

## **IDENTIFICAÇÃO DE UMA NOVA FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA E ADAPTAÇÃO DE UM KIT SERVOMECANISMO, UTILIZANDO-SE O SOFTWARE MATLAB.**

**Marlon José do Carmo** – marlon@leopoldina.cefetmg.br

**Luis Claudio Gambôa Lopes** – gamboa@leopoldina.cefetmg.br

**Carlos Henrique da Silva Júnior** – henrique44w@gmail.com

**Mariana Souza Aguiar Amaral Junqueira** – mariana.amaralj@yahoo.com.br

**Ângelo Rocha de Oliveira** – a.oliveira@ieee.org

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, *Campus III*

Rua José Peres 558 - Centro

36700-000 – Leopoldina – Minas Gerais

***Resumo:** Este trabalho apresenta uma adaptação para o controle de um Kit servomecanismo no qual se detectou uma alteração na sua função de transferência, informada pelo fabricante devido a um natural desgaste temporal. Utilizaram-se métodos adequados às características do processo que serão detalhadas, posteriormente, e foi usado o software Matlab para o seu controle.*

***Palavras-chave:** Servomecanismo, Métodos de sintonia, Mínimos quadrados não recursivo.*

### **1 INTRODUÇÃO**

A Didática Geral é uma ciência teórico-prática que pesquisa, experimenta e sugere formas de comportamento a serem adotadas no processo da instrução, com vistas à eficiência e eficácia da ação educativa (VALENTE, 2009).

A questão imprescindível é tornar o laboratório um ambiente cada vez mais usual onde os conhecimentos práticos e teóricos tornam-se complementares a fim de que haja subsídio para se desenvolver pesquisas, visando solidificar os conhecimentos teóricos.

A relação teoria e prática exigem uma renovação constante das ferramentas de ensino no laboratório (DEMO, 1998). Porém, a escassez de recursos é o principal impedimento para o fomento do ambiente laboratorial, portanto é importante que haja condições para a realização de práticas e desenvolvimento de projetos ligados ao ensino de controle.

A partir deste contexto, houve a necessidade de uma reformulação da função de transferência de um kit didático servomecanismo desenvolvido pela Datapool. Este kit é utilizado nas aulas práticas de controle do CEFET-MG Campus Leopoldina.

Portanto, há necessidade de se desenvolver uma nova função de transferência decorrente do fato de que com o tempo os elementos do kit sofreram um desgaste, alterando assim, as características da planta, impedindo a comunicação com o software Matlab.

## 2 DESCRIÇÃO DO KIT SERVOMECANISMO

Um servo-mecanismo é um sistema de controle cuja finalidade é a de amplificar ou transmitir a distância uma variável de comando (CELLIS, 2006). Nas indústrias podemos encontrar alguns equipamentos que são utilizados com muita frequência como: braços robóticos, CNC's, correias transportadoras e sistemas de rádio controle. Todos esses exemplos têm uma característica em comum, fazem uso do dispositivo servo-mecanismo. O deslocamento angular e a rotação, que são grandezas tipicamente encontradas nesses sistemas, precisam ser controlados, dessa forma cada sistema possui características diferenciadas de operação.

O kit é constituído de um amplificador linear transistorizado, usado para acionamento do servo-motor; conectores de acesso aos sinais do módulo, para ligação a controladores; Servo-potenciômetro (transdutor de posição angular); transdutor de velocidade angular (tacômetro de corrente contínua); servo-motor de corrente contínua, com redução de velocidade que movimenta hastes para simular cargas mecânicas (misturador, braço de robô, etc.); condicionadores de sinais (amplificadores, filtros, conversores V/I, I/V, etc.) para os transdutores e driver; protoboard para montagens de controladores; fontes de alimentação. Cartões com controladores PID analógicos para controle de velocidade e posição são disponibilizados juntamente com o kit, podendo também ser adquirido, opcionalmente, sistema de aquisição de dados para interface dos módulos com o microcomputador, conforme “Figura 1” (DATAPOOL, 2011).



