

Capítulo 9

Projeto por Intermédio do
Lugar das Raízes
(Continuação)

Fig. 9.50

Lugar das raízes para o sistema não-compensado do Exemplo 9.7

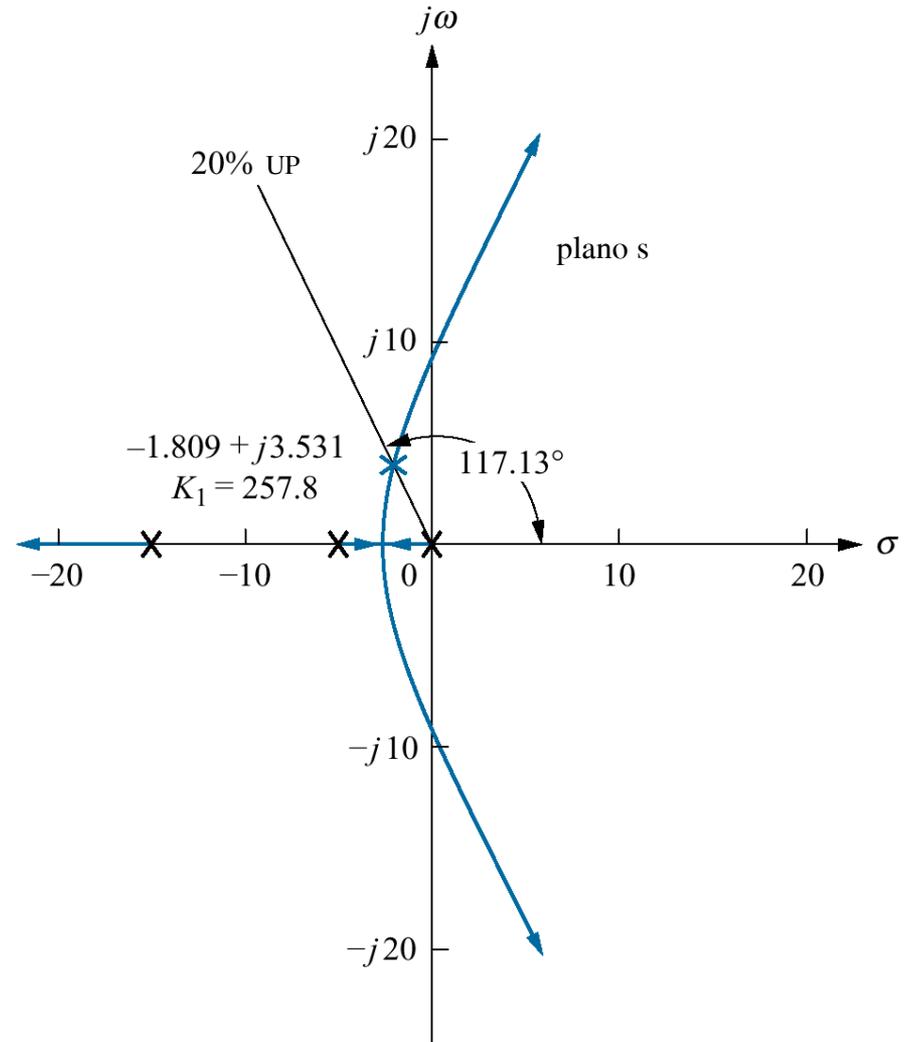


Tabela 9.8

Características previstas de sistemas não-compensado e compensado do Exemplo 9.7

Parâmetro	Não-compensado	Compensado
Processo e compensador	$\frac{K_1}{s(s+5)(s+15)}$	$\frac{K_1}{s(s+5)(s+15)}$
Retroação	1	0,85 ($s+5,42$)
Pólos dominantes	$-1,809 \pm j 3,531$	$-7,236 \pm j 14,12$
K_1	257,8	1388
ζ	0,456	0,456
ω_n	3,97	15,87
%UP	20	20
T_s	2,21	0,55
T_p	0,89	0,22
K_v	3,44	4,18
$e(\infty)$ (rampa)	0,29	0,24
Outros pólos	-16,4	-5,53
Zero	Nenhum	Nenhum
Comentários	Aprox. de 2ª-ordem OK	Simular

