

Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych  
Politechnika Warszawska

Projektowanie układów sterowania  
(projekt grupowy)

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

Kamil Gabryjelski, Paweł Rybak, Paweł Walczak

Warszawa, 2017

# Spis treści

|  |   |
|--|---|
| 1. Opis obiektu . . . . .                      | 2 |
| 2. Punkt pracy . . . . .                       | 3 |
| 3. Badanie zachowania obiektu . . . . .        | 4 |
| 4. Odpowiedź skokowa na potrzeby DMC . . . . . | 6 |
| 5. Dobór nastaw . . . . .                      | 7 |
| 6. Optymalizacja . . . . .                     | 8 |

# 1. Opis obiektu

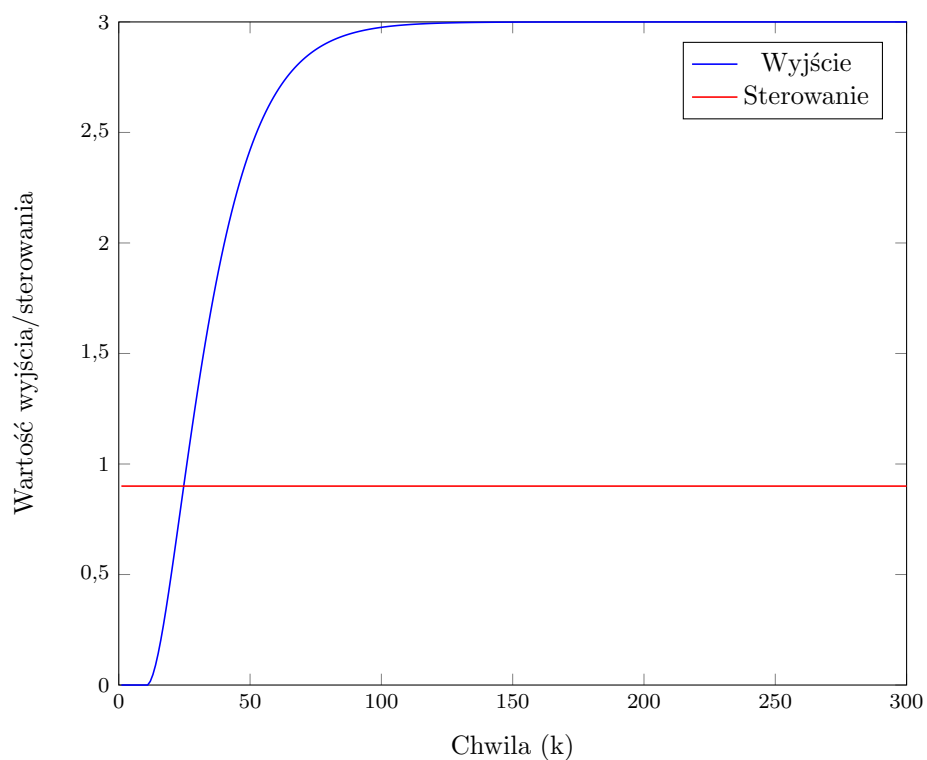
Obiekt używany w projekcie jest symulacją obiektu, napisaną w języku MATLAB. Opisywany jest on wzorem

$$Y(k) = f(U(k - 10), U(k - 11), Y(k - 1), Y(k - 2)) \quad (1.1)$$

gdzie  $k$  jest aktualną chwilą symulacji. Punkt pracy obiektu jest osiągany dla wartości sterowania równej 0,9, natomiast wyjście w owym punkcie ustala się na wartości 3,0. Okres próbkowania obiektu wynosi 0,5s.

## 2. Punkt pracy

Wartości punktu pracy opisane w sekcji 1 zostały zweryfikowane. Weryfikacja polegała na prostym sprawdzeniu na jakiej wartości wyjścia stabilizuje się obiekt przy zadanym sterowaniu. Eksperyment potwierdził wcześniej opisane wartości, a jego przebieg obrazuje wykres 2.1

