

Laboratório de Máquinas Elétricas:
Alunos:

Professor: Leonardo Salas Maldonado

Determinação dos Parâmetros do Motor de Corrente Contínua

Objetivo:

- Ensaiar o motor de corrente contínua em vazio;
- Determinar os parâmetros da máquina;
- Obter por simulação e experimentalmente o comportamento dinâmico do motor.

Teoria:

O regime permanente de um motor de cc é caracterizado por valores constantes de tensão, velocidade, torque, etc. Considerando que antes de energizar a máquina estes valores são normalmente nulos, fica claro que um ponto de operação em regime permanente só pode ser obtido depois de um estado transitório. A rigor, qualquer ponto de operação em regime permanente pode ser considerado como um caso particular de um estado transitório. Num determinado ponto de operação da máquina, as quantidades eletromagnéticas, mecânicas e térmicas são constantes. Estas quantidades variam durante o transitório e depois de certo período de tempo atingem seus valores em regime permanente. É natural nas máquinas elétricas que os transitórios eletromagnéticos e mecânicos aconteçam quase que simultaneamente, enquanto que o térmico demore mais. Logo, do ponto de vista dos transitórios eletromagnéticos e mecânicos, o estado térmico da máquina pode ser considerado constante. Portanto, a análise do transitório de uma máquina elétrica é limitada às grandezas eletromagnéticas e mecânicas e a interação entre elas.

Pode-se expressar o relacionamento entre as equações mecânicas e elétricas de um motor, por meio de uma **Função de Transferência**. A Função de Transferência é a representação das equações elétricas e mecânicas, por meio de blocos que regem o princípio de funcionamento dos motores.

Para determinar a Função de Transferência de um sistema (nesse caso o motor e a carga), é necessário transformar as equações elétricas e mecânicas no domínio do tempo para o domínio da frequência. Essa mudança é feita usando-se a **Transformada de Laplace**.

A equação elétrica do circuito de armadura do motor CC no domínio do tempo, segundo a lei de Kirchoff, é definida por (1):

$$V(t) = R_a \cdot i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + E(t), \quad (1)$$

sendo R_a , i_a , L_a , E e V , respectivamente, a resistência de armadura, a corrente de armadura, a indutância do enrolamento de armadura, a força contra-eletromotriz induzida e a tensão de armadura.

De acordo com as leis de Newton para o movimento rotacional, as equações mecânicas de um motor CC no domínio do tempo são dadas por (2):

$$T_g(t) = T_w(t) + T_j(t) + T_L(t) \quad (2)$$

O termo T_g é o conjugado eletromagnético desenvolvido pelo motor – presente no entreferro do motor. O termo T_j refere-se ao conjugado devido a inércia do eixo, sendo dado por (3):

$$T_j(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt} \quad (3)$$

onde J é o momento de inércia do motor e da carga, referente ao eixo do motor, e ω a velocidade angular.

A variável T_L refere-se ao conjugado de carga. Já o termo T_w é chamado de conjugado de perdas sendo normalmente representado por duas parcelas conforme mostra (4).

$$T_w(t) = B\omega(t) + T_f(t) \quad (4)$$

A primeira parcela é chamada de amortecimento viscoso do motor e da carga. Ela é linear e é proporcional à rotação. A segunda parcela se refere às contribuições de atrito na carga e no motor são não lineares e de valor bem menor que a primeira parcela; por isso não será desprezada nesta análise.

A relação entre a parte elétrica e mecânica do motor é dada pelas equações eletromecânicas (5) e (6) (considerando-se que o fluxo é mantido constante):

$$T_g(t) = K_t i_a(t) \quad (5)$$

$$E(t) = K_e \cdot \omega(t) \quad (6)$$

Utilizando as Transformadas de Laplace, obtém-se as equações no domínio da frequência, conforme (7) - (10):

$$V_t(s) = R_a I_a(s) + sL_a I_a(s) + E(s) \quad (7)$$

$$T_g(t) = Js\omega(s) + B\omega(s) + T_f(s) + T_L(s) \quad (8)$$

$$T_s(s) = K_t I_a(s) \quad (9)$$

$$E(s) = K_e \cdot \omega(s) \quad (10)$$

onde a velocidade angular ω é dada em rad/s.

Com algumas manipulações algébricas é possível montar a função de transferência do motor cc.

Parte experimental:

Material utilizado:

*

Experiência:

Procedimento e dicas:

- Utilizando um multímetro digital, meça a resistência de armadura. $R_a =$ _____.
- Ainda sem alimentação no circuito de campo, alimente a armadura com tensão alternada de forma que circule entre 3 e 5 A, conforme mostrado na figura 1.

