

Controle de Processos

Aula 08 - Controle de nível

Apresentação

Na aula precedente, aprendemos um pouco sobre malhas de controle de vazão. Nesta aula, estudaremos sobre o controle de nível e as estratégias empregadas para esse propósito. Bons Estudos!

Veremos agora uma introdução sobre as malhas de níveis, é só clicar!



Vídeo 01 - Apresentação

Objetivos

Ao final desta aula, os alunos deverão estar aptos a:

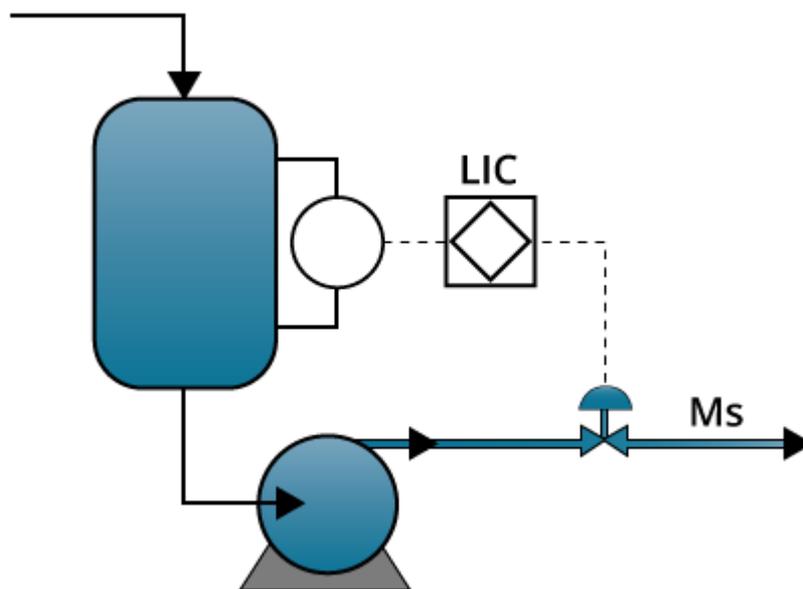
- Compreender e aplicar o controle das variáveis de nível em processos industriais.

Introdução ao Controle de Nível

Sistemas de nível têm destaque em diversos ramos da atividade industrial, dentre eles o da petroquímica, nuclear e de celulose. Nesse contexto, um dos controles com maior importância nas unidades industriais é o dos níveis. Esses controles são responsáveis pelos “balanços de massa” das plantas e para manter um nível de um tanque ou vaso constante é necessário que a vazão mássica de entrada (M_e) seja igual à de saída (M_s), conforme a Figura 1.

Usualmente, o controle de nível em tanques industriais é implementado através do ajuste da sua vazão de saída.

Figura 01 - Controle de Nível.



Fonte: Adaptado de Campos e Teixeira (2010).

De forma bem simples, quando ocorre um aumento de unidades na vazão de entrada, o controle de nível (LIC) deve aumentar a vazão de saída também em unidades para manter a estabilidade do sistema (esse aumento não precisa ser no mesmo instante).

Usualmente, a sintonia desse tipo de malha prioriza variações suaves na vazão de saída. Essa priorização é desejada, pois uma variação brusca na saída do tanque pode ser transmitida para outras seções subsequentes da planta e produzir perturbações em outras malhas de controle. Esse tipo de tanque é chamado tanque pulmão (ou capacitância). Campos e Teixeira (2010) afirmam que muitos problemas de controle e operação de unidades industriais decorrem de variações ou falhas na estratégia de ajuste das malhas de nível.

Nota: É preferível sintonizar a malha de nível de forma a usar o volume do tanque para amortecer as variações da vazão de saída. Ou seja, deve-se, em alguns casos (por meio do controlador), permitir um aumento temporário do nível (quando incidir um aumento na vazão de entrada), para que o aumento da vazão de saída ocorra mais lentamente.

Muitas vezes é dito que o sistema mostrado na Figura 1 é integrador, ou seja, quando se coloca o controlador (LIC) em manual e se diminui a saída em 10% (a vazão de saída está sendo diminuída e a de entrada mantida constante), o nível irá subir sem limite (ou até que um sistema de proteção de sobrevalor seja ativado e impeça a vazão de entrada). Isto é evidente, já que a vazão de entrada é maior do que a vazão de saída.

