

Aula 2: Instrumentação para Controle de Processos

Prof. Gabriel de Castro Fonseca (DQBIO/UFSJ)
Instrumentação e Controle de Bioprocessos

Contextualização

Quais são os instrumentos básicos para controle?

Na aula passada estudamos como funcionam os sistemas de controle em malha fechada, que dependem da realização de medidas a serem interpretadas por um controlador que interfere no sistema por meio de um elemento final de controle. Todas essas ações dependem de instrumentos sobre os quais falaremos na aula de hoje.

Classificação dos instrumentos

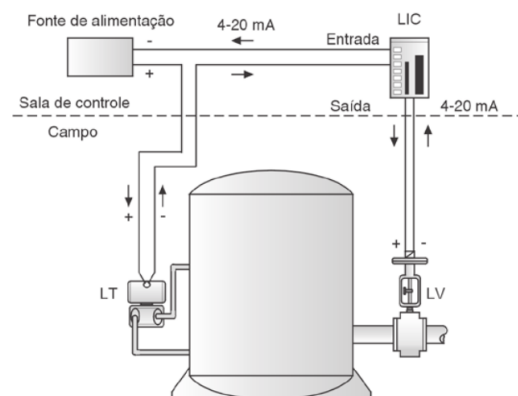
Que tipos de instrumentos são usados em malhas de controle?

A Figura 1 é um exemplo de malha de controle por realimentação. A variável controlada neste caso é o nível e sabemos disso por causa da letra L no início dos códigos LT, LIC e LV.

Por convenção, cada equipamento em uma malha de controle recebe um código, e a primeira letra desse código diz respeito à variável medida ou controlada pelo dispositivo. Por exemplo, T é temperatura, P é pressão, F é vazão (*flow*) e L é nível (*level*).

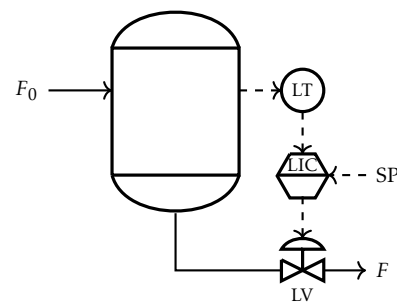
O grupo de letras que se segue à identificação da variável tem relação com a função que o equipamento desempenha: instrumentos de medida, controladores e elementos finais de controle, como veremos mais à frente.

Figura 1: Malha de controle de nível (Alves, 2010).



Como as malhas de controle são representadas formalmente?

Figura 2: Diagrama P&ID de malha de controle de nível.



Observe como a Figura 1 está separada em duas regiões: campo e sala de controle ou painel. O campo é a área onde se encontra o processo e os instrumentos em contato direto com ele, como transmissores e EFC. A sala de controle é uma sala separada do processo onde se localiza o painel de controle, no qual as condições do sistema podem ser observadas e alteradas.

Os diagramas de processo e instrumentação (P&ID) usados na indústria contêm informações importantes sobre os instrumentos de forma codificada segundo a norma internacional ISA S5.1 (*Instrumentation Symbols and Identification*). É a mesma norma que impõe as convenções para a nomenclatura dos equipamentos.

A Figura 2 representa a mesma malha de controle de nível da Figura 1, mas observando essas normas com mais precisão. Instrumentos localizados na sala de controle, por exemplo são indicados por um traço horizontal. Equipamentos computadorizados são representados como hexágonos. Linhas cheias representam correntes de processo, tracejadas representam sinais elétricos. Há muitas outras convenções, mas uma discussão sobre elas seria exaustiva.

Instrumentos de medida

Como funcionam os instrumentos de medida?

O equipamento LT é um **transmissor** de nível. Juntamente com um **sensor** (representado por uma letra E), o transmissor é um dos elementos que compõem um instrumento de medida.

- **sensor** ou **elemento primário**: parte de um instrumento de medida que está em contato direto com o sistema e tem suas propriedades físicas ou químicas alteradas no processo de medida.
- **transmissor** ou **elemento secundário**: parte de um instrumento de medida que converte a mudança das propriedades do sensor em um sinal que pode ser detectado por outros instrumentos.

Como funcionam os instrumentos de medida?

Um instrumento de medida pode ser formado apenas por um sensor, por um sensor associado a um transmissor ou por um elemento que é sensor e transmissor ao mesmo tempo.

Um termômetro de mercúrio é um exemplo de sensor puro, pois ele fica em contato direto com um sistema e tem uma propriedade que sofre alteração em consequência do contato (sua densidade varia com a temperatura). O termômetro, porém, não gera um sinal que possa transmitir a temperatura medida para outros instrumentos.

Um RTD é outro instrumento de medida de temperatura que será discutido em mais detalhes na próxima aula, mas trata-se essencialmente de um equipamento cuja resistência elétrica varia com a temperatura. Variações em uma resistência elétrica podem ser facilmente convertidas em uma corrente, que pode ser transmitida para outro equipamento. O RTD é ao mesmo tempo um sensor e um transmissor.

Obviamente, instrumentos de medida que contenham um elemento transmissor são mais interessantes para a implementação de um sistema de controle automático, pois podem comunicar o valor medido da variável controlada ao controlador.

