Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych
Politechnika Warszawska

Projektowanie układów sterowania (projekt grupowy)

Sprawozdanie z ćwiczenia laboratoryjnego nr 3,5

Radosław Pietkun, Jakub Gruszecki, Wojciech Rokicki

Warszawa, 2020

Spis treści

1. Sprawdzenie możliwość sterowania i pomiaru oraz wyznaczenie punktu pracy 2
1.1. Przykładowe sterowanie wraz z odczytem pomiarów 2
1.1.1. Implementacja 2
1.2. Punkt pracy 3
1.2.1. Implementacja 3
2. Wyznaczenie odpowiedzi skokowych oraz badanie właściwości obiektu 4
2.1. Odpowiedzi skokowe 4
2.2. Właściwości statyczne obiektu 4
2.3. Wzmocnienia statyczne 10
2.4. Implementacja 10
3. Przygotowanie odpowiedzi skokowych do regulatora DMC oraz ich aproksymacja . 11
3.1. Odpowiedzi skokowe 11
3.1.1. Implementacja 11
3.2. Aproksymacja odpowiedzi skokowych 11
3.2.1. Implementacja 13
4. Regulator DMC MIMO 15
4.1. Implementacja DMC 15
4.2. Strojenie DMC 15
4.3. Regulacja DMC 15

1. Sprawdzenie możliwość sterowania i pomiaru oraz wyznaczenie punktu pracy

1.1. Przykładowe sterowanie wraz z odczytem pomiarów

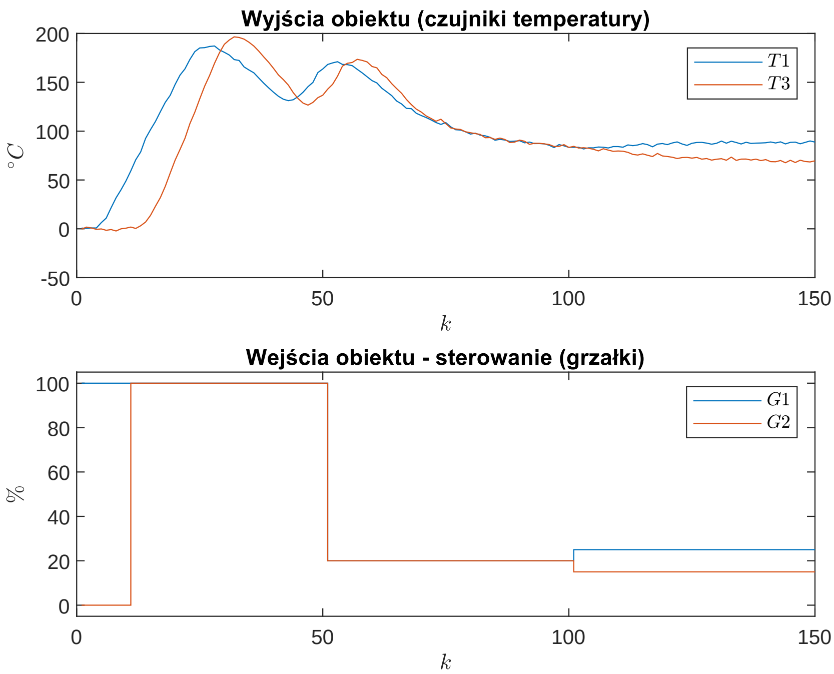
Podczas testu będziemy zmieniać sygnały sterujące w następujący sposób:

$$
\begin{aligned}
G1 = 100 \wedge G2 = 0,\ \text{dla}\ k \in <0, 10) \\
G1 = 100 \wedge G2 = 100,\ \text{dla}\ k \in <10, 50) \\
G1 = 20 \wedge G2 = 20,\ \text{dla}\ k \in <50, 100) \\
G1 = 25 \wedge G2 = 15,\ \text{dla}\ k \geqslant 100
\end{aligned}
$$

Jak widzimy mamy możliwość sterowania i pomiaru w komunikacji ze stanowiskiem.

1.1.1. Implementacja

Do przetestowania możliwości sterowania i pomiaru w komunikacji ze stanowiskiem użyto skryptu `zad1_1.m`.



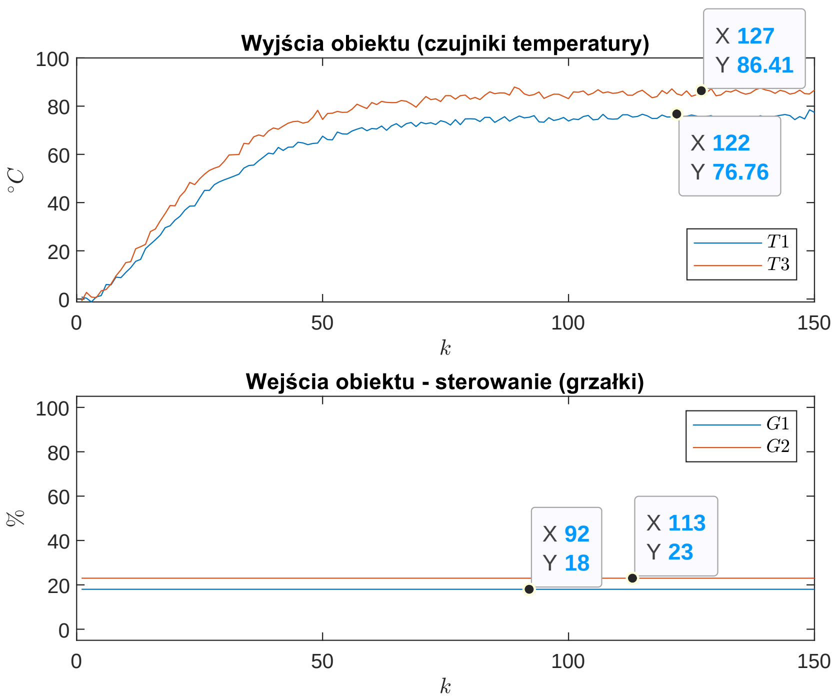
Rys. 1.1. Sprawdzenie możliwość sterowania i pomiaru w komunikacji ze stanowiskiem

