Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores - MEEC

CONTROLO

1º semestre 2011-2012

Introdução ao Matlab e Simulink

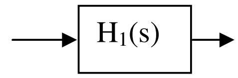
- Ensaios a realizar durante a sessão de Laboratório –

Objectivo: Familiarização com algumas capacidades do *software* MATLAB/Simulink, no contexto dos Sistemas e Controlo.

Eduardo Morgado

- Setembro 2011 -

Parte A - Usando o Matlab



A.1 - Sistema de 1ª ordem: $H_1(s) = \dfrac{a}{s+b}$

Exercício - Concretizar a função de transferência $H_1(s)$ para diferentes valores numéricos de 'a' e 'b'. Simular resposta no tempo *(step)* **e na frequência** *(bode)*, observar e interpretar.

Exemplo: a =1 e b =2

```
>> num=[1]; den=[1 2];
>> sys=tf(num,den)
>> step(sys)
>> bode(sys)
```

para sobrepôr diferentes gráficos:

```
>> hold on , ... , >> hold off
```

Outros comandos úteis:

```
>> tfinal=10; step(sys,tfinal)     >> step(sys,10)
>> sys=tf(a,[1 b])
```

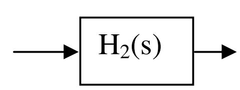
- **Resposta no Tempo ao escalão unitário** ***(step)*****: efeitos da variação dos parâmetros *a* e *b*.** Observe a resposta para diferentes valores de ***a*** e ***b***. Assinale as frases correctas:

b aumenta $\Rightarrow$ rapidez aumenta ☐	constante de tempo = b ☐	pólo = b ☐
b aumenta $\Rightarrow$ rapidez diminui ☐	constante de tempo = 1/b ☐	pólo = - b ☐

- Qual é o **ganho estático de $H_1(s)$?** Ganho estático = ...

- **Resposta na Frequência** ***(bode)*****; largura de banda, relação tempo-frequência.** Para os mesmos valores de '*a*' e '*b*' anteriormente escolhidos, obtenha os diagramas de Bode da resposta em frequência e estime o correspondente valor da largura de banda a -3dB, *LB(-3dB)*.
  `>> bandwidth(sys)` Assinale as frases correctas:

b aumenta $\Rightarrow$ LB(-3dB) aumenta ☐	LB(-3dB) aumenta $\Rightarrow$ rapidez aumenta ☐
b aumenta $\Rightarrow$ LB(-3dB) diminui ☐	LB(-3dB) aumenta $\Rightarrow$ rapidez diminui ☐



A.2 - Sistema de 2ª ordem: $H_2(s) = \dfrac{a}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}$

Exercício - **Observar** o efeito da variação do ***coeficiente de amortecimento*** ξ e do **módulo dos polos** ω_n . (por simplicidade, faça $a = \omega_n^2$.)

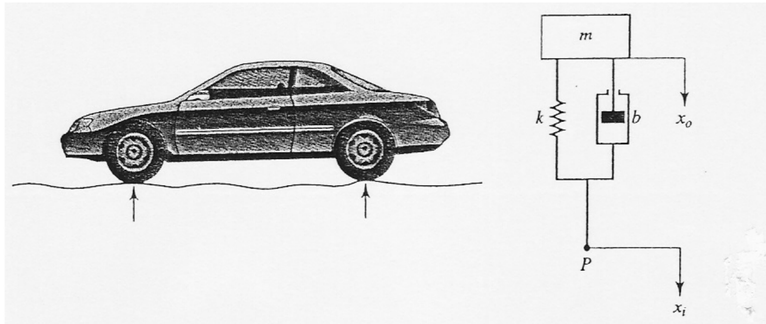
- **resposta no tempo** ao escalão: i) $\omega_n = 1$, $\xi = 2 \setminus 1 \setminus 0{,}707 \setminus 0{,}5 \setminus 0{,}2 \setminus 0$, ii) $\xi = 0{,}2$ $\omega_n = 1 \setminus 2$
- **resposta na frequência**: iii) $\omega_n = 1$ $\xi = 1 \setminus 0{,}707 \setminus 0{,}1 \setminus 0{,}01$

```
>> wn=...   >> csi=...   >> sys=tf(wn.^2,[1 2*csi*wn wn.^2])
```

