



CONTROLE DE UMA PLANTA DE NÍVEL UTILIZANDO CONTROLADOR PID SINTONIZADO PELO MÉTODO DE RESPOSTA EM FREQUÊNCIA

Maurício Wesley da Silva Freire⁽¹⁾; João Paulo Carvalho Henriques⁽²⁾; Egidio Raimundo Neto⁽³⁾;

¹Instituto Nacional de Telecomunicações, Engenharia de Controle e automação.

mauriciof@gea.inatel.br

²Instituto Nacional de Telecomunicações

joao.paulo@inatel.br

³Instituto Nacional de Telecomunicações

egidio.neto@inatel.br

RESUMO

Este artigo tem como objetivo aplicar um técnica de sintonia de controladores PID a uma planta de primeira ordem. Será utilizado o método de compensação por resposta em frequência, na qual são estipulados os critérios de projeto e calculados, a partir deles, os parâmetros proporcional, integral e derivativo. Com a utilização deste método, compensação por resposta em frequência, percebe-se que os critérios de desempenho foram atendidos, como por exemplo, tempo de acomodação e máximo pico. Além disso, o presente trabalho apresenta a implementação do controlador utilizando CLP a uma planta de nível presente no laboratório de automação industrial do Instituto Nacional de Telecomunicações.

Palavras-chave: Controle PID, Método de Compensação por Resposta em Frequência, CLP, Planta de Nível.

INTRODUÇÃO

Existem na literatura muitas técnicas de controle de equipamentos e processos industriais. Esses métodos trazem eficiência, estabilidade, precisão, robustez e confiabilidade ao processo. Um dos controladores mais utilizados na indústria é o PID (Proporcional Integral e Derivativo) [1]. Na literatura encontra-se diferentes métodos de sintonia a partir dos quais é possível estimar os valores de ganhos para que o controlador atue no sistema fazendo com que o sistema responda de acordo com as especificações de projeto. O presente trabalho descreve uma aplicação prática de um sistema de Nível na qual o controlador PID é sintonizado pelo método de compensação por resposta em frequência. O controlador foi embarcado em um controlador lógico programável utilizando a linguagem Texto Estruturado.

MATERIAL E MÉTODOS

A. Controlador Lógico Programável

O controlador lógico programável, conhecido como CLP foi desenvolvido em 1968 a fim de atender as necessidades existentes na indústria, principalmente na automobilística. Com a evolução da eletrônica e computação, no início da década de 80 surgiram os primeiros CLP's capazes de realizar leituras analógicas e implementação de algoritmos de controle clássico, como por exemplo, o controlador PID (Proporcional, Integral Derivativo) tornando aplicável nas mais diversas áreas de indústria [2].

Para a realização das funções de controle e lógica sequencial, o CLP é composto internamente por cinco blocos básicos como apresentado na Figura 1.

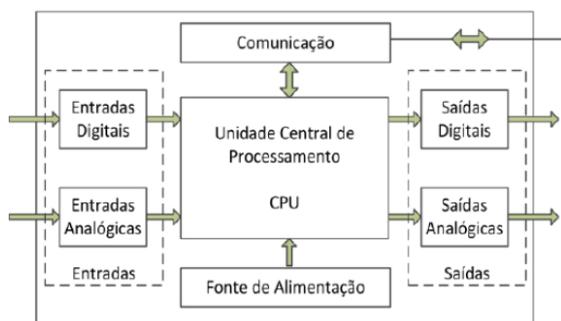


Figura 1 – Diagrama em blocos do CLP [3].

Como apresentado na Figura 1, a CPU (*Central Processing Unit*) é responsável pela execução do programa embarcado e gerenciamento. Também é possível identificar os módulos de entrada e saída na qual é responsável pela interface CPU e elementos de campo [4].

B. Sistema de Nível

O Sistema de Nível consiste em manter constante uma quantidade de produto dentro de um recipiente. Este sistema monitora o valor do nível e a partir das especificações de projeto, alteram a vazão de entrada ou saída de produto no tanque [5].

A ação de controle $u(k)$ atua sobre a alimentação elétrica da bomba localizada no tanque inferior alterando a vazão do líquido bombeado para o tanque superior e consequentemente a altura da coluna de líquido $y(k)$. A altura da coluna de líquido do tanque superior é medida utilizando um sensor ultrassônico, e a adequação do sinal do sensor ultrassônico para o padrão de automação (0~10V) é feita utilizando uma plataforma de microcontrolador [6]. A Figura 2 apresenta, genericamente, a planta de Nível.

