

1 Introdução

O presente simulador tem por objetivo mostrar o comportamento em malha fechada de um sistema de controle composto por um processo com dinâmica de 1° ordem, e um controlador PID (Proporcional Integral Derivativo). Neste simulador o PID é implementado com a ação derivativa na saída do sistema e sendo esta filtrada por um filtro de 1° ordem.

2 Modelo do processo e simulação discreta

A equação 1 mostra o modelo usado para simular o processo no domínio do tempo contínuo, sendo y a saída do processo; u o sinal de atuação e q uma perturbação externa que atua no processo. Os parâmetros do modelo são τ , a constante de tempo; K_e , o ganho estático relativo ao controle; K_q , o ganho estático relativo à perturbação e L , o atraso.

$$\tau \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = K_e \cdot u(t - L) + K_q \cdot q(t - L) \quad (1)$$

Para a simulação em tempo discreto do processo, se usa um modelo discreto equivalente do mesmo, que se mostra na equação 2, e que pode ser obtida admitindo:

$$\frac{dy(t)}{dt} \approx \frac{y(k) - y(k - 1)}{t_s}$$

com t_s , o período de amostragem:

$$y(k + 1) = a \cdot y(k) + b \cdot u(k - l) + c \cdot q(k - l). \quad (2)$$

Nesta equação, l é o número de amostras de atraso e os parâmetros a , b e c podem ser obtidos em função de τ , K_e , K_q e t_s .

3 Equações do controlador

Neste simulador consideramos um controlador proporcional-integral-derivativo com um sinal de referência (sp), uma constante de proporcionalidade, K_p , uma constante de integração K_i , uma constante derivativa, K_d , a constante de tempo do filtro τ_f , e um tempo de amostragem t_s , além dos limites do atuador, U_{min} e U_{max} . As equações usadas para implementar a lei de controle são: Observe que esse controlador é implementado com $e(k) = sp(k) - y(k)$, se a caixa de seleção relacionada com o erro estiver marcada $e(k) = y(k) - sp(k)$:

$$e(k) = [sp(k) - y(k)];$$

$$y_f(k) = \frac{\tau_f}{\tau_f + t_s} \cdot y_f(k - 1) + \frac{t_s}{\tau_f + t_s} \cdot y(k);$$

$$u_p(k) = K_p \cdot e(k);$$

$$u_i(k) = u_i(k - 1) + K_i \cdot t_s \cdot e(k);$$

$$u_d(k) = -K_d \cdot \frac{y_f(k) - y_f(k-1)}{t_s};$$

$$u(k) = u_p(k) + u_i(k) + u_d(k).$$

Encontrado o valor de $u(k)$, este se aplica como entrada no processo simulado, se ele estiver no intervalo $[U_{min}, U_{max}]$. Caso $u(k) < U_{min}$ se aplica U_{min} e caso $u(k) > U_{max}$ se aplica U_{max} .

4 Interface Gráfica

A interface gráfica, que se mostra na figura 1 é dividida em algumas partes, que serão discutidas a seguir.

