

Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych
Politechnika Warszawska

Projektowanie układów sterowania
(projekt grupowy)

Sprawozdanie z projektu i ćwiczenia laboratoryjnego
nr 3, zadanie nr 3

Wojciech Rokicki, Radosław Pietkun, Jakub Gruszecki

Warszawa, 2020

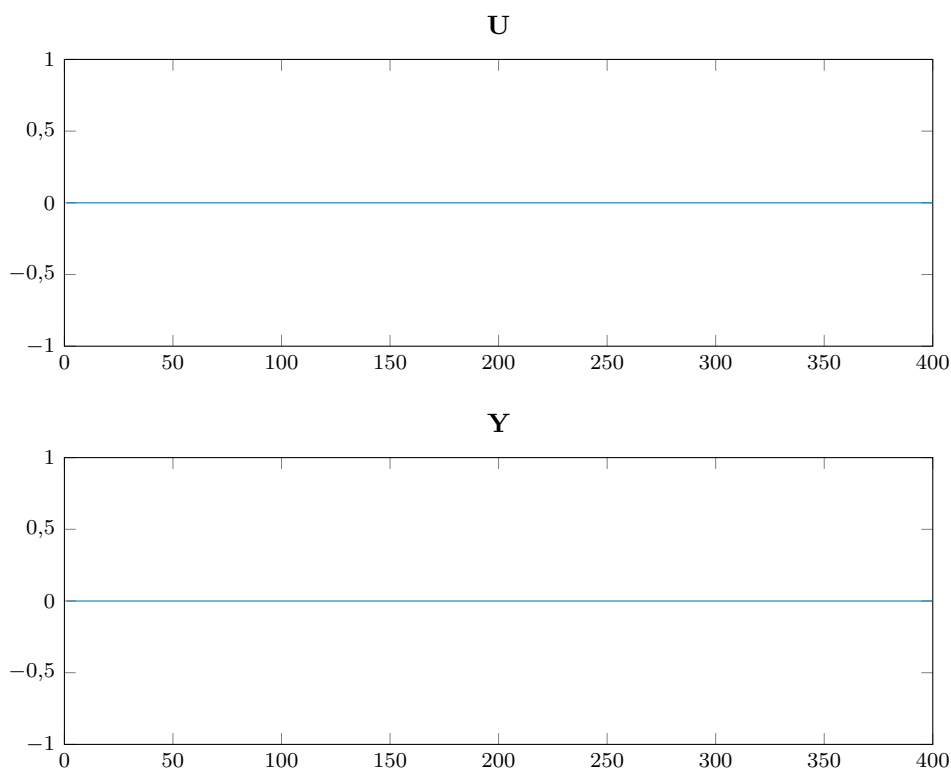
Spis treści

1. Sprawdzenie poprawności punktu pracy	2
1.1. Poprawność wartości sygnałów w punkcie pracy	2
1.2. Wnioski	2
1.3. Implementacja	2
2. Odpowiedzi skokowe i charakterystyka statyczna	3
2.1. Wyznaczenie odpowiedzi skokowych toru wejście-wyjście procesu	3
2.2. Charakterystyka statyczna	3
2.3. Właściwości statyczne i dynamiczne	3
2.4. Implementacja	4
3. Symulacja cyfrowego algorytmu PID oraz algorytmu DMC	5
3.1. Regulator PID	5
3.2. Regulator DMC	5
3.3. Program	6
3.4. Implementacja	6
4. Dobór parametrów cyfrowego algorytmu PID oraz algorytmu DMC	7
4.1. Regulator PID	7
4.2. Regulator DMC	7

1. Sprawdzenie poprawności punktu pracy

1.1. Poprawność wartości sygnałów w punkcie pracy

W celu sprawdzenia poprawności wartości sygnałów U_{pp} oraz Y_{pp} obiekt został pobudzony sygnałem o wartości: $U_{pp} = 0$. Wartości sygnałów w punkcie pracy będą poprawne, jeśli sygnał wyjściowy przyjmie wartość stałą $Y_{pp} = 0$.



