

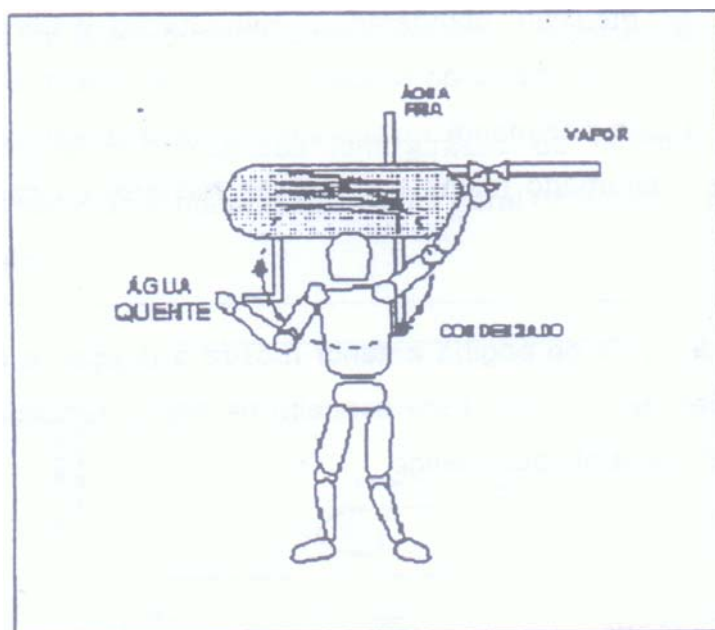
Controle Automático

Noções Básicas do Controle Automático

Princípios Básicos do Controle Automático

Controle Manual

A figura mostra o processo típico sob controle de um humano. O serviço do operador é sentir a temperatura da água quente de saída e girar o volante da válvula de maneira a manter a temperatura da água no valor desejado. Supondo-se que o processo esteja equilibrado e que a temperatura da saída da água esteja no valor desejado, o que acontecerá a este sistema manual se houver um aumento da vazão da água?



Processo de troca de calor em controle manual.

O sistema de controle e o processo juntos formam uma malha de controle fechada (representada pela linha tracejada). Devido aos atrasos de tempo do processo, um certo lapso de tempo vai se passar antes que a água mais fria atinja a mão esquerda do operador. Quando o operador sente esta queda da temperatura, ele deve compará-la com a temperatura que deseja, a seguir computar mentalmente quanto a qual

direção à válvula deve ser reposicionada e, manualmente, efetuar esta correção na abertura da válvula.

É necessário um certo tempo, naturalmente, para tomar esta decisão e corrigir a posição da válvula. Um certo tempo vai se passar também para que o efeito na correção da válvula sobre a temperatura de saída de água chegue até a saída e possa ser sentida pelo operador.

É só neste momento que o operador será capaz de saber se a primeira correção foi excessivamente pequena ou grande. Neste momento, ele faz então uma segunda correção que, depois de algum tempo, proporcionará uma outra mudança na temperatura de saída. O resultado desta segunda correção será observado e uma terceira correção será feita, e assim por diante.

Esta série de ações de medição, comparação, computação e correção irá ocorrer continuamente através do operador e do processo em uma cadeia fechada de ações, até que a temperatura seja finalmente equilibrada no valor desejado pelo operador.

Este tipo de controle é chamado malha de controle fechada ou cadeia de controle fechada.

O círculo tracejado na figura da pagina anterior mostra a direção e o caminho desta série fechada de ações de controle. Este conceito de malha fechada é fundamental para a compreensão de controle automático.

Controle em Malha Fechada

A correção a um distúrbio não pode ser feita antes que o efeito do distúrbio seja conhecido. Mas os atrasos de tempo do processo retardam o conhecimento do efeito do distúrbio. Por outra, é necessário um certo tempo para avaliar o desvio e fazer a correção. Depois ainda mais tempo será necessário, devido aos atrasos de tempo, para que o efeito da correção seja conhecido. Assim sendo, a variável controlada continua a desviar do valor desejado durante um certo tempo. Em resumo, o problema de controle é sobrepujar o efeito dos atrasos de tempo que ocorrem ao longo da malha fechada de controle.

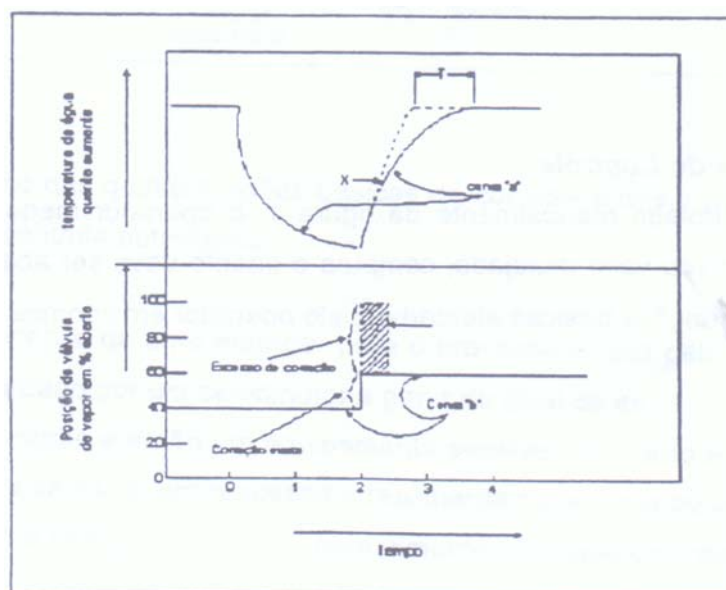
A figura da próxima pagina mostra as curvas de tempo de reação do processo monocapacitivo. A cura “a” mostra a temperatura da água quente; a curva “b” mostra as aberturas da válvula de vapor. Deve ser salientado que o processo não está em controle automático.

No tempo zero, ocorre uma mudança de carga de demanda, causada pelo aumento da vazão de água quente. A curva “a” mostra como reage a temperatura. No tempo 2 a curva “b” (linha cheia) mostra uma correção exata de alimentação feita pela válvula de vapor.

