SLCO4A - Aula Prática 14

Sumário

Sistema de controle simples

Exercício 1: Considere um sistema de controle automático de posição, o qual pode ser utilizado para controlar a posição angular de um objeto pesado (por exemplo uma antena de rastreamento, uma posição de uma nave, um painel solar, uma janela ou qualquer outro mecanismo) especificado pela seguinte função de transferência:

$$H(s) = \frac{1}{s(s+8)}$$

a) Avalie a estabilidade do sistema.

```
num=1;
den=conv([1 0], [1 8]);
% Raizes = 0 -> Criticamente estável
% Raizes = 0 e negativa -> Criticamente estável
raizes=roots(den)
```

```
raizes = 2×1
     0
    -8
```

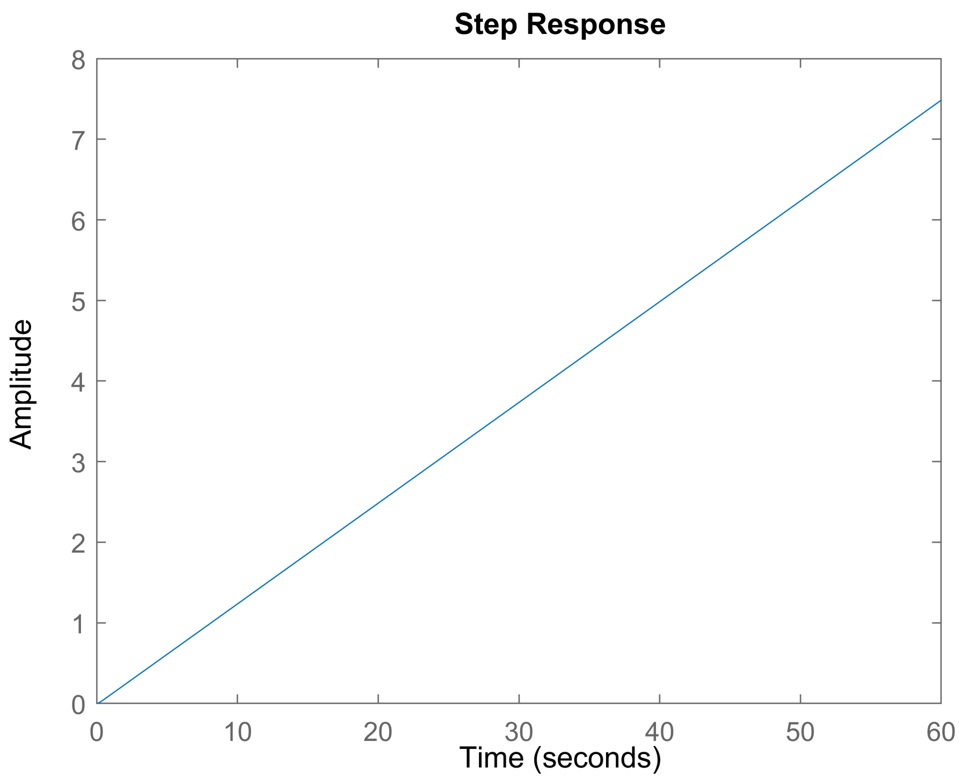
```
H=tf(num, den)
```

```
H =

      1
  ---------
  s^2 + 8 s

Continuous-time transfer function.
```

```
step(H)
```



b) Determine a resposta temporal de saída do sistema com ganho $K=7$, $K=16$ e $K=80$ operando em malha fechada para uma entrada degrau unitário.

```
K=7;
T1=feedback(K*H, 1)
```

```
T1 =

        7
  -------------
  s^2 + 8 s + 7

Continuous-time transfer function.
```

```
figure
step(T1, 'b')
hold on
K=16;
T2=feedback(K*H, 1)
```

```
T2 =

        16
  --------------
  s^2 + 8 s + 16

Continuous-time transfer function.
```

```
step(T2, 'r')
K=80;
```