As unidades industriais que utilizam tanques muitas vezes, por questões de inventário (massa de produto armazenada) patrimonial ou até mesmo questões fiscais, precisam registrar a quantidade de massa armazenada nesses tanques.

No jargão técnico do meio industrial (controle de processos) alguns termos são utilizados para caracterização de sistemas de nível, como **capacidade**, **capacitância** e **tempo** de residência em vasos ou tanques de processos.

A capacidade é a máxima quantidade de material ou energia que pode ser armazenada em um equipamento ou sistema. A capacidade é uma grandeza estática relacionada apenas com o tamanho de armazenagem de fluido ou de energia.

A capacitância é uma grandeza dinâmica que relaciona a capacidade com outra variável de processo. É definida como a variação da quantidade de material ou energia necessária para fazer uma variação unitária na variável do processo. Por exemplo, capacitância é o número de litros de água necessários para variar um nível do tanque por um metro. Em outras palavras, para fazer uma variação na variável controlada, alguma quantidade de variável manipulada deve ser fornecida ou removida; essa quantidade dividida pela variação é a capacitância (RIBEIRO, 2005).

O tempo de residência é definido como a razão entre o volume disponível ou capacidade do tanque pela vazão volumétrica que escoar pelo mesmo. Assim, se o tanque tem a capacidade de 1000 m^3 para a fase líquida e a vazão é de $100 \text{ m}^3/\text{min}$, então o tempo de residência será:

$$\text{Tempo de residência} = \frac{1000 \text{ m}^3}{100 \text{ m}^3/\text{min}} = 10 \frac{\text{m}^3 * \text{min}}{\text{m}^3} = 10 \text{ minutos}$$

Uma capacidade age como um filtro ou amortecedor, entre um fluido de entrada e um fluido de saída (um vaso tem a propriedade de armazenar fluidos), e de acordo com Campos e Teixeira (2010), quanto maior for o tempo de residência, melhor para o controle, pois pode-se amortecer as perturbações mais facilmente e trabalhar isoladamente as diversas áreas da unidade.

Vamos agora clicar e assistir a uma apresentação do controle de nível e as suas principais características.



Vídeo 02 - Definindo o Controle de Nível

Atividade 01

1. Faça uma pesquisa e traga exemplos de unidades industriais que possuem tanque de nível pulmão.

Medição de Nível

Antes de falarmos sobre a medição, vejamos em um clique uma aula complementar sobre algumas características do controle de nível.



Vídeo 03 - Características do Controle de Nível

No controle dos processos o nível de líquidos e sólidos contidos nos tanques ou vasos é uma variável importante.

De acordo com Alves (2010) a medição de nível em unidades industriais tem dois objetivos principais:

1. Avaliação de estoques em tanques de armazenamento; e
2. Controle de processos contínuos.

No caso 1, existem sistemas completos de medição produzidos por um mesmo fabricante que são instalados em grandes tanques de armazenamento. No caso 2, existem diversos tipos de sensores e medidores de nível.

Os dispositivos para medida de nível são muito variados. Selecionamos os seguintes:

- Visor de nível
- Sensores e medidores de empuxo (ou deslocador)
- Sensores e medidores por pressão diferencial
- Borbulhador
- Capacitivos
- Condutivos

