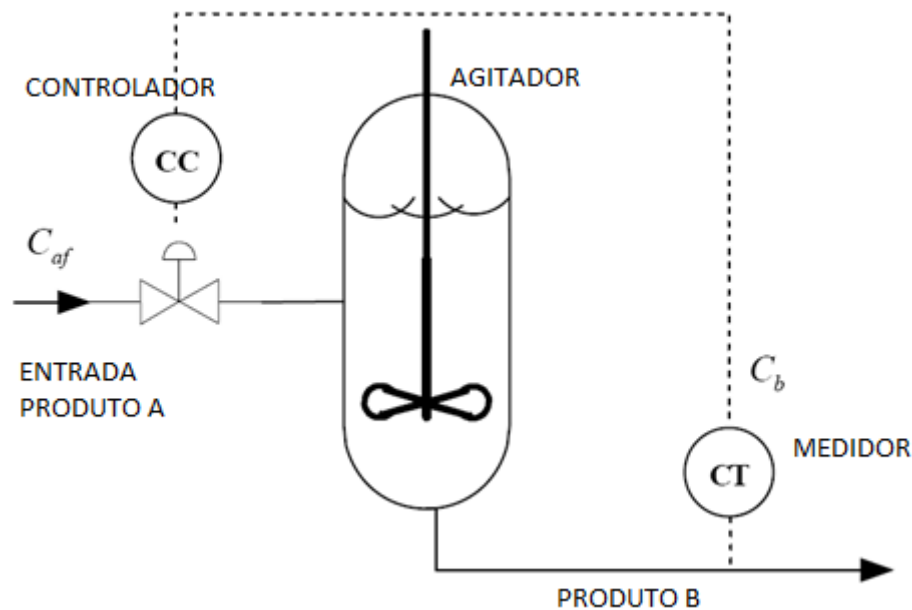
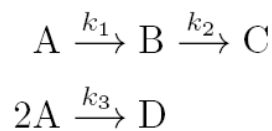


# Tarefa 1: Sistema de controle de um reator químico 2018-2

A figura mostra um sistema de controle de concentração de produto em um reator continuamente agitado, usado na indústria química.



Neste caso se produz cyclopentenol (produto B) a partir de cyclopentadiene (produto A) pela adição de um catalizador diluído em água. O sistema ainda produz dois produtos residuais dicyclopentadiene (produto D) e cyclopentanediol (produto C). A reação vem dada por:



A dinâmica de produção de B neste caso pode ser representada por:

$$\begin{cases} \frac{dC_a(t)}{dt} = -k_1 C_a(t) - k_3 C_a(t)^2 + (C_{af}(t) - C_a(t)) \frac{F(t)}{V} \\ \frac{dC_b(t)}{dt} = k_1 C_a(t) - k_2 C_b(t) - C_b(t) \frac{F(t)}{V} \end{cases}$$

Os parâmetros  $k_1$ ,  $k_2$  e  $k_3$  se consideram constantes quando o reator trabalha a temperatura constante ( $k_1 = 6.01$  [1/min],  $k_2 = 0.8433$  [1/min],  $k_3 = 0.1123$  [mol/(l min)]).

A concentração que se quer controlar  $C_b$  [mol/l] (do produto B), depende de  $C_a$  e  $C_{af}$ , que são as concentrações de A [mol/l] no reator e no fluido de alimentação, respectivamente, e também da vazão  $F$  [l/min] da diluição.  $V$  é o volume [l] do reator, que é constante.

O sistema usa  $u = F/V$  como variável manipulada e  $C_{af}$ , a concentração da entrada é a principal perturbação.  $u$  pode variar entre 0 e 10 l/min, e a concentração de entrada  $C_{af}$  entre 4.0 e 6 mol/l.

