



Universidade Federal de Minas Gerais Departamento de Engenharia Eletrônica

ELT-039 Técnicas de Controle de Processos Industriais

Curso de Engenharia de Controle e Automação - 2o. semestre de 2014 - 01/10/2014

Prof. Guilherme V. Raffo

Prova 1 - 30 pontos

Nome: _____

Nota: _____

Problema (30 pontos)

Uma incubadora neonatal é um equipamento que proporciona a um recém-nascido um ambiente termo-neutro, controlado pelos fatores fluxo de ar interior, umidade e temperatura. Geralmente é utilizada em prematuros. Basicamente ela é composta de um habitáculo de material transparente (acrílico) com um colchonete onde o bebê deita de forma a ser constantemente monitorado, e de uma unidade de produção de calor e umidade que injeta ar no habitáculo, separada do mesmo por uma base metálica. A figura 1 apresenta um esquema simplificado da incubadora onde se observam:

- um depósito de água de base 100 cm^2 e altura de 10 cm com sistema de alimentação por bomba e com uma resistência elétrica para aquecimento da água que produz;
- um aquecedor elétrico usado para aquecer o ar;
- um ventilador usado para circular o ar quente e úmido para o interior do habitáculo;
- sensores de temperatura T e umidade H do habitáculo, assim como da temperatura da água T_a e do nível L do reservatório.

O ventilador usado no sistema não possui controle de velocidade e apenas permite uma circulação do ar mínima no habitáculo.

Para o controle da umidade H se utiliza a unidade de geração de vapor, que funciona mantendo o nível do reservatório L entre 70% e 100% (para evitar a queima da resistência elétrica) e controlando a temperatura da água T_a próxima de 100 graus através do sinal U_1 , que controla a potência dissipada na resistência R_1 .

Já a temperatura da incubadora é controlada através do sinal U_2 que controla a potência dissipada na resistência R_2 do aquecedor elétrico. Por causa do acoplamento entre a umidade e temperatura dentro do habitáculo, variações de U_1 também afetam T e variações de U_2 também afetam H . As principais perturbações do sistema são a temperatura T_b e umidade H_b do ambiente, as trocas térmicas entre o bebê e o ar do interior da incubadora assim como as aberturas eventuais de pequenas portas instaladas no habitáculo (nenhuma das perturbações é medida).

O modelo do processo foi levantado por ensaios experimentais nas vizinhanças do ponto de operação (temperatura de 32 graus e umidade de 60%) e estimando os efeitos de T_b e H_b , obtendo-

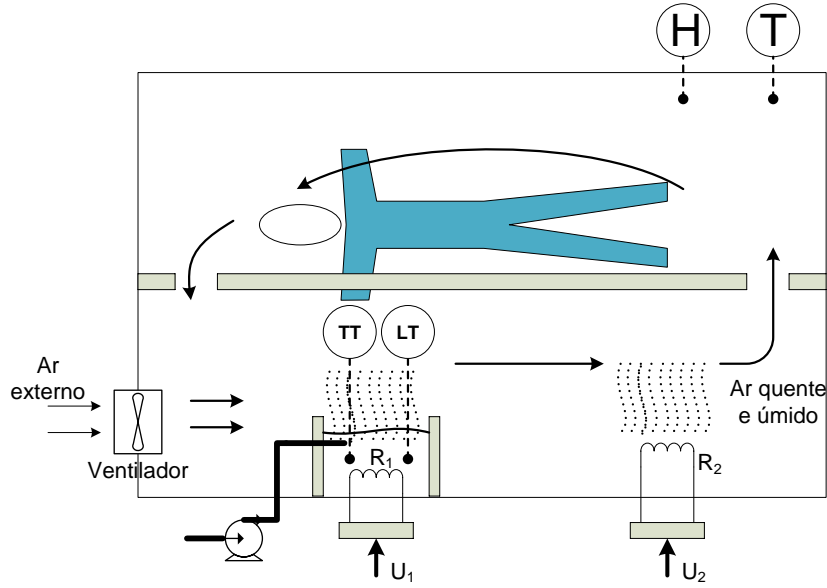


Figura 1: Incubadora neonatal para prematuros.

se os seguintes modelos (os tempos estão todos em segundos):

$$H(s) = \frac{10}{20s+1} [H_b(s) + 5T_a(s)] - \frac{7}{15s+1} U_2(s),$$

$$T_a(s) = \frac{2}{s+1} U_1(s),$$

$$T(s) = \frac{8}{(50s+1)(70s+1)} [4U_2(s) + T_b(s)] + \frac{3}{30s+1} U_1(s)$$

O objetivo do sistema de controle é manter a temperatura e umidade do habitáculo no ponto de operação rejeitando as perturbações causadas pelas variações de temperatura T_b e umidade H_b do ambiente (que são modeladas por sinais do tipo degrau). As especificações para projeto do sistema de controle em malha fechada são as seguintes:

- i) Controlar o sistema de forma a “minimizar” os acoplamentos entre temperatura e umidade do habitáculo.
- ii) Ter respostas transitórias em malha-fechada de T com $t_{5\%} \leq 3$ minutos, sem pico nem oscilações para seguimento de mudanças de SP de T e também para a rejeição de perturbações de T_b .
- iii) Ter respostas transitórias em malha-fechada de H com $t_{5\%} \leq 30$ segundos, sem pico nem oscilações para seguimento de mudanças de SP de H e também para a rejeição de perturbações de H_b .
- iv) Rejeição das perturbações de H_b e T_b do tipo degrau em regime permanente.

Portanto, projete e sintonize o sistema de controle considerando as especificações e as restrições impostas pelos sinais disponíveis. A escolha do método de projeto de controle fica a cargo do projetista, salvo o caso que a técnica seja especificada no problema. Para isso leve em consideração as seguintes etapas:

1. Analise o sistema de controle de nível na geração de vapor. Considere as seguintes possibilidades: controle *on-off* e controle P. Explique como se define os controladores em cada caso. Compare as soluções em termos da instrumentação requerida e do desempenho do sistema. Aponte vantagens e desvantagens. **(5 pontos)**
2. Projeto da malha de controle de umidade: **(12.5 pontos)**
 - a) Defina uma estrutura completa para o sistema de controle de H justificando todas as escolhas, isto é, explicando claramente quais os objetivos de cada controlador proposto. Desenhe o diagrama completo da estrutura de controle detalhando as conexões de planta com os controladores projetados. **(5 pontos)**
 - a) Ajuste os controladores e analise a solução no domínio do tempo e usando diagramas pólo-zero. Analise detalhadamente o efeito das perturbações na saída do sistema. **(7.5 pontos)**
3. Projeto da malha de controle de temperatura: **(12.5 pontos)**
 - a) Defina a estrutura completa do sistema de controle de T para atender as especificações justificando todas as escolhas, isto é, explicando claramente quais os objetivos de cada controlador proposto. Desenhe o diagrama completo da estrutura de controle detalhando as conexões de planta com os controles projetados. **(5 pontos)**
 - b) Projete o controlador da malha de realimentação utilizando uma estrutura de controle PID acadêmica e ajuste-o através da técnica de controle por modelo interno (IMC). Encontre a FTMF do set-point para a temperatura T/T_r e da perturbação para a temperatura T/T_b , tanto no caso nominal ($P = P_n$) como no caso real ($P \neq P_n$). Com um ajuste adequado o controle proposto permitiria atender no caso nominal a todas as especificações definidas? Justifique. **(5 pontos)**
 - d) Analise a solução no domínio do tempo e usando diagramas pólo-zero. Analise detalhadamente o efeito das perturbações na saída do sistema. **(2.5 pontos)**
4. **Bonus** Defina o período de amostragem para cada malha do sistema de controle de umidade e discretize os controladores propostos utilizando a aproximação de Euler ($s = \frac{z-1}{T_s}$, sendo T_s o período de amostragem). Baseado nos controladores discretizados, escreva o código completo, isto é, definindo todos os passos e cálculos a serem realizados com todas as variáveis. **(5 pontos)**

Notas:

- Um sistema de segunda ordem com polos complexos não apresenta pico real na resposta se o amortecimento ξ for maior que 0.9. Pode ser analisado como tendo uma resposta com polos duplos, inclusive para o cálculo do $t_{5\%}$.
- Um sistema de terceira ordem com pólos reais iguais em $p = -1/\tau$ tem $t_{5\%}$ aproximado por 6.3τ (isto também vale para quando os pólos estão bem próximos).
- Um sistema de terceira ordem com pólos reais diferentes em $p_i = -1/\tau_i$ tem $t_{5\%}$ aproximado por $3\tau_1 + 1.5(\tau_2 + \tau_3)$ sendo τ_1 a maior constante de tempo.
- Um sistema de terceira ordem com dois pólos complexos ($s = -\xi w + jw\sqrt{1-\xi^2}$) e um real mais lento ($p = -1/\tau$) tem $t_{5\%}$ aproximado por $3\tau + 0.25(3/(\xi w))$.