- Ultrassônicos
- Nucleares
- Ópticos

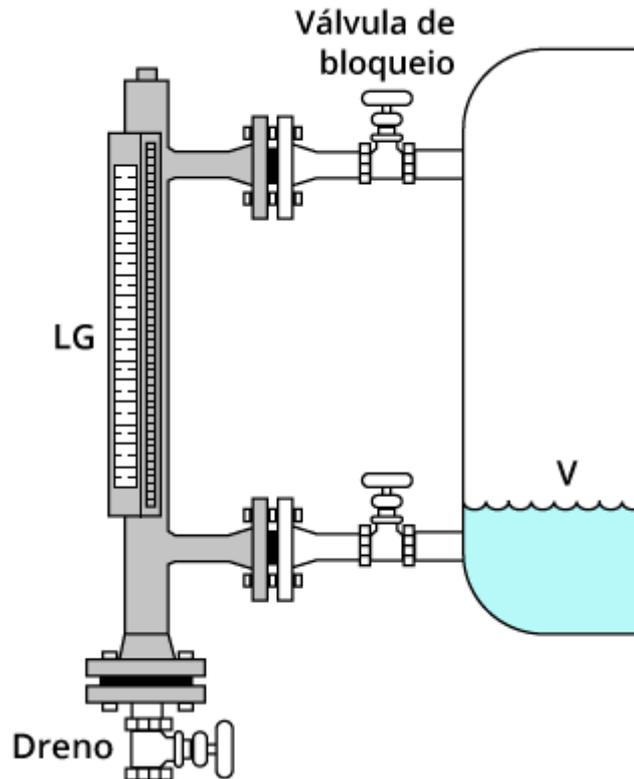
Nesta aula não iremos falar de todos eles, no entanto, faremos uma breve referência aos mais habituais. Os mais usados na indústria estão descritos a seguir.

Visor de Nível

Esta é tida como a forma mais simples de medição de nível (medição direta), e em diagramas de malhas de controle são os instrumentos identificados como LG (*level gage*) - pertencem ao grupo de visores. O funcionamento se espelha no princípio dos vasos comunicantes e é desse modo que oferecem grande confiabilidade na leitura.

O visor de nível é utilizado em vasos de processo como indicador local, mesmo quando existe um transmissor enviando sinal para a sala de controle. Compõe-se de uma estrutura de aço conectada a dois pontos do vaso de processo, tendo na frente um vidro transparente que permite a visão do produto no seu interior, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 02 - Visor de nível de vasos de processo.



Fonte: Adaptado de <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAe5CAAF/medicao-nivel>>. Acesso em: 18 fev. 2016.

A instalação dos visores de nível é feita sempre através de válvulas de bloqueio e de dreno, de forma a permitir a manutenção dos mesmos. A classe de pressão do visor de nível evidentemente deve estar de acordo com a do vaso de processo (ALVES, 2010). No mercado está disponível em diversas dimensões, de acordo com a faixa de medição necessária, sendo possível também fazer a instalação desses visores em série, aumentando a faixa de medição.

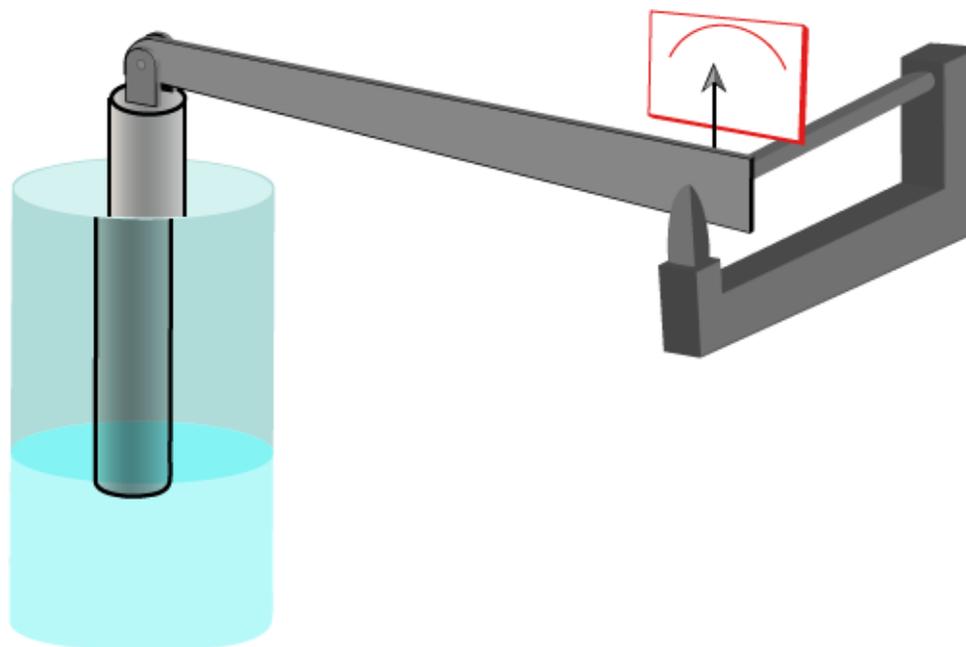
Sensores e medidores de empuxo (ou deslocador)

A medida de nível com deslocador (displacer) baseia-se na variação do peso aparente de um corpo parcialmente mergulhado num líquido, quando a altura do líquido varia. Essa medição do nível é feita de forma indireta, ou seja, mede-se uma variável que tem relação com o nível.

