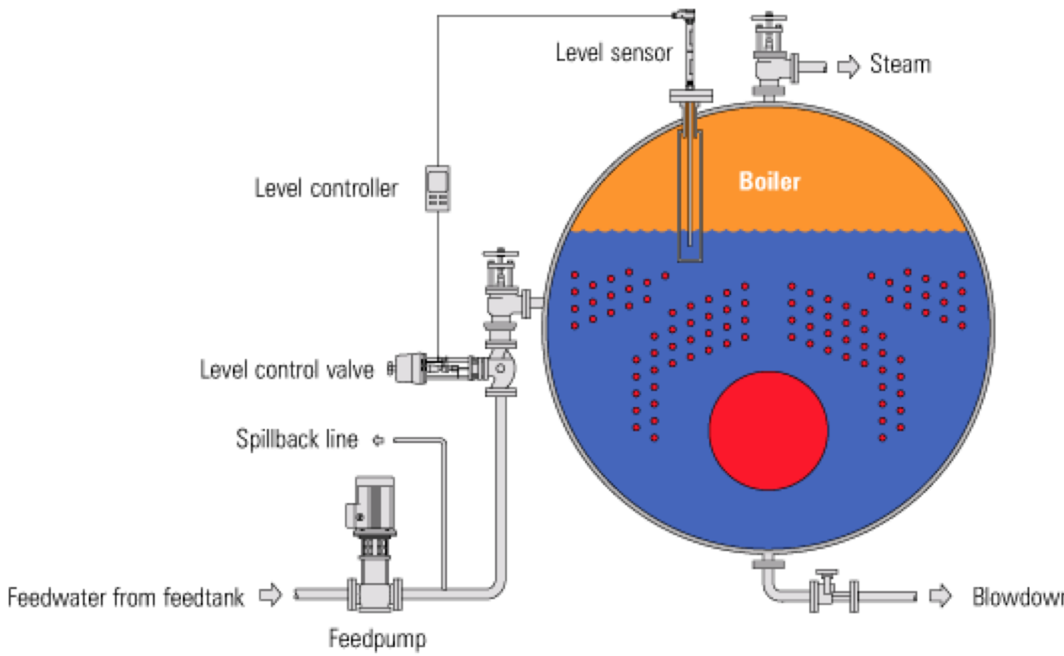
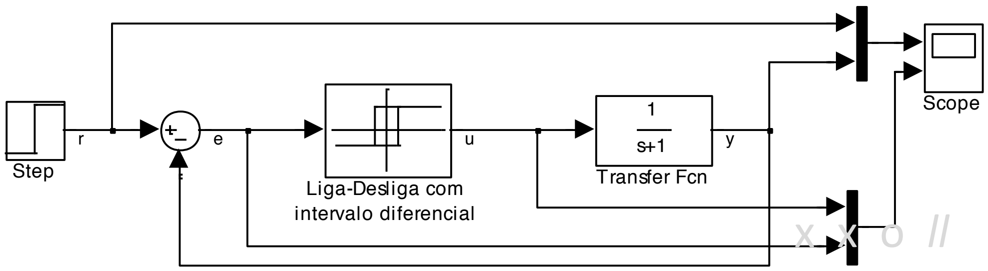
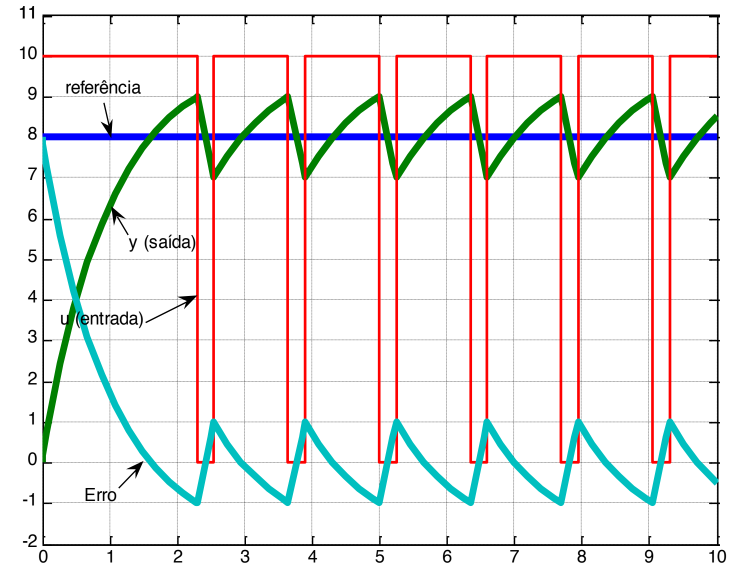
Sistema de Nível de Líquidos

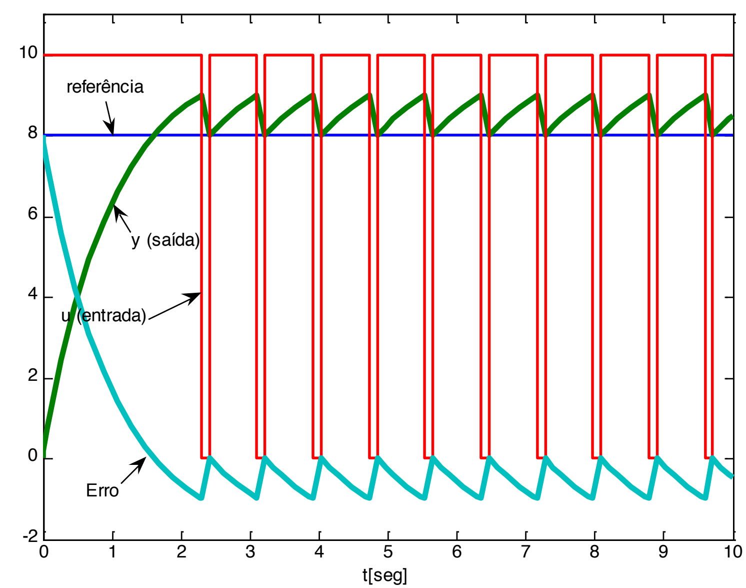


Controle Liga-desliga com sensor capacitivo

Controle Liga-Desliga







Liga-desliga

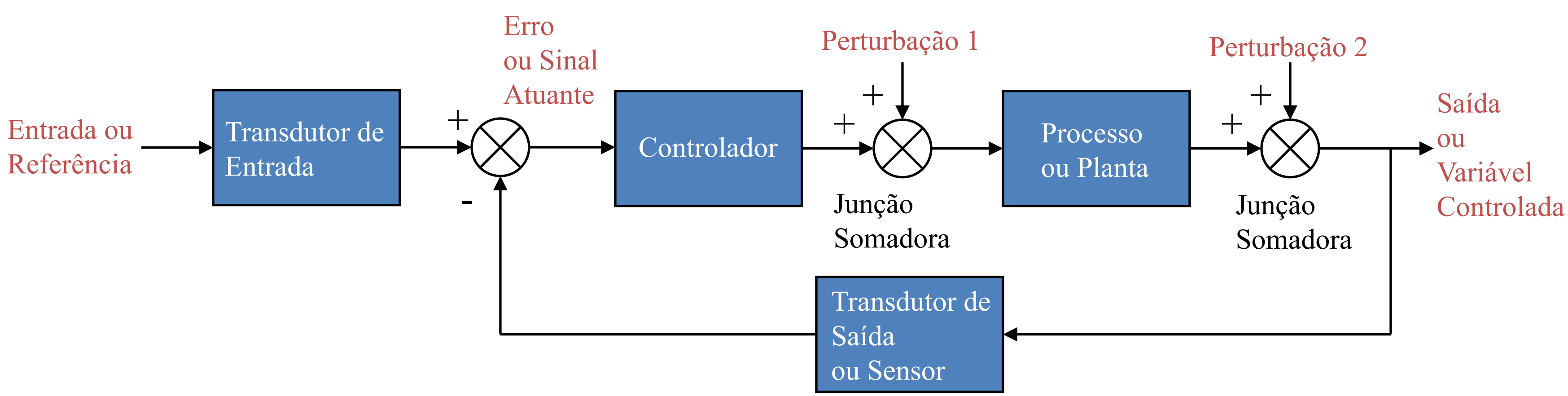
$$u(t) = \begin{cases} U_1, para\ e(t) > 0 \\ U_2, para\ e(t) < 0 \end{cases}$$

Liga-desliga
Com intervalo
diferencial

$$u(t) = \begin{cases} U_1, para\ e(t) > \lambda_1 \\ U_2, para\ e(t) < \lambda_2 \end{cases}$$

