

Zespół	Radosław Smoter Arkadiusz Halat
Numer grupy	LK3
Grupa ćwiczenia	4
Temat projektu	Regulator PI oraz PID.
Data oddania	
Prowadzący przedmiot	Mgr inż. Denys Gutenko
Ocena	

Modelowanie Układów Dynamicznych

Spis treści

1	Wstęp.....	1
1.1	Cel projektu.....	1
1.2	Informacje wstępne.....	1
1.3	Transmitancja.....	2
2	Charakterystyki czasowe.....	2
2.1	Charakterystyka skokowa.....	2
2.2	Charakterystyka impulsowa.....	3
3	Układ regulacji i nastaw.....	3
3.1	Dobór parametrów regulacji.....	3
3.2	Regulator PI.....	3
3.3	Regulator PID.....	3
4	Charakterystyki częstotliwościowe:.....	3
4.1	Charakterystyka Nyquista.....	3
4.2	Charakterystyka Bodego.....	3
4.3	Stabilność układu.....	3
5	Źródła.....	4

1 Wstęp

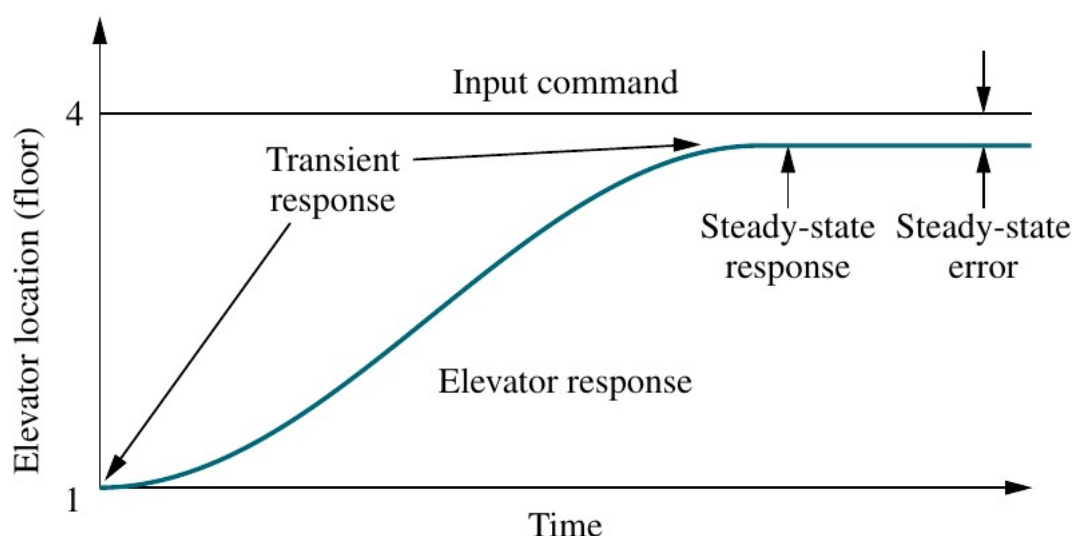
1.1 Cel projektu

Celem projektu jest dobór parametrów, które zapewnią stabilną pracę regulatorów PI oraz PID.

1.2 Informacje wstępne

Systemy kontroli są nieodzowną częścią otaczającego nas świata z niezliczoną ilością zastosowań wokół nas. Systemy kontroli składają się z podsystemów oraz procesów, złożonych w taki sposób, by osiągnąć zamierzony efekt, tj. wynik działania tego systemu na zadany sygnał wejściowy.

Można wyróżnić dwie miary działania takich systemów, pierwszą nazwijmy odpowiedzią przejściową (ang. transient response, pol. stan nieustalony), a drugą – odpowiedzią stanu ustalonego (ang. steady-state response, pol. stan ustalony). Rozważmy przykład windy poruszającej się wraz z użytkownikiem. Za odpowiedź przejściową uznamy tutaj, jak duże winda ma przyspieszenie oraz jak długo przyspiesza. Kiedy jej ruch się ustabilizuje, dla jednej prędkości, ten ruch można uznać za odpowiedź stanu ustalonego układu windy. Błąd stanu ustalonego, pokazany na rysunku, możemy porównać do tego, czy jadąca winda zatrzyma się na odpowiednim piętrze i wysokości.



Rys. 1: Wykres zależności położenia windy od czasu. Źródło [1].

Całkowita suma odpowiedzi układu składa się z odpowiedzi naturalnej (ang. natural response) oraz odpowiedzi wymuszonej (ang. forced response). Odpowiedź naturalna mówi o tym, jak system rozprasza lub zdobywa energię. Odpowiedź naturalna jest związana wyłącznie z zachowaniem układu, więc celem systemu regulacji jest jej jak najlepsza eliminacja, w przeciwnym przypadku, odpowiedź naturalna przeważy odpowiedź wymuszoną i będzie zmierzać do nieskończoności, co może spowodować

zniszczenie systemu kontroli lub tego, co on kontroluje. Z kolei, odpowiedź wymuszona jest zależna wyłącznie od formy dostarczanych informacji.

