

Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych  
Politechnika Warszawska

Projektowanie układów sterowania  
(projekt grupowy)

Sprawozdanie z projektu i ćwiczenia laboratoryjnego  
nr 2, zadanie nr 4

Piotr Chachuła, Cezary Dudkiewicz, Piotr Roszkowski

Warszawa, 2019

# Spis treści

## I. Projekt

<b>1. Weryfikacja punktu pracy</b>	3
1.1. Opis postępowania	3
1.2. Wyniki	3
<b>2. Odpowiedzi skokowe</b>	4
2.1. Wyznaczanie odpowiedzi skokowych	4
2.2. Wyznaczanie charakterystyki statycznej procesu	4
2.3. Wzmocnienie statyczne	4
<b>3. Wyznaczanie odpowiedzi skokowych</b>	7
<b>4. Regulator DMC</b>	9
4.1. Algorytm działania	9
4.2. Strojenie regulatora DMC	10
<b>5. Zakłócenie w regulatorze DMC</b>	12
5.1. Dobór parametru $D_z$	12
5.2. Omówienie wyników	14
<b>6. Zakłócenie sinusoidalne</b>	15
<b>7. Szum pomiarowy</b>	20
7.0.1. Realizacja w Matlabie	20
7.0.2. Wyniki	20
7.0.3. Omówienie wyników	24

## II. Laboratoria

Część I

**Projekt**

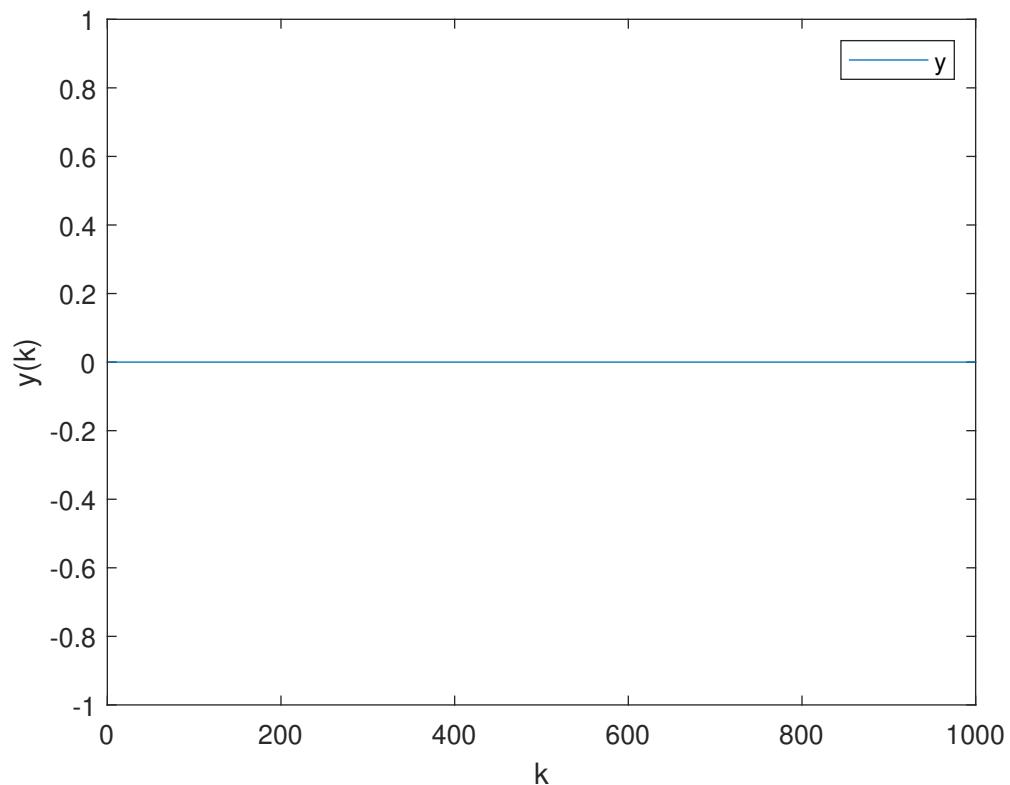
# 1. Weryfikacja punktu pracy

## 1.1. Opis postępowania

W celu sprawdzenia poprawności wartości sygnałów  $u$ ,  $y$  oraz  $z$  pobudzono obiekt sterowaniem o wartości  $u = 0,0$ , zakłóceniem  $z = 0,0$  i sprawdzaniu czy stabilizuje się on w punkcie pracy  $y = 0,0$ . Do symulacji wyjścia obiektu użyto udostępnionej funkcji `symulacja_obiektu4y`. Do testów napisano skrypt `Zad1.m`. Wyniki przedstawiono poniżej.

## 1.2. Wyniki

Zgodnie z przewidywaniami wyjście obiektu ustaliło się na wartości  $y = 0,0$ . Punkt pracy ustalony jest więc poprawnie.



Rys. 1.1. Odpowiedź obiektu na sterowaniu  $u = 0,0$  i zakłócenie  $z = 0,0$

## 2. Odpowiedzi skokowe

### 2.1. Wyznaczanie odpowiedzi skokowych

W celu wyznaczenia odpowiedzi skokowej obiekt, znajdujący się w punkcie pracy (tzn.  $u = 0,0$ ,  $z = 0,0$ ,  $y = 0,0$ ) pobudzony zostaje skokową wartością sterowania/zakłócenia. Rysunek 2.1 oraz 2.2 przedstawia odpowiedź obiektu na dane skoki.

### 2.2. Wyznaczanie charakterystyki statycznej procesu

Aby wyznaczyć charakterystykę statyczną procesu przeprowadzono analogiczne działania co w rozdziale 1. Tym razem przy użyciu skryptu `Zad2.m` dla wielu wartości  $u$  oraz  $z$  wyznaczono odpowiadające im  $y$  oraz z ich pomocą utworzono wykres 2.2. Jak widać charakterystyka statyczna obiektu jest liniowa, a co za tym idzie obiekt jest liniowy.

### 2.3. Wzmocnienie statyczne

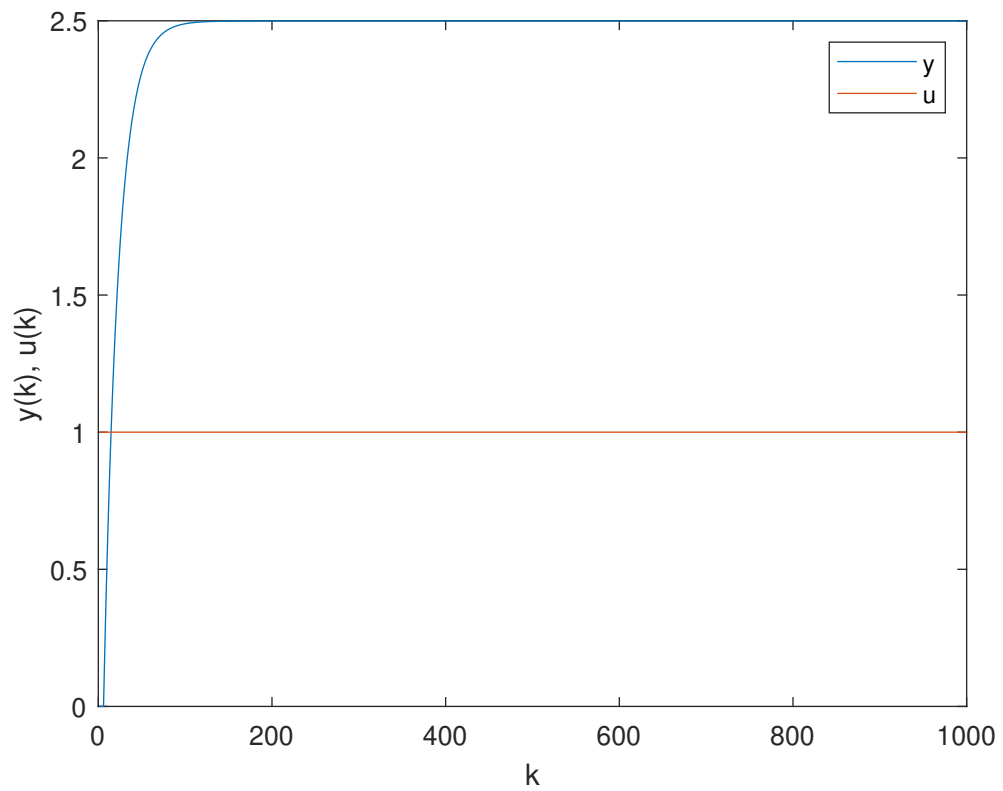
Wzmocnienie statyczne, czyli stosunek pomiędzy zmianą wartości wyjścia i zmianą wartości wejścia w stanie ustalonym. Aby ją wyznaczyć można na przykład znaleźć nachylenie charakterystyki statycznej do osi  $OU$  lub  $OZ$ , czyli np.:

$$K_{\text{stat}_u} = \frac{y(u_{\max}) - y(u_{\min})}{u_{\max} - u_{\min}} \quad (2.1)$$

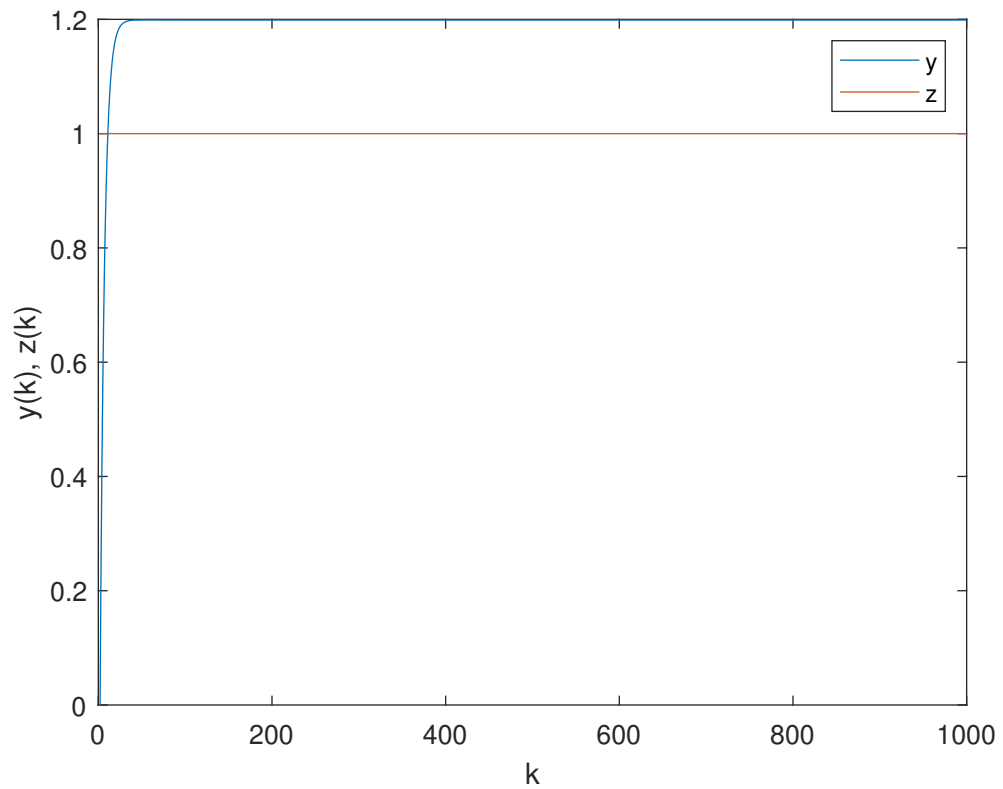
W przypadku tak wykreślonej charakterystyki, wzmocnienie statyczne jest równe tangensowi kąta  $\alpha$  pomiędzy prostą a osią  $OU$ .

$$K_{\text{stat}_u} = \frac{24.9903 - 0}{10 - 0} \approx 2.5 \quad (2.2)$$

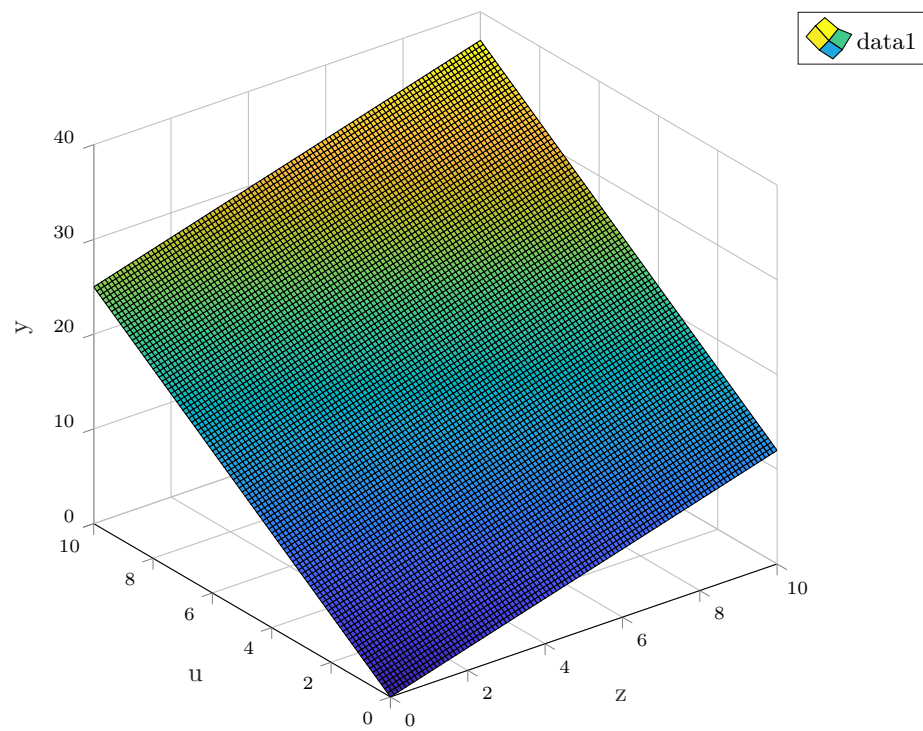
$$K_{\text{stat}_z} = \frac{11.9884 - 0}{10 - 0} \approx 1.2 \quad (2.3)$$



