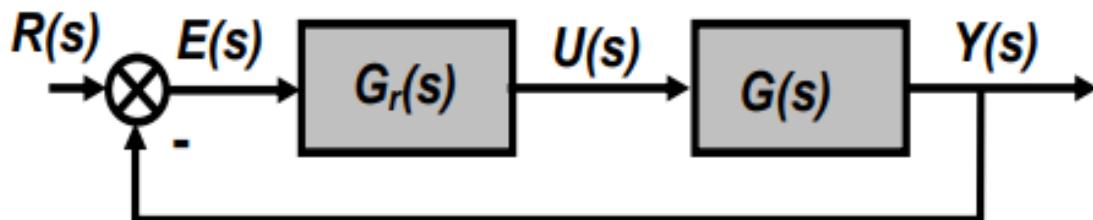


Sprawozdanie - WEAlIB			
Podstawy automatyki 2			
Ćwiczenie 8: Zapasy Stabilności			
Czwartek godz.	14:30	Data wykonania:	11.05.2023
Imię i nazwisko:	Jan Rosa	Data zaliczenia:	
		Ocena:	

## Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest ugruntowanie i rozszerzenie zagadnień z zakresu zapasów stabilności, omawianych podczas ćwiczeń rachunkowych. Zostanie pokazany wpływ poszczególnych części regulatora PID na zapasy stabilności w układzie. Ćwiczenie jest kontynuacją tematów: "kryterium Nyquista" oraz "zapasy stabilności i jakość regulacji" z ćwiczeń rachunkowych.

W ćwiczeniu rozważamy zamknięty układ regulacji złożony z obiektu o transmitancji  $G(s)$  oraz regulatora liniowego ciągłego o transmitancji  $G_r(s)$ , pokazany na rysunku 1. Będziemy rozważać regulatory: P, PI, PD oraz PID w wersji IND (independent). Przypomnijmy, że transmitancja układu otwartego jest równa:  $G_o(s) = G_r(s)G(s)$ , a marginesy stabilności wyznaczamy wyłącznie w oparciu o transmitancję układu otwartego.



Rysunek 1: Zamknięty układ regulacji.

Dla układów regulacji złożonego z regulatora typu P (proporcjonalnego) oraz obiektów o poniższych transmitancjach przypomnieć z ćwiczeń wartości wzmocnień regulatora zapewniających zapas stabilności po module równy 2.

$$G(s) = \frac{1}{s^3 + 3s^2 + 3s + 1}, \quad (3.1)$$

$$G(s) = \frac{1}{s^3 + 2s^2 + 2s + 1}, \quad (3.2)$$

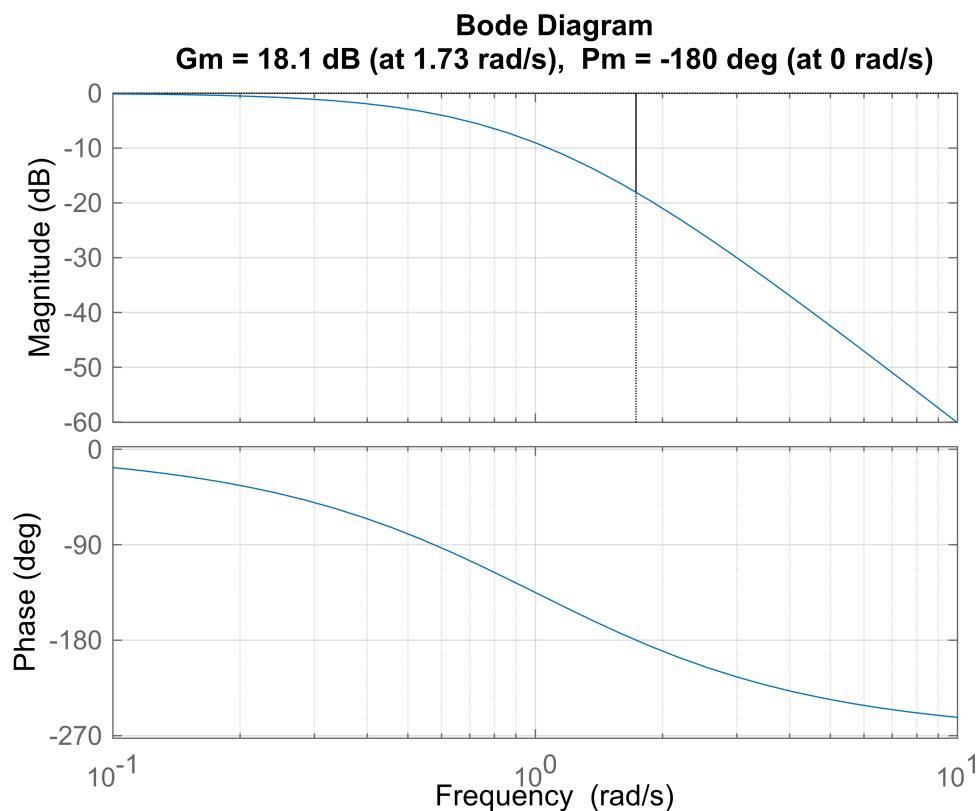
$$G(s) = \frac{2}{s^3 + 3s^2 + 2s + 1}, \quad (3.3)$$

$$G(s) = \frac{1}{2s^3 + s^2 + s}. \quad (3.4)$$

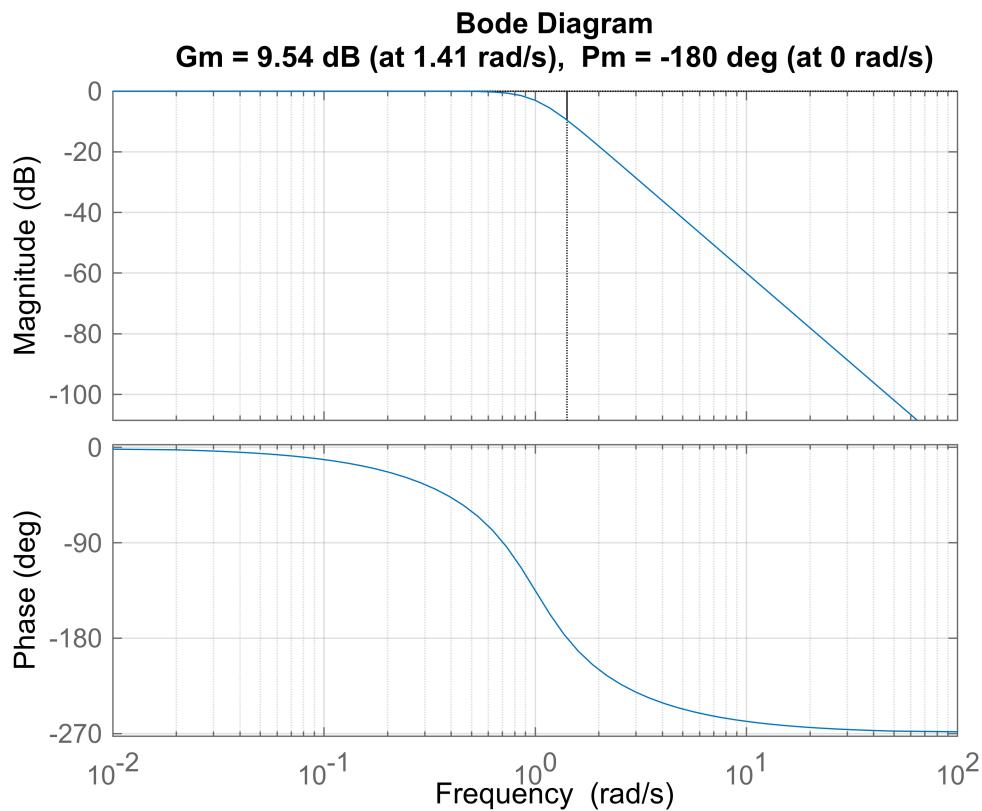
```
G1 = tf([1], [1, 3, 3, 1]);
G2 = tf([1], [1, 2, 2, 1]);
G3 = tf([2], [1, 3, 2, 1]);
G4 = tf([1], [2, 1, 1, 0]);
```

```
for Gk = [G1, G2, G3, G4]
    checkmargin(Gk, 1, 0, 0);
end
```

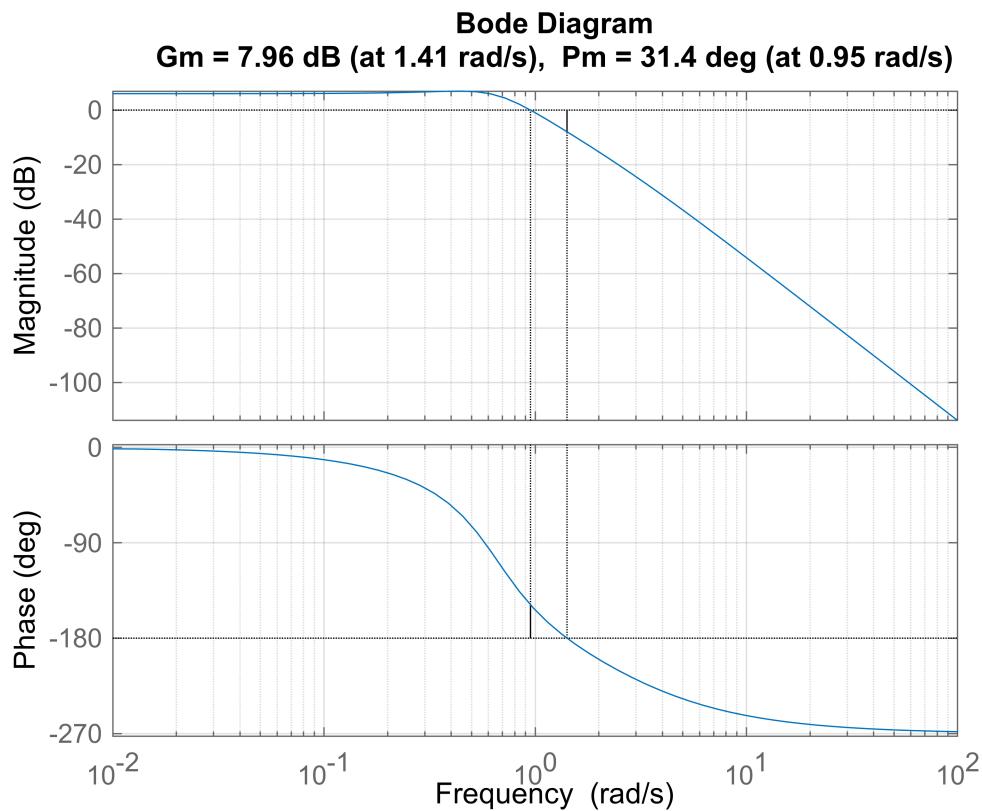
P = 1, I = 0, D = 0  
Zapas modułu: 8.0011, Zapas fazy: -180



P = 1, I = 0, D = 0  
Zapas modułu: 3, Zapas fazy: -180

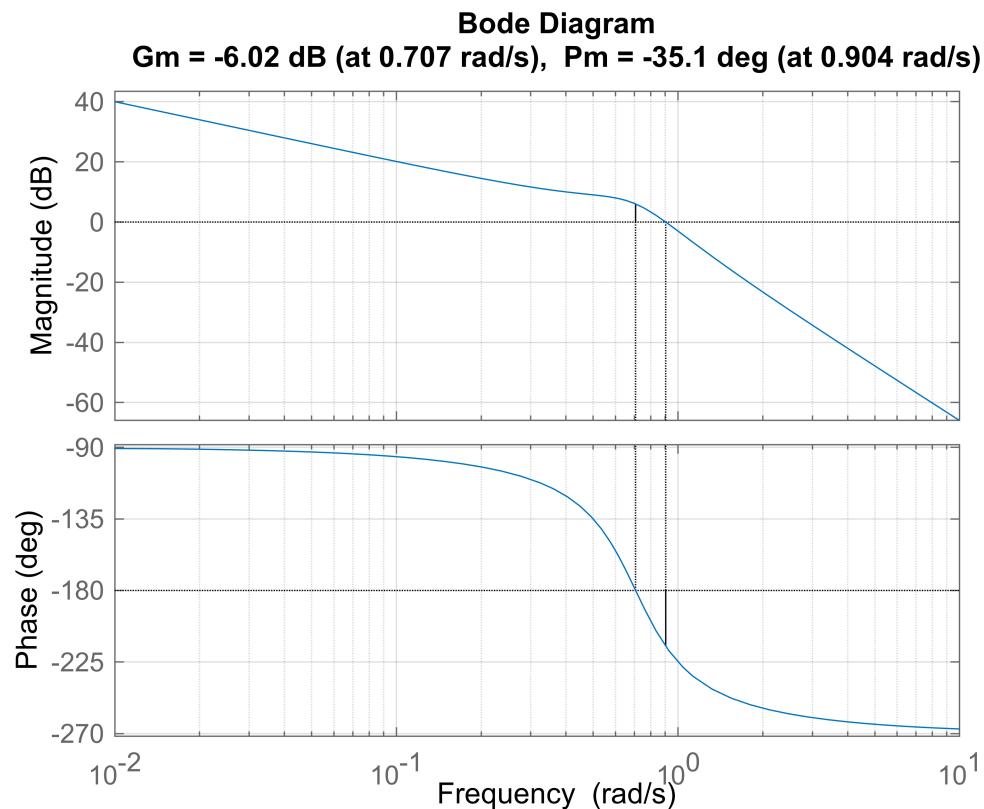


P = 1, I = 0, D = 0  
Zapas modułu: 2.5015, Zapas fazy: 31.4246



Warning: The closed-loop system is unstable.

