

Métodos de Determinação de Parâmetros de Processos

Definições do Controle Automático de Processos

O termo atual controle automático de processo foi definido quando os procedimentos do controle automático foram aplicados para tornar mais eficiente e seguro a manufatura de produtos. O controle automático de processo é em grande parte responsável pelo progresso que vem acontecendo nas últimas décadas. O principal objetivo do controle automático de processo é conseguir que uma variável dinâmica se mantenha constante em um valor específico.

Basicamente, as estratégias de controle instaladas nas indústrias se dividem em duas: Controle Realimentado (*Feedback*) e Controle Antecipatório (*Feedforward*).

É possível também a combinação das duas estratégias de controle para resolver problemas de estabilidade do controle.

O controle realimentado é a técnica dominante usada no controle de processos. O valor da variável controlada é medido com um sensor, e é comparado com o valor desejado (*setpoint*). A diferença entre o setpoint e a variável controlada é conhecida como erro (ou desvio). A saída do controlador é determinada em função deste erro, e é usada para ajustar a variável manipulada.

Uma variedade de funções de erro surgem, e a seleção de uma variável do processo mais adequada para ser eleita como variável manipulada é determinada pelas características do processo, por fatores econômicos e também de produção.

O controle realimentado tem uma fraqueza inerente na medida que responde somente se houver desvios de variável controlada em relação ao setpoint. Um controlador *feedback* sempre responde depois de um evento, através de erros que tenham surgido. Idealmente, gostaríamos de evitar que erros ocorressem. Uma estratégia de controle alternativa é baseada nesta filosofia, e é conhecida como controle antecipatório.

Se for possível medir as variações de carga e prever seus efeitos sobre a variável controlada, pode ser possível modificar a variável manipulada para compensar as mudanças de carga e prevenir, ou pelo menos minimizar, erros surgidos na variável controlada.

O controle realimentado tem de ser projetado sob base do cliente para cada aplicação, por causa da relação entre as variáveis de carga e as mudanças na variável controlada refletidas no sistema de controle, e deve haver um modelo matemático implícito do processo em qualquer esquema de controle antecipatório.

A deficiência do controle antecipatório é o fato dele não medir a variável controlada, dependendo exclusivamente da precisão da relação estabelecida entre as variáveis de carga medidas para modificar o valor da variável manipulada.

É desta forma que em alguns casos surge a combinação das duas estratégias de controle, unindo a estratégia do controle realimentado e a do antecipatório, aumentando sensivelmente o custo da implantação mas também a melhoria do controle.

Para o caso do controle realimentado, é necessário que exista uma malha de controle fechada, que opere sem intervenção do elemento humano, medindo continuamente o valor atual da variável, comparando com o valor desejado e utilizando a possível diferença para corrigir ou eliminar a diferença existente.

A variável do processo que é mantida dentro de limites é chamada de variável controlada que sofre as correções da ação de controle é chamada de variável manipulada.

Variável Dinâmica

Qualquer parâmetro físico que possa ser modificado espontaneamente ou por influência externa é uma variável dinâmica. A palavra dinâmica induz a ideia de uma variação no tempo em função de uma influência, não especificada como exemplo de variável dinâmica temos a temperatura, pressão, nível, etc.

Processo Típico

Para ilustrar esta apresentação claramente, consideramos um processo simples, como um trocador de calor mostrado na figura 1. O termo processo, aqui usado, significa as funções e operações usadas no tratamento de um material ou matéria-prima, portanto, a operação de adicionar energia calorífica à água é um processo. As serpentinas de vapor, o tanque, os tubos e as válvulas constituem

o circuito no qual o processo de aquecimento é realizado. A temperatura da água quente (variável controlada) e vazão de vapor (variável manipulada) são as principais variáveis do processo.

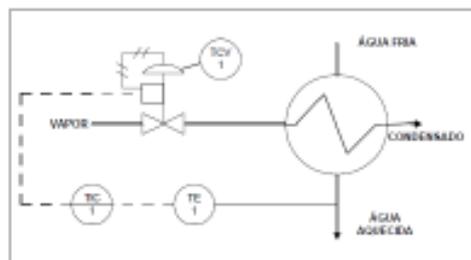


Figura 1

Métodos de determinação de parâmetros de Processos

As partes e o comportamento característico desse processo típico serão analisados nos parágrafos seguintes para retratar o efeito que estes fatores têm na controlabilidade do processo.