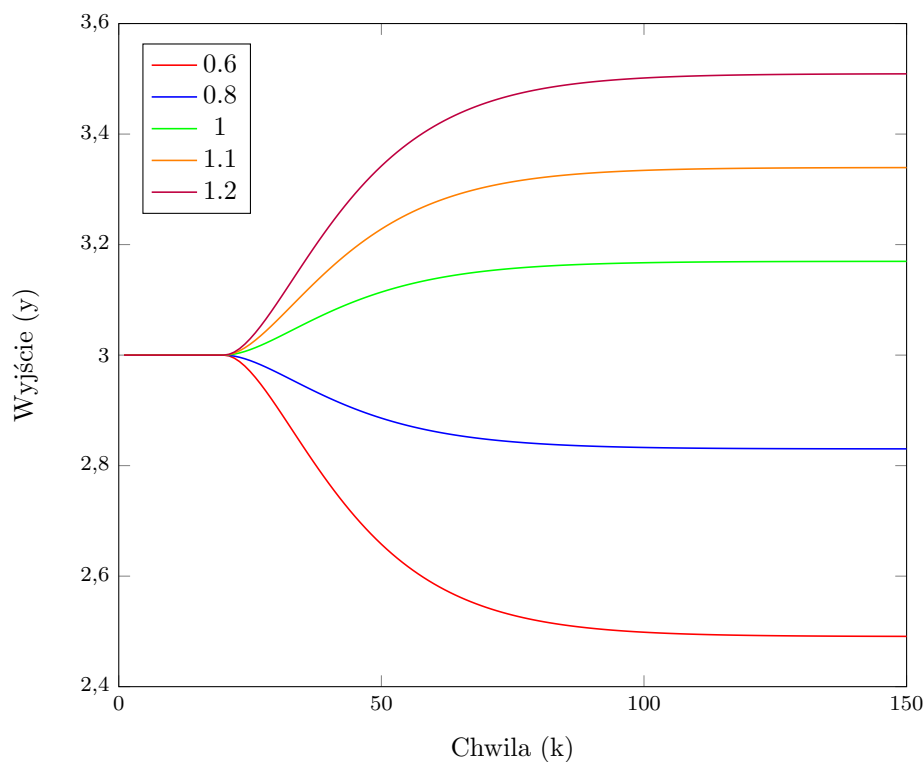


Rys. 2.1. Zachowanie obiektu dla stałej wartości sterowania  $U = 0.9$ .

