

Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych
Politechnika Warszawska

Projektowanie układów w sterowania
(projekt grupowy)

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

Zespół Z01

Hubert Kozubek, Przemysław Michalczewski

Warszawa, 2021

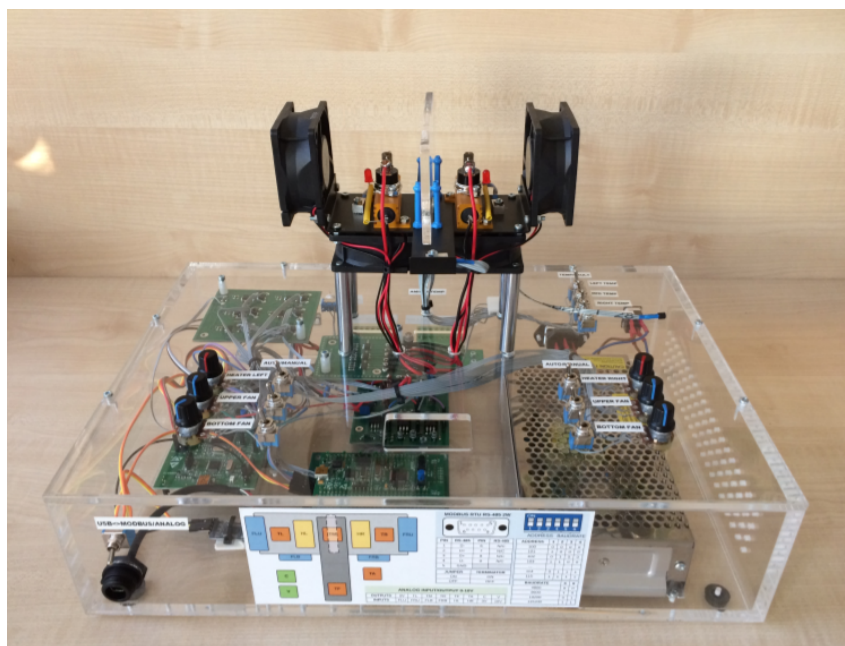
Spis treści

1. Laboratorium	2
1. Cel laboratorium	2
2. Przebieg laboratorium	2
3. Punkt pracy stanowiska	2
4. Odpowiedzi skokowe	4
5. Interfejs operatora	5
6. Kod sterownika	5
2. Projekt	7
1. Informacje wstępne	7
2. Sprawdzenie poprawności punktu pracy	7
3. Odpowiedzi skokowe procesu	7
4. Regulatory cyfrowe PID i ich strojenie	8
5. Wielowymiarowy regulator DMC	11

1. Laboratorium

1. Cel laboratorium

Celem niniejszego laboratorium była implementacja, weryfikacja poprawności działania i dobór parametrów algorytmów regulacji 2-wymiarowego liniowego procesu laboratoryjnego dla stanowiska grzejąco-chłodzącego przedstawionego na rys. 1.1. Należało również wykonać wizualizację procesu.



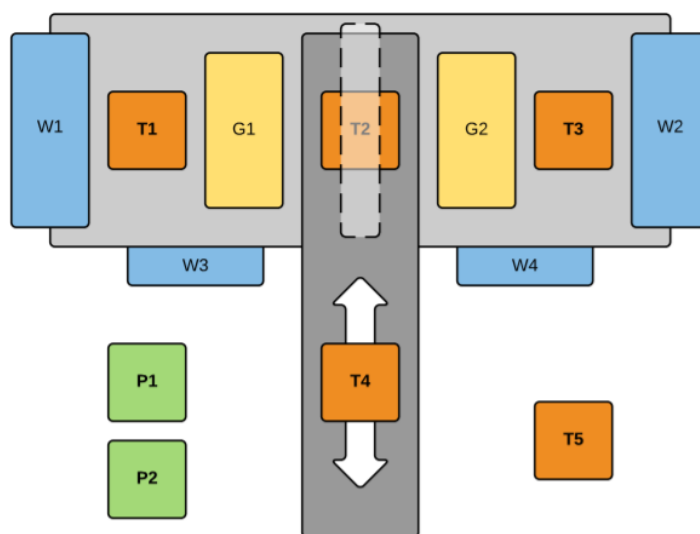
Rys. 1.1. Stanowisko grzejąco-chłodzące używane w trakcie laboratoriów.

2. Przebieg laboratorium

Rozpoczynając pracę na stanowisku grzejąco-chłodzącym z wykorzystaniem PLC sprawdzono możliwość sterowania i pomiaru w komunikacji ze stanowiskiem. W szczególności sygnały sterujące wykorzystywane podczas niniejszego laboratorium W1, G1, G2 oraz pomiaru T1, T3 (elementy wykonawcze przedstawiono na rys. 1.2). Przez cały czas trwania laboratorium moc wentylatora W1 była ustawiona na 50%, a wentylator był traktowany jako cecha otoczenia. Dodatkowo sprawiał on, że temperatura grzałki opadała szybciej, co było szczególnie przydatne pomiędzy doświadczeniami.

