

ANÁLISE DA RESPOSTA DO MÉTODO DE SINTONIA DOS RELÉS COM LABVIEW

ANALYSIS OF THE RELAY TUNING METHOD WITH LABVIEW

TIAGO SOUZA DOS SANTOS^{1*}, FERNANDO VINICIUS GONÇALVES MAGRO²

1. Aluno do curso de graduação em Engenharia Elétrica da UNINGÁ – Centro Universitário Ingá; 2. Professor assistente do curso de Engenharia Elétrica da UNINGÁ – Centro Universitário Ingá.

*Rua Dom João VI, 28, Jardim Panorama, Sarandi, Paraná, Brasil. CEP: 87113-050. tiagodenise@hotmail.com

Recebido em 18/09/2016. Aceito para publicação em 10/11/2016

RESUMO

Neste experimento será controlada a altura de um carretel flutuador suspenso por um micro ventilador de ar fechado em um tubo translúcido. A parte inferior do tubo onde está instalado o ventilador faz com que o ar ascendente arraste o carretel para cima, com o interesse de neutralizar a força da gravidade. A velocidade do ventilador pode ser controlada para regular o fluxo de ar, causando uma mudança na altura do carretel flutuador. Um controlador PID será projetado e sintonizado para seguir as trajetórias de referência e rejeitar perturbações a fim de estabilizar o sistema.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilizar, controle, PID, sintonia, flutuador.

ABSTRACT

In this experiment the height of a float spool suspended by a micro fan of air will be controlled in a translucent tube. The bottom of the tube where the fan is installed causes the rising air to draw the spool upwards, with the aim of neutralizing the force of gravity. The fan speed can be controlled to regulate the airflow, causing a change in the height of the float spool. A PID controller will be designed and tuned to follow the reference trajectories and reject disturbances in order to stabilize the system.

KEYWORDS: Stabilize, control, PID, tuning, float.

1. INTRODUÇÃO

A utilização da automação industrial tem sido cada vez maior, e sua utilização vem aumentando a eficiência dos processos. Essa prática não atinge apenas a produção em si, substituindo o trabalho braçal por robôs e máquinas computadorizadas, mas permite enormes ganhos de produtividade ao integrar tarefas distintas com a elaboração de projetos, o gerenciamento administrativo e a produção¹.

Atualmente, a grande maioria dos controladores industriais utilizam técnicas de controle como o “On-Off”

ou PID (Proporcional Integral e Derivativo) para o controle de processos. Entretanto, para um controle preciso de uma variável, como por exemplo, pressão, vazão ou posição, há um grande desafio em sintonizar os parâmetros de um controlador do tipo PID. Tais parâmetros garantem um processo estável, seguro e eficiente. Principalmente quando não se conhece o modelo matemático que descreve a dinâmica do processo².

Neste sentido, o presente artigo busca demonstrar a aplicação de um método experimental de sintonia de controladores de PID, utilizando para isto, uma planta de testes. Avalia-se a possibilidade de utilização do Método dos Relés como um critério de sintonia do controlador PID para um problema de posicionamento, buscando-se obter um conjunto de parâmetros que resulte em uma resposta com o mínimo possível de ultrapassagem (*overshoot*).

A planta de testes construída para simular um sistema de posicionamento consiste em um tubo vertical transparente, de acetato, com um flutuador suspenso em seu interior. A altura do flutuador pode ser ajustada manipulando a rotação de motor *brushless* (sem escovas) acoplado a uma hélice. Para realizar a aquisição e a coleta de dados, utilizam-se ferramentas e dispositivos de baixo custo, como o *Arduino*[®] e um sensor ultrassônico. As tarefas de exibição e tratamento de dados são realizadas por uma interface gráfica construída em *Labview*[®].

A metodologia empregada baseia-se em uma pesquisa experimental, precedida de uma fundamentação teórica sobre o controle clássico, aplicando métodos de sintonia em uma planta piloto, observando-se as diferentes respostas do sistema quando submetido a um sinal de teste do tipo degrau.

