



DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DO MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA

O estado 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 estado permanente só pode ser obtido depois de um estado transitório. Formalmente, qualquer ponto de operação em estado 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 estado 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.

Nós podemos 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 passarmos as equações elétricas e mecânicas do domínio do tempo para o domínio da frequência. Essa mudança é feita usando-se a **Transformada de Laplace**.

A equação elétrica para o circuito de armadura do motor CC no domínio do tempo, segundo a lei de Kirchhoff, é definida por (6.1):

$$V(t) = R_a \cdot i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + E(t), \quad (6.1)$$

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 (6.2):

$$T_g(t) = T_w(t) + T_j(t) + T_L(t) \quad (6.2)$$

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 e é calculada por (6.3):

$$T_j(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt} \quad (6.3)$$

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 (6.4).

$$T_w(t) = B\omega(t) + T_f(t) \quad (6.4)$$

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 é a parcela não linear e de valor bem menor que a primeira parcela.

A relação entre a parte elétrica e mecânica do motor é dada pelas equações eletromecânicas conforme mostram (6.5) e (6.6):

$$T_g(t) = K \cdot \phi \cdot i_a(t) \quad (6.5)$$

$$E(t) = K \cdot \phi \cdot \omega(t) \quad (6.6)$$

Utilizando as Transformadas de Laplace, as equações são podem ser convertidas para o domínio da frequência, conforme mostram (6.7) - (6.10):

$$V_t(s) = R_a I_a(s) + sL_a I_a(s) + E(s) \quad (6.7)$$

$$T_g(s) = Js\omega(s) + B\omega(s) + T_f(s) + T_L(s) \quad (6.8)$$

$$T_g(s) = K \cdot \phi \cdot I_a(s) \quad (6.9)$$

$$E(s) = K \cdot \phi \cdot \omega(s) \quad (6.10)$$

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

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

Referências Bibliográficas

- [1] Teles, José Carlos, Disciplina de Controle e Servomecanismos II, Anotações, 1993.
- [2] Ostovic, V. Computer-aided Analysis of Electric Machines. Prentice Hall 1994

Objetivos:

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

Procedimentos:

ROTEIRO PARA A ETAPA PRÁTICA NO LABORATÓRIO DE MÁQUINAS

- 1) Utilizando um multímetro digital, meça a resistência de armadura. $R_a = \underline{\hspace{2cm}}$.
- 2) 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. (CASO O VARIVOLT NÃO ESTEJA DISPONÍVEL, UTILIZE UM BANCO DE LÂMPADAS EM SÉRIE COM A REDE).

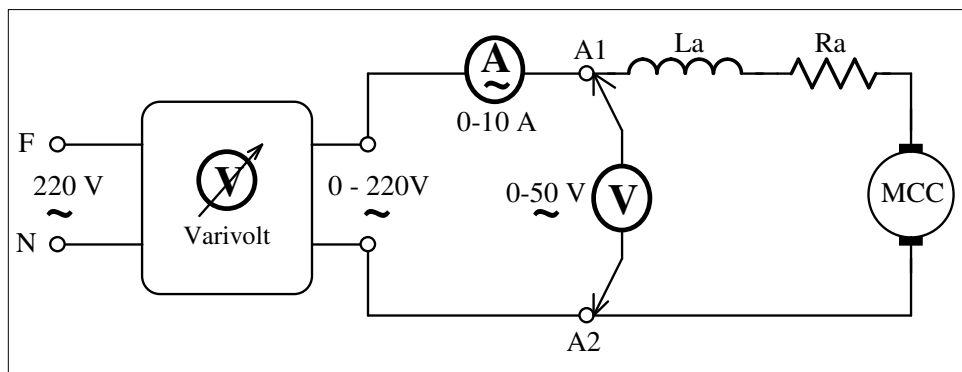


Figura 1 – Circuito para medição da impedância da armadura.

- 3) Anote os valores de tensão e corrente: $V_a = \underline{\hspace{2cm}}$ $I_a = \underline{\hspace{2cm}}$. Estes valores serão utilizados posteriormente para determinar o valor de L_a .

- 4) Monte o esquema básico para acionamento do motor CC com excitação independente, conforme mostrado na figura 2. (CASO O VARIVOLT NÃO ESTEJA DISPONÍVEL, UTILIZE UM BANCO DE LÂMPADAS EM SÉRIE COM A REDE).

