INSTITUTO FEDERAL
Paraíba
Campus
Campina Grande

Controlador PID
Statement Of The Work

Autores: PEM

Última Revisão: 7 de Fevereiro de 2017

Sumário

Lista de Tabelas

Lista de Figuras

Controle de Versão

Revision	Date	Author	Revised	Comments
1.0	07/02/2017	Moacy	-	Initial Version

1 Introdução

Quando se fala em controle de sistemas, é difícil um controlador do tipo PID não ser citado. Esse tipo de controlador possui características interessantes para manter sob controle a saída de um determinado sistema que pode ser mecânico ou eletrônico, por exemplo. Utilizado em sistemas de malha fechada (ou seja, o novo valor de saída depende da computação do valor de entrada desejado e do valor corrente de saída) um controle desse tipo pode ser ajustado para oferecer a resposta desejada e manter a saída do sistema em um valor estável com um mínimo de erro possível apenas com o ajuste de três parâmetros. Se observar a Figura 1, pode-se perceber o aspecto geral de um sistema de malha fechada.

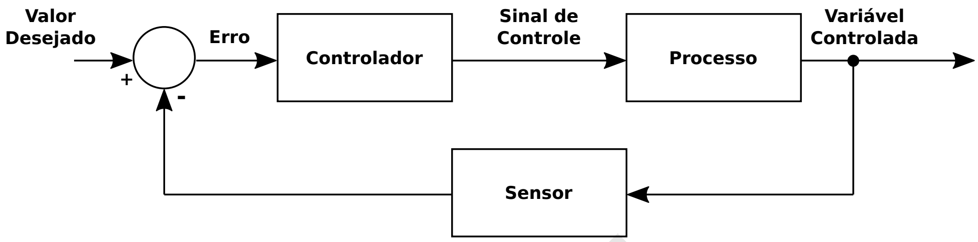

Figura 1: Arquitetura de um sistema de controle clássico

O sinal de valor desejado (*Set Point* ou SP) é o valor para qual a saída do sistema deverá permanecer até que esse seja alterado novamente. Na saída do sistema de controle, tem-se um sinal relativo à variável controlada (*Present Value* ou PV), que deverá igualar-se ao valor desejado após um determinado número de interações da malha de controle. Para isso, seu valor atual é enviado à entrada, por meio do sensor, e calcula-se a diferença entre o SP e o PV, obtendo-se um terceiro sinal chamado comumente de variável de erro, ou seja, a diferença entre o SP e PV. O sinal de erro é utilizado para calcular a ação de controle ou sinal de controle (*Manipulated Variable* ou MV), baseado na função de transferência de um controlador PID. Por fim, o sinal de controle é aplicado ao processo que se deseja controlar. Esse sinal de controle deverá provocar alterações na variável controlada e caso o erro não seja zero, uma nova ação controle será gerada até que o erro seja igual a zero. O sistema de controle da Figura 1 é chamado de sistema de controle clássico em malha fechada.

2 Controlador PID

Sabendo que um sistema malha fechada geralmente é acrescido de um bloco compensador (nome geral dado aos controladores) para obter-se a resposta e controle sobre uma variável, o leitor deve-se perguntar quais são esses compensadores. De fato, existem diversas implementações de compensadores que variam desde um simples filtro de primeira ordem, até complexos arranjos com equações de ordem maior ou igual a 3. Dentre eles destacamos o controlador PID que possui até três formas de atuação (as outras ações podem ser desativadas apenas zerando um dos coeficientes do controlador), cada uma com um efeito diferente ao sistema. Pode-se generalizar esses efeitos da seguinte forma:

- A ação proporcional (P) irá prover uma resposta mais rápida do sistema sob uma variação no sinal de entrada (valor desejado);
- A ação integral (I) tem por objetivo cancelar um fenômeno conhecido por erro de estado estacionário, quando a variável controlada atingir um determinado valor estabelecido para o valor desejado;
- A ação derivativa (D) possui um efeito de antecipação da correção da variável controlada do sistema, de forma que ela também melhora a rapidez de resposta e reduza o valor de sobre sinal (valor que refere-se à quantidade em que o sinal de saída está acima do desejado).

