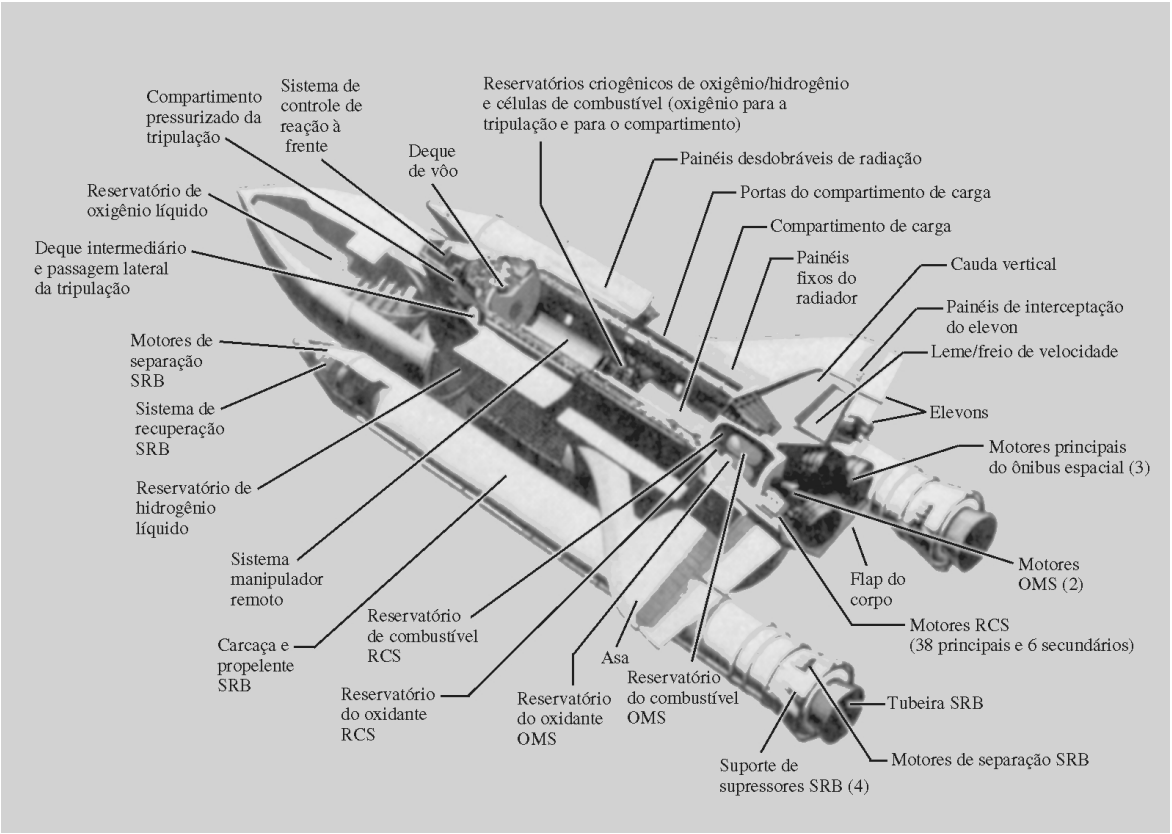
Capítulo 5

Redução de Subsistemas Múltiplos

Fig. 5.1

O ônibus espacial é constituído de diversos subsistemas.Você pode identificar os que são sistemas de controle ou partes de sistema de controle?



© NASA-Houston.

Fig. 5.2
Componentes de um diagrama de blocos de um sistema linear e invariante no tempo

