

Sintonia de controladores PID com os softwares solidThinking Compose e solidThinking Activate

Introdução

As empresas buscam constantemente melhorar seus processos produtivos e reduzir custos, de forma a garantir competitividade no cenário industrial. Uma das áreas que pode proporcionar essa oportunidade é a de controle e automação de processos. As vantagens de se ter os processos bem controlados são inúmeras e pode se destacar algumas delas, como: aumento da qualidade dos produtos; diminuição da necessidade de reprocessamento; aumento da vida útil dos equipamentos e, conseqüentemente, redução na incidência de paradas não-programadas para manutenção; e aumento da confiabilidade dos sistemas e da segurança da planta de processo.

Este artigo tratará da sintonia de controladores PID, que é, certamente, o algoritmo de controle mais utilizado na indústria, uma vez que está presente em quase todos os equipamentos de controle do mercado, por sua simplicidade com relação ao ajuste de parâmetros para obtenção de bom desempenho do processo. Este artigo tratará principalmente da sintonia de controladores PID para processos SISO (*Single Input – Single Output*), no entanto, as técnicas aqui apresentadas podem ser estendidas para processos MIMO (*Multiple Input – Multiple Output*).

Os resultados aqui demonstrados, bem como as simulações, os ajustes estatísticos e os processamentos de sinais foram feitos utilizando os softwares *solidThinking Compose* e *solidThinking Activate*. Estes, juntamente com o software *solidThinking Embed* formam um poderoso conjunto de ferramentas para análise numérica, otimização, processamento de sinais, desenvolvimento e simulação de sistemas e de sistemas embarcados baseado em modelos.

Identificação da planta

A primeira etapa para um projeto de controle é a obtenção de um modelo matemático que descreva a dinâmica do processo a ser controlado, pois, é a partir da análise da dinâmica do processo que se pode pensar na melhor estratégia a ser empregada. Existem, basicamente, duas formas de se obter o modelo matemático de um processo: i) uma modelagem do processo baseado em leis físico-químicas; e ii) uma identificação do modelo do processo baseado em ajustes estatísticos a partir de dados experimentais obtidos na planta. Este artigo tratará do segundo método, que traz a vantagem de ser um método rápido e prático. Uma desvantagem é que a validade do modelo é geralmente local (próximo do ponto de operação) e pode não representar a dinâmica do processo em regiões mais afastadas do ponto de operação.

Método Heurístico de Ziegler & Nichols

Ziegler e Nichols [1] propuseram um método simples e objetivo para sintonia de controladores PID. No trabalho, propõem-se dois métodos para obtenção do modelo dinâmico de um processo SISO. O primeiro método consiste em colocar o processo em **malha fechada** com um controlador P e ir aumentando o ganho do controlador até que o processo comece a oscilar com amplitude constante. Então, determina-se o ganho último (K_U) e o período último (P_U) e, com esses valores,

que representam a dinâmica do processo, é possível determinar os ganhos do controlador PID. No segundo método, melhor descrito neste artigo, é feito um teste em **malha aberta**, onde é posto o controlador em modo manual e é gerada uma variação degrau na saída do controlador. A partir da resposta da planta, calcula-se o tempo morto (θ), a constante de tempo do processo (τ) e o ganho do processo (K), de modo que é feita uma aproximação do modelo dinâmico da planta por um **modelo de primeira ordem com tempo morto** (1).

$$G_P(s) = \frac{Ke^{-\theta s}}{\tau s + 1} \quad (1)$$

Na Figura 1 é mostrada a saída de um processo sujeito a um controlador mal sintonizado, onde se apresentam muitas oscilações em torno do valor de *setpoint* (0.25). No instante $t_1 = 160s$ é dado um degrau na saída do controlador (já em manual). Nota-se que o processo reagiu a essa mudança apenas a partir do instante $t_2 = 165s$. Assim, obtém-se o valor do tempo morto $\theta = t_2 - t_1 = 5s$. A constante de tempo do processo é obtida traçando-se uma reta tangente à curva de reação do processo, de forma que o valor aproximado é calculado como $\tau = t_3 - t_2 = 230s - 165s = 65s$, onde t_3 é o instante no qual a reta tangente cruza com a reta paralela ao valor da saída do processo em estado estacionário (0.80). O ganho da planta é $K = 1$, pois, tanto a saída do controlador quanto a saída da planta estão normalizadas, de modo que uma variação de um degrau unitário na saída do controlador causa uma variação unitária na saída da planta.