A combinação da quantidade de cada uma dessas três ações irá fazer com que o controlador em conjunto com o processo ou a planta (forma comum de referir-se ao sistema em controle) forneçam uma resposta adequada a uma determinada variação na entrada. Dessa forma, pode-se escrever o estado de saída do controlador PID em função de sua entrada pela equação:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \tag{1}$$

Em que:

- K_p: Coeficiente da ação proporcional;
- K_i: Coeficiente da ação integral;
- K_d: Coeficiente da ação derivativa;
- t: Instante do estado a ser processado;
- $u(t)$: Sinal de saída do sistema no instante t;
- $e(t)$: Sinal de erro na entrada do controlador no instante t.

A Equação 1 deve ser analisada utilizando uma ferramenta matemática conhecida como transformada de Laplace. A partir da transformada de Laplace, é possível transformar equações diferenciais em equações algébricas escritas utilizando a variável $s = \sigma + jw$. Não é escopo deste projeto trabalharmos com a referida transformada, mas a correta analise comportamental da referida equação, em função de variações de seus parâmetros, deve ser feita a partir de técnicas apropriadas de análise e síntese do controlador.

2.1 Implementação de um Controlador PID

Sabe-se agora o que é um sistema de malha fechada e como realizar um controlador PID a partir de sua equação de síntese no domínio do tempo.

Observe a Figura 2, que ilustra um sistema de controle em que o IP-Core PID implementará as funções de controle responsável por realizar a compensação e atuar sobre a planta a ser controlada.

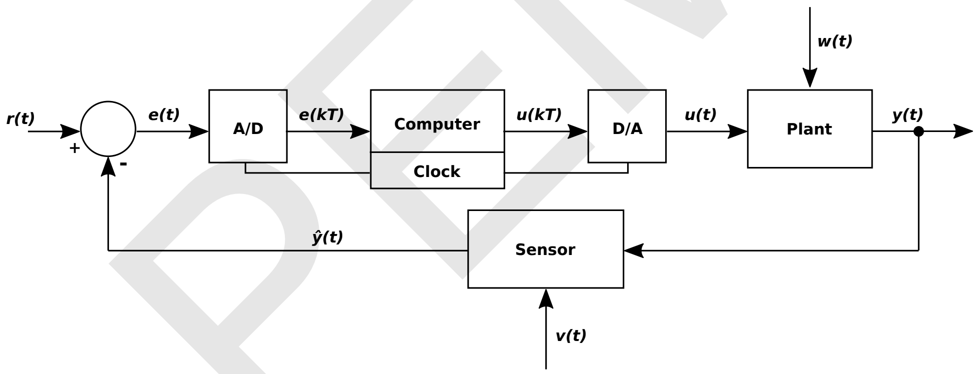

Figura 2: Sistema de controle digital

Desprezando os demais sinais que apareceram em comparação com a Figura 1 e direcionando o olhar para o controlador, ver-se que ele toma a forma de um processador de uso geral, onde o sinal de erro chega a ele através de uma conversão Analógico/Digital (A/D). O valor numérico é então processado gerando outro valor, que é passado a um conersor Digital/Analógico (D/A) (pode ser um método de modulação como PWM) onde retoma sua forma analógica e controla a planta. Assim sabemos que para modelar um PID digital precisaremos trabalhar com processamento numérico, bem como o equivalente discreto da Equação 1. Desta forma, podemos reescrever está ultima equação da seguinte forma:

$$u[n] = (K_{pd} + K_{dd})e[n] + K_{id}\sum_{j=i}^{n} e[j] - K_{dd}e[n-1] \tag{2}$$

Em que:

- $K_{Pd} = K_p$: Ganho proporcional;
- $K_{id} = K_i * t_{amostragem}$: Ganho integral;
- $K_{dd} = K_d/t_{amostragem}$: Ganho derivativo

A Equação 2 é chamada de aproximação retangular, dado que o método utilizado para simplificar a integral é chamado de aproximação retangular.

Os ganhos que serão atribuídos ao controlador PID devem ser obtidos a partir de um processo chamado de sintonia do controlador e esses valores estão fortemente correlacionados ao processo que deseja-se controlar.

2.2 *Windup* na Ação Integral

Quando o controlador sofre variações bruscas, o sinal de saída do controlador PID pode atingir seu limite máximo saindo da região linear normal de controle, fazendo com que o sinal de controle provoque uma ação de controle, tal que atuador seja acionado até seu limite superior ou inferior de capacidade. Em outras palavras ocorre a saturação do sinal de controle. Esse fato faz com que o laço de controle seja desfeito, pois o atuador permanecerá no seu limite máximo ou mínimo independentemente da saída do processo ou máquina controlada. Se a ação integral for utilizada, o erro continuará a ser integrado e o termo integral tende a se tornar muito grande. Esse fenômeno é denominado "*windup*".