Cálculo dos pólos: `roots(den)` ou `pole(sys)`

- **Relacione as características das respostas no tempo e na frequência com a localização dos pólos**, em particular a *Sobreelevação* na resposta ao escalão, a rapidez de extinção do regime transitório (*tempo de estabelecimento*), e a *Ressonância* na frequência.

Exercício - **Suspensão de um automóvel** considerando um modelo físico simplificado, um sistema massa-mola-atrito.



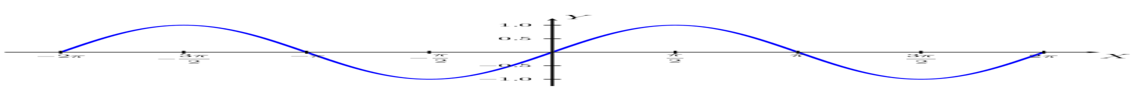
- Determine a equação diferencial que relaciona, em torno do ponto de equilíbrio, os deslocamentos ***$x_i(t)$*** e ***$x_o(t)$***.
- Obtenha e confirme a função de transferência $X_o(s)/X_i(s)$:

$$\frac{X_o(s)}{X_i(s)} = \frac{b\,s + k}{m\,s^2 + b\,s + k}$$

(sistema de 2ª ordem com um zero)

- Seja: massa $m=1000Kg$, elasticidade da mola $k=10^5 Nm^{-1}$, coeficiente de atrito $b=10^4 Nsm^{-1}$.

- Observe a resposta **no tempo** ao escalão. Ver a resposta **na frequência**. Interpretar.
- Considere uma **rugosidade do terreno aproximadamente sinusoidal** com um período espacial de *1 m*. Avalie o efeito na comodidade dos passageiros para os seguintes valores da velocidade do carro: *v = 72 Km/h; 35Km/h; 5Km/h*



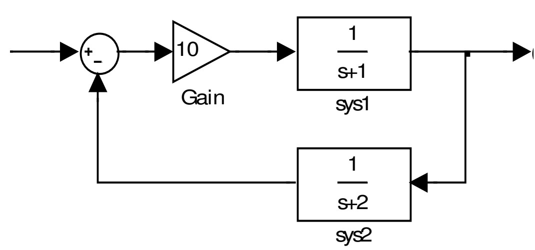
A.3 - **Sistemas com retroacção (*feedback*),** obtenção da função de transferência da malha fechada em Matlab:

```
>> sys = feedback(sys1,sys2)        for negative feedback
>> sys = feedback(sys1,sys2,+1)     for positive feedback
```

Exemplo:

```
>> num=[1];den=[1 1];
>> sys1=tf(num,den);
>> num=[1];den=[1 2];
>> sys2=tf(num,den);
>> Gcf=feedback(10*sys1,sys2)

Transfer function:
  10 s + 20
--------------
s^2 + 3 s + 12
```




```
>> Gs=series(sys1,sys2)      função de transferência de dois blocos em série
```