P = 1, I = 0, D = 0  
Zapas modułu: 0.5, Zapas fazy: -35.1145



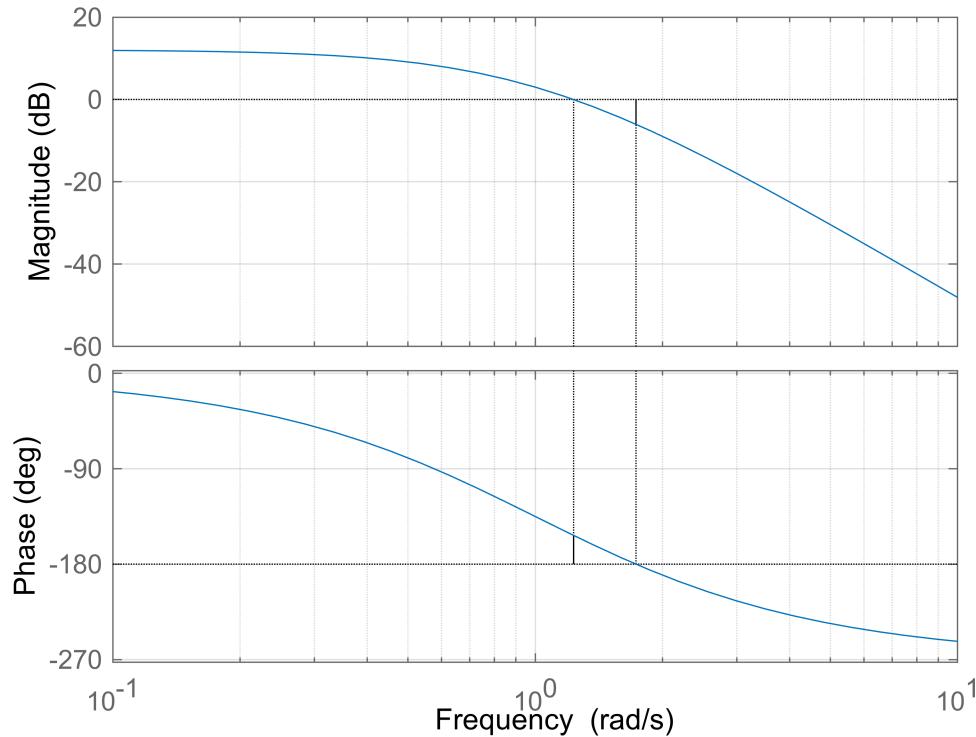
```
Gk = [G1, G2, G3, G4];
Gstr = ["G1", "G2", "G3", "G4"];
k = [8/2, 3/2, 2.501/2, 0.5/2];
alfa = [0, 0.1, 1];
beta = [0, 0.5, 1]
```

```
beta = 1x3
    0    0.5000    1.0000
```

```
for i = 1:4
    checkmargin(Gk(i), k(i), 0, 0);
end
```

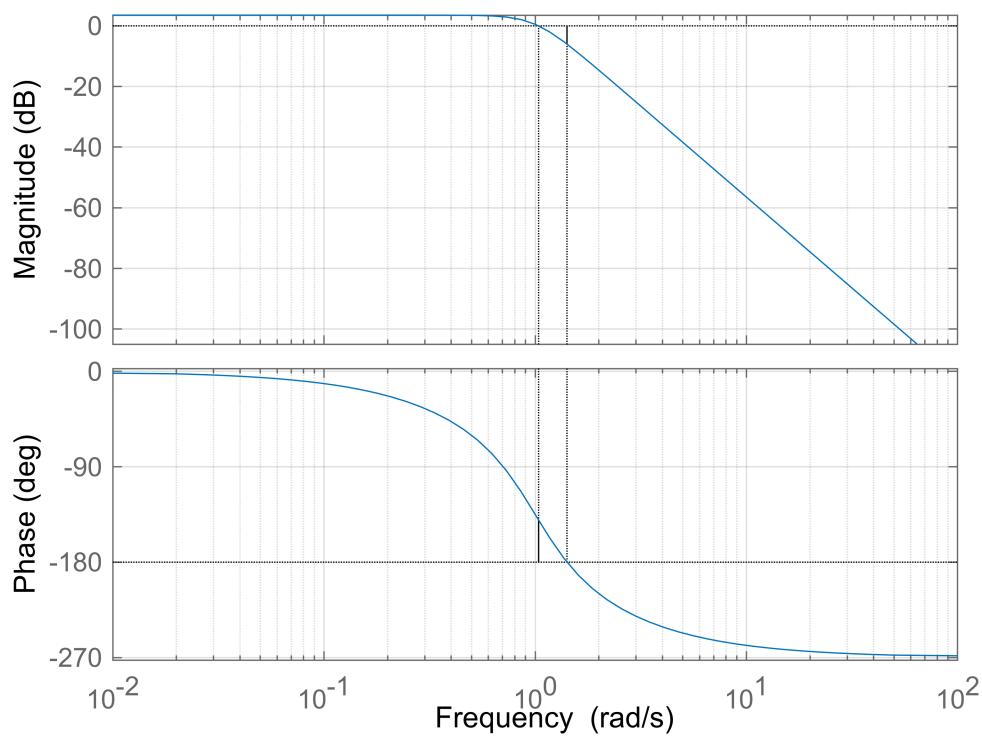
P = 4, I = 0, D = 0  
Zapas modułu: 2.0003, Zapas fazy: 27.1424

**Bode Diagram**  
**Gm = 6.02 dB (at 1.73 rad/s), Pm = 27.1 deg (at 1.23 rad/s)**



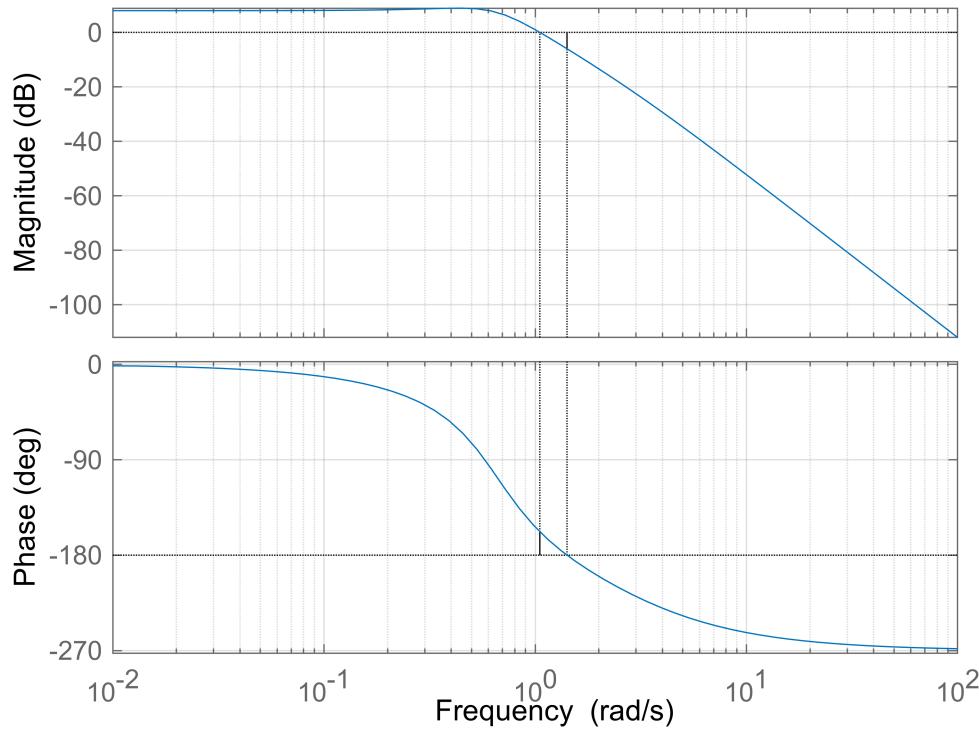
P = 1.5, I = 0, D = 0  
 Zapas modułu: 2, Zapas fazy: 39.6836

**Bode Diagram**  
**Gm = 6.02 dB (at 1.41 rad/s), Pm = 39.7 deg (at 1.04 rad/s)**

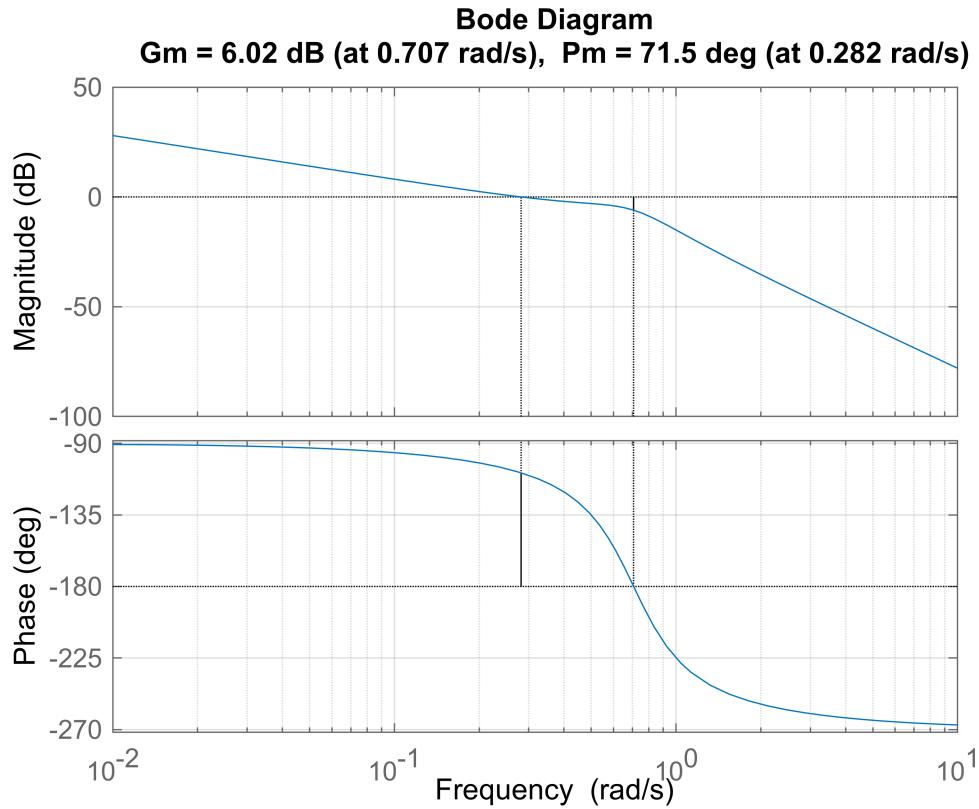


P = 1.2505, I = 0, D = 0  
 Zapas modułu: 2.0004, Zapas fazy: 22.0842

**Bode Diagram**  
**Gm = 6.02 dB (at 1.41 rad/s), Pm = 22.1 deg (at 1.05 rad/s)**



P = 0.25, I = 0, D = 0  
Zapas modułu: 2, Zapas fazy: 71.4778



Wzmocnienia wyznaczone aby zapas po module był równy 2.

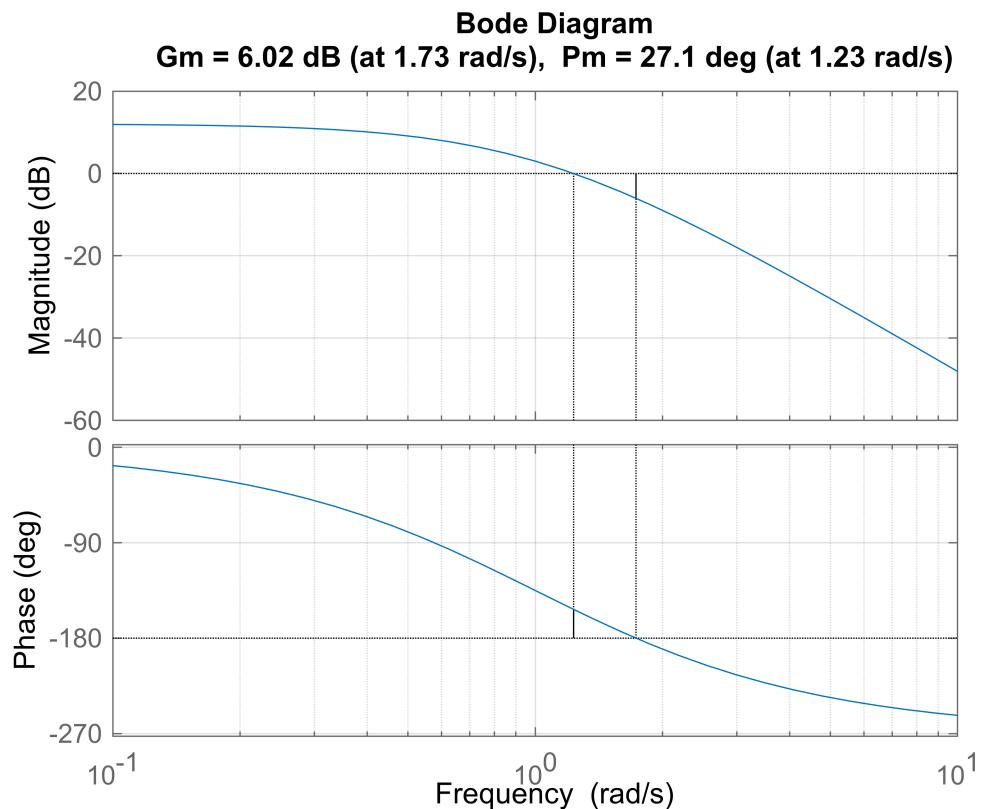
```

wyniki = {{}, {}, {}, {}, {}, {}};
x = 1;
for i = 1:4
    for a = alfa
        for b = beta
            disp(Gstr(i))
            [Gm, Pm] = checkmargin(Gk(i), k(i), a, b);

            wyniki(x, :) = {Gstr(i), k(i), a, b, Gm, Pm};
            x = x+1;
        end
    end
end

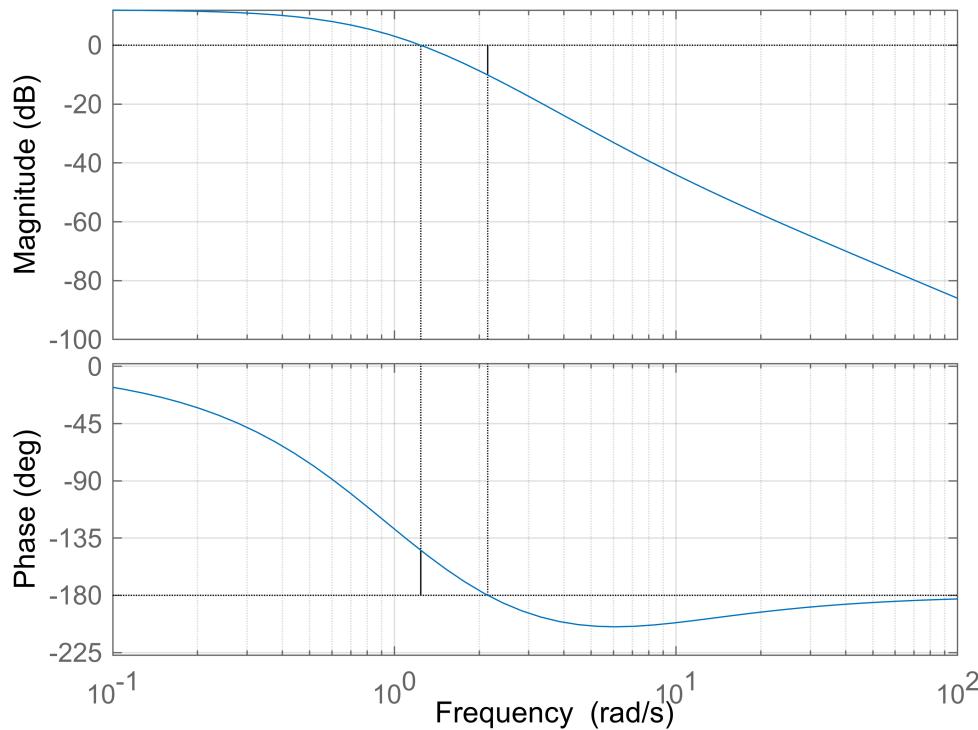
```