A curva “a” mostra como a temperatura volta ao seu valor inicial depois de um certo tempo. Mas a correção exata não foi aplicada no instante da aplicação da mudança de carga, a temperatura desviou muito do valor desejado. Em qualquer processo possuidor de atrasos de tempo, as correções exatas não podem ser aplicadas simultaneamente com as mudanças de carga de demanda devido ao fato que os atrasos de tempo impedem o conhecimento do efeito do distúrbio por algum tempo.

Uma vez que todos os processos têm atrasos de tempo, de maior ou menor importância, esta situação é típica do problema geral do controle automático.

Excesso de Correção



No exemplo da figura, se a válvula de vapor tivesse sido completamente aberta no tempo 2, o vapor teria sido alimentado em grande excesso comparado com a correção exata e a temperatura teria voltado ao seu valor inicial muito mais rapidamente. A curva tracejada Y mostra como um excesso de correção é aplicado no tempo 2 reduzido a correção exata no momento que a temperatura retomou ao seu valor inicial. A curva tracejada mostra que este excesso de correção faz voltar a temperatura ao seu valor inicial de um tempo T mais cedo comparado com o efeito da correção exata apenas.

Assim sendo, um excesso de correção aplicado e retirado corretamente faz voltar a variável ao seu desejado mais rapidamente que a correção exata somente teria feito. A energia que foi fornecida em excesso é representada pela área hachurada em baixo da curva Y. Conclui-se que um controlador capaz de fornecer uma curva de reação parecida com a curva X é melhor do que produz a curva “a”.

Assim a função desejável do controlador é de aplicar correções excessivas tão grandes quanto o processo permitir e reduzi-las ao seu valor no tempo correto.

Este excesso de correção permite ao controlador recuperar parcialmente as perdas de tempo devido aos atrasos ao longo da malha de controle. Em outras palavras, os excessos de correção fornecem uma solução parcial básico do controle.

Os excessos de correção não podem ser aplicados em processos de capacitâncias muito pequenas, como no caso da maioria dos problemas de controle de relação de vazão.

Funções Básicas do Controle

No processo controlado manualmente da 1ª figura, o operador mede a temperatura, compara-a com o seu valor desejado, computa o quanto deve ser aberta a válvula de vapor. Assim, as funções básicas efetuadas pelo operador manual são:

- a. Medição
- b. Comparação
- c. Computação
- d. Correção

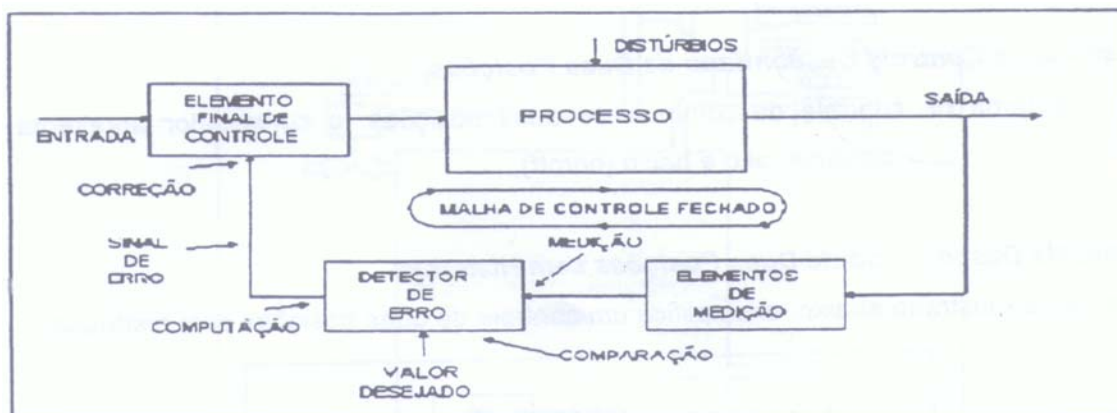
Estes são, então, as funções básicas do controle a serem efetuadas por qualquer sistema de controle automático para ser comparável a função do operador humano.

Elementos do Controle Automático

Os elementos funcionais de um sistema de controle automático e seu posicionamento com relação a malha de controle fechada são mostrados na figura abaixo. A comparação da figura abaixo com a 1ª. figura mostra que o controle automático efetua as mesmas funções básicas, na mesma ordem, que faz o operador humano de um processo.

Os elementos de medição efetuam a função de medição; sentem e avaliam uma variável de saída com seu valor desejado é feita pelo detector de erro, que produz um

signal quando existe um desvio entre o valor medido e o desejado. Este signal tem uma certa relação com o desvio que é a chamada função de computação.



Relação das quatro funções básicas de controle e dos elementos básicos de um sistema de controle automático.

A função de correção de uma entrada para o processo é feita pelo elemento final de controle que é atuado por um servomotor a partir do sinal de erro.

O sistema de controle é então um equipamento sensível ao desvio e auto-corretor. Ele toma um sinal na saída de um processo e realimenta na entrada do processo. Então, o controle em malha fechada normalmente chamado controle a realimentação (Feedback).

Atrasos de Tempo no Sistema de Controle

Os sistemas de controle automático têm atrasos de tempo que podem influir seriamente no desempenho das malhas de controle. Os mesmos tipos de atrasos, atrasos RC e o Tempo morto, que são encontrados nos processos, também existem nos sistemas de controle.

Além disso os atrasos encontrados nos controladores são causados pelas mesmas propriedades: capacitância, resistência e tempo de transporte.

Ações de Controle

Controle Automático Descontínuo

Os sistemas de controle automático descontínuos apresentam um sinal de controle que normalmente assume apenas dois valores distintos. Eventualmente, este sinal poderá ser escalonado em outros valores.

