UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CTC – Centro Tecnológico
*DAS*5210 - Introdução ao Controle de Processos
Prof. Julio Elias Normey Rico

Prova 1 Carga Horária: 2 h
Semestre 2019/1 - 22/04/2019

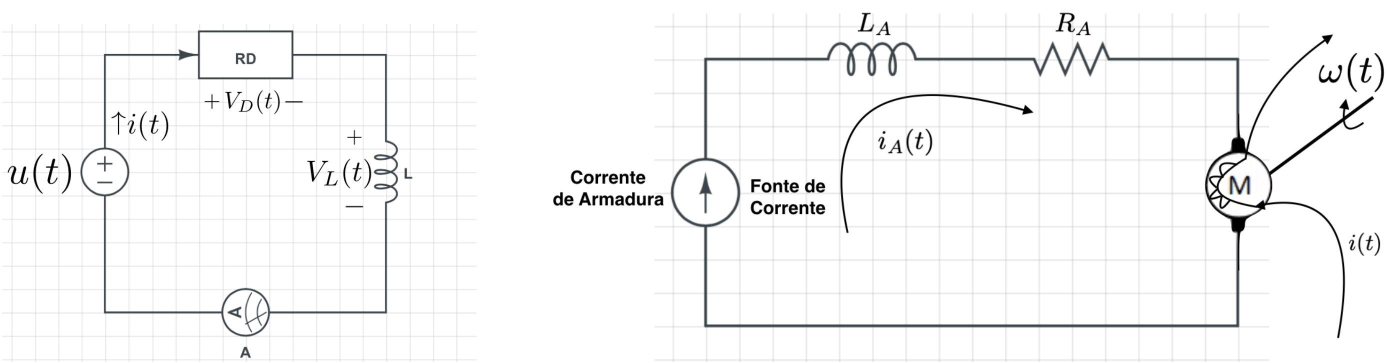
Parte 1: Presencial

A Figura 1 mostra o esquema de controle de velocidade de um motor CC, com acionamento por corrente de campo $i(t)$. Neste motor, se utiliza a corrente de campo para modificar o torque desta máquina elétrica e, assim, modificar sua velocidade de giro $\omega(t)$. Note que a corrente (de campo) que circula pelo circuito de acionamento, $i(t)$, passa pelo rotor desta máquina elétrica.

O esquema da Figura 1a corresponde ao circuito elétrico da corrente de campo (circuito de acionamento do motor). No circuito de acionamento, $V_D(t)$ representa a queda de tensão sobre um elemento resistivo não-linear, $u(t)$ é uma tensão de atuação (variável manipulada), dada no intervalo $[0, 5]$ V, e $V_L(t)$ é a tensão sobre o rotor da máquina.

A Figura 1b mostra a armadura da máquina. M representa o motor com seu eixo de rotação e velocidade de giro $\omega(t)$. Esta velocidade de giro (quando em equilíbrio) é proporcional ao torque elétrico. Este, por sua vez, depende do produto de dois fatores: da corrente de armadura $i_A(t)$ e da corrente de campo $i(t)$ (que circula pelo rotor). Nesta máquina, a corrente de armadura é constante, fixada pela fonte de corrente à esquerda da Figura 1b. Já a corrente de campo $i(t)$ varia.

Logo, o funcionamento desta máquina elétrica se dá da seguinte forma: manipula-se a tensão do circuito de acionamento $u(t)$ para variar a corrente de campo $i(t)$. Esta, por sua vez, gera um torque elétrico na máquina, fazendo o motor girar com uma velocidade $\omega(t)$ (em equilíbrio) proporcional a $i(t)$.



(a) Circuito de Acionamento

(b) Motor

Figura 1: Motor Acionado por Circuito de Fonte CC

A queda de tensão sobre o elemento indutivo do circuito de acionamento é dada por:

$$V_L(t) = L\frac{di}{dt}(t)\,. \tag{1}$$

Note que o circuito possui um amperímetro ideal A que mede a corrente $i(t)$. Para correntes na região de operação do sistema, ou seja $i(t) \in [0, 20]\,\text{mA}$, $V_D(t)$ pode ser adequadamente dada por:

$$V_D(t) \quad \approx \quad R_D\sqrt{\alpha.i(t)}\,. \tag{2}$$

Usando a Lei das Malhas no Circuito da Figura 1a, obtém-se:

$$V_D(t) + V_L(t) - u(t) \quad = \quad 0\,. \tag{3}$$

Por outro lado, a dinâmica da velocidade de giro do motor é dada por:

$$\tau_m \frac{d\omega}{dt}(t) + \omega(t) = K_i i(t) + K_q q(t)\,. \tag{4}$$

$\omega(t)$ representa a velocidade de giro deste motor, dado em rad/s; $q(t)$ é uma perturbação de carga (tração feita sobre o eixo de rotação), dada em $N.m$. Nesta Equação, o termo $K_i i(t)$ representa o torque elétrico do motor que, como se observa, é proporcional à corrente $i(t)$, gerada no circuito de acionamento da Figura 1a.

