

169536 - Tópicos em Controle e Automação:

Controle de Processos – 2S / 2012

Prof. Eduardo Stockler Tognetti

PROVA 2 (Parte Computacional)

(Data de entrega: 05/03/2013, 18 hrs)

Quanto a entrega do trabalho:

- O desenvolvimento matemático deverá ser entregue pessoalmente até a data de entrega;
- 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. (1.5 pontos) As Figuras 1 e 2 mostram os diagramas de blocos de dois processos dinâmicos.

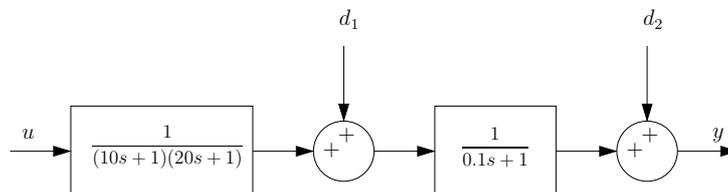


Figura 1: Sistemas em cascata a).

- (a) Qual dos dois processos deveria ser controlado por um sistema em cascata para melhorar o comportamento em malha fechada para mudanças no distúrbio $d_1(t)$? Justifique sua resposta.
- (b) Construa um sistema em cascata para o processo que você selecionou no item anterior para controlar em cascata. Desenhe o diagrama de blocos correspondente com os dois controladores.

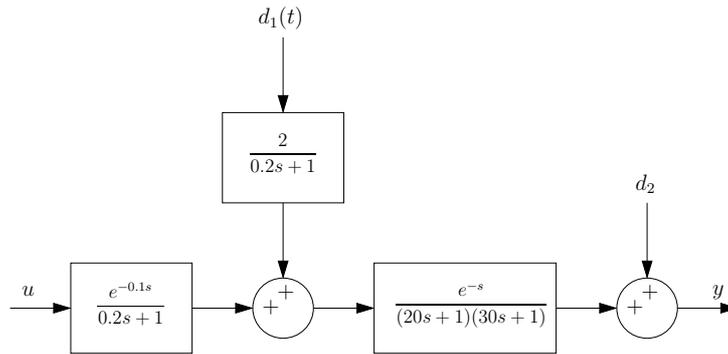


Figura 2: Sistemas em cascata b).

- (c) Selecione os parâmetros (ganhos) dos dois controladores de forma a ter a *melhor* resposta em malha fechada a mudanças de carga em $d_1(t)$, sem comprometer a estabilidade do sistema.
- (d) Plote a resposta do sistema em malha fechada ao degrau no distúrbio $d_1(t)$ com os controladores projetados no item anterior.
2. (1.5 pontos) O sistema em malha fechada da Figura 3 tem as seguintes funções de transferência

$$G_p(s) = \frac{1}{s+1}, \quad G_d(s) = \frac{2}{(s+1)(5s+1)} \quad (1)$$

$$G_v = G_m = G_t = 1, \quad K_m = 1 \quad (2)$$

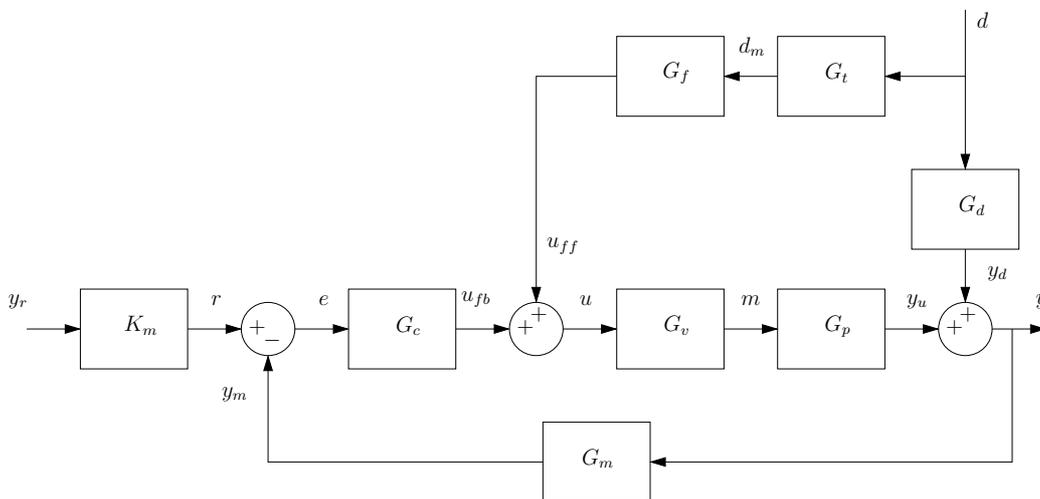


Figura 3: Sistema em malha fechada com controle de realimentação/ antecipatório.