1.2. Punkt pracy

Jako punkt pracy wybraliśmy: $G1 = 18$, $G2 = 23$.
Dla powyższego punktu pracy pomiary z czujników wynoszą: $T1 = 75{,}43$, $T3 = 84{,}64$.

1.2.1. Implementacja

Do wyznaczenia wartości temperatury, odczytanej z czujnika, wykorzystano skrypt `zad1_2.m`.



Rys. 1.2. Punkt pracy

2. Wyznaczenie odpowiedzi skokowych oraz badanie właściwości obiektu

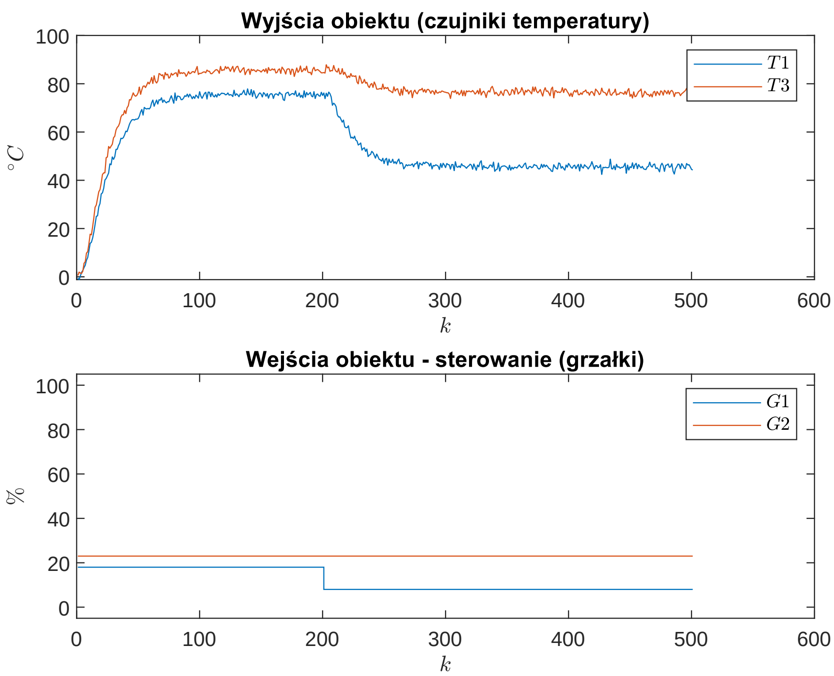
2.1. Odpowiedzi skokowe

W celu uzyskania odpowiedzi skokowych zostały przeprowadzone symulacje dla różnych skoków wartości sterowania $G1$ i $G2$ z punktu pracy. Wymagało to doprowadzenia obiektu do punktu pracy po czym zmiany wartości jedego z wejść.

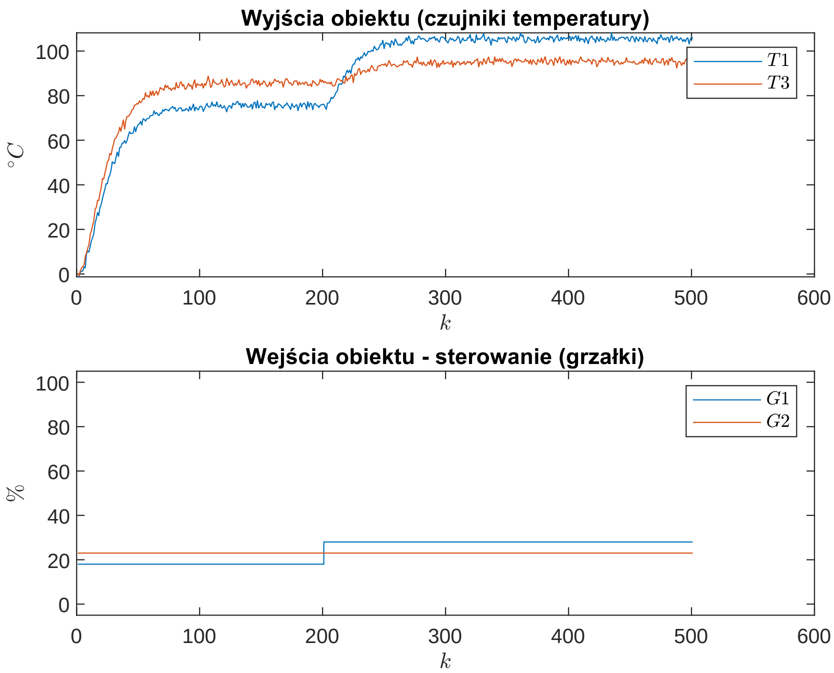
Poniżej zostały przedstawione wykresy odpowiedzi skokowych dla różnych zmian, wartości sterowania $G1$ i $G2$.

