

Controle de velocidade angular em motor DC

Alunos: Daniel Botelho, Mateus Teixeira, Samuel Alvarenga, Whilker Silva

Disciplina: GAT124 - Controle Digitais

Identificação do sistema

Importa os dados coletados do motor

```
close all; clear; clc;

% Importa os dados de um arquivo Excel
file = readtable('dados.xlsx');

idf.t = file.tempo;           % Instante de amostragem
idf.u = file.entrada/255;     % Entrada - duty cycle (0-1);
idf.y = file.saida/340*60/0.01; % Saída - RPM:

% Define o tempo de amostragem como 10 ms (0,01 segundos)
Ts = 0.01;
```

Filtragem dos dados

```
fy = 10; % Janela do filtro de saída
fu = 5;  % Janela do filtro de entrada

idf.uf = movmean(idf.u,fu);
idf.yf = movmean(idf.y,fy);
```

Offset dos dados

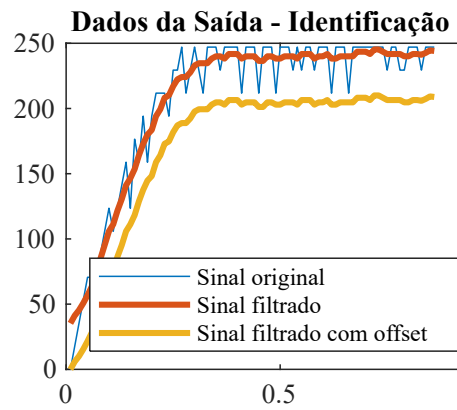
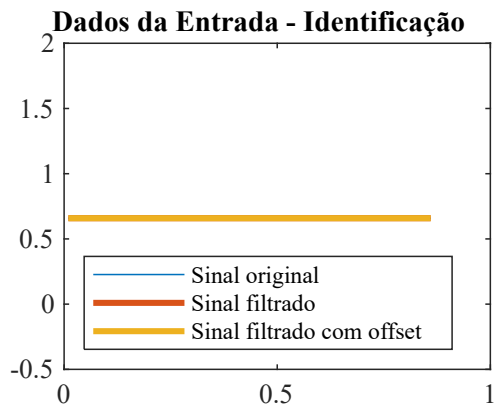
```
idf_uo = 0;           % Offset da entrada
idf_yo = idf.yf(1);   % Offset da saída

% Valores calculados a partir do offset
idf.uo = idf.uf - idf_uo;
idf.yo = idf.yf - idf_yo;
```

Plot dos dados

```
subplot(2,2,1);
plot(idf.t,idf.u);hold on;
plot(idf.t,idf.uf, 'LineWidth',2);
plot(idf.t,idf.uo, 'LineWidth',2);
legend('Sinal original', 'Sinal filtrado', 'Sinal filtrado com offset');
title('Dados da Entrada - Identificação');

subplot(2,2,2);
plot(idf.t,idf.y);hold on;
plot(idf.t,idf.yf, 'LineWidth',2);
plot(idf.t,idf.yo, 'LineWidth',2);
legend('Sinal original', 'Sinal filtrado', 'Sinal filtrado com offset');
title('Dados da Saída - Identificação');
```