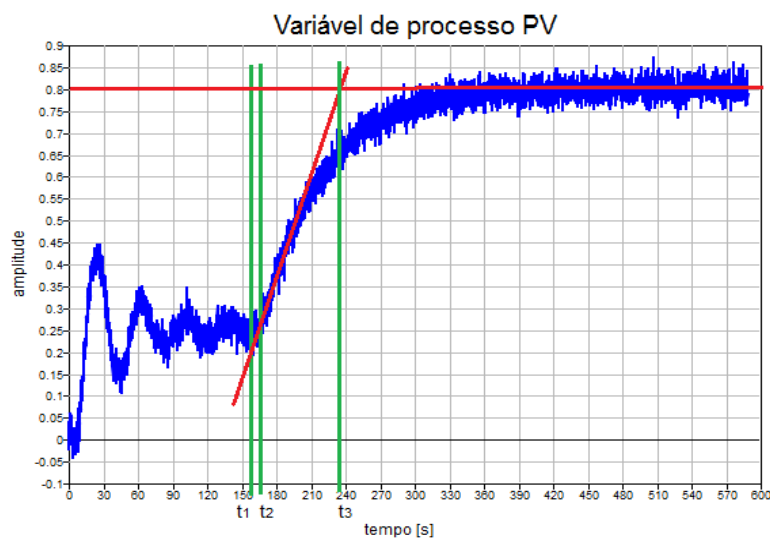


Figura 1 - Teste em malha aberta em processo sujeito a controlador mal sintonizado.

A Figura 2 mostra a resposta do modelo aproximado calculado pelo método de Ziegler e Nichols em comparação com a resposta do processo real. Neste momento, a experiência do projetista é importante para que se faça ajustes necessários na modelagem, de modo que a resposta do modelo se aproxime o máximo possível da resposta do processo. Como se pode notar na Figura 3, reduzindo-se a constante de tempo do modelo aproximado, é possível obter uma resposta mais próxima da resposta do processo real.

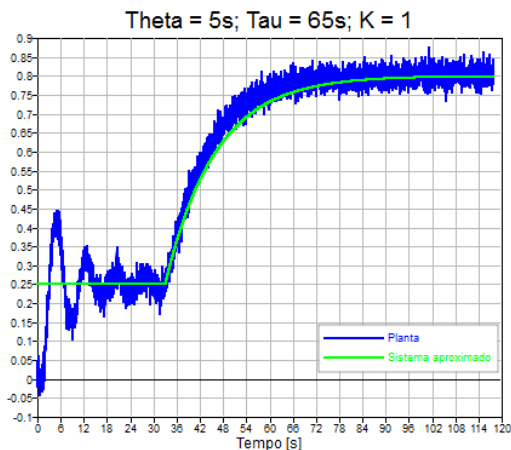


Figura 2 - Modelo da planta pelo método de Ziegler & Nichols.

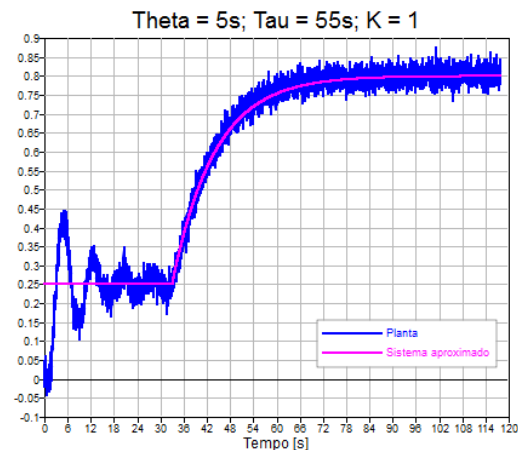


Figura 3 - Modelo da planta ajustado.

