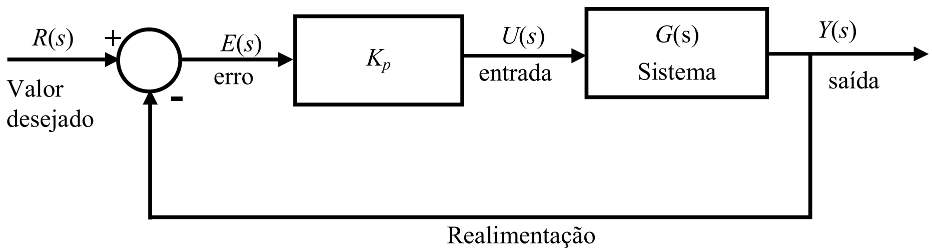
Tópico 05 – Revisão de PME3481 – PID em tempo contínuo

Controlador PID

A estrutura do compensador surge das ações de controle mais comuns. Considere o esquema abaixo:



Controle proporcional (P). A entrada de controle $U(s)$ é proporcional ao erro $E(s)$ entre o valor desejado $R(s)$ e o valor efetivamente obtido $Y(s)$ (saída).

Determinação do erro $E(s)$:

$$E(s) = R(s) - Y(s) = R(s) - G(s)U(s) = R(s) - G(s)K_p E(s)$$

$$E(s) + G(s)K_p E(s) = R(s) \Rightarrow \left[1 + G(s)K_p\right] E(s) = R(s)$$

$$E(s) = \frac{1}{\left[1 + G(s)K_p\right]} R(s)$$

O controlador proporcional (P) afeta o erro, diminuindo-o se $K_p > 1$. Entretanto o controlador proporcional não é capaz de mudar o tipo de sistema. Se houver erro estático, o erro poderá até ser diminuído, mas não eliminado.

Comparando a função de transferência do sistema não controlado e com controlador proporcional:

$G(s)$ sistema não controlado

$C(s) = \dfrac{G(s)K_p}{\left[1 + G(s)K_p\right]}$ sistema com controlador proporcional

Observe que a função de transferência foi alterada, logo também foram alteradas a posição dos polos do sistema, a resposta transitória e a resposta em frequência. Vamos verificar o efeito em um sistema de primeira ordem:

$G(s) = \dfrac{a}{s+a} \Rightarrow G(s) = \dfrac{1}{\frac{1}{a}s + 1} \Rightarrow \tau = \dfrac{1}{a}$ (τ é a constante de tempo)

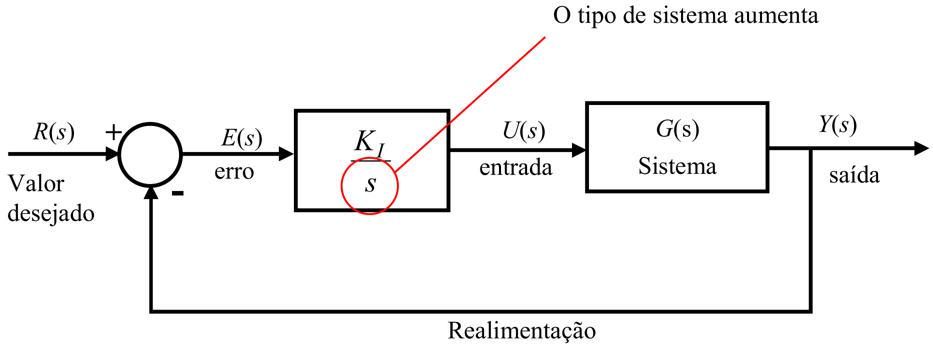
$$C(s) = \frac{G(s)K_p}{\left[1 + G(s)K_p\right]} = \frac{\left(\frac{a}{s+a}\right)K_p}{\left[1 + \left(\frac{a}{s+a}\right)K_p\right]} = \frac{\frac{aK_p}{s+a}}{\frac{s+a+aK_p}{s+a}} = \frac{aK_p}{s+a+aK_p}$$

$$C(s) = \frac{G(s)K_p}{\left[1 + G(s)K_p\right]} = \frac{\left(\frac{a}{s+a}\right)K_p}{\left[1 + \left(\frac{a}{s+a}\right)K_p\right]} = \frac{\frac{aK_p}{s+a}}{\frac{s+a+aK_p}{s+a}} = \frac{aK_p}{s+a+aK_p}$$

$$C(s) = \frac{\frac{K_p}{(1+K_p)}}{\frac{1}{a(1+K_p)}s+1} \Rightarrow \tau = \frac{1}{a(1+K_p)}$$

A constante de tempo foi alterada, ou seja, a posição do polo foi alterada.

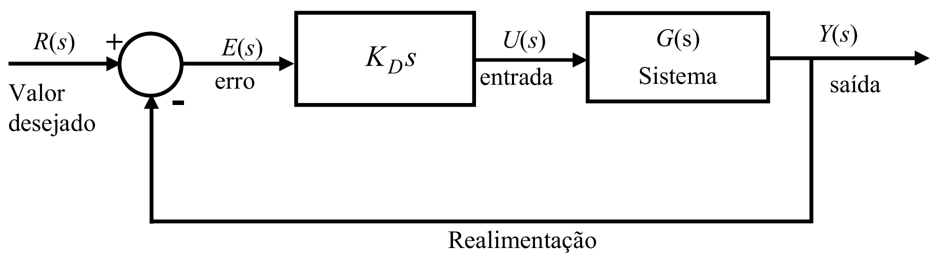
Como o controlador proporcional não altera o tipo de sistema, vamos verificar o efeito do controlador integral:



Controle integral (I). A entrada de controle $U(s)$ é proporcional à **integral do erro** $E(s)$.