Rys. 2.1. Odpowiedz procesu na skokową zmianę sterowania

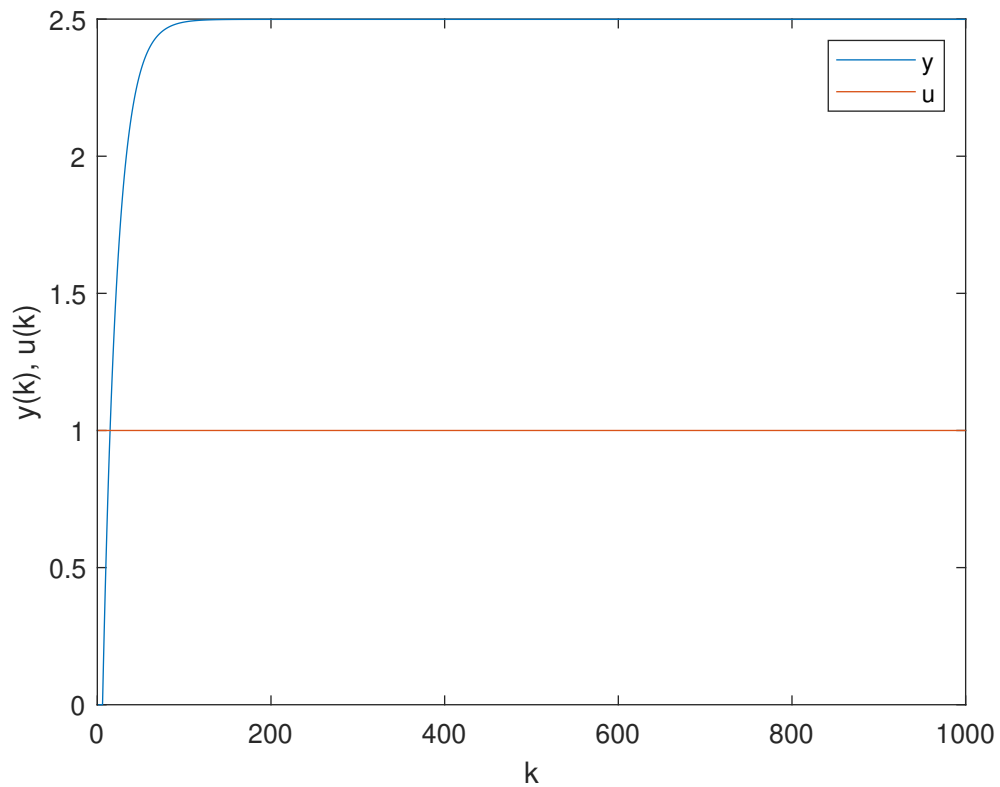


Rys. 2.2. Odpowiedz procesu na skokową zmianę zakłócenia

Rys. 2.3. Charakterystyka statyczna  $y(u, z)$  symulowanego procesu

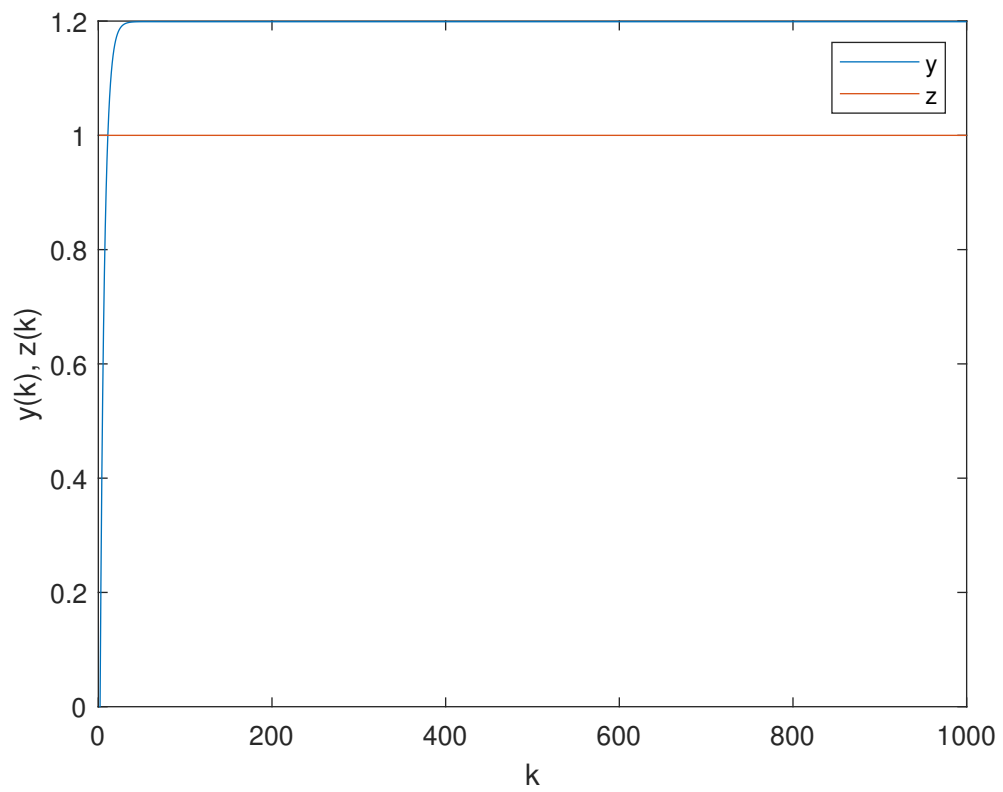
### 3. Wyznaczanie odpowiedzi skokowych

Odpowiedz skokowa w algorytmie DMC oznacza odpowiedz obiektu na jednostkowy skok sterowania. Wyznacza się ją poprzez albo pobudzenie obiektu takim właśnie skokiem jednostkowym, albo, gdy jest to niemożliwe, jakimkolwiek innym i normalizowanie jej. W naszym przypadku nic nie stoi na przeszkodzie aby odrazu pobudzić obiekt takimi właśnie sygnałami.



Rys. 3.1. Odpowiedz skokowa obiektu pobudzonego jednostkowym skokiem sterowania  $u$



Rys. 3.2. Odpowiedź skokowa obiektu pobudzonego jednostkowym skokiem sterowania  $z$

## 4. Regulator DMC

### 4.1. Algorytm działania

Algorytm działania regulatora oraz implementacja została dobrze udokumentowana w pliku `DMC_Z.m`. Listing jego części algorytmicznej przedstawiony jest poniżej:

```
function [Err] = DMC_Z (paras)
% zmienne i macierze regulatora
load('odp_ekok');
D=paras(1);
N = paras(2);
Nu=paras(3);
lambda = paras(4);
DZ = 25;
s = su;
z = zeros(N,1);
z(1:size(sz))=sz;
z(size(sz):end)=sz(end);

M=zeros(N,Nu);
for i=1:N
for j=1:Nu
if (i>=j)
M(i,j)=s(i-j+1);
end
end
end

MP=zeros(N,D-1);
for i=1:N
for j=1:D-1
if i+j<=D
MP(i,j)=s(i+j)-s(j);
else
MP(i,j)=s(D)-s(j);
end
end
end

MZIP=zeros(N,DZ);
for i=1:N
MZIP(i,1) = z(i);
for j=2:DZ
if i+j-1<=DZ
MZIP(i,j)=z(i+j-1)-z(j);
else
MZIP(i,j)=z(DZ)-z(j);
end
end
end

I=eye(Nu);
K=((M'*M+lambda*I)^-1)*M';
ku=K(1,:)*MP;
kz=K(1,:)*MZIP;
ke=sum(K(1,:));
deltaup=zeros(1,D-1);
deltazp=zeros(1,DZ-1);

% dane
n = 200;
U0 = 0;
Z0 = 0;
Y0 = 0;
start = 10;

U = U0*ones(1,n);
Z = Z0*ones(1,n);
Z(100:end) = 1;
Y = Y0*ones(1,n);
```

```

Yz = Y;
Yz(10:end) = 1;
e = zeros(1,n);

%hold on
for k = start:n
Y(k) = symulacja_obiektu4y(U(k-6),U(k-7),Z(k-2),Z(k-3),Y(k-1),Y(k-2));
e(k) = Yz(k) - Y(k);

%uwzględnianie zakłócenia
for i = DZ:-1:2
deltazp(i) = deltazp(i-1);
end
deltazp(1) = Z(k) - Z(k-1);

% Prawo regulacji
deltauk = ke*e(k)-ku*deltaup'-kz*deltazp';

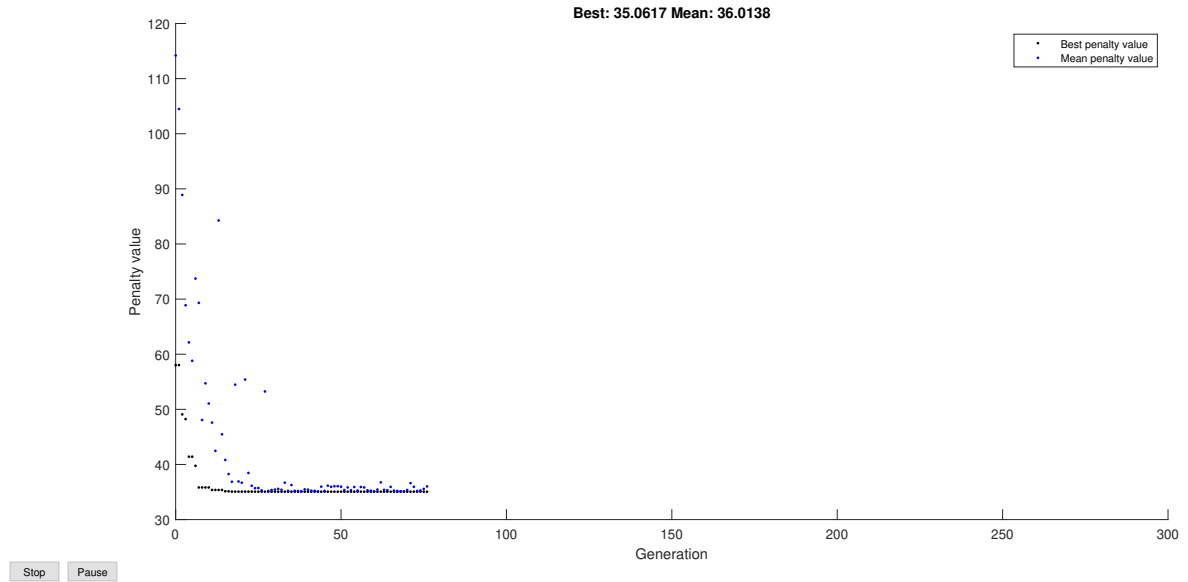
for i = D-1:-1:2
deltaup(i) = deltaup(i-1);
end
deltaup(1) = deltauk;
U(k) = U(k-1)+deltaup(1);
end
Err = (Yz-Y)*(Yz-Y)';
end

```

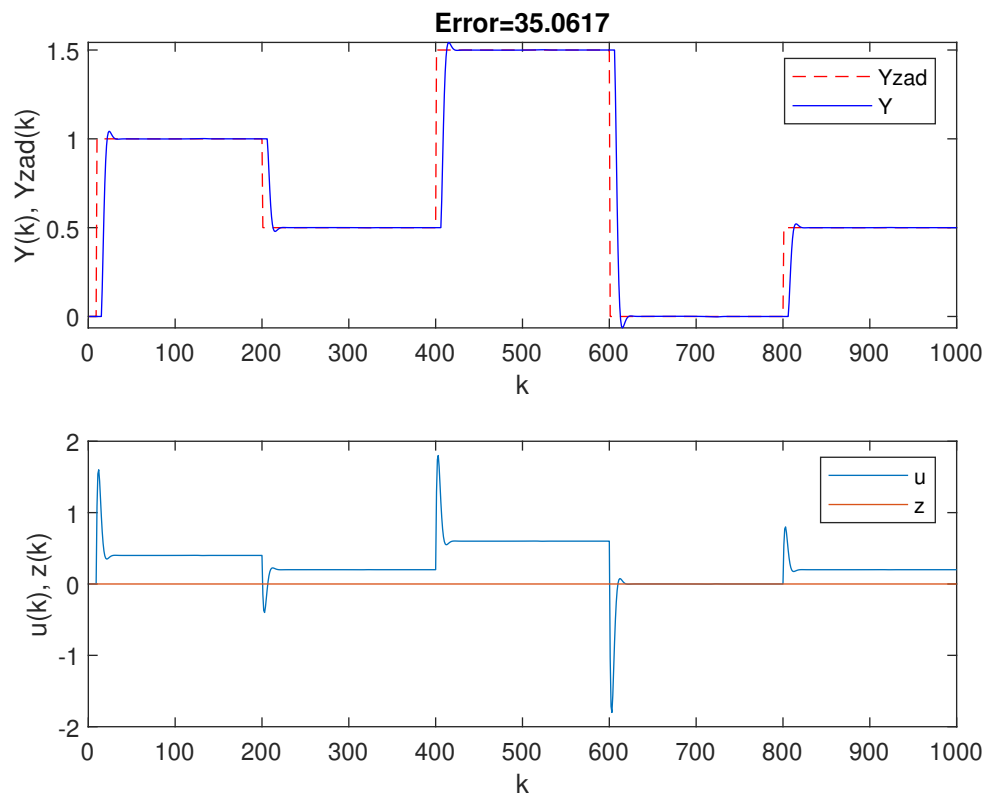
Listing 4.1. Implementacja regulatora DMC

## 4.2. Strojenie regulatora DMC

Strojenie regulatora przeprowadzone zostało metodą automatyczną przy użyciu funkcji `ga(@DMC,nvars,[],[],[],[],lb,ub,[],IntCon,options)`. Strojonymi parametrami były  $N$ ,  $N_u$  oraz  $\lambda$ . Za dolne ograniczenie przyjęte zostały wartości  $N = 1$ ,  $N_u = 1$ ,  $\lambda = 1$ , natomiast za górne  $N = D$ ,  $N_u = D$  oraz  $\lambda = 1000$ , gdzie  $D = 116$ . Wyniki strojenia regulatora przedstawione są na wykresie 4.1.

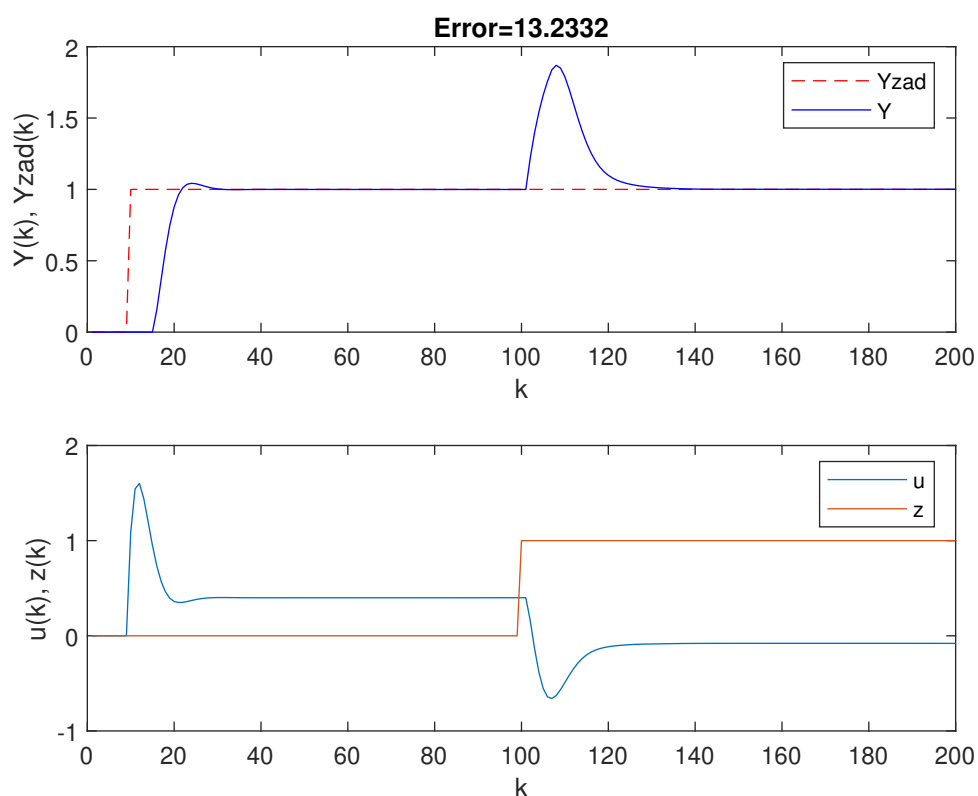
Rys. 4.1. Wyniki strojenia regulatora przy użyciu funkcji `ga`

Przykładowy przebieg pokazujący pracę wystrojonego już regulatora można zobaczyć na wykresie 4.2

Rys. 4.2. Przebieg dla parametrów  $N = 116$ ,  $N_u = 4$ ,  $\lambda = 1$

## 5. Zakłócenie w regulatorze DMC

Poniżej (rys. 5.1) został zaprezentowany przebieg, w którym po osiągnięciu wartości zadanej, w chwili  $k = 100$  następuje skokowy wzrost zakłócenia z 0 na 1.