A medição de nível do tipo deslocador se baseia no **princípio de Arquimedes**: *“Todo corpo imerso em um fluido sofre a ação de uma força (empuxo) verticalmente para cima, cuja intensidade é igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo”*.

Veja na Figura 3 uma forma bem básica e didática desse mecanismo. O deslocador, que é o elemento primário de medição, é formado por um peso, suspenso num sistema de alavancas, que determina a força vertical que o mesmo exerce.

Figura 03 - Esquema de um medidor de nível do tipo empuxo (deslocador).



Fonte: <http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/908-medidor-de-nivel-tipo-empuxo>

Acesso em: 18 fev. 2016.

À medida que o nível sobe, o peso, parcialmente imerso, exerce menor força vertical em virtude do empuxo exercido pelo líquido deslocado.

O movimento vertical do deslocador é convertido num movimento rotatório da haste e no movimento torsional do tubo, permitindo que se efetue a medição. Os movimentos verticais do deslocador são, pois, uma tradução das variações de nível e podem ser convertidos em um sinal elétrico padronizado, por exemplo, 4-20 mA.

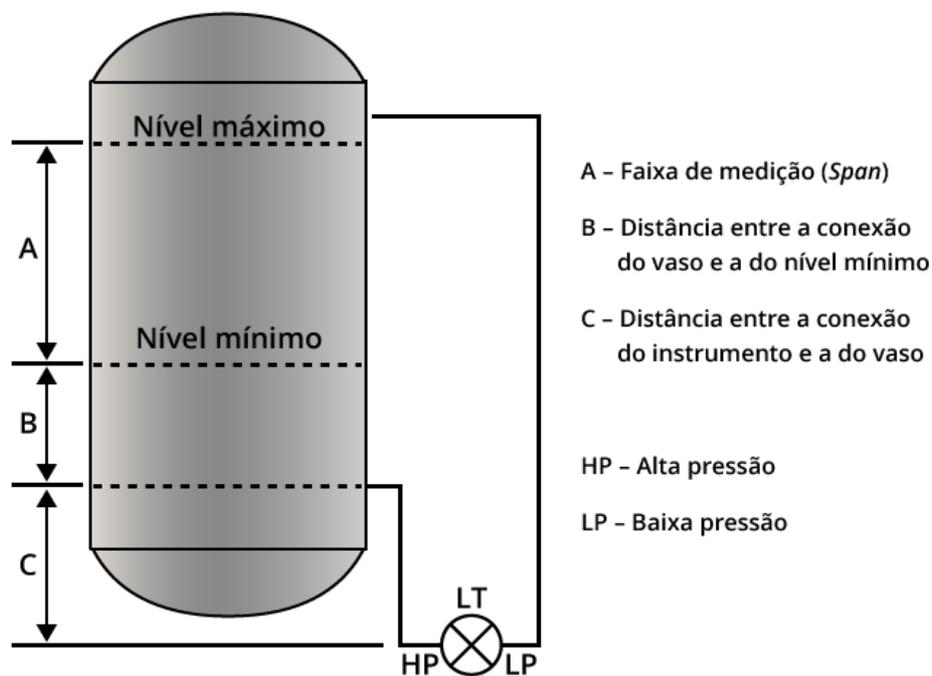
Sensores e medidores por pressão diferencial

A medição de nível para efeito de controle de processos pode ser feita simplesmente medindo-se a diferença de pressão entre a parte superior e a inferior do vaso onde se encontra o líquido, utilizando-se, para isso, um transmissor de

pressão diferencial. O peso da coluna do fluido medido por unidade de área é igual à pressão medida. Em consequência, o volume e o nível no interior do vaso são proporcionais à pressão diferencial medida (ALVES, 2010).

