Charakterystyki czasowe i częstotliwościowe podstawowych obiektów dynamicznych

Sprawozdanie

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica

Modelowanie Systemów Dynamicznych 2022 WEAliIB, Automatyka i Robotyka

Data wykonania ćwiczenia: 19.10.2022r.

Data oddania sprawozdania: 25.10.2022r.

Spis Treści

- 1. Cel ćwiczeń
- 2. Wstęp teoretyczny
- 3. Rozwiązanie zadań
 - 3.1. Obiekt inercyjny I rzędu
- 3.2. Obiekt inercyjny II rzędu
- 3.3. Obiekt inercyjny II rzędu (inna postać)
- 3.4. Obiekt całkujący rzeczywisty
- 3.5. Obiekt różniczkujący rzeczywisty
- 3.6. Obiekt inercyjny I rzędu z opóźnieniem
- 4. Wnioski
- 5. Bibliografia

1. Cel ćwiczeń

Celem laboratorium jest narysowanie w środowisku *Matlab* wykresów charakterystyk czasowych i częstotliwościowych podstawowych obiektów dynamicznych.

2. Wstęp teoretyczny

Podstawowe obiekty dynamiczne zostały umieszczone w poniższej tabeli wraz z ich transmitancjami.

Obiekt	Transmitancja operatorowa
inercyjny I rzędu	$G(s) = \frac{k}{Ts + 1}$
inercyjny II rzędu	$G(s) = \frac{k}{T_1 T_2 s^2 + (T_1 + T_2)s + 1}$
inercyjny II rzędu (inny zapis)	$G(s) = \frac{k}{T^2 s^2 + 2\xi T s + 1}$
całkujący rzeczywisty	$G(s) = \frac{k}{T_i s(Ts+1)}$
różniczkujący rzeczywisty	$G(s) = \frac{T_d s}{Ts + 1}$
inercyjny I rzędu z opóźnieniem	$G(s) = \frac{e^{-s\theta}}{Ts + 1}$

Tabela transmitancji operatorowych wybranych obiektów dynamicznych

Transmitancja to stosunek transformaty Laplace'a sygnału wyjściowego Y(s) do transformaty Laplace'a sygnału wejściowego X(s) w momencie, gdy warunki początkowe są zerowe.

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)}$$

Matematyczna postać transmitancji

Transmitancję w produkcie firmy *Mathworks* reprezentują dwa wektory, które posiadają współczynniki liczbowe licznika i mianownika. Wypisywane wartości podaje się zaczynając od liczby znajdującego się obok najwyższej potęgi *s*, po kolei.

W tym laboratorium zwrócono uwagę na dwa rodzaje wymuszeń:

- skok jednostkowy, który jest powiązany z charakterystyką skokową (funkcja step w Matlabie),
- deltę Diraca powiązaną z charakterystyką impulsową (funkcja impulse w Matlabie).

Opóźnienie jest efektem polegającym na obserwacji tego samego przebiegu zmiennej na wyjściu, jaki był widoczny na wejściu po upłynięciu pewnej wartości czasu.

Do realizacji obiektów z opóźnieniem w *Matlabie* potrzeba połączyć szeregowo transmitancję bez opóźnienia oraz członu opóźniającego, wyznaczonego przy pomocy polecenia *pade*.

W przypadku charakterystyk częstotliwościowych człowiek obserwuje rezultaty dokonania wymuszenia na obiekcie w postaci sinusoidy $A\sin(\omega t)$.

Wyróżnia się dwa rodzaje wykresów służących do analizy wyżej wspominanych charakterystyk:

- wykres Bodego (charakterystyka amplitudowa i fazowa; funkcja bode w Matlabie),
- wykres Nyquista (charakterystyka amplitudowo–fazowa; funkcja nyquist w Matlabie).

3. Rozwiązanie zadań

Każdy z poniższych podrozdziałów zawiera kod programu, którego ostatecznym efektem są wykresy odpowiedzi skokowej, odpowiedzi impulsowej, wykres Nyquista i dwa wykresy Bodego dla wymienionych w tabeli we wstępie teoretycznym obiektów dynamicznych. W celu realizacji polecenia, odpowiednim zmiennym każdorazowo nadano określone wartości, utworzono wektory *licz* i *mian*, użyto komend *step* oraz *impulse*, skończywszy na wyrysowaniu charakterystyk i dodając odpowiednie elementy do wykresów (takie jak tytuł, opisy osi i legenda).

Wykresy Bodego zostały wyznaczone przez wykorzystanie funkcji *bode*, dokonanie wskazanych w instrukcji do laboratorium przekształceń i ukazanie przebiegu zależności od częstotliwości, gdzie oś odciętych posiada skalę logarytmiczną.

Wykresy Nyquista zostały utworzone na trzy sposoby.

I sposób – użyto funkcji *nyquist*, a później wyłączono manualnie pokazywanie trajektorii odpowiadającej ujemnym wartością częstotliwości.

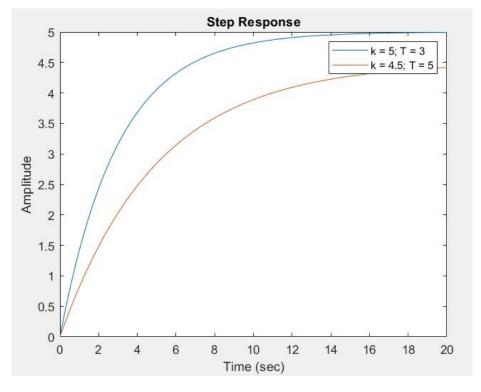
II sposób – przypisano do zmiennych *Re* (część rzeczywista) i *Im* (część urojona) wartości zwracane przez polecenie *nyquist*, a następnie narysowano je w układzie współrzędnych.