2.2. Właściwości statyczne obiektu

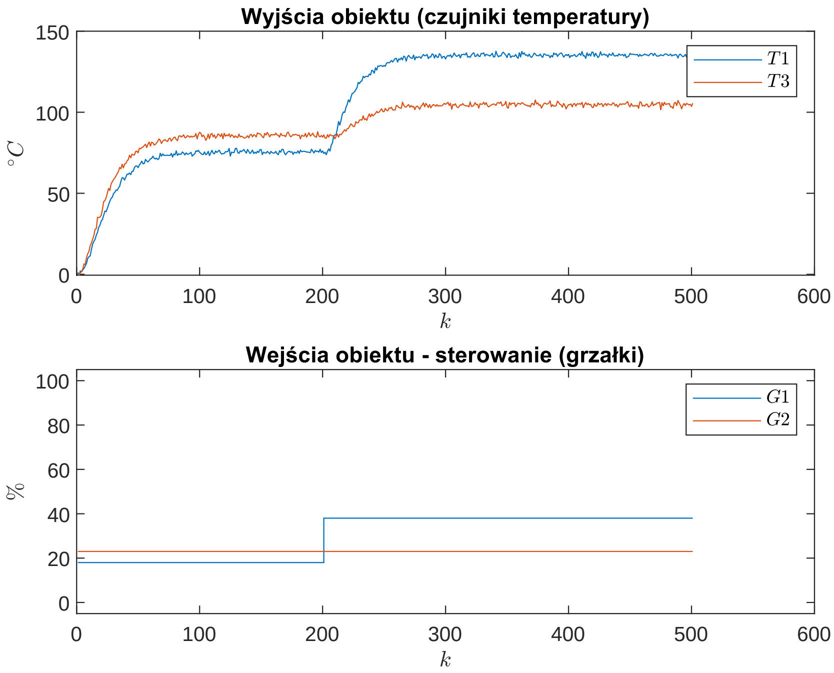
Po wyznaczeniu charakterystyki statycznej obiektu możemy zauważyć że właściwości są w przybliżeniu liniowe dla wartości sterowania w przedziałach $G1 \in< 0, 35 >$, $G2 \in< 0, 50 >$. Również możemy zauważyć symetrię wykresów charakterystyk dla $T1$ i $T2$.



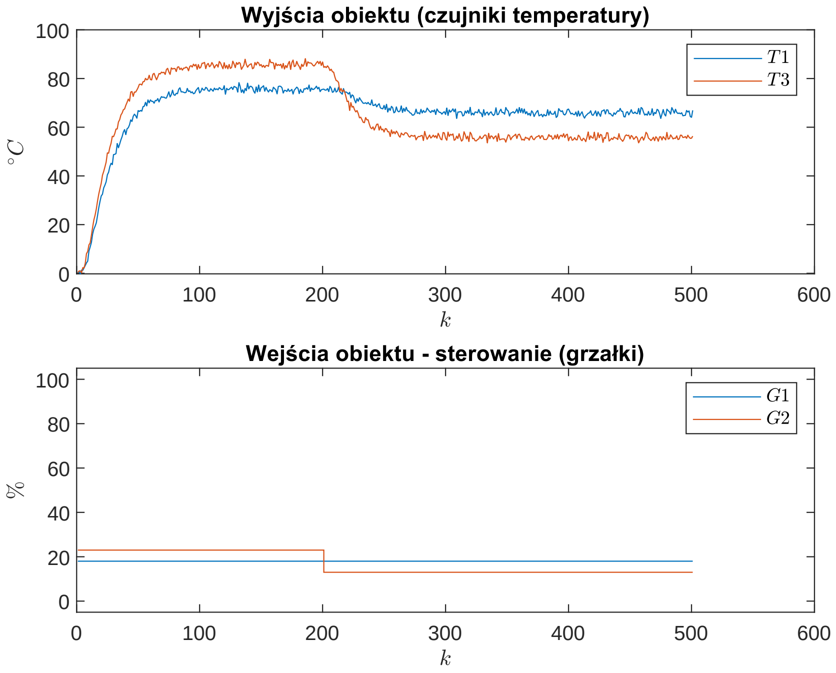
Rys. 2.1. Skok sygnału sterowania $G1$ z 18 na 8 z punktu pracy



