

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  **UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  **Campus Pato Branco**  **Curso de Engenharia de Computação** |  |

**FABRICIO N. DE GODOI**

**LEANDRO BIESEK**

**NAYARA OLIVA FERREIRA**

**TIAGO LAZAROTTO**

**WILLIAM SOUSA DA SILVA**

**APS – ATIVIDADE PRÁTICA SUPERVISIONADA**

Projeto de um Controlador de

Temperatura

Pato Branco

2013

# Introdução

O controle automático tem proporcionado um avanço significativo na ciência e na engenharia. Além de sua extrema importância para os veículos espaciais, sistemas robóticos e similares, o controle automático tornou-se uma parte importante e integrante dos processos industriais e de manufatura modernos. Além disso, o controle automático é essencial nas operações industriais tais como: controle de pressão, temperatura, umidade, viscosidade e vazão nas indústrias de processos.

Os avanços na teoria e na prática do controle automático propiciam meios para se atingir desempenho ótimo em sistemas dinâmicos, melhoria da produtividade, alívio no trabalho enfadonho de muitas operações manuais repetitivas de rotinas e muito mais.

Este projeto objetiva o desenvolvimento de um controlador de temperatura para o aquecimento de líquidos. Neste projeto, o líquido considerado será a água. O sistema de controle proposto terá erro em regime permanente nulo para uma referência de temperatura constante. Além disso, a temperatura de referência, em graus Celsius, será ajustada via um potenciômetro. O valor de referência será exibido em um *display* e a temperatura do líquido, neste caso, a água, será exibida em graus Celsius neste *display*.

# Materiais utilizados

Para a realização da prática foram utilizados os seguintes materiais.

|  |  |
| --- | --- |
| Componente | Quantidade |
| Potenciômetro | 2 |
| Rabo quente | 1 |
| Protobord | 2 |
| Capacitores | 2 |
| Sensor de Temperatura LM35 | 1 |
| Circuito integrado TL084 | 3 |
| Resistores | 18 |
| Diodos | 1 |
| 7812PI | 1 |
| L7805CV | 1 |
| IRSP250N | 1 |
| Ponte retificadora KBC2510 | 1 |
| Dissipador de calor | 2 |

# Fundamentação Teórica

## Sistemas Térmicos

Sistemas térmicos são aqueles que envolvem transferência de calor de uma substância para outra. Os sistemas térmicos podem ser analisados em termos de resistência e de capacitância, embora a capacitância térmica e a resistência térmica não possam ser representadas precisamente como parâmetros concentrados, já que elas são usualmente distribuídas ao longo da substância. Nas situações em que seja necessária uma análise precisa, devem ser utilizados modelos a parâmetros distribuídos. Aqui, no entanto, para simplificar a análise, admite-se que um sistema térmico possa ser representado por um modelo a parâmetros concentrados. Admite-se ainda, como hipótese simplificadora, que as substancias que são caracterizadas pela resistência ao fluxo de calor tem capacitância térmica desprezível, e que aquelas que são caracterizadas pela capacitância térmica têm resistência desprezível ao fluxo de calor.

Há três diferentes maneiras pelas quais o calor pode fluir de uma substância para outra: condução, convecção e radiação. A maioria dos fenômenos térmicos presentes nos sistemas de controle de processos não envolve transmissão de calor por radiação.

Para transferência de calor por condução ou convecção:

(1)



Onde: q é a taxa de fluxo de calor em kcal/s; Δθ é a diferença de temperatura em °C e K é o coeficiente dado em kcal/s °C.

O coeficiente K é dado por:



(2)

(3)



Onde: k é a condutividade térmica, kcal/m s °C; A é a área normal ao fluxo de calor, m2; ΔX é a espessura do condutor, m e H é o coeficiente de convecção, kcal/m2s °C.

**Resistência térmica e capacitância térmica.** A resistência térmica R para transferência de calor entre duas substancias pode ser definida como:

(4)

A resistência térmica para transferência de calor por condução ou por convecção é dada por:



(5)

Uma vez que os coeficientes de condutividade e de convecção térmica são aproximadamente constantes, a resistência térmica tanto para condução quanto para convecção é constante.

A capacitância térmica C é dada por:

(6)

ou



(7)

Onde: *m* é o peso da substância considerada, kg; *c* é o calor específico da substância, kcal/kg °C.

