



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

---

## ES828 - Laboratório de Controle de Sistemas

### Relatório - Experimento 7

Identificação de um motor de corrente contínua

---

*Nome:*

Daniel Dello Russo Oliveira  
Marcelli Tiemi Kian

*RA*

101918  
117892

25 de maio de 2015

## 1 Objetivos

O objetivo desse experimento é realizar a identificação de parâmetros de um motor de corrente contínua com excitação independente de ímãs permanentes conforme modelo proposto no roteiro[1].

## 2 Modelo matemático

O modelo matemático do problema mostrado no esquema da figura 1 é dividido em duas partes: elétrica e mecânica. A primeira é mostrada na equação 1, com fonte de tensão  $V$ . A segunda leva em consideração o torque gerado pelo motor como  $T = K_T i$ , e faz  $c = \frac{r_c}{r_m}$ . Aplicando a transformada de Laplace e relacionando a velocidade angular da carga com a tensão na fonte, chega-se a  $G(s)$  na equação 3, onde  $K = cK_T$  e  $J = J_c + c^2 J_m$ .

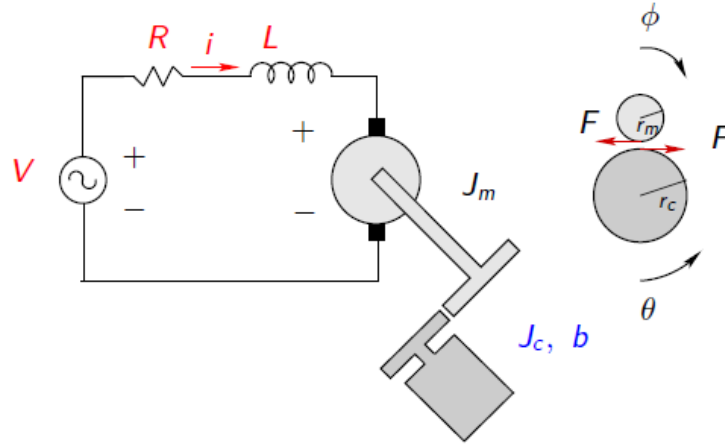


Figura 1: Esquema do motor (elétrica e mecânica)

$$L \frac{di}{dt} + (R + R_s)i = V - K_T \dot{\Phi} \quad (1)$$

$$(J_c + c^2 J_m) \ddot{\theta} + b \dot{\theta} = c K_T i \quad (2)$$

$$G(s) = \frac{\frac{K}{JL}}{s^2 + \left(\frac{R+R_s}{L} + \frac{b}{J}\right)s + \frac{(R+R_s)b + K^2}{JL}} \quad (3)$$

### 3 Ensaio com motor parado

Conforme o roteiro[1], ao ligar o motor com o eixo travado não geramos força contra-eletromotriz, e com isso conseguimos medir a corrente de armadura  $i$  com a adição de um resistor  $R_s$  como mostrado na figura 2. Isso nos possibilita o cálculo dos parâmetros  $R[\Omega]$  e  $L[H]$  pela equação 4.

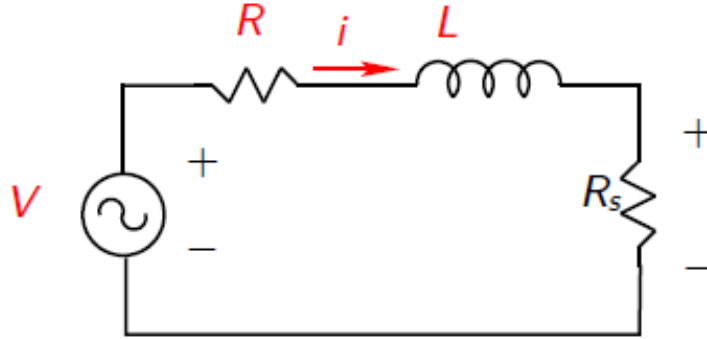


Figura 2: Circuito para motor com eixo travado

$$i(t) = \frac{V_0}{(R + R_s)}(1 - \exp^{-((R + R_s)/L)t}) \quad (4)$$

Travando o disco para impossibilitar o motor de girar seu rotor, fizemos o acionamento do módulo de potência, aguardamos a estabilização do sinal de corrente, e desligamento do sistema, obtendo a curva de corrente mostrada na figura 3.