III sposób – automatycznie wyłączono pokazywanie nieprawidłowej trajektorii korzystając z komend *nyquistplot* i *setoptions*.

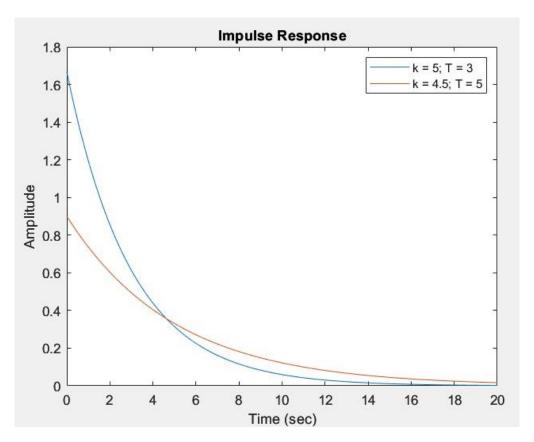
3.1. Obiekt inercyjny I rzędu

```
%% Obiekt inercyjny I rzędu
t = 0:0.1:20;
k = 5;
T = 3;
licz = [0, k];
                                                 nyquist(licz, mian);
mian = [T, 1];
                                                 title('Wykres Nyquista');
y1 = step(licz, mian, t);
                                                 xlabel('0s rzeczywista');
                                                 ylabel('Oś urojona');
z1 = impulse(licz, mian, t);
f1 = figure();
                                                 [A, F] = bode(licz, mian, omega);
                                                 A_{db} = 20*log10(A);
subplot(2,2,[1,3]);
                                                 subplot(2,2,2);
nyquist(licz, mian);
                                                 semilogx(omega, A_db);
title('Wykres Nyquista');
                                                 title('Wykres Bodego');
xlabel('Oś rzeczywista');
                                                 ylabel('Amplituda [dB]');
ylabel('0ś urojona');
                                                 subplot(2,2,4);
omega = logspace(-2, 2, 1000);
                                                 semilogx(omega, F);
[A, F] = bode(licz, mian, omega);
                                                 xlabel('Częstotliwość');
A_{db} = 20*log10(A);
                                                 ylabel('Faza [stopnie]');
subplot(2,2,2);
                                                 f3 = figure();
semilogx(omega, A_db);
                                                 plot(t, y1, t, y2);
                                                 title('Step Response');
xlabel('Time (sec)');
title('Wykres Bodego');
ylabel('Amplituda [dB]');
                                                 ylabel('Amplitude');
subplot(2,2,4);
                                                 legend('k = 5; T = 3', 'k = 4.5; T = 5');
semilogx(omega, F);
                                                 f4 = figure();
xlabel('Częstotliwość');
                                                plot(t, z1, t, z2);
title('Impulse Response');
ylabel('Faza [stopnie]');
k = 4.5;
                                                 xlabel('Time (sec)');
T = 5;
                                                 ylabel('Amplitude');
licz = [0, k];
                                                 legend('k = 5; T = 3', 'k = 4.5; T = 5');
mian = [T, 1];
y2 = step(licz, mian, t);
z2 = impulse(licz, mian, t);
f2 = figure();
subplot(2,2,[1,3]);
```

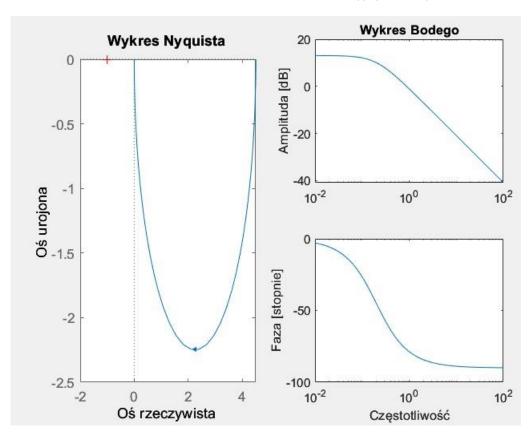
Kod realizujący zadane w ćwiczeniu polecenie dla obiektów inercyjnych I rzędu



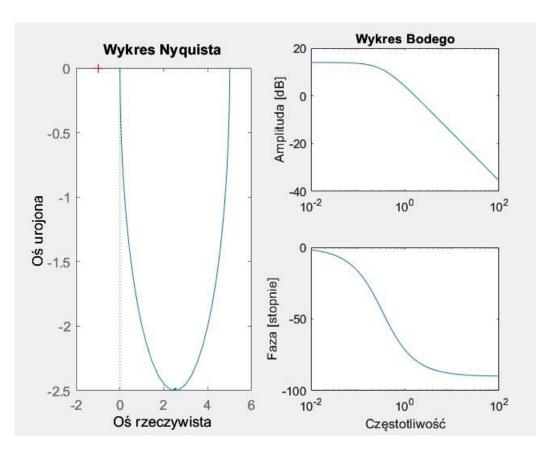
Odpowiedzi skokowe dla obiektów inercyjnych I rzędu



