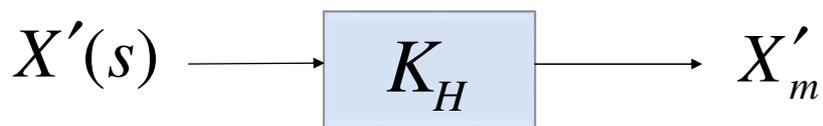


Modelo do elemento de medição (sensor)

Assume-se que o comportamento dinâmico do sensor- transmissor da composição pode ser aproximado por uma função de transferência de primeira ordem;

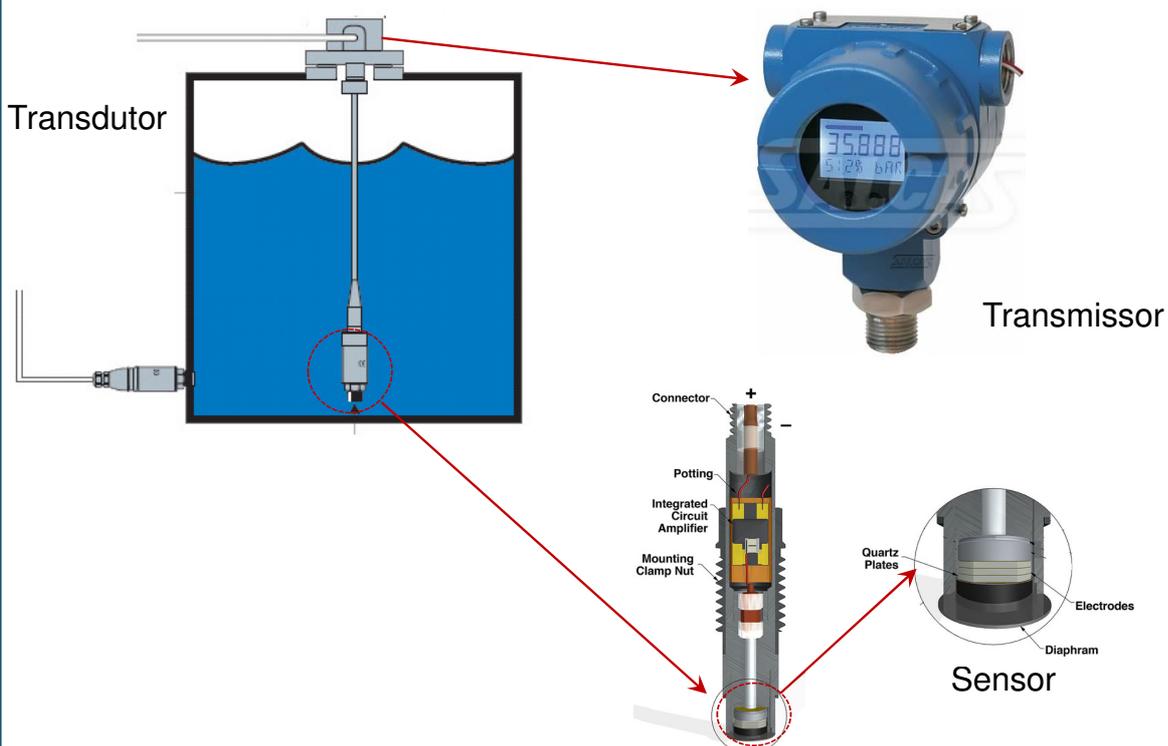
$$\frac{X'_m(s)}{X'(s)} = \frac{K_H}{\tau_H s + 1}$$

quando, $\tau \gg \tau_H, \tau_H$ pode ser assumido como sendo igual a zero.



23

Sistema de Instrumentação



Sistema de Instrumentação

SINAIS DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO

Transdutor: Sensor + Transmissor

- Transmissor gera um sinal padrão a partir da saída do sensor.
- Níveis de sinais padrões de instrumentação:
 - Pneumático: 3-15psig
 - Voltagem: 1~5VDC, (exceções: 0~5VDC, -10~+10VDC, etc).
 - Corrente: 4~20mA
 - Digital: 0 / 1

Conversão de sinal

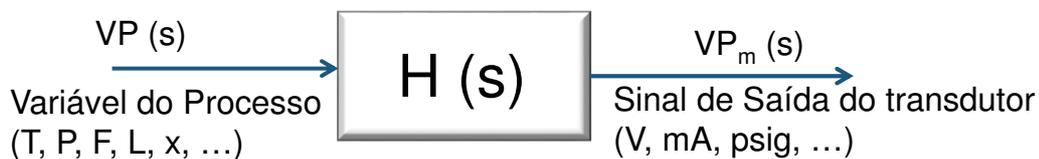
- Transdutor I/P ou P/I : corrente-a-pressão ou vice-versa
- I/V (I/E) ou V/I: corrente-a-voltagem ou vice-versa
- P/E ou E/P: pressão-a-voltagem ou vice-versa
- Conversor Analógico-a-Digital (A/D)