G1  
 P = 4, I = 0, D = 0  
 Zapas modułu: 2.0003, Zapas fazy: 27.1424

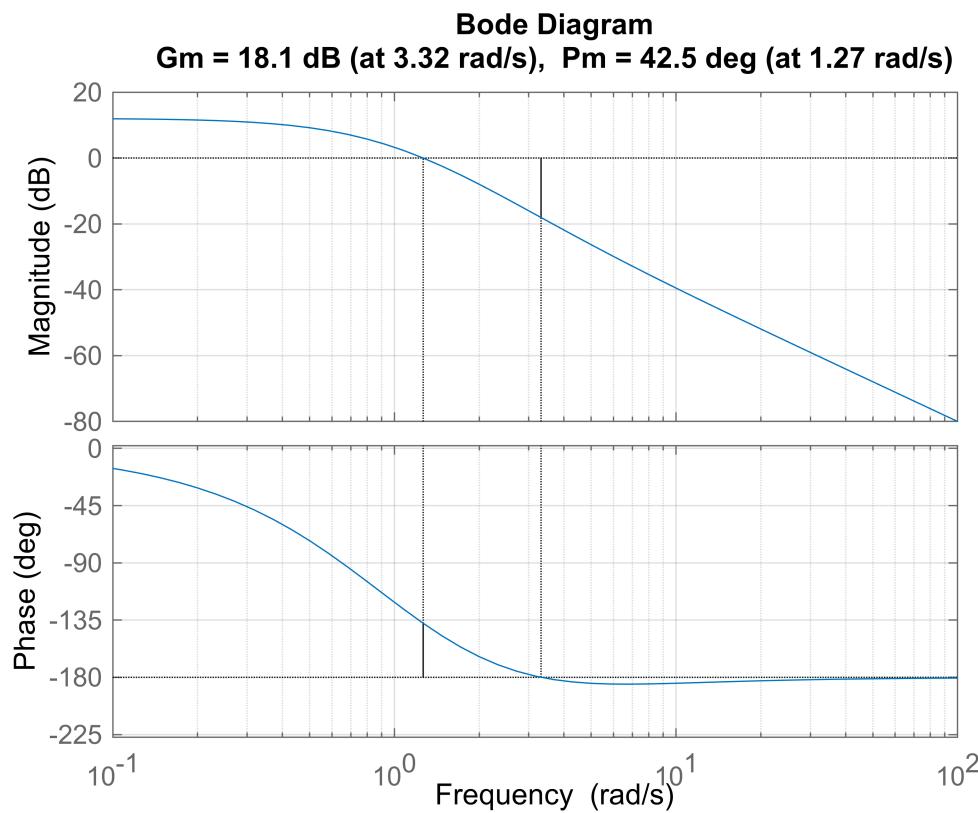


G1  
 P = 4, I = 0, D = 0.5  
 Zapas modułu: 3.2, Zapas fazy: 35.4092

**Bode Diagram**  
**Gm = 10.1 dB (at 2.14 rad/s), Pm = 35.4 deg (at 1.24 rad/s)**

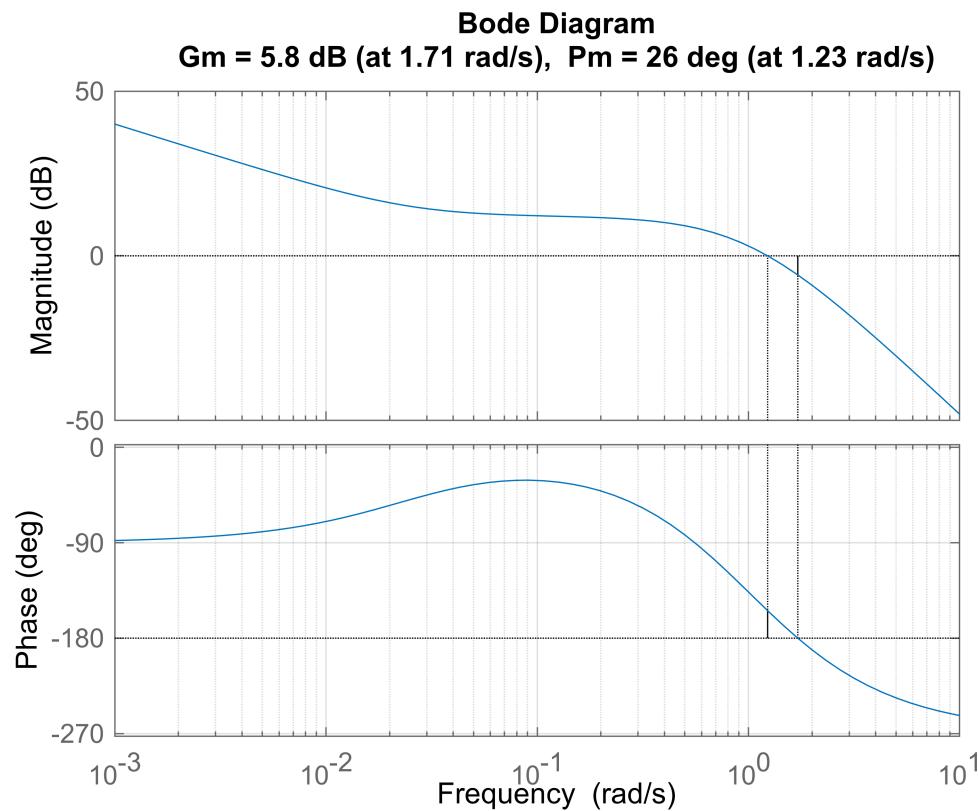


G1  
 $P = 4, I = 0, D = 1$   
Zapas modułu: 8, Zapas fazy: 42.5102

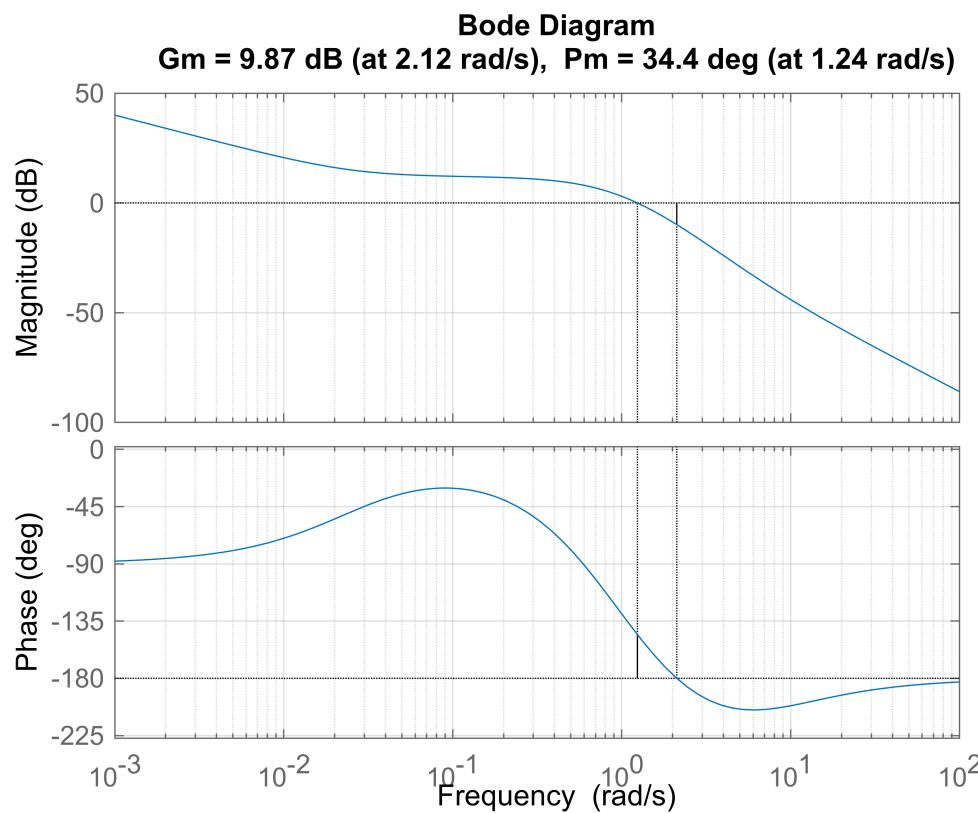


G1

$P = 4$ ,  $I = 0.1$ ,  $D = 0$   
Zapas modułu: 1.9504, Zapas fazy: 25.9713



G1  
 $P = 4$ ,  $I = 0.1$ ,  $D = 0.5$   
Zapas modułu: 3.1167, Zapas fazy: 34.3969