Fig. 9.51

Resposta ao degrau para o sistema não-compensado do Exemplo 9.7

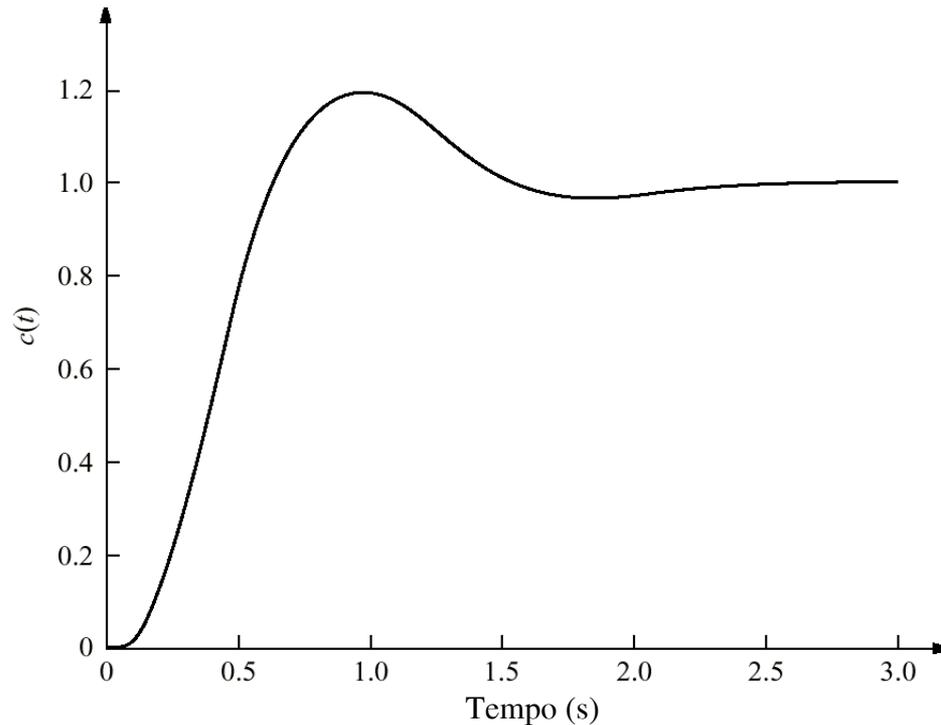


Fig. 9.52

Determinando o zero do compensador no Exemplo 9.7

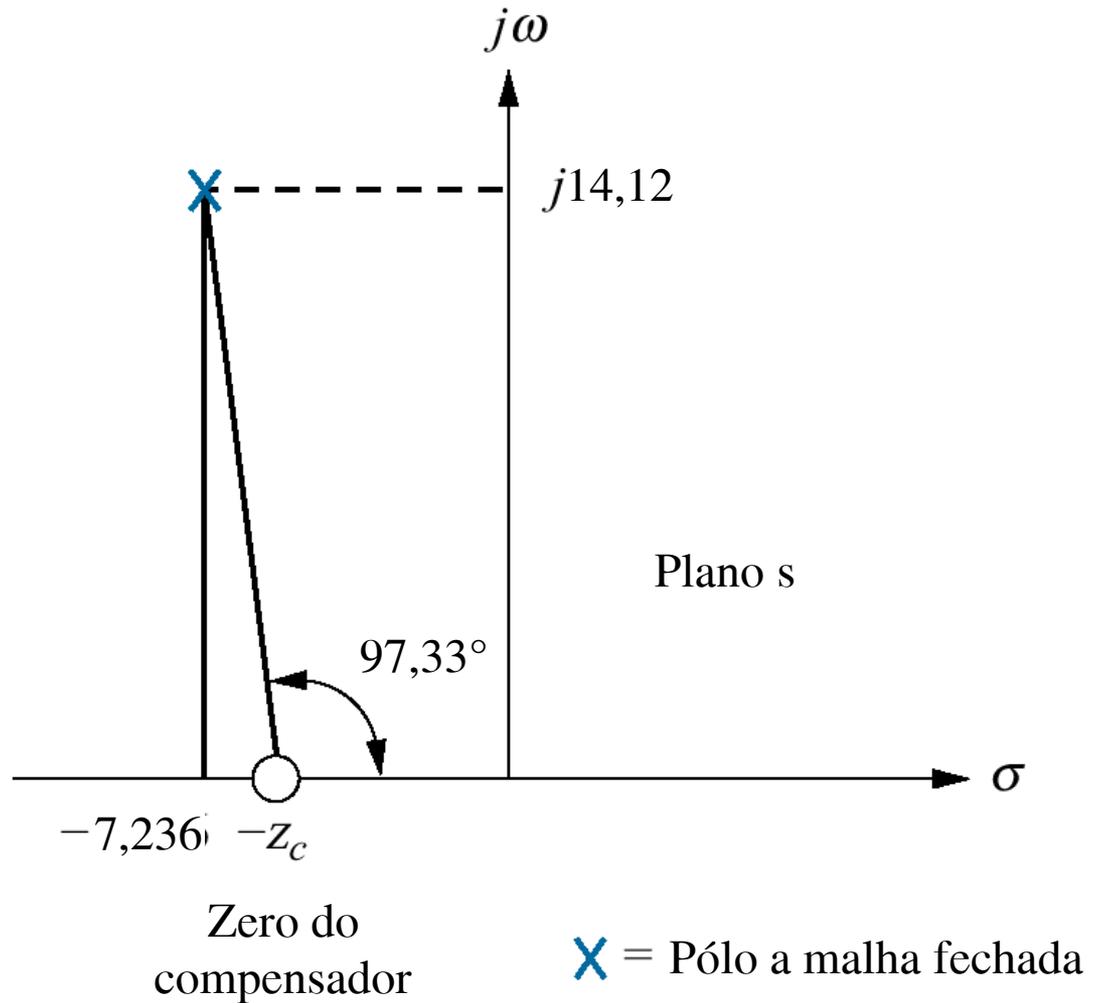


Fig. 9.53
 Lugar das raízes para o sistema compensado do Exemplo 9.7

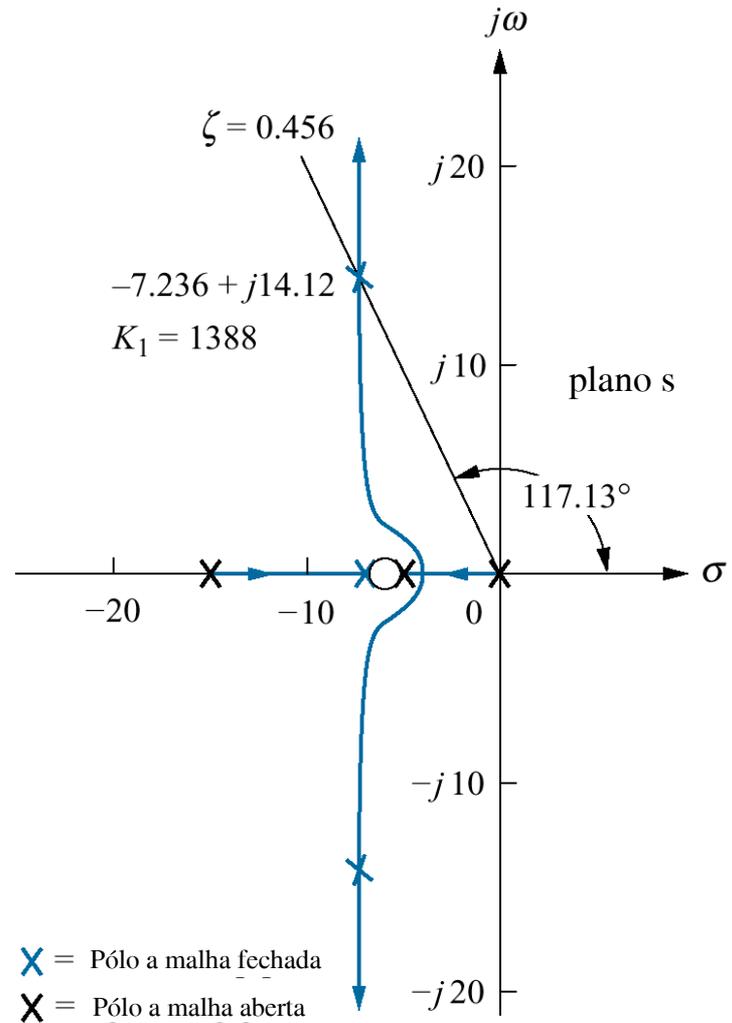


Fig. 9.54

Resposta ao degrau para o sistema compensado do Exemplo 9.7

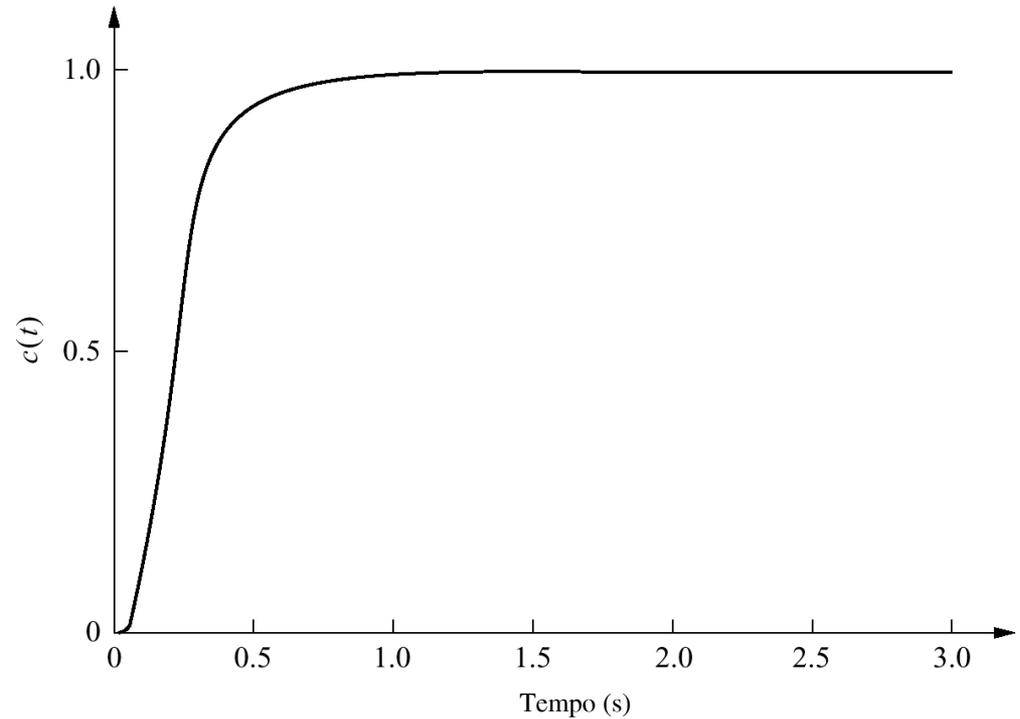


Fig. 9.55

a. Sistema não-compensado e

b. sistema

compensado por retroação para o Exemplo 9.8

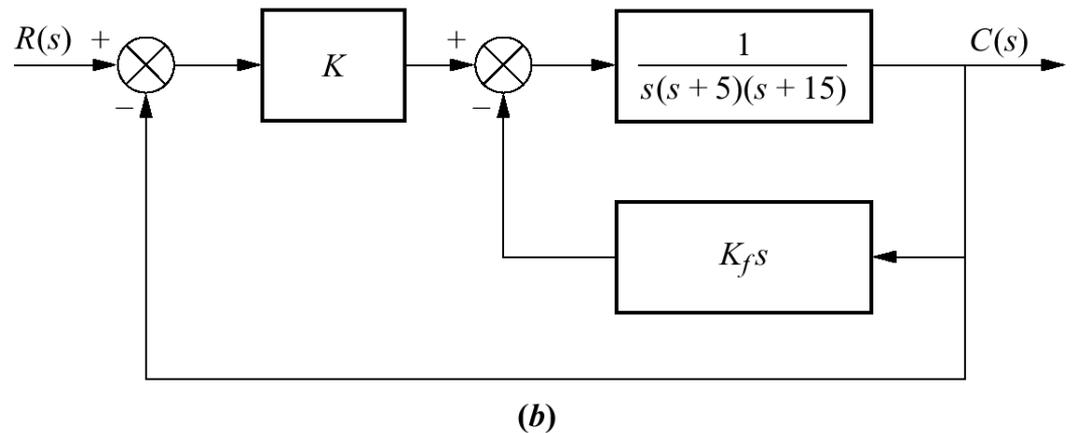
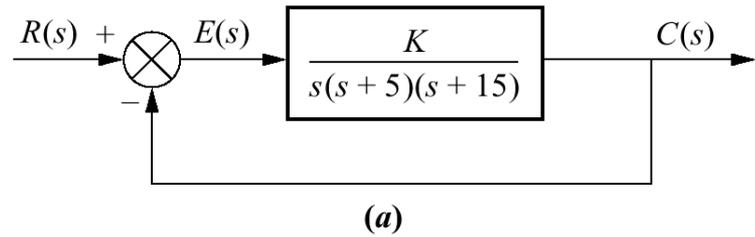
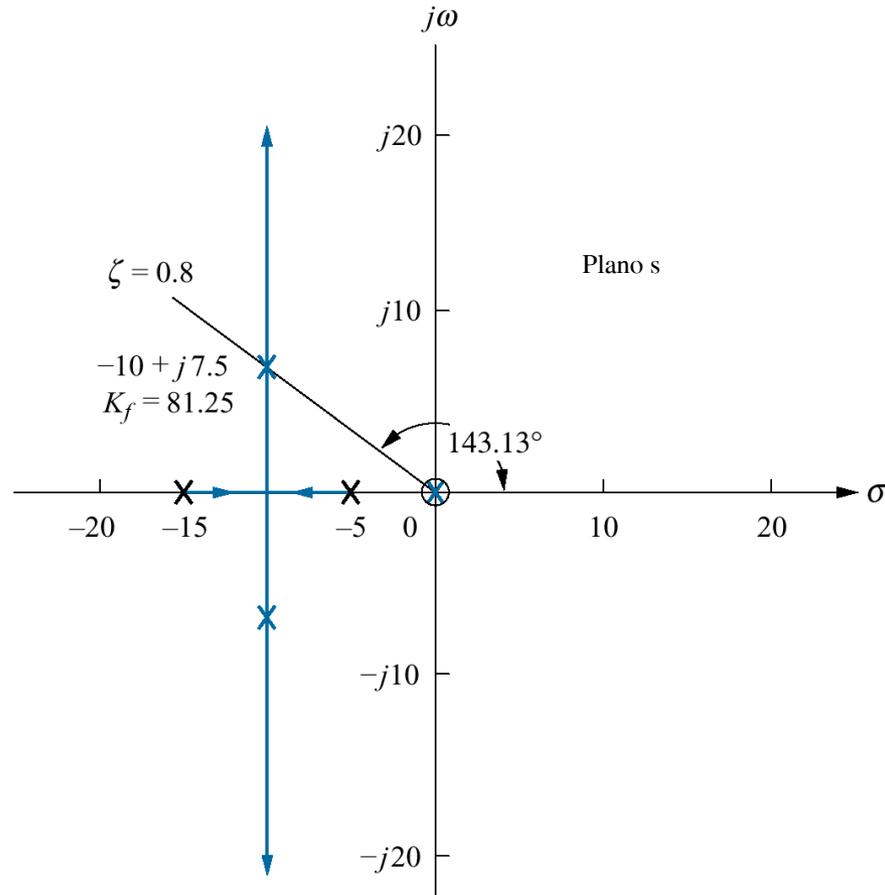