Systemy kontroli muszą być stabilne, co oznacza, że ich odpowiedź naturalna z czasem musi równać się zero lub oscylować. W wielu systemach, odpowiedź przejściowa jest bezpośrednio powiązana z odpowiedzią naturalną, stąd, kiedy odpowiedź naturalna przybliży się do zera, gdy czas dąży do nieskończoności, to odpowiedź przejściowa również osiągnie zero, pozostawiając wyłącznie odpowiedź wymuszoną. Stabilny system będzie więc posiadał odpowiednie charakterystyki odpowiedzi przejściowej.

1.3 Transmitancja

Zadana nam transmitancja została przedstawiona w postaci transformacji Laplace'a.

$$G(s) = \frac{k e^{-T_0 s}}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}$$

gdzie parametry zostały ustalone: $k=4,5$ $T_1=5$ $T_2=3$ $T_0=2$

Oraz przeregulowanie układu zostało określone na 35% .

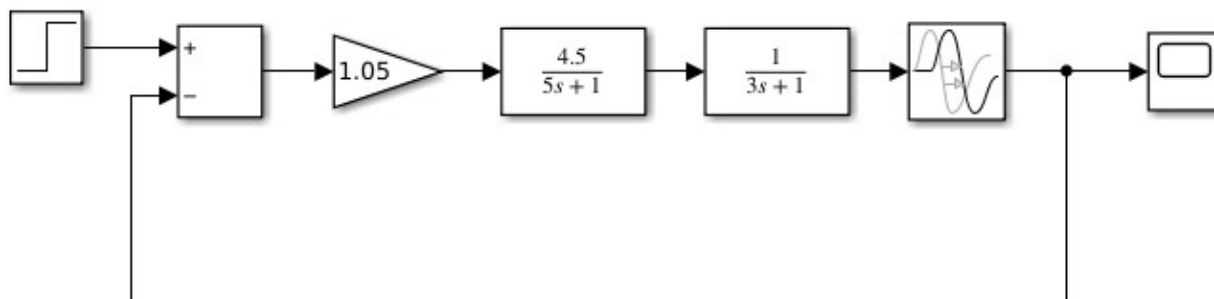
Daną transmitancję łatwo przekształcić do postaci operatorowej za pomocą odwrotnej transformacji Laplace'a.

$$\mathcal{L}^{-1} = \left(\frac{9e^{\frac{2}{5} - \frac{t}{5}}}{4} - \frac{9e^{\frac{2}{3} - \frac{t}{3}}}{4} \right) \theta(t-2)$$

2 Układ regulacji i nastaw

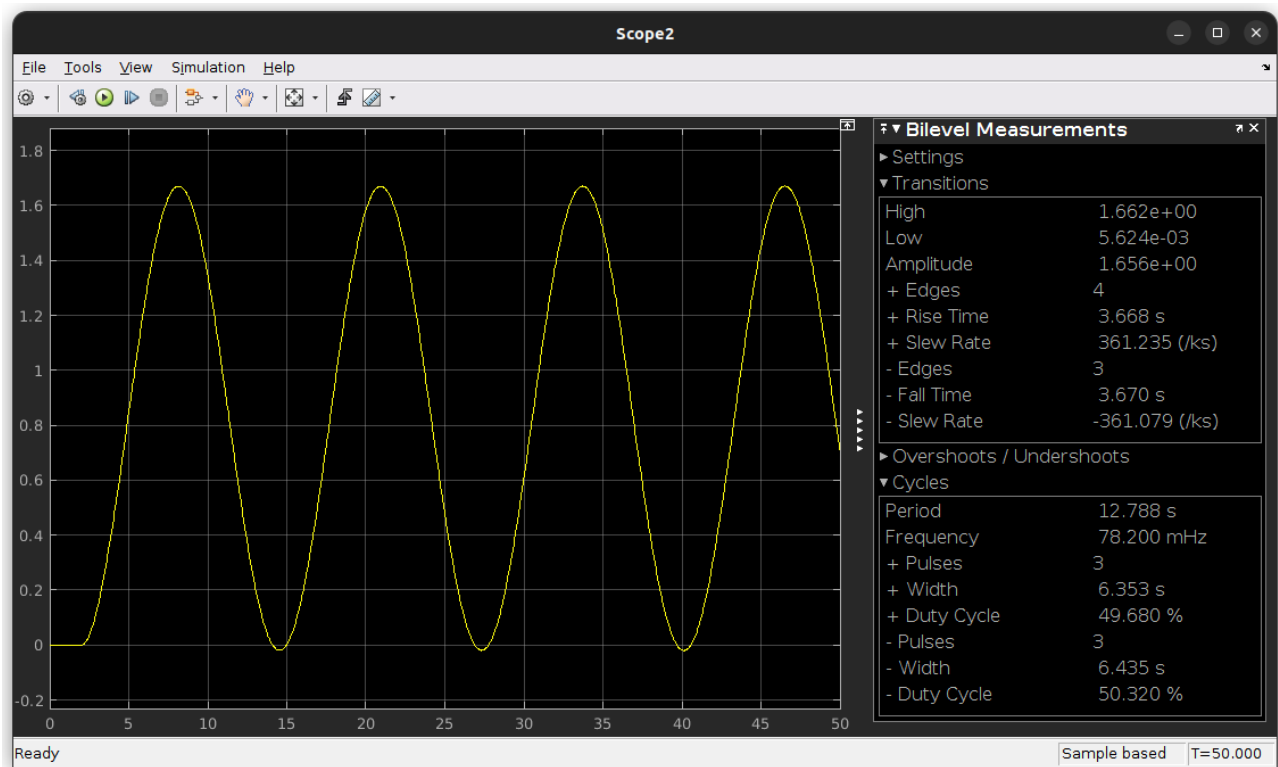
2.1 Dobór parametrów regulacji.