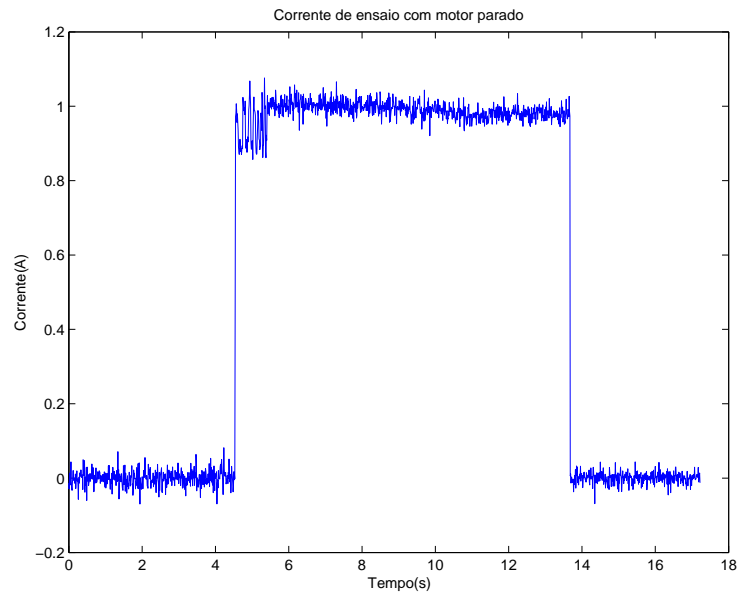


Figura 3: Corrente de ensaio com motor parado

Filtramos o sinal e destacamos alguns pontos mais relevantes para facilitar a análise, como pode ser visto na figura 4.

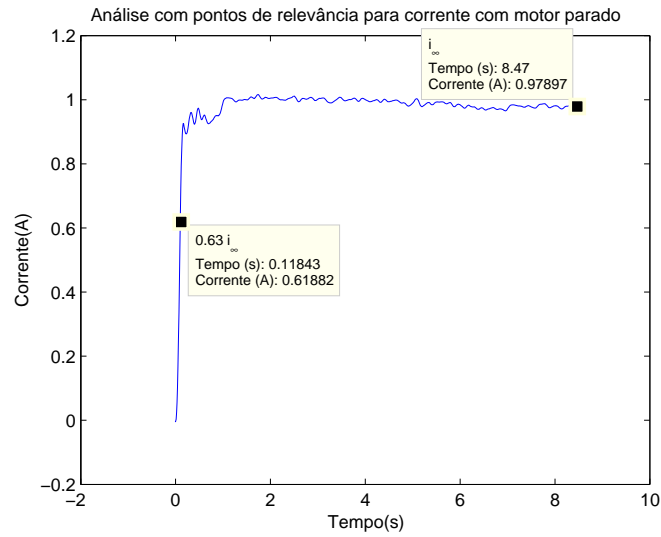


Figura 4: Pontos de relevância para corrente filtrada com motor parado

Para o cálculo do parâmetro  $R$ , utilizamos o valor indicado no roteiro[1]  $R_s \cong 1\Omega$ , a tensão da fonte  $V = 12V$  e a partir do momento em que a corrente se estabiliza em  $i_\infty = 0.9790A$ , calculamos seu valor conforme 5.

$$R = \frac{V - R_s i_\infty}{i_\infty} = 11.2578\Omega \quad (5)$$

A indutância  $L$ , por sua vez, é calculada utilizando a constante de tempo da parte elétrica onde a corrente passa a ser 63% do valor de regime,  $i(\tau_e) = (1 - \exp^{-1})i_\infty$  e portanto  $\tau_e = 0.1184s$ , de acordo com a equação 6.

$$L = \tau_e(R + R_s) = 1.4516H \quad (6)$$

## 4 Ensaio com motor em movimento

Agora sem travar o disco, acionamos o módulo de potência e aguardamos a estabilização do sinal de corrente e velocidade, e desligamento do sistema, obtendo a curva de corrente mostrada na figura 5 e a curva de velocidade angular mostrada na figura 6.