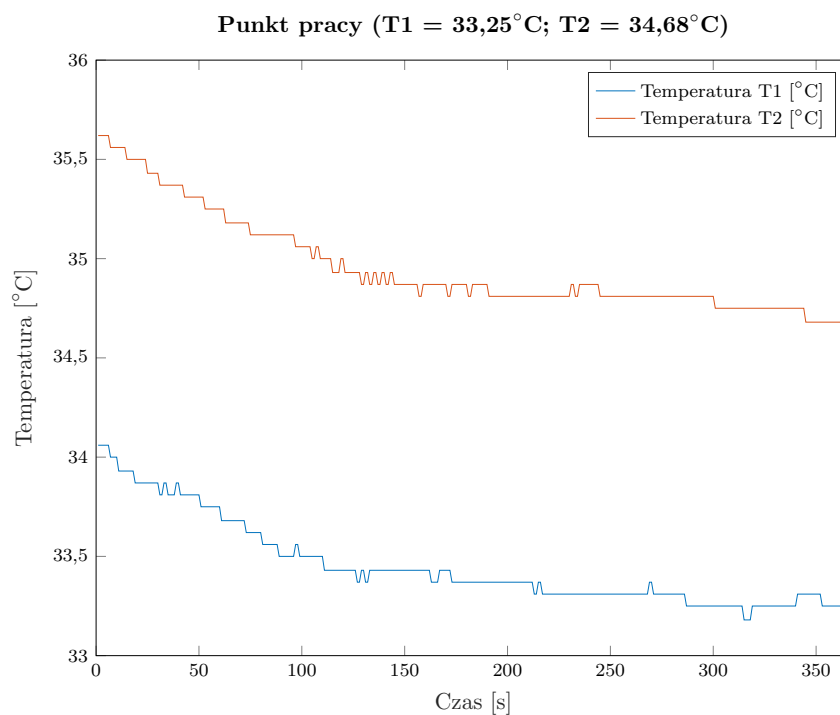
3. Punkt pracy stanowiska

W celu wyznaczenia punktu pracy stanowiska dla mocy grzałek $G1=26\%$, $G2=31\%$ zadano te wartości dla sygnału sterującego grzałkami za pomocą programu sterownika. Następnie poczekano, aż temperatury T1, T3 ustalą się. Wynik eksperymentu przedstawiono na rys. 1.3. Odczytana



Rys. 1.2. Schemat stanowiska grzejąco-chłodzącego; zaznaczone elementy wykonawcze: wentylatory W1, W2, W3, W4, grzałki G1, G2, czujniki temperatury T1, T2, T3, T4, T5 (temperatura otoczenia), pomiar prądu P1, pomiar napięcia P2.

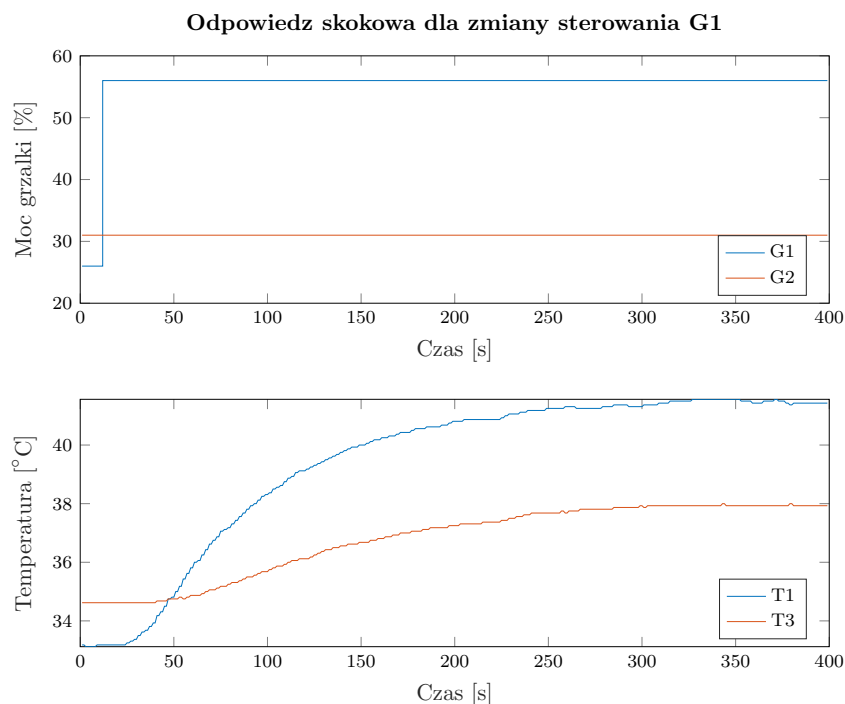
wartość temperatur to $T1=33,25\text{ }^{\circ}\text{C}$ oraz $T3=34,68\text{ }^{\circ}\text{C}$. Wyniki eksperymentu przedstawiono na rys. 1.3.