Podemos dispor dos seguintes tipos de sistemas de controle descontínuos:

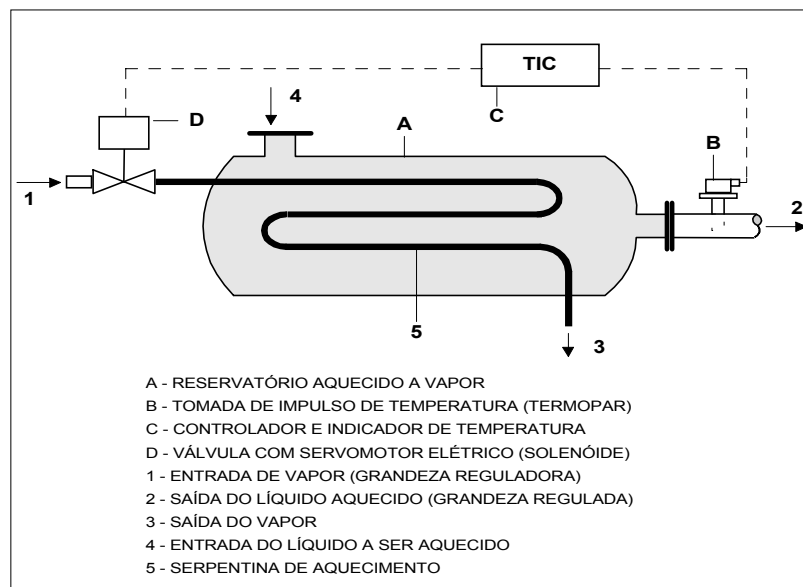
- de duas posições (com ou sem histerese);
- por largura de pulsos;
- de três posições.

Sistema de Controle Descontínuo de Duas Posições

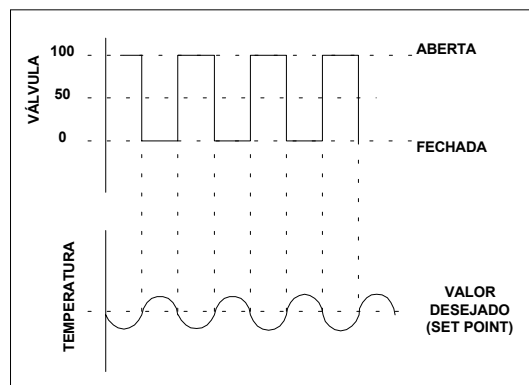
Num sistema de controle descontínuo de duas posições, o controlador apresenta apenas dois níveis de saída: alto e baixo (on/off).

Controle Descontínuo de Duas Posições sem Histerese

O sistema mostrado abaixo, exemplifica um controle de duas posições sem histerese.

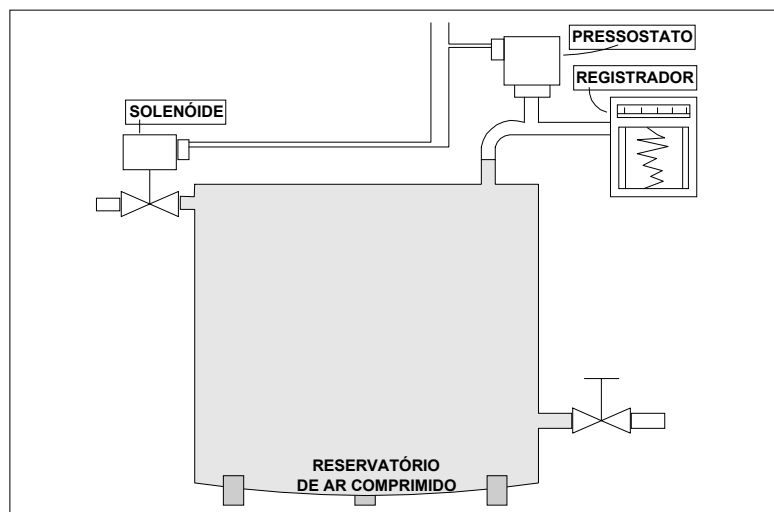


O elemento controlador tem como função comparar o valor medido pelo transmissor de temperatura com o valor desejado e, se houver diferença, enviar um sinal ao elemento final de controle (abrir ou fechar a válvula), no sentido de diminuir o erro.

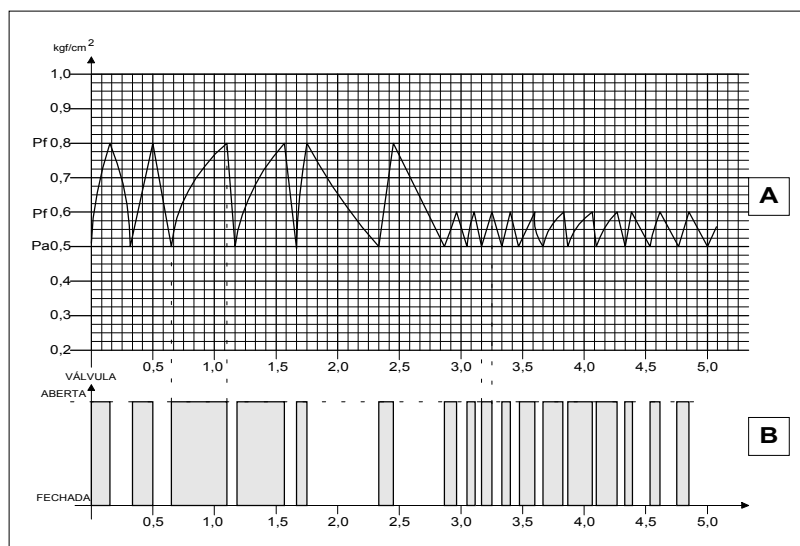


Controle Descontínuo de Duas Posições com Histerese

O sistema a seguir mostra um controle descontínuo de duas posições com histerese.



O reservatório é alimentado com ar comprimido cuja pressão é constante e igual a 1.2 Kg/cm^2 . A descarga contínua do reservatório pode ser modificada por meio da válvula de descarga, de modo a poder simular as variações de descarga do processo. O elemento de controle (pressostato diferencial), controla uma válvula colocada em série na entrada do reservatório. Um registrador, cujo gráfico avança com uma velocidade de 1mm/s, permite registrar as variações da pressão em função do tempo. O próximo gráfico mostra as variações de pressão ao longo do tempo (A) e o acionamento da válvula na mesma base de tempo (B).



