# SINTONIA DE CONTROLADORES PID

## Métodos de Ziegler-Nichols

1) Curva de Reação (resposta em S)
2) Ganho limite (*ultimate gain*)

# *Ziegler-Nichols (ZN)*

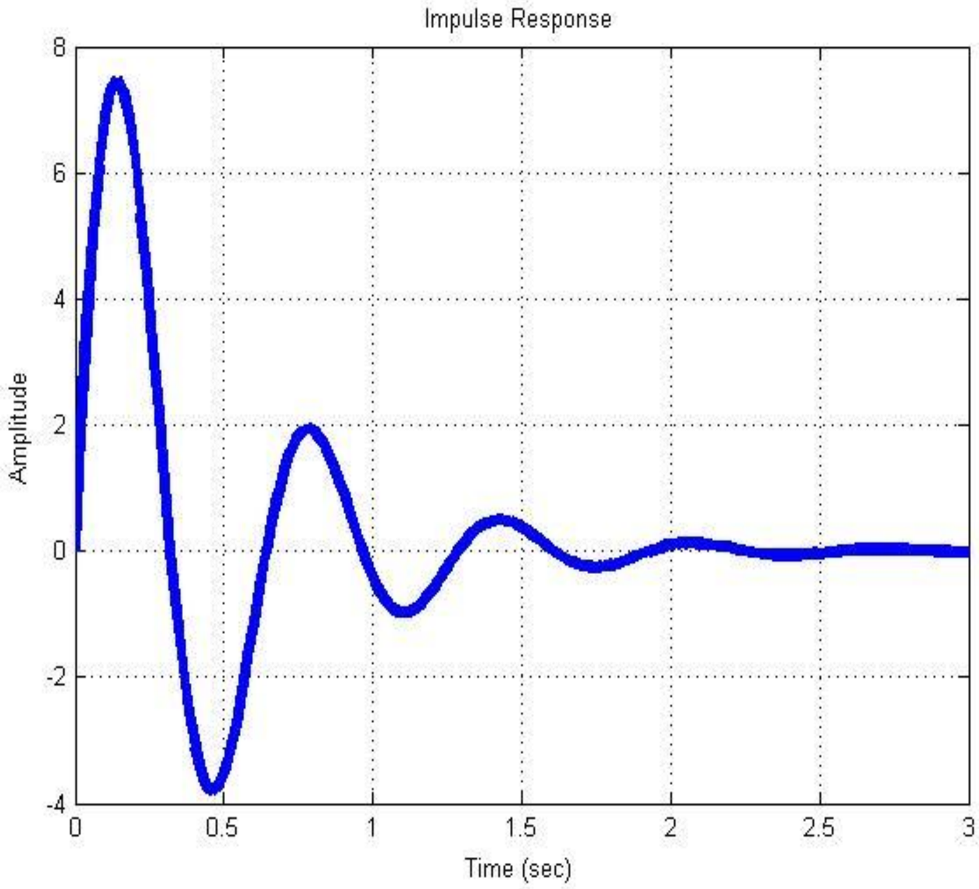
- ZN desenvolveram dois métodos para a determinação dos ganhos de controladores P, PI e PID operando em malha fechada.
- Métodos foram desenvolvidos a partir da sintonia de um grande número de plantas diferentes, mas com características de respostas semelhantes.
- Método da curva de reação é desenvolvido a partir da resposta ao degrau em malha aberta.
- Método do ganho limite é desenvolvido a partir de uma malha fechada que coloca o sistema em oscilação harmônica

# *Ziegler-Nichols (ZN)*

- A escolha dos ganhos P, I e D é feita de modo a garantir que em malha fechada o sistema responda de forma oscilatória e amortecida com uma taxa de decaimento de 0,25, o que corresponde a um sistema de segunda ordem com constante de amortecimento $\zeta=0,21$.
- ZN simularam as equações de um sistema controlado em malha fechada e foram ajustando os ganhos P,I e D até obter a resposta desejada.

# *Ziegler-Nichols (ZN)*

- Resposta em Malha Fechada (MF) resultante:

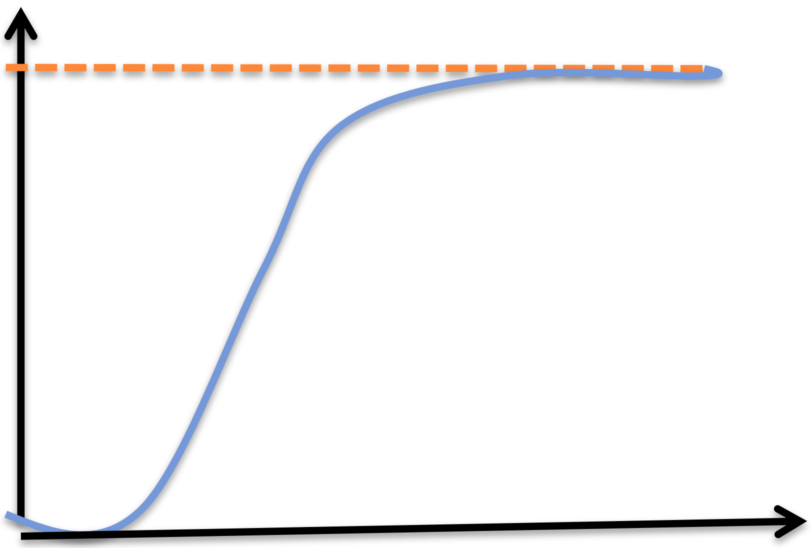


# MÉTODO DA CURVA DE REAÇÃO

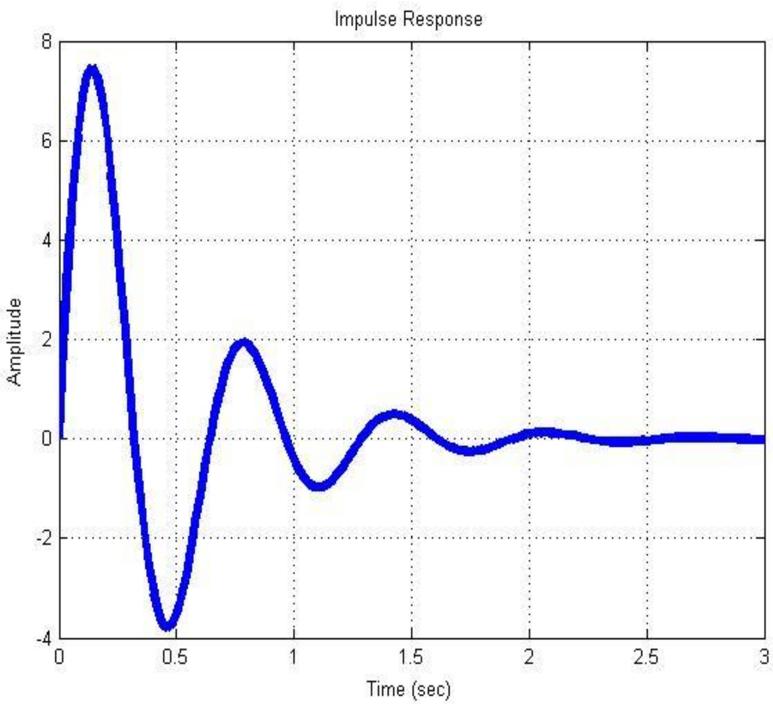
- ZN verificaram que um grande número de plantas, inclusive de ordem elevada,  apresentava resposta em **malha aberta** na forma de um **S** para a entrada degrau.

