Experiência 1

Identificação da Função de Transferência de Sistemas Não-Lineares em Pontos de Operação

Objetivos: O objetivo principal deste experimento é a identificação experimental de um processo não linear de 1ª ordem em diferentes pontos de operação. Verificar também diferenças entre a resposta ascendente e descendente.

1-Introdução

Em sistemas reais, características não lineares estão sempre presentes. A consideração destas não linearidades é necessária a partir do momento em que sua influência afeta o comportamento do sistema como um todo. Em função do comportamento particular de determinados tipos de não-linearidades, bem como da dificuldade de modelamento e tratamento matemático de funções de ordem superior, é conveniente a utilização de técnicas de identificação experimentais que permitam caracterizar os sistemas, i.é, obter uma aproximação por função de transferência. Conceitos de controle, como constantes de tempo e ganho, que descrevem a resposta de sistemas dinâmicos no domínio do tempo, aplicam-se, a rigor, apenas a sistemas lineares. Em um sistema não-linear, essas características variam com o ponto de operação.

2-Identificação de um processo de nível em malha fechada

Um sistema de nível de líquido de seção transversal A [m^2], com vazão volumétrica de entrada q_i [m^3/s], terá uma vazão de saída $q_o = k\sqrt{h}$ [$m3/s$], onde k [$m^{2,5}/s$] é uma constante que caracteriza a válvula de saída, Figura 1. A coluna de água no reservatório, h, será descrita pela seguinte equação diferencial não linear:

$$A\frac{dh}{dt} = q_i - k\sqrt{h} \qquad (1)$$

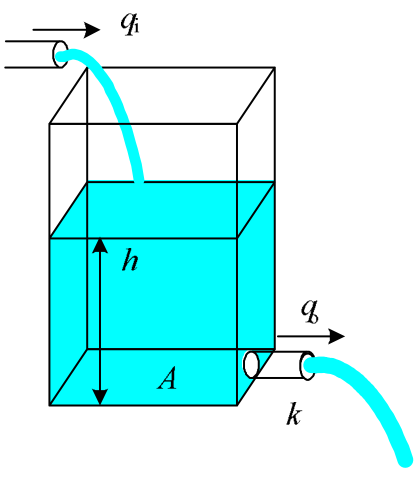


Fig.1 Sistema de nível de líquidos de 1ª ordem

Em um ponto de operação $\bar{h}$ (ver apêndice), o sistema linearizado (modelo de pequenos sinais) tem a seguinte função de transferência em malha aberta:

$$\frac{\delta H}{\delta Q_i}(s) = G(s) = \frac{K}{sT+1} \qquad (2)$$

Ocorre, no entanto, que em malha aberta não é possível (sem tentativa e erro) levar o sistema ao ponto de operação desejado. Assim, faz-se necessário, fechar a malha com um controlador proporcional (K_p). Este controlador apresenta erro em regime permanente, mas é a opção mais simples para levar um processo “desconhecido” à vizinhança do ponto de operação.

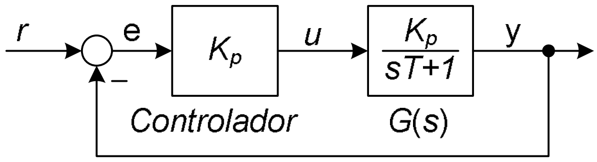


Figura 2 *– Sistema de 1ª ordem em malha fechada.*

A função de transferência do sistema em malha fechada $F(s)$ é dada por:

$$F(s)=\frac{\dfrac{K_p\cdot K}{s\cdot T+1}}{1+\dfrac{K_p\cdot K}{1+s\cdot T}}=\frac{K_p\cdot K}{(s\cdot T+1)+K_p\cdot K}\cdot\frac{(1+K_p\cdot K)^{-1}}{(1+K_p\cdot K)^{-1}}$$

$$F(s)=\frac{\dfrac{K_p\cdot K}{1+K_p\cdot K}}{s\dfrac{T}{1+K_p\cdot K}+1}=\frac{K_f}{sT_f+1} \qquad (3)$$

Onde os parâmetros de malha fechada são dados por $K_f=\dfrac{K_p\cdot K}{1+K_p\cdot K}$ e $T_f=\dfrac{T}{1+K_p\cdot K}$.

Assim, utilizando (3) e o valor de K_p, é possível calcular os parâmetros de malha aberta (K e T) a partir dos parâmetros de malha fechada (K_f e T_f).

A obtenção do ganho de pequenos sinais K_f e a constante de tempo T_f estão ilustrados na figura 3. Neste exemplo $K_f = \Delta h/\Delta r$ = (.8746-.6914)/(1.1-.9); T_f = 9.4*seg*.