Odpowiedzi impulsowe dla obiektów inercyjnych I rzędu



Wykresy Nyquista i Bodego dla obiektu inercyjnego I rzędu o parametrach k = 4.5 i T = 5

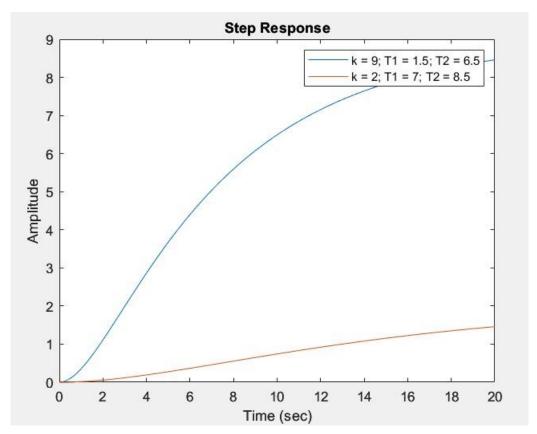


Wykresy Nyquista i Bodego dla obiektu inercyjnego I rzędu o parametrach k = 5 i T = 3

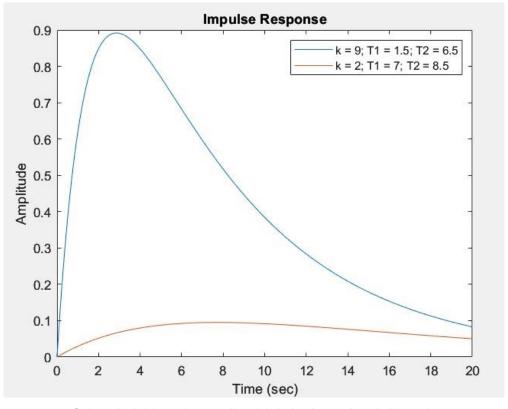
3.2. Obiekt inercyjny II rzędu

```
%% Obiekt inercyjny II rzędu
                                     z2 = impulse(licz, mian, t);
t = 0:0.1:20;
                                     f6 = figure();
k = 9:
                                     [Re, Im] = nyquist(licz, mian);
T1 = 1.5;
                                     subplot(2,2,[1,3]);
T2 = 6.5;
                                     plot(Re(:), Im(:));
licz = [0, 0, k];
mian = [T1*T2, T1+T2, 1];
                                     title('Wykres Nyquista');
                                     xlabel('0ś rzeczywista');
y1 = step(licz, mian, t);
z1 = impulse(licz, mian, t);
                                     ylabel('Oś urojona');
                                     [A, F] = bode(licz, mian, omega);
f5 = figure();
[Re, Im] = nyquist(licz, mian);
                                     A_{db} = 20*log10(A);
subplot(2,2,[1,3]);
                                     subplot(2,2,2);
plot(Re(:), Im(:));
                                     semilogx(omega, A_db);
title('Wykres Nyquista');
                                     title('Wykres Bodego');
xlabel('Oś rzeczywista');
                                     ylabel('Amplituda [dB]');
ylabel('Oś urojona');
                                     subplot(2,2,4);
omega = logspace(-2, 2, 1000);
                                     semilogx(omega, F);
[A, F] = bode(licz, mian, omega);
                                     xlabel('Częstotliwość');
A_{db} = 20*log10(A);
                                     ylabel('Faza [stopnie]');
subplot(2,2,2);
semilogx(omega, A_db);
                                     f7 = figure();
                                     plot(t, y1, t, y2);
title('Step Response');
xlabel('Time (sec)');
title('Wykres Bodego');
ylabel('Amplituda [dB]');
subplot(2,2,4);
semilogx(omega, F);
                                     ylabel('Amplitude');
xlabel('Częstotliwość');
                                     legend('k = 9; T1 = 1.5; T2 = 6.5', 'k = 2; T1 = 7; T2 = 8.5');
ylabel('Faza [stopnie]');
                                     f8 = figure();
k = 2;
                                     plot(t, z1, t, z2);
T1 = 7;
                                     title('Impulse Response');
T2 = 8.5;
                                     xlabel('Time (sec)');
licz = [0, 0, k];
mian = [T1*T2, T1+T2, 1];
                                     ylabel('Amplitude');
                                     legend('k = 9; T1 = 1.5; T2 = 6.5', 'k = 2; T1 = 7; T2 = 8.5');
y2 = step(licz, mian, t);
```

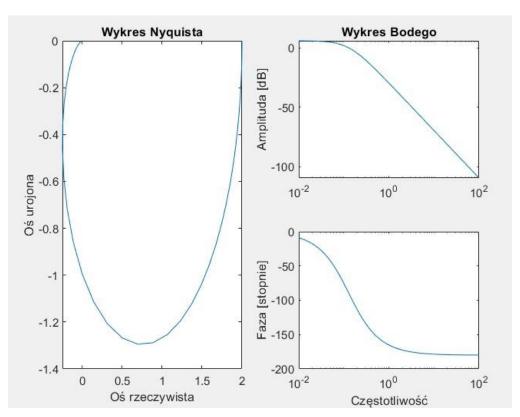
Kod realizujący zadane w ćwiczeniu polecenie dla obiektów inercyjnych II rzędu



