

Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych
Politechnika Warszawska

Projektowanie układów sterowania
(projekt grupowy)

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

Eva Reszka, Mateusz Roszkowski, Dominika Zając

Warszawa, 2021

Spis treści

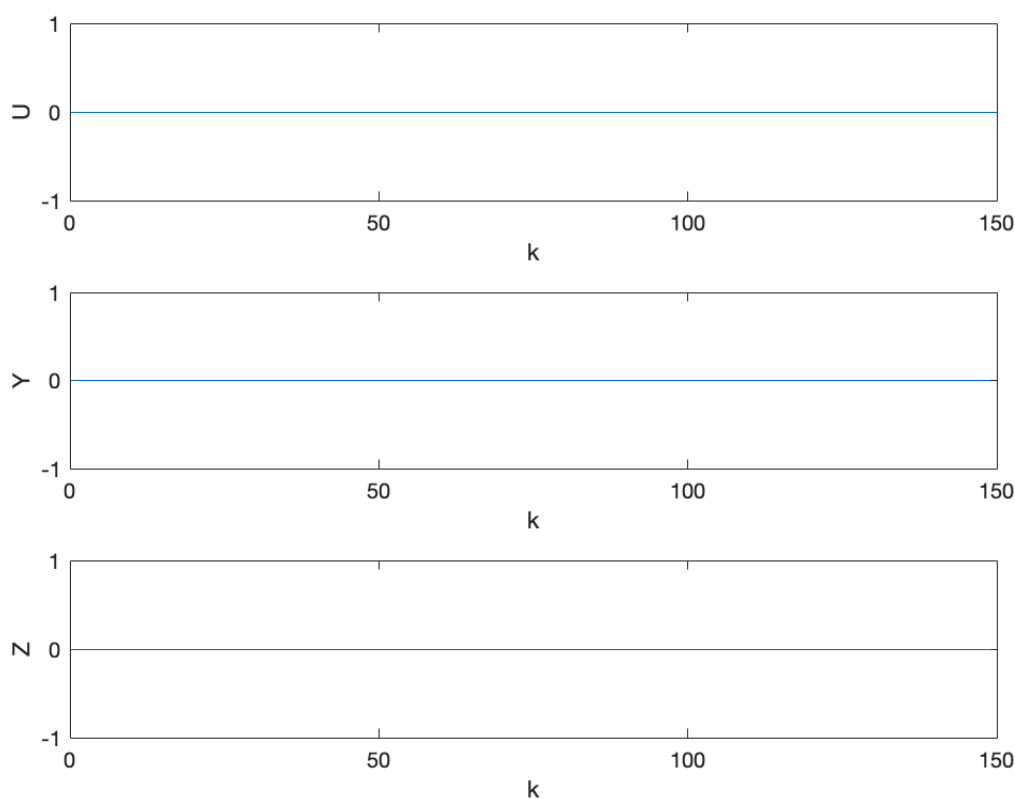
| | |
|--|----|
| 1. Projekt | 2 |
| 1.1. Sprawdzenie poprawności wartości punktu pracy | 2 |
| 1.2. Odpowiedzi skokowe procesu | 2 |
| 1.3. Odpowiedź skokowa w algorytmie DMC | 5 |
| 1.4. Algorytm DMC | 7 |
| 1.5. Algorytm DMC z uwzględnieniem zakłóceń | 8 |
| 1.6. Algorytm DMC z zakłóceniem zmiennym sinusoidalnie | 10 |
| 1.7. Algorytm DMC przy błędach pomiaru sygnału zakłócenia (szum pomiarowy) | 12 |
| 1.8. Wnioski | 15 |
| 2. Ćwiczenie laboratoryjne | 16 |
| 2.1. Przygotowanie do wykonania ćwiczenia | 16 |
| 2.2. Wyznaczenie odpowiedzi toru zakłócenie-wyjście | 16 |
| 2.3. Przekształcenie odpowiedzi skokowej | 17 |

1. Projekt

1.1. Sprawdzenie poprawności wartości punktu pracy

Implementacja zadań 1 i 2 znajduje się w pliku `pro2_zad12.mlx`

Symulowane wartości są stałe oraz zgodne z punktem pracy ($U_{pp} = Y_{pp} = Z_{pp} = 0$).

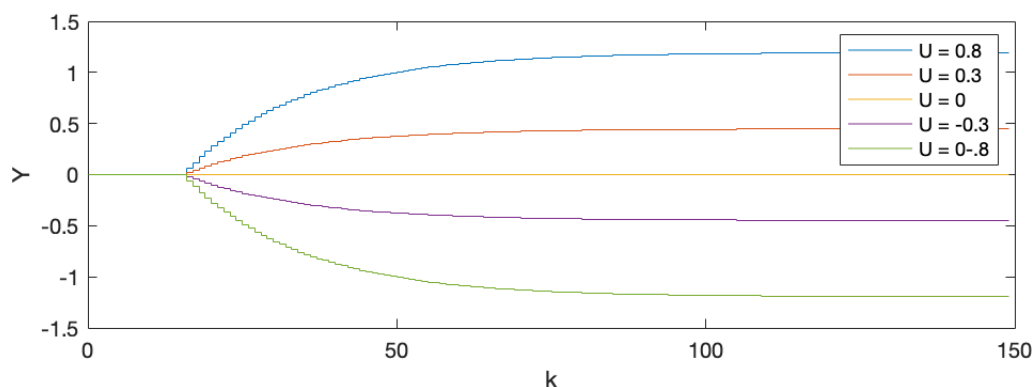


Rys. 1.1. Wartość zadana, wyjście i zakłócenie w punkcie pracy

1.2. Odpowiedzi skokowe procesu

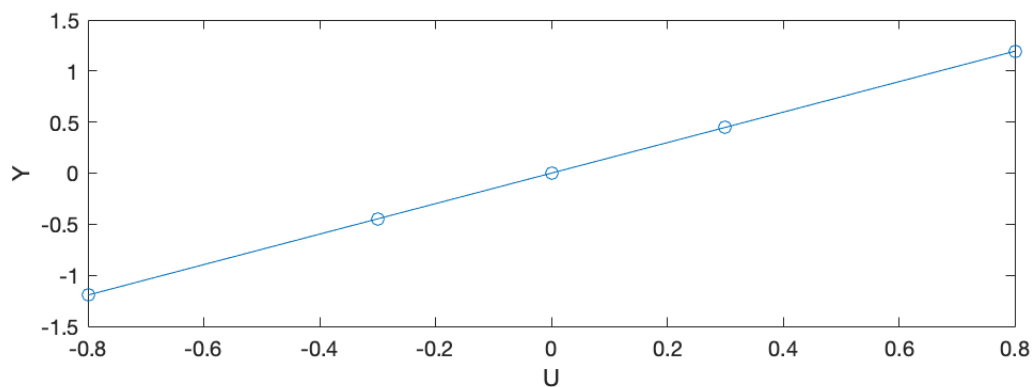
Poprzez pobudzenie obiektu różnymi wartościami sygnału sterującego i zakłócenia wyznaczone zostały odpowiedzi skokowe torów wejście-wyjście i zakłócenie-wyjście.