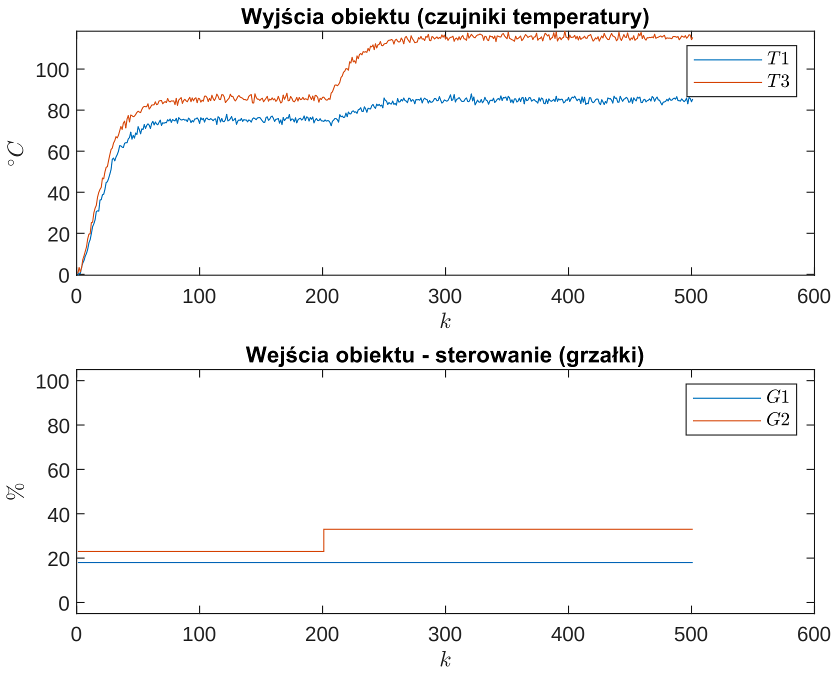
Rys. 2.2. Skok sygnału sterowania $G1$ z 18 na 28 z punktu pracy



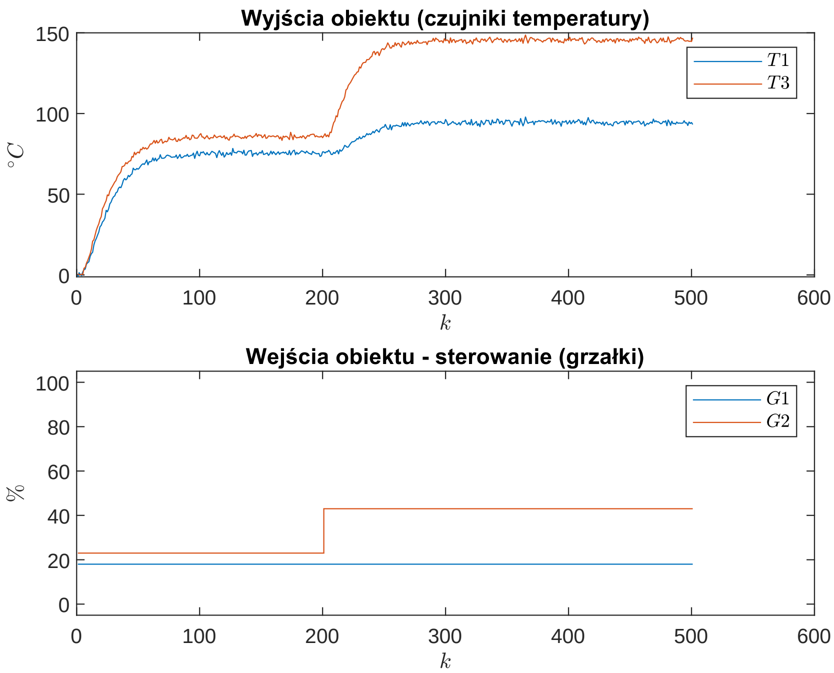
Rys. 2.3. Skok sygnału sterowania $G1$ z 18 na 38 z punktu pracy



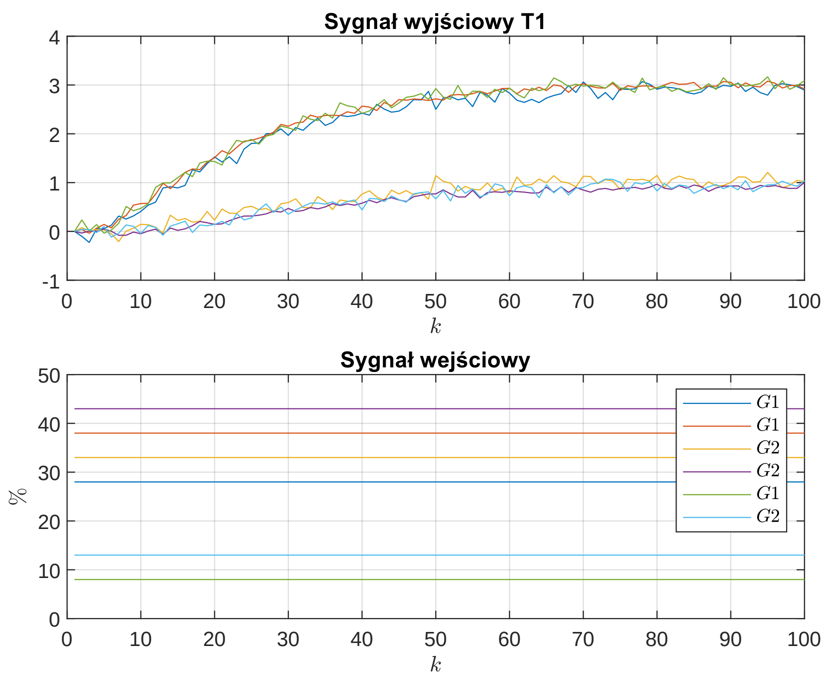
Rys. 2.4. Skok sygnału sterowania $G2$ z 23 na 13 z punktu pracy