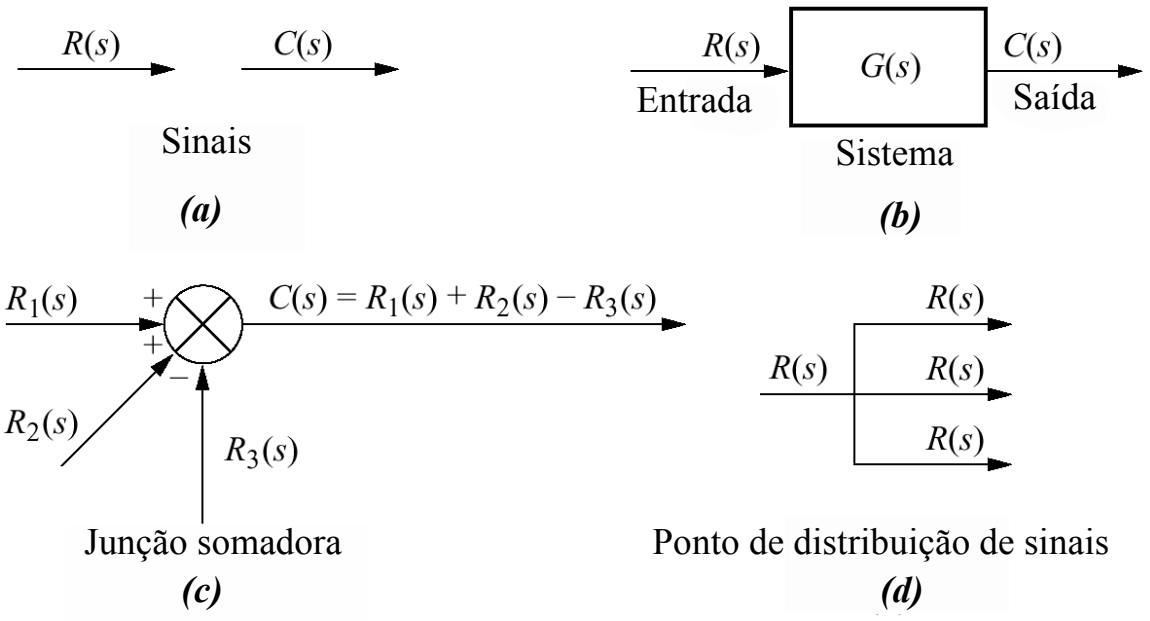


Fig. 5.3

a. Subsistemas em cascata;
b. Função de transferência equivalente

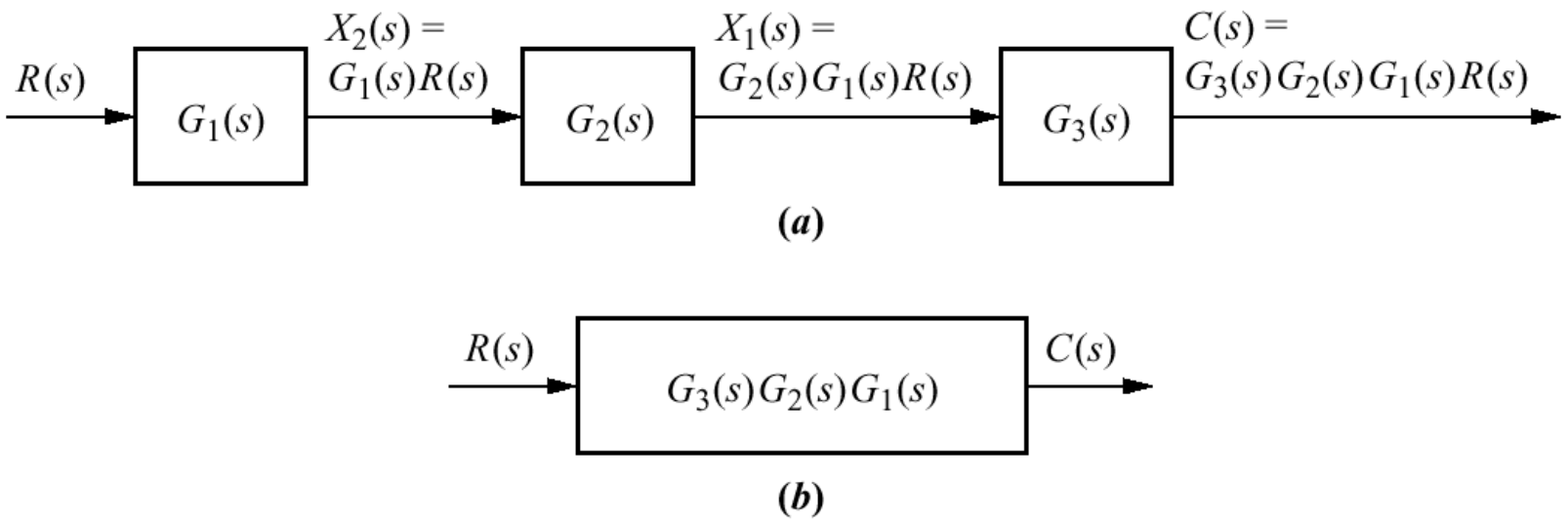


Fig. 5.4

Efeito de carga sistemas em cascata

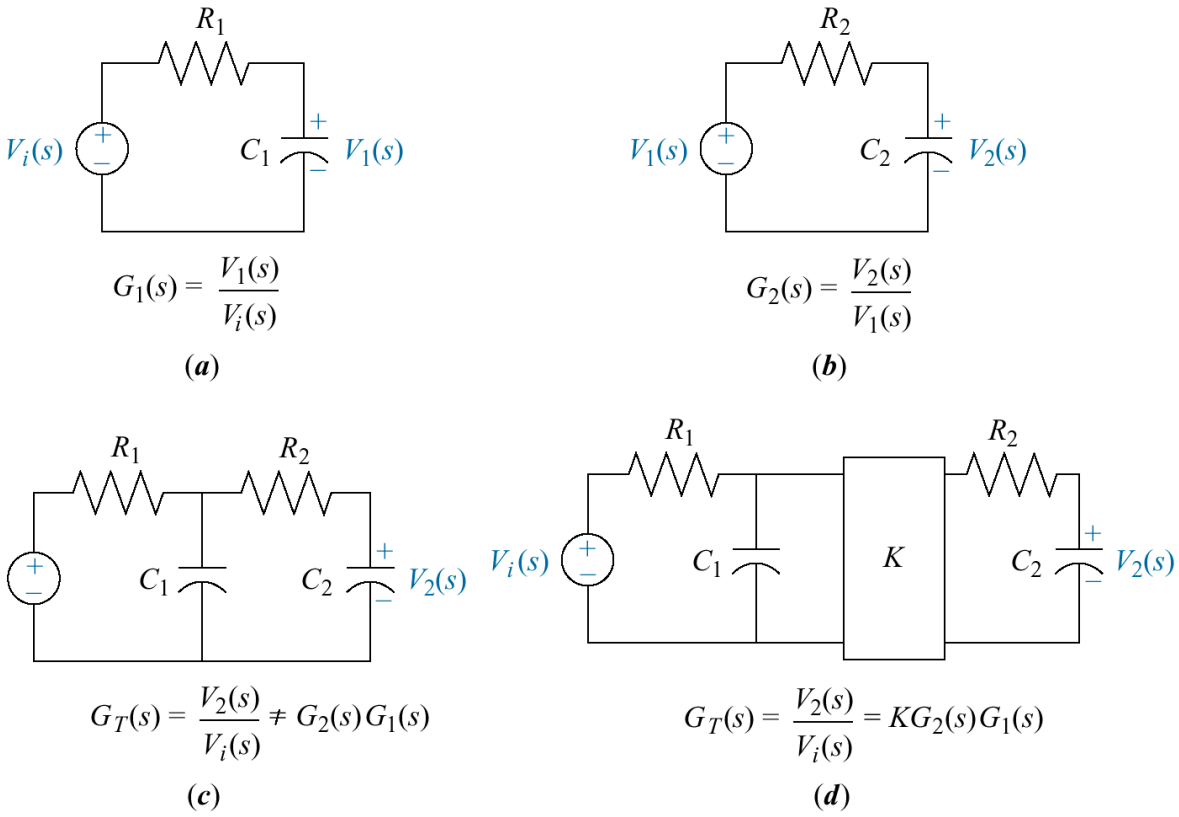


Fig. 5.5

a. Subsistemas em paralelo;
b. Função de transferência equivalente

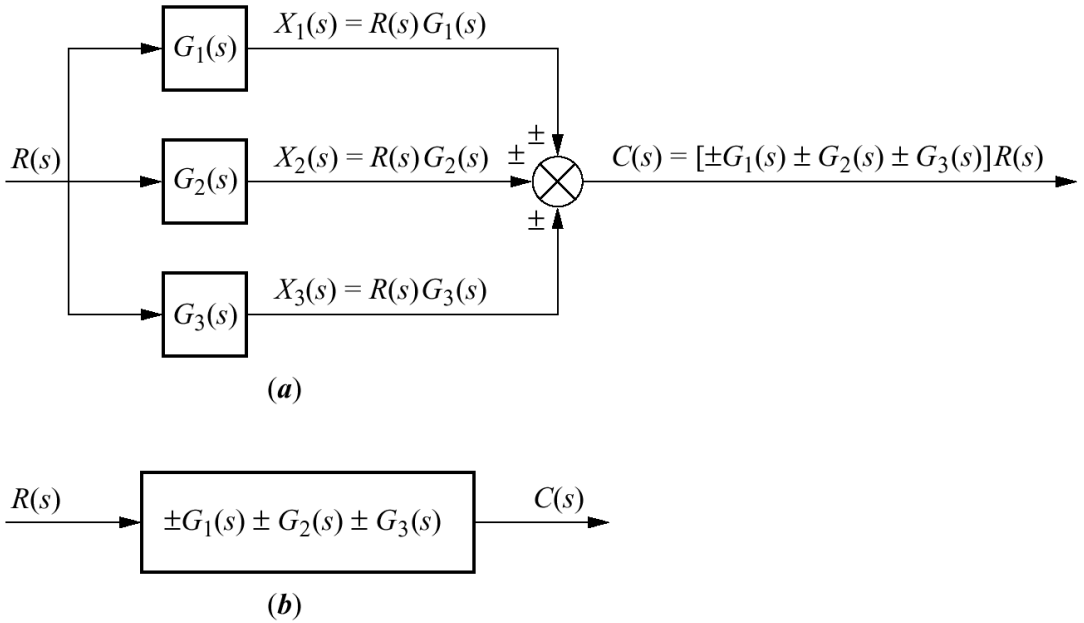


Fig. 5.6
a. Sistemas de controle com retroação;
b. modelo simplificado;
c. função de transferência equivalente

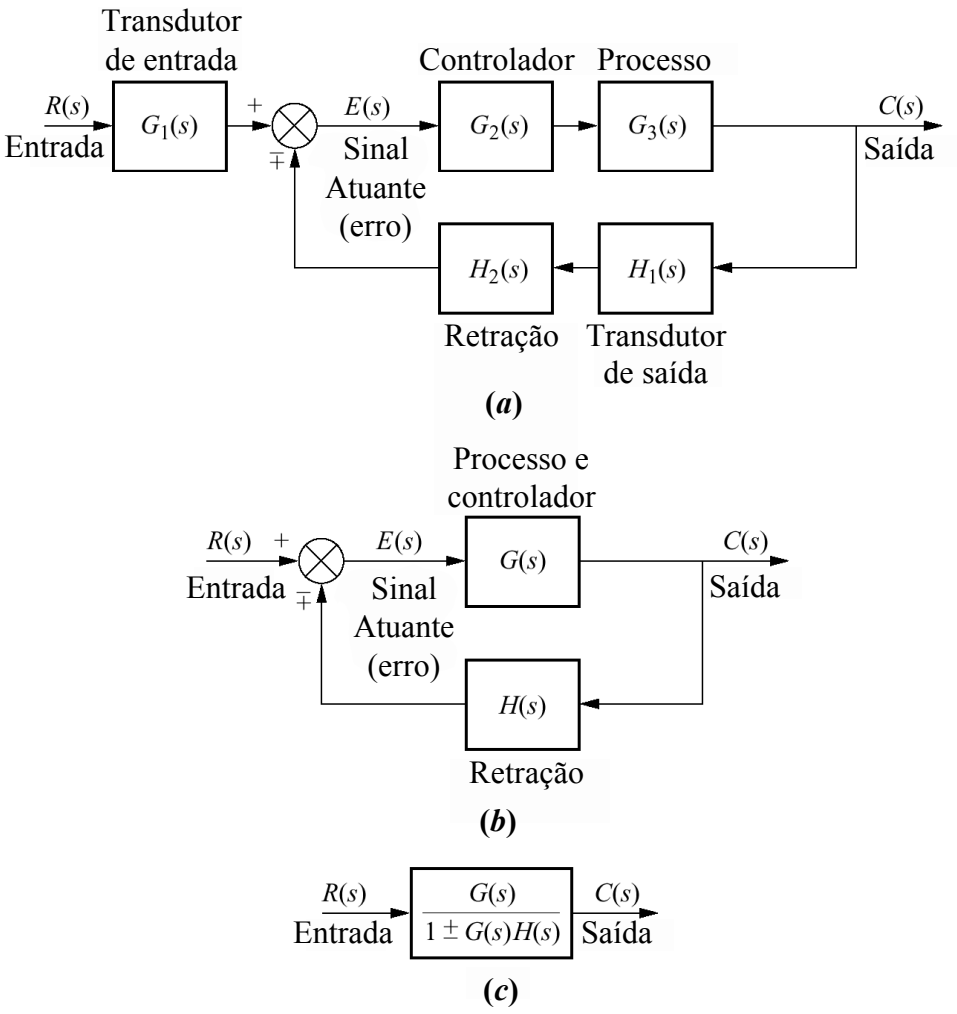


Fig. 5.7

Álgebra de diagrama de blocos para junções de soma – formas equivalentes de deslocar um bloco
a. à esquerda da junção somadora;
b. à direita da junção somadora