Açoes de Controle Básicas

- Liga-desliga
- P
- I
- D
- PI
- PID



Projeto - Controlador PID

$$D(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = \frac{K(s+z_1)(s+z_2)}{s}$$

$$PROJETO \rightarrow escolha\ de\ três\ parâmetros$$

$$Método\ Nise:\ 1)\ projeto\ PD\ (K(s+z_1)) \rightarrow p/\ transitório$$

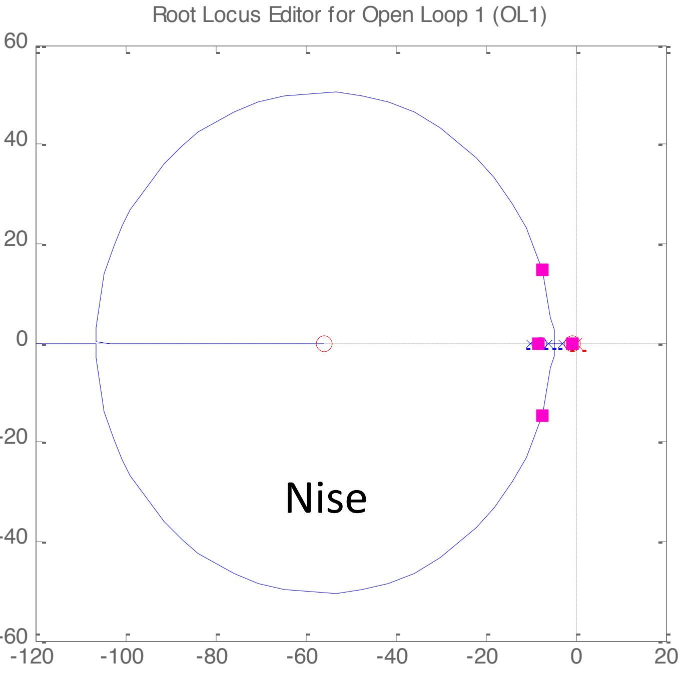
$$2)\ projeto\ PI\ (s+z_2)/s \rightarrow p/e_{ss}$$

$$Alternativa\ 2:\ zero\ duplo$$

$$Alternativa\ 3:\ cancelar\ pólo\ lento$$

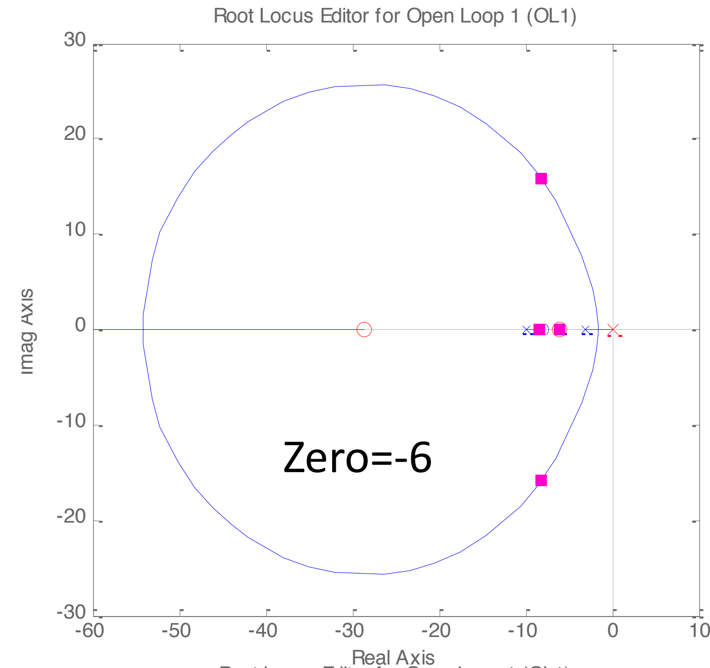
$$Alternativa\ 4:\ cancelar\ 2^{o}\ pólo\ mais\ lento\ (traz\ LGR\ p/\ esq.)$$

$$Obs:Versão\ "Realizável"\ D_r(s) = \frac{K(s+z_1)(s+z_2)}{s(s+p)}$$



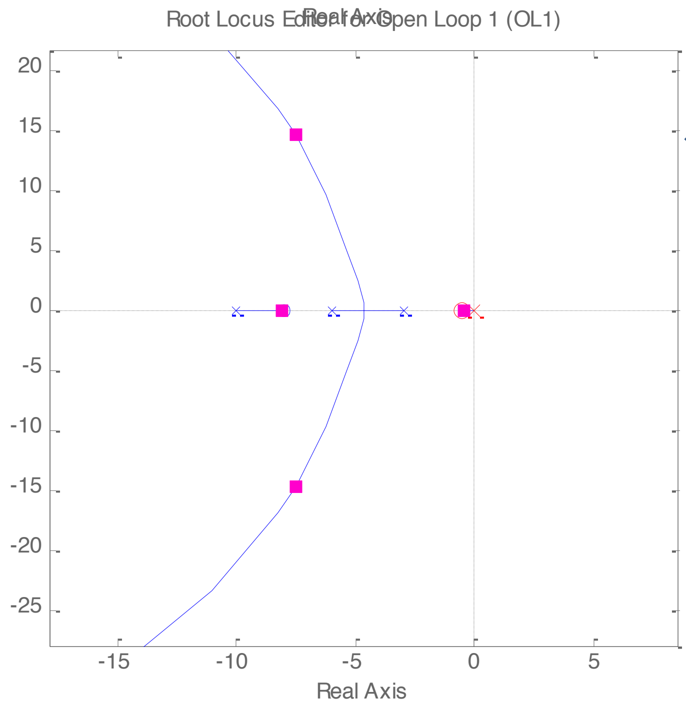
PID

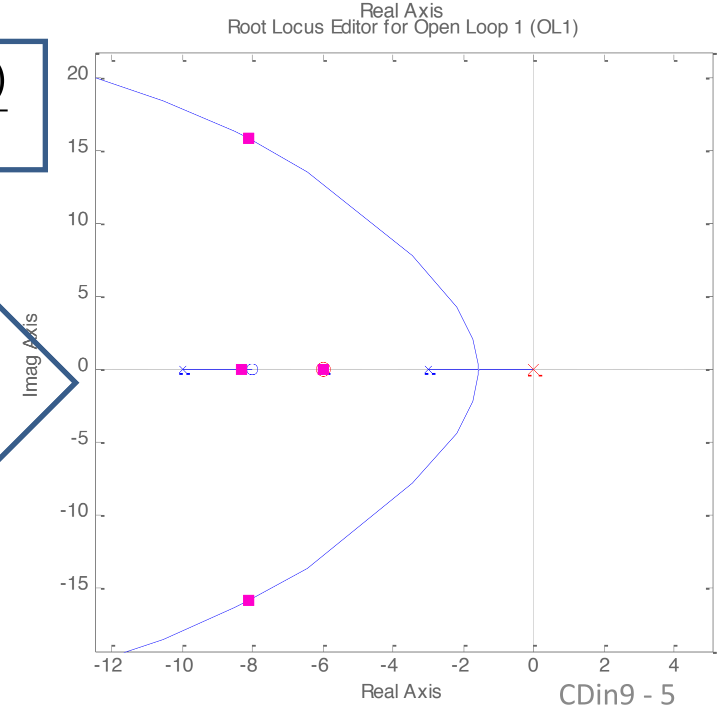
$$G(s)=\frac{(s+8)}{(s+3)(s+6)(s+10)}$$



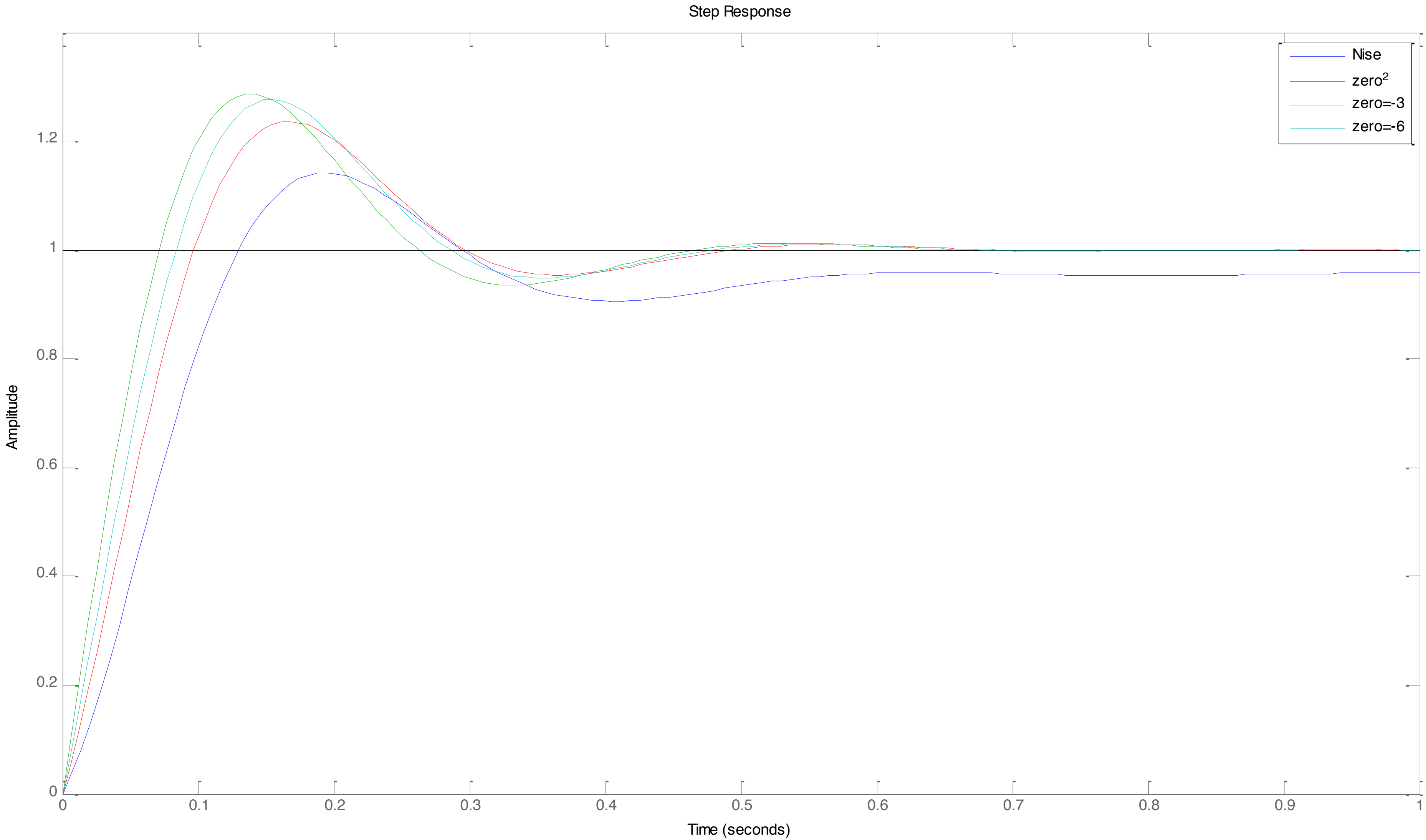
$$D_N(s)=\frac{4{,}6(s+55.92)(s+0{,}5)}{s}$$