Na torze wejście-wyjście wyznaczono odpowiedzi skokowe dla 4 różnych pobudzeń (od wartości $U_{pp} = 0$ do 0.8, 0.3, -0.3 i -0.8) sygnału sterującego U występujących w chwili $k = 12$. Wartość zakłócenia pozostaje niezmienna przez cały czas trwania pomiaru i równa jest punktowi pracy $Z_{pp} = 0$.



Rys. 1.2. Odpowiedzi skokowe toru wejście-wyjście

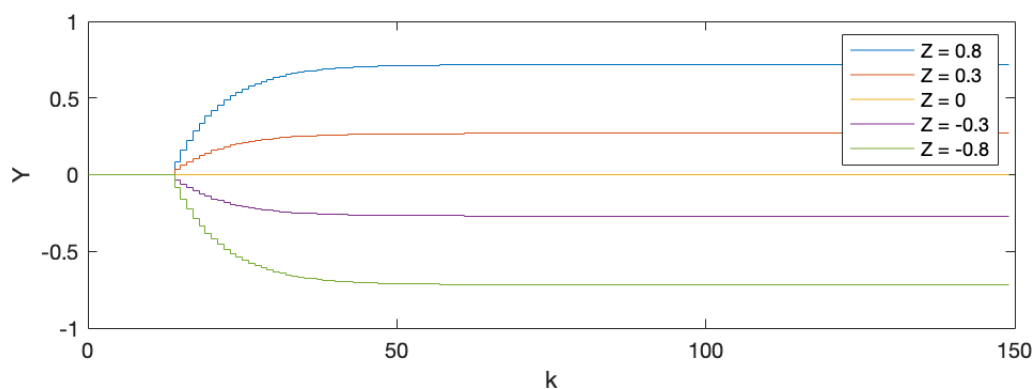
Na Rys. 1.3 naniesione zostały punkty (U, Y) dla każdego symulowanego pobudzenia. Dopasowana prosta potwierdza właściwości liniowe charakterystyki statycznej.



Rys. 1.3. Charakterystyka statyczna dla toru wejście-wyjście

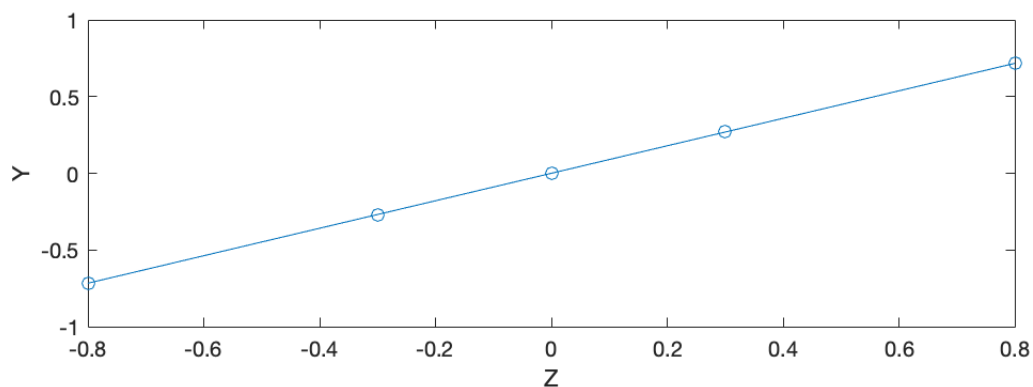
Obliczone zostało wzmocnienie statyczne dla toru wejście-wyjście $K_{stat} = 1,4925$

Analogicznie, na torze zakłócenie-wyjście wyznaczone zostały odpowiedzi skokowe dla 4 różnych skoków zakłócenia Z (od wartości $Z_{pp} = 0$ do 0.8, 0.3, -0.3 i -0.8) mających miejsce w chwili $k = 12$. Nie następuje zmiana sygnału sterującego, zatem przez cały czas trwania pomiaru przyjmuje ona wartość $U_{pp} = 0$.



Rys. 1.4. Odpowiedzi skokowe toru zakłócenie-wyjście

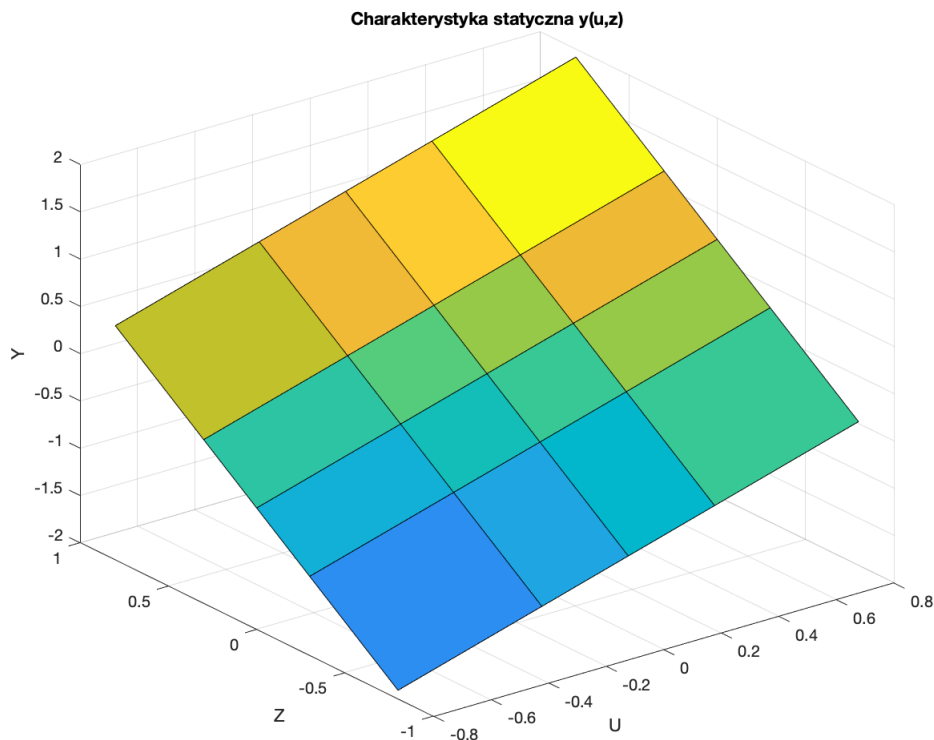
Podobnie jak dla toru wejście-wyjście, charakterystyka przedstawiona na Rys. 1.5 wskazuje na liniowe właściwości procesu.