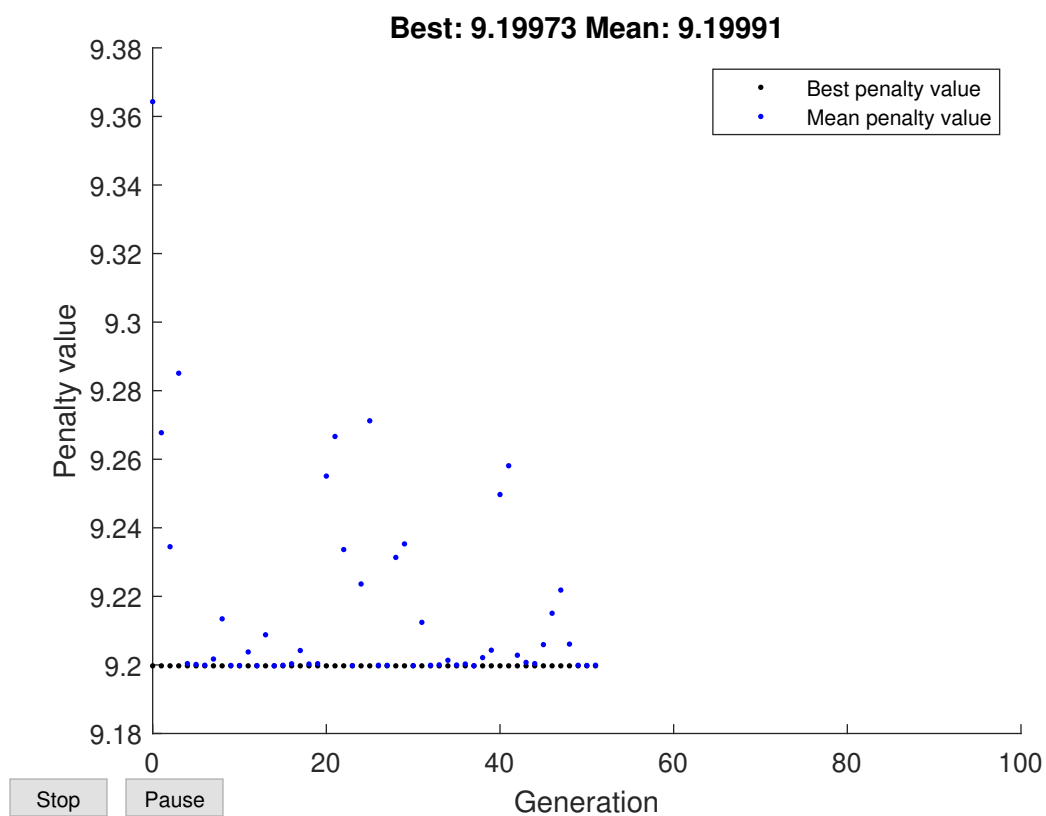
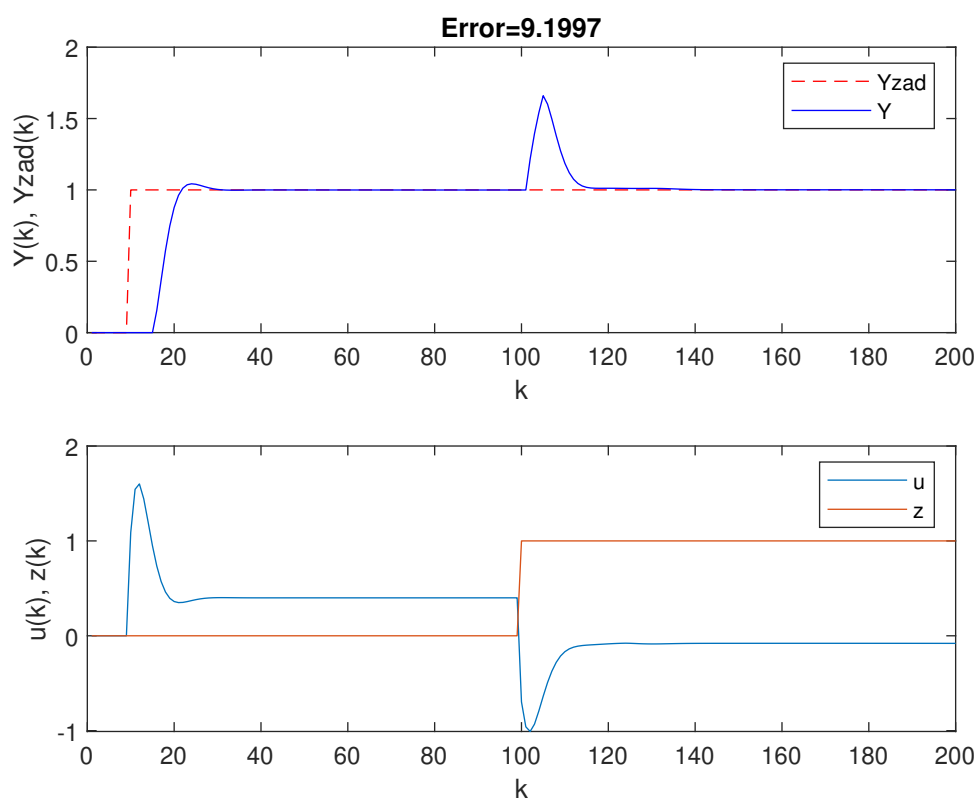


Rys. 5.1. Przebieg bez uwzględniania zakłócenia w regulacji

### 5.1. Dobór parametru $D_z$

Parametr  $D_z$  został dobrany, podobnie jak inne, za pomocą funkcji **ga**. Poszukiwanie zostało przedstawione na wykresie 5.2.

Najlepszą jakość regulacji osiągnięto dla  $D_z = 25$ . Przebieg dla tej wartości można zobaczyć na wykresie 5.3

Rys. 5.2. Poszukiwanie parametru  $D_z$ 

Rys. 5.3. Przebieg z uwzględnieniem zakłócenia w regulacji

## 5.2. Omówienie wyników

Jak można zaobserwować na wykresach 5.1 i 5.3 regulator biorący pod uwagę zakłócenie znacznie lepiej radzi sobie z zakłóceniem, szybciej wraca do wartości zadanej i zapobiega większym błędom.

## 6. Zakłócenie sinusoidalne

W celu sprawdzenia wpływu zakłócenia sinusoidalnego na jakość regulacji (z pomierem i bez pomiaru) wygenerowane zostały przebiegi z zakłóceniami o różnej częstotliwości i różnej amplitudzie. Sygnałem zakłócający generowany był jako

$$z = \sin(k/p) * a \quad (6.1)$$

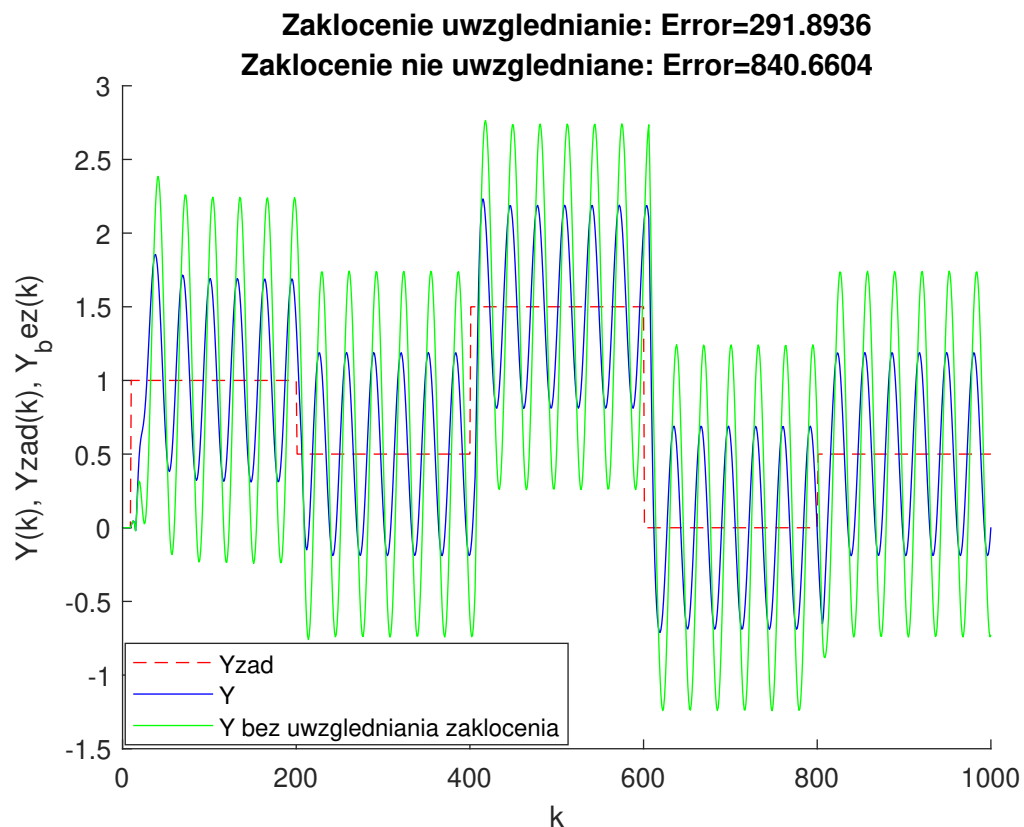
gdzie  $p$  przybierało wartości:

- $p = 5$ ,
- $p = 10$ ,
- $p = 20$ ,

natomiast  $a$ :

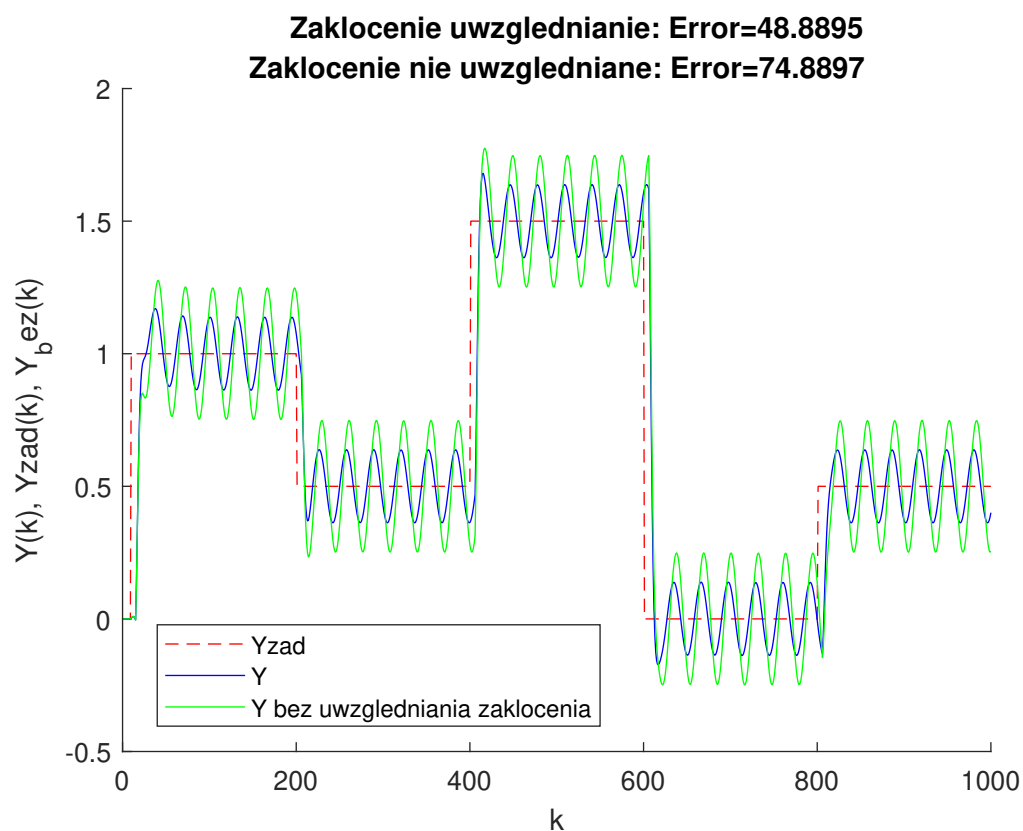
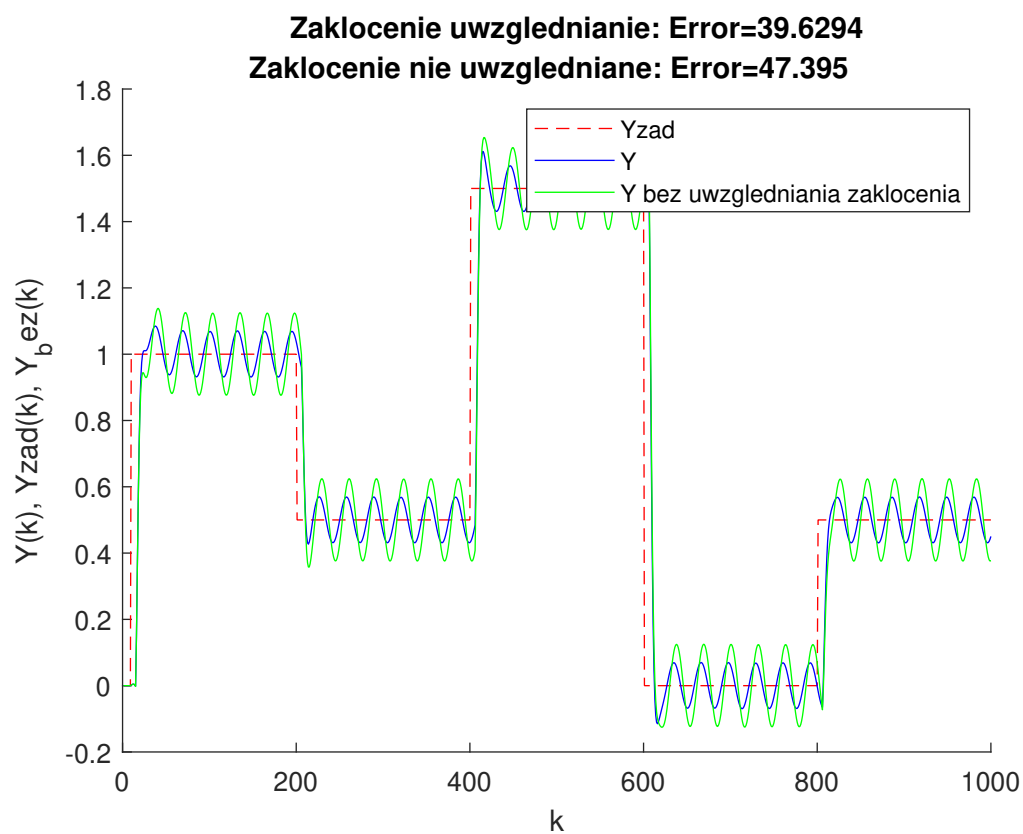
- $a = 0.1$ ,
- $a = 0.2$ ,
- $a = 1$ .

