

SINTONIA DE UM CONTROLADOR PID NO AQUECIMENTO DE UMA CÂMARA TÉRMICA

Carlos Eduardo Fontes da Silva (mcn04354@feg.unesp.br)

Víctor Orlando Gamarra Rosado (victor@feg.unesp.br)

UNESP - Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - Rua Ariberto Pereira da Cunha, 333 CEP 12516-410 – Guaratinguetá, SP, Brasil.

Resumo: Neste trabalho foi desenvolvido um sistema de controle em malha fechada, capaz de controlar a temperatura de uma câmara térmica com ótimo desempenho. Foram construídos e analisados três tipos diferentes de controladores: proporcional (P), proporcional-integral (PI) e proporcional-integral-derivativo (PID). Para realizar a sintonia do controlador foi utilizado o método de Ziegler-Nichols. O sistema de controle é implementado com componentes eletrônicos discretos e alimentado com duas fontes, alternada e contínua. O tipo de controlador pode ser modificado mediante a comutação de chaves mecânicas. Os valores do ganho proporcional (K_p), do tempo integrativo (T_I) e do tempo derivativo (T_D) podem ser alterados através da variação da resistência de potenciômetros. A coleta de dados relacionada com a resposta transitória do sistema foi realizada utilizando-se um multímetro para medir a tensão de realimentação e um cronômetro para marcar o tempo. Os gráficos de resposta do sistema foram obtidos através de ferramentas computacionais pertencentes ao programa Microsoft Excel. Os resultados obtidos mostram desvantagens na utilização do controlador PI tais como o aparecimento de oscilações e de sobre-sinal na resposta de saída do sistema. A adição de um bloco diferenciador, formando um controlador proporcional-integral-derivativo (PID), diminuiu o sobre-sinal apresentado na saída. A técnica de sintonia de controladores proposta por Ziegler-Nichols se mostrou muito eficiente na melhoria da resposta do sistema térmico proposto.

Palavras-Chave: Sistema de controle, Sintonia de controlador PID, Método de Ziegler-Nichols, Câmara térmica.

1. INTRODUÇÃO

Todas as ações desenvolvidas e apresentadas neste trabalho visam o controle automático de um sistema. Silveira e Santos (1999) consideram que a palavra controle denota o ato ou poder de exercer domínio, supervisionar, manter o equilíbrio de algo. Para Bolton (1995) o termo sistema é empregado para descrever componentes que interagem em torno de uma condição limite idealizada, havendo particular interesse em suas entradas e saídas, e na relação entre as mesmas. Quando a saída de um sistema é controlada para assumir um valor particular ou seguir uma determinada entrada, diz-se que foi implementado um sistema de controle.

Faccin (2004) diz que com o advento dos computadores e sua rápida expansão de capacidade de processamento, cada vez mais, as tarefas desempenhadas por um sistema de controle estão sendo executadas de forma automática, com mais facilidade, simplicidade e segurança. Para Ogata (2003), o controle automático tem desempenhado um papel fundamental no avanço da engenharia e da ciência, tornando-se muito importante em operações industriais, como o controle de pressão, de temperatura, de umidade, de viscosidade e de vazão.

Este trabalho tem o objetivo de construir controladores automáticos capazes de controlar o aquecimento de uma câmara térmica, investigar as vantagens e desvantagens de cada tipo de controlador e, por último, realizar sua sintonia, a fim de melhorar seu desempenho. Como resultados finais obtêm-se, a diminuição: do erro residual no controlador P, do sobre-sinal no controlador PI e do tempo de oscilação no controlador PID.

2. METODOLOGIA

O diagrama de blocos do sistema de controle e o circuito eletrônico implementados são mostrados respectivamente nas figuras 1 e 2.

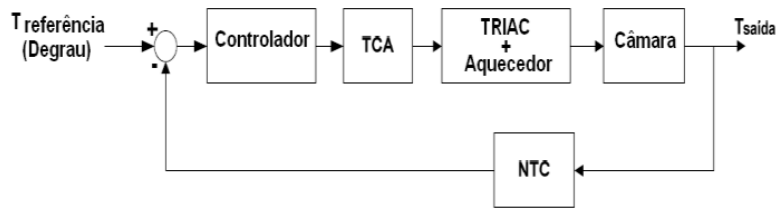


Figura 1. Diagrama de blocos do sistema de controle.