Rys. 1.1. Przebiegi sygnałów $u(k)$, $z(k)$, $y(k)$ w punkcie pracy

1.2. Wnioski

Na podstawie rysunku 1.1 widać, że dla stałej wartości sygnału sterującego $U_{pp} = 0$ wyjście obiektu przyjmuje stałą wartość, równą $Y_{pp} = 0$. Jest to dowód na to, że podane wartości sygnałów wejściowego sterowania oraz wyjściowego w punkcie pracy są poprawne.

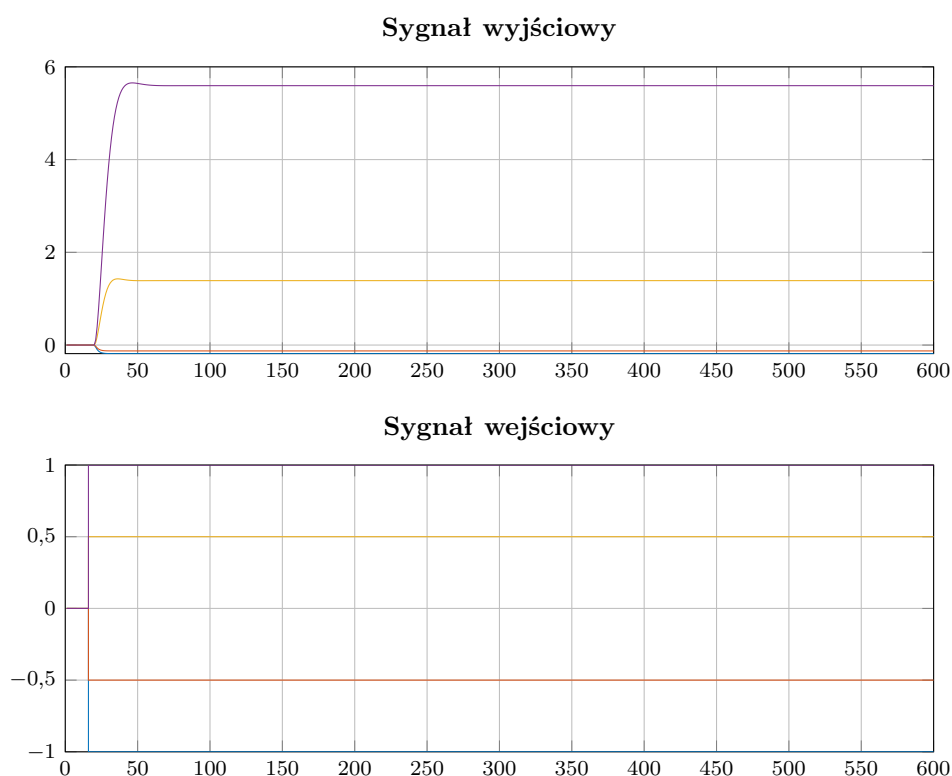
1.3. Implementacja

Do przeprowadzenia eksperymentu wykorzystany został skrypt `zad1.m`.

2. Odpowiedzi skokowe i charakterystyka statyczna

2.1. Wyznaczenie odpowiedzi skokowych toru wejście-wyjście procesu

W celu wyznaczenia odpowiedzi skokowych obiekt był pobudzany, w punkcie pracy, różnymi skokami sygnału sterującego w chwili $k = 16$. Przeprowadzono cztery testy dla różnych wartości skoków. Uzyskane odpowiedzi skokowe wraz z odpowiadającymi im przebiegami sygnału sterowania przedstawiono na rys. 2.1.