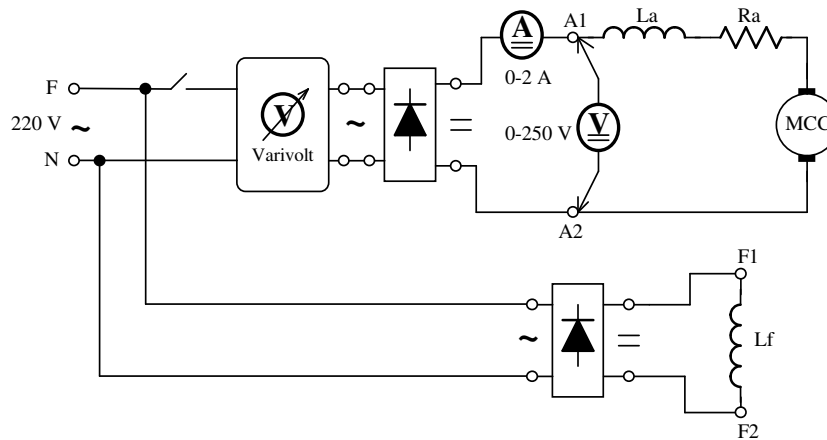


Figura 2 – Circuito para ensaio a vazio da máquina cc.

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

Tabela 1 – Ensaio do motor à vazio (determinação de $k\phi$).

I_a (A)	n (rpm)	ω_m (rad/s)	V_t (V)

- 6) A partir dos dados obtidos (tabela 1) e utilizando-se a equação 6.11, determine um valor médio para a **constante da força contra-eletromotriz k_e** . k_e (médio) = _____

$$k_e = \frac{V_t - I_a R_a}{\omega_m} \quad (6.11)$$

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

7.1) Utilizando os valores de V_t , I_a e ω_m , calcule a força contra-eletromotriz ($E_g = k\phi \cdot \omega_m$)

7.2) A equação 6.12 representa o torque em vazio, que é o torque devido ao atrito e a ventilação.

$$T_m = \frac{E_g I_a}{\omega_m} \quad (6.12)$$

- 8) O torque devido ao atrito viscoso é dado pela equação 6.13:

$$T_B = B \omega_m, \quad (6.13)$$

onde: $T_B \rightarrow$ o torque devido ao atrito viscoso;
 $B \rightarrow$ o coeficiente de atrito viscoso;
 $\omega_m \rightarrow$ a velocidade do motor.

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

$$B = \underline{\hspace{2cm}}$$

- 10) 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 ($\omega_0 = \underline{\hspace{2cm}}$); 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 $(1 - 0,632) \cdot \omega_0$ $t_m = \underline{\hspace{2cm}}$. Com o valor obtido de B e t_m , pode-se determinar o valor de J, de acordo com a equação 6.14.

$$\tau_m = \frac{J}{B} \quad (6.14)$$

ROTEIRO PARA A ETAPA DE SIMULAÇÃO

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

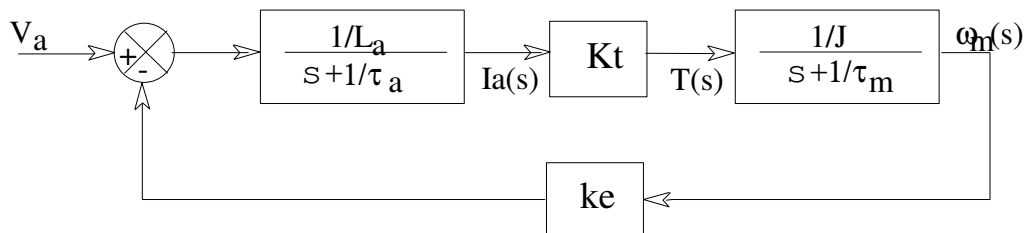


Figura 4 - Diagrama de Blocos do Motor cc

- 12) 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 $\omega \times t$ 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.

