

## Sistemas de Ordem Superior

A resposta de um sistema de ordem superior é a soma das respostas dos sistemas de primeira e de segunda ordem. Um sistema de ordem superior pode ser escrito da seguinte forma:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K(s + z_1)(s + z_2) \dots (s + z_m)}{(s + p_1)(s + p_2) \dots (s + p_n)}$$

Aplicando uma entrada degrau unitário a este sistema ( $R(s) = 1/s$ ), teremos:

$$C(s) = \frac{1}{s} \cdot \frac{K(s + z_1)(s + z_2) \dots (s + z_m)}{(s + p_1)(s + p_2) \dots (s + p_n)}$$

Utilizando a expansão em frações parciais:

$$C(s) = \frac{1}{s} \cdot \frac{K(s + z_1)(s + z_2) \dots (s + z_m)}{(s + p_1)(s + p_2) \dots (s + p_n)} = \frac{a}{s} + \frac{a_1}{s + p_1} + \frac{a_2}{s + p_2} + \dots + \frac{a_n}{s + p_n}$$

$$C(s) = \frac{a}{s} + \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{s + p_i}$$

onde:  $a_i$  são os resíduos associados aos pólos  $p_i$ .

### Observação:

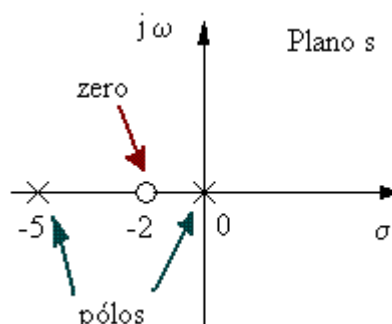
- Pólo: são valores de  $s$  que tornam a função de transferência infinita. Os pólos determinam o tipo de resposta transitória.
- Zero: são valores de  $s$  nos quais a função de transferência é zero. Principalmente, os zeros determinam a forma da resposta transitória.
- Se houver um zero próximo a um pólo, isto indica que o resíduo neste pólo será pequeno.
- Um par de pólos e zeros próximos se cancelam mutuamente.
- Um pólo muito longe da origem do eixo  $j\omega$  indica que o resíduo deste pólo será pequeno, portanto os transitórios deste pólo são pequenos e de curta duração.
- Transitórios pequenos e de curta duração contribuem muito pouco para a resposta transitória e, portanto, podem ser desprezados.

Exemplo:

$$C(s) = \frac{(s+2)}{s(s+5)}$$

Legenda:

○ zero  
× pólo



- Os pólos no semiplano esquerdo: os termos exponenciais tendem a zero à medida que  $t$  aumenta. A saída no regime tende ao valor  $a$  [ $c(t \rightarrow \infty) = a$ ].
- Pólos distantes no eixo  $j\omega$  possuem grandes partes reais negativas e decrescem rapidamente a zero. A distância horizontal é o tempo de acomodação dos componentes transitórios associado ao pólo, quanto menor a distância horizontal, maior é tempo de acomodação.

### Efeitos dos pólos

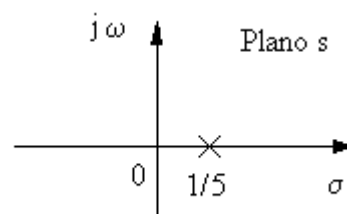
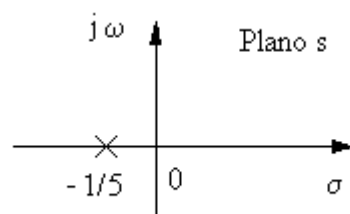
#### Pólo Positivo e Pólo Negativo

Considere as seguintes funções de transferências:

$$FT1 = \frac{C_1(s)}{R(s)} = \frac{1}{5s + 1}$$

$$FT2 = \frac{C_2(s)}{R(s)} = \frac{1}{5s - 1}$$

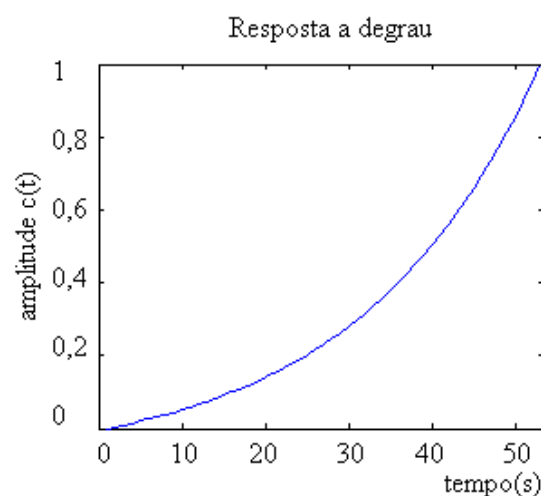
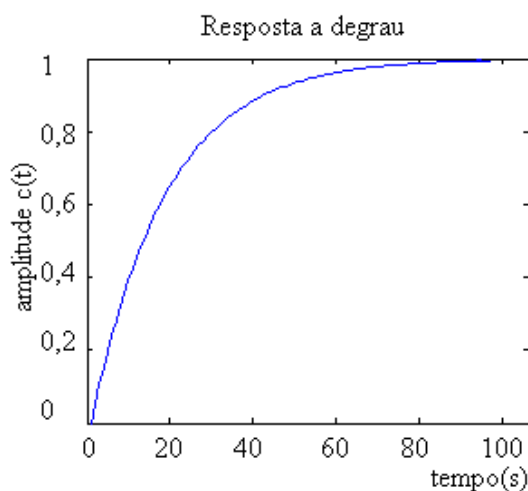
A FT1 possui um pólo negativo em  $-1/5$  e FT2 possui um pólo positivo em  $+1/5$ .



As repostas para estas funções de transferência para uma entrada degrau unitário serão:

$$c_1(t) = 1 - e^{-1/5t}$$

$$c_2(t) = 1 - e^{-1/5t}$$



Neste exemplo, nota-se que a saída do sistema que possui um pólo positivo ( $+1/5$ ) não é limitada, portanto, o sistema se torna instável.

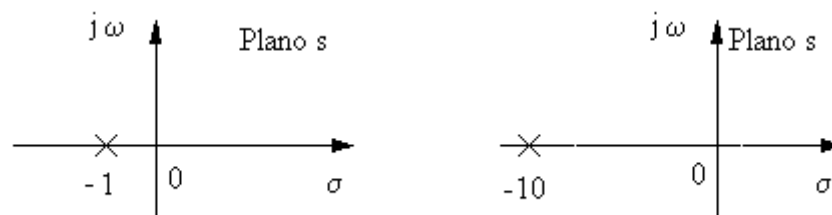
### Valores dos pólos

Considere as seguintes funções de transferências:

$$FT1 = \frac{C_1(s)}{R(s)} = \frac{1}{s+1}$$

$$FT2 = \frac{C_2(s)}{R(s)} = \frac{1}{0,1s+1}$$

A FT1 possui um pólo negativo em -1 e FT2 possui um pólo negativo em -10.

