

ECA602 – Sistemas de Controle

Universidade Federal de Itajubá

Engenharia Elétrica

Aula 03

Compensação Empírica do Controlador PID

Prof. Dr. Jeremias Barbosa Machado

Notas de Aula – 2016

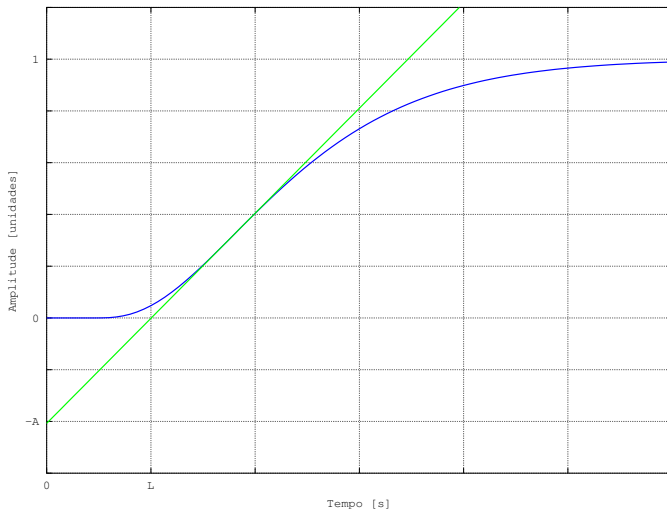
Considerações iniciais

- Com base no postulado de que *um controlador simples terá um desempenho aceitável caso a planta possua uma dinâmica bem comportada*, Ziegler e Nichols propuseram dois métodos de sintonia do controlador PID em 1942.
- Ambos os métodos são empíricos e se baseiam na experiência oriunda da análise da resposta temporal de processos industriais típicos, sendo o primeiro método indicado para sistemas sobreamortecidos em malha aberta e o segundo método indicado para sistemas subamortecidos em malha fechada.
- Hoje em dia, os métodos de Ziegler-Nichols e algumas variantes ainda são amplamente utilizados devido a simplicidade de aplicação em processos industriais no chão de fábrica, sendo que os parâmetros do controlador são calculados a partir de medidas da resposta temporal por fórmulas simples.

1º método de Ziegler-Nichols

- O **1º método de Ziegler-Nichols** consiste em aproximar a resposta temporal de um dado processo industrial com a de um processo padrão, a qual pode ser caracterizada por um *atraso aparente* L e um *ganho integral equivalente* A (vide o próximo slide) para uma entrada degrau unitário.
- Os parâmetros são obtidos traçando uma reta tangente à resposta temporal no seu ponto de inflexão (derivada máxima). O parâmetro L é definido pela interseção da reta com o eixo das abscissas e o parâmetro A com o das ordenadas.
- O método deve ser utilizado para sistemas dinâmicos estáveis em malha aberta que possam ser aproximados pelo formato padrão. Processos industriais que são geralmente oscilatórios não se enquadram na categoria. Mesmo assim, este método é adequado para um grande número de processos industriais (e.g., controle de temperatura).

Resposta temporal do sistema padrão



1º método de Ziegler-Nichols

- Uma vez conhecido os parâmetros L e A , são definidas por Ziegler e Nichols as regras empíricas para cálculo do controlador PID e do tempo de acomodação:

	K_P	T_I	T_D	T_A
P	A^{-1}	∞	0	$16.0L$
PI	$0.9A^{-1}$	$3L$	0	$22.8L$
PID	$1.2A^{-1}$	$2L$	$0.5L$	$13.6L$

- O *overshoot* da resposta temporal para uma entrada degrau unitário em malha fechada fica em torno de 25%, um valor satisfatório para a rejeição de distúrbios mas que pode ser excessivo para o rastreamento da referência, levando a uma alta sensibilidade às variações de parâmetros.

1º método de Ziegler-Nichols

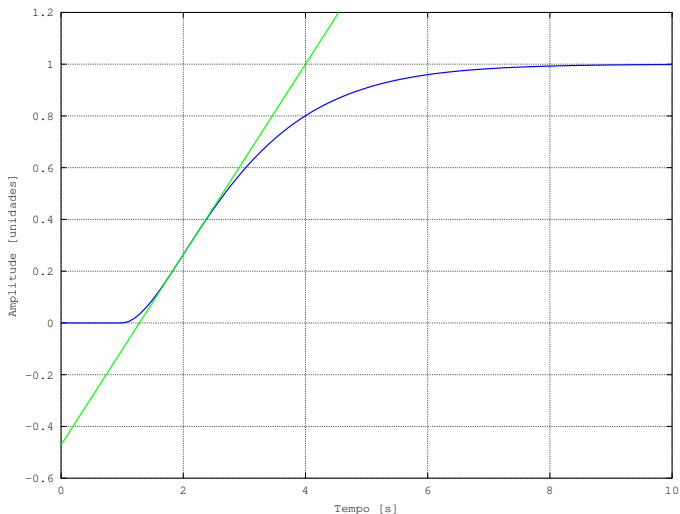
- Considere um sistema dinâmico modelado por:

$$G(s) = \frac{1}{(s+1)^2} e^{-s}$$

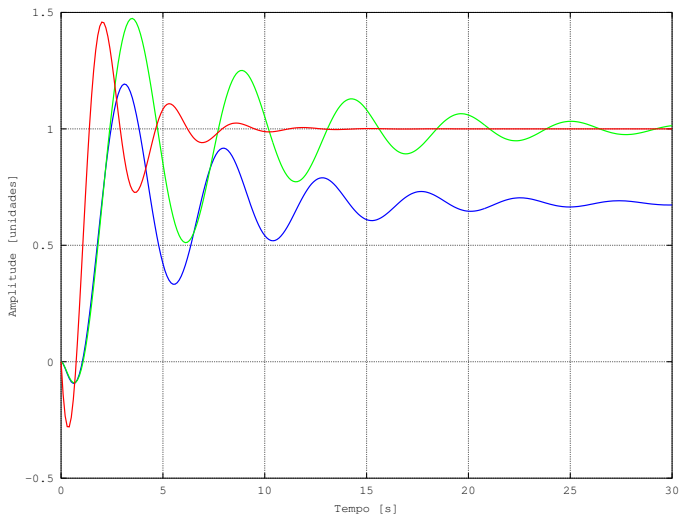
- Calcule os parâmetros dos controladores P, PI e PID para este sistema utilizando o 1º método de Ziegler-Nichols.
- Da sua resposta temporal para uma entrada degrau unitário (vide o próximo slide), conclui-se que L é igual a 1.28 e A é igual a 0.47. Os ganhos dos controladores são:

	K_P	T_I	T_D	T_A
P	2.13	∞	0	20.48
PI	1.91	3.84	0	29.18
PID	2.55	2.56	0.64	17.40

Resposta temporal do processo $G(s)$



Resposta temporal da malha de controle $T(s)$



2º método de Ziegler-Nichols

- O **2º método de Ziegler-Nichols** consiste em atingir o limite de estabilidade da malha de controle proporcional de um dado processo industrial, a qual pode ser caracterizada por um *ganho crítico* K_C e um *período crítico* T_C .
- Os parâmetros são obtidos aumentando o ganho proporcional até que se atinja o limite de estabilidade. O parâmetro K_C é definido pelo ganho e o parâmetro T_C pelo período de oscilação da saída do sistema realimentado neste estado.
- O método deve ser utilizado para sistemas dinâmicos estáveis em malha aberta que possam se tornar instáveis com o aumento do ganho proporcional. Processos industriais que na prática não sejam passíveis de oscilação ou que sejam muito lentos não se enquadram na categoria. Assim como no caso anterior, este método é adequado para um grande número de processos industriais (e.g., controle de posição).

2º método de Ziegler-Nichols

- Uma vez conhecido os parâmetros K_C e T_C , são definidas por Ziegler e Nichols as regras empíricas para cálculo do controlador PID e do tempo de acomodação:

	K_P	T_I	T_D	T_A
P	$0.5K_C$	∞	0	$4.0T_C$
PI	$0.4K_C$	$0.8T_C$	0	$5.6T_C$
PID	$0.6K_C$	$0.5T_C$	$0.125T_C$	$3.4T_C$

- O *overshoot* da resposta temporal para uma entrada degrau unitário em malha fechada fica em torno de 22%, um valor satisfatório para a rejeição de distúrbios mas que pode ser excessivo para o rastreamento da referência, levando a uma alta sensibilidade às variações de parâmetros.