$$D_{-6}(s)=\frac{11{,}6(s+6)(s+28{,}55)}{s}$$



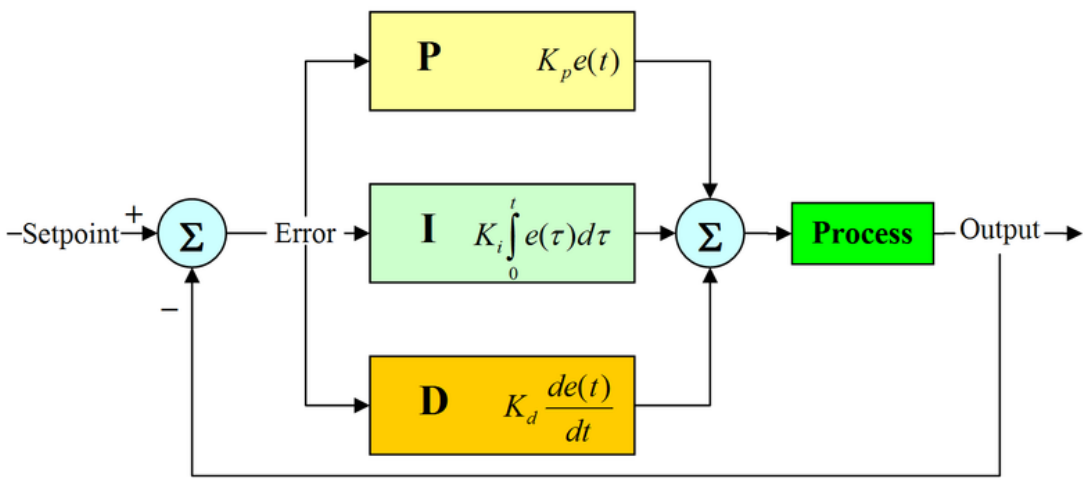


Alternativas de Projeto - PID



Sintonia PID – Técnicas Herísticas

- Manual (operador experiente)
- Ziegler-Nichols (1942)
- Vários outros métodos ...



Sintonia PID – Técnicas Herísticas

- Sintonia Manual

operador experiente

Effects of *increasing* a parameter independently

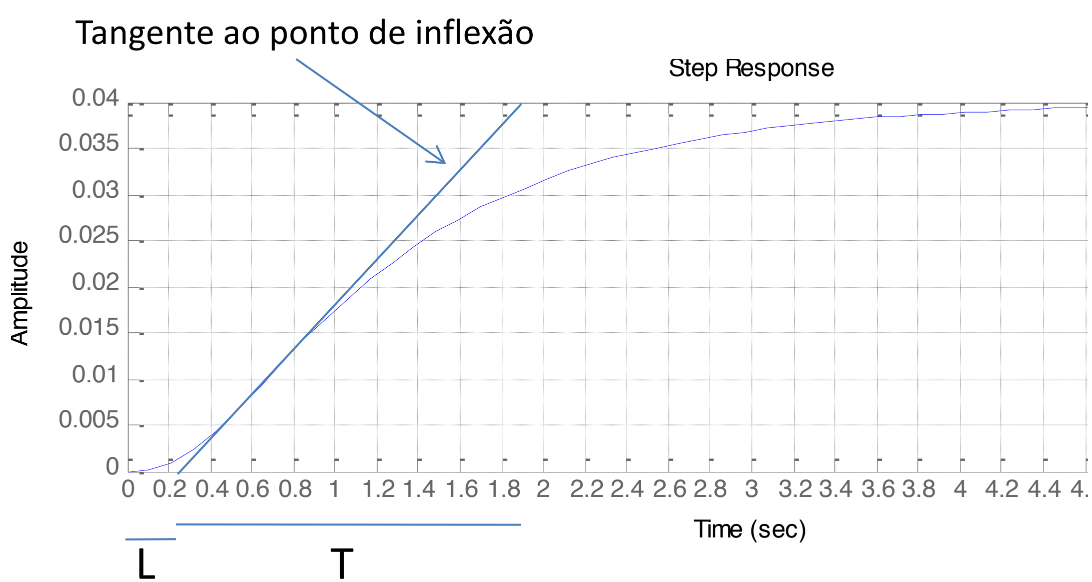
Parameter	Rise time	Overshoot	Settling time	Steady-state error	Stability[3]
K_p	Decrease	Increase	Small change	Decrease	Degrade
K_i	Decrease[4]	Increase	Increase	Decrease significantly	Degrade
K_d	Minor decrease	Minor decrease	Minor decrease	No effect in theory	Improve if K_d small

en.wikipedia.org

1º Método de Ziegler-Nichols

- O procedimento empírico proposto por Ziegler-Nichols visa, sem um modelamento sofisticado, sintonizar controladores PID para obter uma ultrapassagem percentual, em malha fechada, de aproximadamente 25%.

$$T(s) \approx \frac{Ke^{-Ls}}{Ts+1}$$



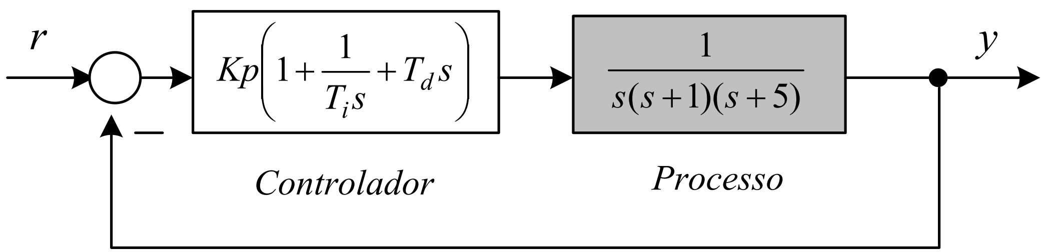
$$\frac{U(s)}{E(s)} = Kp\left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right)$$

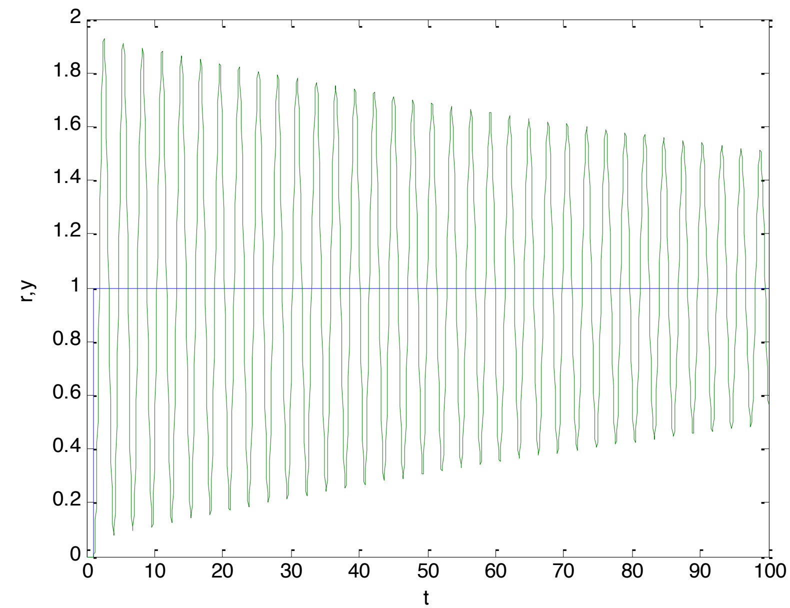
Controlador PID na forma padrão ISA
– International Society of Automation, www.isa.org

