

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

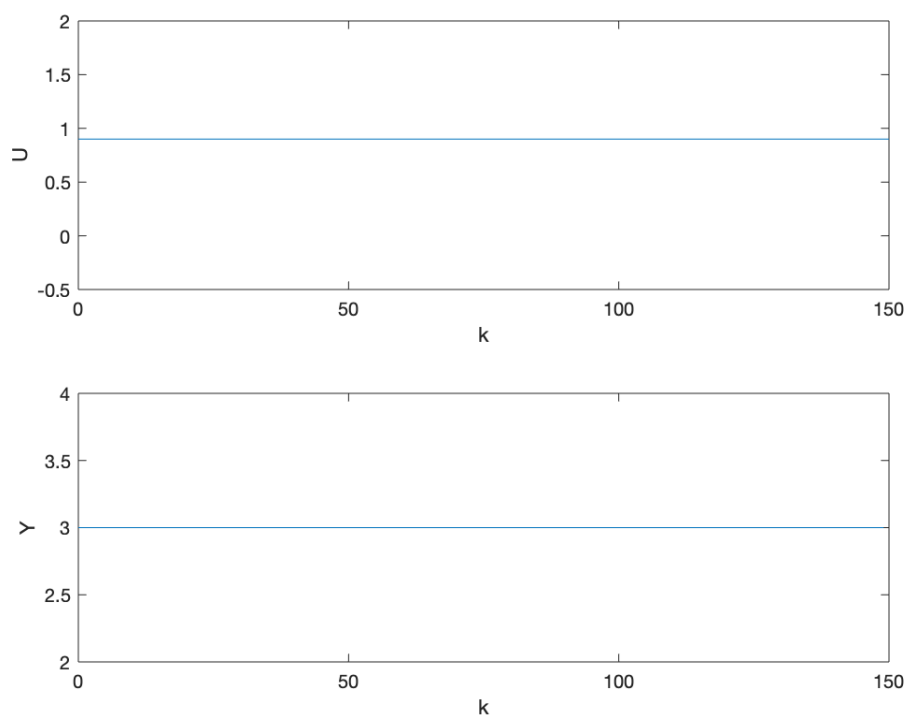
1. Projekt	2
1.1. Sprawdzenie poprawności wartości punktu pracy	2
1.2. Odpowiedzi skokowe procesu	2
1.3. Odpowiedź skokowa w algorytmie DMC	3
1.4. Algorytm PID	4
1.5. Algorytm DMC	10
2. Ćwiczenie laboratoryjne	12
2.1. Przygotowanie do wykonania ćwiczenia	12
2.2. Wyznaczenie odpowiedzi skokowych procesu	12
2.3. Przekształcenie odpowiedzi skokowej	13
2.4. Algorytm PID	13
2.5. Algorytm DMC	17

1. Projekt

Implementacja projektu znajduje się w pliku `pro_zad12.mlx`.

1.1. Sprawdzenie poprawności wartości punktu pracy

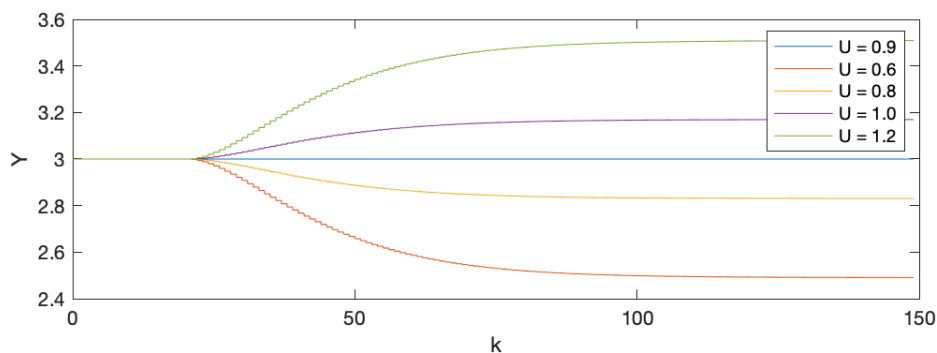
Symulowane wartości są stałe oraz zgodne z punktem pracy (U_{pp} , V_{pp}).



Rys. 1.1. Wartość zadana i wyjście w punkcie pracy

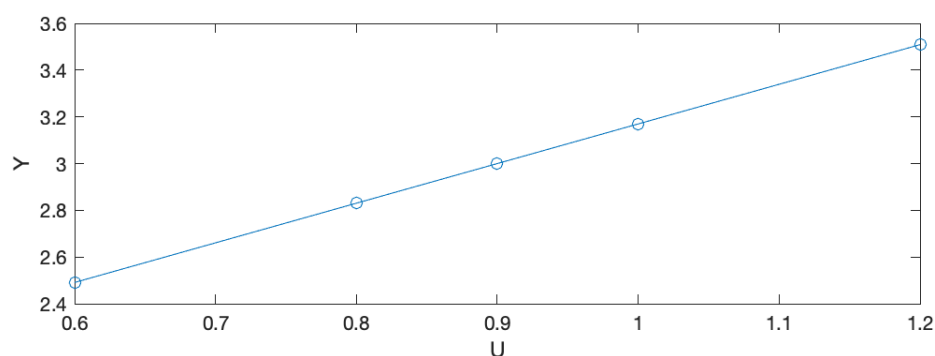
1.2. Odpowiedzi skokowe procesu

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. 1.2. Odpowiedzi skokowe procesu

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



Rys. 1.3. Charakterystyka statyczna

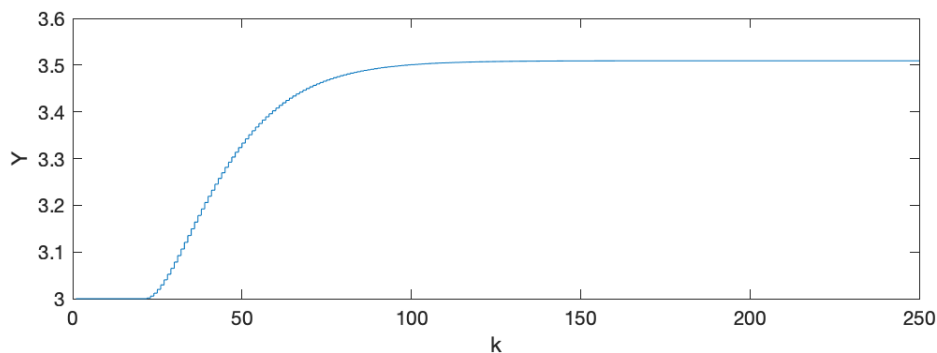
Wzmocnienie statyczne wyznaczone jest jako współczynnik kierunkowy charakterystyki 2.3.