Regulacji dokonujemy za pomocą drugiej metody Nicholasa-Zieglera. Dla układu zamkniętego przedstawionej transmitancji tworzymy model w Simulinku.



Dla tak skonstruowanego układu dobieramy wzmocnienie w taki sposób, by pojawiający się w wyniku wykres przedstawiał oscylacje, których amplitudy kolejnych okresów nie zmieniają się w czasie. Wzmocnienie o takiej właściwości zapisujemy jako bazę dla naszego wzmocnienia użytego w regulatorze i dalej nazywamy wzmocnieniem krytycznym oraz oznaczamy przez $k_{kr}=1,05$.

Następnie mierzymy okres oscylacji w domenie czasowej symulacji wynoszącej 50s.



Rys. 2: Wprowadzenie układu złożonego z zadanej transmitancji w nietłumione oscylacje, czas symulacji: 50 s.

Jak widać na obrazie, wartość Period wynosi 12,788 sekund, co zapisujemy jako $T_{osc}=12,788\text{ s}$. Z tak dobranymi parametrami możemy dokonać regulacji kontrolerów.

2.2 Regulator PI

Regulator PI ma taką postać matematyczną:

$$m(t)=k_p[e(t)+\frac{1}{T_i}\int_0^t e(\tau)]$$

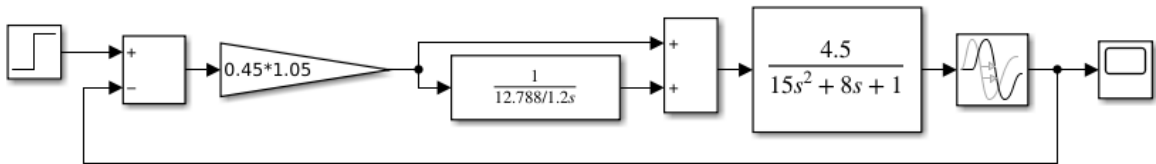
$$G_r(s)=k_p[1+\frac{1}{sT_i}]$$

Metoda Nicholasa-Zieglera podaje takie wartości dla regulacji odpowiednich komponentów użytych w regulatorze:

$$k_p=0,45\,k_{kr}=0,45\cdot 1,05=0,4725$$

$$T_i = \frac{T_{osc}}{1,2} = \frac{12,788}{1,2} = 10,6567$$

Po podstawieniu do modelu w Simulinku, otrzymujemy kontroler PI:



Rys. 3: Regulator PI.

2.3 Regulator PID

$$m(t) = k_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + \frac{T_d}{T} e^{-\frac{t}{T}} \right]$$

$$G_r(s) = k_p \left[1 + \frac{1}{sT_i} + \frac{sT_d}{sT + 1} \right]$$

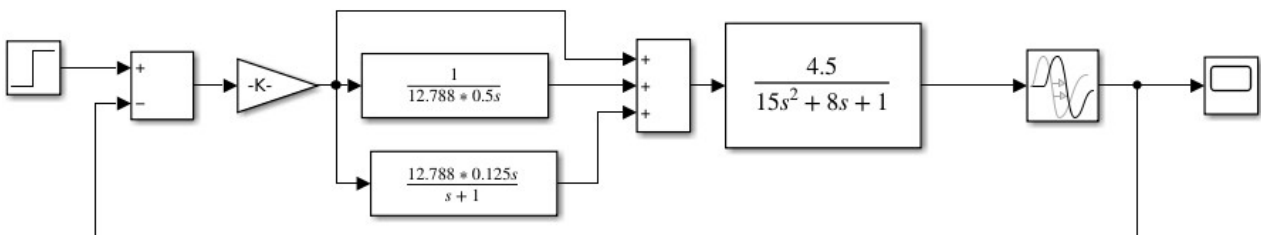
Dla poszczególnych komponentów, metoda Nicholasa-Zieglera podaje takie wartości ich współczynników:

$$k_p = 0,6 k_{kr} = 0,6 \cdot 1,05 = 0,63$$

$$T_i = 0,5 T_{osc} = 0,5 \cdot 12,788 = 6,394 \text{ s}$$

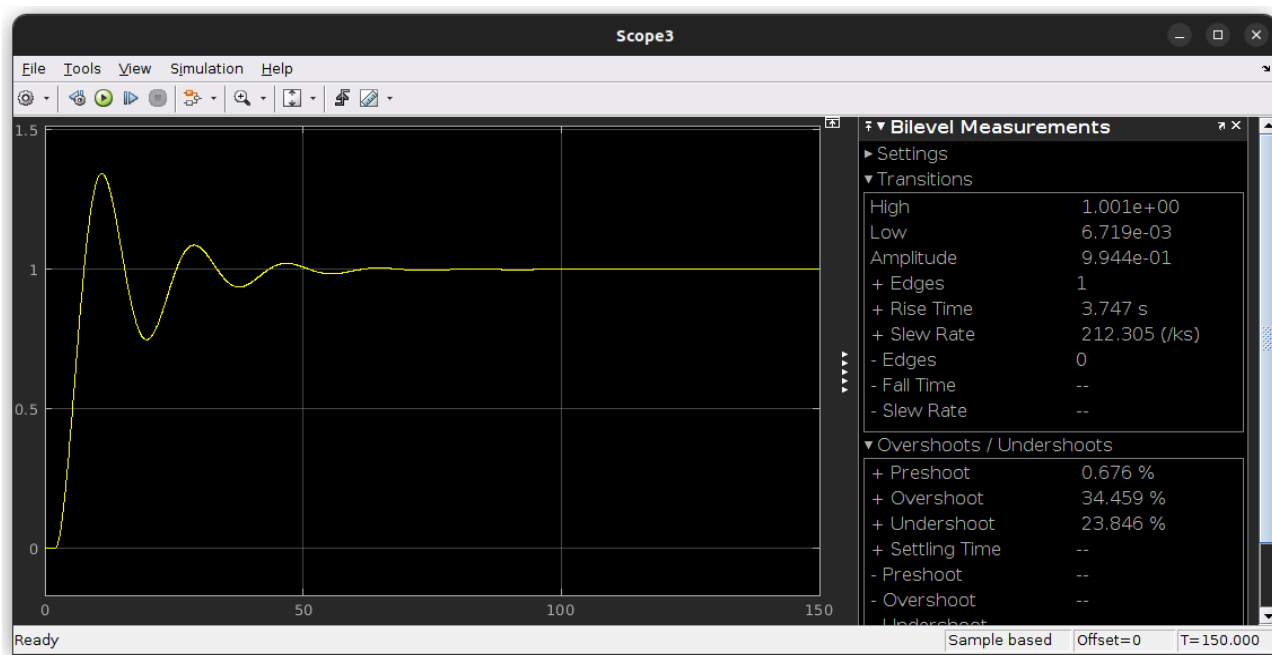
$$T_d = \frac{T_{osc}}{8} = \frac{12,788}{8} = 1,5985 \text{ s}$$

Po podstawieniu tych parametrów dostajemy układ PID:



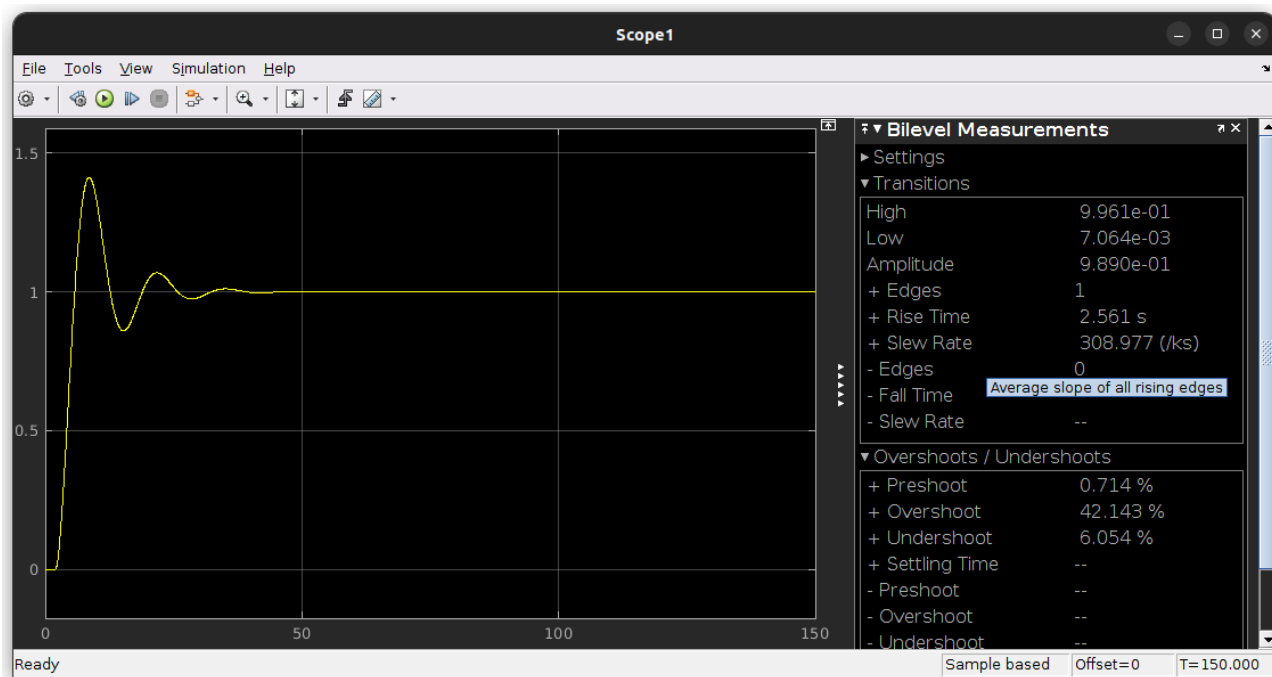
3 Charakterystyki czasowe

3.1 Charakterystyka skokowa



Rys. 4: Symulacja odpowiedzi skokowej zamkniętego układu kontrolera PI dla zadanej transmitancji, w domenie czasowej 150 s symulacji.

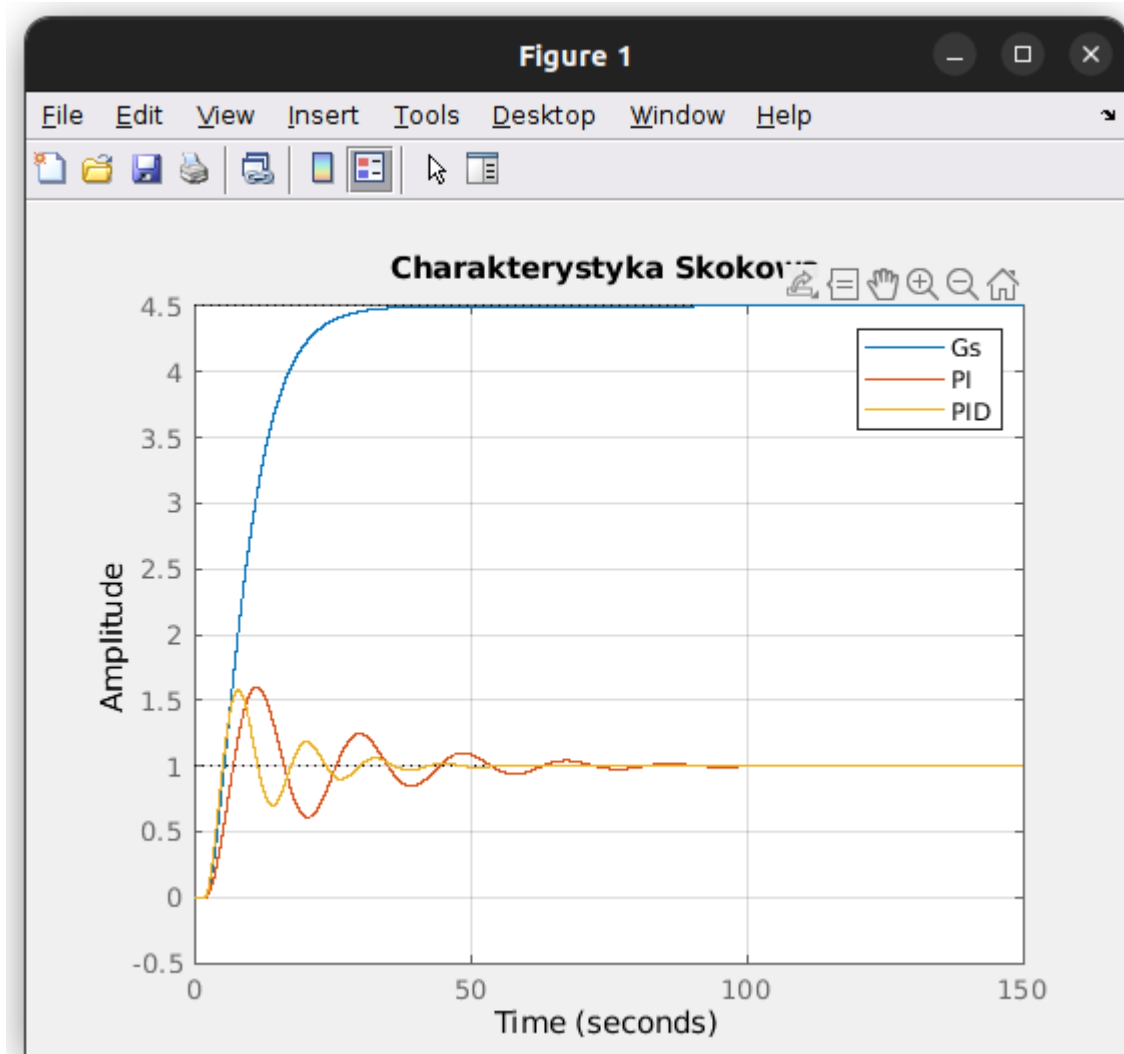
Jak widać na obrazie, przeregulowanie tego kontrolera wynosi 34,459%, co jest bardzo bliskie zadanemu przeregulowaniu 35%.