	K_p	T_i	T_d
P	T/L		
PI	0,9 T/L	$L/0{,}3$	
PID	1,2 T/L	$2L$	$0{,}5L$

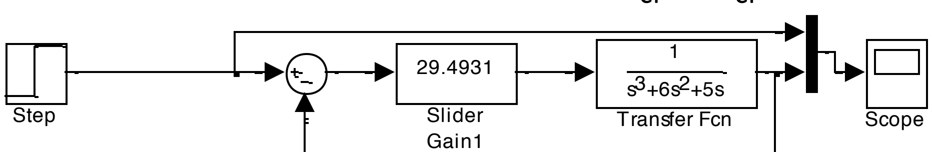
2º Método de Ziegler-Nichols

- Resposta ao degrau em MA divergente



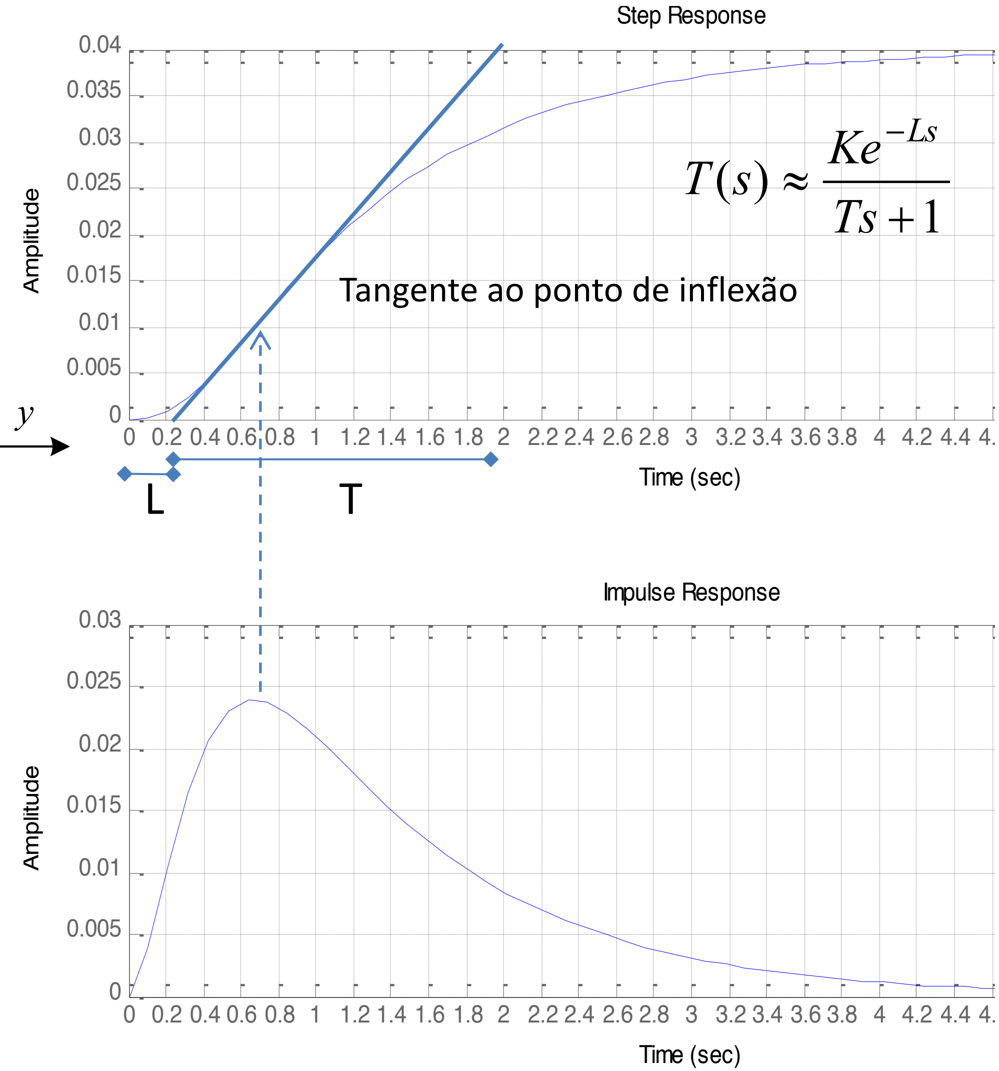


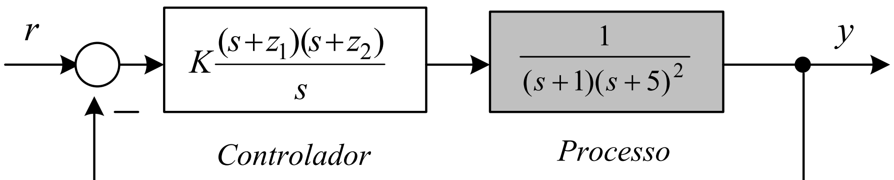
Experimento para encontrar K_{cr} e P_{cr}



	K_p	T_i	T_d
P	$0{,}5K_{cr}$		
PI	$0{,}45K_{cr}$	$P_{cr}/1{,}2$	
PID	$0{,}6K_{cr}$	$0{,}5\ P_{cr}$	$0{,}125P_{cr}$

Ex. ZN 1º Método





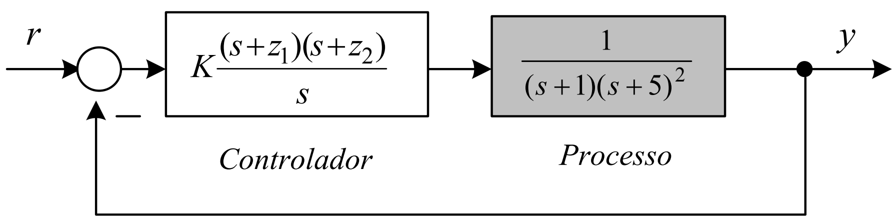
Da resposta ao impulso
o ponto de inflexão acontece em $t =$ 0,7 s.
Da resposta ao degrau:
L = 0,25 s, T = 1,95 - 0,25 = 1,7 s →

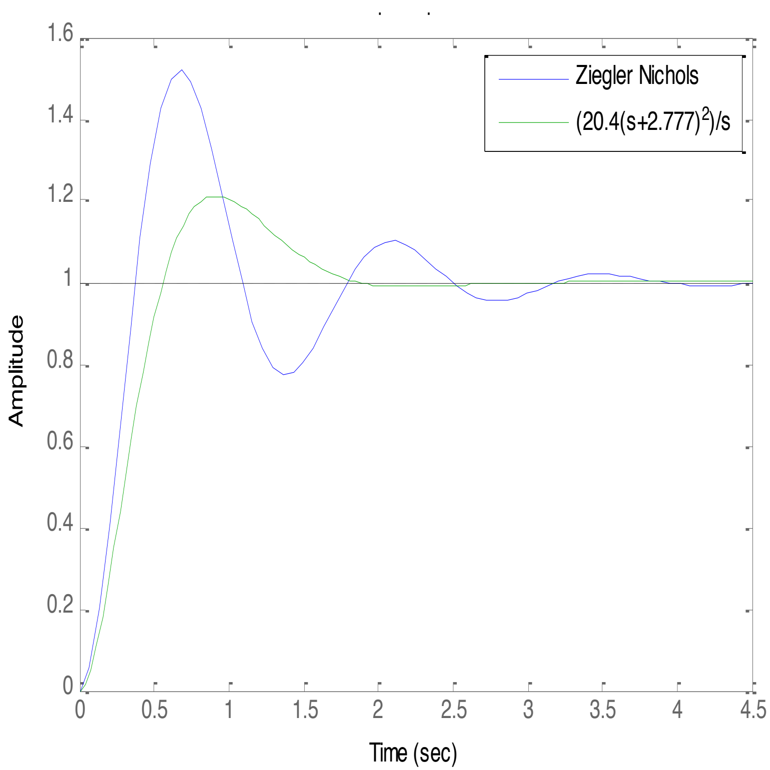
PID	1,2 T/(KL)	2L	0,5L
	K_p = 204	T_i=0,5	T_d=0,125

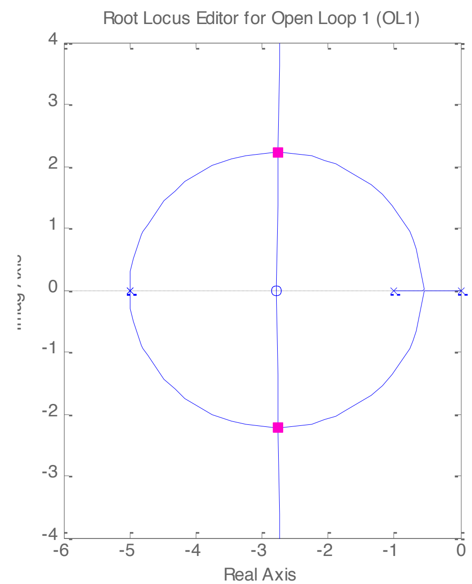
$$\frac{U(s)}{E(s)} = Kp\left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right) = 204\left(1 + \frac{2}{s} + 0{,}125s\right) = 25{,}5\,\frac{(s+4)(s+4}{s}$$

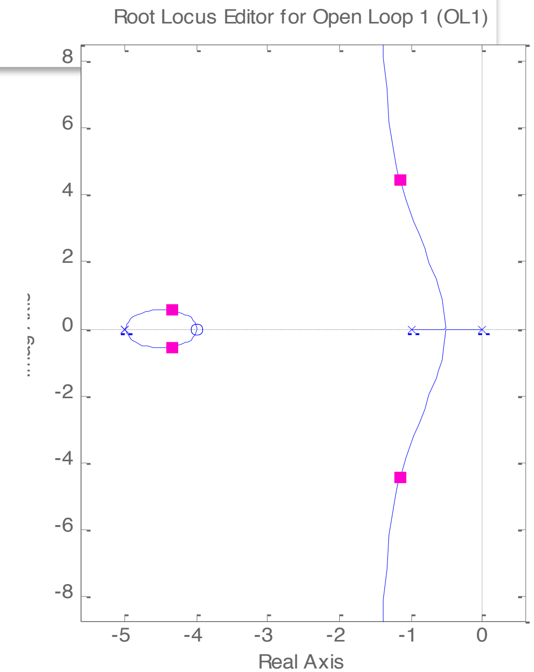
Ex. ZN 1º Método

$$\frac{U(s)}{E(s)} = Kp\left(1+\frac{1}{T_i s}+T_d s\right) = \frac{25{,}5(s+4)(s+4)}{s}$$