Trocador de Calor

O aquecedor de água da figura 1, como muitos processos pode ser considerado um trocador de energia. Em muitos outros processos, a troca de materiais apenas, ou a troca de materiais e energia, pode ser envolvida. Referindo-se a figura 1, a energia é introduzida no processo, passa por uma série de trocas e sai como energia de saída. A quantidade de energia de saída é igual a quantidade de energia de entrada, menos as perdas e a energia armazenada no processo.

No trocador de calor, a quantidade de energia de saída depende da vazão de água regulada pela válvula de água quente, da temperatura da água fria e das perdas de energia calorífica, como por exemplo através das paredes do tanque. A quantidade de energia de entrada depende da vazão de vapor e da qualidade e pressão de alimentação do vapor. Então, se as variáveis do processo estão estáveis ou estão mudando, dependem apenas se a quantidade de energia de entrada seja ou não igual a quantidade de energia de saída (compreendendo na saída as perdas, etc.).

Condições de Equilíbrio

Deixando o processo correr normalmente, a temperatura de saída d'água atingiria finalmente um valor estável de maneira que a energia de saída seria igual a energia de entrada. Quando a energia de entrada é igual a energia de saída, o processo é dito estar em condições de "estado estável", isto é, em equilíbrio. Qualquer distúrbio, seja de entrada de energia ou na saída irá romper este equilíbrio e conseqüentemente causará uma mudança nos valores das variáveis do processo. Quando a saída de energia calorífica é equilibrada com a energia de entrada, a temperatura de saída d'água permanece a um valor constante até que a relação de energia calorífica seja mudada.

Auto-Regulação

Certos processos possuem uma característica própria que ajuda limitar o desvio da variável controlada. Na figura 1, quando a entrada de vapor aumenta a temperatura da água atinge um ponto de equilíbrio a um novo valor mais alto, isto é, a temperatura da água não irá aumentar indefinidamente.

Esta habilidade própria de um processo para balancear sua saída de energia com a entrada é chamada auto-regulação.

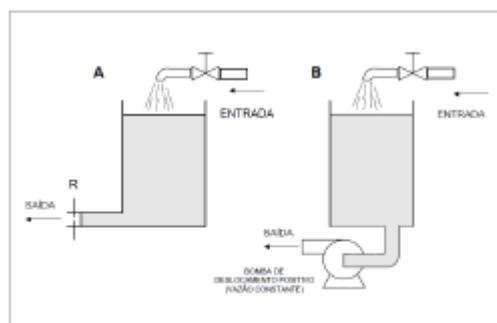


Figura 2

No processo de auto-regulação da figura 2 a vazão de saída através da resistência R tende a se igualar a vazão através da válvula A. Se a válvula A for mais aberta, o nível do tanque irá aumentar até que a vazão de saída através de R seja igual a nova vazão de entrada. Então, através de amplos limites, o processo será auto-regulado e sua vazão de saída será igual a sua vazão de entrada. Os limites deste exemplo depende da profundidade do tanque.

Costuma-se distinguir os processos auto-regulados (figura 2A) dos processos sem auto-regulação (figura 2B). Neste último caso, a vazão de saída é mantida constante por uma bomba de deslocamento positivo e velocidade constante. A não ser que a vazão de entrada seja exatamente igual à vazão determinada de saída.

O tanque irá esvaziar completamente ou transbordar. Não existe tendência deste processo a equilibrar sua saída com sua entrada. Esta característica é denominada de "não auto-regulação". Tanto o processo auto-regulado ajuda as aplicações do controle automático, como as características de não auto-regulação irão torná-las difíceis, ou talvez impossíveis. A não auto-regulação pode ser definida como uma tendência do processo a se desequilibrar permanentemente.

Variáveis de Processo

A variável controlada de um processo é aquela que mais diretamente indica a forma ou o estado desejado do produto. Consideremos por exemplo, o sistema de aquecimento de água mostrado na figura 1. A finalidade do sistema é fornecer uma determinada vazão de água aquecida. A variável mais indicativa desse objetivo é a temperatura da água de saída do aquecedor, que deve ser então a variável controlada.

Assim, é realizado um controle direto sobre a qualidade do produto, que é a maneira mais eficaz de garantir que essa qualidade se mantenha dentro dos padrões desejados. Um controle indireto sobre uma variável secundária do processo pode ser necessário quando o controle direto for difícil de se implementar. Por exemplo, num forno de recozimento, que é projetado para recozer convenientemente peças metálicas, a variável controlada deveria ser a condição de recozimento do material.

Entretanto, é muito difícil de se obter esta medida com simples instrumentos, e normalmente a temperatura do forno é tomada como variável controlada. Assume-se que existe uma relação entre temperatura do forno e a qualidade de recozimento.