Parte B – Usando o Simulink

```
>> simulink
```

- na janela do Simulink Library Browser clicar `'file \ new model'` e fazer *drag-and-drop* dos **blocos** necessários
- para resposta ao escalão colocar o bloco 'Step' à entrada
- para **visualizar** as respostas no ***scope**:* colocar o bloco ´Scope' na saída do sistema
- para **visualizar** as respostas no ***workspace***: colocar o bloco '**Out1**' na saída do sistema; `simulation/start , >> plot(tout,yout)`
- para **sobrepôr** vários gráficos no ***workspace***: **>>** `hold on , ... , >> hold off`
- para obter os valores dos **pólos**, ou a **f.t., da malha fechada**, *a partir do diagrama Simulink:* assinalar a entrada e a saída com os blocos '**In1**' e '**Out1**' (*não deixar blocos não-conectados !*); guardar o diagrama-simulink 'diagr' ;

```
>> [a,b,c,d]=linmod('diagr');
>> sys=ss(a,b,c,d);          (dá as matrizes do modelo de estado)
>> s=tf(sys)                 (dá a função de transferência)
>> pole(s) ou pole(sys)
>> zero(s)
>> step(s)               (para obter a resposta ao escalão)
```

- em alguns casos são gerados pólos que se cancelam com zeros e convém simplificar a função de transferência com o comando "minreal":

```
>> s=minreal(tf(sys))
```

B.1 – Sistema de 2ª ordem - Efeitos de polo e zero adicionais. (pólos dominantes)

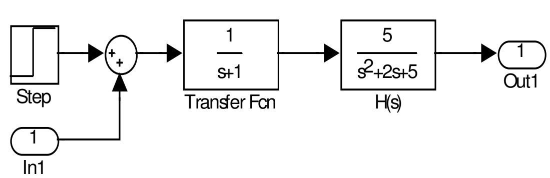
Exercício - Considere as seguintes cascatas de dois sistemas:

$$G_1(s) = \frac{1}{s+1}H(s), \quad G_2(s) = \frac{10}{s+10}H(s), \quad G_3(s) = \frac{10(s+9)}{9(s+10)}H(s), \quad G_4(s) = (s+1)H(s)$$

em que *H(s)* tem a função de transferência:

$$H(s) = \frac{5}{s^2+2s+5}.$$

Por exemplo, a representação em Simulink da cascata $G_1(s)$ para resposta ao escalão é a seguinte:



Clicando em `simulation/start` a resposta pode ser observada com `plot(tout,yout)`.

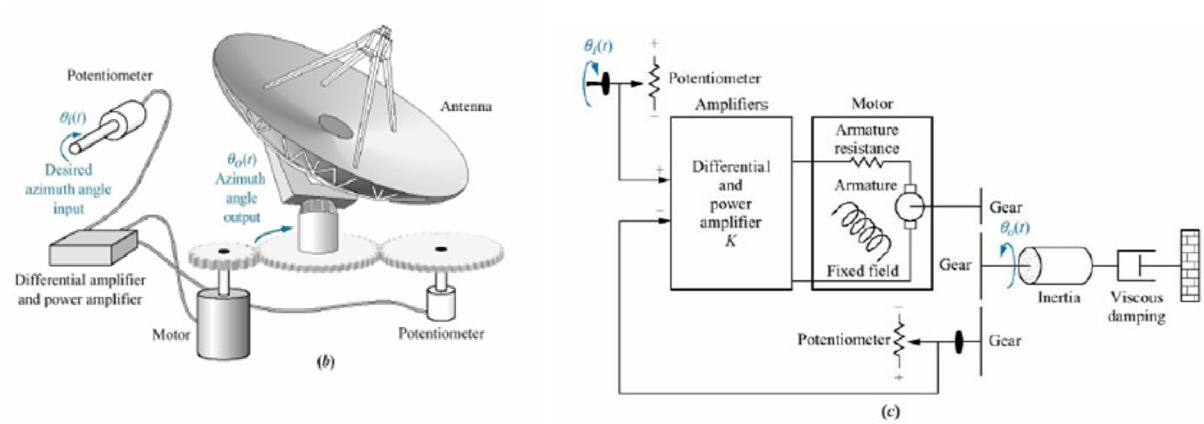
Para guardar o resultado `y1=yout; t1=tout;` Tendo as cinco respostas guardadas, (t1,y1), (t2,y2), (t3,y3), (t4,y4), (t5,y5), elas podem ser observadas em conjunto com o seguinte comando:

```
>> plot(t1,y1, t2,y2, t3,y3, t4,y4, t5,y5); legend('G_1(s)', 'G_2(s)', 'G_3(s)', 'G_4(s)', H_(s)')
```