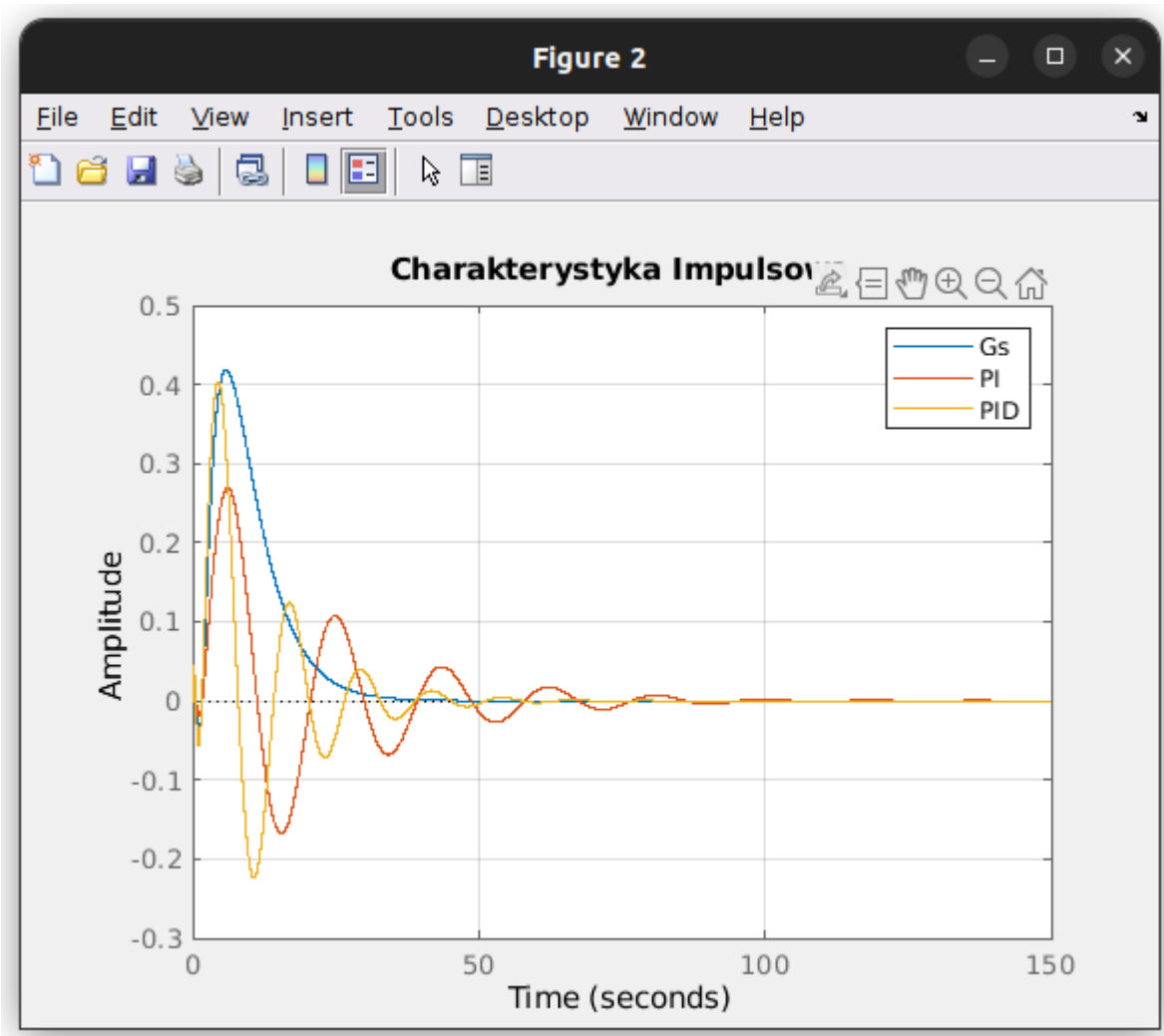
Rys. 5: Symulacja odpowiedzi skokowej zamkniętego układu kontrolera PID dla zadanej transmitancji, w domenie czasowej 150 s symulacji.

Z kolei przeregulowanie kontrolera PID dla tych wartości, wynosi 42,143%.

Po nałożeniu na siebie obu charakterystyk po regulacji oraz przed regulacją:

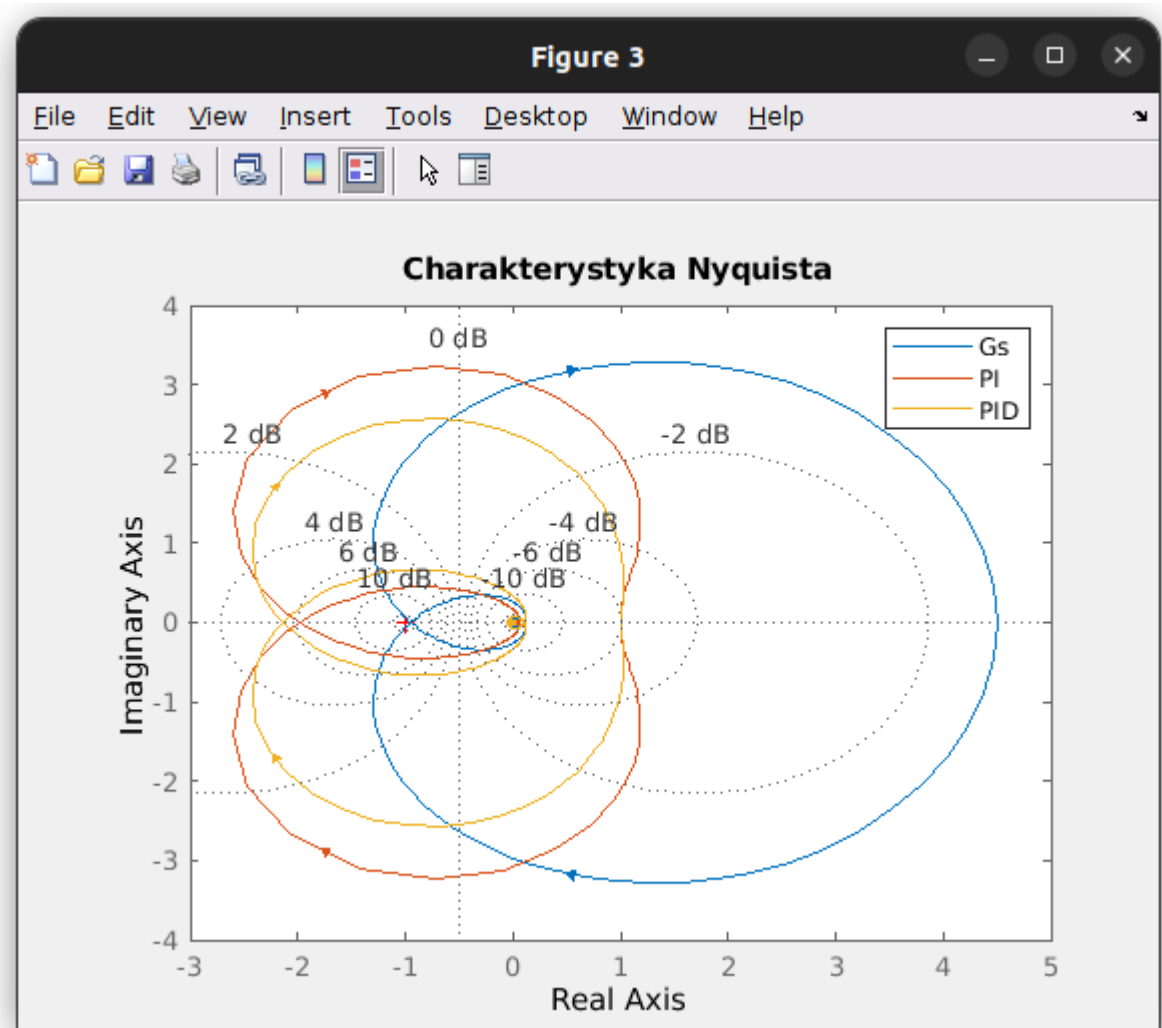


3.2 Charakterystyka impulsowa

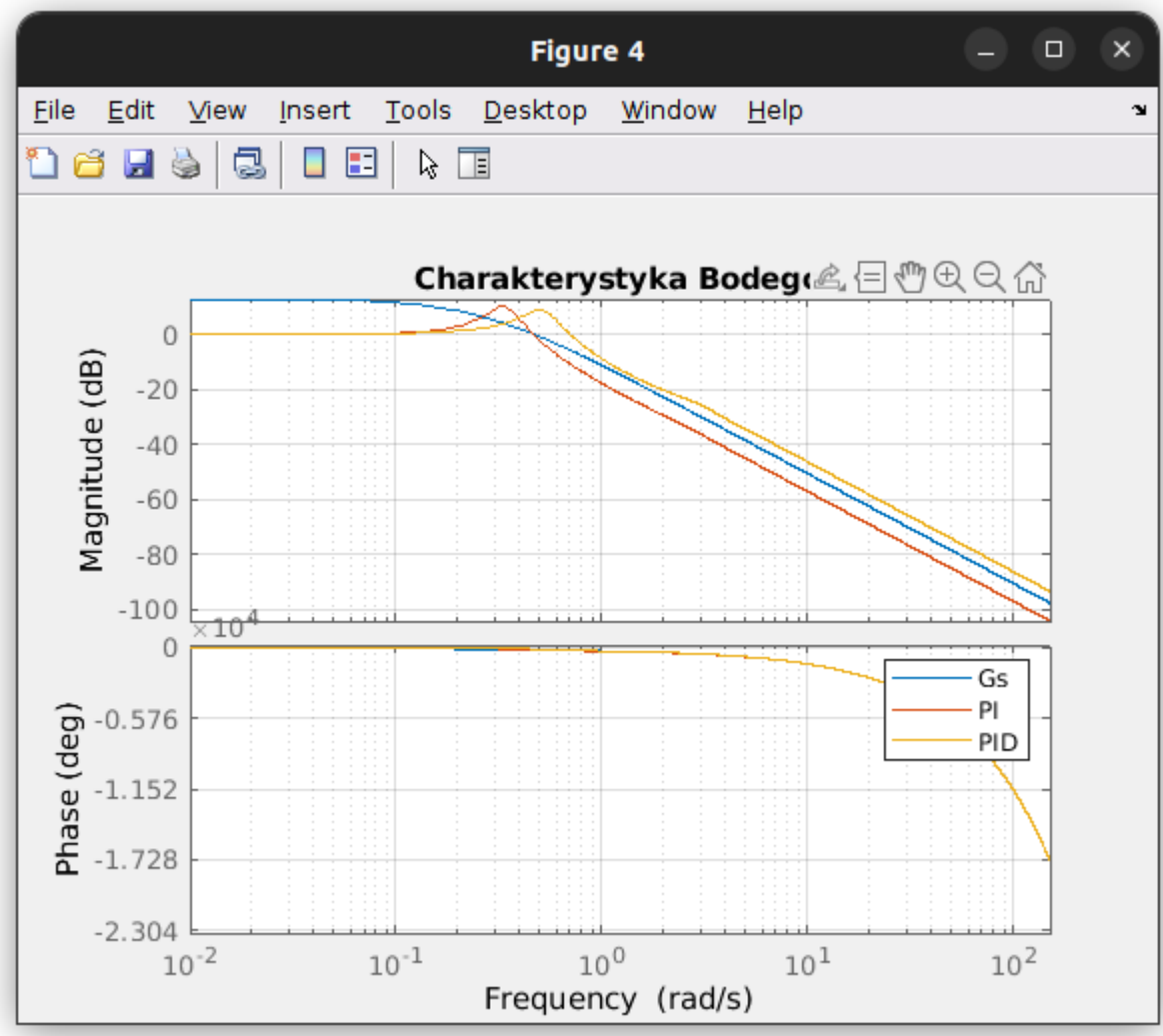


4 Charakterystyki częstotliwościowe:

4.1 Charakterystyka Nyquista.



4.2 Charakterystyka Bodego.



5 Kod

```
clear; close all; clc;

time = 0:0.01:150; % Czas.

% Stwórz obiekt inercyjny dla kontrolera PID
num = 4.5; % Licznik.
denum = [15, 8, 1]; % Mianownik.
T0 = 2; % Opóźnienie.
Gs = tf(num, denum, "InputDelay", T0); % Obiekt inercyjny.

T_osc = 12.788; % Czas oscylacji.
Kkr = 1.05; % Wzmocnienie krytyczne.
% PID
Kp = 0.6 * Kkr; % Współczynn timer wzmocnienia regulatora PID.
Ti = T_osc * 0.5; % Stała czasowa dla regulatora PID, dla obiektu
całkującego.
```

```

Td = T_osc / 8; % Stała czasowa dla regulatora PID, dla obiektu
różniczkującego.
T = 1; % Stała czasowa dla regulatora PID, dla obiektu różniczkującego.
% PI
Kpp = 0.45 * Kkr; % Współczynnik wzmocnienia regulatora PI.
Tii = T_osc / 1.2; % Stała czasowa dla regulatora PI, dla obiektu
całkującego.

% Stworzenie kontrolera PID
CPID = pid(Kp, Kp / Ti, Kp * Td, T);
% Stworzenie kontrolera PI
CPI = pid(Kpp, Kpp / Ti);

% Stworzenie obiektu inercyjnego z regulatorem.