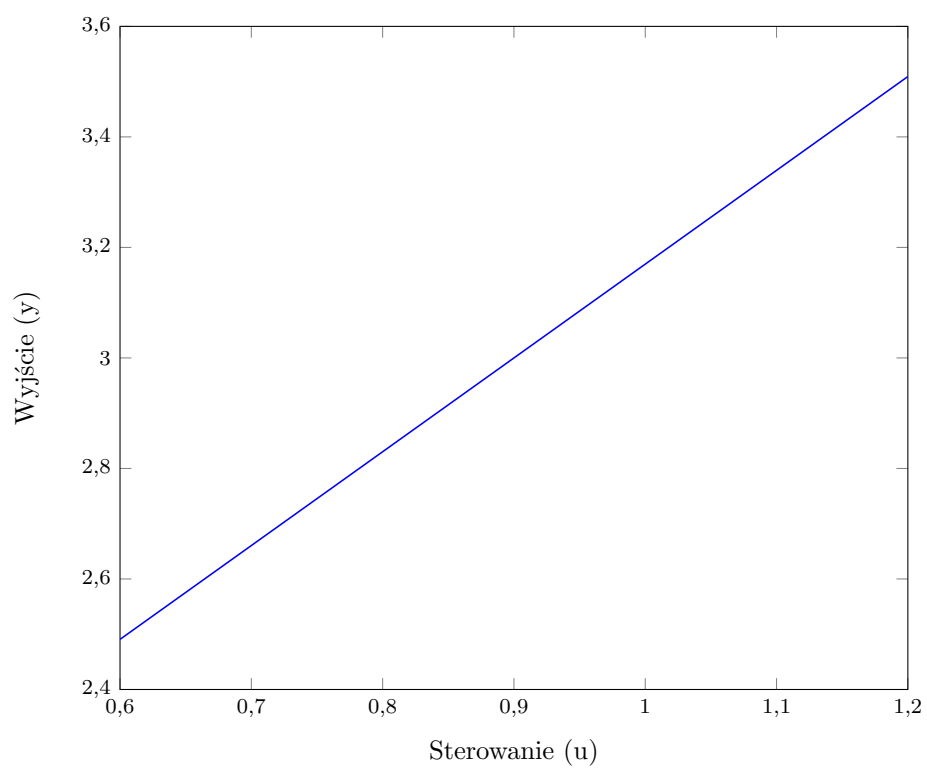
### 3. Badanie zachowania obiektu

Aby lepiej poznać naturę obiektu przeprowadzone zostały ogólne badania zachowania obiektu i jego odpowiedzi na różne skoki wartości sterującej. Eksperyment zakładał, iż na początku obiekt będzie w punkcie pracy ( $Y = 3, U = 0,9$ ), a następnie, w chwili  $k = 10$  wykonany zostanie skok do zaplanowanej wcześniej wartości sterowania. Biorąc pod uwagę ograniczenia na wartość sterowania  $U^{min} = 0,6$  i  $U^{max} = 1,2$  wartość sterowania po skoku mieściła się w owym zakresie. Wyniki eksperymentu zostały zobrazowane na wykresie 3.1.

Następnie wyznaczona została charakterystyka statyczna obiektu. Znaleziona została poprzez sprawdzenie przy jakiej wartości wyjścia obiekt stabilizuje się dla danej wartości sterowania. Na podstawie tego sporządzony został wykres. Wartości zostały zmierzone dla wartości pomiędzy ograniczeniami, z krokiem 0.01. Wyniki zostały zamieszczone na wykresie 3.2. Otrzymana charakterystyka jest liniowa. Wzmocnienie statyczne, będące pochodną charakterystyki statycznej ma wartość 1,7.



Rys. 3.1. Odpowiedzi skokowe dla różnych wartości sterowania. (Wartość końcowa sterowania w legendzie)



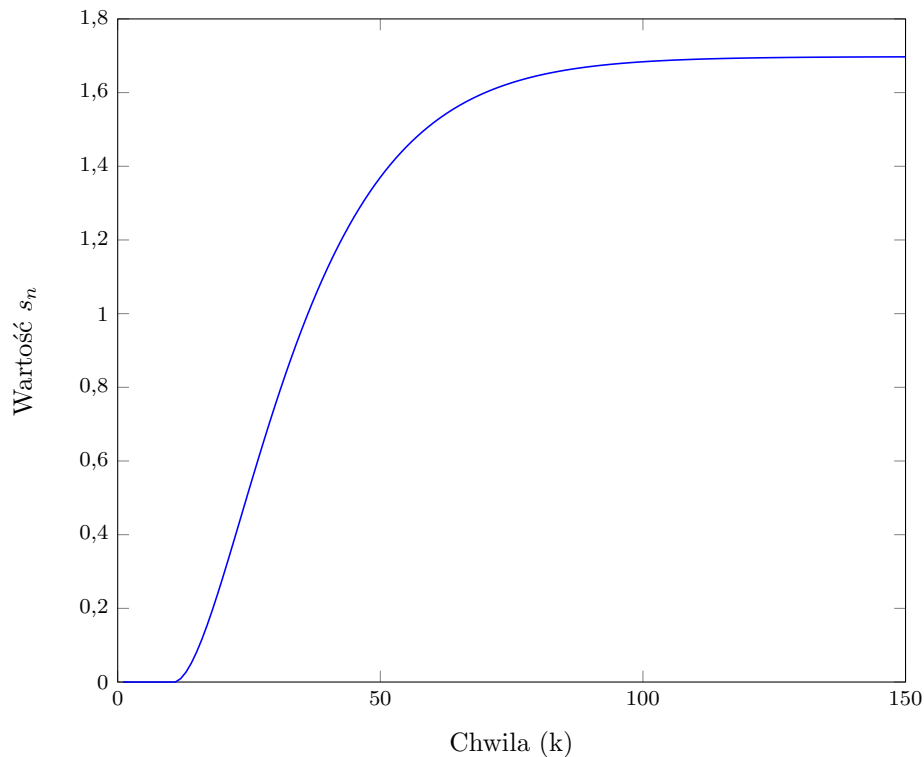
Rys. 3.2. Charakterystyka statyczna obiektu.

