

A instrumentação virtual como ferramenta de aprendizagem sobre sistemas de controle multivariáveis

The virtual instrumentation as learning tool for multivariable control systems

Andrei Henrique Patriota Campos¹, Thamiles Rodrigues de Melo², Jaidilson Jό da Silva³ e José Sérgio da Rocha Neto³

¹ Graduação em Engenharia Elétrica; ² Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica – PPGEE – COPELE; ³ Departamento de Engenharia Elétrica – DEE, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, 58429-900, Campina Grande – PB, Brasil

E-mail: {andrei.campos, thamiles.melo}@ee.ufcg.edu.br,
{jaidilson, zesergio}@dee.ufcg.edu.br

Resumo: Neste artigo, apresenta-se uma aplicação da instrumentação virtual como ferramenta de projeto e análise de um sistema de controle multivariável em uma plataforma experimental. Tal plataforma foi construída em escala laboratorial, para o estudo do processo de formação de incrustação em tubos industriais. O modelo de simulação implementado no *software* LabVIEW possibilitou a aprendizagem das técnicas de sintonia selecionadas para a estrutura de controle descentralizada em estudo. Assim, este modelo pode ser incorporado como tópico especial na disciplina de instrumentação eletrônica.

Palavras-chave: Sistemas Multivariáveis; Técnicas de Sintonia de Controladores; Instrumentação Virtual.

Abstract: This paper presents an application of virtual instrumentation as a design and analysis tool of a multivariable control system on an experimental platform. This platform was built in laboratory scale to study the fouling formation process into the industrial tubes. The simulation model implemented in LabVIEW software enabled the learning of the tuning techniques selected for the decentralized control structure in study. Thus, this model can be incorporated as a special topic in the discipline of electronic instrumentation.

Keywords: Multivariable Systems; Controllers Tuning Techniques; Virtual Instrumentation.

1. INTRODUÇÃO

Um instrumento virtual, também conhecido como VI (*Virtual Instrument*), é definido como um computador equipado com *software* para uso de medição e controle, representando uma alternativa para instrumentos convencionais caros com *display* e eletrônica analógica [1].

Sistemas com duas entradas e duas saídas designados como TITO (*Two-Input Two-Output*) são normalmente encontrados em processos multivariáveis industriais. Dessa forma, muitos estudos têm focado nos processos TITO, de forma a desenvolverem métodos de controle para sistemas multivariáveis [2].

Neste trabalho descreve-se uma aplicação da instrumentação virtual como ferramenta de projeto e análise de um sistema de controle multivariável para uma plataforma experimental dedicada ao estudo do processo de formação de incrustação em tubos industriais.

2. PLATAFORMA EXPERIMENTAL

Com o intuito de monitorar e controlar o processo de incrustação, um conjunto de transdutores e um CLP (Controlador Lógico Programável) foram utilizados em uma plataforma construída em escala laboratorial.

2.1. Características Estruturais

A plataforma é constituída por tubos de aço galvanizado, um principal de 2" de diâmetro e outros dois de 1" e 1 1/2 ". Cada tubo possui um sensor de vazão do tipo *Turbine Flowmeters*, medindo na escala de 3 a 38 LPM (Litros Por Minuto) e um de pressão do tipo *Strain Gauge*, com o fundo de escala igual a 2,5 bar.

O fluido utilizado é a água, que está armazenada em um tanque de 100 litros e tem sua temperatura medida por meio de um sensor LM35 de encapsulamento TO-92 submerso.

Quanto aos atuadores, há uma válvula de controle do tipo globo de 2 vias, sede simples e diâmetro nominal de 2" com atuador elétrico e um inversor de frequência, que age no controle da velocidade de rotação do motor bomba através da variação da frequência.

A plataforma experimental montada é ilustrada na Fig. 1.

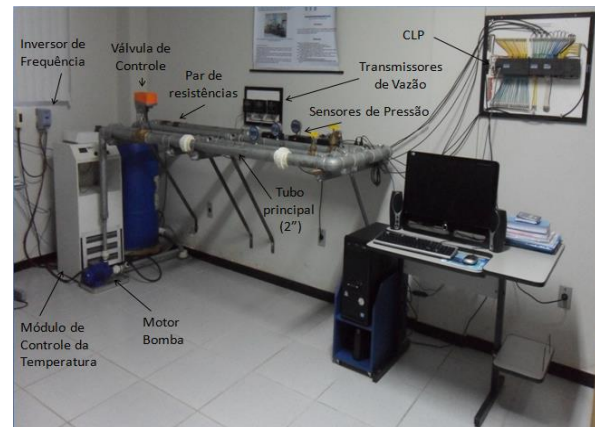


Figura 1. Fotografia da plataforma experimental.

2.2. Estrutura de Controle Descentralizada

O sistema TITO em estudo consiste em quatro plantas SISO (*Single-Input Single-Output*), a saber: Vazão-Tensão, Vazão-Corrente, Pressão-Tensão e Pressão-Corrente, sendo a Vazão e a Pressão as variáveis controladas e a Tensão e a Corrente as variáveis manipuladas.