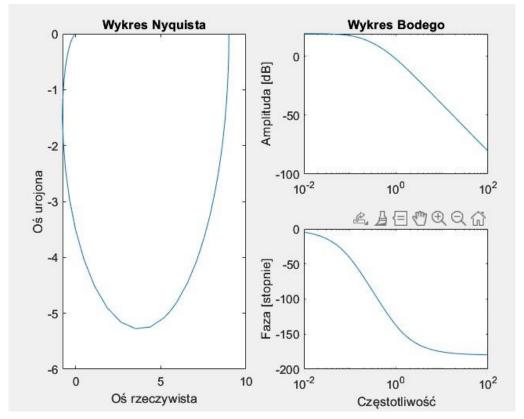
Odpowiedzi skokowe dla obiektów inercyjnych II rzędu



Odpowiedzi impulsowe dla obiektów inercyjnych II rzędu



Wykresy Nyquista i Bodego dla obiektu inercyjnego II rzędu o parametrach k = 2, T1 = 7 i T2 = 8.5



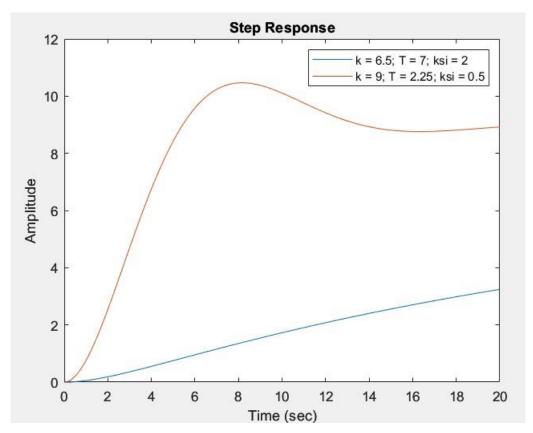
Wykresy Nyquista i Bodego dla obiektu inercyjnego II rzędu o parametrach k = 9, T1 = 1.5 i T2 = 6.5

3.3. Obiekt inercyjny II rzędu (inna postać)

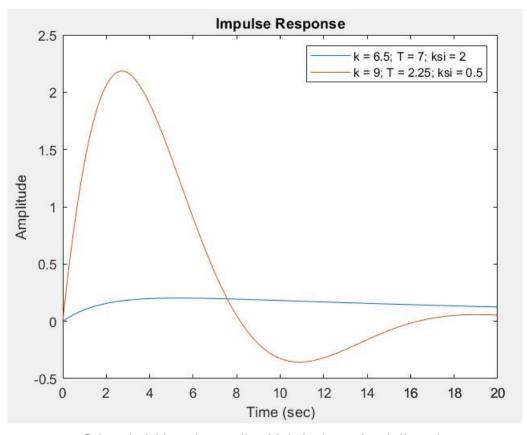
W poniższym przykładzie przyjęto dwa obiekty o różnych współczynnikach tłumienia. Jeden z nich wynosi 2 (układ tłumiony), a drugi – 0.5 (układ oscylacyjny).

```
%% Obiekt inercyjny II rzędu (inna postać)
                                               mian = [T^2, 2*ksi*T, 1];
t = 0:0.1:20;
                                               y2 = step(licz, mian, t);
k = 6.5;
                                               z2 = impulse(licz, mian, t);
T = 7;
                                               f10 = figure();
                                               sys = tf(licz, mian);
ksi = 2;
licz = [0, 0, k];
                                              subplot(2,2,[1,3]);
mian = [T^2, 2*ksi*T, 1];
                                               h = nyquistplot(sys);
y1 = step(licz, mian, t);
                                              setoptions(h, 'ShowFullContour', 'off');
z1 = impulse(licz, mian, t);
                                              title('Wykres Nyquista');
f9 = figure();
                                              xlabel('Oś rzeczywista');
                                               ylabel('Oś urojona');
sys = tf(licz, mian);
subplot(2,2,[1,3]);
                                              [A, F] = bode(licz, mian, omega);
                                              A_{db} = 20*log10(A);
h = nyquistplot(sys);
setoptions(h, 'ShowFullContour', 'off');
                                              subplot(2,2,2);
                                              semilogx(omega, A_db);
title('Wykres Nyquista');
                                              title('Wykres Bodego');
xlabel('0ś rzeczywista');
ylabel('Oś urojona');
                                              ylabel('Amplituda [dB]');
                                              subplot(2,2,4);
omega = logspace(-2, 2, 1000);
[A, F] = bode(licz, mian, omega);
                                             semilogx(omega, F);
                                              xlabel('Częstotliwość');
A_{db} = 20*log10(A);
                                              ylabel('Faza [stopnie]');
subplot(2,2,2);
                                              f11 = figure();
semilogx(omega, A_db);
                                             plot(t, y1, t, y2);
title('Step Response');
title('Wykres Bodego');
ylabel('Amplituda [dB]');
                                             xlabel('Time (sec)');
subplot(2,2,4);
                                             ylabel('Amplitude');
legend('k = 6.5; T = 7; ksi = 2', 'k = 9; T = 2.25; ksi = 0.5');
semilogx(omega, F);
xlabel('Częstotliwość');
                                              f12 = figure();
ylabel('Faza [stopnie]');
                                              plot(t, z1, t, z2);
k = 9;
                                               title('Impulse Response');
T = 2.25;
                                              xlabel('Time (sec)');
ksi = 0.5;
                                              ylabel('Amplitude');
licz = [0, 0, k];
                                               legend('k = 6.5; T = 7; ksi = 2', 'k = 9; T = 2.25; ksi = 0.5');
```