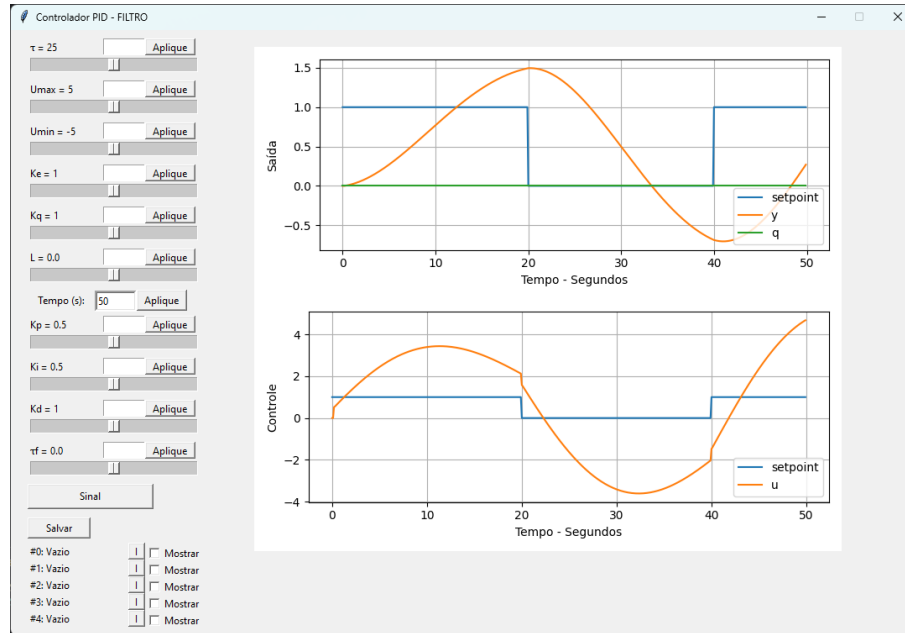


Figura 1: Painel Inicial do Simulador

4.1 Propriedades do Processo

Interface de controle do processo com sliders e botões para ajustar parâmetros:

- $\tau = 25$ [Slider] [Aplique]
- $U_{max} = 5$ [Slider] [Aplique]
- $U_{min} = -5$ [Slider] [Aplique]
- $K_e = 1$ [Slider] [Aplique]
- $K_q = 1$ [Slider] [Aplique]
- $L = 0.0$ [Slider] [Aplique]
- Tempo (s): 50 [Slider] [Aplique]
- $K_p = 0.5$ [Slider] [Aplique]
- $K_i = 0.5$ [Slider] [Aplique]
- $K_d = 1$ [Slider] [Aplique]
- $\tau_f = 0.0$ [Slider] [Aplique]
- [Botão Sinal]

Figura 2: Controles do Processo

Nesse bloco de comandos, você pode modificar os valores da constante de tempo (τ), o valor máximo (U_{max}) e mínimo (U_{min}) que o atuador pode assumir, os ganhos estáticos da atuação (K_e) e da perturbação (K_q), o atraso do sistema (L), o ganho proporcional (K_p), o ganho integrativo (K_i), o ganho derivativo (K_d) e a constante de tempo do filtro (τ_f).

Ademais, existe uma entrada para definir qual o intervalo de tempo que a simulação irá ocorrer, note que, ao modificar a escala de tempo, **todos os gráficos salvos irão ser deletados**.

Ao clicar no botão *Sinal*, surgirá um popup para que o usuário possa desenhar formas de onda para ser usadas como setpoint, perturbação e atuação, que podem ser alterados a cada simulação, essa função será explorada no próximo subitem. Adicionalmente, ao clicar no botão $e = sp - y$, o sistema mudará para uma implementação com $e(k) = y(k) - sp(k)$, ao clicar novamente no botão (com o texto alterado) irá retornar para o estado inicial $e(k) = sp(k) - y(k)$.

4.2 Sinais

Após clicar no botão *Sinal*, surgirá uma interface para que o usuário possa desenhar formas de onda. Nessa interface, você pode adicionar ruído ao sistema, definir uma forma de onda e definir como utilizá-la na simulação.

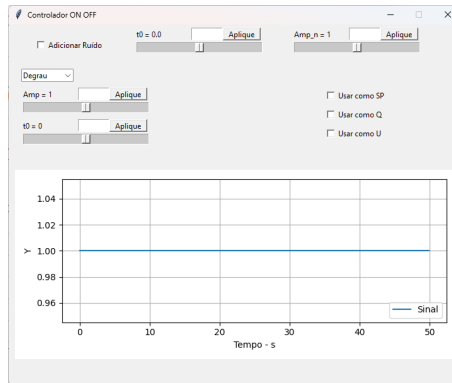


Figura 3: Sinais

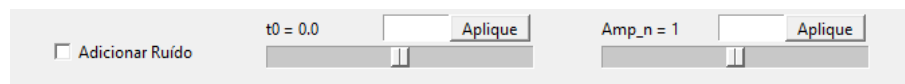


Figura 4: Ruído

Na figura 4 se mostra o painel do ruído, no qual o usuário pode decidir se irá ou não incluir ruído na simulação do processo, o que é feito através da caixa de seleção *Adicionar Ruído*. Utilizando os parâmetros $t0$ e Amp_n , o usuário também pode definir o momento em que a simulação começará a ter ruído e a amplitude dele, respectivamente.

