

1-Introdução ao Controle de Processos

Plantas químicas **não** operam em estado estacionário. O estado estacionário, apesar de ser uma condição de operação desejável, nem sempre é atingido ou mantido por muito tempo. Isso quer dizer que numa planta química, as condições de operação estão sujeitas a mudanças ao longo do tempo. O nível de líquido em um equipamento, a pressão em um vaso, a vazão de um reagente ou sua composição; todas estas condições podem (e costumam) variar. Assim, existe a necessidade de se monitorar a operação destas plantas e intervir para garantir a satisfação dos objetivos operacionais.

1.1- Por que controlar?

Plantas químicas devem operar sob condições conhecidas e pré-determinadas. Existem várias razões para isso:

- Segurança: restrições de segurança e ambientais não podem ser violadas.
- "Operabilidade": certas condições são requeridas para que as reações desejadas ou outras operações ocorram.
- Economia: plantas químicas são caras e devem gerar lucros. Produtos finais devem atender aos requerimentos de pureza do mercado ou não serão vendidos.

Uma planta química deve ser pensada como uma coleção de tanques nos quais materiais são aquecidos, resfriados e reagem, e de tubulações através das quais estes materiais escoam. Tais sistemas em geral não se mantêm em tal estado que a temperatura requerida para uma reação se mantenha, que a pressão além dos limites de segurança em todos os tanques seja evitada ou que a vazão exata para atingir a composição ótima do produto seja atingida.

Controlar um processo significa atuar sobre ele, ou sobre as condições a que o processo está sujeito, de modo a atingir algum objetivo - por exemplo, podemos achar necessário ou desejável manter o processo sempre próximo de um determinado estado estacionário, mesmo que efeitos externos tentem desviá-lo desta condição. Este estado estacionário pode ter sido escolhido por atender melhor aos requisitos de qualidade e segurança do processo.

Exemplo 1.1: considere o tanque de aquecimento da Figura 1.1:

Um líquido entra no tanque com uma vazão F_i (l/h) e uma temperatura T (°C) em que é aquecido com vapor (que tem uma taxa de alimentação F_{st} (kg/h)). O tanque é perfeitamente agitado, o que significa que a temperatura da corrente de saída é igual à

temperatura do líquido no tanque. A corrente de saída tem vazão F e temperatura T . Os objetivos operacionais do tanque são:

- 1-Manter a temperatura de saída T num valor desejado T_s
- 2-Manter o volume de líquido no tanque num valor desejado V_s

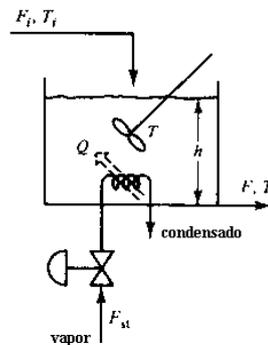


Figura 1.1-Tanque aquecedor.

Se o processo operasse em estado estacionário, ou seja, se nada mudasse, não seria necessário controlar o processo. Uma vez que a temperatura da corrente de saída fosse igual a T_s e o volume de líquido igual a V_s o sistema poderia funcionar sem supervisão ou controle. No entanto, a operação de equipamentos é afetada por fatores externos. Por exemplo, podem ocorrer mudanças na vazão e temperatura de entrada (F_i e T_i). Assim, é necessário um esquema de controle que mantenha T e V nos valores desejados T_s e V_s .

Uma outra situação que pode ocorrer é a mudança dos valores desejados. Por algum motivo deseja-se que o tanque deixe de operar na temperatura T_s e no volume V_s e opere em T_{s1} e V_{s1} . Também neste caso um esquema de controle é necessário para levar o sistema às novas condições de operação.

