

Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych
Politechnika Warszawska

Projektowanie układów sterowania
(projekt grupowy)

Sprawozdanie z projektu i ćwiczenia laboratoryjnego
nr 1, zadanie nr 2

Eva Reszka, Mateusz Roszkowski, Dominika Zając

Warszawa, 2021

Spis treści

1. Wstęp	2
2. Projekt	3
2.1. Sprawdzenie poprawności wartości punktu pracy	3
2.2. Odpowiedzi skokowe procesu	3
2.3. Odpowiedź skokowa w algorytmie DMC	4
2.4. Algorytm PID	5
2.5. Algorytm DMC	11
3. Ćwiczenie laboratoryjne	13
3.1. Przygotowanie do wykonania ćwiczenia	13
3.2. Wyznaczenie odpowiedzi skokowych procesu	13
3.3. Algorytm DMC	14

1. Wstęp

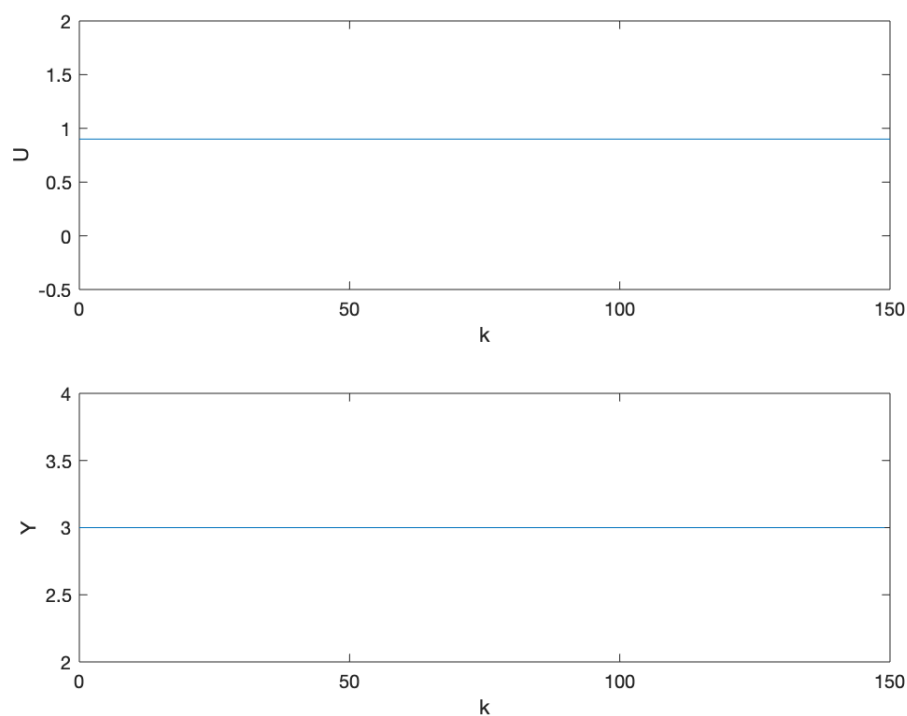
Celem projektu oraz ćwiczenia laboratoryjnego jest implementacja algorytmów PID oraz DMC???????????

2. Projekt

Implementacja projektu znajduje się w pliku `pust_projekt1.mlx`.

2.1. Sprawdzenie poprawności wartości punktu pracy

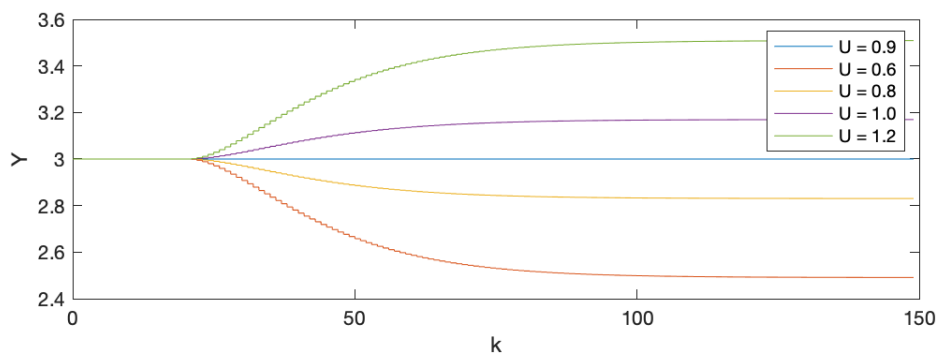
Symulowane wartości są stałe oraz zgodne z punktem pracy (U_{pp} , V_{pp}).



