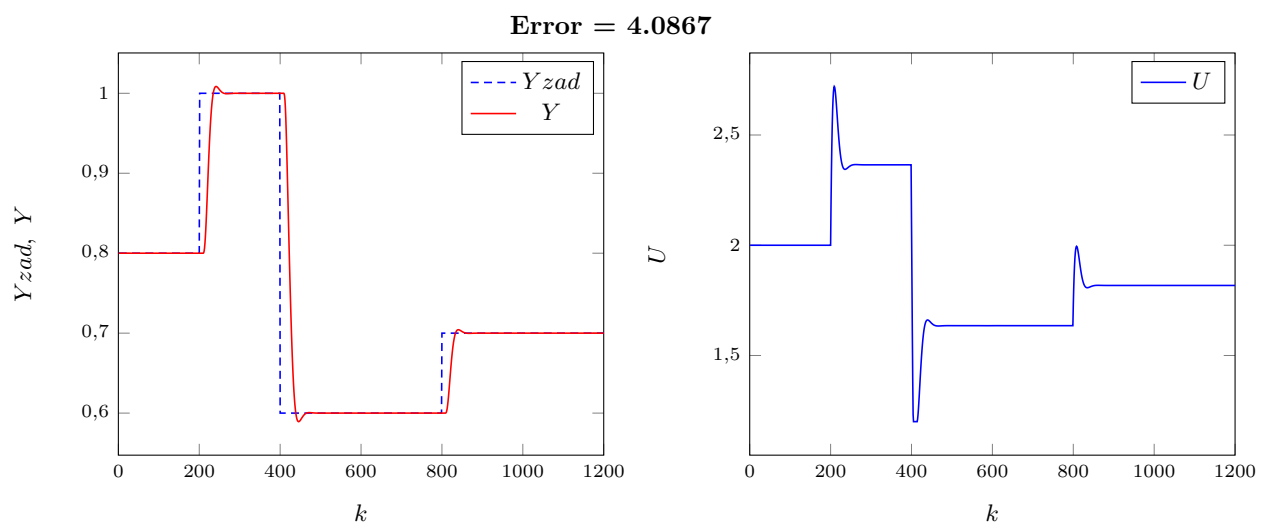
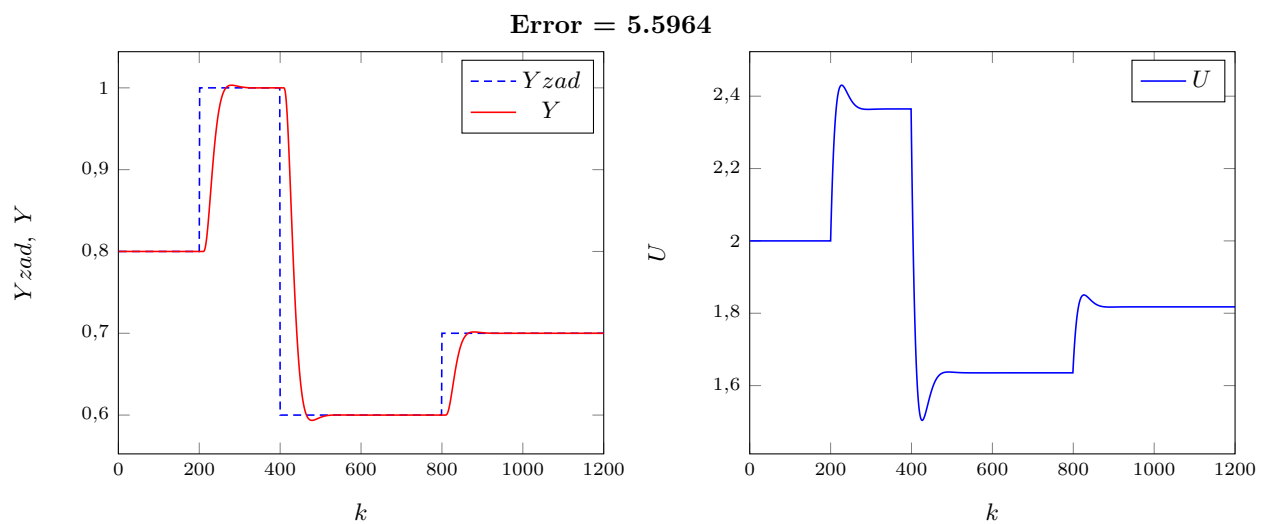
Rys. 2.1. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 25$, $Nu = 5$, $\lambda = 0.2$ Rys. 2.2. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 25$, $Nu = 5$, $\lambda = 1$ Rys. 2.3. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 25$, $Nu = 5$, $\lambda = 5$

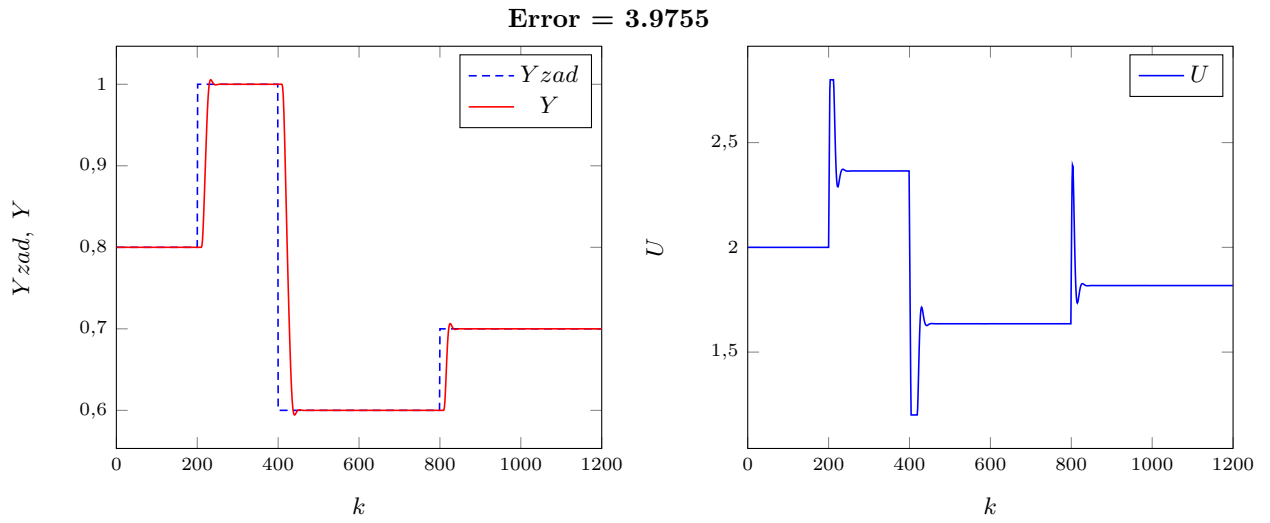
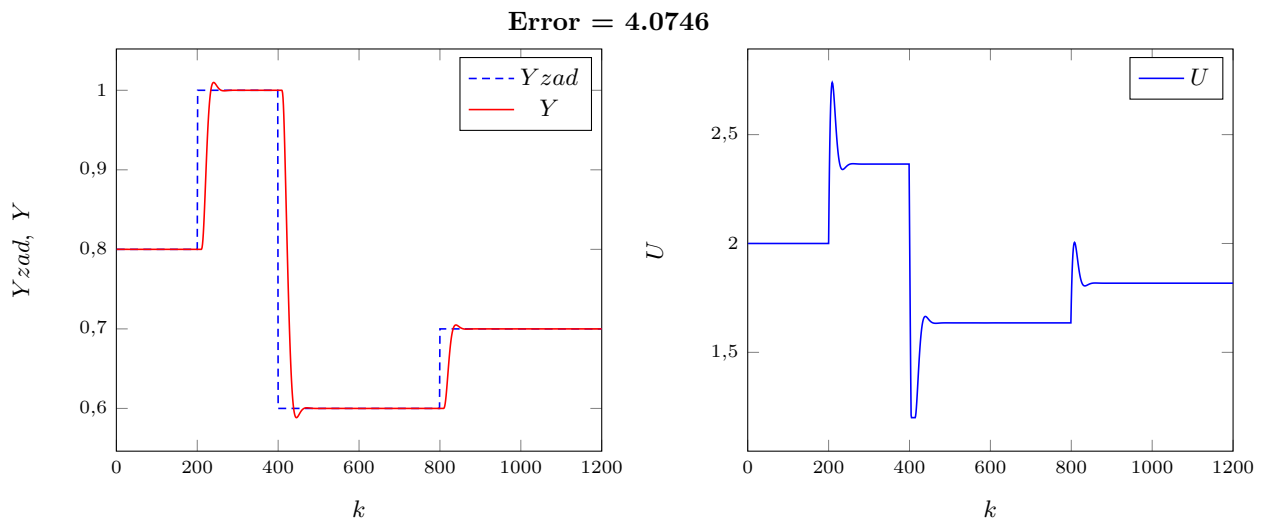
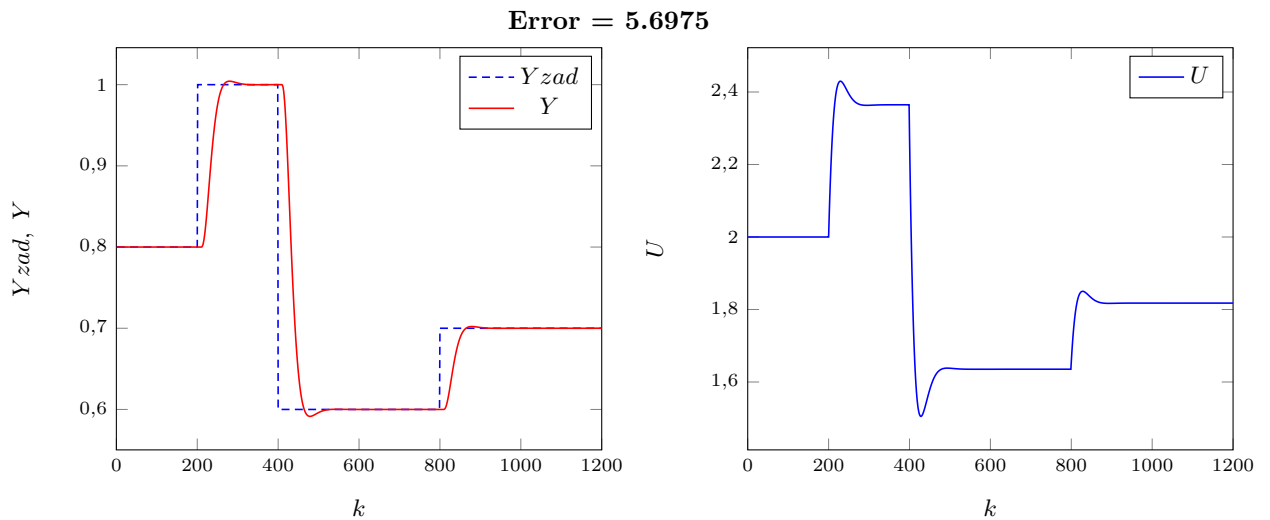
Rys. 2.4. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 25$, $Nu = 10$, $\lambda = 0.2$ Rys. 2.5. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 25$, $Nu = 10$, $\lambda = 1$ Rys. 2.6. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 25$, $Nu = 10$, $\lambda = 5$