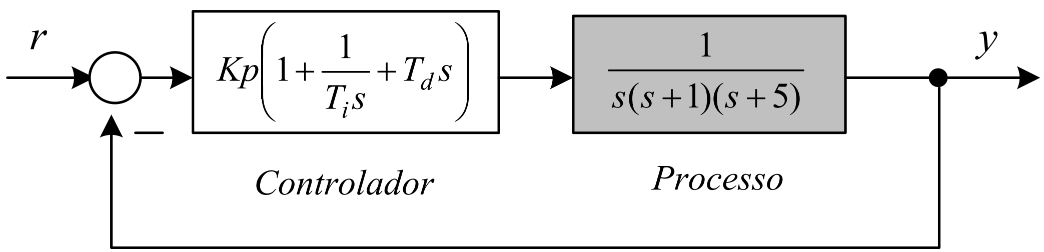


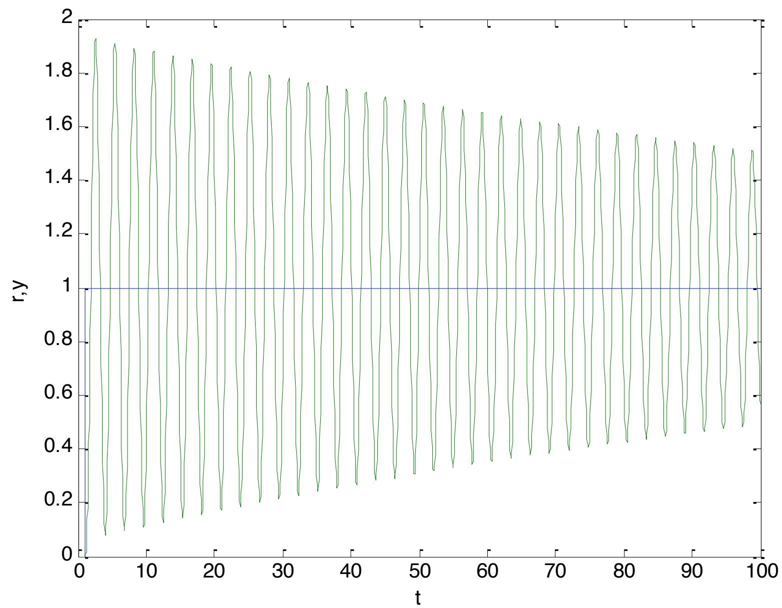




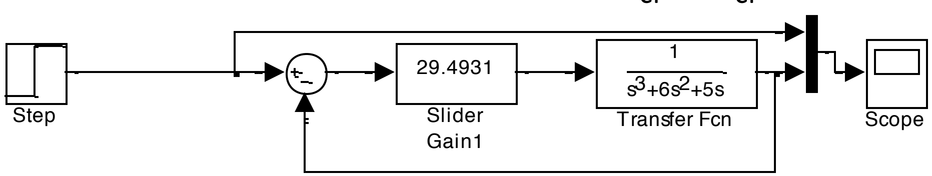
Ex. 1º Método de Ziegler-Nichols

- Resposta ao degrau em MA divergente





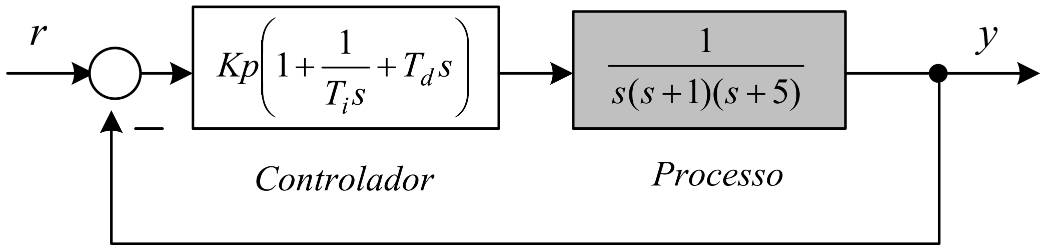
Experimento para encontrar K_{cr} e P_{cr}

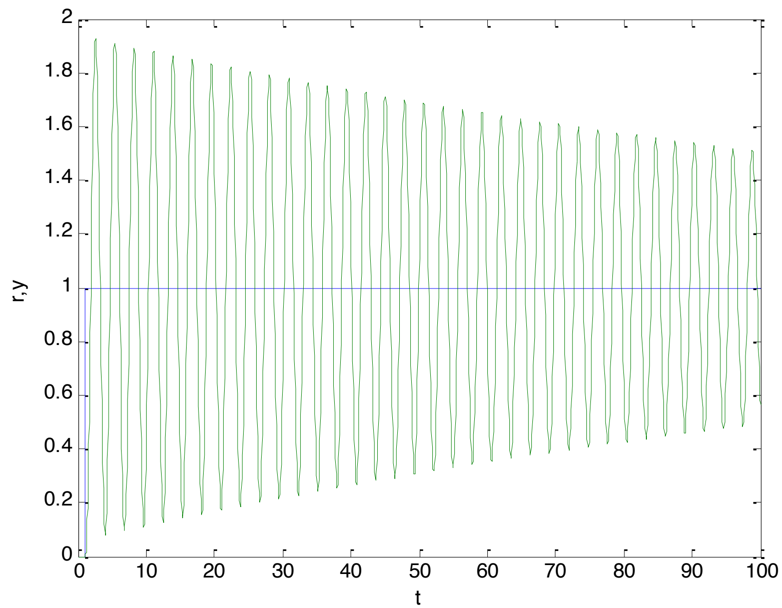


	K_p	T_i	T_d
P	$0,5K_{cr}$		
PI	$0,45K_{cr}$	$P_{cr}/1,2$	
PID	$0,6K_{cr}$	$0,5\ P_{cr}$	$0,125P_{cr}$

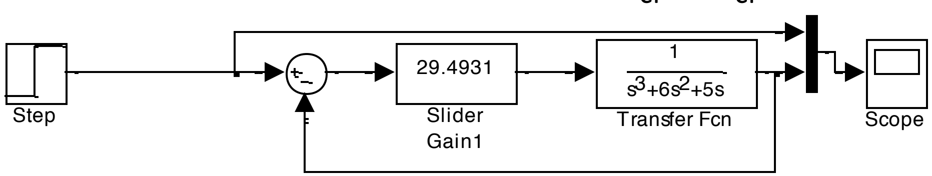
Ex. 2º Método de Ziegler-Nichols

- Resposta ao degrau em MA divergente



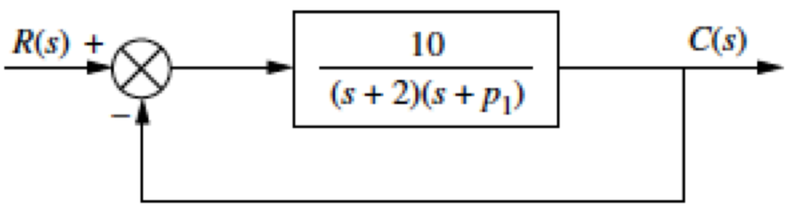


Experimento para encontrar K_{cr} e P_{cr}



	K_p	T_i	T_d
P	$0,5K_{cr}$		
PI	$0,45K_{cr}$	$P_{cr}/1,2$	
PID	$0,6K_{cr}$	$0,5\ P_{cr}$	$0,125P_{cr}$

LGR generalizado
(em função de um “outro” parâmetro p)



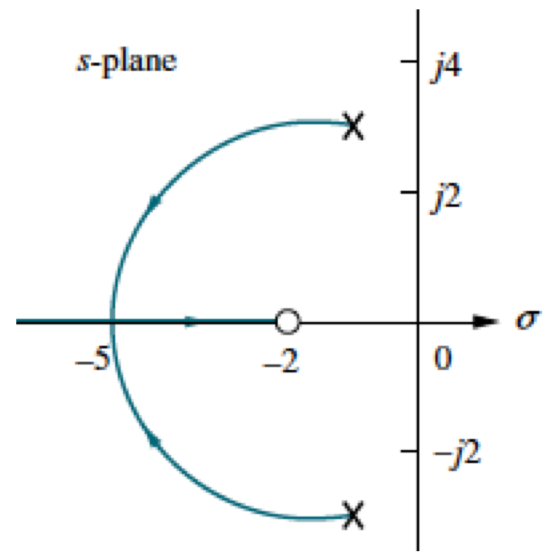
$$T(s) = \frac{\dfrac{10}{s^2 + 2s + 10}}{1 + \dfrac{p_1(s+2)}{s^2 + 2s + 10}}$$