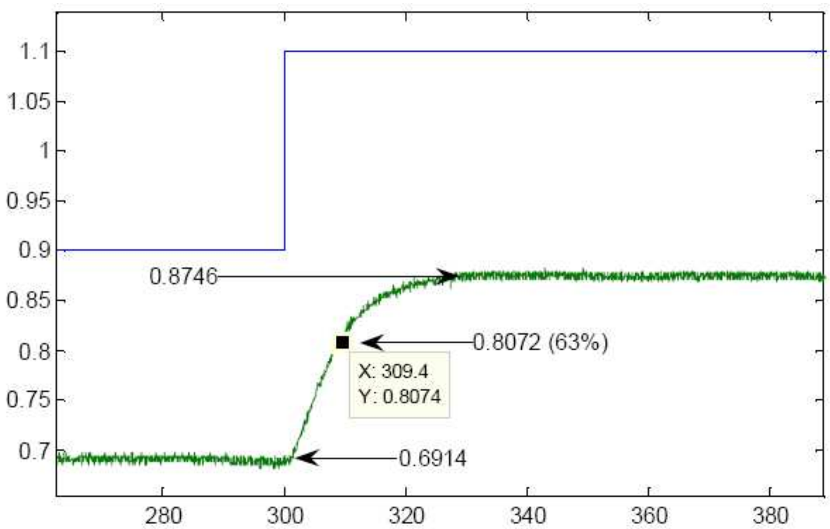


Figura 3 – *Obtenção de Kf e T_f a partir da resposta do sistema.*

3- Realização do Experimento

A disponibilização de experimentos remotos na Internet tornou-se prática comum e permite o “compartilhamento” de recursos entre universidades e centros de pesquisa de todo o mundo. Neste experimento será utilizado o processo de nível de líquido disponibilizado pelo *Automatic Control Telelab* da Universidade de Siena na Itália:

http://www.dii.unisi.it/~control/act/home.php

O procedimento geral do experimento baseia-se na aplicação de uma onda quadrada como referência, e acompanhamento da forma de onda da resposta. A partir da resposta temporal é possível determinar a constante de tempo e o ganho proporcional em cada ponto de operação.

1) Cada grupo de alunos utilizará um valor de K_p que é função dos últimos dígitos das respectivas matrículas ($d1, d2, d3$): $K_p = 5 + 5*(d1 + d2 + d3)/27$.
   Para grupos de dois alunos: $K_p = 5 + 5*(d1 + d2)/18$.
2) Acessar o ACT, selecionar *Experiments.* Selecionar *Level Control – Control Experiment.*
3) Preecher *Personal Data.* Selecionar *P.I.D. Controller,* Run Experiment.
4) Habilitar todos os painéis.
5) No painel do controlador, selecionar *Kd*= 0, *Ki*= 0, *Kp* conforme o item 1.
6) No painel da referência, selecionar: *center 0,5; Amplitude 0,1; Freq. 0,005*
7) Executar o experimento e salvar o arquivo .mat (após 10*min*).
8) Repetir os itens 6 e 7 para *center 1,5.*

4 – Relatório

O relatório dever ser sucinto e conter os seguintes itens:

1) Breve descrição do processo e do procedimento utilizado (max. 1 página),
2) Curvas obtidas e tabela de resultados segundo o Ponto de Operação (PO):

	PO1+ r:0.4→0.6	PO1- r:0.6→0.4	PO2+ r:1.4→1.6	PO2- r:1.6→1.4
K				
T				
$\bar{h}$ ($h$max-$h$min)/2				

3) Em que condições de operação o sistema de nível de líquidos pode ser considerado linear? (Parâmetros do controlador, faixa de operação, amplitude da referência, sinal do atuador).
4) Explique, com argumentos da física, por que o sistema enche mais rápido quando está quase vazio (menor constante de tempo em PO1).
5) Que procedimento poderia ser utilizado, para verificar matematicamente, que a operação de um sistema de primeira ordem é de pequenos sinais (ver Ogata).

Apêndice

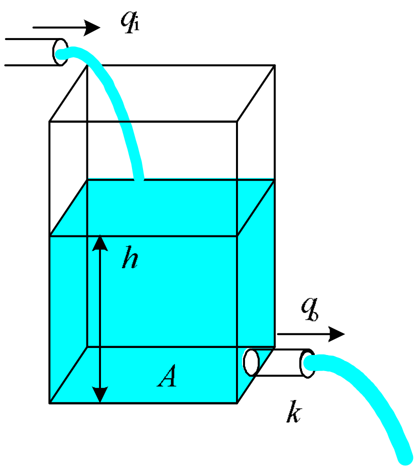
Modelamento matemático do processo de nível de 1ª ordem

$q_o = k\sqrt{h}$ → Lei de Bernoulli

$\boxed{A\dfrac{dh}{dt} = q_i - k\sqrt{h}}$ → Equação diferencial não linear que descreve o processo.

$$f(x) = f(\bar{x}) + \left.\frac{df}{dx}\right|_{\bar{x}} (x - \bar{x})$$

$$\sqrt{h} = \sqrt{\bar{h}} + \frac{1}{2\sqrt{\bar{h}}}(h - \bar{h}) = \sqrt{\bar{h}} + \frac{1}{2\sqrt{\bar{h}}}\delta h$$



$$A\frac{dh}{dt} = q_i - k\sqrt{\bar{h}} - \frac{k}{2\sqrt{\bar{h}}}(\delta h)$$

$$\frac{d\delta h}{dt} = \frac{d(h - \bar{h})}{dt} = \frac{dh}{dt}; \qquad \delta q_i = q_i - k\sqrt{\bar{h}};$$

$$No\ ponto\ de\ operacao: \bar{q}_i = k\sqrt{\bar{h}}$$

$$\boxed{\begin{array}{l} \dfrac{d\delta h}{dt} = -\dfrac{k}{2A\sqrt{\bar{h}}}\delta h + \dfrac{\delta q_i}{A} \\ y = \delta h \end{array}}$$

Obs.: Para simplificar a notação consideramos: $a = \dfrac{k}{2A\sqrt{\bar{h}}}$

$$(s + a)\delta H = \delta Q_i / A \quad \Rightarrow \quad \boxed{\frac{\delta H}{\delta Q_i} = \frac{1/aA}{s/a + 1} = \frac{K}{sT + 1}}$$