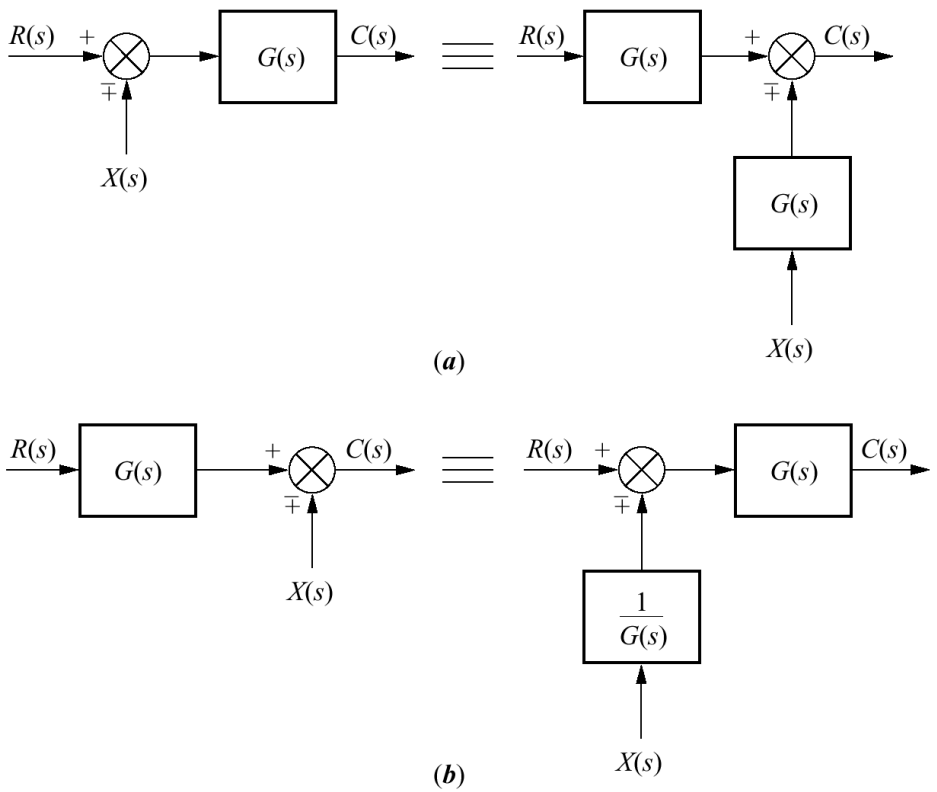


Fig. 5.8

Álgebra de diagrama de blocos para junções de aquisição de sinais – formas equivalentes de deslocar um bloco
a. à esquerda da junção de aquisição de sinais;
b. á direita da junção de aquisição de sinais

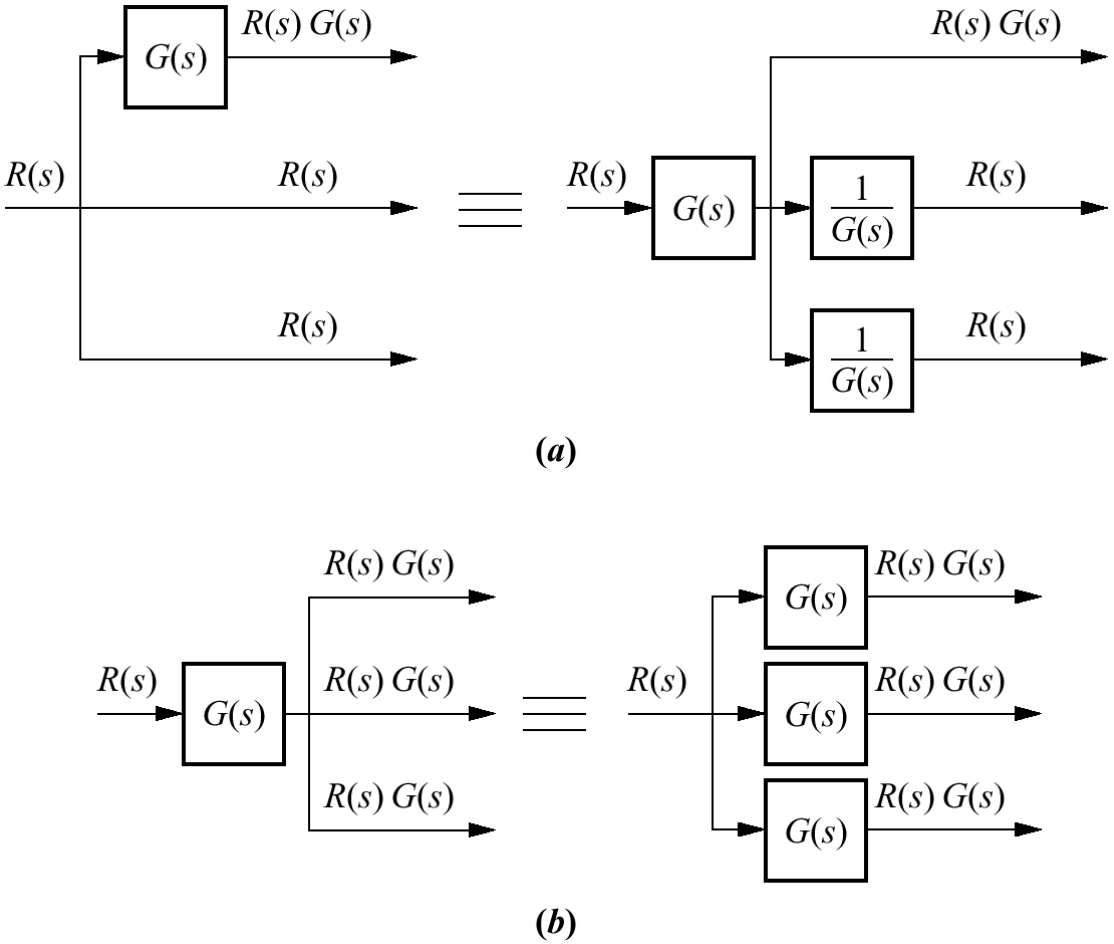


Fig. 5.9
Diagramas de blocos para o Exemplo5.1

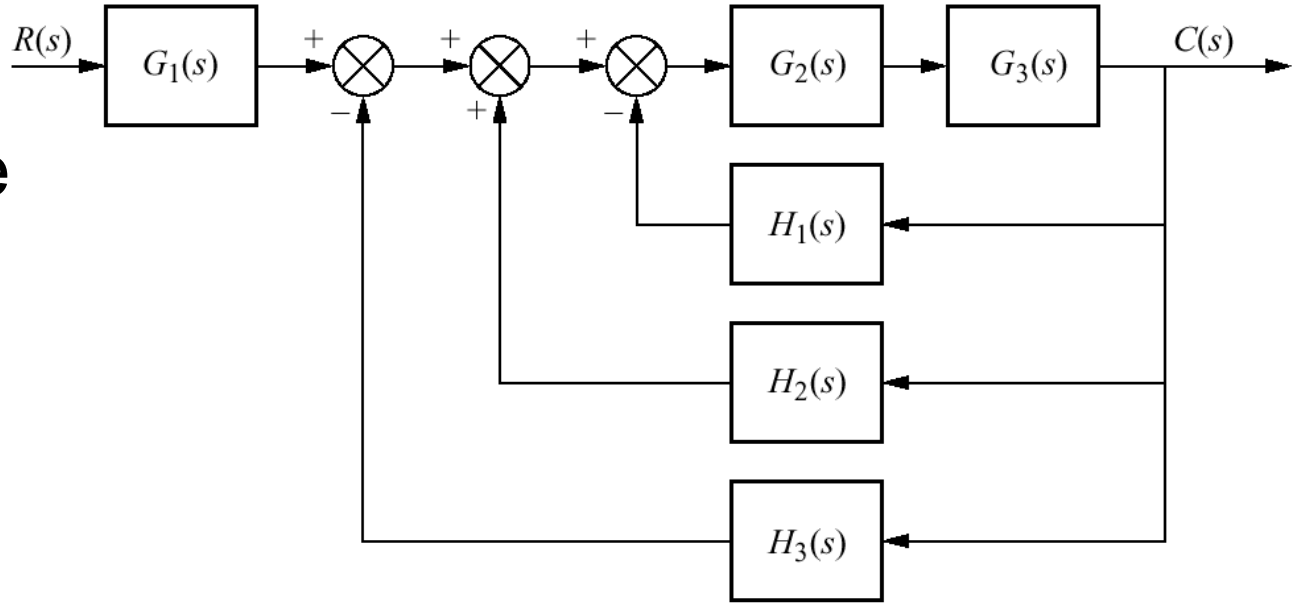


Fig. 5.10

Etapas na solução do Exemplo:

a. reunir as junções de soma em uma única;

b. formar o sistema em cascata equivalente no canal de ação à frente e o sistema paralelo equivalente no canal de retroação;

c. formar o sistema como retroação equivalente e multiplicar por $G_1(s)$ em cascata.