O sinal de saída gerado pelo transmissor tem um valor padronizado. No caso de sinais elétricos analógicos, a corrente tem valor entre 4 e 20 mA. No caso de sinais pneumáticos, a saída é ar comprimido entre 3 e 15 psi (≈ 20 a 100 kPa).

Geralmente existe uma relação linear entre o valor da variável medida detectado pelo sensor e o valor da corrente ou pressão transmitida pelo transmissor. Por exemplo, se um RTD mede temperaturas na faixa entre 0 e 100 °C, ao detectar uma temperatura de 0 °C ele transmitiria 4 mA, ao detectar 100 °C transmitiria 20 mA e ao detectar 50 °C, a corrente gerada seria de 12 mA. Essa relação entre a entrada e a saída do instrumento de medida é chamada calibração.

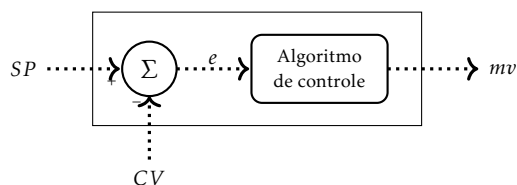
A razão para o valor mínimo do sinal elétrico ou pneumático ser um valor diferente de zero (4 mA ou 3 psi respectivamente) é para evitar leituras equivocadas no caso de haver problemas com um fio.

Resumo

Instrumentos de medida

Instrumentos de medida são compostos por dois elementos: o sensor, que interage diretamente com o sistema; e o transmissor, que converte a mudança nas propriedades do sensor em um sinal que é passado a outros instrumentos.

Figura 3: Esquema de controlador.



Como os instrumentos de medida se comunicam com o controlador?

Os sinais pneumáticos foram o padrão na indústria até meados dos anos 1960, quando começaram a ser substituídos pelos sinais elétricos. A partir dos anos 1990 a indústria migrou do padrão elétrico para o digital. Isso não quer dizer que os sinais elétricos e pneumáticos jamais sejam utilizados, mas são cada vez menos prevalentes.

A tecnologia digital é chamada de barramento de campo ou *fieldbus*. O principal benefício do sinal digital é a grande quantidade de informação que pode ser transmitida dessa maneira: só é possível transmitir um único valor de corrente elétrica de cada vez por um fio condutor, mas vários bits podem ser transferidos ao mesmo tempo e em múltiplas direções. Uma consequência disso é que um mesmo cabo pode ser compartilhado por vários equipamentos. A redução no número de cabos necessários facilita muito a instalação e manutenção do sistema de controle.

Outro benefício é que, como equipamentos que se comunicam por *fieldbus* requerem microprocessadores para trabalhar com os sinais digitais, alguns instrumentos de medida inteligentes contêm controladores embutidos e podem se comunicar diretamente com o elemento final de controle.

Controlador

Como funcionam os controladores?

O código LIC na Figura 1 que significa “indicador e controlador de nível”. Um **indicador** é um instrumento que, como diz o nome, indica o valor da variável controlada, no caso o nível do tanque. Outro dispositivo relacionado é o **registrador** (R), que armazena valores da variável medida ao longo do tempo em um arquivo ou um gráfico.

O LIC é, além de indicador, um **controlador**, ou seja, ele é o equipamento que interage com uma variável manipulada baseado na leitura da variável controlada feita pelo transmissor. Neste caso, a variável manipulada é a vazão na saída do tanque; se o nível do tanque não for o desejado, o controlador faz com que o **elemento final de controle** LV (válvula) se abra ou se feche, corrigindo o nível através da vazão.

Como funcionam os controladores?

A maioria dos controladores modernos são sistemas computadorizados que variam desde equipamentos compactos dedicados exclusivamente ao controle de uma única malha até computadores especiais dedicados ao controle, monitoramento e registro de múltiplas malhas. Um controlador pode inclusive ser um computador comum, mas controladores não precisam necessariamente ser computadores. Os primeiros controladores industriais foram desenvolvidos nos anos 1930 e eram dispositivos pneumáticos.

Um controladores é um equipamento que executa as seguintes funções (Figura 3):

- ajusta valor do *set-point* de uma variável.
- compara o valor desejado (*set-point*, SP) e variável controlada (CV):

$$e(t) = SP - CV \quad (1)$$

- calcula valor manipulado (mv) a partir do erro (e).

O valor manipulado é a ação de controle passada do controlador para o elemento final de controle. Esse valor é calculado a partir de um algoritmo de controle. O algoritmo mais simples é o controle *on-off* (liga-desliga), usado por exemplo em refrigeradores. Quando a temperatura no interior da geladeira sobe acima de um certo limite, o refrigeramento liga; quando cai abaixo de outro limite, desliga. A ação de controle é binária: ou existe ou não existe. Esse algoritmo é utilizado quando a variável controlada responde muito lentamente a perturbações (como é o caso da temperatura em um refrigerador bem isolado termicamente) e quando é tolerável que a variável oscile constantemente em torno do *set-point*.