Contextualização histórica e revisão bibliográfica

A história do controle realimentado está intimamente ligada aos problemas práticos que precisaram ser resolvidos em determinadas etapas da história da humanidade.

Segundo Lewis (1982)³, um dos momentos históricos que mais influenciaram na orientação do controle realimentado foi a preocupação dos gregos e árabes com o registro apurado do tempo, entre 300 a.C. e 1200 d.C.

De maneira semelhante, outros eventos exerceram importante contribuição na área do controle automático, como a revolução industrial, que teve princípio no terceiro quarto do século XVIII e a corrida espacial iniciada em 1957, impulsionada pelo concomitante avanço da computação digital. Neste período, a teoria de controle começava a ser escrita na linguagem da matemática. Assim, o período anterior a 1868 pode ser considerado a pré-história do controle automático⁴.

A revolução industrial na Europa foi marcada pela invenção de avançados moinhos de grão, fornos, caldeiras e da máquina a vapor. Um problema associado a tal máquina é o da regulação da sua velocidade de revolução. Neste contexto, em 1787, o engenheiro inglês Thomas Mead patenteou um dispositivo de controle de velocidade, que usava o pêndulo centrífugo (*flyball*), conforme a Figura 1. Esse dispositivo empregava duas esferas suspensas que giravam em torno de um eixo e que eram arremessadas para fora pela força centrífuga. Assim, uma velocidade constante era alcançada automaticamente.

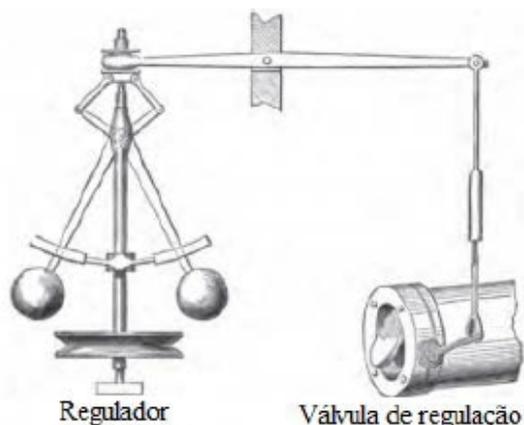


Figura 1. Ilustração de um regulador centrífugo. Fonte:(VILLAÇA; SILVEIRA, 2013)⁴.

Villaça e Silveira (2013)⁴ afirmam que os projetos de sistemas de controle realimentados durante a revolução industrial eram desenvolvidos por tentativa e erro, acompanhados de muita intuição. Em 1868, o físico inglês James C. Maxwell explicou as instabilidades apresentadas pelo regulador *flyball* usando equações diferenciais para descrever o sistema de controle. De forma independente, em 1877 o russo Ivan Vishnegradsky analisou a estabilidade de reguladores usando equações diferenciais. Seu compatriota Alexander Lyapunov (1892) estudou a estabilidade de equações diferenciais não lineares usando uma noção generalizada de energia, introduzindo conceitos e técnicas que ainda são utilizadas.

Bennett (1979)⁵ reivindica-se que o primeiro controlador de processos de três termos: proporcional + integral + derivativo (PID) foi introduzido pela *Taylor Instrument Company* em 1936. O processo de selecionar parâmetros do controlador que garantam uma dada especificação de desempenho (sintonia), para cada um dos três termos, foi desenvolvido por John G. Ziegler (1942) e Nathaniel B. Nichols, então funcionários da *Taylor Instrument Company*.

Segundo Desborough (2002)⁶, mais de 95% dos sistemas de controle das indústrias de processo contínuo (indústrias petroquímicas, cimenteiras, siderúrgicas, papel e celulose, entre outras) utilizam controladores PID. O diagrama de blocos, que ilustra a configuração do controlador ilustrado na Figura 2.