Parâmetros do modelo

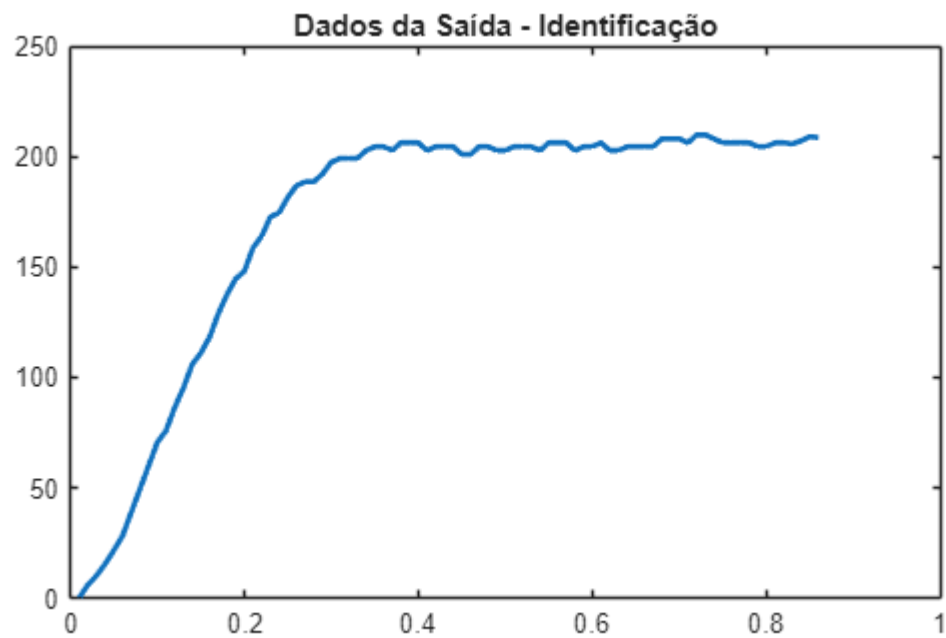
```
tamanho = length(idf.yo);
amostras = 40;
soma = 0;

for k=tamanho-amostras+1:tamanho
    soma = soma + idf.yo(k);
end

vMax = soma/amostras;

idx = find(idf.yo <= vMax * 0.632, 1, 'last');
tau = idf.t(idx);

figure;
plot(idf.t,idf.yo, 'LineWidth',2);
title('Dados da Saída - Identificação');
```



```
k = vMax/idf.u(1);

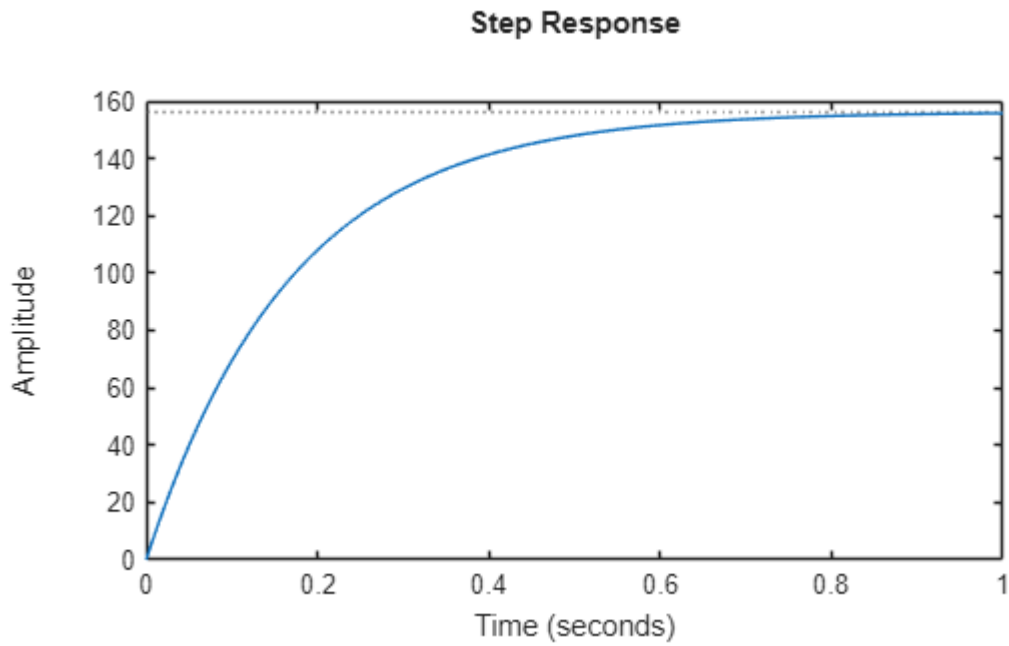
s = tf('s');
Gs = k/(tau*s + 1) % RPM / Duty Cicle
```

Gs =

$$\frac{312.5}{0.17 s + 1}$$

Continuous-time transfer function.
Model Properties

```
figure;
step(Gs*0.5);
```