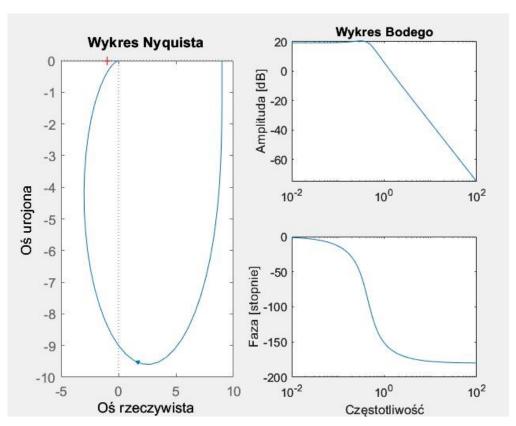
Kod realizujący zadane w ćwiczeniu polecenie dla obiektów inercyjnych II rzędu



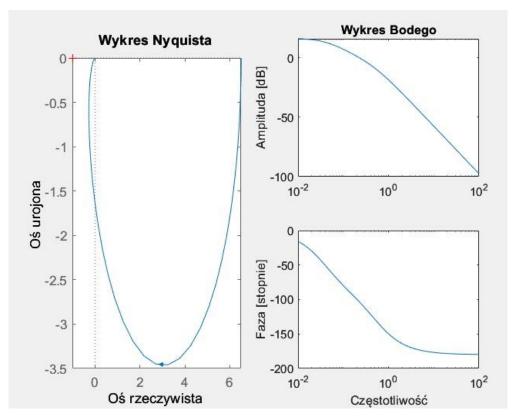
Odpowiedzi skokowe dla obiektów inercyjnych II rzędu



Odpowiedzi impulsowe dla obiektów inercyjnych II rzędu



Wykresy Nyquista i Bodego dla obiektu inercyjnego II rzędu o parametrach k = 9, T = 2.25 i ξ = 0.5

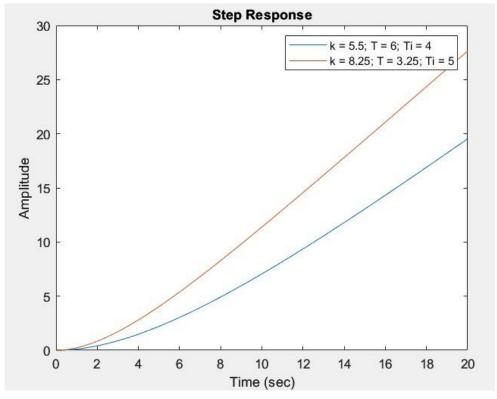


Wykresy Nyquista i Bodego dla obiektu inercyjnego II rzędu o parametrach k = 6.5, T = 7 i ξ = 2

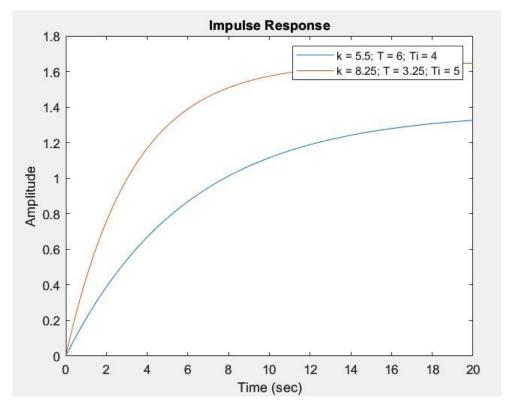
3.4. Obiekt całujący rzeczywisty

```
%% Obiekt całkujący rzeczywisty
t = 0:0.1:20;
k = 5.5;
T = 6;
Ti = 4;
                                     title('Wykres Nyquista');
licz = [0, 0, k];
                                     xlabel('Oś rzeczywista');
mian = [T*Ti, Ti, 0];
                                     ylabel('Oś urojona');
y1 = step(licz, mian, t);
                                     [A, F] = bode(licz, mian, omega);
z1 = impulse(licz, mian, t);
                                     A_{db} = 20*log10(A);
f13 = figure();
                                     subplot(2,2,2);
subplot(2,2,[1,3]);
                                     semilogx(omega, A_db);
nyquist(licz, mian);
                                     title('Wykres Bodego');
title('Wykres Nyquista');
                                     ylabel('Amplituda [dB]');
xlabel('0ś rzeczywista');
                                     subplot(2,2,4);
ylabel('0ś urojona');
                                     semilogx(omega, F);
omega = logspace(-2, 2, 1000);
                                     xlabel('Częstotliwość');
[A, F] = bode(licz, mian, omega);
                                     ylabel('Faza [stopnie]');
A_{db} = 20*log10(A);
                                     f15 = figure();
subplot(2,2,2);
                                     plot(t, y1, t, y2);
semilogx(omega, A_db);
                                     title('Step Response');
                                     xlabel('Time (sec)');
title('Wykres Bodego');
                                     ylabel('Amplitude');
ylabel('Amplituda [dB]');
                                     legend('k = 5.5; T = 6; Ti = 4', 'k = 8.25; T = 3.25; Ti = 5');
subplot(2,2,4);
                                     f16 = figure();
semilogx(omega, F);
                                     plot(t, z1, t, z2);
title('Impulse Response');
xlabel('Częstotliwość');
ylabel('Faza [stopnie]');
                                     xlabel('Time (sec)');
k = 8.25;
                                     ylabel('Amplitude');
T = 3.25;
                                     legend('k = 5.5; T = 6; Ti = 4', 'k = 8.25; T = 3.25; Ti = 5');
Ti = 5;
licz = [0, 0, k];
mian = [T*Ti, Ti, 0];
y2 = step(licz, mian, t);
z2 = impulse(licz, mian, t);
f14 = figure();
subplot(2,2,[1,3]);
nyquist(licz, mian);
```