- (a) Projete um controlador antecipatório (G_f) baseado na análise em regime estacionário.
- (b) Projete um controlador antecipatório (G_f) baseado na análise do sistema dinâmico.
- (c) Projete um controlador de realimentação baseado na estratégia IMC com $\lambda = 2$ ($\tau_F = 2$).

- (d) Simule a resposta em malha fechada para um degrau unitário na variável de distúrbio d usando somente o controle antecipatório projetado no item (2a). Repita para o item (2b).
- (e) Repita o item (2d) para o esquema de controle de realimentação e antecipatório da Figura 3 com o controle projetado no item (2a)-(2c). Repita para o controle projetado no item (2b)-(2c).

3. (1.5 pontos) Projete um controlador do tipo PID para o sistema abaixo

$$G(s) = \frac{b - s}{s^2 + a} \quad (3)$$

para $b = 1$ e $a = 1$ tal que o tempo de acomodação (critério 5%) seja menor do que 20s.

Deseja-se certa robustez do controlador, então ele também deve estabilizar o processo para $b = 1.2$ e $a = 1.5$. Plote a resposta ao degrau unitário para o sistema em malha fechada para $b = 1$ e $a = 1$ e depois para $b = 1.2$ e $a = 1.5$ em (3).

Obs.: Mostre como foram obtidos os parâmetros do controlador. Não será aceito tentativa e erro para a escolha dos mesmos.

4. (2.5 pontos) Considere o processo de mistura mostrado na Figura 4.

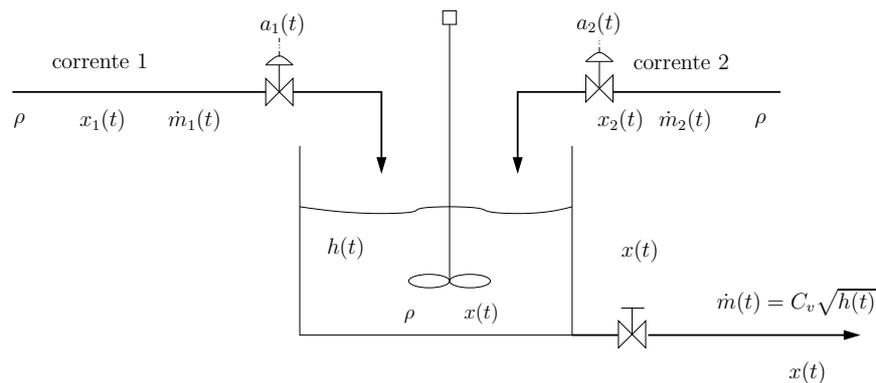


Figura 4: Tanque de mistura com agitação.

O propósito deste processo é misturar um fluxo, fraco em termos de componente A ($x_1(t)$), com outro fluxo, mais concentrado no componente A ($x_2(t)$). O objetivo de controle é controlar o nível do tanque, $h(t)$, e a fração mássica do conteúdo do tanque, $x(t)$, de forma simultânea.

A densidade das correntes de entrada e do tanque, $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$, é considerada constante. A área do tanque é $A = 1 \text{ m}^2$.

Considere a vazão mássica do fluxo de saída como

$$\dot{m}(t) = C_v \sqrt{h(t)}$$

e a vazão mássica das correntes de entrada dados por

$$\dot{m}_1(t) = f_a(a_1(t)) C_{v_1} \sqrt{\Delta P_1(t)}, \quad \dot{m}_2(t) = f_a(a_2(t)) C_{v_2} \sqrt{\Delta P_2(t)}$$

em que $f_a(a) = a$, $a \in [0 \ 1]$ (curvas inerentes lineares) e

$$C_v = 495, \quad C_{v_1} = 1000, \quad C_{v_2} = 400$$

Considere as unidades do C_v de forma conveniente.

