

**Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych
Politechnika Warszawska**

**Projektowanie układów sterowania
(projekt grupowy)**

Sprawozdanie z laboratorium 3

Kamil Gabryjelski, Paweł Rybak, Paweł Walczak

Warszawa, 2017

Spis treści

1. Wstęp	2
2. Zadanie 1	3
3. Zadanie 2	4
4. Zadanie 3	7
5. Zadanie 4	9
6. Zadanie 5	10
6.1. PID	10
6.2. DMC	10

1. Wstęp

Celem trzeciego laboratorium była implementacja, weryfikacja poprawności działania i dobór parametrów algorytmów regulacji wielowymiarowego procesu laboratoryjnego. W trakcie zajęć zweryfikowaliśmy wiedzę z trzeciego projektu na rzeczywistym obiekcie. Badania dotyczyły procesu o dwóch wejściach i dwóch wyjściach. W tym celu wykorzystane zostało stanowisko w laboratorium CS402. Proces 1 składał się z:

- grzałki G1 (sterowanie),
- czujnika temperatury T1 (sygnał wyjściowy procesu),
- wentylatora W1 (stałe niemierzalne zakłócenie),

natomiast proces 2 składał się z:

- grzałki G2 (sterowanie),
- czujnika T3 (sygnał wyjściowy procesu),
- wentylatora W2 (stałe niemierzalne zakłócenie).

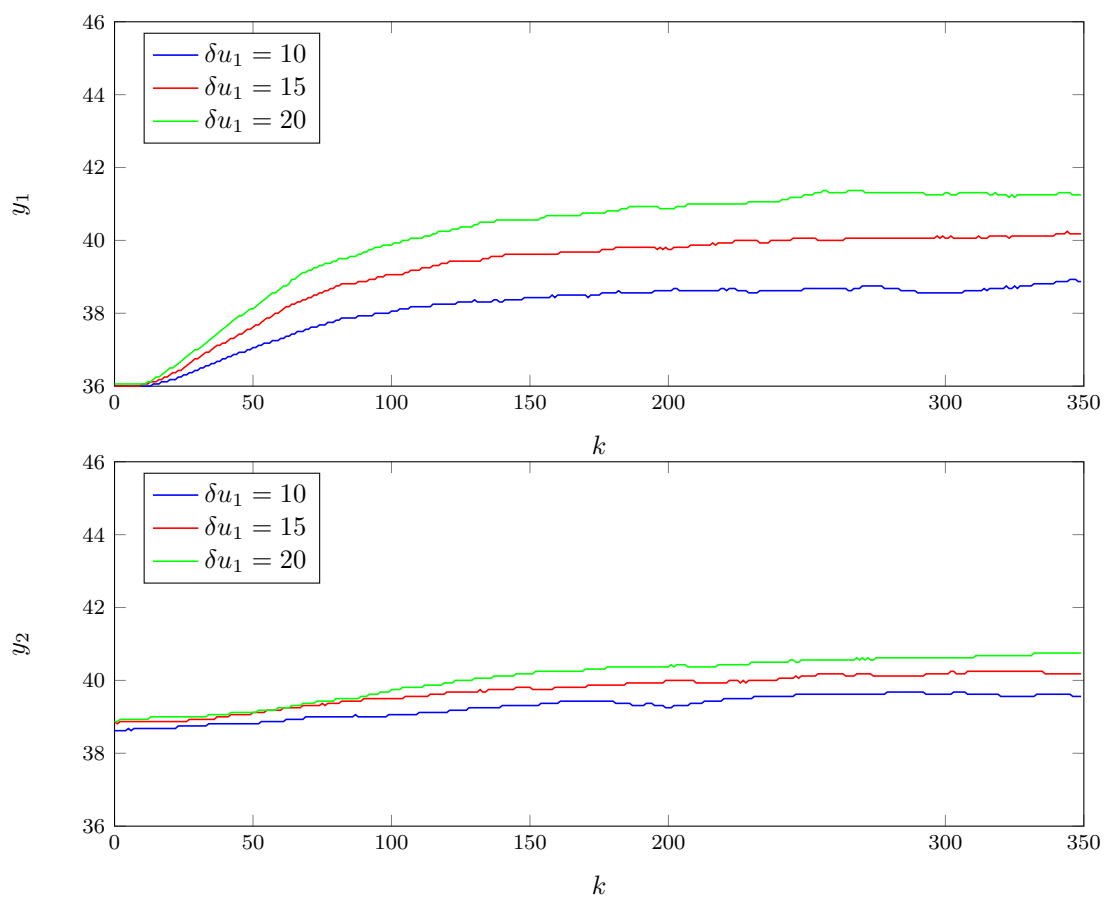
Sygnały sterujące G1 i G2 mogą zmieniać się z w zakresie (0-100%), sygnały wyjściowe to pomiary wykonywane przez czujniki temperatury T1 oraz T2 (temperatura w °C), natomiast wentylatory W1 i W2 należy traktować jako cecha otoczenia – ich użycie pozwala przyspieszyć opadanie temperatury zmierzonej na czujnikach T1 i T2. Sterowanie W1 i W2 musi wynosić 50%. Czas próbkowania jest równy 1s.

