

Simulação 4 – Acionamento de motor DC

Prof. Eric Fujiwara – DSI – FEM

1. OBJETIVOS

- Estudo do modelo do motor DC de ímãs permanentes;
- Simulação do circuito de acionamento de um motor DC através de uma fonte de tensão AC, por meio de topologias baseadas em retificadores controlados.

2. SIMULAÇÕES

2.1. Modelagem de um motor DC: diagrama de blocos

- a) Implemente o diagrama de blocos do motor DC de ímãs permanentes utilizando funções de transferência. A entrada do modelo é a tensão de armadura v_a , enquanto que a saída é a velocidade do rotor ω_m . Mantenha as plantas elétrica e mecânica em blocos separados. O modelo do motor DC é dado pelas equações

$$v_a(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + e_a(t), \quad (1)$$

$$T_{em}(t) = J \frac{d\omega_m(t)}{dt} + B\omega_m(t) - T_{WL}(t), \quad (2)$$

$$e_a(t) = k_E \omega_m, \quad (3)$$

$$T_m(t) = k_T i_a, \quad (4)$$

onde

- i_a é a corrente de armadura;
 - e_a é força contraeletromotriz;
 - T_{em} é o torque do motor;
 - T_{WL} é o torque da carga;
 - $R_a = 1,6 \, \Omega$ é a resistência da armadura;
 - $L_a = 6,67 \times 10^{-4} \, \text{H}$ é a indutância da armadura;
 - $J = 1,1 \times 10^{-4} \, \text{kg m}^2$ é a inércia do motor;
 - $B = 1,24 \times 10^{-4} \, \text{J s/rad}$ é o atrito do motor;
 - $k_E = 0,038 \, \text{V s/rad}$ é a constante elétrica do motor de ímãs permanentes;
 - $k_T = 0,038 \, \text{N m/A}$ é a constante de torque do motor de ímãs permanentes;
- b) Considerando o motor sem carga, obtenha a resposta a um degrau de tensão de 24 V. Apresente as curvas de velocidade, torque e corrente na armadura em função do tempo, indicando os valores finais destas variáveis, bem como os valores de pico de corrente e torque;
- c) Conecte uma carga proporcional à velocidade $T_{WL} = 5 \times 10^{-4} \, \omega_m$ e obtenha novamente a resposta a um degrau de 24 V. Apresente as curvas de ω_m , T_{em} e i_a em função do tempo, indicando os valores finais destas variáveis, bem como os valores de pico de corrente e torque;

2.2. Modelagem de um motor DC: SimPowerSystems

- a) Implemente o motor DC utilizando o modelo disponível no SimPowerSystems (*SimPowerSystems* > *Machines* > *Discrete DC Machine*). Adote os mesmos parâmetros descritos no item 2.1.a. Note que o motor estudado possui excitação de campo com ímãs permanentes, logo é necessário ajustar o circuito de campo de

modo a obter um fluxo ϕ_f constante. A constante elétrica deste modelo é expressa por

$$k_E = k_T = L_{af} i_f, \quad (5)$$

onde L_{af} é a indutância mútua entre os enrolamentos de campo e de armadura, e i_f é a corrente de armadura.

- b) Apresente a resposta a um degrau de 24 V, considerando o motor sem carga. Apresente as curvas de ω_m , T_{em} e i_a em função do tempo, indicando os valores finais destas variáveis, bem como os valores de pico de corrente e torque. Utilize uma fonte de tensão (*Controlled Voltage Source*) para converter a função degrau em um sinal de voltagem. Compare os resultados com o item 2.1.b.

2.3. Acionamento de motor DC com retificador controlado

- a) Utilizando o modelo do item 2.2, implemente o circuito para acionamento de um motor DC a partir de uma fonte AC (24 V rms@60 Hz) utilizando um retificador controlado monofásico de onda completa;
- b) Obtenha as curvas de ω_m , T_{em} e i_a em função do tempo para ângulos de disparo α de 0 e 90°;
- c) Repita o item anterior, agora conectando um capacitor de 0,5 F em paralelo com o circuito de armadura;