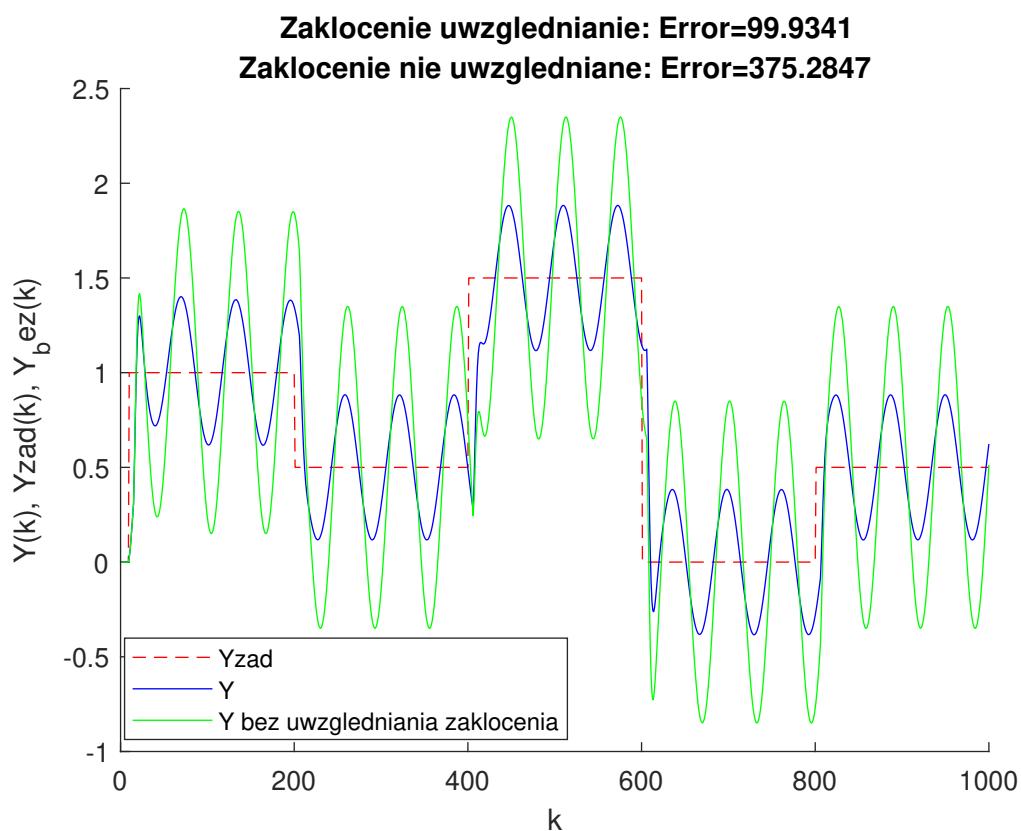
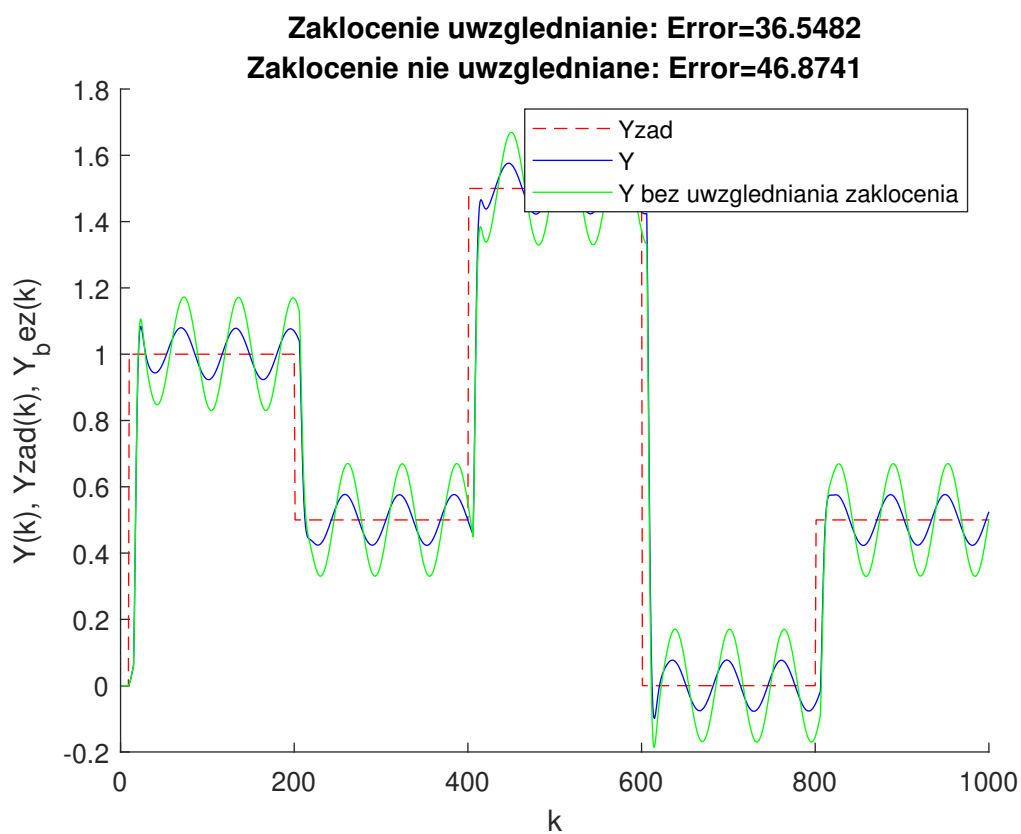
Tak przygotowane wykresy można obejrzeć poniżej.

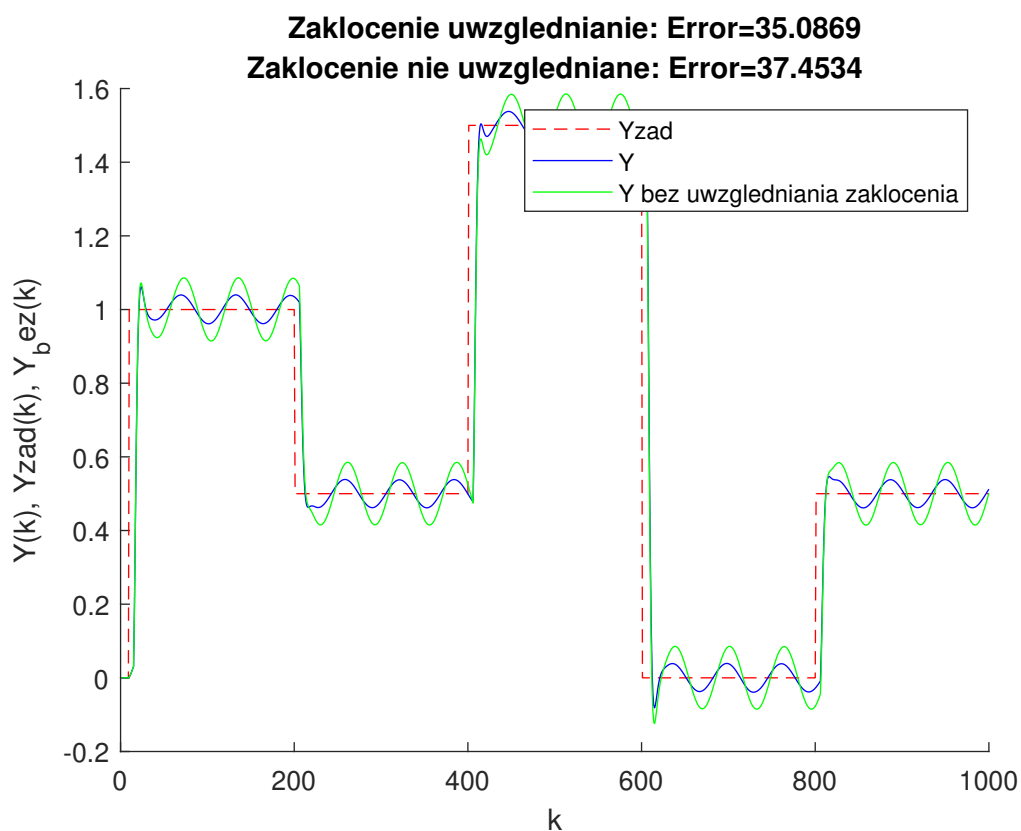
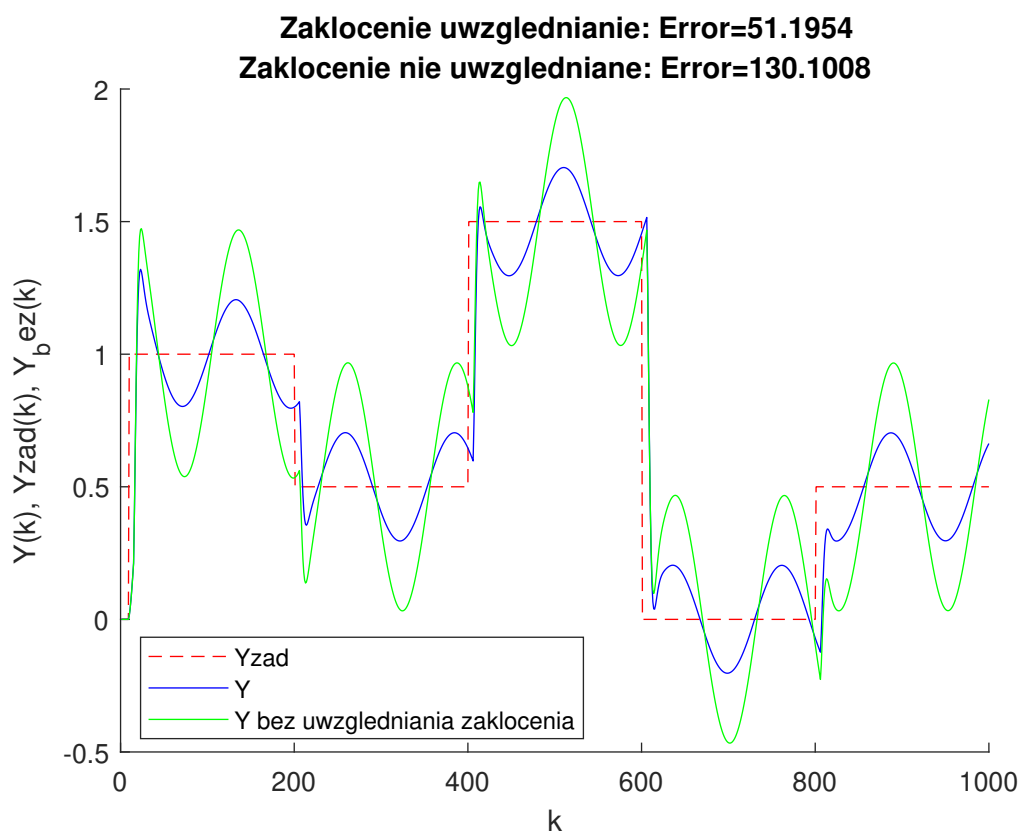


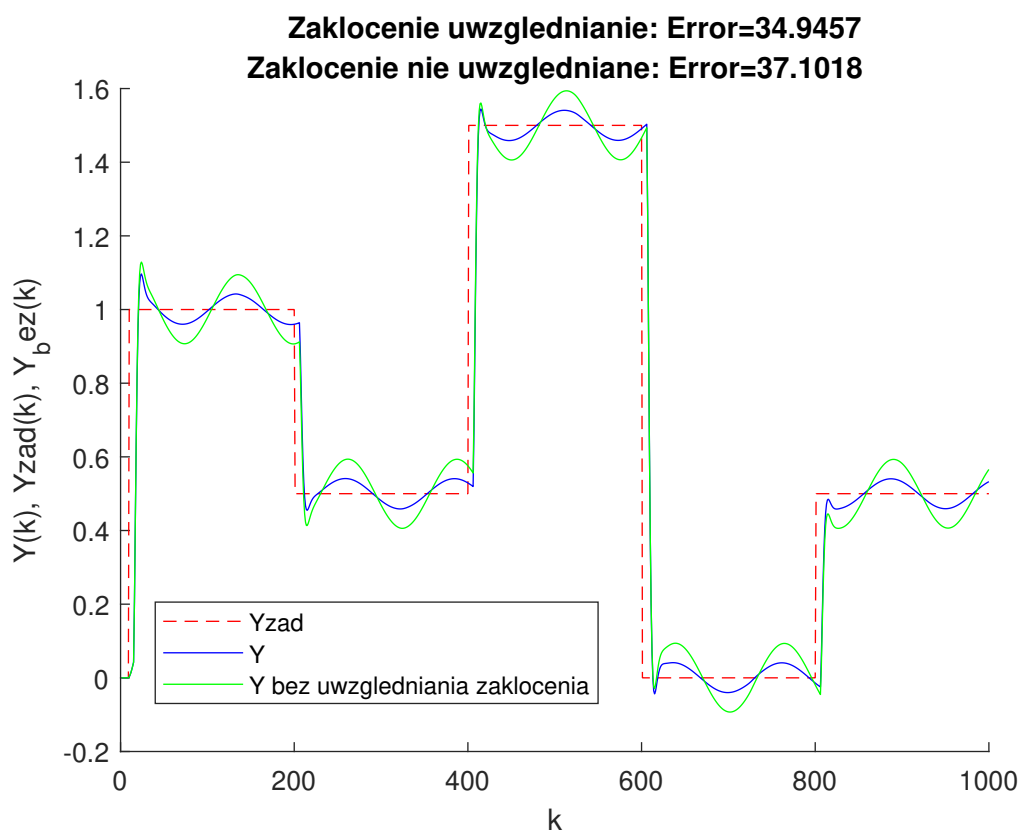
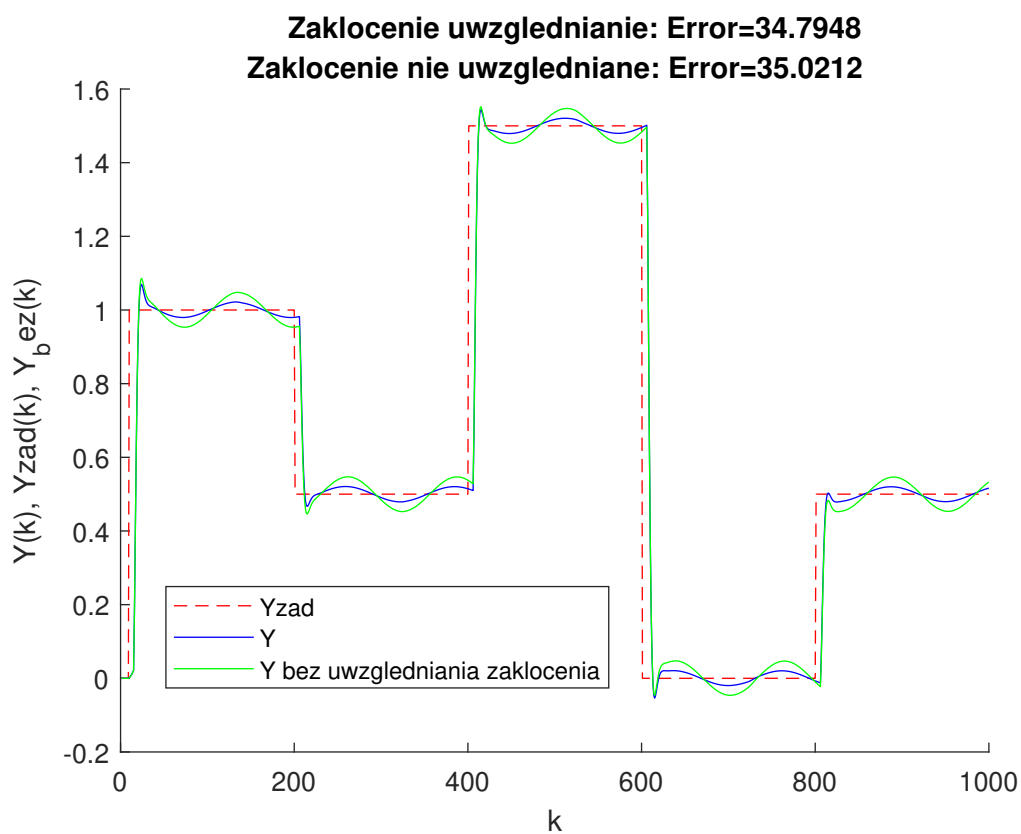
Rys. 6.1. Przebieg dla zakłócenia z parametrami  $p = 5$  oraz  $a = 1$