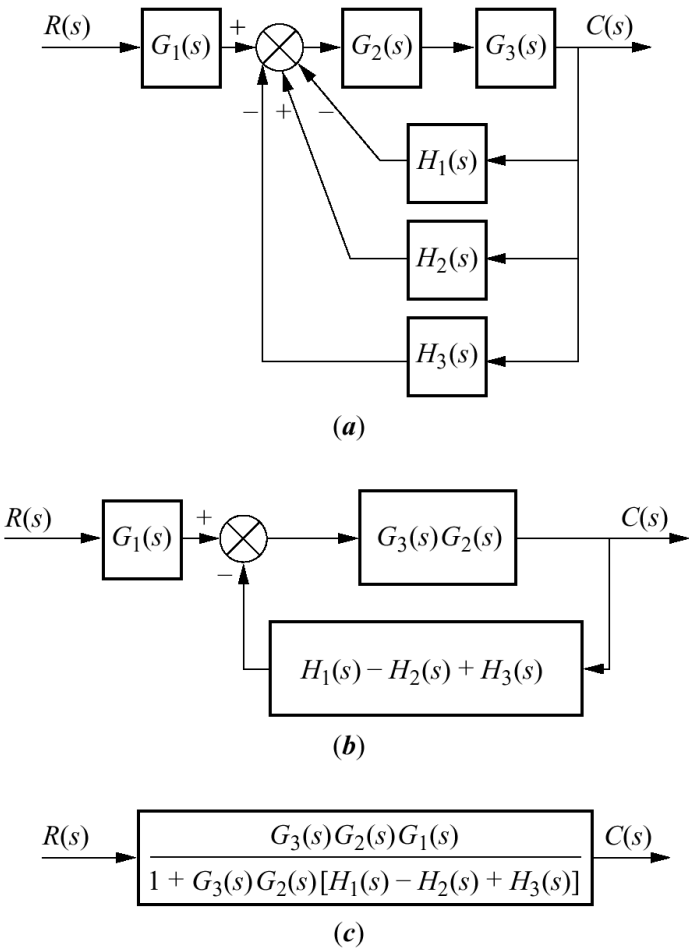


Fig. 5.11
Diagrama de blocos para o Exemplo 5.2

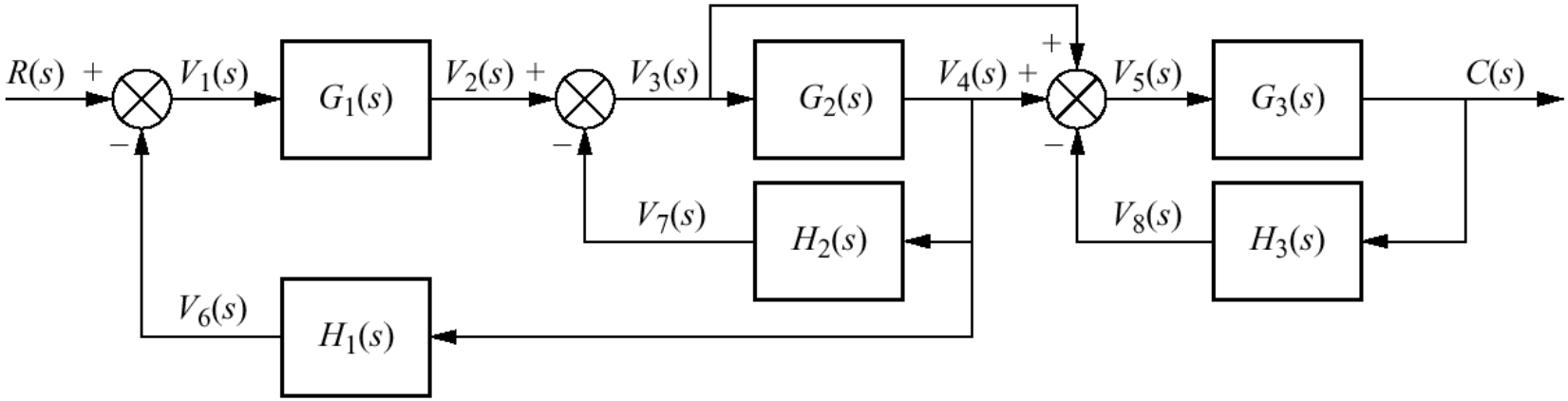


Fig. 5.12
Etapas na redução do diagrama de blocos para o Exemplo 5.2

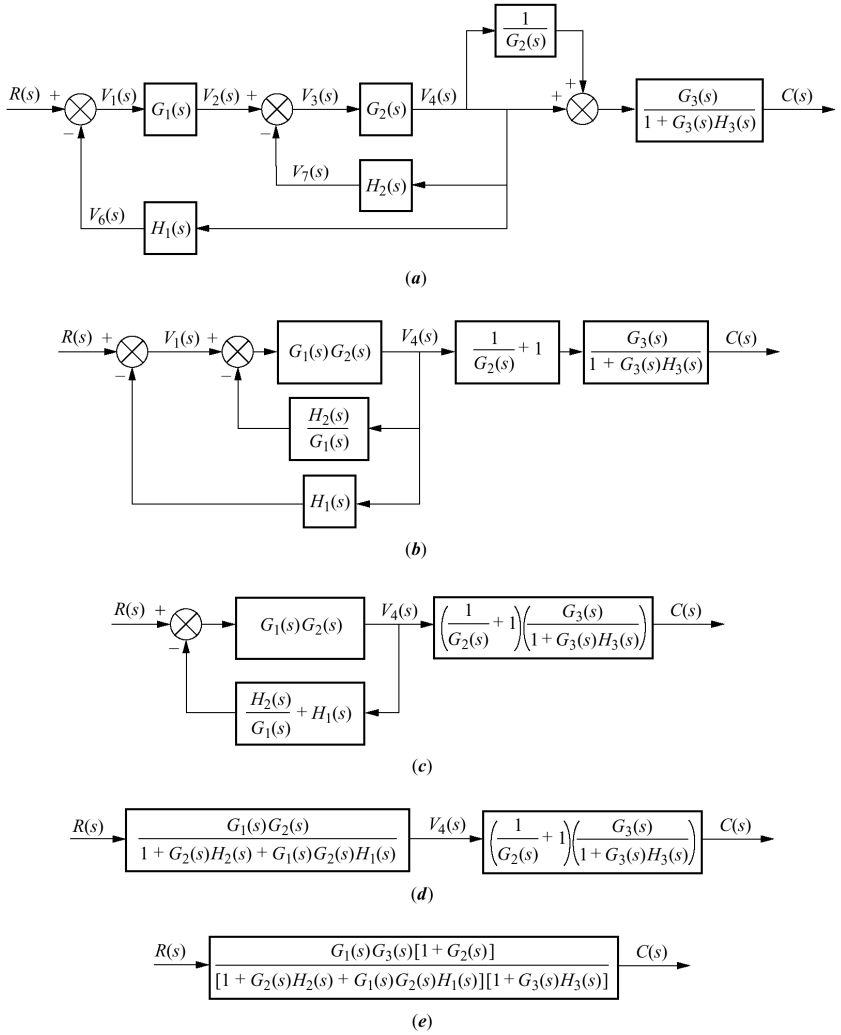


Fig. 5.13
Diagrama de blocos para o Exercício de Avaliação 5.1

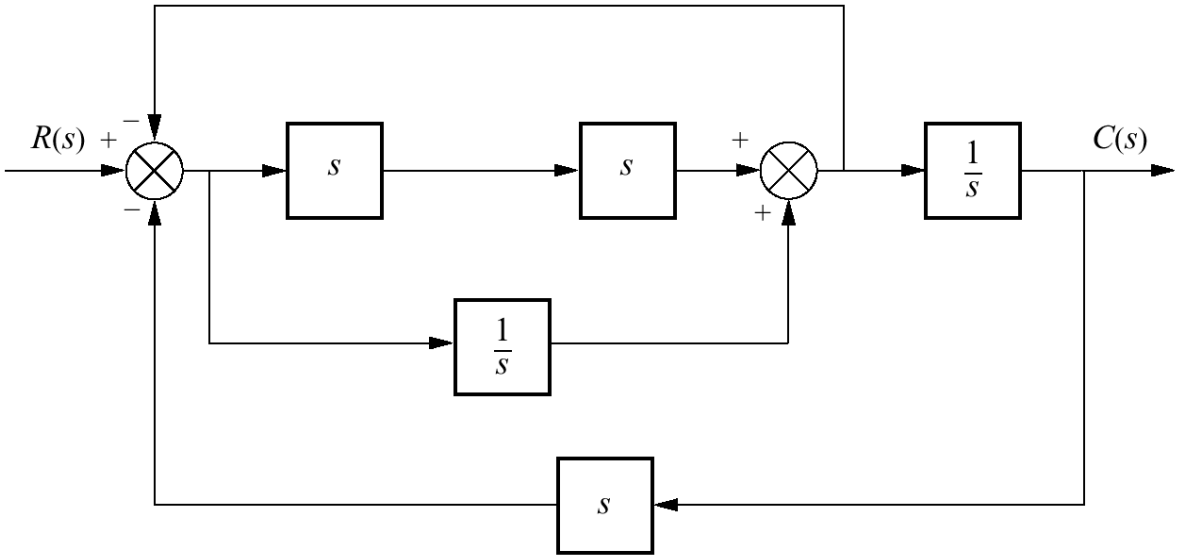


Fig. 5.14

Sistema de controle com retroação, de segunda ordem

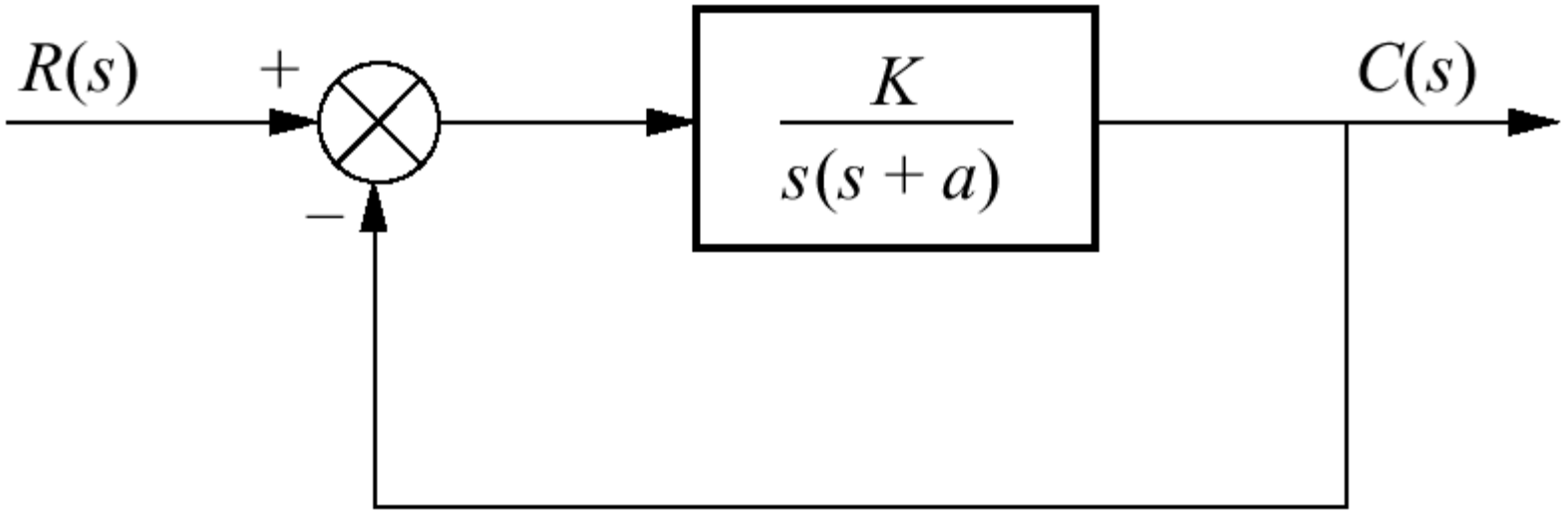


Fig. 5.15
Sistema com retroação
para o Exemplo 5.3

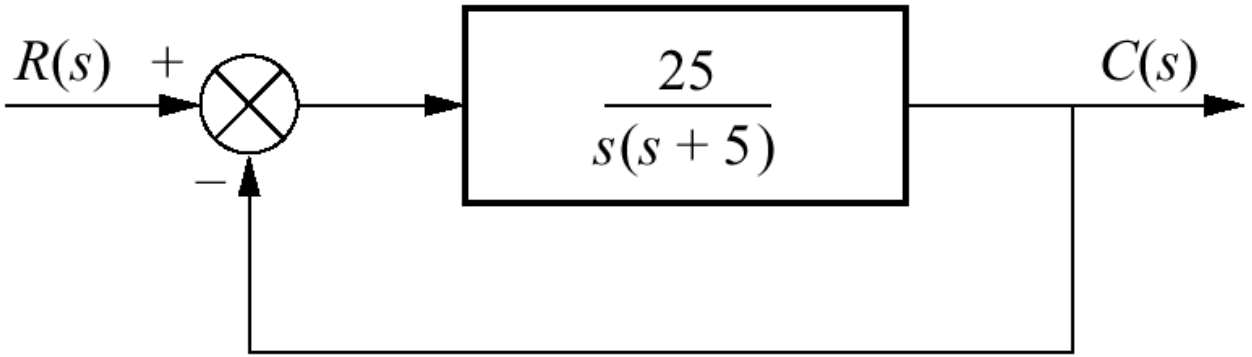


Fig. 5.16
Sistema com retroação