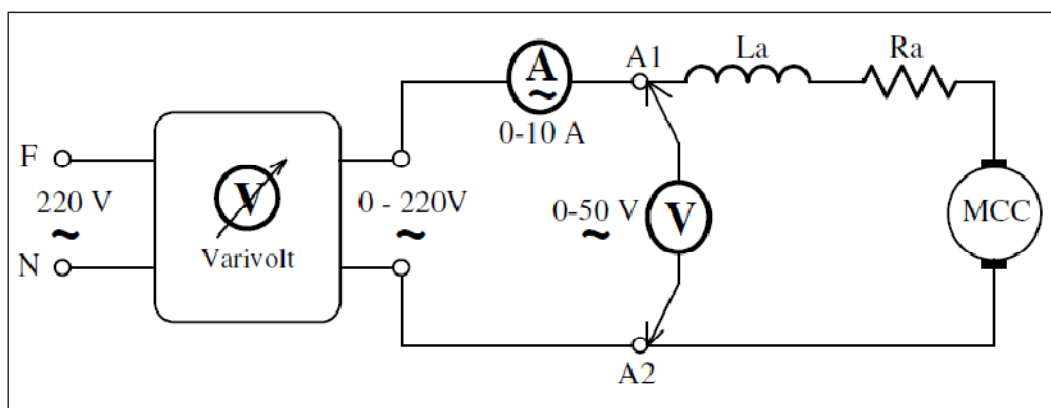


Figura 1 – Circuito para medição da impedância da armadura.

- Anote os valores de tensão e corrente: $V_a =$ _____ $I_a =$ _____. Estes valores serão utilizados posteriormente para determinar o valor de L_a
- Monte o esquema básico para acionamento do motor CC com excitação independente, conforme mostrado na figura 2.

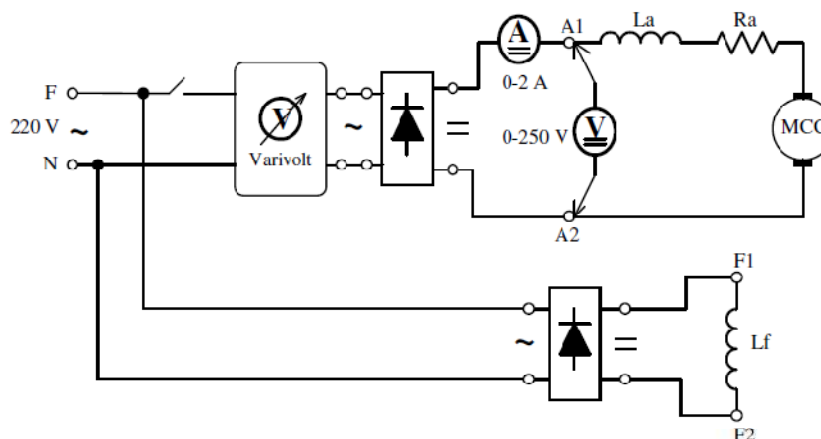


Figura 2 – Circuito para ensaio a vazio da máquina cc.

- Alimente o circuito e **aumente gradualmente** a tensão aplicada aos terminais de armadura, preenchendo e anote os valores obtidos na tabela 1 ($180 \text{ V} < V_a < 220 \text{ V}$).

I_a	$n(\text{rpm})$	$W_m(\text{rad/s})$	$V_t(\text{V})$

- f) A partir dos dados obtidos (tabela 1) e utilizando-se a equação (11), determine um valor médio para a constante da força contra-eletromotriz K_e .

$$K_e \text{ (médio)} = \frac{V_t - I_a R_a}{\omega_m} \quad (11)$$

- g) Determine a constante de atrito viscoso B, seguindo os seguintes passos:

- Utilizando os valores de V_t , I_a e ω_m , calcule a força contra-eletromotriz ($E_g = k\phi \cdot W_m$)
- A equação (12) fornece o torque em vazio aproximado, que é o torque devido ao atrito e a ventilação.

$$T_g = \frac{E_g I_a}{W_m} \quad (12)$$

- h) O torque devido ao atrito viscoso é dado pela equação (13):

$$T_B = B \omega_m \quad (13)$$

- i) A vazio, $T_g = T_B$, e utilizando-se (6.12) e (6.13) é possível calcular o valor de B.

$$B = \frac{T_g}{\omega_m}$$

- j) Sabendo-se que $T_g = K_t I_a$, pode-se calcular o valor de K_t através de (12).