Na Fig. 2 é ilustrado um diagrama de blocos de um sistema TITO genérico.

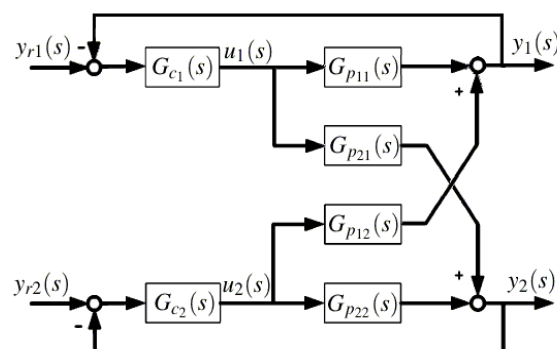


Figura 2. Representação em diagrama de blocos de um sistema TITO genérico.

No sistema em estudo, as matrizes da planta $G_p(s)$ e do controlador $G_c(s)$ são dadas conforme (1) e (2), respectivamente.

$$G_p(s) = \begin{bmatrix} G_{p11}(s) & G_{p12}(s) \\ G_{p21}(s) & G_{p22}(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{y_1(s)}{u_1(s)} & \frac{y_1(s)}{u_2(s)} \\ \frac{y_2(s)}{u_1(s)} & \frac{y_2(s)}{u_2(s)} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{0,8661e^{-1,014s}}{13,34s+1} & \frac{1,149e^{-14,66s}}{6,712s+1} \\ \frac{0,06029e^{-2,056s}}{0,8454s+1} & \frac{0,0489e^{-3,814s}}{7,463s+1} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$G_c(s) = \begin{bmatrix} G_{c1}(s) & 0 \\ 0 & G_{c2}(s) \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} K_{ci} \cdot \left(1 + \frac{1}{\tau_{Ii}s} + \tau_{Di}s\right) & 0 \\ 0 & K_{ci} \cdot \left(1 + \frac{1}{\tau_{Ii}s} + \tau_{Di}s\right) \end{bmatrix} \quad (2)$$

2.3. Técnicas de Sintonia para Sistemas TITO

O método BLT (*Biggest Log Modulus Tuning*) para sintonia de sistemas de controle multivariável é análogo ao método do critério de estabilidade de *Nyquist* para sistemas SISO [3]. Neste método, o primeiro passo é o cálculo do ganho K_u e da frequência ω_u no limite de estabilidade de ZN (*Ziegler-Nichols*), para cada uma das plantas $G_{pii}(s)$. Em seguida, é escolhido um fator de ajuste F , com valor entre 2 e 5, de modo que os parâmetros do controlador PI $B_i(s)$ sejam obtidos conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Técnica de Sintonia BLT.

Controlador $B_i(s)$	K_{ci}	τ_{Ii} (seg)
Proporcional-Integral (PI)	$\frac{K_{ZNi}}{F}$, com $K_{ZNi} = \frac{K_{ui}}{2,2}$	$F \cdot \tau_{ZNi}$, com $\tau_{ZNi} = \frac{2\pi}{1,2 \cdot \omega_{ui}}$

No método IMC (*Internal Model Control*) generalizado, o controlador multivariável ideal $K_i(s)$ para a i -ésima malha é [4]

$$K_i(s) = \frac{Q_i(s)}{1 - G_{ii}(s) \cdot Q_i(s)} = \frac{[G_{ii}(s)]^{-1}}{(\lambda_i + 1)^{n_i} - G_{ii}(s)} \quad (3)$$

onde: $Q_i(s)$ é o controlador IMC, $G_{ii}(s)$ e $G_{ii+}(s)$ são parte mínima e não-mínima de $G_{pii}(s)$, respectivamente; λ_i é uma constante ajustável relacionada à estabilidade e ao desempenho do sistema, e n_i é um valor escolhido para que o sistema seja realizável.

Fazendo a expansão de *Maclaurin* $f_i(s)$ igual a $K_i(s)s$ e truncando os 3 primeiros termos em s , o controlador ideal é interpretado como um controlador PID padrão, conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Técnica de Sintonia IMC Generalizado.

Controlador $K_i(s)$	K_{ci}	τ_{Ii} (seg)	τ_{Di} (seg)
Proporcional-Integral-Derivativo (PID)	$f'_i(0)$	$-\frac{[G'_{ii+}(0) - n_i \lambda_i] K_{ci}}{[G^{-1}(0)]_{ii}}$	$\frac{f''_i(0)}{2K_{ci}}$

3. MODELO DE SIMULAÇÃO NO SOFTWARE LABVIEW

Após o projeto dos controladores descentralizados, um modelo de simulação foi implementado no *software* LabVIEW para testes.