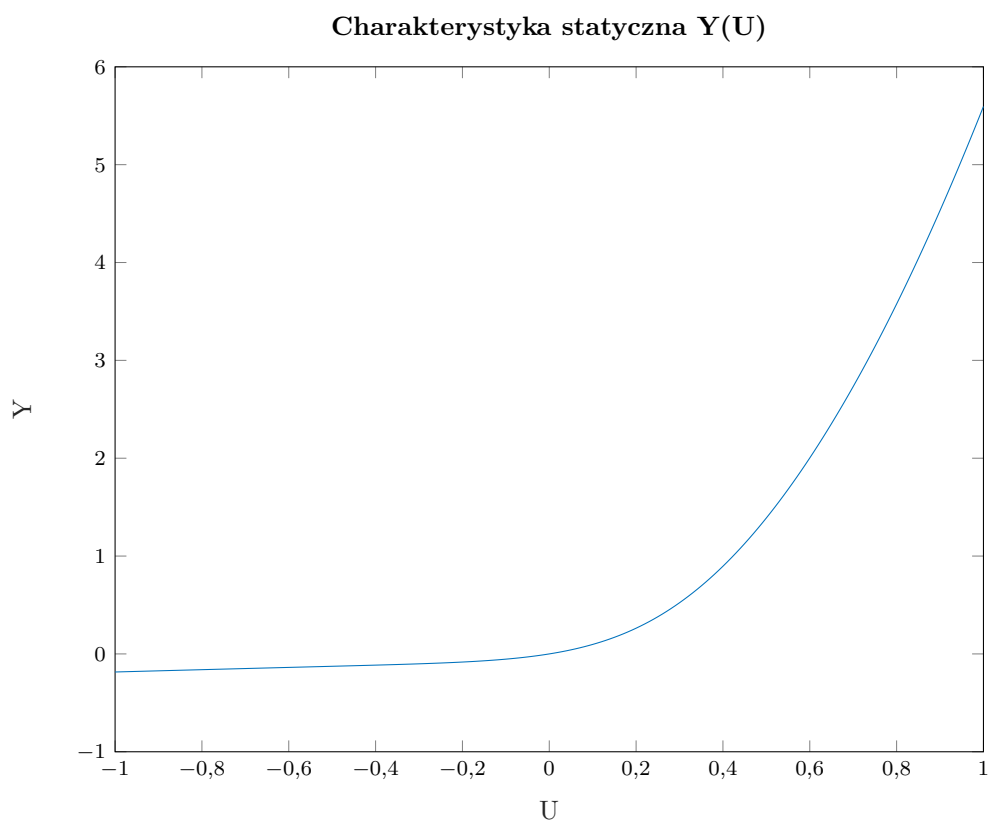
Rys. 2.1. Odpowiedzi skokowe toru wejście-wyjście procesu

2.2. Charakterystyka statyczna

W celu wyznaczenia charakterystyki statycznej procesu wyznaczono odpowiedź układu w stanie ustalonym dla pobudzeń różnymi wartościami sygnału sterującego. Zebrane wyniki przedstawiono na rys. 2.2.

2.3. Właściwości statyczne i dynamiczne

Na podstawie rys. 2.2 można powiedzieć, że właściwości statyczne i dynamiczne obiektu są nieliniowe.



Rys. 2.2. Charakterystyka statyczna procesu

2.4. Implementacja

Do przeprowadzenia eksperymentu wykorzystany został skrypt `zad2.m`.

3. Symulacja cyfrowego algorytmu PID oraz algorytmu DMC

3.1. Regulator PID

Regulator PID składa się trzech członów: proporcjonalnego, całkującego oraz różniczkującego. Działa on w pętli sprzężenia zwrotnego, mając na celu zredukowanie uchybu (różnicy między wartością zadaną a zmierzoną wartością sygnału wyjściowego procesu) poprzez odpowiednią zmianę sygnału sterującego. Dyskretny regulator PID ma postać:

$$u(k) = r_2 e(k-2) + r_1 e(k-1) + r_0 e(k) + u(k-1) \quad (3.1)$$

gdzie:

$$r_2 = K \frac{T_d}{T_p} \quad (3.2)$$

$$r_1 = K \left(\frac{T_p}{2T_i} - \frac{2T_d}{T_p} - 1 \right) \quad (3.3)$$

$$r_0 = K \left(1 + \frac{T_p}{2T_i} + \frac{T_d}{T_p} \right) \quad (3.4)$$

gdzie K - wzmacnienie członu proporcjonalnego, T_i - czas zdwojenia członu całkującego, T_d - czas wyprzedzenia członu różniczkującego, T_p - okres próbkowania

3.2. Regulator DMC

Regulator DMC jest to regulator predykcyjny - działa on z wyprzedzeniem, zanim nastąpią zmiany wartości sygnału wyjściowego. Wektor przyrostów sterowań dany jest wzorem:

$$\Delta U(k) = \mathbf{K} [Y^{\text{zad}}(k) - Y^0(k)] \quad (3.5)$$

$$= \mathbf{K} [Y^{\text{zad}}(k) + Y(k) + \mathbf{M}^P \Delta U^P(k)] \quad (3.6)$$

gdzie:

$$\mathbf{K} = (\mathbf{M}^T \mathbf{M} + \lambda I)^{-1} \mathbf{M}^T \quad (3.7)$$

$$\Delta U^P(k) = \begin{bmatrix} \Delta u(k-1) \\ \vdots \\ \Delta u(k-(D-1)) \end{bmatrix}_{(D-1) \times 1} \quad (3.8)$$