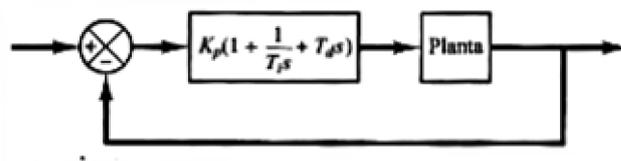


Figura 2. Controlador PID. Fonte: (OGATA, 2003).

Ziegler e Nichols (1942)⁷ sugeriram regras práticas para a sintonia de controladores PID (o que significa ajustar os valores de K_p , T_i e T_d), baseadas na resposta experimental ao degrau. Segundo Ogata (2003)⁸, tais regras são úteis quando o modelo matemático da planta é desconhecido (embora possam ser aplicadas ao projeto de sistemas com modelos conhecidos). As regras sugerem um conjunto de valores de K_p , T_i e T_d que vão proporcionar uma operação estável do sistema. De acordo com Ogata (2003)⁸, o sistema resultante pode exibir um máximo sobre-sinal grande devido à resposta do degrau, o que pode ser inaceitável. Nesse caso, precisamos fazer uma série de sintonias finas até que um resultado aceitável seja obtido.

Os efeitos na resposta do sistema em malha fechada, ao se aumentar cada um dos coeficientes PID estão resumidos no Quadro 1.

Quadro 1. Efeito do Aumento dos Parâmetros PID.

	K_p	K_i	K_d
Tempo Subida	Diminui	Diminui	Muda pouco
Overshoot	Aumenta	Aumenta	Diminui
Tempo de Acomodação	Muda pouco	Aumenta	Diminui
Erro em regime permanente	Diminui	Elimina	Nenhum

Fonte: (SERAPIÃO, 2011)⁹.

Os ganhos do controlador PID sugeridos por Ziegler-Nichols (1942)⁷ estão listados na Tabela 1. O valor de K_c (ganho crítico) é obtido experimentalmente e representa o ganho quando o processo cicla continuamente,

apresentando uma oscilação sustentada. O período desta oscilação é representada por T_c ⁸.

Tabela 1: Ganhos controlador PID Ziegler-Nichols

Controlador	K_p	T_i	T_d
P	0,5 K_c	∞	0
PI	0,4 K_c	0,8 T_c	0
PID	0,6 K_c	0,5 T_c	0,125 T_c

Fonte:(OGATA, 2003)⁸.

O Método dos Relés consiste em um procedimento conveniente de identificação das grandezas críticas K_c e T_c . Tal método foi introduzido por Aström e Hängglund (1984)¹⁰ e tem sido amplamente utilizado como ferramenta de sintonia on-line de controladores, devido à sua simplicidade¹¹. O experimento é realizado em malha fechada e não é necessário um conhecimento prévio da dinâmica do processo. O método consiste em utilizar um controle em malha fechada, como mostra a Figura 3.

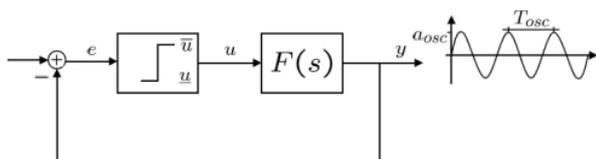


Figura 3. Sistema em malha fechada com relé. Fonte: (CAMPESTRINI, 2006)¹³.

A implementação de simuladores dinâmicos no software Labview (Laboratório de Instrumentação Virtual de Engenharia em Bancada), desenvolvido pela National Instruments, apresenta-se como uma ferramenta versátil, pois a mesma possibilita o usuário trabalhar em diversas plataformas, como por exemplo, ambiente Windows e Linux. Sua funcionalidade em aplicações de simulação, aquisição de dados e controle, automação de laboratório e monitoramento de processos permite a atuação na área de controle de processos com um alto grau de confiabilidade, diferenciando-se das outras linguagens por utilizar um código de programação e apresentação denominada Linguagem G – Graphics¹⁴.

A Figura 4 mostra o bloco PID, disponível no Labview e seus respectivos parâmetros de entrada e saída.