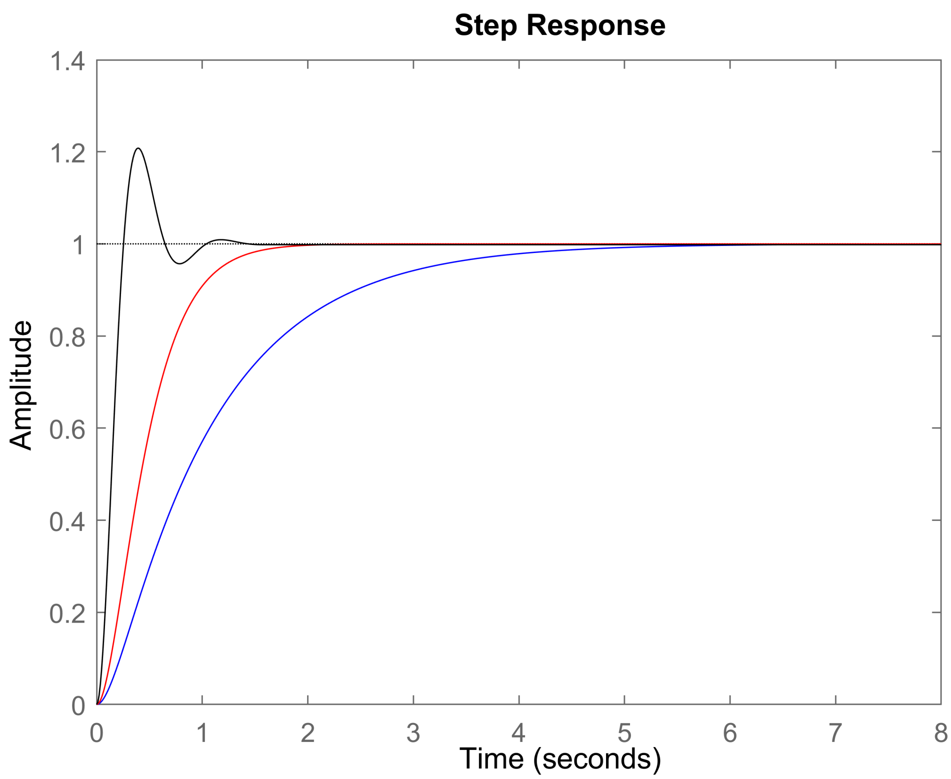
```
T3=feedback(K*H, 1)
```

```
T3 =

        80
  --------------
  s^2 + 8 s + 80

Continuous-time transfer function.
```

```
step(T3, 'k')
```




```
% Controlador proporcional
% Overchute - maximo desejado, pico do sinal ultrapassa o 1
```

c) Determine a resposta temporal de saída do sistema operando em malha fechada com ganho proporcional $K = 80$ para uma entrada do tipo rampa.

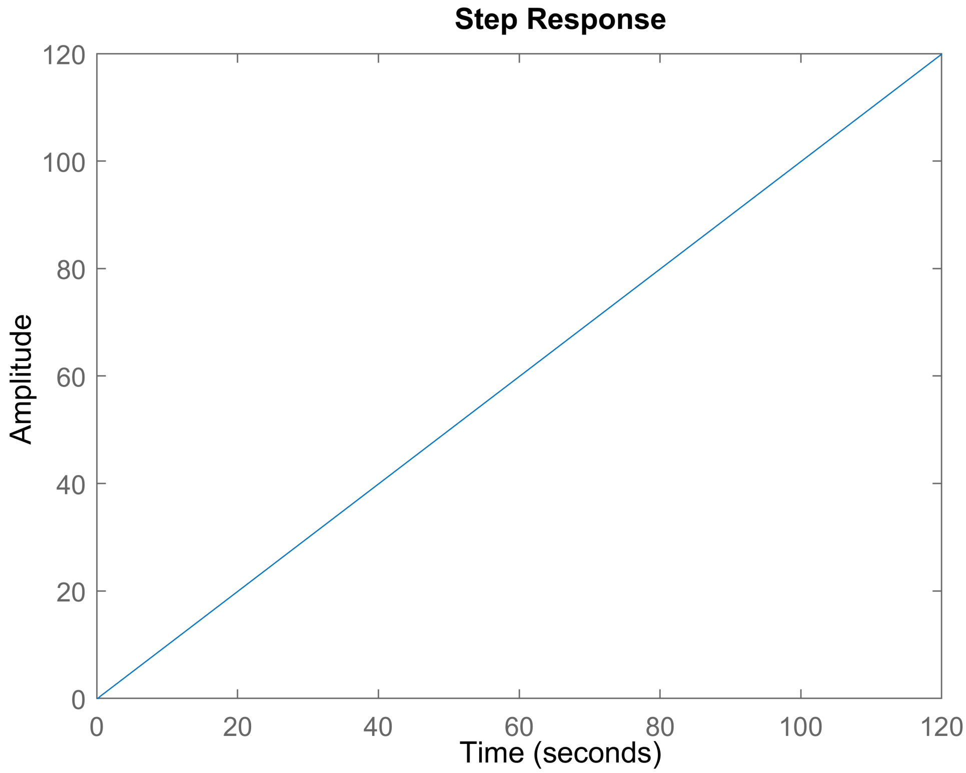
```
T4=series(tf([0 1], [1 0]), T3)
```

```
T4 =

          80
  ------------------
  s^3 + 8 s^2 + 80 s

Continuous-time transfer function.
```

```
figure
step(T4)
```