Dessa forma, o modelo dinâmico do processo é aproximado por:

$$G_p(s) = \frac{e^{-5s}}{55s + 1} \quad (2)$$

Com os valores de K , θ e τ calculam-se os valores dos parâmetros K_P , T_I e T_D de acordo com a Tabela 1, no Anexo A – Tabelas de parâmetros para sintonia de controladores PID. O processo foi submetido aos controladores P, PI e PID utilizando-se os parâmetros calculados segundo o método de Ziegler e Nichols e a resposta para os três tipos de controle pode ser vista na Figura 4.

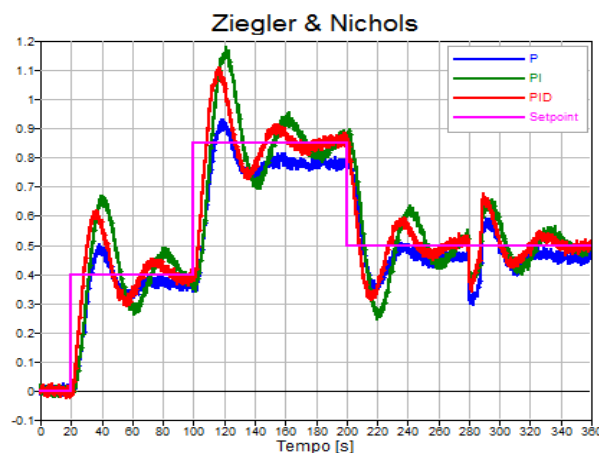


Figura 4 - Resposta do processo sujeito aos controladores sintonizados pelo método de Z&N – Perturbação de carga no instante $t = 280s$.

Nota-se que a resposta do processo para o controlador P não atinge o valor de *setpoint* (característica do controle proporcional). Já para os controladores PI e PID, apesar de atingir o valor de *setpoint*, nota-se um grau de oscilação de amplitude elevada, chegando a mais de 40% de sobrevalor. Em muitos casos na indústria, esse grau de sobrevalor é inviável devido à natureza do processo, além de poder acarretar em perdas significativas de produtividade e afetar diretamente a vida útil dos equipamentos, como válvulas, bombas, etc. Desta forma, a sintonia pelo método de Ziegler & Nichols é considerada como uma referência inicial para o projetista, que pode fazer ajustes fino nos ganhos do controlador de acordo com o que se espera para a resposta do processo.

Outros métodos de sintonia

Alguns processos existentes na indústria não admitem que a resposta tenha um nível elevado de sobrepasso, outros não necessitam de uma resposta tão rápida, outros até não admitem erro em estado estacionário. Por isto, é importante que o projetista saiba exatamente quais os requisitos do processo no momento de projetar seu controle. Nesta seção, são demonstradas as respostas do processo empregando-se controladores sintonizados por outros métodos de sintonia conhecidos na literatura. Desta forma, o projetista pode escolher o método que mais se assemelha aos requisitos do processo para uma primeira sintonia e até comparar resultados.

Método de Cohen & Coon

O método de Cohen & Coon [2] é mais utilizado quando o processo tem um tempo morto mais elevado. É um método que costuma produzir sintonias mais agressivas e não tem um bom desempenho quando o tempo morto não é elevado com relação a constante de tempo do processo. Em outras palavras, costuma produzir sintonias ruins para valores de $\left(\frac{\theta}{\tau}\right) < 2$. A Figura 5 e a Figura 6 ilustram o processo sujeito aos controladores P, PI e PID sintonizados segundo o método de Cohen & Coon. Os valores de K_P , T_I e T_D foram calculados de acordo com a Tabela 4, no Anexo A – Tabelas de parâmetros para sintonia de controladores PID.

