UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
Centro de Ciências Exatas e Tecnologia
Engenharia Elétrica

Sistemas de Controle II

Experimento NR.1

Revisão Matlab.[1]

1 Instruções Gerais

- Grupo de até no máximo 3 alunos;
- Ler o documento sobre regras de conduta no laboratório;

2 Objetivos da Prática

- Revisão de alguns conceitos e comandos do Matlab, os quais serão utilizados nas aulas práticas de Sistemas de Controle 2
- Verificar a diferença na resposta simulada de uma planta devido ao uso da aproximação de Padé.

3 Materiais e Equipamentos

- Computador com Matlab/Simulink.

4 Revisão Conceitual

Considere uma planta térmica conforme apresentada na Figura 1, cuja malha aberta pode ser descrita na Figura 2.

Uma das formas de se obter um modelo matemático representativo dessse sistema é por meio do método de curva de reação (1^o Método de Ziegler e Nichols ou Método da Malha Aberta). Tal método permite representar um processo térmico, a partir do sistema de primeira ordem:

$$\frac{\Delta\theta(s)}{\Delta U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts+1}, \tag{1}$$

em que L o atraso de transporte, T a constante de tempo e K o ganho.

[1] Elaborado pela Profa. Tatiane Fernandes.

O atraso de transporte descrito pela exponencial e^{-Ls} pode ser representada na forma racional através da aproximação de Padé de primeira ordem:

$$e^{-Ls} \cong \frac{1 - \frac{Ls}{2}}{1 + \frac{Ls}{2}} = \frac{2 - Ls}{2 + Ls}. \tag{2}$$

Para obter uma resposta mais precisa é possível utilizar a aproximação de Padé de segunda ordem, aumentando a complexidade do problema:

$$e^{-Ls} \cong \frac{L^2 s^2 - 6Ls + 12}{L^2 s^2 + 6Ls + 12}. \tag{3}$$

Figura 1: Planta Térmica

Fonte: [1]

A resposta no domínio do tempo será representada por:

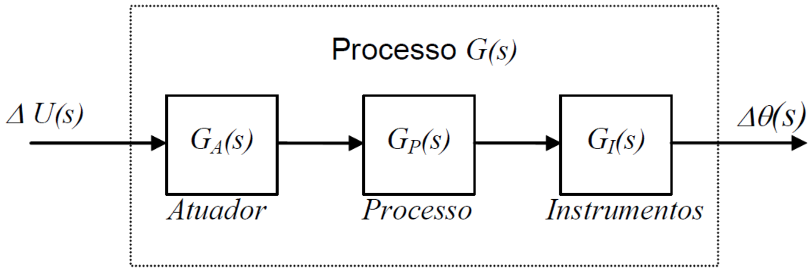
$$\theta(t) = \left\{ \begin{array}{ll} \theta_{AMB}, & \text{para } 0 < t < L \\ \theta_{AMB} + K\Delta U \left(1 - e^{-\left(\frac{(t-L)}{T}\right)}\right), & \text{para } t \geq L \end{array} \right\}, \tag{4}$$

sendo $\theta(t)$ a temperatura ao longo do tempo e θ_{AMB} a temperatura ambiente.

5 Procedimentos Experimentais

Suponha que uma determinada planta térmica operando em temperatura ambiente de 33.6 C tenha sido submetida a um degrau de entrada com amplitude de 45 (*duty cycle*). A partir desse ensaio e do 1^o Método de Ziegler e Nichols os seguintes parâmetros foram levantados: $K = 0.4725$, $T = 100$ e $L = 10$. Tendo como base as informações apresentadas acima desenvolva os itens propostos a seguir:

Figura 2: Malha aberta da planta térmica.



Fonte: [1].

5.1 Sistema em Malha Aberta

1. Inicie o *script* (arquivo .m) definindo as constantes K, L, T e θ_{AMB} com os seus respectivos valores.

2. Elabore um vetor tempo, iniciando em 0 e finalizando em 600s com incremento de 0.1s.

3. Implemente a função da planta em malha aberta. Utilize a aproximação de Padé de 1ª ordem.

   a) Crie as funções transferências a partir do comando *tf* (se necessário acesse o *help*)

   b) Multiplique as funções transferências ou utilize o comando *series* para obter a função transferência de ramo direto.

4. Obtenha a resposta do sistema em malha aberta para o vetor de tempo criado no item b), utilizando o comando *step*. Plote a evolução da temperatura em relação ao tempo. Para isso, faça:

   a) O comando *step* aplica um degrau unitário, portanto ajuste a amplitude da sua função transferência de malha aberta de acordo com o enunciado.

   b) Utilize o vetor tempo t como argumento da função e armazene a saída. Por exemplo, y = *step(A*G,t)*.

   c) Faça um gráfico por meio do comando plot, mostrando a evolução da temperatura $(\Delta\theta + \theta_{AMB})$. Acrescente nome aos eixos e uma grade ao fundo.

5. Repita o procedimento definido nos itens 3) e 4), utilizando a aproximação de Padé de 2ª ordem. Faça o gráfico da resposta desse modelo a uma função degrau.

6. Repita o procedimento definido nos itens 3) e 4), utilizando uma nova forma para representar o termo e^{-Ls} no MatLab. Para isso, faça:

   a) No Matlab, defina s = *tf('s')*;

b) Utilizando a variável s, implemente a equação (1) a partir dos operadores aritméticos disponíveis no Matlab, considere inclusive a exponencial (comando *exp()*).

c) Obtenha a resposta ao degrau da função transferência nesse formato, plotando a evolução da temperatura em relação ao tempo.