Analisando os gráficos A e B, nota-se que nos tempos 1, 2 e 3 (0 a 2,95 min). O

pressostato acionou o fechamento da válvula quando a pressão era $0,8 \text{ Kgf/cm}^2$ e abertura da mesma quando a pressão for inferior a $0,5 \text{ Kgf/cm}^2$.

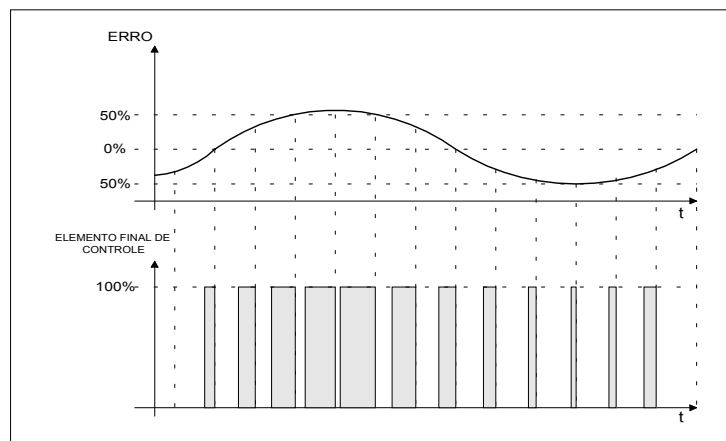
A diferença existente entre a pressão necessária para a abertura (P_a) e a pressão para fechamento (P_f) é chamada zona diferencial ou diferencial de pressão.

Observa-se também que nos tempos 1', 2' e 3' (2,95 a 5,00 min), o diferencial de pressão é de apenas $0,1 \text{ Kgf/cm}^2$.

O diferencial ($P_f - P_a$), representa a zona dentro da qual o elemento controlador, no caso o pressostato, não intervém.

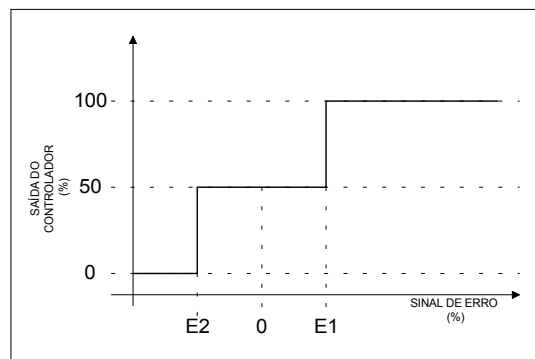
Sistema de Controle Descontínuo Por Largura de Pulsos

Num sistema de controle descontínuo por largura de pulso, o controlador apresenta dois níveis de saída: alto e baixo (on/off) ou ativado e desativado. O tempo de permanência em nível ativada ou desativada depende da amplitude do erro. O período do sinal de saída do controlador é constante, veja na figura abaixo.



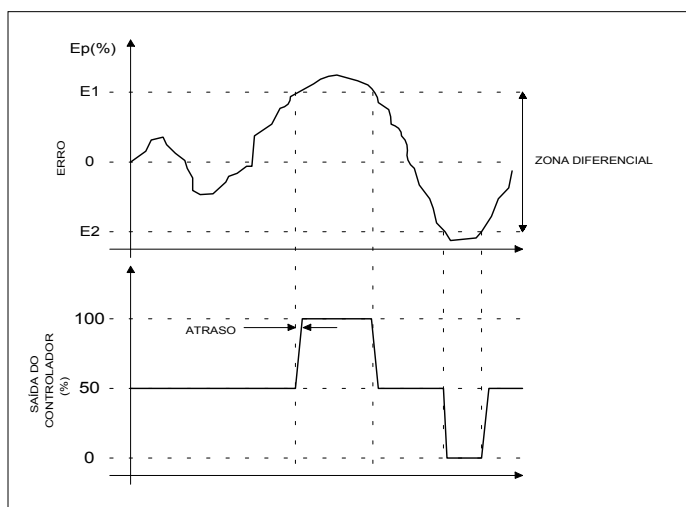
Sistema de Controle Descontínuo de Três Posições

Num sistema de controle descontínuo de três posições, o controlador pode fornecer um sinal de saída em três níveis (0, 50 e 100%), definidos em função do comprimento



da variável controlada dentro da zona diferencial.

Os gráficos abaixo, demonstram o comportamento dinâmico da variável controlada e do sinal de saída do controlador, para um caso hipotético.



E_1 = Erro máximo positivo

E_2 = Erro máximo negativo

No controle mostrado pelo gráfico acima foram definidas as seguintes condições:

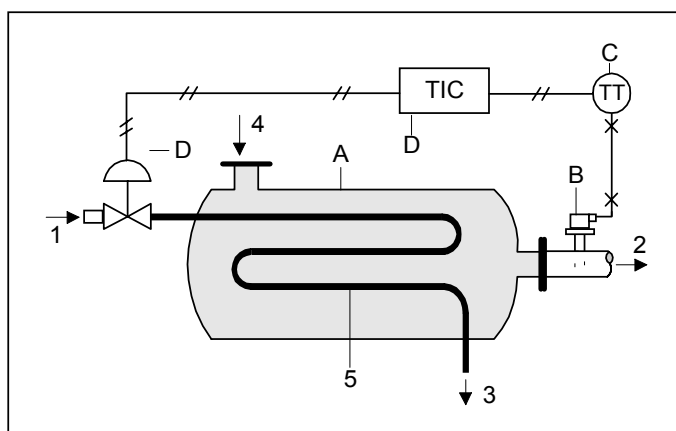
Saída do controlador = 100% quando $E_p > E_1$

Saída do controlador = 50% quando $E_2 < E_p < E_1$

Saída do controlador = 0% quando $E_p < E_2$

Controle Automático Contínuo

O sistema de controle automático contínuo tem como característica um controlador cuja saída varia continuamente, isto é, podendo assumir qualquer valor compreendido entre os limites máximo e mínimo.