Figura 1- Kit servomecanismo Datapool.

## 3 COMUNICAÇÃO DE DADOS VIA MATLAB

O Matlab é um software utilizado para simulação e programação comumente usado na engenharia. É preciso transformar os códigos fontes desenvolvidos no Matlab para outras linguagens de programação como o C++, devido ao fato desta última poder comunicar-se diretamente com as portas do PC.

Entretanto, é possível fazer o Matlab comunicar-se com as portas do PC, utilizando um programa desenvolvido na linguagem C++ e uma função do Matlab que permite interfaceá-lo

com o programa desenvolvido. Utiliza-se o comando “*mex*” do para tal fim (MATHEWORKS, 2007).

A seqüência de procedimentos é a seguinte: primeiro desenvolve-se o programa em linguagem C++ que permita a comunicação com as portas do PC, salvando o mesmo com a extensão cpp. Este programa deve ser salvo na pasta work do Mat.Lab.; depois se realiza a seqüência de comandos, que realizará o controle e/ou leituras externas. É necessário definir um compilador C++ previamente instalado no PC para a realização do processo de compilação, para isso, utiliza-se o comando “*mex - do setup*”.

O programa desenvolvido em linguagem C++ tem como finalidade acessar e permitir a troca de dados entre um software específico, ou o próprio executável desenvolvido em C++ e um dispositivo conectado a esta porta. O processo de compilação gera um arquivo DLL, o qual é responsável por fazer o Matlab comunicar com as portas do PC (CARMO, 2008).

## 4 MÍNIMOS QUADRADOS NÃO RECURSIVOS

Todo o processo físico pode ser caracterizado por uma equação diferencial oriunda da modelagem fenomenológica ou modelagem por identificação (GEROMEL, 2004). Entretanto, a forma mais comum de se representar um sistema é a utilização da representação frequencial, ou seja, no domínio da frequência. Esta representação, quando exprime a relação da saída para a entrada tem-se uma função de transferência no domínio da frequência. Do ponto de vista computacional, é mais importante representar uma função de transferência, representativa de um processo no domínio da frequência complexa por um processo no domínio da frequência complexa discreta. Para se representar uma função de transferência discreta, linear considere um processo físico caracterizado por uma entrada  $u(t)$ , uma saída  $y(t)$ , por uma perturbação  $e(t)$ , e com uma função de transferência da forma:

$$A(z^{-1})Y(z) = z^{-d}B(z^{-1})U(z) + E(z) \quad (1)$$

Onde:

$$\begin{aligned} A(z^{-1}) &= 1 + a_1z^{-1} + \dots + a_{na}z^{-na} \\ B(z^{-1}) &= b_0 + b_1z^{-1} + \dots + b_{nb}z^{-nb} \end{aligned} \quad (2)$$

Pode-se representar a função de transferência discreta por uma equação a diferenças, possibilitando assim, a simulação computacional:

$$\begin{aligned} y(k) &= -a_1y(k-1) - a_2y(k-2) - \dots - a_{na}y(k-na) + \dots \\ &\dots b_0u(k-d) + b_1u(k-d-1) + \dots + b_{nb}u(k-d-nb) + e(k) \end{aligned} \quad (3)$$

Da Equação (3) pode-se observar que se tem  $na+nb+1$  parâmetros a estimar; para se determinar  $a_i$  e  $b_j$ , devem-se utilizar as medidas de entrada e saída do processo; o termo  $e(k)$  representa o erro de modelagem, erro de medição ou ruído na saída do tipo estocástico ou determinístico.