# ZN – CURVA DE REAÇÃO (CONT.)

***Antes***

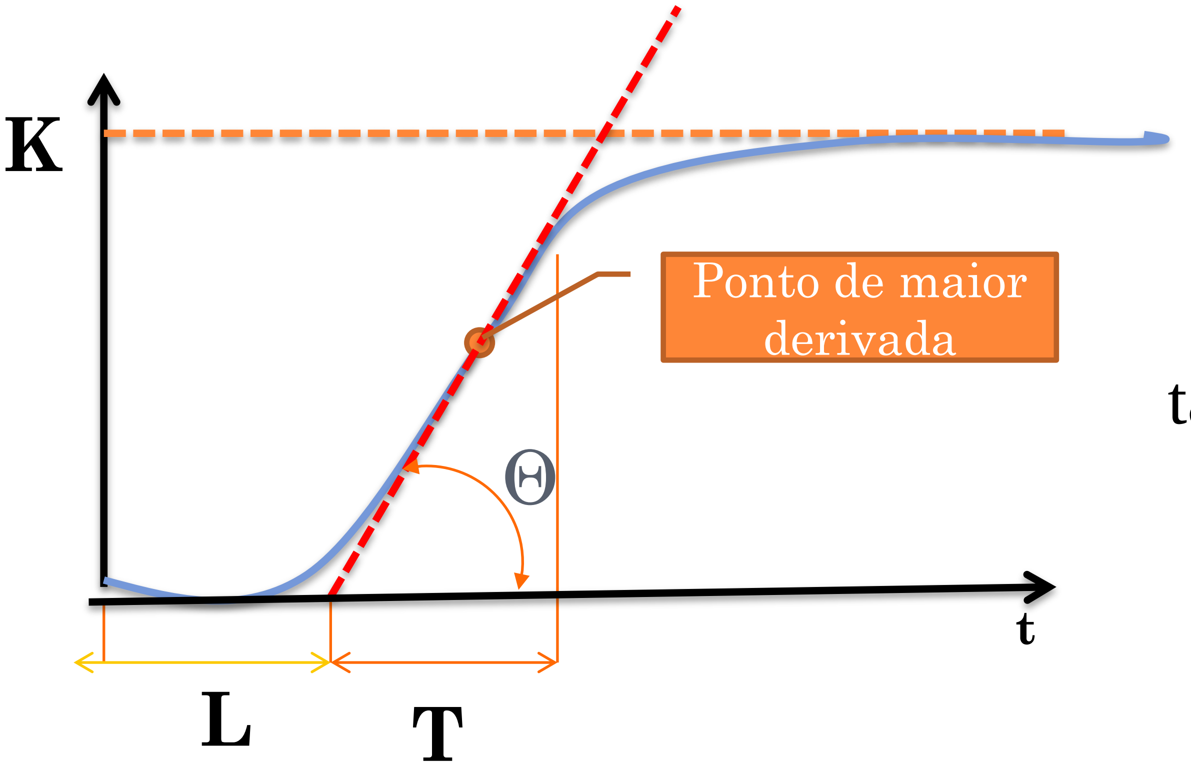


***Depois***



# *ZIEGLER-NICHOLS (ZN):MÉTODO DA CURVA DE REAÇÃO*

- Os ganhos P,I e D são determinados pelos parâmetros **L** e **T**




$$\tan\Theta = \frac{K}{T}$$

# *ZN – CURVA DE REAÇÃO (CONT.)*

- A função de transferência destes sistemas pode ser aproximada pela seguinte FT transcendental de primeira ordem:

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts+1}$$

Onde **L, T** e **K** são obtidos do gráfico. **L** é o atraso da resposta.

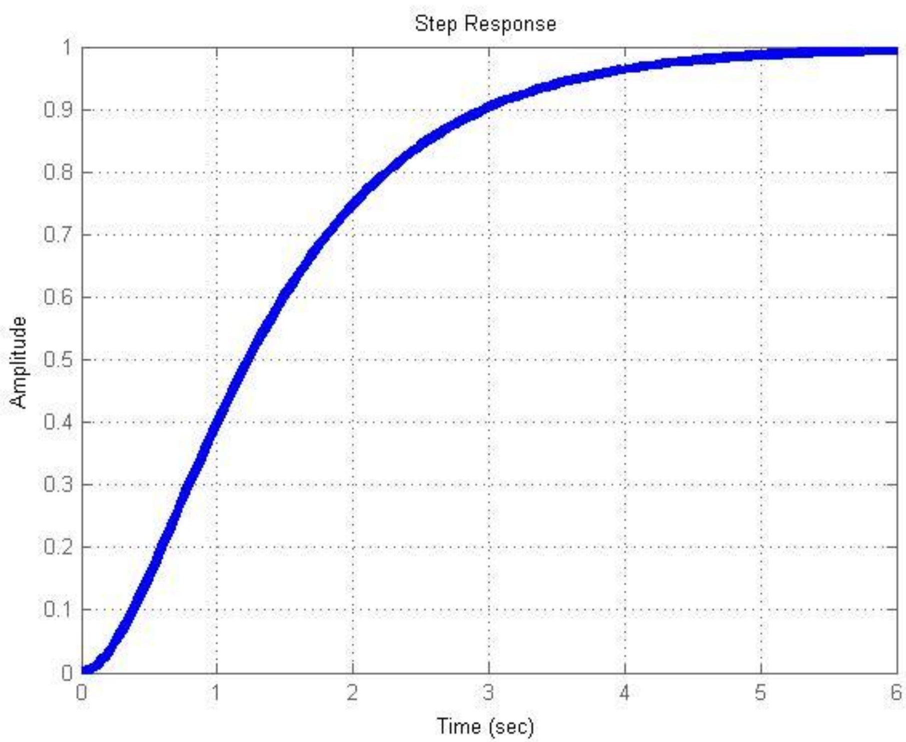
# *ZN- TABELA DE GANHOS PARA CURVA DE REAÇÃO*

| Tipo de Controlador | Kp | Ti | Td |
| --- | --- | --- | --- |
| ***P*** | $\frac{T}{L}$ | $\infty$ | **0** |
| ***PI*** | $0,9\frac{T}{L}$ | $\frac{T}{0,3}$ | **0** |
| ***PID*** | $1,2\frac{T}{L}$ | **2L** | **0,5L** |

$$PID = K_p\left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s$$

# Ex. curva de reação

$$\frac{2}{s^2 + 3s + 2}$$

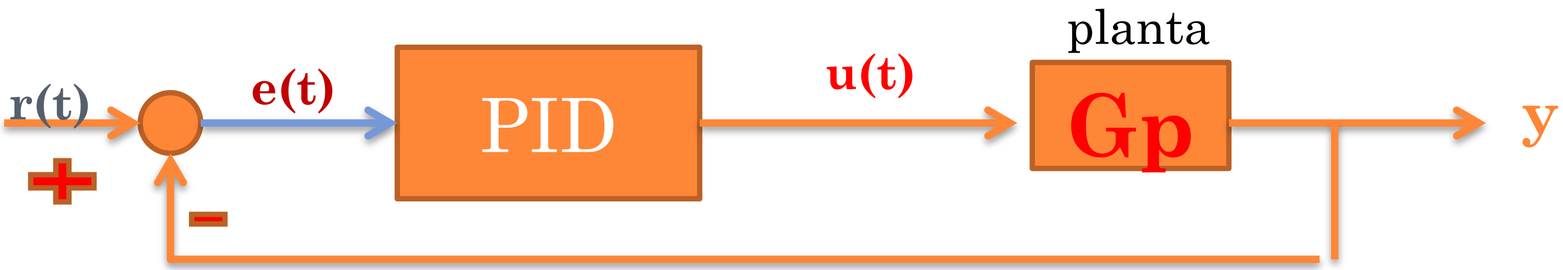



$$\left.\begin{array}{l} L=0{,}2 \\ \\ T=2{,}0 \end{array}\right\} \begin{array}{l} Kp=12{,}0 \\ Ti = 0{,}4 \\ Td= 0{,}1 \end{array}$$