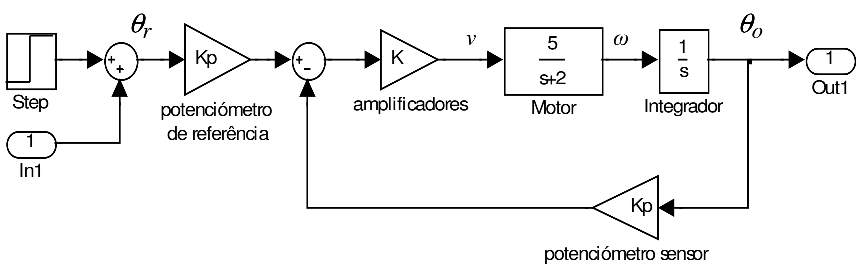
- Qual dos sistemas $G_1(s)$, …, $G_4(s)$, tem uma resposta que mais se aproxima da resposta do subsistema *H(s)* ? .... Porquê ?

B.2 – Sistema em malha fechada - controlo de posição

B.2.1 - Na figura está representado um sistema de controlo da posição angular de uma antena (*Norman S. Nise, Control Systems Engineering, ed. John Wiley & Sons*)



- Implemente o correspondente diagrama Simulink da figura:



'v' : tensão de entrada do motor 'ω': velocidade angular do eixo (antena)
Como se pretende controlar a posição angular θ_o , existe no diagrama um bloco integrador.
Por simplicidade, faça ***Kp=1.***

- Dado que o sistema em malha aberta tem somente pólos reais, será possível que o sistema com retroacção (malha fechada) , $\theta_o(s)/\theta_r(s)$, tenha uma resposta transitória oscilatória?

Exercício - Obtenha, em simulação, a resposta do sistema ao escalão unitário para diferentes valores do ganho *K*, por exemplo *K= 0,1 / 0,2 / 0,3 / 1 / 5*. **Relacione as respostas observadas com o valor dos polos da função de transferência da malha fechada.**

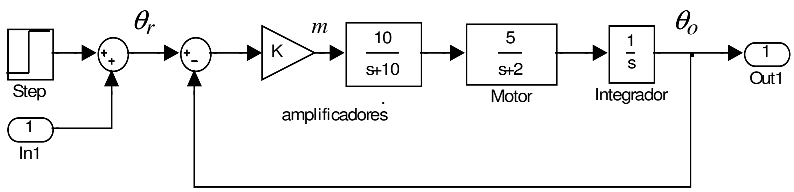
Nota: Para calcular os pólos a partir do diagrama Simulink deverá colocar na entrada do sistema o bloco '**In1**', na saída o bloco '**Out1**' e utilizar os comandos `[a,b,c,d]=linmod('diagr'); s= ss(a,b,c,d); pole(s)`, tal como indicado no início da secção B. Obtem a resposta no tempo com o comando `step(s)`.
Para obter apenas a resposta ao escalão pode utilizar um bloco 'Step' na entrada do sistema e fazer `simulation/start ... >>plot(tout,yout)`.
Para ter acessíveis as duas funcionalidades pode usar o bloco 'Sum' como indicado no diagrama.

K	s_1	s_2
0,1		
0.2		
0.3		
1		
5		

<A retroacção permite deslocar os pólos da malha fechada>

B.2.2 - Considere agora que um amplificador é descrito por uma função de transferência de 1ª ordem.