$$K_{stat} = 1.6966$$

1.3. Odpowiedź skokowa w algorytmie DMC

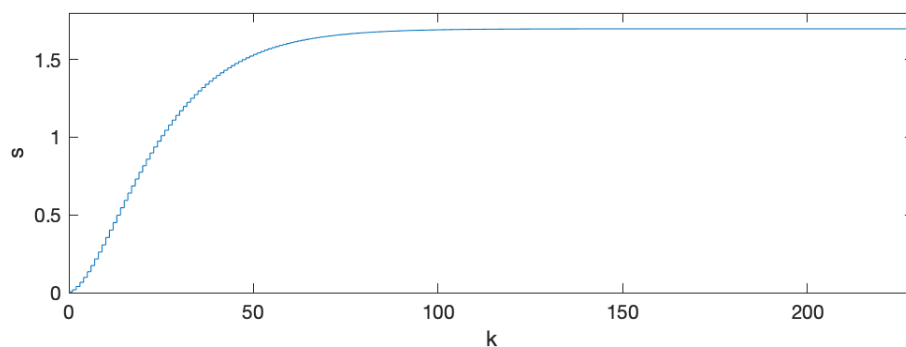
W celu wyznaczenia liczb s_1, s_2, s_3, \dots wykorzystana została odpowiedź skokowa dla pobudzenia $U = 1.2$. Jej przekształcenie przebiegło zgodnie ze wzorem:

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



Rys. 1.4. Odpowiedź skokowa przed przekształceniem

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



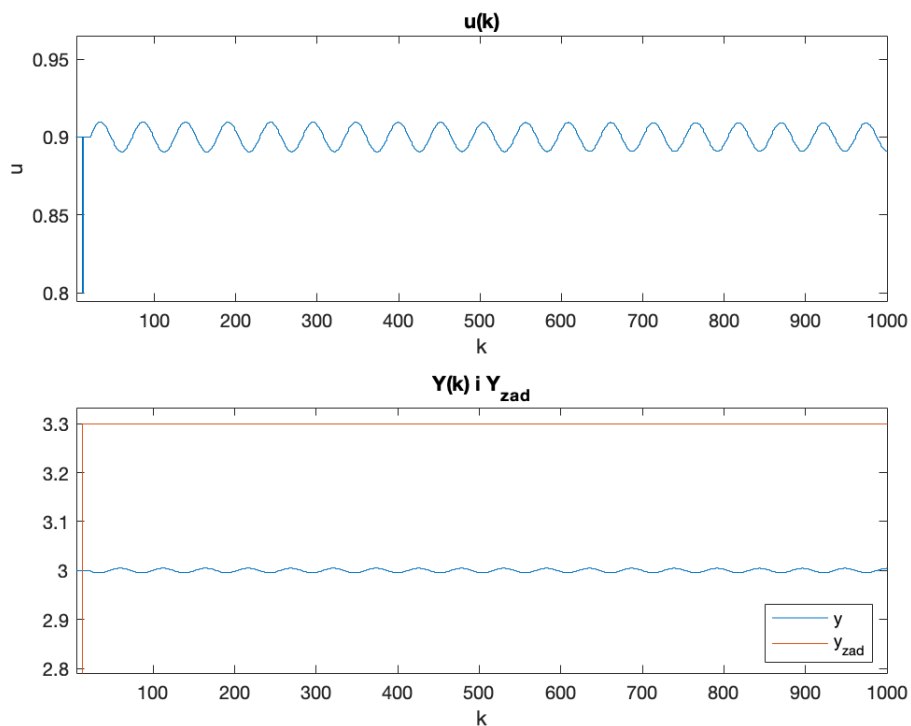
Rys. 1.5. Odpowiedź skokowa po przekształceniu

1.4. 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.

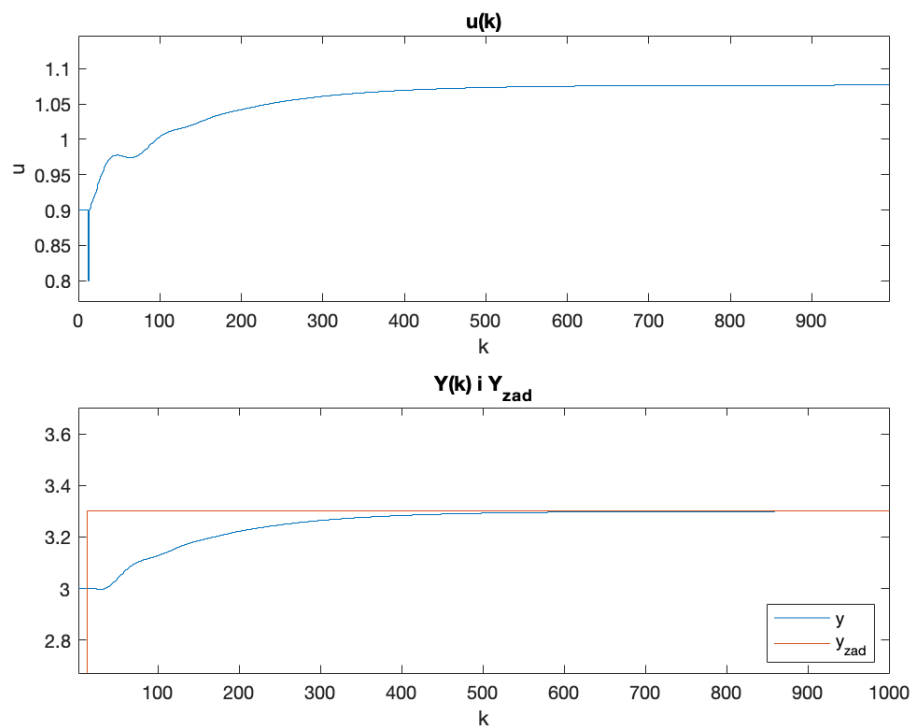
Tab. 1.1. Reguły Zieglera-Nicholsa (Z-N) wg cech przebiegu krytycznego (1942 r.)

