ALOCAÇÃO DE PÓLOS ROBUSTA EM UM SISTEMA DE SECAGEM DE MADEIRA

Allen Hichard Marques dos Santos¹ e Márcia Lissandra Machado Prado²

1. Bolsista PROBIC, Graduando em engenharia de computação, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: allenhichard@hotmail.com

2. Orientadora, Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: marcia.lissandra@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE: Controle Robusto; Intervalos Modais; Sistema Térmico.

INTRODUÇÃO

Na grande maioria das empresas com seguimento em secagem de madeira, o processo de secagem ainda é a céu aberto, produzindo manchas e outros problemas que reduzem o valor comercial das peças (Fernandes et al., 2006). Nessas condições, as indústrias madeireiras investem cada vez mais em processos de secagem forçados via estufa de aquecimento (Carvalho et al., 2015).

O controlador PI pode otimizar o processo de secagem tornando-o eficiente, corrigindo o erro de regime estacionário da saída, além de adequar o processo a atender os requisitos de projeto especificado pelo projetista para a saída, como: sobressinal; erro de regime permanente; tempo de acomodação. O controle ineficiente da temperatura pode acarretar em perda de rendimento do processo, produto final de baixa qualidade, gastos excessivos, ou até mesmo perda total do produto por carbonização.

Este trabalho tem o objetivo de fazer o projeto de controladores que proporcionem um bom desempenho para o sistema de secagem de madeira utilizando análise intervalar modal (Sainz et al, 2014) para representar as incertezas nos parâmetros, nas especificações e no cálculo dos ganhos dos controladores, tornando-os robustos.

MODELAGEM DO SISTEMA TÉRMICO

A modelagem do sistema térmico em um aquecedor para secagem de madeira foi desenvolvida utilizando o sistema da Figura 1(a), considerando que o reservatório esteja termicamente isolado para eliminar as perdas de calor para o ar em torno do sistema. Além disso, supõe-se que não haja armazenamento de calor no material de isolamento e que o líquido do reservatório seja perfeitamente misturado, de modo que a temperatura seja uniforme. Assim, utiliza-se um único valor para descrever a temperatura do líquido no reservatório e no fluxo do líquido de saída (Ogata, 2010). A função de transferência que descreve o sistema em malha fechada é dada por (1).

$$F(s) = \frac{\theta(s)}{Hi(s)} = \frac{R}{RCs + 1} = \frac{20}{40s + 1} \quad (1)$$

Neste projeto, pretende-se controlar a temperatura de saída do reservatório, através da inserção de calor em função da temperatura de entrada para que a mesma tenha uma saída constante. Sem um controlador, o sistema apresenta instabilidade.

PROJETO DO CONTROLADOR PI TRADICIONAL

Foi realizado o projeto de um controlador PI tradicional com o objetivo de estabilizar a saída e proporcionar uma resposta transitória à entrada degrau de forma rápida e sem erro de regime (Ogata, 2010). Este controlador PI foi desenvolvido utilizando alocação de pólos de forma a atender às especificações de projeto.

Sendo $F(s)$ a função de transferência do sistema de aquecimento e $T(s) = 0,05$ o transdutor que converte a temperatura em calor. O controlador PI foi utilizado em um esquema de realimentação, chamado PI com realimentação do K_p , indicado pela Figura 1(b) para evitar a introdução de um zero indesejado no sistema (Prado e Paz, 2008).

Figura 1: (a) Sistema térmico, (b) Diagrama de blocos do controlador PI com realimentação do K_p .

Para os requisitos do projeto do controlador tradicional foram considerados o tempo de estabelecimento de 30s com critério de 2% e sobre-elevação máxima de 10%. Os valores de coeficiente de amortecimento e frequência natural não amortecida são $\xi = 0,5912$ e $\omega_n = 0,2255$, obtidos conforme Ogata (2010). Desenvolvendo as equações do controlador PI tradicional encontramos $K_p = 9,665$ e $K_i = 2,034$.

PROJETO DO CONTROLADOR PI ROBUSTO

Neste projeto foi considerado que os parâmetros do sistema possuem variação de 10% em seus valores padrões para menos e para mais. Esses parâmetros são definidos com valores padrão $P_1 = 1/C$, $P_2 = 1/RC$, $P_3 = 1/R$. Com a variação nos valores da resistência e capacitância, seus intervalos tornam-se, $[R] = [18, 22]$ e $[C] = [1,8, 2,8]$. Utilizando os parâmetros P_1 , P_2 e P_3 , os intervalos tornam-se, $[P_1] = [0,4545, 0,5556]$, $[P_2] = [0,0207, 0,0309]$, $[P_3] = [0,04545, 0,05556]$. Utilizando análise intervalar modal (Sainz et al, 2014), os intervalos $[P_1]$, $[P_2]$ e $[P_3]$ são considerados próprios, pois para qualquer valor dentro desses intervalos o sistema obedecerá aos critérios de desempenho especificados.

Para os requisitos do sistema foram considerados o tempo de estabelecimento entre 20 e 30 s, com critério de 2%, e sobre-elevação máxima entre 0,015% e 10%. Utilizando análise intervalar modal para o cálculo dos valores das especificações, obtemos: $[\xi] = [0,8007, 0,5912]$ e $[\omega_n] = [0,2498, 0,2255]$.