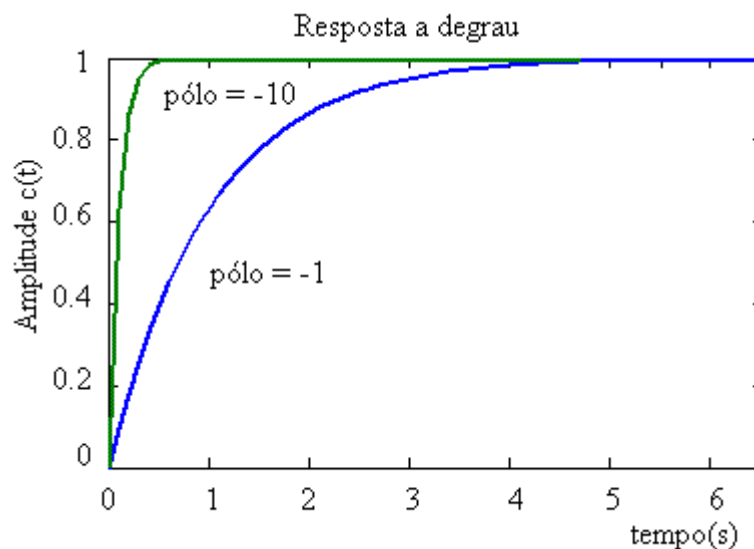


As repostas para estas funções de transferência para uma entrada degrau unitário serão:

$$c_1(t) = 1 - e^{-t}$$

$$c_2(t) = 1 - e^{-10t}$$

A saída em função do tempo para entrada a degrau é mostrada no gráfico abaixo:



Pelo gráfico nota-se que quanto maior o valor em módulo do pólo mais rápida será a sua resposta.

### Partes Reais dos Pólos

Considere as seguintes funções de transferências:

$$FT1 = \frac{C_1(s)}{R(s)} = \frac{1}{s^2 + s + 1}$$

$$FT2 = \frac{C_2(s)}{R(s)} = \frac{1}{s^2 - s + 1}$$

	FT1	FT2
<b>Pólos</b>	$-0,5 \pm j0,866$	$0,5 \pm j0,866$
$\omega_n$	1	1
$\xi$	0,5	-0,5

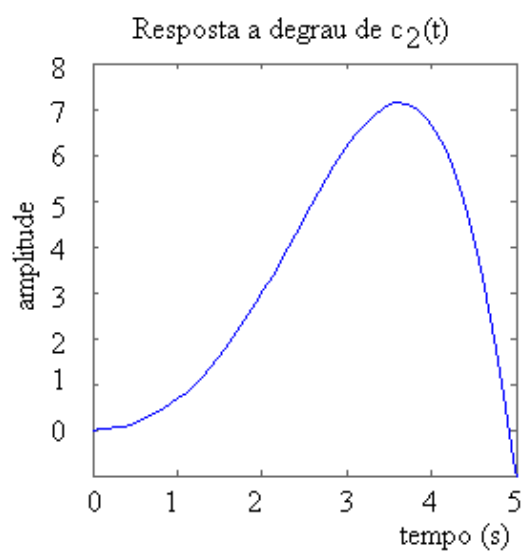
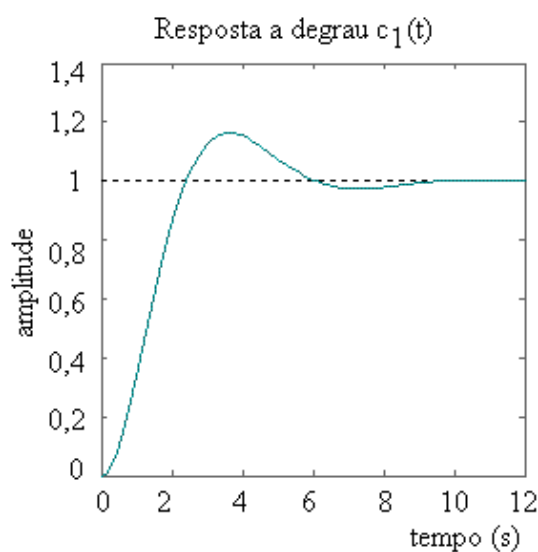
Resposta a degrau unitário é dada pela equação:

$$c(t) = 1 - \frac{e^{-\zeta\omega_n t}}{\sqrt{1-\zeta^2}} \cdot \text{sen} \left( \omega_d t + \tan^{-1} \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta} \right)$$

Substituindo os valores na equação, teremos:

$$c_1(t) = 1 - \frac{e^{-0,5t}}{0,866} \cdot \text{sen}(0,866t + 60^\circ) \quad c_2(t) = 1 - \frac{e^{0,5t}}{0,866} \cdot \text{sen}(0,866t - 60^\circ)$$

A saída em função do tempo para a entrada degrau é mostrada nos gráficos abaixo:



Pelo gráfico nota-se sistema que possui pólos com parte real positiva é instável.

Parte Imaginária dos Pólos

Considere as seguintes funções de transferências:

$$FT1 = \frac{C_1(s)}{R(s)} = \frac{1}{s^2 + s + 1}$$

$$FT2 = \frac{C_2(s)}{R(s)} = \frac{4}{s^2 + s + 4}$$

	FT1	FT2
<b>Pólos</b>	$-0,5 \pm j0,866$	$-0,5 \pm j1,9365$
$\omega_n$	1	2
$\xi$	0,5	0,25