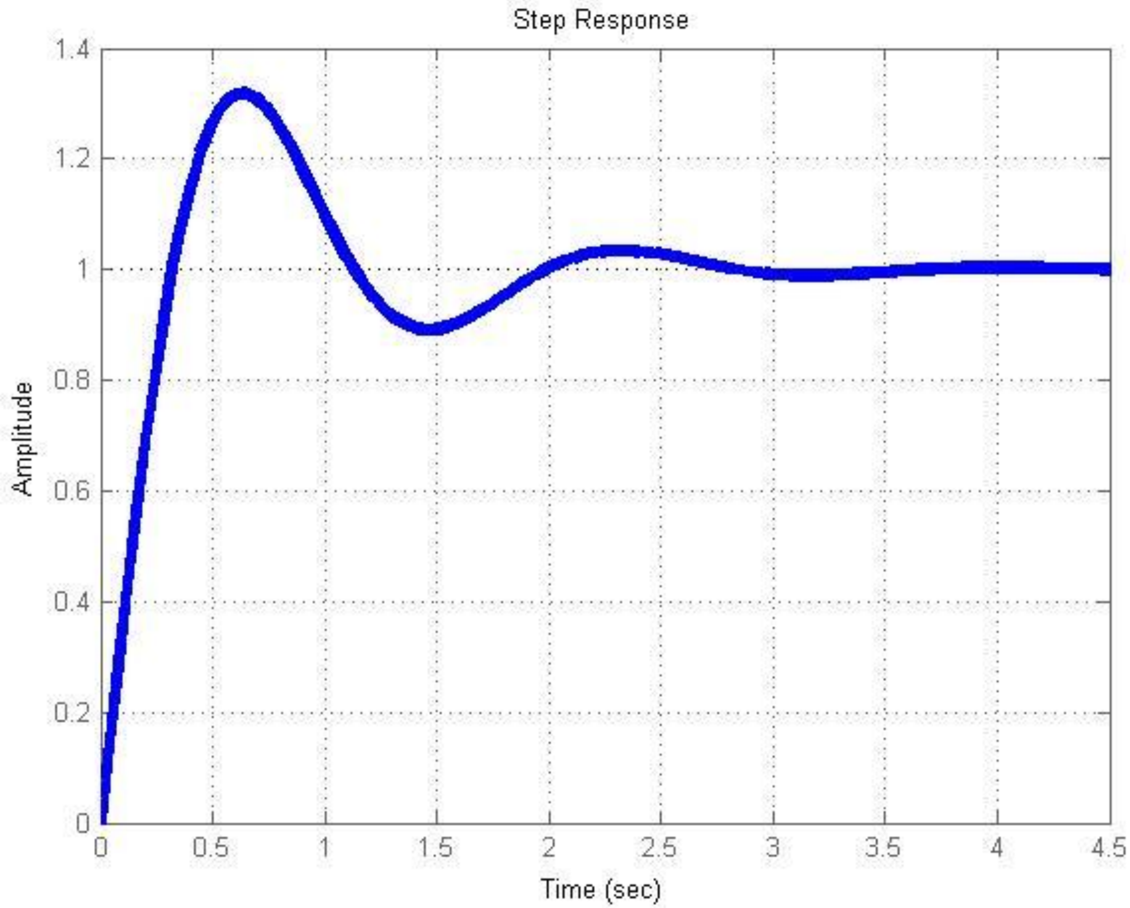
$$PID = 12 + \frac{30}{s} + 1{,}2s$$

$$PID = \frac{1{,}2s^2 + 12s + 30}{s}$$

# Ex. curva de reação



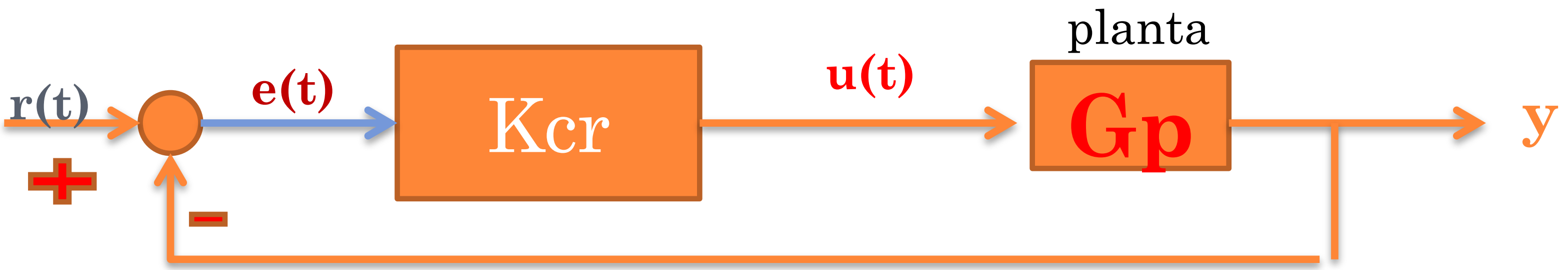
# Ex. curva de reação

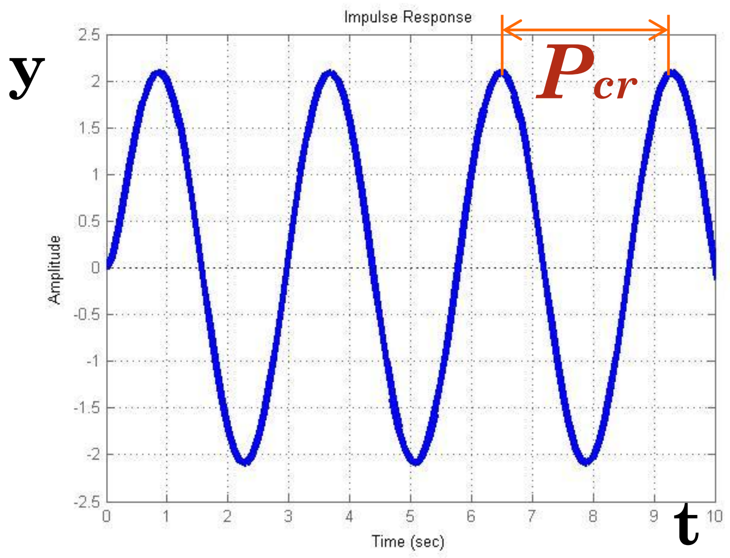



mostrar Matlab: reaction.m

# Método do Ganho Limite (ultimate gain)

1. Determinar o ganho crítico *Kcr* de forma que o sistema em malha fechada produza uma resposta harmônica.