As variáveis manipuladas são as aberturas das válvulas $a_1(t)$ e $a_2(t)$ dos fluxos de entrada $\dot{m}_1(t)$ e $\dot{m}_2(t)$ e os distúrbios são as frações mássicas das correntes de entrada $x_1(t)$ e $x_2(t)$ e as quedas de pressão nas válvulas, $\Delta P_1(t)$ e $\Delta P_2(t)$.

Considere que inicialmente o processo encontra-se em regime estacionário com os seguintes valores:

- Vazões mássicas de entrada $\bar{m}_1 = 500 \text{ kg/min}$ e $\bar{m}_2 = 200 \text{ kg/min}$
- Frações mássicas das correntes de entrada $\bar{x}_1 = 0.4$ e $\bar{x}_2 = 0.75$
- Queda de pressão nas válvulas $\overline{\Delta P}_1 = 1 \text{ Kgf/m}^2$ e $\overline{\Delta P}_2 = 1 \text{ Kgf/m}^2$
- Abertura das válvulas $\bar{a}_1 = 0.5$ e $\bar{a}_2 = 0.5$
- Nível \bar{h} (em metros) e fração mássica do conteúdo do tanque \bar{x} (a calcular)

Considere que você tem disponível transmissores de vazão mássica para os dois fluxos de entrada, um transmissor de nível para o tanque e um transmissor de fração mássica que pode ser instalado na linha de saída. Considere os transmissores com as seguintes características:

- Transmissores de vazão mássica: faixa de calibração de 0 a 900 kg/min , constante de tempo de 5 seg e saída de 0 a 100%.
- Transmissor de nível: faixa de calibração de 0 a 12 m , constante de tempo de 5 seg e saída de 0 a 100%.
- Transmissor de fração mássica: faixa de calibração de 0 a 1, constante de tempo de 30 seg e saída de 0 a 100%.

Elabora uma estratégia de controle do nível $h(t)$ e da fração mássica $x(t)$ de forma concomitante. Apresente:

- (a) O diagrama P&ID (simbologia norma ISA S.5) da estratégia de controle elaborada;
- (b) O diagrama de blocos do sistema em malha fechada especificando em cada ponto do diagrama as variáveis do processo e respectivas unidades de engenharia;
- (c) Os parâmetros dos controladores (P, PI ou PID) projetados conforme alguma técnica escolhida (não será aceito tentativa e erro);
- (d) Estando o sistema em equilíbrio em \bar{h} e \bar{x} , apresente as respostas de $h(t)$ e $x(t)$ aos degraus (em gráficos distintos)
 - i. Da referência de nível: de $\bar{h} \text{ [m]}$ para $(\bar{h} + 2) \text{ [m]}$ (em $t = t^* \text{ min}$)
 - ii. Da referência de fração mássica: de \bar{x} para $(\bar{x} + 0.1)$ (em $t = t^* \text{ min}$)
 - iii. Da queda de pressão vazão da válvula 1 ($\Delta P_1(t)$) de 1 para 0.64 Kgf/m^2 (em $t = t^* \text{ min}$)
 - iv. Da queda de pressão vazão da válvula 2 ($\Delta P_2(t)$) de 1 para 0.25 Kgf/m^2 (em $t = t^* \text{ min}$)
 - v. Do aumento da fração mássica $x_1(t)$ de 0.4 para 0.6 (em $t = t^* \text{ min}$) e de 0.6 para 0.4 (em $t = t^* + 10 \text{ min}$)

Obs.: O tempo t^* é aquele que o processo encontra-se em regime permanente, após o transitório inicial que pode ocorrer em $t = 0$, devido às condições iniciais nulas das funções de transferência e do controlador. Ver Apêndice 1 para sugestões opcionais para diminuir t^* .