Resposta em frequência

Um sistema é completamente especificado por sua resposta impulsiva. Consequentemente, pode-se determinar a saída $y(t)$ como sendo

$$y(t) = h(t) * x(t)$$

Aplicando transformada de Fourier, obtém-se

$$Y(j\omega) = H(j\omega)X(j\omega)$$

- $H(j\omega)$ é chamada de resposta em frequência, que corresponde a transformada de Fourier da resposta impulsiva $h(t)$ do sistema.
- $H(j\omega)$ usualmente é uma função de valor complexo, logo pode ser denotada na forma polar

$$H(j\omega) = |H(j\omega)|e^{j\angle H(j\omega)},$$

onde $|H(j\omega)|$ é a magnitude e $e^{j\angle H(j\omega)}$ é a fase de $H(j\omega)$.

Exercício 2: Calcule a resposta de frequência $H(j\omega)$ de um sistema descrito pela resposta de impulso $h(t) = e^{-2t}u(t)$. Represente graficamente a magnitude e a fase da resposta de frequência para $0 \le \omega \le 10$ rad/s, com passo de 0.1 rad/s

```
syms t w
h=exp(-2*t)*heaviside(t)
```

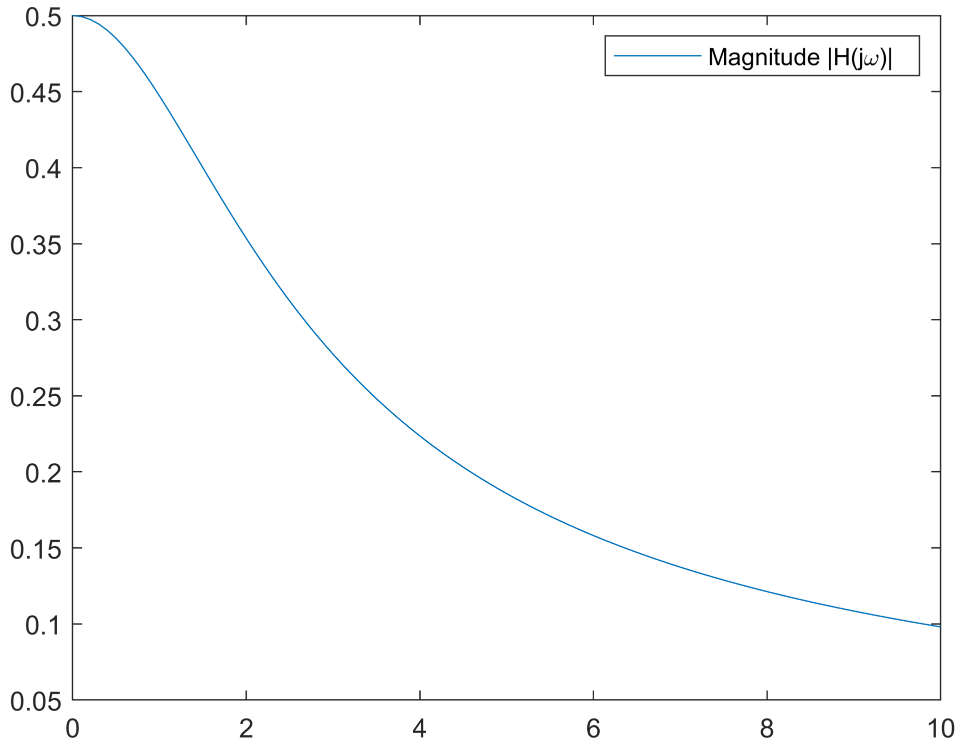
h = $e^{-2t}\,\text{heaviside}(t)$

```
H=fourier(h, w)
```

H =

$$\frac{1}{2 + w\,\mathrm{i}}$$

```
w1=0:0.1:10;
HH=subs(H, w, w1);
plot(w1, abs(HH))
legend('Magnitude |H(j\omega)|')
```