Uma alternativa um pouco mais sofisticada é o controlador-P. Neste algoritmo a ação de controle é proporcional ao valor do erro. Entre o estado completamente aberto ou completamente fechado do elemento final de controle, é possível que o valor manipulado tenha valores intermediários.

$$mv(t) = K_c e(t) \quad (2)$$

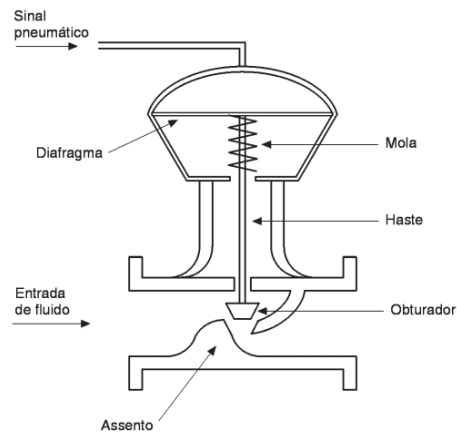
Conforme estudaremos futuramente nesta disciplina, o controlador-P tem algumas limitações e certos processos requerem algoritmos de controle mais complexos.

Resumo

Controlador

Controladores são equipamentos que calculam e executam uma ação de controle com base na diferença entre a variável controlada e o *set-point*.

Figura 4: Válvula pneumática (Alves, 2010).



Elemento final de controle

O que é o elemento final de controle?

O dispositivo LV na Figura 1 é um elemento final de controle com efeito sobre o nível do tanque.

Os elementos finais de controle são os mecanismos de atuação do sistema de controle sobre o processo. A função desse elemento é alterar o valor de uma variável manipulada obedecendo ao comando do controlador.

Os principais tipos de elementos finais de controle são:

- Relés;
- Válvulas;
- Bombas ou compressores de vazão variável.

Os relés são interruptores acionados eletricamente. São chaves que ligam e desligam os contatos em um condutor e por isso são usados em controladores *on-off*. As válvulas e as bombas ou compressores de vazão variável podem regular o fluxo que as atravessa em função do comando que recebem do controlador, portanto são os elementos finais de controle utilizados juntamente com algoritmos de controle mais sofisticados.

As válvulas costumam ser mais utilizadas do que as bombas ou compressores por serem mais baratas e de manutenção mais simples. Uma válvula de controle se divide em dois componentes, o atuador e o corpo. O atuador é o elemento que transmite força motriz para abrir ou fechar a válvula, que pode ser um sinal elétrico ou pneumático. As válvulas pneumáticas também são mais baratas do que as elétricas e são as mais usadas, exceto para aplicações em grande escala, envolvendo tubulações com mais que 25 cm de diâmetro.

Como funcionam as válvulas pneumáticas

O atuador no caso da válvula pneumática é uma câmara contendo um diafragma que se expande ou contrai em função da pressão. O corpo é a parte da válvula que executa a função de controle, regulando a vazão de fluido que a atravessa usando um obturador (plugue), um portão ou uma esfera para abrir ou bloquear uma passagem. A Figura 4 mostra um esquema de uma válvula de deslocamento linear com obturador.

A vazão volumétrica \dot{V} de fluido que atravessa uma válvula é dada por

$$\dot{V} = C_v(A) \cdot \sqrt{\frac{\Delta P}{d}} \quad (3)$$

Onde ΔP é a diferença de pressão entre entrada e saída; d é a densidade do fluido em relação à água; e C_v é o coeficiente da válvula, que é uma função da área A de passagem de fluido. Em algumas válvulas a relação entre C_v e A é linear, mas outras são projetadas com uma relação não linear visando uma abertura mais rápida ou mais lenta. O valor manipulado diretamente pelo controlador é a área de abertura da válvula, que por sua vez interfere na vazão volumétrica de fluido.

A válvula mostrada na Figura 4 é do tipo ar-para-abrir. Isso significa que a posição natural do obturador é fechando o caminho do fluido. Outra possibilidade é a válvula ar-para-fechar, que na ausência de pressurização no atuador se mantém completamente aberta. A escolha de válvulas ar-para-fechar ou ar-para-abrir é importante por razões de segurança: no caso de haver uma falha no sistema de controle, por exemplo, se a mangueira de ar comprimido estiver furada, dependendo da situação pode ser preferível que a passagem de fluido seja mantida ou cortada.

Resumo

Elemento final de controle

Elementos finais de controle são mecanismos que alteram vazão de uma corrente material em função de uma instrução recebida do controlador. Os mais comuns são válvulas de controle.

Bibliografia

- [1] L.A. Aguirre (2013). Fundamentos de Instrumentação. Capítulo 1, 2 e 11.
- [2] J.L.L. Alves (2010). Instrumentação, Controle e Automação de Processos, 2ª ed. LTC. Capítulos 1 e 2.
- [3] C.A. Smith, A. Corripio (2008). Princípios e Prática do Controle Automático de Processo. 3ª ed. LTC. Capítulo 5 e Apêndice C.
- [4] W.Y. Svrcek, D.P. Mahoney, B.R. Young. (2014). A Real-Time Approach to Process Control. 3rd ed. Wiley. Capítulo 2