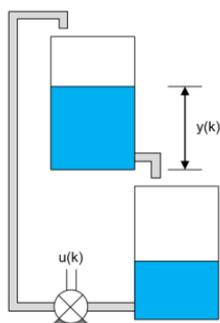


Figura 2 – Planta Didática de Nível

O funcionamento da planta é descrito sendo controlada pelo CLP através da Figura 3

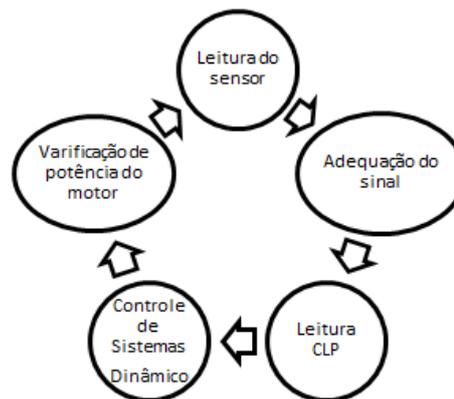


Figura 3 – Funcionamento e controle da planta de nível

C. Controlador PID e Compensação por resposta em Frequência

O controlador PID, dentre os controladores utilizados nos sistemas e processos nas áreas de engenharia de controle, são amplamente aplicados devido a facilidade de implementação e sintonia [7]. A técnica de controle PID baseia-se na leitura de uma entrada, no cálculo dos ganhos K_p (proporcional), K_i (integral) e K_d (derivativo) e na soma desses ganhos para obter a resposta de saída [1]. Os ganhos citados podem ser obtidas por tentativa e erro, simulações ou por métodos analíticos como Compensação por Resposta em Frequência. O método analítico Compensação por Resposta em frequência resume em procedimentos básicos envolvendo cálculos com números complexos [7], na qual através das equações (1), (2), (3) e (4) é possível estimar os valores dos parâmetros. Também é necessário algumas especificações de projeto, como por exemplo, margem de fase e margem de ganho que estão relacionados com máximo pico, tempo de acomodação do sistema analisado.

$$|C(j\omega)| = \frac{1}{|G(j\omega)|} \quad (1)$$

$$\angle C(j\omega) = -180 + MF - \angle G(j\omega) \quad (2)$$

$$|C(j\omega)| = \sqrt{k_p^2 + \left[\frac{k_i}{\omega} + k_d\omega\right]^2} \quad (3)$$

$$\angle C(j\omega) = \arctg \left[\frac{(k_d\omega - \frac{k_i}{\omega})}{k_p} \right] \quad (4)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

D. Obtenção da Função de transferência

A obtenção da função de transferência da planta de Nível utilizada no presente trabalho é estimada utilizando o Método de Smith, na qual o Dr. Cecil Smith propôs que os valores do atraso de transporte e o ganho em malha aberta sejam selecionados de tal modo que o modelo e as respostas reais coincidam em dois pontos na região de elevada mudança. A Figura 4 apresenta a resposta ao degrau em malha aberta da planta de Nível.



Figura 4 – Resposta ao degrau

A partir da resposta ao degrau, estimou-se a função de transferência do sistema em malha aberta:

$$G(s) = \frac{0.2}{138.15s + 1} \quad (1)$$

E. Sintonia do Controlador PI pela Compensação por Resposta em Frequência

Para o sistema de Nível será utilizado um controlador do tipo PI, com a finalidade de impor erro nulo em regime permanente para uma entrada do tipo degrau e rejeitar eventuais perturbações.

Como especificações no domínio da frequência para o controlador em questão têm-se:

$$w_{cg} = 0,08 \text{ rad/s}; MF = 50^\circ$$

A partir desses parâmetros espera-se que o sistema apresente:

$$\xi = 0,4; Mp = 25\%; Ta = 120 \text{ s}$$

Utilizando das equações (1), (2), (3) e (4) do método Compensação por resposta em Frequência estima-se os parâmetros K_i , K_p e K_d

$$K_p = 57.83; K_i = 4.62; K_d = 0$$

F. Controle PI

A Figura 5 apresenta o diagrama de bode do sistema controlado. Percebe-se que as condições iniciais do projeto foram atendidas $MF = 50^\circ$ e $w_{cg} = 0,08 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$.