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. 1.6. Wyznaczenie K krytycznego

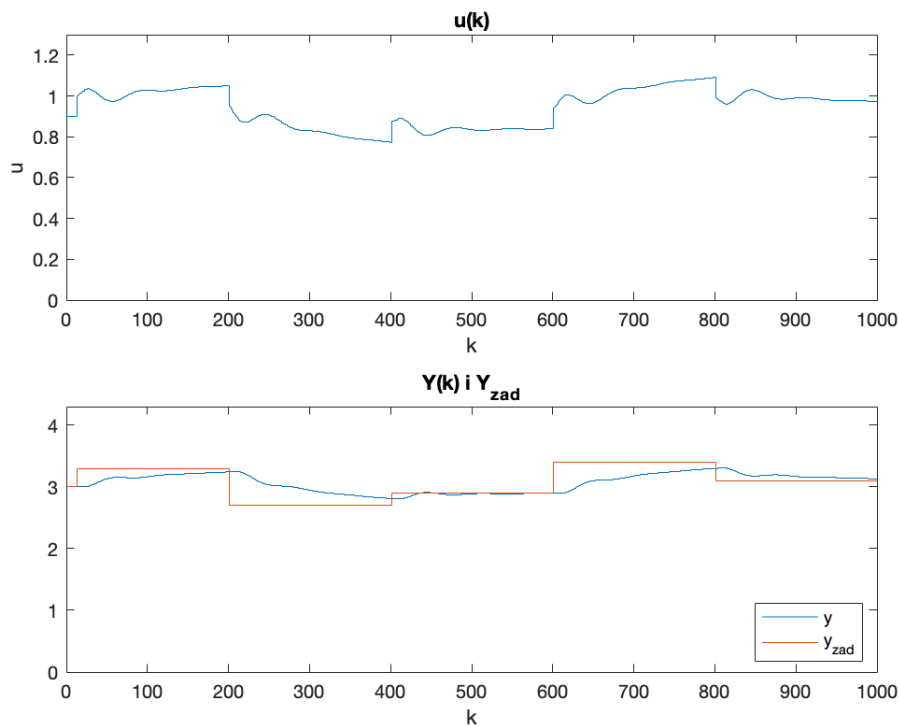
Niegasnące oscylacje wystąpiły dla wartości wzmocnienia $K_{kr} = 2,02$ (Rys. 1.6). Dla takiego wzmocnienia odczytano z przebiegu sygnału sterującego okres krytyczny $T_{kr} = 138 - 86 = 52$.

Następnie obliczone zostały nastawy dla regulatora PI - zgodnie z tabelą 1.1. Zatem $K = 0,909$, $T_i = 43, (3)$ i $T_d = 0$.



Rys. 1.7. Regulator PI

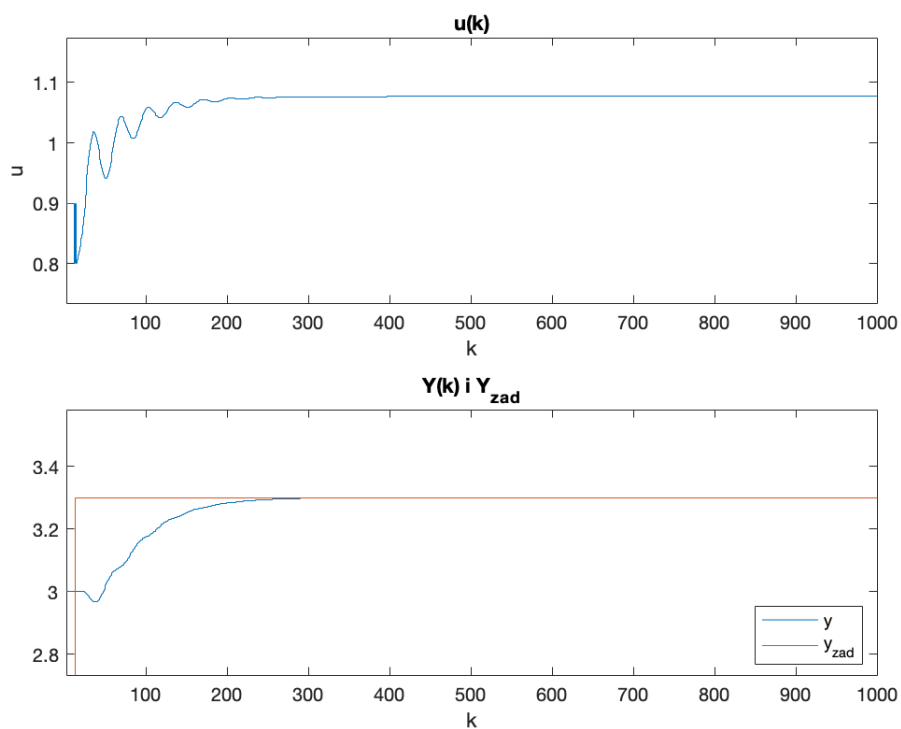
Regulator PI jest stabilny, ale działa zdecydowanie za wolno (Rys. 1.7) - osiąga zadaną wartość dopiero dla $k = 600$. Wskaźnik jakości regulacji przyjął wartość $E = 16.1925$.