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} s_1 & 0 & \dots & 0 \\ s_2 & s_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_N & s_{N-1} & \dots & s_{N-N_u+1} \end{bmatrix}_{N \times N_u} \quad (3.9)$$

$$\mathbf{M}^P = \begin{bmatrix} s_2 - s_1 & s_3 - s_2 & \dots & s_D - s_{D-1} \\ s_3 - s_1 & s_4 - s_2 & \dots & s_{D+1} - s_{D-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{N+1} - s_1 & s_{N+2} - s_2 & \dots & s_{N+D-1} - s_{D-1} \end{bmatrix}_{N \times (D-1)} \quad (3.10)$$

gdzie N - horyzont predykcji, N_u - horyzont sterowania, D - horyzont dynamiki, λ - kara za zmianę sterowania

W tym przypadku należy wyznaczyć tylko pierwszy element macierzy $\Delta U(k)$ czyli $\Delta u(k|k)$. Aktualne sterowanie uzyskuje się poprzez zsumowanie $\Delta u(k|k)$ z poprzednim sterowaniem.

$$\Delta u(k|k) = k_e e(k) - \sum_{j=1}^{D-1} \mathbf{k}_j^u \Delta u(k-j) \quad (3.11)$$

$$k_e = \sum_{i=1}^N k_{1,i} \quad (3.12)$$

$$\mathbf{k}_j^u = \overline{\mathbf{K}}_1 \mathbf{M}_j^P, \quad j = 1, \dots, D-1 \quad (3.13)$$

3.3. Program

Aby uruchomić program należy zapisać odpowiedź skokową jako 'odp_skok.mat' w tym samym folderze co skrypt `zad3.m`. Następnie należy ustawić odpowiednie wartości dla zmiennych o nazwach `piddmc` (0 - pid, 1 - dmc) oraz ograniczenia (0 - wyłączone, 1 - włączone).

3.4. Implementacja

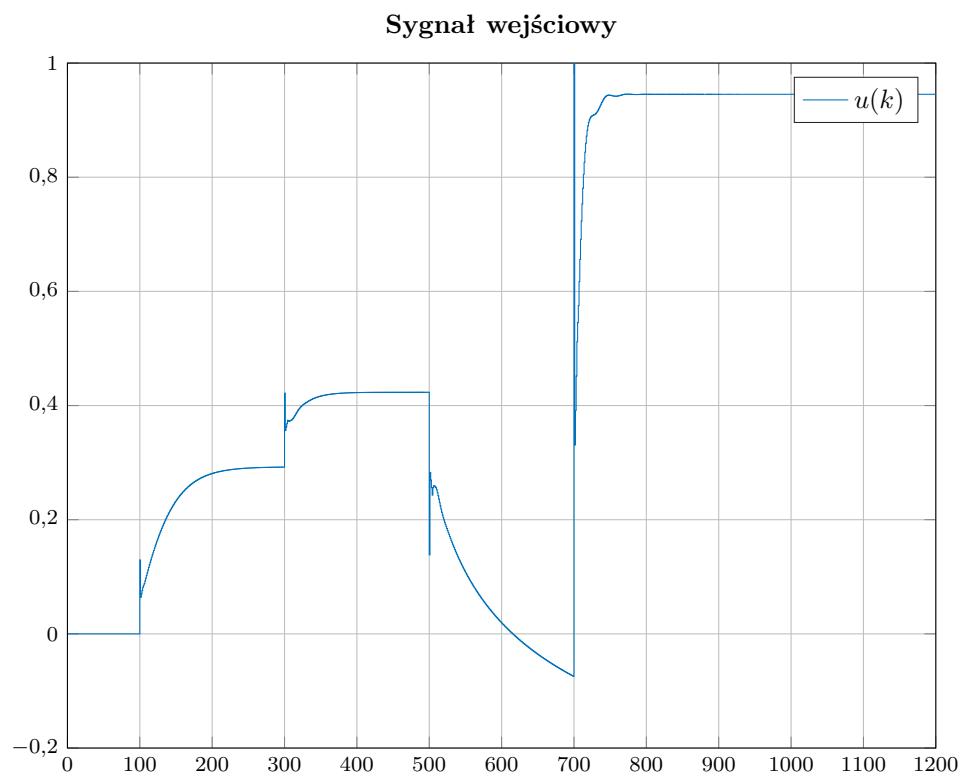
Implementacja funkcji wykorzystanych do wykonania zadania zawarte są w skrypcie `zad3.m`.