Na Figura 1.2 está mostrado um esquema de controle para manter $T=T_s$ quando T_i e/ou F_i sofrem perturbações. Um termopar (sensor de temperatura) mede a temperatura T do líquido dentro do tanque. T é comparada com o valor desejado T_s gerando um desvio $\varepsilon=T_s-T$. O valor do desvio é enviado para um mecanismo de controle que decide o que deve ser feito para que a temperatura T volte ao valor desejado T_s . Se $\varepsilon>0$, o que implica em $T_s>T$, o controlador abre a válvula de vapor de forma que mais calor seja fornecido ao sistema. Ao contrário, se $\varepsilon<0$, e logo $T_s<T$, o controlador fecha a válvula de vapor. Está claro que se $\varepsilon=0$, $T=T_s$ e o controlador não faz nada. Este tipo de sistema de controle, que mede a variável a ser controlada (T neste caso) depois que uma perturbação a afeta é chamado de controle *feedback*. O valor desejado T_s é chamado de *set point* e é especificado externamente pela pessoa responsável pela produção (operador).

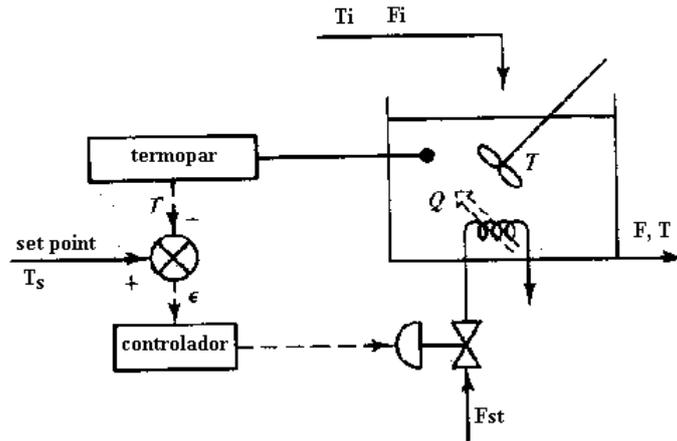


Figura 1.2- Esquema de controle *feedback* de um tanque aquecedor.

Uma configuração similar pode ser usada se desejamos manter o volume V , ou de forma equivalente, o nível de líquido h , no seu set point (h_s) quando F_i muda. Neste caso medimos o nível do líquido no tanque e abrimos ou fechamos a válvula que afeta a vazão de saída F , ou a vazão de entrada (F_i). Este também é um esquema de controle *feedback* já que age depois do fato, ou seja, depois que o efeito da perturbação foi sentido pelo processo (mudança da variável controlada T).

Pode-se usar um arranjo diferente para manter a temperatura $T=T_s$ quando T_i muda. Mede-se a temperatura da corrente de entrada T_i e abre-se ou fecha-se a válvula de vapor para fornecer mais ou menos calor. Se T_i aumenta, a temperatura do tanque T tende a subir, logo a válvula de vapor deve ser fechada para fornecer menos calor e manter a temperatura em T_s . Ao contrário, se T_i diminui, deve-se abrir a válvula de vapor. Este esquema de controle é chamado de *feedforward* e é mostrado na Figura 1.3. Pode-se notar que o controle *feedforward* não espera até que a perturbação seja sentida pelo sistema, mas age antecipadamente, prevendo qual será o efeito da perturbação.

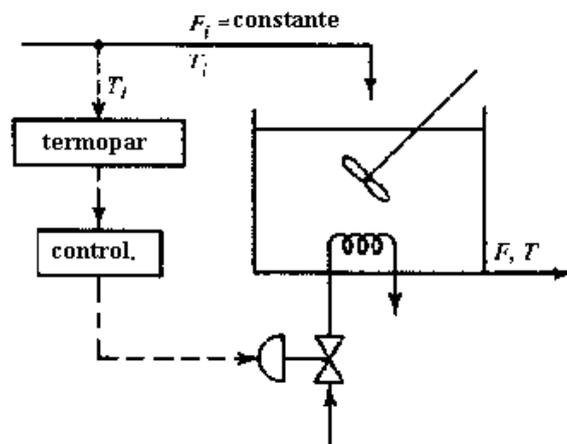


Figura 1.3- Esquema de controle *feedforward* de um tanque aquecedor.