Comando freqs

```
H=freqs(nu,den,w)
```

Exercício 3: Plot a magnitude e a fase da resposta em frequência de um sistema dado por

$$H(j\omega) = \frac{B(j\omega)}{A(j\omega)} = \frac{8(j\omega)^2 + 2\,j\omega + 20}{6(j\omega)^2 - 5\,j\omega - 10}$$

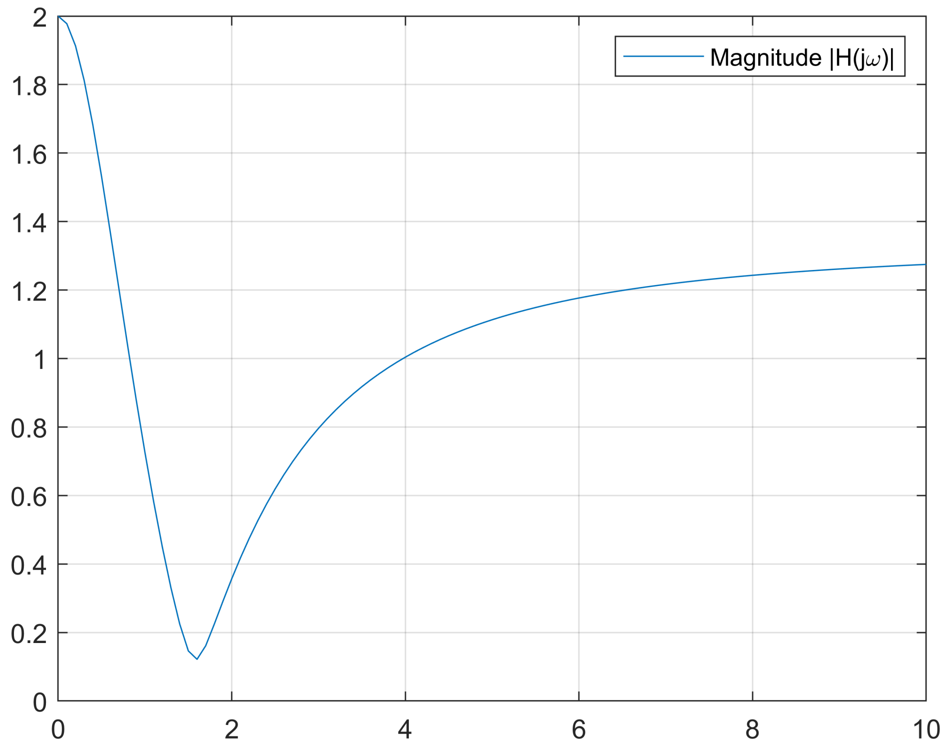
para $0 \le \omega \le 10$ rad/s, com passo de 0.1 rad/s

```
num = [ 8 2 20];
den=[6 -5 -10];
w=0:0.1:10;
```

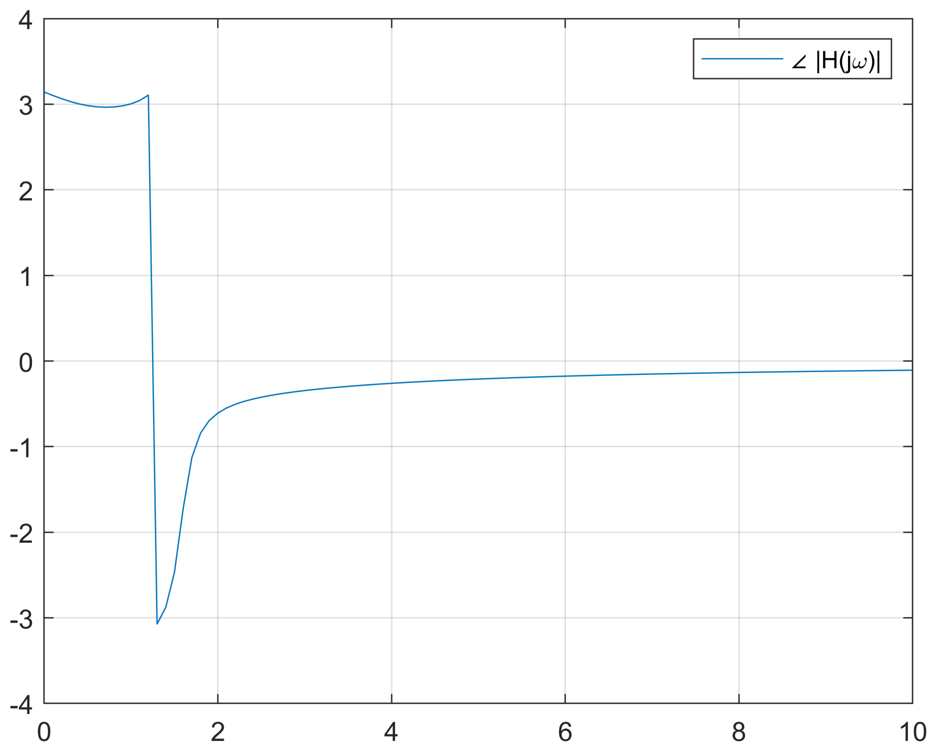
```
H=freqs(num, den, w)
```

```
H = 1×101 complex
  -2.0000 + 0.0000i  -1.9762 + 0.0783i  -1.9075 + 0.1472i  -1.8008 + 0.1994i ⋯
```

```
figure
plot(w, abs(H))
legend('Magnitude |H(j\omega)|')
grid on
```




```
figure
plot(w, angle(H))
legend('\angle |H(j\omega)|')
grid on
```