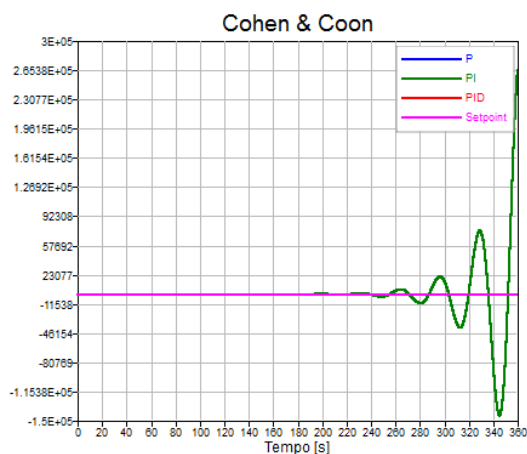


Figura 5 - Resposta para sintonia de CC - Controle PI gera instabilidade.

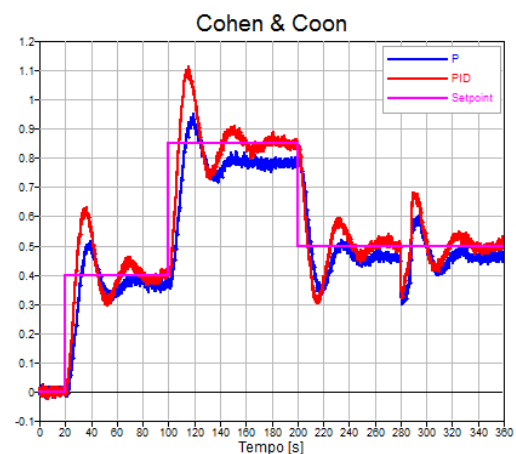


Figura 6 - Resposta para sintonia de CC - Controles P e PID.

Observa-se que o controle PI leva o processo à instabilidade, e os controles P e PID têm desempenho parecido com os controles sintonizados pelo método de Ziegler & Nichols.

Método de Chien, Hrones & Reswick

O método de Chien, Hrones & Reswick [3] é mais utilizado quando se necessita de uma resposta rápida do processo e se tem restrição de sobrevalor. A Figura 7 e a Figura 8 mostram, respectivamente, a resposta do processo frente a controladores sintonizados pelo método de CHR seguindo os critérios de: resposta mais rápida possível sem sobrevalor; e resposta mais rápida possível com até 20% de sobrevalor. Os valores de K_P , T_I e T_D para cada um dos critérios foram calculados, respectivamente, de acordo com a Tabela 2 e a Tabela 3, no Anexo A – Tabelas de parâmetros para sintonia de controladores PID.

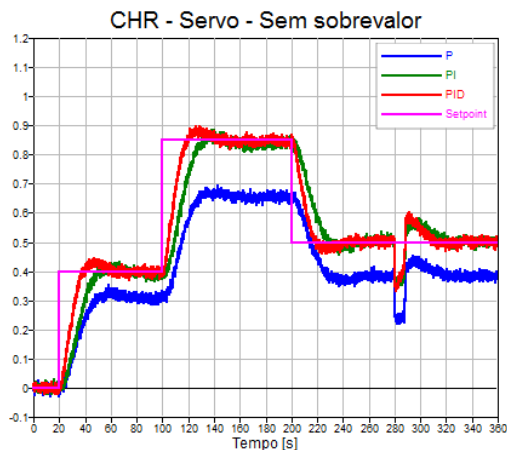


Figura 7 - Resposta para sintonia de CHR - Critério: sem sobrevalor.

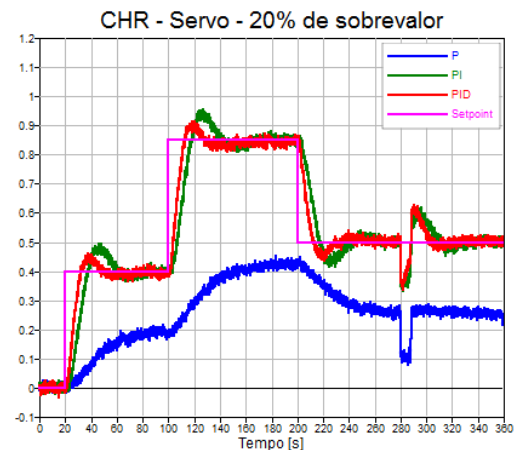


Figura 8 - Resposta para sintonia de CHR - Critério: 20% de sobrevalor.