A Figura 6 apresenta o gráfico simulado da resposta ao degrau unitário para o sistema controlado. É possível perceber que o sistema apresenta um máximo pico de 24% e um tempo de acomodação aproximadamente de 120 segundo, logo percebe-se que este método de sintonia para esse sistema é adequado pois atingiu os requisitos de projeto. A Figura 7 apresenta o gráfico real da resposta ao SetPoint de 9 cm para o sistema controlado. É possível perceber que o sistema apresenta um máximo pico de 8.14% e um tempo de acomodação inferior a 120 segundo, logo percebe-se que este método de sintonia para esse sistema atingiu os requisitos de projeto.

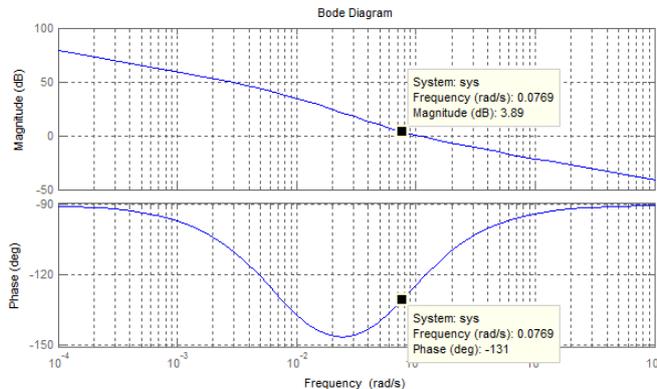


Figura 5 – Diagrama de Bode

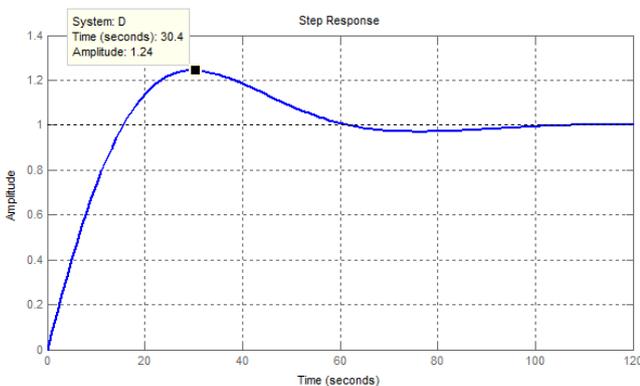


Figura 6 – Resposta ao degrau do sistema controlado simulação



Figura 7 – Resposta ao degrau do sistema controlado

CONCLUSÃO

A proposta apresentada fornece aos usuários uma possibilidade de implementação de controladores PID para sistemas não lineares. Sendo que a partir dos critérios de projetos e parâmetros do controlador o ajuste fino

possa ser realizado, pois os valores calculados atuam como ponto de partida para o melhor desempenho do sistema. Como a planta de nível caracteriza um sistema não linear, o controle apresentado foi concluído satisfatoriamente, atendendo aos requisitos de projeto pré estabelecido.

REFERÊNCIAS

- [1] BASILIO, J. C.; NOGUEIRA, V. N. **Ajuste de Controladores PI e PID para plantas estáveis e instáveis**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Ilha do Fundão, RJ, [Online]. Disponível em: <http://www.dee.ufrj.br/controle_automatico/artigos/sbai2009a.pdf> Acesso em: 06 agosto 2016.
- [2] HENRIQUES, J. P. C.; FERREIRA, L. H. de C.; MACHADO, J. B. **Sistema de controle preditivo multimodelos Fuzzy TS-BFO embarcado em um controlador lógico programável**. 2014. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2014. Disponível em: <<http://repositorio.unifei.edu.br:8080/xmlui/handle/123456789/303>> Acesso em: 01 ago. 2016.
- [3] LUGLI, A. Baratella; SANTOS, M. M. Dias. **Sistemas Fieldbus para automação industrial: DeviceNet, CANopen, SDS e Ethernet**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2009.
- [4] MORAES, C. de; CASTRUCCI, P. de L. **Engenharia de automação industrial**. [S.l.]: LTC, 2007. ISBN 9788521615323.
- [5] OGATA, K. **Engenharia de controle moderno**, 4ª Edição, Rio de Janeiro, RJ, Prentice Hall (Pearson), 2003, 800p.
- [6] OLIVEIRA, L. P.; RODRIGUES, V. L. **Controle e supervisão de uma planta de nível**. 2014. Trabalho de conclusão de curso – Instituto Nacional de Telecomunicações, Santa Rita do Sapucaí, 2014.
- [7] LIMA, I. *et al.* **Projetos, simulações e experiências de laboratório em sistemas de controle**. 1. ed. 2014.