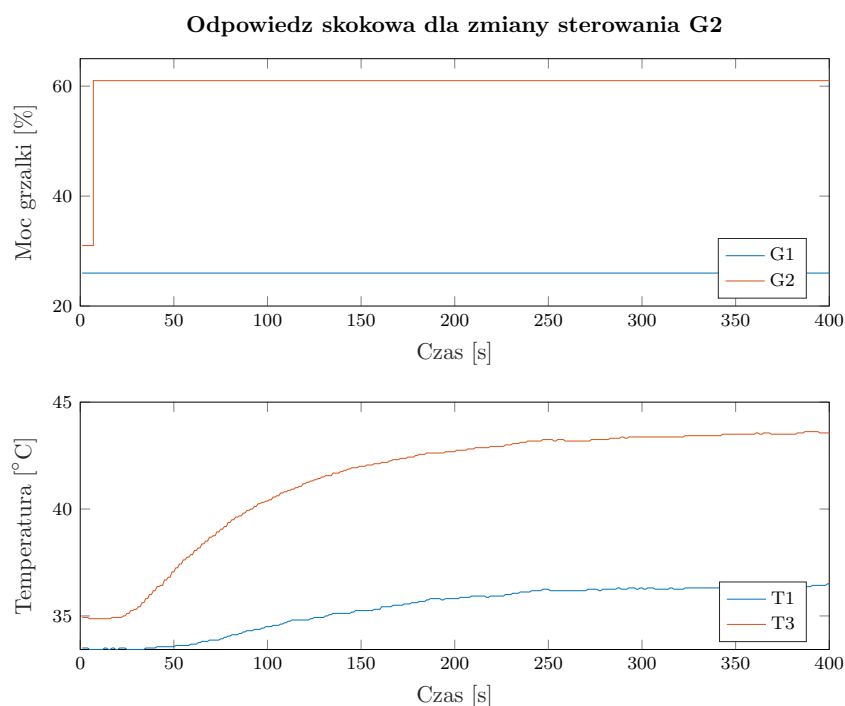
Rys. 1.3. Wyznaczenie punktu pracy.

4. Odpowiedzi skokowe

W celu uzyskania odpowiedzi skokowej w konfiguracjach każde wejście, każde wyjście dla 2-wymiarowego procesu zmieniono skokowo wartość sterowania najpierw grzałki G1 i pobrano odpowiedź skokową dla obu wyjść (T1, T3). Następnie analogicznie postąpiono dla skoku sterowania grzałki G2. Wyniki uzyskane w ten sposób przedstawiono na rys.: 1.4, 1.5.



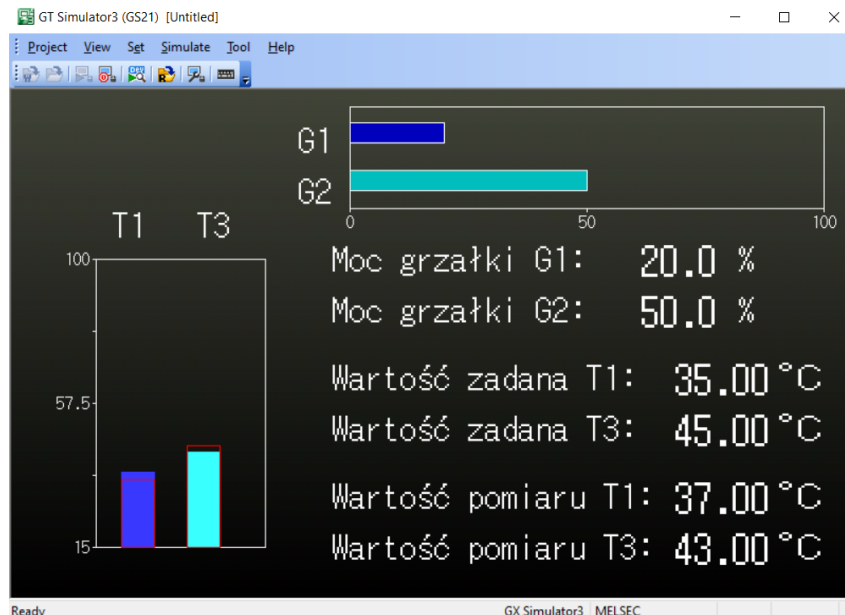
Rys. 1.4. Odpowiedź skokowa dla zmiany sterowania grzałki G1



Rys. 1.5. Odpowiedź skokowa dla zmiany sterowania grzałki G2

5. Interfejs operatora

Do wizualizacji procesu stworzono interfejs operatora w programie GT Designer3. Wynik pracy przedstawiono na rys.1.6. Przedstawia on graficznie wartości zadane i wyjściowe (po lewej stronie ekranu jako wykresy słupkowe, czerwne puste słupki to wartości zadane, wypełnione to wartości wyjściowe dla procesu). Na górze wyświetlacza w postaci wykresu słupkowego poziomego przedstawiono moce grzałek. W centralnej części ekranu wypisano wartości dokładne poszczególnych sygnałów.