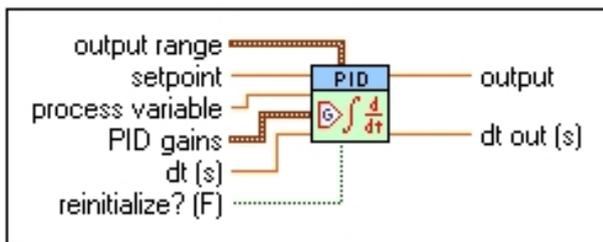


Figura 4. VI da paleta do Labview.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A planta experimental selecionada para simular um processo de posicionamento é constituída de um flutuador no interior de um tubo vertical, com um formato de

"carretel", cujo objetivo é controlar a altura do objeto por meio da variação do fluxo de ar aplicado em sua extremidade inferior. O desenvolvimento desse sistema compreende a construção de *hardware* e *software* necessário para desempenhar essa função. A unidade de processamento necessária para a implementação dos algoritmos de controle digital baseia-se no *Arduino® Uno®*. O atuador do sistema é um motor *CC Brushless*, acionado por um driver controlador, conhecido como ESC (*Electronic Speed Controller*).

Para controlar o ESC, usamos um sinal digital do tipo PPM (*Pulse Position Modulation*), por meio de um VI (*Instrumento Virtual*) da biblioteca do *LabView®*. A detecção da posição do flutuador é realizada com o uso de um sensor ultrassônico HC-SR04. Este módulo possui um circuito pré-fabricado com emissor e receptor acoplado e quatro pinos (*VCC*, *Trigger*, *ECHO*, *GND*) para medição da posição do flutuador no interior do tubo. O algoritmo de controle foi desenvolvido a partir das técnicas de controle clássico, resultando no desenvolvimento de um controlador digital do tipo PID.

O *software* necessário para o controle, desenvolvido na plataforma de controle e simulação *Labview®*, possui funcionalidades importantes para análise e verificação do processo, permitindo a modificação de parâmetros de controle em tempo real, durante a execução do mesmo e, ainda, transferindo dados e informações obtidas pelo sistema, para *Microsoft Excel®*. A Figura 5 mostra o protótipo implementado para coleta realização da simulação e coleta dos dados.



Figura 5. Processo experimental – flutuador. Fonte: Autoria Própria.

Aström e Hängglund (1984)¹⁰ descreveram um método de sintonia automática que é complementar ao método Ziegler-Nichols, pela ciclagem contínua. Dessa

forma, o sistema foi configurado conforme o diagrama de blocos ilustrado na Figura 6.

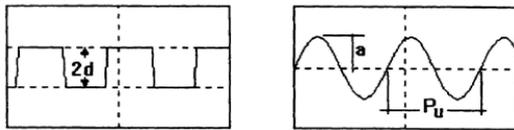
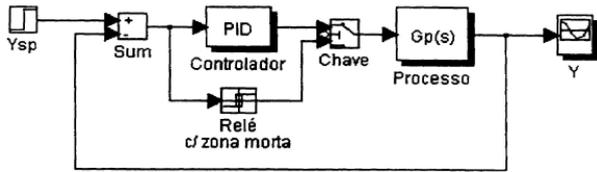


Figura 6. Auto-sintonizador à relé com zona morta.((SENAI/ES), 1999)

De acordo com o Método dos Relés proposto por Aström e Hängglund (1984)¹⁰, a planta foi inicializada em malha fechada, recebendo um sinal de controle diretamente do Relé e os dados foram capturados e exportados para o *Microsoft Excel*[®] para análise.

3. RESULTADOS

Uma vez que o sistema encontra-se configurado conforme a Figura 6, altura do flutuador apresentou a seguinte oscilação, plotada na Figura 7.