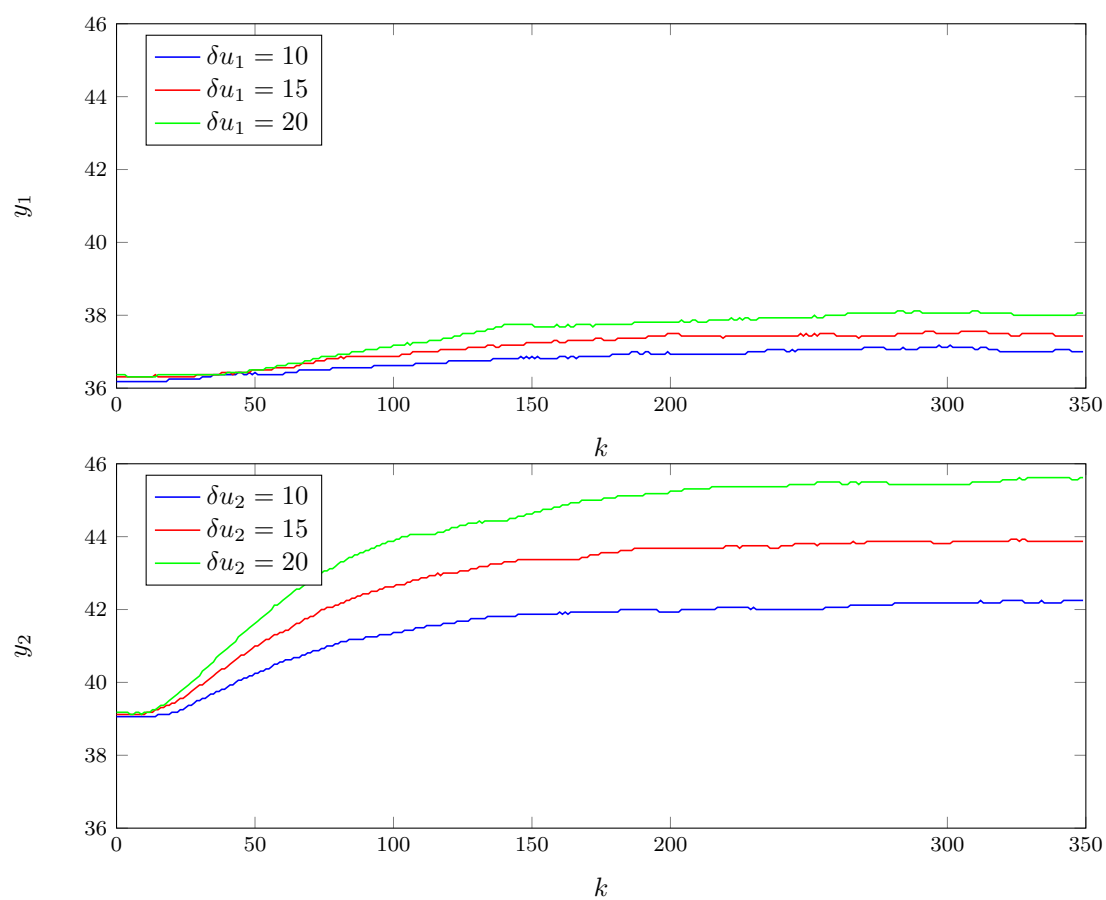
2. Zadanie 1

W pierwszym zadaniu sprawdziliśmy możliwość interakcji ze stanowiskiem. Sprawdziliśmy to wykorzystując gotowe metody `sendControls` oraz `readMeasurements`. Stanowisko reagowało prawidłowo. Następnie sprawdziliśmy wyjścia obiektu w punkcie pracy. Punkt pracy zdefiniowany był wzorem w treści zadania laboratoryjnego i u nas wynosił $U_{pp1} = 27$ oraz $U_{pp2} = 32$. Po odczekaniu odpowiedniej ilości czasu (kilku minut) wnioskujemy, że dla zadanych wartości sterowania, wyjścia obiektu stabilizują się na poziomach $Y_{pp1} = 35.5$, oraz $Y_{pp2} = 37.06$.