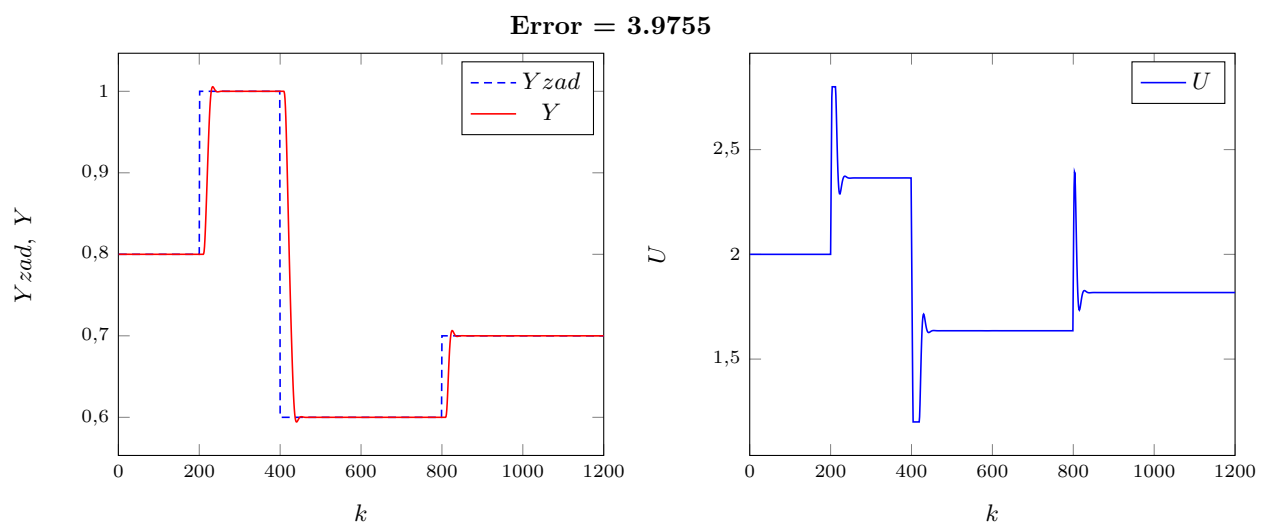
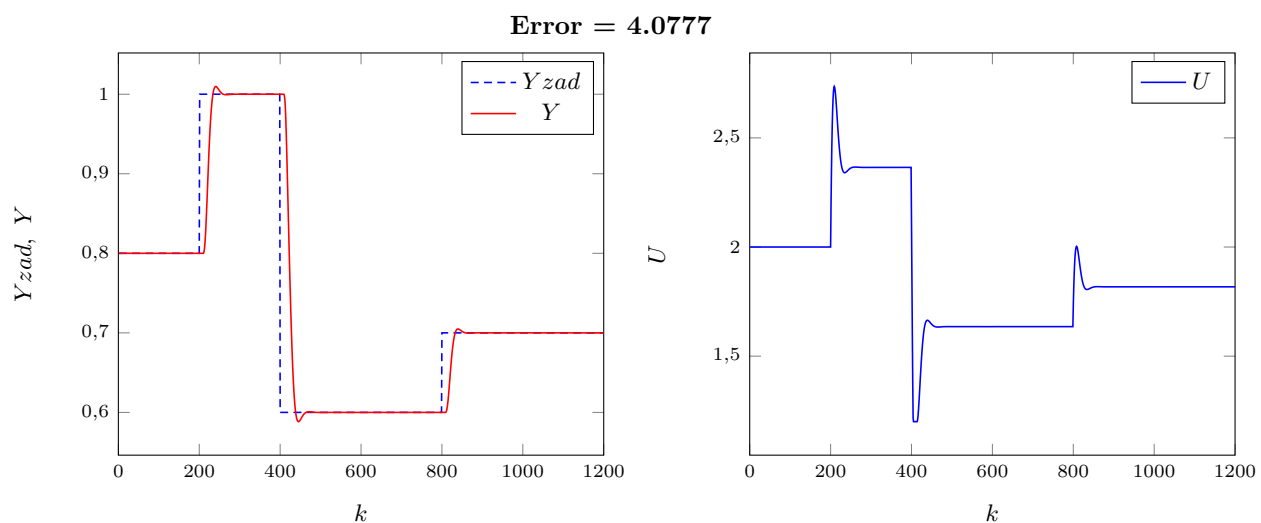
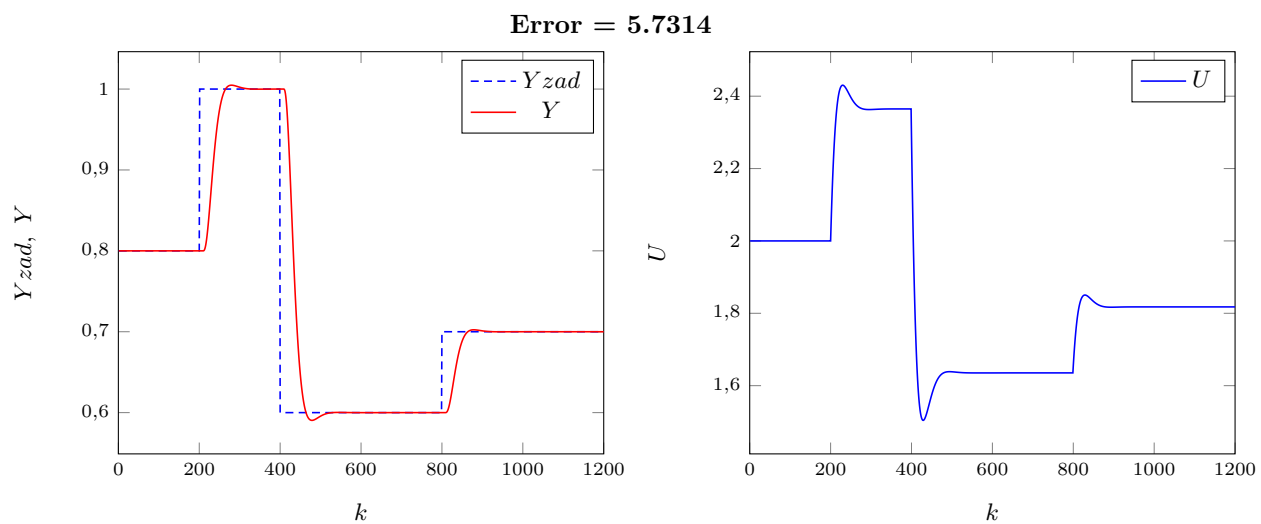
Rys. 2.7. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 25$, $Nu = 15$, $\lambda = 0.2$ Rys. 2.8. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 25$, $Nu = 15$, $\lambda = 1$ Rys. 2.9. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 25$, $Nu = 15$, $\lambda = 5$

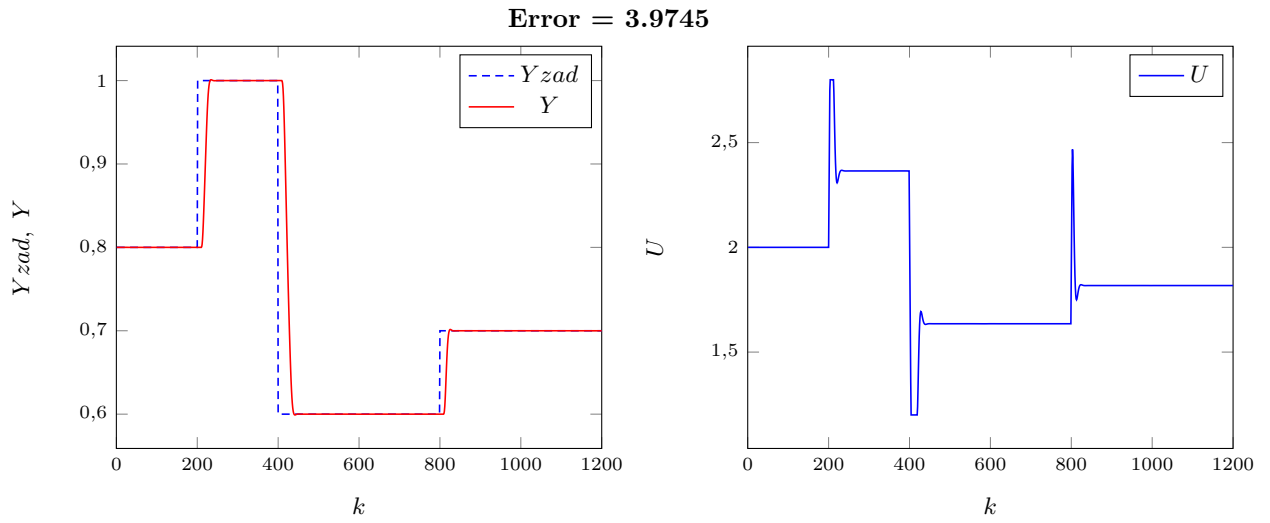
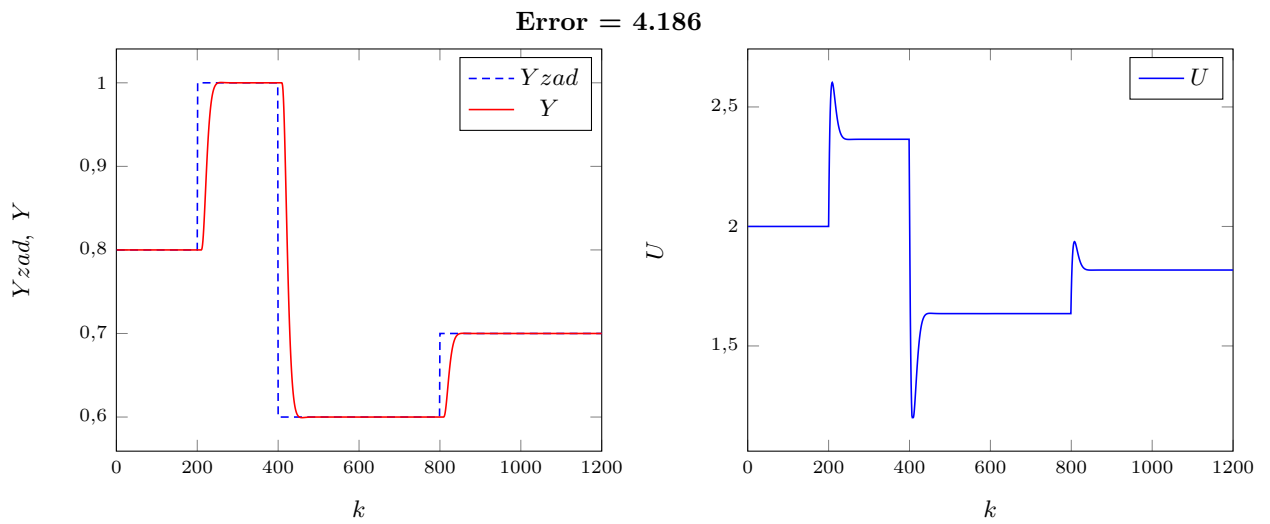
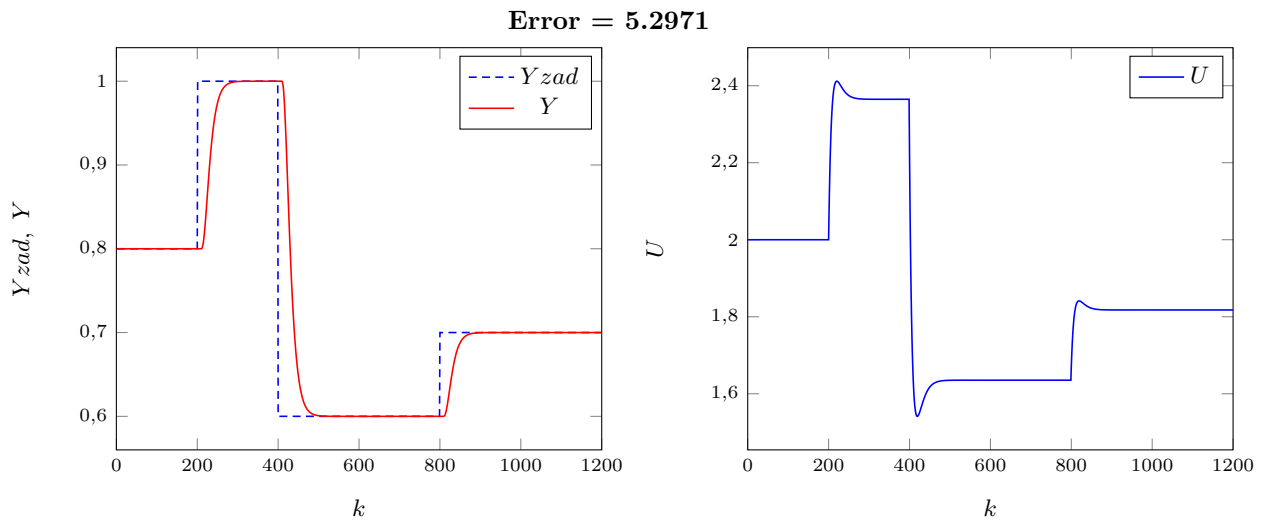
Rys. 2.10. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 25$, $Nu = 20$, $\lambda = 0.2$ Rys. 2.11. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 25$, $Nu = 20$, $\lambda = 1$ Rys. 2.12. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 25$, $Nu = 20$, $\lambda = 5$