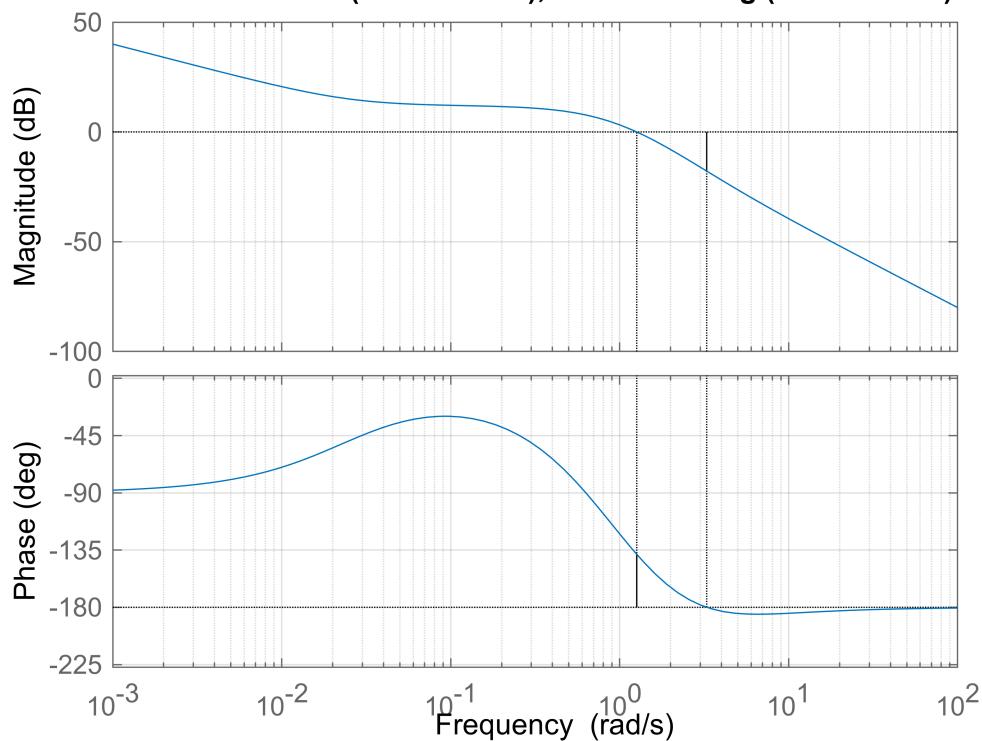
G1

P = 4, I = 0.1, D = 1

Zapas modułu: 7.782, Zapas fazy: 41.6836

### Bode Diagram

**Gm = 17.8 dB (at 3.27 rad/s), Pm = 41.7 deg (at 1.26 rad/s)**

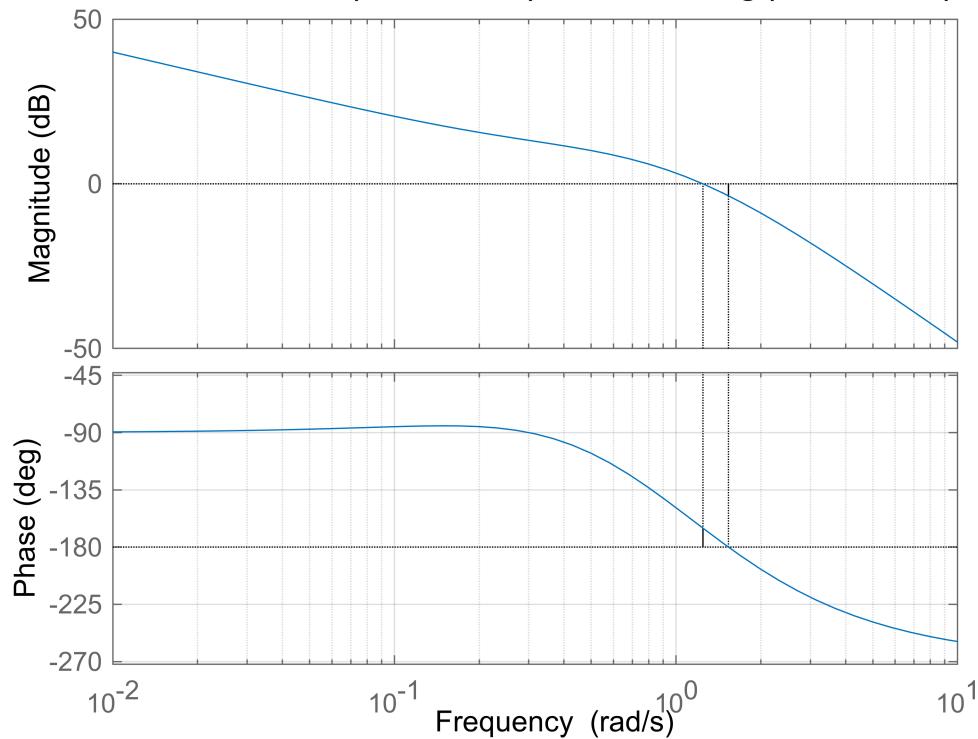


G1

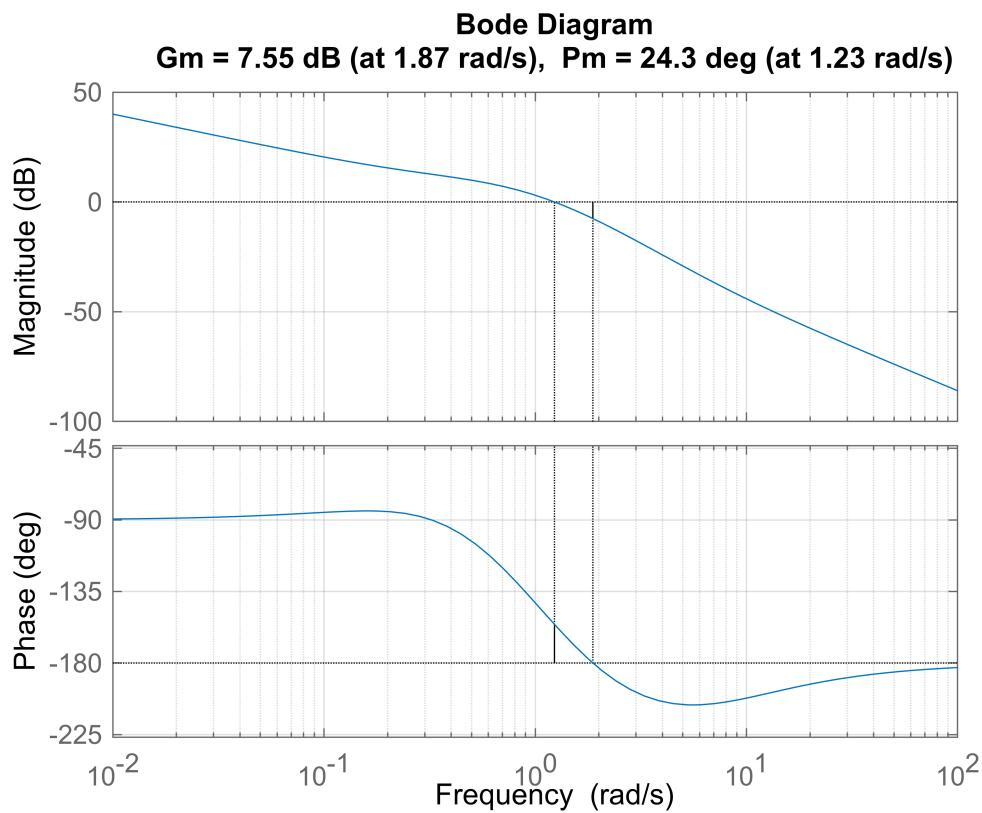
P = 4, I = 1, D = 0

Zapas modułu: 1.5177, Zapas fazy: 14.8884

**Bode Diagram**  
**Gm = 3.62 dB (at 1.54 rad/s), Pm = 14.9 deg (at 1.25 rad/s)**

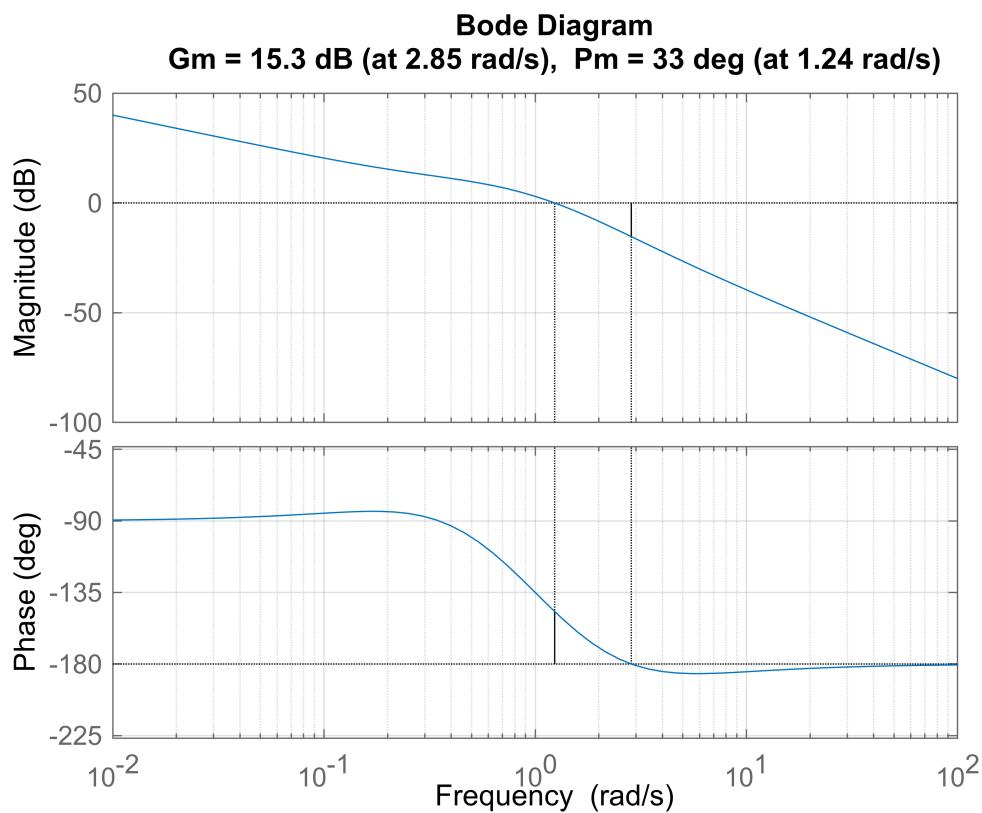


G1  
 $P = 4, I = 1, D = 0.5$   
Zapas modułu: 2.3856, Zapas fazy: 24.3148

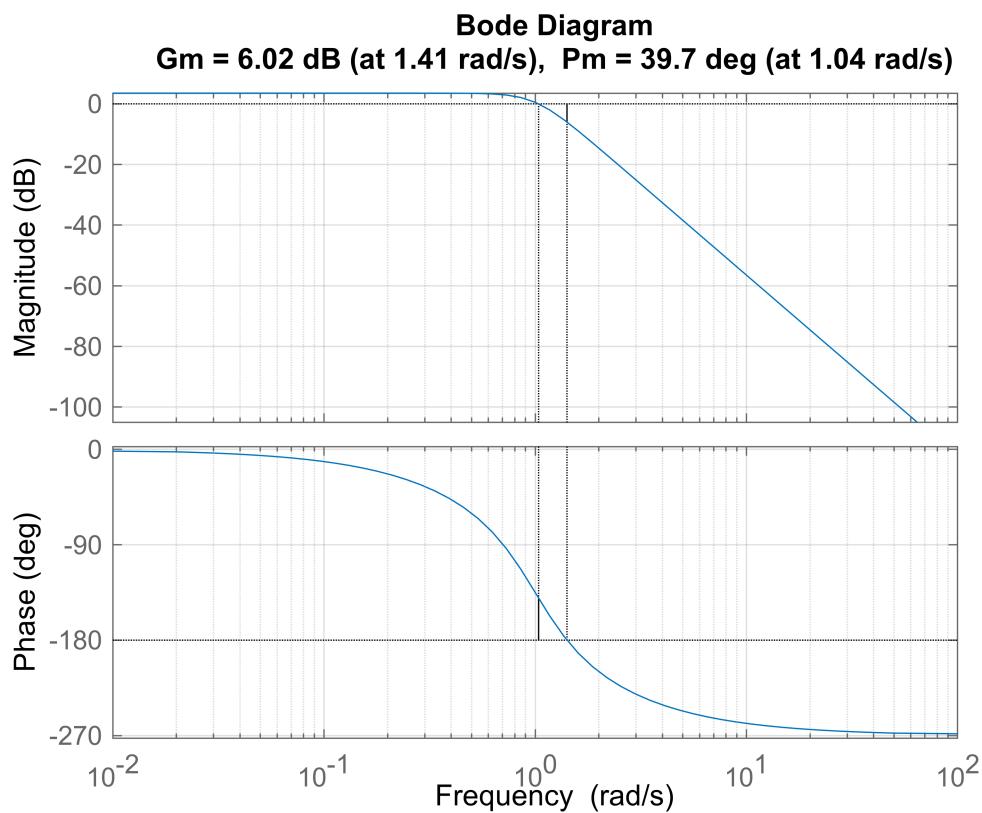


G1

P = 4, I = 1, D = 1  
Zapas modułu: 5.8428, Zapas fazy: 32.9874



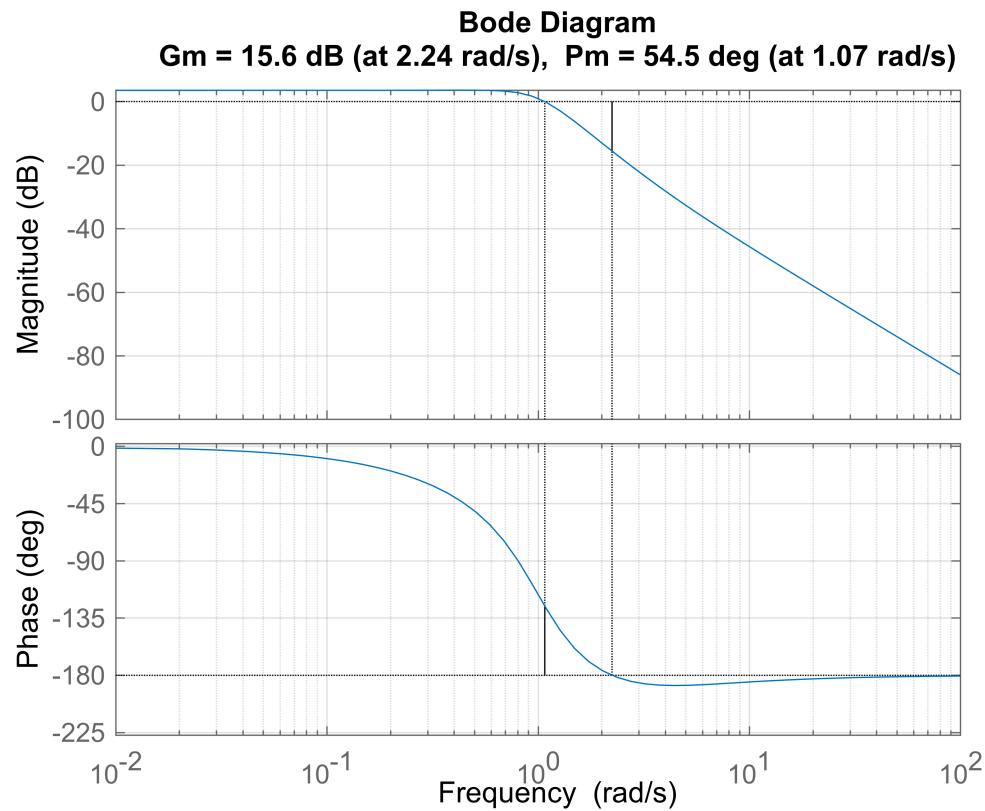
G2  
P = 1.5, I = 0, D = 0  
Zapas modułu: 2, Zapas fazy: 39.6836



G2

P = 1.5, I = 0, D = 0.5

Zapas modułu: 6.0002, Zapas fazy: 54.4706

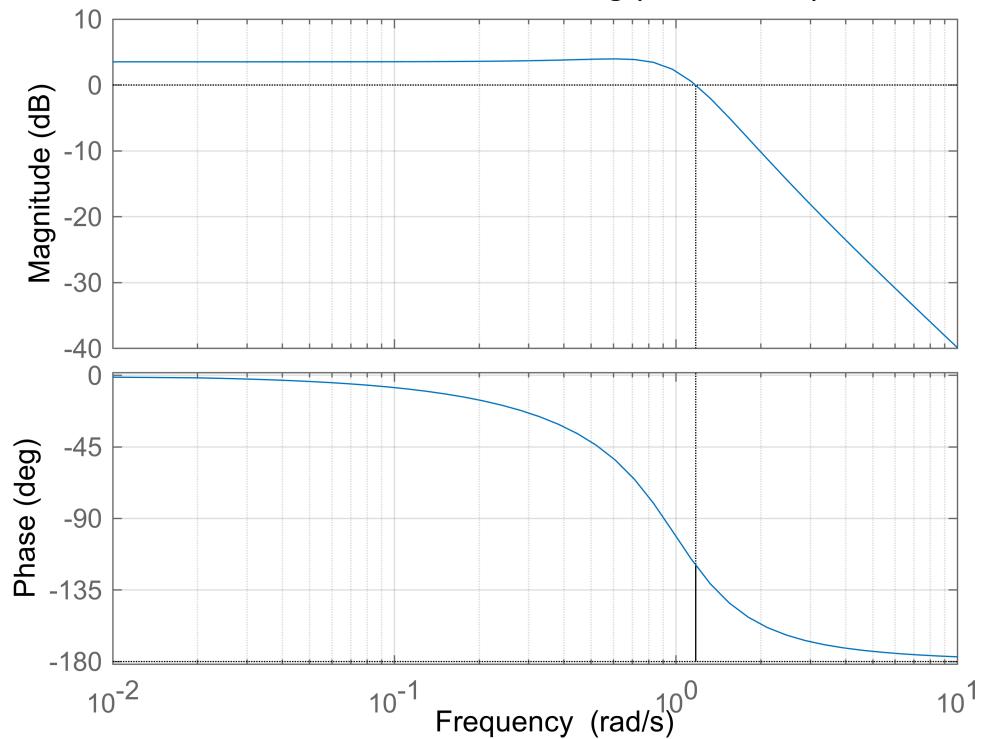


G2

P = 1.5, I = 0, D = 1

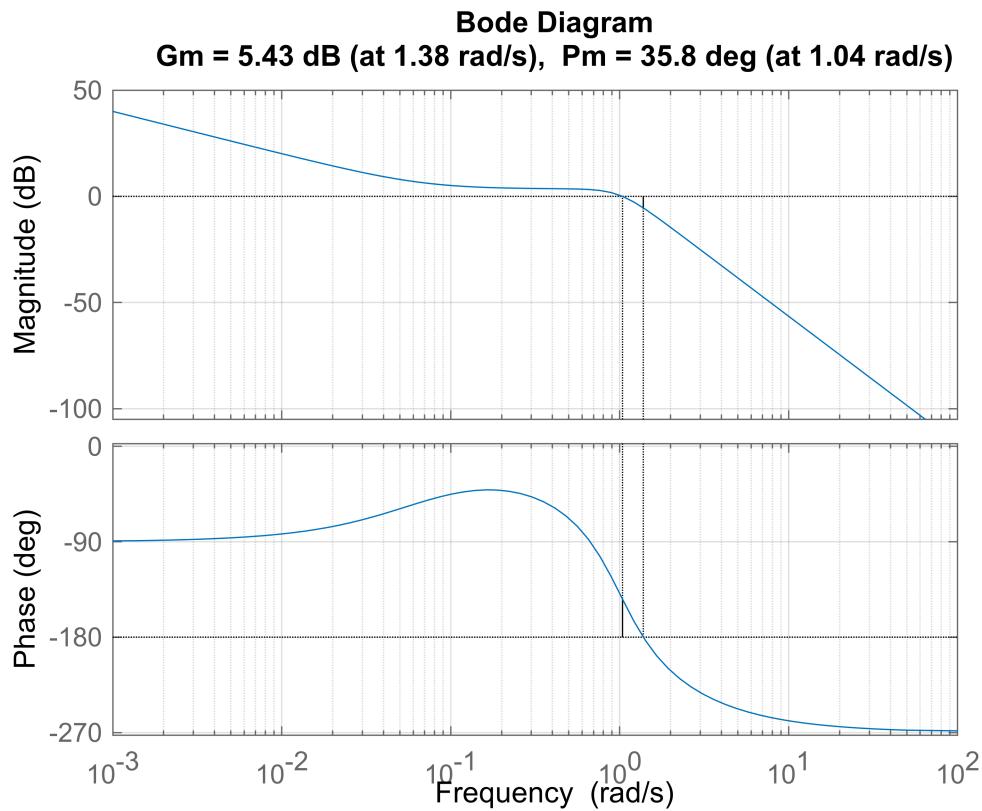
Zapas modułu: Inf, Zapas fazy: 60.5323

**Bode Diagram**  
**Gm = Inf, Pm = 60.5 deg (at 1.17 rad/s)**



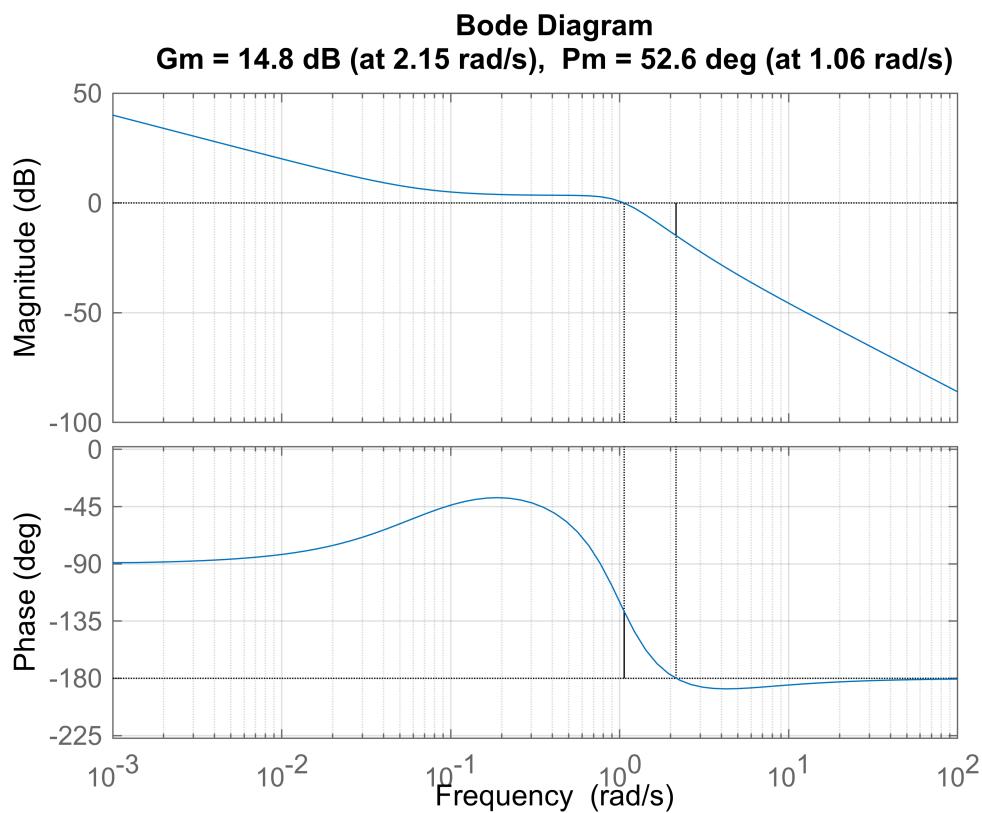
G2  
 $P = 1.5$ ,  $I = 0.1$ ,  $D = 0$

Zapas modułu: 1.869, Zapas fazy: 35.8373

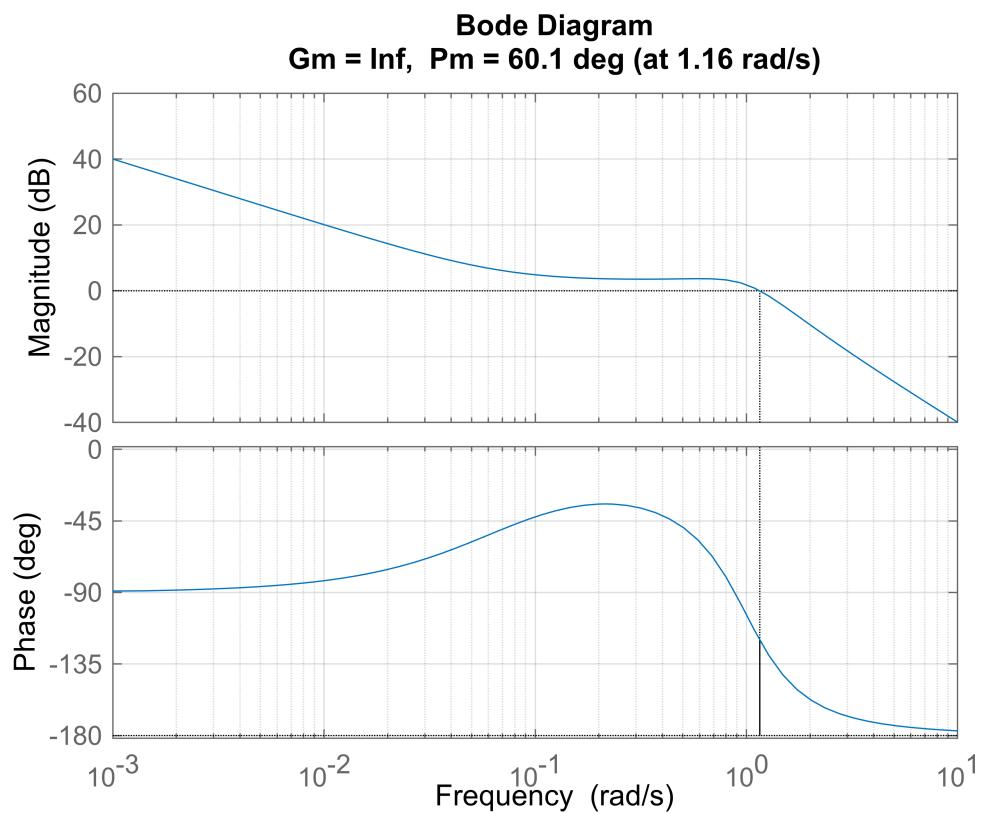


G2

$P = 1.5$ ,  $I = 0.1$ ,  $D = 0.5$   
Zapas modułu: 5.5245, Zapas fazy: 52.5602



G2  
 $P = 1.5$ ,  $I = 0.1$ ,  $D = 1$   
Zapas modułu: Inf, Zapas fazy: 60.0626

