UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CTC – Centro Tecnológico
*DAS*5110 - Introdução ao Controle de Processos
Prof. Julio Elias Normey Rico
Prof. Marcelo Menezes Morato

Laboratório 3 - Roteiro
Carga Horária: 4 h
Semestre 2020/1

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.

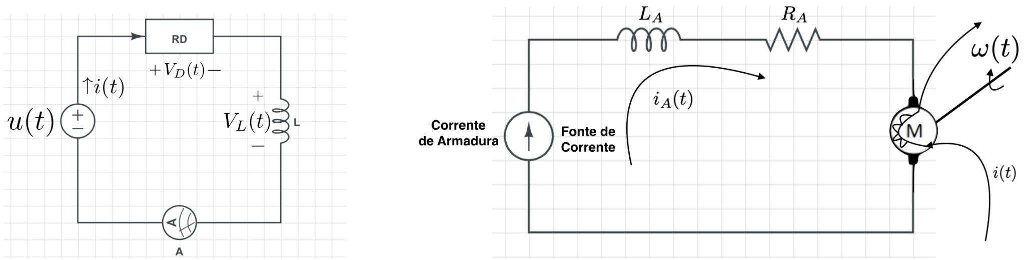
A Figura 1b mostra a armadura da máquina. M representa o motor com seu eixo de rotação e velocidade de giro $\omega(t)$. Esta velocidade de giro (quando em equilíbrio) é proporcional ao torque elétrico. Este, por sua vez, depende do produto de dois fatores: da corrente de armadura $i_A(t)$ e da corrente 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 queda de tensão sobre o elemento indutivo do circuito de acionamento é dada por:

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

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 $i(t) \in [0, 20]$ mA, $V_D(t)$ pode ser adequadamente dada por:



(a) Circuito de Acionamento (b) Motor

Figura 1: Motor Acionado por Circuito de Fonte CC

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

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:

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

$\omega(t)$ 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: $J = 150\,\mathrm{N.m.s}^2$, $B = 5\,\mathrm{N.m.s}$, $K_i = 4000\,\mathrm{N.m/A}$), $L = 5\,H$ e $\alpha = 0.5$. A "resistência não-linear" é dada por $R_D = 50\,\mathrm{V/A}^{\frac{1}{2}}$.

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

1. Considere inicialmente apenas o Circuito Elétrico de Acionamento da Figura 1.a. Considere que sistema é modelado através da Eq. (3) com $u(t)$ como variável manipulada e $i(t)$ como variável de processo. Analise o funcionamento do circuito elétrico em equilíbrio, desenhando as características estáticas dentro das faixas de variação das diferentes variáveis associadas ao problema.

2. Ainda para o Circuito Elétrico de Acionamento, considere um ponto de equilíbrio arbitrário, para o qual a corrente é constante e igual a $\bar{i} = 7.2\,\text{mA}$. 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). 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

Parte 2: Simulação

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. Pretende-se estudar o funcionamento de um sistema de controle em **malha-aberta** para a velocidade do motor. Para isso, a tensão de acionamento $u(t)$ é definida como $u(t) = K_{MA} r(t)$, sendo $r(t)$ uma referência de velocidade do tipo degrau e K_{MA} um ganho estático que deve ser ajustado para que a velocidade $\omega(t)$ siga o valor de $r(t)$) Ajuste o valor para este ganho estático K_{MA}. É possível, com estratégia, conseguir o seguimento de referência ($\lim_{t \to +\infty} \omega(t) \to \lim_{t \to +\infty} r(t)$) ? Quando esta estratégia funciona? Quando ela deixa de funcionar? Analise também as respostas de corrente $i(t)$.