Observe que o controlador integral modifica o tipo de sistema, diminuindo o erro estático.
Entretanto o controlador integral não é usado de forma isolada, em geral se usa um controlador Proporcional Integral (PI), que também afeta positivamente o comportamento do sistema quanto ao erro estático.

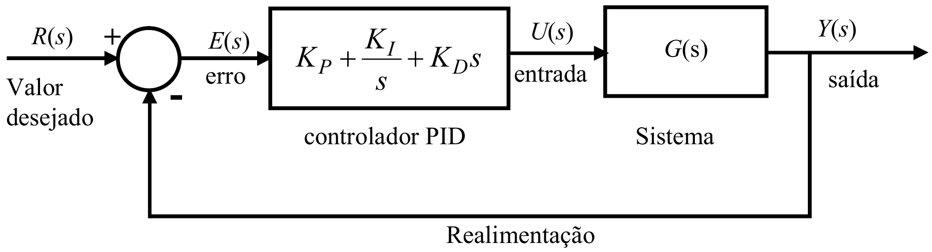
Finalmente, podemos usar um controle derivativo. Se a ação de controle for proporcional à derivada do erro, ou seja, se o controle agir se notar uma tendência de variação do erro, e não apenas com a variação, ele poderá ter um caráter antecipatório. Teremos o controlador derivativo:



Controle derivativo (D). A entrada de controle $U(s)$ é proporcional à **derivada do erro** $E(s)$.

O controle derivativo não é usado de forma isolada, já que ele não atuaria no caso de erro constante (a derivada do erro seria nula, e, portanto, não haveria ação de controle).

A combinação destas ações de controle dá origem ao controlador PID



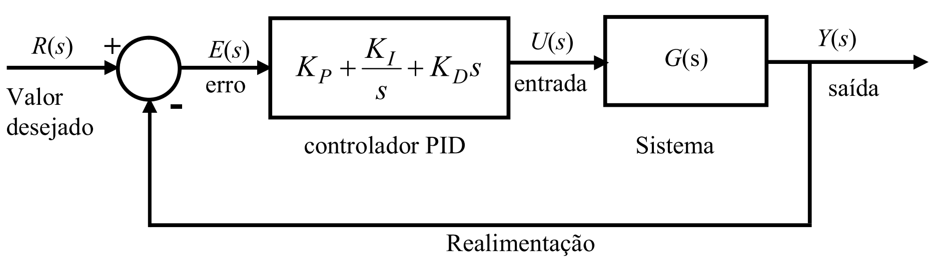
Controle proporcional integral derivativo (PID).

As ações de controle combinadas podem permitir a melhoria da resposta transitória juntamente com a diminuição do erro estático.
O controlador PID é amplamente usado por sua simplicidade e por ser bastante intuitivo. Entretanto o ajuste dos ganhos K_P, K_I e K_D pode ser trabalhoso, e frequentemente não levar à otimização do desempenho do sistema. Existem na literatura métodos para ajustar estes ganhos, como o método de Ziegler-Nichols, mas tais métodos são empíricos, e não garantem um bom desempenho para um sistema específico. Atualmente pode-se usar um controlador PID adaptativo, ou seja, um controlador em que os ganhos são ajustados continuamente em função dos sinais realimentados.
Apenas para complementar esta seção sobre controlador PID, é comum também que ele seja apresentado da seguinte forma:

$$K_P\left(1+\frac{1}{T_I s}+T_D s\right)$$

Ajuste dos ganhos do controlador PID

Método analítico
Se um modelo linear adequado da planta existe e está disponível, então pode ser usado para obter a função de transferência de malha fechada:



Como o controlador PID possui três parâmetros ajustáveis, até três polos podem ser alocados. Esta estratégia funciona bem se a planta a ser controlada é de até 2ª ordem.

Regras de "tuning".
Existem na literatura centenas de regras de ajuste dos ganhos do controlador PID, sendo a mais conhecida a de Ziegler-Nichols (1942). Como são regras empíricas, desenvolvidas para casos

particulares, pode ser que não se apliquem, ou que resultem em controladores com desempenho inadequado.

Abordagens não lineares e controladores auto ajustáveis

Diversas abordagens modernas estão disponíveis como controle difuso (fuzzy control), IMC (internal model control), algoritmos genéticos, redes neurais, controle adaptativo, etc.

Algumas modificações comuns:

PID clássico: $K_P + \frac{K_I}{s} + K_D s$

Filtro para a parcela derivativa:

A parcela derivativa amplifica o ruído de alta frequência, e, portanto, pode ser necessário acrescentar um filtro, por exemplo, de 1ª ordem:

$$K_P + \frac{K_I}{s} + \frac{K_D s}{\tau_D s + 1}$$

Anti-windup

Se o atuador real satura, pode ocorrer do erro não ser eliminado, e a sua integral continuar crescendo. Assim, o sinal de controle devido à parcela integrativa pode atingir valores muito elevados e por muito tempo, causando lentidão no controle e oscilações elevadas. Nesta situação, algum mecanismo deve ser adotado para evitar esse problema. O mais simples é interromper a integração quando o atuador está saturado, mas a literatura oferece outras estratégias, como o "back calculation"