A diferença entre a temperatura de referência e a temperatura da câmara, realimentada pelo sensor NTC (*Negative temperature coeficiente*), origina o sinal de erro que será tratado pelo controlador (P, PI ou PID). O sinal do controlador serve como tensão de referência para o CI TCA 785 (circuito integrado com estrutura interna monolítica, sendo parte linear e parte digital). Os pulsos provenientes do TCA controlam o ângulo de disparo do TRIAC e, conseqüentemente, a quantidade de energia térmica aplicada à câmara. O TRIAC (*Triode for alternating current*) faz parte da família de tiristores e é um componente eletrônico equivalente a dois retificadores controlados de silício ligados em antiparalelo e com o terminal de disparo ligados juntos. Este tipo de ligação resulta em uma chave eletrônica bidirecional que pode conduzir a corrente elétrica nos dois sentidos.

A câmara térmica é constituída por uma caixa plástica, isolada por isopor e aquecida por dois resistores de $15 \Omega / 10 \text{ W}$, conforme se mostra na figura 3(a) e 3(b).

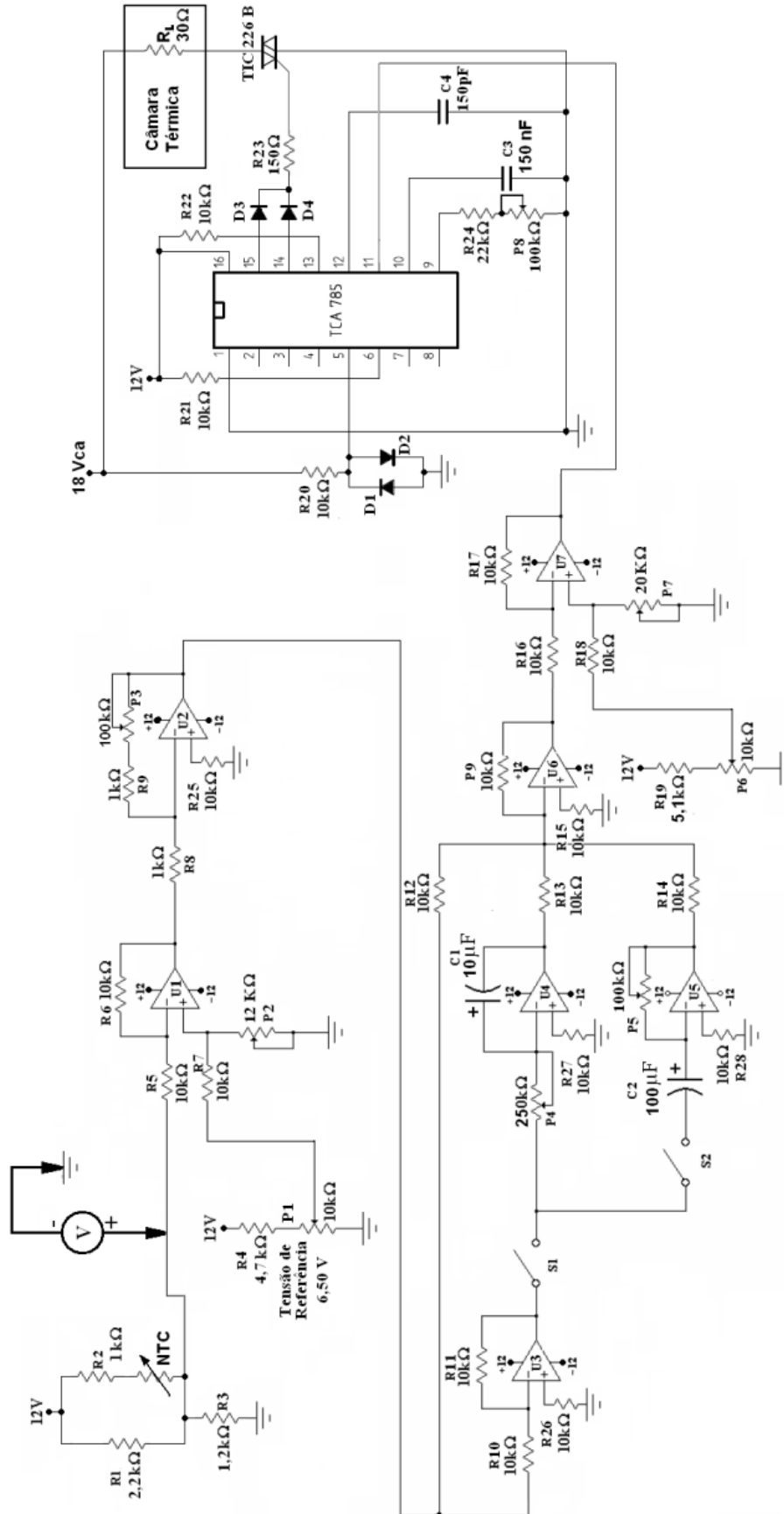


Figura 2. Circuito eletrônico que controla o aquecimento da câmara térmica.

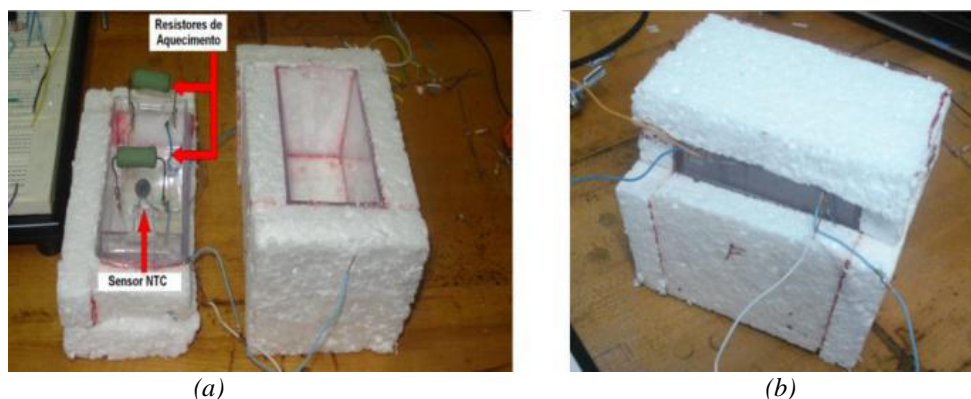


Figura 3. Câmara térmica.

O sensor NTC possui a seguinte equação característica:

$$R = 2280,7e^{-0,0346T} \quad (1)$$

onde R é a resistência apresentada pelo NTC [Ω]; e T é a temperatura à qual o sensor está submetido [$^{\circ}\text{C}$].

2.1. Determinação da Tensão de Referência

A temperatura de referência indica qual o valor desejado da temperatura final dentro da câmara. Como o circuito de controle é eletrônico, o sinal utilizado como referência deve ser um nível de tensão.