1.2-Classificação das variáveis de um processo químico

As variáveis (vazões, temperaturas, pressões, concentrações etc.) associadas a um processo químico são divididas em dois grupos

- variáveis de entrada, que estão relacionadas com o efeito do meio externo no processo.
- variáveis de saída, que estão relacionadas com o efeito do processo no meio externo.

Exemplo 1.2: Considere o CSTR (Continuous Stirred Tank Reactor) abaixo:

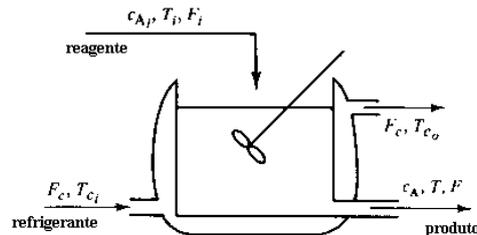


Figura 1.4- CSTR.

Para este reator temos:

- variáveis de entrada: C_{ai} , T_i , F_i , T_{ci} , F_c , (F)
- variáveis de saída: C_a , T , F , T_{co} , V

A vazão de efluente, F , pode ser considerada uma variável de entrada ou saída. Se há uma válvula na corrente de efluente, de forma que a sua vazão possa ser manipulada por um controlador, F é uma variável de entrada, desde que a abertura da válvula é ajustada externamente; senão F é uma variável de saída.

As variáveis de entrada podem ainda ser classificadas da seguinte maneira

- variáveis manipuladas (ou ajustáveis), cujos valores podem ser ajustados por um operador humano ou por um mecanismo de controle.
- perturbações, cujos valores não são resultantes de ajuste por um operador ou sistema de controle

As variáveis de saída podem ser classificadas em:

- variáveis medidas, cujos valores são conhecidos por medida direta.
- variáveis não medidas, cujos valores não podem ser medidos diretamente.

Exemplo 1.3: Suponha que a corrente de entrada do CSTR do exemplo 1.2 (Figura 1.4) vem de uma unidade sobre a qual não temos nenhum controle. Então C_{ai} , F_i e T_i são perturbações. Se a vazão de refrigerante é controlada através de uma válvula de controle, F_c é uma variável manipulada, enquanto T_{ci} é uma perturbação. Além disso, se a vazão de efluente é controlada por uma válvula, F é uma variável manipulada, de outra forma é uma variável de saída.

Com respeito às variáveis de saída, temos o seguinte: T , F , T_{co} e V são saídas medidas, desde que seus valores podem ser facilmente conhecidos usando-se termopares (T , T_{co}), um tubo Venturi (F) e uma célula de diferencial de pressão (V). A concentração C_a pode ser uma variável medida se um analisador (cromatógrafo gasoso, espectrofotômetro de infravermelho, etc.) está ligado à corrente de efluente. Em muitas plantas estes analisadores não estão presentes porque são caros e/ou pouco confiáveis. Em tais casos, C_a é uma variável de saída não medida.

As perturbações também podem ser classificadas como medidas ou não medidas. Como veremos mais tarde, perturbações não medidas geram problemas de controle mais difíceis.

1.3-Elementos de projeto de um sistema de controle

- Definir o objetivo do controle:

O elemento central de qualquer configuração de controle é o processo a ser controlado. A primeira pergunta que deve ser respondida é qual o objetivo operacional do sistema de controle. Que variáveis se deseja controlar?

- Selecionar as medidas:

Quaisquer que sejam os nossos objetivos de controle, precisamos de meios de monitorar o desempenho do processo químico. Isto é feito medindo-se os valores de certas variáveis de processo (temperaturas, pressões, concentrações, vazões, etc.). Logo a segunda questão é: que variáveis devem ser medidas para monitorar o desempenho da planta? É fácil concluir que gostaríamos de medir diretamente as variáveis que representam os nossos objetivos de controle e isso é o que é feito sempre que possível. Estas medidas são chamadas de medidas primárias.