# Metodologia

Primeiramente foram realizados os cálculos para a obtenção da função de transferência do sistema. Para isso foi necessário medir inicialmente a temperatura ambiente da água, que nos testes realizados obteve-se 21,3 °C. A partir disso, foi fornecida uma tensão de 60 V em um recipiente com água com o objetivo de saber o valor máximo de temperatura que o recipiente podia chegar. Nos testes realizados, constatou-se que a temperatura da água chegou a um valor máximo de 79 °C. Para realizar o aquecimento da água foi utilizado o rabo-quente de 1000W a 127V RMS. Após determinado o valor de estabilidade da planta (79 ºC), foi trocada a água do recipiente, colocando 1 litro de água a 21,3 ºC, aquecendo-a até chegar à 2% da temperatura de estabilidade (77,5 ºC), calculando o tempo que levou para atingir tal valor obtemos 4216 s. Com este tempo podemos calcular a função de transferência:

Onde:

A partir dos cálculos descritos anteriormente obteve-se a função de transferência (planta) que modela o controlador de temperatura proposto, equação (8).



(8)

Conforme a equação 8, a planta calculada representa um sistema de primeira ordem, ou seja, um polo e nenhum zero.

Como um dos objetivos do controlador de temperatura proposto é garantir que o sistema tenha erro em regime permanente nulo, torna-se necessário adicionar ao sistema um compensador do tipo PI. O diagrama de blocos do sistema pode ser visto na Figura 1.

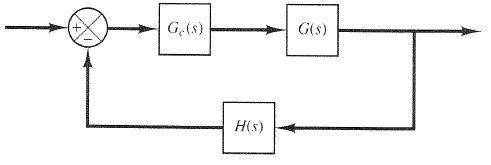


Figura 1. Diagrama de Blocos do Sistema de Controle

Com a finalidade de anular o erro da planta define-se que a posição do zero do controlador PI na mesma posição do pólo da planta:

Definido isso é possível determinar o , onde:

Utilizando um tem-se:

Então o compensador é:

A partir do compensador foi calculado os valores dos componentes do PI com a seguinte formula:

Dessa forma tem-se:

Então:



**Figura 2 – Circuito do controlador PI**

Conforme a Figura 1 o bloco G(s) corresponde à função de transferência (planta) encontrada, o bloco Gc(s) representa o compensador PI e o bloco H(s) corresponde a um ganho de 12.A figura dois representa o circuito do PI.

Após o circuito do PI existe um PWM que é um modulador de largura de pulso. De maneira simples o PWM implica no chaveamento da entrada do circuito, que é a saída do PI. Ou seja o PWM irá abrir ou fechar a chave dependendo da tensão vinda do PI. O tempo que a chave fica aberta ou fechada (duty cyle) também vai depender da tensão que o PI dará ao PWM, fornecendo então para o rabo quente tensões entre 0 e 180 V para então aquecer o necessário para chegar na temperatura desejada.

O LM035, sensor de temperatura então fará a leitura da temperatura que é transformada em V. O LM035 transforma cada grau Celsius em 10 mV. Assim saberemos quantos graus a água no recipiente terá para fazermos o controle da temperatura. Facilmente percebe-se que em 0ºC teremos na saída do sensor 0V, se há 100ºC haverá 1V na saída, ou seja a saída será a quantidade de graus vezes 10mV. Como a faixa entre 0V e 1V é muito pequena, deu-se um ganho de 12 para essa saída do sensor para que assim possamos comparar mais facilmente essa tensão com a tensão da entrada do circuito que representa o qual a temperatura queremos que a água esteja. A temperatura desejada é dada por um potenciômetro variando de 0 a 12 V sendo a temperatura desejada como segue na tabela a seguir:

|  |  |
| --- | --- |
| Tensão(V) | Temperatura desejada(ºC) |
| 0 | 0 |
| 1.2 | 10 |
| 2.4 | 20 |
| 3.6 | 30 |
| 4.8 | 40 |
| 6.0 | 50 |
| 7.2 | 60 |
| 8.4 | 70 |
| 9.6 | 80 |
| 10.8 | 90 |
| 12 | 100 |

A tensão então vinda do potenciômetro (tensão desejada) e a tensão vinda do sensor são subtraídas por um subtrator. O resultado dessa subtração é a tensão que irá entrar no PI e conseqüentemente quanto em temperatura o PI ainda deve fornecer ao rabo quente para que chegue a temperatura ideal.

O controlador PI é basicamente um controlador P com um integrador. A parte P tem uma razão entre a saída e a entrada do compensador é chamada de ganho proporcional ‘K’, quanto maior for o ganho do compensador, menor será o erro de estado estacionário, contudo, o tempo de acomodação aumenta, tendendo, em certos casos, a desestabilizar o sistema. A ação integral (parte I) corresponde a ter-se uma taxa de variação do sinal de saída com relação à entrada. Desta forma, com uma ação integral, atua-se beneficamente na resposta em regime permanente, tendendo a eliminar o erro de estado estacionário, contudo, prejudica-se o regime transitório, pois acrescenta-se pólos ao sistema tendendo a desestabilizá-lo, e com isso aumentar o tempo de acomodação.

# Conclusão

**Referencias**

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de Controle Moderno**. 3ª. ed. [S.l.]: Jc, 2000.