Geralmente o controle indireto é menos eficaz que o controle direto, porque nem sempre existe uma relação definida e invariável secundária e a qualidade do produto que se deseja controlar. A variável manipulada do processo é aquela sobre a qual o controlador automático atua, no sentido de se manter a variável controlada no valor desejado. A variável manipulada pode ser qualquer variável controlada e que seja fácil de se manipular.

Para o trocador da figura 1, a variável manipulada pelo controlador deverá ser a vazão de vapor. É possível, mas não prático, manipular a vazão da água de entrada ou a sua temperatura. As variáveis de carga do processo são todas as outras variáveis independentes, com exceção das variáveis manipulada e controlada.

Para o trocador da figura 1, a temperatura da água de entrada é uma variável de carga. O controlador automático deverá absorver as flutuações das variáveis de carga para manter a variável controlada no seu valor desejado.

Propriedades do Processo

À primeira vista, o controle de temperatura da água, na figura 1, pode parecer fácil.

Aparentemente seria apenas preciso observar o termômetro de água quente e corrigir a abertura da válvula de vapor de maneira a manter ou mudar a temperatura da água para o valor desejado. Porém, os processos têm a característica de atrasar as mudanças nos valores das variáveis do processo. Esta característica dos processos aumenta demais as dificuldades do controle. Estes retardos são geralmente chamados atrasos de tempo do processo.

Os atrasos de tempo do processo são causados por quatro propriedades que são:

- Resistência
- Capacitância
- Tempo morto
- Inércia (ou indutância)

Resistência

A resistência é a relação da quantidade de potencial necessário para incrementar em uma unidade a quantidade de fluxo.

Estão localizadas nas partes do processo que resistem a uma transferência de energia ou de material entre as capacitâncias.

Exemplos: As paredes das serpentinas no processo típico: resistência a passagem de um fluido em uma tubulação, resistência a transferência de energia térmica, etc.

$$R = dh/dq$$

Onde: dh = variação do nível (potencial) e dq = variação de fluxo

Capacitância

A capacitância é a relação da quantidade de material ou energia suficiente para incrementar em uma unidade o potencial.

É uma medida das características próprias do processo para manter ou transferir uma quantidade de energia ou de material com relação a uma quantidade unitária de alguma variável de referência de potencial. Em outras palavras, é uma mudança na quantidade contida, por unidade mudada na variável de referência.

Tome cuidado para não confundir capacitância com capacidade, pois capacidade são as partes do processo que têm condições de armazenar energia ou material. Como exemplo veja o caso dos tanques de armazenamento da figura 3. Neles a capacitância representa a relação entre a variação de volume e a variação de altura do material do tanque. Assim, observe que embora os tanques tenham a mesma capacidade (por exemplo 100 m³) apresentam capacitâncias diferentes.

Neste caso, a capacitância pode ser representada por:

$$C = dV/dh = A$$

Onde: dV = variação de volume, dh = variação de nível e A = área.

Uma capacitância relativamente grande é favorável para manter constante a variável controlada apesar das mudanças de carga, porém esta característica faz com que seja mais difícil mudar a variável para um novo valor, introduzindo um atraso importante entre uma variação do fluido controlado e o novo valor que toma a variável controlada.

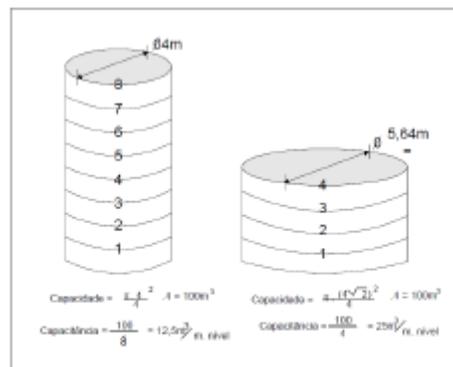


Figura 3

Um exemplo do problema que a capacitância traz para o processo é que em nosso processo típico ficaria difícil o operador controlar manualmente o processo devido à pequena massa de líquido que circula pelo trocador de calor, variando assim constantemente a temperatura final da água aquecida.

Resumindo: a capacitância é uma característica dinâmica de processo e a capacidade é uma característica volumétrica do processo.

Tempo Morto

Como o próprio nome diz, o tempo morto é a característica de um sistema pela qual a resposta a uma excitação é retardada no tempo.

É o intervalo após a aplicação da excitação durante o qual nenhuma resposta é observada. Esta característica não depende da natureza da excitação aplicada; aparece sempre da mesma forma. Sua dimensão é simplesmente a de tempo.