- Faça as necessárias modificações no diagrama Simulink:

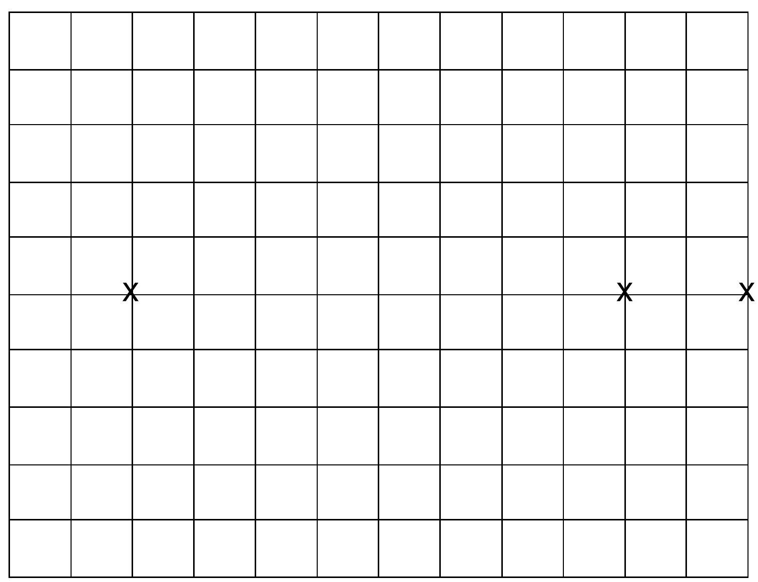


Nesta configuração a *'lei de controlo'* $\boldsymbol{m = f(\theta_r, \theta_o)}$, em que m é a saída do bloco 'K', θ_r é a entrada de referência, e θ_o a variável de saída, pode ser escrita como $m = K(\theta_r - \theta_o)$.

Exercício:

- **Verifique, em simulação, que o sistema fica instável para valores de *K* > *Kcrítico*** ≈ 4.8.
- **Para o valor de *K*= *Kcrítico* determine os polos da malha fechada:** s_1**=.....,** s_2**=.....,** s_3**=......**
- **Determine e represente os pólos da malha fechada para outros valores de *K***

K	s_1	s_2	s_3
4.8			
1			
2			
0.1			

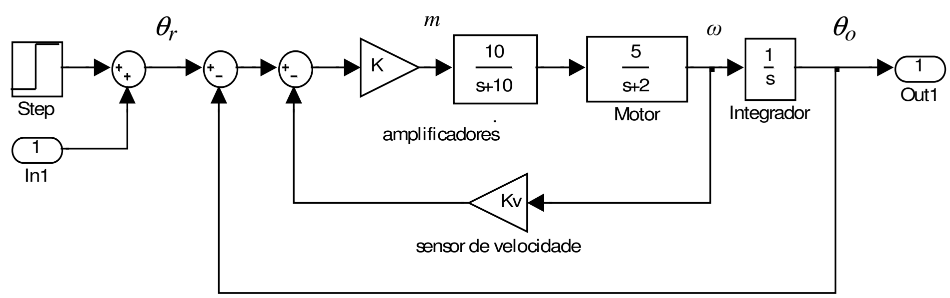


(os pólos da malha aberta estão representados por X)

<O aumento da ordem do sistema promoveu a instabilidade>

B.2.3 – Considere agora que se dispunha de um **sensor de velocidade** angular (taquímetro). Para tentar estabilizar o sistema vai fazer-se retroacção negativa da velocidade com ganho K_v. Introduziu-se assim uma **malha de retroacção adicional**.

- Faça as necessárias modificações no diagrama Simulink:



Exercício:

- **Determine a nova *'lei de controlo'* $m = g\ (\theta_r\ ,\ \theta_o)$**

- Coloque o sistema numa situação equivalente a B.2.2 ($K_v = 0$) e de franca instabilidade ($K = 2\times Kcrítico$).

Verifique, em simulação, que o ajuste do ganho K_v permite estabilizar o sistema.

$K_v = ...$

- **Tente justificar o observado** (determine os pólos do sistema em malha fechada para os valores de K_v ensaiados)

<A retroacção pode estabilizar um sistema

se a Lei de Controlo fôr correctamente escolhida>

.