Os passos descritos a seguir foram utilizados para se determinar qual tensão de referência é equivalente à temperatura de referência escolhida.

1º passo – Determinação da temperatura desejada.

No experimento, a temperatura escolhida foi $37,5^{\circ}\text{C}$.

2º passo – Cálculo do valor teórico da resistência do NTC.

Utilizando-se a equação (1) foi obtido o valor de 622Ω .

3º passo – Cálculo da queda de tensão sobre R_3 .

Aplicando-se a Lei de Ohm ao circuito formado por R_1 , R_2 , R_3 , NTC, R_5 e P_2 , mostrado na figura 2, chegou-se ao valor de $6,496 \text{ V}$. O valor da tensão de referência adotada foi de $6,50 \text{ V}$.

2.2. Metodologia Empregada nos Ensaios do Sistema de Controle

Durante os ensaios, o multímetro Protek 506 foi utilizado para medir, a cada 30 segundos, a tensão sobre R_3 . Conforme já mencionado, o valor desta tensão está relacionado diretamente com a temperatura dentro da câmara.

O primeiro ensaio foi conduzido com o sistema sem integrador e nem diferenciador. O gráfico resultante está mostrado na figura 4. Essa figura foi utilizada como base para a aplicação da primeira regra de sintonia de Ziegler-Nichols.

Os ensaios posteriores foram conduzidos com a adição de controladores P, PI e PID ao circuito. As respostas do sistema estão mostradas nas figuras 5, 6, 7, 8 e 9, respectivamente. Os valores de K_P , T_I e T_D foram modificados para que a influência de cada tipo de controlador fosse analisada. No momento das experiências a temperatura ambiente, medida com um termômetro de mercúrio, era de $27,0^{\circ}\text{C}$.