No SI, têm-se que $K_t = K_e$.

$$K_t = \frac{T_g}{I_a}$$

- k) O momento de inércia J pode ser obtido, com certa aproximação, através do teste chamado “run down test”. Neste ensaio, alimenta-se o motor em vazio ($W_0 = \text{_____}$); em seguida, remove-se a tensão de armadura e mede-se o tempo da constante de tempo do sistema mecânico (tempo para W ser igual a $(1 - 0,632) \cdot W_0$) $\tau_m = \text{_____}$. A constante τ_m está relacionada com J e B através da equação (14).

$$\tau_m = \frac{J}{B} \quad (14)$$

Através da equação 6.14 e considerando-se o valor de B já obtido, pode-se determinar o valor de $J = \text{_____ kg.m}^2$

Roteiro Para a Etapa De Simulação

- l) Monte o diagrama em blocos mostrado na figura 4. ($\tau_a = \frac{L_a}{R_a}$ e $\tau_m = \frac{J}{B}$)

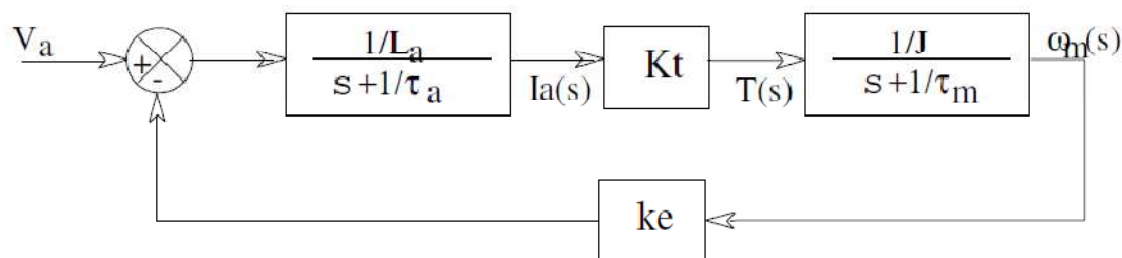


Figura 4 - Diagrama de Blocos do Motor cc

- m) Com os parâmetros determinados, escreva as equações dinâmicas para o motor de corrente contínua do laboratório e simule, usando o MATLAB, o comportamento dinâmico do motor para um degrau de tensão de 220 V. Isto é, trace $I_a \times t$ e $w \times t$ para uma partida direta do motor cc. Por exemplo, o diagrama de blocos mostrado na figura 5, utilizando o SIMULINK, representa um motor CC com partida direta.

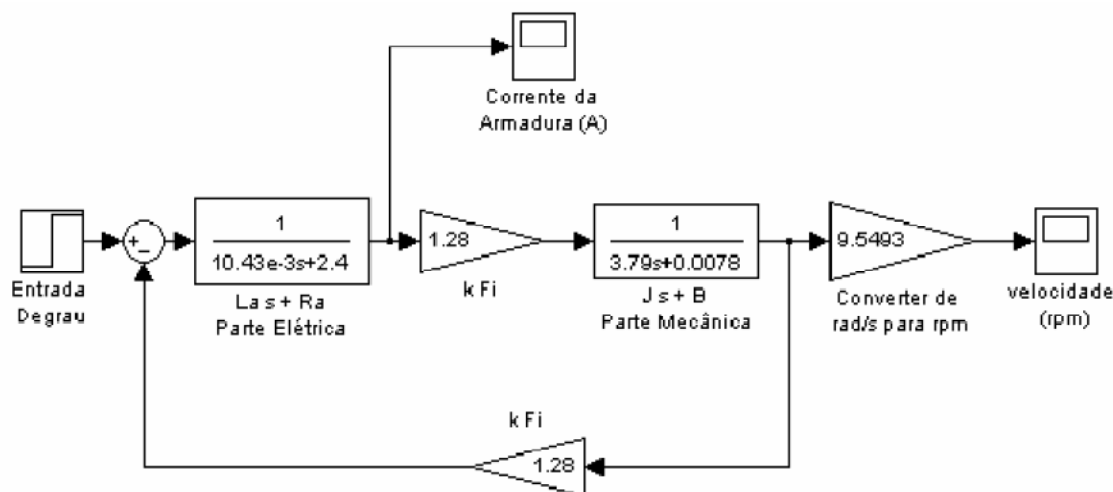


Figura 5 – Diagramas de blocos (SIMULINK) da partida direta de um motor cc.