Para corrigir o efeito *windup* o controlador PID deve possuir em seu algoritmo rotinas de "*reset*" da ação integral, que impede que o termo integral continue a ser atualizado quando a saída atinge seu limite máximo ou mínimo.

Um aspecto importante da dinâmica de funcionamento do PID diz respeito a ação derivativa, que tem sua resposta proporcional à taxa de variação da variável do processo, aumentando a velocidade de resposta do sistema caso a presença do erro seja detectada. Logo, em sistemas de resposta lenta como controle de temperatura, a ação derivativa permite antecipar o aumento do erro e aumentar a velocidade de resposta do sistema. Quando o sistema a ser controlado possui maior velocidade de resposta, como por exemplo controle de rotação de motores e controle de vazão de fluidos, a ação derivativa pode ser desativada, pois não há necessidade de antecipar a resposta ao erro, pois o sistema pode corrigir rapidamente seu valor, para desativar a ação derivativa basta tornar seu valor igual a zero.

2.3 Exemplo de Algoritmo de Implementação

A seguir é mostrado um exemplo de implementação em Matlab. Esta rotina não possui ação *windup*.

```
function [sys, x0, str, ts] = pid (t, x, u, flag, ts, kc, Ti, Td)
persistent s ek_1

if flag == 0 %inicialização
   sys = [0 0 1 1 0 1 1];
   x0 = [ ];
   str = [ ];
   ts = [-2 0]; %tempo de amostragem variável
   s=0;
elseif flag == 4 %Calcula próximo instante de amostragem
   ns = t / ts; %ns nº de amostras
   sys = (1 + floor(ns + 1e-13*(1+ns)))*ts; %momento próxima amostra
elseif flag == 3
   if t==0
      ek_1=u(1);
end;

kp=kc; ki=kc*ts/Ti; kd=kc*Td/ts; %Converte parametros

ek=u(1);

%Soma referente a ação integral
s = s + ek;

%Calcula o sinal de controle
m=kp*ek + ki*s + kd*(ek-ek_1);

ek_1=u(1);
```

```
%Retorna nova  ação de controle
sys = m;

else %por defeito não retorna nada
sys = [ ];
end
```

3 Especificações

Pretende-se desenvolver um IP (*Intelectual Property*) de um controlador PID. O diagrama de blocos do controlador PID é ilustrado na Figura 3. O controlador a ser desenvolvido deve possuir a função *anti-windup*.

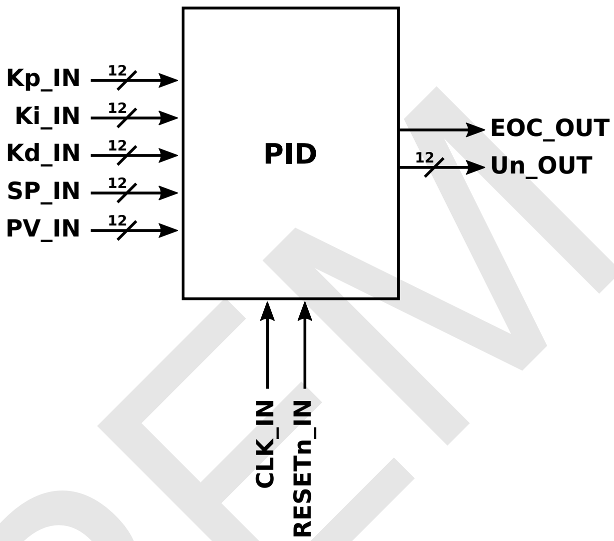

Figura 3: Digrama de bloco do controlador PID

Tabela 1: Entradas e saídas do PID

Pino	Tipo	Largura (*bits*)	Descrição
Kp_IN	Entrada	12	Ganho proporcional
Ki_IN	Entrada	12	Ganho integral
Kd_IN	Entrada	12	Ganho derivativo
SP_IN	Entrada	12	*Set Point* ou valor desejado
PV_IN	Entrada	12	*Present Value* ou variável controlada
CLK_IN	Entrada	1	Entrada do sinal de *clock*
RESETn_IN	Entrada	1	Pino de *reset* do tipo nível baixo ativo do controlador
EOC_OUT	Saída	1	Pino de interrupção que indica o final de cálculo de uma sinal de controle
Un_OUT	Saída	12	Saída do sinal de controle