3. RESULTADOS

A seguir os resultados obtidos neste trabalho. Aplicando-se a regra de sintonia de Ziegler-Nichols, conforme a figura 4 obtém-se $L = 9$ e $T = 210$.

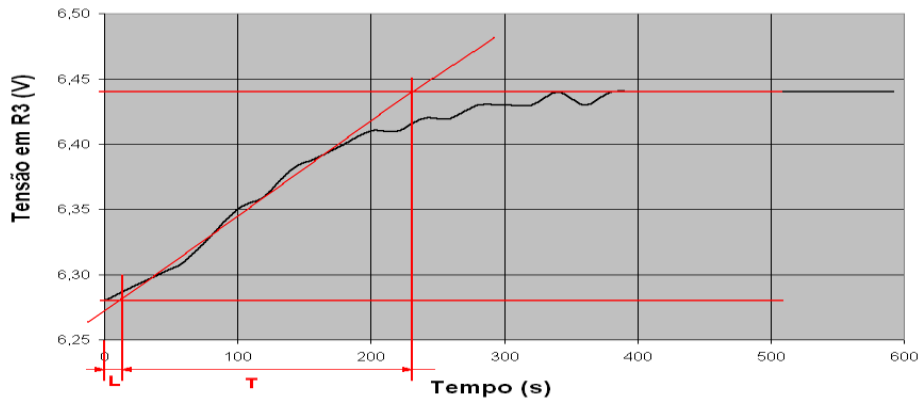


Figura 4. Primeira regra de Ziegler-Nichols aplicada ao gráfico de resposta do sistema

Substituindo-se os valores de L e T na tabela proposta pelo método de Ziegler-Nichols, chega-se aos valores melhorados dos parâmetros K_P , T_I e T_D para cada tipo de controlador.

Tabela 1. Valores ótimos calculados para cada tipo de controlador.

Tipo de Controlador	K_P	T_I	T_D
P	23,3	∞	0
PI	21	30	0
PID	28	18	4,5

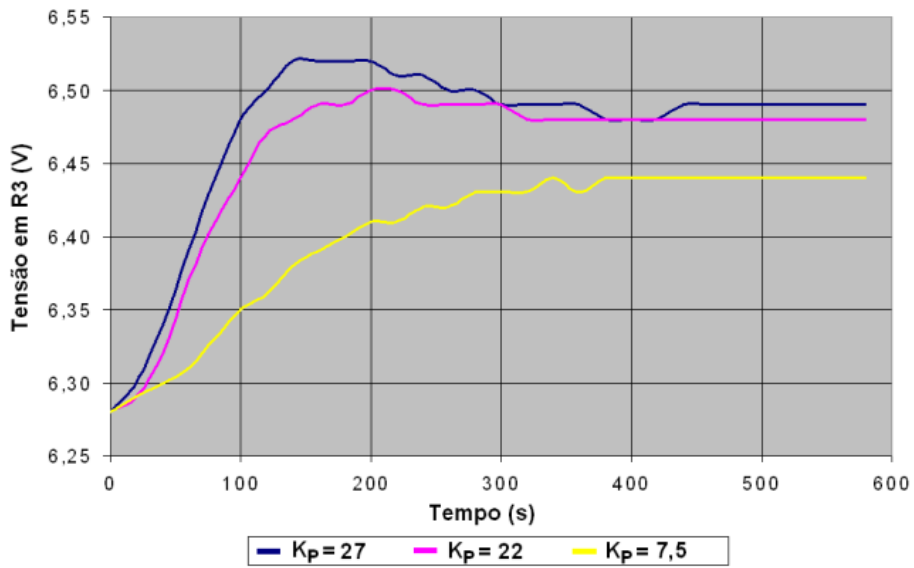


Figura 5. Efeito da variação do fator K_P em um controlador P.