O tempo morto ocorre no transporte de massa ou energia através de um dado percurso. O comprimento do percurso e a velocidade de propagação definem o tempo morto.

O tempo morto também é denominado de atraso puro, atraso de transporte ou atraso distância x velocidade. Assim como os outros elementos fundamentais (resistência e capacitância), raramente ocorrem sozinhos nos processos reais. Mas não são poucos os processos onde não está presente de alguma forma. Por isso, qualquer que seja a técnica de controle que se deseja usar num determinado sistema, o projeto deve prever a influência do tempo morto.

Um exemplo de processo que consiste basicamente de tempo morto é o sistema de controle de peso de sólidos sobre uma correia transportadora (figura 4). O tempo morto entre a ação da válvula e a variação resultante no peso, é igual a distância entre a válvula e a célula detectora de peso dividida pela velocidade de transporte da correia.

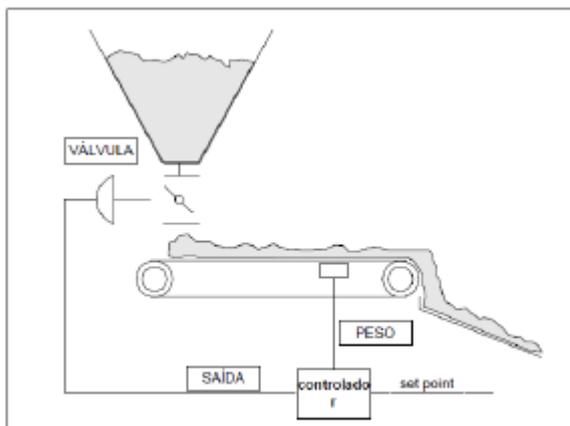


Figura 4

Outro exemplo de tempo morto está ilustrado na figura 5. O eletrodo de medição do pH deve ser instalado a jusante do ponto de adição do neutralizante cáustico, para dar o tempo necessário de mistura e reação química. Se o fluido flui a uma velocidade de 2 m/s e a distância é igual a 10m, o tempo morto será de 5s.

Num sistema de controle com realimentação, uma ação corretiva é aplicada na entrada do processo, baseada na observação de sua saída. Um processo que possui tempo morto não responde imediatamente à ação de controle, fato que complica bastante a efetividade do controle.

Por esta razão, o tempo morto é considerado como o elemento mais difícil que naturalmente existe em sistemas físicos.

A resposta de um sistema que possui somente tempo morto à qualquer sinal aplicado à sua entrada, será sempre sinal defasado de uma certa quantidade de tempo. O tempo morto é medido como mostrado na figura 5.

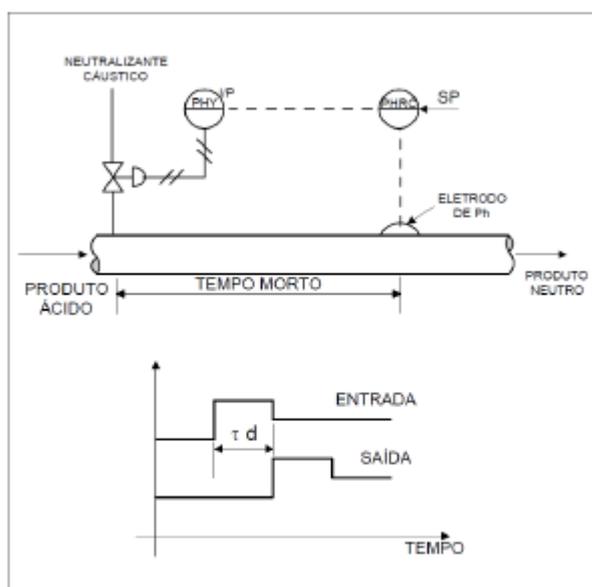


Figura 5

Observe a resposta de um elemento de tempo morto a uma onda quadrada, mostrada na figura. O atraso produz efetivamente um deslocamento de fase entre a entrada e a saída desde que uma das características de malhas com realimentação é a tendência a produzir oscilação, o fato de ocorrer um deslocamento de fase se torna de consideração essencial.

O tempo morto pode ser determinado pela relação da distância pela velocidade do fluxo:

$$TM = s/v$$

Onde: s = distância TM = Tempo Morto (τ) e v = velocidade

Inércia (ou Indutância)

Inércia ou indutância é a relação da quantidade de potencial necessária para modificar uma unidade a velocidade de variação do fluxo.

