

169536 - Tópicos em Controle e Automação:

Controle de Processos – 2S / 2012

Prof. Eduardo Stockler Tognetti

PROJETO COMPUTACIONAL 3

(Data de entrega: 21/02/2013)

Quanto a entrega do trabalho:

- O desenvolvimento matemático poderá ser entregue a mão ou em meio eletrônico;
- O material eletrônico não precisa ser impresso, poderá ser enviado para o e-mail do professor (estognetti@ene.unb.br);
- Os códigos dos programas deverão ser enviados para o e-mail do professor e deverão fornecer os mesmos resultados que os gráficos e valores constantes no relatório do projeto.

1. Seja o sistema trocador de calor dado na Figura 1.

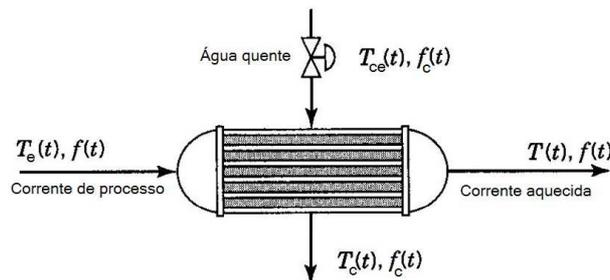


Figura 1: Sistema trocador de calor.

A variável controlada é $T(t)$, a variável manipulada é $f_c(t)$ e as variáveis de perturbação são $f(t)$, $T_e(t)$, $T_{ce}(t)$. O valor de $T(t)$ que chega ao controlador é afetado por dois atrasos: o primeiro é um atraso de transporte, correspondente a um trecho reto de tubulação existente entre a saída do trocador de calor e o sensor de temperatura, e o outro é devido ao elemento sensor-transmissor não serem perfeitos, mas apresentarem uma dinâmica de 1ª ordem.

Para identificar o processo aplicou-se um degrau na variável manipulada e a curva de reação obtida pode ser aproximada por um modelo de 1ª ordem mais tempo morto ($K = 0,127$, $\tau = 10,6s$ e $\theta = 17,3s$) ou de 2ª ordem subamortecido mais tempo morto ($K = 0,127$, $\tau = 8,5s$, $\xi = 0,95$ e $\theta = 12,2s$), como segue

$$G_1(s) = \frac{0,127e^{-17,3s}}{10,6s + 1} \quad (1)$$

$$G_2(s) = \frac{0,127e^{-12,2s}}{72,25s^2 + 16,15s + 1} \quad (2)$$

Comparou-se a resposta ao degrau dos modelos aproximados $G_1(s)$ e $G_2(s)$ com a curva de reação do processo e verificou-se que ambos geram boas aproximações, sendo que a resposta fornecida por $G_2(s)$ foi levemente melhor que a fornecida por $G_1(s)$. Observou-se que o distúrbio mais significativo é $f(t)$. Considere que a função de transferência entre $f(t)$ e a variável controlada é dada por

$$G_d(s) = \frac{0,1}{10,6s + 1} \quad (3)$$

como mostrado na Figura 2

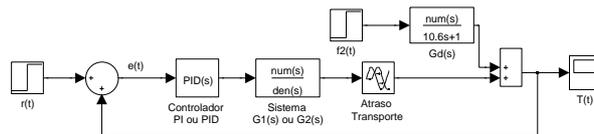


Figura 2: Sistema em malha fechada do Exercício 1.

Projete um controlador de realimentação (PI ou PID) para o processo $G_2(s)$ (ou $G_1(s)$ quando não for possível usar um modelo de 2ª ordem) por meio das técnicas abaixo. Para cada técnica, se não indicado, avalie se o projeto deve ser feito para o sistema de 1ª ou 2ª ordem e qual a estrutura do controlador mais apropriada (dê preferência ao projeto do PID quando ambas as estruturas foram possíveis).

- Ziegler-Nichols (malha aberta)
- Ziegler-Nichols (malha fechada usando *Método dos Relés*)
- CHR (entre servo e regulação ou com/ sem sobrevalor, escolha a de menor ITAE)
- CC (Cohen e Coon)
- Síntese Direta (para o sistema de 1ª ordem, $\lambda = 17,3s$)
- IMC (para o sistema de 2ª ordem, $\lambda = 14s$)
- Método Integral do Erro ITAE PID*
- Compensação de tempo morto “Preditor de Smith” (projete um PI usando uma das técnicas acima)

Plote num mesmo gráfico a resposta do sistema em malha fechada (considerando processo para qual o controlador foi projetado) ao degrau unitário da referência para cada técnica projetada. Em outro gráfico, plote a resposta das técnicas ao degrau unitário do distúrbio $f(t)$. Para avaliar a robustez plote também a resposta

ao degrau unitário da referência para o sistema em malha fechada considerando o processo com um incremento de 50% no tempo morto.

Monte em uma tabela os valores de cada técnica do ITAE para a resposta ao degrau da referência (modelo preciso e modificado) e do IAE para o degrau no distúrbio, considerando

$$ITAE = \int_0^{t_f} t|e(t)|dt, \quad (4)$$

$$IAE = \int_0^{t_f} |e(t)|dt. \quad (5)$$

Utilize $t_f = 300s$ ou o maior tempo de acomodação da resposta ao degrau do processo em malha fechada com os controladores projetados. Identifique o melhor controlador segundo esses indicadores e se houve casos de instabilidade.