Profª Ninoska Bojorge

Sistema de Instrumentação

Diagrama de blocos de uma combinação sensor-transdutor



$$H(s) = \frac{VPm(s)}{VP(s)} = \frac{K_H}{\tau_H s + 1}$$

onde:

K_H = Ganho do transdutor , possui unidades [VPm (?) / VP (?)]

τ_H = Constante de tempo do transdutor , [tempo]



Profª Ninoska Bojorge

Parâmetros do sensor

- Ganho do transmissor (K_H): ajustável

O ganho (ou sensibilidade) é a razão da variável do sinal de saída (leitura) para variação no sinal de entrada, após atingir estado estacionário:

$$\text{razão} = \frac{\text{span saída}}{\text{span entrada}}$$

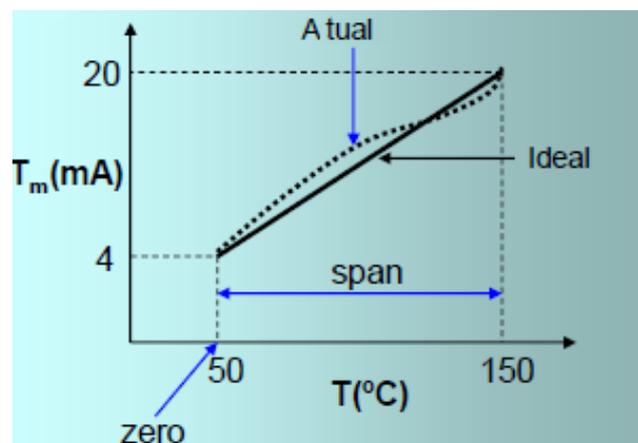
- Span e Zero: ajustáveis
 - Span: magnitude do alcance do sinal do transdutor
 - Zero: limite inferior de sinal do transdutor



Parâmetros do sensor

Por Exemplo: Transdutor de Temperatura

Entrada	Saída
50 °C	4 mA
150 °C	20 mA



Curva de calibração do transmissor de temperatura

$$K_H = \frac{(20 \text{ mA} - 4 \text{ mA})}{(150^\circ \text{ C} - 50^\circ \text{ C})} = 0,16 [\text{mA} / ^\circ \text{ C}]$$



Elementos finais de controle

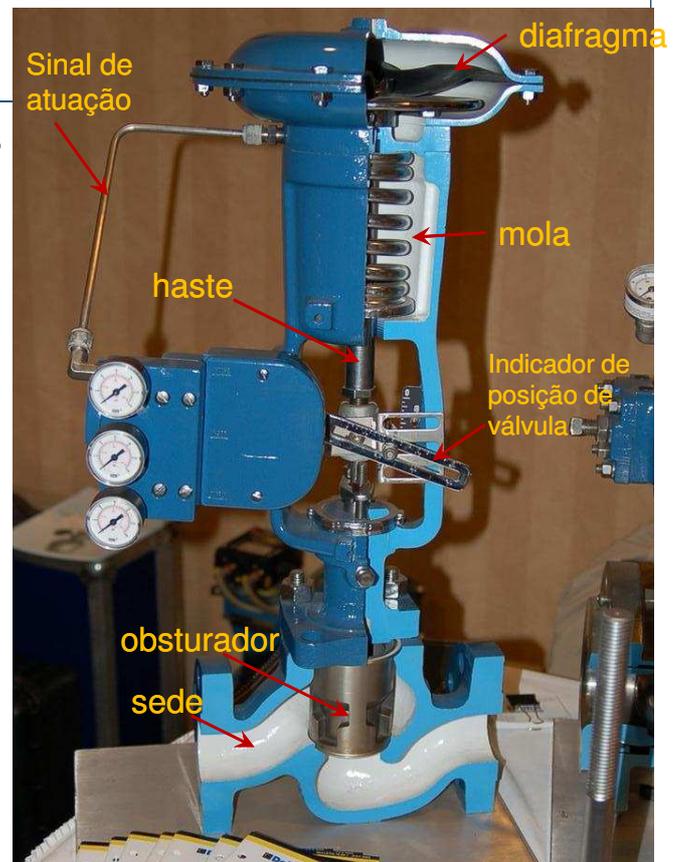
Cada malha de controle de processo contém um elemento de controle final (atuador), o dispositivo que permite que uma variável de processo possa ser manipulada.