Rys. 6.2. Przebieg dla zakłócenia z parametrami  $p = 5$  oraz  $a = 0.2$ Rys. 6.3. Przebieg dla zakłócenia z parametrami  $p = 5$  oraz  $a = 0.1$

Rys. 6.4. Przebieg dla zakłócenia z parametrami  $p = 10$  oraz  $a = 1$ Rys. 6.5. Przebieg dla zakłócenia z parametrami  $p = 10$  oraz  $a = 0.2$

Rys. 6.6. Przebieg dla zakłócenia z parametrami  $p = 10$  oraz  $a = 0.1$ Rys. 6.7. Przebieg dla zakłócenia z parametrami  $p = 20$  oraz  $a = 1$

Rys. 6.8. Przebieg dla zakłócenia z parametrami  $p = 20$  oraz  $a = 0.2$ Rys. 6.9. Przebieg dla zakłócenia z parametrami  $p = 20$  oraz  $a = 0.1$

## 7. Szum pomiarowy

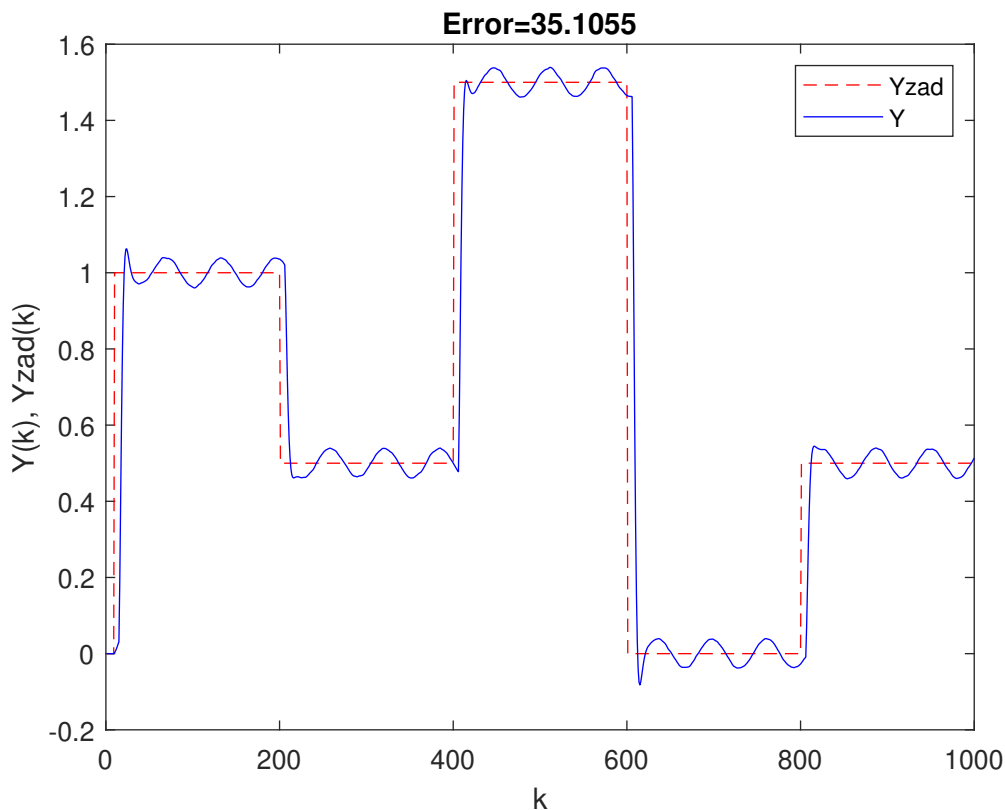
Szum pomiarowy występuje praktycznie przy każdym rodzaju pomiarów fizycznych i wynika on z wielu czynników np. niedokładność urządzenia pomiarowego. Aby sprawdzić odporność działania regulatora na taki właśnie szum pomiarowy posłużyliśmy się białym szumem gaussowskim. Jest to taki szum którego widmo jest płaskie, tzn. występują w nim wszystkie częstotliwości w równym natężeniu.

### 7.0.1. Realizacja w Matlabie

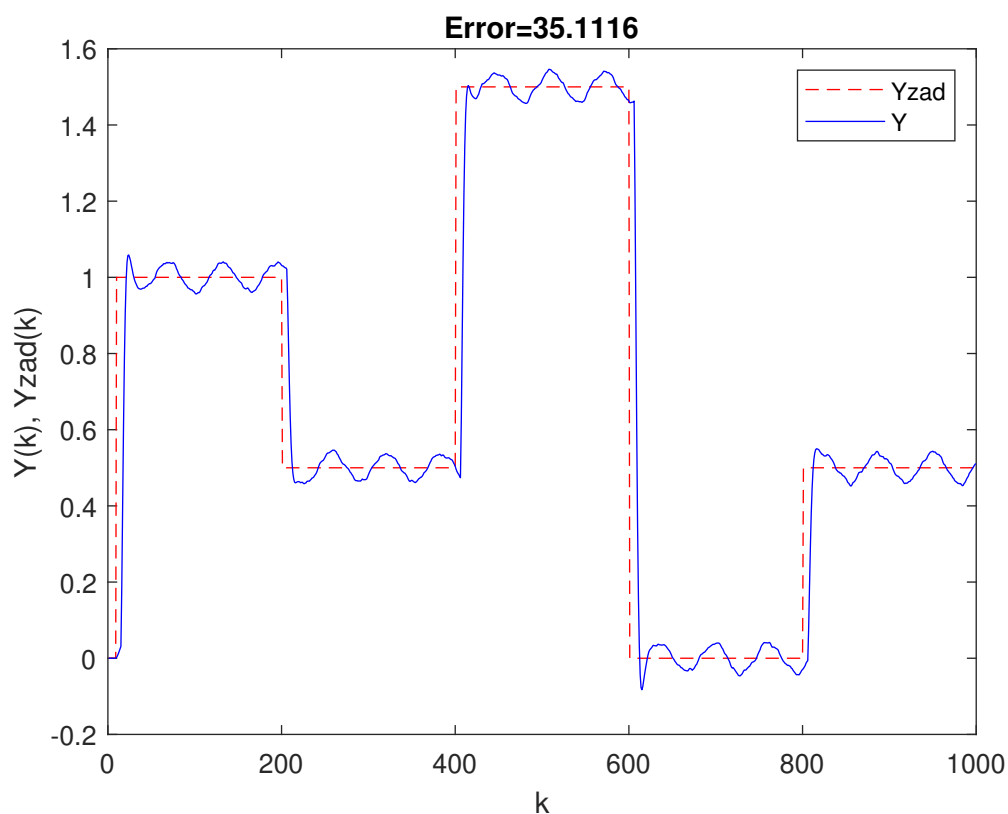
W celu wygenerowania białego szumu posłużyliśmy się funkcją `wgn(m,n,power)`, która generuje  $m$  próbek białego gaussowskiego szumu dla  $n$  kanałów o podanej mocy w  $\text{dBW}$ . Po wygenerowaniu takiej próbki, była ona dodawana do wartości zakłócenia używanej w regulacji (nie była ona natomiast dodawana do wartości zakłócenia podawanej do obiektu).

Jako zakłócenie bazowe zostało wykorzystane zakłócenie zmienne sinusoidalnie (parametry ze wzory 6.1 równe  $a = 0.1$  oraz  $p = 10$ ). Wyniki tak przygotowanego eksperymentu można obejrzeć poniżej.

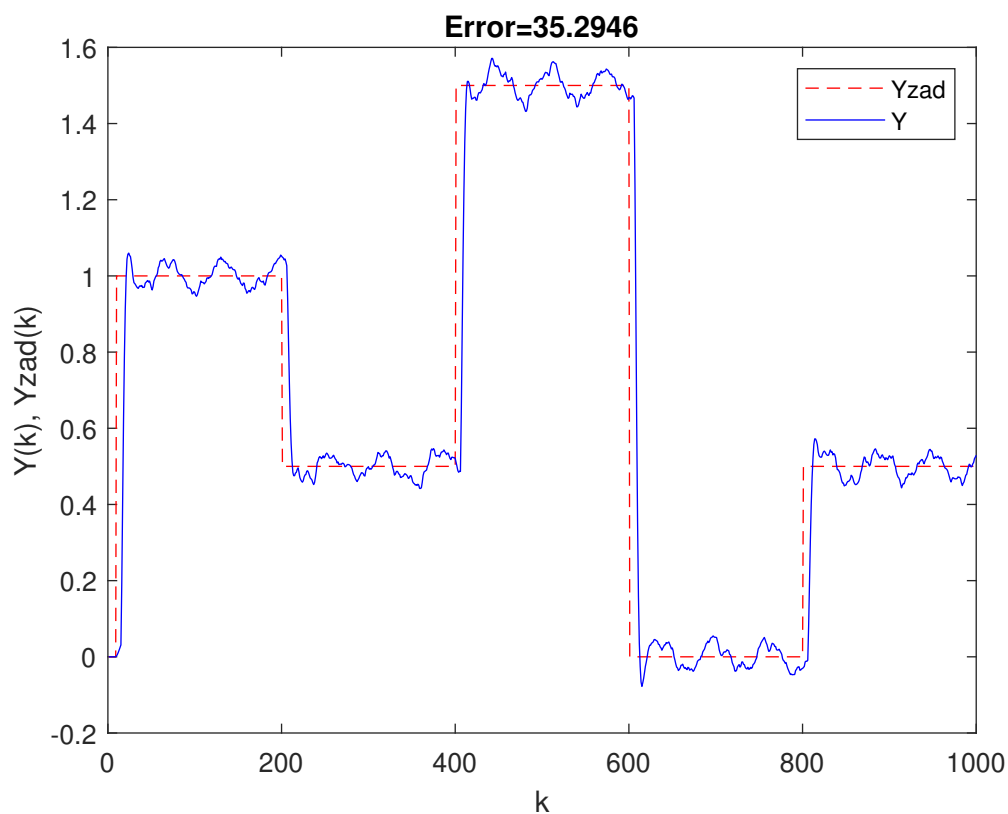
### 7.0.2. Wyniki



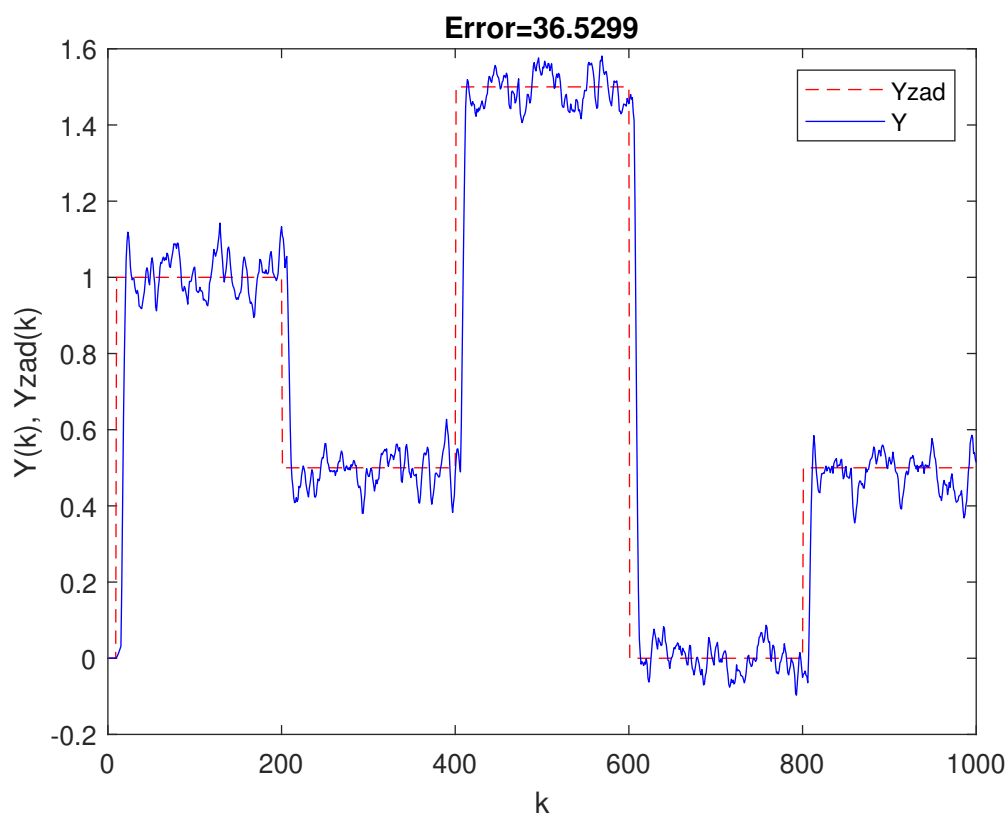
Rys. 7.1. Przebieg dla zakłócenia z parametrami  $p = 10$  oraz  $a = 0.1$  z szumem o mocy  $-50\text{dBW}$ .



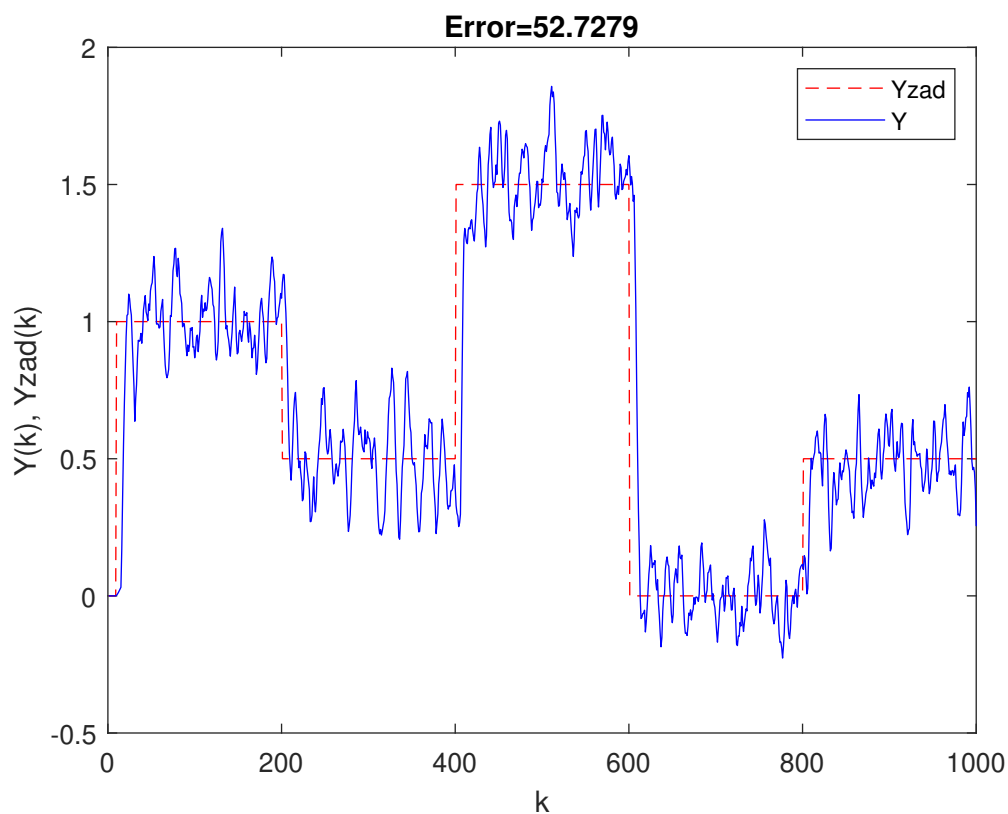
Rys. 7.2. Przebieg dla zakłócenia z parametrami  $p = 10$  oraz  $a = 0.1$  z szumem o mocy  $-40\text{dBW}$ .



