Aula 9

Ana Gonçalves

Universidade Federal de Minas Gerais

I. Tutorial 9

Temos a levitação magnética descrita pela EDO:

$$mx = mg - K(\frac{I}{x})^2 \tag{1}$$

em que K é uma constante positiva, x é a distância entre a esfera e o eletroímã, I é a corrente no bobina, g é a aceleração da gravidade e m é a massa da esfera.
Linearizando a equação (1), obtemos a função de transferência

$$G(s) = \frac{\Delta X(s)}{\Delta I(s)} = -\frac{a}{s^2 - b} \tag{2}$$

onde

$$a = \frac{2g}{I_{ss}} e b = \frac{2g}{X_{ss}} \tag{3}$$

O diagrama abaixo foi simulado no Matlab. Os parâmetros foram configurados seguindo as instruções. As configurações iniciais dos integradores estão no regime estacionário, ou seja $X_0 = X_{ss}$ e $Xdot0 = 0$. Além disso a amplitude de entrada degrau é st = 1e-6 e simula-se com um "Stop Time"igual a 15.

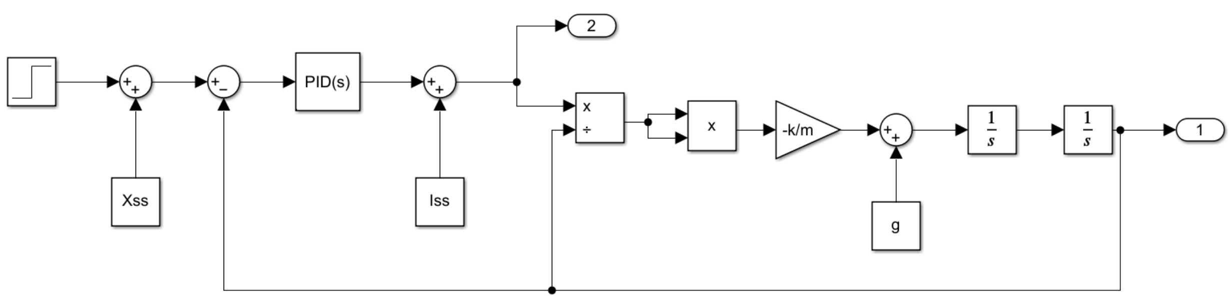

Figura 1: *Simulação*

Além disso, temos um script no Matlab

```
clc; clear; close all;

k = 3.2654e-5;  % levitacao
g = 9.81;   % cte gravitacional
m = 0.068;  % massa esfera
Xss = 7.3e-3;   % posicao repouso
Iss = 1;    % corrente repouso
Kp = -500; % ganho proporcional
Ki = -9e3; % ganho integral
Kd = -20; % ganho derivativo
N = 1000;
st = 1e-6; % amplitude perturbacao entrada
```

```
T = 15;

sim('mod9a',T);
figure(1);
plot(tout, yout(:,1));
grid;
legend('X'); title('mod9a.slx');
xlabel('tempo (s)');

% plot(tout, yout(:,2));
% grid;
% legend('I'); title('mod9a.slx');
% xlabel('tempo (s)');
```

Os valores dos gráficos de I e X são demonstrados abaixo.