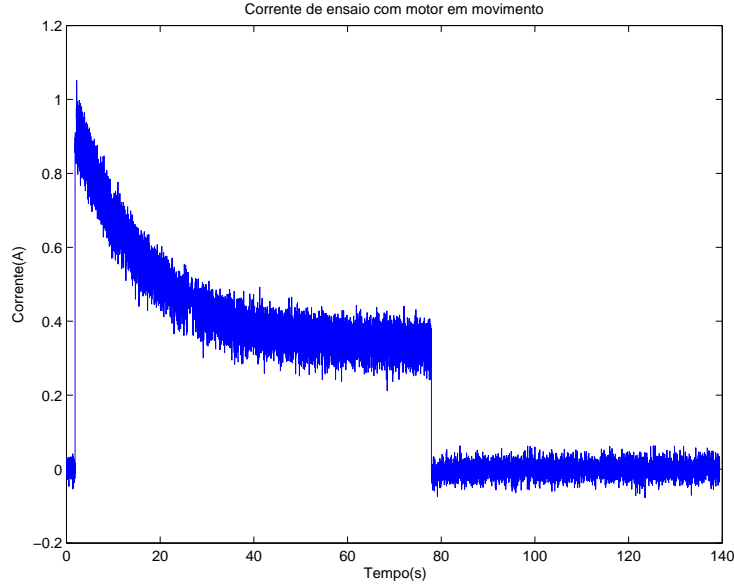


Figura 5: Corrente durante ensaio com motor em movimento

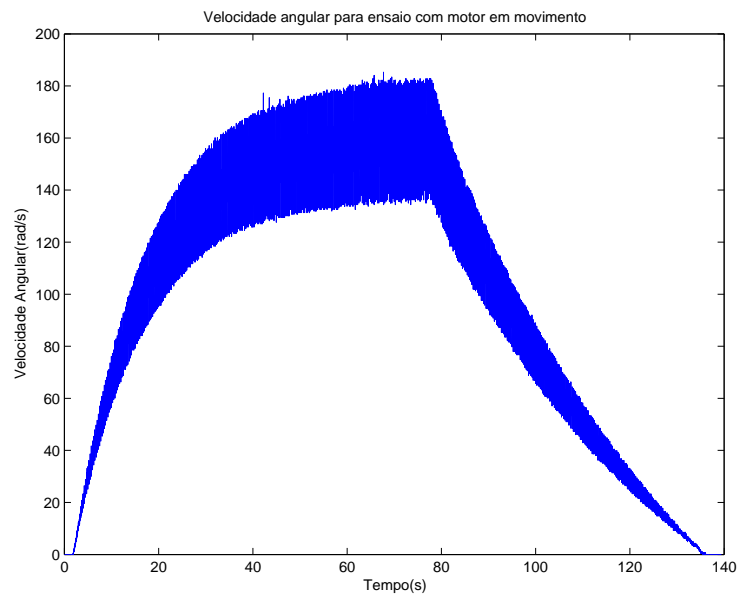


Figura 6: Velocidade angular durante ensaio com motor em movimento

Filtramos o sinal e destacamos alguns pontos mais relevantes para facilitar a análise, como pode ser visto nas figuras 7 e 8.