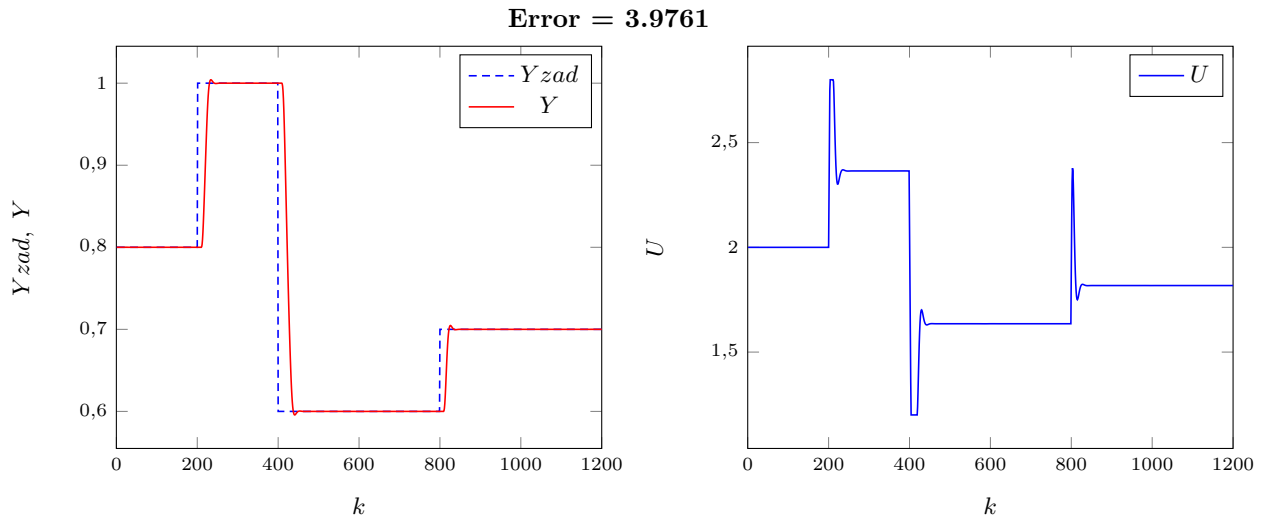
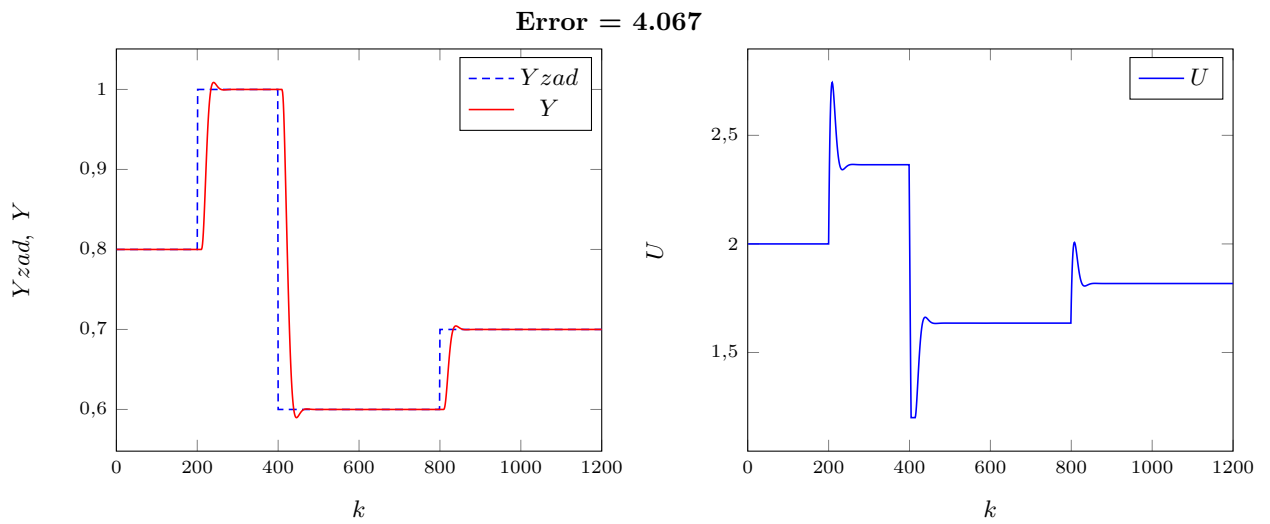
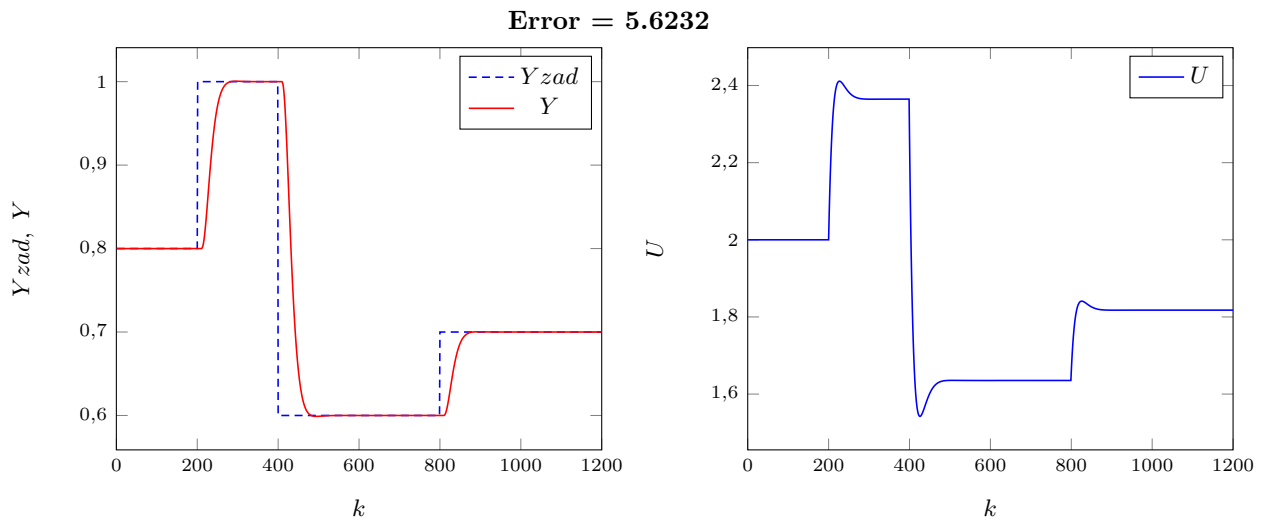
Rys. 2.13. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 50$, $Nu = 5$, $\lambda = 0.2$ Rys. 2.14. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 50$, $Nu = 5$, $\lambda = 1$ Rys. 2.15. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 50$, $Nu = 5$, $\lambda = 5$