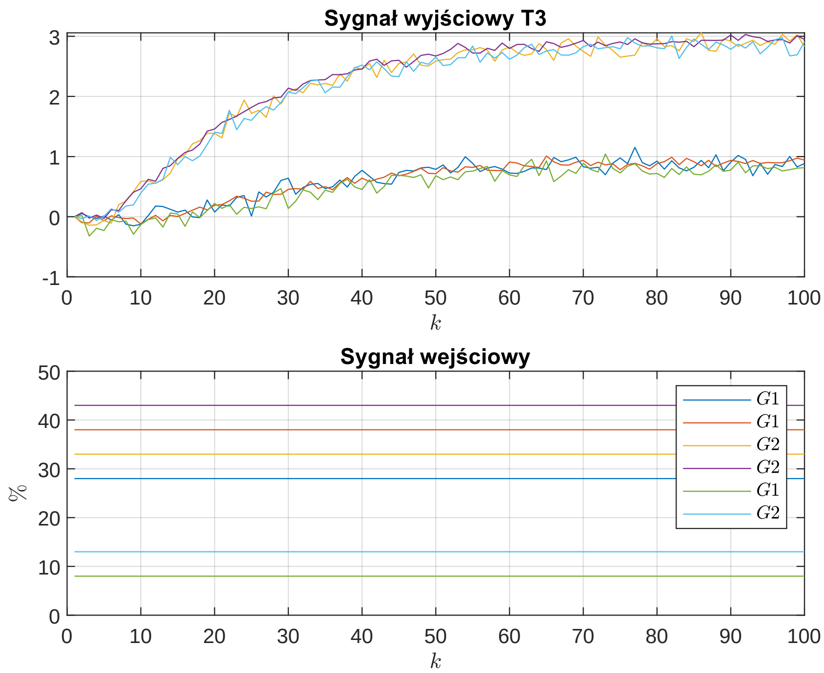
Rys. 2.5. Skok sygnału sterowania $G2$ z 23 na 33 z punktu pracy



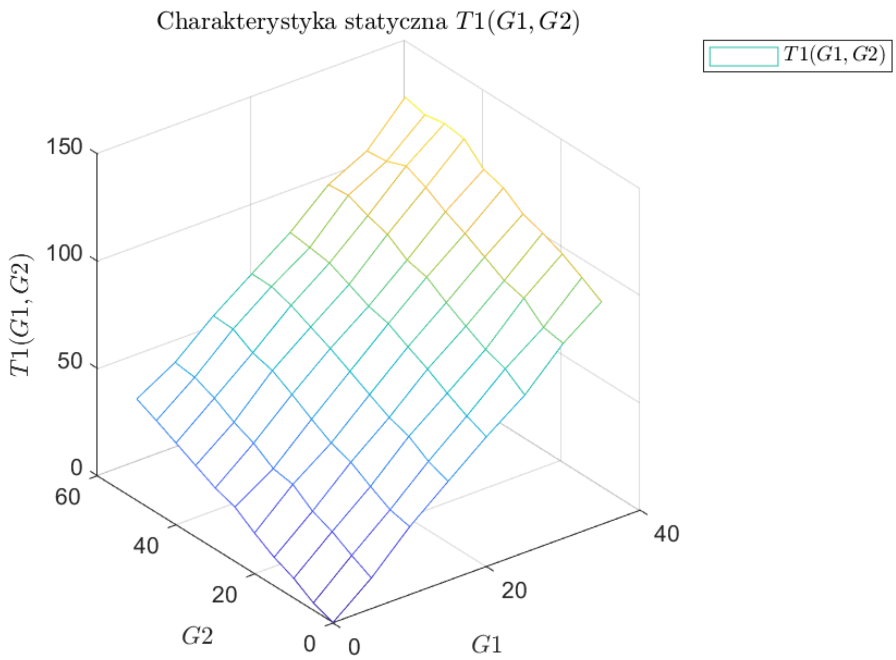
Rys. 2.6. Skok sygnału sterowania $G2$ z 23 na 43 z punktu pracy



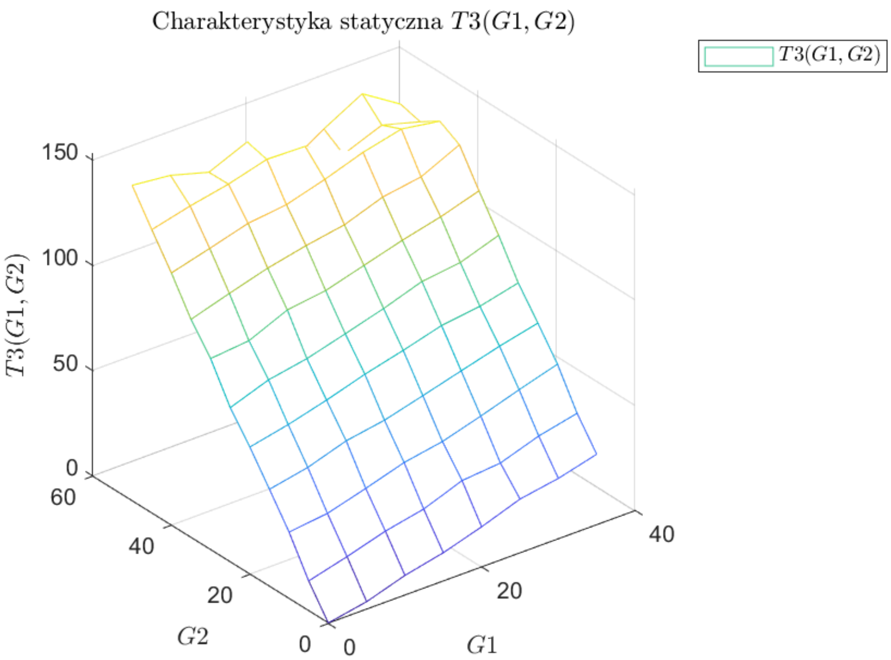
Rys. 2.7. Odpowiedzi skokowe obiektu dla wyjścia $T1$