para o Exemplo 5.4

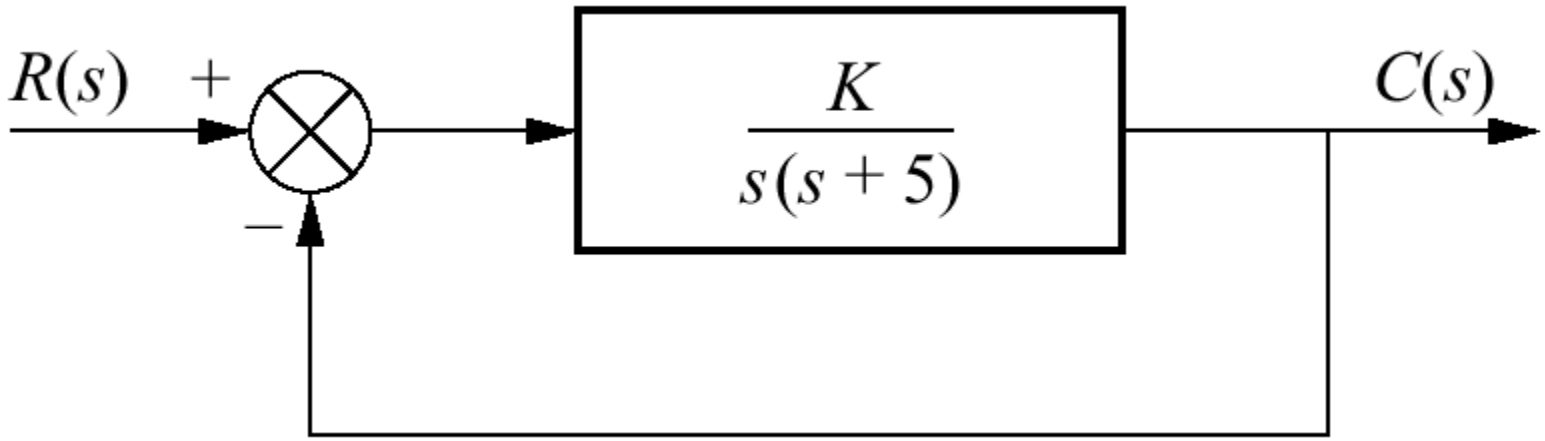


Fig. 5.17

Componentes de um diagrama de fluxo de sinal:

a. sistema;

b. sinal;

c. interconexão de sistemas e sinais

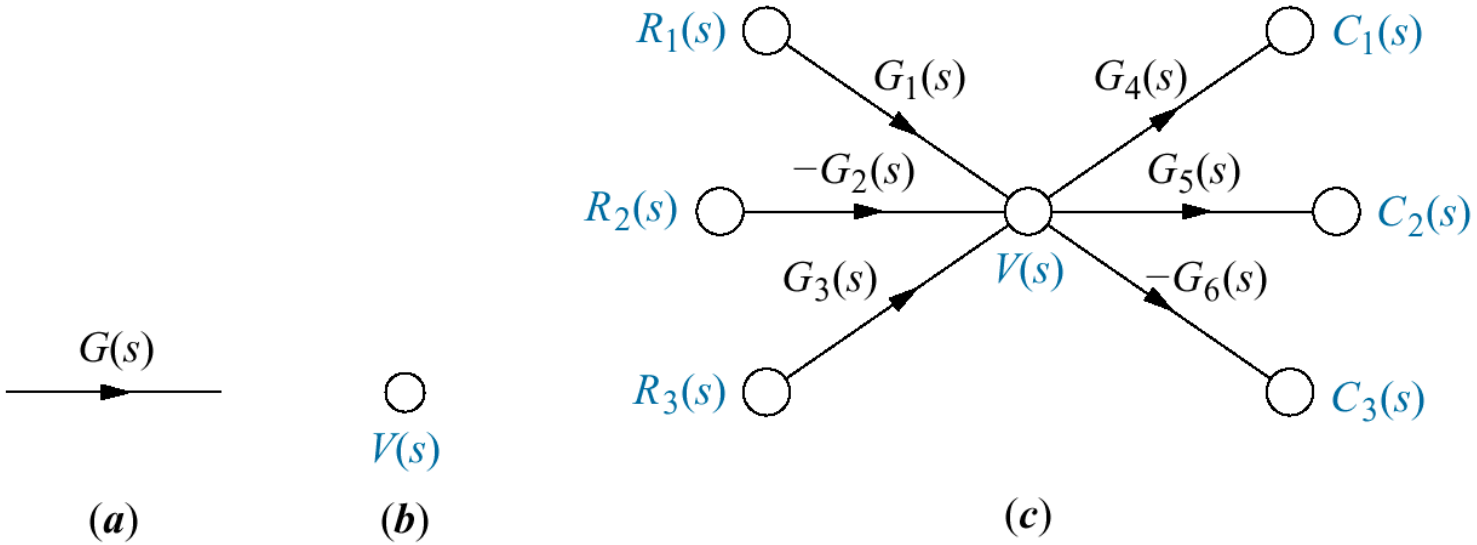


Fig. 5.18

Construindo diagramas de fluxo de sinal:

a. nós de sistemas em cascata (com base na Fig. 5.3(a));

b. diagrama de fluxo de sinal com sistemas em cascatas;

c. nós de sistemas em paralelo (com base na Fig. 5.5(a));

d. diagrama de fluxo de sinal com sistemas em paralelo;

e. nós de sistemas com retroação (com base na Fig. 5.6(b));