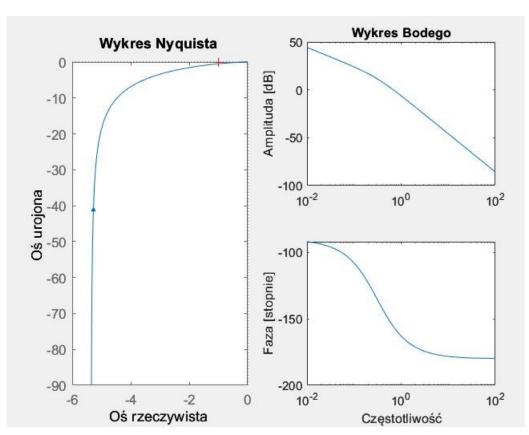
Kod realizujący zadane w ćwiczeniu polecenie dla obiektów całkujących rzeczywistych



Odpowiedzi skokowe dla obiektów całkujących rzeczywistych

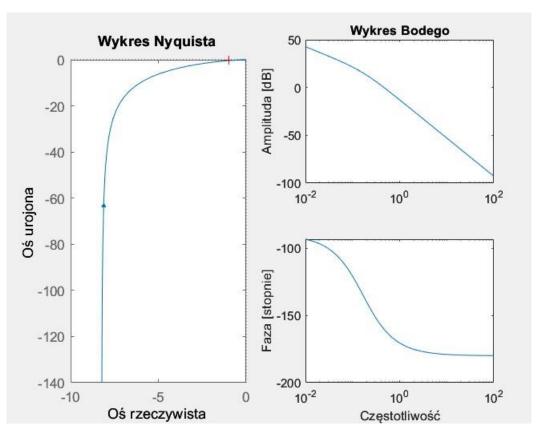


Odpowiedzi impulsowe dla obiektów całkujących rzeczywistych



Wykresy Nyquista i Bodego dla obiektu całkującego rzeczywistego o parametrach k = 8.25,

$$T = 3.25 i Ti = 5$$

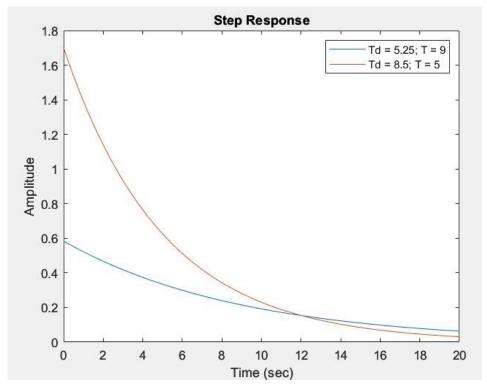


Wykresy Nyquista i Bodego dla obiektu całkującego rzeczywistego o parametrach k = 5.5, $\mathsf{T} = 6 \; \mathsf{i} \; \mathsf{Ti} = 4$

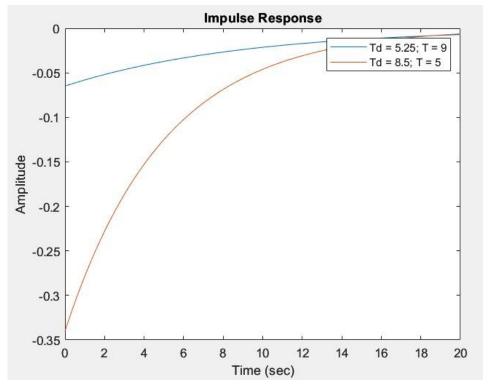
3.5. Obiekt różniczkujący rzeczywisty

```
%% Obiekt różniczkujący rzeczywisty
t = 0:0.1:20;
Td = 5.25;
T = 9;
                                             plot(Re(:), Im(:));
licz = [Td, 0];
mian = [T, 1];
                                             title('Wykres Nyquista');
                                             xlabel('0s rzeczywista');
y1 = step(licz, mian, t);
                                             ylabel('0ś urojona');
z1 = impulse(licz, mian, t);
                                             [A, F] = bode(licz, mian, omega);
f17 = figure();
                                             A_{db} = 20*log10(A);
[Re, Im] = nyquist(licz, mian);
                                             subplot(2,2,2);
subplot(2,2,[1,3]);
                                             semilogx(omega, A_db);
plot(Re(:), Im(:));
title('Wykres Nyquista');
                                             title('Wykres Bodego');
xlabel('0ś rzeczywista');
                                             ylabel('Amplituda [dB]');
ylabel('0ś urojona');
                                             subplot(2,2,4);
omega = logspace(-2, 2, 1000);
                                             semilogx(omega, F);
[A, F] = bode(licz, mian, omega);
                                             xlabel('Częstotliwość');
A_db = 20*log10(A);
                                             ylabel('Faza [stopnie]');
subplot(2,2,2);
                                             f19 = figure();
semilogx(omega, A_db);
                                             plot(t, y1, t, y2);
title('Wykres Bodego');
ylabel('Amplituda [dB]');
                                             title('Step Response');
subplot(2,2,4);
                                             xlabel('Time (sec)');
semilogx(omega, F);
                                             ylabel('Amplitude');
xlabel('Częstotliwość');
                                             legend('Td = 5.25; T = 9', 'Td = 8.5; T = 5');
ylabel('Faza [stopnie]');
                                             f20 = figure();
Td = 8.5;
                                             plot(t, z1, t, z2);
title('Impulse Response');
T = 5;
licz = [Td, 0];
                                             xlabel('Time (sec)');
mian = [T, 1];
                                             ylabel('Amplitude');
y2 = step(licz, mian, t);
                                             legend('Td = 5.25; T = 9', 'Td = 8.5; T = 5');
z2 = impulse(licz, mian, t);
f18 = figure();
[Re, Im] = nyquist(licz, mian);
subplot(2,2,[1,3]);
```