## 4. Odpowiedź skokowa na potrzeby DMC

W tym rozdziale opisany został eksperyment zbierania odpowiedzi skokowej, przystosowanej do wykorzystania przy projektowaniu regulatora DMC dla obiektu. Polegał on na przeprowadzeniu skoku z punktu pracy obiektu, czyli przy wartości sterowania  $U = 0,9$ , do górnego ograniczenia sygnału sterującego, czyli  $U = 1,2$ . Następnie odpowiedź została znormalizowana, czyli przesunięta o wartość wyjścia w punkcie pracy, oraz podzielona o długość skoku sterowania.

$$Y(k) = (Y_{eksperymentu}(k) - Y_{pp})/\Delta U \quad (4.1)$$

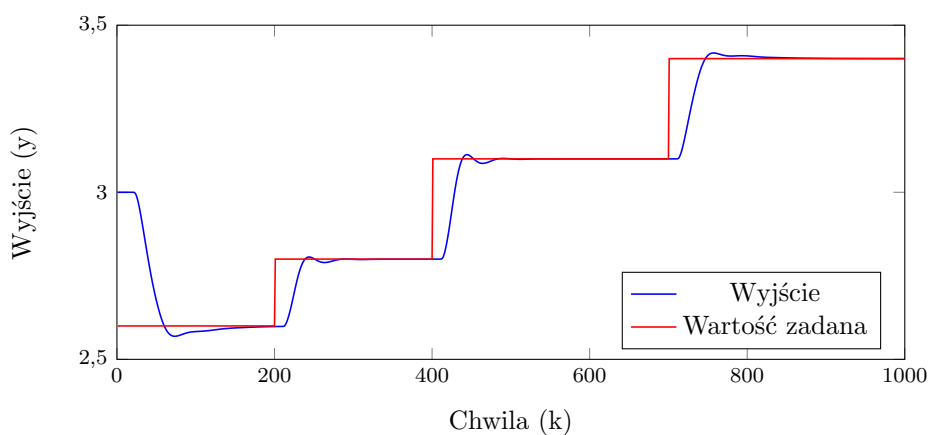
Wyniki zostały przedstawione na wykresie 4.1. Widać na nich poprawność wyliczonego w rozdziale 3 wzmocnienia statycznego.



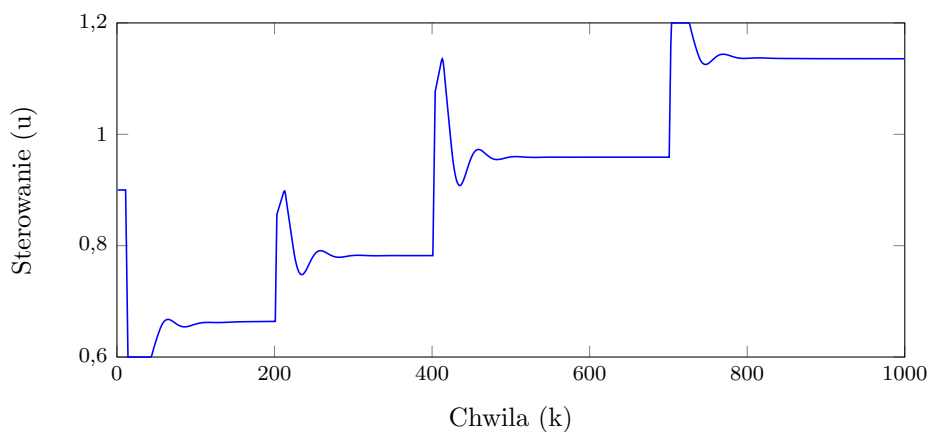
Rys. 4.1. Odpowiedź skokowa znormalizowana na potrzeby algorytmu DMC.

## 5. Dobór nastaw

Eksperymentalne testy w poszukiwaniu lepszych nastaw regulatora PID rozpoczynamy od tych wyznaczonych za pomocą eksperymentu ZN. Najpierw zaczniemy regulować nastawę  $T_d$ . Po kilku testach zauważamy spadek błędu, dla wartości  $T_i = 20$ . Poprawę oceniamy za pomocą wskaźnika numerycznego wartości błędu, gdyż ciężko jest ujrzeć zmianę obserwując jedynie przebiegi. Następnie sprawdzamy wartość  $T_d$ . Po testach uważamy za dobrą wartość  $T_d = 4$ . Działanie takiego regulatora obrazują wykresy 5.1 i 5.2.



Rys. 5.1. Wyjście obiektu z regulatorem PID z nastawami wyznaczonymi metodą inżynierską.