Rys. 2.1. Wartość zadana i wyjście w punkcie pracy

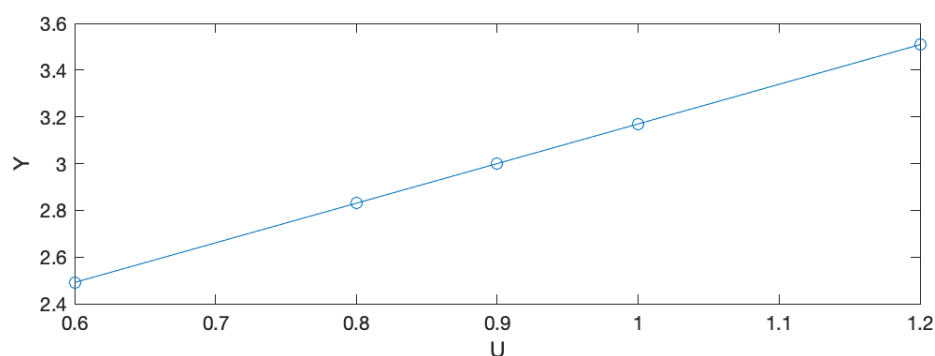
2.2. Odpowiedzi skokowe procesu

Obiekt został pobudzony 4 różnymi sygnałami mieszczącymi się w zakresie $[U_{min}, U_{max}]$. Zmiana sygnału z U_{pp} nastąpiła w chwili $k = 11$.



Rys. 2.2. Odpowiedzi skokowe procesu

Na Rys. 2.3. naniesione zostały punkty (U, Y) dla każdego symulowanego pobudzenia. Dopasowana prosta potwierdza właściwości liniowe charakterystyki statycznej.



Rys. 2.3. Charakterystyka statyczna

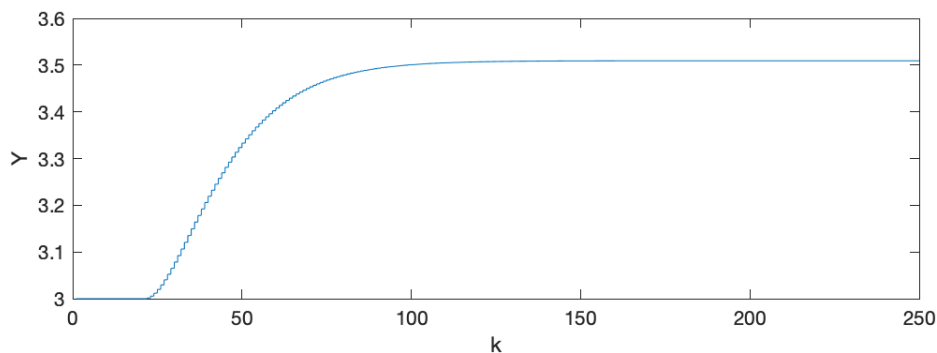
Wzmocnienie statyczne wyznaczone jest jako współczynnik kierunkowy charakterystyki 2.3.

$$K_{stat} = 1.6966$$

2.3. Odpowiedź skokowa w algorytmie DMC

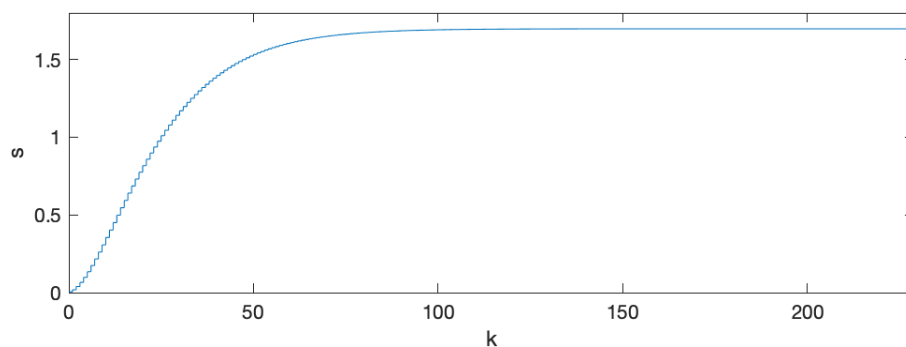
W celu wyznaczenia liczb s_1, s_2, s_3, \dots wykorzystana została odpowiedź skokowa dla pobudzenia $U = 1.2$. Jej przekształcenie przebiegło zgodnie ze wzorem:

$$S_i = \frac{S_i^0 - Y_{pp}}{\Delta U}, i = 1, 2, 3, \dots$$



Rys. 2.4. Odpowiedź skokowa przed przekształceniem

Pierwsza zmiana widoczna jest dla $k = 21$, natomiast ostatnia dla $k = 135$ (dokładność 0.001), co daje parametr $D = 114$.