É necessário observar que a indutância relaciona potencial por taxa de variação.

A indutância surge nos processos em que grandes massas oferecem dificuldade de troca de energia (térmica por exemplo).

Desta forma, a indutância pode ser representada por:

$$L = dh/(dq/dt)$$

Onde: dh = variação de potencial e (dq/dt) = taxa de variação do fluxo (velocidade de variação)

Tipos de Distúrbios de Processo

Na análise de um processo do ponto de vista do controle automático é bom dar-se particular consideração a 3 vários tipos de distúrbios de processo que podem ocorrer:

Distúrbios de Alimentação

É uma mudança na entrada de energia (ou materiais) no processo. No trocador de calor, visto anteriormente, mudanças na qualidade ou pressão de vapor, ou na abertura da válvula são distúrbios de alimentação.

Distúrbios de Demanda

É uma mudança na saída de energia (ou material) do processo. No nosso exemplo do trocador de calor, as mudanças da temperatura da água fria e na vazão da água são distúrbios de demanda.

Estes distúrbios são usualmente chamados mudanças da carga de alimentação e mudanças de carga de demanda, respectivamente. Existem diferenças importantes na reação de um processo a estes 2 tipos de mudanças de carga.

Distúrbios de Set-Point

É a mudança no ponto de trabalho do processo. As mudanças de setpoint geralmente são difíceis por várias razões:

A) - elas são geralmente aplicadas muito repentinamente

B) - elas são geralmente mudanças na alimentação, e por isso devem atravessar o circuito inteiro para serem medidas e controladas.

Curvas de Reação do Processo

Pode-se aprender muita coisa sobre aquelas características de um processo que determinam sua controlabilidade pelo estudo das reações das variáveis do processo, provocadas por mudanças de cargas em condições de não controle. Na discussão que segue, o processo representado pelo trocador de calor, pode ser suposto estar em condição estável. É mostrado o efeito de mudanças bruscas em degrau na alimentação e na demanda. As curvas de reação são dadas para várias combinações de RC e tempo morto.

O trocador de calor pode ser considerado, aproximadamente, como um processo de capacitância simples, já que a capacitância calorífica C_1 das serpentinas, paredes do tanque e bulbo do termômetro, são praticamente tão grande que ele pode englobar todos os outros.

Nestas condições, como reagiria a temperatura de saída da água quando se fizer mudanças bruscas na carga de alimentação e na carga de demanda?

Processo Monocapacitivo (de 1ª Ordem)

A figura 7 mostra as curvas de reação em condições de não controle que seguem a uma mudança brusca na carga de alimentação. Cada curva indica como a temperatura começa a aumentar exatamente ao mesmo tempo que a carga é mudada, e como a temperatura aumenta cada vez mais devagar até chegar ao novo valor de estado estável. Nota-se que a resposta completa da temperatura é mais atrasada no tempo quando a capacitância de armazenamento de cada processo é aumentada.

Este é um excelente exemplo que mostra como a capacitância calorífica da água e a resistência ao fluxo do calor atrasam o aumento da temperatura. Este retardo é o atraso de capacitância.

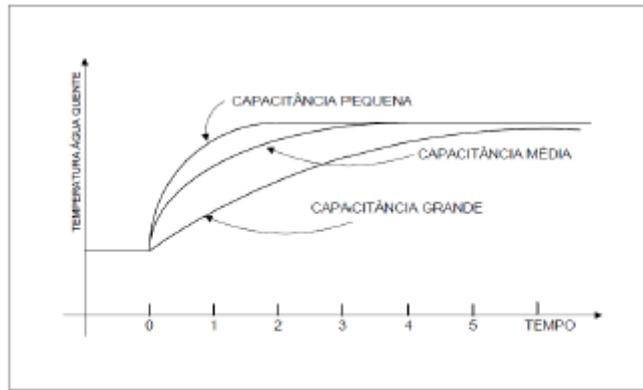


Figura 7

Os processos monocapacitivos são mais fáceis de controlar pelas seguintes razões:

- Eles começam a reagir imediatamente com a mudança de carga. Os desvios podem assim ser conhecidos e corrigidos sem atraso.
- As correções são imediatamente efetivadas.

Utilizando o diagrama de blocos temos:

O numerador representa o Ganho Estático do processo (G_s), isto é, o ganho do processo para alterações permanentes e sem oscilações de setpoint, já que para alterações permanentes de setpoint a frequência assume valor igual a zero.