Rys. 1.5. Charakterystyka statyczna dla toru zakłócenie-wyjście

Wzmocnienie statyczne dla toru zakłócenie-wyjście wynosi $K_{stat} = 0,8959$

Przy jednoczesnym zadaniu skoków sygnału sterującego U i zakłócenia Z , otrzymujemy charakterystykę statyczną $y(u, z)$ przedstawioną na Rys. 1.6.

Rys. 1.6. Charakterystyka statyczna procesu $y(u, z)$

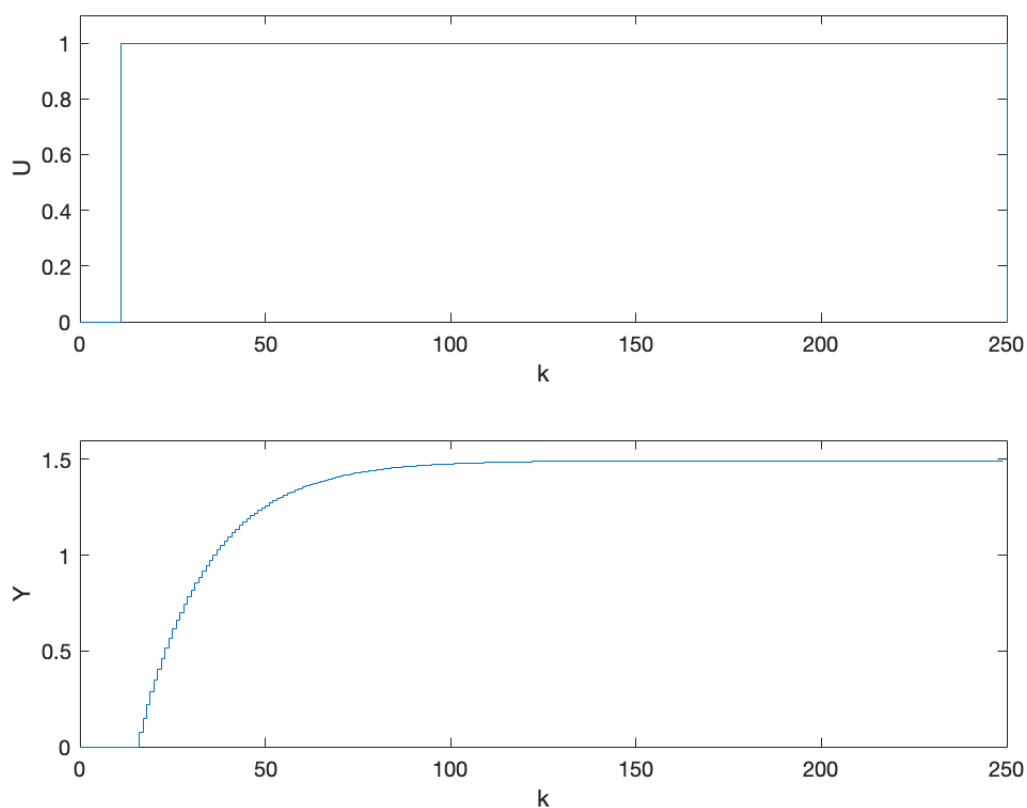
1.3. Odpowiedź skokowa w algorytmie DMC

Implementacja zadania 3 znajduje się w pliku `pro2_zad3.mlx`.

W zadaniu wyznaczone zostały zestawy liczby s_1, s_2, s_3, \dots dla toru wejście-wyjście i $s_1^z, s_2^z, s_3^z, \dots$ dla toru zakłócenie-wyjście.

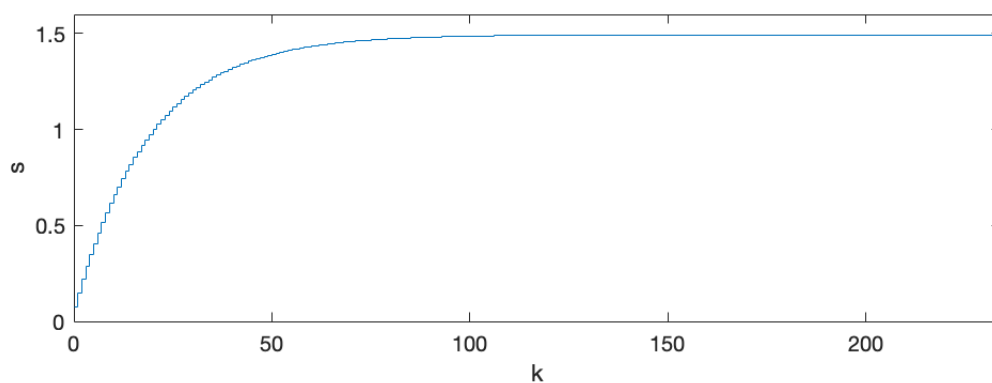
Pierwszy zestaw (s_1, s_2, s_3, \dots) wyznaczony został poprzez przekształcenie odpowiedzi skokowej przy skoku jednostkowym wartości sterowania $U = 1$ (Rys. 1.7). Przekształcona odpowiedź skokowa przedstawiona została na Rys. 1.8. Przekształcenie to przebiegło zgodnie ze wzorem 1.1.