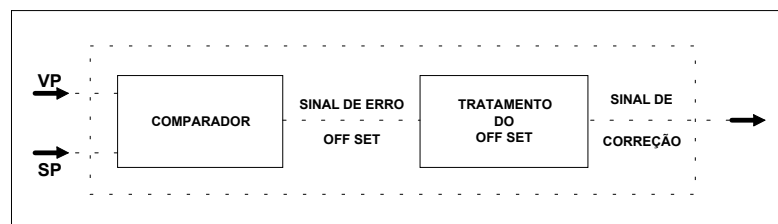
Na figura acima é visto um sistema de controle contínuo.

Naturalmente os controladores e os elementos finais de controle contínuo diferem dos de um controle descontínuo. Nos sistemas de controle descontínuo, a variável controlada varia em torno desejado, com oscilações cujas amplitude e frequência dependem das características do processo e do próprio sistema de controle.

Nos sistemas de controle contínuo, a variável controlada não oscila, mas se mantém constante no set-point.

Característica de um Controlador Contínuo

Basicamente um controlador contínuo é composto por um conjunto de blocos conforme mostrado na figura abaixo.



Onde:

COMPARADOR = Tem como função gerar um sinal de erro proporcional a diferença instantânea entre a variável e set-point.

TRATAMENTO = Tem como a função processar o sinal de erro (off-set).
DO OFF-SET gerando um sinal de correção.

Dependendo da forma como o sinal de erro (off-set) é processado, podemos dispor de um sistema de controle contínuo subdividido em:

- Controle Proporcional
- Controle Proporcional + Integral
- Controle Proporcional + Derivativo
- Controle Combinado

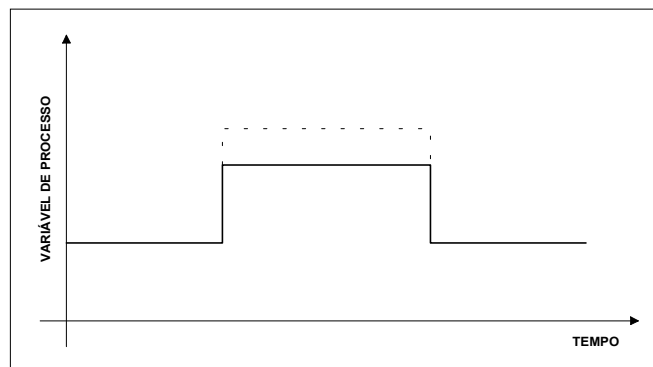
Controle Proporcional

O modo de controle proporcional pode ser considerado como uma evolução do modo de controle de duas posições.

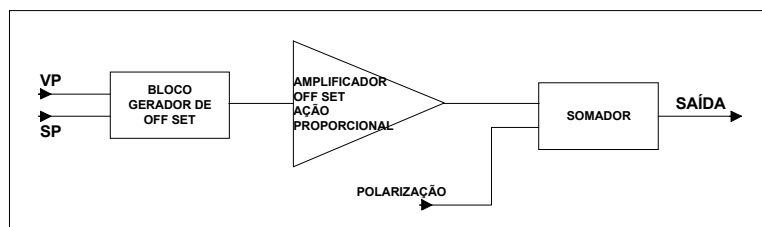
A saída de um controlador proporcional pode assumir qualquer valor desde que compreendido entre os limites de saída máxima e mínima, em função do erro (off-set) verificado.

A ação proporcional apresenta uma relação matemática proporcional entre o sinal de saída do controlador e o erro (off-set). Portanto, para cada valor de erro, temos um

único valor de saída em correspondência figura abaixo.



Na figura abaixo, é mostrado um diagrama de blocos de um controlador proporcional:



Matematicamente, pode-se expressar a ação proporcional, como:

$$S = P_o \pm (G \times E)$$

onde:

S = Sinal de saída

P_o = Polarização do Controlador, isto é, sinal de saída para erro nulo

G = Ganho, isto é, constante de proporcionalidade entre o erro e o sinal de saída

E = Off-set (erro), isto é, diferença entre a variável controlada e o set-point

Banda Proporcional

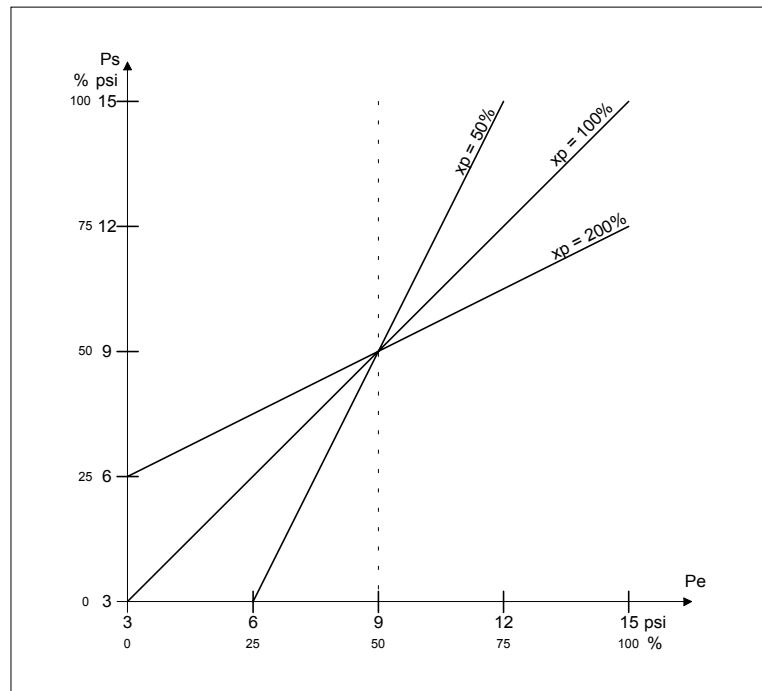
A faixa de erro (como no gráfico anterior a faixa A ou B), responsável pela variação de 0 a 100% do sinal de saída do controlador, é chamada BANDA PROPORCIONAL (BP).