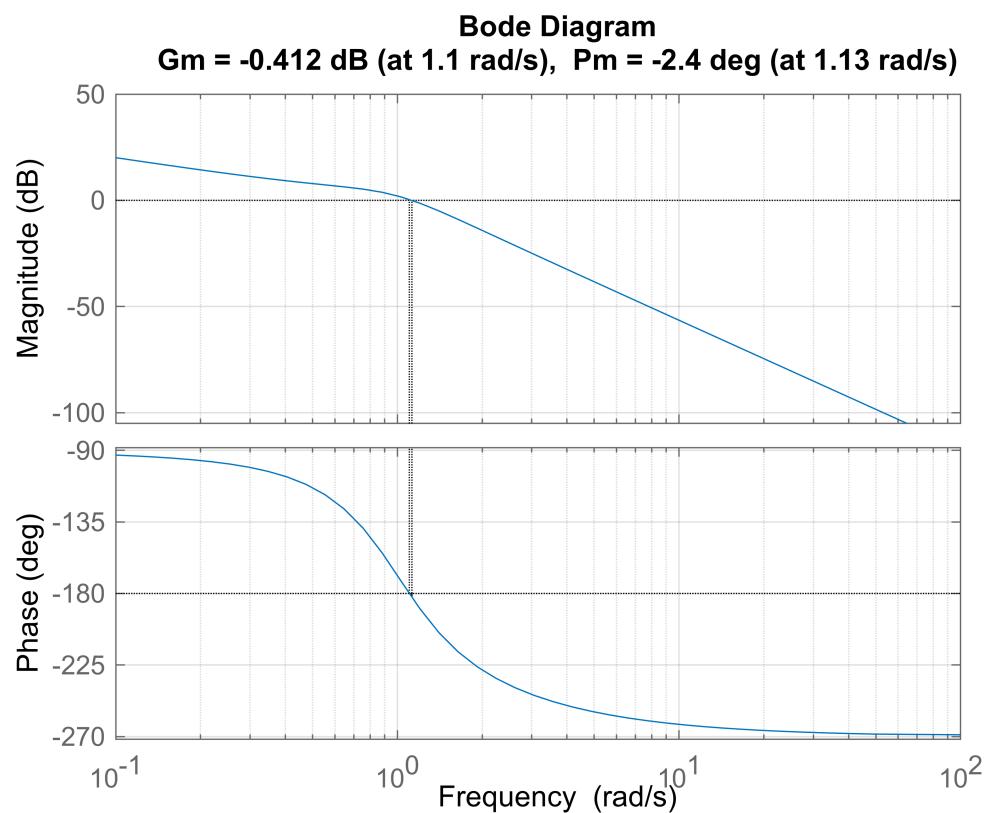


G2

Warning: The closed-loop system is unstable.

P = 1.5, I = 1, D = 0

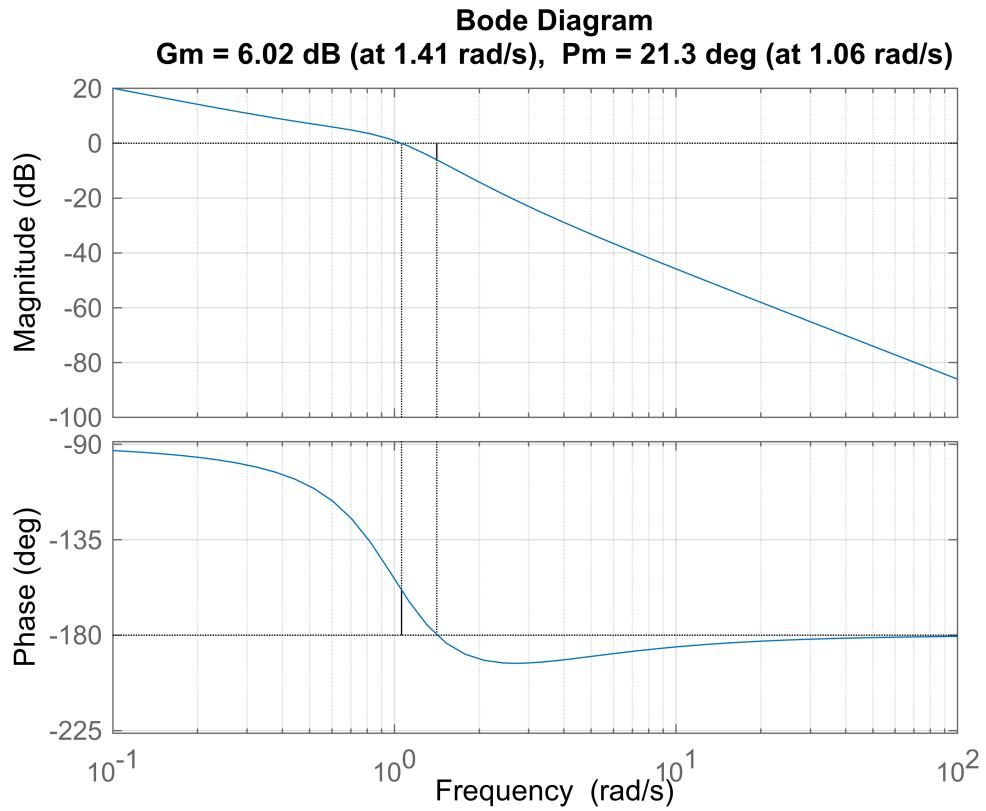
Zapas modułu: 0.95367, Zapas fazy: -2.4014



