

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

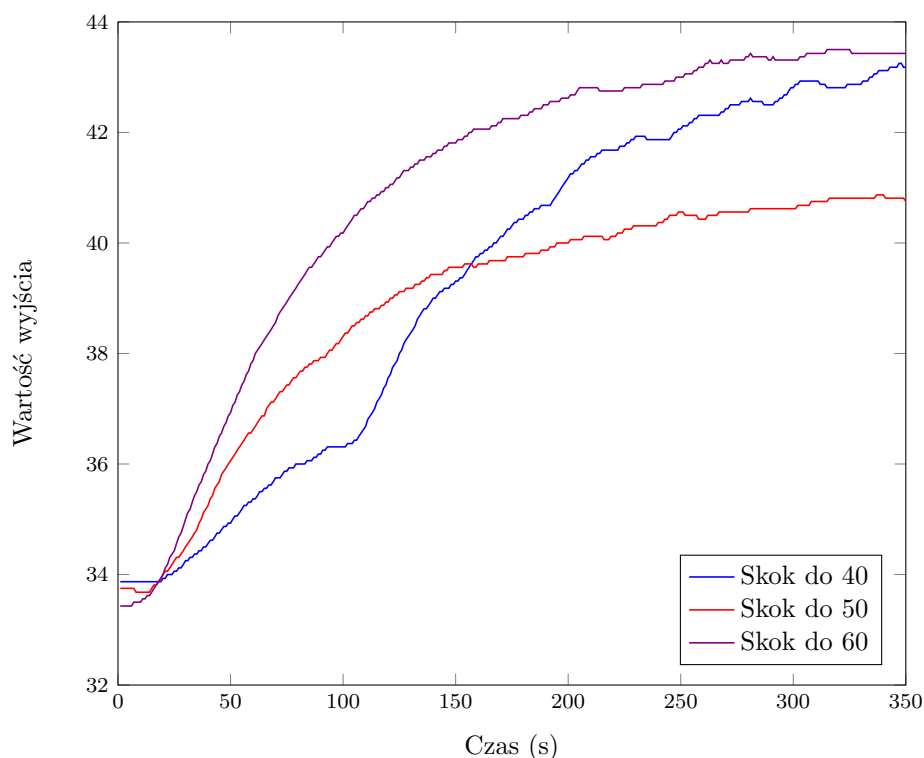
Warszawa, 2017

# Spis treści

1. Charakterystyka obiektu . . . . .	2
2. Przygotowanie do algorytmu DMC . . . . .	3
3. Regulacja DMC i PID . . . . .	5

# 1. Charakterystyka obiektu

Pierwszym krokiem tego laboratorium było określenie punktu pracy naszego stanowiska dla sterowania  $U_{pp} = 27$ . Zadanie to było o tyle trudne, że w trakcie jego wykonywania zmieniał się nasze stanowisko pracy, z powodu problemów z jego użytkowaniem. Stąd punkt pracy został przeprowadzony dla dwóch różnych stanowisk, jednak nie różnił on się zbyt wiele. Dla pierwszego stanowiska wynosił  $Y_{pp} \approx 33,8$ , podczas gdy dla drugiego stanowiska przyjęliśmy  $Y_{pp} = 33,43$ . Następnie wykonane zostały trzy skoki, jednak znów problem tutaj był ze zmianą stanowiska. Pierwsze dwa skoki zostały wykonane dla pierwszego obiektu, a ostatni dla trzeciego. Skoki te nie różnią się drastycznie, jednak biorąc pod uwagę, iż dalsze prace będą wykonywane na drugim obiekcie, to nasze obliczenia zostały oparte na tym ostatnim pomiarze. Oczywiście zostały tu zamieszczone wszystkie one na wykresie 1.1. Odpowiedź skokowa przy skoku do wartości sterowania 40 w zupełności nie odpowiada zachowaniu obiektu. Uważamy, że wynika to z tego iż obiekt w trakcie skoku nie był w stanie ustalonym a jedynie miał temperaturę początkową taką jak w stanie początkowym. Jednak średnia temperatura obiektu była wyższa niż w punkcie pomiaru, stąd nieregularny wzrost, oraz wyniki dużo wyższe niż wynikałoby ze wzmocnienia statycznego obiektu. Pozostałe dwa skoki zostały przeprowadzone starannie i widać niemal podręcznikową odpowiedź obiektu dwuinercyjnego. Warto przy tym zauważyć, że owe dwa skoki zostały przeprowadzone na dwóch różnych obiektach, więc możemy wykluczyć lepszą charakterystykę jednego obiektu w porównaniu z drugim.