3. Zadanie 2

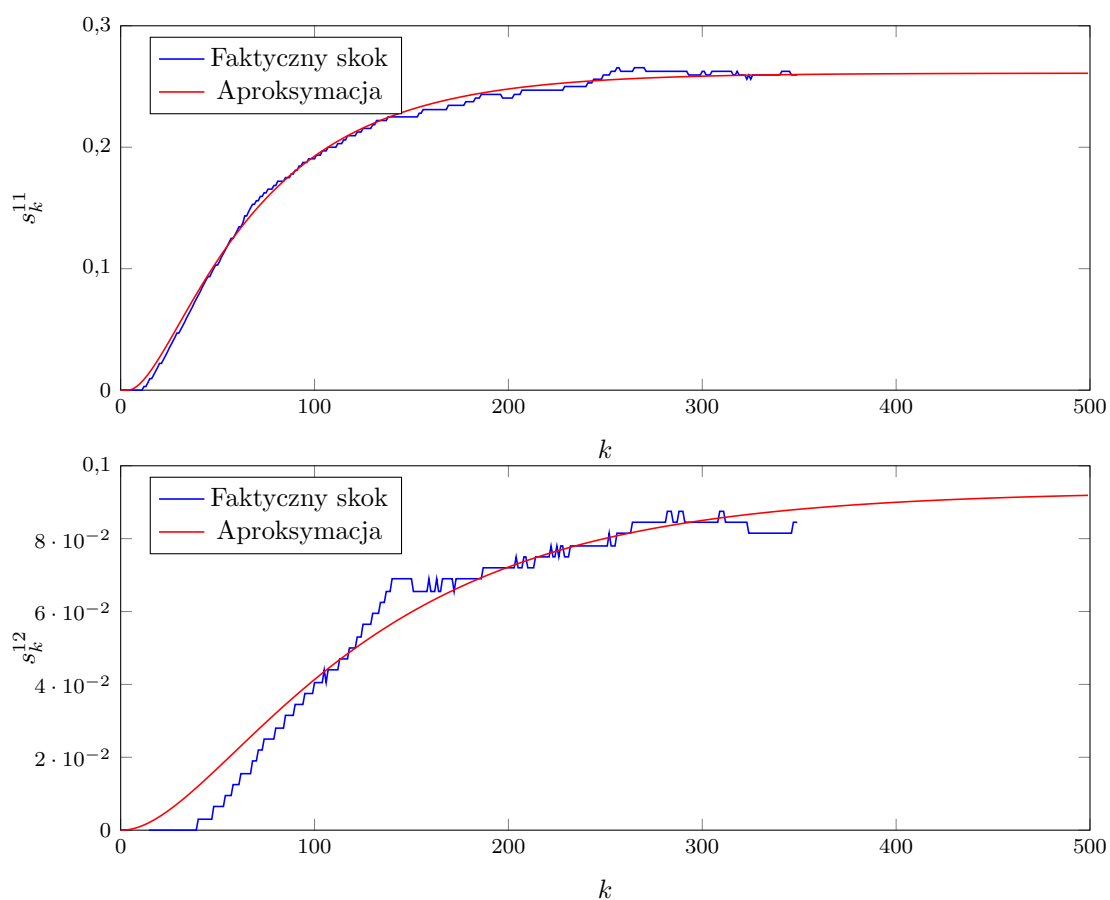
Celem zadania drugiego było wyznaczenie skrośnych odpowiedzi skokowych procesu dla trzech różnych zmian sygnału sterującego G1 rozpoczynając z punktu pracy – pomiar na T3 (lub odwrotnie: sygnał sterujący G2 – pomiar T1). Wykonanie zadania drugiego okazało się wyjątkowo czasochłonne ponieważ trzeba było pozyskać dużą ilość odpowiedzi skokowych. Wiązało się to z naprzemiennymi skokami wartości sterowania oraz sprowadzaniem obiektu do punktu pracy. Ze względu na wolny czas stabilizacji obiektu trwało to dużą ilość czasu, lecz wyciągając wnioski z poprzedniego laboratorium postanowiliśmy szczególną uwagę zwrócić właśnie na pozyskanie odpowiedzi skokowych wysokiej jakości, mając na celu stworzenie dobrego regulatora DMC. Wykonaliśmy skoki sterowań z punktu pracy o odpowiednio 10%, 15% oraz 20%. Polegało to na skoku sterowania na jednej grzałce, podczas gdy druga zachowywała wartość punktu pracy. Analogicznie przeprowadzono potem eksperyment odwrotny: pierwsza grzałka zachowywała wartość punktu pracy, podczas gdy druga grzałka ”otrzymała” skok sterowania. Badaliśmy po skokach sterowania wartości wyjść obiektu. Wzorując się jedynie na otrzymanych wykresach nie moglibyśmy stwierdzić, że obiekt charakteryzuje wzmocnienie statyczne. Musimy jednakże wziąć pod uwagę, że odpowiedzi skrośne charakteryzują