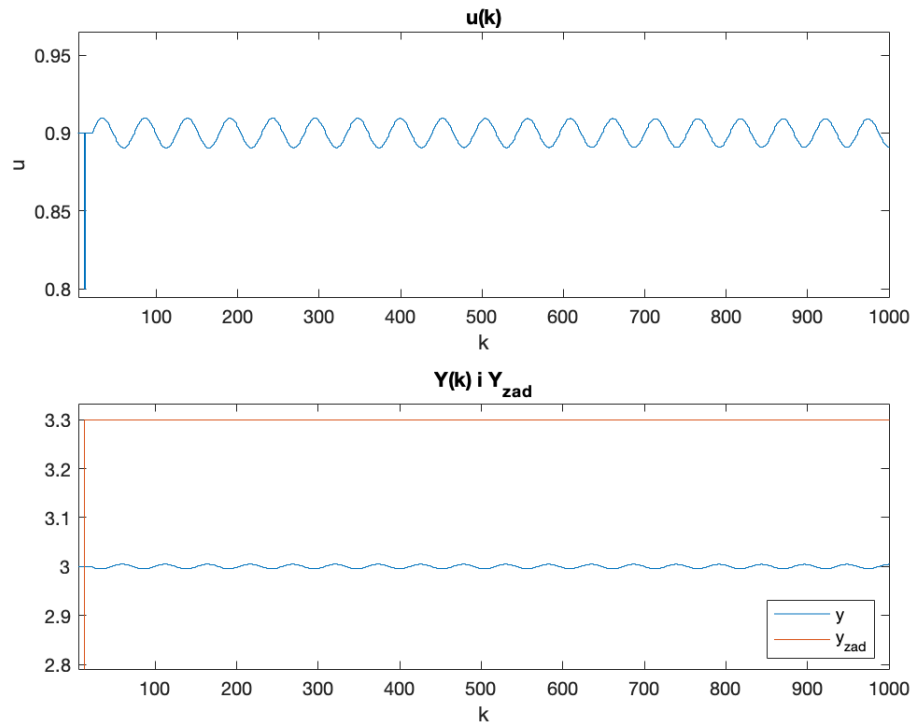
Rys. 2.5. Odpowiedź skokowa po przekształceniu

2.4. Algorytm PID

Do wyznaczenia nastaw regulatora PID wykorzystano metodę Zieglera-Nicholsa. Rozpoczęto od doboru członu proporcjonalnego - człony całkujący ustawiono na $T_i = \infty$, a różniczkujący $T_d = 0$. Stopniowo zwiększano wzmocnienie K , aby znaleźć taką jego wartość, która wywoła niegasnące oscylacje.

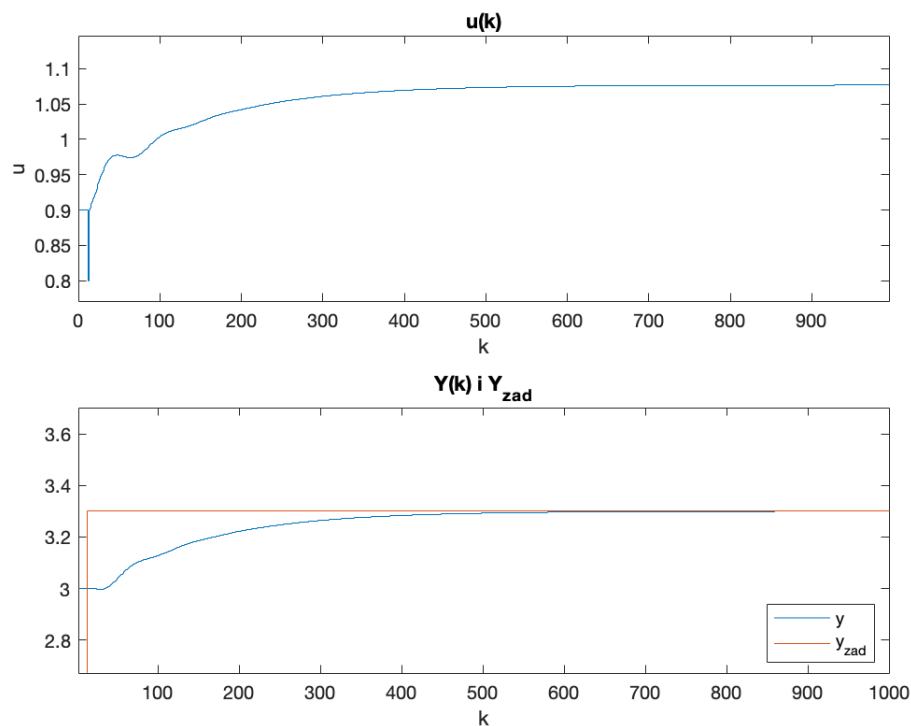
Tab. 2.1. Reguły Zieglera-Nicholsa (Z-N) wg cech przebiegu krytycznego (1942 r.)