Rys. 1.6. Interfejs operatora dla stanowiska grzejąco-chłodzącego (GT Designer3)

6. Kod sterownika

Pierwsza część przedstawia zabezpieczenie przed nadmiernym przegrzaniem stanowiska, w momencie gdy temperatury T1 lub T3 przekroczą ustalony limit grzałki zostają wyłączone. Kod jest umieszczony na końcu programu, tak aby inne ustawione wartości sterowań nie wpływały na wartość wyznaczoną przez zabezpieczenie.

```
//Zabezpieczenie przed przegrzaniem
IF temp1>=25000 THEN
    grzałka1 := 0;
END_IF;

IF temp3>=25000 THEN
    grzałka2 := 0;
END_IF;
```

Fragment kodu przedstawia automat stanów, który zmienia poszczególne wartości zadane w momencie, gdy regulator osiągnie odpowiednią wartość w danym stanie.

```
CASE Stan OF
    0:
        T1_zad := 3500;
        T3_zad := 4500;
```

```
IF temp1 + eps >=T1_zad AND temp1-eps <=T1_zad AND temp3
... + eps >= T3_zad AND temp3 - eps <= T3_zad THEN
    Stan := 1;
END_IF;
1:
T1_zad := 5500;
T3_zad := 4100;
IF temp1 + eps >=T1_zad AND temp1-eps <=T1_zad AND temp3
...+ eps >= T3_zad AND temp3 - eps <= T3_zad THEN
    Stan := 2;
END_IF;
2:
T1_zad := 3000;
T3_zad := 2700;
IF temp1 + eps >=T1_zad AND temp1-eps <=T1_zad AND temp3
... + eps >= T3_zad AND temp3 - eps <= T3_zad THEN
    Stan := 0;
END_IF;

END_CASE;
```

2. Projekt

1. Informacje wstępne

Zadanie projektowe wykorzystywało symulowany obiekt regulacji. Wyjście obiektu można wyznaczyć przy pomocy polecenia:

```
[y1(k), y2(k), y3(k)] = symulacja_obiektu1_p4(u1(k-1), u1(k-2), ...  
                                             u1(k-3), u1(k-4), u2(k-1), u2(k-2), ...  
                                             u2(k-3), u2(k-4), u3(k-1), u3(k-2), ...  
                                             u3(k-3), u3(k-4), u4(k-1), u4(k-2), ...  
                                             u4(k-3), u4(k-4), y1(k-1), y1(k-2), ...  
                                             y1(k-3), y1(k-4), y2(k-1), y2(k-2), ...  
                                             y2(k-3), y2(k-4), y3(k-1), y3(k-2), ...  
                                             y3(k-3), y3(k-4));
```

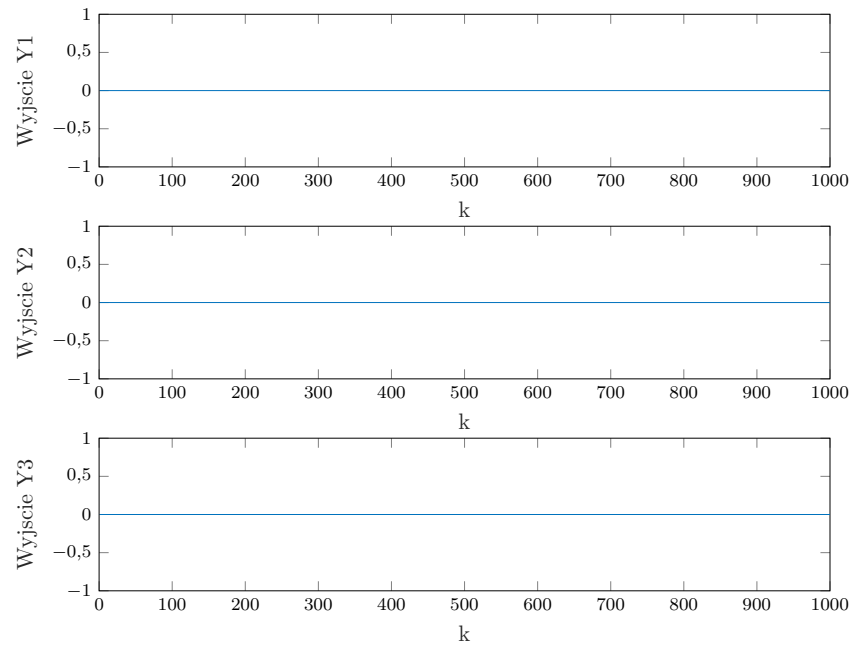
2. Sprawdzenie poprawności punktu pracy

Wartości sygnałów wejścia i wyjścia procesu w punkcie pracy wynoszą $u1 = u2 = u3 = u4 = y1 = y2 = y3 = 0$; okres próbkowania wynosi 0,5 sekundy.