$$S_i = \frac{S_i^0 - Y_{pp}}{\Delta U}, i = 1, 2, 3, \dots \quad (1.1)$$



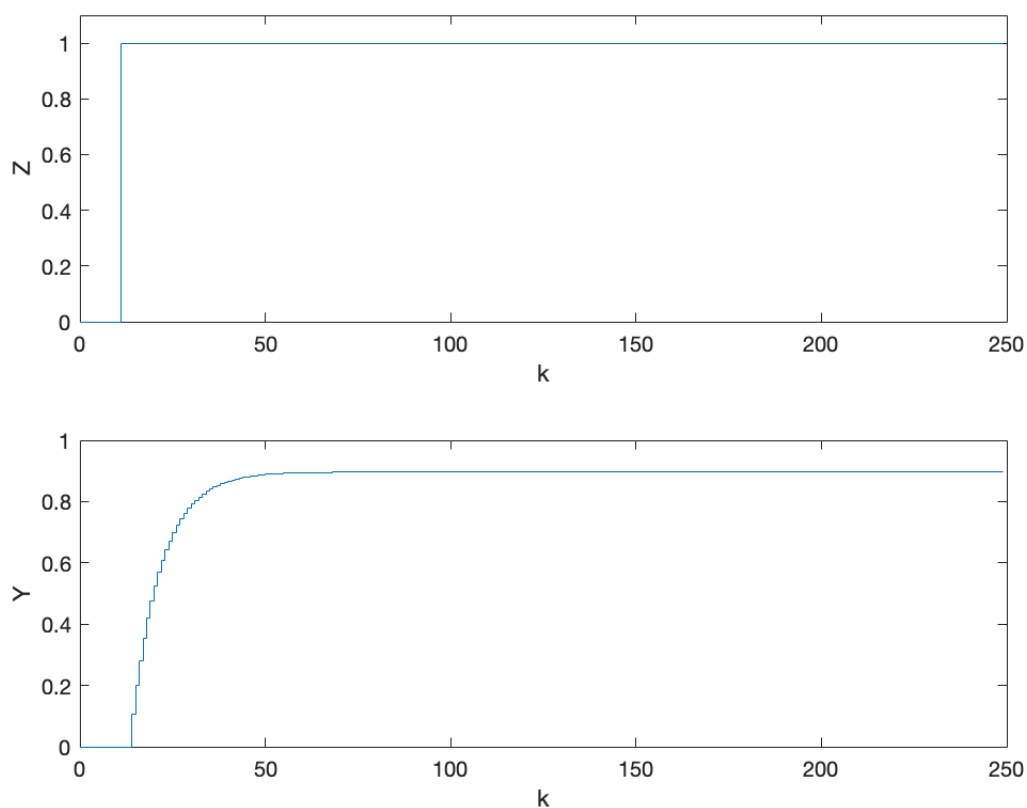
Rys. 1.7. Odpowiedź skokowa dla toru wejście-wyjście przed przekształceniem

Pierwszy skok widoczny jest w momencie $k = 16$, a ostatni dla $k = 106$, co daje parametr $D = 100$.



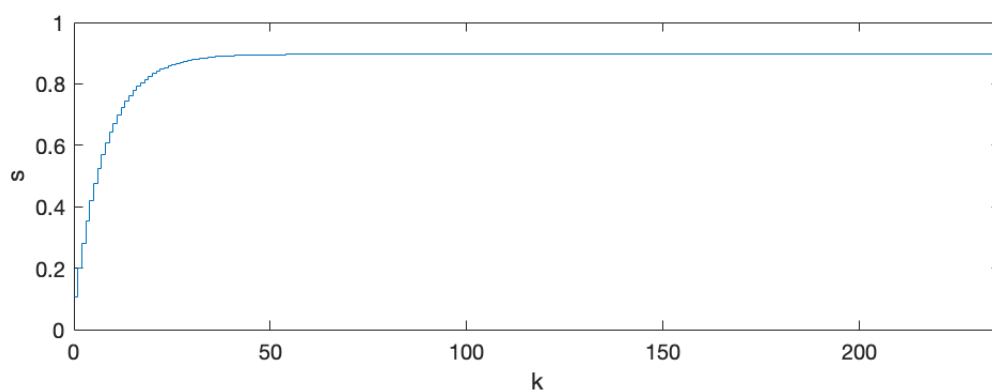
Rys. 1.8. Odpowiedź skokowa dla toru wejście-wyjście po przekształceniu

Drugi zestaw $(s_1^z, s_2^z, s_3^z \dots)$ wyznaczony został analogicznie. Zasymulowano skok jednostkowy sygnału zakłócenia Z. Odpowiedź skokowa (Rys. 1.9) została przekształcona tak, by uzyskać żądany zestaw liczb (Rys. 1.10). Do przekształcenia ponownie wykorzystany został wzór 1.1.



Rys. 1.9. Odpowiedź skokowa dla toru zakłócenie-wyjście przed przekształceniem

Pierwsza zmiana widoczna jest dla $k = 14$, natomiast ostatnia dla $k = 75$. Parametr D_z ma zatem wartość $D_z = 61$.



Rys. 1.10. Odpowiedź skokowa dla toru zakłócenie-wyjście po przekształceniu

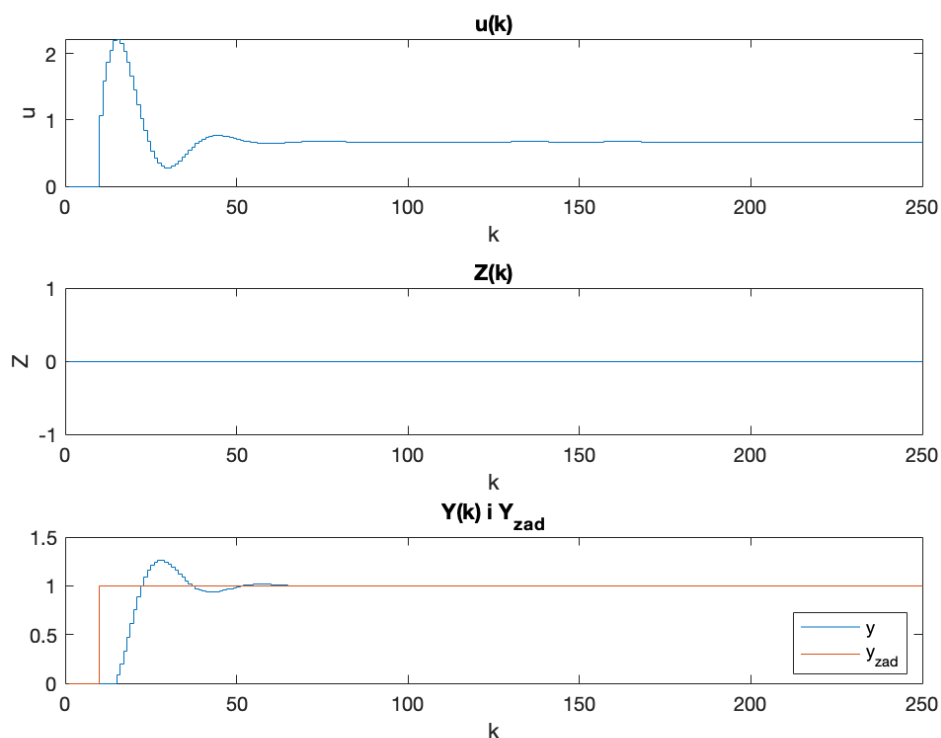
1.4. Algorytm DMC

Realizacja zadań 4-7 znajduje się w pliku `pro2_DMC.mlx`.

Algorytm z zadania 4 symuluje regulator DMC w najprostszej wersji analitycznej przy zerowym zakłóceniu. W chwili $k = 10$ występuje skokowa zmiana sygnału wartości zadanej z $Y_{zad} = 0$ na $Y_{zad} = 1$.

Parametr D wyznaczony zostały w poprzednim zadaniu, jednak w procesie dostrajania eksperymentalnego zmieniono tolerancję jego odczytu - finalnie wartość skutkująca najlepszym działaniem regulatora to $D = 120$. Pozostałe parametry dobrane zostały metodą eksperymentalną: $N = 45$, $Nu = 2$, $\lambda = 0,4$.