f. diagrama de fluxo de sinais de sistema com retroação

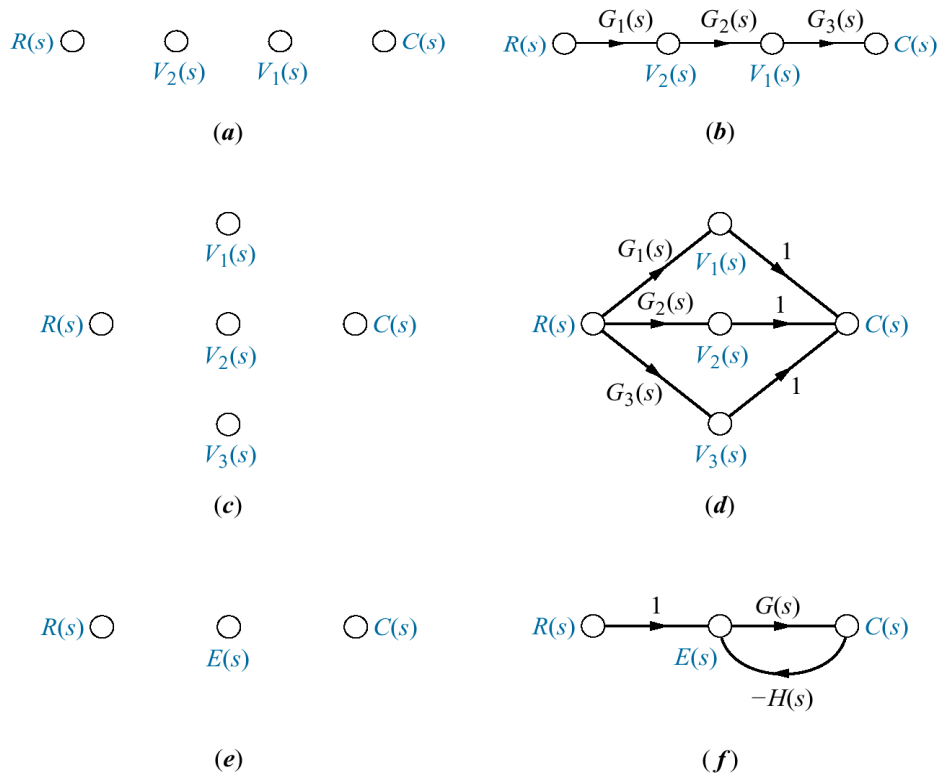


Fig. 5.19

Desenvolvimento de diagramas de fluxo de sinal:

a. nós de sinal;

b. diagrama de fluxo de sinal;

c. diagrama de fluxo de sinal amplificado

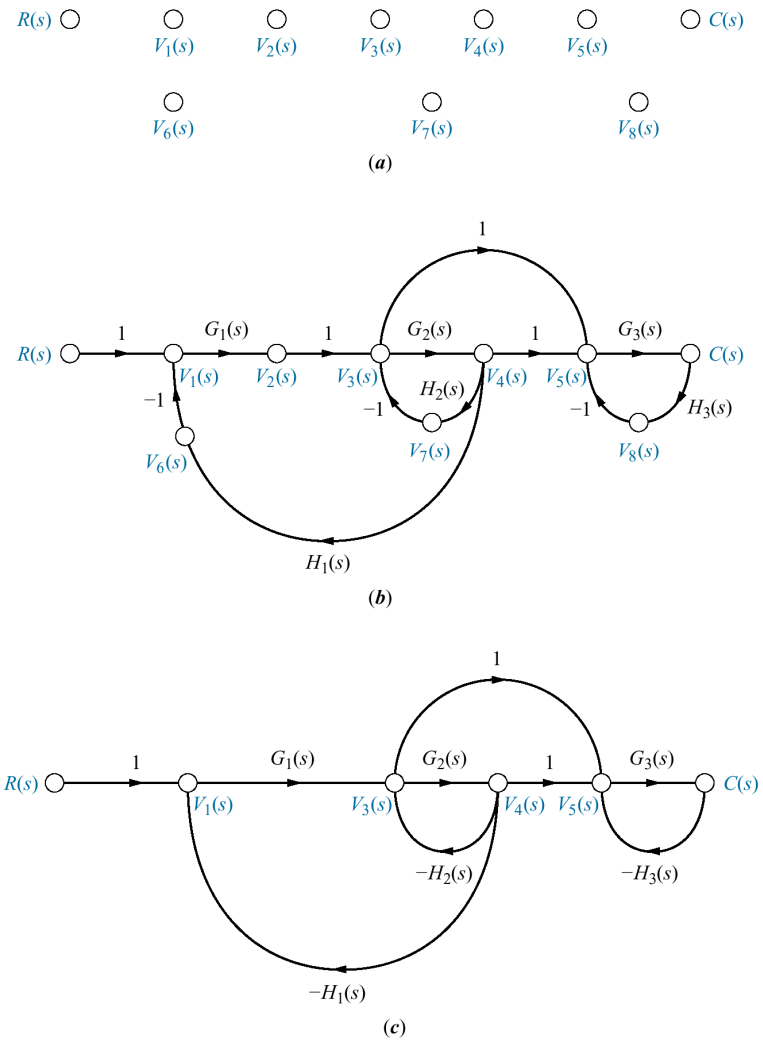


Fig. 5.20

Diagrama de fluxo de sinal para demonstrar a regra de Mason

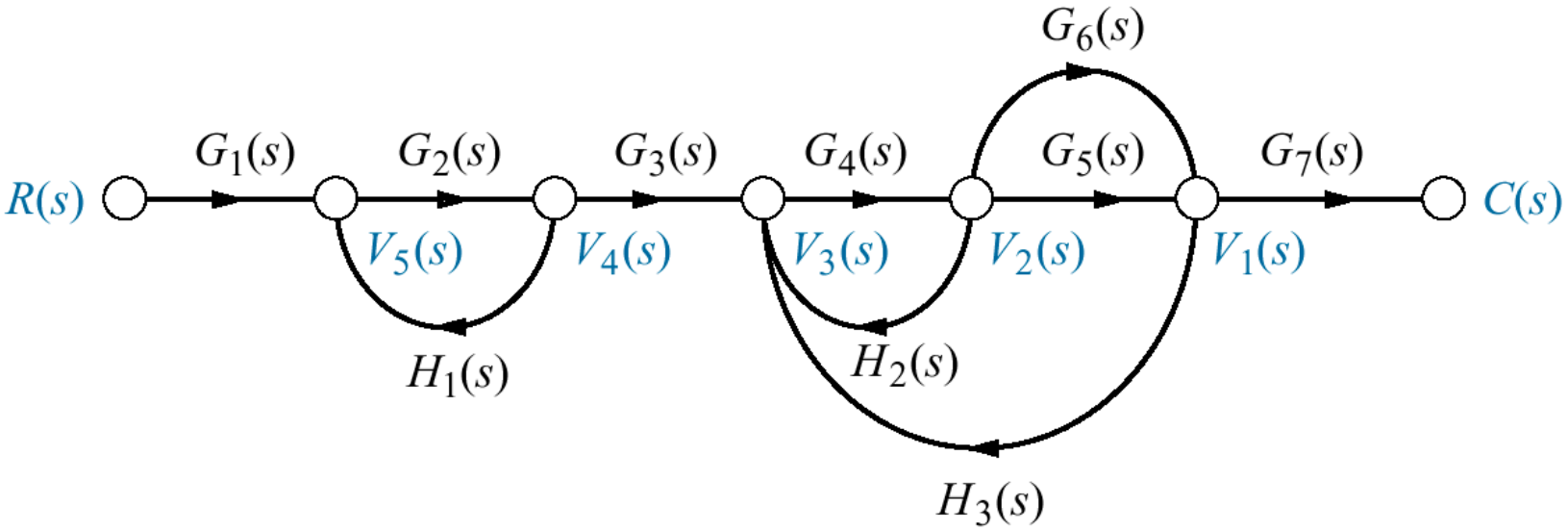


Fig. 5.21
Diagrama de fluxo de sinal
para o Exemplo 5.7

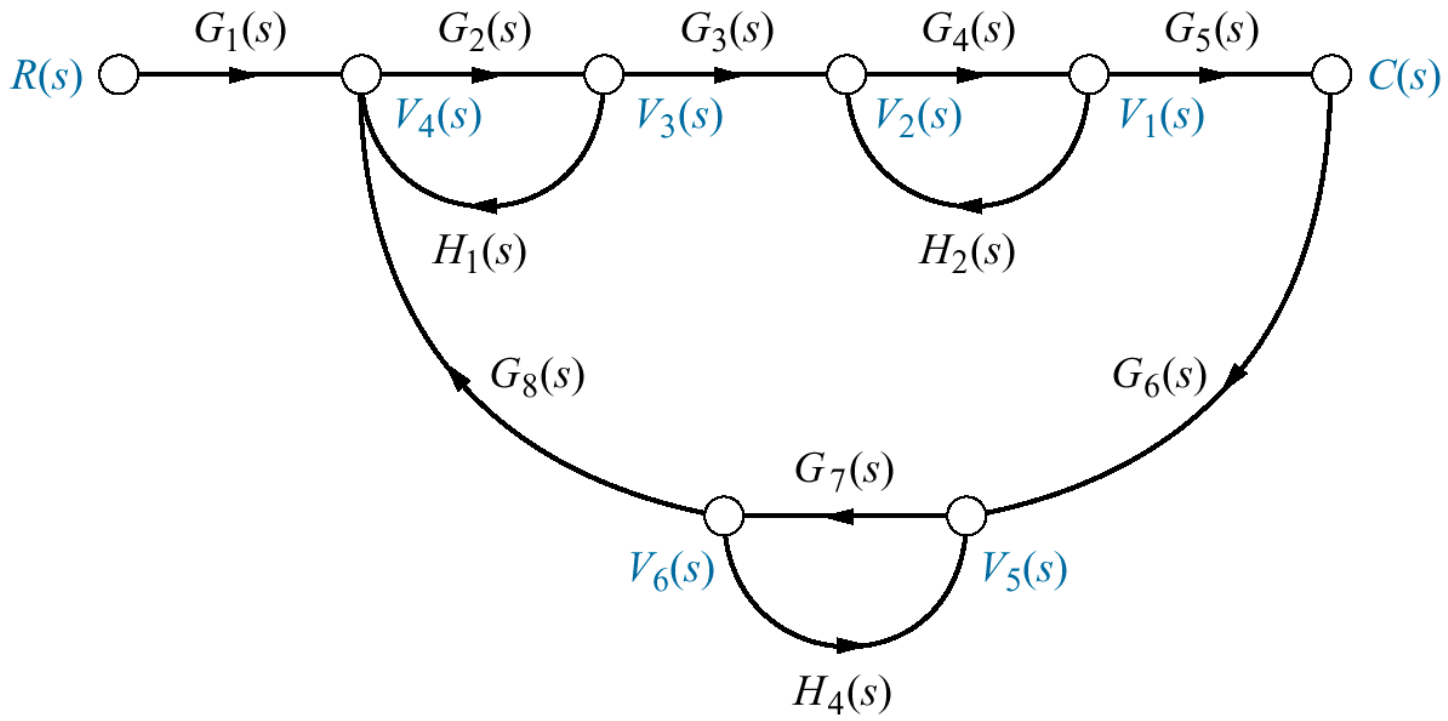


Fig. 5.22

Estágios de desenvolvimento de um diagrama de fluxo de sinal para o sistema das Eqs. 5.36:

a. posicionar os nós;

b. interligar as variáveis de estado e suas derivadas;

c. formar dx_1/dt;

d. formar dx_2/dt;

(a figura continua)

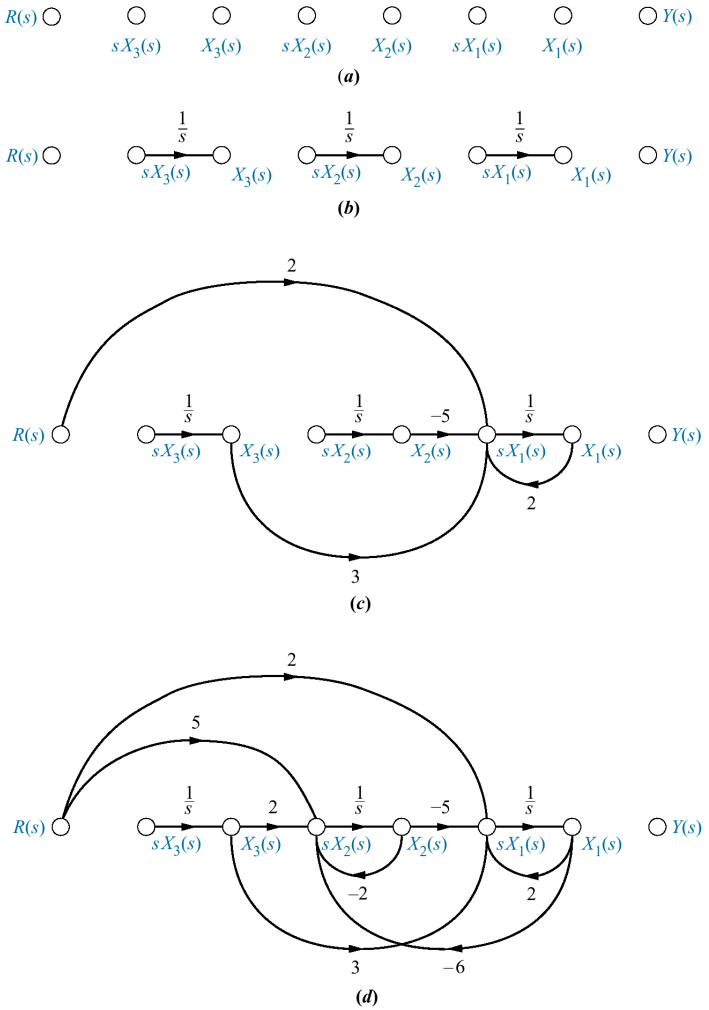
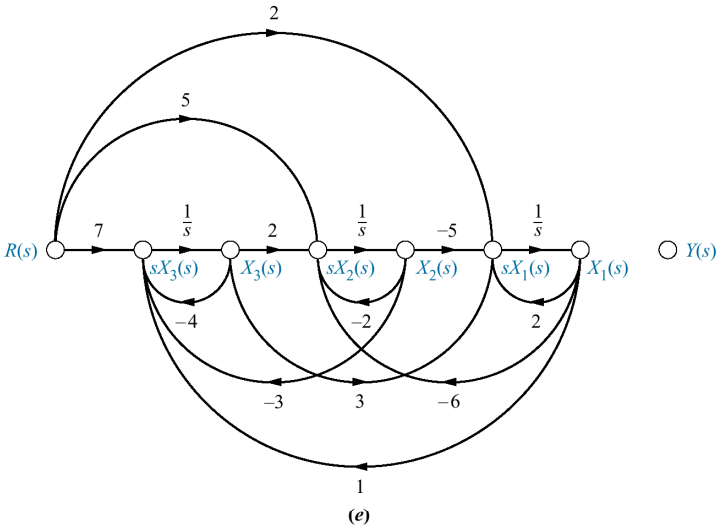


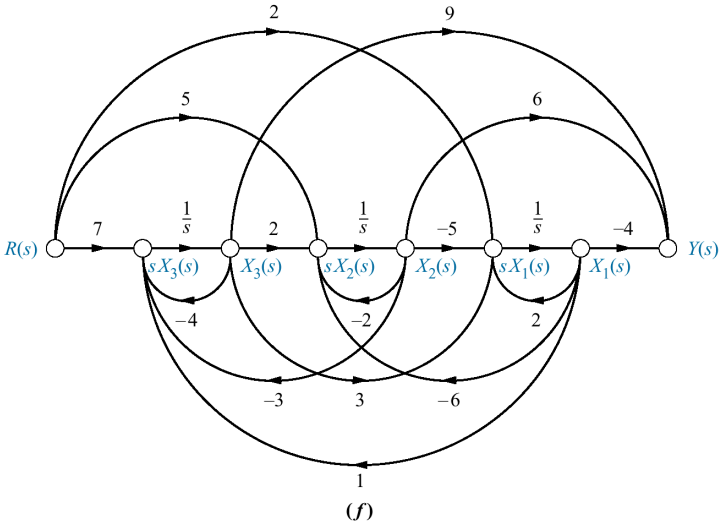
Fig. 5.22
(Continuação)

e. formar dx_2/dt ;

f. formar a saída *y*



(e)



(f)

Fig. 5.23

Representação do sistema da Fig. 3.10 com sistemas de primeira ordem em cascata

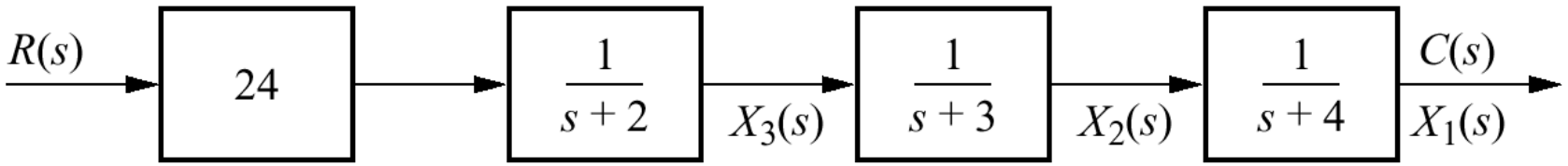
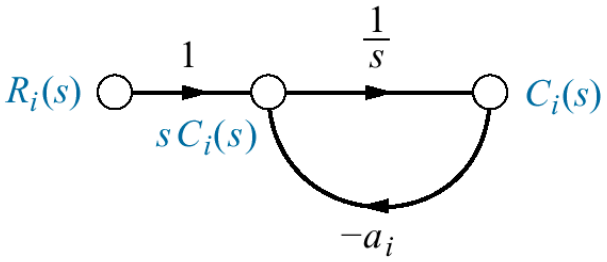


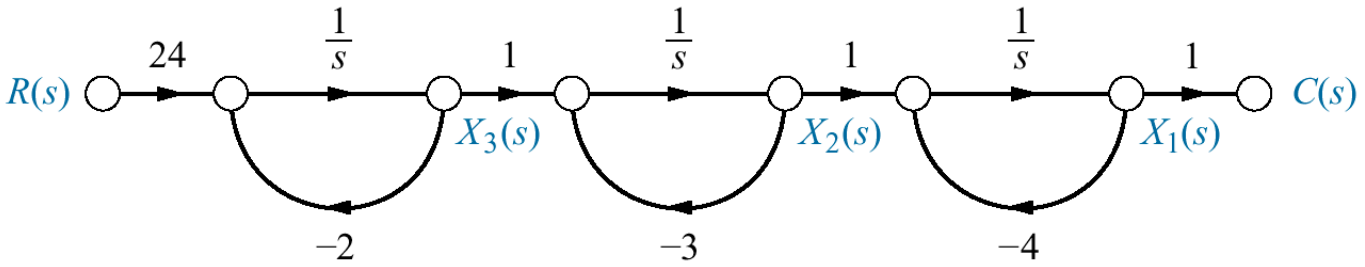
Fig. 5.24

a. Subsistemas de primeira ordem;

b. diagrama de fluxo de sinal para o sistema da Fig. 5.23



(*a*)



(*b*)