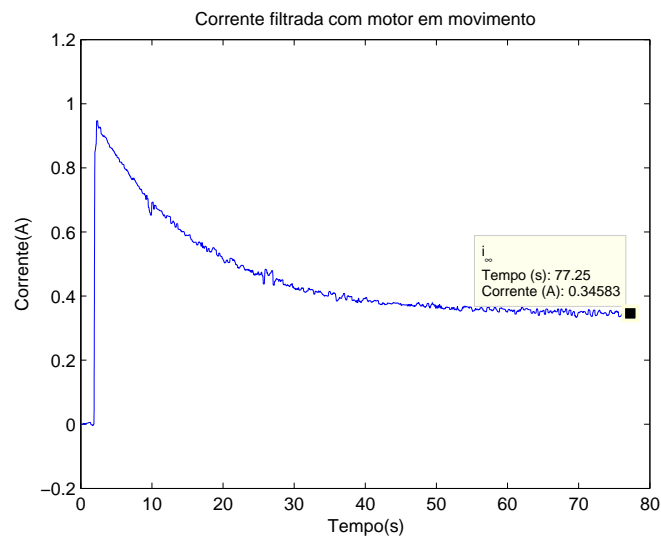


Figura 7: Pontos de relevância para corrente filtrada com motor em movimento

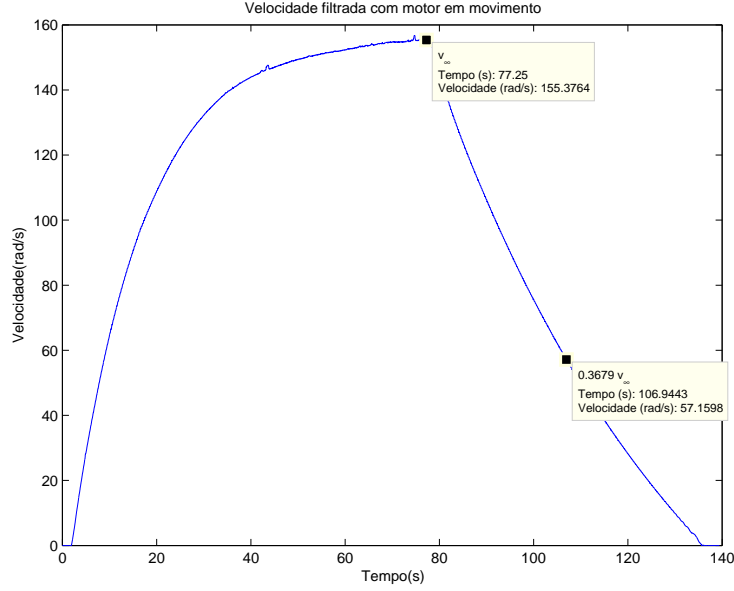


Figura 8: Pontos de relevância para velocidade angular filtrada com motor em movimento

Esperando a velocidade do motor se estabilizar, chegamos em  $\nu_{\infty} = 155.3764 \text{ rad/s}$ . Considerando que a esse ponto o indutor se comporte como curto circuito, e que  $\phi = c\theta$ , encontramos a constante de torque do motor conforme a equação 7

$$K = \frac{V - (R + R_s)i_{\infty}}{\nu_{\infty}} = 0.0499 \text{ V.s} \quad (7)$$

Para encontrar o coeficiente de atrito viscoso  $b$ , utilizamos a equação 2 aplicando a transformada de Laplace e utilizando o teorema do valor final, chegando à equação 8 para o cálculo.

$$b = \frac{Ki_{\infty}}{\nu_{\infty}} = 0.00011117 \text{ N.m.s} \quad (8)$$

Com a velocidade estabilizada, desligando a alimentação do motor, conseguimos calcular a constante de tempo  $\tau_m = 29.6943 \text{ s}$  em que  $\nu(\tau_m) = 0.3679\nu_{\infty}$ . Depois, encontramos  $J$  de acordo com a equação 9.

$$J = \tau_m b = 0.0033 \text{ kg.m}^2 \quad (9)$$

## 5 Resultados finais

Com todos os parâmetros necessários calculados, substituindo os valores em 3, obtemos a planta dada pela equação 10.