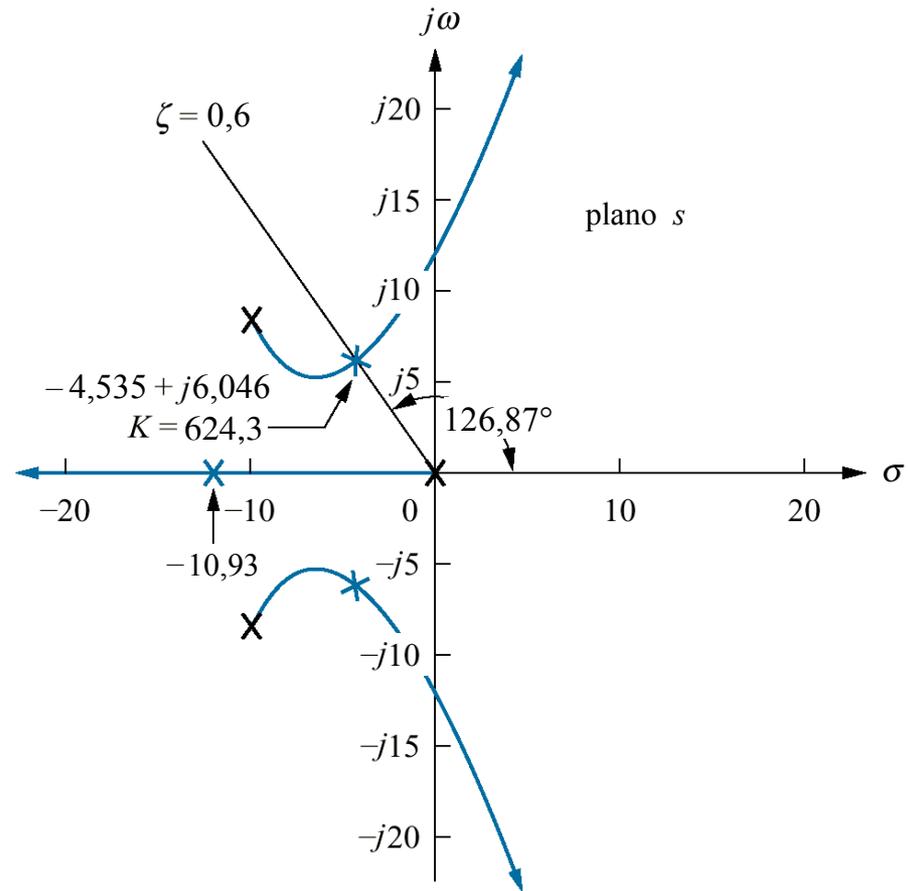
Fig. 9.56

Lugar das raízes para a malha secundária do Exemplo 9.8



\times = Pólo a malha fechada (malha secundária)
 \times = Pólo a malha aberta

Fig. 9.57
 Lugar das raízes para o sistema a malha fechada do Exemplo 9.8



\times = Pólo a malha fechada
 \times = Pólo a malha aberta

Tabela 9.9

Características previstas de sistemas não-compensado e compensado do Exemplo 9.8

Parâmetro	Não-compensado	Compensado
Processo e compensador	$\frac{K}{s(s+5)(s+15)}$	$\frac{K}{s(s^2+20s+156,25)}$
Retroação	1	1
Pólos dominantes	$-1,997 \pm j 2,662$	$-4,535 \pm j 6,046$
K	177,3	624,3
ζ	0,6	0,6
ω_n	3,328	7,558
%UP	9,48	9,48
T_s	2	0,882
T_p	1,18	0,52
K_v	2,364	3,996
$e(\infty)$ (rampa)	0,423	0,25
Outros pólos	-16	-10,93
Zero	Nenhum	Nenhum
Comentários	Aprox. de 2ª ordem, OK	Simular

Fig. 9.58
Simulação da
resposta ao
degrau para o
Exemplo 9.8

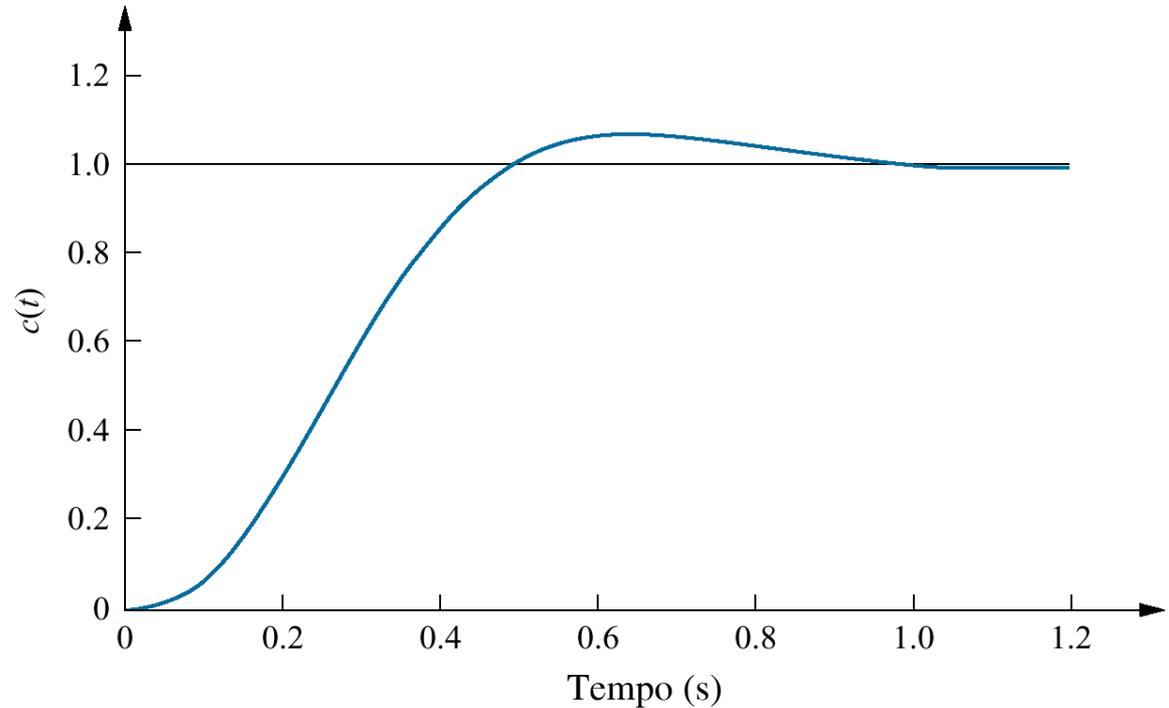


Fig. 9.59

Sistema para o Exercício
de Avaliação 9.4

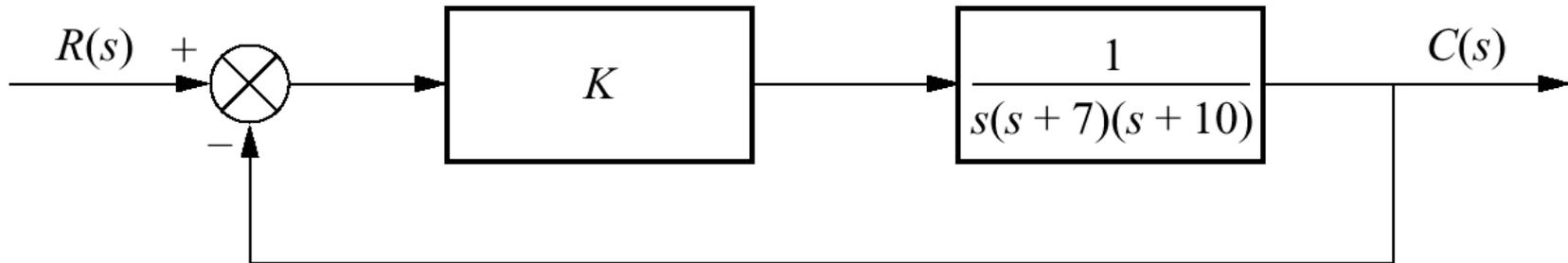


Fig. 9.60

Amplificador operacional configurado para realização de função de transferência

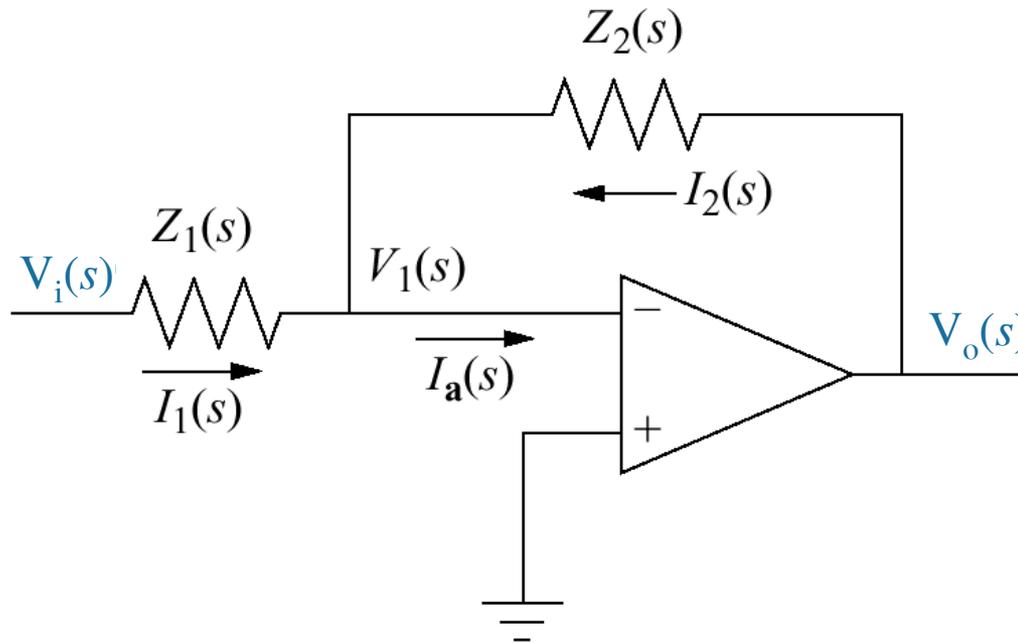
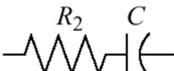
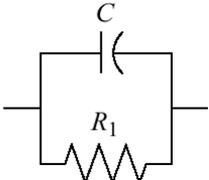


Tabela 9.10

Realização ativa de controladores e de compensadores, usando um amplificador operacional (slide 1 de 2)

Função	$Z_1(s)$	$Z_2(s)$	$G_c(s) = -\frac{Z_2(s)}{Z_1(s)}$
Ganho			$-\frac{R_2}{R_1}$
Integração			$-\frac{1}{RC}$
Derivação			$-RCs$
Controlador PI			$-\frac{R_2}{R_1} \left(s + \frac{1}{R_2 C} \right)$
Controlador PD			$-R_2 C \left(s + \frac{1}{R_1 C} \right)$

(continua no próximo slide)

Tabela 9.10

Realização ativa de controladores e de compensadores, usando um amplificador operacional (slide 2 de 2)