Dessa forma, é possível perceber que nesse tipo de medição utiliza-se a pressão exercida pela altura da coluna líquida (hidrostática), para indiretamente obter-se o nível. A Figura 4 mostra o esquema para a medição de nível do líquido em um vaso contendo uma fase líquida e outra com pressão de um vapor.

Figura 04 - Medição de nível por pressão diferencial.



Fonte: Adaptado de Alves (2010).

Conforme em Alves (2010), a tomada superior é conectada ao lado de baixa pressão e a tomada inferior ao lado de alta pressão do transmissor de pressão diferencial. Caso a medição de nível seja realizada em um vaso à pressão atmosférica (aberto na parte superior), a tomada de baixa pressão do transmissor ficará aberta para a atmosfera.

Os atuadores para essas malhas são os mesmos apresentados na aula anterior (Controle de Vazão): as válvulas de controle.

Estratégias de Controle de Nível

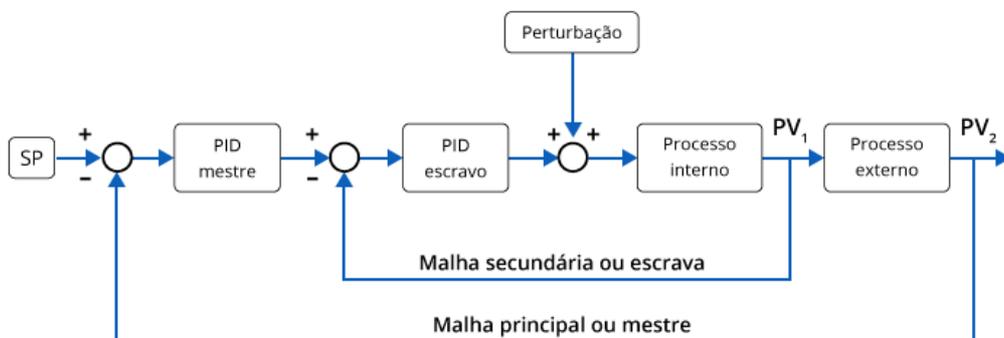
Nesta seção, apresentaremos as estratégias de controle de nível que são o controle em cascata e o controle *override*. Essas estratégias são utilizadas como alternativas ao tradicional controle por realimentação, no entanto, não substituem o controlador por realimentação convencional, mas são alterações ou adições que possibilitam melhorar o desempenho do sistema de controle.

Controle em Cascata

É um método simples, envolvendo dois controladores por realimentação em cascata. O controle em cascata é definido como a configuração onde o sinal de saída de um controlador é o *set point* gerado para o outro controlador.

A estratégia de controle em cascata é mostrada na Figura 5.

Figura 05 - Estratégia de controle em cascata.



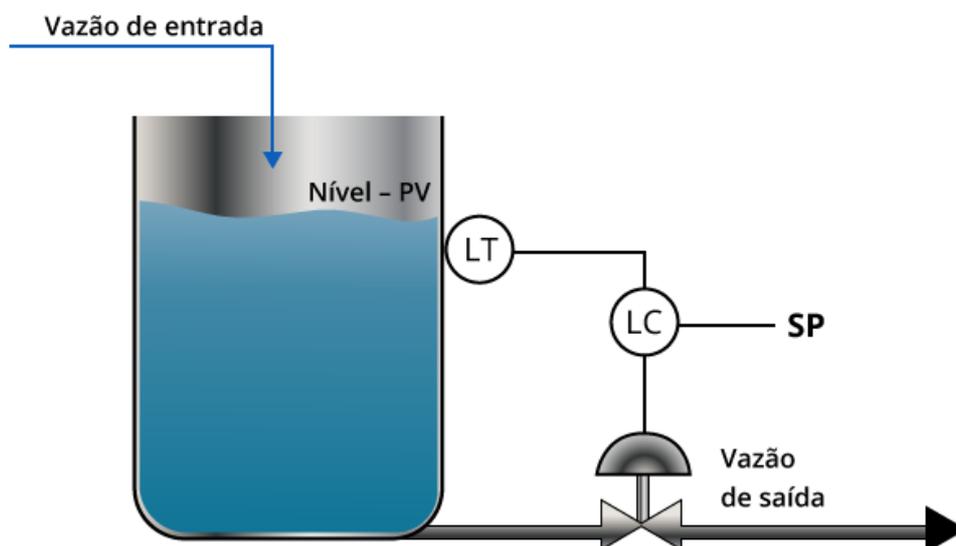
Fonte: Adaptado de Campos e Teixeira (2010).