4. Dobór parametrów cyfrowego algorytmu PID oraz algorytmu DMC

Skoki:

$0 \rightarrow 0.5 \rightarrow 1 \rightarrow -0.1 \rightarrow 5$

4.1. Regulator PID



Rys. 4.1. Regulator PID - sygnał sterujący

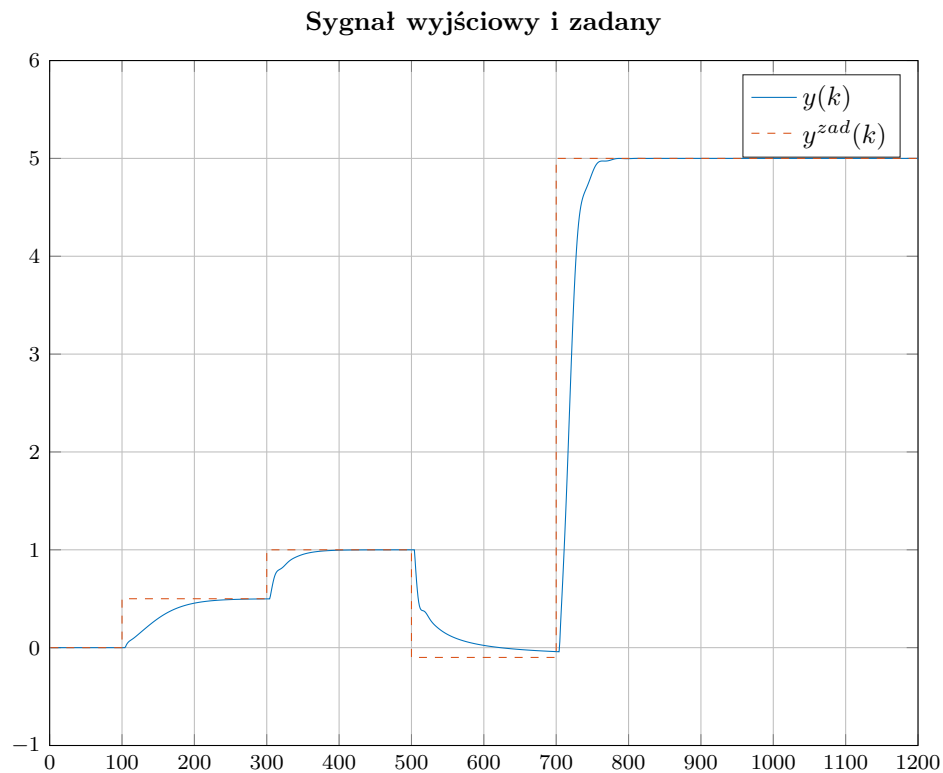
$K = 0.11$; $T_i = 4.6$; $T_d = 0.65$;