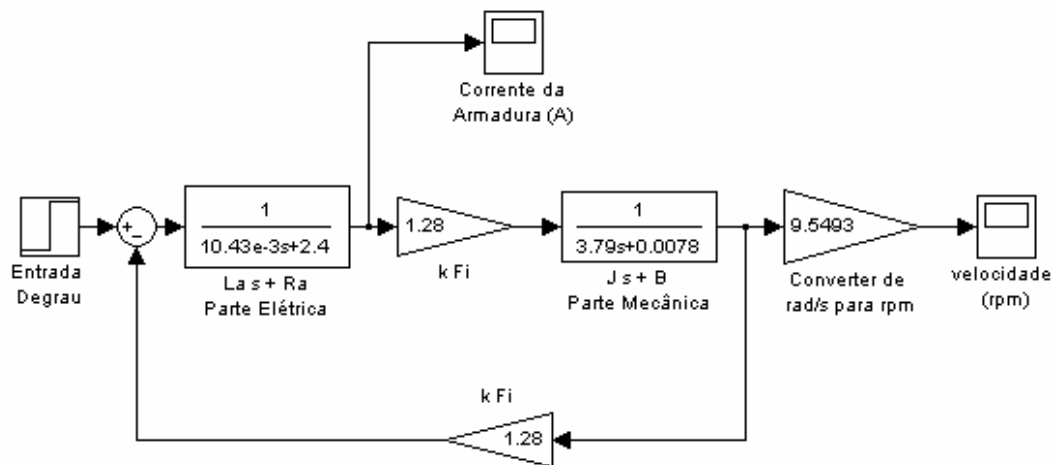


Figura 5 – Diagramas de blocos (SIMULINK) da partida direta de um motor cc.

- 13) Inclua no modelo matemático do motor a resistência de partida e então trace $I_a \times t$ e $\omega \times t$. A figura 6 ilustra o diagrama de simulação correspondente à esta situação.

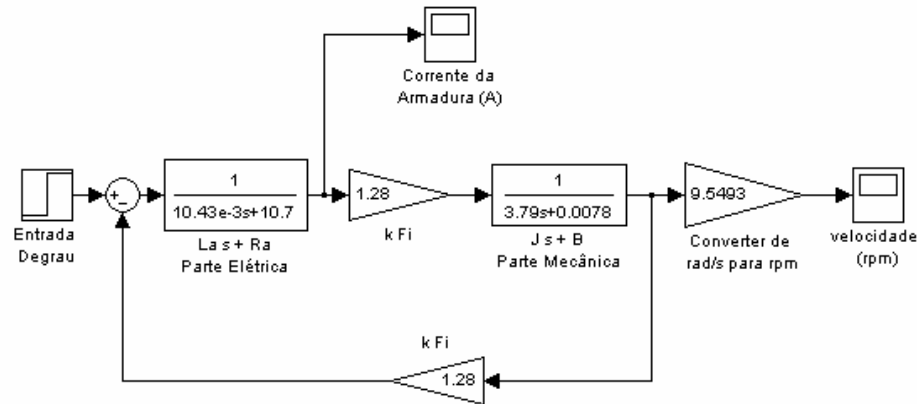


Figura 6 – Diagrama em blocos com inclusão do resistor de partida de 8,3 Ω.

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

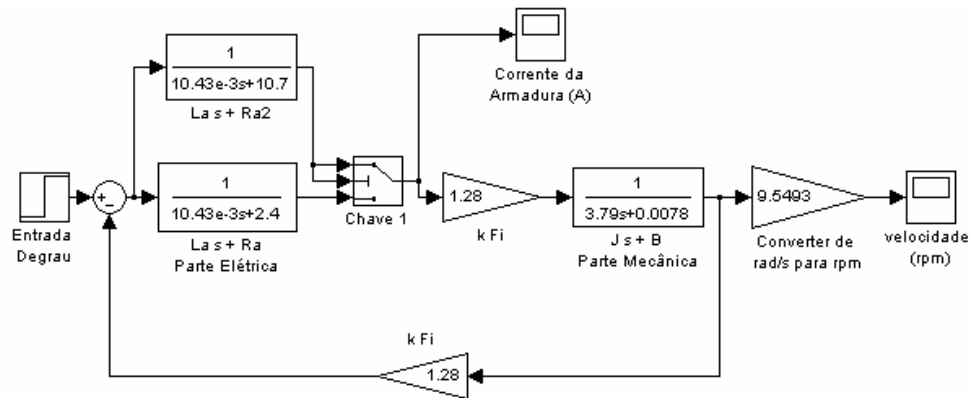


Figura 7 - Diagrama em blocos com resistor de partida de 8,3 Ω e chave de comutação.