A estratégia de controle em cascata consiste em utilizar um controlador PID (chamado na Figura 5 de PID mestre) para gerar o *set point* para outra malha de controle (PID escravo). Assim, o PID escravo em uma malha de nível corresponde ao controlador para uma válvula de controle que manipula a vazão de saída (malha de vazão - malha secundária) e o PID mestre corresponde ao respectivo controlador de nível do processo (malha de nível - malha principal). Dessa forma, caso haja perturbações que interfiram na saída (PV1) da malha escrava, as mesmas são corrigidas antes de interferir no processo externo (saída PV_2).

Um dos benefícios do controle em cascata é o fato da malha secundária acelerar a resposta do processo visto pela malha principal. Assim, só há vantagem nessa estratégia se a constante de tempo da malha escrava for menor (uma malha mais rápida) do que a da malha mestre. Um dos critérios da malha escrava é que consiga eliminar rapidamente os efeitos das perturbações, por isso a exigência de ter dinâmica mais rápida, pois tendo uma dinâmica consideravelmente lenta em comparação com a do processo externo, a variável controlada sofre mais os efeitos de uma perturbação.

Em um controle convencional de nível, teríamos apenas um controlador (LC) para todo o sistema, conforme a Figura 6.

Figura 06 - Controle de nível convencional.

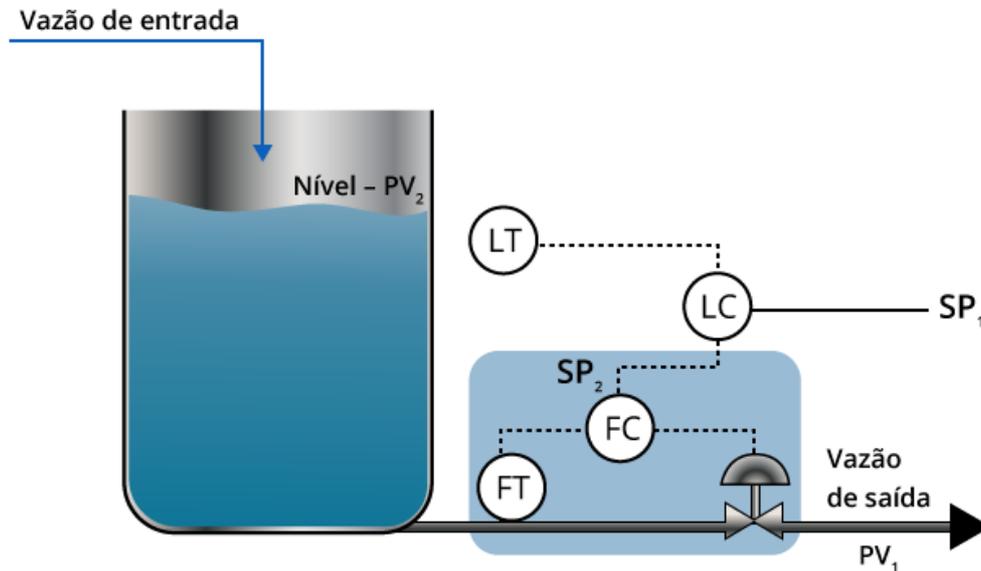


Fonte: Adaptado de <<http://www.dca.ufrn.br/~maitelli/FTP/controlavan/1-%20Introdu%e7%e3o.ppt>>. Acesso em: 19 fev. 2016.

Na Figura 6, o controlador (LC) compara o valor desejado (SP) para o nível com o valor real que é transmitido pelo transmissor (LT), então será gerado um sinal pelo controlador (se houver diferença entre o valor desejado e o valor real) que é enviado para a válvula de controle, assim, haverá uma manipulação da vazão de saída com o objetivo de manter o nível no valor estabelecido. Uma desvantagem desse tipo de controle convencional, em que o controlador LC atua diretamente na abertura da válvula para ajustar o nível, é que pode existir uma não linearidade entre a abertura da válvula (definida pelo controlador LC) e a vazão do processo em função da característica instalada da válvula.