Jakość oceniona została na podstawie analizy przebiegów sygnałów, jak i poprzez obserwację zmian wskaźnika jakości regulacji E . Dla powyższych parametrów jego wartość wynosiła $E = 7,9233$. Przebiegi przedstawione zostały na Rys. 1.11.

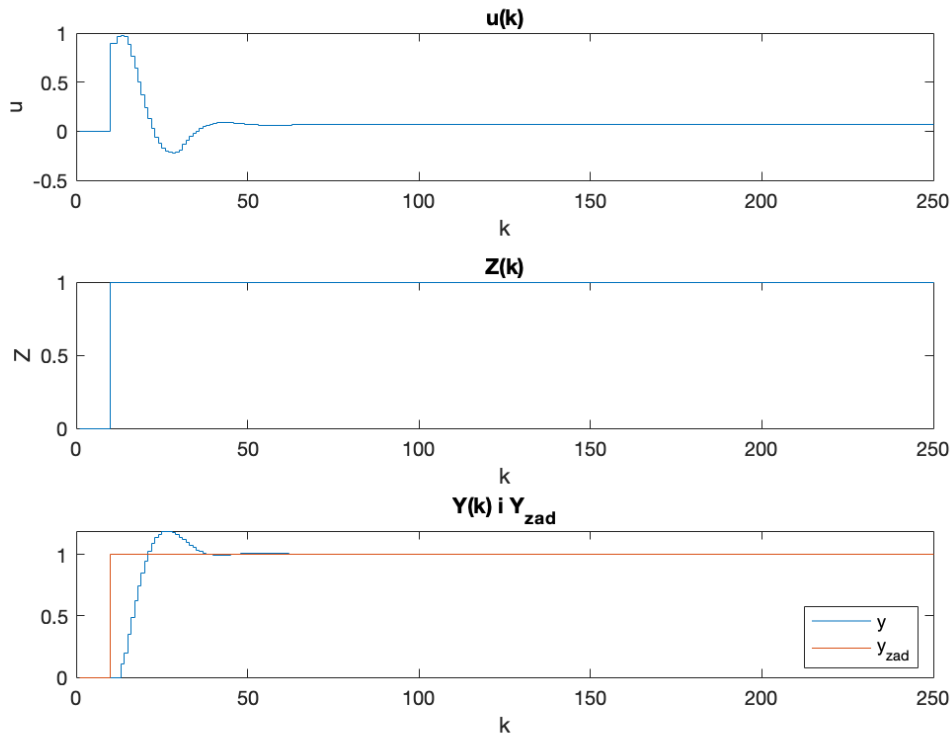


Rys. 1.11. Przebiegi sygnałów wejściowych i wyjściowych procesu

1.5. Algorytm DMC z uwzględnieniem zakłóceń

Algorytm z poprzedniego zadania zmodyfikowano tak, aby regulator uwzględniał w regulacji występujące zakłócenia. Wprowadzony został skok zakłócenia z wartości $Z = 0$ do $Z = 1$.

Regulator ponownie dostrojono- parametry D i D_z wyznaczone zostały w Zad. 3, jednak podczas dostrajania podjęto decyzję o zmianie tolerancji ich odczytu- najlepsze efekty przynosiły wartości $D = 120$ i $D_z = 21$. Metodą eksperymentalną dobrano również pozostałe parametry: $N = 90$, $Nu = 2$, $\lambda = 0,6$. Dla tak dostrojonego regulatora wskaźnik jakości regulacji przyjął wartość $E = 5,6305$. Przebiegi przedstawione zostały na Rys. 1.12.

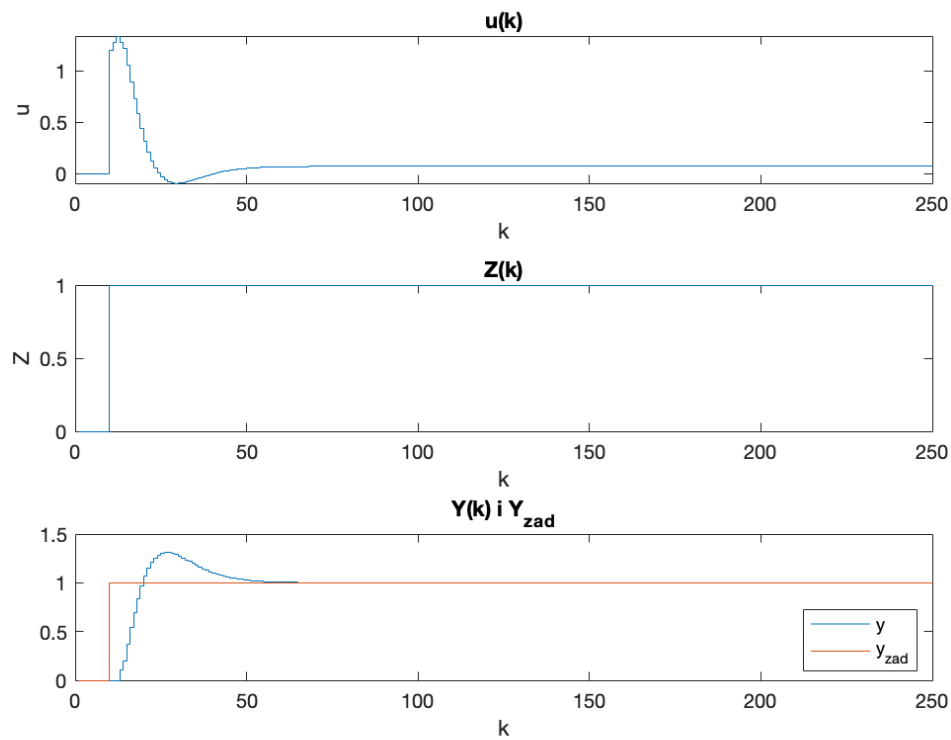


Rys. 1.12. Przebiegi sygnałów wejściowych i wyjściowych procesu z uwzględnieniem zakłóceń

Następnie porównano powyższy algorytm (uwzględniający pomiar zakłócenia) z wersją nie biorącą zakłóceń pod uwagę. W tym celu stworzono testowy algorytm bazujący na kodzie z Zad. 4 (implementacja znajduje się w pliku `pro2_DMC_test.m`).

Wprowadzono skok zakłócenia o wartości $Z_{skok} = 1$ i ponownie dobrano parametry, by zapewnić możliwie najwyższą jakość regulacji przy występującym zakłóceniu i braku jego pomiaru. Parametry dobrane metodą eksperymentalną mają wartości: $D = 120$, $N = 25$, $Nu = 1$, $\lambda = 0,18$.