się małym wzmocnieniem. Z tego względu duży wpływ na odpowiedź mają wówczas zakłócenia. Jak wiemy z doświadczenia obiekt jest bardzo wrażliwy na zakłócenia, co powoduje że wyniki mogą nie być kompletnie zgodne z wynikami które uzyskalibyśmy w hermetycznym środowisku. Z doświadczeń z obiektem i przeprowadzonych wcześniej licznych eksperymentów na stanowisku, wynikało że obiekt jest liniowy i posiada właściwości statyczne. Przeanalizujmy już same przebiegi. Najpierw na warsztat weźmiemy przebieg $Y2(U1)$. Po skoku sterowania o 10% następuje skok temperatury o około 1°C . Po skoku o 15% następuje skok temperatury o około 1.38°C . Po skoku o 20% wyjście rośnie około 1.88°C . Jest to zależność prawie liniowa, o wzmocnieniu statycznym około $1,88/20 = 0.094$. Zajmijmy się teraz drugim torem $Y2(U1)$. Po skoku sterowania o 10% następuje skok temperatury o około 0.82°C . Niestety zgubiliśmy dane na temat skoku sterowania o 15%. Po skoku o 20% wyjście rośnie około 1.63°C . Jest to zależność praktycznie liniowa, o wzmocnieniu statycznym około $1,63/20 = 0.0815$. Biorąc to pod uwagę, możemy z pewną małą dozą niepewności ustalić że obiekt ma właściwości statyczne (proporcjonalny skok wartości wyjścia do skoku wartości sterowania). Wzmocnienie statyczne toru $Y2(U1) = 0.094$, zaś toru $Y1(U2) = 0.0815$.

Rys. 3.1. Wpływ skoków sterowania u_1 na wyjścia.