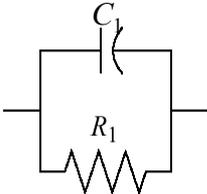
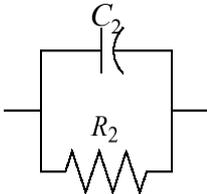
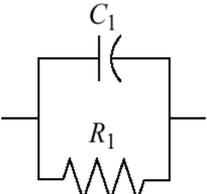
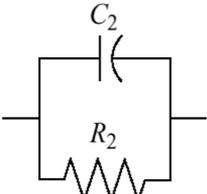
Função	$Z_1(s)$	$Z_2(s)$	$G_c(s) = -\frac{Z_2(s)}{Z_1(s)}$
Compensação por atraso de fase			$-\frac{C_1 \left(s + \frac{1}{R_1 C_1} \right)}{C_2 \left(s + \frac{1}{R_2 C_2} \right)}$ onde $R_2 C_2 > R_1 C_1$
Compensação por avanço de fase			$-\frac{C_1 \left(s + \frac{1}{R_1 C_1} \right)}{C_2 \left(s + \frac{1}{R_2 C_2} \right)}$ onde : $R_1 C_1 > R_2 C_2$

Fig. 9.61

Compensador por atraso e avanço de fase implementado com amplificadores operacionais

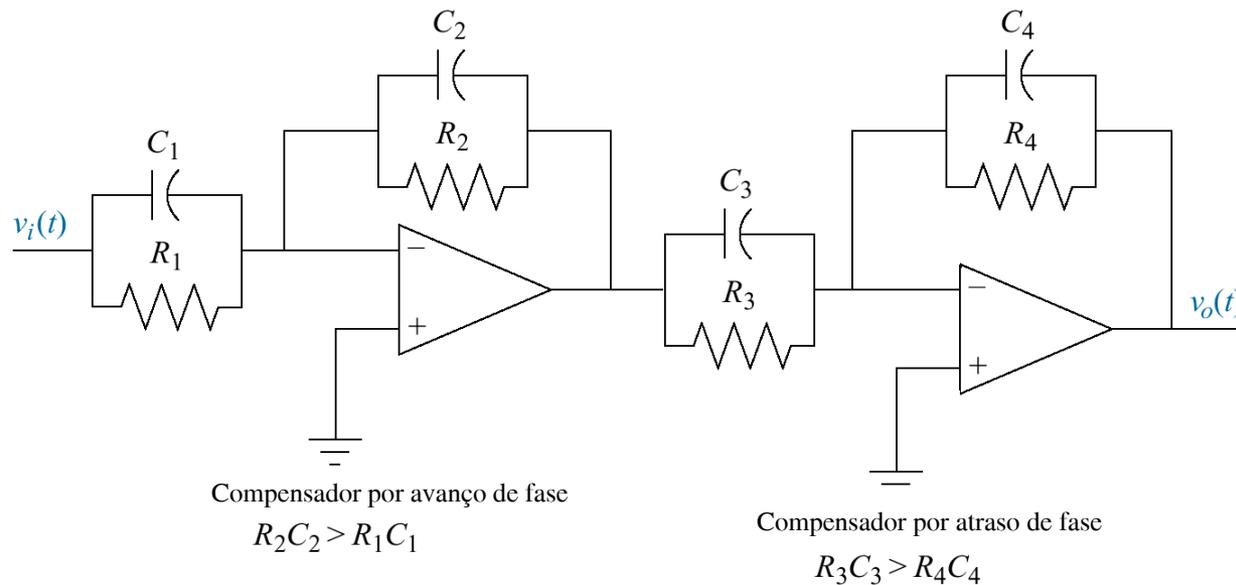


Fig. 9.62
Controlador PID

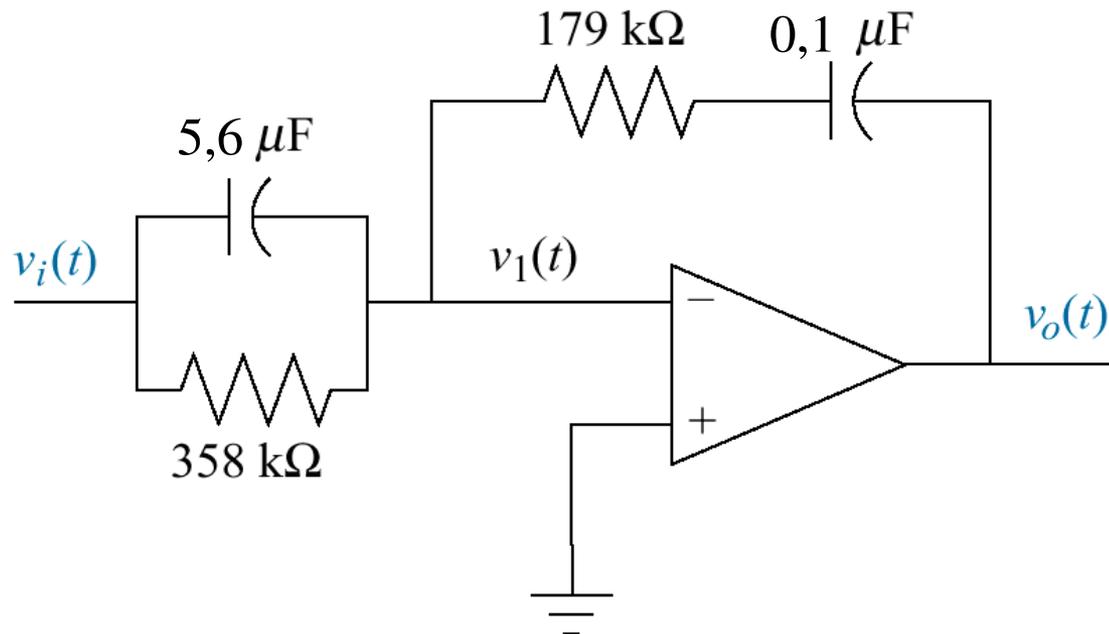


Tabela 9.11

Realização passiva de compensadores (slide 1 de 2)

Função	Circuito	Função de transferência $\frac{V_o(s)}{V_i(s)}$
Compensação por atraso de fase		$\frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{s + \frac{1}{R_2 C}}{s + \frac{1}{(R_1 + R_2) C}}$
Compensação por avanço de fase		$\frac{s + \frac{1}{R_1 C}}{s + \frac{1}{R_1 C} + \frac{1}{R_2 C}}$

(continua no próximo slide)

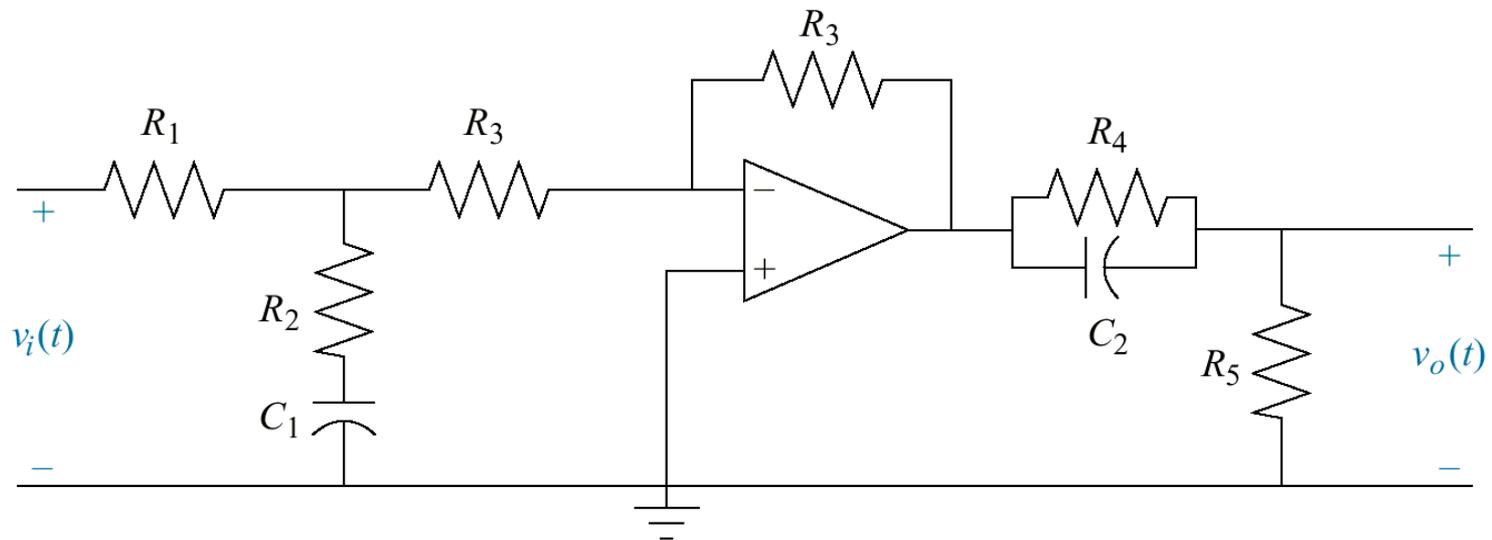
Tabela 9.11

Realização passiva de compensadores (slide 2 de 2)

Função	Circuito	Função de transferência	$\frac{V_o(s)}{V_i(s)}$
Compensação por atraso e avanço de fase		$\frac{\left(s + \frac{1}{R_1 C_1}\right)\left(s + \frac{1}{R_2 C_2}\right)}{s^2 + \left(\frac{1}{R_1 C_1} + \frac{1}{R_2 C_2} + \frac{1}{R_2 C_1}\right)s + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}}$	

Fig. 9.63

Compensador por atraso e avanço de fase implementado com associação em cascata de estruturas de atraso de fase e de avanço de fase com desacoplamento