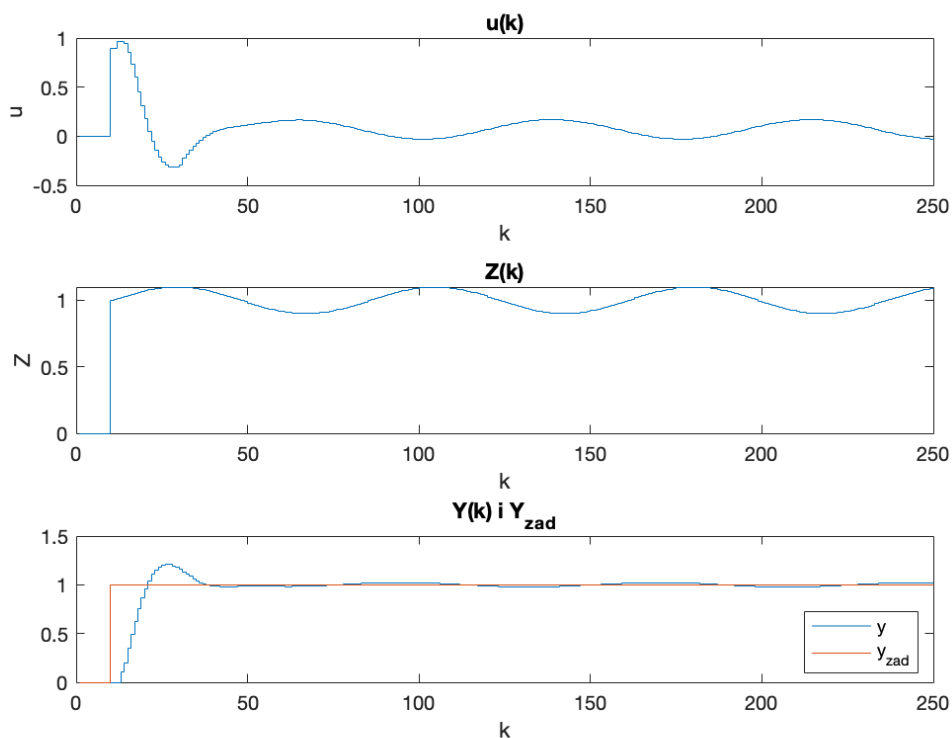
Algorytm bez pomiaru zakłóceń wykazywał się gorszą jakością regulacji, niż algorytm z uwzględnieniem zakłócenia. Potwierdza to wskaźnik jakości regulacji o wartości $E = 6,2744$ - jest on znacznie wyższy niż w przypadku uwzględniania zakłócenia w procesie regulacji (wskaźnik miał wtedy wartość $E = 5,6305$). Przebiegi dla tej wersji regulatora widoczne są na Rys. 1.13.



Rys. 1.13. Przebiegi sygnałów wejściowych i wyjściowych procesu bez uwzględnienia zakłóceń

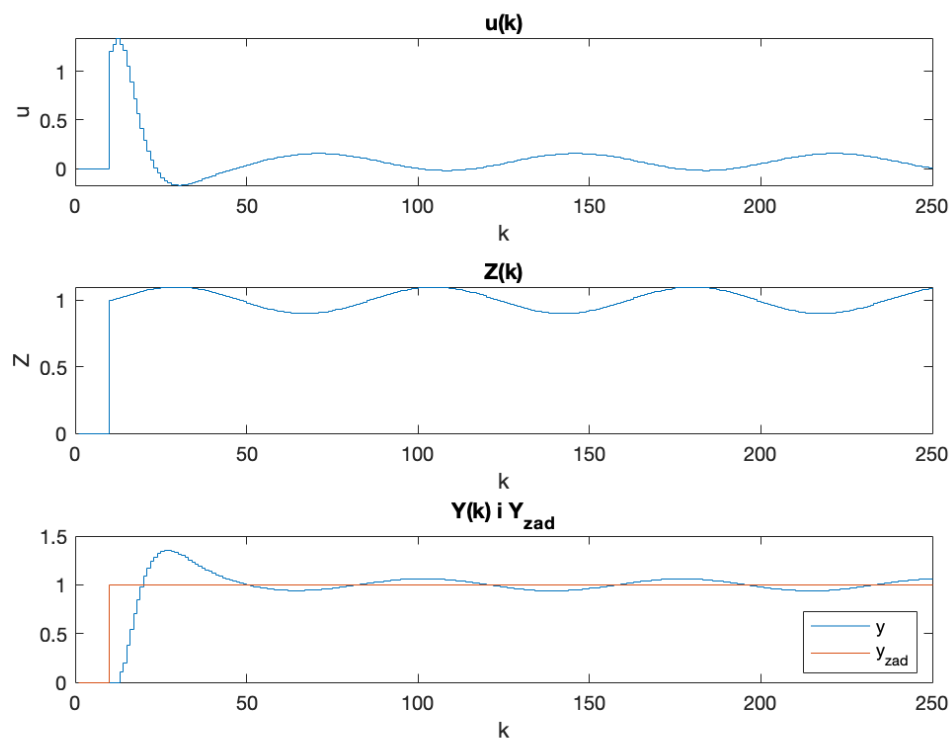
1.6. Algorytm DMC z zakłóceniem zmiennym sinusoidalnie

Do dotychczasowej wartości zakłócenia $Z_{skok} = 1$ dodany został sygnał sinusoidalny o amplitudzie 0.1. Dla parametrów dobranych w poprzednim zadaniu wskaźnik jakości regulacji przy nowym zakłóceniu przyjął wartość $E = 5,7320$. Przebiegi przedstawione zostały na Rys. 1.14.



Rys. 1.14. Przebiegi sygnałów wejściowych i wyjściowych procesu z uwzględnieniem zakłóceń zmiennych sinusoidalnych

Następnie dokonano sprawdzenia efektywności działania uwzględniania zakłóceń w regulacji, podobnie jak w Zad. 5. Wprowadzono zakłócenie sinusoidalne do regulatora nie biorącego zakłóceń pod uwagę (plik `pro2_DMC_test.m`). Wskaźnik jakości regulacji jest o wiele większy i wynosi $E = 6,9802$, co potwierdza, że brak uwzględnienia pomiaru zakłócenia prowadzi do gorszej regulacji. Przebiegi znajdują się na Rys. 1.15.