Aplicando as propriedades e operações da aritmética intervalar modal (Sainz et al, 2014) e a equação da malha fechada do sistema com o controlador, considerando as

variações nos parâmetros e nas especificações, é possível encontrar os intervalos dos ganhos do controlador robusto, $[Kp] = [11,9582, 11.9076]$ e $[Ki] = [2,0212, 2.4620]$.

RESULTADOS

Após resolver as expressões do controlador robusto, foram realizados testes envolvendo as variações dos intervalos especificados. O teste apresenta a resposta do sistema ao degrau unitário para 243 combinações diferentes dentre os valores de parâmetros da planta. Os valores dos parâmetros da planta, P1, P2 e P3, e do controlador, Kp e Ki, foram variados de forma sincronizada para representar os dois extremos dos intervalos e o seu ponto médio. A Tabela 1 mostra os valores dos parâmetros utilizados e a Figura 2 o gráfico com os resultados.

Tabela 1: Especificações da simulação do Controlador PI

Sistema	P1	P2	P3	Kp	Ki
Mín	0,4545	0,0207	0,04545	11,9076	2,0212
Med	0,5051	0,0258	0,05051	11,9329	2.2416
Máx	0,5556	0,0309	0,05556	11,9582	2,4620

Figura 2: (a) Resposta ao degrau unitário do sistema com o PI robusto, (b) Comparação entre controlador Tradicional e Robusto

A Tabela 2 mostra os valores obtidos para Kp e Ki no projeto do controlador tradicional e os valores nos parâmetros da planta adotados para a simulação, além dos valores atribuídos ao controlador PI robusto. Esta simulação mostra vantagens na utilização de controladores robustos em comparação com o tradicional. O controlador PI Robusto apresenta melhor resultado em acompanhar o sinal de entrada, enquanto se ocorrer variações nos parâmetros da planta, o controlador tradicional tende a não responder com as especificações de projeto. Como mostrado na Figura 2(b), onde a curva do controlador tradicional ultrapassa sua máxima sobre-elevação especificada de 10 %.

Tabela 2: Valores adotados na comparação do controlador Tradicional com o Robusto

Sistema	P1	P2	P3	Kp	Ki
Tradicional	0,4545	0,0207	0,04545	9,665	2,034
Robusto	0,4545	0,0207	0,04545	11,9329	2,2416

A saída do sistema com o controlador tradicional visualizada na Figura 2(b) apresenta uma máxima sobre-elevação indesejada de 12%, enquanto o controlador Robusto atende perfeitamente ao especificado, de maneira mais rápida dentro do mesmo intervalo de tempo com sobre-elevação de 7%. Ambos conseguiram corrigir o erro em regime.

CONCLUSÃO

O controlador PI tradicional, assim como o robusto, mostrou eficiência em corrigir o erro de regime do sistema, ambos conseguiram ajustar a taxa de fluxo de entrada de calor de maneira a compensar as flutuações na temperatura do líquido de entrada. O somatório da temperatura de entrada do fluido e o calor gerado pela resistência, relacionando com as propriedades térmicas da câmara, gerava uma temperatura de saída instável, o que ocasionaria falhas no processo de secagem devido às altas temperaturas de saída. Os controladores, através da inserção de calor em função da temperatura de entrada, ajustam a temperatura para ter uma saída constante de acordo com suas especificações. O controlador tradicional mostrou-se viável quando os parâmetros da planta não variam, contudo, um sistema de controle térmico real não possui parâmetros fixos, necessitando de uma análise mais robusta para atender aos requisitos do sistema. O controlador robusto demonstrou completa eficiência em termos de variações dentro do intervalo especificado, garantindo o resultado desejado. As expressões dos controladores PI podem ser desenvolvidas para integrar a estufa de aquecimento, para otimizar o processo de secagem de maneira e otimizar o tempo e custo operacional, aumentando a lucratividade comercial. O objetivo principal do projeto foi alcançado, com resultados obtidos satisfatórios, mostrando a importância da técnica de projeto de sistemas de controle envolvendo análise intervalar modal. O projeto de controladores robustos tornou-se importante para sistemas que precisam de garantia de desempenho mesmo sujeitos a variações em seus parâmetros da planta.

REFERÊNCIAS

- CARVALHO, J. A. D. DE, et al (2015). Modelagem do sistema térmico em um aquecedor para secagem de madeira. *Caleidoscópio 1.5*, p.: 99-104.
- FERNANDES, L. P.; COSTA, V. J.; THOMAS, G. C (2006). Modelagem matemática da secagem de madeira em estufas - fase de aquecimento. *Associação Brasileira de Ciência dos Materiais*, Curitiba.
- OGATA, K. (2010). *Engenharia de controle moderno*. Prentice Hall do Brasil.
- PRADO, M. L. P.; PAZ, M. A. (2008). Controle robusto utilizando estrutura PD e análise intervalar modal. *In XIII Congresso Latinoamericano de Control Automatico*, Mérida, p.:204-209.
- SAINZ, M. A., ARMENGOL, J., CALM, R., HERRERO, P., JORBA, L., VEHI, J. (2014). *Modal Interval Analysis - New Tools for Numerical Information*, Springer.