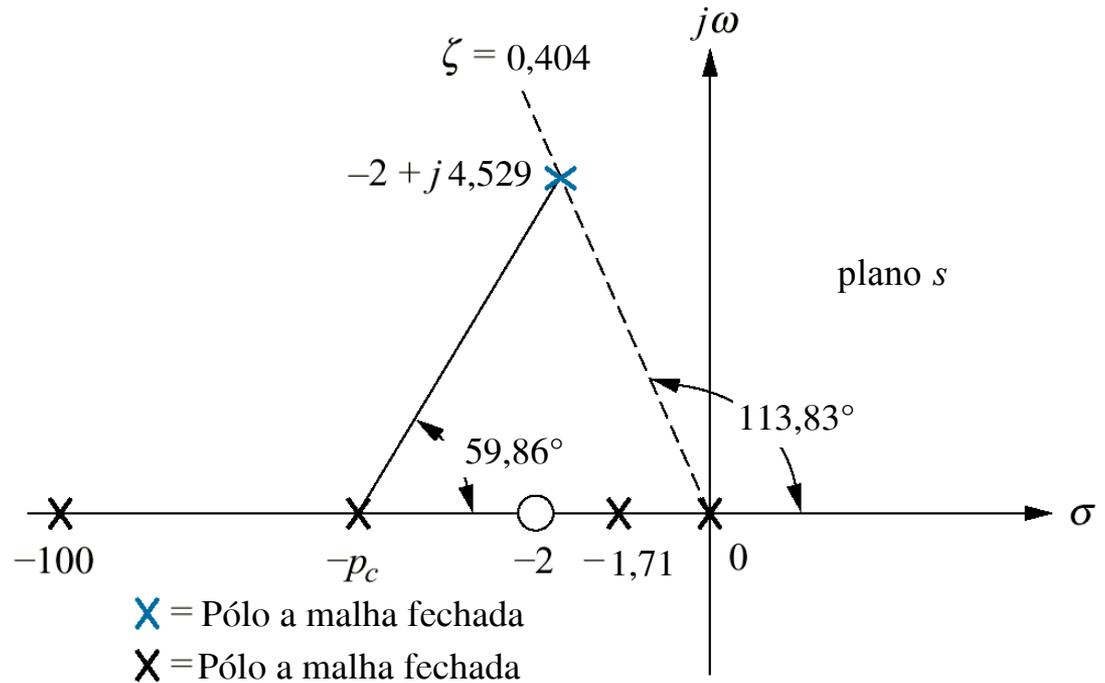
Atraso de fase

Desacoplamento

Avanço de fase

Ganho = -1

Fig. 9.64
 Posicionando
 um pólo
 compensador



Nota: Esta figura não está desenhada em escala

Fig. 9.65

Implementação de compensador por atraso e avanço de fase

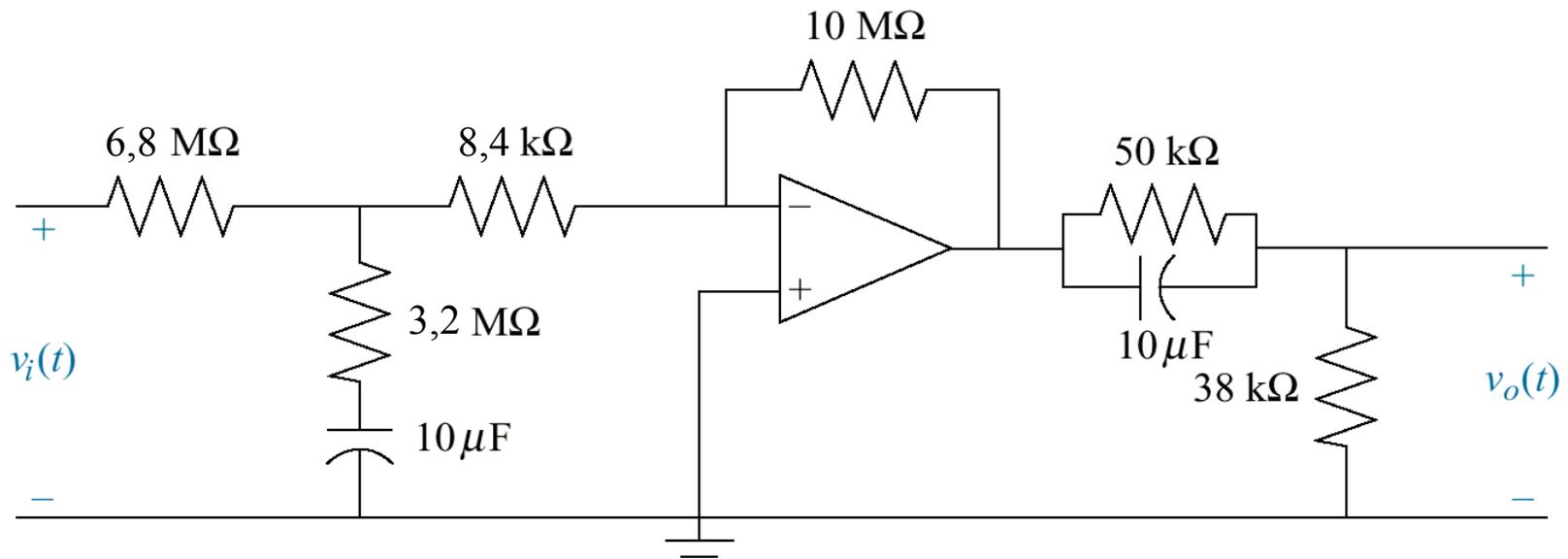


Fig. 9.66

Resposta ao degrau do controle de antena compensado por atraso e avanço de fase

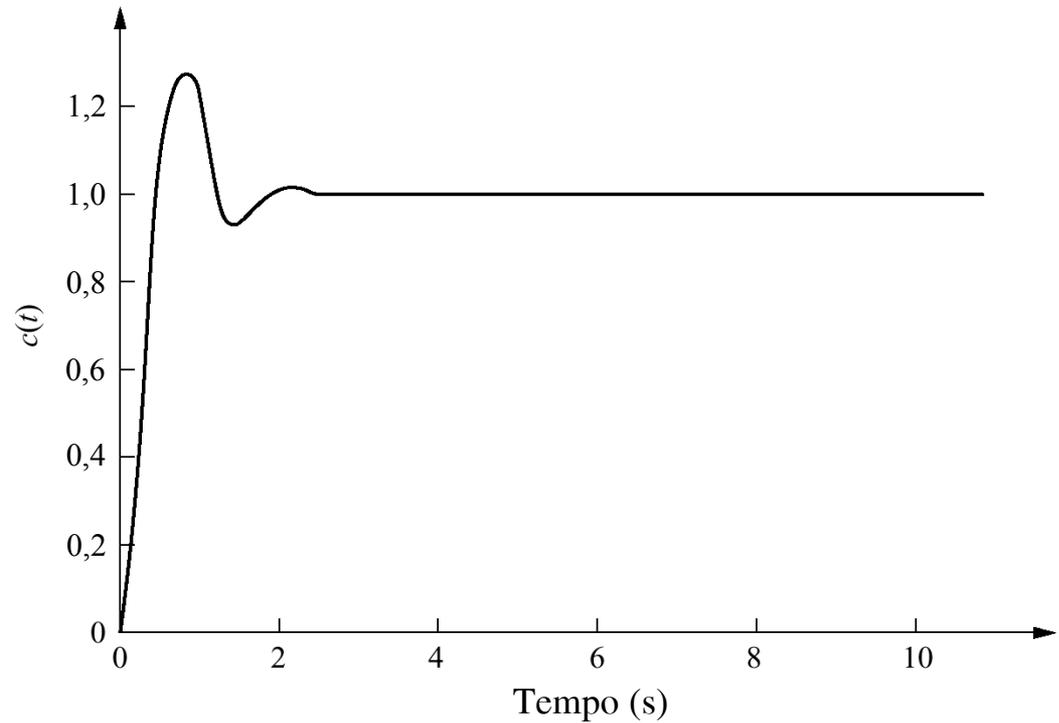
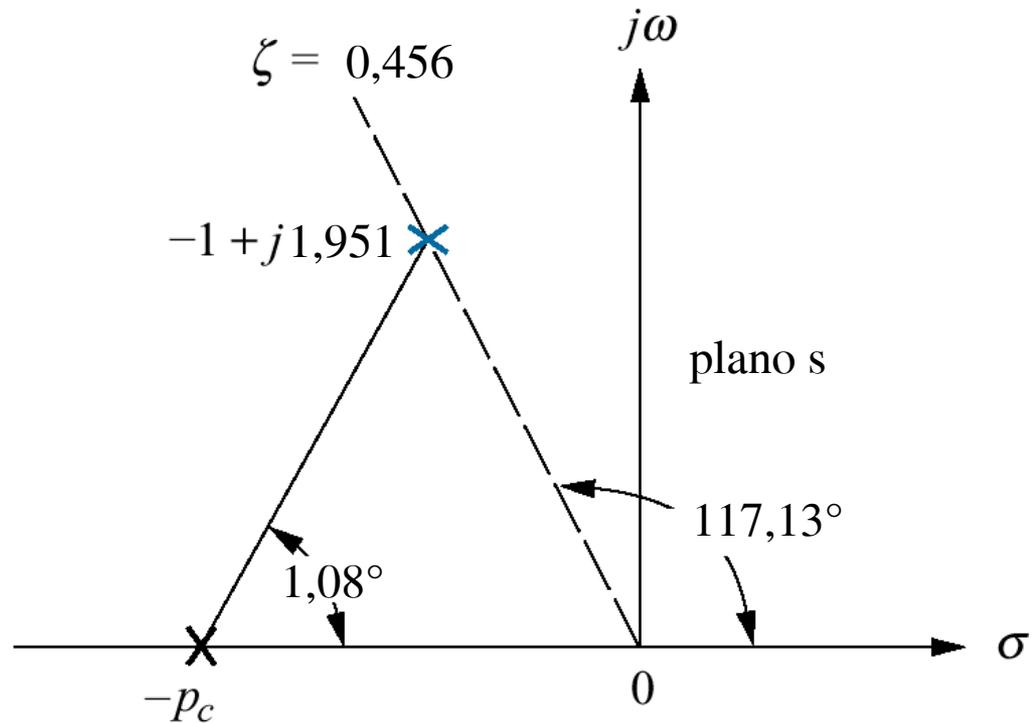