Para a maioria dos processos químicos e de refino de petróleo, os elementos de controle final (geralmente, válvulas de controle) ajustam as taxas de fluxo de materiais e, indiretamente, as taxas de transferência de energia e de matéria para o processo.



Válvulas de Controle

- Existem muitas maneiras diferentes de manipular os fluxos de materiais e energia dentro e fora de um processo, por exemplo, mediante alterações da velocidade de uma bomba, inversores de frequências, ou um transportador pode ser ajustado.
- No entanto, um método simples e amplamente utilizado para realizar este resultado com fluidos é a utilização de uma válvula de controle, também chamada de **válvula automática de controle**.
- A válvula de controle inclui **o corpo da válvula, haste, sede, e o atuador**.



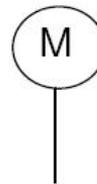
ATUADOR e CONVERTOR

Atuadores

São mecanismos que alteram a grandeza controlada, ou seja, transformam energia elétrica ou de pressão que chega nele em energia mecânica, com o objetivo de abrir ou fechar a válvula.

Classificação:

- Pneumático;
- Elétrico;
- Hidráulico .



ATUADOR e CONVERTOR

Conversor Digital-Analógico (D/A e A/D; I/P, P/I, etc.)

- O sinal original é convertido noutro sinal contínuo e guarda o sinal até que o sinal seja alterado (a cada delta t).
- São normalmente concebidos para ter características lineares e de dinâmicas insignificantes (rápido), assume-se que, a FT do conversor consiste meramente de um ganho de estado estacionário, $K_{I/P}$:

$$K_{I/P} = \frac{U_p}{U_c}$$

Conversores



Modelo de uma válvula de controle

A função de transferência de uma válvula de controle em conjunto com um atuador pneumático pode ser expressa como uma função de primeira ordem, que inclui a dinâmica do atuador com diafragma e o corpo da válvula

$$G_V = \frac{X(s)}{U(s)} = \frac{K_V}{1 + \tau_V \cdot s}$$

Onde:

$X(s)$ – sinal que sai do atuador para agir sobre a haste da válvula

$U(s)$ – sinal que chega ao atuador

K_V – ganho da válvula

τ_V – constante de tempo da válvula

O cálculo de K_V é feito da seguinte forma:

$$K_V = \frac{\Delta x}{\Delta y}$$

Δx – faixa de variação do sinal de saída do atuador (0 a 1 p.u para válvulas de acionamento linear e 0 a 90° para válvulas de acionamento rotativo).

Δy – faixa de variação do sinal que chega ao atuador



Modelo de uma válvula de controle: Blocos

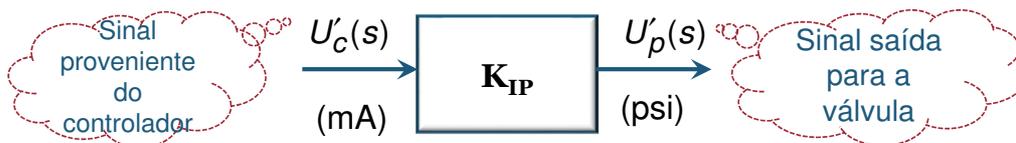


Diagrama de Blocos para o conversor I/P

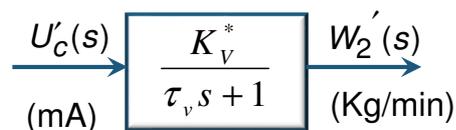


Diagrama de Blocos para a válvula de controle.



Ação da Válvula de Controle ^{A1}

Air-to-Open vs. Air-to-Close Control Valves

AR PARA FECHAR (A.F.) OU FALHA ABRE (F.A.)

Com o aumento da pressão de ar na cabeça da válvula, a haste do atuador desloca-se de cima para baixo até provocar o assentamento do obturador na sede, fechando a válvula.

Com a diminuição da pressão do ar, a haste se deslocará de baixo para cima, abrindo a válvula.



VÁLVULA DE AÇÃO DIRETA, $K_v < 0$

AR PARA ABRIR (A.A.) OU FALHA FECHA (F.F.)

Com o aumento da pressão de ar na cabeça da válvula, a haste do atuador desloca-se de baixo para cima, provocando a abertura da válvula.