Pode-se definir também como sendo o quanto (%) deve variar o off-set (erro), para se ter uma variação total (100%) da saída.

A relação existente entre ganho e banda proporcional é:

$$BP = \frac{100}{G}$$

O gráfico a seguir mostra a característica da banda proporcional:

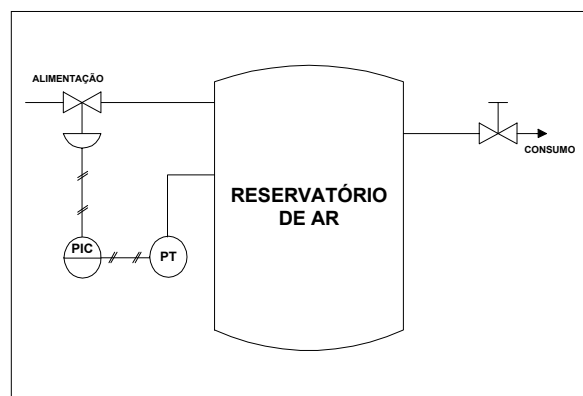


Observe que se a banda proporcional é inferior a 100%, (no caso 50%), para se obter uma variação total de saída não é necessário que o off-set varie 100% (no caso 50% já é suficiente). Se a banda proporcional é superior a 100% (no caso 200%), a saída teoricamente nunca irá variar totalmente, mesmo que o off-set varie toda a faixa (100%). Caso o valor do erro ultrapasse a faixa da banda proporcional, o sinal de saída saturará em 0 ou 100%, dependendo do sinal de erro.

O valor de P_o é normalmente escolhido em 59% da faixa de saída, pois desta forma o controlador terá condição de corrigir erros tanto acima como abaixo do set-point.

Cálculo da Saída de um Controlador P

Observe a malha mostrada abaixo:



Supondo que a faixa de medição PT seja 0 a 10 Kgf/cm², e a pressão no reservatório seja 5 Kgf/cm², a saída do controlador (S_{PIC}) estará em 50%.

Num dado momento, a pressão do reservatório aumenta para 6 Kgf/cm² (60% da faixa), o que acontecerá com a saída do controlador sabendo-se que o mesmo possui banda proporcional = 125%?

Para responder esta questão, inicialmente deve-se analisar a malha como um todo, observando que será necessário fechar a válvula para que a pressão no reservatório volte o set-point 50%. Sabendo-se que o elemento final de controle (válvula) fecha a sua passagem com o aumento do sinal aplicado em si (válvula do tipo AFA "Abertura por Falta de Ar"), portanto o sinal de saída do controlador para a válvula deverá aumentar.

Sendo assim, neste exemplo quando a variável de processo for maior que o set-point, ou seja, um erro (off-set) positivo, a saída do controlador deve aumentar, o que caracteriza AÇÃO DE SAÍDA DIRETA.

Quando o off-set positivo ($VP > SP$) e o controlador necessitar diminuir a sua saída, esta situação caracteriza uma AÇÃO DE SAÍDA REVERSA.

Resumindo:

AÇÃO DIRETA

Off-set mais Negativo → Saída diminui

Off-set mais Positivo → Saída aumenta

AÇÃO REVERSA

Off-set Negativo → Saída aumenta

Off-set Positivo → Saída diminui

Voltando ao problema anterior, pode-se agora calcular a saída do controlador, pois:

$$P_o = 50\%$$

$$E = VP - SP = 60\% - 50\% = 10\%$$

$$G = \frac{100}{BP} = \frac{100}{125} = 0,8$$

Ação de Saída = Direta

$$S = 50 + (0,8 \times 10) = 50 + 8 = 58\%$$

$$S_{PIC} = 58\% = 9,96 \text{ PSI}$$

Pode-se ainda calcular a saída utilizando as unidades da faixa de instrumentação, como por exemplo 3 a 15 PSI, sendo

$$S = 9 + (0,8 \times E) \text{ PSI}$$

$$\text{onde: } E = VP - SP = 10,2 (60\%) - 9 = 1,2 \text{ PSI}$$

$$S = 9 + (0,8 \times 1,2) = 9 + 0,96 = 9,96 \text{ PSI}$$

$$S_{PIC} = 9,96 \text{ PSI (58\%)}$$

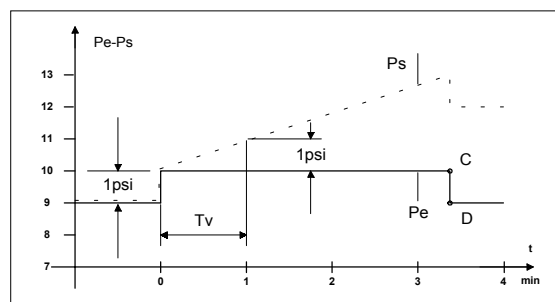
Obs.: Nunca calcule o erro em % e depois converta em PSI. Calcule o erro diretamente em PSI.

Controle Proporcional + Integral

Os controladores com ação Integral (Controle com Reset) são considerados de ação dinâmica pois a saída dos mesmos é uma função do tempo da variável de entrada.

A saída de um controlador com ação integral é proporcional à integral do erro ao longo do tempo de integração, ou seja, a velocidade da correção no sinal de saída é proporcional a amplitude do erro. Enquanto houver erro, a saída estará aumentando ao longo do tempo.

A figura abaixo mostra a variação do sinal de saída (P_s) de um controlador pneumático, em função do tempo, supondo que o Set-Point seja em 50% e o sinal de entrada (P_e) do controlador varie em degrau passando de 9 PSI (50%) para 10 PSI (58%).