2. Considere os seguintes sistemas das Figuras 3 e 4.

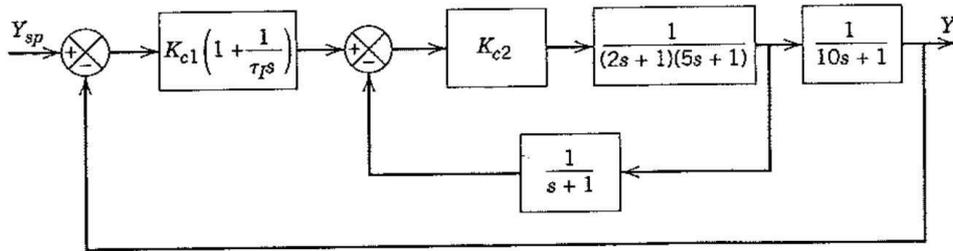


Figura 3: Sistema em cascata (sistema A).

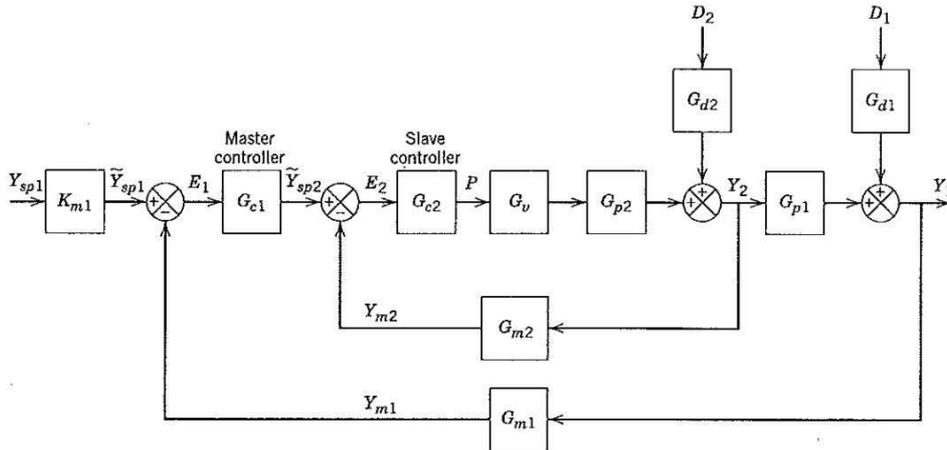


Figura 4: Sistema em cascata com distúrbio (sistema B).

- (a) Para o sistema A apresentado na Figura 3, projete ambos os controladores mestre e escravo usando a técnica IMC. Projete primeiramente K_{c2} e depois projete o controlador PI (K_{c1} , τ_I) (note que o modelo que controlador mestre “enxerga” é de alta ordem, portanto uma resposta ao degrau poderá ser utilizada para aproximar esta dinâmica por um modelo de 1ª ordem mais tempo morto para síntese por IMC). Plote a resposta ao degrau unitário do sistema em malha para alguns valores escolhidos de λ_1 e λ_2 .

(b) Para o sistema B apresentado na Figura 4, considere

$$G_v = \frac{5}{s+1}, \quad G_{p1} = \frac{4}{(4s+1)(2s+1)}, \quad G_{p2} = 1$$

$$G_{d2} = 1, \quad G_{m1} = 0.05, \quad G_{m2} = 0.2, \quad G_{d1} = \frac{1}{3s+1}$$

Usando alguma técnica apresentada em sala de aula, projete o controlador G_{c1} para o caso de realimentação simples ($G_{c2} = 1, G_{m2} = 0$) e G_{c1} e G_{c2} para o caso cascata (controlador primário e secundário). Justifique como foram encontrados os parâmetros do controlador. Escolha a estrutura de controle (P, PI ou PID) mais conveniente para os controladores. Plote em um mesmo gráfico a resposta ao degrau do distúrbio D_1 para o sistema com o controle em cascata e para o controle convencional de realimentação simples. Analogamente, em outro gráfico, plote as respostas ao degrau do distúrbio D_2 .

3. Considere o processo

$$G_1(s) = \frac{1e^{-2s}}{10s+1} \quad (6)$$

que tem restrição de entrada de $[10 \ -10]$ (elemento *Saturation*), como mostrado na Figura 5

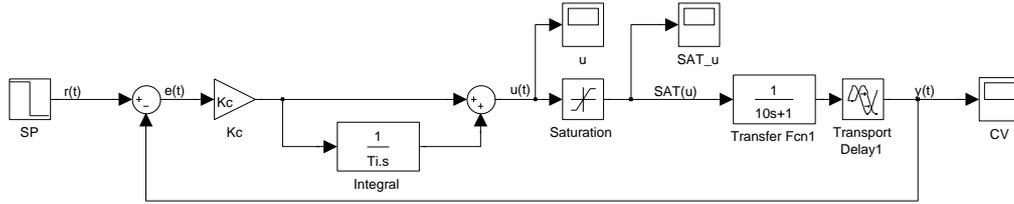


Figura 5: Sistema com saturação de entrada.

Projete um controle PI e o implemente com e sem a estratégia *anti-windup*. Compare as respostas de ambos a estratégias num mesmo gráfico ao degrau

- $r(t_1) = 15, t_1 \in [0 \ 100)$, e $r(t_2) = 5, t_2 \in [100 \ 200)$;
- $r(t_1) = 10, t_1 \in [0 \ 100)$, e $r(t_2) = 5, t_2 \in [100 \ 200)$.