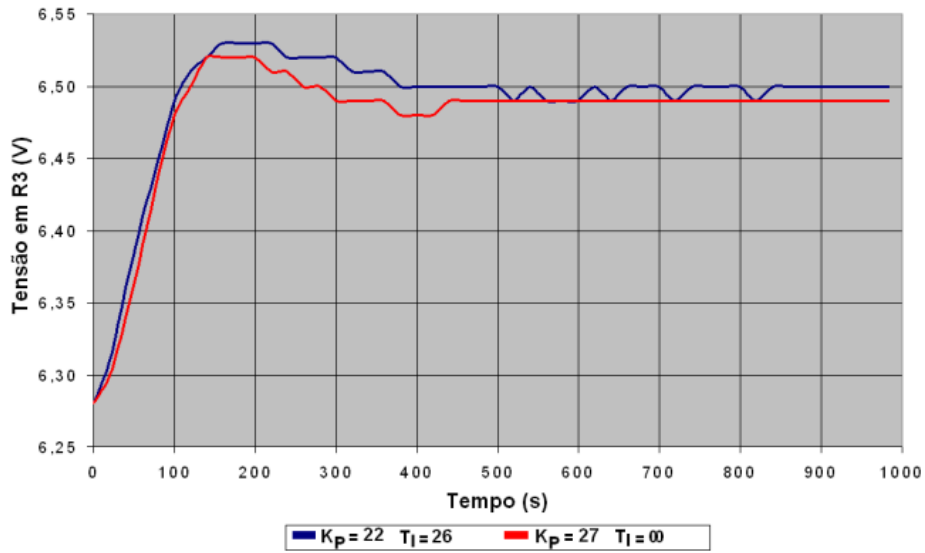


Figura 6. Comparação das ações dos controladores P e PI.

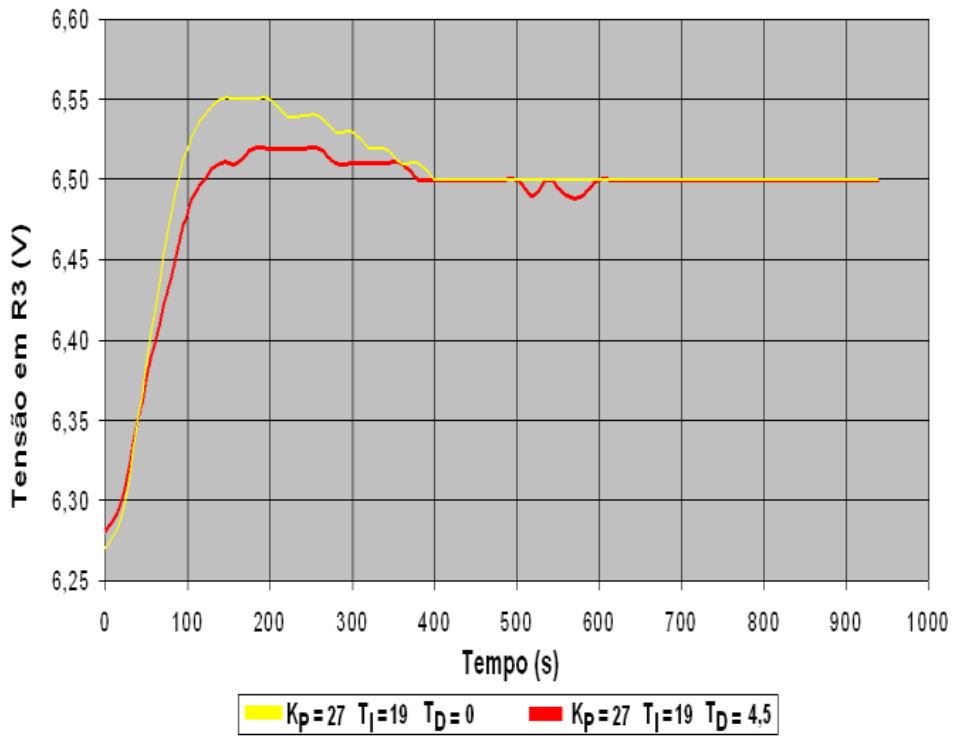


Figura 7. Comparação entre as ações dos controladores PI e PID.