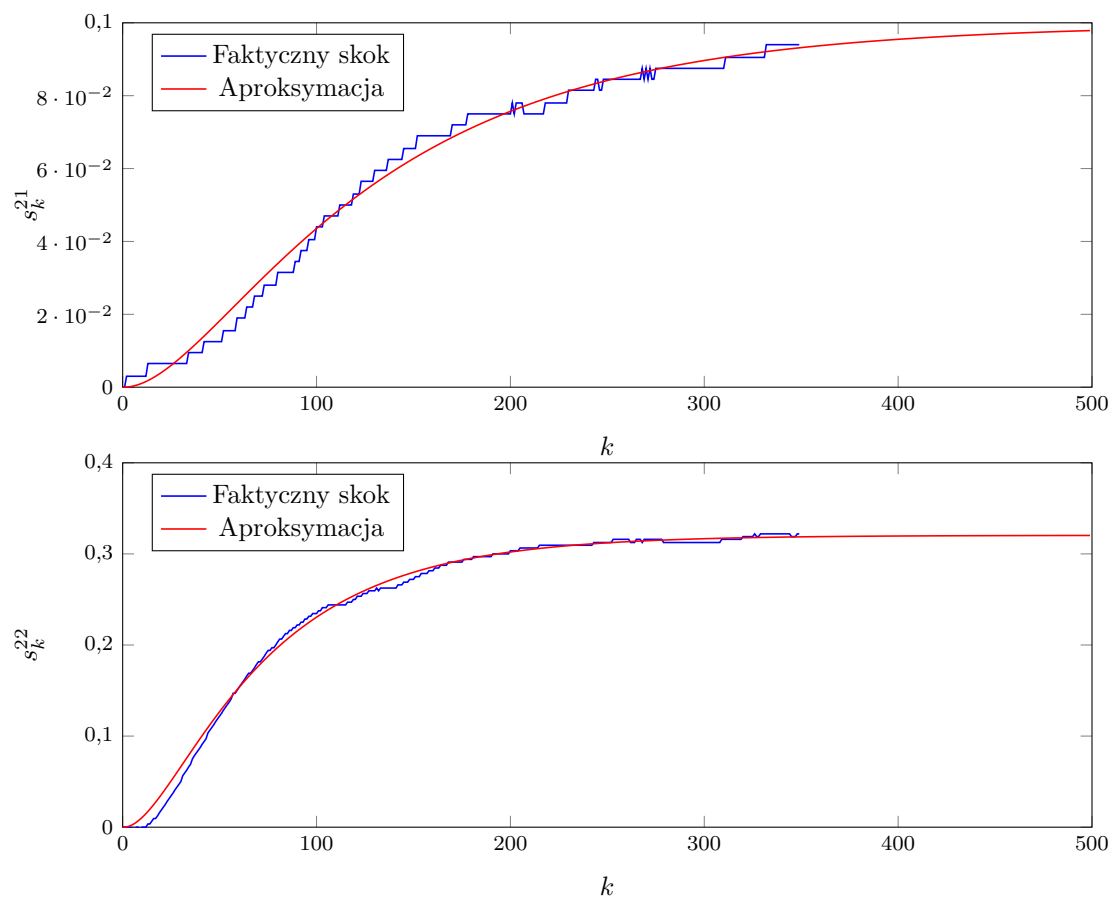
Rys. 3.2. Wpływ skoków sterowania u_2 na wyjścia.