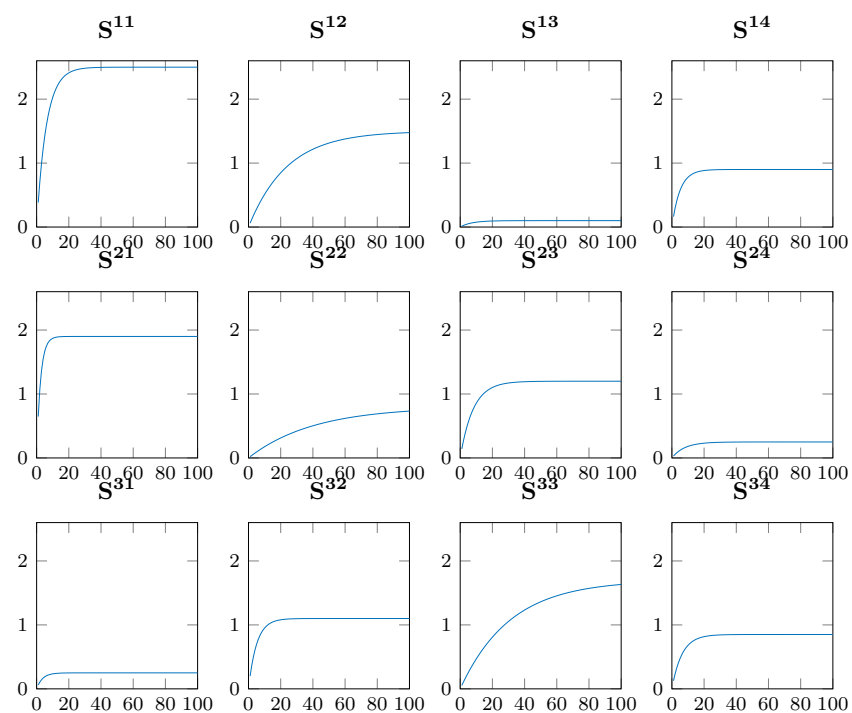
W celu sprawdzenia poprawności punktu pracy została przeprowadzona symulacja, gdzie na wejście podano sterowanie $u1 = u2 = u3 = u4 = 0$, jako poprzednie wartości wyjścia podano $y1 = y2 = y3 = 0$ i sprawdzono wartość wyjścia procesu w następnych chwilach. Wyniki symulacji przedstawiono na rys. 2.1 Wartość sygnału wyjściowego pozostała bez zmian, co potwierdza poprawność podanego punktu pracy.

3. Odpowiedzi skokowe procesu

Wyznaczone zostały odpowiedzi skokowe dla każdej pary wejścia i wyjście. Odpowiedzi skokowe przedstawiono na rys. 2.2.



Rys. 2.1. Punkt pracy



Rys. 2.2. Odpowiedzi skokowe

4. Regulatory cyfrowe PID i ich strojenie

Implementacja algorytmu PID dla obiektu wielowymiarowego:

```
function [u1,u2,u3,u4] = PID_Multi_Dim(K,Ti,Td,yzad1,yzad2,yzad3,y1,y2,y3)
%% Uchyby
```

```

persistent e10;
persistent e11;
persistent e20;
persistent e21;
persistent e30;
persistent e31;
persistent upop1;
% persistent upop2;
persistent upop3;
persistent upop4;

if isempty(e10)
    e10 = 0;
    e11 = 0;
    e20 = 0;
    e21 = 0;
    e30 = 0;
    e31 = 0;
    upop1 = 0;
    upop3 = 0;
    upop4 = 0;
end

e12 = e11;
e11 = e10;
e10 = yzad1 - y1;
e22 = e21;
e21 = e20;
e20 = yzad2 - y2;
e32 = e31;
e31 = e30;
e30 = yzad3 - y3;

%% Parametry
T = 0.5;
K1 = K(1); %Kk1 = 2.6, Tk = 5.625
K2 = K(2); %Kk1 = 7.1, Tk = 5.7
K3 = K(3); %Kk1 = 7.9, Tk = 5.6
Ti1 = Ti(1);
Ti2 = Ti(2);
Ti3 = Ti(3);
Td1 = Td(1);
Td2 = Td(2);
Td3 = Td(3);

r10 = K1*(1 + T/(2*Ti1) + Td1/T);
r11 = K1*(T/(2*Ti1) - 2*Td1/T - 1);
r12 = K1*Td1/T;

r20 = K2*(1 + T/(2*Ti2) + Td2/T);