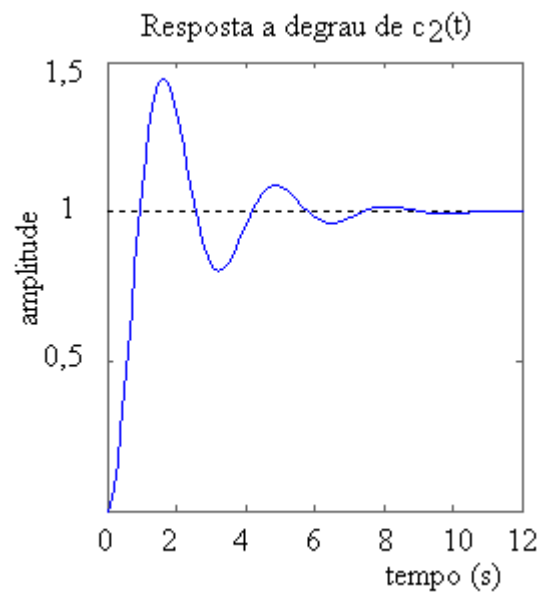
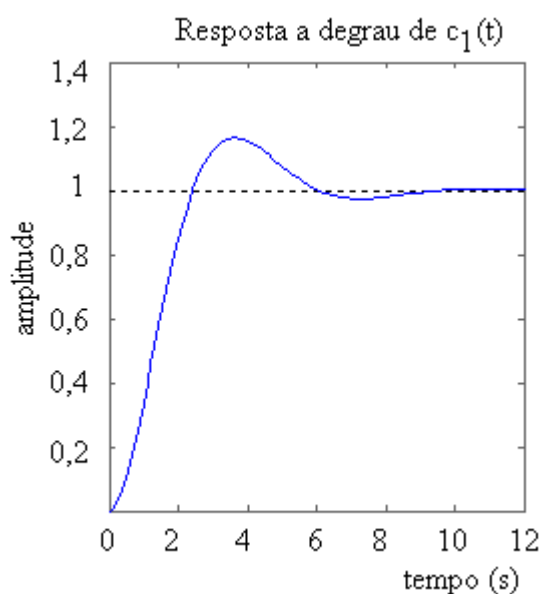
Resposta a degrau unitário é dada pela equação:

$$c(t) = 1 - \frac{e^{-\zeta\omega_n t}}{\sqrt{1-\zeta^2}} \cdot \text{sen} \left( \omega_d t + \text{tg}^{-1} \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta} \right)$$

Substituindo os valores na equação, teremos:

$$c_1(t) = 1 - \frac{e^{-0,5t}}{0,866} \cdot \text{sen}(0,866t + 60^\circ) \quad c_2(t) = 1 - \frac{e^{-0,5t}}{0,968} \cdot \text{sen}(1,9365t + 75,5^\circ)$$

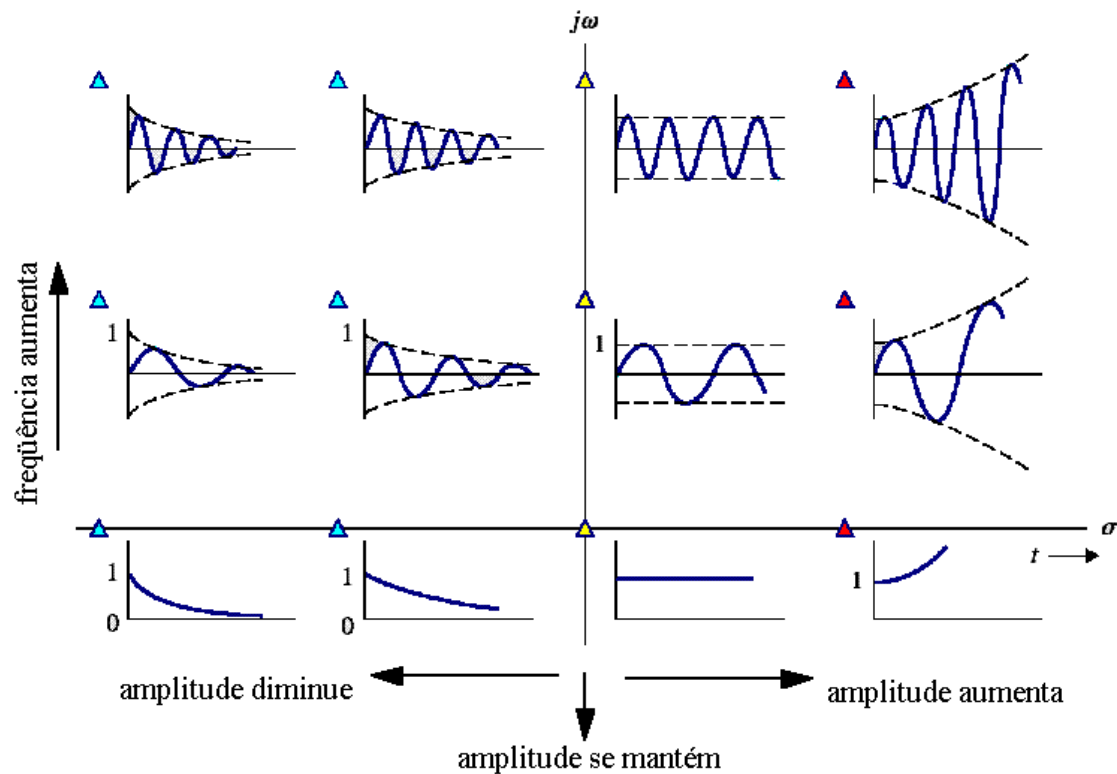
A saída em função do tempo para a entrada degrau é mostrada nos gráficos abaixo:



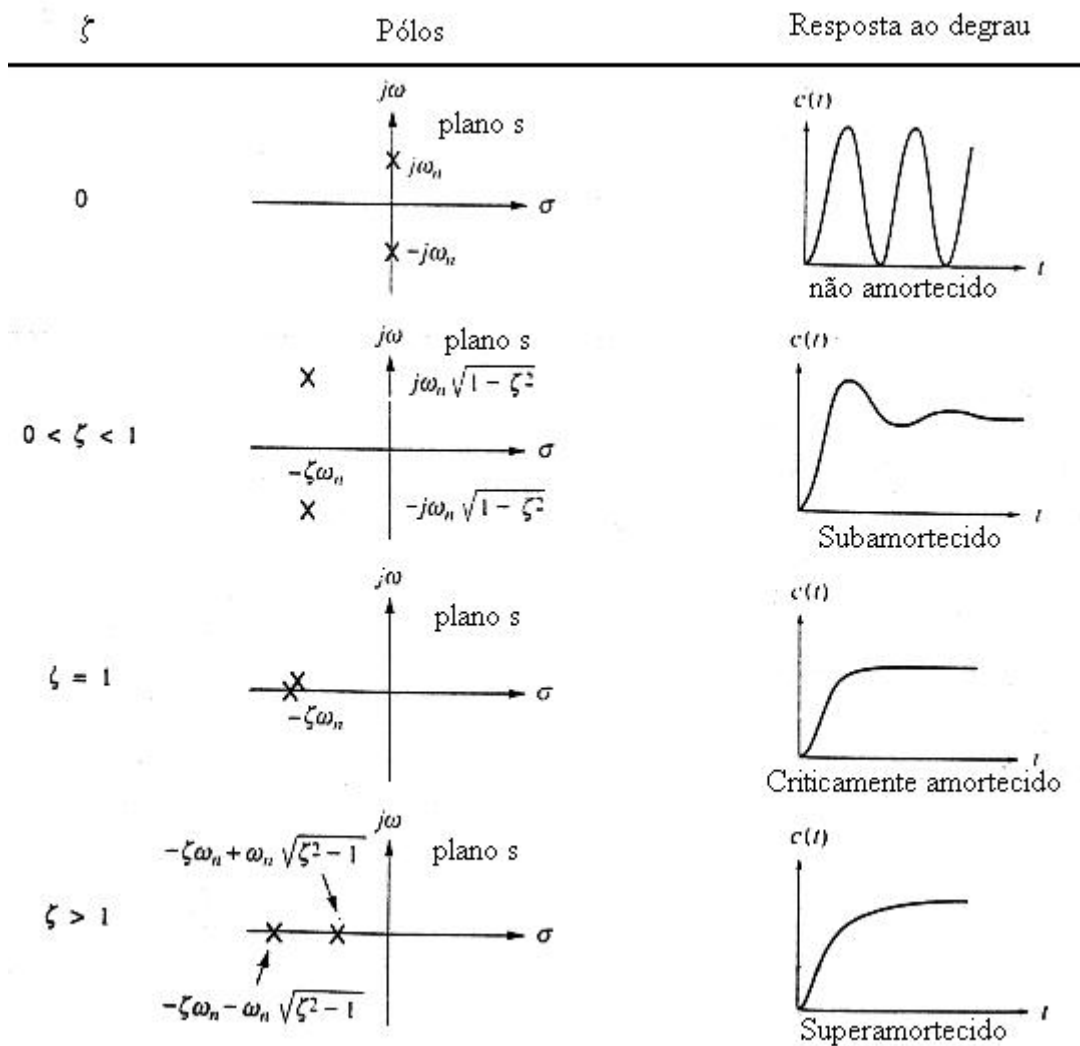
Sistemas que possui pólos com parte imaginária elevada apresentam oscilações com frequência maior.