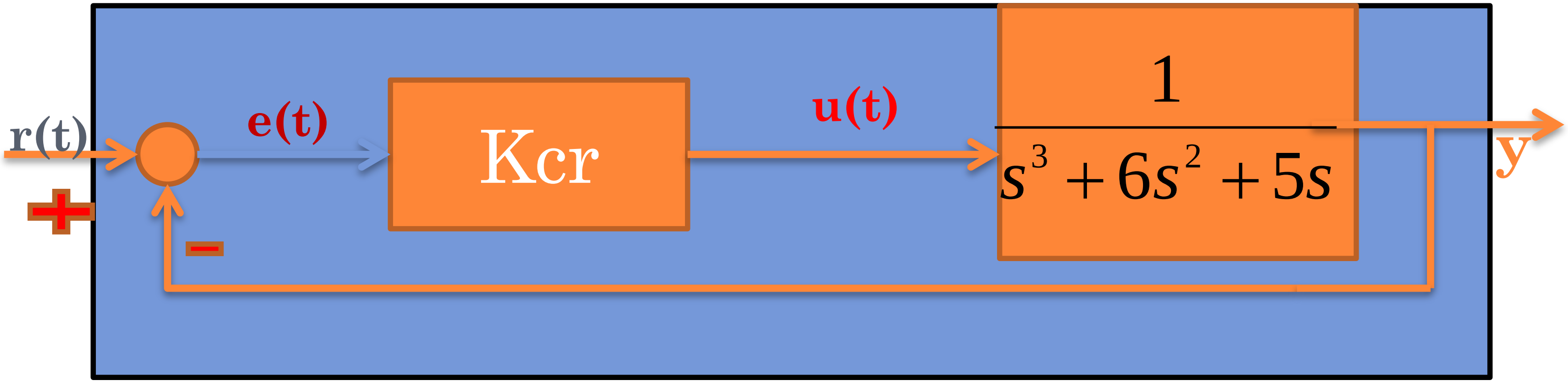
# *ZN- tabela de ganhos para Ganho Limite*

| Tipo de Controlador | Kp | Ti | Td |
|---|---|---|---|
| ***P*** | $0{,}5K_{cr}$ | $\infty$ | **0** |
| ***PI*** | $0{,}45K_{cr}$ | $\dfrac{P_{cr}}{1{,}2}$ | **0** |
| ***PID*** | $0{,}60K_{cr}$ | $0{,}5\ P_{cr}$ | $0{,}125P_{cr}$ |