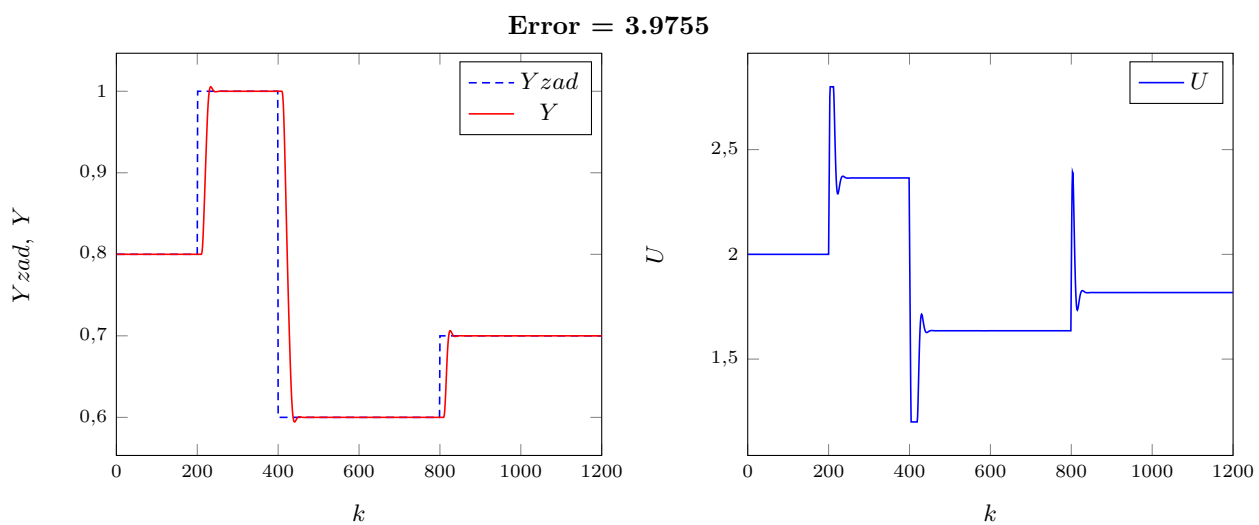
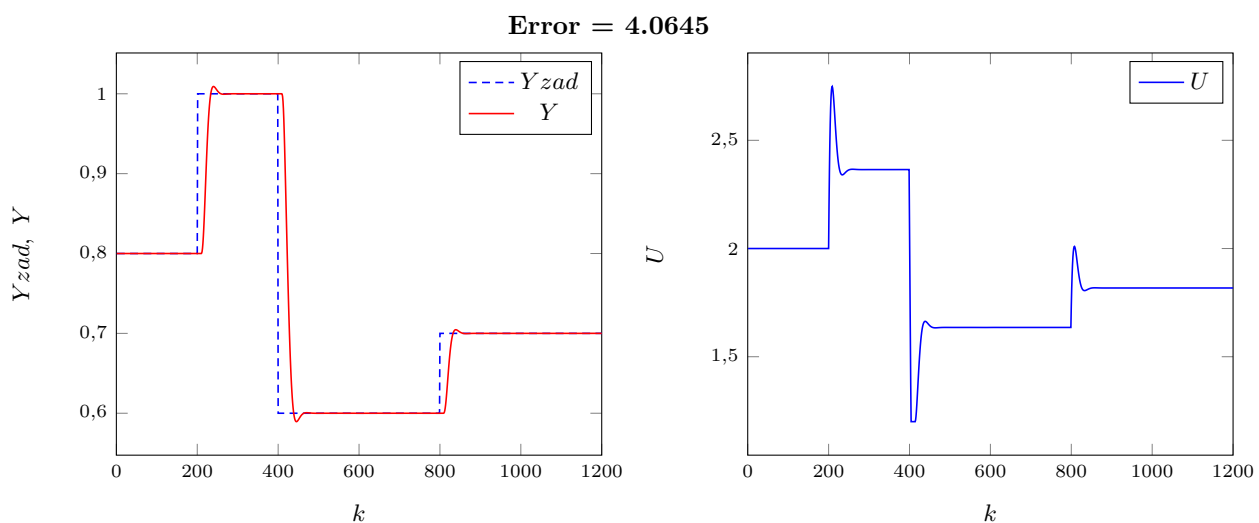
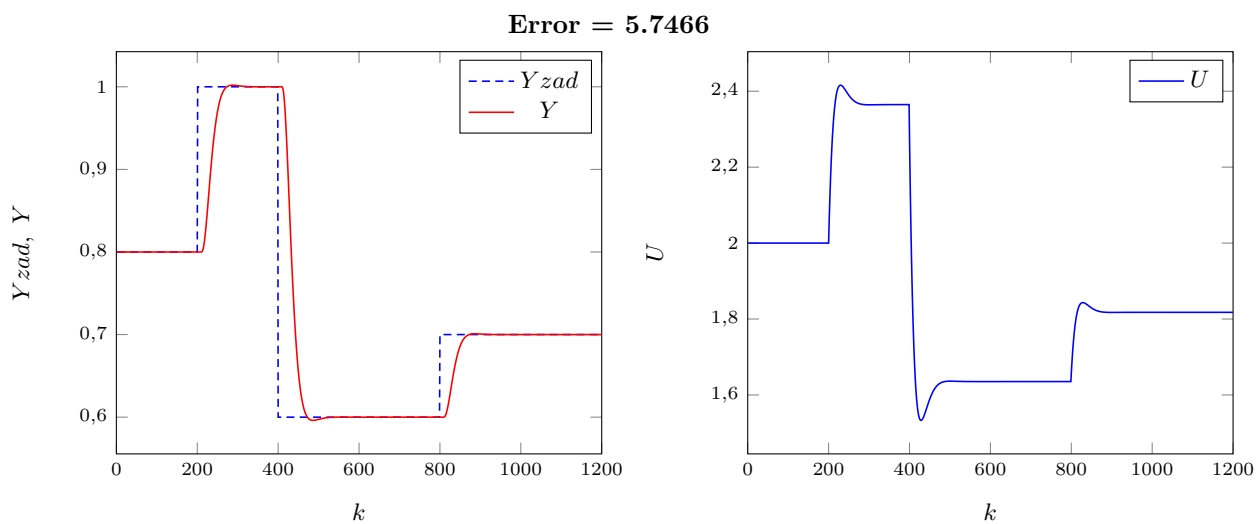
Rys. 2.16. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 50$, $Nu = 10$, $\lambda = 0.2$ Rys. 2.17. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 50$, $Nu = 10$, $\lambda = 1$ Rys. 2.18. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 50$, $Nu = 10$, $\lambda = 5$

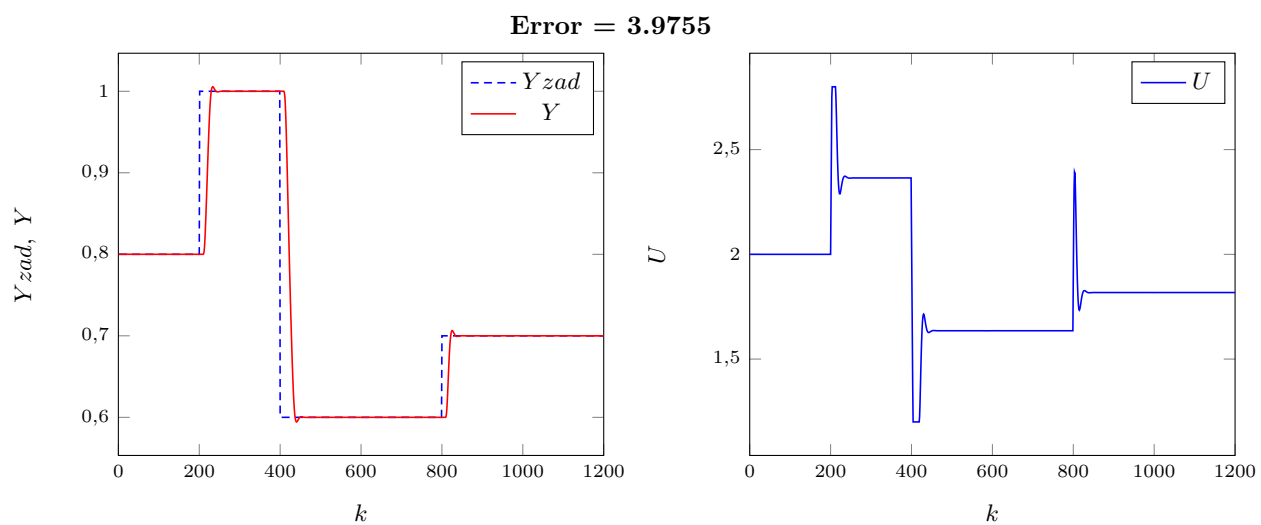
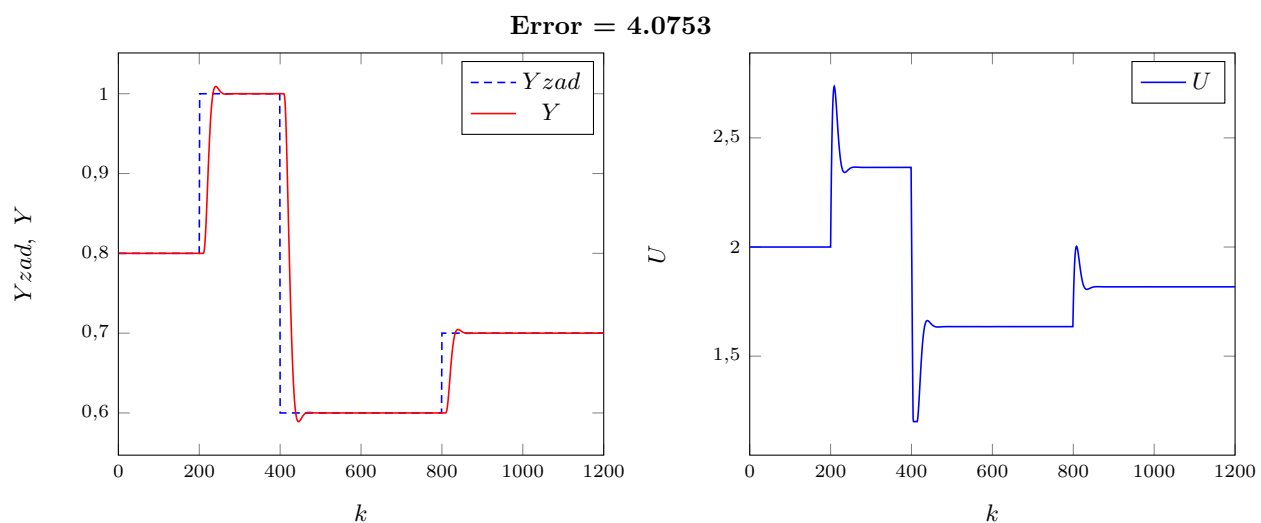
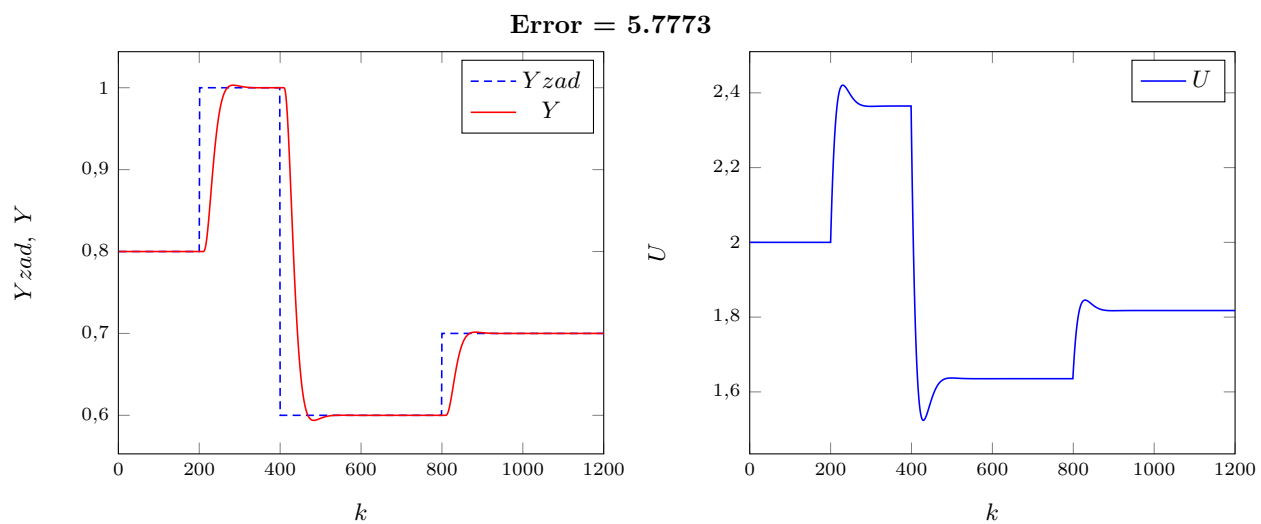
Rys. 2.19. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 50$, $Nu = 15$, $\lambda = 0.2$ Rys. 2.20. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 50$, $Nu = 15$, $\lambda = 1$ Rys. 2.21. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 50$, $Nu = 15$, $\lambda = 5$