$$KG(s)H(s) = \frac{10}{(s+2)(s+p_1)}$$

$$KG(s)H(s) = \frac{p_1(s+2)}{s^2 + 2s + 10}$$

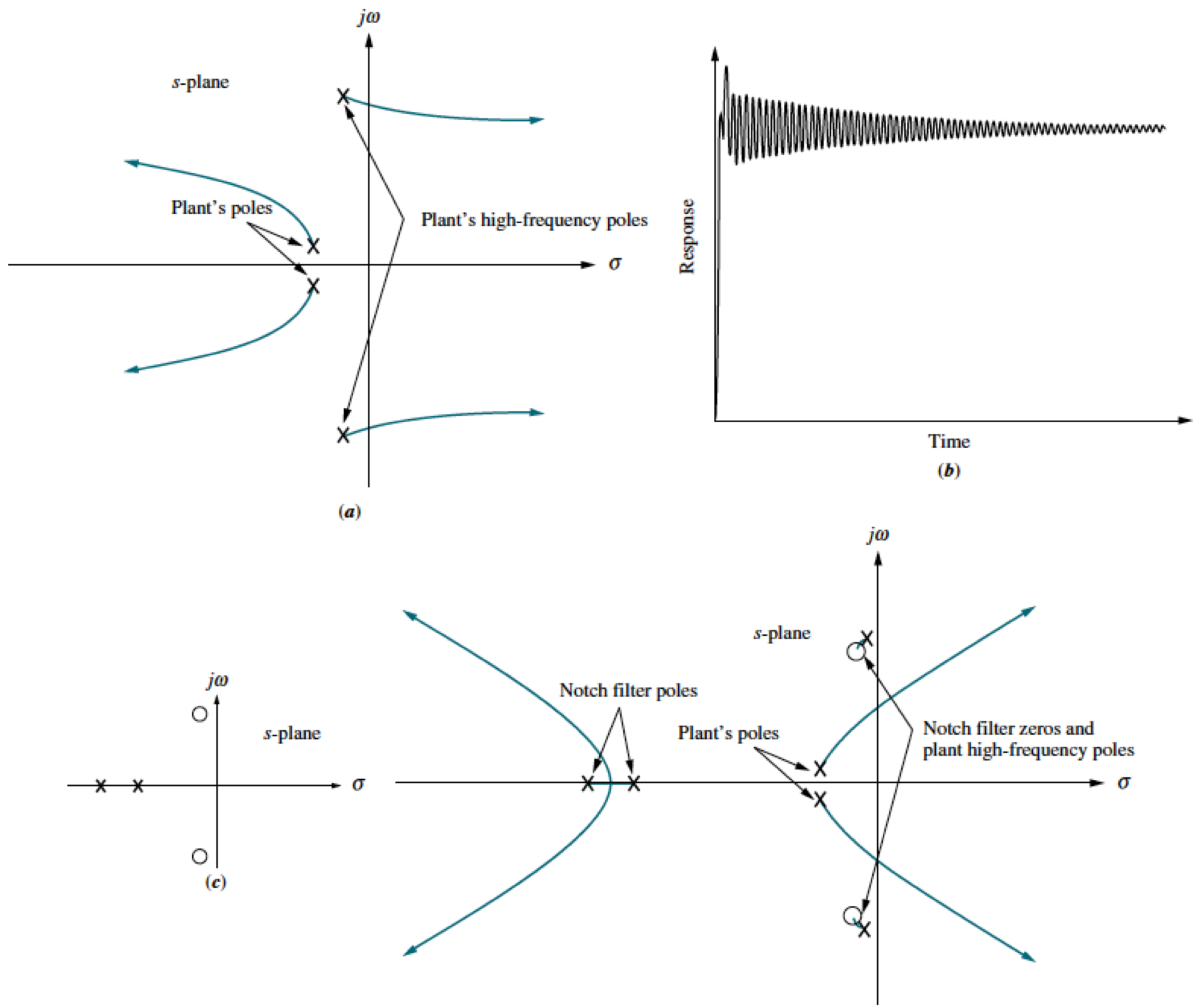
$$T(s) = \frac{KG(s)}{1 + KG(s)H(s)} = \frac{10}{s^2 + (p_1 + 2)s + 2p_1 + 10}$$

$$T(s) = \frac{10}{s^2 + 2s + 10 + p_1(s+2)}$$

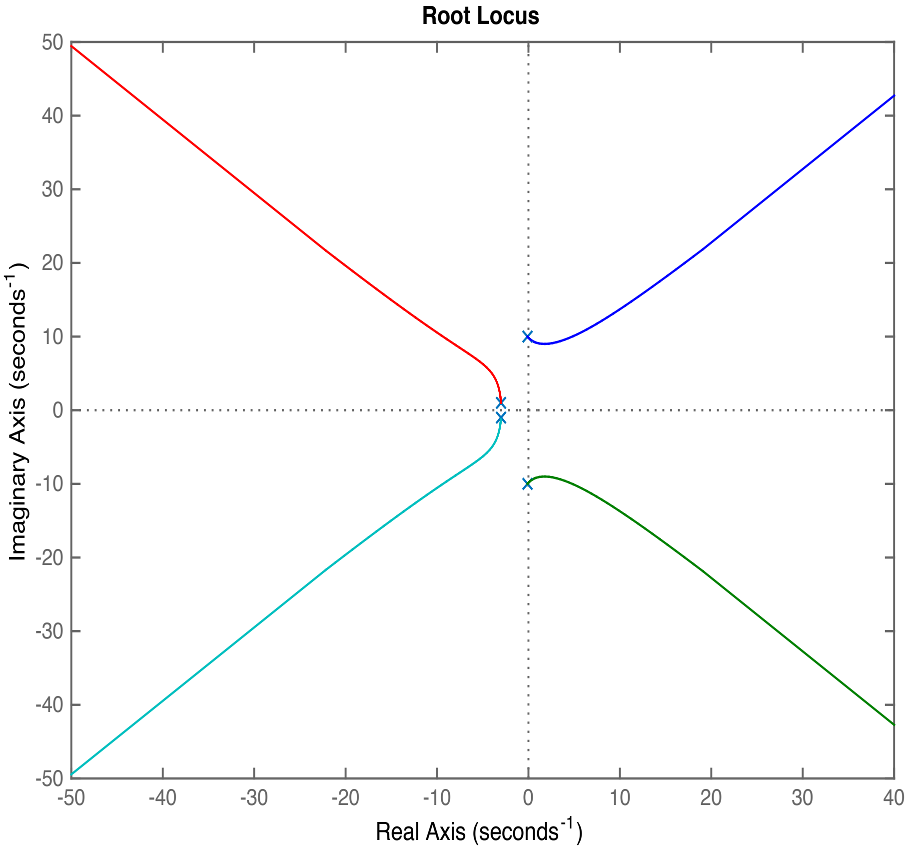


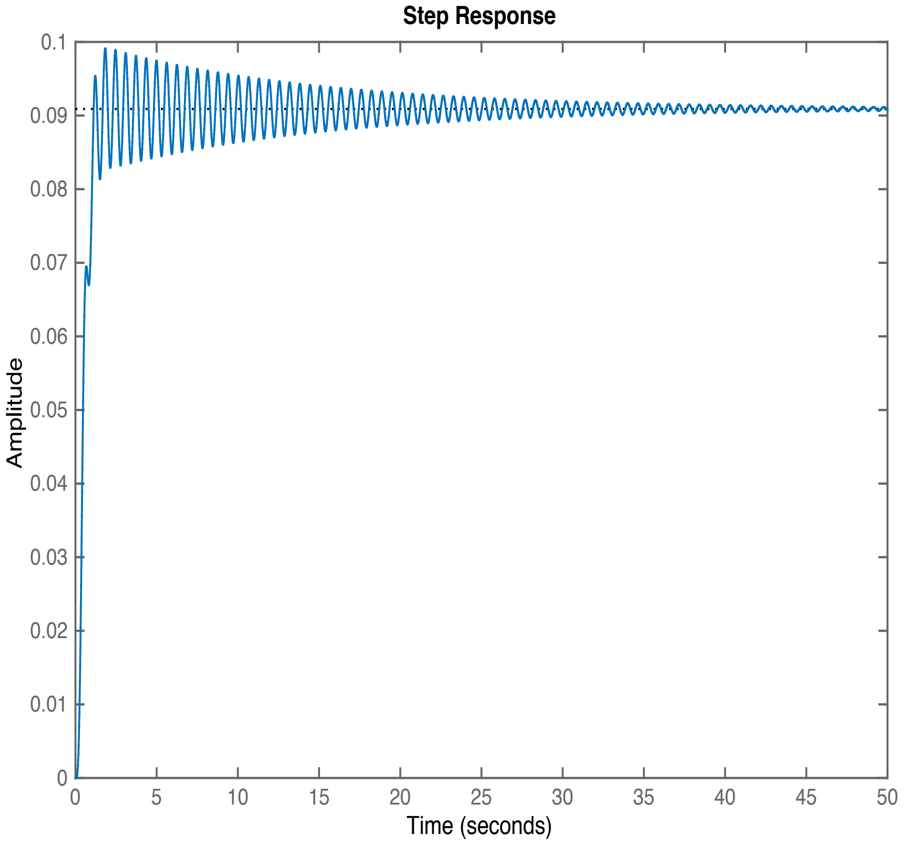
Notch Filter

- Cancelar polos pouco amortecidos
  - Cancelar pelo lado “certo”