4. Zadanie 3

Celem zadania było przekształcenie wybranych odpowiedzi skokowych w taki sposób, aby otrzymać odpowiedzi skokowe wykorzystywane w algorytmie DMC. Wybraliśmy odpowiedzi skokowe, o największych skokach sterowania co pozwoliło na zniwelowanie względnego wpływu zakłóceń na wyjście obiektu. Do aproksymacji użyliśmy napisanych przez nas skryptów, wykorzystanych i przetestowanych na poprzednich projektach oraz laboratoriach. Opierał się on na wykorzystaniu wbudowanego w Matlabie algorytmu GA (**Genetic Algorithm**). Użyto w nich członu inercyjnego drugiego rzędu z opóźnieniem. Ciekawostką jest, że algorytm dawał różne aproksymacje dla tej samej odpowiedzi skokowej. Wynika to z niedeterministycznego charakteru algorytmów ewolucyjnych. Niestety zebrane odpowiedzi skokowe okazały się być zbyt krótkie, więc pozwoliliśmy sobie wydłużyć zaproksymowane funkcje. Uważamy, że przedstawione poniżej aproksymacje, dobrze przybliżają kształt odpowiedzi skokowych. Spodziewamy się zatem mniejszych problemów z regulacją niż na poprzednim laboratorium.



Rys. 4.1. Znormalizowane odpowiedzi na skok sterowania u_1 .

Rys. 4.2. Znormalizowane odpowiedzi na skok sterowania u_2 .

5. Zadanie 4

Celem zadania czwartego było napisanie w języku **MATLAB** programów do regulacji cyfrowego algorytmu PID oraz algorytmu DMC w wersji analitycznej. Należało również uwzględnić wartości ograniczeń wartości sygnałów sterujących. Wykorzystaliśmy oczywiście skrypty napisane dla projektu trzeciego. Zmodyfikowaliśmy skrypty tak aby współpracowały (komunikowały się) z obecnym zestawieniem stanowiska. Chcielibyśmy nadmienić, że w projekcie użyliśmy również przesuwania punktu pracy, co pozwoliło na jak się później okaże bardzo dobrą regulację. Dzięki wiedzy pozyskanej na laboratorium zrozumieliśmy ideę przesuwania punktu pracy.

6. Zadanie 5

Celem zadanie piątego było dobranie nastaw algorytmów PID i DMC metodą eksperymentalną, tak aby jak najlepiej reagowały na zmiany wartości zadanych. Jakość regulacji ocenialiśmy jakościowo (na podstawie rysunków przebiegów sygnałów), oraz ilościowo, wyznaczając wskaźniki jakości regulacji. Wykonaliśmy takie same skoki sterowania zarówno dla regulatora PID jak i DMC, tak aby w miarę możliwości móc porównać jakość regulacji obu regulatorów.

6.1. PID

Podczas realizacji tego zadania dokonaliśmy pewnego wnioskowania. Jako że dla stanowiska w laboratorium, oba tory (mamy na myśli obie grzałki i odpowiednie czujniki temperatury) są identyczne, identyczne mogą również być nastawy obu regulatorów. Przyjęliśmy zatem, że ustalimy takie same nastawy dla obu procesów. Niestety porównanie działania regulatorów dla różnych nastaw było trudne i może okazać się błędne ze względu na problemy ze sprowadzeniem obiektu do punktu pracy. Skoki sterowania jakie przyjęliśmy to od punktu pracy w chwili $k = 1$ do $Y1 = Y2 = 38$, następnie w chwili $k = 201$ do $k = 500$ do $Y1 = Y2 = 41$. Najpierw zajęliśmy się dostrajaniem regulatora PID. Rozpoczęliśmy od nastaw:

$$K_p = 6, \quad T_d = 60, \quad T_i = 1. \quad (6.1)$$

Oceniając wizualne aspekty (wykres regulacji) można stwierdzić, że regulacja jest słabej jakości. Występują silne oscylacje oraz przeregulowania. Błąd ilościowy liczony jako norma Euklidesowa $E = E1 + E2 = 22.4896 + 19.5898 = 42.0794$. Następnie dobraliśmy nastawy