Regulator	K	T_i	T_d
P	$0,5K_{kr}$	∞	0
PI	$0,45K_{kr}$	$T_{kr}/1,2$	0
PID	$0,6K_{kr}$	$0,5T_{kr}$	$0,125T_{kr}$

Rys. 2.6. Wyznaczenie K krytycznego

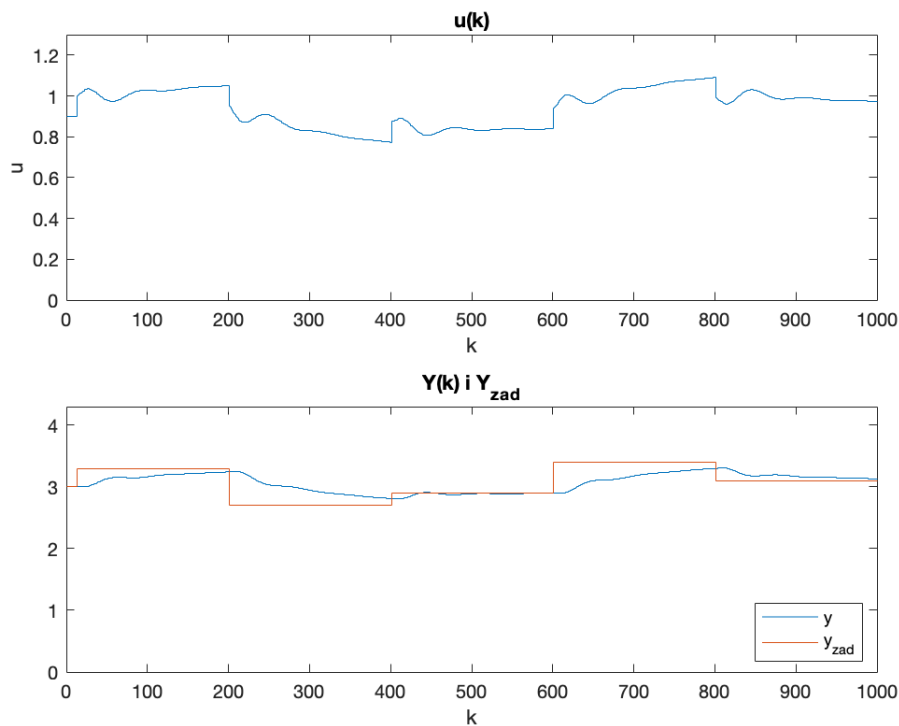
Niegasnące oscylacje wystąpiły dla wartości wzmocnienia $K_{kr} = 2,02$ (Rys. 2.6). Dla takiego wzmocnienia odczytano z przebiegu sygnału sterującego okres krytyczny $T_{kr} = 138 - 86 = 52$.

Następnie obliczone zostały nastawy dla regulatora PI - zgodnie z tabelą 2.1. Zatem $K = 0,909$, $T_i = 43, (3)$ i $T_d = 0$.



Rys. 2.7. Regulator PI

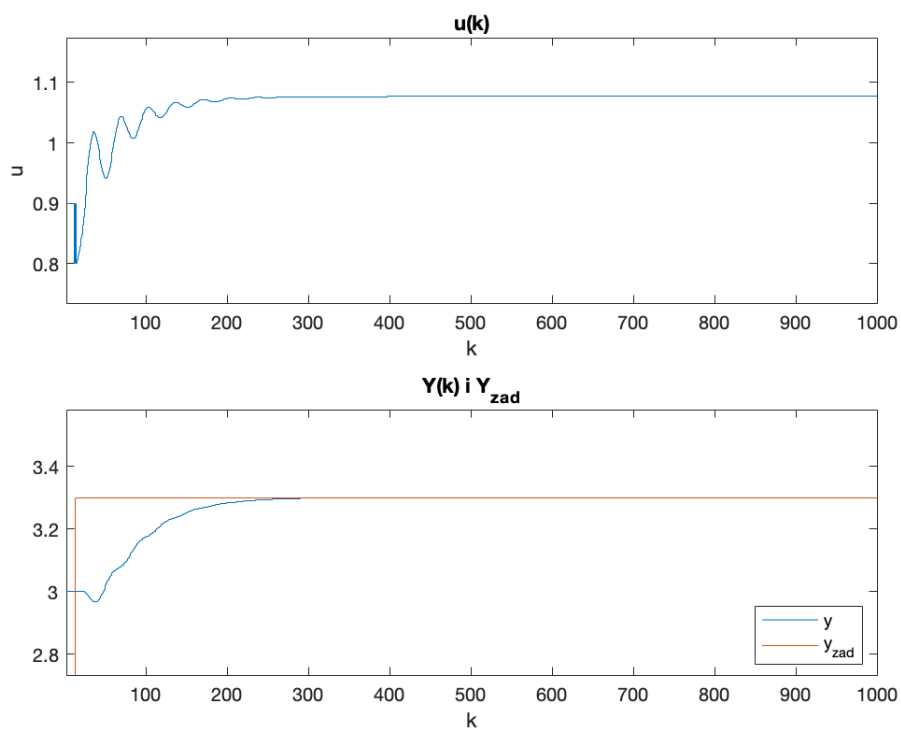
Regulator PI jest stabilny, ale działa zdecydowanie za wolno (Rys. 2.7) - osiąga zadaną wartość dopiero dla $k = 600$. Wskaźnik jakości regulacji przyjął wartość $E = 16.1925$.