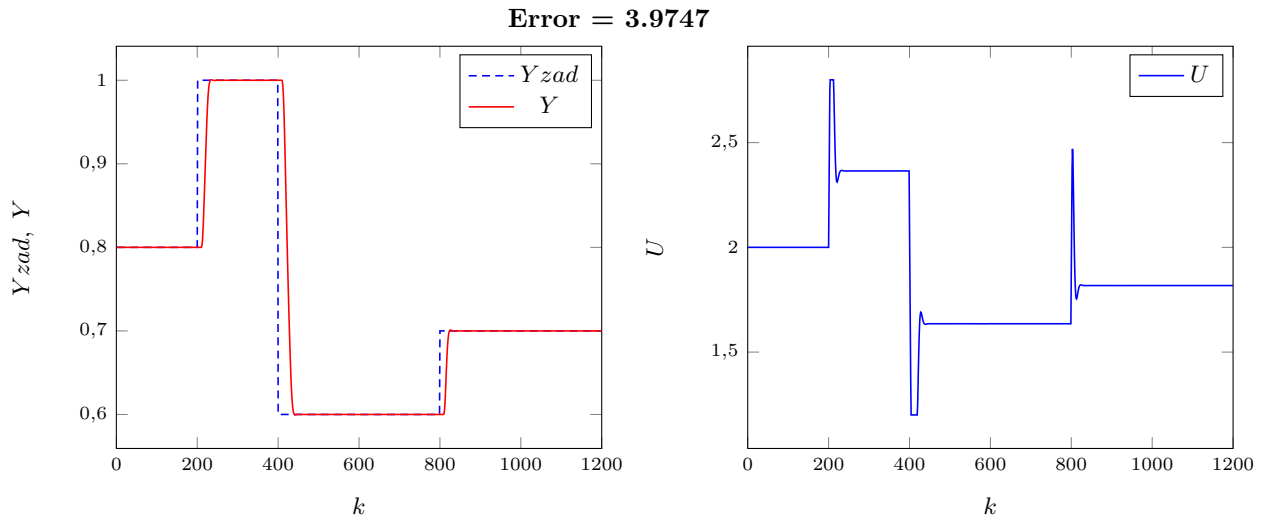
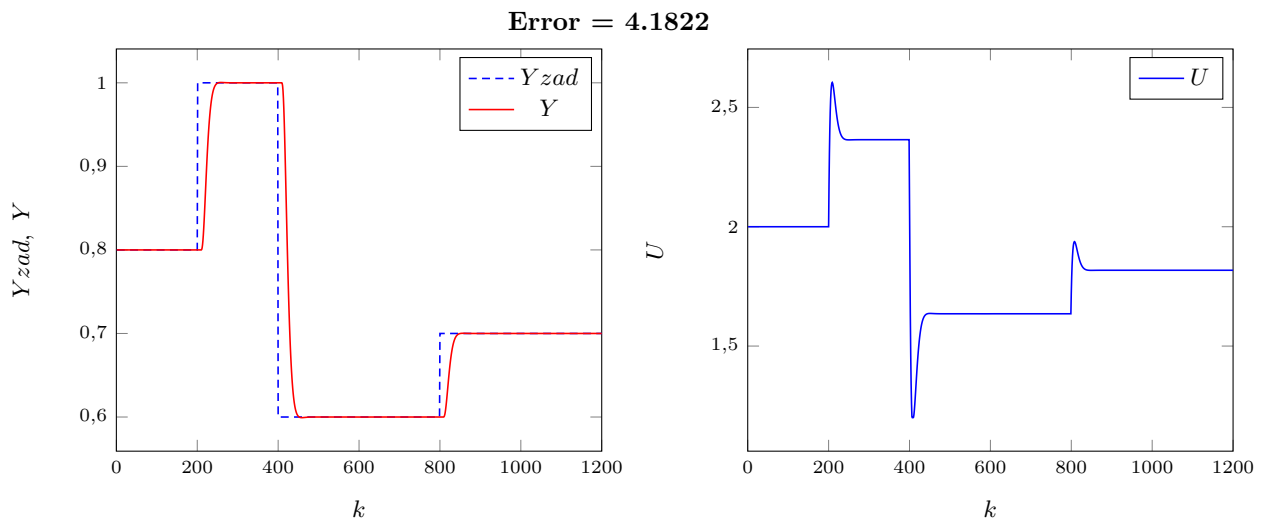
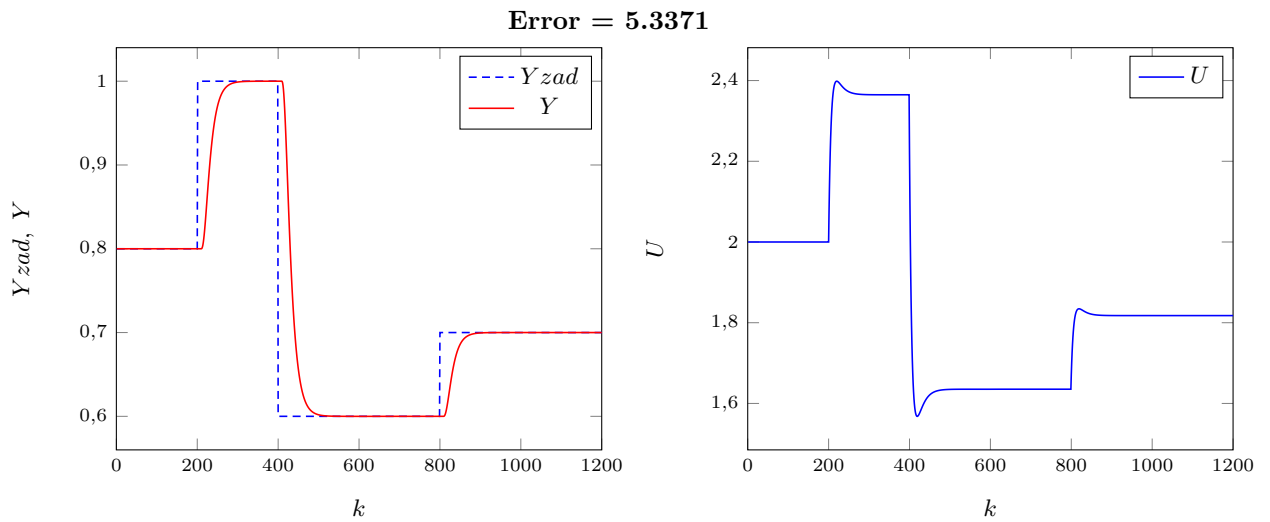
Rys. 2.22. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 50$, $Nu = 20$, $\lambda = 0.2$ Rys. 2.23. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 50$, $Nu = 20$, $\lambda = 1$ Rys. 2.24. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 50$, $Nu = 20$, $\lambda = 5$