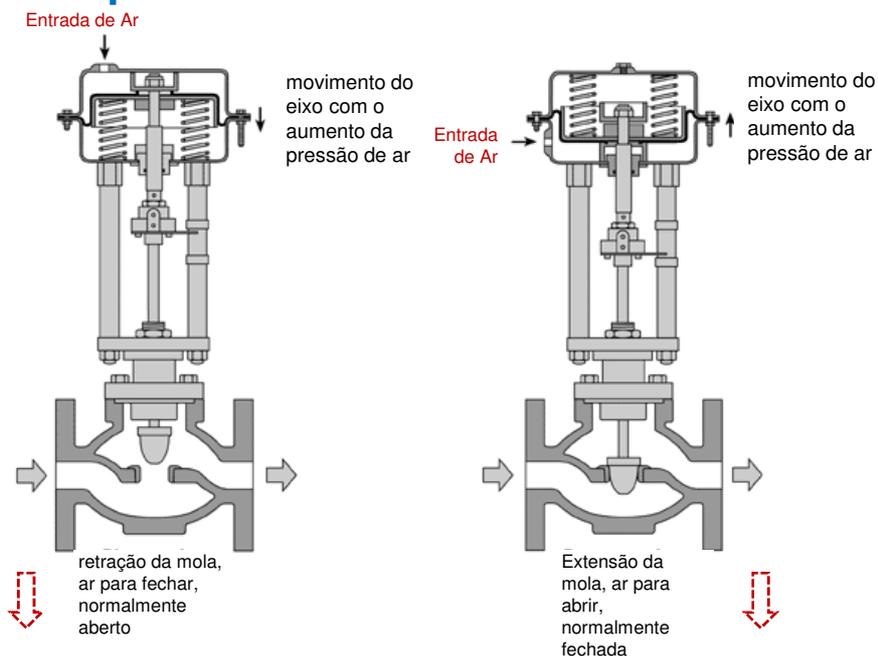
Com a diminuição da pressão do ar, a haste se deslocará de cima para baixo até provocar o assentamento do obturador na sede, fechando a válvula.



VÁLVULA DE AÇÃO REVERSA, $K_v > 0$

Ação da Válvula de Controle

Air-to-Open vs. Air-to-Close Control Valves

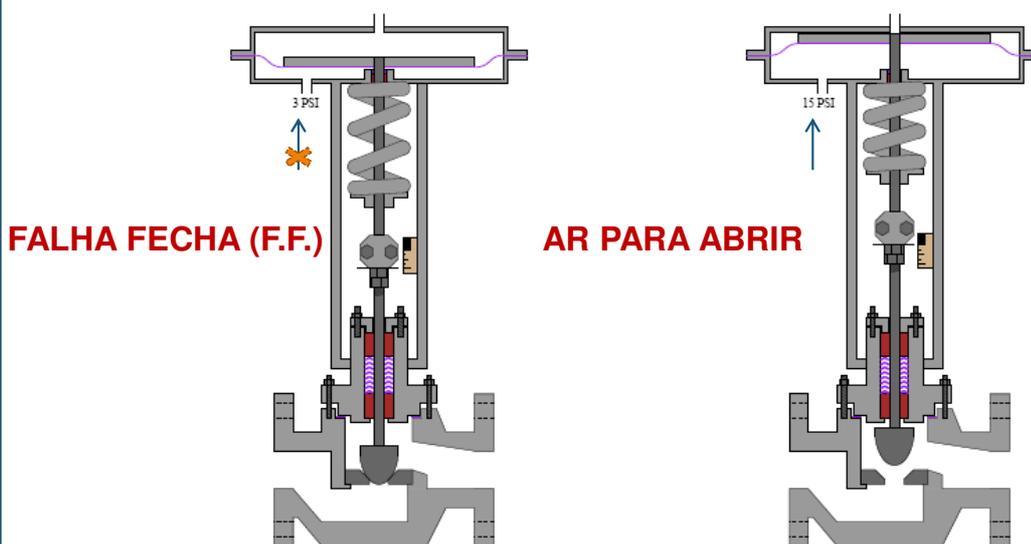


VÁLVULA DE AÇÃO DIRETA, $K_v < 0$

VÁLVULA DE AÇÃO REVERSA, $K_v > 0$

Ação da Válvula de Controle

Ação Reversa



Ação da Válvula de Controle

Air-to-Open vs. Air-to-Close Control Valves

A **ação da válvula** determina o **sinal** do ganho da válvula

Válvula **de ar para abrir** tem um ganho **positivo**.

Válvula **de ar para fechar** tem um ganho **negativo**.