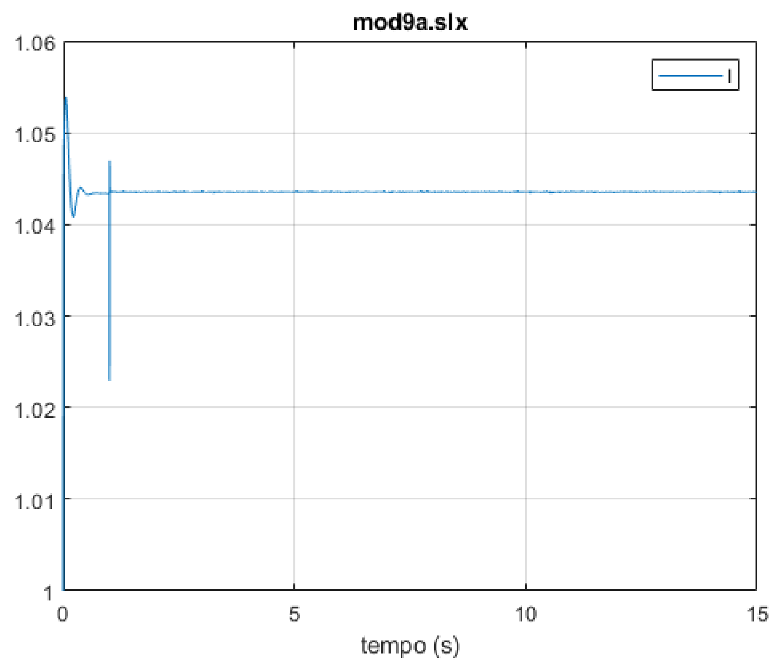

Figura 2: *Gráfico - I*

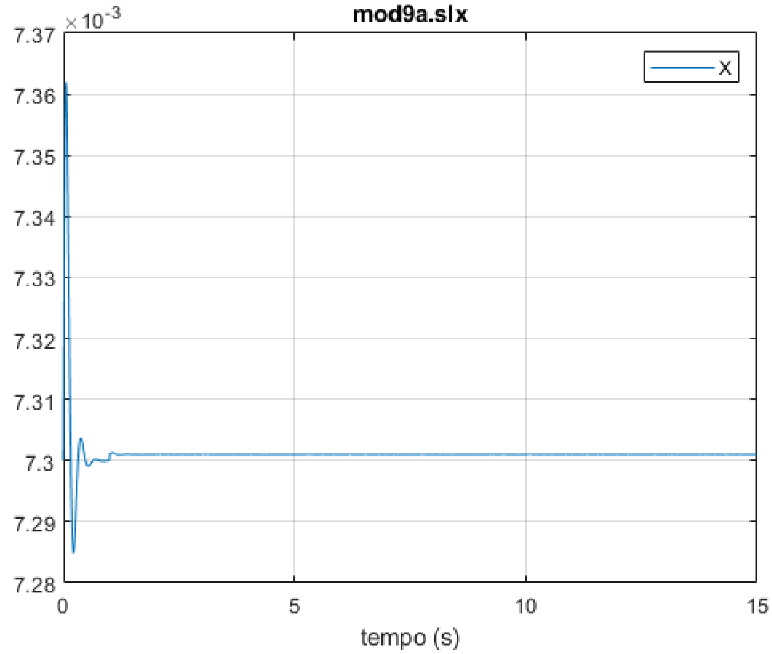

Figura 3: *Gráfico - X*

Observa-se que o sistema é instável, uma vez que ao sofrer uma perturbação, não faz com que o objetado levitado magneticamente retorne à posição almejada, mesmo que mantida uma corrente constante no controlador.
Após isso, substitui-se o sistema não-linear pela aproximação linear dada pela função de transferência.