O denominador representa uma variável complexa. No caso demonstrado, o valor do par RC formado pela resistência e pela capacitância do processo tem valor igual a 2 segundos, e por fim, a variável “ s ” representa o valor da frequência, em radianos por segundo, se for aplicada à entrada um sinal variante no tempo.

Deve ser observado que o processo se encontra em malha aberta, isto é, não está sendo realimentado. Desta forma, para que ocorra variação no processo (PV) é necessário uma alteração no valor da variável manipulada (MV), sendo que o novo valor da variável do processo não será aqui utilizado para restabelecer controle.

O Ganho de Malha Aberta pode ser facilmente calculado pelo produto dos ganhos do processo e do controlador:

$$GMA = G_c \times G_p \text{ sendo:}$$

GMA = Ganho de Malha Aberta

G_c = Ganho do controlador

G_p = Ganho do processo

Processo Multicapacitivo (de 2ª ou Enésima Ordem)

Supõe-se que as serpentinas de aquecimento do trocador de calor em questão são suficientemente grandes para ter uma capacitância calorífica C_1 que é inteiramente significativa quando comparada com a capacitância C_2 da água no tanque. Neste caso, o processo pode ser considerado processo de 2 capacitâncias. Assim, a resistência R_1 entre as capacitâncias C_1 e C_2 é a resistência à transferência de calor oferecida pelas paredes das serpentinas e as películas isolantes de água nas suas faces interna e externa (das serpentinas).

A figura 8 fornece as curvas de reação em condições de não controle para este processo de 2 capacitâncias seguindo a uma mudança brusca de carga de alimentação causada pelo aumento na abertura da válvula de vapor no tempo zero.

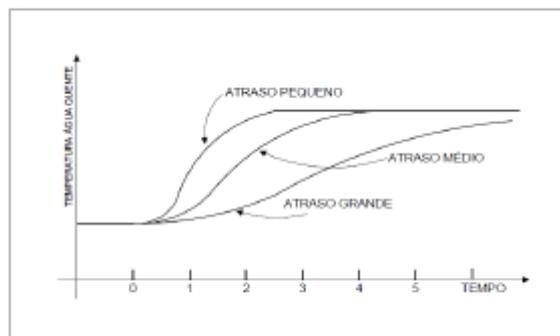


Figura 8

A comparação entre o gráfico do processo monocapacitivo e multicapacitivo ilustra uma diferença significativa entre os processos de capacitância simples e de 2 capacitâncias. A temperatura em vez de mudar imediatamente começa a subir vagarosamente, a seguir mais rapidamente, a seguir mais devagar, finalmente reequilibrando gradativamente a um novo valor de estado estável. Esta curva de reação em forma de S é característica dos efeitos de mudanças de carga de alimentação em um processo de 2 ou mais pares de resistência – capacitância relativamente iguais, ou seja, processo multicapacitivo.

A resistência R_1 à transferência de energia entre a capacitância calorífica C_1 da serpentina e a capacitância calorífica C_2 da água causa este retardo, atraso de capacitância, na temperatura.

A figura 8 mostra que se aumentar o atraso de capacitância no processo é preciso mais tempo para que a temperatura atinja seu valor final. Os processos multicapacitivos são de controle mais difíceis pelas seguintes razões:

a) Eles não começam a reagir imediatamente quando a mudança de carga ocorre.

Assim sendo, haverá desvios e as correções só serão aplicadas após um determinado tempo.

b) As correções não são imediatamente efetivadas.

A principal distinção que existe entre processos multicapacitivos é a maneira pela qual estas capacidades estão ligadas. Se estiverem isoladas, as capacidades se comportam exatamente como se estivessem sozinhas. Mas se forem acopladas, haverá imã interação de uma com a outra, de modo que a contribuição de cada uma é alterada pela interação. A figura compara as duas formas.

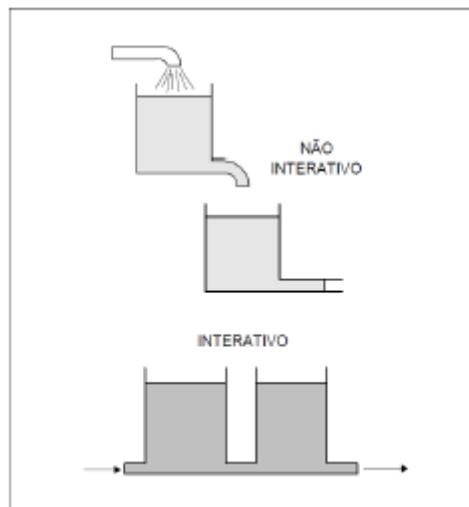


Figura 9

Na parte de cima da figura anterior, os níveis dos dois tanques não interagem, pois uma variação no nível do segundo tanque não afetará o nível do primeiro, e vice-versa.