Fórmulas que relacionam a posição da válvula com a saída do controlador (valores estacionários) :

$$\text{Ar para abrir: } \bar{vp} = \frac{\bar{m}}{100}$$

$$\text{Ar para fechar: } \bar{vp} = 1 - \frac{\bar{m}}{100}$$



Modelo do controlador PID

Possíveis estratégias de controle:

$$\frac{C'(s)}{E(s)} = K_C$$

Controle proporcional

$$\frac{C'(s)}{E(s)} = K_C \left(1 + \frac{1}{\tau_I s} \right)$$

Controle Proporcional-Integral

$$\frac{C'(s)}{E(s)} = K_C (1 + \tau_D s)$$

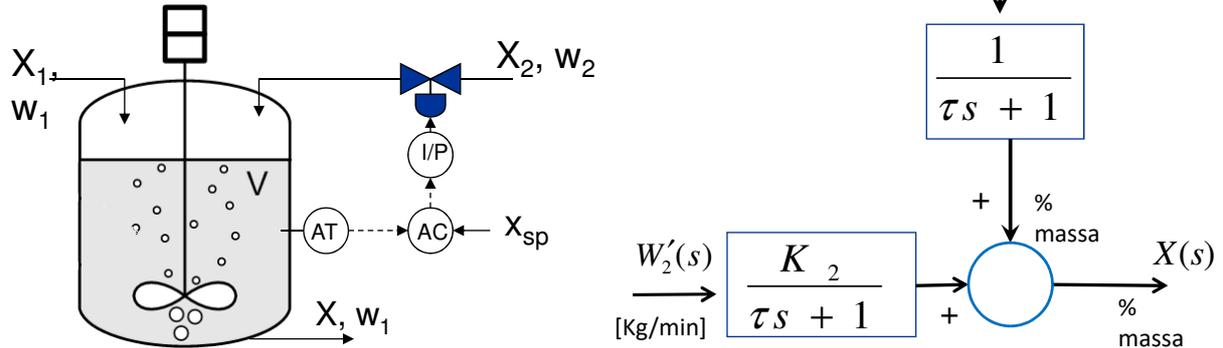
Controle Proporcional Derivativo

$$\frac{C'(s)}{E(s)} = K_C \left(1 + \frac{1}{\tau_I s} + \tau_D s \right)$$

Proporcional-integral -derivativo

Voltando ao Exemplo do sistema de Mistura

- Processo de mistura



Variações na composição de saída são detectados pelo sensor do transmissor de composição e enviada para o controlador fazendo com que o sinal de saída do controlador varie. Isto é, por sua vez faz com que a posição da válvula de controle e, conseqüentemente, o fluxo do fluido da corrente 2 mude. As variações no fluxo de corrente faz variar a composição de saída, completando assim o ciclo.

Exemplo: O sistema trocador de calor

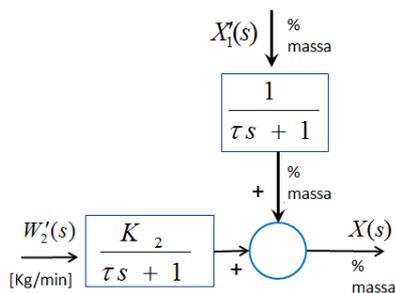
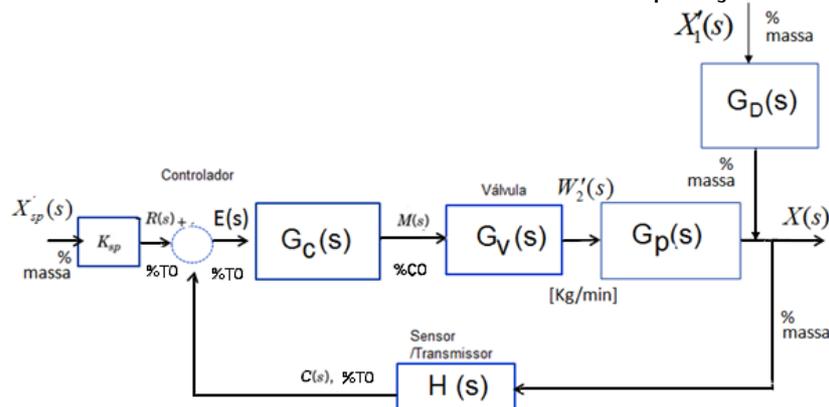


Diagrama de Blocos do tanque de mistura

Diagrama de Blocos da malha de controle da Composição no tanque



Função de Transferência - Malha fechada

Analisando a malha fechada, temos:

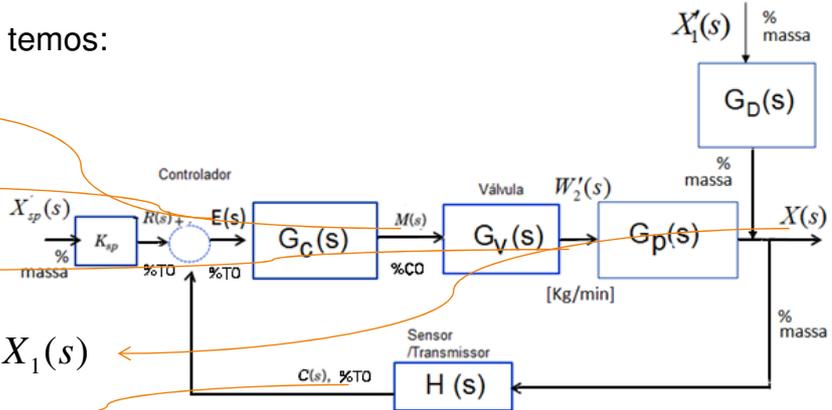
$$E(s) = K_{SP} X_{sp} - C(s)$$

$$M(s) = G_C(s)E(s)$$

$$W_2(s) = G_V(s)M(s)$$

$$X(s) = G_P(s)W_2(s) + G_D(s)X_1(s)$$

$$C(s) = H(s)X(s)$$



42

Função de Transferência - Malha fechada

Analisando a malha fechada, temos:

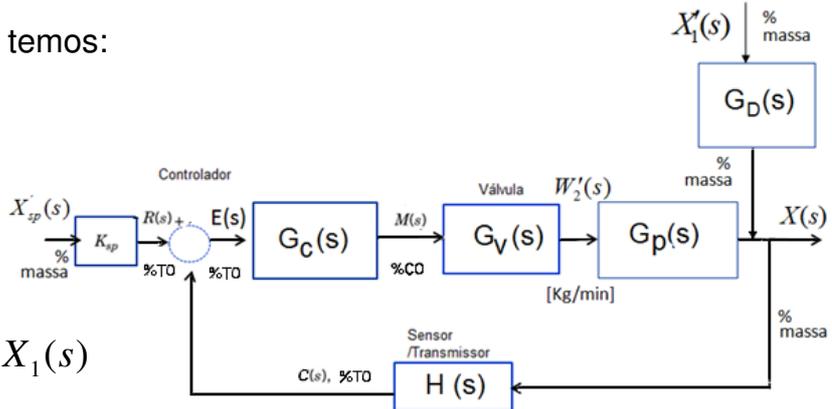
$$E(s) = K_{SP} X_{sp} - C(s)$$

$$M(s) = G_C(s)E(s)$$

$$W_2(s) = G_V(s)M(s)$$

$$X(s) = G_P(s)W_2(s) + G_D(s)X_1(s)$$

$$C(s) = H(s)X(s)$$



$$X(s) = G_P(s)W_2(s) + G_D(s)X_1(s)$$

$$X(s) = G_P(s)G_V(s)M(s) + G_D(s)X_1(s)$$

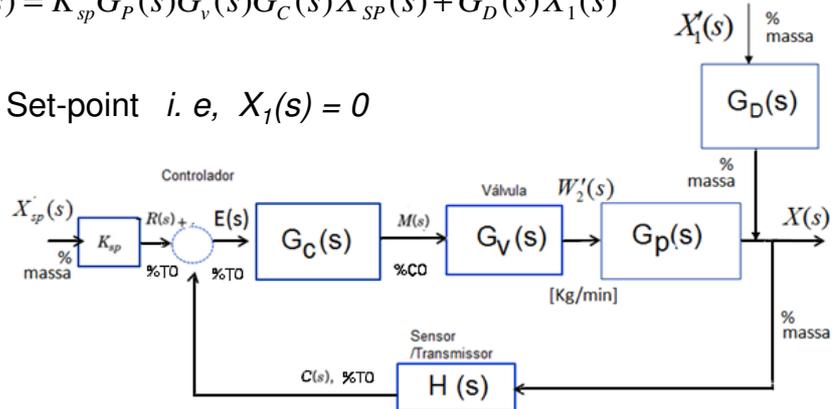
$$X(s) = G_P(s)G_V(s)G_C(s)[K_{sp} X_{SP} - H(s)X(s)] + G_D(s)X_1(s)$$

$$[1 + G_P(s)G_V(s)G_C(s)H(s)]X(s) = K_{sp} G_P(s)G_V(s)G_C(s)X_{SP}(s) + G_D(s)X_1(s)$$

Função de Transferência - Malha fechada

$$[1 + G_p(s)G_v(s)G_c(s)H(s)]X(s) = K_{sp}G_p(s)G_v(s)G_c(s)X_{sp}(s) + G_D(s)X_1(s)$$

Considerando, variação no Set-point *i. e.*, $X_1(s) = 0$



Então:

$$\frac{X(s)}{X_{sp}(s)} = \frac{K_{sp}G_p(s)G_v(s)G_c(s)}{1 + H(s)G_p(s)G_v(s)G_c(s)}$$

44

Função de Transferência malha fechada... cont.