Fig. 9.67
Localizando o pólo do compensador



X = Pólo a malha fechada

X = Pólo a malha aberta

Nota: Esta figura não está desenhada em escala

Fig. 9.68

Lugar das raízes para sistema compensado por avanço de fase

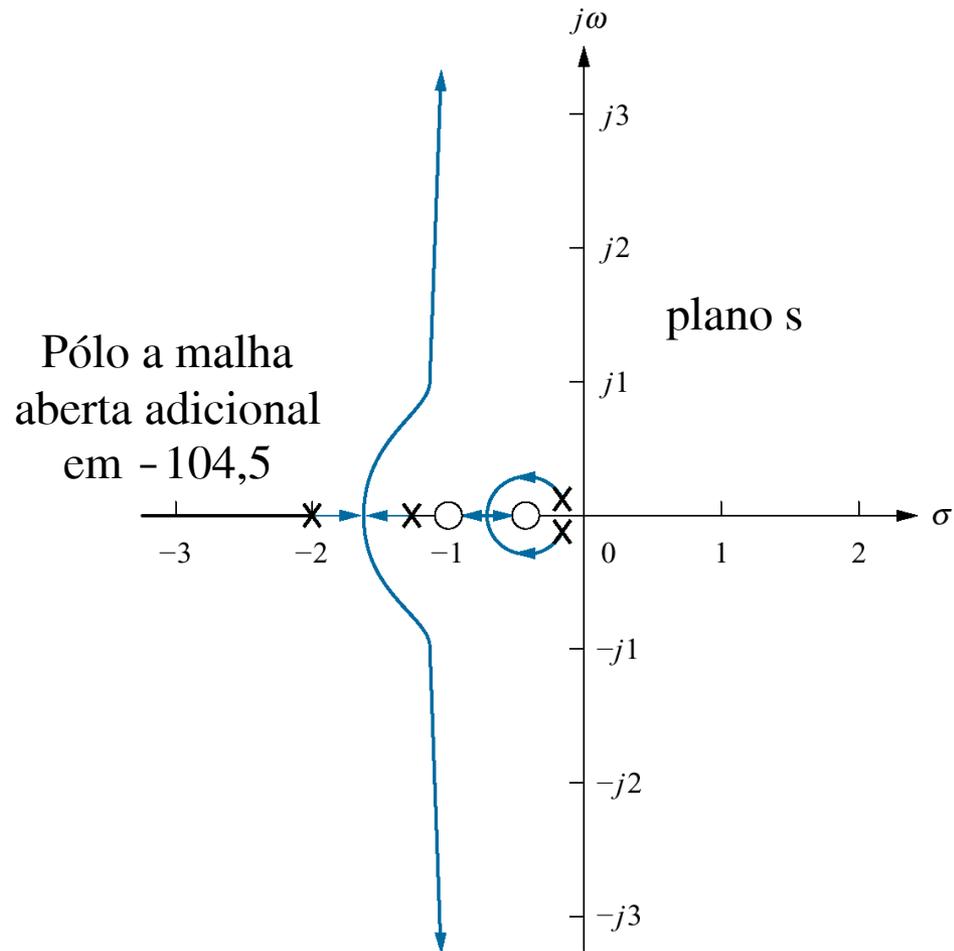


Fig. 9.69

Resposta ao degrau do veículo UFSS
compensado por avanço de fase

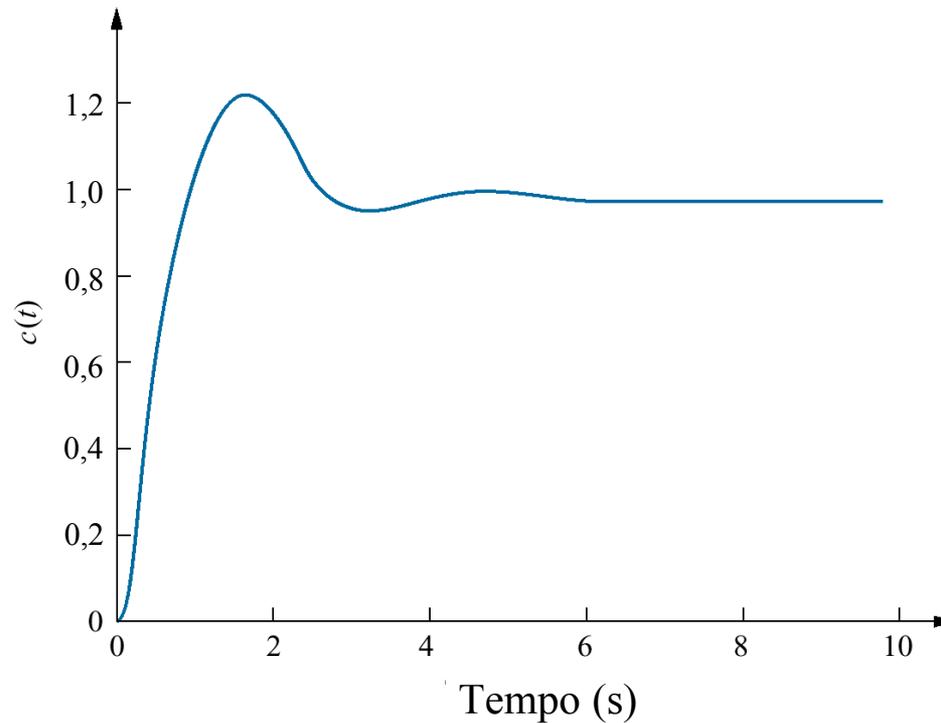