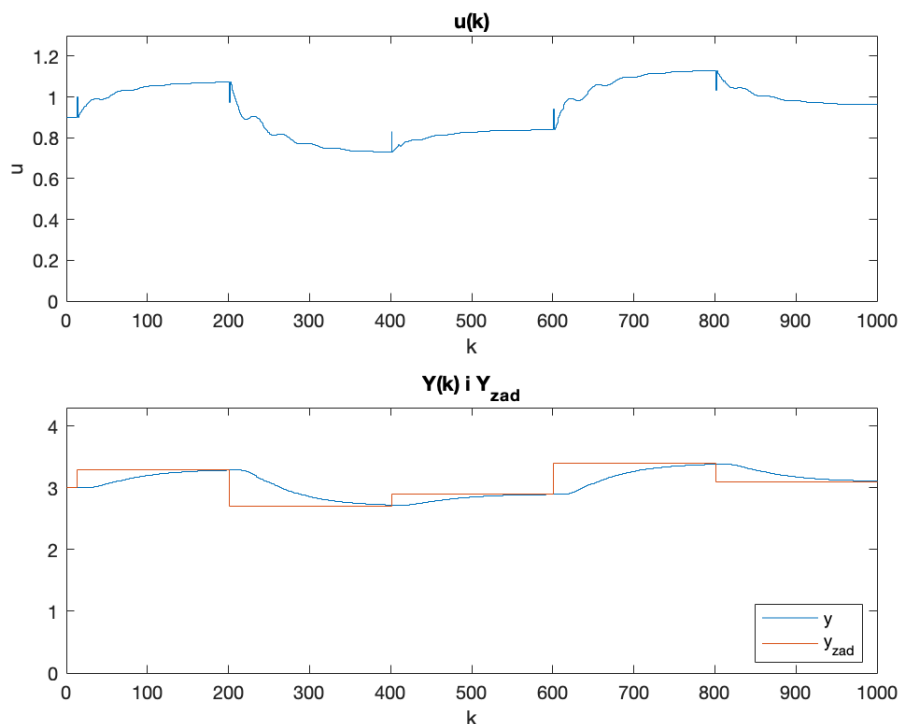
Rys. 1.8. Regulator PI - skoki

Przy szybszych zmianach Y_{zad} widać, że regulator PI jest za wolny, aby za nimi nadążyć (Rys. 1.8).

Następnie wyznaczono nastawy dla regulatora PID, ponownie wg. tabeli 1.1. Ich wartości to $K = 1,212$, $T_i = 26$ i $T_d = 6,5$.



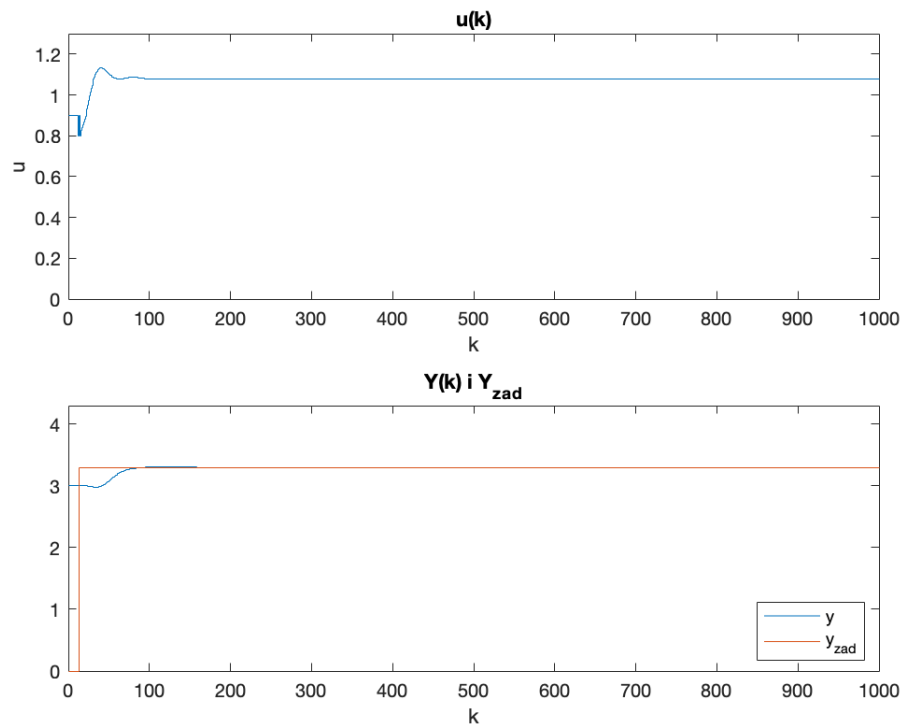
Rys. 1.9. Niedostrojony regulator PID



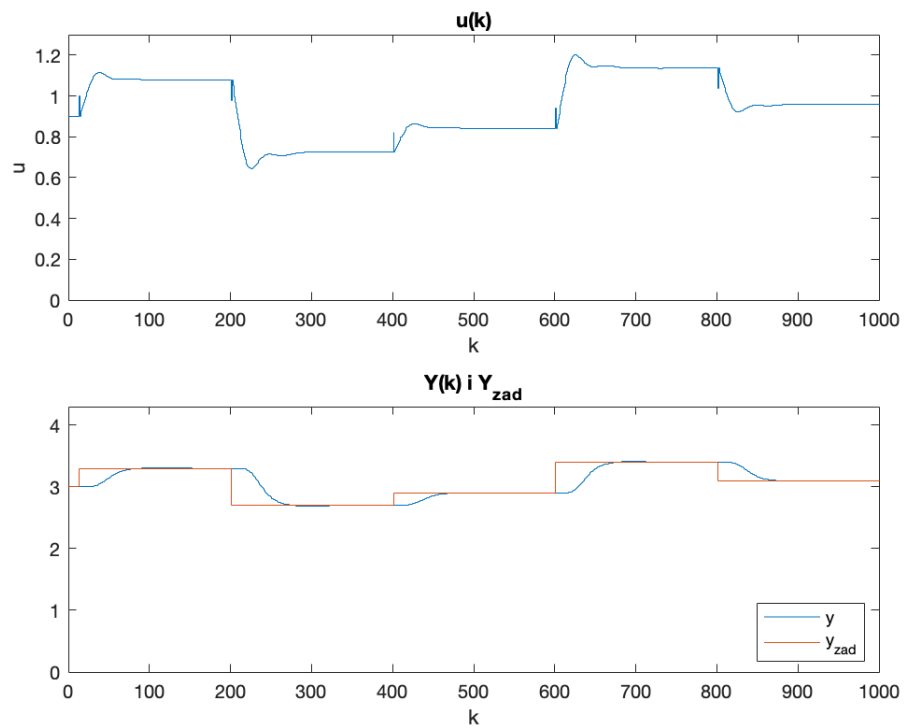
Rys. 1.10. Niedostrojony regulator PID - skoki

Dla nastaw obliczonych na podstawie tabeli 1.1 podczas regulacji występowały oscylacje (Rys. 1.9). Mimo to działał on szybciej niż regulator PI (Rys. 1.10). 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 1.11 i 1.12.