É possível reescrever a Equação (3), definindo-se dois vetores: um de medida,  $\varphi(k)$ , e outro de parâmetros,  $\theta(k)$ , então, tem-se:

$$y(k) = \varphi^T(k)\theta(k) + e(k) \quad (4)$$

Onde:

$$\varphi^T(k) = [-y(k-1) - y(k-2) \cdots - y(k-na) \ u(k-d) \cdots u(k-d-nb)] \quad (5)$$

$$\theta^T(k) = [a_1 \ a_2 \ a_3 \ \cdots \ a_{na} \ b_0 \ b_1 \ \cdots \ b_{nb}] \quad (6)$$

Como são realizadas N medidas, as quais são utilizadas para se determina  $a_i$  e  $b_j$ , pode-se representar a Equação (6), matricialmente:

$$Y = \phi\theta + E \quad (7)$$

Tem-se que o vetor de saída é dado por:

$$Y^T = [y(0) \ y(1) \ y(2) \ \cdots \ y(N-1)] \quad (8)$$

A estimativa do vetor de parâmetros,  $\hat{\theta}$ , pode ser obtida pelo procedimento dos mínimos quadrados. A melhor previsão da saída do sistema é dada por:

$$\hat{Y} = \phi \hat{\theta} \quad (9)$$

O estimador de Markov, também denominado de estimador dos mínimos quadrados ponderados, é obtido minimizando o seguinte critério:

$$J = \min_{\hat{\theta}} \left\| Y - \phi \hat{\theta} \right\|_w^2 \quad (10)$$

$$J = \left[ Y - \phi \hat{\theta} \right]^T W \left[ Y - \phi \hat{\theta} \right] \quad (11)$$

Os elementos de W,  $W(i)$  são a ponderação em cada componente do erro e em função da precisão da medida. Derivando-se a Equação (11) e igualando-se a zero, tem-se:

$$\frac{\partial J}{\partial \hat{\theta}} = -2(Y^T W \phi)^T + 2\phi^T W \phi \hat{\theta} = 0 \quad (12)$$

Pode-se, então, calcular o estimador dos mínimos quadrados:

$$\hat{\theta} = [\phi^T W \phi]^{-1} \phi^T W Y \tag{13}$$

O estimador dos mínimos quadrados não recursivo é obtido admitindo que:

$$\hat{\theta} = \left[ \frac{1}{\sigma^2} \right] [\phi^T \phi]^{-1} \phi^T [\sigma^2] Y \tag{14}$$

$$\hat{\theta} = [\phi^T \phi]^{-1} \phi^T Y$$

Estimada a função de transferência discreta, a determinação da função de transferência contínua é obtida pelas relações de backward, forward ou trapezoidal (MORAES, 2004). Basicamente o procedimento para o estimados dos mínimos quadrados não-recursivo, o qual é off-line, consiste em injetar na planta um sinal do tipo PRBS(Pseudo Random Binary Sequence) com amplitude  $\pm 1$ . Esta condição é necessária para que se tenha um sinal suficientemente excitado. Os valores de saída são armazenados em um vetor para aplicar, logo após, as equações referentes ao método.

**5 EXEMPLO DE CONTROLE DO SERVO MECANISMO PELO MATLAB**

Neste experimento foi realizado um controle de posicionamento angular. O manual da Datapool informou a seguinte função de transferência da planta:

$$G(s) = \frac{160}{s(s+7)(s+8)} \tag{15}$$

É possível realizar o controle do mecanismo a partir desta função de transferência, mas como há uma alteração nas características da planta, portanto foi necessária a utilização de outros métodos de sintonia.

A representação do diagrama de blocos do Simulink é mostrada na “Figura 2”:

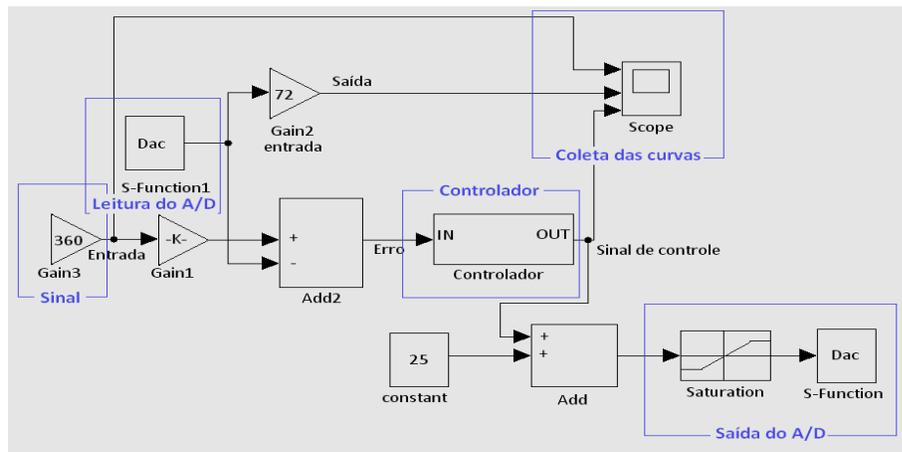


Figura 2 - Diagrama de blocos do Simulink.

O servo-potenciômetro gira continuamente operando de forma linear até 345°, aproximadamente. Entre 345° e 360° há uma zona denominada zona morta na qual o mesmo não responde. Temos, então, que o sinal de referência deve variar entre valores maiores do que zero e menores do que 4,79V.

Através do Simulink, realizou-se a comunicação entre o servomecanismo e o software Matlab. Um circuito eletrônico foi usado na porta paralela com a finalidade de se obter a conversão analógico-digital e digital-analógica (“Figura 3”).

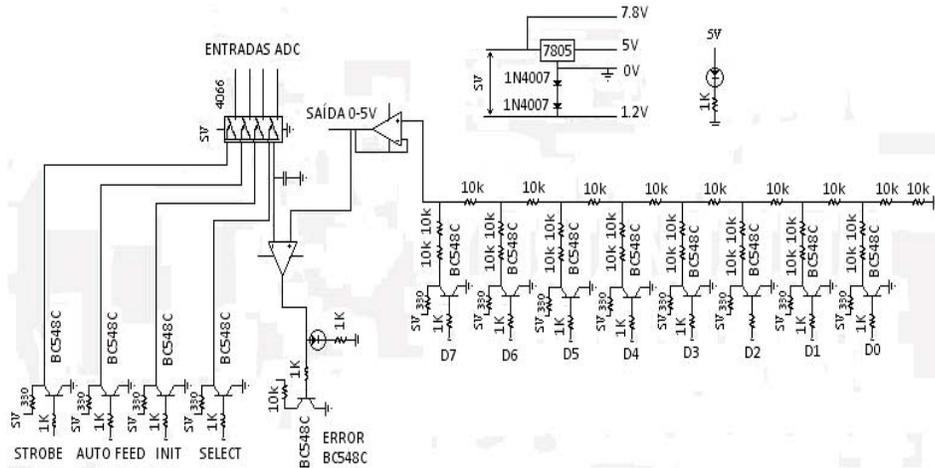


Figura 3 - Circuito eletrônico utilizado para conversão A/D e D/A.

Injetou-se um sinal em malha fechada para se identificar a função de transferência da planta. Com o uso do método acima, dois vetores foram gerados, nos quais foram aplicados os procedimentos descritos na seção 2. Finalmente, o procedimento dos mínimos quadrados não recursivos foi utilizado. As funções de transferência em malha fechada e em malha aberta da planta e do transdutor foram geradas a partir do comando C2d do Mat.Lab. Essas funções foram manipuladas aonde se chegou aos seguintes resultados:

$$G(s)H(s) = \frac{-3637s + 6,755 \cdot 10^6}{s^2 + 8640s + 3,453 \cdot 10^5} \quad (16)$$

$$G_{MF}(s) = \frac{2468s + 6,464 \cdot 10^7}{s^2 + 2313s + 1,329 \cdot 10^7} \quad (17)$$

$$G(s) = \frac{2468s^3 + 7,699 \cdot 10^7 s^2 + 3,41 \cdot 10^{11} s + 4,59 \cdot 10^4}{s^4 + 1,095 \cdot 10^4 s^3 + 3,362 \cdot 10^7 s^2 + 1,156 \cdot 10^{11} s + 4,588 \cdot 10^{12}} \quad (18)$$

$$H(s) = \frac{-1,473s^3 - 670,7s^2 - 1,32 \cdot 10^7 s + 3,63 \cdot 10^{10}}{s^3 + 3,119 \cdot 10^4 s^2 + 1,381 \cdot 10^8 s + 1,86 \cdot 10^{11}} \quad (19)$$

Posteriormente, utilizaram-se os métodos de sintonia de Cohen-Coon e de Ziegler-Nichols em malha fechada. E obteve-se, a resposta ao degrau em malha aberta. Na malha aberta não foi possível fazermos o controle do mecanismo, porém em malha fechada obteve-se o controle (“Figura 4”).