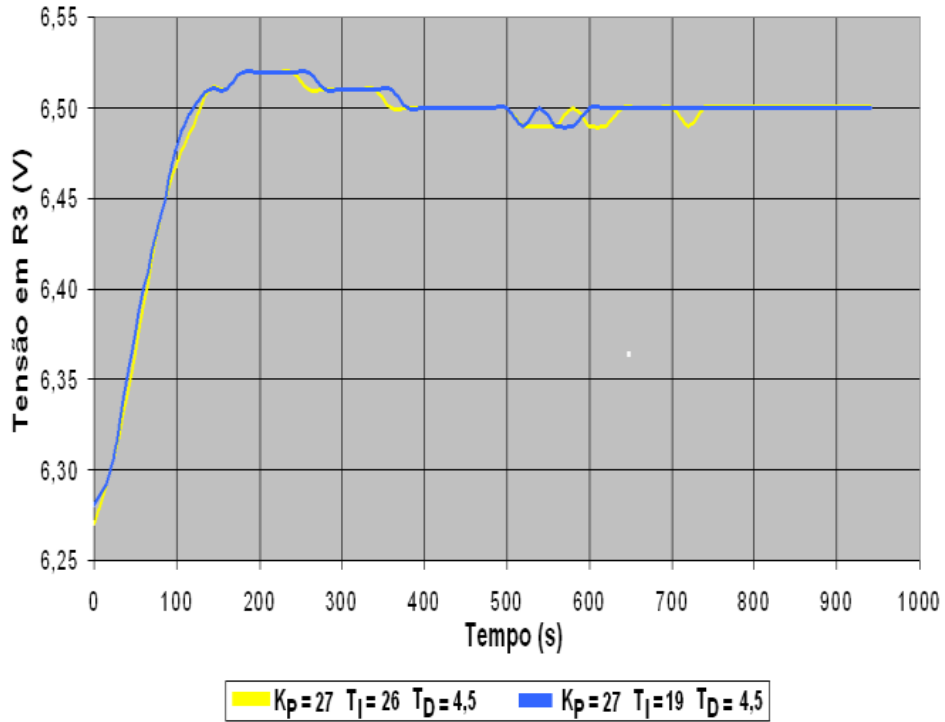


Figura 8. Comparação entre as ações de dois controladores PID.

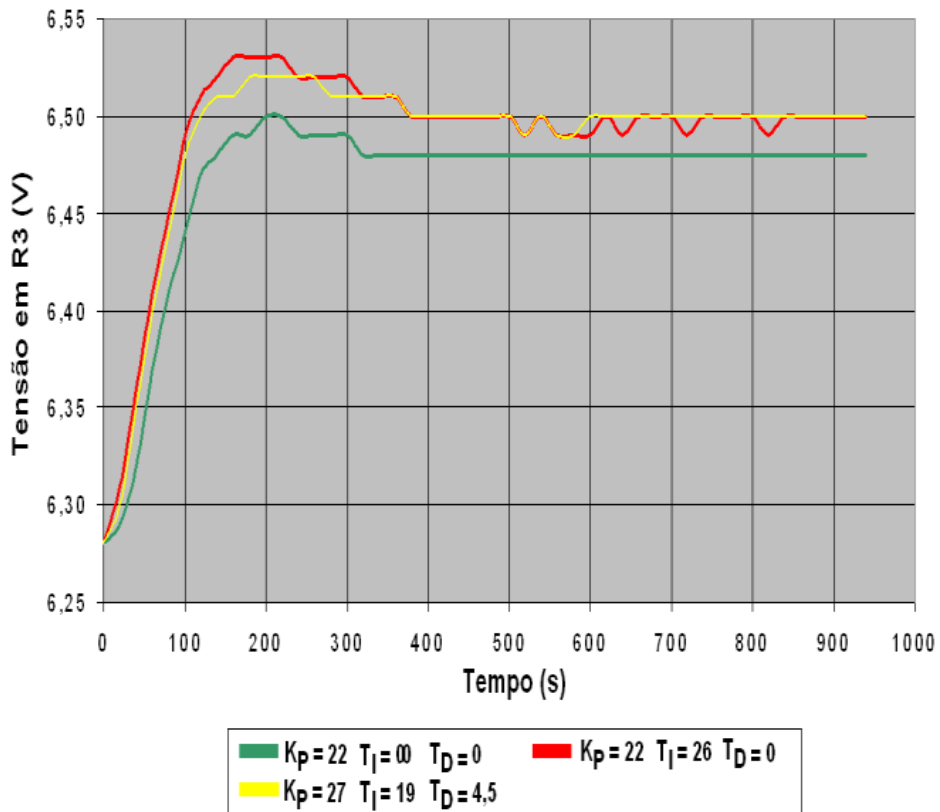


Figura 9. Comparação entre as ações dos controladores P, PI e PID.

Para se ter certeza de que o cálculo da resistência do NTC foi corretamente executado e de que a temperatura dentro da câmara estava em 37,5 °C, quando o sistema atingiu a estabilidade e a queda de

tensão sobre R3 era de 6,50 V, a resistência do NTC foi medida e apresentou um valor de 620 Ω (o valor calculado foi 622 Ω).

