Tarefas relacionadas ao modelo computacional de pH

As tarefas estão organizadas com relação aos capítulos do livro texto de modo a facilitar a execução.

Capítulo 1

1. baixe os arquivos em

   e instale-os na plataforma de sua conveniência, isto é, Matlab ou Python;
2. os *scripts* de simulação são `simrk_ph_teste` e `simrk_ph_CD`. Execute-os;
3. o primeiro simula a planta de pH e alguns modelos lineares discretos em malha aberta. Usando um fluxograma, descreva os principais aspectos da simulação e indique em que *scripts* cada parte é executada;
4. a integração numérica é realizada por meio de um algoritmo de Runge-Kutta de quarta ordem. O que é integração numérica?
5. O script `simrk_ph_CD` simula o processo em malha fechada com um controlador simples. Que tipo de controlador foi implementado?
6. Usando um fluxograma, descreva os principais aspectos da simulação em malha fechada. Explicite claramente a parte que corresponde à planta em tempo "contínuo" e ao algoritmo de controle em tempo discreto.

Capítulo 2

Com respeito ao script `simrk_ph_teste` pede-se:

1. identifique no código o intervalo de integração e o tempo de amostragem. Qual é a diferença conceitual dessas variáveis no contexto do código? Quais são os valores usados?
2. Em uma aplicação experimental qual dessas variáveis não existe? Por quê?
3. Simule o script para diferentes valores de tempo de amostragem. Mantenha constante o intervalo de integração. Discuta as diferenças encontradas?
4. Reconheça no código onde e como se emula o segurador de ordem zero.

Capítulo 3

Com respeito ao script `simrk_ph_teste` pede-se:

1. encontre as equações de diferença correspondentes a modelos lineares. Obtenha as correspondentes funções de transferência.
2. Escolha um ponto de operação diferente ao que foi dado – que chamamos de ponto de operação original – e observe o desempenho dos modelos lineares. O que ocorreu? Por quê?
3. A partir de uma resposta ao degrau do processo "em tempo contínuo", obtenha uma função de transferência do tipo:

   $$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1},$$

   para o ponto de operação original. A partir de $G(s)$, use (2.46) e (3.3) [1a edição] ou (2.44) e (3.3) [2a edição] para encontrar uma função de transferência $G(z)$. Implemente a função de transferência encontrada na forma de uma equação de diferenças. Simule e compare o desempenho de seu modelo com aqueles fornecidos no script.

Capítulo 4

Com respeito ao script `simrk_ph_teste` pede-se:

1. reconheça no código onde e como se emula o processo de amostragem da saída do processo;

2. trace e compare os diagramas de Bode das funções de transferência implementadas nesse script;

3. nos exercícios do Capítulo 3 foi pedido encontrar um modelo em tempo contínuo $G(s)$ a partir da resposta ao degrau. Use o modelo encontrado para:

   a) traçar o diagrama de Bode e compará-lo aos encontrados no item 2 acima;
   b) discretize $G(s)$ usando os procedimentos discutidos no Complemento 4.1. Compare o desempenho dos modelos discretizados com o correspondente em tempo contínuo.

Capítulo 5

Com respeito ao script `simrk_ph_CD` pede-se:

1. escolha uma função de transferência para representar o processo em malha aberta. Essa função pode ser dentre as que estão implementadas em `simrk_ph_teste` ou pode ser uma obtida por você. Chamando essa função de $G(z)$, use o critério de Jury para achar a faixa de valores de K para a qual as raízes da equação característica $1+KG(z)=0$ tenha todas as raízes dentro do círculo de raio unitário. Valide esse resultado por simulação usando `simrk_ph_CD`;

2. trace o diagrama polar de $G(e^{j\omega})$ usando a mesma função do item anterior e aplique o critério de Nyquist. Faça isso para dois valores de K, um que garanta estabilidade e outro que não. Discuta os resultados à luz daqueles do item anterior;

3. é possível encontrar um valor de K tal que a margem de fase seja de $60°$? Em caso positivo, que valor é esse? Feche a malha com esse valor de K e mostre a resposta ao degrau correspondente. Em caso negativo explique a razão e as possíveis consequências;

4. trace a resposta em frequência do processo na carta de Nichols para os dois valores de ganho usados no segundo item. Determine as margens de ganho e de fase em cada caso;

5. trace o lugar das raízes e discuta a coerência do resultado com os demais itens acima.

Capítulo 6

Em alguns itens abaixo é necessário fazer o projeto de um controlador. Para realizar o projeto, use uma função de transferência que descreva o comportamento do processo em torno do ponto de operação de interesse. Tendo projetado o controlador, *feche a malha usando o script* `simrk_ph_CD`. Ou seja, para validar resultados por simulação, escreva o controlador projetado na forma de uma equação de diferenças e implemente-a no script indicado. Assim, pede-se:

1. usando o controlador puramente proporcional $K=1/5$, determine de maneira teórica e por simulação o erro em estado estacionário para entrada em degrau. Para a abordagem teórica, use uma função do processo à sua escolha. Para verificar o resultado simulado, use `simrk_ph_CD`;

2. igual ao item anterior, mas para distúrbio em degrau;

3. para o mesmo controlador usado nos itens acima, estime de maneira teórica e por simulação, o tempo de acomodação t_{s}. Discuta o procedimento seguido;

4. variando o valor de K, qual é o menor t_{s} que consegue atingir sem exceder 20% de sobressinal?