Discretização

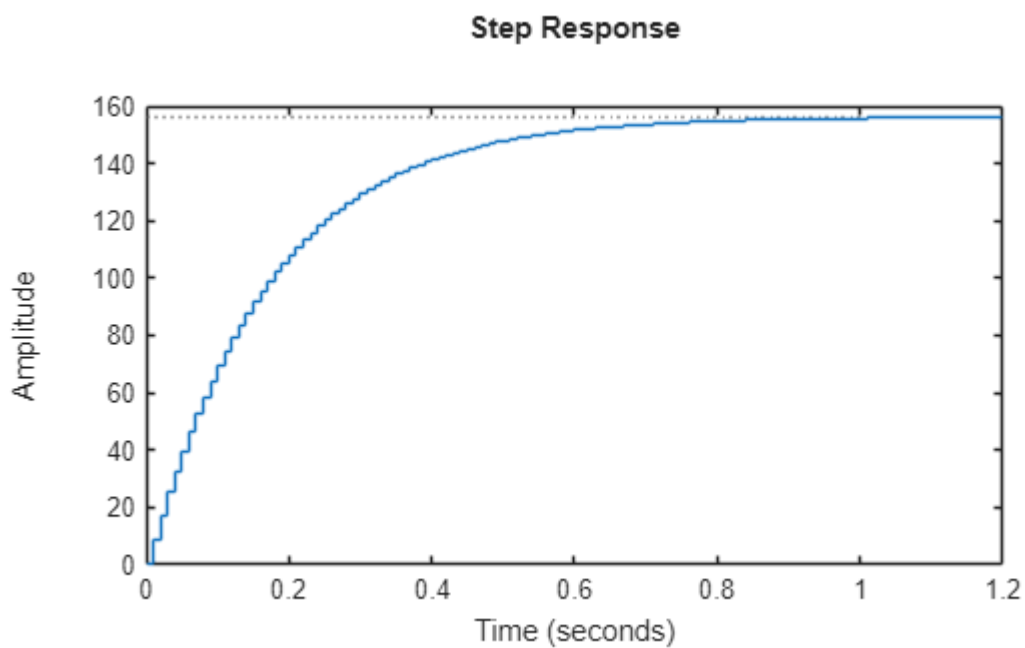
```
Gz = c2d(Gs,Ts)
```

Gz =

$$\frac{17.85}{z - 0.9429}$$

Sample time: 0.01 seconds
Discrete-time transfer function.
Model Properties

```
figure;  
step(Gz*0.5);
```



Otimização

```

Kp_ini = 0.01;Ki_ini = 0.01;Kd_ini = 0.01;
x0 = [Kp_ini Ki_ini Kd_ini];

% Limites dos Parâmetros

Kp_max = 100; Ki_max = 100; Kd_max = 100;
Kp_min = 0; Ki_min = 0; Kd_min = 0;

v_max = [Kp_max Ki_max Kd_max];
v_min = [Kp_min Ki_min Kd_min];

% Especificação desejada

Tsettle = 0.3;

% Tempo amostragem e simulação

Tsim = 10;
tempo = 0:Ts:Tsim-Ts;
% Degrau unitário

u = ones(length(tempo),1);

% Saída de referência

s = tf('s');
tau = Tsettle/4;

Gref = 1/(tau*s + 1);
yref = lsim(Gref,u,tempo);

% Definição do problema de otimização

options = optimset('Display','iter','MaxFunEvals',500);
[p,fval] = fmincon(@controle.funcao_custo, x0,[],[],[],[], v_min,v_max,
[],options,yref,Ts,Tsim,Gz);

```

Iter	F-count	f(x)	Feasibility	First-order optimality	Norm of step
0	4	2.677601e+00	0.000e+00	7.235e+01	
1	8	1.843907e+00	0.000e+00	3.468e+00	1.050e-01
2	12	1.776170e+00	0.000e+00	1.301e+01	2.952e-02
3	16	1.555057e+00	0.000e+00	5.609e+01	2.084e-02
4	21	1.331713e+00	0.000e+00	1.238e+02	2.504e-02
5	26	1.133408e+00	0.000e+00	9.578e+01	9.861e-03
6	31	1.109179e+00	0.000e+00	8.954e+00	4.599e-04
7	36	9.502573e-01	0.000e+00	1.208e+02	2.945e-02
8	41	7.602546e-01	0.000e+00	2.546e+02	3.782e-02
9	47	7.104860e-01	0.000e+00	1.852e+02	2.053e-02
10	52	6.707370e-01	0.000e+00	1.200e+03	3.081e-02
11	56	5.233239e-01	0.000e+00	4.286e+02	2.552e-02
12	61	4.556492e-01	0.000e+00	6.197e+01	2.434e-03
13	65	1.054260e-01	0.000e+00	1.079e+03	9.930e-03
14	76	6.317030e-02	0.000e+00	2.824e+01	6.528e-03
15	81	6.257002e-02	0.000e+00	2.821e+01	3.004e-05