- n) Com os parâmetros determinados, escreva as equações dinâmicas para o motor de corrente contínua do laboratório e simule, usando o MATLAB, o comportamento dinâmico do motor para um degrau de tensão de 220 V. Isto é, trace $I_a \times t$ e $w \times t$ para uma partida direta do motor cc. Por exemplo, o diagrama de blocos mostrado na figura 5, utilizando o SIMULINK, representa um motor CC com partida direta.

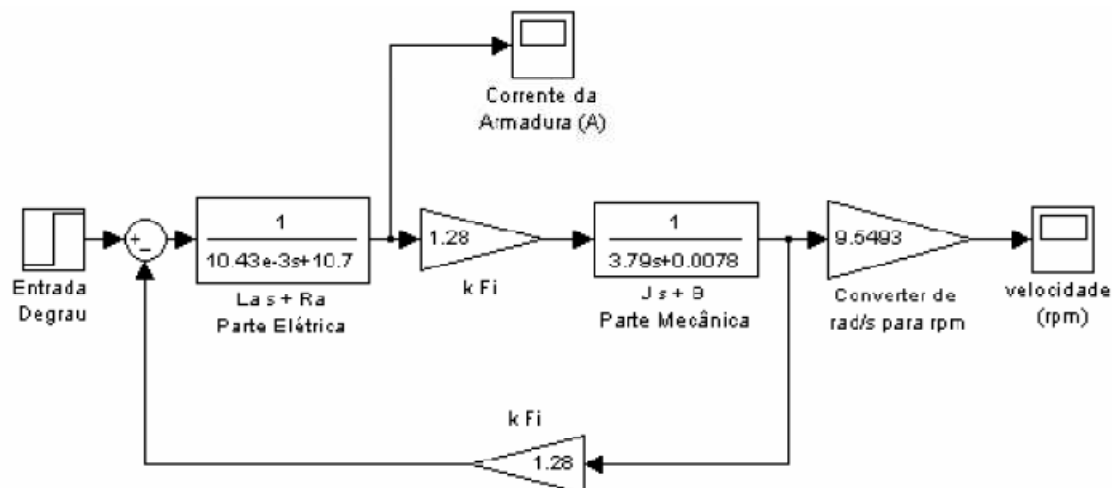


Figura 6 – Diagrama em blocos com inclusão do resistor de partida de 8,3 Ω .

- o) O modelo mostrado na figura 7 representa uma partida com resistor de 8,3 W. Quando a corrente de partida cai a 10 A o resistor é curto-circuitado. Plote $I_a \times t$ e $w \times t$. Comente os resultados.

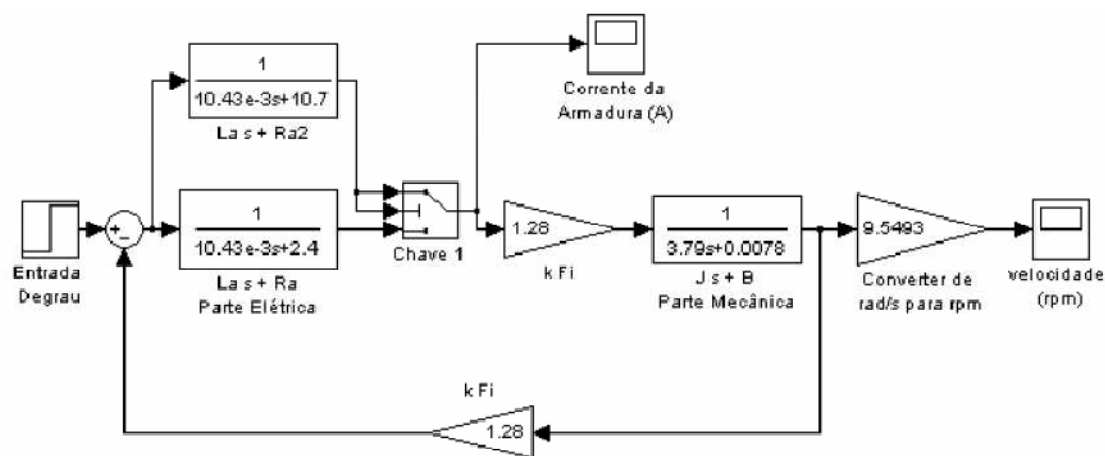


Figura 7 - Diagrama em blocos com resistor de partida de $8,3 \Omega$ e chave de comutação.

- p) Repita o procedimento do item 17, mas deixe o resistor de partida no circuito até a corrente de armadura cair a 5 A. Obtenha os gráficos de corrente de armadura x tempo e velocidade do rotor x tempo.
- q) O modelo mostrado na figura 8 inclui um resistor de partida com dois estágios: $8,3 \Omega$ e $4,14 \Omega$. Trace $I_a \times t$ e $w \times t$. Comente os resultados obtidos.