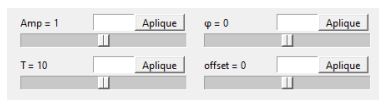


Figura 5: Forma de Onda

Utilizando a *Caixa de Seleção* é possível escolher entre 4 tipos de formas de onda: Seno, Triangular, Quadrada e Degrau. Cada uma possuindo propriedades para sua definição, permitindo a criação de diferentes ondas.

☐ Usar como SP
☐ Usar como Q
☐ Usar como U

Figura 6: Caixas de seleção

Inicialmente, nenhuma forma de onda definida será usada na simulação, para que isso ocorra é necessário que as respectivas caixas de seleção sejam clicadas:

- *Usar como SP*, para usar a forma de onda como setpoint;
- *Usar como Q*, para usar a forma de onda como perturbação;
- *Usar como U*, para usar como sinal de controle, desabilita o controle ON/OFF, opera em malha aberta.

4.3 Comparação de Resultados

#0: Vazio	<input type="checkbox"/>	Mostrar
#1: Vazio	<input type="checkbox"/>	Mostrar
#2: Vazio	<input type="checkbox"/>	Mostrar
#3: Vazio	<input type="checkbox"/>	Mostrar
#4: Vazio	<input type="checkbox"/>	Mostrar

Figura 7: Respostas Salvas

O usuário também pode salvar os resultados em até 5 espaços de memória para que ele possa comparar com outras respostas no futuro. Importante: note que **as formas de onda não ficam salvas após o fechamento do programa.**

Controlador O...
 Nome:
 Sobrescrever:

Figura 8: Popup Salvar

Ao clicar no botão *Salvar*, irá aparecer uma janela de popup, a qual irá pedir um nome para a forma de onda que o usuário vai salvar (**deixar em branco é aceito**) e em qual espaço irá salvar aquela informação, observe que a nova onda sobrescreverá a antiga.

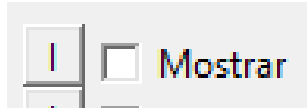


Figura 9: Visualização

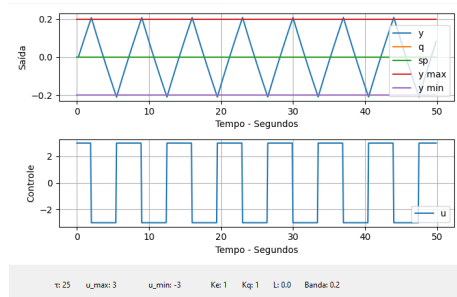


Figura 10: Popup criado ao apertar o botão I

4.4 Gráficos

Os gráficos irão mostrar os dados da saída, da perturbação e do sinal de atuação gerados pela simulação e os dados salvos que o usuário desejar mostrar.

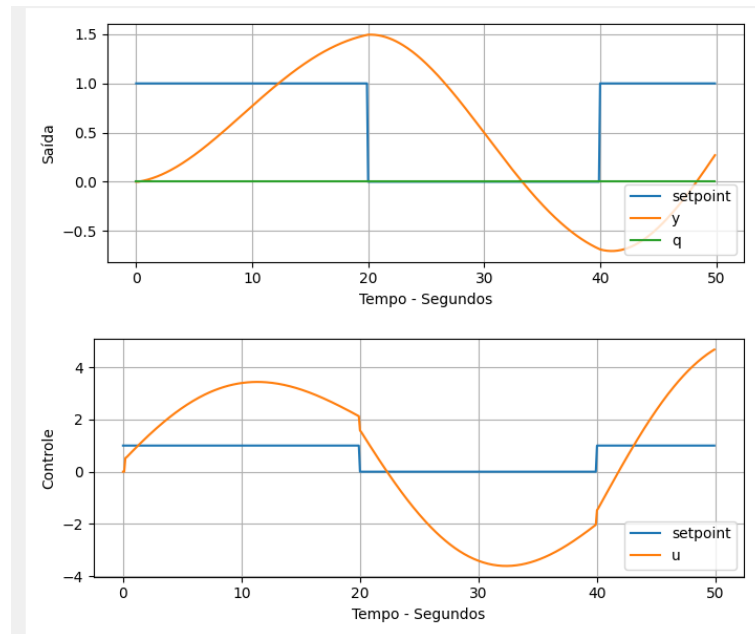


Figura 11: Gráficos