TrefPID = getPIDLoopResponse(CPID, Gs, "closed-loop");
TrefPI = getPIDLoopResponse(CPI, Gs, "closed-loop");

% Charakterystyka skokowa.
figure(1);
step(time, Gs); grid on; hold on;
step(time, TrefPI)
step(time, TrefPID); hold off;
title("Charakterystyka Skokowa");
legend("Gs", "PI", "PID");

% Zaproksymuj obiekt inercyjny.
sysGs = pade(Gs, 2);
sysPI = pade(TrefPI, 2);
sysPID = pade(TrefPID, 2);

% Charakterystyka impulsowa.
figure(2);
impulse(time, sysGs); grid on; hold on;
impulse(time, sysPI);
impulse(time, sysPID); hold off;
title("Charakterystyka Impulsowa");
legend("Gs", "PI", "PID");

% Charakterystyka Nyquista.
figure(3);
nyquist(time, Gs); grid on; hold on;
nyquist(time, TrefPI);
nyquist(time, TrefPID); hold off;
title("Charakterystyka Nyquista");
legend("Gs", "PI", "PID");

% Charakterystyka Bodego.
figure(4);

```

```
bode(time, Gs); grid on; hold on;  
bode(time, TrefPI);  
bode(time, TrefPID); hold off;  
title("Charakterystyka Bodego");  
legend("Gs", "PI", "PID");
```

6 Źródła

[1] „Control Systems Engineering Sixth Edition”, rozdz. 1.1, Norman S. Nise, John Wiley & Sons, Inc., 2011