Resposta do sistema para uma entrada senoidal

Suponha um sistema descrito por uma resosta em frequência $H(j\omega)$. A resposta do sistema para uma entrada senoidal $x(t) = A\cos(\omega_0 t + \phi)$ é dado por

$$y(t) = A|H(j\omega_0)|\cos(\omega_0 t + \phi + \angle H(j\omega_0))$$

onde onde $|H(j\omega_0)|$ é a magnitude e $e^{j\angle H(j\omega_0)}$ é a fase de $H(j\omega)$ em $\omega = \omega_0$.

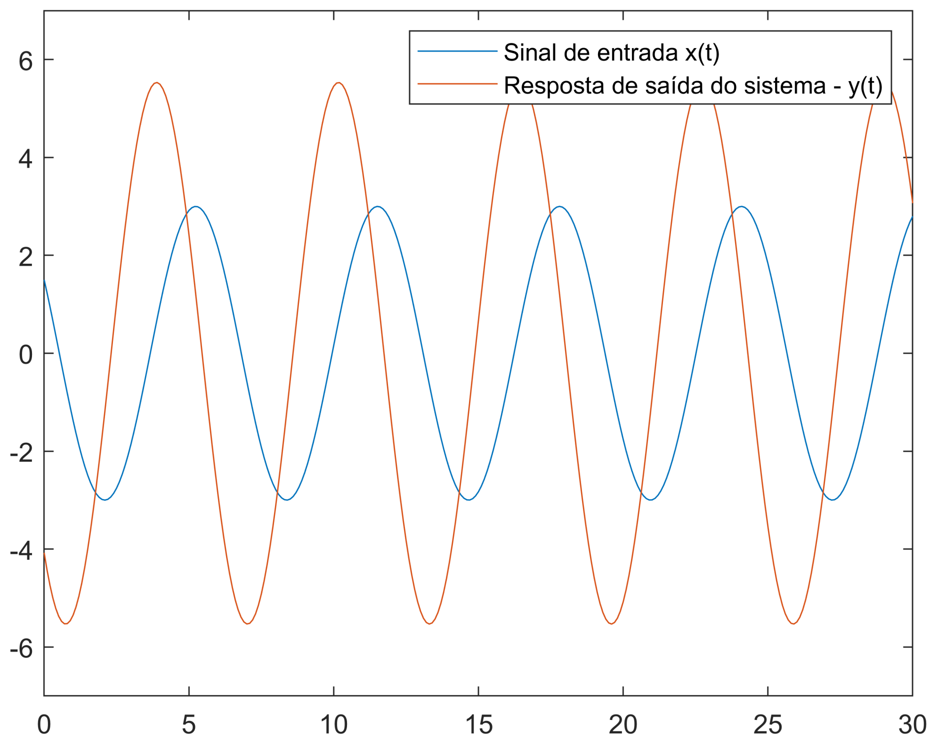
Exercício 4: Um sistema é descrito pela resposta em frequência