- 15) 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.
- 16) O modelo mostrado na figura 8 inclui um resistor de partida com dois estágios: 8,3 Ω e 4,14 Ω. Trace $I_a \times t$ e $\omega \times t$. Comente os resultados obtidos.

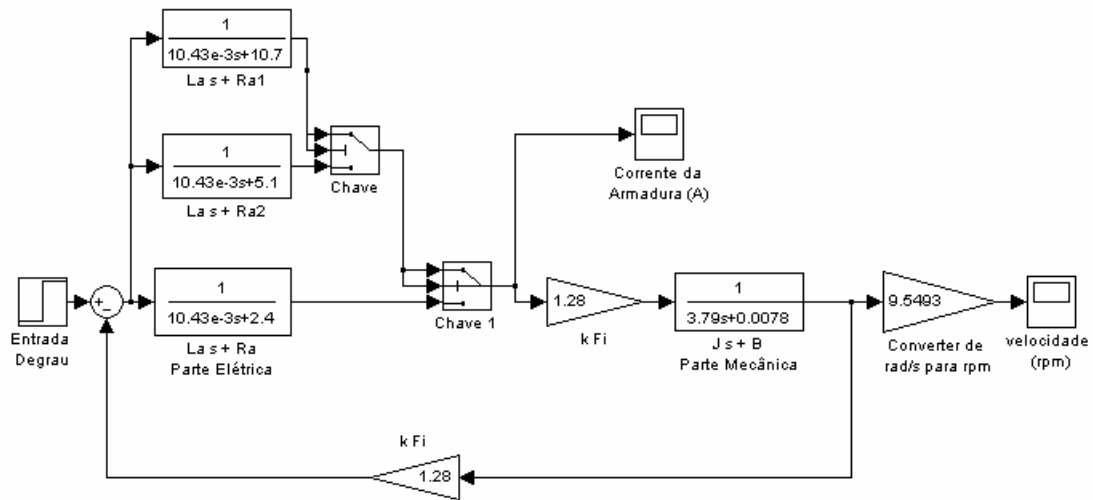


Figura 8 - Diagrama em blocos com inclusão de resistor de partida um dois estágios: 8,3 Ω e 4,14 Ω

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

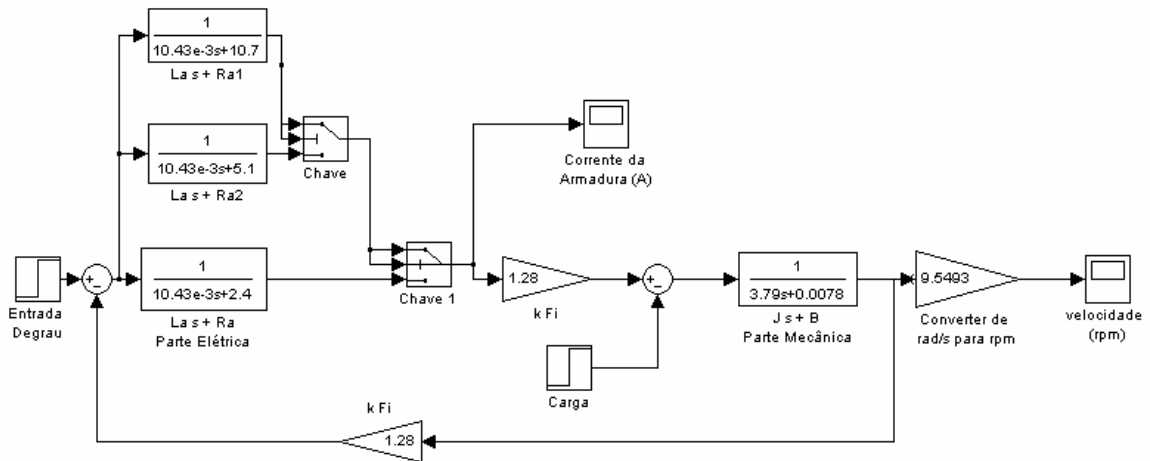


Figura 9 – Diagrama em blocos com inclusão de resistor de partida um dois estágios: 8,3 Ω e 2,7 Ω

- 18) 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.