$$PID = K_p\left(1+\frac{1}{T_i s}+T_d s\right)=K_p+\frac{K_i}{s}+K_d s$$

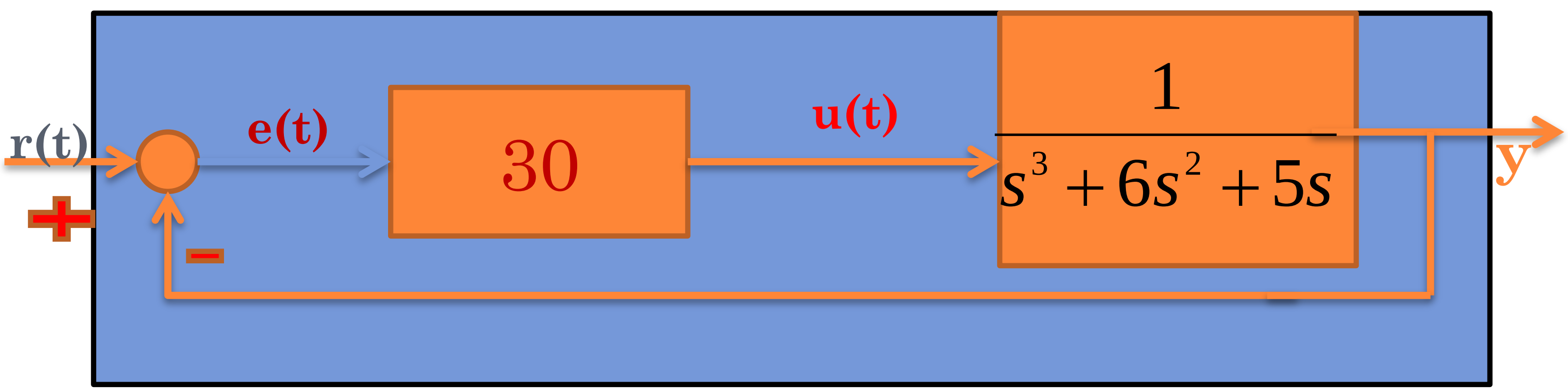
# Ex. Ganho limite

**T(s)**

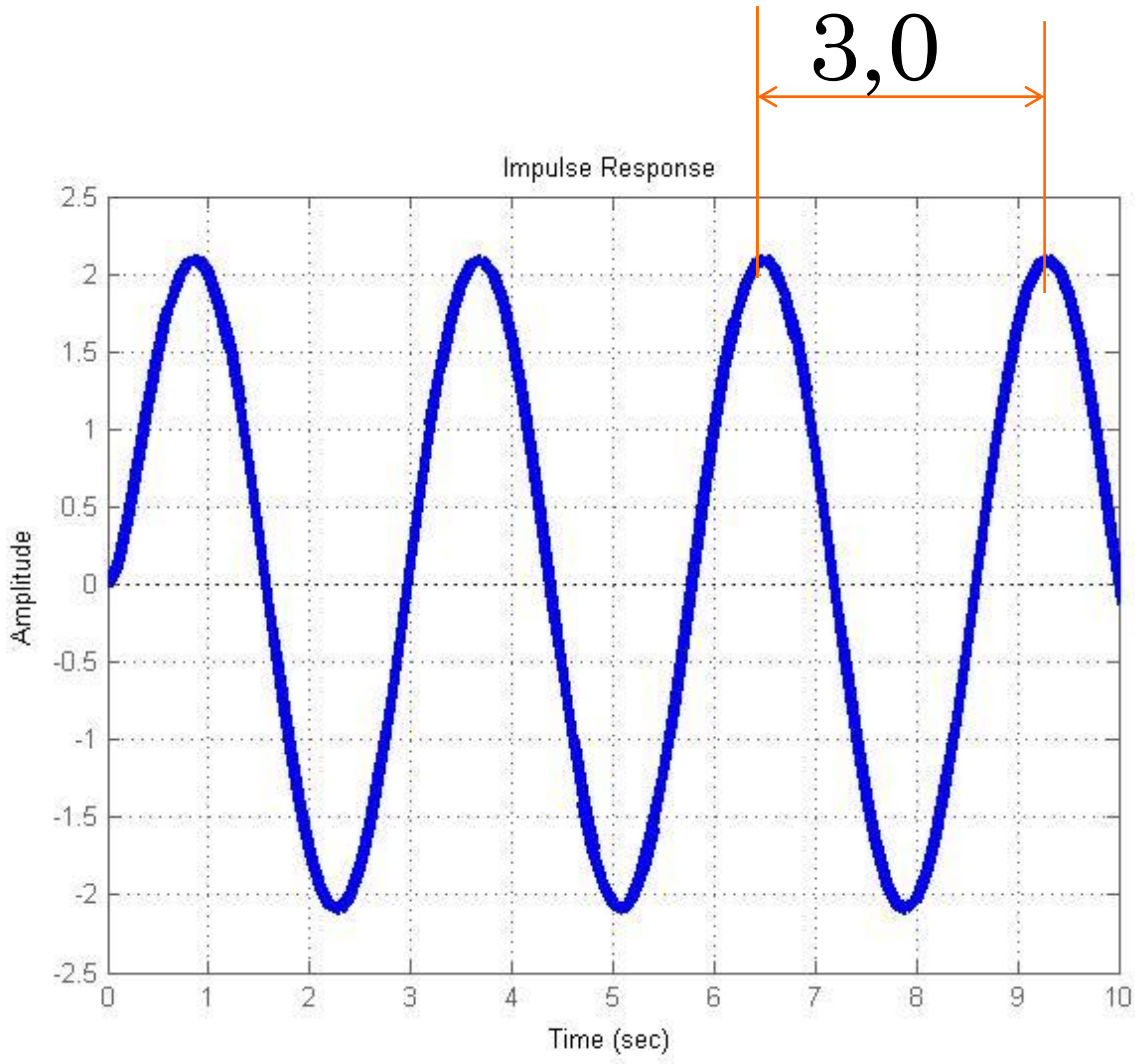



$$T(s)=\frac{Y}{R}=\frac{K_p}{s^3+6s^2+5s+K_p}$$

$$\text{Por Routh-Hurwitz} \Rightarrow \mathrm{K_p}=30$$



# Ex. Ganho limite



# Ex.Ganho limite

Kcr=30

Pcr=3,0

Kp=18,0

Ti = 1,5