Rys. 2.8. Odpowiedzi skokowe obiektu dla wyjścia $T3$



Rys. 2.9. Charakterystyka statyczna obiektu dla wyjścia $T3$



Rys. 2.10. Charakterystyka statyczna obiektu dla wyjścia $T3$

2.3. Wzmocnienia statyczne

Wzmocnienie statyczne $G1$ dla $T1$

$$K_{G1}^{T1} = \frac{T1(G1^{\max}, g_2) - T1(G1^{\min}, g_2)}{G1^{\max} - G1^{\min}} = \frac{103{,}6224 - 0{,}2797}{35 - 0} = 2{,}9527 \tag{2.1}$$

Wzmocnienie statyczne $G2$ dla $T1$

$$K_{G2}^{T1} = \frac{T1(g_1, G2^{\max}) - T1(g_1, G2^{\min})}{G2^{\max} - G2^{\min}} = \frac{47{,}0235 - 0{,}2685}{50 - 0} = 0{,}9351 \tag{2.2}$$

Wzmocnienie statyczne $G1$ dla $T3$

$$K_{G1}^{T3} = \frac{T3(G1^{\max}, g_2) - T3(G1^{\min}, g_2)}{G1^{\max} - G1^{\min}} = \frac{33{,}1517 - 0{,}2797}{35 - 0} = 0{,}9392 \tag{2.3}$$

Wzmocnienie statyczne $G2$ dla $T3$

$$K_{G2}^{T3} = \frac{T3(g_1, G2^{\max}) - T_3(g_1, G2^{\min})}{G2^{\max} - G2^{\min}} = \frac{146{,}9235 - 0{,}2685}{50 - 0} = 2{,}9331 \tag{2.4}$$

2.4. Implementacja

Do zrealizowania zadania użyte zostały skrypty `zad2.m`(skrypt wyznaczający odpowiedzi skokowe oraz wyliczający charakterystykę statyczną) i `extractingDataFromFig.m`(skrypt pozyskujący).

3. Przygotowanie odpowiedzi skokowych do regulatora DMC oraz ich aproksymacja

3.1. Odpowiedzi skokowe

Jako parametry regulatora DMC zostały wybrane odpowiedzi skokowe dla dwóch oddzielnych zmian wartości sterowania $G1$ z 18 na 38 i $G2$ 23 na 43 z punktu pracy.

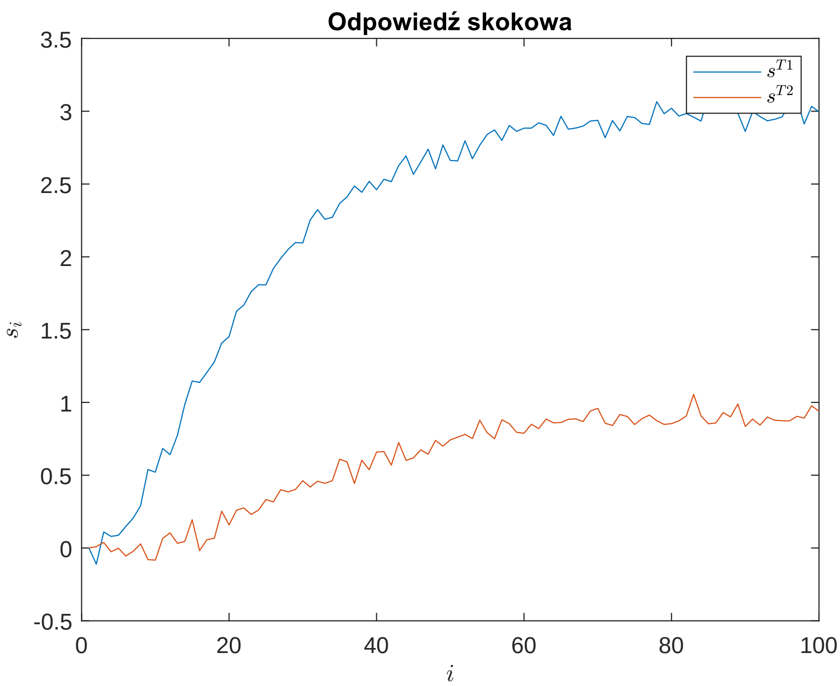
3.1.1. Implementacja

Do zrealizowania zadania zostały użyte skrypty `zad2.m` oraz `odp_skok.m`.