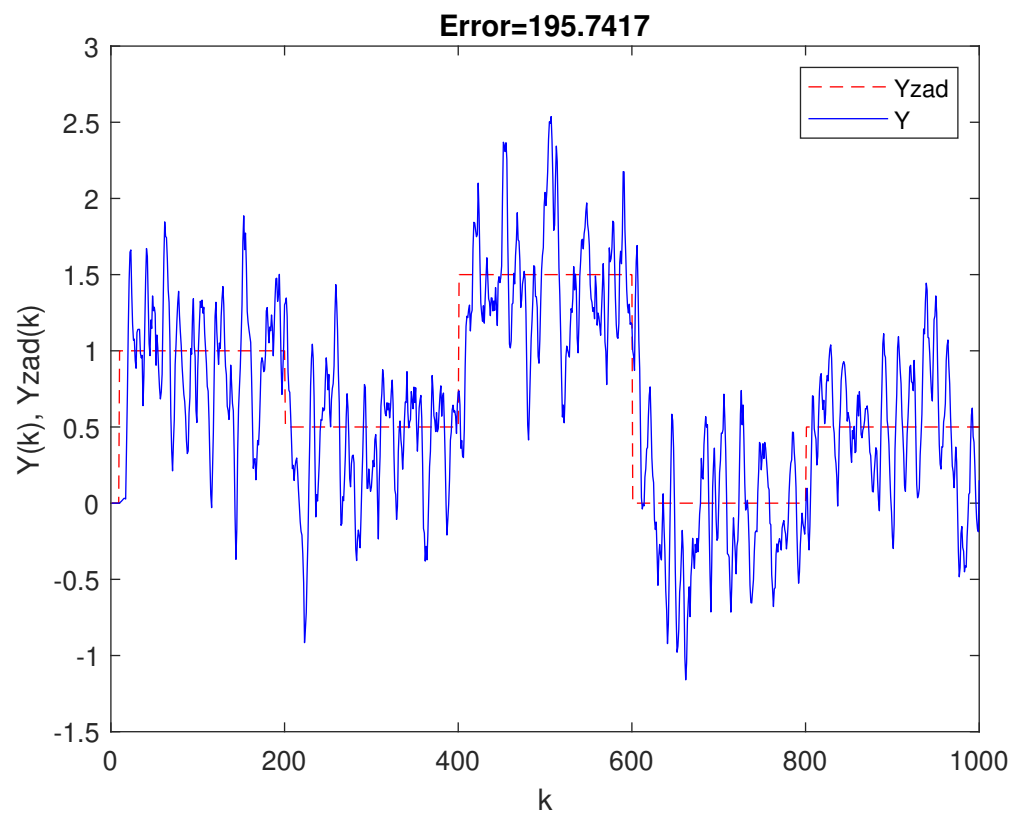
Rys. 7.3. Przebieg dla zakłócenia z parametrami  $p = 10$  oraz  $a = 0.1$  z szumem o mocy  $-30\text{dBW}$ .



Rys. 7.4. Przebieg dla zakłócenia z parametrami  $p = 10$  oraz  $a = 0.1$  z szumem o mocy  $-20\text{dBW}$ .



Rys. 7.5. Przebieg dla zakłócenia z parametrami  $p = 10$  oraz  $a = 0.1$  z szumem o mocy  $-10\text{dBW}$ .



Rys. 7.6. Przebieg dla zakłócenia z parametrami  $p = 10$  oraz  $a = 0.1$  z szumem o mocy  $0dBW$ .

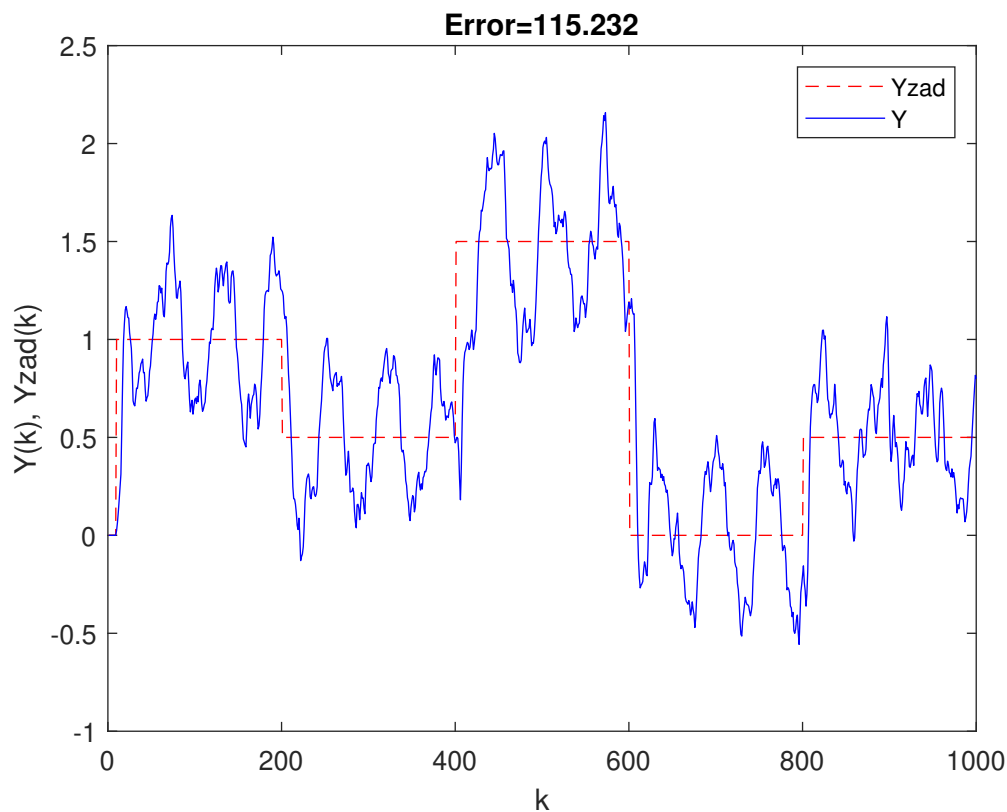


### 7.0.3. Omówienie wyników

Na powyższych wykresach można łatwo zaobserwować, że wraz z rosnącą mocą szumu pomiarowego jakość regulacji pogarszała się. Przy mocy o wartości  $-10dBW$  błąd regulacji okazał się być większy niż w przypadku gdy zakłócenie nie było brane pod uwagę.

Aby sprawdzić, jak zachowa się regulator przy tej samej mocy szumu, lecz przy większym zakłóceniu, wygenerowany został jeszcze jeden przebieg (rys. 7.0.3). Można na nim zobaczyć, że jakość regulacji jest wciąż lepsza od regulatora bez pomiaru zakłócenia.

Należy zatem wywnioskować, że im większe jest zakłócenie, tym mniejszą rolę odgrywa szum pomiarowy, lecz w przypadku, gdy jest zbyt silny, lepiej stosować regulator bez uwzględniania zakłócenia.



Rys. 7.7. Przebieg dla zakłócenia z parametrami  $p = 10$  oraz  $a = 1$  z szumem o mocy  $-10dBW$ .

Część II

## Laboratoria

## 8. Pomiar w punkcie pracy

### 8.1. Komunikacja z obiektem

Komunikacja z obiektem odbywa się za pomocą funkcji napisanych w środowisku MatLab. Najprostszy program prezentujący sposób ich użycia znajduje się poniżej.

```
addpath('F:\SerialCommunication'); % add a path to the functions
initSerialControl COM3 % initialise com port
N = 360;
i = 0;
while(i<=N)
    %% obtaining measurements
    measurements = readMeasurements(1:7);

    %% processing of the measurements
    disp(measurements(1));

    %% sending new values of control signals
    sendControlsToG1AndDisturbance(29,10);

    i=i+1;
    % wait for new batch of measurements to be ready
    waitForNewIteration();
end
```

W tym zadaniu używamy funkcji `sendControlsToG1AndDisturbance`, która pozwala wysyłać sterowanie na grzałkę pierwszą oraz wartość zakłócenia. Funkcja oraz cały skrypt działają poprawnie.

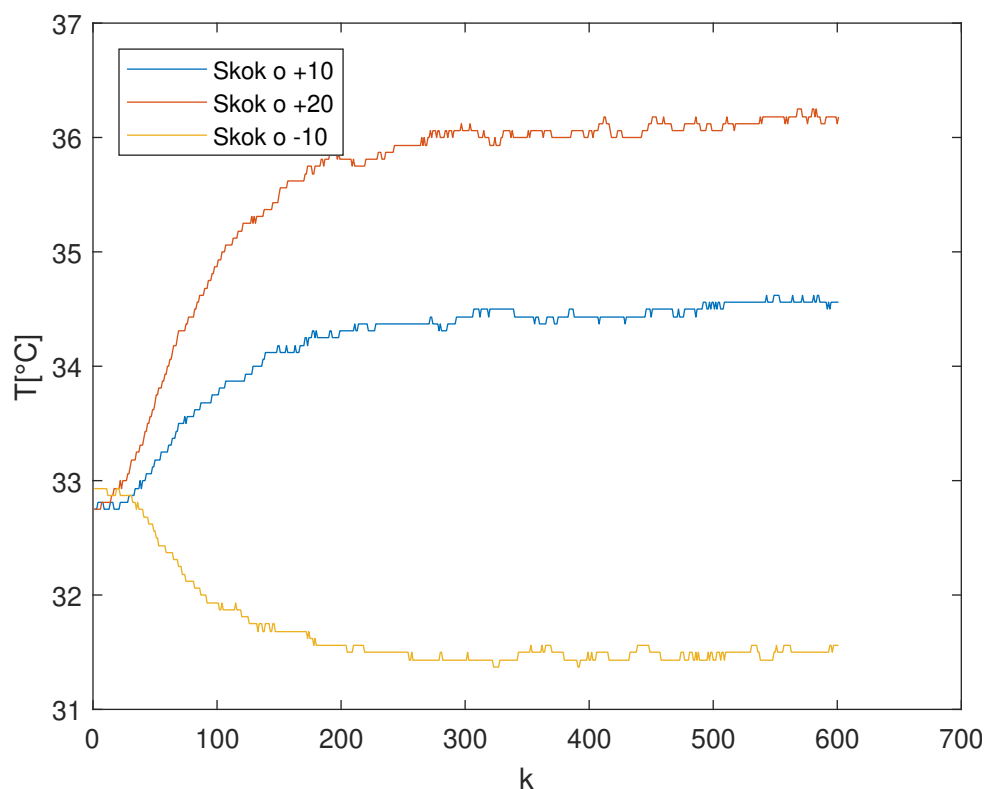
### 8.2. Punkt pracy

Sygnałem sterującym jest moc grzania pierwszą grzałką, natomiast zakłóceniem jest nieznany wzmocnieniem tej grzałki. Pierwszy wentylator (1 element sterowalny) ma być na stałe ustawiony na 50% (cecha otoczenia), a pozostałe elementy mają pozostać wyłączone. Wyjściem ma być temperatura zmierzona przez czujnik temperatury T1. Wartością sygnału sterującego w naszym punkcie pracy ma być 29%, natomiast wartość zakłóceń ma być równa 0. Ustabilizowana wartość wyjścia obiektu odpowiada temperaturze na T1 równej 32,75. Warto zwrócić uwagę na to, iż znacząco się ona różni (o około dwa stopnie) w stosunku do analogicznego punktu pracy w pierwszym zadaniu. Wpływ na to mają nieuwzględniane zakłócenia, jak np. temperatura powietrza w sali.

## 9. Odpowiedzi skokowe

### 9.1. Wykresy odpowiedzi skokowych

W celu zbadania charakterystyki zakłóceń, dokonano ich skoku z punktu pracy ( $Z=0$ ) odpowiednio o +10, +20 i -10. Wyniki eksperymentu przedstawiono na rysunku ??:



Rys. 9.1. Odpowiedzi skokowe toru zakłócenie-wyjście

### 9.2. Wzmocnienie statyczne

Wzmocnienie statyczne, czyli stosunek pomiędzy zmianą wartości wyjścia na zmianę wartości (skok) sterowania lub zakłóceń, tzn:

$$K_{\text{stat}} = \frac{\Delta Y}{\Delta Z} \quad (9.1)$$

Dla skoku o 10, wzmocnienie jest równe:

$$K_{\text{stat}} \approx \frac{34,56 - 32,75}{10} = 0,181 \quad (9.2)$$

Dla skoku o 20, wzmocnienie jest równe:

$$K_{\text{stat}} \approx \frac{36,12 - 32,75}{-10} = 0,1685 \quad (9.3)$$

Dla skoku o -10, wzmocnienie jest równe:

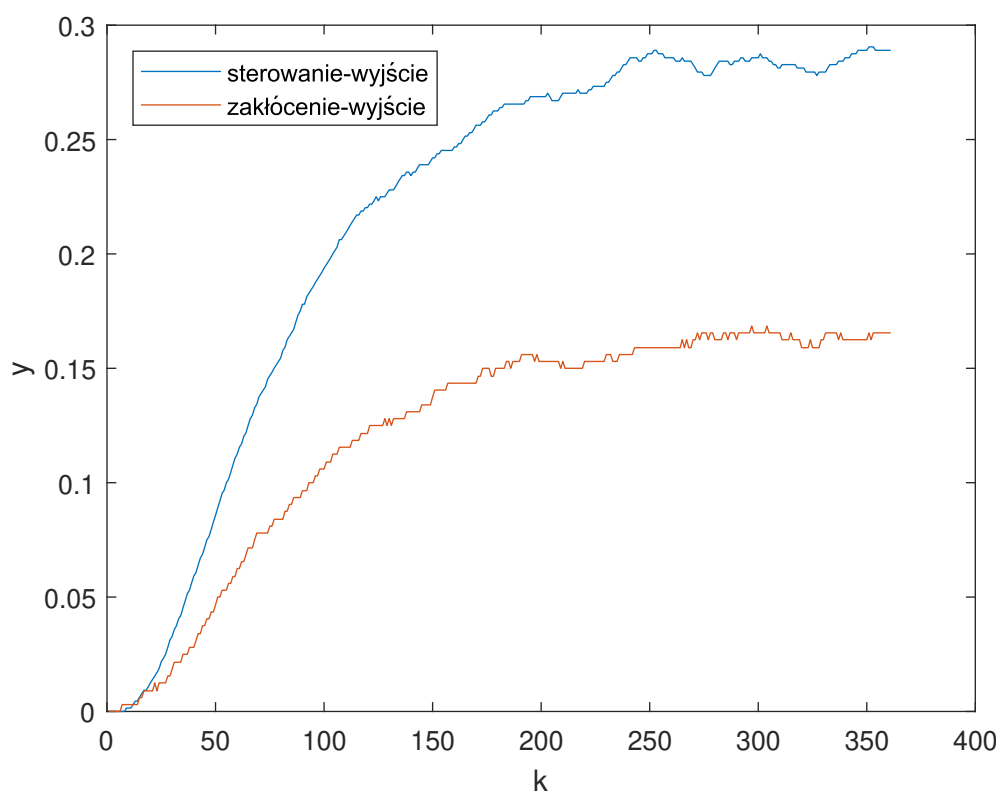
$$K_{\text{stat}} \approx \frac{31,5 - 32,93}{10} = 0,143 \quad (9.4)$$

Występuje pewna rozbieżność w wyliczonych wartościach, jednak nie jest ona ogromna, można uznać obiekt za względnie liniowy o wzmocnieniu statycznym równym przykładowo wzmocnieniu wyliczonym przy największym skoku tj. 0,1685.