Exemplo 1.4: Para o tanque aquecedor do exemplo 1.1 (Figura 1.1) os nossos objetivos de controle eram manter o volume e a temperatura do líquido no tanque em níveis desejados, ou seja, manter $T=T_s$ e $V=V_s$. Consequentemente a primeira tentativa é instalar medidores para monitorar T e V diretamente. Para este caso, isso é bastante simples.

Algumas vezes acontece que os nossos objetivos de controle não são quantidades mensuráveis, ou seja, pertencem à classe de saídas não medidas. Nestes casos, devem-se medir outras variáveis que possam ser medidas com facilidade e confiança. Estas medidas de suporte são chamadas de medidas secundárias. Então desenvolvemos relações matemáticas entre as saídas não medidas e as medidas secundárias, ou seja

$$\text{saída não medida} = f(\text{medidas secundárias})$$

que nos permitem determinar os valores das variáveis não medidas (sempre que os valores das medidas secundárias estejam disponíveis). Estas relações matemáticas podem resultar de considerações empíricas, experimentais ou teóricas.

A terceira classe de medidas que podem ser feitas para monitorar o comportamento do processo inclui a medida direta de perturbações externas. Medir as perturbações antes que elas atinjam o processo pode ser muito vantajoso, porque nos permite saber com antecedência qual vai ser o comportamento do processo e tomar ações de controle para evitar qualquer consequência indesejada.

- Selecionar as variáveis manipuladas:

Uma vez que os objetivos de controle foram especificados e as várias medidas identificadas, a próxima questão é: que variáveis manipuladas vamos usar para controlar o sistema? Normalmente num processo temos algumas variáveis de entrada que podem ser ajustadas. Qual selecionar é uma questão importante, que afetará a qualidade das ações de controle tomadas.

A variável a manipular tem que ter um efeito razoável sobre aquelas que definem o objetivo desejado. Muita ou pouca sensibilidade geram inconvenientes que devem ser evitados. Pouca sensibilidade significa que seriam necessárias mudanças muito grandes na variável manipulada para produzir um efeito na variável controlada. Neste caso, surgem problemas de saturação de instrumentos, problemas de ruídos etc. Muita sensibilidade também não é desejável, pois apenas uma pequena mudança na variável manipulada já produz um efeito exagerado na variável controlada. Surgem problemas com a resolução dos instrumentos e, novamente, com o efeito de ruídos.

Exemplo 1.5: Para controlar o nível de líquido num tanque podemos ajustar (manipular) a vazão da corrente de entrada ou a vazão da corrente de saída. Qual a melhor é uma questão importante a ser respondida mais tarde.

- Selecionar a configuração de controle:

Uma configuração (ou estrutura) de controle é a estrutura de informação que é usada para conectar as medidas disponíveis às variáveis manipuladas disponíveis.

- Projetar o controlador:

Em toda configuração de controle o controlador é o elemento ativo que recebe a informação das medidas e toma ações de controle apropriadas para ajustar os valores das variáveis manipuladas. Para o projeto de um controlador devemos responder à seguinte pergunta: Como a informação tirada das medidas é usada para ajustar as variáveis

manipuladas? A resposta desta questão constitui a lei de controle, que é implementada automaticamente pelo controlador.

Bibliografia:

1-Stephanopoulos, George, *Chemical Process Control: An Introduction to Theory and Practice*, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1984.

2-Luyben, William L., *Process Modeling, Simulation and Control for Chemical Engineers*, 2nd edition, McGraw-Hill Inc., Singapore, 1990.

3-Seborg, Dale E., Thomas F. Edgar e Duncan A. Mellichamp, *Process Dynamics and Control*, J. Wiley, New York, 1989.

4-Curso de Controle de Processos, PUC-Rio, http://venus.rdc.puc-rio.br/werneckr/index_cp.html.

5-Curso de Controle de Processos, University of Newcastle Upon Tyne, <http://lorien.ncl.ac.uk/ming/Dept/Swot/notes.htm>.