$$H(j\omega) = \frac{3(j\omega)^2 + 4j\omega + 2}{(j\omega)^2 + j\omega + 3},$$

compute e plot sobre o intervalo $0 \le t \le 30$, com passo de 0.1 s, a resposta do sistema para uma entrada $x(t) = 3\cos\left(t + \frac{\pi}{3}\right)$

```
t=0:0.1:30;
x1=3*cos(t+pi/3);
plot(t, x1)
%legend('Sinal de entrada x(t)')
ylim([-4 4])
hold on
w0=1;
```

```
Hw0=(3*(j*w0)^2+4*(j*w0)+2)/((j*w0)^2+j*w0+3);
magn=abs(Hw0);
phas=angle(Hw0);
y1=3*magn*cos(t+pi/3+phas);
plot(t, y1)
legend('Sinal de entrada x(t)', 'Resposta de saída do sistema - y(t)')
ylim([-7 7])
hold off
```

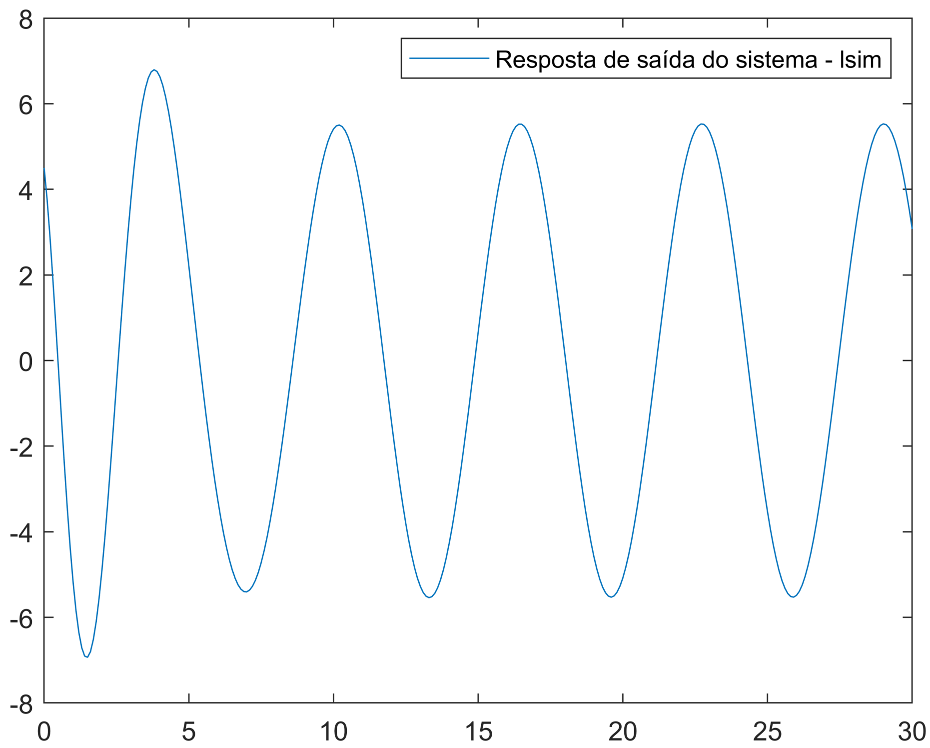



```
% Forma alternativa
num=[3 4 2];
den=[1 1 3];
yls=lsim(num, den, x1, t)
```

```
yls = 301×1
    4.5000
    3.7809
    2.9072
    1.9170
    0.8491
   -0.2576
   -1.3662
   -2.4416
   -3.4521
   -4.3699
      ⋮
```

```
figure
plot(t, yls)
```

```
legend('Resposta de saída do sistema - lsim')
```




```

```

Função de transferência e Resposta em Frequência

Se um sistema é estável, a relação entre função de transferência $H(s)$ e $H(j\omega)$ existe de tal forma que pode ser computada substituindo s por $j\omega$ em $H(s)$.

Uma forma de computar $H(j\omega)$ sobre uma faixa de frequência $\omega_1 \leq \omega \leq \omega_2$ de uma função de transferência $H(s)$ pode ser usando o comando `freqresp`.

```
Hw=freqresp(Hs,w)
```