## 10. Normalizacja odpowiedzi skokowych

### 10.1. Znormalizowane odpowiedzi

W celu przekształcenia odpowiedzi skokowych do postaci używanych w algorytmie DMC dokonano ich normalizacji, analogicznie jak w pierwszym projekcie, tj. odjęto wartość w punkcie pracy i podzielono przez rozmiar skoku. Do wyznaczenia odpowiedzi toru sterowanie-wyjście użyto skoku wartości o 40 (tej samej co w poprzednim projekcie), natomiast dla toru zakłócenie-wyjście użyto skoku o 20. Obie znormalizowane odpowiedzi (dla skoku wartości w chwili  $k=0$ ) przedstawiono na rysunku ??:



Rys. 10.1. Znormalizowane odpowiedzi skokowe

Ponieważ oba sygnały są wariacją jednego, tego samego sygnału dobrano dla nich taki sam horyzont dynamiki równy 361 (wyznaczony jako punkt w której wartość odpowiedzi po raz pierwszy przekracza 0,995 maksymalnej wartości).

### 10.2. Aproksymacja odpowiedzi skokowych

W celu wygładzenia odpowiedzi skokowych dokonano ich aproksymacji jako dyskretnych członów inercyjnych drugiego rzędu z opóźnieniem tj.:

$$G(z) = \frac{z-1}{z} Z\left[\frac{K}{(sT_1+1)(sT_2+1)} e^{-T_d s} * \frac{1}{s}\right] \quad (10.1)$$

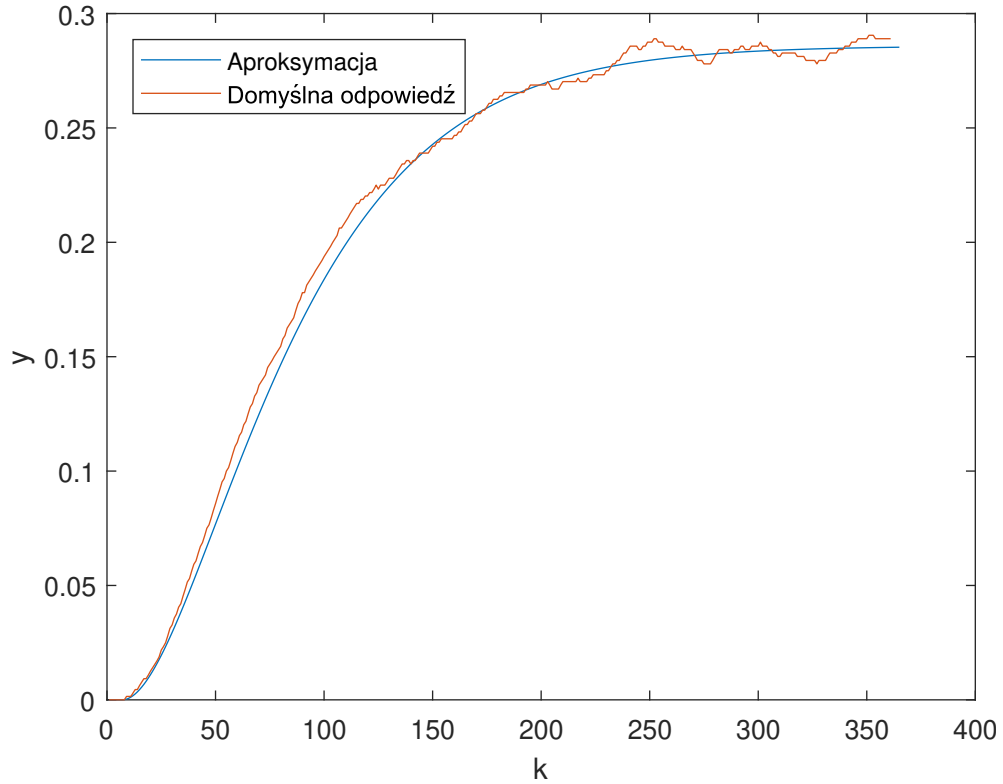
Ogólna postać transmitancji w dziedzinie czasu dyskretnego ma postać:

$$G(z) = \frac{b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}} z^{-T_d} \quad (10.2)$$

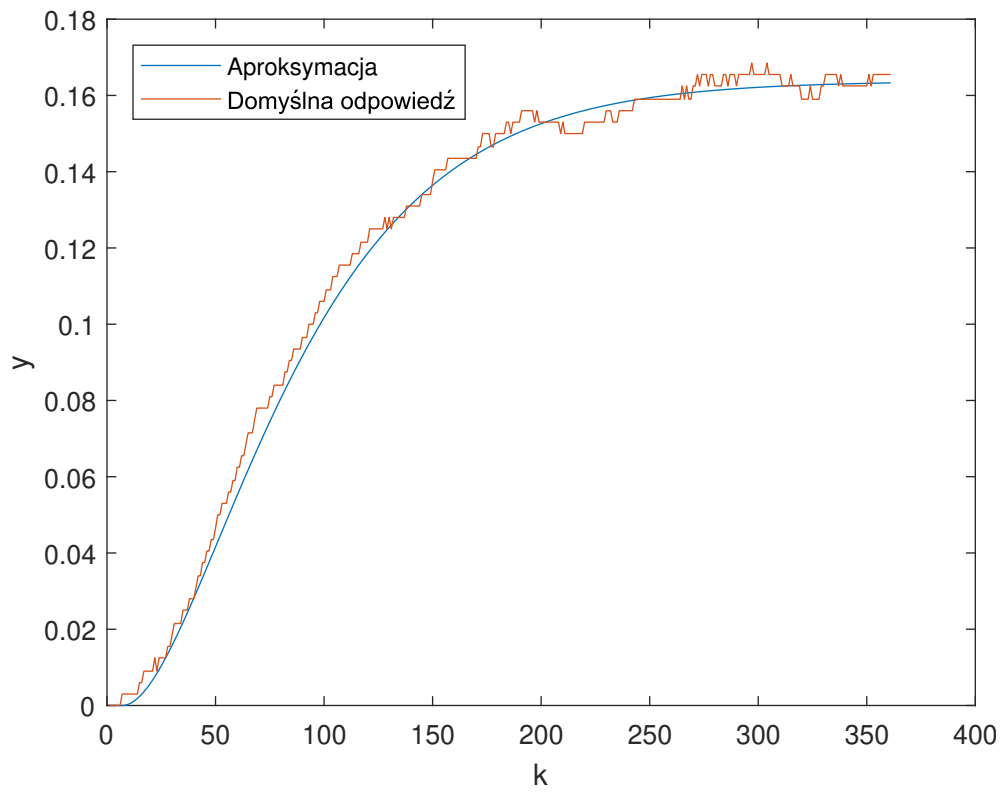
Co przekłada się na następującą postać równania różnicowego:

$$y(k) = b_1 u(k - T_D - 1) + b_2 u(k - T_D - 2) - a_1 y(k - 1) - a_2 y(k - 2) \quad (10.3)$$

Ponieważ wartości parametrów w tych wzorze wyrażają się poprzez  $T_1, T_2, K, T_d$  właśnie te zmienne optymalizowano. Użyto do tego skryptów `Optymalizacja_LAB2.m` oraz `approx_error.m`, zawierające funkcje `fmincon`, optymalizujące parametry, gdzie jedyne więzy narzucono na całkowitą i nieujemną wartość  $T_d$ . Rezultaty przedstawiono na rysunkach ?? i ??:



Rys. 10.2. Aproksymacja toru sterowanie-wyjście



Rys. 10.3. Aproksymacja toru zakłócenie-wyjscie

Transmitancja toru sterowanie-wyjście:

$$G(z) = \frac{7,799 * 10^{-5} z^{-1} + 7,678 * 10^{-5} z^{-2}}{1 - 1,953 z^{-1} + 0,954 z^{-2}} z^{-3} \quad (10.4)$$

Transmitancja toru zakłócenie-wyjście:

$$G(z) = \frac{3,955 * 10^{-5} z^{-1} + 3,898 * 10^{-5} z^{-2}}{1 - 1,957 z^{-1} + 0,957 z^{-2}} z^{-3} \quad (10.5)$$



## 11. Regulator DMC z pomiarem zakłóceń

### 11.1. Implementacja

Implementacja regulatora w MatLabie zostanie omówiona za pomocą dobrze udokumentowanego kodu.

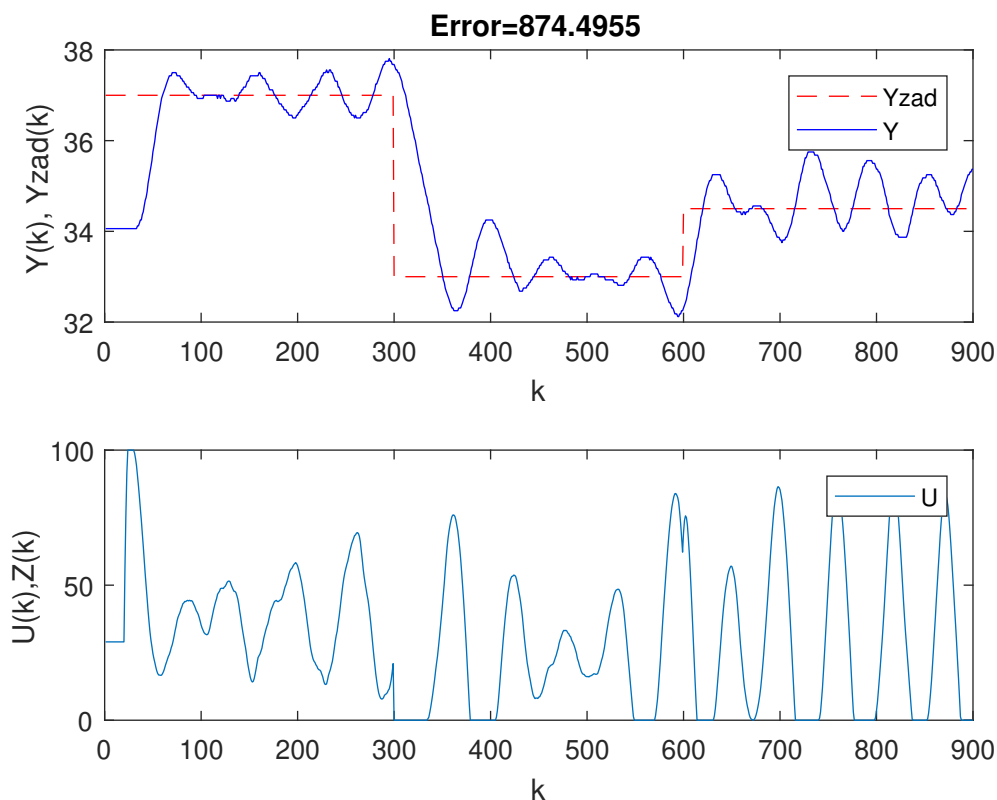
### 11.2. Strojenie regulatora DMC

Ponieważ środowisko, w którym pracuje regulator nie zmieniło się w stosunku do projektu pierwszego (zerowe zakłócenia  $Z$ ), dlatego też parametry wtedy otrzymana można śmiało zastosować i tu. Jednak z uwagi na fakt, iż w ramach poprzedniego projektu strojenie nie odbyło się w sposób wyczerpujący, teraz sprawdzono kilka innych zestawów parametrów i z nich wybrano najlepszy.

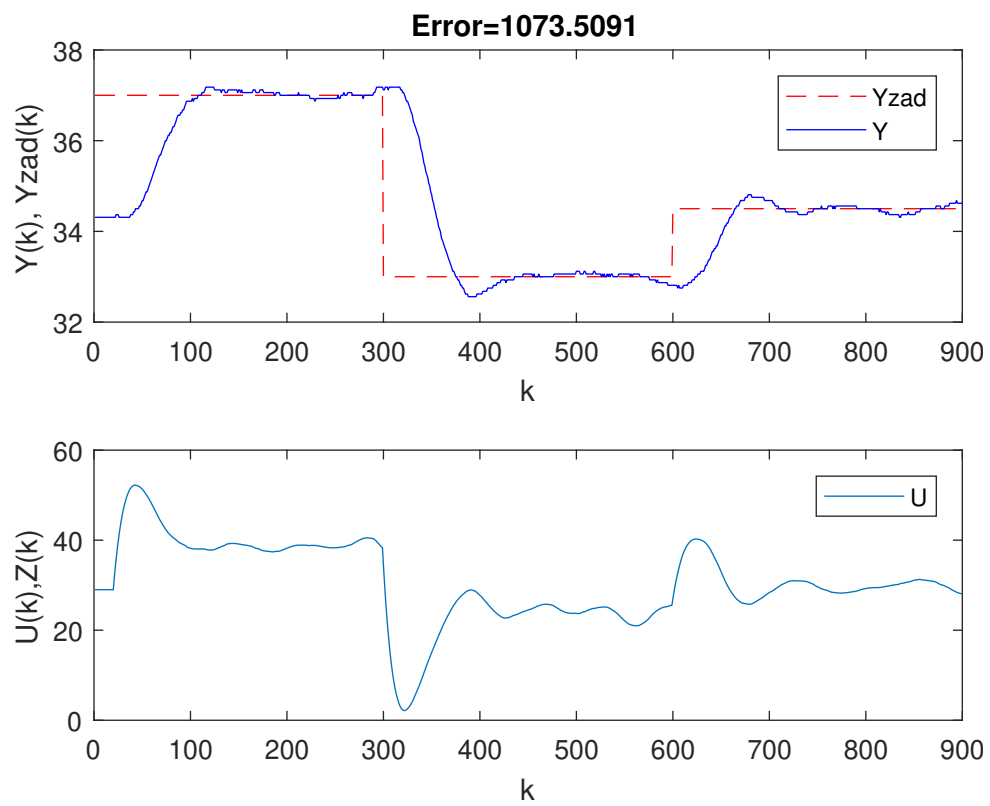
#### 11.2.1. Badanie parametru $\lambda$

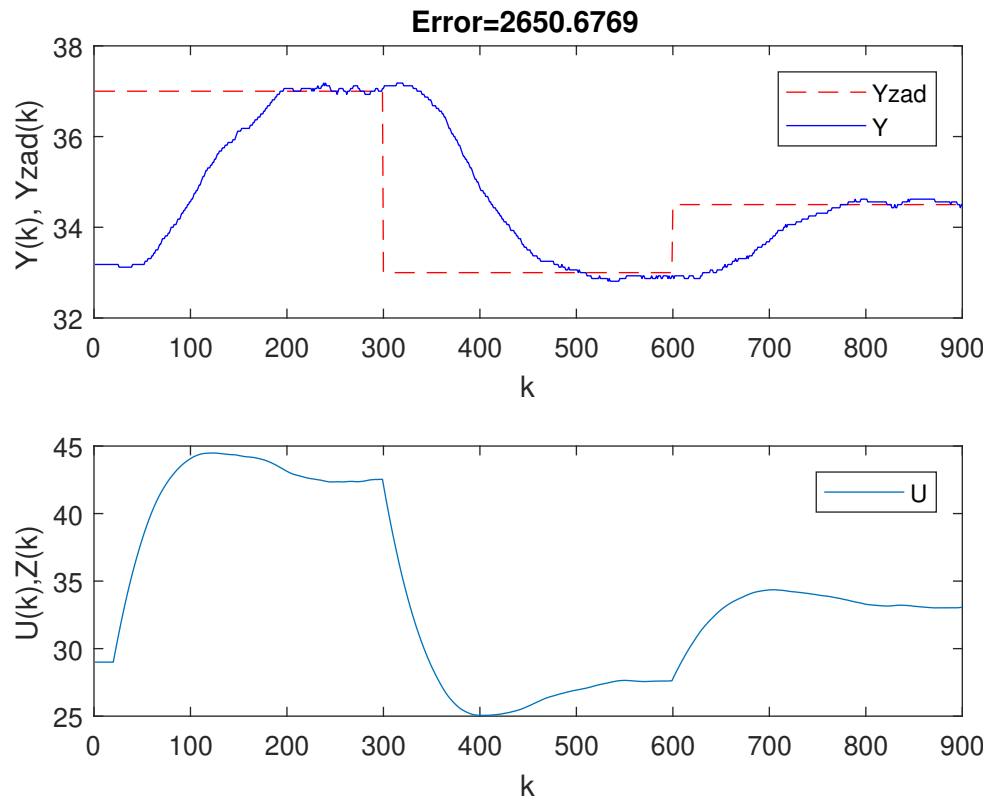
Poniższe symulacja przeprowadzono dla parametrów  $N=120$  i  $N_u = 20$ .