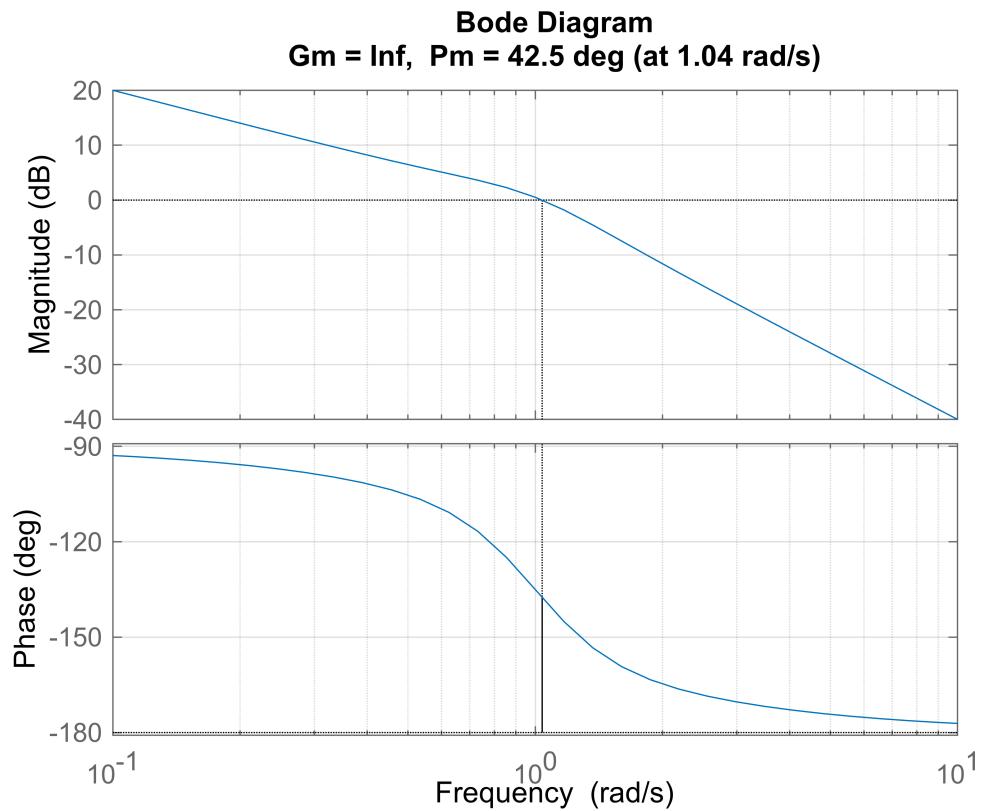
G2

P = 1.5, I = 1, D = 0.5

Zapas modułu: 2, Zapas fazy: 21.251

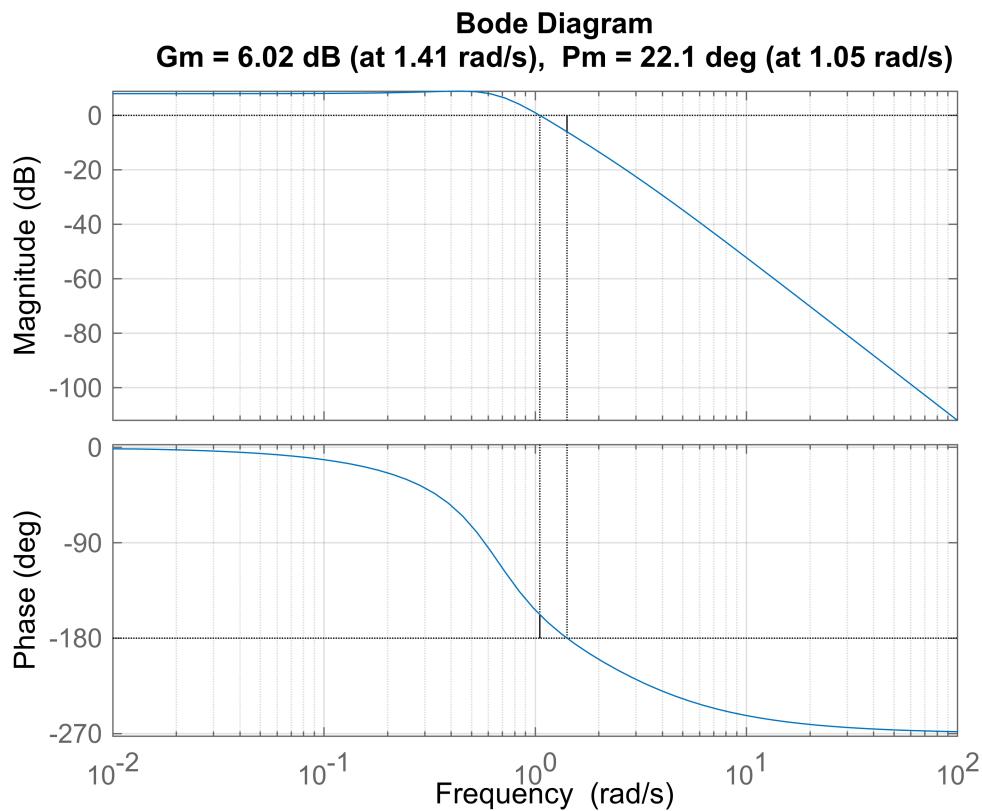


G2  
 $P = 1.5, I = 1, D = 1$   
 Zapas modułu: Inf, Zapas fazy: 42.4687

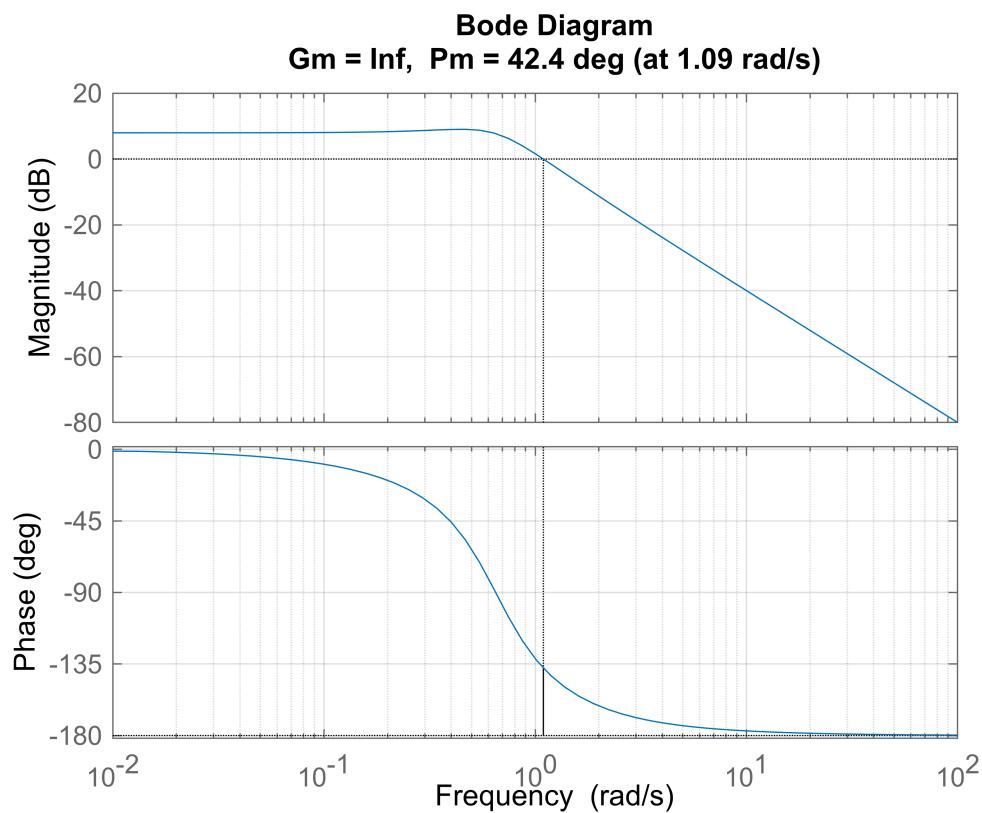


G3

P = 1.2505, I = 0, D = 0  
Zapas modułu: 2.0004, Zapas fazy: 22.0842



G3  
P = 1.2505, I = 0, D = 0.5  
Zapas modułu: Inf, Zapas fazy: 42.4226

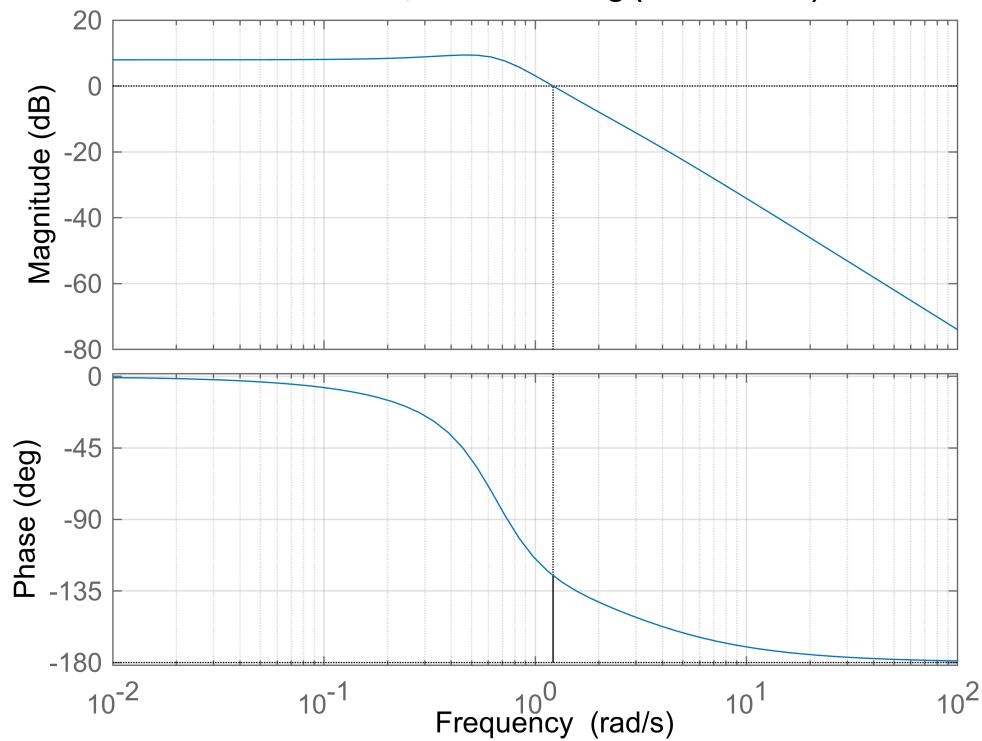


G3

P = 1.2505, I = 0, D = 1

Zapas modułu: Inf, Zapas fazy: 54.6908

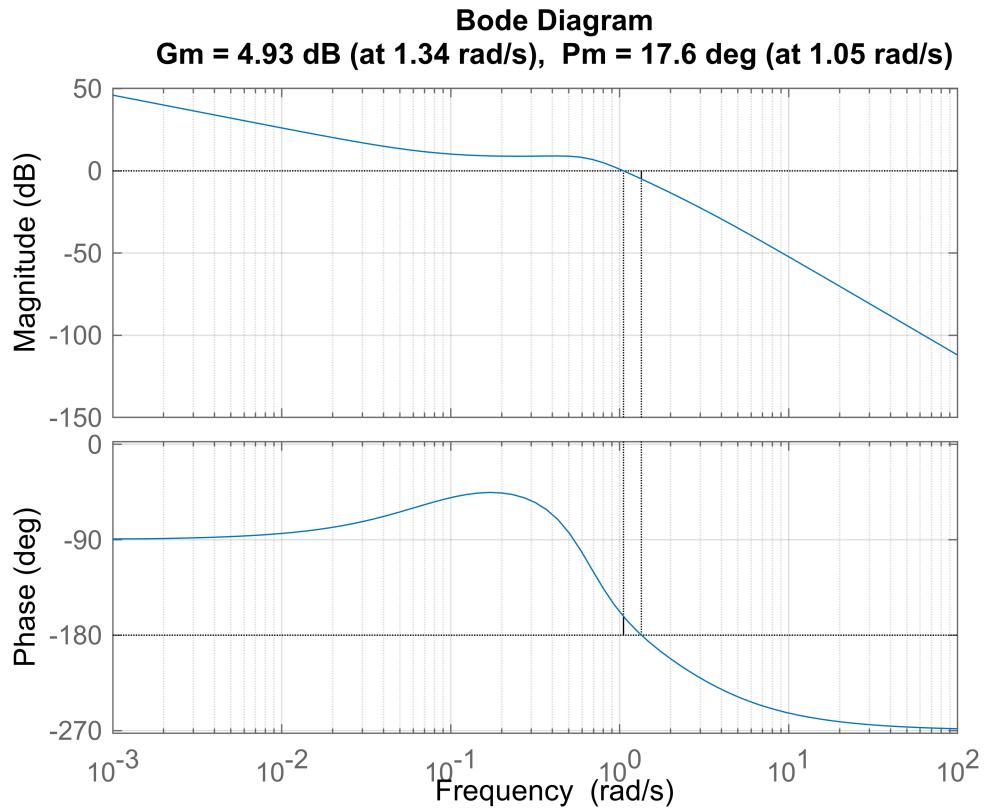
Bode Diagram  
Gm = Inf, Pm = 54.7 deg (at 1.21 rad/s)



G3

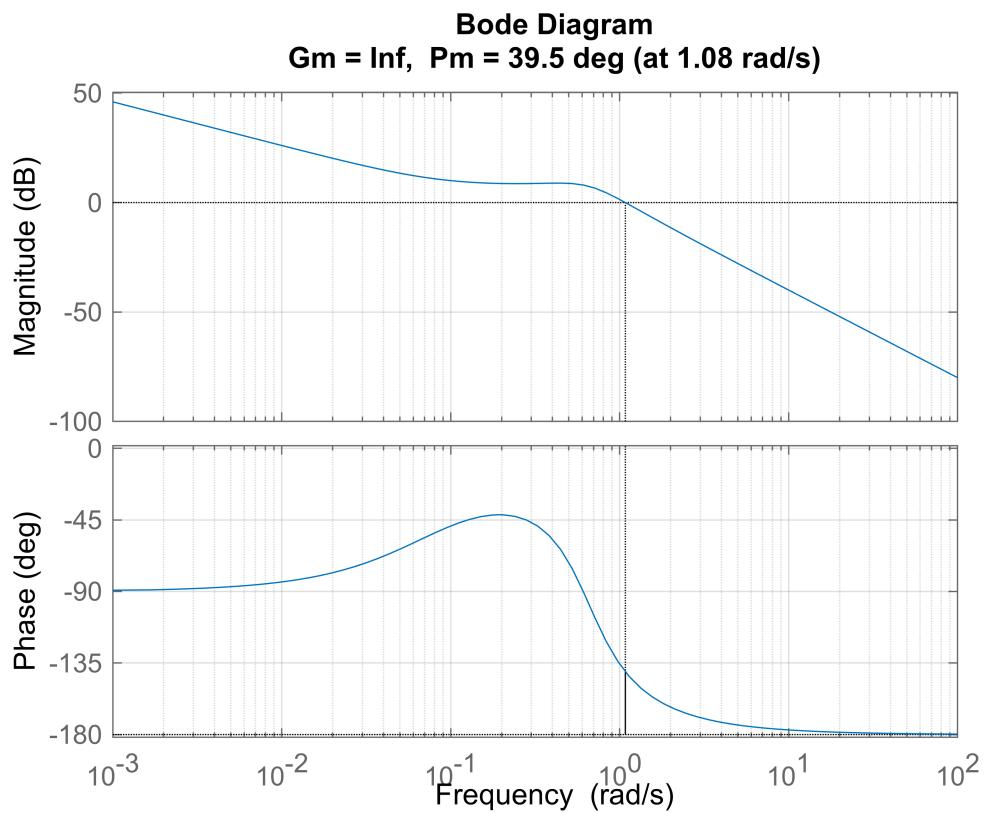
P = 1.2505, I = 0.1, D = 0

Zapas modułu: 1.7646, Zapas fazy: 17.6305



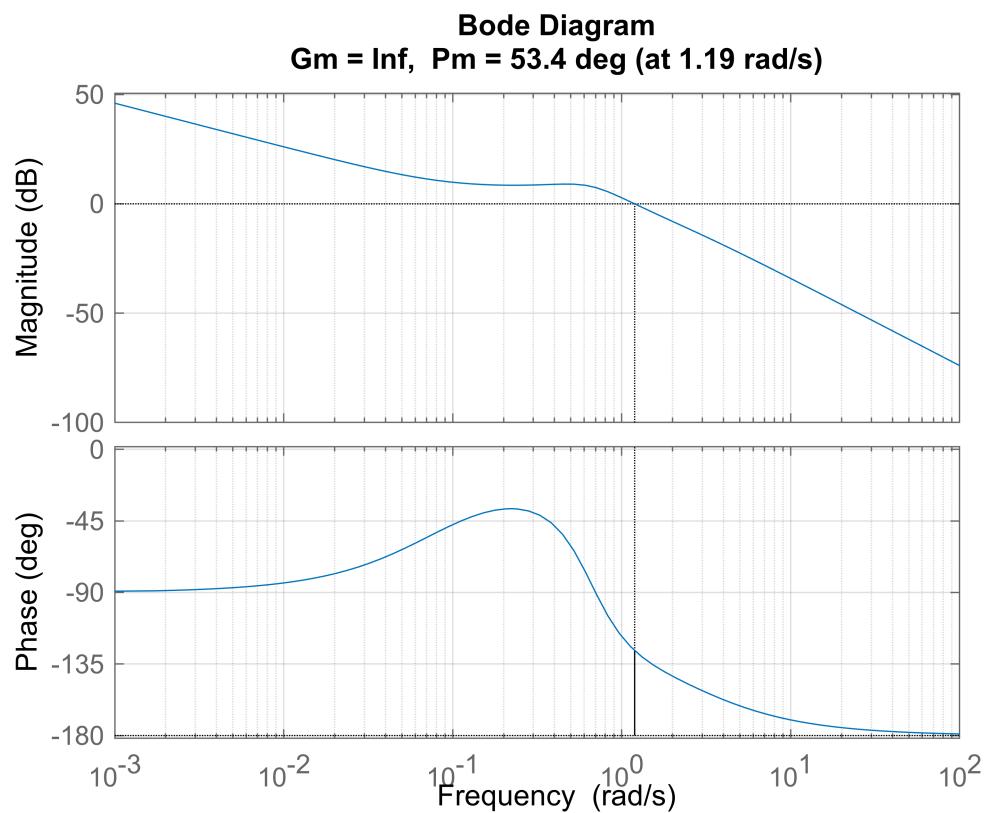
G3  
 $P = 1.2505$ ,  $I = 0.1$ ,  $D = 0.5$