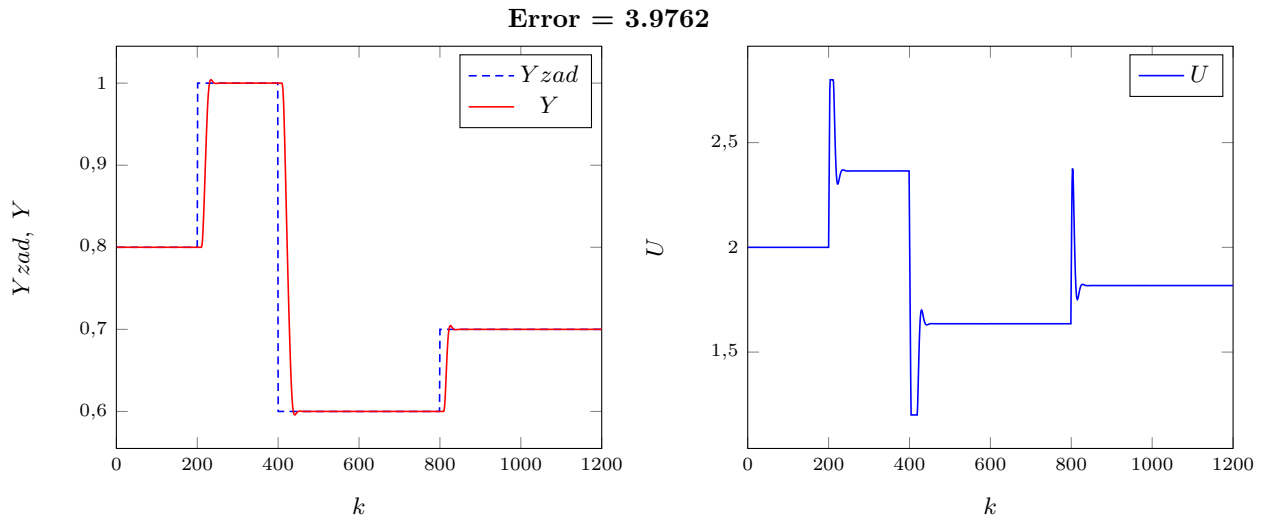
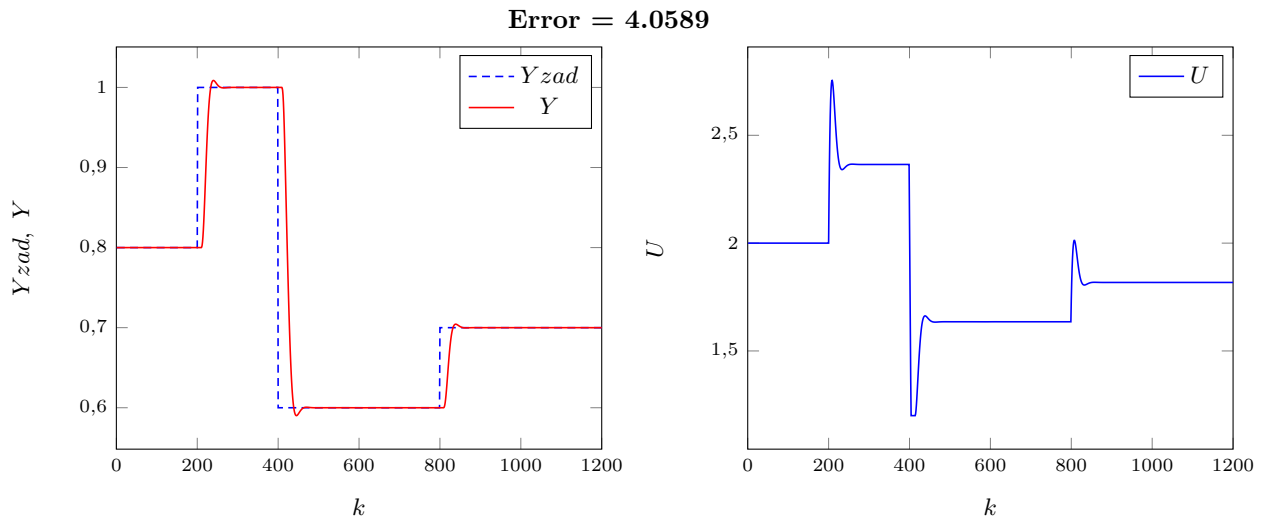
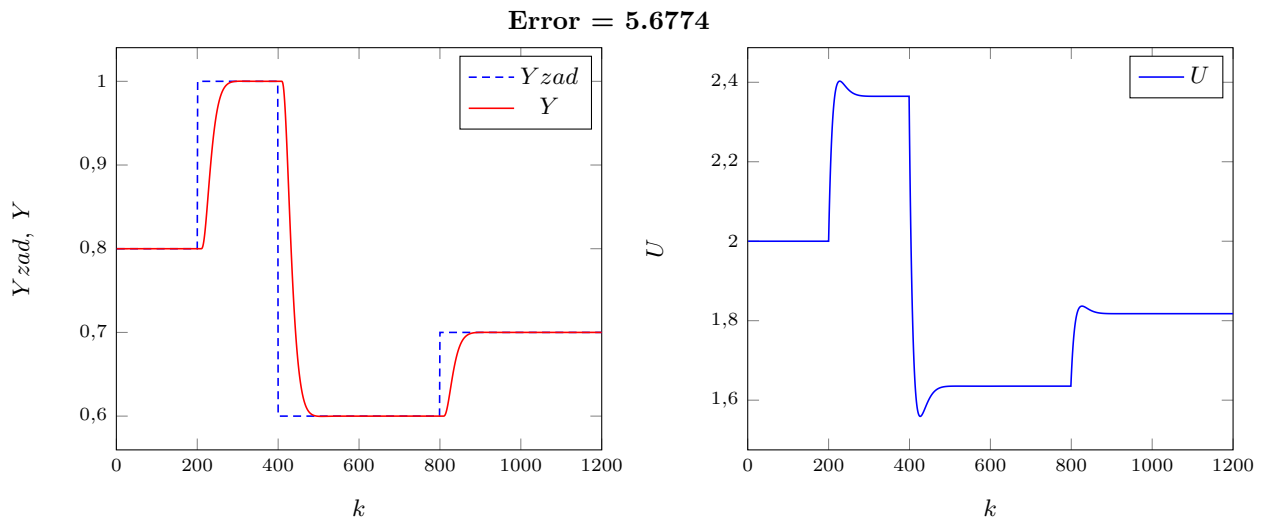
Rys. 2.25. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 75$, $Nu = 5$, $\lambda = 0.2$ Rys. 2.26. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 75$, $Nu = 5$, $\lambda = 1$ Rys. 2.27. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 75$, $Nu = 5$, $\lambda = 5$

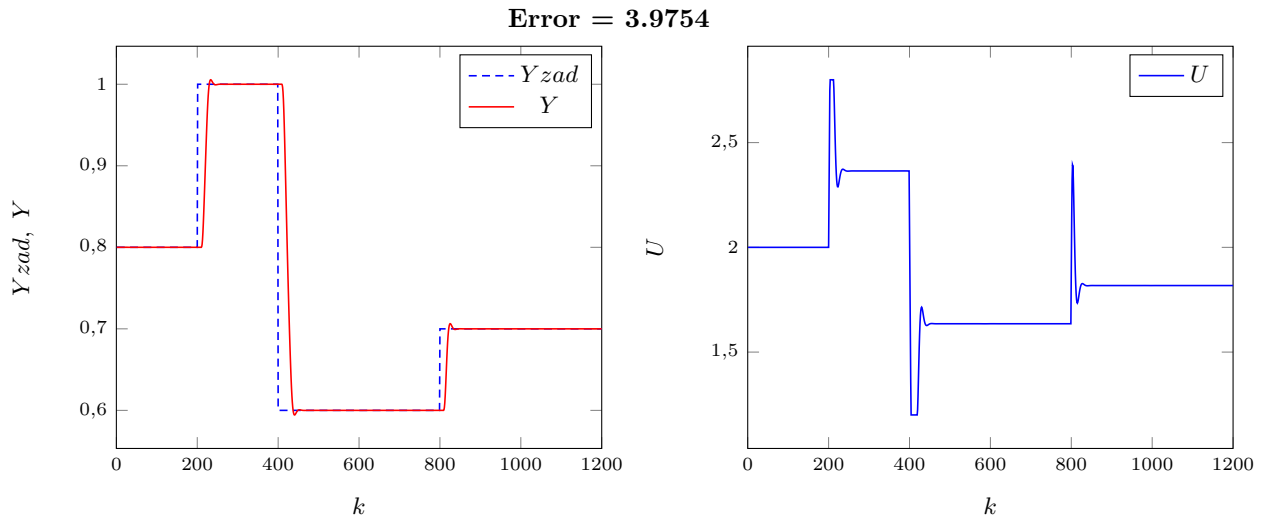
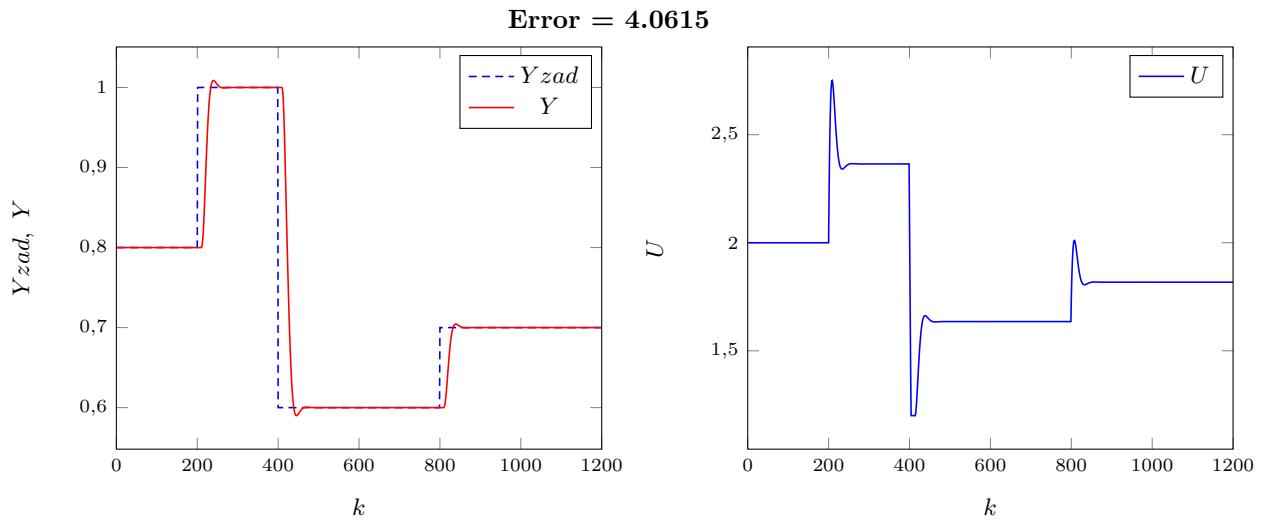
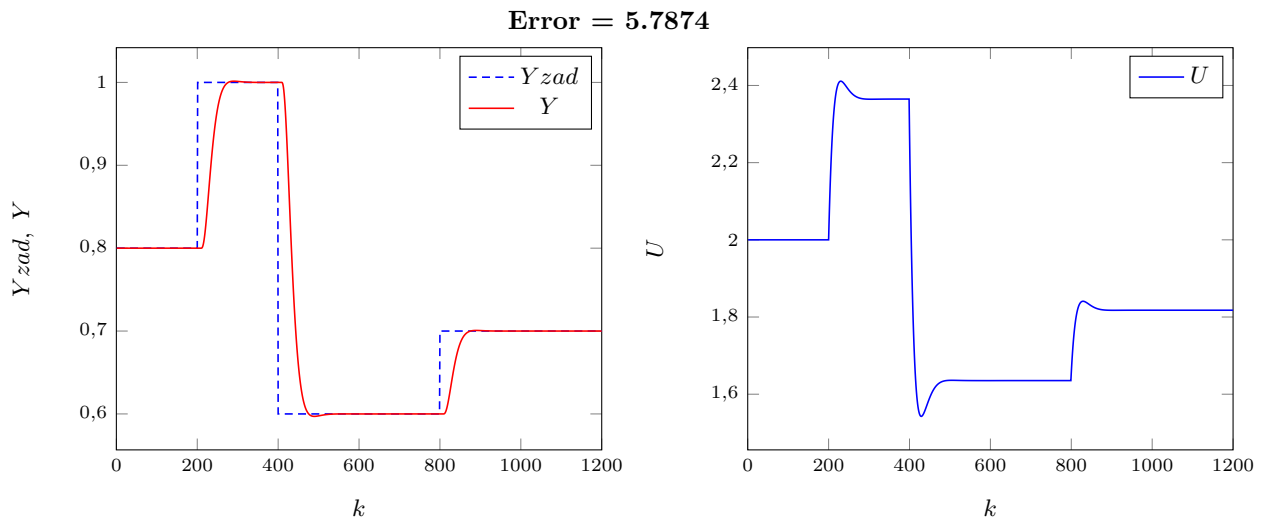
Rys. 2.28. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 75$, $Nu = 10$, $\lambda = 0.2$ Rys. 2.29. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 75$, $Nu = 10$, $\lambda = 1$ Rys. 2.30. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 75$, $Nu = 10$, $\lambda = 5$