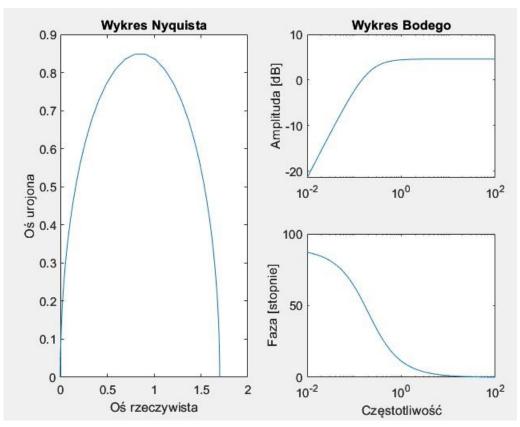
Kod realizujący zadane w ćwiczeniu polecenie dla obiektów różniczkujących rzeczywistych



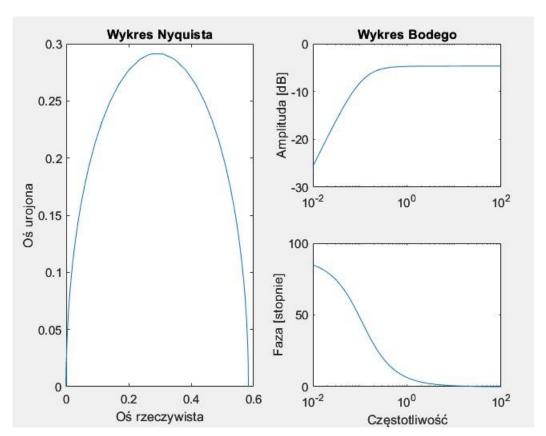
Odpowiedzi skokowe dla obiektów różniczkujących rzeczywistych



Odpowiedzi impulsowe dla obiektów różniczkujących rzeczywistych



Wykresy Nyquista i Bodego dla obiektu różniczkującego rzeczywistego o parametrach $\mathsf{Td} = 8.5,\,\mathsf{T} = 5$



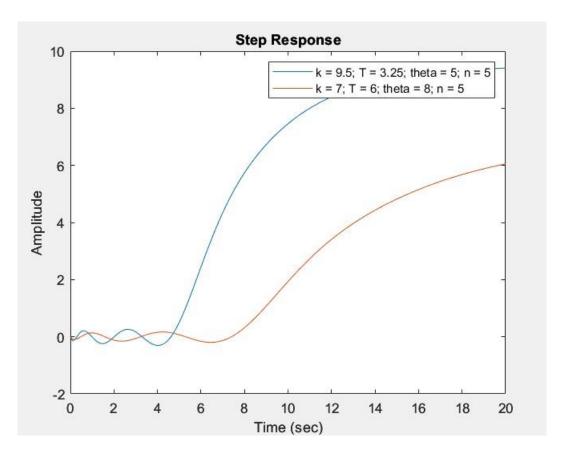
Wykresy Nyquista i Bodego dla obiektu różniczkującego rzeczywistego o parametrach $\mathsf{Td} = 5.25,\,\mathsf{T} = 9$