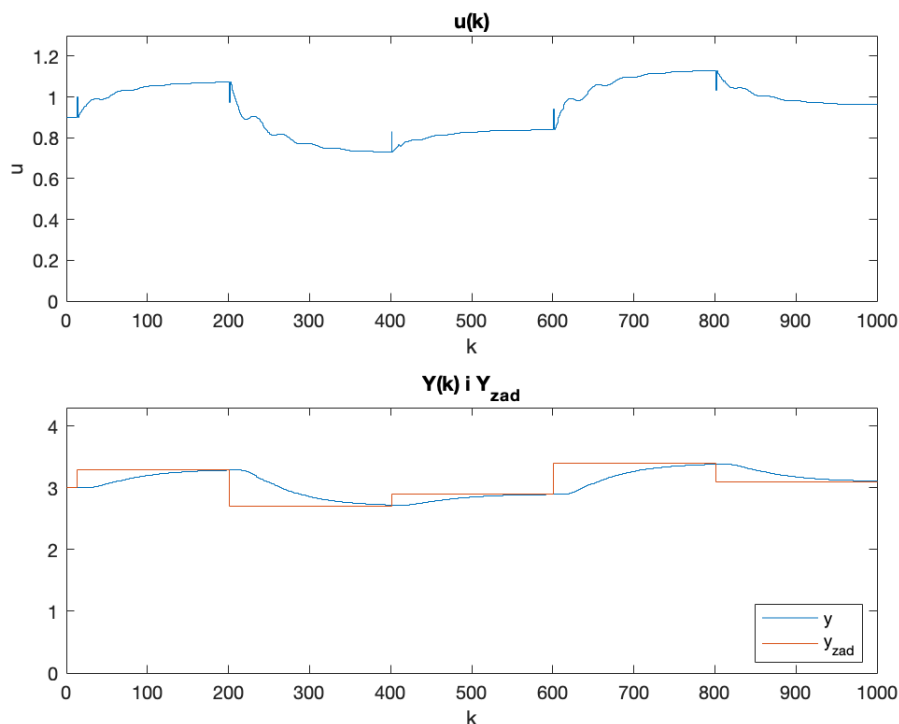
Rys. 2.8. Regulator PI - skoki

Przy szybszych zmianach Y_{zad} widać, że regulator PI jest za wolny, aby za nimi nadążyć (Rys. 2.8).

Następnie wyznaczono nastawy dla regulatora PID, ponownie wg. tabeli 2.1. Ich wartości to $K = 1,212$, $T_i = 26$ i $T_d = 6,5$.