Rys. 5.2. Sterowanie obiektu z regulatorem PID z nastawami wyznaczonymi metodą inżynierską.



## 6. Optymalizacja

Do wyznaczenia optymalnych parametrów regulatorów PID i DMC użyliśmy funkcji *fmincon* oraz *GA*. Są to funkcje pozwalające wyznaczyć minimum (globalne) zadanej funkcji celu. W obu przypadkach regulatorów, funkcję celu traktujemy jako sumę kwadratów błędów (między wyjściem obiektu a wartością zadaną). Do wyznaczenia optymalnych parametrów regulatora PID użyliśmy funkcji *fmincon*. Optymalizujemy trzy parametry:  $K$  (wzmocnienie -  $X(1)$ ),  $T_i$  ( $X(2)$ ) oraz  $T_d$  ( $X(3)$ ). Ograniczeniem jakie przyjmujemy są dodatnie wartości parametrów regulatora. Po uruchomieniu *fmincon* otrzymujemy następujące parametry:

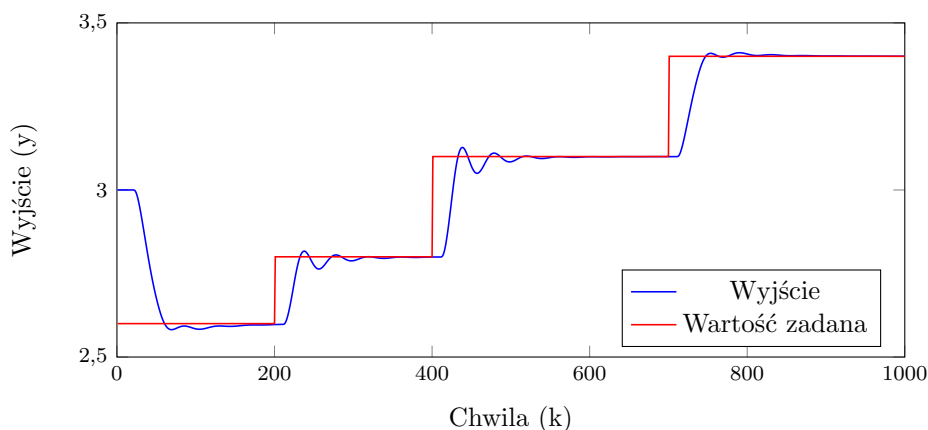
$$\begin{aligned}K &= 1,2253 \\T_d &= 4,4339 \\T_i &= 27,3968\end{aligned}\tag{6.1}$$

Wyniki zostały zobrazowane na wykresach 6.1, oraz 6.2. Zauważamy, że funkcja celu przyjmuje niższą wartość niż dla parametrów regulatora wyznaczonego metodą inżynierską, co sugeruje prawidłowe działanie funkcji optymalizacji.

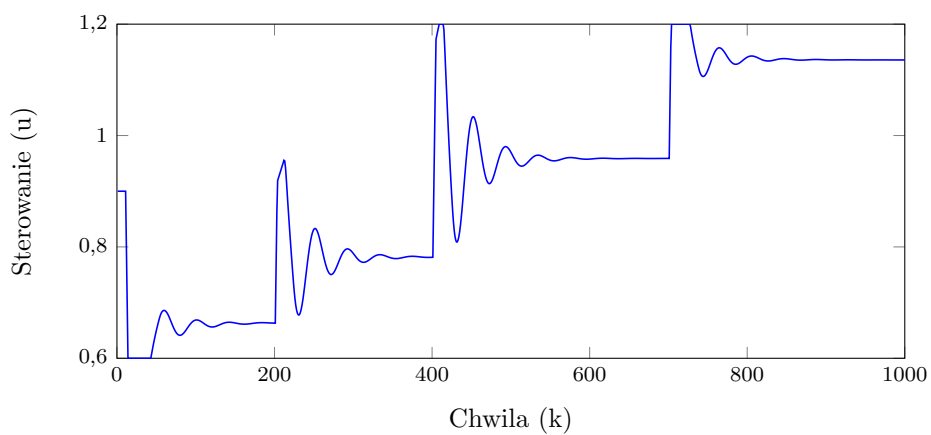
Do wyznaczenia optymalnych parametrów regulatora DMC użyliśmy funkcji *GA*. Jest to algorytm genetyczny umożliwiający znalezienie minimum danej funkcji. Optymalizujemy trzy parametry:  $N$  - horyzont predykcji,  $N_u$  - horyzont sterowania,  $\lambda$  - współczynnik 'kary' za zmiany sterowania. Użycie algorytmu *GA* motywujemy tym, że w przeciwieństwie do *fmincon*, możemy wprowadzić ograniczenie na  $N$  oraz  $N_u$ , tak aby ich wartości mogły być dodatnie całkowite. Po uruchomieniu *GA* otrzymujemy następujące parametry:

$$\begin{aligned}N &= 150 \\N_u &= 2 \\ \lambda &= 3,3089\end{aligned}\tag{6.2}$$

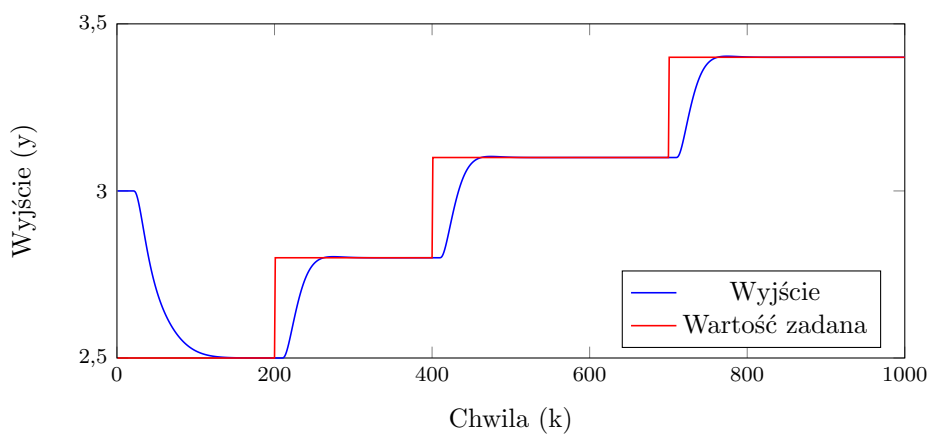
Wyniki obrazują wykresy 6.3 i 6.4. Zauważamy, że funkcja celu przyjmuje niższą wartość niż dla parametrów regulatora DMC wyznaczonego eksperymentalnie, oraz zdecydowanie lepsze niż parametry optymalne regulatora PID.



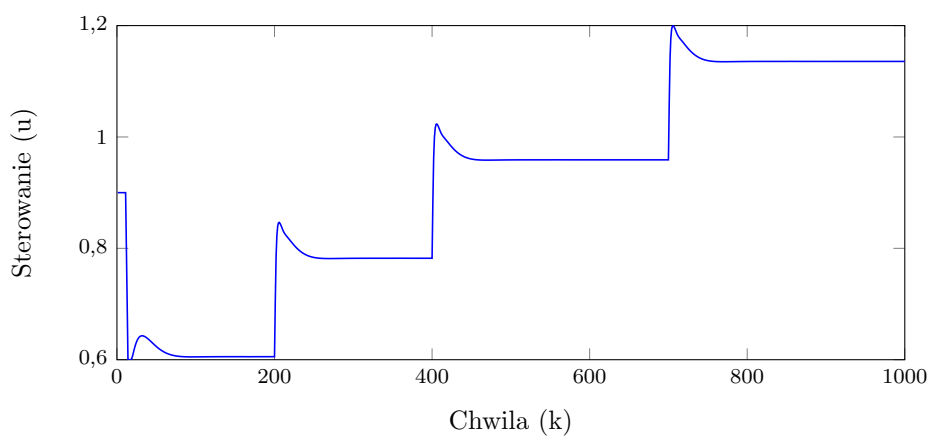
Rys. 6.1. Wyjście obiektu z regulatorem PID z nastawami wyznaczonymi funkcją *fmincon*.



Rys. 6.2. Sterowanie obiektu z regulatorem PID z nastawami wyznaczonymi funkcją *fmincon*.



Rys. 6.3. Wyjście obiektu z regulatorem DMC z nastawami wyznaczonymi funkcją *GA*.



Rys. 6.4. Sterowanie obiektu z regulatorem DMC z nastawami wyznaczonymi funkcją *GA*.