4. DISCUSSÃO

A resposta transitória do sistema com controlador proporcional, quando submetido a uma entrada em degrau, apresenta um erro residual, como pode ser visto na figura 5. Este erro diminuiu à medida que o parâmetro K_p foi aumentado, mas não se tornou nulo. Em compensação, o aumento de K_p provoca o aparecimento do sobre-sinal (9% para o controlador P com $K_p = 27$).

Analisando-se a figura 6, nota-se que para eliminar o erro residual foi utilizado o controlador PI. A anulação do erro pôde ser conseguida, pois a adição do integrador permitiu que a saída do controlador fosse diferente de zero, mesmo com um sinal de erro igual a zero. Como efeito negativo, a utilização do controlador PI provoca o aparecimento de oscilações no sinal de saída, além de aumentar o sobre-sinal (14% para o controlador PI e 9% para o P).

Observando-se a figura 7, pode-se perceber que a utilização do controlador PID reduz o sobre-sinal (9% para o controlador PID e 22% para o PI), pois a ação de controle derivativa o prevê e age para reduzi-lo. Os parâmetros K_p e T_i se mantiveram constantes de um ensaio para o outro, a única mudança foi a adição do bloco diferenciador.

A figura 4 mostra a aplicação do primeiro método de Ziegler-Nichols ao gráfico de resposta transitória do sistema sem a presença de integradores e nem de diferenciadores. Os valores encontrados para L e T foram utilizados para calcular os valores melhorados para os controladores P, PI e PID.

A figura 9 mostra a resposta transitória desses controladores com melhor desempenho. Como era de se esperar, o controlador P apresentou um pequeno erro residual e os controladores PI e PID atingiram a temperatura de controle desejada. Como previsto, a resposta transitória com o controlador PID apresentou um menor sobre-sinal e um tempo menor para adquirir a estabilidade.

Analisando-se a figura 8, pode-se notar que as duas respostas transitórias apresentam o mesmo sobre-sinal (aproximadamente 9%), pois T_D é igual em ambos os controladores. O controlador PID com melhor desempenho (curva azul) apresenta um menor tempo de oscilação até adquirir a estabilidade. O outro controlador (curva amarela) foi implementado com um tempo integrativo maior do que o melhorado.

5. CONCLUSÃO

Verifica-se que existe um erro residual na resposta do sistema toda vez que um controlador P é utilizado. O erro residual pode ser minimizado aumentando-se o ganho proporcional (K_p) do controlador. O aumento do K_p leva o sistema a apresentar um sobre-sinal em sua resposta de saída.

A adição do bloco integrador, formando o controlador PI, elimina o erro residual. Deve-se tomar muito cuidado na escolha do tempo integrativo (T_i), pois uma escolha incorreta pode levar o sistema a apresentar um excessivo sobre-sinal e uma oscilação muito grande em sua resposta de saída.

A adição do bloco diferenciador a um controlador PI, formando um controlador PID, gera uma diminuição do sobre-sinal na resposta de saída do sistema. Quando a escolha do tempo derivativo (T_D) é feita de modo adequado, também ocorre a diminuição do tempo de oscilação necessário para a saída se estabilizar.

Os controladores (P, PI e PID) construídos com base na metodologia de Ziegler-Nichols apresentam um desempenho muito bom. O controlador P apresenta erro residual pequeno em sua curva de resposta. Os controladores PI e PID atingem a temperatura final desejada, não ocasionando sobre-sinal e nem tempo de estabilização excessivos. Portanto, o método de Ziegler-Nichols é de grande valia no processo de sintonia de controladores, pois, além de apresentar os ótimos resultados já mencionados, é um método simples de ser aplicado e não necessita que seja conhecida a função de transferência do sistema.

REFERÊNCIAS

- BOLTON, W. Engenharia de controle. São Paulo: Makron Books do Brasil, 1995. 497p.
FACCIN, F. Abordagem inovadora no projeto de controladores PID. 2004. 124 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Química) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
OGATA, K. Engenharia de controle moderno. 4. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2003. 788p.
SILVEIRA, P. R.; SANTOS, W. E. Automação e controle discreto. 6. ed. São Paulo: Érica, 2005. 256p.