### Resposta no plano $s$ para entrada degrau unitário

A figura abaixo mostra a resposta de um sistema de segunda ordem para uma entrada a degrau. Pela figura nota-se que a amplitude de oscilação diminui à medida que a parte real do pólo aumenta e vice-versa. A frequência de oscilação aumenta com o aumento da parte imaginária do pólo. Os pólos que possuem apenas a parte imaginária mantêm a amplitude constante. Os pólos que possuem apenas a parte real não apresentam oscilações.



A figura abaixo mostra as respostas para sistema de 2ª ordem a um entrada degrau unitário dependendo do valor do coeficiente de amortecimento ( $\zeta$ ).



Abaixo são mostrados exemplos de sistemas de 2ª ordem para uma entrada degrau unitário:

Sistema	Diagrama de Pólos e Zeros	Resposta
<p>(a) <math>R(s) = \frac{1}{s}</math> <math>G(s) = \frac{b}{s^2 + as + b}</math> <math>C(s)</math></p> <p>Geral</p>		
<p>(b) <math>R(s) = \frac{1}{s}</math> <math>G(s) = \frac{9}{s^2 + 9s + 9}</math> <math>C(s)</math></p> <p>Superamortecido</p>	<p>plano s</p>	<p><math>c(t) = 1 + 0.171e^{-7.854t} - 1.171e^{-1.146t}</math></p>
<p>(c) <math>R(s) = \frac{1}{s}</math> <math>G(s) = \frac{9}{s^2 + 2s + 9}</math> <math>C(s)</math></p> <p>subamortecido</p>	<p>plano s</p>	<p><math>c(t) = 1 - e^{-t}(\cos\sqrt{8}t + \frac{\sqrt{8}}{8}\sin\sqrt{8}t)</math> <math>= 1 - 1.06e^{-t}\cos(\sqrt{8}t - 19.47^\circ)</math></p>
<p>(d) <math>R(s) = \frac{1}{s}</math> <math>G(s) = \frac{9}{s^2 + 9}</math> <math>C(s)</math></p> <p>não amortecido</p>	<p>plano s</p>	<p><math>c(t) = 1 - \cos 3t</math></p>
<p>(e) <math>R(s) = \frac{1}{s}</math> <math>G(s) = \frac{9}{s^2 + 6s + 9}</math> <math>C(s)</math></p> <p>criticamente amortecido</p>	<p>plano s</p>	<p><math>c(t) = 1 - 3te^{-3t} - e^{-3t}</math></p>



## Pólos Dominantes

São pólos que têm efeitos dominantes no comportamento da resposta transitória. Se a relação das partes reais dos pólos de um sistema de malha fechada forem maiores do que 5 e não houver zeros nas proximidades, então os pólos que estiverem mais próximos do eixo imaginário  $j\omega$  serão dominantes.

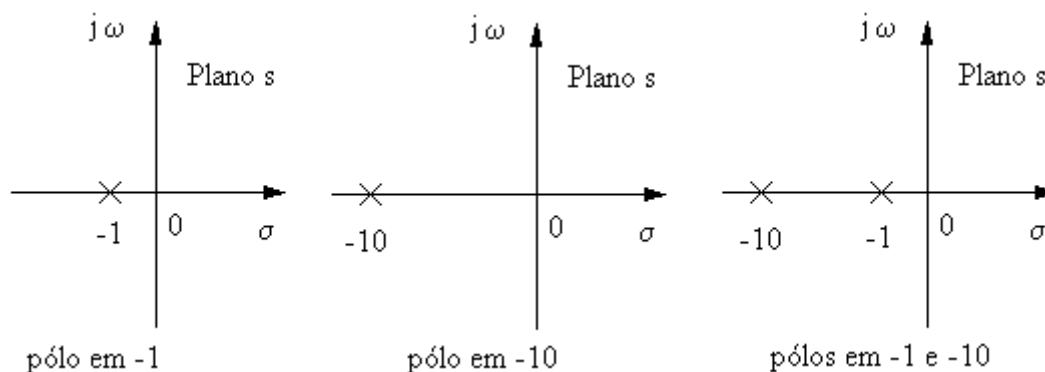
Desta forma um sistema de  $n$  pólos pode ser reduzido para um sistema que contém apenas os pólos dominantes.