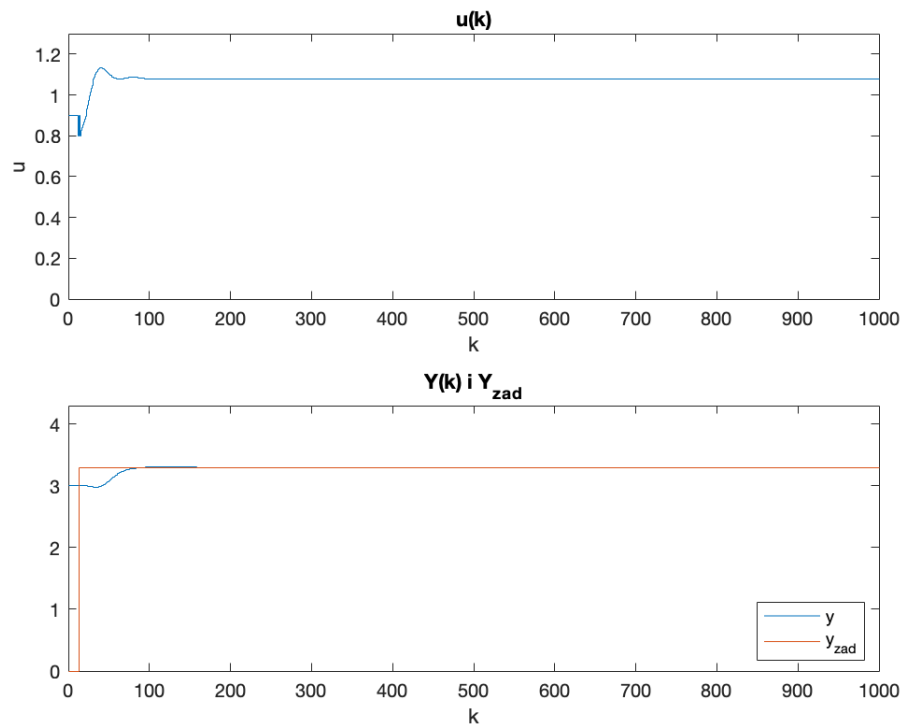
Rys. 2.9. Niedostrojony regulator PID



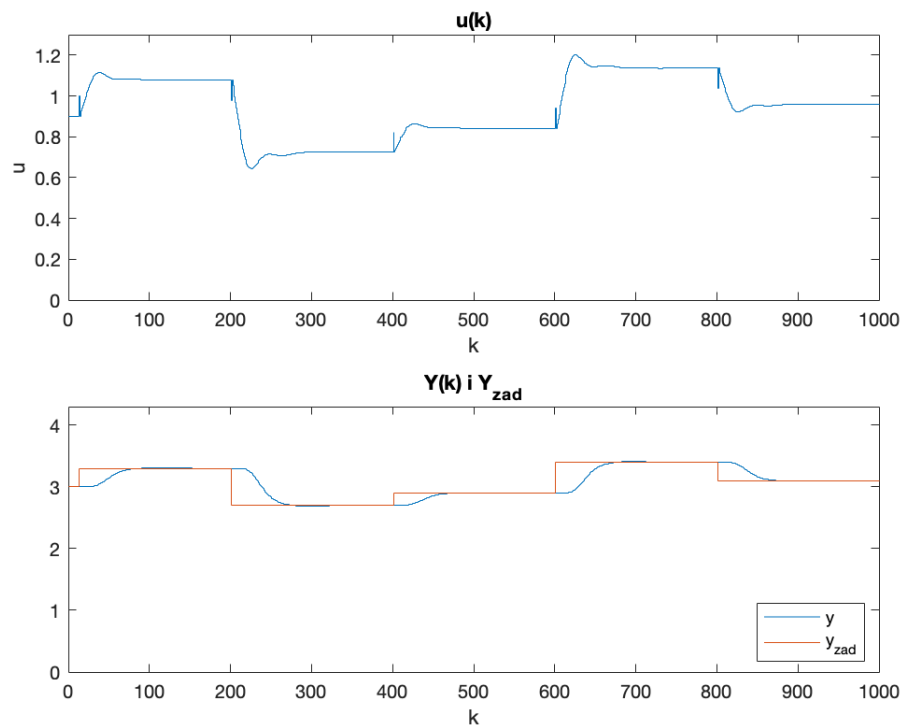
Rys. 2.10. Niedostrojony regulator PID - skoki

Dla nastaw obliczonych na podstawie tabeli 2.1 podczas regulacji występowały oscylacje (Rys. 2.9). Mimo to działał on szybciej niż regulator PI (Rys. 2.10). Wskaźnik jakości regulacji zmalał - dla niedostrojonego regulatora PID jego wartość to $E = 15.0852$. Regulator dostrojono metodą eksperymentalną.

Ostateczne nastawy regulatora miały wartości $K = 1, 1$, $T_i = 12$ i $T_d = 4$. Wskaźnik jakości regulacji potwierdza, że są to najbardziej optymalne nastawy - przyjął najmniejszą dotychczas wartość $E = 12.6853$. Przebiegi sygnału sterującego i wartości wyjściowej przedstawiono na wykresach 2.11 i 2.12.