$$K_p = 5, \quad T_d = 30, \quad T_i = 2.5. \quad (6.2)$$

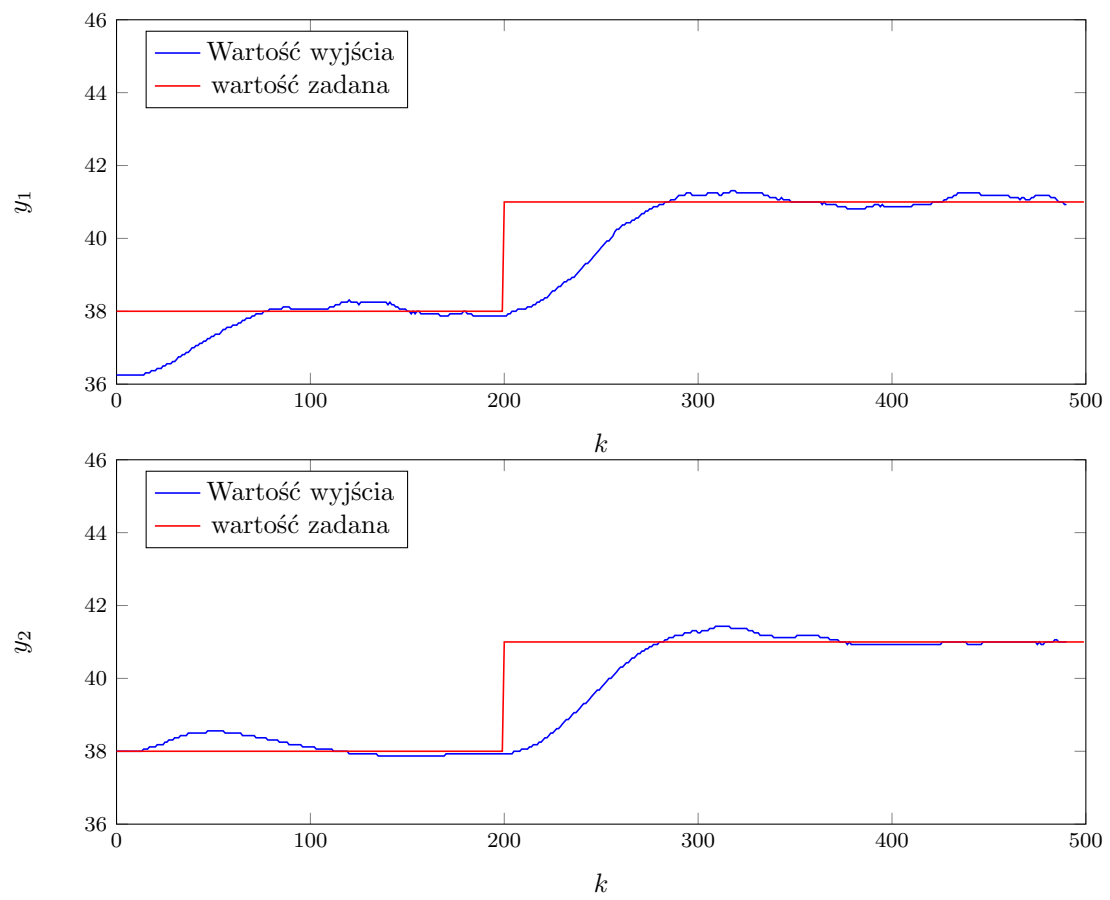
Tutaj widzimy już znaczną poprawę oceniając przebiegi. Nie występują silne oscylacje. Jednakże widzimy, że regulator nie zdążył w 200 iteracjach osiągnąć wartości zadanej 28. Błąd ilościowy liczony jako norma Euklidesowa $E = 30.5004 + 30.9701 = 61.4704$. Nie możemy jednakże jednoznacznie porównać obu nastaw regulatorów. Okazało się, że startują one z zupełnie różnych punktów startowych (różniących się o około 2 stopnie) co bardzo mocno przekłamuje ilościowe wyniki.