$\lambda=0,1$



Rys. 11.1. Symulacja regulatora dla  $\lambda=0,1$

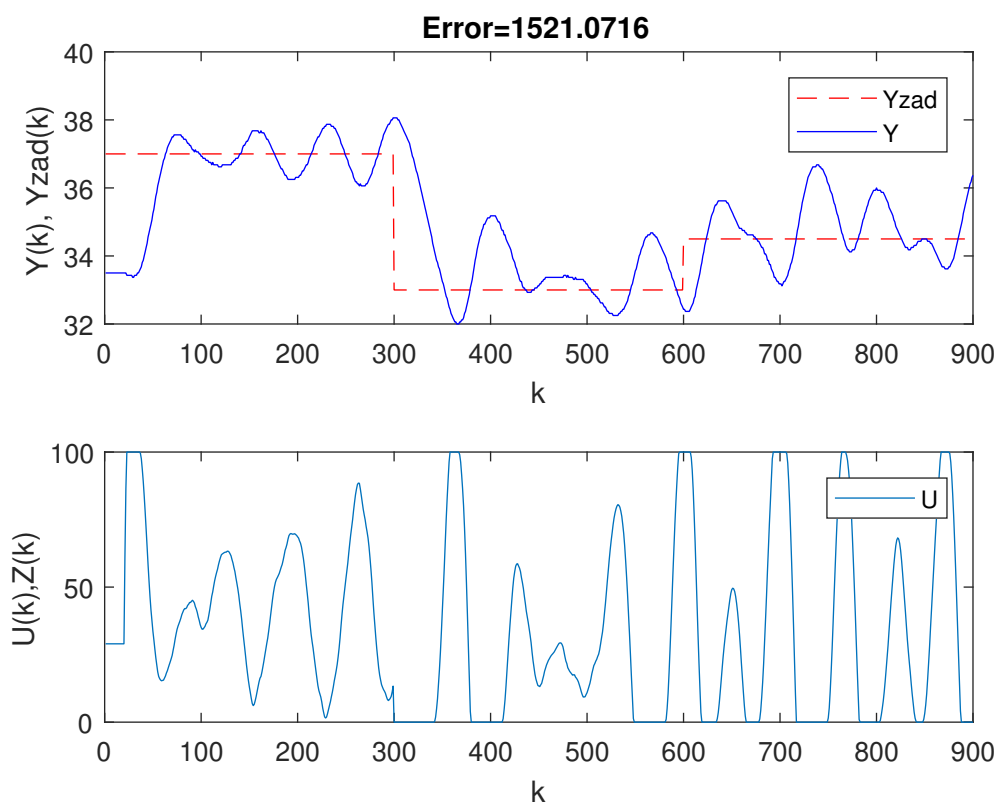
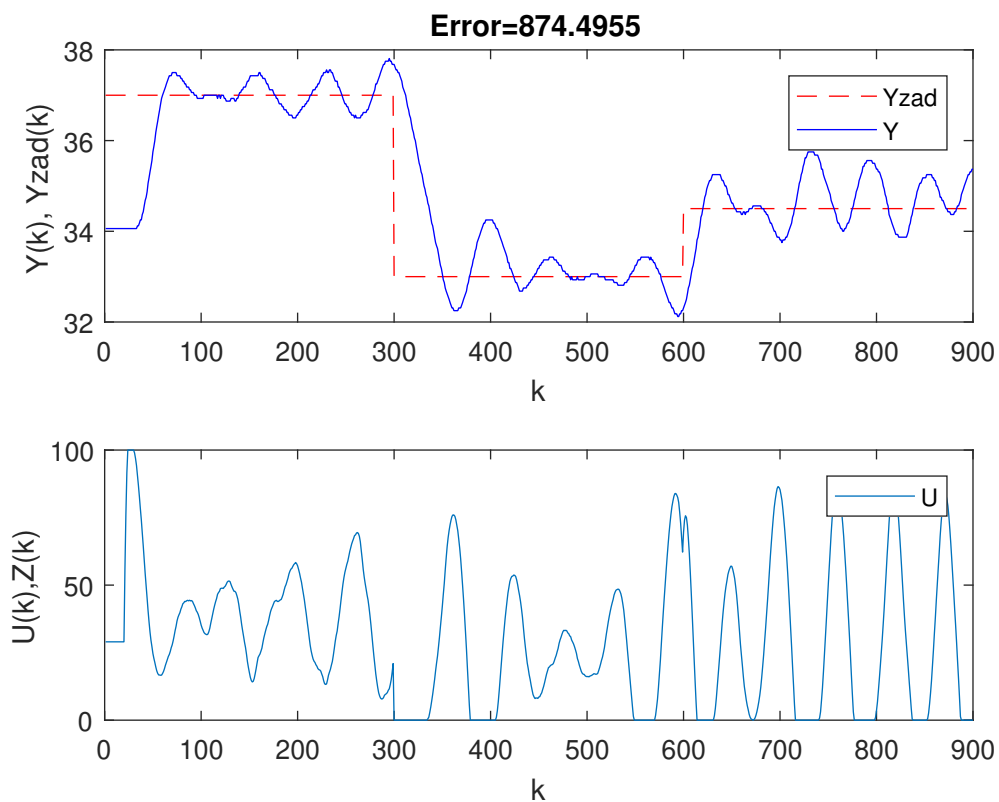
$\lambda=1$ Rys. 11.2. Symulacja regulatora dla  $\lambda=1$  $\lambda=10$

Rys. 11.3. Symulacja regulatora dla  $\lambda=10$ 

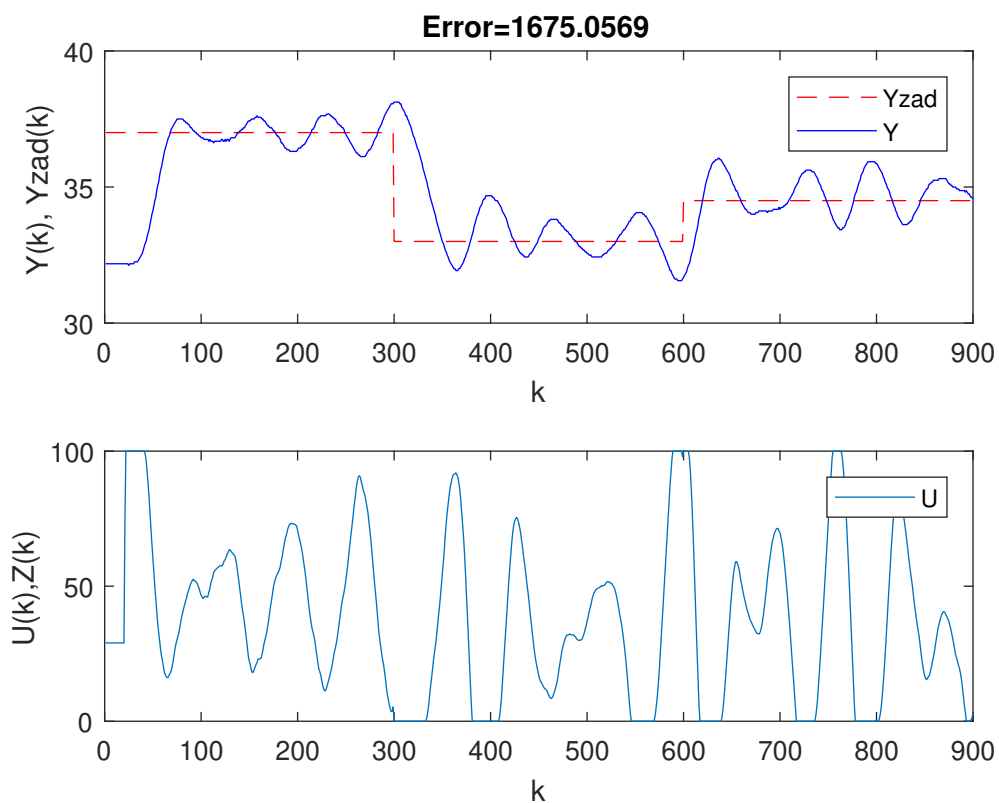
Pod względem błędu (równemu sumie kwadratu odchylek) regulator dla  $\lambda=0,1$ , jednak zachowuje się on mniej stabilnie. Regulator dla  $\lambda=1$  ma większy błąd, ale wartości wyjścia i sterowań są mniej zmienne. Wybrano  $\lambda=0,1$  do dalszych eksperymentów, gdyż z reguły mniejsze wartości tego parametru dają lepszą regulację.

### 11.2.2. Badanie parametrów $N$ i $N_u$

$N=120$   $N_u=40$

Rys. 11.4. Symulacja regulatora dla  $N=120$  i  $N_u=40$  **$N=120$   $N_u=20$** Rys. 11.5. Symulacja regulatora dla  $N=120$  i  $N_u=20$

$N=80$   $N_u=20$



Rys. 11.6. Symulacja regulatora dla  $N=80$  i  $N_u=20$

Do dalszych eksperymentów wybrano regulator o parametrach  $N=120$ ,  $N_u=20$ ,  $\lambda=0,1$ .

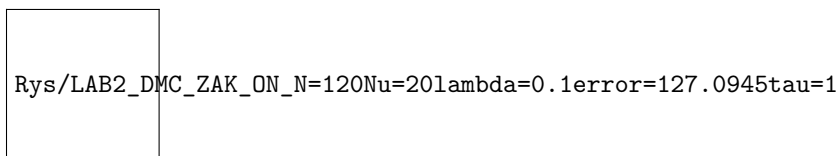
## 12. Symulacja z zakłóceniem

### 12.1. Dobranie parametru $D_z$

Ponieważ oba sygnały (sterowanie oraz zakłócenie) są wariacją jednego, tego samego sygnału dobrano dla nich taki sam horyzont dynamiki równy 361 (wyznaczony jako punkt w której wartość odpowiedzi po raz pierwszy przekracza 0,995 maksymalnej wartości dla toru sterowanie-wyjście - porównywalny horyzont otrzymano prowadząc to samo postępowanie dla toru zakłócenie-wyjście).

### 12.2. Symulacja z pomiarem zakłóceń

Symulacja polegała na jednorazowej zmianie wartości zadanej oraz dwukrotnej zmianie wartości zakłóceń. Wyniki symulacji z uwzględnieniem pomiaru zakłóceń przedstawiono na rysunku ??:



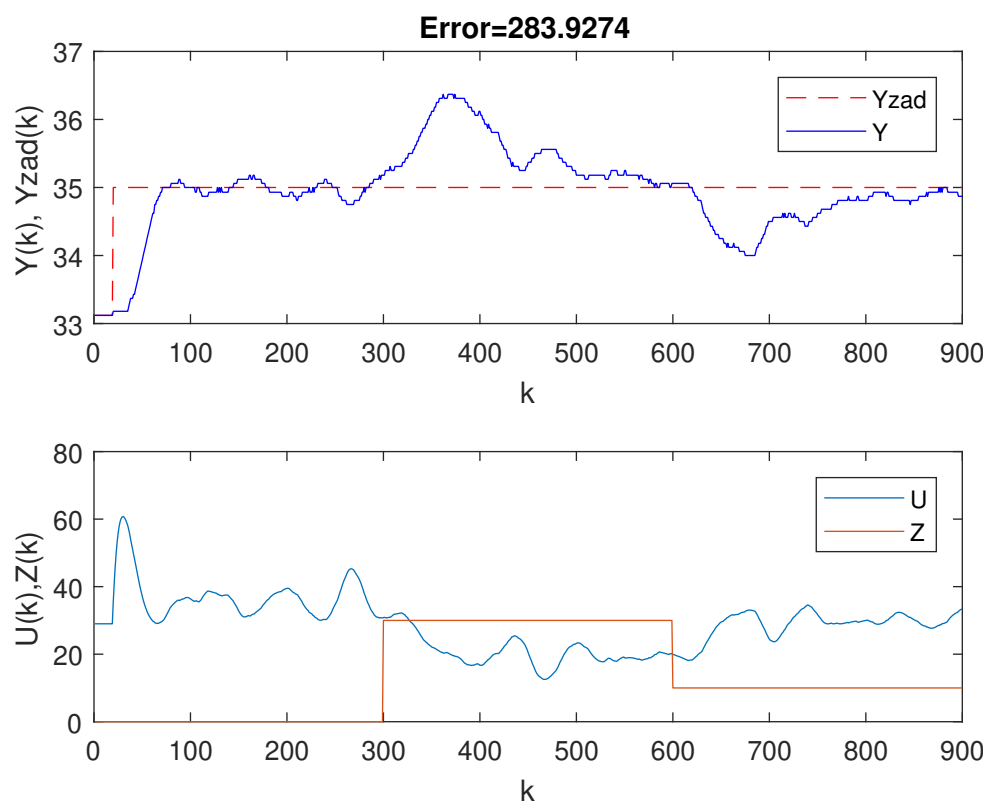
Rys. 12.1. Symulacja z pomiarem zakłóceń

### 12.3. Symulacja bez pomiaru zakłóceń

Dokonano analogicznego postępowania, jednak wyłączono pomiar zakłóceń (ciągle trafiały do obiektu, jednak regulator nie brał ich pod uwagę przy wyliczaniu sterowania). Wyniki symulacji przedstawiono na rysunku ??:

### 12.4. Wnioski

Zgodnie z przewidywaniami uwzględnienie zakłóceń w regulacji znacznie poprawiło jej jakość - osiągnięty błąd jest znacznie niższy.



Rys. 12.2. Symulacja bez pomiaru zakłóceń