Rys. 2.11. Dostrojony regulator PID



Rys. 2.12. Dostrojony regulator PID - skoki

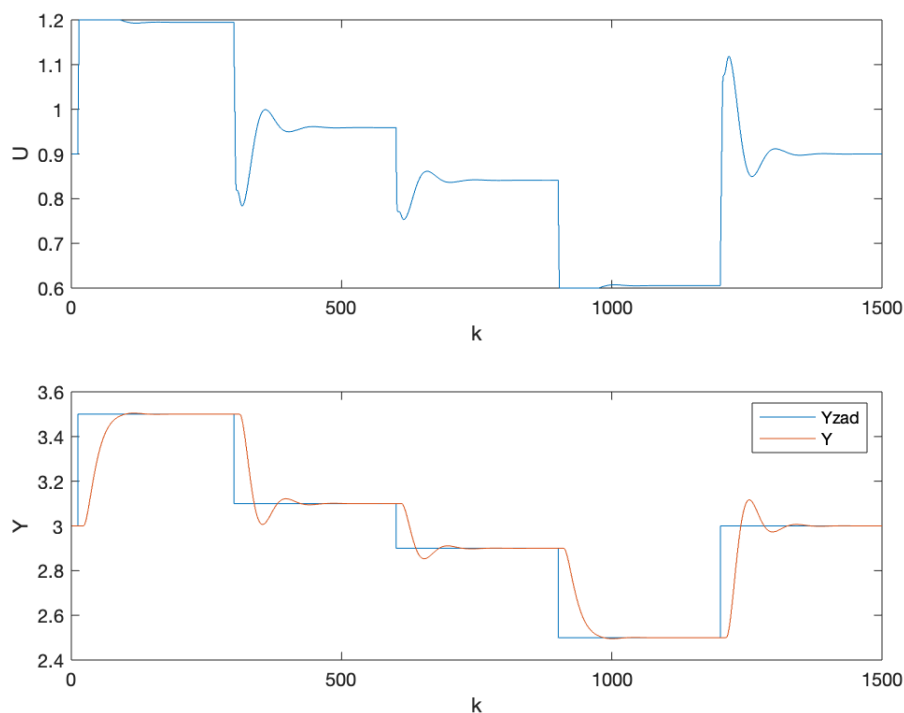
2.5. Algorytm DMC

Implementacja algorytmu DMC znajduje się w pliku `pro_dmc.m`.

Parametry dobrane eksperymentalnie wynoszą $\lambda = 10$, $N = 40$, $Nu = 1$.

Przy doborze brana była pod uwagę wartość wskaźnika jakości regulacji E oraz przeregulowanie i opóźnienie widoczne na rysunkach.

$$E = 21.007$$

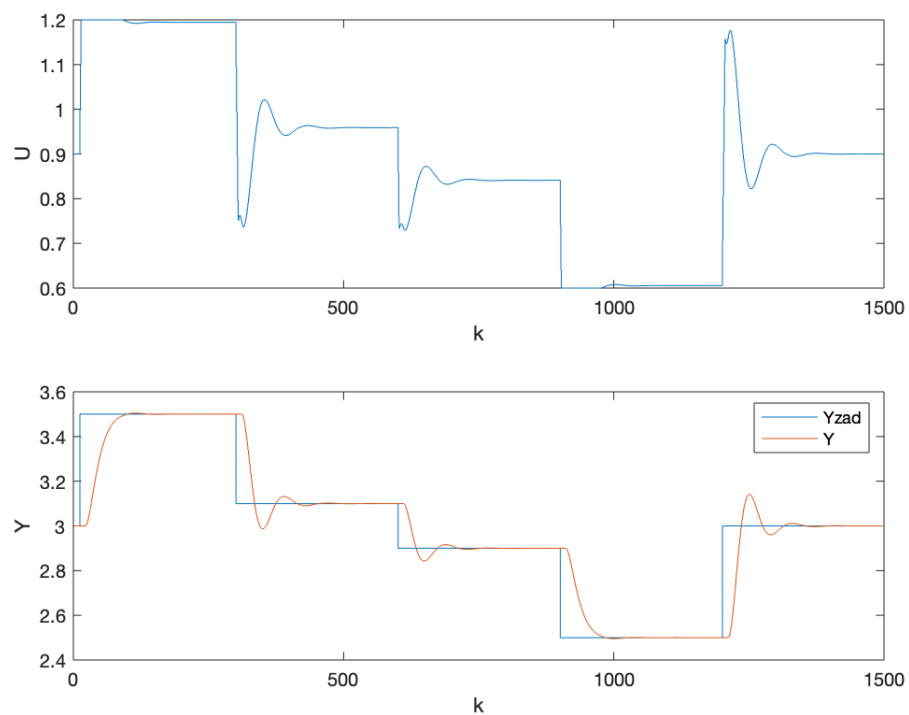


Rys. 2.13. Regulator DMC - parametry dopasowane eksperymentalnie

W celu zwiększenia jakości regulacji została wykorzystana optymalizacja parametrów regulatora. Implementacja znajduje się w pliku `pro_dmc_opt.m`.