Observa-se, na Figura 7, que apesar de o critério não admitir sobrevalor, o processo em malha fechada apresentou um sobrevalor na ordem de 10%. Cabe ao projetista avaliar o impacto desse sobrevalor no processo e, caso seja identificado a necessidade de redução do sobrevalor, o projetista pode fazer ajustes finos nos ganhos do controlador de modo a reduzi-lo. Conseqüentemente, a resposta do processo se tornará mais lenta. Por outro lado, caso o processo necessite de resposta rápida e tenha mais tolerância com relação ao sobrevalor, o critério de resposta mais rápida com até 20% de sobrevalor pode ser o mais indicado.

Método da Integral do Erro

Os métodos da integral do erro [4] [5] utilizam como critério de desempenho a integral de uma função do erro entre a variável de processo e o *setpoint* dentro de um horizonte finito de tempo suficiente para anular o erro em estado estacionário. Os métodos mais utilizados na prática são o ITAE ($\int |e(t)| \cdot t \cdot dt$ - integral do produto do tempo pelo valor absoluto do erro entre a variável de processo e o *setpoint* dentro de um horizonte finito de tempo) e o IAE ($\int |e(t)| \cdot dt$ - integral do valor absoluto do erro entre a variável de processo e o *setpoint* dentro de um horizonte finito de tempo). A Figura 9 e a Figura 10 ilustram, respectivamente, a resposta do sistema para a sintonia dos controladores utilizando os critérios IAE e ITAE. Os valores de K_P , T_I e T_D para cada um dos critérios foram calculados de acordo com a Tabela 5, no Anexo A – Tabelas de parâmetros para sintonia de controladores PID. Utilizou-se a tabela de parâmetros proposta no trabalho de [5].

É possível observar que este método produz respostas mais robustas do que os métodos de Ziegler & Nichols e de Cohen & Coon e comparáveis às respostas obtidas utilizando-se os métodos propostos por Chien, Hrones & Reswick.

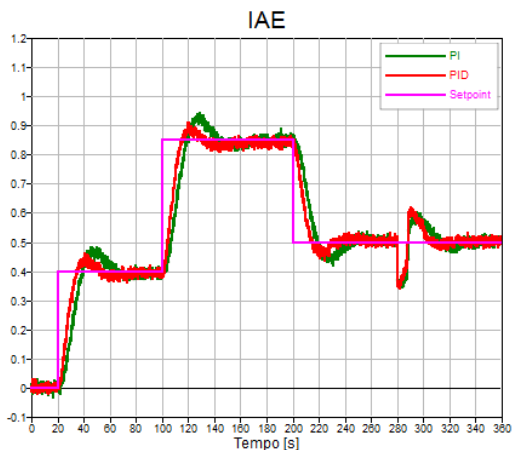


Figura 9 – Método da integral do valor absoluto do erro - IAE.

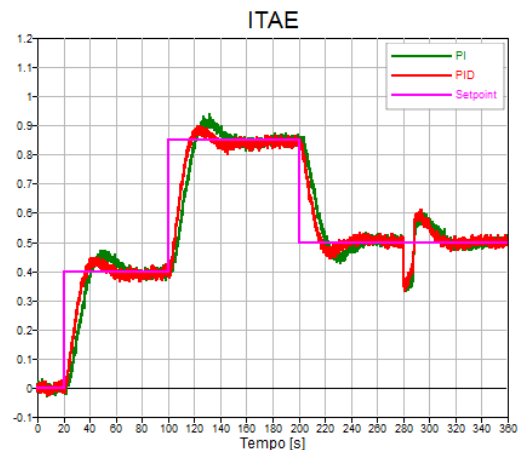


Figura 10 – Método do produto do tempo pelo valor absoluto do erro - ITAE.