```

```

r21 = K2*(T/(2*Ti2) - 2*Td2/T - 1);
r22 = K2*Td2/T;

r30 = K3*(1 + T/(2*Ti3) + Td3/T);
r31 = K3*(T/(2*Ti3) - 2*Td3/T - 1);
r32 = K3*Td3/T;

%% Wyliczanie sterowania

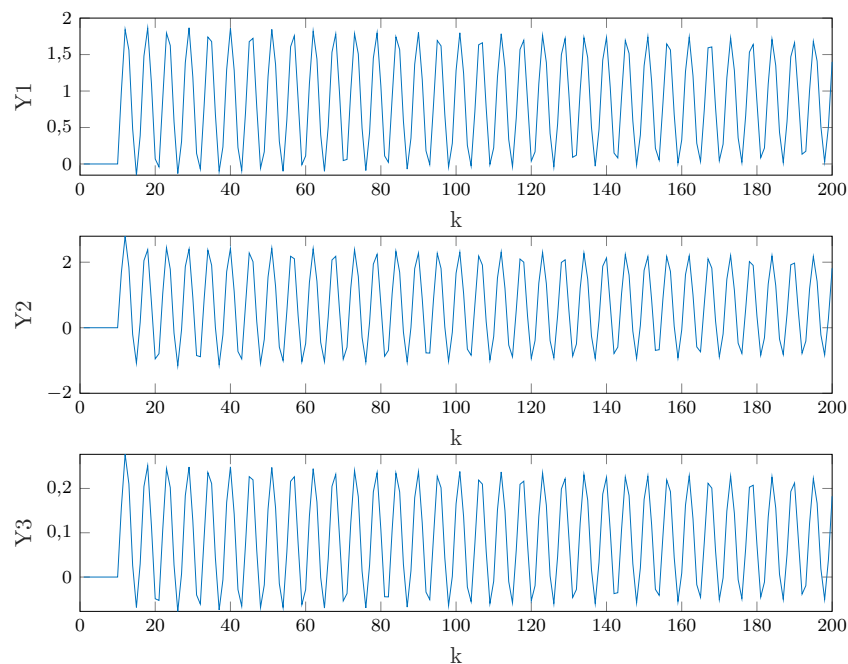
u1 = r12*e12 + r11*e11 + r10*e10 + upop1;
u2 = 0;
u3 = r22*e22 + r21*e21 + r20*e20 + upop3;
u4 = r32*e32 + r31*e31 + r30*e30 + upop4;

upop1 = u1;
upop3 = u3;
upop4 = u4;

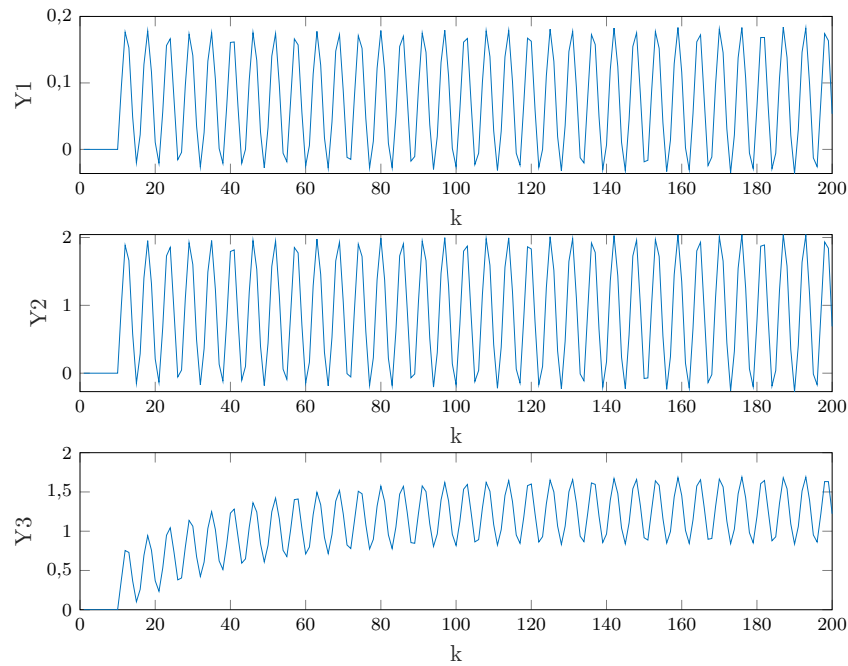
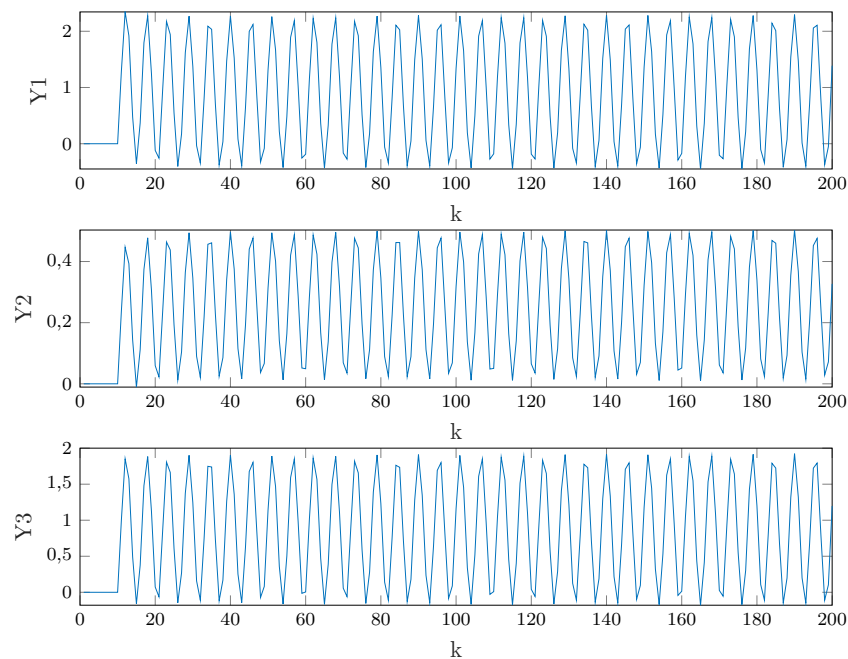
end

```

Badając odpowiedzi skokowe torów wejście-wyjście zdecydowano się zaimplementować regulatory PID na torach $u1-y1$, $u3-y2$ i $u4-y3$. Następnie strojono je metodą Zieglera-Nicholsa. Strojenie i wyznaczenie wzmocnienia krytycznego przedstawiono na rys.: 2.3, 2.4, 2.5.