Considere agora, mostrada na Figura 7, a alternativa (controle em cascata) do controle de nível convencional da Figura 6.

Figura 07 - Controle de nível com malha em cascata.



Fonte: Adaptado de <<http://www.dca.ufrn.br/~maitelli/FTP/controlavan/1-%20Introdu%e7%e3o.ppt>>. Acesso em: 09 set. 2013.

No sistema da Figura 7, temos agora uma malha interna de controle de vazão (o controlador escravo é o FC) e uma malha externa de controle de nível (o controlador mestre é o LC). Como se deseja que a vazão de saída responda de forma suave na presença de perturbações, utiliza-se o controle em cascata em que a malha de nível gera os set points para a malha de vazão.

Quando ocorre um aumento na vazão de entrada, o nível aumentará e o controlador de nível aumentará o sinal do set point (SP_2) para o controlador da vazão de saída, fazendo com que a mesma aumente, retornando o nível do tanque ao valor do *set point* (SP_1) ajustado para o mesmo.

No caso da ocorrência de uma perturbação, como uma mudança na pressão na linha de descarga, o controlador de vazão (FC) ajustará a válvula de saída antes que o nível do tanque seja significativamente alterado (no caso do controle convencional o nível seria modificado pela influência da perturbação).

Resumindo: O controle cascata permite um controlador primário regular e um secundário, melhorando a velocidade de resposta e reduzindo os distúrbios causados pela malha secundária.

Agora, já podemos facilmente perceber a existência do controle em cascata na aula de Controle de Vazão, na qual temos um posicionador que funciona como o controlador escravo da malha de controle de posição da haste da válvula (malha escrava) e um controlador PI atuando na malha de vazão (malha mestre). Se preferir volte para a aula de Controle de Vazão e analise com maior cuidado a estrutura da malha de controle nos resultados experimentais. Não esqueça que o posicionador (controlador da malha escrava) consegue compensar algumas das não linearidades que podem existir na válvula de controle.

Campos e Teixeira (2010) apresentam regras para a sintonia de controles em cascata, que são as seguintes:

- Sintonizar a malha escrava primeiro e só depois, com ela em automático, sintonizar a malha mestre. Se a malha escrava for um controlador de vazão, deve-se usar preferencialmente um PI.
- Sintonizar as malhas escravas com parâmetros que as tornem rápidas, mas sempre procurando o menor sobrevalor (*overshoot*) possível.

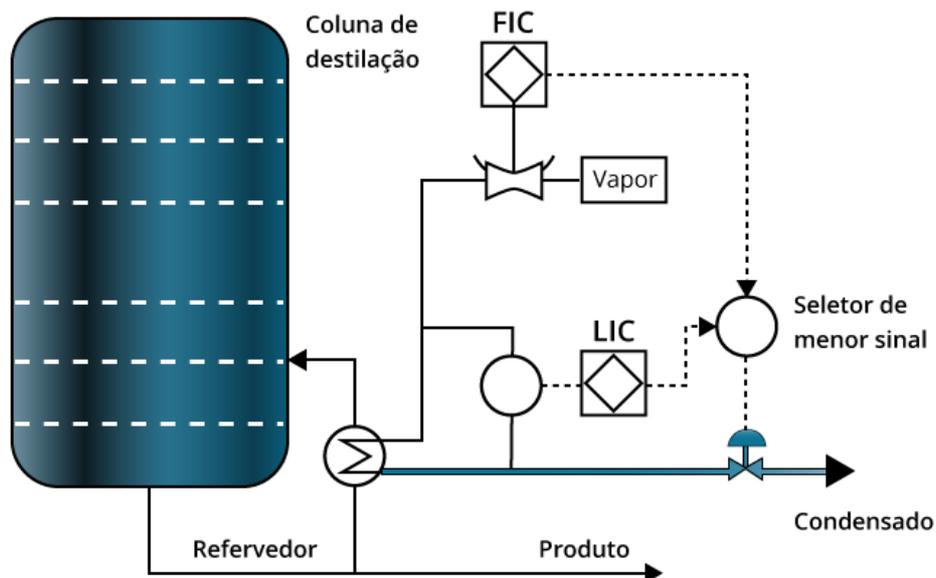
Atividade 02

1. Construa os diagramas de blocos dos sistemas apresentados nas Figuras 6 e 7. Relacione os diagramas de instrumentação das Figuras citadas com os diagramas de blocos construídos.