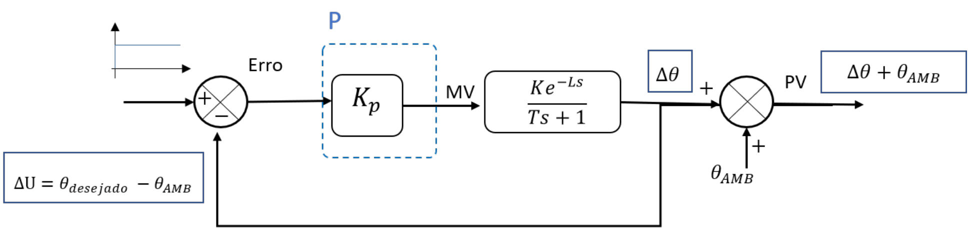
7. Em um mesmo gráfico, compare as respostas obtidas ao degrau de entrada pelos três métodos utilizados para representar a função transferência no sistema em malha aberta. Utilize traços e cores distintas para cada curva de modo que as três curvas possam ser identificadas no gráfico; acrescente a legenda e, trabalhe com uma expessura de 1.2 para o cada linha ('$LineWidth$').

8. Compare as respostas obtidas em cada representação. Existem diferenças no período transitório? E no regime permanente?

5.2 Sistema em Malha Fechada - Matlab

Considere o sistema em malha fechada para essa planta térmica com a inclusão de um ganho proporcional com ganho K_p na malha de controle, conforme exibido na Figura 3.

Figura 3: Sistema em malha fechada como controlador P.



Fonte: Autoria própria.

1. Calcule o ganho do controlado K_p utilizando a relação dada por $K_p = T/(KL)$, definida pelo primeiro Método de Ziegler-Nichols.

2. Crie um vetor de tempo t_f, com tempo final de 250 s e incremento de 0.1s.

3. Implemente no Matlab, a função transferência de malha fechada para a planta térmica utilizando cada um dos três métodos aplicados anteriormente para representar o termo referente ao atraso de transpote e^{-Ls}:
1) Aproximação de Padé de 1ª ordem,
2) Aproximação de Padé de 2ª ordem e
3) Utilizando a própria exponencial, definindo o s de Laplace.
Para fechar a malha, utilize o comando *feedback()* (consulte o *help*).

4. Considerando um *set point* de 45° C (SV), aplique um degrau com amplitude de $SV - \theta_{amb}$ durante um intervalo de tempo t_f, em cada uma das representações.

5. Em um mesmo gráfico compare a resposta da variável de processo, ou seja, temperatura de saída ($\Delta\theta + \theta_{Amb}$) obtida por cada representação em Malha fechada. Utilize traços e cores distintas para cada curva de modo que as três curvas possam ser identificadas no gráfico; acrescente a legenda e, trabalhe com uma expessura de 1.2 para o cada linha ('*LineWidth*').

6. Com relação ao último gráfico, existem diferenças na resposta do período transitório? E no regime permanente?

5.3 Sistema em Malha Fechada - Simulink

1. Ajuste o *solver* do Simulink para utilizar passo fixo (*fixed-step)* de 0.1s. Assim o passo será o mesmo da versão em script.

2. Implemente o sistema em Malha Fechada no Simulink utilizando a aproximação de Padé de 1ª ordem, considerando o valor de K_p adotado na subseção anterior. Utilize os blocos de *Transfer Fcn* (paleta *Continuous*) e de *Gain* (paleta *Math*). Não se esqueça de ajustar o bloco *step* (paleta *sources*) com amplitude adequada.

3. Monitore a partir do *scope* (paleta *sinks*) o sinal de controle (variável manipulada) enviado a planta, verifique se está dentro dos limites do atuador, 0 a 100%.

4. Acrescente um bloco de saturação (*saturation*, paleta *discontinuities*) entre o sinal de controle e a planta. Ajuste os limites do bloco para que sinal de controle fique limitado entre 0 e 100%.

5. Implemente novamente o sistema em Malha Fechada no Simulink, utilizando agora a aproximação de Padé de 2ª ordem para representar o atraso de transporte e com o bloco de saturação.

6. No próprio Simulink e com a utilização de um *scope* com dois sinais de entrada, compare a variável de processo (temperatura θ) obtida nas duas formas de representação da malha de controle (Aproximação de Padé de 1ª e 2ª ordem, ambos com bloco de saturação).

7. Exporte para o Matlab a resposta (variável do processo, θ) do sistema de controle em malha fechada com bloco de saturação obtido pelas duas formas de representação. Utilize o bloco *To workspace* da paleta *sink.*

8. Em um mesmo gráfico, compare as respostas em malha fechada obtidas anteriormente (item 5) da seção 5.2) com a fornecida pelo Simulink, quando o bloco de saturação é inserido no sistema de controle em malha fechada.

9. Identifique as principais diferenças entre as respostas. Quais os valores do máximo sobressinal, tempo de subida e de assentamento (2%) em cada resposta?

5.4 Formato de Entrega

Excepcionalmente neste roteiro deverá ser submetido no AVA, apenas o script $*.m$ e arquivo $*.slx$ do Simulink, denominados como *roteiro1Nome1Nome2Nome3.m* e *roteiro1Nome1Nome2Nome3.slx*. Acrescente na forma de comentário no *script* a resposta dos itens referentes as análises dos gráficos solicitadas no roteiro.

Referências Bibliográficas

[1] LABTRIX INDUSTRIA DE BANCADAS TECNICAS LTDA. *KIT DIDATICO PARA ESTUDO DE CONTROLE DE TEMPERATURA MODELO XL01*. LABTRIX INDUSTRIA DE BANCADAS TECNICAS LTDA, Rua Joaquim Sanfins, 160 - Pq. Empresarial A. Corradini - Itatiba/ SP - CEP: 13.257-587 - Fone / Fax: (11)4534-4292, 2013.