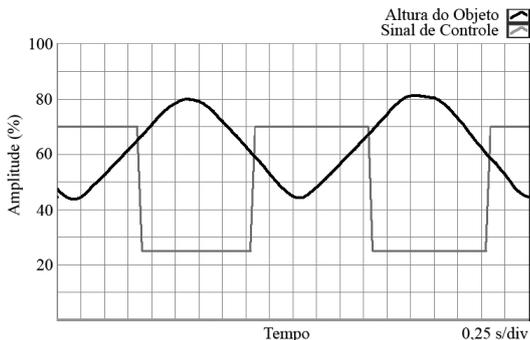


Figura 7. Oscilação obtida pelo Método do Relé. Fonte: Autoria própria.

Analisando-se a Figura 7 e de acordo com o Método proposto por Aström e Hängglund (1984)¹⁰, o período crítico (T_c) pode ser obtido medindo-se o período de oscilação do processo (altura do objeto), ou seja, 2,5 segundos. O ganho crítico (K_c) é calculado pela Equação 1, em que "d" é a amplitude do sinal do relé e "a" é a amplitude de oscilação do processo.

$$K_c = \frac{4d}{\pi a} = 1,637$$

Equação 1 - Cálculo do Ganho Crítico

A partir de K_c e T_c obtém-se os parâmetros do con-

trolador K_p , T_i e T_d , utilizando-se o critério de Ziegler-Nichols conforme apresentado anteriormente na Tabela 1.

$$K_p = 0,6 \times 1,637 = 0,982$$

$$T_i = 0,5 \times 0,0416 = 0,0208$$

$$T_d = 0,125 \times 0,0416 = 0,0052$$

Os valores calculados foram inseridos no controlador e a resposta do sistema a um sinal degrau é exibida na Figura 8.

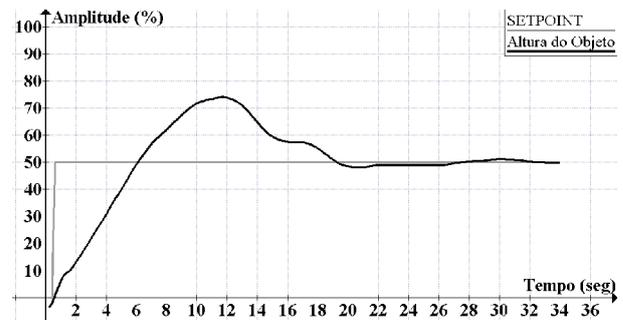


Figura 8: Resposta ao degrau. Fonte: Autoria própria.

A sintonia realizada pelo Método do Relé apresentou um sistema estável, porém a resposta ao sinal degrau foi insatisfatória. O *Setpoint* (ponto de ajuste) foi determinado em 50%, entretanto, pela da Figura 8, é possível observar que o mesmo atingiu uma altura máxima aproximada de 75% da altura total do tubo antes de se estabilizar permanentemente no ponto de ajuste, resultando, dessa forma, em uma máxima ultrapassagem percentual (*overshoot*) de aproximadamente 25%.

Uma vez que um dos principais objetivos do presente trabalho é obter uma resposta com o mínimo possível de *overshoot*, foram realizados sucessivos ajustes nos parâmetros do controlador, conforme as orientações do Quadro 1. Conseqüentemente, após os ajustes, o sistema atingiu o objetivo proposto, ou seja, uma resposta satisfatória com um mínimo possível de *overshoot*, conforme demonstrado na Figura 9.

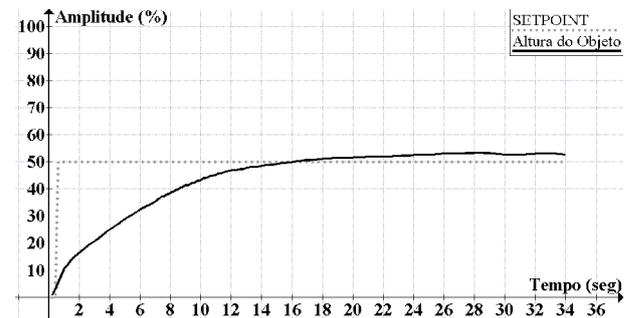


Figura 9. Resposta obtida após o ajuste fino. Fonte: Autoria própria.