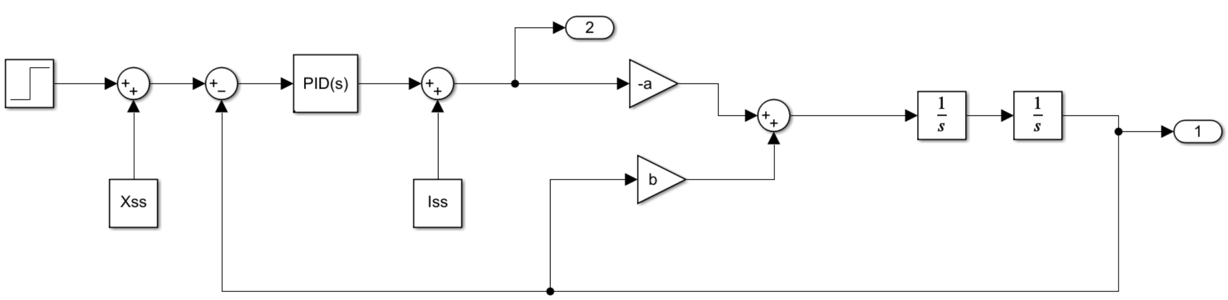

Figura 4: *Simulação*

Usamos também um script do Matlab fornecido pelo professor com algumas modificações para variáveis das simulações.

```
clc; clear; close all;

k = 3.2654e-5;  % levitacao
g = 9.81;    % cte gravitacional
m = 0.068;  % massa esfera
Xss = 7.3e-3;    % posicao repouso
Iss = 1;     % corrente repouso
Kp = -1000; % ganho proporcional
```

```
Ki = -10e3; % ganho integral
Kd = -30; % ganho derivativo
N = 1000;
a = 2*g/Iss;
b = 2*g/Xss;
st=5e-6; % amplitude do degrau de entrada


[t1,x,y1]=sim('mod9a'); % simula sistema nao-linear
[t2,x,y2]=sim('mod9b'); % simula sistema linear
subplot(2,1,1)
plot(t1,y1(:,1)) % grafico da posicao da esfera
hold on
plot(t2,y2(:,1),'r')
axis([0 3 0 1e-2])
title('Posicao da esfera')
subplot(2,1,2)
plot(t1,y1(:,2)) % grafico da corrente de entrada
hold on
plot(t2,y2(:,2),'r')
axis([0 3 0 1.5])
title('Corrente de entrada')

y1=y1(:,1); % vamos comparar apenas a posicao das esferas
y2=y2(:,1);
y2=interp1(t2,y2,t1); % interpolacao

y1=y1(end/6:end);
y2=y2(end/6:end);
EQM=sqrt(norm(y1-y2,2)/length(y1)) % erro quadratico medio
EQM/mean(abs(y1)) % percentual do erro quadratico
```

Os gráficos fornecidos são disponibilizados abaixo.

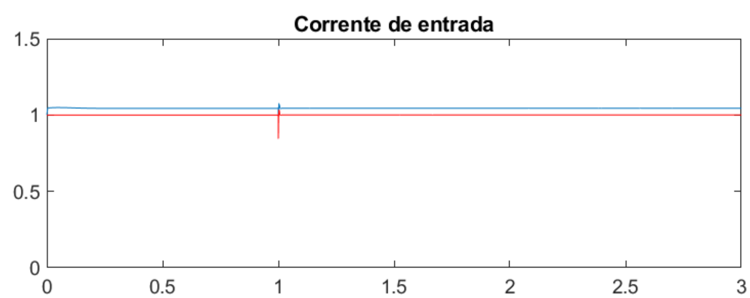

Figura 5: *Gráfico - Corrente de entrada*

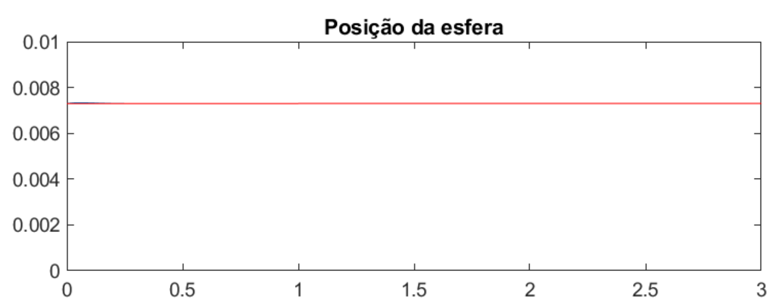

Figura 6: *Gráfico - Posição da esfera*

Além disso, na Command Window aparece alguns resultados.

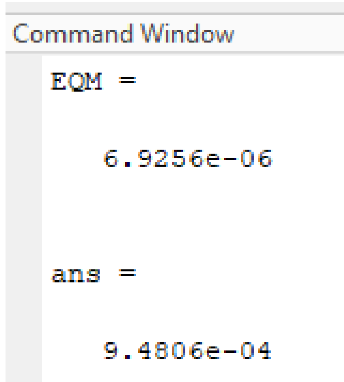

Figura 7: *Command Window*

Variando-se a amplitude do degrau de entrada, obtém-se que o erro entre 15% e 20% é obtido quando ela assume valores entre, aproximadamente, 1e-4 e 5.9e-5