Controle em *Override*

Também chamado de controle seletivo é uma forma de controle multivariável em que uma única variável manipulada (MV) pode ser ajustada usando-se várias variáveis controladas (PV), uma de cada vez. Ou seja, o controle em override é um tipo de controle em que mais de um controlador deve atuar sobre uma mesma variável manipulada MV. Isso, na prática, ocorre quando existem restrições sobre o sistema que precisam ser obedecidas. Considere o exemplo mostrado em Campos e Teixeira (2010), conforme a Figura 8.

Figura 08 - Controle em override.



Fonte: Adaptado de Campos e Teixeira (2010).

O exemplo citado mostra uma coluna de destilação. Essa unidade possui um equipamento chamado de refeedor, que aumenta ou diminui a temperatura no fundo da coluna de acordo com o aumento da vazão de vapor em seu interior. Nesse sistema, uma restrição comum consiste no fato de que é preciso controlar a vazão de vapor para o refeedor, entretanto, o nível desse refeedor não pode ser menor do que um determinado valor (restrição). Nesse caso, o controle em override é uma solução. Nessa estratégia, uma variável principal estará na maior parte do tempo atuando na variável manipulada. A outra variável, no exemplo em questão o

nível, é apenas uma restrição. Quando a restrição é violada, ou seja, quando a variável atinge o set point estabelecido, o controlador designado para a malha de restrição assume o controle da válvula. Essa decisão é tomada, no caso em questão, por um Seletor de Menor Sinal (Ver Figura 8). Nesse caso, supomos que uma diminuição do sinal provoca um fechamento da válvula. Assim, quando o nível estiver acima do desejado, a saída do controlador LIC tenderá a aumentar, de forma que o menor sinal será o do controlador de vazão FIC. Caso o nível caia abaixo do set point, a saída do LIC tenderá a diminuir até ser selecionada, assumindo o controle da válvula e fechando a mesma para restabelecer o nível.

Clique a seguir para assistir um vídeo sobre algumas aplicações voltadas para o controle de nível.



Vídeo 04 - Conhecendo as Aplicações

Resumindo: O controle seletivo é uma forma de controle multivariável, em que a variável manipulada pode ser ajustada em qualquer momento por uma variável, selecionada automaticamente entre diversas variáveis controladas diferentes. A filosofia do controle *override* é a de se usar um único elemento final de controle manipulado por um controlador, selecionado automaticamente entre dois ou mais controladores. Tendo-se duas ou mais variáveis medidas, aquela que estiver em seu valor crítico assume o controle do processo (RIBEIRO, 2005).

Ribeiro (2005) comenta que outro enfoque de se ver o controle seletivo é considerar os dois controladores ligados a uma única válvula de controle (um único elemento final de controle). Em condições normais, uma malha comanda a válvula; em condições anormais, a outra malha assume automaticamente o controle, mantendo o sistema dentro da faixa de segurança. O controle normal é cortado

apenas durante o período necessário para se restabelecer a segurança do sistema. Quando a condição anormal desaparece, a malha normal assume novamente o controle.

Resumo

Nesta aula, apresentamos o controle de nível e as principais estratégias de medição nessa variável. Mostramos a relação do nível com a pressão da coluna de líquido e finalizamos a aula com duas importantes estratégias de controle cujo entendimento é muito importante para aqueles que trabalham na indústria: o controle em cascata e o controle override.

Autoavaliação

1. Quais as vantagens de se utilizar o controle em cascata?
2. Quando é necessário utilizar o controle *override*? Indique duas vantagens.

Referências

ALVES, José Luiz Loureiro. **Instrumentação, controle e automação de processos**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

CAMPOS, Mario Cesar M. Massa de; TEIXEIRA, Herbert C. G. **Controles típicos de equipamentos e processos industriais**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

RIBEIRO, Marco Antônio. **Controle de processo**. 8. ed. Salvador: Verão, 2005.