Rys. 1.11. Dostrojony regulator PID



Rys. 1.12. Dostrojony regulator PID - skoki

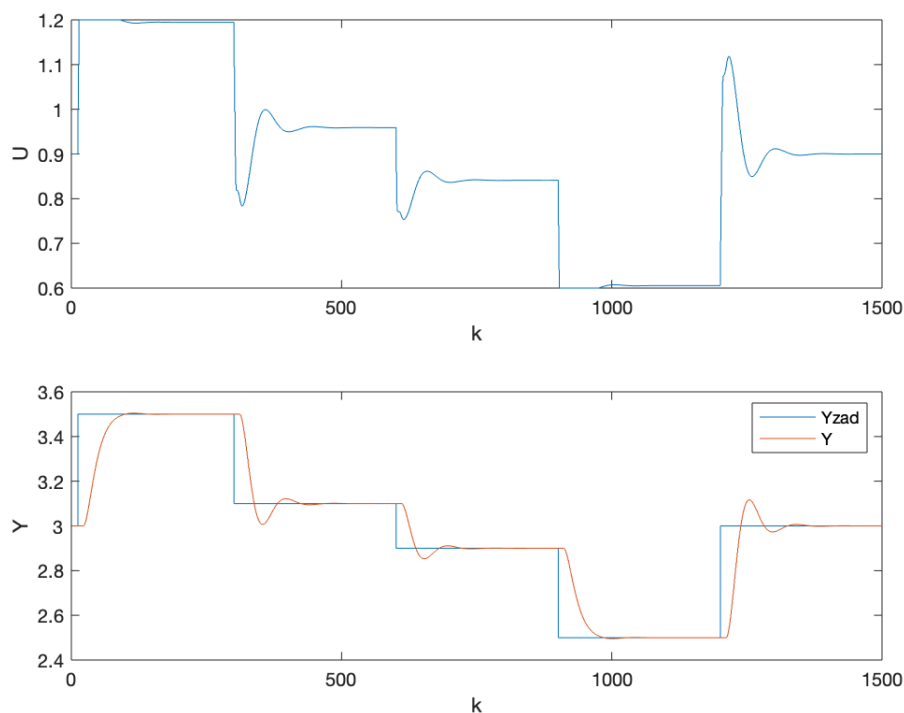
1.5. Algorytm DMC

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.

$$E = 21.007$$

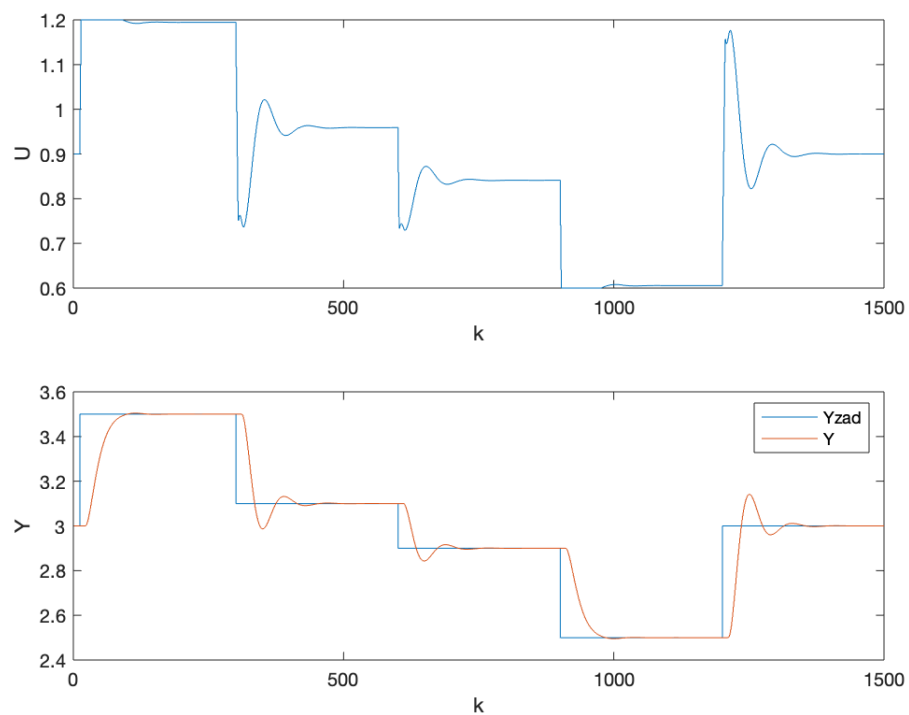


Rys. 1.13. Regulator DMC - parametry dopasowane eksperymentalnie

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. 1.14. 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%.

2. Ćwiczenie laboratoryjne

Podczas tego zadania laboratoryjnego wykorzystano:

- grzałkę G1 (sygnał sterujący U),
- wentylator W1 (wartość zadana Y_{zad}),
- czujnik temperatury T1 (sygnał wyjściowy Y)

2.1. 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 2.1:

$$G1 = 25 + Z\%5 \quad (2.1)$$

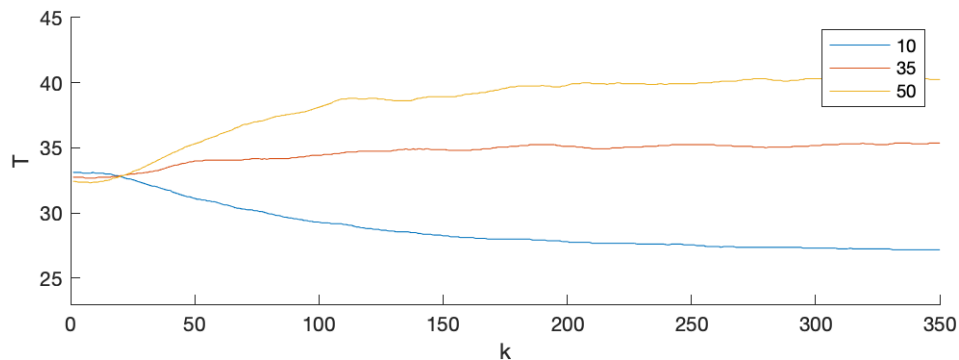
gdzie Z to numer zespołu, zatem dla naszego zespołu Z02 punkt pracy wynosi:

$$G1 = 25 + 2\%5 = 27 \quad (2.2)$$

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**

2.2. Wyznaczenie odpowiedzi skokowych procesu

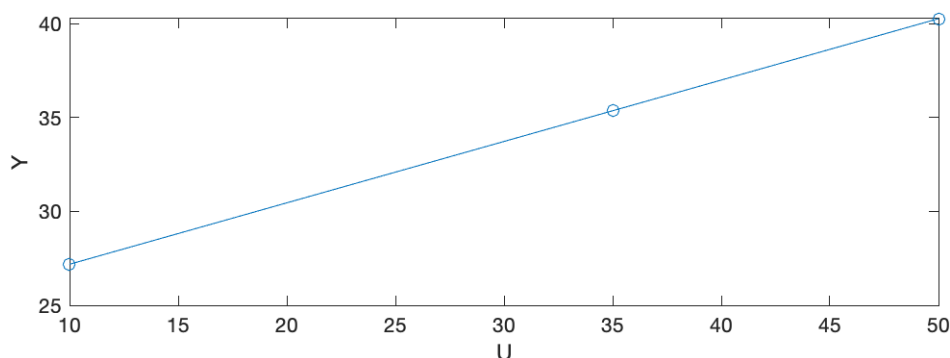
Zarejestrowano przebieg temperatury T1 dla trzech różnych zmian sygnału sterującego G1 rozpoczynając z punktu pracy (27%) do 10%, 35% i 50%. Otrzymane przebiegi zmian przedstawiono na Rys. 2.1.



Rys. 2.1. Odpowiedzi skokowe procesu

Na podstawie charakterystyki $Y(U)$ można stwierdzić, że właściwości statyczne obiektu są w przybliżeniu liniowe.

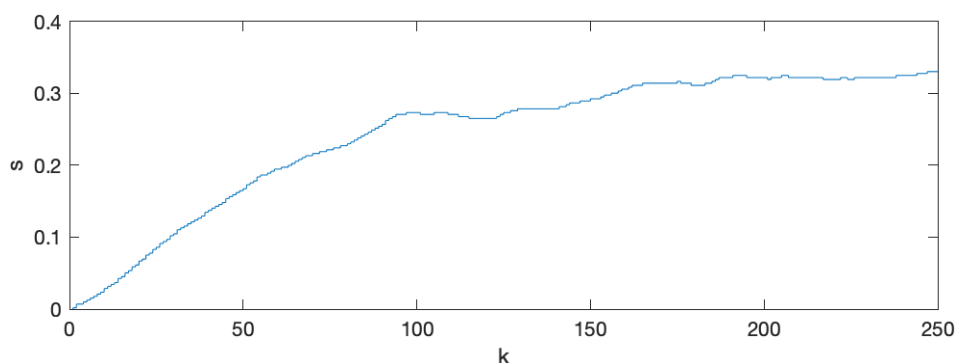
$$K_{stat} = 0.3267$$



Rys. 2.2. Charakterystyka statyczna

2.3. Przekształcenie odpowiedzi skokowej

Przekształcenie odpowiedzi skokowej umieszczone jest w pliku lab_zad3.m. Wykorzystana metoda jest analogiczna do zadania projektowego. Wybrana została charakterystyka dla skoku z punktu pracy do 50%.



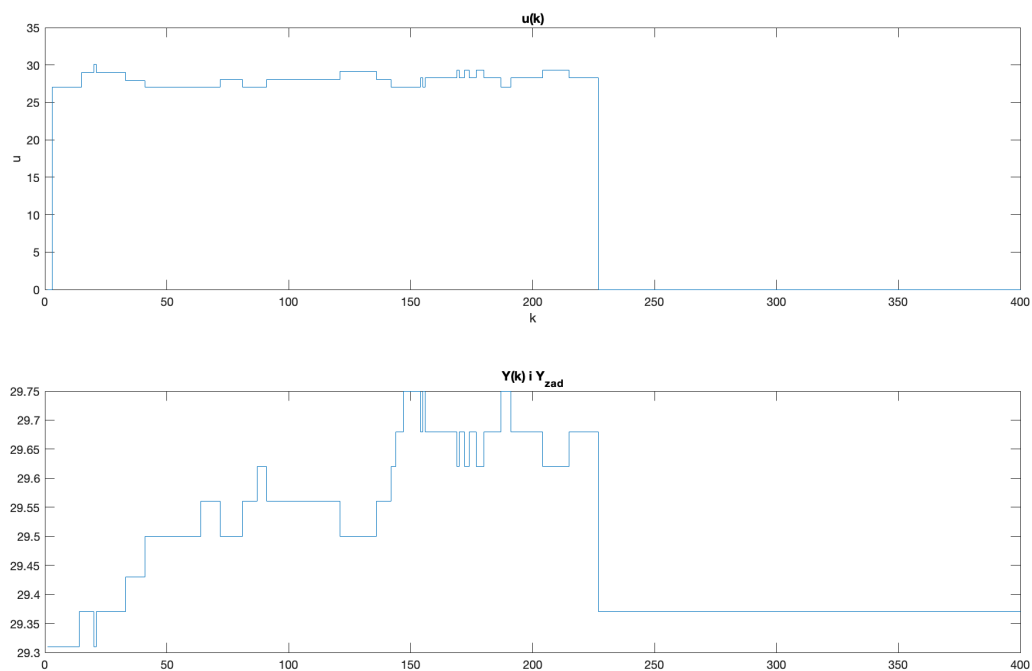
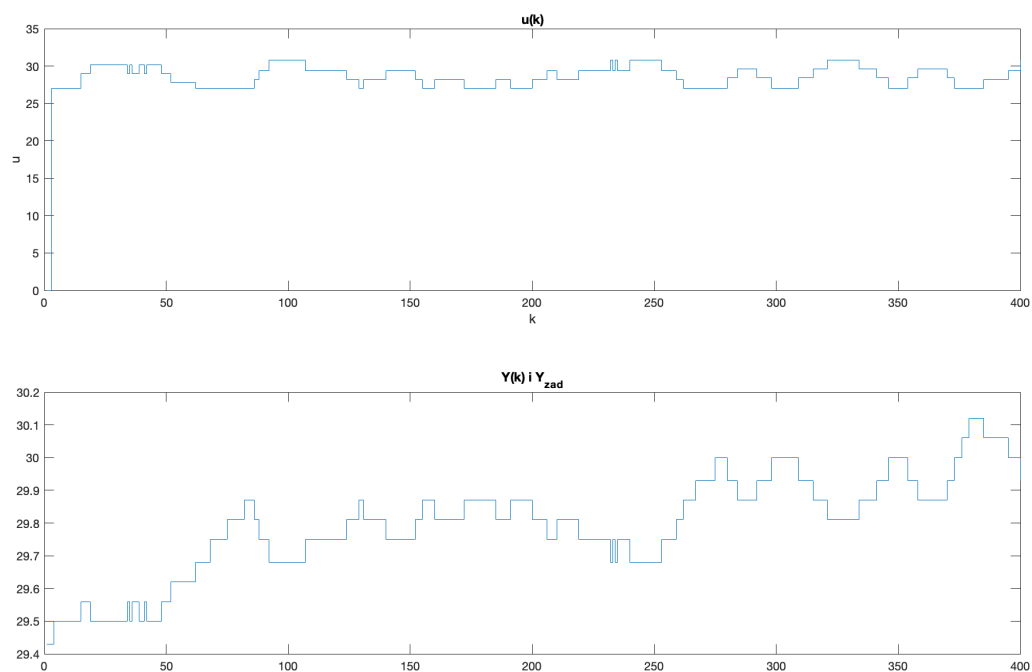
Rys. 2.3. Odpowiedź skokowa po przekształceniu