2.4. Acionamento de motor DC com conversor dual

- a) Utilizando o modelo do item 2.2, implemente o circuito para acionamento de um motor DC a partir de uma fonte AC (24 V rms@60 Hz) utilizando um conversor dual monofásico (Fig. 1). Conecte um capacitor de 1 F em paralelo com a armadura do motor;
- b) Para ajustar a tensão de saída do conversor, ligue ou desligue cada ponte ajustando o ângulo de disparo de cada ponte em 0 ou 180°;

- c) Realize um ciclo completo de operação do motor, variando a velocidade de rotação entre os valores máximos direto e reverso (ω_+ e ω_- , respectivamente) de acordo com o seguinte ciclo: $\omega = [0, \omega_+, \omega_-, 0]$. Apresente as formas de onda de v_a , ω_m , T_{em} e i_a em função do tempo ao longo de todo o ciclo. Indique no gráfico os instantes de tempo de chaveamento dos tiristores, evidenciando os valores de ângulo de disparo ajustados em cada ponte. Espere o motor desenvolver a velocidade máxima antes de chavear o conversor para o próximo estado de operação.

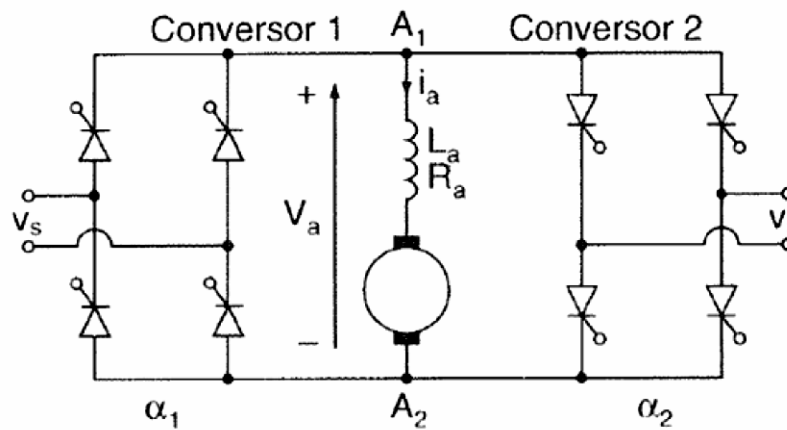


Fig. 1. Conversor dual monofásico.

3. QUESTÕES

- a) Explique o princípio de funcionamento de um motor DC. Como é realizada a excitação de campo? Como é feito o ajuste da velocidade e do torque através do terminal da armadura?
- b) Os conversores estudados nesta aula permitem acionamento em quais quadrantes? Justifique.
- c) Apresente uma estratégia para controlar a velocidade do motor DC em malha aberta através do conversor dual monofásico. Neste caso, a entrada do sistema será uma velocidade de referência ω^* com sentido de direto ou reverso. Note que ω_m pode ser ajustado através do ângulo de disparo de cada ponte. Ademais, é possível traduzir o valor de α em uma tensão de controle $v_{control}$ aplicando uma função de linearização.

4. EXERCÍCIOS COMPLEMENTARES*

*Não fazem parte do relatório.

- a) Obtenha a característica de torque-velocidade em regime permanente do motor DC para diferentes valores de tensão na armadura.
- b) Implemente o acionamento do motor DC através de um conversor buck-boost. Identifique os quadrantes de operação do motor;
- c) Implemente o acionamento do motor DC através de uma ponte H. Identifique os quadrantes de operação do motor;
- d) Realize o ajuste do fluxo através do terminal de campo e obtenha a característica de torque-velocidade variando os valores de ϕ_f e v_a . Observe que, para motores com excitação de campo independente, as equações (3) e (4) também são governadas pelo fluxo de campo ϕ_f ;
- e) Implemente a alimentação do motor DC a partir de uma fonte AC conectando a armadura em série com o circuito de campo (motor universal).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FITZGERALD, A.E.; KINGSLEY JR., C.; UMANS, S.D. **Electric Machinery**. New York: McGraw-Hill, 2003.

MOHAN, N.; UNDELAND, T.M.; ROBBINS, W.P. **Power Electronics: Converters, Applications, and Design**. New York: Wiley, 1995.

RASHID, M.H. **Power Electronics Handbook**. San Diego: Academic Press, 2001.

SEN, P.C. **Principles of Electric Machines and Power Electronics**, New York: Wiley, 1989.