16	92	1.389027e-02	0.000e+00	6.095e+02	2.783e-03
17	96	2.042555e-02	0.000e+00	1.008e+03	1.141e-03
18	102	7.046350e-02	0.000e+00	2.240e+03	6.577e-04
19	107	4.298481e-02	0.000e+00	3.087e+02	6.365e-04
20	111	3.396445e-02	0.000e+00	8.285e+01	4.387e-04
21	115	2.917386e-02	0.000e+00	8.151e+02	7.351e-04
22	119	2.087889e-02	0.000e+00	2.405e+02	5.593e-05
23	123	2.095526e-02	0.000e+00	2.620e+01	1.084e-04
24	127	4.982963e-03	0.000e+00	2.772e+02	2.286e-04
25	131	4.311517e-03	0.000e+00	1.780e+02	1.123e-04
26	136	4.255049e-03	0.000e+00	1.196e+02	4.169e-05
27	140	4.220164e-03	0.000e+00	1.058e+02	3.552e-05
28	144	4.106235e-03	0.000e+00	5.862e+01	2.107e-05
29	148	4.011510e-03	0.000e+00	1.027e+00	1.110e-06
30	152	3.157020e-04	0.000e+00	2.060e+03	4.907e-05

Iter	F-count	f(x)	Feasibility	First-order optimality	Norm of step
31	157	2.932671e-04	0.000e+00	1.677e+03	4.054e-06
32	162	2.504974e-04	0.000e+00	8.244e+01	8.875e-06
33	168	1.616853e-04	0.000e+00	1.434e+02	6.791e-06
34	172	6.449134e-05	0.000e+00	2.530e+02	3.320e-06
35	177	2.918625e-05	0.000e+00	9.474e+02	1.586e-06
36	189	1.898465e-05	0.000e+00	5.680e+01	4.068e-07
37	193	1.029279e-05	0.000e+00	5.271e+01	1.822e-07
38	198	8.847403e-06	0.000e+00	5.323e+01	1.789e-07
39	204	8.551587e-06	0.000e+00	5.018e+01	1.614e-08
40	209	7.994688e-06	0.000e+00	4.106e+01	3.807e-08

Local minimum possible. Constraints satisfied.

fmincon stopped because the size of the current step is less than the value of the step size tolerance and constraints are satisfied to within the value of the constraint tolerance.

<stopping criteria details>

Controlador Digital PID

```
Kp=p(1);Ki=p(2);Kd=p(3);N=0;
Gc = pid(Kp,Ki,Kd,N,Ts,'IFormula','BackwardEuler');
```

```
%% Modelos discreto em malha fechada
```

```
Gmf1 = feedback(Gz,1);
Gmf2 = feedback(Gz*Gc,1);
```

```
%step(Gmf1,1);
step(Gmf2,1);
stepinfo(Gmf2)
```

```
ans = struct with fields:
    RiseTime: 0.1700
    TransientTime: 0.3000
    SettlingTime: 0.3000
    SettlingMin: 0.9093
    SettlingMax: 1.0000
    Overshoot: 0
    Undershoot: 0
    Peak: 1.0000
    PeakTime: 0.8900
```