Rys. 1.1. Odpowiedzi skokowe przy skokach sterowania do wartości opisanych w legendzie.

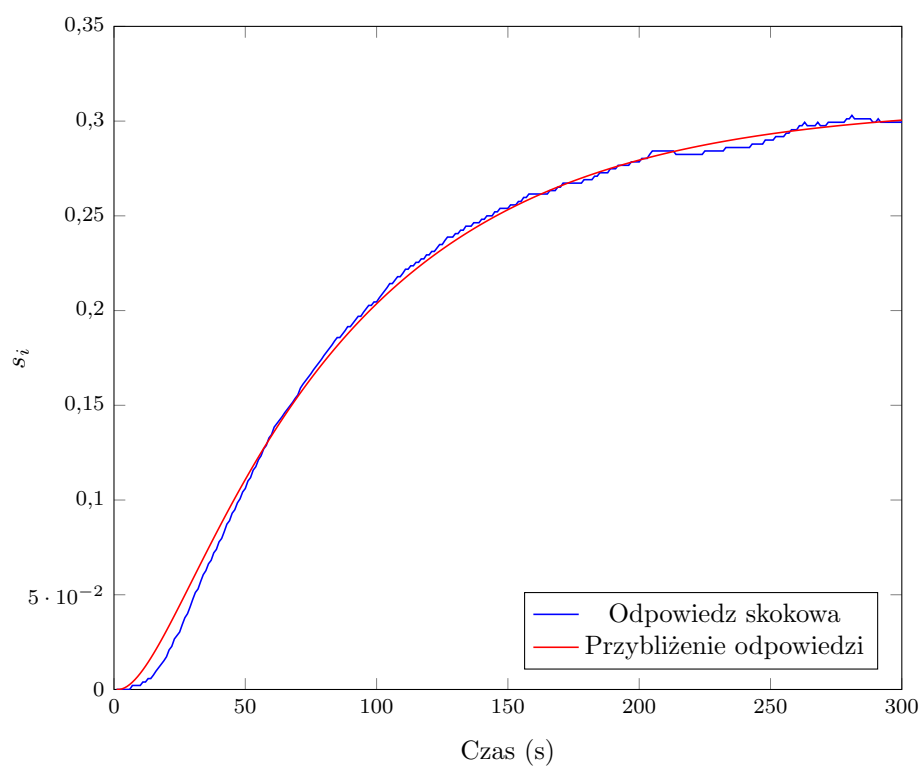
## 2. Przygotowanie do algorytmu DMC

W następnym kroku poczyniliśmy przygotowania do stworzenia algorytmu regulatora DMC dla naszego obiektu. Do tego znormalizowaliśmy odpowiedź skokową otrzymaną w sekcji 1. Aby mieć jak najmniejszy wpływ zakłóceń na odpowiedź wykorzystaliśmy do tego odpowiedź z najwyższym skokiem sterowania, czyli skokiem do wartości  $U = 60$ . Został on przesunięty o wartość w chwili  $k = 0$ , oraz znormalizowany poprzez podzielenie przez wartość skoku ( $60 - 27$ ). Efektem była odpowiedź zaprezentowana na wykresie 2.1. Następnie została ona przybliżona funkcją dwuinercyjną z opóźnieniem. Użyty został do tego algorytm **GA**. Przybliżenie polegało na dobraniu parametrów równania ogólnego obiektu dwuinercyjnego z opóźnieniem —  $T_D$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ , oraz  $K$ . Wspomniane równanie, w dziedzinie czasu dyskretnego, wygląda następująco:

$$y(k) = b_1 u(k - T_D - 1) + b_2 u(k - T_D - 2) - a_1 y(k - 1) - a_2 y(k - 2) \quad (2.1)$$

gdzie

$$\begin{aligned} a_1 &= -e^{-\frac{1}{T_1}} - e^{-\frac{1}{T_2}} \\ a_2 &= e^{-\frac{1}{T_1}} e^{-\frac{1}{T_2}} \\ b_1 &= \frac{K}{T_1 - T_2} [T_1(1 - e^{-\frac{1}{T_1}}) - T_2(1 - e^{-\frac{1}{T_2}})] \\ b_2 &= \frac{K}{T_1 - T_2} [e^{-\frac{1}{T_1}} T_2(1 - e^{-\frac{1}{T_2}}) - e^{-\frac{1}{T_2}} T_1(1 - e^{-\frac{1}{T_1}})] \end{aligned} \quad (2.2)$$