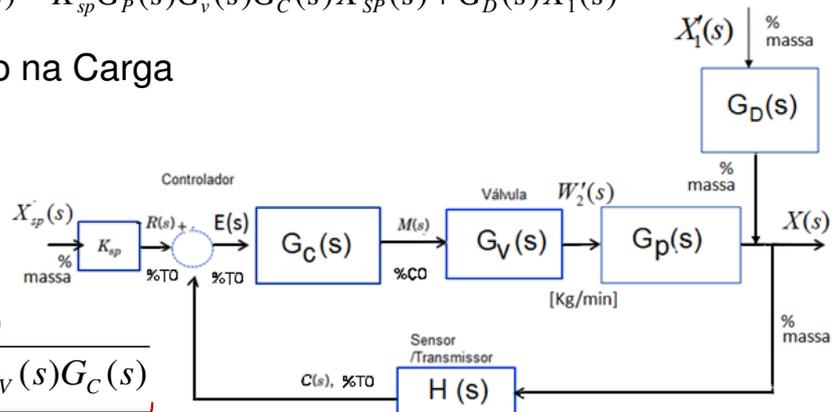
$$[1 + G_p(s)G_v(s)G_c(s)H(s)]X(s) = K_{sp}G_p(s)G_v(s)G_c(s)X_{sp}(s) + G_D(s)X_1(s)$$

Considerando, variação na Carga

$$X_{sp} = 0$$

Assim,

$$\frac{X(s)}{X_1(s)} = \frac{G_D(s)}{1 + \underbrace{H(s)G_p(s)G_v(s)G_c(s)}}_{\text{característica}}$$



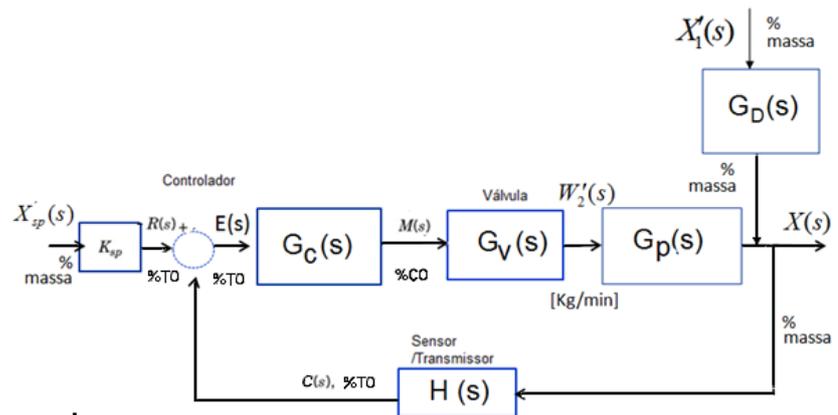
Observa-se que na equação característica:

$$H(s)G_p(s)G_v(s)G_c(s) = \left(\frac{\%TO}{\%massa} \right) \left(\frac{\%massa}{Kg / min} \right) \left(\frac{Kg / min}{\%CO} \right) \left(\frac{\%CO}{\%TO} \right)$$

= Adimensional

45

Função de Transferência da Malha Fechada– Contin.



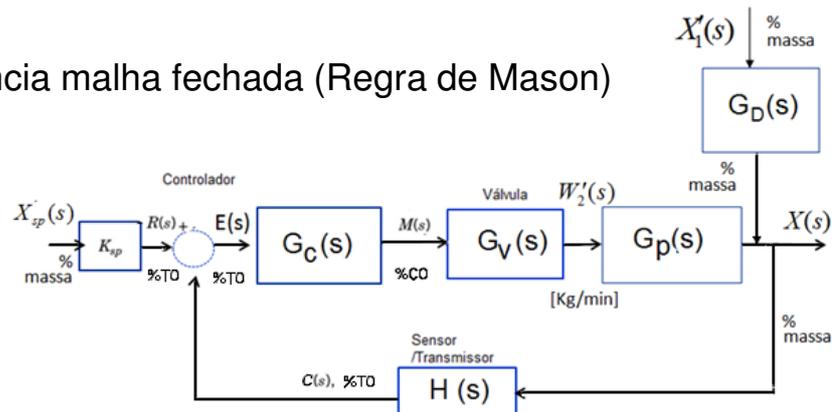
No caso geral, a resposta:

$$X(s) = \frac{K_{sp} G_p(s) G_V(s) G_C(s)}{1 + H(s) G_p(s) G_V(s) G_C(s)} X_{sp}(s) + \frac{G_D(s)}{1 + H(s) G_p(s) G_V(s) G_C(s)} X_1(s)$$



Função de Transferência da Malha Fechada– Contin.