Controlador - Equação de Diferenças

```

time = 2/Ts; % Tempo de simulação
r = ones(1,time)*150; % Degrau unitário

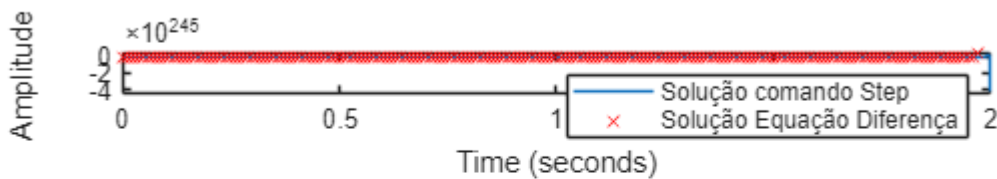
y1 = step(Gmf1,1);
y2 = step(Gmf2,1);

for k = 1:time
    switch k
        case 1
            y1(k) = 0; % Saída da planta em Malha Fechada sem Controlador
            y2(k) = 0; % Saída da planta em Malha Fechada com Controlador
            e(k) = r(k)-y2(k); % Erro
            u(k) = (Kp + Ki * Ts + Kd/Ts)*e(k); % Sinal de saída do controlador
        case 2
            y1(k) = 17.85 * r(k-1) - 16.91 * y1(k-1);
            y2(k) = 0.9429*y2(k-1) + 17.85*u(k-1);
            e(k) = r(k)-y2(k);
            u(k) = u(k-1) + Kp*e(k) - Kp*e(k-1) + Ki*Ts*e(k) + (Kd/Ts) * (e(k) -
2*e(k-1));
        otherwise
            y1(k) = 17.85 * r(k-1) - 16.91 * y1(k-1);
            y2(k) = 0.9429*y2(k-1) + 17.85*u(k-1);
            e(k) = r(k)-y2(k);
            u(k) = u(k-1) + Kp*e(k) - Kp*e(k-1) + Ki*Ts*e(k) + (Kd/Ts) * (e(k) -
2*e(k-1) + e(k-2));
    end
end

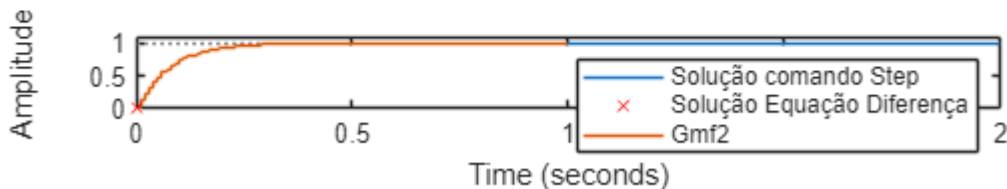
%% Plot dos gráficos
subplot(2,1,1);

```

Sistema Malha Fechada sem controlador



Sistema Malha Fechada com controlador



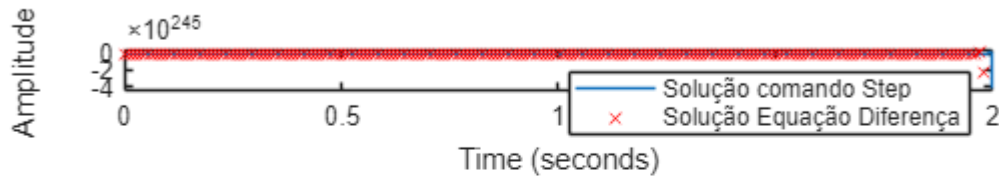
```

step(Gmf1,2); hold on; stairs([0:(time-1)]*Ts,y1,'rx');
title("Sistema Malha Fechada sem controlador");
legend('Solução comando Step', 'Solução Equação Diferença');

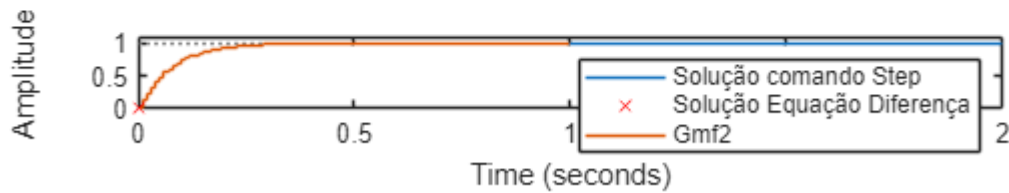
```

```
subplot(2,1,2);
```

Sistema Malha Fechada sem controlador

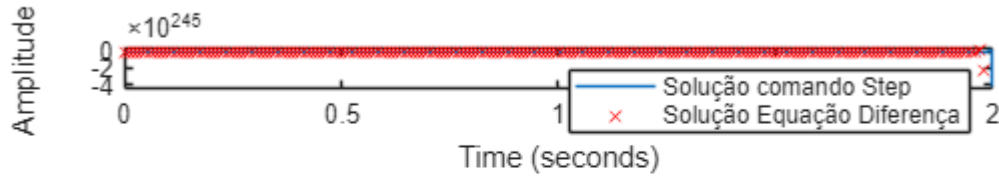


Sistema Malha Fechada com controlador



```
step(Gmf2,2); hold on; stairs([0:(time-1)]*Ts,y2,'rx');
title("Sistema Malha Fechada com controlador");
legend('Solução comando Step', 'Solução Equação Diferença');
```

Sistema Malha Fechada sem controlador



Sistema Malha Fechada com controlador