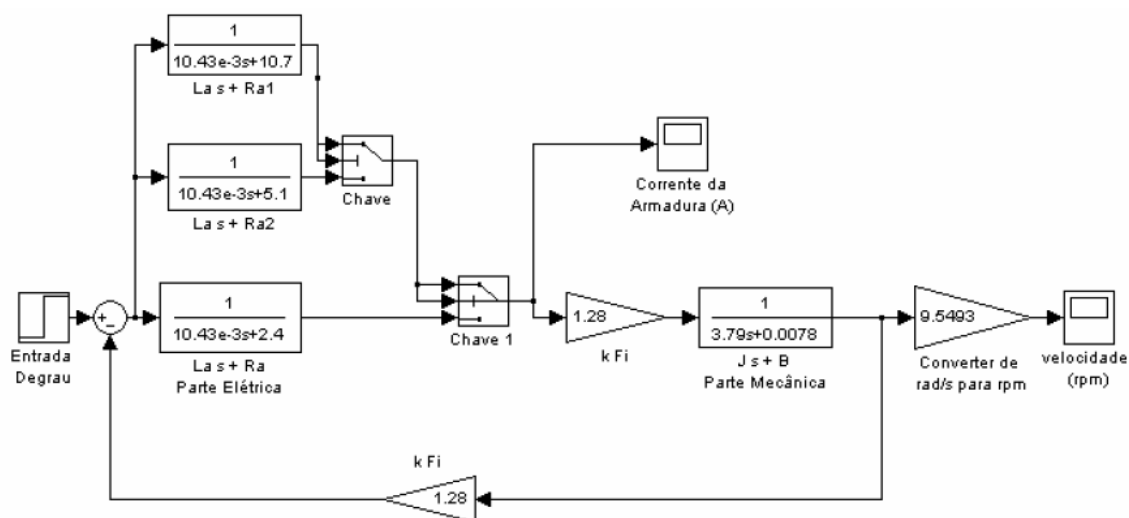


Figura 8 - Diagrama em blocos com inclusão de resistor de partida em dois estágios: $8,3 \Omega$ e $4,14 \Omega$

- r) O modelo mostrado na figura 9 representa novamente um resistor de partida com dois estágios, porém com um estágio diferente do anterior: $8,3 \Omega$ e $2,7 \Omega$. Trace $I_a \times t$ e $w \times t$. Comente os resultados obtidos.

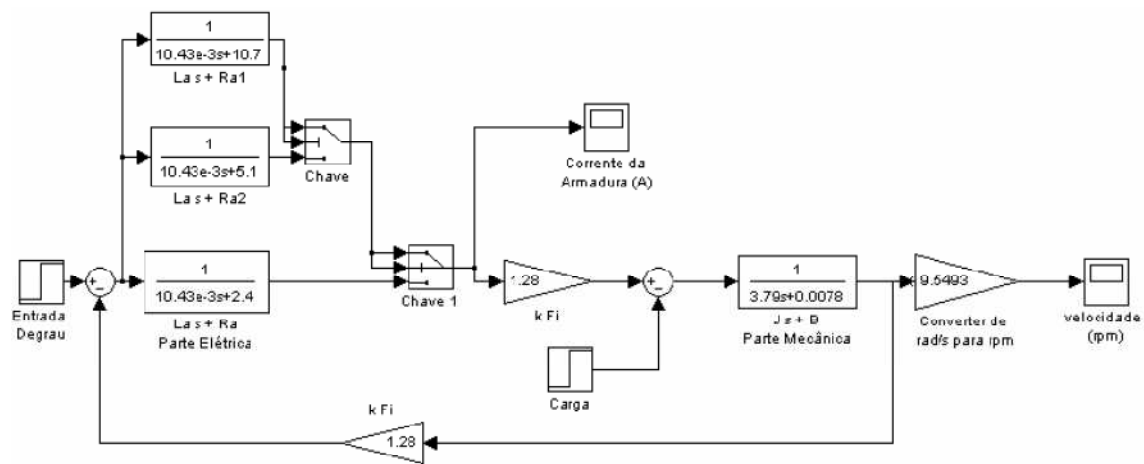


Figura 9 – Diagrama em blocos com inclusão de resistor de partida um dois estágios: 8,3 Ω e 2,7 Ω

- s) Comente as dificuldades e observações feitas por você durante esta prática. Caso você tenha usado algum método diferente dos sugeridos para obter algum parâmetro ou fazer algum ensaio, comente sobre os procedimentos adotados.