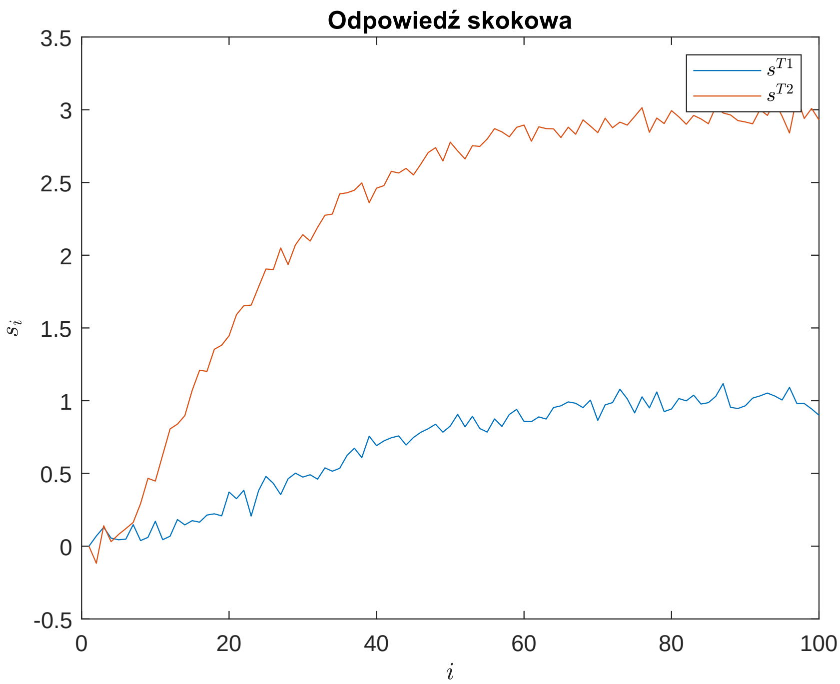
3.2. Aproksymacja odpowiedzi skokowych

Do zaaproksymowania odpowiedzi skokowych został użyty człon inercyjny drugiego rzędu z opóźnieniem o następującej postaci:

$$G(s) = \frac{K}{(sT_1 + 1)(sT_2 + 1)} e^{-T_\mathrm{d} s} \tag{3.1}$$



Rys. 3.1. Odpowiedź skokowa dla zmiany sygnału sterowania $G1$ z 18 na 38 z punktu pracy



Rys. 3.2. Odpowiedź skokowa dla zmiany sygnału sterowania $G2$ z 23 na 43 z punktu pracy

czyli po zastosowaniu transformaty Z

$$G(z) = \frac{b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}} z^{-T_\mathrm{d}} \tag{3.2}$$

gdzie

$$\begin{aligned}
a_1 =& -\alpha_1 - \alpha_2 \\
a_2 =& \alpha_1 \alpha_2 \\
\alpha_1 =& e^{-\frac{1}{T_1}} \\
\alpha_2 =& e^{-\frac{1}{T_2}} \\
b_1 =& \frac{K}{T_1 - T_2} [T_1(1-\alpha_1) - T_2(1-\alpha_2)] \\
b_2 =& \frac{K}{T_1 - T_2} [\alpha_1 T_2(1-\alpha_2) - \alpha_2 T_1(1-\alpha_1)]
\end{aligned}$$

co przekłada się na równianie różnicowe o postaci:

$$y(k) = b_1 u(k - T_\mathrm{D} - 1) + b_2 u(k - T_\mathrm{D} - 2) - a_1 y(k-1) - a_2 y(k-2) \tag{3.3}$$

Biorąc pod uwagę ograniczenie co do dziedziny parametru T_d (liczba całkowita) zdecydowaliśmy się użyć algorytmu genetycznego w celu dobrania parametrów T_1, T_2, K, T_d członu aproksymującego odpowiedź skokową. Wskaźnikiem ilościowym wykorzystanym do optymalizacji została funkcja sumy kwadratów różnicy.

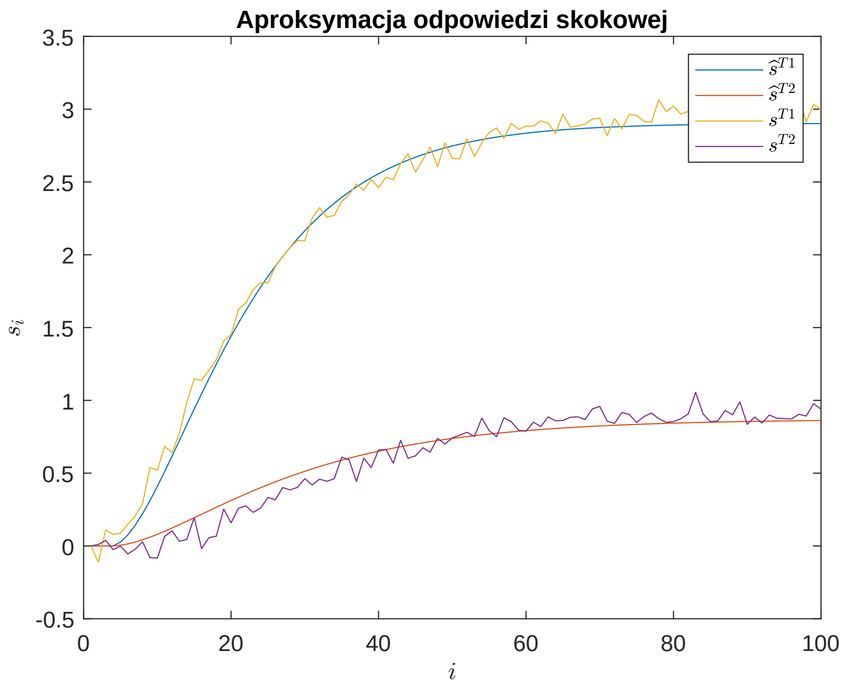
$$E = \sum_{i=1}^{\mathrm{D}} (s_i - \widehat{s}_i)^2 \tag{3.4}$$

,gdzie $\widehat{s}$ jest aproksymacją.