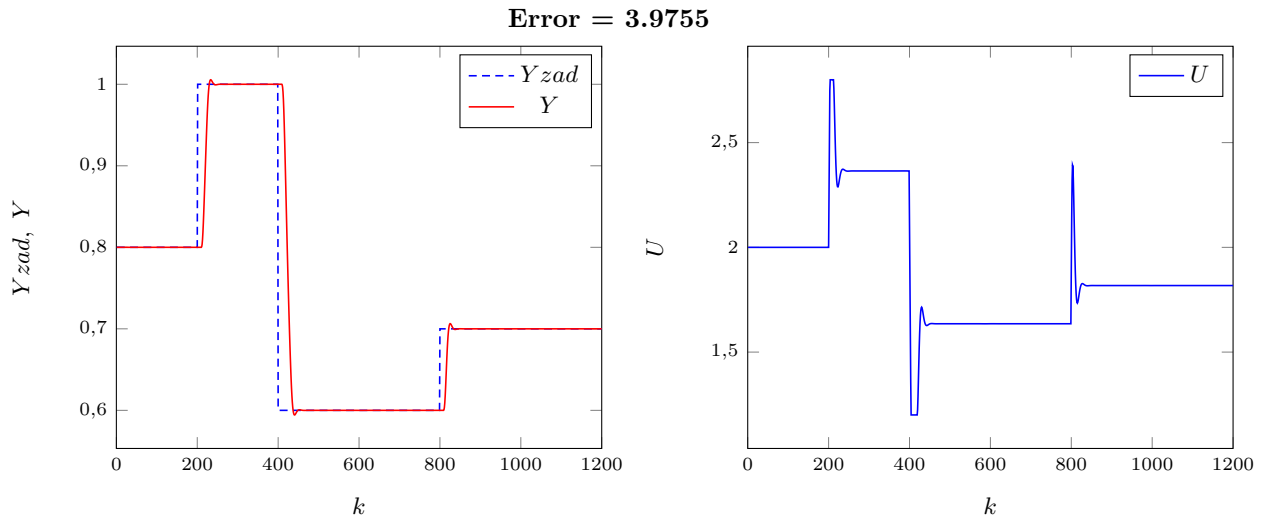
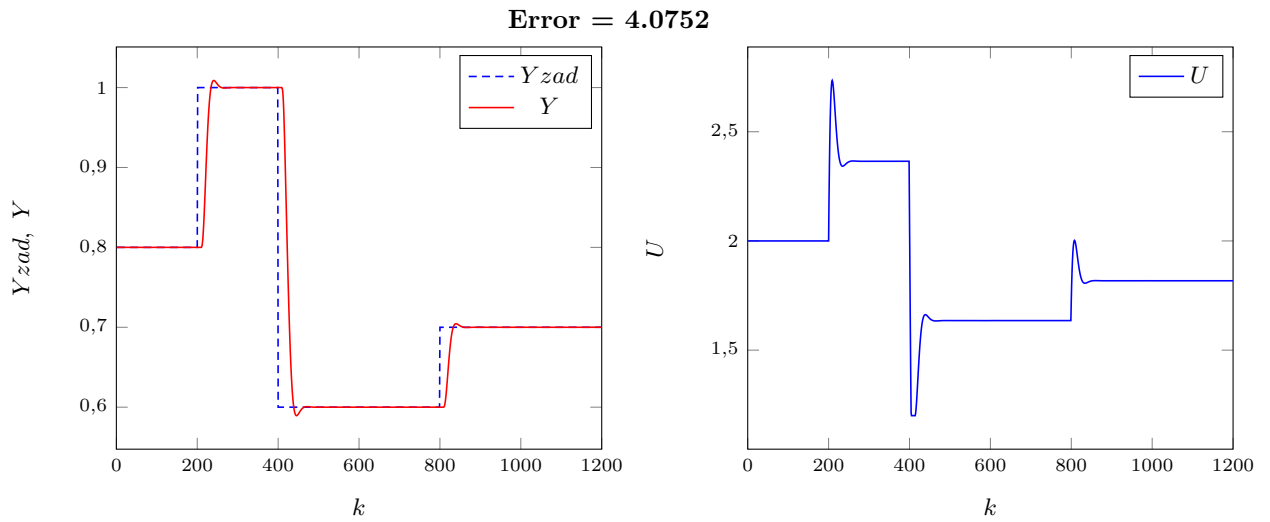
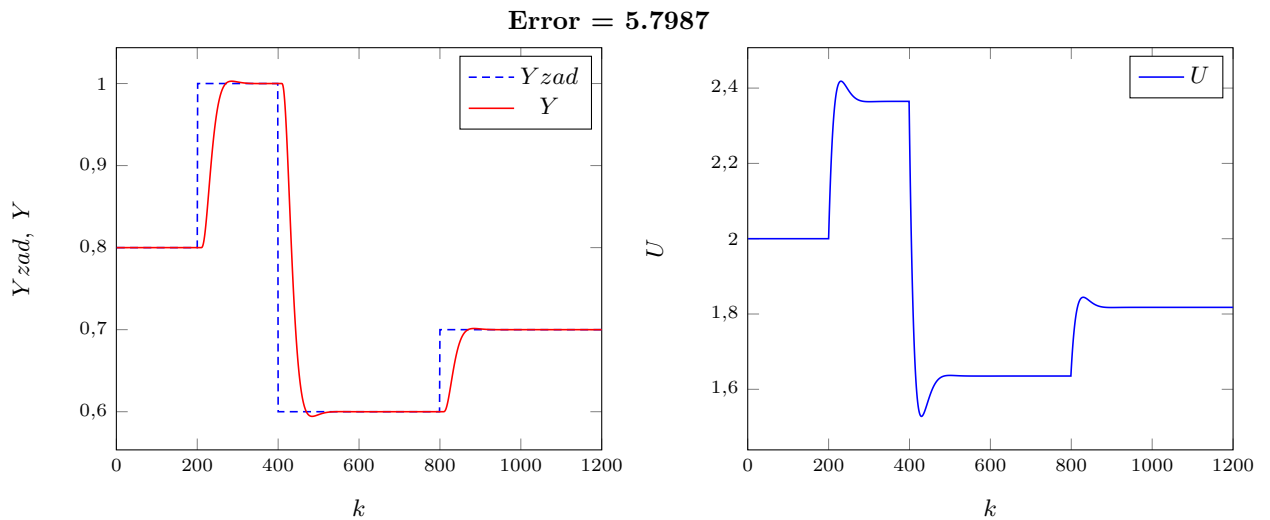
Rys. 2.31. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 75$, $Nu = 15$, $\lambda = 0.2$ Rys. 2.32. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 75$, $Nu = 15$, $\lambda = 1$ Rys. 2.33. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 75$, $Nu = 15$, $\lambda = 5$

Rys. 2.34. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 75$, $Nu = 20$, $\lambda = 0.2$ Rys. 2.35. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 75$, $Nu = 20$, $\lambda = 1$ Rys. 2.36. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 75$, $Nu = 20$, $\lambda = 5$

Rys. 2.37. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 100$, $Nu = 5$, $\lambda = 0.2$ Rys. 2.38. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 100$, $Nu = 5$, $\lambda = 1$ Rys. 2.39. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 100$, $Nu = 5$, $\lambda = 5$

Rys. 2.40. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 100$, $Nu = 10$, $\lambda = 0.2$ Rys. 2.41. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 100$, $Nu = 10$, $\lambda = 1$ Rys. 2.42. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 100$, $Nu = 10$, $\lambda = 5$

Rys. 2.43. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 100$, $Nu = 15$, $\lambda = 0.2$ Rys. 2.44. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 100$, $Nu = 15$, $\lambda = 1$ Rys. 2.45. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 100$, $Nu = 15$, $\lambda = 5$

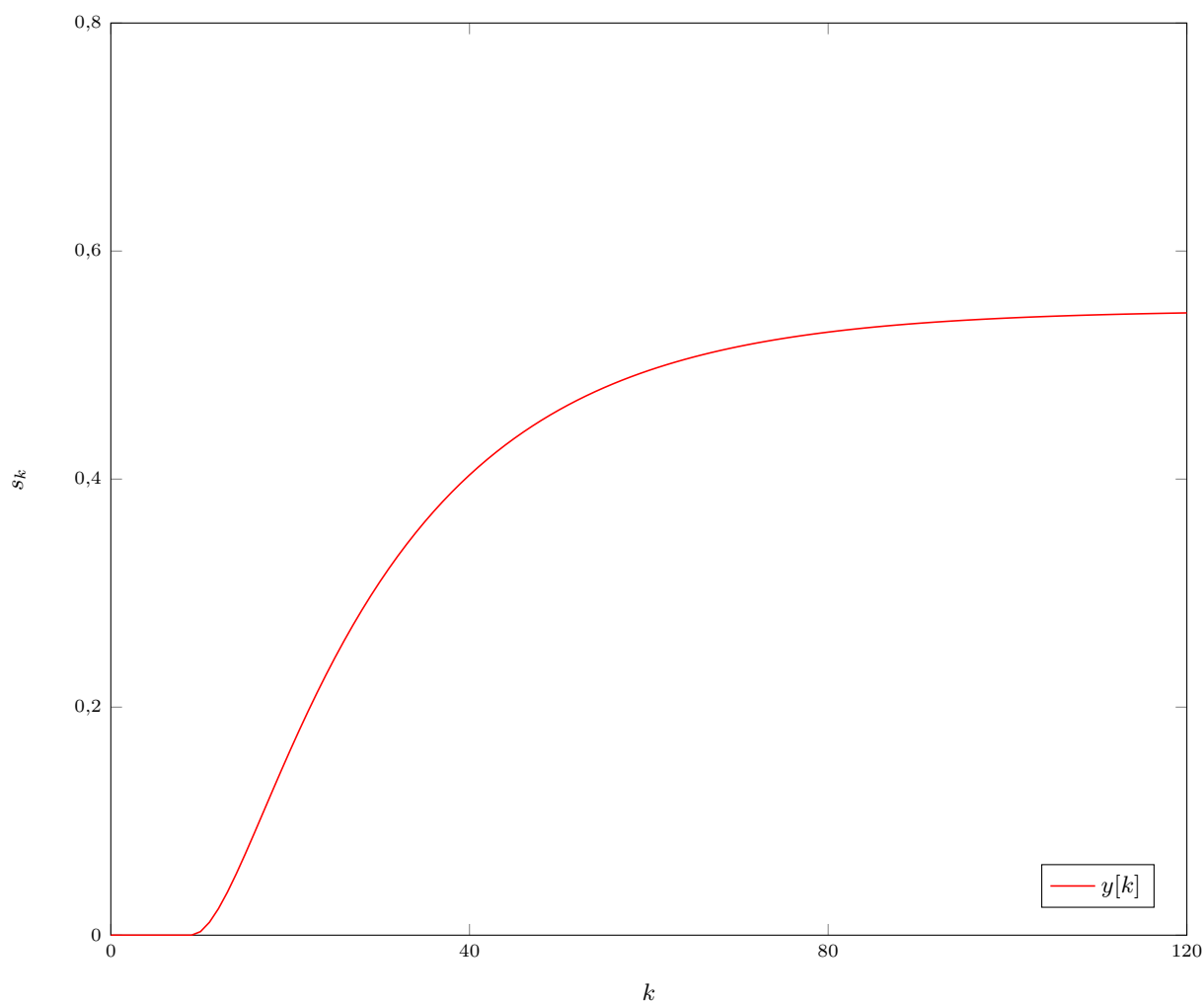
Rys. 2.46. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 100$, $Nu = 20$, $\lambda = 0.2$ Rys. 2.47. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 100$, $Nu = 20$, $\lambda = 1$ Rys. 2.48. Przebieg oraz sterowanie dla parametrów $N = 100$, $Nu = 20$, $\lambda = 5$

3. Przekształcenie odpowiedzi skokowej

Aby uzyskać znormalizowaną odpowiedź skokową, należy przerzutować ją względem punktu pracy oraz wielkości skoku, a także przesunąć chwilę skoku sterowania do chwili $k=0$ (z chwili k_{skok}). Do tego celu można użyć wzoru:

$$s_i = \frac{s_{i+k_{skok}} - Y_{pp}}{\Delta U} \quad (3.1)$$

Wyznaczono ją przy użyciu skryptu `PROJ1_3.m` (dla odpowiedzi skokowej przy $\Delta u = 0,5$). Następnie przycięto ją do miejsca w którym osiąga 0,995 swojej maksymalnej wartości. Długość tej odpowiedzi jest przyjętym horyzontem dynamiki tego obiektu i jest równy 120. Wynik działania przedstawiony jest na rysunku 3. Odpowiedź ta zostanie użyta do zaprojektowania regulatora DMC.