Wykorzystany został algorytm genetyczny z pakietu Global Optimization Toolbox. Parametry zostały dobrane zgodnie z ograniczeniami regulatora DMC. Zwiększenie rozmiaru populacji ponad $P = 20$ nie spowodowało zmiany wyniku na lepszy, a jedynie zwiększyło nakład obliczeniowy.

$$E = 20.889$$



Rys. 2.14. Regulator DMC - parametry optymalizowane

Wynik optymalizacji dla algorytmu DMC jest nieznacznie lepszy od wersji z parametrami wyznaczonymi eksperymentalnie. Wartość wskaźnika jakości regulacji zmniejszyła się o mniej niż 1%.

3. Ćwiczenie laboratoryjne

Można napisać o tym, że realizowane w MATLABie i jakie oznaczenia mają jakie rzeczy (W1 ma index 1, G1 jaki index i T1 jaki index)

3.1. Przygotowanie do wykonania ćwiczenia

Przed rozpoczęciem pomiarów sprawdzono możliwość sterowania i pomiaru w komunikacji ze stanowiskiem. Punkt pracy grzałki $G1$ dla zespołu obliczony został wg. wzoru 3.1:

$$G1 = 25 + Z\%5 \quad (3.1)$$

gdzie Z to numer zespołu, zatem dla naszego zespołu Z02 punkt pracy wynosi:

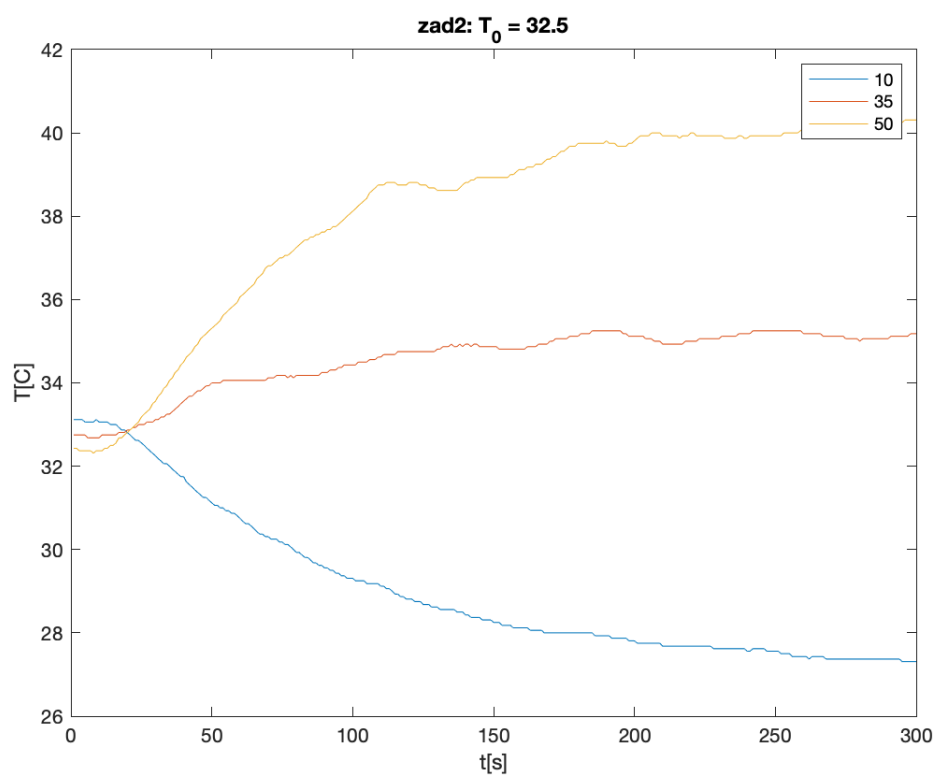
$$G1 = 25 + 2\%5 = 27 \quad (3.2)$$

Następnie określono wartość pomiaru temperatury $T1$ dla obliczonego punktu pracy. W tym celu moc wentylatora $W1$ ustawiono na 50%, a moc grzałki $G1$ na 27%, za pomocą funkcji `sendControls([1,5], [50,27])`. Wartość pomiaru temperatury odczytano korzystając z funkcji `readMeasurements(1)`. Temperatura $T1$ ustabilizowała się na wartości **32.25°C**

3.2. Wyznaczenie odpowiedzi skokowych procesu

Zarejestrowano przebieg temperatury $T1$ dla trzech różnych zmian sygnału sterującego $G1$ rozpoczynając z punktu pracy (27%) do 10%, 35% i 50%. Otrzymane przebiegi zmian przedstawiono na Rys. 3.1.

Czy właściwości statyczne obiektu można określić jako (w przybliżeniu) liniowe? Jeśli tak wyznaczyć wzmocnienie statyczne procesu?



Rys. 3.1. Odpowiedzi skokowe procesu

3.3. Algorytm DMC