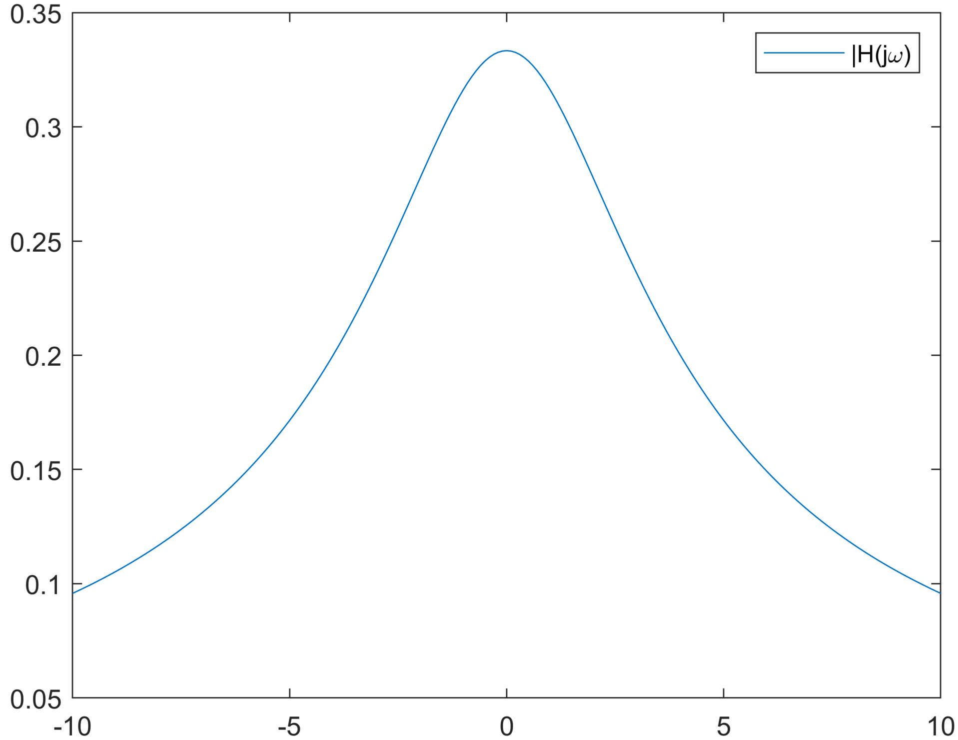
Exercício 5: Compute e plot a resposta em frequência de um sistema com função transferência $H(s) = \dfrac{1}{s+3}$, no intervalo $-10 \leq \omega \leq 10$ rad/s, com passo de 0.1 rad/s.

```
Hs=tf(1, [1 3])
```

```
Hs =
 
    1
  -----
  s + 3
 
Continuous-time transfer function.
```

```
w=-10:0.1:10;
```

```
Hw=freqresp(Hs, w);
plot(w, abs(Hw(:,:)))
legend('|H(j\omega)')
```




```
figure
plot(w, angle(Hw(:,:)))
legend('|H(j\omega)')
```