Rys. 2.3. PID wielowymiarowy, $K = 2,6$

Rys. 2.4. PID wielowymiarowy, $K = 7,1$ Rys. 2.5. PID wielowymiarowy, $K = 7,9$

5. Wielowymiarowy regulator DMC

Implementacja algorytmu regulacji DMC dla obiektu wielowymiarowego:

```
function [u1,u2,u3,u4] = DMC_Multi_Dim(D,N,Nu,Psi,...
    Lambda,yzad1,yzad2,yzad3,y1,y2,y3)
%% Uchyby
persistent Mp;
```

```

persistent S;
persistent DUp;
persistent M;
persistent K;
persistent upop1;
persistent upop2;
persistent upop3;
persistent upop4;
persistent Upop;
Yzad = repmat([yzad1; yzad2; yzad3], N,1);
Y = repmat([y1; y2; y3], N,1);

if isempty(S)
    upop1 = 0;
    upop2 = 0;
    upop3 = 0;
    upop4 = 0;
    Upop = [0;0;0;0];
    load('Odpowiedzi_skokowe.mat');
    S = cell(D+N-1,1);
    for j = 1:D+N-1
        if(j>D)
            S{j} = [S11(D) S21(D) S31(D); S12(D) S22(D) S32(D);...
                    S13(D) S23(D) S33(D); S14(D) S24(D) S34(D)];
        else
            S{j} = [S11(j) S21(j) S31(j); S12(j) S22(j) S32(j);...
                    S13(j) S23(j) S33(j); S14(j) S24(j) S34(j)];
        end
    end

    end
    Mp = zeros(3*N, 4*(D-1));
    for j = 1:D-1
        a = [S{j+1:N+j}]';
        b = repmat(S{j}',N,1);
        Mp(:,(4*j-3):(4*j)) = a - b;
    end
    DUp = zeros(4*(D-1),1);
    M = zeros(3*N, 4*Nu);
    for j = 1:Nu
        M((3*j - 2):end,(4*j-3):(4*j)) = [S{1:(N+1-j)}]';
    end
    K = pinv(M'*Psi*M+Lambda)*M'*Psi;
end

DUp(5:end) = DUp(1:(end-4));
DUp(1:4) = [upop1; upop2; upop3; upop4] - Upop;

Yo = Y + Mp*DUp;
Du = K*(Yzad - Yo);
u1 = Du(1) + upop1;
u2 = Du(2) + upop2;

```

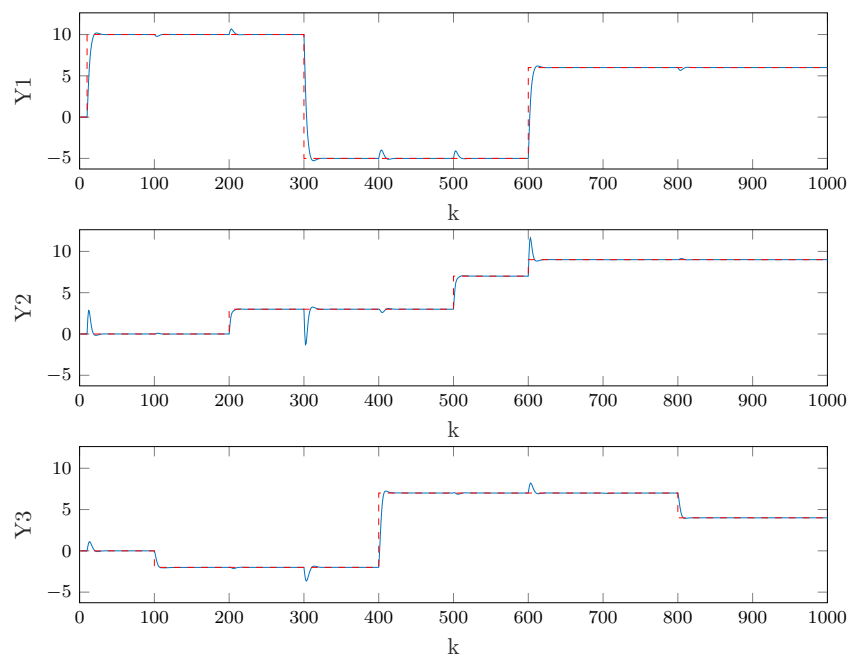
```

u3 = Du(3) + upop3;
u4 = Du(4) + upop4;
Upop = [upop1; upop2; upop3; upop4];
upop1 = u1;
upop2 = u2;
upop3 = u3;
upop4 = u4;

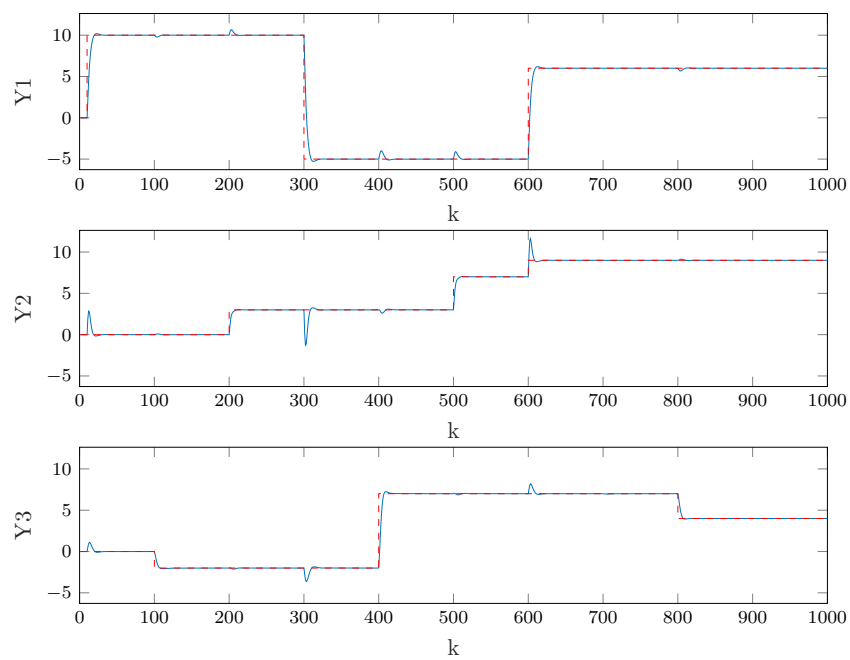
end