Error = 403.7229

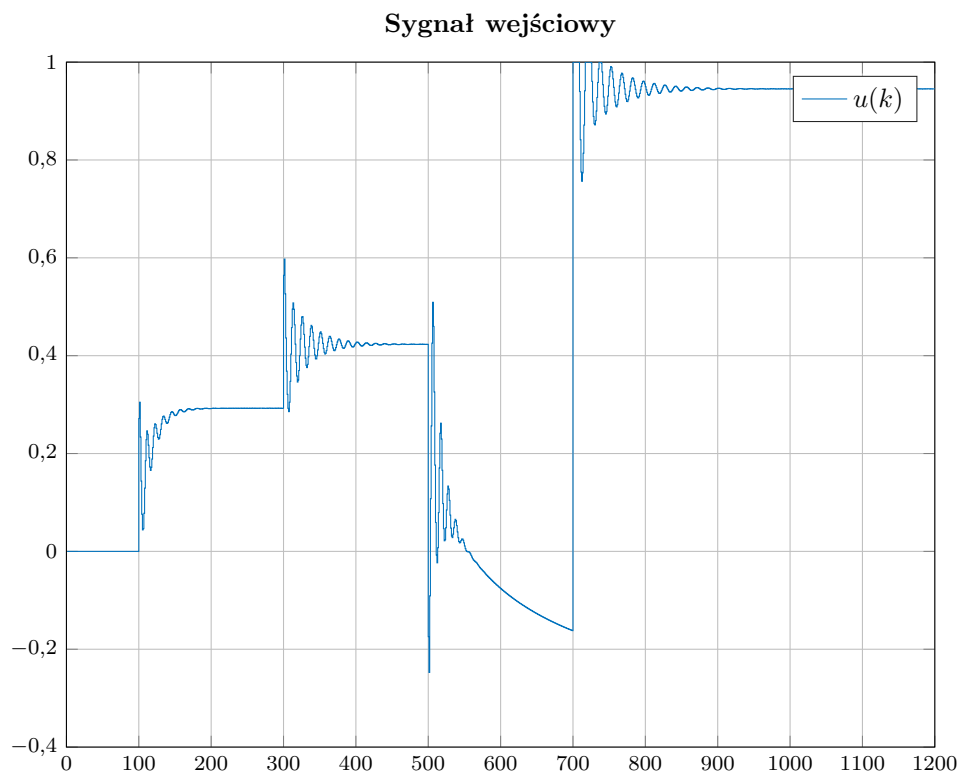
4.2. Regulator DMC

$D = 53$; $N = 20$; $N_u = 3$;

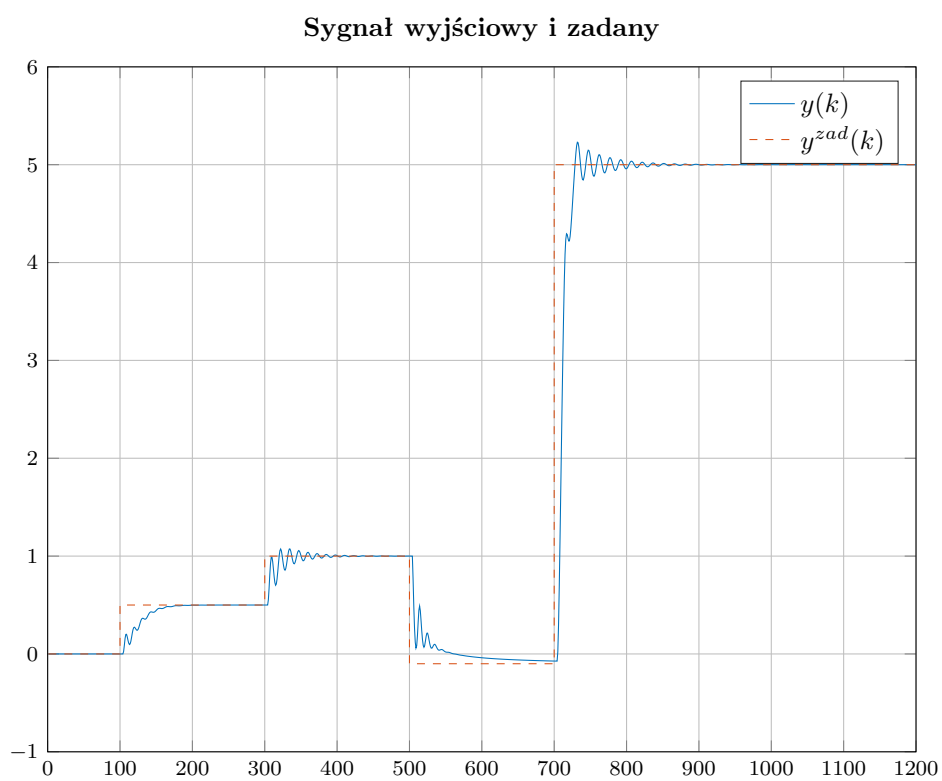
Error = 264.7306



Rys. 4.2. Regulator PID - sygnał wyjściowy i zadany



Rys. 4.3. Regulator DMC - sygnał sterujący



Rys. 4.4. Regulator DMC - sygnał wyjściowy i zadany