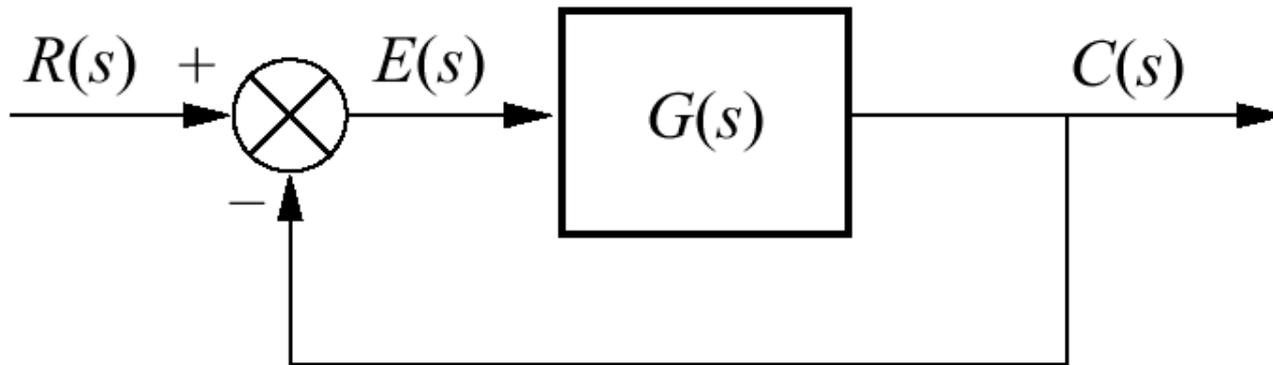
Fig. P9.1

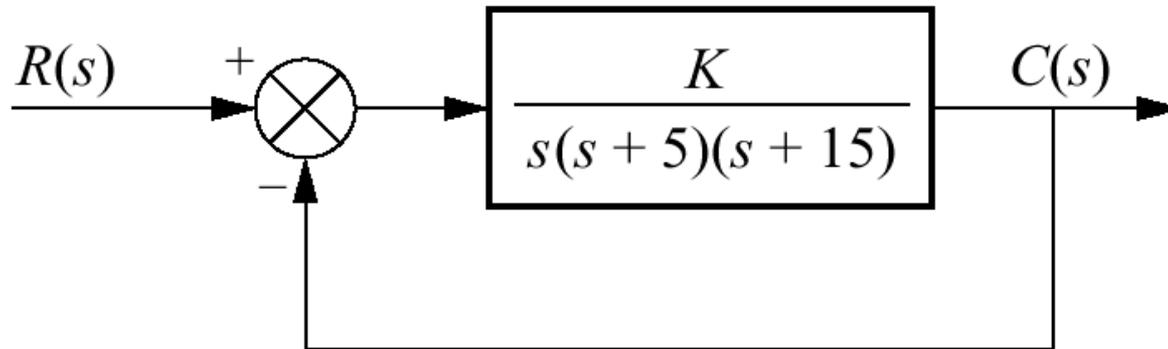
Fig. P9.2

Fig. P9.3

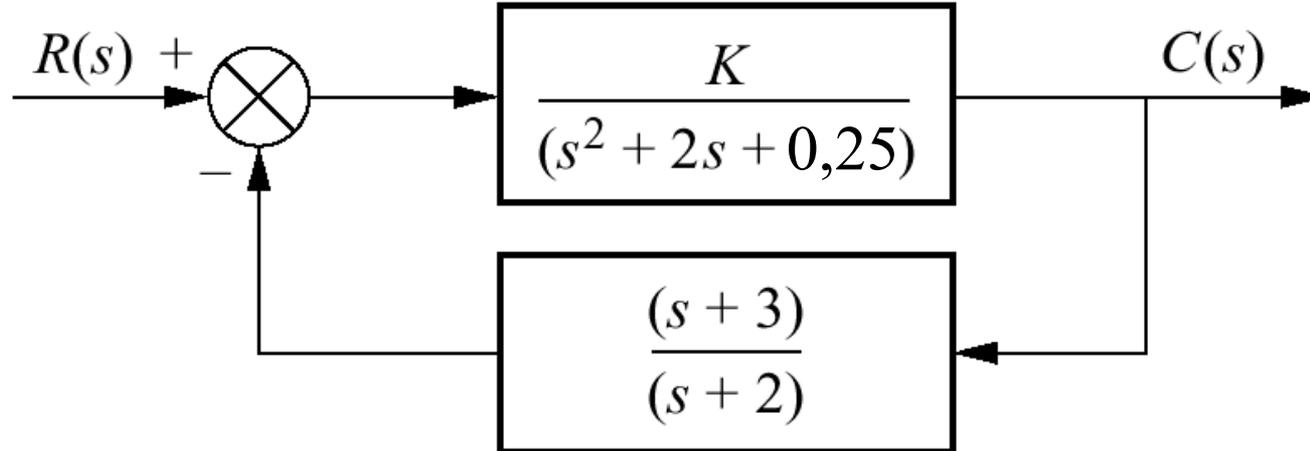


Fig. P9.4

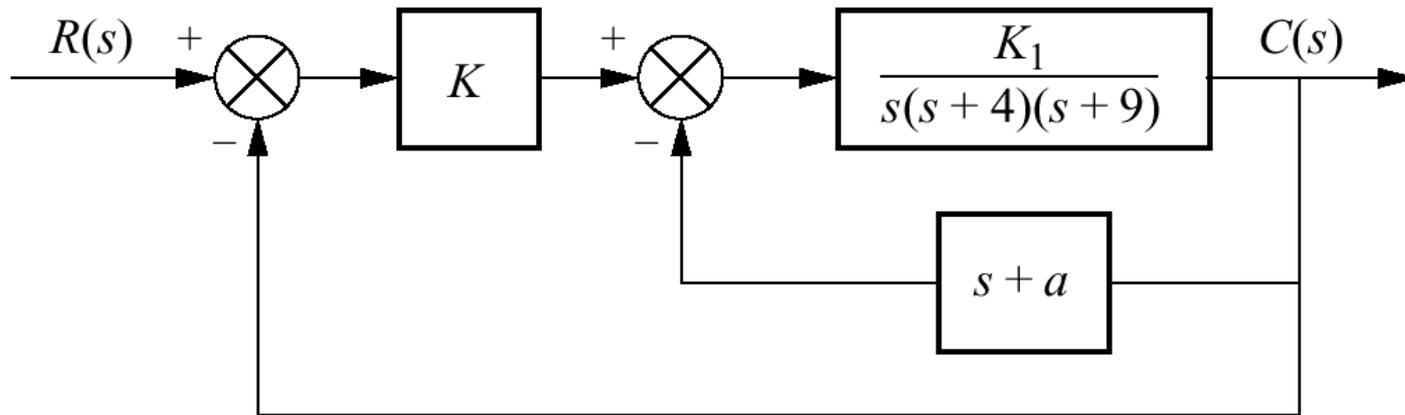


Fig. P9.5

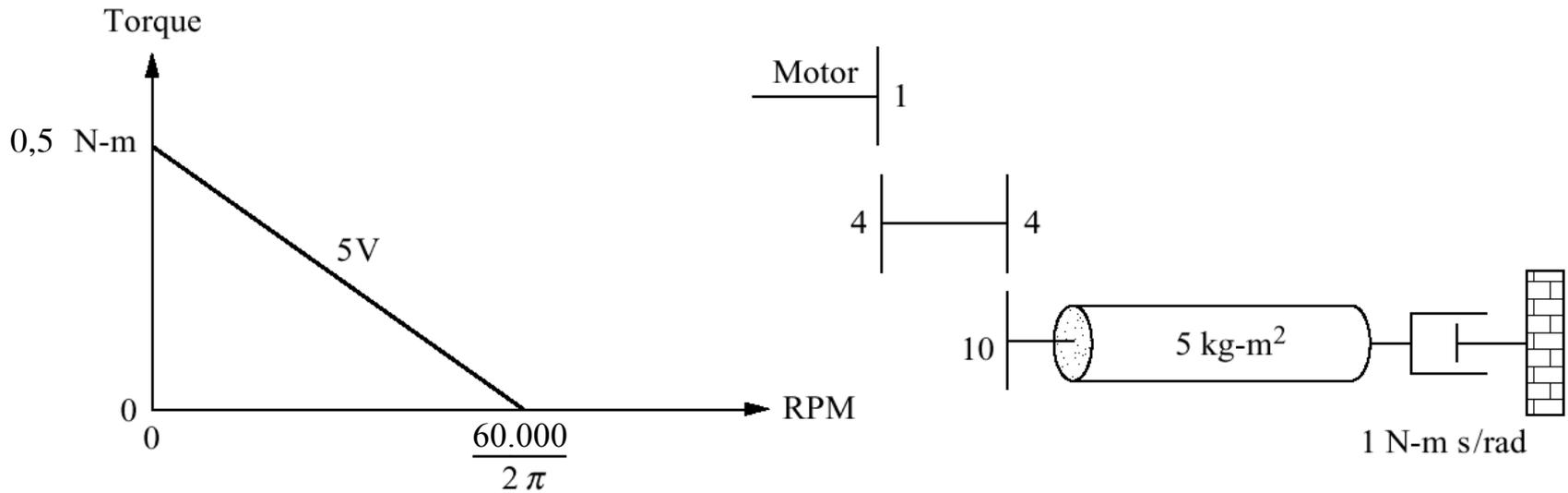


Fig. P9.6

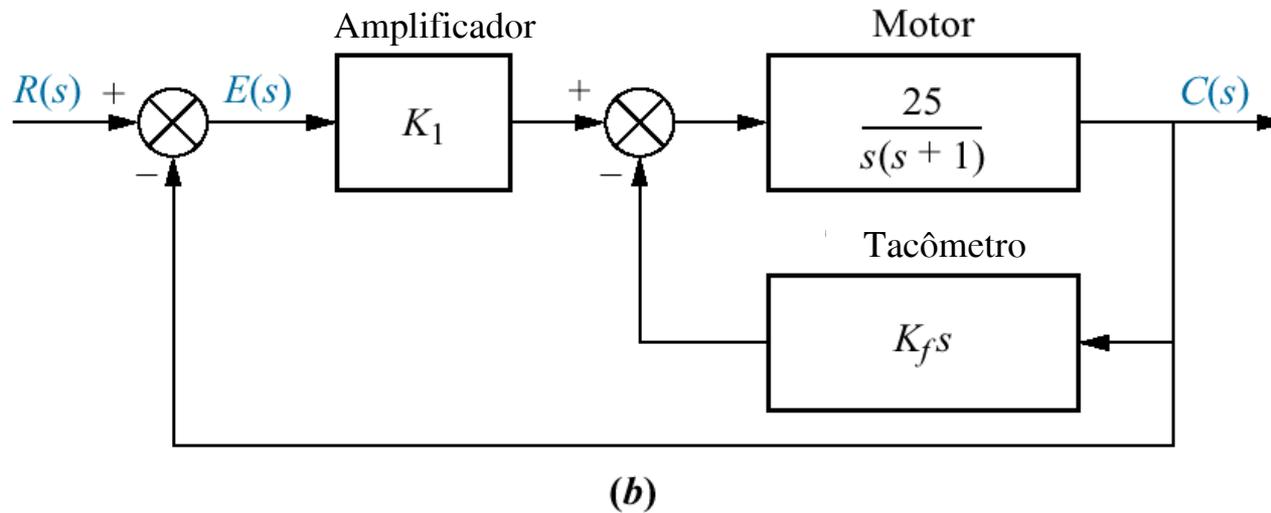
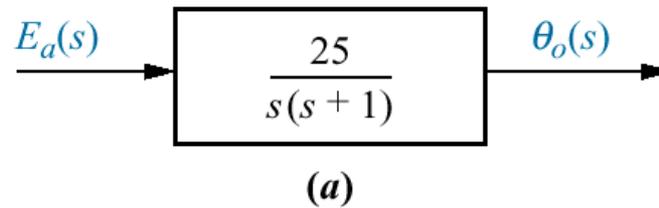