A importância da interação é aquela que muda as constantes de tempo efetivas das capacidades individuais, de maneira bastante significativa. A equação que determina as constantes de tempo efetivas é irracional, e sua solução é relativamente complexa.

Efeito do Tempo Morto nos Processos

Como visto anteriormente, o tempo morto introduz um atraso de tempo desde a mudança do valor da variável manipulada até um início de mudança na variável controlada.

Em malha aberta somente notamos o efeito de seu atraso, entretanto, em malha fechada o que percebermos são oscilações no processo.

Estas oscilações serão tanto maiores quanto o ganho do controlador que estiver realimentando o processo em questão.

Oscilações do Processo (Malha Fechada)

Fundamentalmente, para que um processo apresente oscilações é necessário que esteja em malha fechada (realimentado) e que apresente tempo morto.

As oscilações serão tanto maiores quanto maior for o ganho do controlador e o período de oscilação dependerá exclusivamente dos valores de resistência e capacitância ali envolvidos, bem como do valor de tempo morto do processo relacionado.

É possível identificar características do processo também em malha fechada.

Em malha aberta a identificação consiste numa perturbação (distúrbio) no processo e a consequente observação da reação do processo, seja ele estável ou instável.

Facilmente o produto entre a resistência e a capacitância do processo e o tempo morto, em um simples gráfico poderá ser identificado.

Todavia, devemos observar que os processos industriais dificilmente apresentarão ganhos estáticos lineares, isto é, uma relação entre variação de variável controlada pela variação na variável que provocou o distúrbio igual em toda a faixa de trabalho.

Mais ainda, as características dinâmicas do processo como resistência e capacitância e tempo morto não serão mantidas para diferentes faixa operacionais.

Desta forma, a determinação das características fundamentais como o produto entre resistência e capacitância e o valor de tempo morto tendem a apresentar mais precisão se forem identificados em malha fechada pelo processo de oscilação constante.

Este procedimento consiste em implementar diferentes ganhos no controlador que estiver realimentando o processo a fim de se obter oscilações constantes na variável controlada.

O valor de ganho do controlador implementado capaz de manter o processo oscilando constantemente receberá o nome de Ganho Crítico (G_{crit}) e o Período de Oscilação do processo será denominado Período Crítico (P_{crit}). Através de duas equações podemos determinar os valores do produto de resistência e capacitância e de tempo morto.

$$\theta = \frac{P_{crit}}{2\pi\sqrt{(G_{crit}+G_s)^2 - 1}} \quad \text{Equação 1}$$

onde:

P_{crit} . = Período da oscilação

θ = Produto entre resistência e capacitância (RC)

G_{crit} . = Ganho crítico

G_s = Ganho estático do processo

$$TM = \frac{P_{crit}}{2 \left(1 - \frac{\arctg\sqrt{(G_{crit} + G_s)^2 - 1}}{\pi} \right)}$$

onde:

P_{crit} . = Período da oscilação

TM = Tempo Morto

G_{crit} . = Ganho crítico

G_s = Ganho estático do processo

Resposta Ideal do Controle

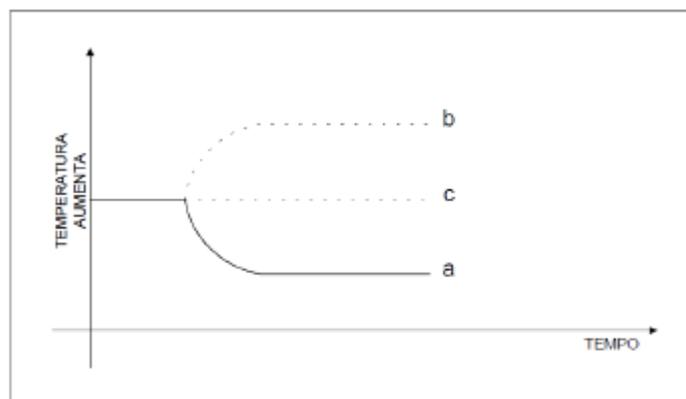


Figura 10

A figura 10, fornece as curvas de reação em condições de não controle do trocador de calor, que utilizamos como exemplo, em resposta a mudanças simultâneas de carga de alimentação e de demanda. A curva "a" mostra o efeito de uma mudança brusca de carga de demanda feita no tempo zero, aumentando

a abertura da válvula de água quente. O ponto importante a se notar na curva "a" é que a temperatura começa a mudar imediatamente quando o distúrbio de demanda ocorre.