2.4. Algorytm PID

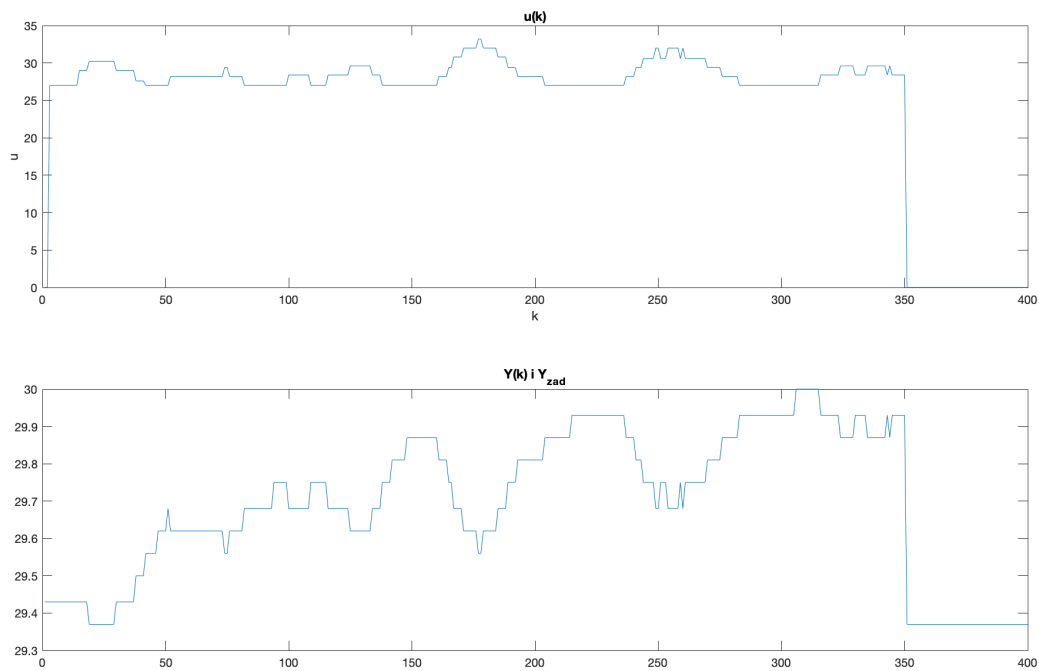
Poniższe zadanie laboratoryjne realizowane było w inny, zimniejszy dzień, co spowodowało konieczność wyznaczenia wartości pomiaru temperatury w punkcie pracy na nowo. Nowy punkt pracy dla $G1 = 27$ to $T1 = 29.37$ °C.

Napisano program do regulacji cyfrowego algorytmu PID. Dobór nastaw regulatora przeprowadzono metodą Zieglera-Nicholsa. Rozpoczęto od doboru wartości wzmocnienia K , przy parametrze całkującym $T_i = \infty$ i różniczkującym $T_d = 0$. W algorytmie uwzględniono ograniczenia wartości sterowania $G1(k)$ (zakres od $U_{min} = 0$ do $\Delta U_{max} = 100$).