Fig. P9.7

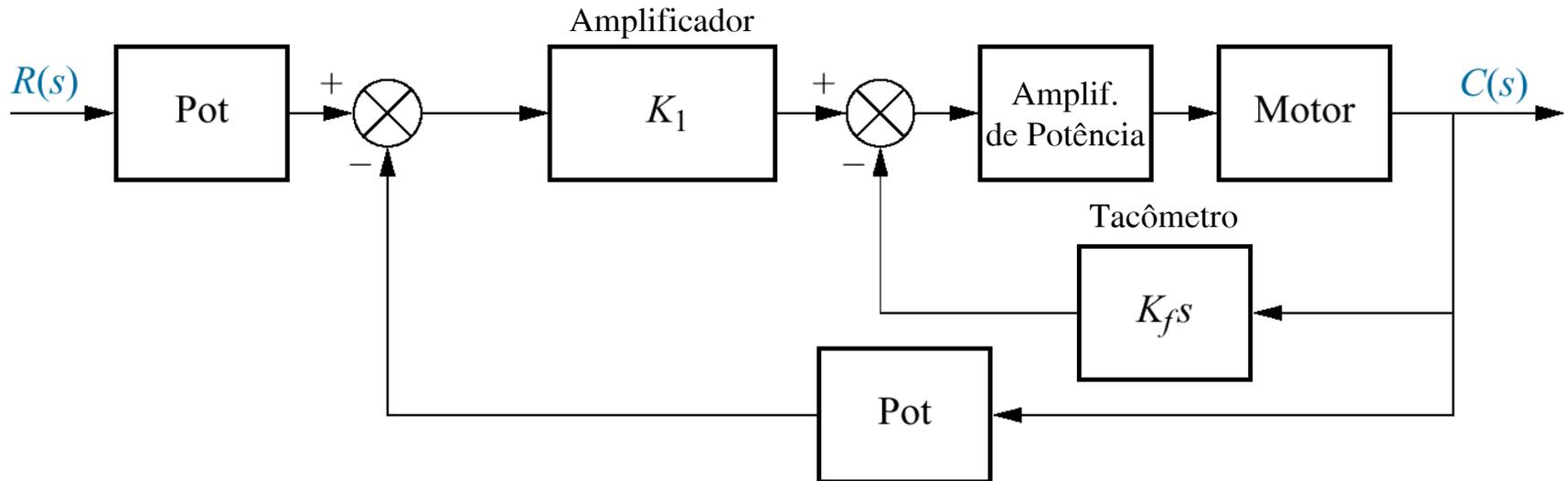


Fig. P9.8

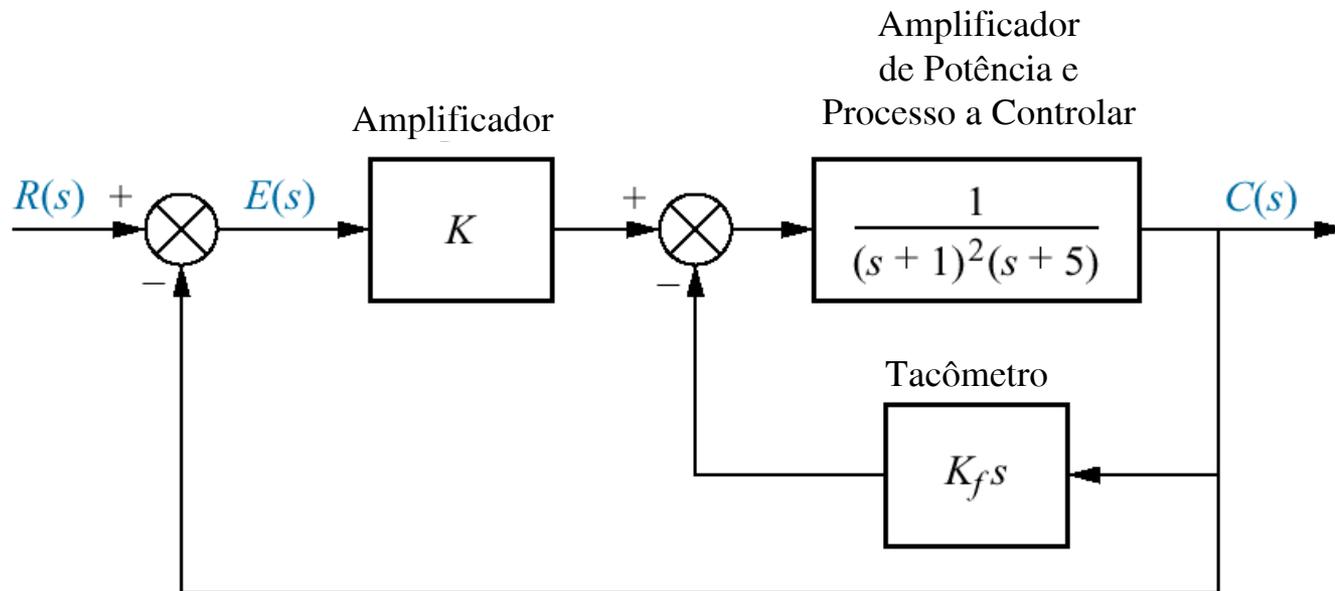


Fig. P9.9

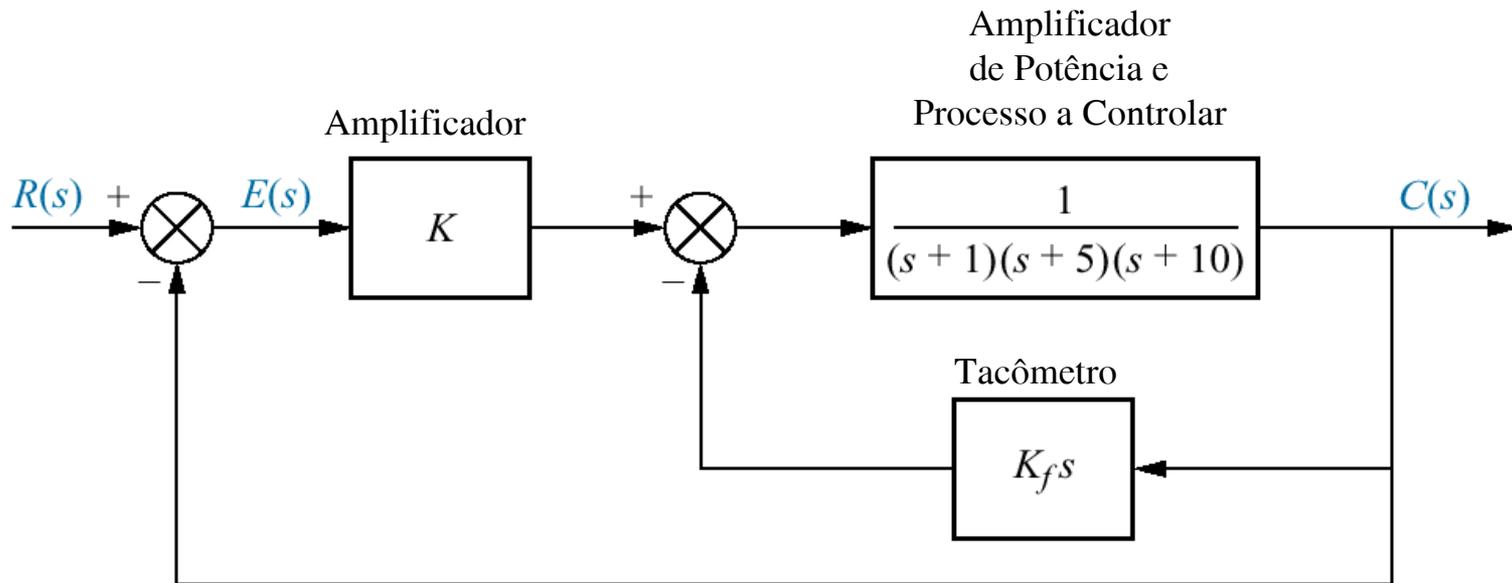


Fig. P9.10

Sistema de controle de temperatura de processo químico

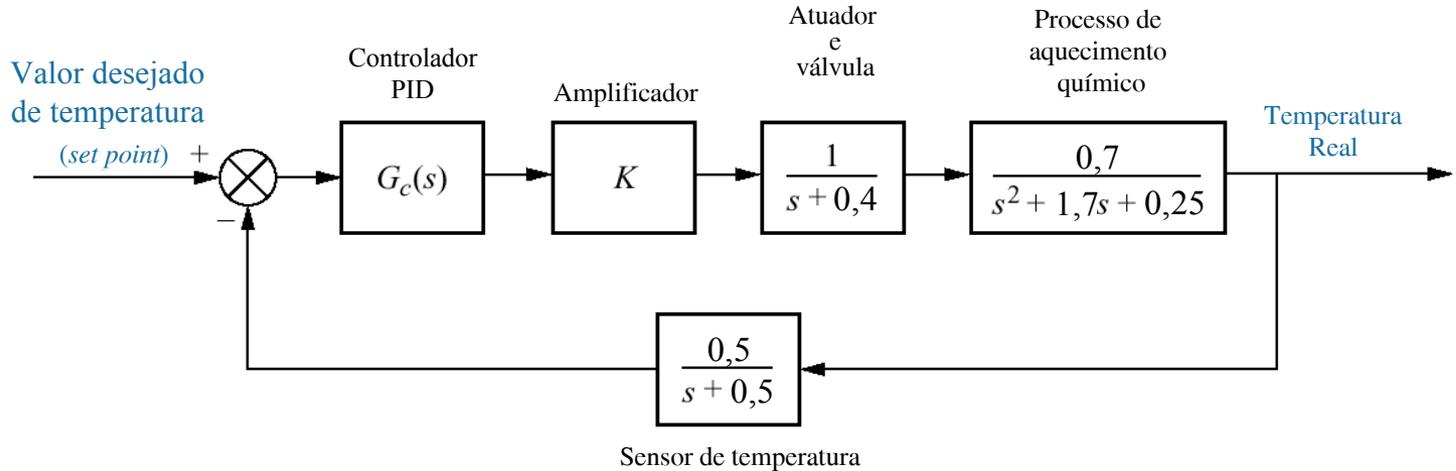
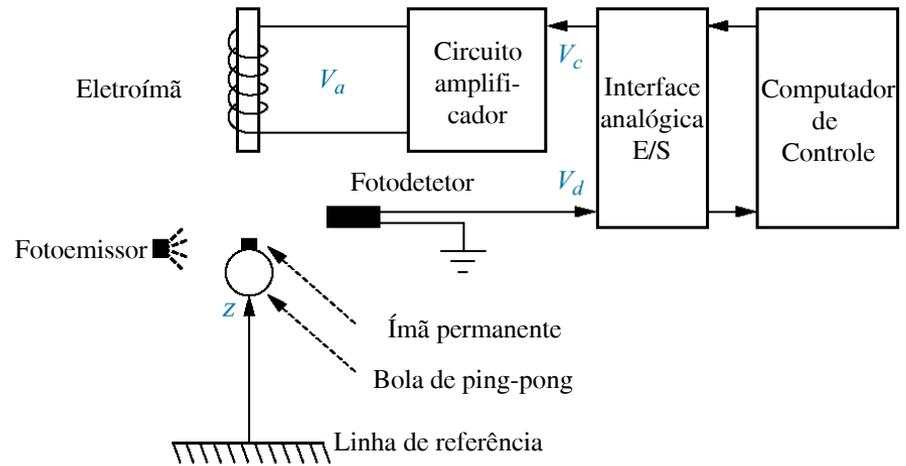
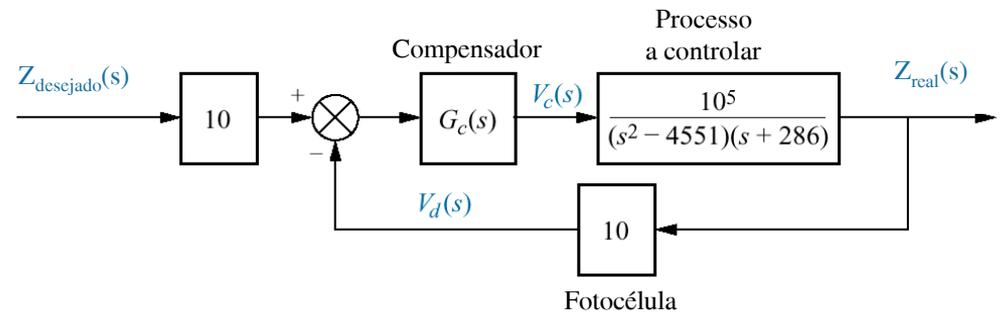


Fig. P9.11

a. Sistema de levitação magnética (©1993 IEEE);
 b. diagrama de blocos



(a)



(b)

Fig. P9.12

Diagrama de blocos simplificado para o controle do ângulo de ataque

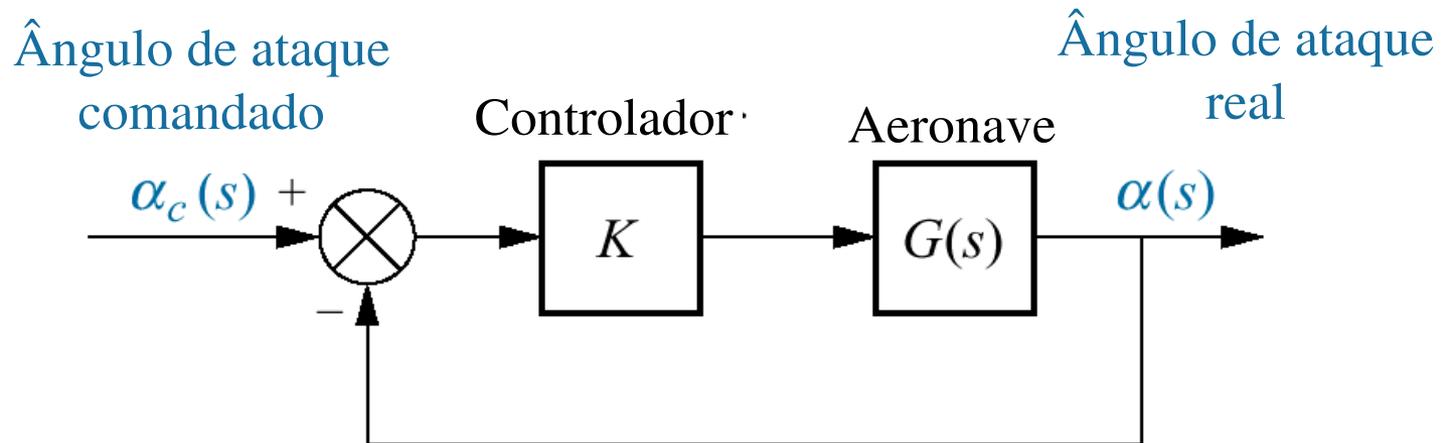


Fig. P9.13

Diagrama de blocos simplificado do controle do ângulo de manobra de um veículo guiado automaticamente