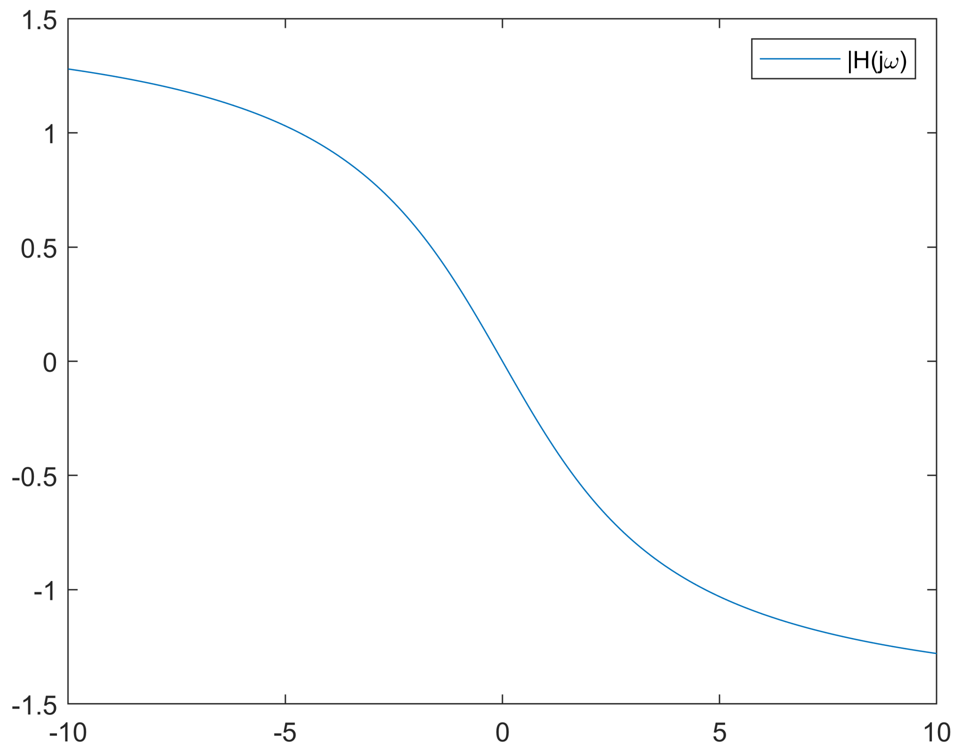


Diagrama de Bode

O diagrama de Bode é uma gráfico escalonado logaritmicamente da função de transferência $H(s)$ versus a frequência ω, que na realidade mostra a resposta em frequência do sistema. O diagrama é implementado com o comando `bode(Hs,w)`, onde `Hs` denota a função de transferência e `w` é o vetor contendo frequências positivas para qual $H(s)$ é avaliada.

- A sintaxe `[mag,phas] = bode(Hs,w)` retorna a magnitude e a fase de $H(s)$ avaliados nos pontos de frequência especificados no vetor `w`
- Alternativamente, pode-se usar `H = freqs(num,den,w)` e então plotar a magnitude digitando `semilogx(w,20*log10(abs(H)))` e a fase `semilogx(w,rad2deg(angle(H)))`

Exercício 6: Crie um diagrama de Bode do sistema com a função de transferência

$$H(s) = \frac{s+2}{s^2+3s+1}$$

no intervalo $0 \le \omega \le 100$ rad/s, com passo de 0.1 rad/s

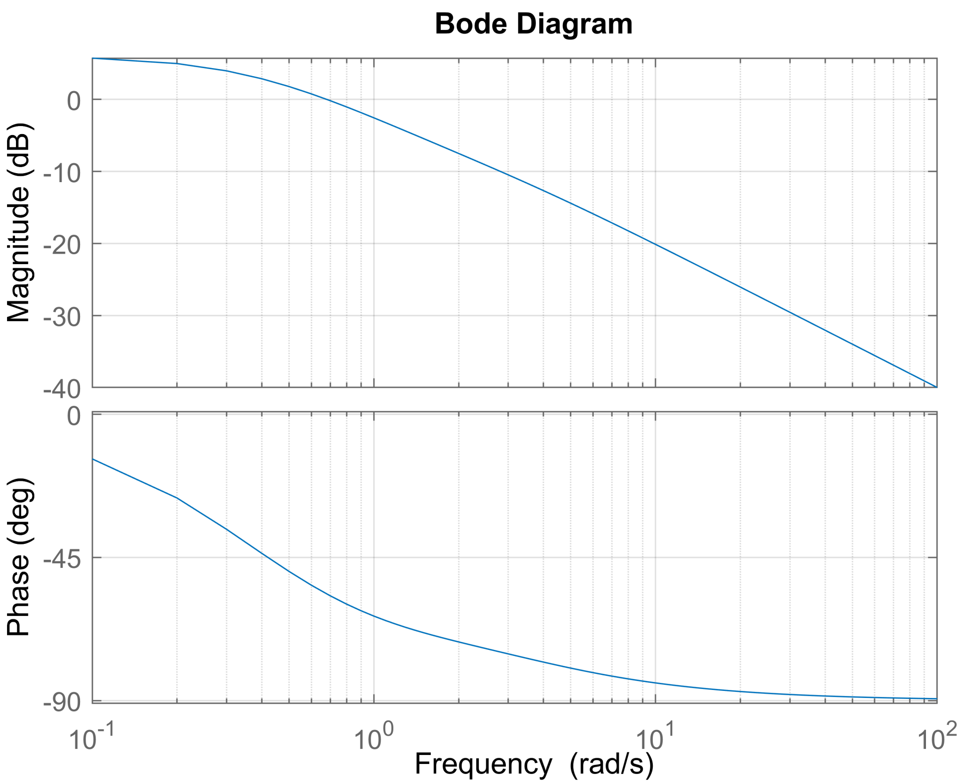
```
% Diagrama de Bode
num=[1 2];
den=[1 3 1];
H=tf(num, den)
```

```
H =

      s + 2
  -------------
  s^2 + 3 s + 1

Continuous-time transfer function.
```

```
w=0:0.1:100;
bode(H, w);
grid on
```




```
log10(100)
```

```
ans = 2
```