5. projete um compensador de avanço de fase para reduzir o tempo de acomodação para a metade. Qual foi o impacto sobre o erro em estado estacionário para entradas em degrau? Se a meta não foi alcançada, discuta as possíveis razões para isso. Usando o script `simrk_ph_CD`, mostre o comportamento em malha fechada com o controlador projetado;

6. projete um compensador de atraso de fase para reduzir o erro em estado estacionário para entradas em degrau para a metade. Qual foi

o impacto sobre t_s e M_p? Se a meta não foi alcançada, discuta as possíveis razões para isso. Usando o script `simrk_ph_CD`, mostre o comportamento em malha fechada com o controlador projetado;

7. sintonize um controlador PID para i) eliminar o erro em estado estacionário para entradas em degrau, ii) alcançar a metade do tempo de acomodação do caso em que o controlador é K=1/5, iii) não exceder 15% de sobressinal. Usando o script `simrk_ph_CD`, mostre o comportamento em malha fechada com o controlador projetado;

8. projete e implemente um controlador *dead-beat*. Usando o script `simrk_ph_CD`, mostre o comportamento em malha fechada com o controlador projetado;

9. projete e implemente um controlador de Dahlin para alcançar a metade do tempo de acomodação do caso em que o controlador é K=1/5. Usando o script `simrk_ph_CD`, mostre o comportamento em malha fechada com o controlador projetado;

10. projete e implemente um controlador pelo método de Kalman. Usando o script `simrk_ph_CD`, mostre o comportamento em malha fechada com o controlador projetado;

11. discuta os principais aspectos, prós e contras, e desempenho dos controladores projetados.

Capítulo 7

No mesmo lugar onde baixou os scripts iniciais, isto é, em também se encontram outros dois: `simrk_ph_teste_ee` e `pH_linear`, que estão incluídos no mesmo arquivo compacatado:

`Modelo_de_pH_MATLAB_espaco_de_estados_linear.zip`.

Baixe e descompacte esse arquivo.

As seguintes perguntas dizem respeito ao script `simrk_ph_teste_ee`. O modelo não linear foi linearizado em torno do ponto de operação que se alcança para vazão de ácido forte 3 ml/s e vazão de base forte 2 ml/s. Os parâmetros encontram-se no script `pH_linear`, que é chamado por `simrk_ph_teste_ee`. A discretização foi realizada para um tempo de amostragem de T=40 s. A matriz A resultante é uma matriz diagonal com elementos:

$$A = \mathrm{diag}[0{,}031\ 0{,}791\ 0{,}791\ 1{,}0\ 1{,}0\ 1{,}0\ 1{,}0].$$

A respectiva matriz de entrada, B é:

$$B = \begin{bmatrix} 0{,}1545 & 0{,}1545 \\ 2{,}47\times10^{-4} & -2{,}49\times10^{-4} \\ -4{,}56\times10^{-5} & -4{,}15\times10^{-5} \\ -0{,}0303 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -0{,}0303 \\ 0 & 0 \end{bmatrix},$$

em que a primeira coluna corresponde à vazão de ácido forte e a segunda, à vazão de base forte.

1. Reconheça no código onde e como se simula o modelo linearizado;
2. qual é o valor das variáveis de estado no ponto de operação?
3. qual é o valor do pH no ponto de operação?
4. analise a estabilidade do modelo linearizado;
5. observando que a matriz A é diagonal, discuta a controlabilidade do par (A, B);
6. o pH é uma função não linear dos estados x_2 e x_3, sendo que, na prática, essa grandeza é medida por um peagâmetro. Supondo que x_2 e x_3 fossem medidas individualmente, proponha uma matriz de saída C para refletir isso. Discuta a observabilidade do par (A, C) à luz de que se trata de uma planta de pH em que essa é a variável a ser controlada.

Capítulo 8

As seguintes perguntas dizem respeito ao script `simrk_ph_teste_ee` e ao modelo linearizado apresentado no início da Seção 7.5.

1. Analise a controlabilidade do par (A, B). Note que somente os estados x_2 (concentração de ácido) e x_3 (concentração de base) são usados para calcular o pH. Com isso em mente, volte a analisar o problema da controlabilidade;

2. projete uma lei de controle por realimentação dos estados x_2 e x_3 tal que a constante de tempo associada a essas variáveis seja a metade da constante de tempo em malha aberta;

3. valide seu projeto por meio de simulação. Compare a velocidade de resposta das variáveis x_2 e x_3 antes e depois do controle. Leve o sistema ao ponto de operação e aplique uma pequena perturbação usando a vazão de ácido forte para isso. Lembre-se que a vazão de base forte é a entrada manipulada. Faça isso em malha aberta e.g. como a vazão de base forte constante e também em malha fechada em que essa vazão é determinada pela lei de controle. Compare a velocidade de resposta nos dois casos;

4. nas simulações do item anterior, compare a velocidade de resposta do pH;

5. no caso de se medir $y = x_2 + 0{,}5x_3$, ou seja, $\boldsymbol{c}^{\mathrm{T}} = [0\ 1\ 0{,}5\ 0\ 0\ 0\ 0]$, projete um observador com somente dois estados: $\hat{x}_2$ e $\hat{x}_3$;

6. usando o observador projetado, implemente a lei de controle projetada no segundo item. Usando o script `simrk_ph_CD`, simule o sistema projetado em malha fechada.