$$G(s) = \frac{10.42}{s^2 + 8.478s + 0.805} \quad (10)$$

Essa planta pode ser representada na forma de estados pela equação 11, substituindo os parâmetros pelos valores calculados temos a equação 12:

$$\begin{Bmatrix} \dot{i} \\ \dot{\nu} \\ \dot{\Theta} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R+R_s}{L} & -\frac{K}{L} & 0 \\ \frac{K}{b} & -\frac{b}{J} & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} i \\ \nu \\ \Theta \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} & 0 & 0 \end{bmatrix} \{V\} \quad (11)$$

$$\begin{Bmatrix} \dot{i} \\ \dot{\nu} \\ \dot{\Theta} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} -8.4441 & -0.0344 & 0 \\ 15.1303 & -0.0337 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} i \\ \nu \\ \Theta \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.6889 & 0 & 0 \end{bmatrix} \{V\} \quad (12)$$

Com o auxílio do matlab, simulamos esse sistema e comparamos os resultados dessa simulação com os dados adquiridos durante o ensaio com o motor em movimento. Essa comparação pode ser vista nas figuras 9 e 10.



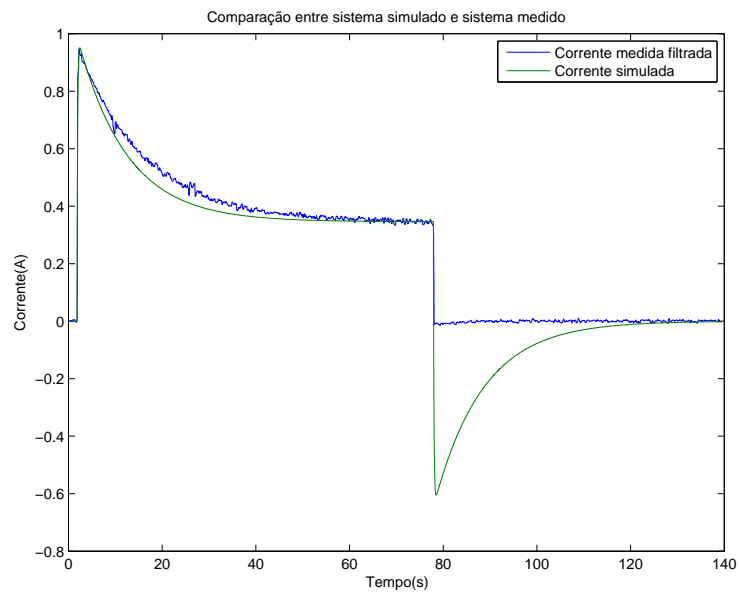


Figura 9: Comparação entre corrente medida e simulada

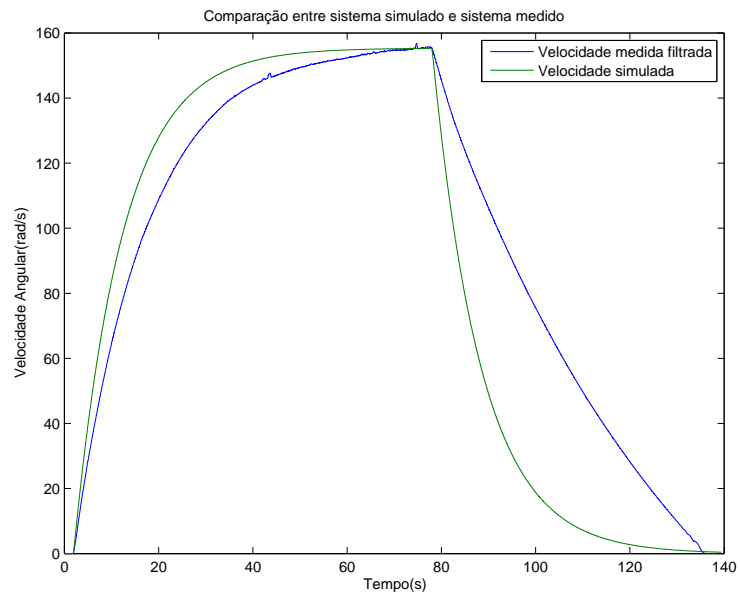


Figura 10: Comparação entre velocidade angular medida e simulada

A primeira coisa que notamos é que a corrente simulada apresenta um com-

portamento bastante diferente na queda, assumindo valores negativos. Acreditamos que o motivo dessa diferença seja a ponte H ligada no sistema, que deve se utilizar de diodos para proteger suas chaves de correntes e tensões reversas geradas pelo motor. Isso afeta significativamente a curva de decida da velocidade, tornando questionável a precisão do resultado obtido para  $\tau_m$  e consequentemente do momento de inércia  $J$ .