4. CONCLUSÃO

Foi possível elaborar um projeto conceitual que

comprova a eficácia do Método de sintonia a Relé, com o auxílio da tabela proposta por Ziegler Nichols. Os ganhos obtidos pelo método foram suficientes para estabilizar o sistema, porém a sintonia não fez com que o sistema apresentasse uma resposta satisfatória com um mínimo possível de ultrapassagem. A eliminação do *overshoot* só foi alcançada após uma sintonia manual dos parâmetros, conhecendo-se os efeitos que cada ajuste provoca na resposta do sistema (posição do objeto).

O fato da planta ser sensível às perturbações, como por exemplo, variações do fluxo de ar na entrada e saída do tubo, atrito do flutuador com a parede do tubo e turbulências ocasionais, tornaram a tarefa ainda mais desafiadora, características essas que são facilmente encontradas em sistemas reais nas indústrias, em seus diversos segmentos. A metodologia utilizada na sintonia pode e vem sendo aplicada universalmente ao longo dos anos, e mostraram-se extremamente úteis.

De toda forma, conclui-se que os ganhos obtidos pelo Método do Relé para o problema proposto (de posicionamento) é válido apenas para uma estimativa inicial dos ganhos do controlador PID. Os ganhos ótimos, que fornecem uma resposta satisfatória, com um menor *overshoot* ou outros compromissos de desempenho, devem ser obtidos de forma experimental, iterativa, observando-se os efeitos que as variáveis K_p , T_i e T_d provocam na resposta do sistema, principalmente quando não se conhece as equações que governam o sistema.

REFERÊNCIAS

- [01] De Redes D, *et al.* AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL. 2003.
- [02] Ribeiro M. A. Fundamentos da Automação Fundamentos da Automação. v. 1, p. 221, 2003.
- [03] Lewis F.L. Applied Optimal Control and Estimation. Prentice-Hall, 1982.
- [04] Villaça M, Silveira J. Revista Ilha Digital. Design, v. 4, p. 3–12, 2013.
- [05] Bennett S. *A history of control engineering 1800-1930*. London: Peter Peregrinus, 1979.
- [06] Desborough, L; Miller, R. Increasing customer value of industrial control performance monitoring - Honeywell's experience. AICHE Symposium Series, n. 326, pp. 169-189, 2002.
- [07] Ziegler JG, Nichols NB. Optimum Settings for Automatic Controllers. Transactions of the A.S.M.E. p. 759 - 765, nov. 1942.
- [08] Ogata, K. Engenharia de Controle Moderno, 2003.
- [09] Serapião A. Busca Harmônica Aplicada à Sintonia Automática de Controladores PID. Anais do X Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, v. X, n. 2001, p. 99–104, 2011.
- [10] Åström K, Hagglund T. Automatic tuning of simple regulators with specifications on phase and amplitude margins. Automatica, [S.l.], v.20, n.5, p.645–651, 1984.
- [11] Johansson, K. H.; James, B.; Bryant, G.; Åström, K. J. Multivariable controller tuning. In: AMERICAN CONTROL CONFERENCE, 17., 1998, Philadelphia, PA, USA. Proceedings. . . [S.l.: s.n.], 1998. v.6, p.3514–3518.
- [12] Campestrini L. Sintonia de Controladores PID Descentralizados Baseada no Método do Ponto Crítico. 2006.
- [13] Campos JAR. et al. Labview como ferramenta de simulação, monitoração e controle de processos. 2004.
- [14] (SENAI/ES), A. L. D. L. O. Apostila de Fundamentos de Controle de Processo - SENAI. p. 72, 1999.
- [15] CAMPESTRINI, L. Sintonia de Controladores PID Descentralizados Baseada no Método do Ponto Crítico. 2006.
- [16] OGATA, K. Engenharia de Controle Moderno, 2003.
- [17] SERAPIÃO, A. Busca Harmônica Aplicada à Sintonia Automática de Controladores PID. Anais do X Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, v. X, n. 2001, p. 99–104, 2011.