3.6. Obiekt inercyjny I rzędu z opóźnieniem

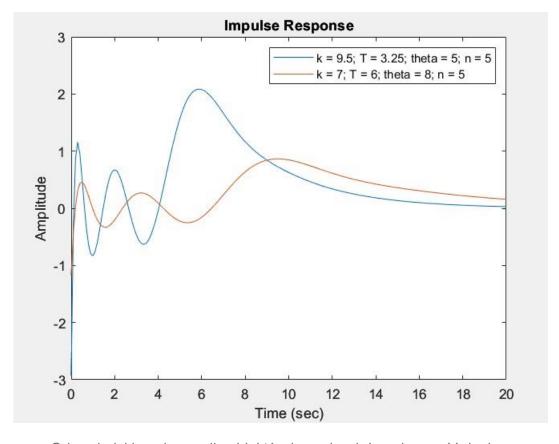
W ramach zadania przyjęto opóźnienie równe 5 s oraz rząd aproksymacji wynoszący również 5.

```
%% Obiekt inercyjny I rzędu z opóźnieniem
                                                                     mian_iner = [T, 1];
t = 0:0.1:20;
                                                                     [licz_op, mian_op] = pade(theta, n);
k = 9.5;
                                                                     [licz, mian] = series(licz_op, mian_op, licz_iner, mian_iner);
T = 3.25;
                                                                     y2 = step(licz, mian, t);
theta = 5;
                                                                     z2 = impulse(licz, mian, t);
n = 5;
                                                                     f22 = figure();
licz_iner = [0, k];
                                                                     sys = tf(licz, mian);
mian_iner = [T, 1];
[licz_op, mian_op] = pade(theta, n);
                                                                     subplot(2,2,[1,3]);
                                                                     h = nyquistplot(sys);
[licz, mian] = series(licz_op, mian_op, licz_iner, mian_iner);
                                                                     setoptions(h, 'ShowFullContour', 'off');
y1 = step(licz, mian, t);
                                                                     title('Wykres Nyquista');
z1 = impulse(licz, mian, t);
                                                                     xlabel('Oś rzeczywista');
f21 = figure();
                                                                     ylabel('Oś urojona');
sys = tf(licz, mian);
                                                                     [A, F] = bode(licz, mian, omega);
A_db = 20*log10(A);
subplot(2,2,[1,3]);
h = nyquistplot(sys);
                                                                     subplot(2,2,2);
setoptions(h, 'ShowFullContour', 'off');
                                                                     semilogx(omega, A_db);
title('Wykres Nyquista');
                                                                     title('Wykres Bodego');
xlabel('Oś rzeczywista');
                                                                    ylabel('Amplituda [dB]');
ylabel('0ś urojona');
                                                                    subplot(2,2,4);
omega = logspace(-2, 2, 1000);
                                                                     semilogx(omega, F);
[A, F] = bode(licz, mian, omega);
                                                                    xlabel('Częstotliwość');
A_{db} = 20*log10(A);
                                                                     ylabel('Faza [stopnie]');
subplot(2,2,2);
semilogx(omega, A_db);
                                                                     f23 = figure();
                                                                     plot(t, y1, t, y2);
title('Step Response');
title('Wykres Bodego');
ylabel('Amplituda [dB]');
subplot(2,2,4);
                                                                     xlabel('Time (sec)');
                                                                     ylabel('Amplitude');
legend('k = 9.5; T = 3.25; theta = 5; n = 5', 'k = 7; T = 6; theta = 8; n = 5');
semilogx(omega, F);
xlabel('Częstotliwość');
ylabel('Faza [stopnie]');
                                                                     f24 = figure();
k = 7;
                                                                     plot(t, z1, t, z2);
T = 6;
                                                                     title('Impulse Response');
theta = 8:
                                                                     xlabel('Time (sec)');
n = 5;
                                                                     ylabel('Amplitude');
licz_iner = [0, k];
                                                                     legend('k = 9.5; T = 3.25; theta = 5; n = 5', 'k = 7; T = 6; theta = 8; n = 5');
```

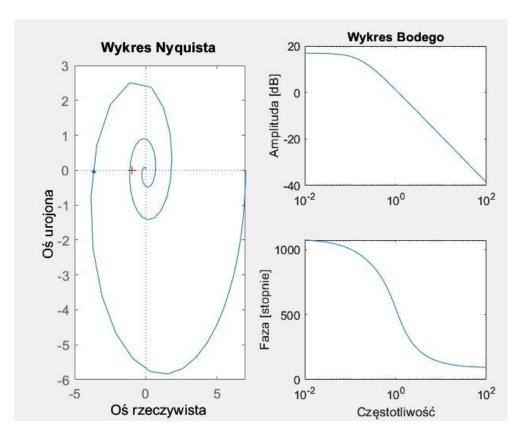
Kod realizujący zadane w ćwiczeniu polecenie dla obiektów inercyjnych I rzędu z opóźnieniem



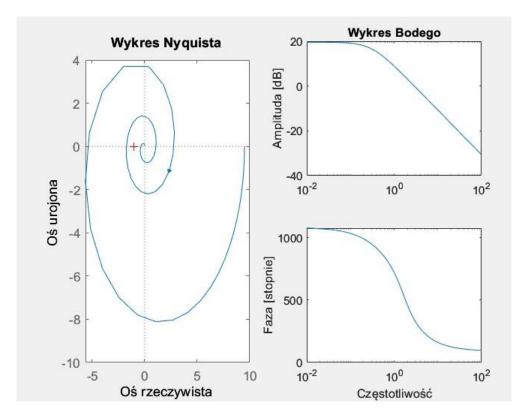
Odpowiedzi skokowe dla obiektów inercyjnych I rzędu z opóźnieniem



Odpowiedzi impulsowe dla obiektów inercyjnych I rzędu z opóźnieniem



Wykresy Nyquista i Bodego dla obiektu różniczkującego rzeczywistego o parametrach $k=7,\,T=6,\,\Theta=8\,\,i\,\,n=5$



Wykresy Nyquista i Bodego dla obiektu różniczkującego rzeczywistego o parametrach $k=9.5,\,T=3.25,\,\Theta=5\text{ i n}=5$

4. Wnioski

Środowisko *Matlab* umożliwia reprezentacji transmitancji operatorowej jako dwóch wektorów (licznik, mianownik). Program ten również pozwala na wyrysowanie pożądanych charakterystyk czasowych i częstotliwościowych przy użyciu wbudowanych funkcji (np. *step*, *bode*).

5. Bibliografia

- konspekty do zajęć zatytułowanych "Charakterystyki czasowe i częstotliwościowe"
- dokumentacja Matlaba