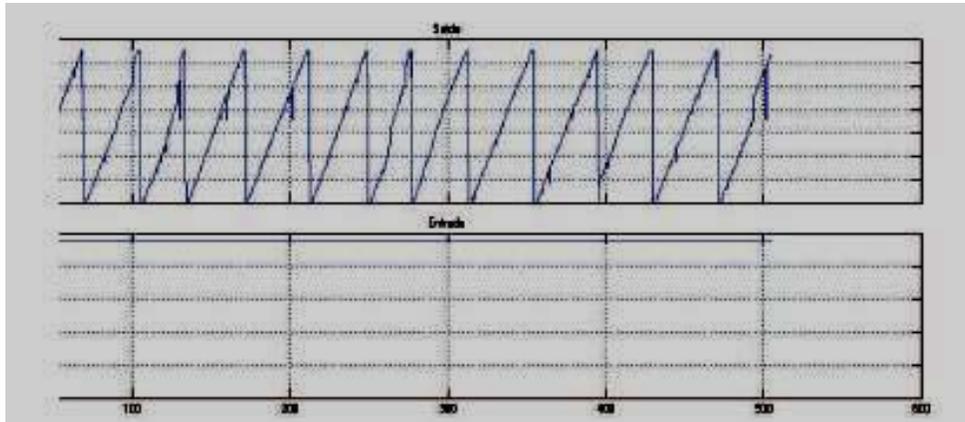


Figura 4 - controle em malha aberta do servomecanismo

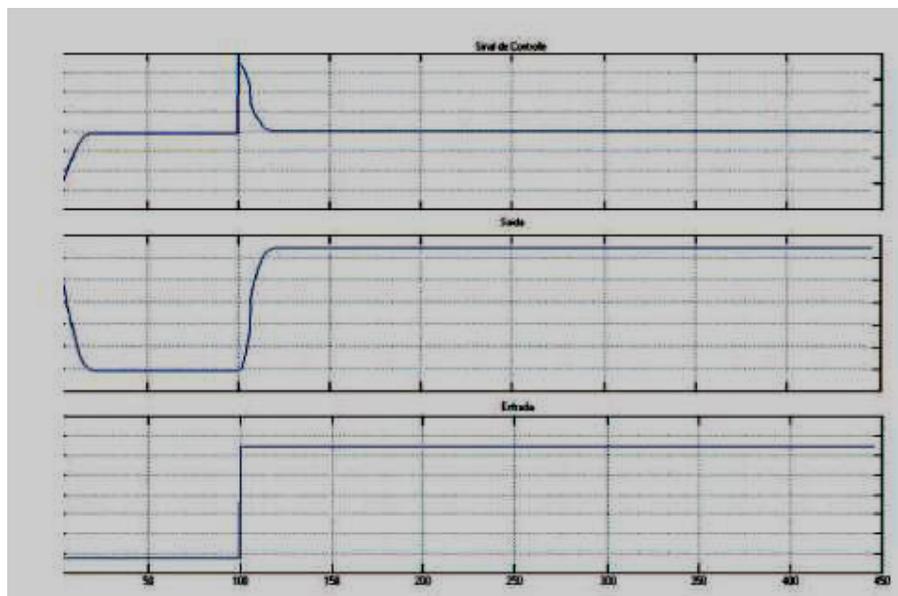


Figura 5 - controle utilizando PID, método de sintonia de Cohen Coon

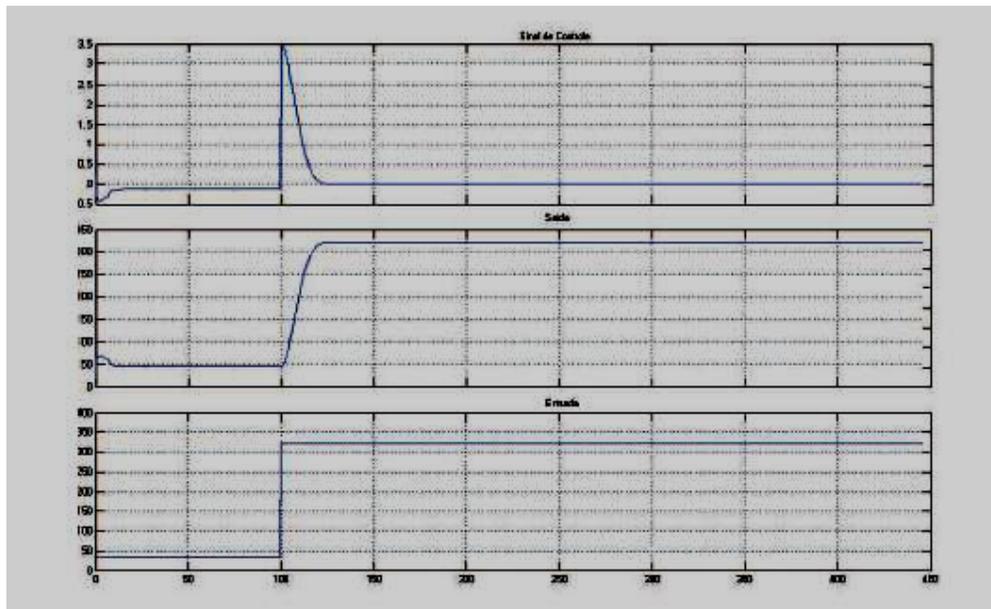


Figura 6 - controle utilizando PID, método de sintonia de Ziegler e Nichols

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentaram-se neste trabalho, as características de um servo-mecanismo, onde as características da planta foram modificadas com o decorrer do tempo. Desenvolveu-se através dos procedimentos dos mínimos quadrados não recursivos e de processos de sintonia uma função de transferência mais adequada ao sistema, tornando assim, possível o uso destes equipamentos nas aulas práticas de controle.

### *Agradecimentos*

Os autores agradecem ao MEC/SESu, FNDE, CAPES, FAPEMIG, Fundação CEFETMINAS e CEFET-MG pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARMO, M. J. Adaptação de um kit de servo-mecanismo para o ensino de controle de processos utilizando o software Matlab. **Anais: XII Encontro de modelagem computacional**, 2008.