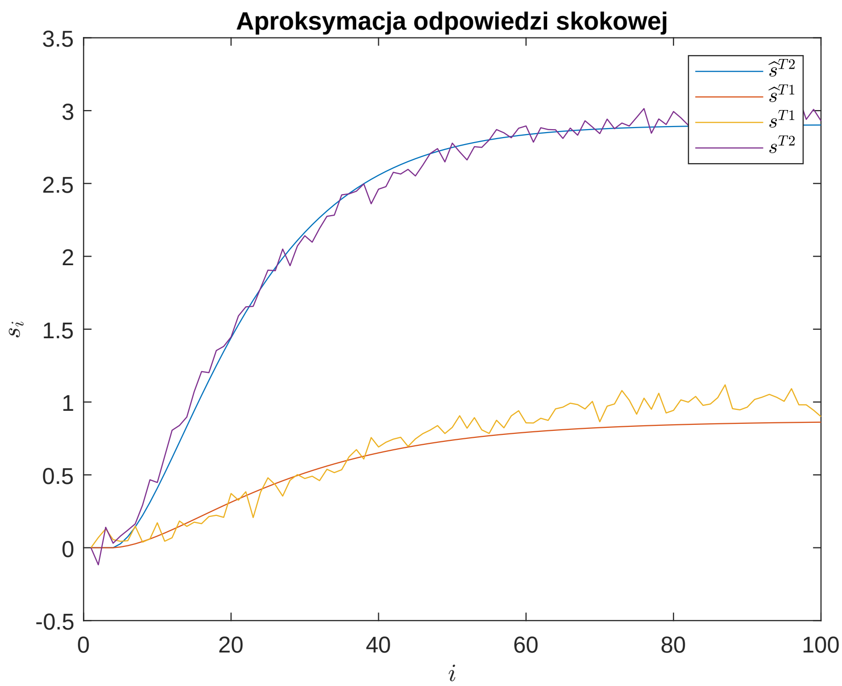
Do obliczenia optymalnych parametrów użyliśmy funkcji `ga` (Algorytm Genetyczny) z pakietu `Global Optimization Toolbox`.

3.2.1. Implementacja

Do zrealizowania zadania zostały użyte skrypty `odpSkokAproksymowane.m` (główny skrypt wyliczający odpowiedzi apkroksymowane oraz rysujący wykresy) oraz `coeffOptim.m` (funkcja celu do zminimalizowania).



Rys. 3.3. Aproksymacja odpowiedzi skokowej dla zmiany sygnału sterowania $G1$ z 18 na 38 z punktu pracy



Rys. 3.4. Aproksymacja odpowiedzi skokowej dla zmiany sygnału sterowania $G2$ z 23 na 43 z punktu pracy

4. Regulator DMC MIMO

4.1. Implementacja DMC

$$y(k) = \begin{bmatrix} y_1(\mathrm{k}) \\ y_2(\mathrm{k}) \end{bmatrix} \tag{4.1}$$

$$y^{\mathrm{zad}}(k) = \begin{bmatrix} y_1^{\mathrm{zad}}(\mathrm{k}) \\ y_2^{\mathrm{zad}}(\mathrm{k}) \end{bmatrix} \tag{4.2}$$

$$u(k) = \begin{bmatrix} u_1(\mathrm{k}) \\ u_2(\mathrm{k}) \end{bmatrix} \tag{4.3}$$

$$S_l = \begin{bmatrix} s_l^{11} & s_l^{12} \\ s_l^{21} & s_l^{22} \end{bmatrix}, l = 1...D \tag{4.4}$$

$$M = \begin{bmatrix} S_1 & 0 & \dots & 0 \\ S_2 & S_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_N & S_{N-1} & \dots & S_{N-N_{\mathrm{u}}+1} \end{bmatrix} \tag{4.5}$$

$$M^{\mathrm{P}} = \begin{bmatrix} S_2 - S_1 & S_3 - S_2 & \dots & S_D - S_{D-1} \\ S_3 - S_1 & S_4 - S_2 & \dots & S_{D+1} - S_{D-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{N+1} - S_1 & S_{N+2} - S_2 & \dots & S_{N+D-1} - S_{D-1} \end{bmatrix} \tag{4.6}$$

$$K = (M^{\mathrm{T}} M + \lambda I)^{-1} M^{\mathrm{T}} \tag{4.7}$$

$$Y^0(k) = Y(k) + M^{\mathrm{P}} \Delta U^{\mathrm{P}}(k) \tag{4.8}$$

$$\Delta U(k) = K(Y^{\mathrm{zad}}(k) - Y^0(k)) \tag{4.9}$$

4.2. Strojenie DMC

4.3. Regulacja DMC