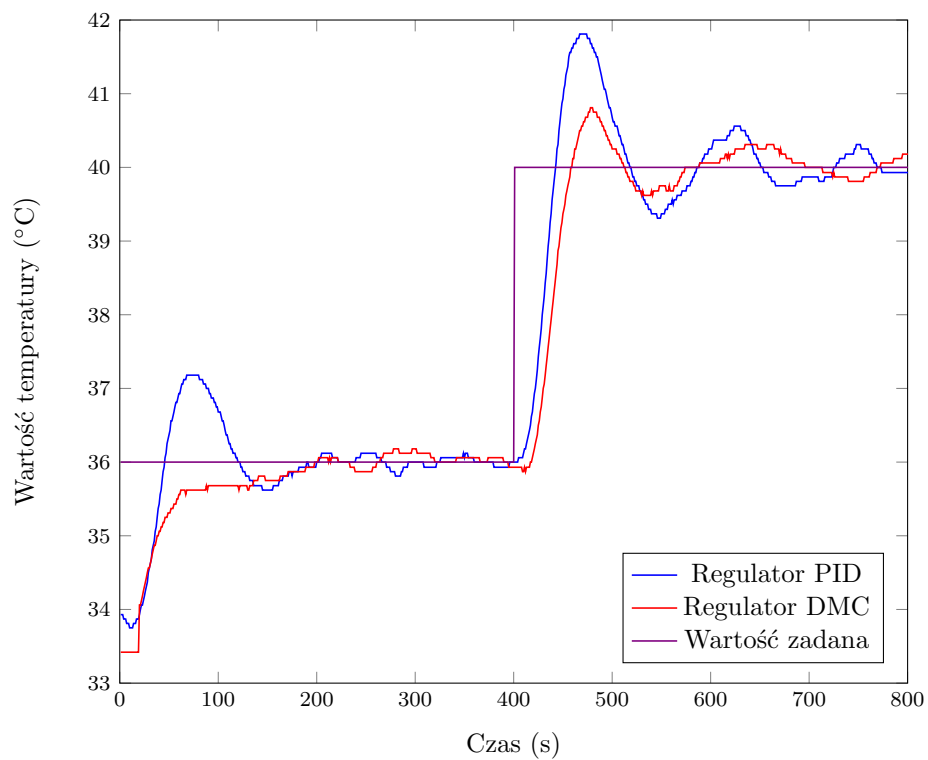
Rys. 2.1. Odpowiedź znormalizowana, oraz jej przybliżenie.

### 3. Regulacja DMC i PID

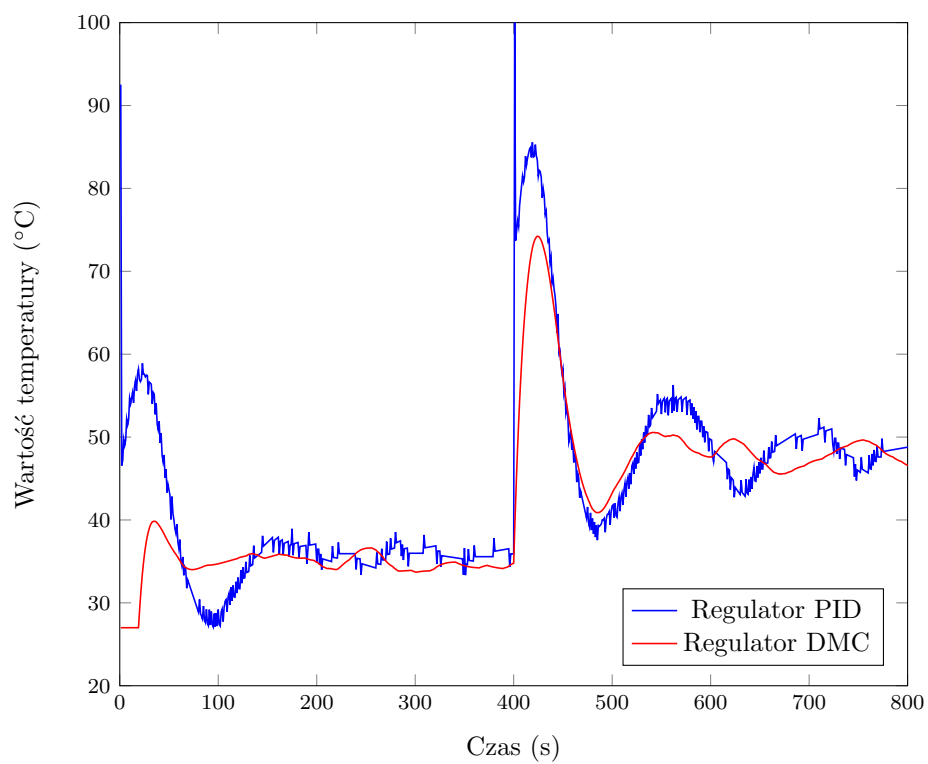
Na koniec laboratorium przygotowaliśmy dwa algorytmy regulacji. Algorytm PID, oraz algorytm DMC w wersji analitycznej, a następnie sprawdziliśmy zachowanie obiektu dla tych algorytmów. Przy algorytmach uwzględnione zostało ograniczenie na wartość sterowania w granicach  $0 \leq u \leq 100$ . Nastawy dla regulatora PID zostały dobrane eksperymentalnie, na podstawie naszych własnych doświadczeń z regulatorem i obiektem. Pierwsze wybrane nastawy były dla nas zadowalające, więc pozostaliśmy przy nich.