Considere as funções:

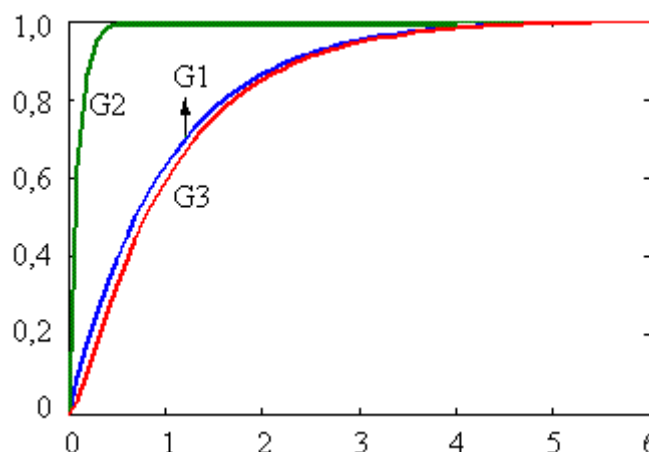
$$G1 = \frac{1}{s+1}$$

$$G2 = \frac{1}{0,1s+1}$$

$$G3 = \frac{1}{(s+1)(0,1s+1)}$$



As respostas para essas funções são mostradas na figura abaixo:



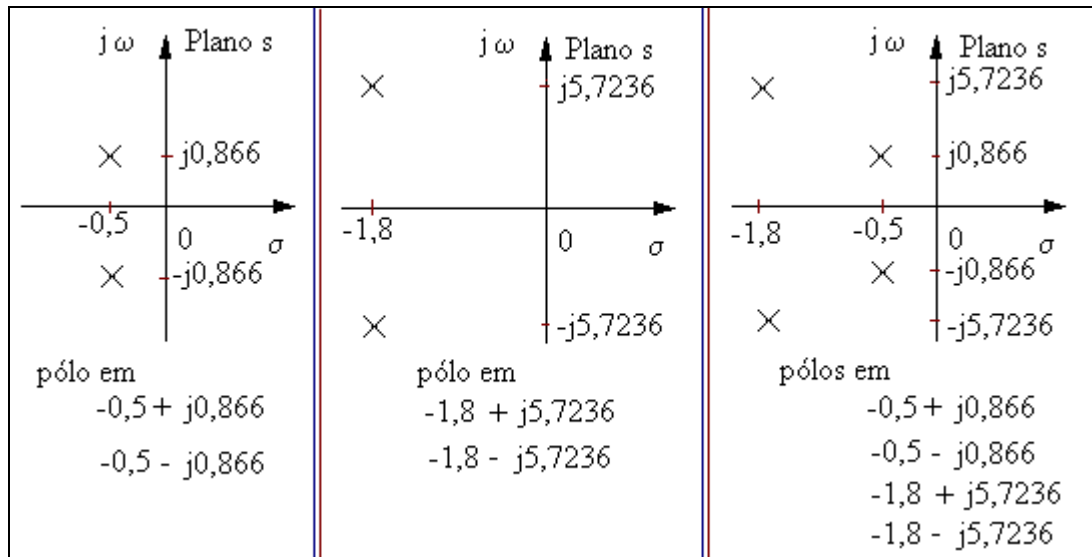
Pela figura nota-se que a função  $G3$  possui dois pólos ( $-1$  e  $-10$ ) e que a forma de sua resposta é parecida com a função  $G1$  que possui um pólo em  $-1$ . Portanto a forma de resposta de  $G3$  pode ser dada apenas pelo seu pólo dominante.

Outro exemplo, considere as funções:

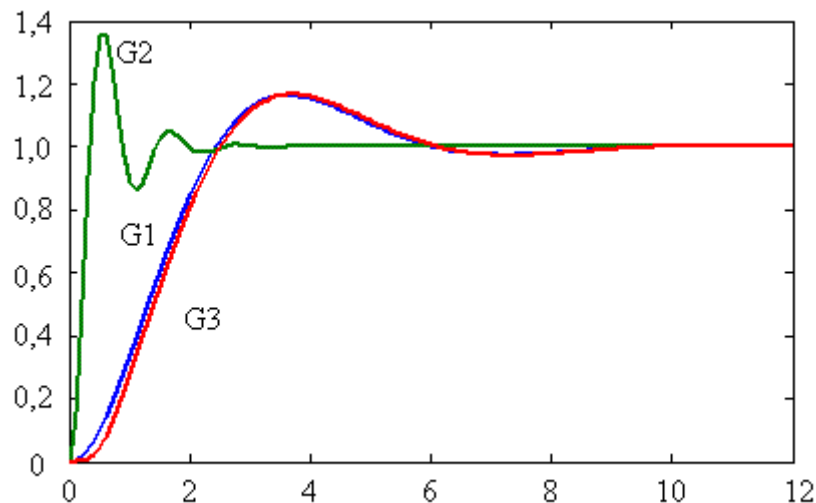
$$G1 = \frac{1}{s^2 + s + 1}$$

$$G2 = \frac{36}{s^2 + 3,6s + 36}$$

$$G3 = \frac{36}{(s^2 + s + 1)(s^2 + 3,6s + 36)}$$



As respostas para essas funções são mostradas na figura abaixo:



Novamente, a função G3 possui pólos dominantes e, portanto, este sistema pode ser reduzido para um sistema de ordem inferior.

Se houver um zero próximo ao pólo dominante, então o sistema não poderá ser reduzido. Caso o zero esteja distante do pólo dominante, o sistema poderá ser reduzido.

Faça os exercícios no matlab

1) Dá para reduzir o sistema abaixo? Considere a constante  $k_g = 10$ .

**Exemplo:** robô industrial para tirar sacos pesados de uma paleta

Equação diferencial que modeliza o sistema no tempo:

$$\frac{d^3 \omega_g(t)}{dt^3} + 14 \frac{d^2 \omega_g(t)}{dt^2} + 50 \frac{d \omega_g(t)}{dt} + 100 \omega_g(t) = K_g v_i(t)$$

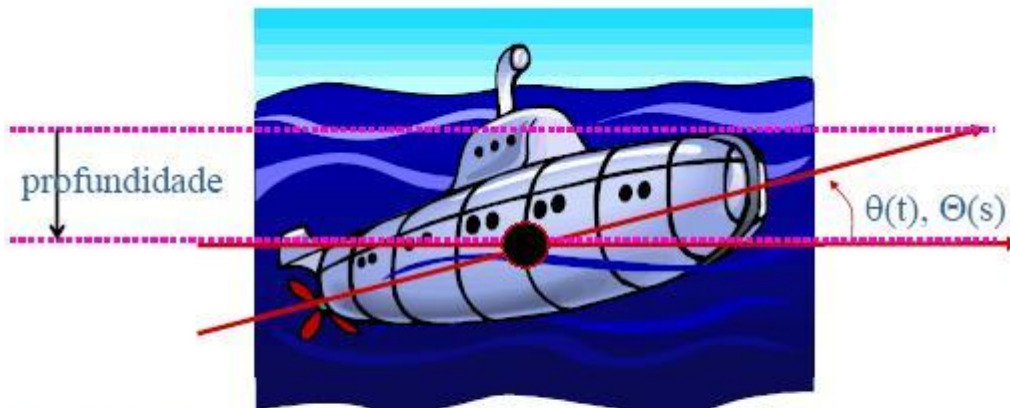


Função de transferência:

$$G_{\text{robo}}(s) = \frac{W_g(s)}{V_i(s)} = \frac{K_g}{(s+10)(s^2 + 4s + 10)}$$

2) O sistema abaixo pode ser reduzido?