CELLIS. Análise comparativa do desenho normativo de instituições reguladoras do presente e do passado. **Revista de Administração Pública**, 2006.

DATAPPOOL. Servomecanismo 2208 Datapool. **Manual: Manual de experiências, calibração e manutenção**. Datapool, Itajubá, 2006.

DEMO, P. Educar pela pesquisa. Campinas: Autores associados, 1998.

MATH WORKS. Simulink: Dynamic System simulation for matlab. MathWorks, 2007.

VALENTE. Didática: ferramenta cotidiana do professor. **Disponível em:** <  
<http://jornaldedebates.uol.com.br/debate/como-melhorar-qualidade-educacao-no-brasil/artigo/didatica-ferramenta-cotidiana-professor/132>>, acessado em 27 de Junho de 2011

## **IDENTIFICATION OF A NEW TRANSFER FUNCTION AND ADAPTATION OF A KIT SERVO-MECHANISM USING THE SOFTWARE IS MATLAB.**

***Abstract:** This paper presents an adaptation for the control of a kit servo mechanism in which it was detected a change in its transfer function, informed by the manufacturer due to natural wear over time. We used appropriate methods to the characteristics of the process that will be and detailed later used the software Matlab for this control.*

***Key-words:** Servomechanism, Tuning methods, Non-recursive least squares.*