Zapas modułu: Inf, Zapas fazy: 39.4988



G3

P = 1.2505, I = 0.1, D = 1  
Zapas modułu: Inf, Zapas fazy: 53.4439



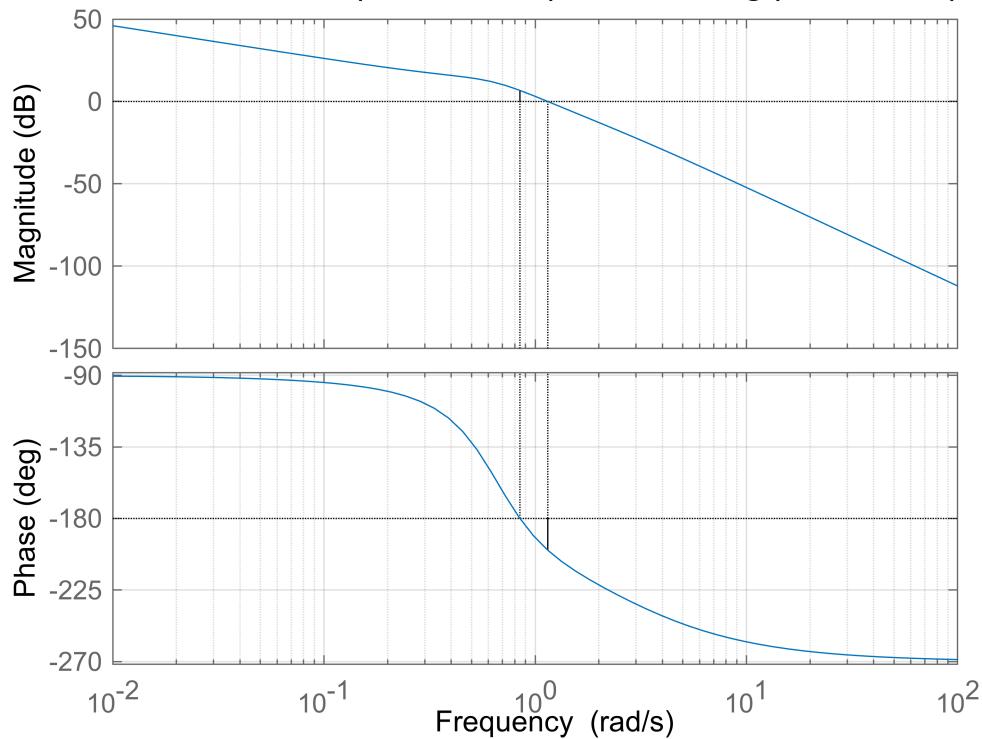
G3

**Warning:** The closed-loop system is unstable.

P = 1.2505, I = 1, D = 0

Zapas modułu: 0.45988, Zapas fazy: -19.9626

**Bode Diagram**  
**Gm = -6.75 dB (at 0.847 rad/s), Pm = -20 deg (at 1.15 rad/s)**

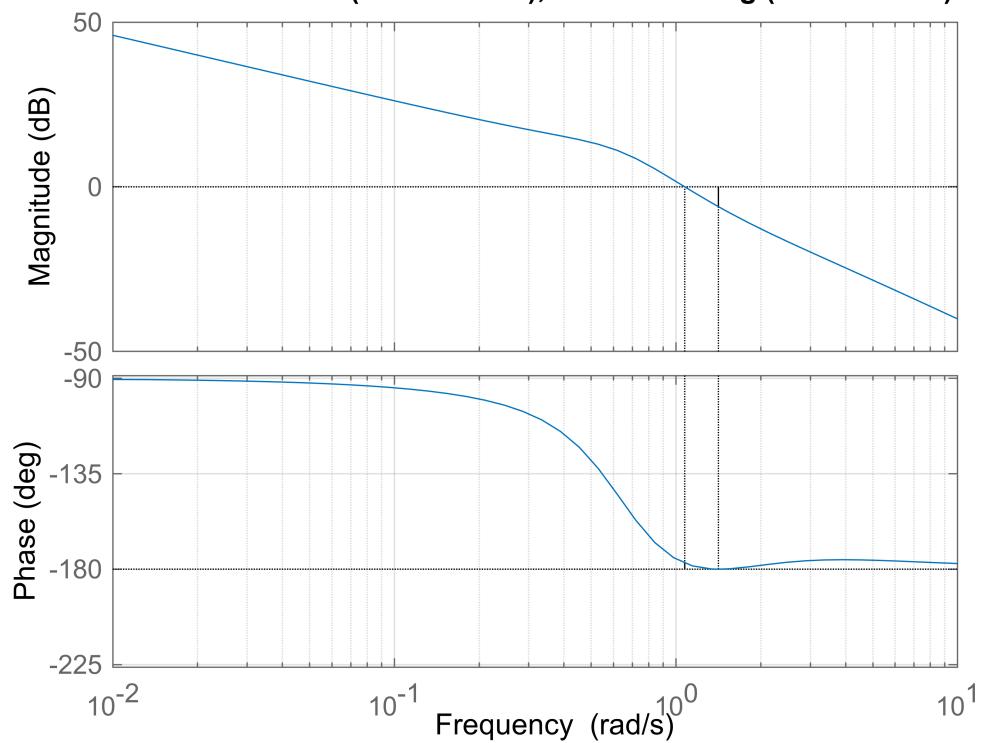


G3

P = 1.2505, I = 1, D = 0.5

Zapas modułu: 1.9992, Zapas fazy: 2.7903

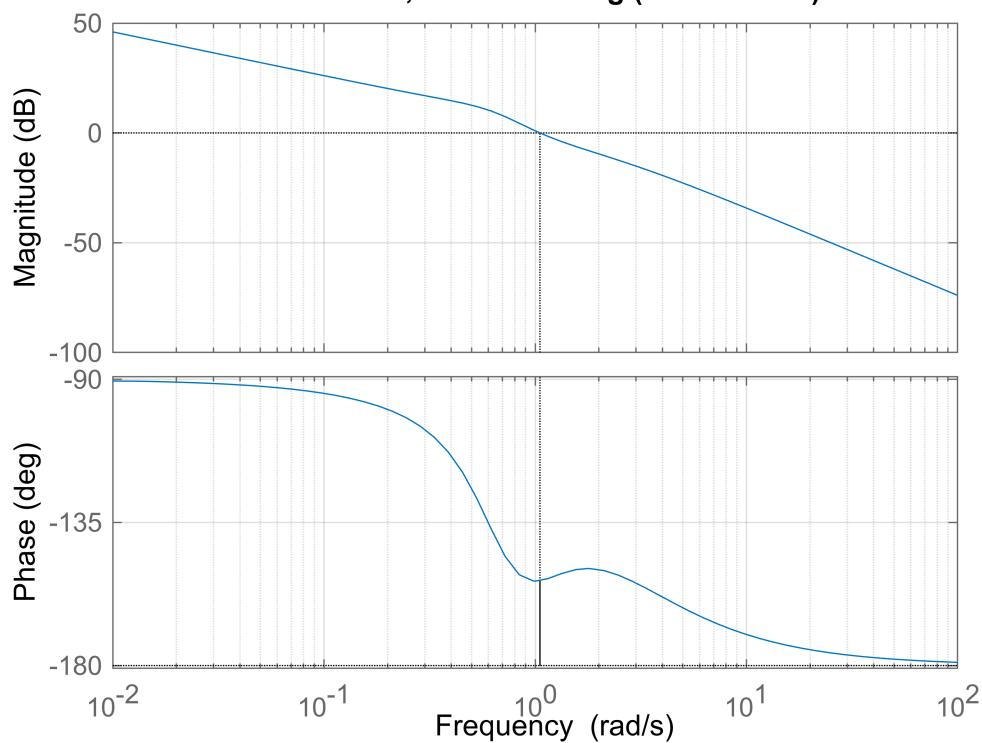
**Bode Diagram**  
**Gm = 6.02 dB (at 1.41 rad/s), Pm = 2.79 deg (at 1.07 rad/s)**



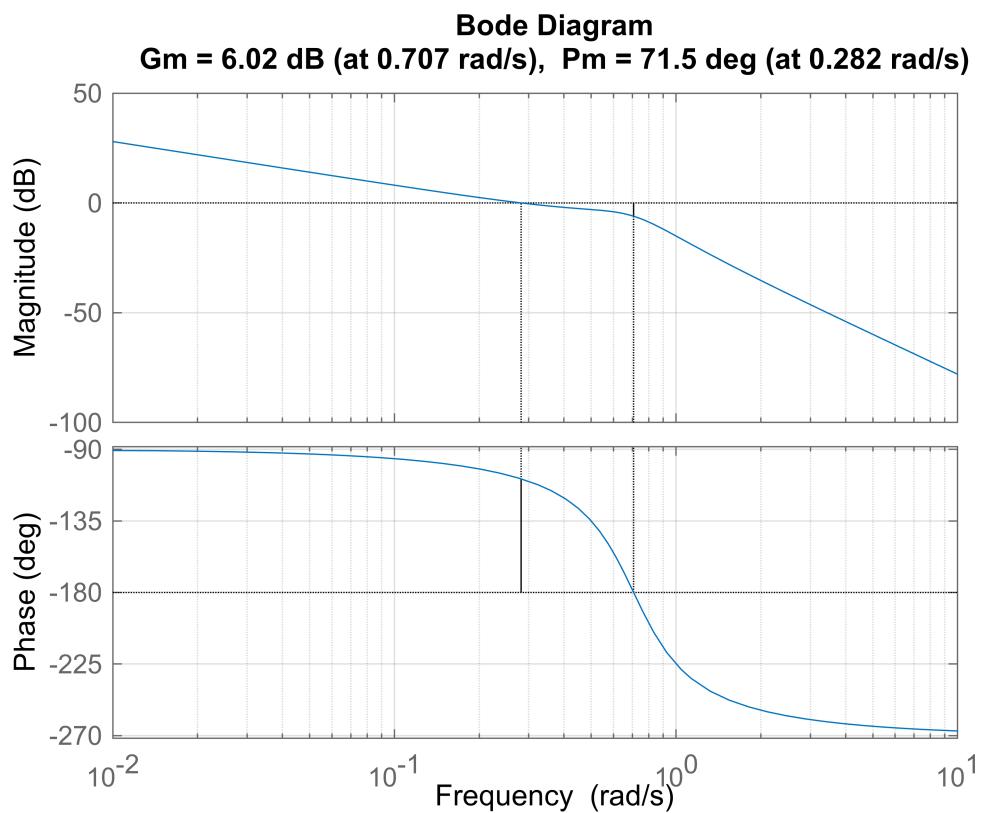
G3

$P = 1.2505$ ,  $I = 1$ ,  $D = 1$   
Zapas modułu: Inf, Zapas fazy: 26.6926

**Bode Diagram**  
 $G_m = \text{Inf}$ ,  $P_m = 26.7 \text{ deg}$  (at  $1.05 \text{ rad/s}$ )



G4  
 $P = 0.25$ ,  $I = 0$ ,  $D = 0$   
Zapas modułu: 2, Zapas fazy: 71.4778

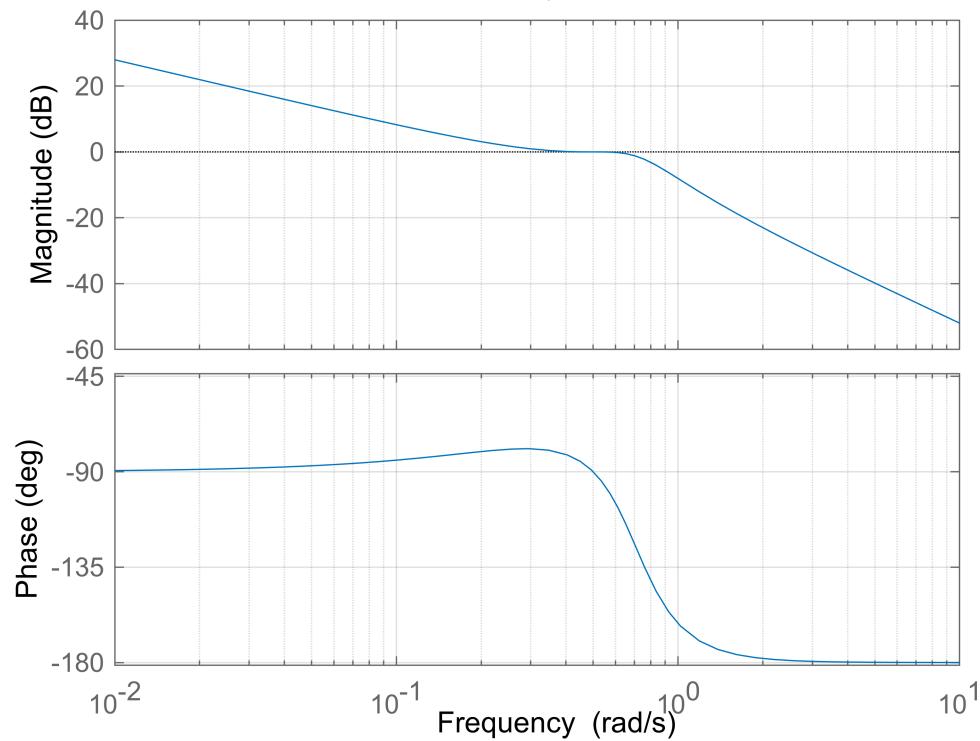


G4

P = 0.25, I = 0, D = 0.5

Zapas modułu: Inf, Zapas fazy: Inf

**Bode Diagram**  
**Gm = Inf, Pm = Inf**

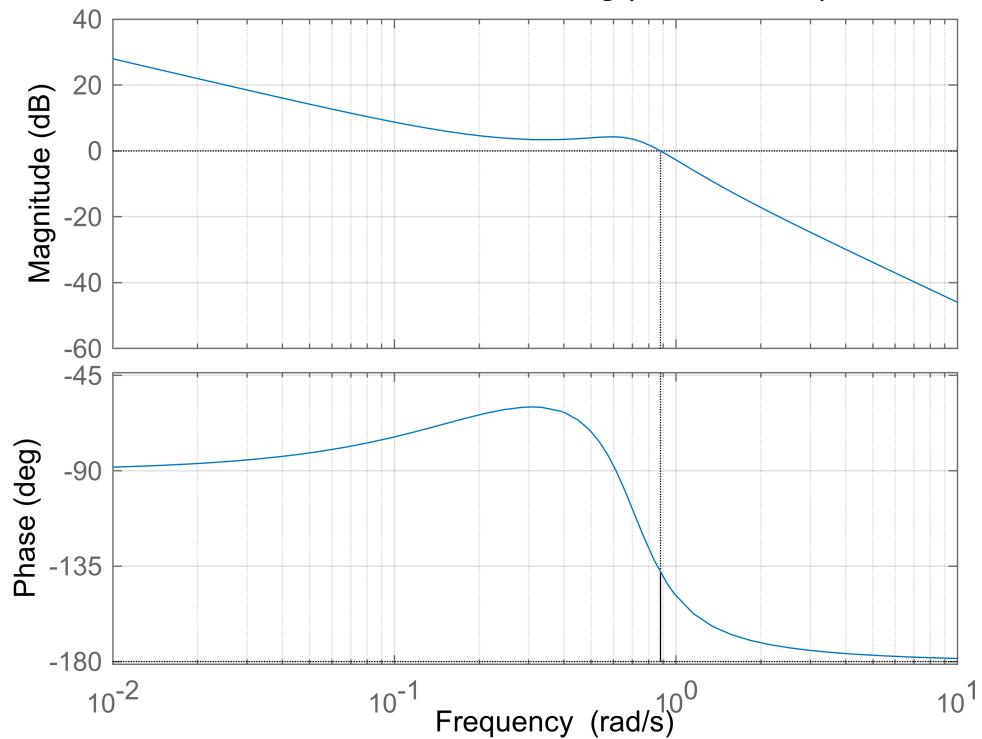


G4

P = 0.25, I = 0, D = 1

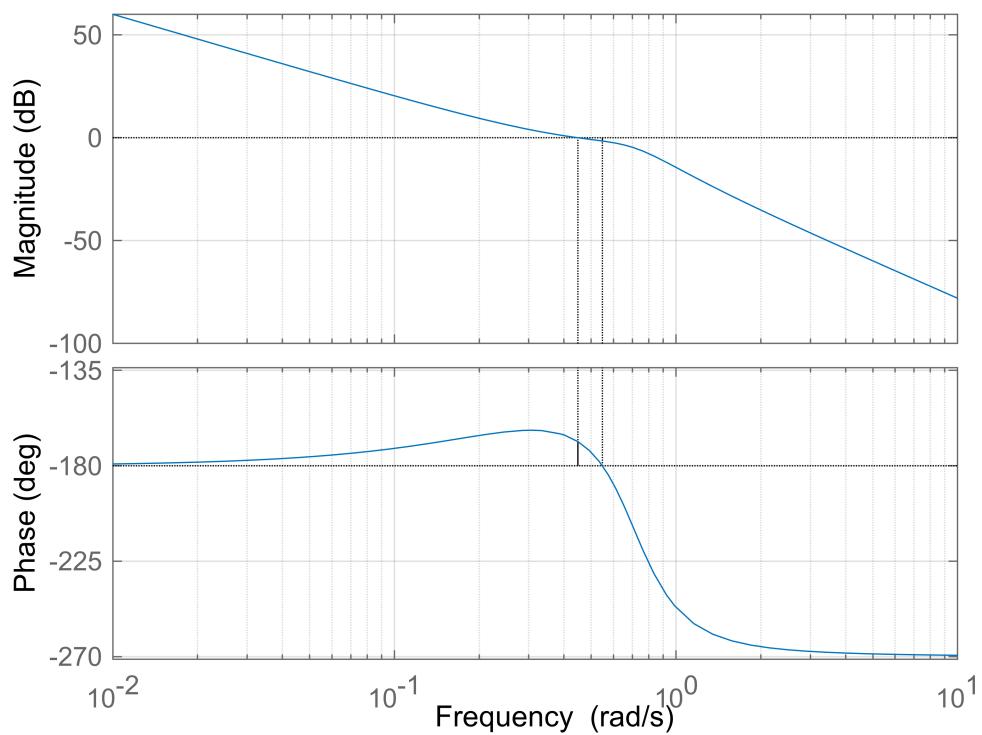
Zapas modułu: Inf, Zapas fazy: 42.0872

**Bode Diagram**  
**Gm = Inf, Pm = 42.1 deg (at 0.881 rad/s)**



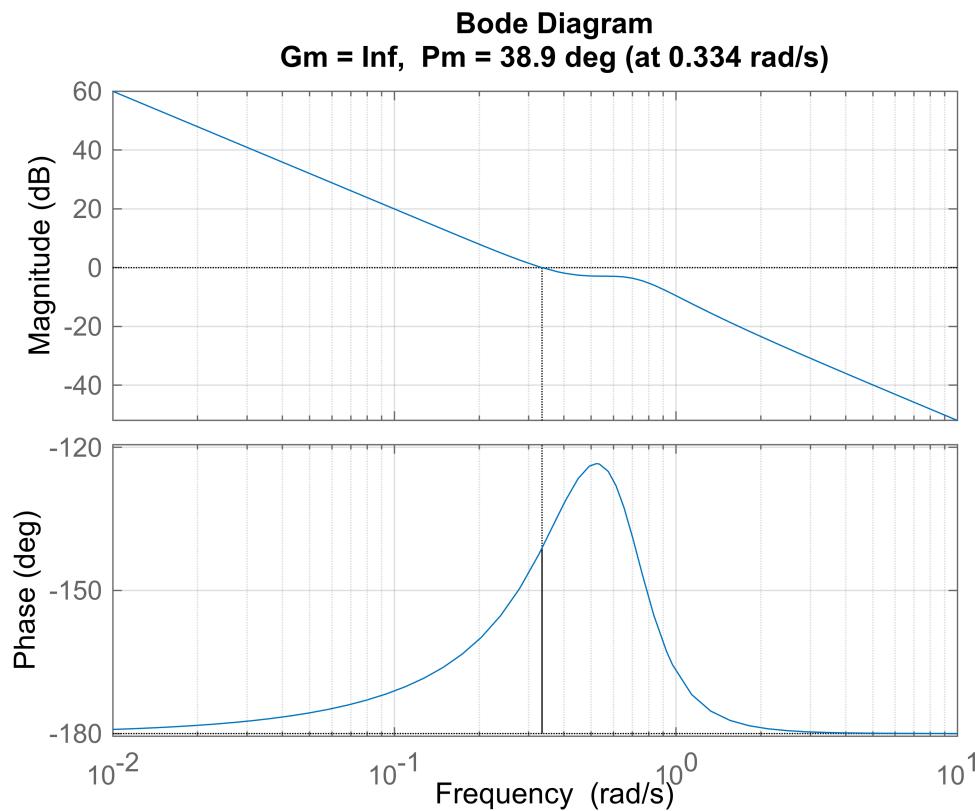
G4  
 $P = 0.25, I = 0.1, D = 0$   
 Zapas modułu: 1.2, Zapas fazy: 11.4055