**Exemplo:** submersível não tripulado



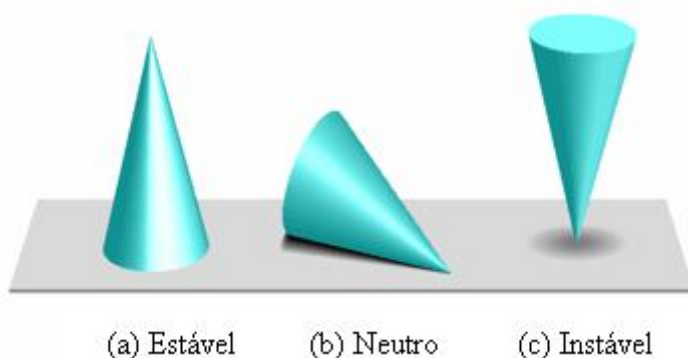
Função de transferência:

$$G_{\text{robo}}(s) = \frac{\Theta(s)}{\Delta(s)} = \frac{0.125(s+0.435)}{(s+1.23)(s^2 + 0.226s + 0.0169)}$$

Faça as curvas da resposta para o degrau unitário para a função dada e para a função reduzida. Considere que a constante do numerador da função reduzida seja a relação entre as variáveis livres de  $s$  dos zeros e dos pólos eliminados.

## ESTABILIDADE

Estabilidade é a especificação mais importante de um sistema. Sistemas instáveis não têm valor prático. Sistemas estáveis devem apresentar uma saída limitada se a entrada correspondente for limitada. A figura abaixo mostra o conceito de estabilidade:



(a) Estável

(b) Neutro

(c) Instável

Posição (a): o cone está estável, pois se o mesmo for sujeito a pequeno deslocamento, ele irá retornar a posição inicial.

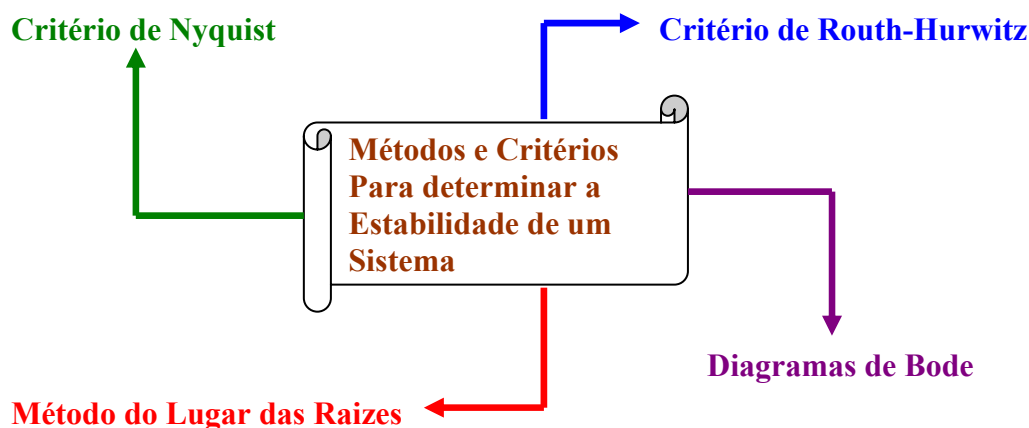
Posição (b): o cone está na posição neutra. Se deixar ele permanece na mesma posição, mas qualquer força faz com que o mesmo saia de sua posição inicial.

Posição (c): o cone está numa posição instável, pois o mesmo cairá para um dos lados assim que for solto.

A estabilidade de um sistema está intimamente relacionada com a localização dos pólos da função de transferência. Um sistema será estável se todos os pólos da função de transferência do sistema se localizarem na parte esquerda do plano  $s$  (ou seja, a parte real dos pólos deve ser negativa).

Geralmente a função de transferência é apresentada da seguinte forma:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_{m-1} s + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n} = \frac{B(s)}{A(s)} \quad \text{com:} \quad \begin{matrix} m \leq n \\ a, b \rightarrow \text{constantes} \end{matrix}$$



## CRITÉRIO DE ESTABILIDADE DE ROUTH-HURWITZ

É um critério simples que possibilita determinar o número de pólos que se situam no semiplano direito do plano  $s$  sem ter que calcular as raízes do polinômio do denominador.

### Procedimentos:

1) Escrever o polinômio de  $s$  do denominador da seguinte maneira:

$$a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n = 0$$

com  $a_n \neq 0$ .

2) Inspeccionar os coeficientes do polinômio:

- o Se os coeficientes forem positivos e diferentes de zero → o sistema pode ser estável.
- o Se qualquer coeficiente for negativo → o sistema é instável
- o Se qualquer coeficiente for zero → no máximo o sistema será criticamente estável.

Exemplos:

- a)  $s^3 + 2s^2 + 3s + 1$  → o sistema pode ser estável
- b)  $s^3 - 2s^2 + 3s + 1$  → o sistema é instável
- c)  $s^3 + 2s^2 + 3s$  → o sistema pode no máximo criticamente estável

Para os sistemas que podem ser estáveis, um segundo teste deve ser realizado:

1) Os coeficientes do polinômio do denominador são escritos no arranjo de Routh-Hurwitz;

$$\begin{array}{c|cccc} s^n & a_0 & a_2 & a_4 & \dots \\ s^{n-1} & a_1 & a_3 & a_5 & \dots \end{array}$$

2) As linhas seguintes devem ser calculadas até aparecerem apenas zeros:

$$\begin{array}{c|cccc} s^n & a_0 & a_2 & a_4 & \dots \\ s^{n-1} & a_1 & a_3 & a_5 & \dots \\ s^{n-2} & b_1 & b_2 & b_3 & \dots \\ s^{n-3} & c_1 & c_2 & c_3 & \dots \\ \vdots & & & & \\ s^2 & e_1 & e_2 & & \\ s^1 & f_1 & & & \\ s^0 & g_1 & & & \end{array}$$

Os coeficientes  $b_1, b_2, b_3 \dots c_1, c_2, c_3 \dots$  são calculados através do determinante  $2 \times 2$  das 2 linhas anteriores e considerando as colunas: 1ª coluna e a coluna  $i+1$ , sendo  $i$  o índice do elemento a ser calculado. Após calcular o determinante o mesmo deve ser multiplicado por -1 e dividido pelo elemento inferior do determinante.