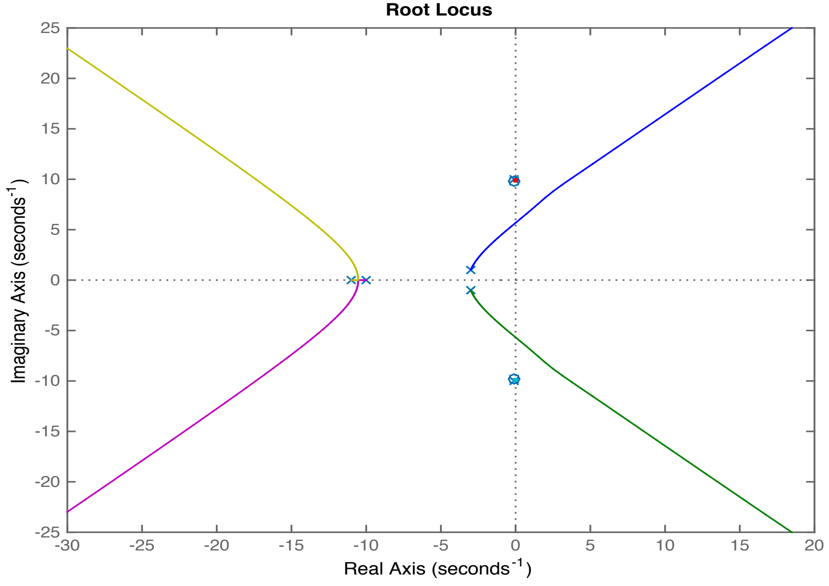
Sistema com polos pouco amortecidos

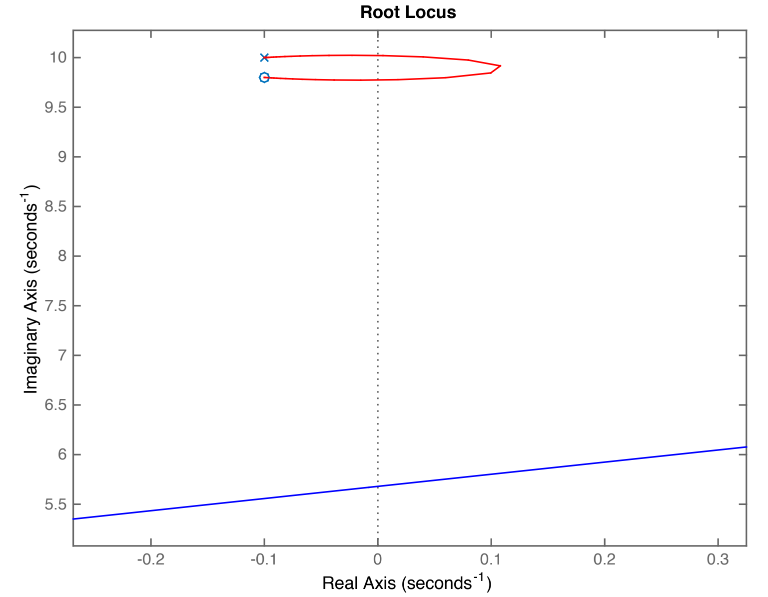


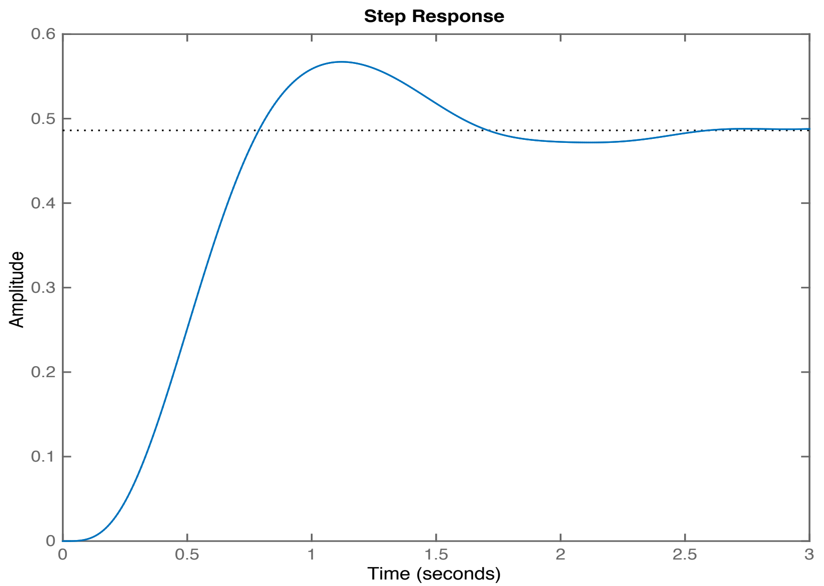


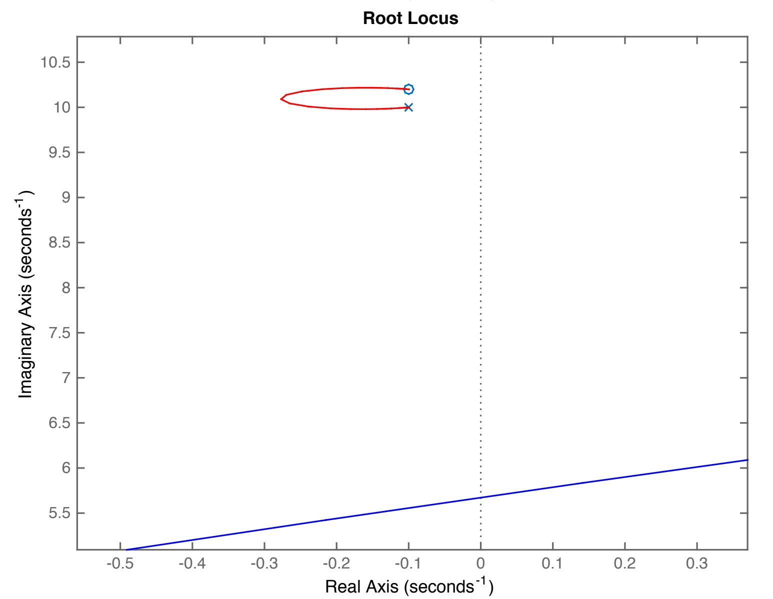
Notch Filter

– Cancelar pelo lado "certo"

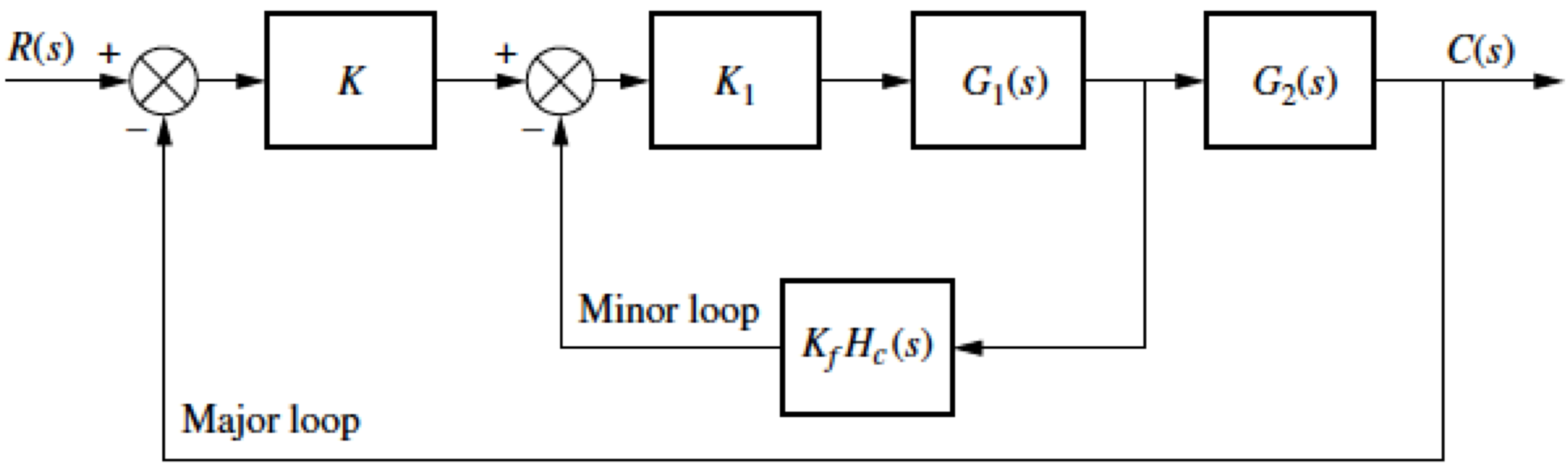




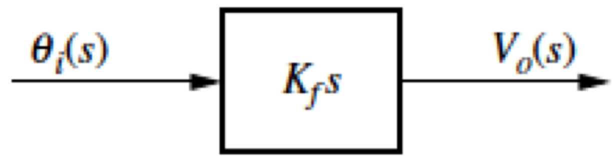




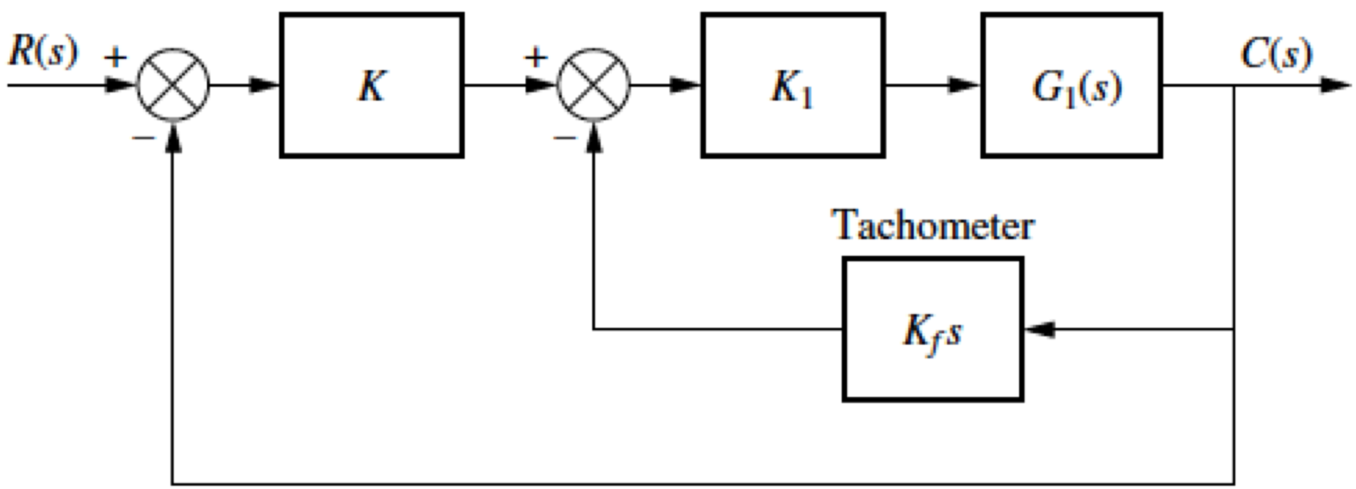
Compensação por Realimentação
(projeto com vários graus de liberdade)



Realimentação Tacométrica



(*a*)