**Bode Diagram**  
**Gm = 1.58 dB (at 0.548 rad/s), Pm = 11.4 deg (at 0.448 rad/s)**

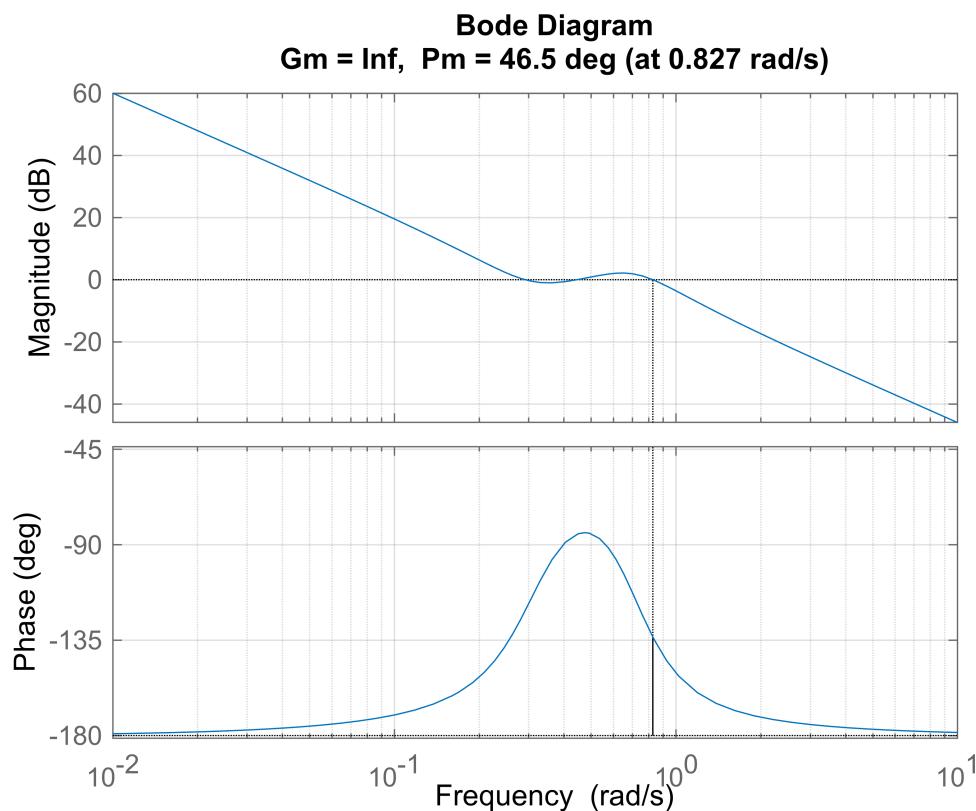


G4

$P = 0.25$ ,  $I = 0.1$ ,  $D = 0.5$   
Zapas modułu: 0, Zapas fazy: 38.8882



G4  
 $P = 0.25$ ,  $I = 0.1$ ,  $D = 1$   
Zapas modułu: 0, Zapas fazy: 46.4855



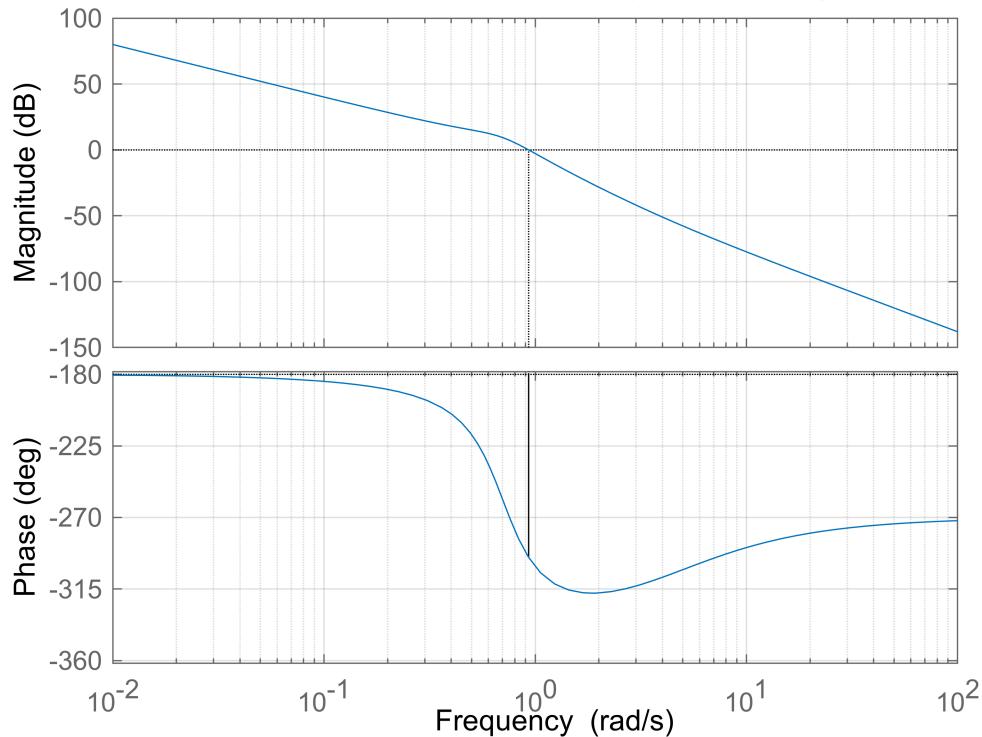
G4

Warning: The closed-loop system is unstable.

P = 0.25, I = 1, D = 0

Zapas modułu: 0, Zapas fazy: -115.1196

Bode Diagram  
Gm = Inf, Pm = -115 deg (at 0.931 rad/s)



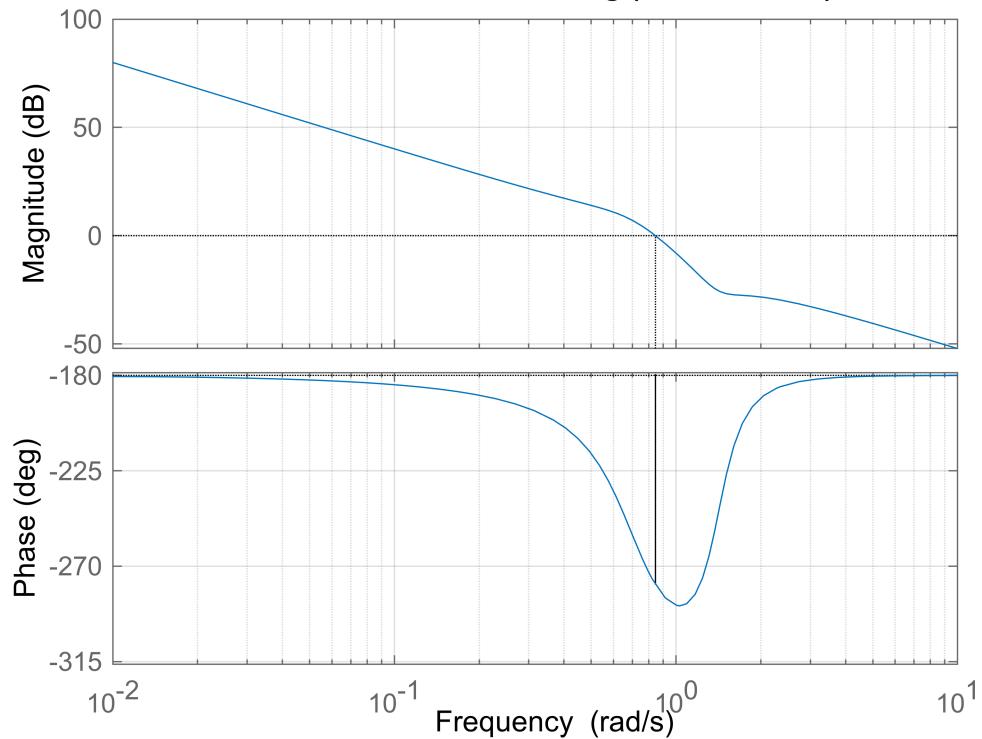
G4

Warning: The closed-loop system is unstable.

P = 0.25, I = 1, D = 0.5

Zapas modułu: 0, Zapas fazy: -98.6901

**Bode Diagram**  
**Gm = Inf, Pm = -98.7 deg (at 0.845 rad/s)**



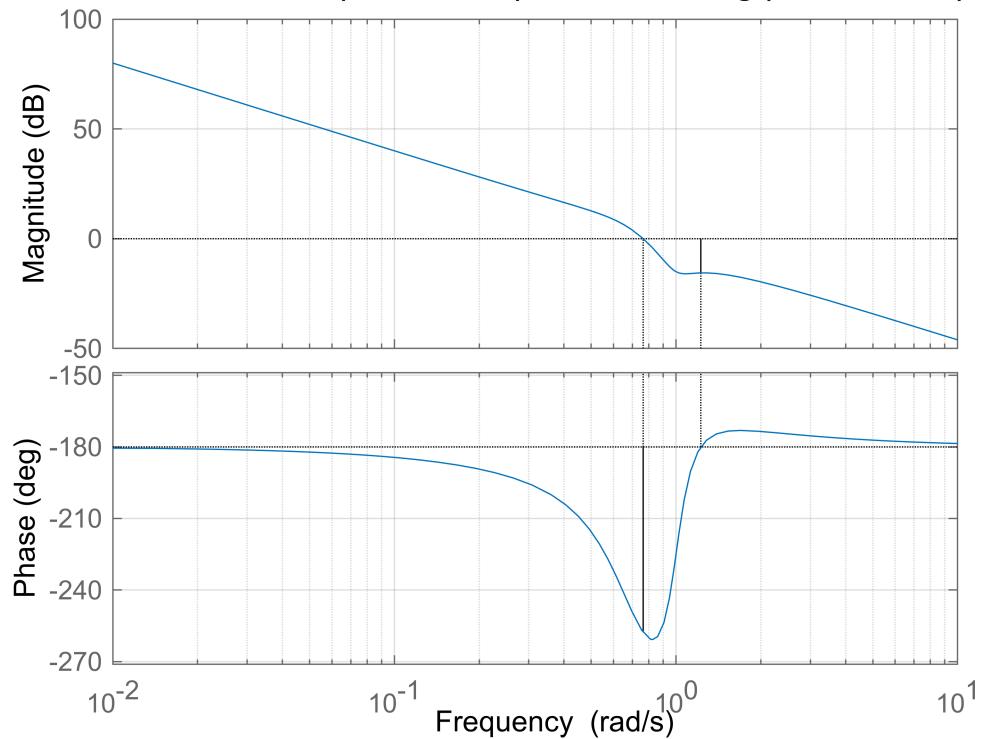
G4

Warning: The closed-loop system is unstable.

$P = 0.25, I = 1, D = 1$

Zapas modułu: 6, Zapas fazy: -77.754

**Bode Diagram**  
**Gm = 15.6 dB (at 1.22 rad/s), Pm = -77.8 deg (at 0.764 rad/s)**



```
wynikitab = cell2table(wyniki, "VariableNames", ["Oznaczenie Obiektu", "P", "I", "D", "Gm", "Pr"])
```

wynikitab = 36x6 table

	Oznaczenie Obiektu	P	I	D	Gm	Pm
1	"G1"	4	0	0	2.0003	27.1424
2	"G1"	4	0	0.5000	3.2000	35.4092
3	"G1"	4	0	1	8	42.5102
4	"G1"	4	0.1000	0	1.9504	25.9713
5	"G1"	4	0.1000	0.5000	3.1167	34.3969
6	"G1"	4	0.1000	1	7.7820	41.6836
7	"G1"	4	1	0	1.5177	14.8884
8	"G1"	4	1	0.5000	2.3856	24.3148
9	"G1"	4	1	1	5.8428	32.9874
10	"G2"	1.5000	0	0	2	39.6836
11	"G2"	1.5000	0	0.5000	6.0002	54.4706
12	"G2"	1.5000	0	1	Inf	60.5323
13	"G2"	1.5000	0.1000	0	1.8690	35.8373
14	"G2"	1.5000	0.1000	0.5000	5.5245	52.5602
15	"G2"	1.5000	0.1000	1	Inf	60.0626
16	"G2"	1.5000	1	0	0.9537	-2.4014
17	"G2"	1.5000	1	0.5000	2	21.2510
18	"G2"	1.5000	1	1	Inf	42.4687
19	"G3"	1.2505	0	0	2.0004	22.0842
20	"G3"	1.2505	0	0.5000	Inf	42.4226
21	"G3"	1.2505	0	1	Inf	54.6908
22	"G3"	1.2505	0.1000	0	1.7646	17.6305
23	"G3"	1.2505	0.1000	0.5000	Inf	39.4988
24	"G3"	1.2505	0.1000	1	Inf	53.4439
25	"G3"	1.2505	1	0	0.4599	-19.9626
26	"G3"	1.2505	1	0.5000	1.9992	2.7903
27	"G3"	1.2505	1	1	Inf	26.6926
28	"G4"	0.2500	0	0	2	71.4778
29	"G4"	0.2500	0	0.5000	Inf	Inf
30	"G4"	0.2500	0	1	Inf	42.0872
31	"G4"	0.2500	0.1000	0	1.2000	11.4055

	Oznaczenie Obiektu	P	I	D	Gm	Pm
32	"G4"	0.2500	0.1000	0.5000	0	38.8882
33	"G4"	0.2500	0.1000	1	0	46.4855
34	"G4"	0.2500	1	0	0	-115.1196
35	"G4"	0.2500	1	0.5000	0	-98.6901
36	"G4"	0.2500	1	1	6	-77.7540

## Wnioski

Wyniki przeprowadzonego ćwiczenia pozwalają na wyciągnięcie kilku wniosków. Po pierwsze, ocena stabilności systemu jest ściśle powiązana z jego charakterystyką częstotliwościową. Jeśli charakterystyka częstotliwościowa systemu wchodzi w obszar nieodpowiedniej stabilności, to system staje się niestabilny, nawet jeśli był stabilny w warunkach statycznych.

Po drugie, ocena stabilności systemu wymaga oceny zarówno modułu, jak i fazy charakterystyki częstotliwościowej. Zapas stabilności po module mówi nam o tym, jak blisko granicy stabilności znajduje się charakterystyka częstotliwościowa systemu. Natomiast zapas stabilności po fazie mówi nam o tym, jak dużo zmiany fazy możemy wprowadzić w systemie, zanim stanie się niestabilny.

Po trzecie, aby system był stabilny, musi mieć wystarczające zapasy stabilności po module i po fazie. Im większe zapasy stabilności, tym większy margines bezpieczeństwa mamy w przypadku ewentualnych zakłóceń i nieprzewidzianych zmian w systemie.

Wniosek jest taki, że ocena stabilności systemu regulacji jest bardzo ważna dla zapewnienia jego poprawnego działania i bezpieczeństwa. Przeprowadzenie ćwiczenia, takiego jak sprawdzenie zapasów stabilności po module i fazie, jest niezbędne do oceny stabilności systemu i poprawy jego charakterystyki, gdy jest to konieczne.

```

function [Gm, Pm] = checkmargin(G, P, I, D)
    PID = pid(P, I, D, 0);
    obiekt = (G*PID);
    [Gm,Pm,Wcg,Wcp] = margin(obiekt);
    disp("P = " + string(P) + ", I = " + string(I) + ", D = " + string(D))
    disp("Zapas modułu: " + string(Gm) + ", Zapas fazy: " + string(Pm));
    figure;
    margin(obiekt);
    grid on;
end

```