Rys. 3.1. Postać przekształconej odpowiedzi skokowej symulowanego obiektu ze zmianą sterowania w momencie $k=0$

4. Odpowiedzi skokowe

4.1. Wyznaczanie odpowiedzi skokowych

W celu wyznaczenia odpowiedzi skokowej obiekt, znajdujący się w punkcie pracy (tzn. $U_{pp} = 2,0, Y_{pp} = 0,8$) pobudzoną różną zmianą wartości sterowań. Rysunek 4.1 przedstawia odpowiedź obiektu na jego różne wartości.

4.2. Wyznaczanie charakterystyki statycznej procesu

Aby wyznaczyć charakterystykę statyczną procesu przeprowadzono analogiczne działania co w rozdziale

1. Tym razem przy użyciu skryptu `PROJ1_2.m` dla wielu wartości U_{pp} wyznaczono odpowiadające im Y_{pp} oraz z ich pomocą utworzono wykres 4.2. Jak widać charakterystyka statyczna obiektu jest liniowa, a co za tym idzie obiekt jest liniowy.

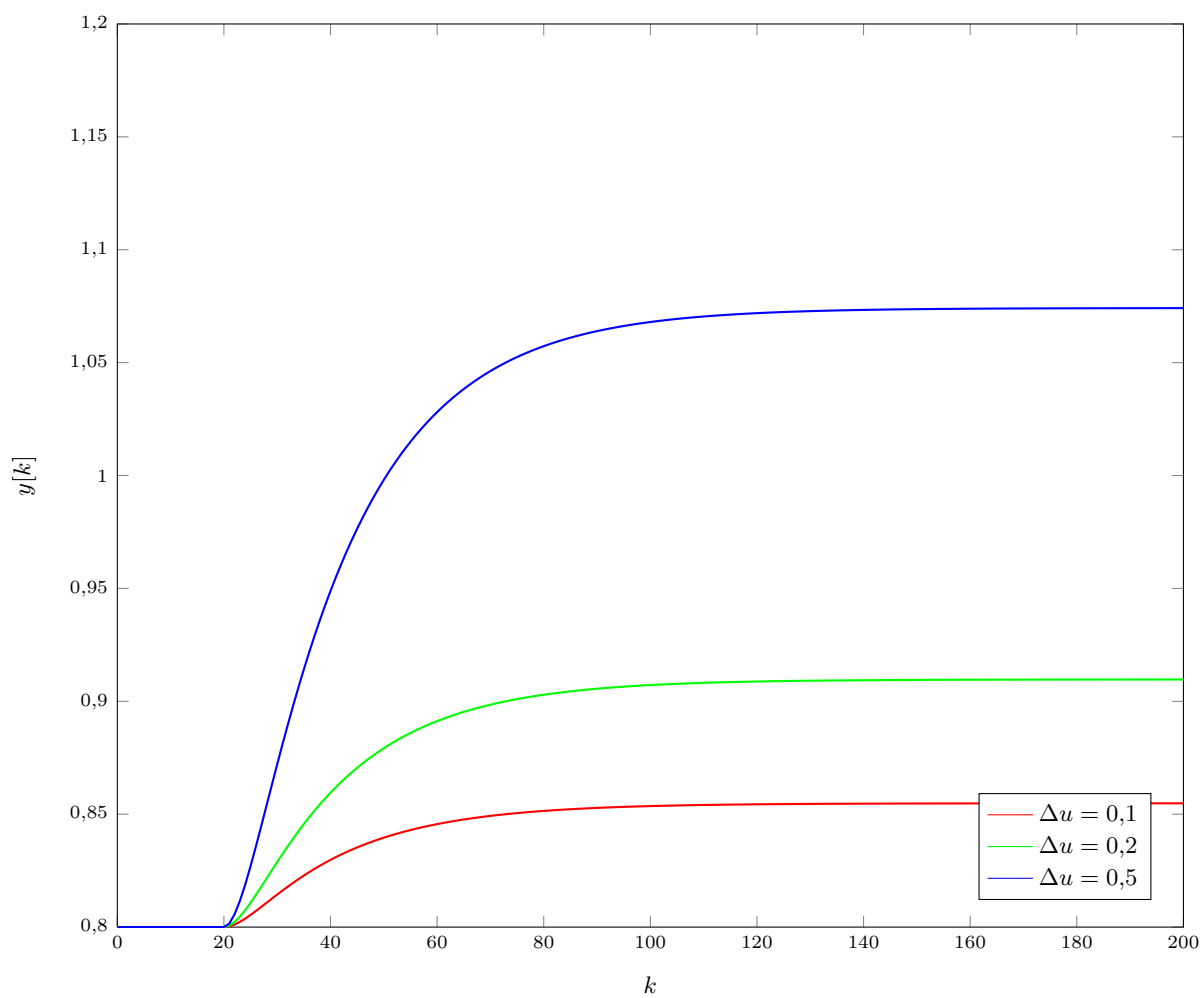
4.3. Wzmocnienie statyczne

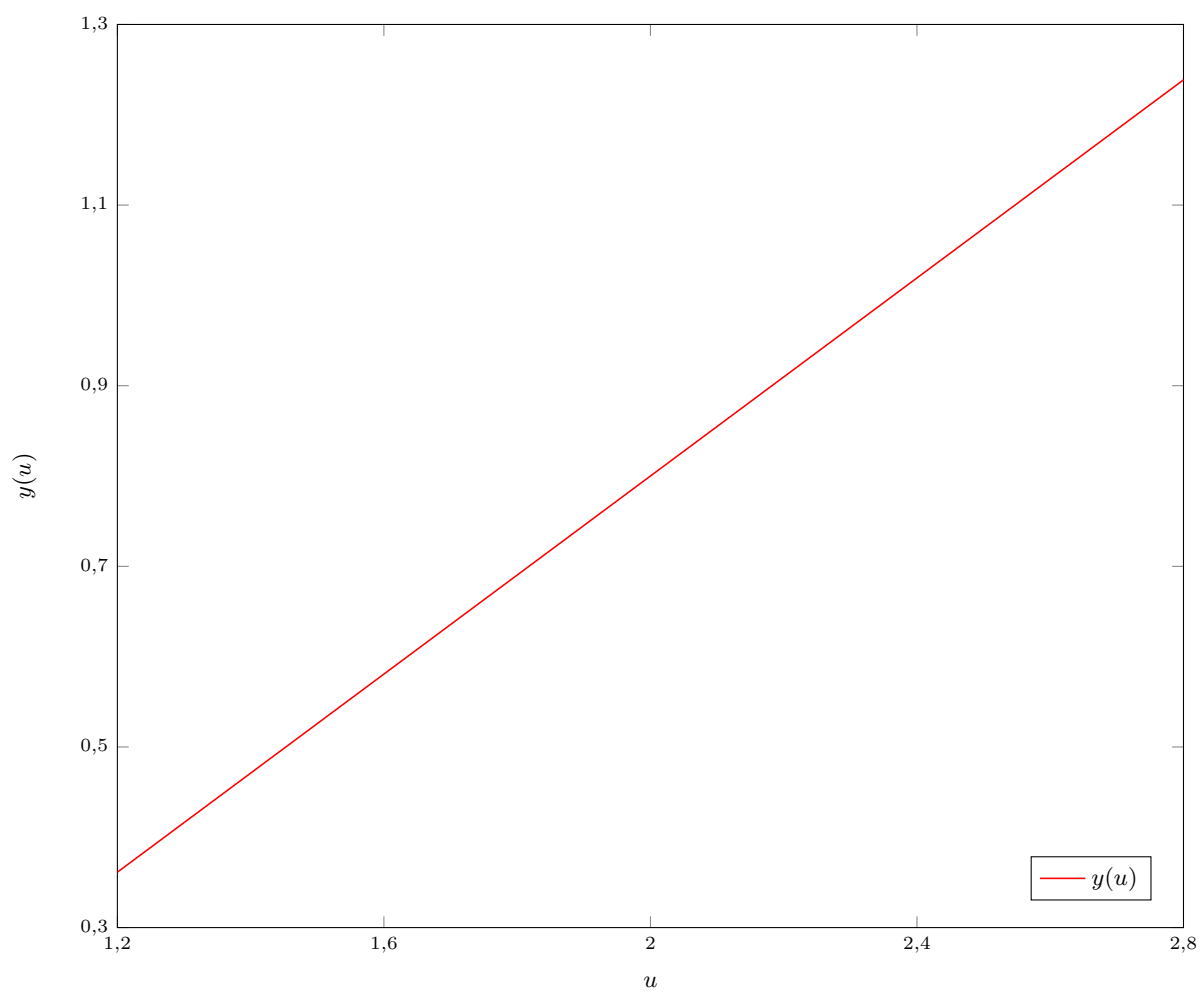
Wzmocnienie statyczne, czyli stosunek pomiędzy zmianą wartości wyjścia i zmianą wartości sterowania w stanie ustalonym. Aby ją wyznaczyć można na przykład znaleźć nachylenie charakterystyki statycznej do osi OX , czyli np.:

$$K_{\text{stat}} = \frac{y(U_{\text{max}}) - y(U_{\text{min}})}{U_{\text{max}} - U_{\text{min}}} \quad (4.1)$$

W przypadku tak wykreślonej charakterystyki, wzmocnienie statyczne jest równe tangensowi kąta α pomiędzy prostą a osią OX .

$$K_{\text{stat}} = \frac{1,239 - 0,361}{2,8 - 1,2} \approx 0,549 \quad (4.2)$$

Rys. 4.1. Odpowiedzi procesu na skokowe zmiany sterowania w momencie $k=11$

Rys. 4.2. Charakterystyka statyczna $y(u)$ symulowanego procesu