Observe que a saída do controlador P_s (linha pontilhada), aumenta instantaneamente em $t=0$ (momento que acontece um degrau na entrada do controlador) de 9 a 10 PSI e depois vai aumentando, com velocidade constante, enquanto dura o degrau imposto na entrada do controlador. Esta variação em forma de rampa provocada pela ação integral.

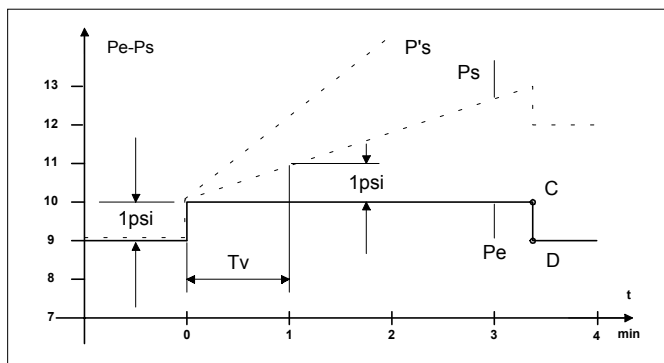
O tempo T_v é o tempo necessário para que a saída do controlador (P_s) devido a ação integral tenha variado a mesma quantidade que devido a ação proporcional a saída variou no instante $t=0$, ou seja, no exemplo mostrado no tempo $t=0$ a saída variou em 1 PSI e após decorrido T_v a saída mais 1 PSI.

Neste exemplo, $T_v = 1,2 \text{ min}$. A este tempo T_v é dado o nome de Tempo Reset e é expresso em Minutos Por Repetição (MPR).

A ação integral pode também ser denominada Taxa Reset e expressa em Repetições Por Minuto (RPM). A relação entre Tempo Reset e Taxa Reset é:

$$\text{Tempo Reset (MPR)} = \frac{1}{\text{Taxa Reset (RPM)}}.$$

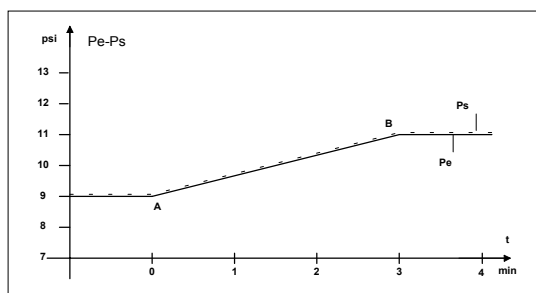
A figura abaixo mostra as curvas de saída de um controlador com diferentes ajustes de integral.



Controle Proporcional + Derivativo

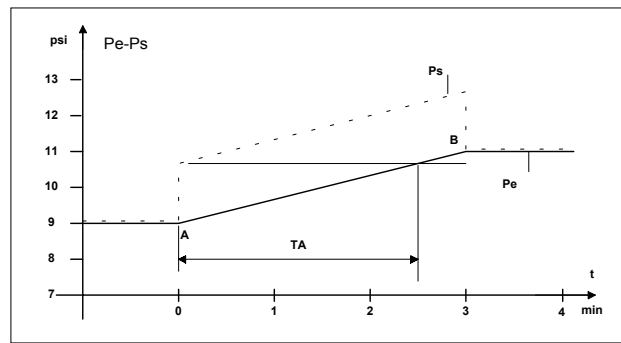
Nos controladores com ação Derivativa (Controle Antecipatório), a saída do controlador é proporcional a velocidade de variação do erro na entrada.

A figura abaixo mostra a saída "P_s" (linha pontilhada) de um controlador, no caso pneumático, somente com ação proporcional.



Se a variação na entrada (P_e) se apresentar em forma de rampa (velocidade constante), devido a ação proporcional, a saída P_s varia na mesma proporção que P_e . A introdução da ação derivativa no controle, pode ser vista no próximo gráfico.

Observe que no instante em que a entrada P_e começa a variar (ponto A), a saída P_s sofre um incremento de 12,5% (1,5 PSI) e em seguida aumenta com a mesma velocidade da variação de entrada P_e . O aumento rápido inicial é devido à ação derivativa, enquanto o aumento gradual que segue é devido à ação proporcional.



Analisando o gráfico, o tempo de antecipação T_a é o tempo que a ação derivativa se antecipa ao efeito da ação proporcional, ou seja, houve uma antecipação de 12,5% na saída inicialmente e após T_a minutos a saída variou mais 12,5%.

A ação derivativa pode ser denominada como Pré-Act.

Tipos de Controladores

Controlador Lógico Programável – CLP

Para automatizar operações utilizando equipamentos nas indústrias, é necessário que existia uma seqüência lógica de ligação e que os equipamentos estejam preparados para situações de emergência. Existem conceitos fundamentais para execução de projetos, aplicando conhecimentos específicos nesta área, afim de obter maior segurança, rendimento, e economia.

Nos sistemas lógicos de ligação de equipamentos e seus intertravamentos, por muitas décadas e ainda hoje, e utilizando o relê como elemento principal. O relê é um dispositivo eletro mecânico que permite a ampliação e a conversão de sinais elétricos. O uso de reles exige que sejam instalados em painéis que recebem e enviam seus sinais para o campo ou, próximos aos equipamentos.

Qualquer modificação no processo ou controle dos comandos, exige acréscimo ou retirada de equipamentos, fios. Muitas vezes as modificações tornam-se inviáveis por falta de espaço, custos altos e dificuldades operacionais. Os painéis, além de possuir certa complexidade na sua construção, envolvem o uso de uma grande quantidade de fios e reles tornando sua manutenção por demais longa, muitas vezes não permitindo a continuidade operacional de uma planta.

No final da década de 60, a General Motors Corporation contratou o projeto de desenvolvimento de uma empresa americana, a MODICON, para substituir grandes painéis de controle de suas linhas de produção. Nascia a família dos controladores lógicos programáveis (CLP). Atualmente existem vários desenvolvedores e fabricantes de CLP. A empresa ALLEN BRADLEY tornou-se uma das empresas líderes do seguimento, patenteando sua marca PLC (Programmable Logical Controller).