A função de transferência malha fechada (Regra de Mason)



$$\frac{Z}{Z_i} = \frac{\pi}{1 + \pi_f}$$

Z = Variável de saída

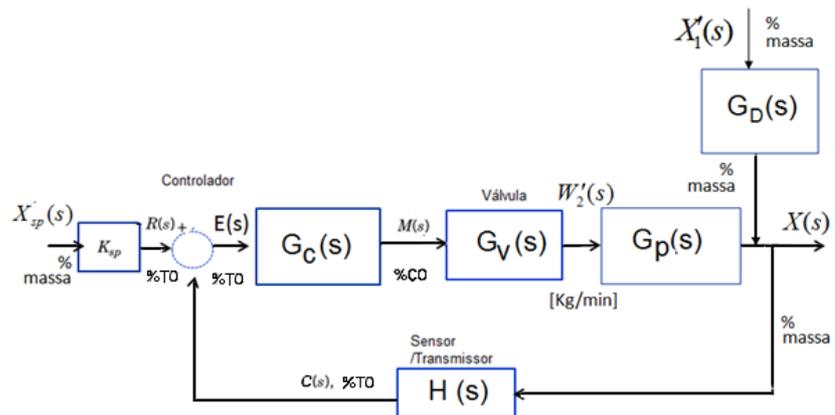
Z_i = Variável de Entrada

Π = produto no caminho de Z_i a Z

Π_f = produto de cada função de transferência na malha de retroalimentação

Função de Transferência da Malha Fechada– Contin.

$$\frac{Z}{Zi} = \frac{\pi}{1 + \pi_f}$$



$$X(s) = \frac{K_{sp} G_p(s) G_V(s) G_C(s)}{1 + H(s) G_p(s) G_V(s) G_C(s)} X_{sp}(s)$$

$$X(s) = \frac{G_D(s)}{1 + H(s) G_p(s) G_V(s) G_C(s)} X_1(s)$$



Problemas Típicos de Controle ... Próx. aula

1) Controle Regulatório

- A tarefa é compensar os efeitos de perturbações externas, a fim de manter a saída no seu ponto de ajuste constante (rejeição de distúrbios)

2) Controle Servo

- O objetivo é fazer com que a saída para controlar a mudança de set-point

Em ambos os casos, uma ou mais variáveis são manipuladas pelo sistema de controle.

Exemplo

Dados das condições de projeto:

Processo:

No alimentador tem:

$$\rho = 68 \text{ lb /ft}^3, C_p = 0,8 \text{ BTU/lb}^\circ\text{F}$$

$$V = 120 \text{ft}^3 \text{ (constante)}$$

$$U = 2,1 \text{ BTU/min.ft}^2$$

$$F = 15 \text{ ft}^3/\text{min}$$

$$T_i = 100 \text{ }^\circ\text{F (constante)}$$

$$T^{sp} = 150 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$C_M = 2.1 \text{ BTU/min ft}^2\text{ }^\circ\text{F} : \text{Capacitância de calor do metal}$$

Sensor de Temperatura:

Faixa: 100 a 200 $^\circ\text{F}$ e $\tau_T = 0,75 \text{ min}$

Válvula: Igual Porcentagem, $\alpha = 50$, $\tau_V = 0,20 \text{ min}$

Fonte: (Smith e Corripio. P. 181)

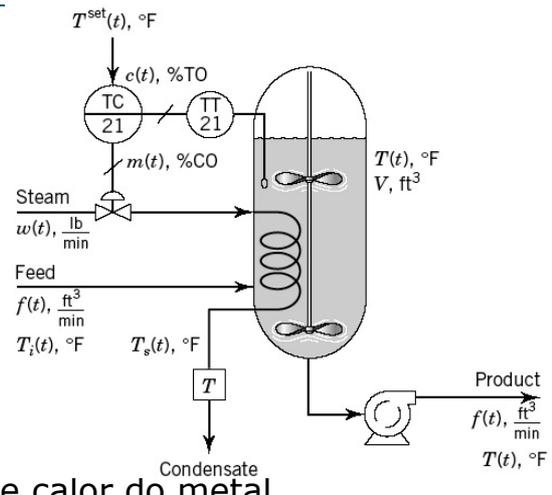


Figure 6-1.5 Temperature control of the stirred tank heater of Example 6-1.1.