$$b_1 = \frac{a_1 a_2 - a_0 a_3}{a_1} \quad b_1 = - \frac{\begin{vmatrix} a_0 & a_2 \\ a_1 & a_3 \end{vmatrix}}{a_1}$$

$$b_2 = \frac{a_1 a_4 - a_0 a_5}{a_1} \quad b_2 = - \frac{\begin{vmatrix} a_0 & a_4 \\ a_1 & a_5 \end{vmatrix}}{a_1}$$

$$b_3 = \frac{a_1 a_6 - a_0 a_7}{a_1} \quad b_3 = - \frac{\begin{vmatrix} a_0 & a_6 \\ a_1 & a_7 \end{vmatrix}}{a_1} \quad \dots\dots\dots$$

$$c_1 = \frac{b_1 a_3 - a_1 b_2}{b_1} \quad c_1 = - \frac{\begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ b_1 & b_2 \end{vmatrix}}{b_1}$$

$$c_2 = \frac{b_1 a_5 - a_1 b_3}{b_1} \quad c_2 = - \frac{\begin{vmatrix} a_1 & a_5 \\ b_1 & b_3 \end{vmatrix}}{b_1} \quad \dots\dots\dots$$

## CRITÉRIO DE ESTABILIDADE DE ROUTH-HURWITZ

- O número de raízes do denominador  $s$  com partes reais positivas é igual ao número de mudanças no sinal dos coeficientes da primeira coluna da matriz.

Para um sistema ser estável: Todos os coeficientes no denominador da função de transferência devem ser positivos e todos os coeficientes da primeira coluna do critério de Routh-Hurwitz devem ser positivos, também.

Exemplo: Verificar se a função de transferência é estável:

$$G = \frac{100}{s^4 + 2s^3 + 3s^2 + 4s + 5}$$

$s^4$	1	3	5	$\rightarrow$ pode-se dividir a linha inteira para facilitar os cálculos ( $\div 2$ )
$s^3$	$\cancel{2}$	$\cancel{4}$	0	
$s^2$	1	5		
$s^1$	-3			
$s^0$	5			

Houve 2 mudanças de sinais  $\rightarrow$  existem 2 raízes com partes reais positivas  $\rightarrow$  SISTEMA INSTÁVEL

Casos Especiais

**Zeros apenas na primeira coluna:**

Solução 1: Substituir o zero por um valor muito pequeno ( $\varepsilon$ ). Exemplo: verificar se a seguinte função de transferência é estável:

$$G = \frac{10}{s^5 + 2s^4 + 3s^3 + 6s^2 + 5s + 3}$$

$s^5$	1	3	5	+
$s^4$	2	6	3	+
$s^3$	0	7/2	0	+
$s^3$	$\varepsilon$	7/2	0	
$s^2$	$\frac{6\varepsilon - 7}{\varepsilon}$	3		-
$s^1$	$\frac{42\varepsilon - 49 - 6\varepsilon^2}{12\varepsilon - 14}$			+
$s^0$	3			+

Mesma linha anterior, substituindo zero por  $\varepsilon$

Houve 2 mudanças de sinais →  
existem 2 raízes com partes reais  
positivas → SISTEMA INSTÁVEL

Solução 2: Outra possível forma de estudar a estabilidade seria inverter os coeficientes do denominador:

$$s^5 + 2s^4 + 3s^3 + 6s^2 + 5s + 3 = 3s^5 + 5s^4 + 6s^3 + 3s^2 + 2s + 1$$

$s^5$	3	6	2	+
$s^4$	5	3	1	+
$s^3$	4,2	1,4	0	+
$s^2$	1,33	1		+
$s^1$	-1,75	0		-
$s^0$	1			+

Houve 2 mudanças de sinais →  
existem 2 raízes com partes reais  
positivas → SISTEMA INSTÁVEL

As duas formas dá o mesmo resultado, ou seja, duas mudanças de sinais.

Casos Especiais

**Linha de zeros:**

Solução: Utilizar a derivada do polinômio auxiliar formado com os coeficientes da última linha diferente de zero. Exemplo:

$$G = \frac{10}{s^5 + 7s^4 + 6s^3 + 42s^2 + 8s + 56}$$

$s^5$	1	6	8	
$s^4$	<del>7</del>	<del>42</del>	<del>56</del>	→ Dividindo a linha por 7 para simplificar
$s^4$	1	6	8	
$s^3$	0	0	0	← Polinômio auxiliar $P(s) = s^4 + 6s^2 + 8$
$s^3$	<del>4</del>	<del>12</del>		← Derivada $\frac{dP(s)}{ds} = 4s^3 + 12s$
$s^3$	1	3		← Dividindo a linha $s^3$ por 4 para simplificar
$s^2$	3	8		
$s^1$	1/3	0		
$s^0$	8			

Como não houve troca de sinais →  
SISTEMA ESTÁVEL

3) Verificar a estabilidade da função de transferência:

$$FT = \frac{500}{s^8 + s^7 + 12s^6 + 22s^5 + 39s^4 + 59s^3 + 48s^2 + 38s + 20}$$



Com critério de estabilidade de Routh-Hurwitz é possível determinar se um sistema é estável ou não sem precisar calcular as raízes do mesmo. Além disso, é possível determinar o efeito da mudança de um ou dois parâmetros do sistema.

Exemplo: Determinar o intervalo de valores de K para que o sistema seja estável:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K}{s(s^2 + s + 1)(s + 2) + K}$$

A equação característica é:  $s^4 + 3s^3 + 3s^2 + 2s + K = 0$

$s^4$	1	3	K
$s^3$	3	2	0
$s^2$	7/3	K	
$s^1$	$2 - (9/7)K$	0	
$s^0$	K		

Para o sistema ser estável, todos os coeficientes da primeira coluna deve ser positivo, portanto:

$$2 - \frac{9K}{7} > 0$$

$$K < \frac{14}{9}$$

K=14/9 o sistema torna-se oscilatório

4) Dados os seguintes denominadores das funções de transferência, por inspeção, classifique a estabilidade dos sistemas:

- a)  $s^2 + 2s$
- b)  $s^3 - 2s + s + 3$
- c)  $s^4 + 3s^3 + 2s^2 + 4s - 1$
- d)  $s^5 + 2s^4 + 3s^3 + s^2 + 2s + 1$



5) Verifique a estabilidade dos sistemas abaixo utilizando o critério de Routh-Hurwitz:

a)  $s^3 + 4s^2 + 8s + 12 = 0$

Estável

b)  $2s^3 + 4s^2 + 4s + 12 = 0$

Instável

c)  $s^3 + 8s^2 + 14s + 24 = 0$

Estável

5-continuação) Verifique a estabilidade dos sistemas abaixo utilizando o critério de Routh-Hurwitz:

d)  $s^4 + 4s^3 + 8s^2 + 16s + 32 = 0$

Instável

e)  $2s^4 + 8s^3 + 10s^2 + 10s + 32 = 0$

Instável

f)  $s^4 + 8s^3 + 24s^2 + 32s + 16 = 0$

Estável

6) Calcule a faixa de valores de K para que o sistema, cuja equação característica está abaixo, seja estável:

a)  $s^4 + 8s^3 + 24s^2 + 32s + K = 0$

Resp:  $0 < K < 80$

b)  $s^4 + 6s^3 + 11s^2 + 6s + K = 0$

Resp:  $0 < K < 10$

c)  $s^3 + 2s^2 + 4s + K$

Resp:  $0 < K < 8$

## SEÇÃO MATLAB

A função de transferência pode ser construída pelo Matlab utilizando o comando tf:

```
num = [0 1];
den = [1 1];
g=tf(num,den)
```