O CLP possui uma arquitetura de hardware que permite a utilização de programas, interagindo com o processo através de suas entradas que recebem sinais do campo oriundos de chaves de fluxo, contadores, pressostatos, finais de curso de válvulas, etc. Após o recebimento destes sinais, o CLP executa as suas rotinas de controle e aciona as devidas saídas que irão atuar nos dispositivos que finalmente controlam o processo.

Os CLPs possuem linguagem de programação, cada fabricante desenvolveu sua própria, que é formada por um conjunto de instruções. As instruções executam várias funções e operações que podem ser simples ou complexas se necessário. As mais simples como: as aritméticas (soma, subtração, multiplicação, divisão), de controle PID, de temporização, acúmulo, contagem.

O CLP é composto de módulos, possuindo cada módulo funções específicas que se relacionam com todo o conjunto.

- CPU – unidade central de processamento.
- Cartões de entradas e saídas digitais (discretas)
- Cartões de entradas e saídas analógicas.
- Interfaces de comunicação para utilização de diferentes protocolos.
- Fontes de alimentação

Vantagens do CLP

Programação:

Utilizando os diagramas ladder, a programação se torna simplificada e bem estruturada.

Diagnósticos de falhas e problemas

Existe a possibilidade de utilização de diagnóstico via software e a monitoração dos sinais que o CLP utiliza. É possível acompanhar a manutenção através de um terminal e testar o sinal, tornando rápida e facilitada a operação.

Monitoração de alarmes do processo

O CLP pode ser conectado em redes de sistemas supervisório ou também enviar/receber informações de um SDCD.

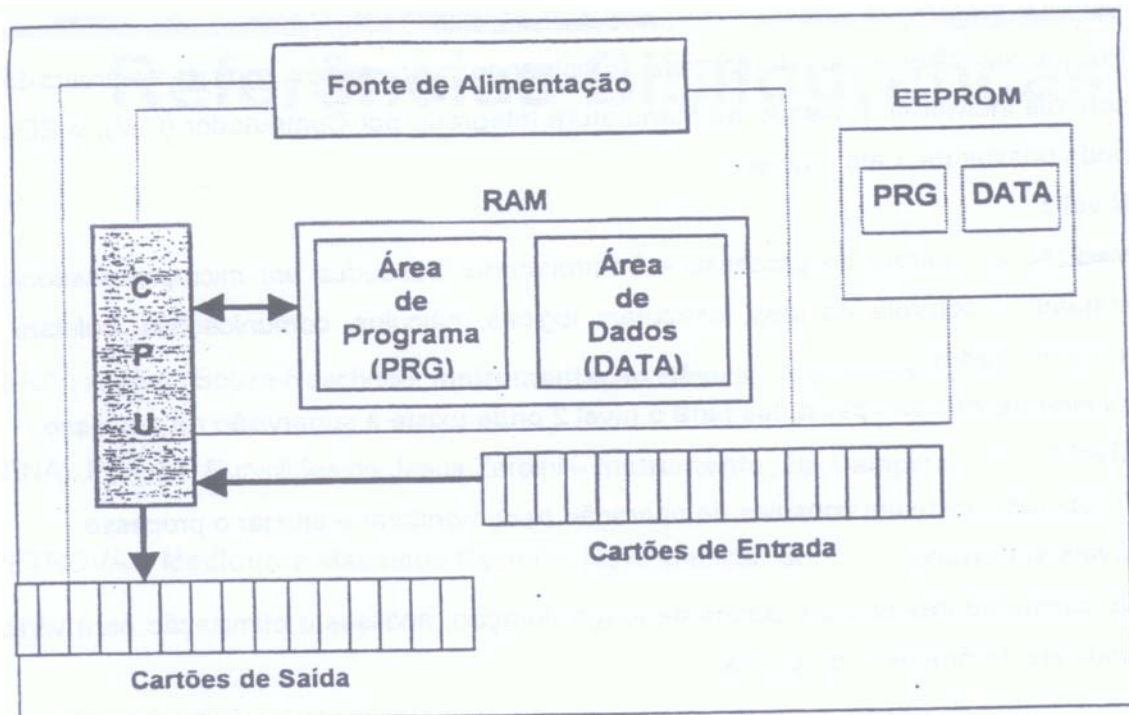
Reutilização plena

O CLP pode ser utilizado em qualquer outro tipo de processo. É preciso apenas programá-lo com programas que atendam às necessidades do novo processo.

Intercambialidade dos Cartões

É possível ampliar, expandir. Os novos módulos podem ser acrescentados ao módulo já existente.

Estrutura do PLC



EEPROM – Memória não volátil que armazena programas e dados (Electrically Erasable Program Read Only Memory)

RAM – Random Access Memory Memória de acesso aleatório.

Controle digital direto (DDC ou Supervisório)

As entradas de processo são conectadas a um computador central que efetua cálculos e libera as saídas para os elementos finais de controle.

O computador manipula um grande número de variáveis de processo e pode calcular estratégias de controle complexas.

O operador pode atender um número maior de loops, tornando possível o gerenciamento de processo.

Uma falha no computador pode parar toda a planta, a menos que existia um computador redundante que assuma o processo, este operando em paralelo até o momento da falha.

Supervisório

Um computador central se comunica com diversos Controladores individuais do processo possibilitando mudança de set-point e outros parâmetros dos controladores continuam o controle do processo.

SDCD – Sistema digital de Controladores distribuído

Possui diferentes níveis de controle combinado conceitos de controle centralizado e controle individual. Baseado na Manufatura Integrada por Computador (CIM), o SDCD pode possuir de 3 até 5 níveis:

Nível 1

Medição e controle do processo – Controladores baseados em microprocessadores efetuam o controle do loop, executam lógicas, comunicações, coletam e analisam dados.

As informações são passadas para nível 2 onde existe a supervisão do processo.

Nível 2

Os operadores usam consoles de operação para monitorar e ajustar o processo.

Níveis superiores

Os computadores coletam dados de longa duração, análises e otimização para várias unidades de processo ou plantas.