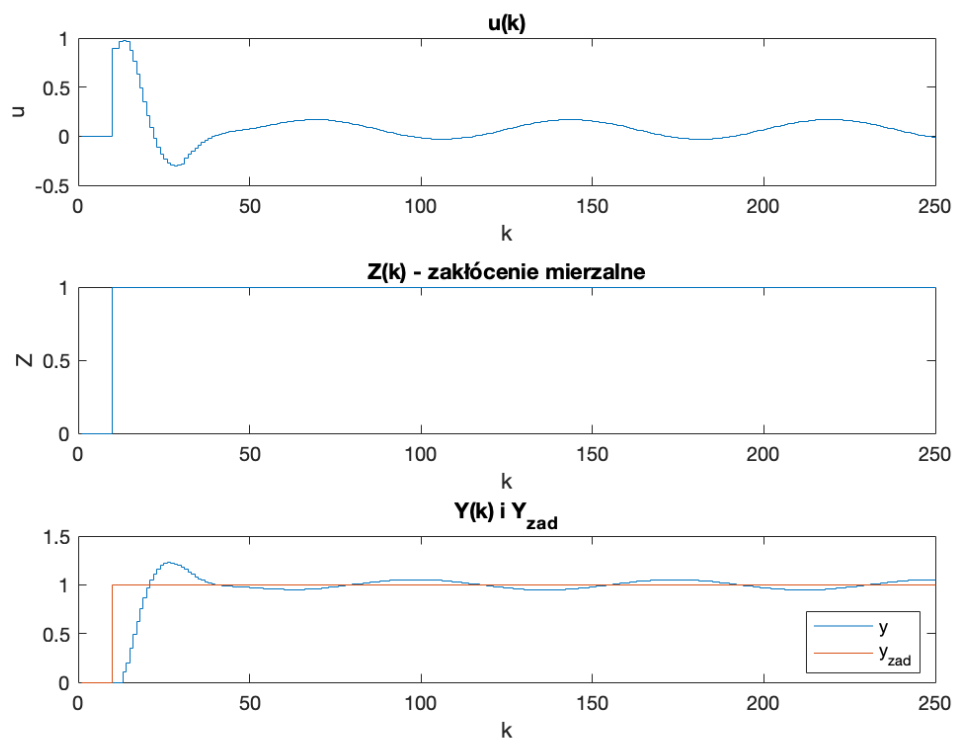
Rys. 1.15. Przebiegi sygnałów wejściowych i wyjściowych procesu bez uwzględnienia zakłóceń zmiennych sinusoidalnych

1.7. Algorytm DMC przy błędach pomiaru sygnału zakłócenia (szum pomiarowy)

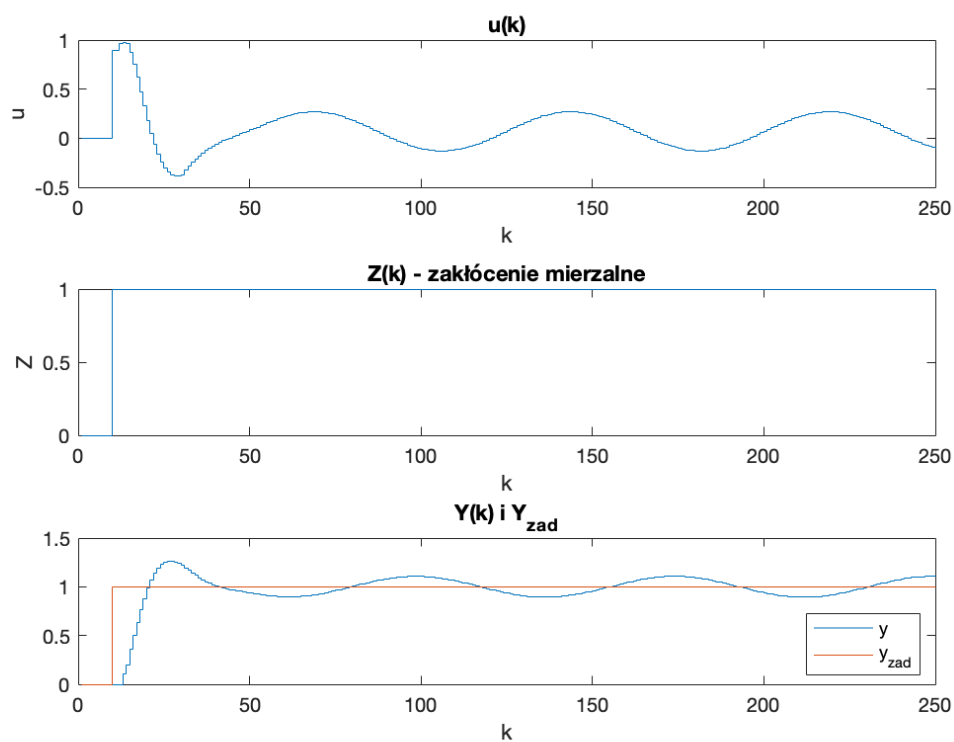
Podobnie jak w poprzednim zadaniu, oprócz mierzanego skoku zakłócenia $Z_{skok} = 1$ zaimplementowano dodatkowe zakłócenie sinusoidalne - w tej wersji algorytmu nie będzie ono jednak mierzone i posłuży jako symulacja szumu pomiarowego.

Zbadano odporność algorytmu na różne wartości błędów pomiarowych, przy parametrach dobranych w Zad.5. Testy przeprowadzono dla różnych wartości amplitudy zakłócenia sinusoidalnego:

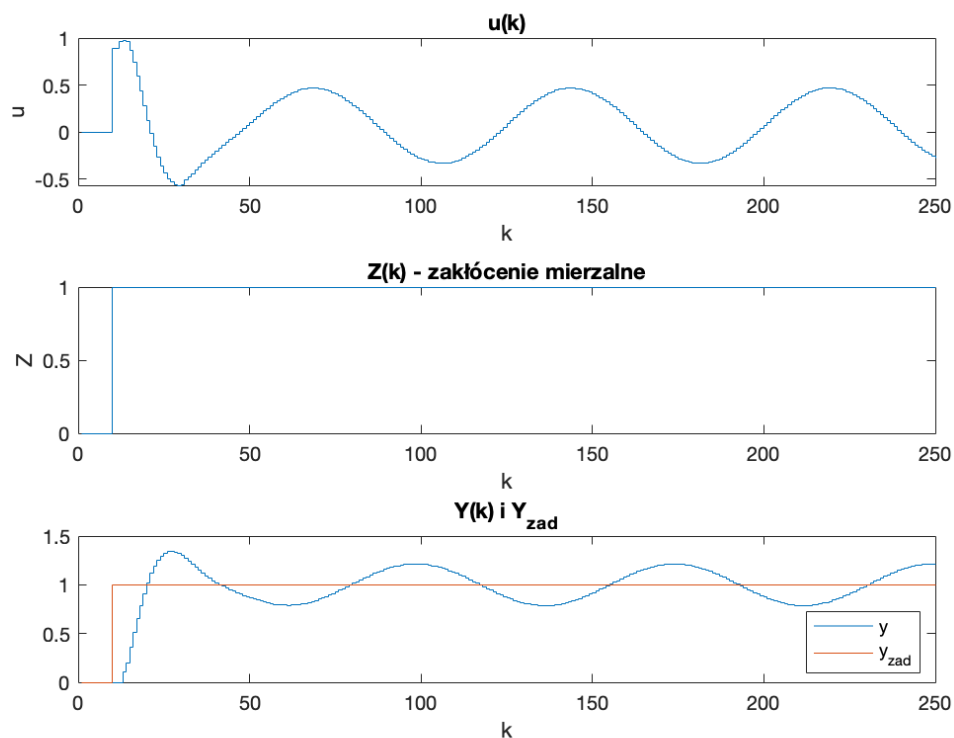
- $A = 0.1$: Wskaźnik jakości regulacji przyjął wartość $E = 6,0455$. Przebiegi na Rys. 1.16.
- $A = 0.2$: Wskaźnik jakości regulacji przyjął wartość $E = 7,1052$. Przebiegi na Rys. 1.17.
- $A = 0.4$: Wskaźnik jakości regulacji przyjął wartość $E = 11,1587$. Przebiegi na Rys. 1.18.