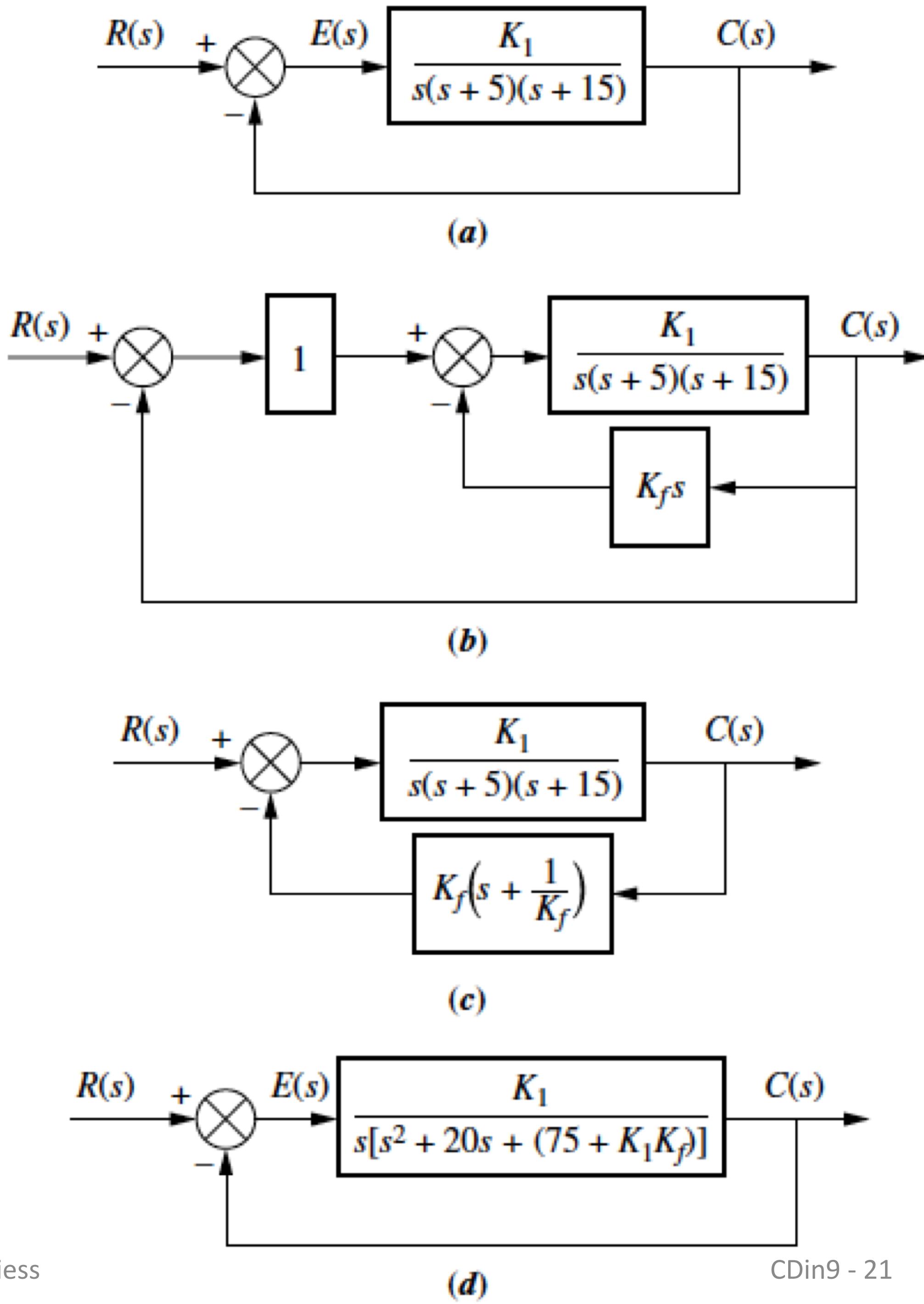
(*b*)

Realimentação Tacométrica

Exemplo:
Abordagem 1:

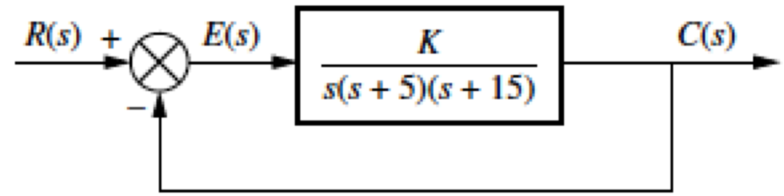
Zero em G(s)H(s)

$$G(s)H(s) = K_f K_1 G_1(s)\left(s + \frac{K}{K_f}\right)$$

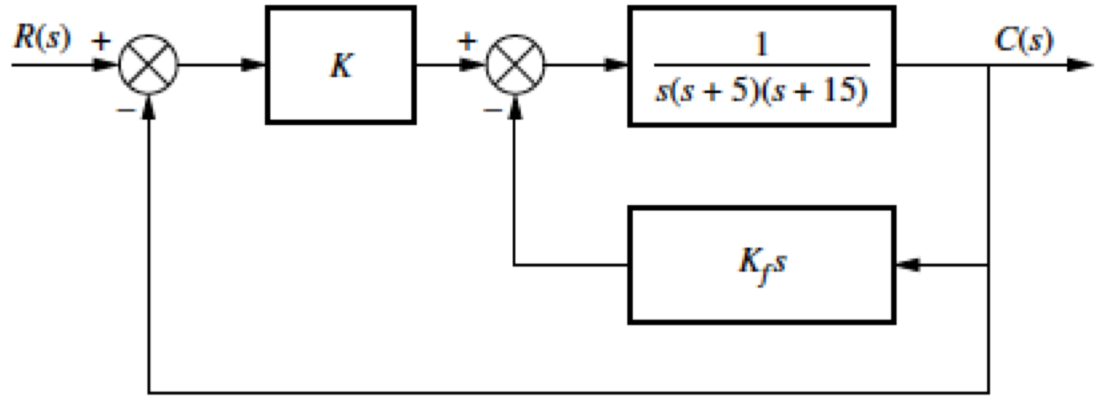


Realimentação Tacométrica *Abordagem 2:*

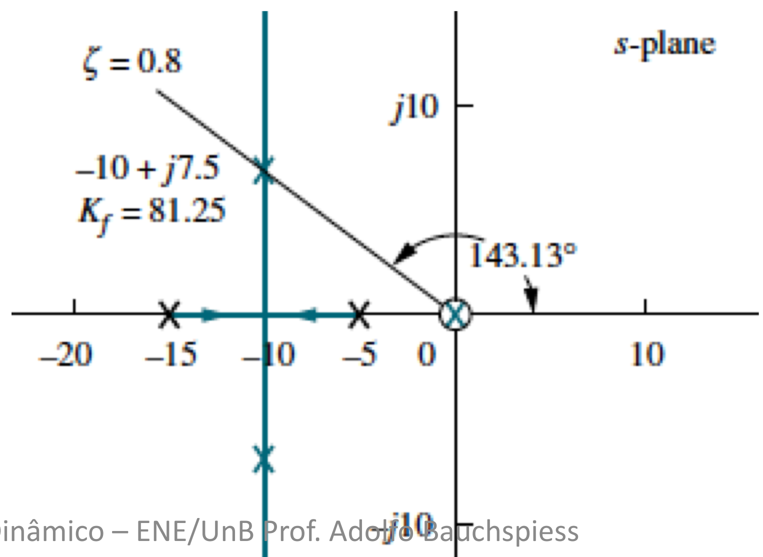
a) Compensação da malha interna
b) Compensação da Malha externa

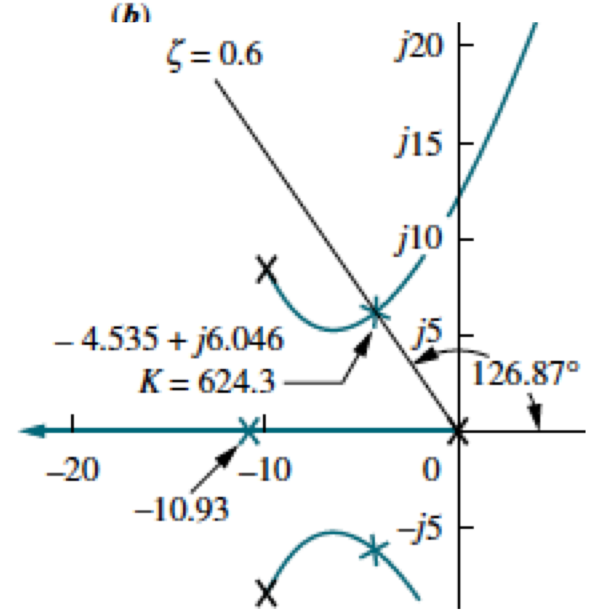


(a)

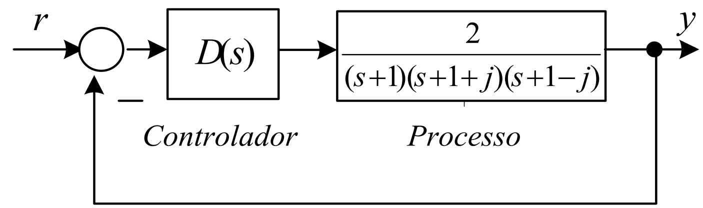


(b)





Exercício Extra 5



Projete um compensador PID, $D(s) = \dfrac{K(s+z_1)(s+z_2)}{s}$

para que o processo satisfaça em malha fechada, às seguintes especificações:

- Sobrepasso, $M_p \leq 30\%$
- Tempo de subida, $t_{r(10\text{-}90\%)} \leq 1{,}8\ s$
- Tempo de acomodação, $t_{s(2\%)} \leq 8\ s$
- Erro em regime permanente a uma rampa unitária, $e_{ss} \leq 1{,}5$

O projeto é feito inicialmente para atender às especificações transitórias.
Se possível, não utilizar uma rede em atraso para atender à especificação de regime permanente.
Dentre as seguintes alternativas, escolha a que tem menor e_{ss} :

a) $PID_a(s)$, cancelamento do polo mais próximo à origem;
b) $PID_b(s)$, zero duplo,; $z_1 = z_2$;
c) $PID_c(s)$,- Cancelamento dos polos complexos conjugados.

Escolha valores comerciais de R e C para realizar o projeto.
Qual a fase fornecida, de fato, pelo projeto, em s_0?