```

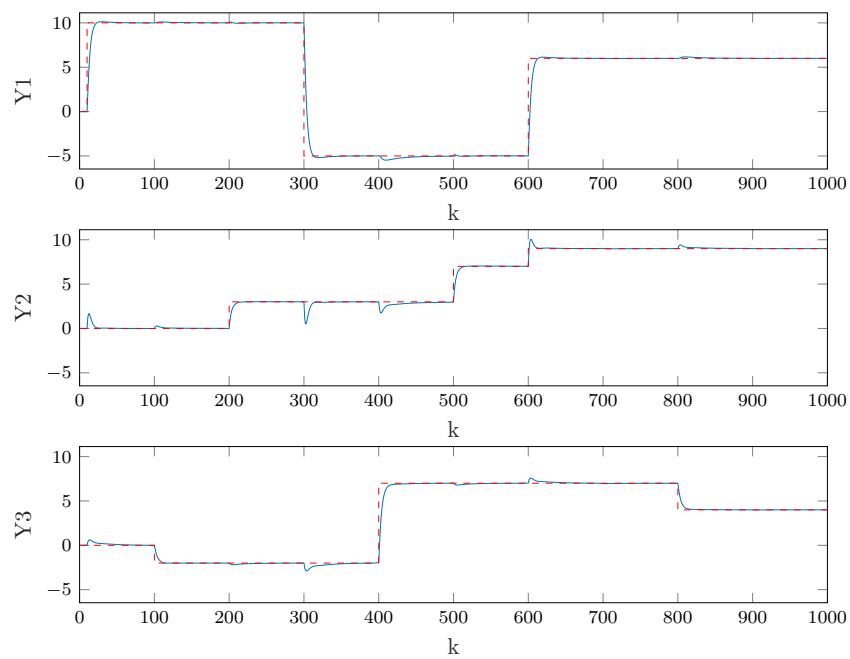
Następnie został zaimplementowany wielowymiarowy regulator DMC. Jego wyniki przedstawiono na rys.: 2.6, 2.7, 2.8, 2.9.



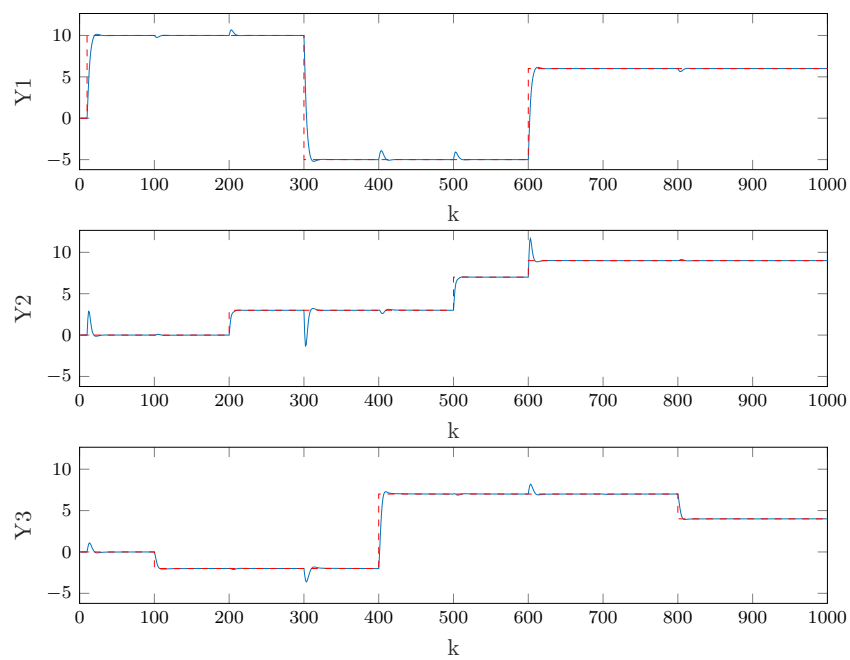
Rys. 2.6. Regulacja DMC



Rys. 2.7. Regulacja DMC



Rys. 2.8. Regulacja DMC



Rys. 2.9. Regulacja DMC