Utilizamos então o Simulink para verificar o efeito dessa limitação de corrente no sistema. Para isso, impomos a mesma limitação no sistema simulado e obtivemos as curvas mostradas nas figuras 11 e 12.

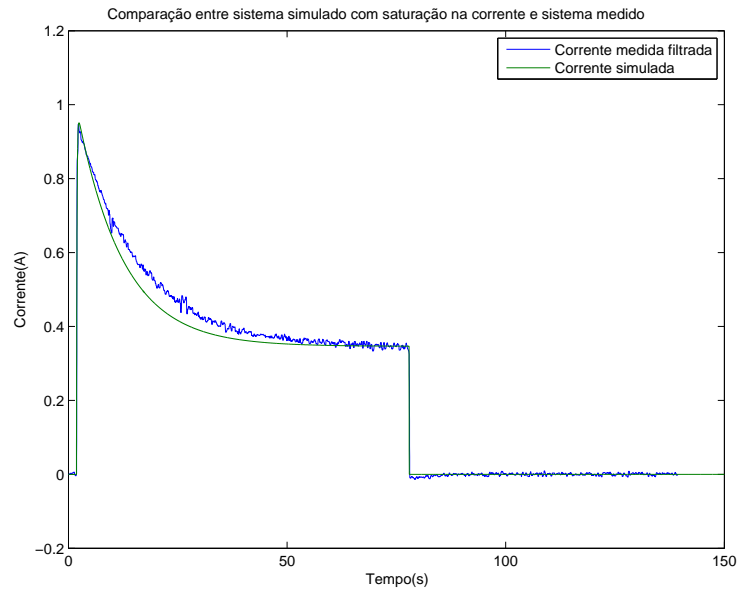


Figura 11: Comparação entre corrente medida e simulada

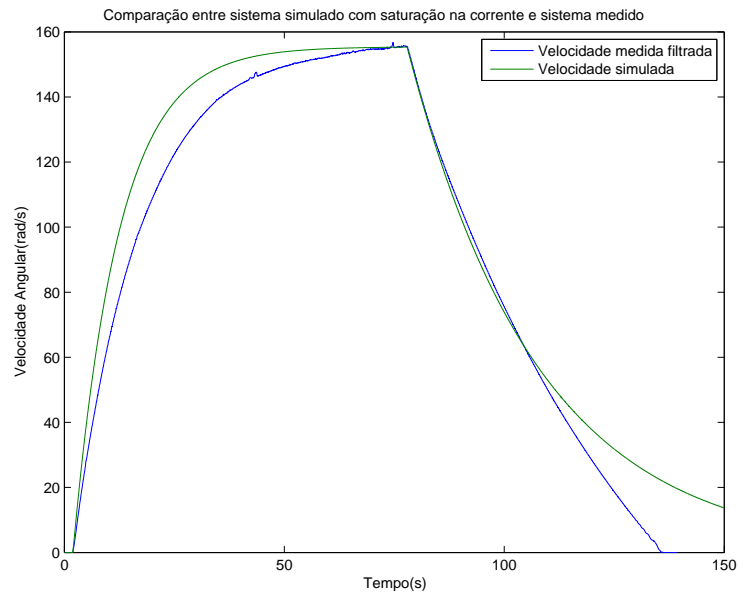


Figura 12: Comparação entre velocidade angular medida e simulada

Esse novo resultado, representa melhor o sistema e mostra que a aproximação feita para  $J$  é razoável, embora ainda não ideal.

## 6 Referências

- [1] Roteiro do experimento disponibilizado para os alunos