Resultados e Discussão

A Figura 11 e a Figura 12 fazem comparações entre as sintonias demonstradas nesse artigo. Na Figura 11 é feita uma comparação entre métodos que produzem uma resposta mais agressiva (Z&N e CC) e métodos que produzem uma resposta mais robusta (CHR e IAE). É possível notar que os métodos de Z&N e CC apresentam tempo de subida mais rápido, já os métodos de CHR e IAE produzem respostas com tempo de subida mais lento, no entanto, com menos oscilações.

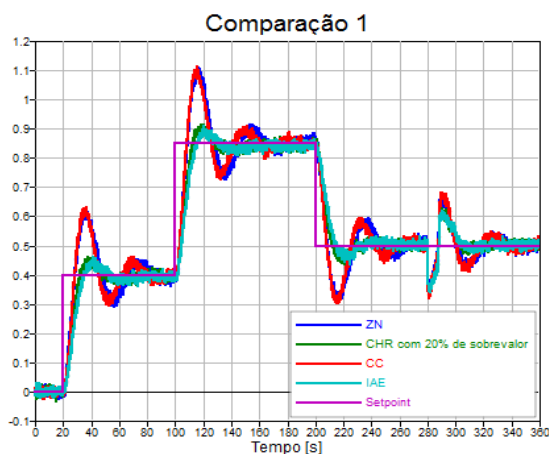


Figura 11 - Comparação entre métodos mais e menos agressivos.

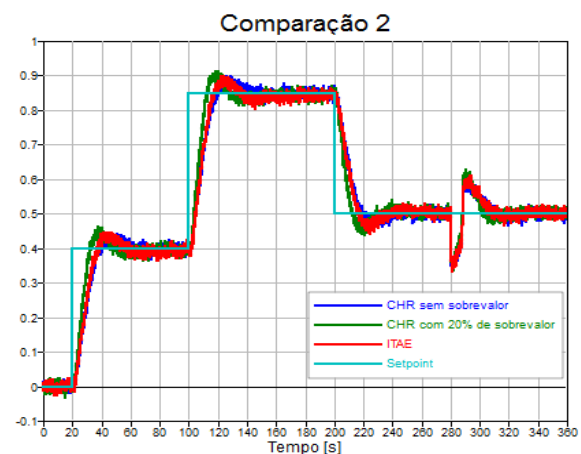


Figura 12 - Comparação entre métodos mais robustos.

Na Figura 12 é feita uma comparação entre métodos que produzem uma resposta mais robusta. É visto que o método de CHR com até 20% de sobrevalor produz uma resposta mais rápida, porém, como o próprio método sugere, existe um sobrevalor que pode ser considerado elevado para muitos casos. Já os demais métodos produzem respostas um pouco mais lenta, porém, com sobrevalor menor. É possível ainda, fazendo ajustes finos nos ganhos do controlador, obter respostas com nenhum sobrevalor.

Conclusão

Este artigo expôs alguns dos muitos métodos de sintonia de controladores PID que são utilizados na indústria e buscou ilustrar diferentes tipos de sintonia para diferentes requisitos de operação. Os métodos apresentados aqui não pretendem

ser completos e a sintonia de controladores PID não se resume apenas as técnicas apresentadas aqui, pois, existem muitas outras características inerentes ao processo que podem acarretar em barreiras no projeto de controle e sintonia de controladores, como não-linearidades do processo não modeladas, interconexão de malhas de controle, ou seja, problemas associados às características multivariáveis das plantas, dentre outros problemas que podem dificultar o processo de sintonia. A equipe de engenheiros da GT2 Tecnologia está preparada para lidar com quaisquer dificuldades que podem ser encontradas, tem as ferramentas necessárias e é capacitada para entregar projetos de controle que se alinhem com as necessidades dos processos do cliente.