3.1. Módulo LabVIEW Control Design and Simulation

O módulo *LabVIEW Control Design and Simulation*, do fabricante *National Instruments Corporation*, é integrado à plataforma LabVIEW no qual permite simular sistemas dinâmicos, projetar controladores e implementar sistemas de controle em *hardware* de tempo real [5]. Além disso, com este módulo é possível integrar medições na identificação de sistemas, calibração e validação de modelos.

3.2. Implementação do Modelo de Simulação

No diagrama de blocos do LabVIEW, os blocos utilizados do módulo foram: *Control & Simulation loop* (1); *Transfer Function* (4) e *Transport Delay*

(4), na aba *Continuous Linear Systems; Step Signal (2); Simulation Time Waveform (2); PID Advanced (2) e Convert PID parameters (2)* no modo *Academic*. Já no painel frontal, os *set-points* e os sinais das variáveis controladas foram visualizados por meio do *Waveform Chart (2)*.

4. RESULTADOS OBTIDOS

A simulação para o método BLT, com $F = 3$, $G_{c1}(s) = 3,511 \cdot (1 + \frac{1}{13,55s})$ e $G_{c2}(s) = 0,192 \cdot (1 + \frac{1}{96,2s})$, resultou em um controle inapropriado, visto que o *set-point* não foi atingido, conforme apresentado na Fig. 3. Para outros valores do parâmetro F , o sistema em malha fechada mostrou-se instável.

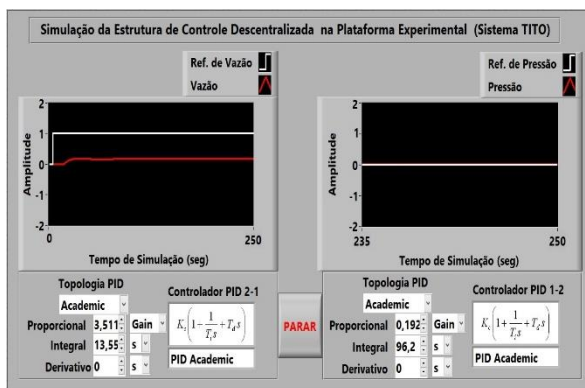


Figura 3. Simulação da estrutura de controle descentralizada com o método BLT.

Já na simulação do método IMC generalizado, o parâmetro λ_i foi definido com valor igual ao atraso para as malhas 2-1 e 1-2 devido resultar em um melhor desempenho em cada controlador. Na Fig. 4, uma simulação é ilustrada com $\lambda_1 = 2,056$ e $\lambda_2 = 14,66$; $G_{c1}(s) = 5,483 \cdot (1 + \frac{1}{0,6763s} + 0,255s)$ e $G_{c2}(s) = 0,308 \cdot (1 + \frac{1}{5,1626s} + 1,939s)$.

5. CONCLUSÃO

O uso da instrumentação virtual como ferramenta de aprendizagem sobre sistemas de controle multivariáveis possibilitou verificar em simulação se os controladores projetados seriam adequados

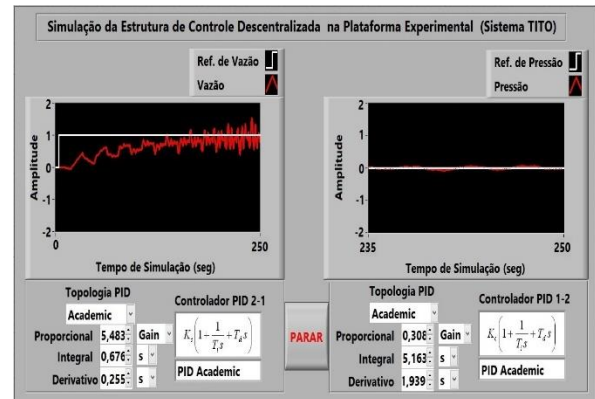


Figura 4. Simulação da estrutura de controle descentralizada com o método IMC generalizado.

na implementação física, uma vez que caso alguma das técnicas de sintonia estudadas resultasse em um sistema de malha fechada instável, os transdutores da plataforma poderiam ser danificados, colocando em risco a integridade do sistema como um todo.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Smiesko V and Kovác K 2004 Virtual Instrumentation and Distributed Measurement Systems *Journal of Electrical Engineering* **55** 50-56.
- [2] Liu T, Zhang W and Gu D 2005 Analytical Multiloop PI/PID Controller Design for Two-by-Two Processes with Time Delays *Ind. Eng. Chem. Res.* **44** 1832-41.
- [3] Luyben W L 1986 Simple Method for Tuning SISO Controllers in Multivariable Systems *Ind. Eng. Chem. Process. Des. Dev.* **25** 654-60.
- [4] Lee M, Lee K, Kim C and Lee J 2004 Analytical Design of Multiloop PID Controllers for Desired Closed-Loop Responses *Ind. Eng. Chem. Process. Des. Dev.* **50** 7 1631-35.
- [5] National Instruments Corporation 2015 Módulo LabVIEW Control Design and Simulation. Disponível em: <<http://www.ni.com/labview/cd-sim/pt/>>. Acesso em: ago. 2015.