## PEDE-SE:

- 1) Analise o funcionamento do sistema em equilíbrio desenhando as características estáticas dentro da faixa de variação das diferentes variáveis envolvidas.
- 2) Usando Simulink, estude por simulação o comportamento dinâmico do sistema e verifique os pontos de equilíbrio encontrados no modelo estático. Para o ponto de equilíbrio dado por  $C_{AF} = 5.1 \text{ mol/l}$  e  $u = 1 \text{ [1/min]}$  determine a concentração de funcionamento em equilíbrio do produto A ( $C_A$ ) e do produto B ( $C_B$ ).
- 3) Para o ponto achado linearize o sistema encontrando um modelo incremental dinâmico. Desenhe um diagrama de blocos do sistema não linear e do sistema linearizado. Aplique transformada de Laplace no sistema linearizado e desenhe o diagrama de blocos em domínio “s”.
- 4) Para o sistema linearizado, usando operações com blocos encontre as funções de transferência que relacionam as variáveis manipulada e perturbação com as duas concentrações.
- 5) Usando simulink, estude por simulação o comportamento deste sistema e compare o comportamento com o do sistema não linear nas proximidades do ponto de equilíbrio. Repita a análise usando matlab (código .m). Para a simulação em matlab do processo aproxime a derivadas por  $dx/dt = (1/T_c) * (x(k+1) - x(k))$ , sendo  $T_c$  o tempo de cálculo da aproximação.
- 6) Realizando experimentos com o modelo não linear nas proximidades do ponto do equilíbrio obtenha um modelo simples de 1 ordem para as relações entre a variável manipulada e a concentração de B e a perturbação e a concentração de B. Projete um controle PI contínuo usando a técnica de alocação de polos para obter em malha fechada um sistema com  $t_{5\%}$  da ordem de 1.5 a 1.7 minutos e pico menor que 5%. Essa especificação deve ser atendida para resposta a seguimentos de degraus de referência de  $C_B$  e perturbações de  $C_{AF}$ . Use filtro de referência se necessário. Estude o comportamento do sistema sobre o modelo linearizado.
- 7) Analise as respostas em MF do sistema para degraus de referência e perturbação por simulação e interprete os resultados usando diagramas polo-zero e de resposta em frequência. Observe e quantifique as propriedades estáticas e dinâmicas das respostas. Poderia obter respostas mais rápidas? Como? É possível generalizar as propriedades das respostas deste sistema para um sistema genérico de 1 ordem? (pense em posição de polos e zeros, ganhos, etc)
- 8) Usando *Simulink*, estude por simulação o comportamento dinâmico do sistema em MF com o modelo completo não linear e verifique se atende as especificações. Implemente um cenário de simulação com a partida do sistema em rampa até chegar no ponto de operação. Simule, então, variações perto do ponto de operação e aplique perturbações. Poderia obter respostas mais rápidas? Porque? Que acontece com o sistema ao se afastar do ponto de operação?
- 9) Discretize o controle do ponto 1, escolhendo adequadamente  $T_s$ . Implemente o controle em matlab, escrevendo o código de controle. Simule um cenário onde o sistema é levado até o ponto de operação em modo MANUAL e somente então o controle passa a AUTOMATICO. Usando

ferramentas no domínio da frequência analise o seu controle discretizado e compare com o contínuo. Analise o efeito da amostragem.

- 10) Projete o controle PI direto no domínio discreto, a partir de um modelo equivalente discreto do processo, supondo um sustentador de ordem zero no sistema AD/DA, para atender as mesmas especificações do controle PI contínuo. Interprete os resultados usando diagramas polo-zero e de resposta em frequência. Usando simulink com o modelo não linear do processo teste seu controle. Considere nesta simulação ruídos de medição da concentração e saturação do atuador. A saturação do atuador tem duas componentes,  $u_{min}=0$  e  $u_{max}=10$  e a variação  $\Delta u$  não pode ser maior que  $2/\text{min}^2 \text{ m}$ .

**IMPORTANTE:** Realize todas as análises manualmente, sem ajuda do MATLAB, apenas use o software para conferir resultados.

**O TRABALHO DEVE SER APRESENTADO ORALMENTE PELO GRUPO PARA O TUTOR, PODENDO SER NUM ÚNICO DIA OU EM PARTES, A MEDIDA QUE VAI SENDO REALIZADO O TRABALHO. AS NOTAS SERÃO INDIVIDUAIS DE ACORDO COM ESTAS APRESENTAÇÕES E OS RESULTADOS OBTIDOS.**

**APRESENTE UM RELATÓRIO ESCRITO DO TRABALHO PARA ENTREGA COM O SEGUINTE CONTEÚDO:**

- Apresentação do processo, com variáveis, funcionamento e modelo fenomenológico;
- Apresentação do modelo identificado experimentalmente e como se obteve o modelo discreto usado para o controle;
- Projeto do controle discreto (item 10);
- Apresentação de resultados das simulações e discussão dos mesmos.

**DATA FINAL PARA APRESENTAÇÃO: 31-08**