O Matlab mostra:

Transfer function:  
1  
-----  
s + 1

```
num1 = [0 0 10];
den1 = [1 2 10];
g=tf(num1,den1)
```

O Matlab mostra:

Transfer function:  
10  
-----  
s^2 + 2 s + 10

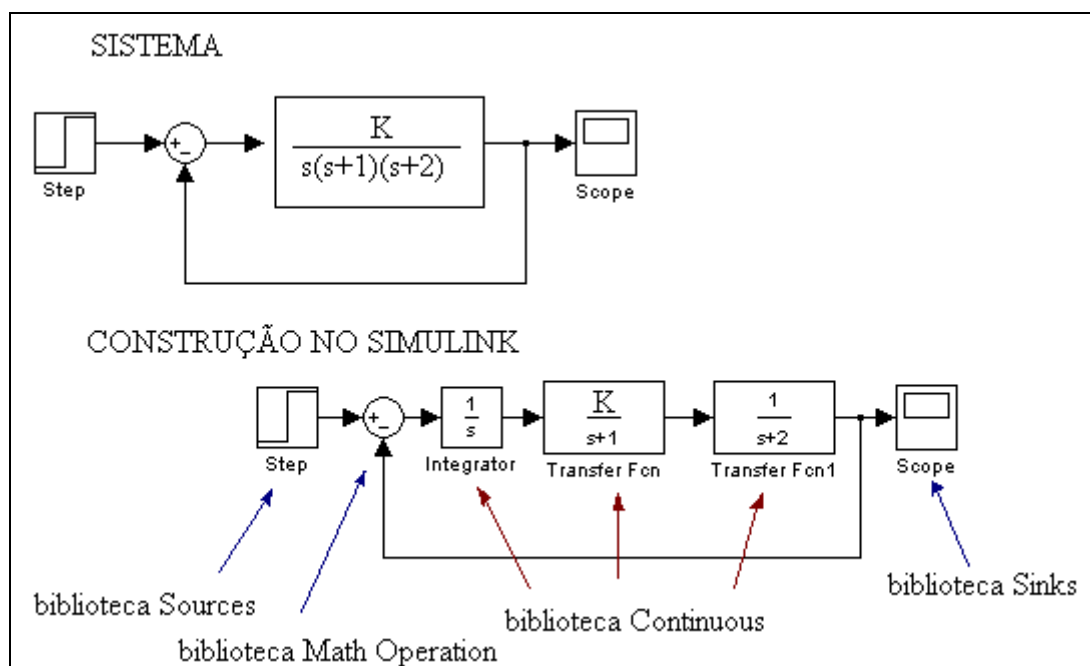
Para conhecer os pólos dessas funções pode-se utilizar o comando roots ou o comando pole:

```
num = [0 1];
den = [1 1];
g=tf(num,den);

p = roots(den)   ou

p = pole(g)
```

Utilizando o SIMULINK construa o sistema abaixo, e faça um estudo de K:

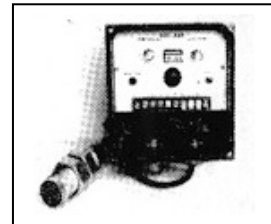


### Sensor de Velocidade

O sensor de velocidade, pode ser composto dependendo da aplicação, por uma unidade eletrônica SVP-68 A (para sobre-velocidades) ou SVP-68 B (para sub-velocidade). Qualquer uma destas unidades eletrônicas, juntamente com o sensor USP-01, formam um conjunto para proteção de funcionamento em sobre ou sub-velocidade, de qualquer equipamento girante, sem qualquer ligação física com o mesmo. Apenas a peça girante irá causar uma variação magnética na unidade sensora.

### Vantagens

- Não possuem ajustes complexos, apenas dois potenciômetros (SVP-68B) e um potenciômetro (SVP-68A), para ajustes inicial.
- Temporizador inicial para partida da máquina (SVP-68B - Proteção em subvelocidade).
- Botão para teste e ajustes do conjunto em operação.
- Não possui faixas intermediárias de trabalho, funcionando perfeitamente em máquinas de 1 a 6.000 rpm para subvelocidade e de 20 a 16.000 rpm para sobrevelocidade.
- É alimentado junto com o equipamento energizando o relé de atuação para evitar que falhas na alimentação mascare a proteção.
- Unidade eletrônica SVP-68 protegida em caixa de alumínio fundido.
- Unidade sensora USP-01, encapsulada em forma de tubo rosqueado com porcas para fixação.



### Aplicações

- Em correias transportadoras para detecção de subvelocidade, evitando patinação e sobrecargas de materiais.
- Em equipamentos giratórios, como britadores, acoplamento de grandes máquinas.
- Para detecção de quebra de acoplamentos, correias de acionamento e etc.
- Em máquinas de elevação de peças.
- Para acionamento de freios de emergência no rompimento de cabos ou falta de campo em motores da C.C., evitando que a máquina atinja uma sobrevelocidade.

### Princípio de Funcionamento

A unidade eletrônica do SVP-68 monitora a rpm de equipamentos giratórios, através da informação dos pulsos da unidade sensora USP-01, que transmite sem nenhum contato físico com o equipamento. Esta informação é processada toda vez que uma peça metálica altera o campo magnético da bobina osciladora da USP-01, processando desta forma vários pulsos os quais são comparados com um ajuste pré-fixado anteriormente como RPM ideal.

Qualquer alteração na rotação deste equipamento, o circuito irá ativar os contatos de um relé de saída, desligando ou informando o ocorrido (sub ou sobrevelocidade).

### Modelos

- USP-01
- SVP-68A - Monitor de sobrevelocidades.
- SVP-68B - Monitor de subvelocidades.
- USP-01 - Unidade sensora.
- SVP-68B - unidade eletrônica em caixas ABS (norma DIN).

### Dados Técnicos

- Tensão de alimentação 110/220 VAC - 60 Hz
- Contatos de saída: SPDT - 10A/250VAC
- Peça rotativa: ferro ou aço carbono.

**Dimensões:** Unidade eletrônica SVP-68 (caixa de alumínio de 150X150X100 mm), unidade sensora USP-01 (tubo de 100 mm de comprimento por 32 mm de diâmetro).