2º método de Ziegler-Nichols

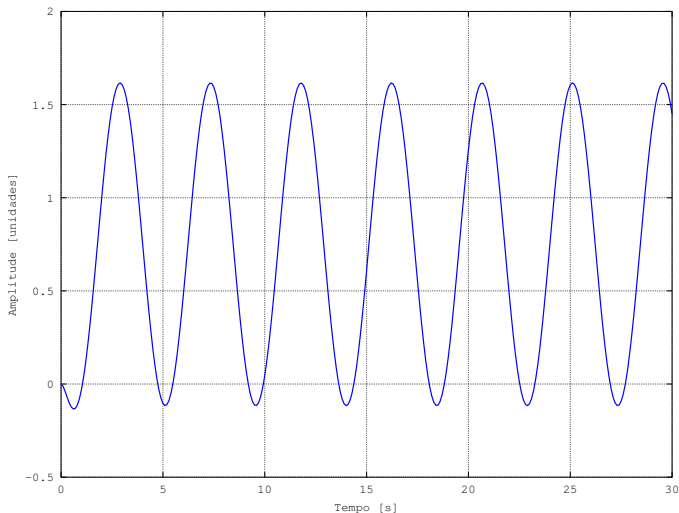
- Considere um sistema dinâmico modelado por:

$$G(s) = \frac{1}{(s+1)^2} e^{-s}$$

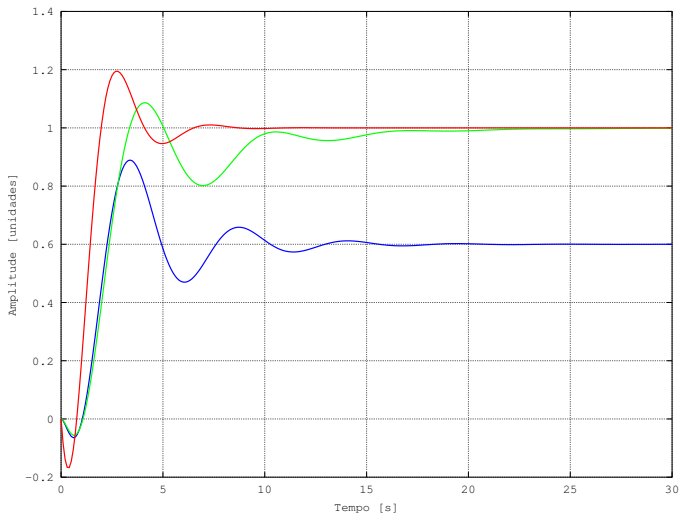
- Calcule os parâmetros dos controladores P, PI e PID para este sistema utilizando o 2º método de Ziegler-Nichols, sabendo que o ganho crítico para esse sistema é igual a 3.00.
- Da sua resposta temporal para uma entrada degrau unitário, pode-se concluir que T_C é igual a 4.45 (vide o próximo slide). Os ganhos dos controladores são:

	K_P	T_I	T_D	T_A
P	1.50	∞	0	17.80
PI	1.20	3.56	0	24.92
PID	1.80	2.23	0.56	15.13

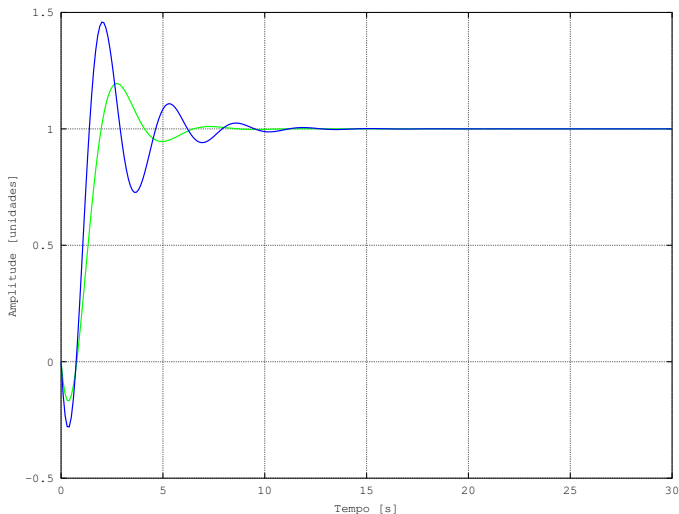
Resposta temporal do processo $G(s)$



Resposta temporal da malha de controle $T(s)$



Controlador PID do 1º e 2º método de Ziegler-Nichols



Sintonia do Controlador PID

Controlador PID

Método empírico de sintonia de controlador PID:

Se o desempenho do processo ...	Tente uma das opções:
Está quase bom, mas o overshoot está um pouco alto	Diminuir K_P em 20% Diminuir K_I em 20% Aumentar K_D em 50%
Está quase bom, não tem overshoot e demora para atingir o setpoint	Aumentar K_P em 20% Aumentar K_I em 20% Diminuir K_D em 50%
Está ruim. Após a partida o transitório dura vários períodos de oscilação, que reduz lentamente ou não reduz.	Diminuir K_P em 50%
Está ruim. Após a partida avança lentamente em direção ao setpoint, sem overshoot. Ainda está longe do setpoint e a ação de controle é baixa.	Aumentar K_P em 50% Aumentar K_I em 50% Diminuir K_D em 70%