Implementação:

- Utilize todos os transmissores disponíveis.
- Os degraus nos distúrbios e na referência devem ser feitos em unidades de engenharia;
- Os sinais dos transmissores são os que devem ser usados para a realimentação na lei de controle;
- O sinal de saída do controlador deve estar entre 0 e 100%, saturando fora dessa faixa. A amplitude do sinal deve ser adaptada após a saturação (por exemplo, de 0 a 100% na saída do controlador para 0 a 1 de abertura da válvula). Ver Figura 6.
- Implemente a simulação utilizando a dinâmica não-linear do processo. Há funções no *Simulink* que podem auxiliar, como o exemplo ilustrado na Figura 5.

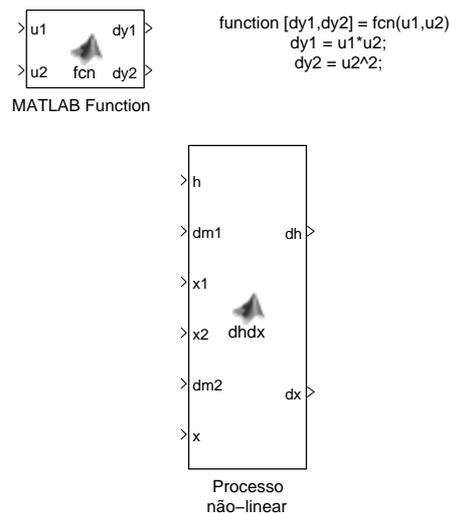


Figura 5: Implementação da dinâmica não-linear no *Simulink*.

Extra 1: Calcule o tempo de acomodação t_s pelo critério 2% (ou seja, de t^* até a acomodação em 2%) dos itens (4(d)i) e (4(d)ii) (t_{s_1} e t_{s_2}). O aluno que obter o menor valor da soma dos tempos de acomodação dos itens (4(d)i) e (4(d)ii) ($t_{s_1} + t_{s_2}$) ganhará 0.5 ponto extra.

Extra 1: O aluno que obter o menor valor de tempo de acomodação do item (4(d)v) para o degrau de 0.6 para 0.4 de $x_1(t)$, ou seja, diferença de $t = t^* + 10 \text{ min}$ ao tempo de acomodação deste distúrbio, ganhará 0.5 ponto extra.

5. (1 ponto) Considere o mesmo processo descrito no exercício anterior. A variação do distúrbio $x_2(t)$ mostrou-se significativa e portanto considere agora que você tem disponível mais um transmissor para medição da fração mássica $x_2(t)$.

(a) Projete um controlador antecipatório considerando a dinâmica do processo para compensar variações de $x_2(t)$.

- (b) Apresente o diagrama de blocos considerando os controles desenvolvidos no exercício anterior e o controle antecipatório projetado no item (5a).
- (c) Apresente as respostas de $x(t)$ aos degraus (em gráficos distintos)
- Da referência de fração mássica: de \bar{x} para $(\bar{x} + 0.1)$ (em $t = t^* \text{ min}$)
 - Do aumento da fração mássica $x_2(t)$ de 0.75 para 0.9 (em $t = t^* \text{ min}$)

1 Apêndice (opcional)

Se desejar, para minimizar t^* você pode somar à saída do controlador o sinal em regime permanente, como mostrado na Figura 6. Lembre-se que a saída do controlador sempre deve estar entre 0 e 100%, para isso a amplitude do sinal deve ser adaptada (por exemplo, de 0 a 100% para 0 a 1 de abertura da válvula), conforme ilustra a figura. Uma mesma compensação pode ser feita para o transmissor, conforme ilustra Figura 7, ou usando variáveis de desvio.

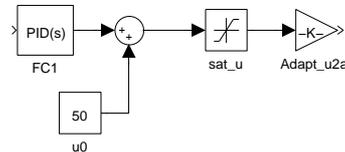


Figura 6: Implementação bloco PID com termo opcional em regime estacionário.

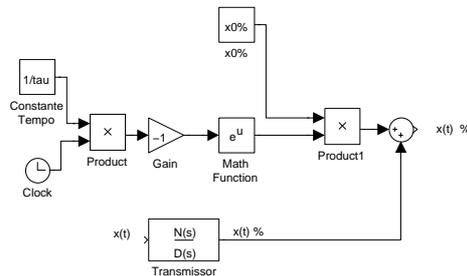


Figura 7: Implementação **opcional** bloco transmissor para anular .