6.2. DMC

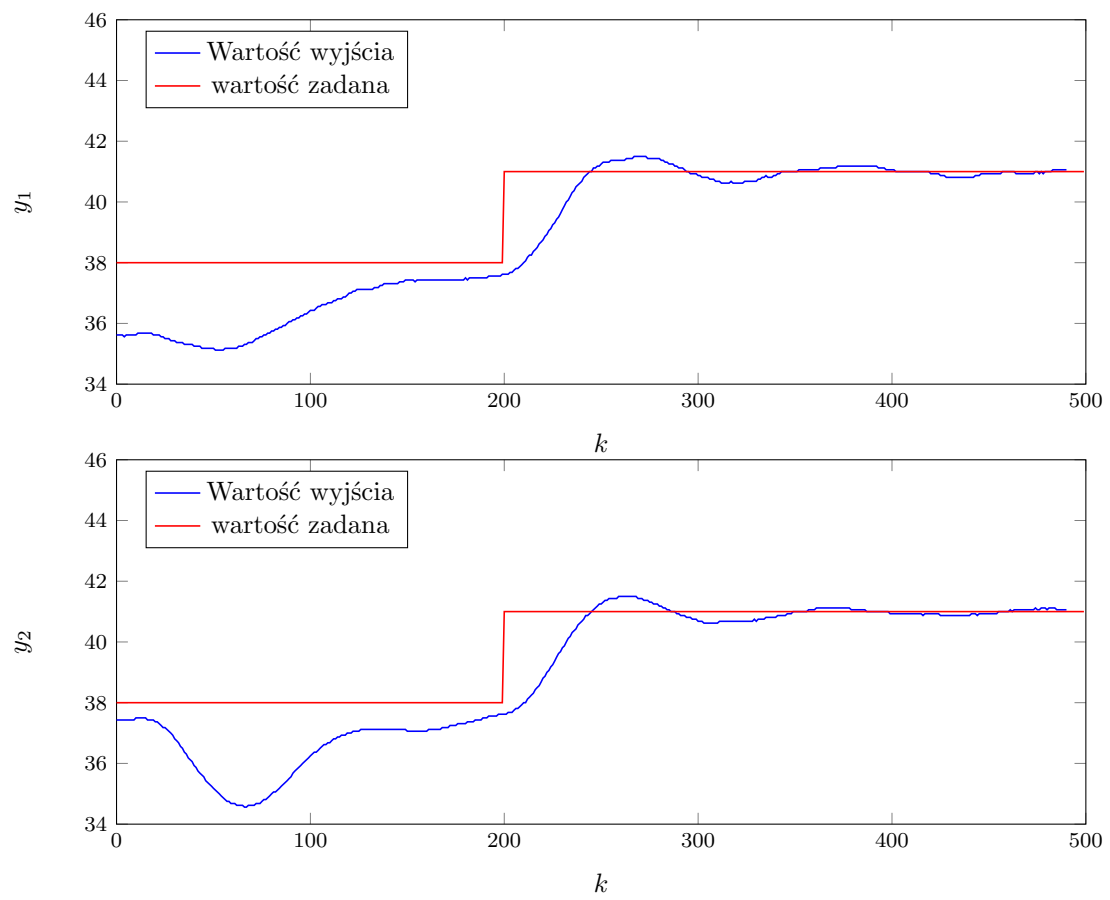
Na początku dla regulatora DMC dobraliśmy nastawy

$$\lambda = 10, \quad N = 25, \quad N_u = 250 \quad (6.3)$$

Przebiegi wartości oceniamy bardzo dobrze. Sterowanie nie „szarpie”, jest dzięki dużej wartości λ bardzo płynne. Błąd liczony jako norma euklidesowa to $E = E1 + E2 = 109.4128 + 109.8898 = 219.3026$. Stwierdziliśmy, że wypróbujemy również regulator o mniejszej wartości współczynnika λ , która powinna spowodować szybszą regulację kosztem agresywniejszego sterowania. Sterowanie rzeczywiście stało się bardziej agresywne. Błąd liczony jako norma euklidesowa to $E = E1 + E2 = 109.2459 + 108.9113 = 218.1572$. Uzyskaliśmy minimalnie lepszą jakość regulacji. Nie możemy jednak dokładnie tego porównać, ponieważ mimo prób sprowadzenia obiektu do punktu pracy, startowały one z nieco innych punktów.



Rys. 6.1. DMC.



Rys. 6.2. PID.