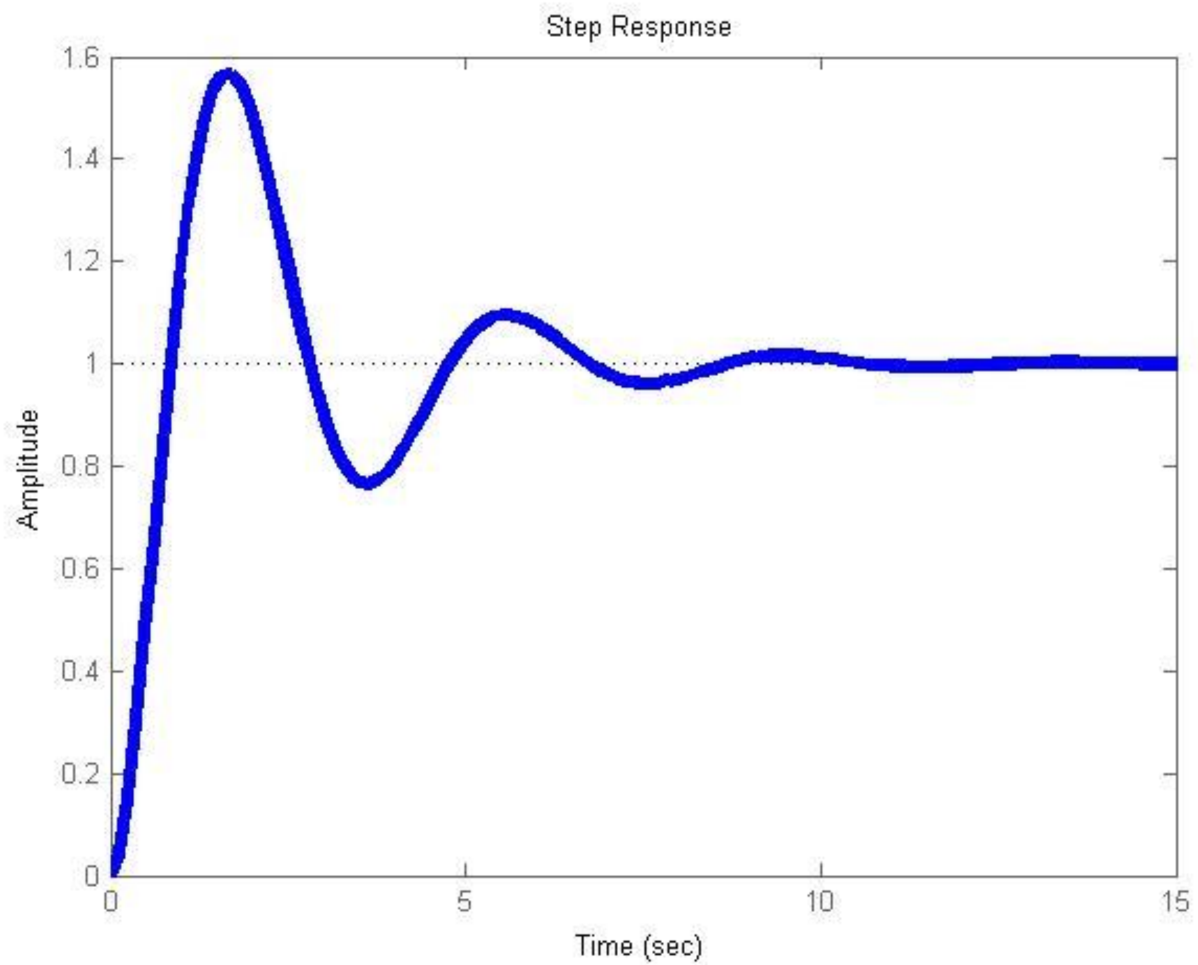
Td= 0,375

$$PID = 18 + \frac{12}{s} + 6.75s$$

$$PID = \frac{6.75s^2 + 18s + 12}{s}$$

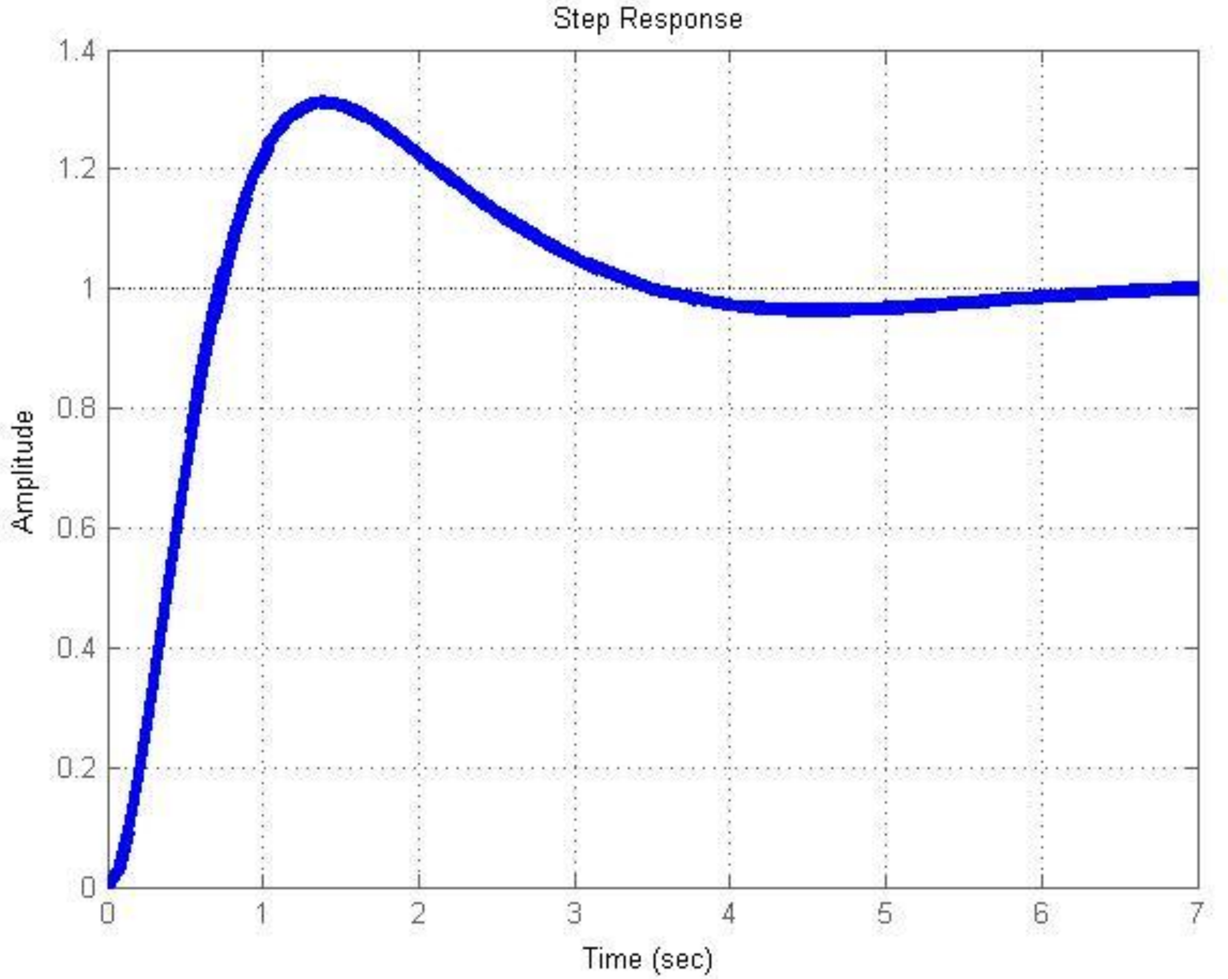
# Ex. Ganho limite

Kp=18 Ki=12 Kd=6,75



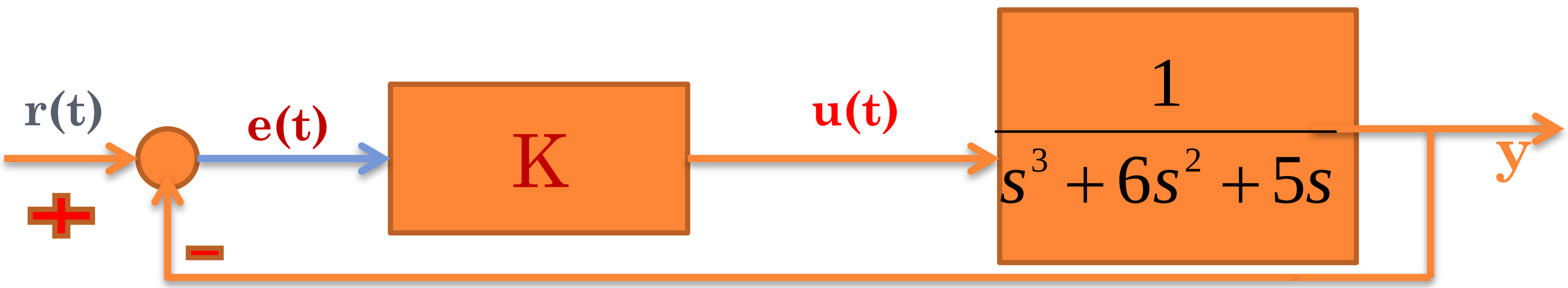
# Ex. Ganho limite

Kp=18 Ki=12 Kd=12



# Ganho limite: alternativa para achar o ganho crítico

- Usar o root-locus (evans no Scilab, rlocus no Matlab)
- O comando varia $0<K<\infty$, calcula os polos de malha fechada e faz um gráfico. Mostra o movimento dos polos de malha fechada conforme K varia.



# Ganho limite: alternativa para achar o ganho crítico

- Usar o root-locus (evans no Scilab)

Para este ganho K os polos estão sobre o eixo imaginário→ O sisteam em MF responde de forma harmônica.