Rys. 1.16. Przebiegi sygnałów wejściowych i wyjściowych procesu bez uwzględnienia zakłóceń zmiennych sinusoidalnych



Rys. 1.17. Przebiegi sygnałów wejściowych i wyjściowych procesu bez uwzględnienia zakłóceń zmiennych sinusoidalnych



Rys. 1.18. Przebiegi sygnałów wejściowych i wyjściowych procesu bez uwzględnienia zakłóceń zmiennych sinusoidalnych

Zgodnie z przewidywaniami, wraz ze wzrostem intensywności szumów pomiarowych pogarszała się jakość regulacji obiektu.

1.8. Wnioski

W Tab. 1.1 znajduje się porównanie wartości wskaźnika jakości regulacji dla wszystkich algorytmów zaimplementowanych w ramach projektu. Zarówno w zad. 5. jak i zad. 6. zauważyć można, że możliwość pomiaru i uwzględnienia zakłóceń w regulacji znacząco poprawia jej jakość, niezależnie od rodzaju zakłóceń. Potwierdzają to również testy z zad. 7, które wskazują, że im większy poziom zakłóceń niemożliwych do zmierzenia (szum pomiarowy), tym mniej efektywna jest regulacja.

Tab. 1.1. Zestawienie pomiarów jakości regulacji dla wszystkich algorytmów

| Nr. zad | Zakłócenie | Uwzgl. zakł. | E |
|---------|--|--------------|---------------|
| 4 | brak | nie | $E = 7,9233$ |
| 5 | skok jednostkowy | tak | $E = 5,6305$ |
| 5 | skok jednostkowy | nie | $E = 6,2744$ |
| 6 | skok jednostkowy + sinusoidalny, $A=0.1$ | tak | $E = 5,7320$ |
| 6 | skok jednostkowy + sinusoidalny, $A=0.1$ | nie | $E = 6,9802$ |
| 7 | skok jednostkowy + szum pomiarowy, $A=0.1$ | tak | $E = 6,0455$ |
| 7 | skok jednostkowy + szum pomiarowy, $A=0.2$ | tak | $E = 7,1052$ |
| 7 | skok jednostkowy + szum pomiarowy, $A=0.4$ | tak | $E = 11,1587$ |

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:

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

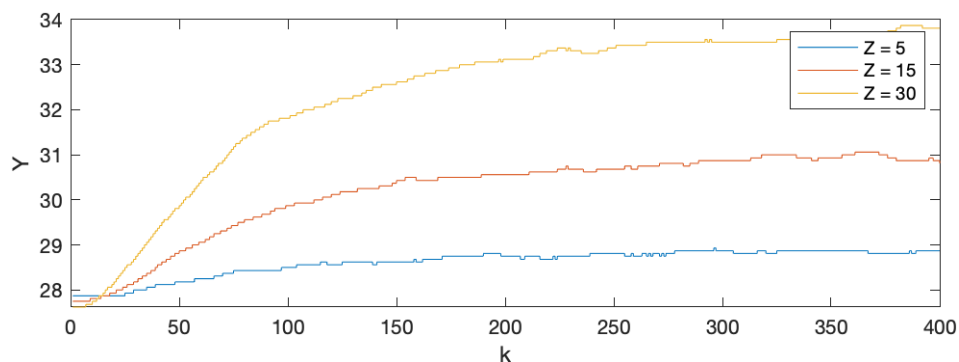
gdzie Z to numer zespołu, zatem dla naszego zespołu Z02 punkt pracy wynosi:

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

Następnie określono wartość pomiaru temperatury T1 dla obliczonego punktu pracy. W tym celu moc wentylatora W1 ustawiono na 50% za pomocą funkcji `sendControls(1, W1)`. Wartości mocy grzałki i sygnału zakłócającego zadawane są poprzez funkcję `sendControlsToG1AndDisturbance(G1, Z)`. Wartość G1 została ustawiona na 27%, zakłócenia zostały wyłączone ($Z = 0$). Wartość pomiaru temperatury odczytano korzystając z funkcji `readMeasurements(1)`. Temperatura T1 ustabilizowała się na wartości **27.75°C**

2.2. Wyznaczenie odpowiedzi toru zakłócenie-wyjście

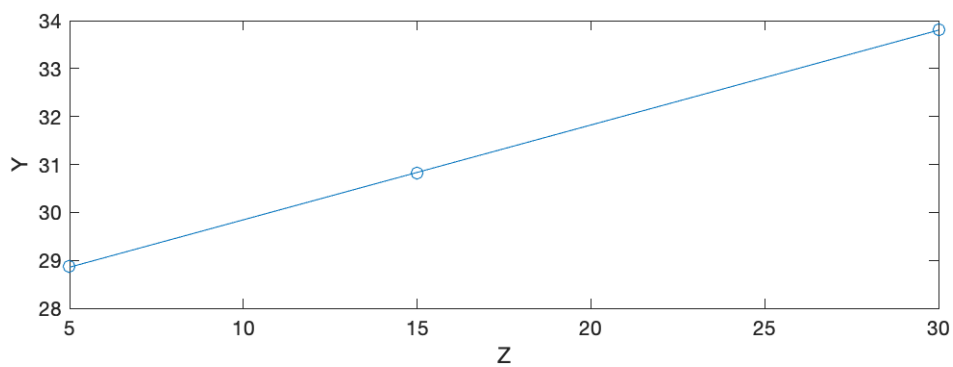
Zarejestrowano przebieg temperatury T1 dla trzech różnych zmian zakłócenia Z, rozpoczynając od 0 do 5, 15 i 30. Otrzymane przebiegi zmian przedstawiono na Rys. 2.1.



Rys. 2.1. Odpowiedzi skokowe procesu

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

$$K_{stat} = 0.1976$$



Rys. 2.2. Charakterystyka statyczna obiektu

2.3. Przekształcenie odpowiedzi skokowej