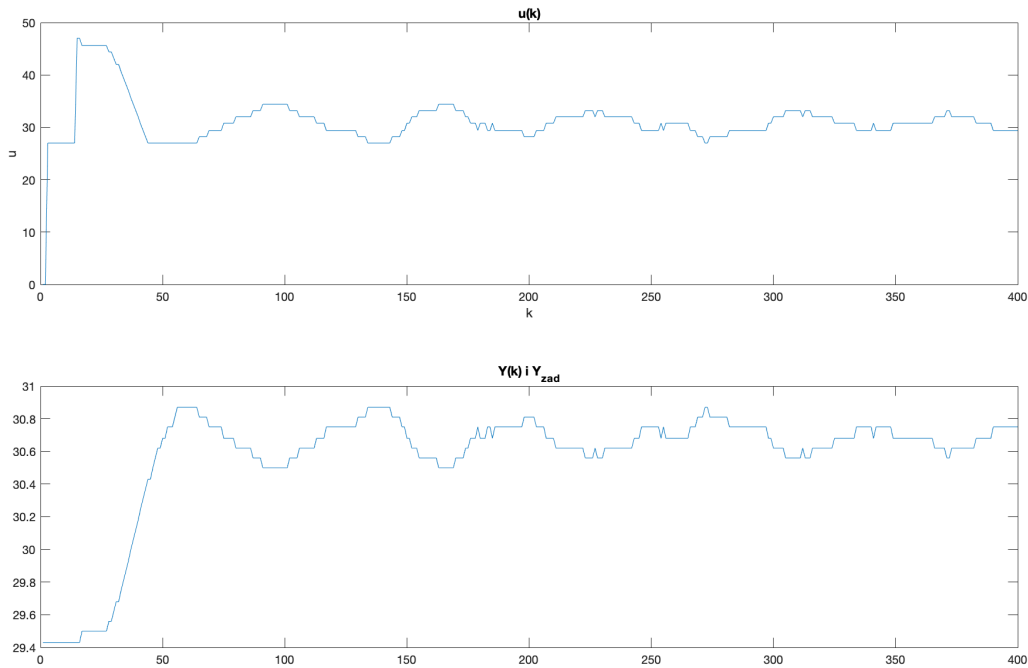
Testowano odpowiedź układu przy różnych wartościach wzmocnienia K . Początkowo ustawiono zbyt dużą wartość $Y_{zad} = 50$, co uniemożliwiło analizę przebiegu wyjścia układu – wartość wzrastała powoli, przez co pomiar zajmował za dużo czasu. Problem ten widoczny jest na wykresach Rys. 2.4 i Rys. 2.5. Pomiar z Rys. 2.4 został przerwany po zauważeniu nieprzewidywanego zachowania.

Rys. 2.4. Przebiegi dla $K = 18$ i $Y_{zad} = 50$ Rys. 2.5. Przebiegi dla $K = 20$ i $Y_{zad} = 50$

Po zaobserwowaniu powyższego problemu i jego analizie zmieniono wartość sygnału zadanego na $Y_{zad} = 33$. Wyniki widoczne są na wykresie Rys. 2.6.

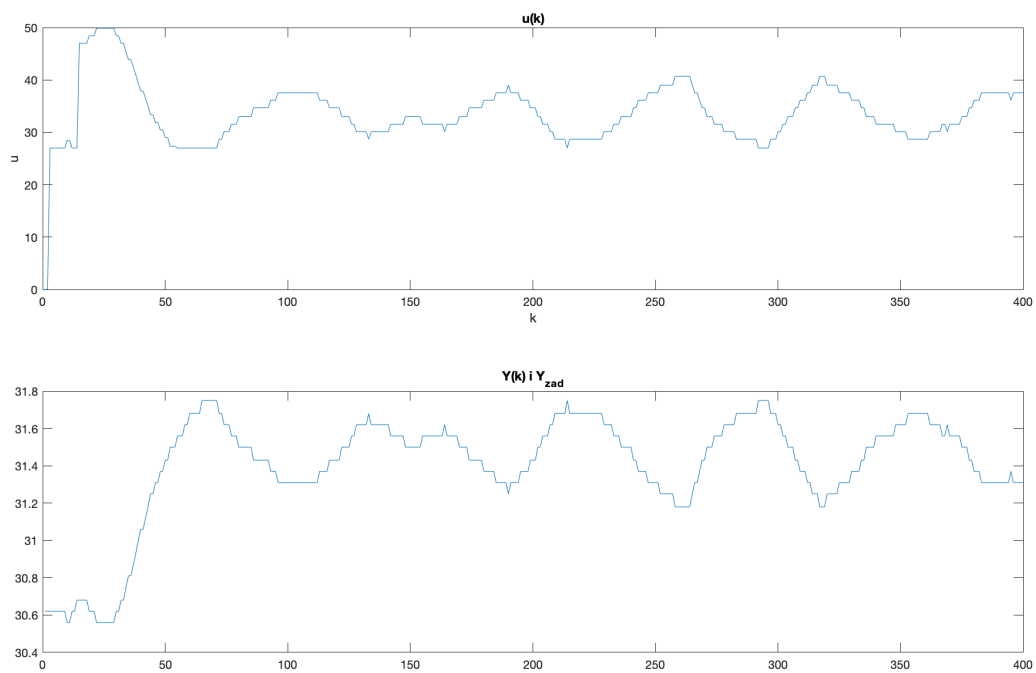
Rys. 2.6. Przebiegi dla $K = 20$ i $Y_{zad} = 33$

Mimo tej zmiany, odpowiedź procesu nadal rosła zbyt wolno. Po ponownej analizie algorytmu wywnioskowano, że do niskiej prędkości wzrastania przyczynił się również niewłaściwie dobrany parametr $\Delta U_{max} = 2$ – ograniczał on bowiem szybkość zmian sygnału sterującego. Po zmianie tej wartości na $\Delta U_{max} = 20$, układ działał zgodnie z założeniami (Rys. 2.7).



Rys. 2.7. Przebiegi dla $K = 20$, $Y_{zad} = 33$ i zmienioną wartością ΔU_{max}

Widoczne są regularne oscylacje, jednak są one oscylacjami gasnącymi. Wartość wzmocnienia została więc zwiększona do $K = 24$. Jak widać na wykresie Rys. 2.8 oscylacje nie gasną. Zauważalny jest nawet lekki wzrost amplitudy oscylacji. Przewidujemy, że niegasnące oscylacje wystąpiłyby przy wartości wzmocnienia $K_{kr} = 23$, jednak przez problemy występujące na początku realizacji zadania nie zostało to sprawdzone. Z tego powodu nie dobrano również pozostałych parametrów regulatora PID dla zmiennego sygnału zadanego. Jeśli zespół miałby więcej czasu, następnym krokiem byłoby ustawienie nastaw regulatora wg. reguł Zieglera-Nicholsa (Rys. 1.1). Zatem po wyznaczeniu wzmocnienia krytycznego K_{kr} , z przebiegu wartości sterowania odczytany zostałby okres krytyczny T_{kr} , a wstępne nastawy regulatora PID wynosiłyby: $K = 0.6K_{kr}$, $T_i = 0.5T_{kr}$ i $T_d = 0.125K_{kr}$. Jeżeli byłoby to konieczne, regulator zostałby dostrojony metodą eksperymentalną.

Rys. 2.8. Przebiegi dla $K = 24$