Considere os seguintes parâmetros: $\tau_m = 30\,s$, $K_i = 800\,\text{rad/(s.A)}$, $K_q = 0.2\,\text{rad/(s.N.m)}$, $L = 5\,H$ e $\alpha = 0.5$. O valor para a "resistência não-linear" é $R_D = 50\,\text{V/A}^{\frac{1}{2}}$.

Sobre este motor e seu circuito de atuação, pede-se:

1. Analise o funcionamento do circuito elétrico em equilíbrio, desenhando as características estáticas dentro das faixas de variação das diferentes variáveis associadas ao problema. **Considere aqui apenas a Equação do Circuito Elétrico de Acionamento!**

2. Considere um ponto de equilíbrio arbitrário, com $\bar{i} = 7.2\,\text{mA}$. Use a Lei das Malhas, Eq. (3), e linearize o sistema obtido, achando uma relação linear aproximada entre as variações da tensão de entrada e da corrente de campo (variável manipulada e de processo, respectivamente). **Considere aqui apenas a Equação do Circuito Elétrico de Acionamento!** Esta representação linear é valida para **qualquer** ponto de operação para baixas correntes, ou seja, para todo $i(t) \in [0, 20]\,\text{mA}$? Discuta

3. Escreva um pseudo-código para uma possível implementação discreta, em micro-controlador, de uma estratégia de controle On-Off para a regulação da velociade de giro $\omega(t)$, que deve ser mantida entre 5 e 15 rad/s. Para esta estratégia, considere que a medição de $i(t)$ está inacessível; apenas mede-se $\omega(t)$ e atua-se através de $u(t)$.

Parte 2: Simulação

Entrega até 29/04/2019, nos horários de Laboratório

1. Monte o diagrama do sistema real (não-linear) em malha aberta usando o pacote Simulink, do Matlab. Em seguida, simule este modelo, considerando o ponto de operação com $\bar{i} = 7.2\,\text{mA}$. Para tal simulação, varie em até ± 1 V o sinal $u(t)$. Também simule o comportamento do sistema para diferentes variações de tração de carga $q(t)$, em até ± 5 N.m.

2. Monte o sistema linearizado completo em malha-aberta, no Simulink, do Matlab.

3. Usando Simulink, estude por simulação o comportamento deste sistema e compare o comportamento com o do sistema não-linear nas proximidades do ponto de equilibrio estudado. Use os mesmos ensaios do item 1.

4. Agora, usando SimuLink, implemente a estratégia On-Off projetada na Parte 1, atuando na tensão $u(t)$ para manter a velocidade de giro do motor entre 5 e 15 rad/s, supondo três situações: (a) com tensão de carga constante e igual a $1N.m$, (b) tensão de carga constante e igual a $5N.m$ e (c) com uma perturbação de carga dada pelo modelo temporal descrito na Equação (5), no instante $t = t_q$, com $\tau_q = 90\,\text{s}$.

5. Pretende-se "controlar" o sistema de velocidade do motor em **malha-aberta**, usando uma lei de controle do tipo $u(t) = K_{MA}r(t)$, sendo $r(t)$ uma referência de velocidade do tipo degrau. Ajuste o ganho K_{MA} e analise separamente as respostas temporais $i(t)$ (considere variações do tipo degrau). É possível, com esta estratégia, **garantir** o seguimento de referências de velocidade $r(t)$ do tipo degrau ?

6. Compare a estratégia de controle acima com a estratégia On-Off e avalia as capacidades de ambas em termos de seguimento de referência e rejeição de perturbações $q(t)$ do tipo degrau.

$$q(t) = [q_0 e^{-\frac{(t-t_q)}{\tau_q}} + 3(1 - e^{-\frac{(t-t_q)}{\tau_q}})]\text{degrau}(t - t_q) \tag{5}$$