$$K = 9 \quad T_i = 30 \quad T_d = 2,5 \quad (3.1)$$

Dla regulatora DMC, z braku odpowiedniej wiedzy o obiekcie, przyjęliśmy opcję bezpieczną, czyli długości horyzontów predykcji, oraz sterowania równe horyzontowi dynamiki obiektu, oraz parametr  $\lambda = 1$ . Wyniki działania algorytmów ukazuje wykres 3.1, natomiast sterowanie generowane przez regulatory wykres 3.2. Na początku regulator DMC zdaje się działać dużo wolniej niż PID, jednak przy następnym skoku różnica ta już nie jest tak drastyczna, więc prawdopodobnie przy tym pomiarze wystąpiły jakieś zakłócenia, na które nie jest odporny żaden z regulatorów. Uwzględniając taki scenariusz stwierdzamy, iż jakość regulacji regulatora DMC jest lepsza niż regulatora PID. Niestety pomiary nie były dość długie aby dobrze określić jak szybko regulacja kończy oscylacje po drugim kroku, jednak w tym przypadku zdaje się, iż regulator DMC ustabilizuje obiekt szybciej. W celu uniknięcia przeregulowania w regulatorze DMC, mogliśmy zastosować większą wartość lambdy w celu mniej "agresywnego" sterowania, jednakże skutkowałoby to spowolnieniem czasu regulacji. Odwrotnie: w celu jeszcze szybszego działania regulatora DMC moglibyśmy zmniejszyć parametr Lambda, jednakże wiązałoby się to z bardziej agresywnym sterowaniem (w przypadku bardzo małej lambdy, dochodziłoby do osiągnięcia ograniczeń nałożonych na sterowanie grzałki). W momencie przed skokiem możemy zauważyć, że utrzymywanie stałej temperatury obydwu regulatorom wychodzi tak samo dobrze. Ocena jakości sterowania wypada zdecydowanie na korzyść regulatora DMC, które jest dużo spokojniejsze, zmiany są mniej drastyczne i, w przeciwieństwie do regulatora PID, nie dochodzi do ograniczeń. Przy wyliczaniu jakości regulacji jako druga norma odległości między wyjściem obiektu, a odpowiadającą mu wartością zadaną otrzymujemy wyniki:  $E_{PID} = 26.4061$ ,  $E_{DMC} = 27.2064$ . Należy jednocześnie zwrócić uwagę, na fakt że regulator PID startuje z wyższej temperatury, co powoduje, że błąd regulacji będzie zaniżony względem regulatora DMC, startującego z niższej temperatury. Widać, że jakość regulacji regulatora PID zdaje się być nieznacznie lepsza. Reasumując, naszym zdaniem nie jest to różnica, która skłoniła by nas do wybrania regulatora PID nad DMC, biorąc pod uwagę wcześniejsze rozważania.



Rys. 3.1. Działanie algorytmów regulatorów.



Rys. 3.2. Sterowanie generowane przez regulatory.