A curva "b" mostra o efeito de uma mudança brusca de carga de alimentação feita no tempo zero e representa o aumento de alimentação de vapor exatamente suficiente para corrigir o distúrbio de demanda representado pela curva "a". A curva "c" mostra o efeito da aplicação simultânea da mudança de carga de demanda e de sua exata correção de alimentação.

Isto seria teoricamente possível pela abertura simultânea das válvulas de água quente e de vapor da mesma maneira que foi realizado na obtenção das curvas "a" e "b".

Nota-se na curva "c" que em processo de capacitância simples a correção exata de alimentação, quando aplicada simultaneamente com o distúrbio de demanda, evita completamente a mudança de temperatura. Isto apenas é verdade quando as constantes de tempo são iguais.

As curvas de reação de um processo monocapacitivo e esta apresentada na página anterior são típicas para todos os processos que podem ser considerados de capacitância simples e que não têm tempo morto. Porém, processos de verdadeira capacitância simples são praticamente impossíveis de produzir.

Efeito do Tempo Morto em Processos Multicapacitivos

Se em nosso processo típico aumentarmos a distância do nosso sensor em relação a saída do trocador será necessário mais tempo para levar a mudança de temperatura até o nosso controlador, isto é aumenta o tempo morto. A figura 11 seguir mostra o efeito do tempo morto em processo multicapacitivo.

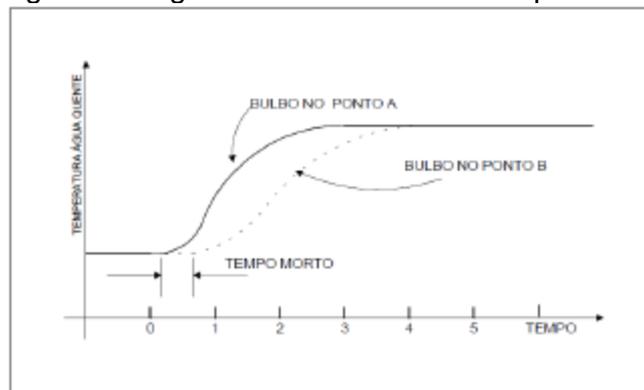
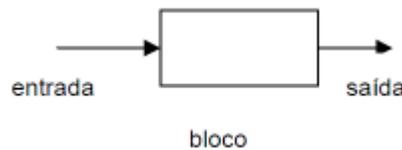


Figura 11

Diagrama de Blocos

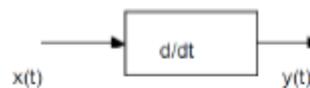
Diagrama de blocos é uma representação simples da relação de causa e efeito entre a entrada e a saída de um sistema físico.

Forma elementar:



As flechas dão a direção da informação e o interior do bloco (função de transferência do elemento) contém uma descrição do elemento ou símbolo da operação a ser aplicada à entrada proporcionando a saída.

Exemplo:



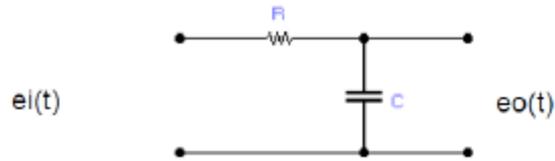
$$\text{Se, } x(t) = at^2 + t$$

$$\text{Então } y(t) = 2at + 1$$



Construção de um Diagrama de Blocos

Exemplo com circuito elétrico RC:



$$e_i(t) = R \cdot i(t) + 1/C \int i(t) dt$$

$$e_o(t) = 1/C \int i(t) dt$$

onde: $e_i(t)$ = tensão de entrada

$e_o(t)$ = tensão de saída

$R \cdot i(t)$ = queda de tensão sobre o resistor;

$1/C \int i(t) dt$ = queda de tensão sobre o capacitor.



A Transformada de Laplace

A transformada de Laplace facilitará em muito os cálculos envolvendo funções diferenciais (método clássico).

Basicamente, a transformada de Laplace torna as equações diferenciais em equações algébricas, facilitando o manuseio das equações.

Entretanto, uma equação diferencial no domínio do tempo, ao ser transformada passa a ter seu domínio na frequência.

Para o estudo de controle de processos, é necessário o conhecimento de ao menos 3 transformadas:

$$\mathcal{L} \{ i(t) \} = I(s);$$

$$\mathcal{L} \{ \int i(t) dt \} = I(s) / s$$

$$\mathcal{L} \{ d i(t) / dt \} = I(s) \cdot s$$