Bibliografia

- [1] J. B. Ziegler e N. B. Nichols, "Optimum Settings for Automatic Controllers," *Transactions ASME*, vol. 64, pp. 759-768, 1942.
- [2] G. H. Cohen e G. A. Coon, "Theoretical Consideration of Retarded Control," *Transactions ASME*, vol. 75, pp. 827-834, 1953.
- [3] K. L. Chien, A. Hrones e J. B. Reswick, "On the Automatic Control of Generalized Passive Systems," *Transactions ASME*, vol. 74, pp. 175-185, 1952.
- [4] A. M. Lopez, C. L. Smith e P. W. Murrill, "Tuning Controllers with Error-Integral Criteria," *Instrumentation Technology*, vol. 14, pp. 57-62, 1967.
- [5] A. Rovira, P. W. Murrill e C. L. Smith, "Tuning Controllers for Setpoint Changes," *Instruments and Control Systems*, vol. 42, pp. 67-69, 1969.
- [6] J. B. Ziegler e N. B. Nichols, "Process Lags in Automatic Control Circuits," *Transactions ASME*, vol. 65, pp. 433-444, 1943.
- [7] M. C. M. M. Campos e H. C. G. Teixeira, *Controles Típicos de Equipamentos e Processos Industriais*, São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

Anexo A – Tabelas de parâmetros para sintonia de controladores PID

Tabela 1 - Sintonia pelo método Ziegler & Nichols [6]

Controlador	K_P	T_I	T_D
P	$\tau/(K \times \theta)$	-	-
PI	$0.9 \times \tau/(K \times \theta)$	$3.33 \times \theta$	-
PID	$1.2 \times \tau/(K \times \theta)$	$2.0 \times \theta$	$0.5 \times \theta$

Tabela 2 - Sintonia pelo método CHR – Critério de resposta sem sobrevalor para problema Servo

Controlador	K_P	T_I	T_D
P	$0.3 \times \tau/(K \times \theta)$	-	-
PI	$0.35 \times \tau/(K \times \theta)$	$1.16 \times \tau$	-
PID	$0.6 \times \tau/(K \times \theta)$	τ	$0.5 \times \theta$

Tabela 3 - Sintonia pelo método CHR – Critério de resposta com até 20% de sobrevalor para problema Servo

Controlador	K_P	T_I	T_D
P	$0.7 \times \tau / (K \times \theta)$	-	-
PI	$0.6 \times \tau / (K \times \theta)$	τ	-
PID	$0.95 \times \tau / (K \times \theta)$	$1.357 \times \tau$	$0.473 \times \theta$

Tabela 4 - Sintonia pelo método Cohen & Coon [2]

	K_P	T_I	T_D
P	$\left(1.03 + 0.35 \times \left(\frac{\theta}{\tau}\right)\right) \times \frac{\tau}{K \times \theta}$	-	-
PI	$\left(0.9 + 0.083 \times \left(\frac{\theta}{\tau}\right)\right) \times \frac{\tau}{K \times \theta}$	$\frac{\left(0.9 + 0.083 \times \left(\frac{\theta}{\tau}\right)\right)}{\left(1.27 + 0.6 \times \left(\frac{\theta}{\tau}\right)\right)} \times \theta$	-
PID	$\left(1.35 + 0.25 \times \left(\frac{\theta}{\tau}\right)\right) \times \frac{\tau}{K \times \theta}$	$\frac{\left(1.35 + 0.25 \times \left(\frac{\theta}{\tau}\right)\right)}{\left(0.54 + 0.33 \times \left(\frac{\theta}{\tau}\right)\right)} \times \theta$	$\frac{0.5 \times \theta}{\left(1.35 + 0.25 \times \left(\frac{\theta}{\tau}\right)\right)}$

Tabela 5 - Sintonia pelo método da integral do erro [5]

Controlador	Critério	A	B	C	D	E	F
PI	IAE	0.984	-0.986	0.608	-0.707	-	-
PID		1.435	-0.921	0.878	-0.749	0.482	1.137
PI	ITAE	0.859	-0.977	0.674	-0.680	-	-
PID		1.357	-0.947	0.842	-0.738	0.381	0.995

Onde,

$$K_P = \frac{1}{K} \times \left(A \times \left(\frac{\theta}{\tau} \right)^B \right), \quad T_I = \frac{\tau}{\left(C \times \left(\frac{\theta}{\tau} \right)^D \right)}, \quad T_D = \tau \times \left(E \times \left(\frac{\theta}{\tau} \right)^F \right)$$