Fig. 5.25
Representação em diagrama de fluxo de sinal da Eq. (5.45)

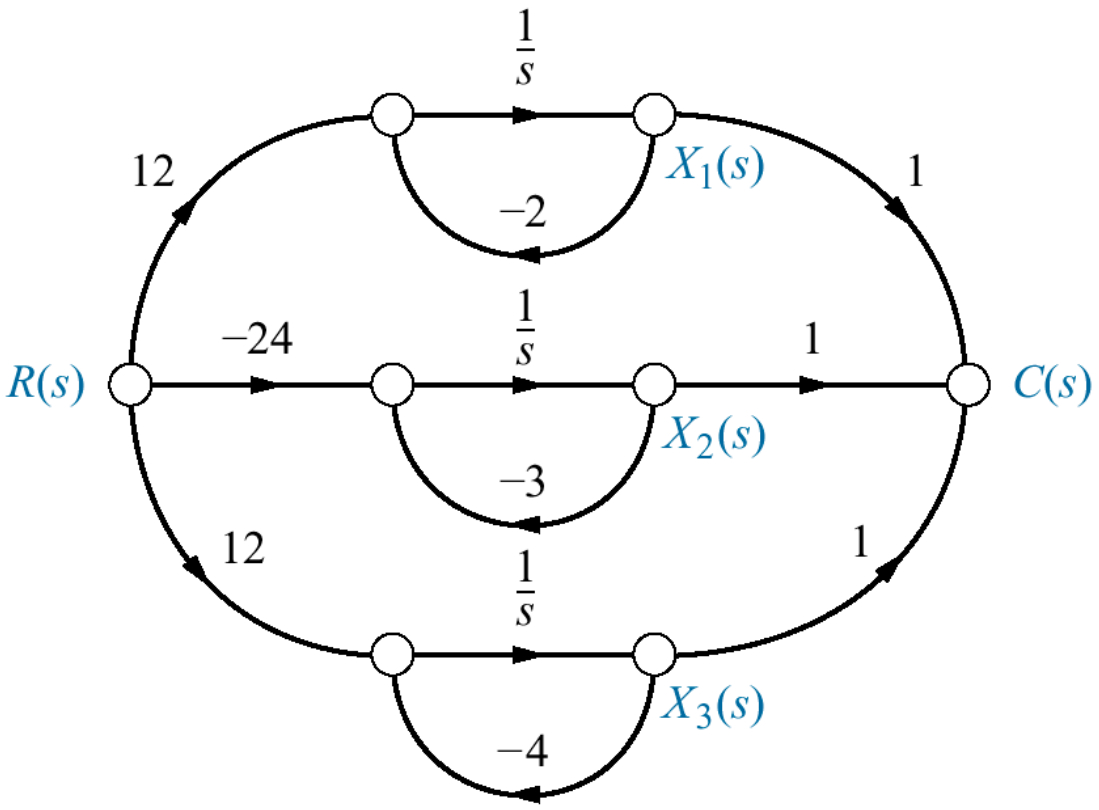


Fig. 5.26
Representação em diagrama de fluxo de sinal da Eq. (5.52)

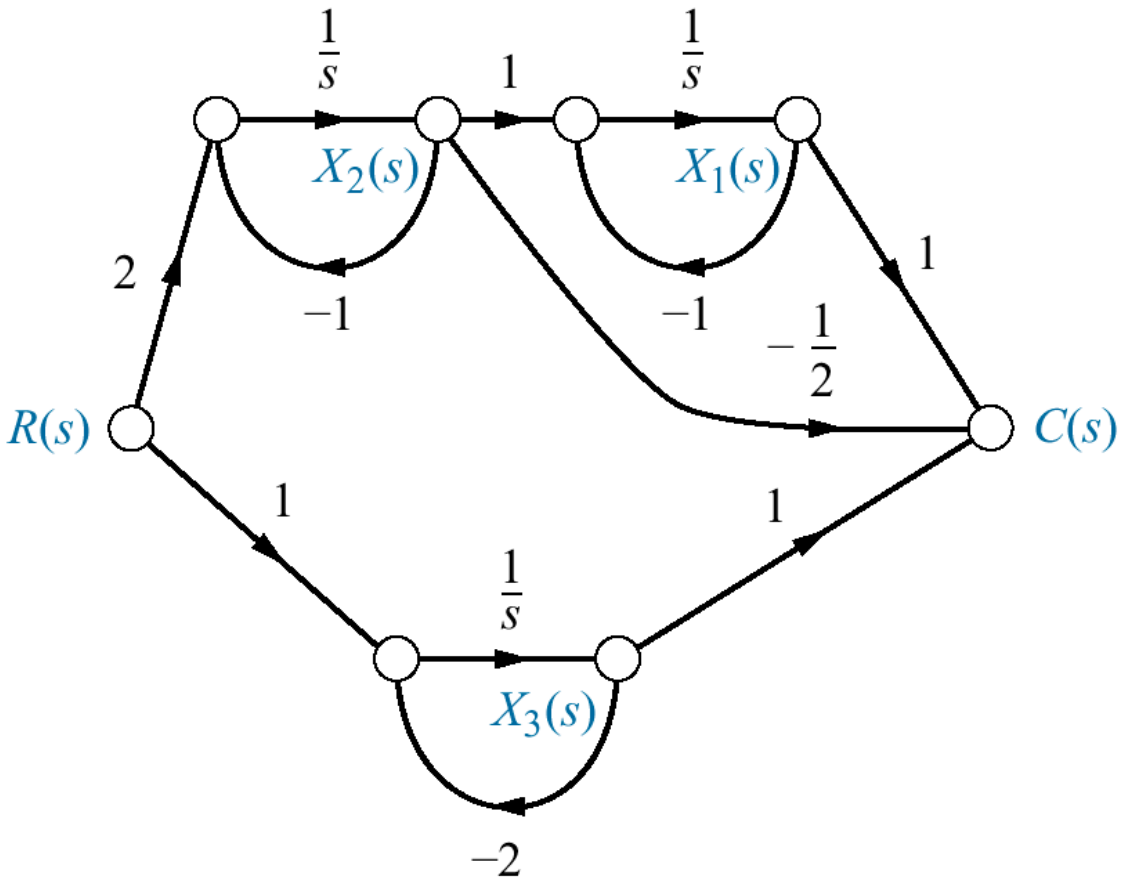


Fig. 5.27

Diagramas de fluxo de sinal para obter formas de representação no espaço de estados relativas a $G(s) = C(s)/R(s) = (s^2 + 7s + 2)/(s^3 + 9s^2 + 26s + 24)$:

a. forma em variáveis de fase;

b. forma canônica do controlador

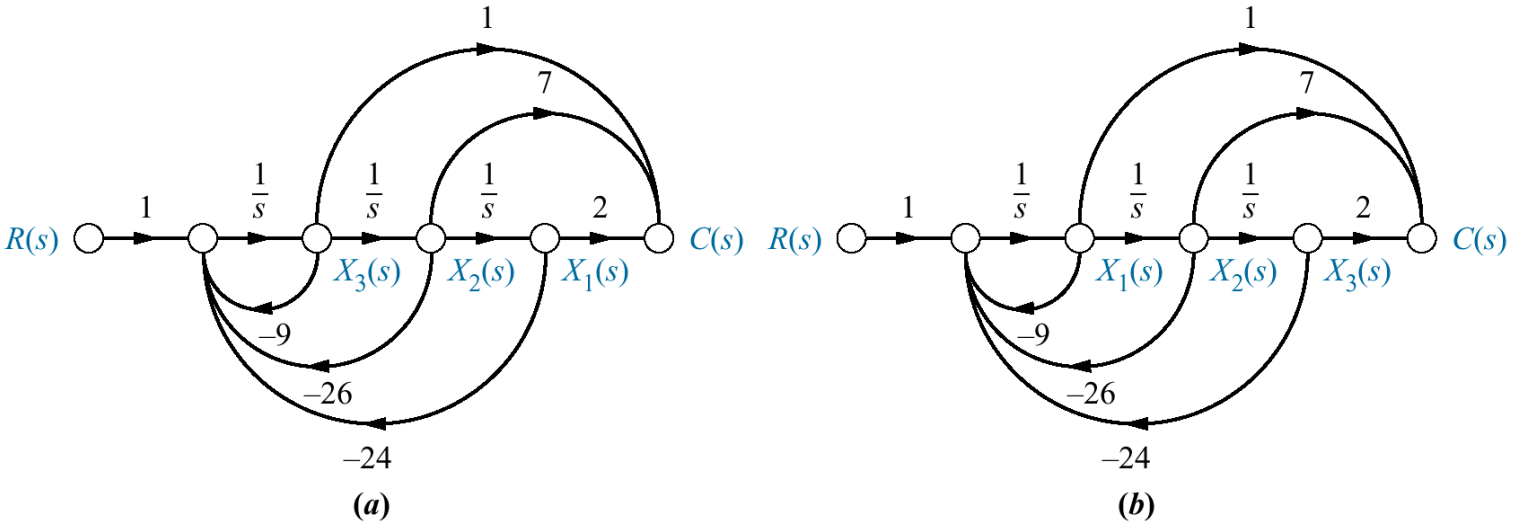


Fig. 5.28
Diagramas de fluxo de sinal para as variáveis da forma canônica do observador:
a. planejamento;
b. implementação

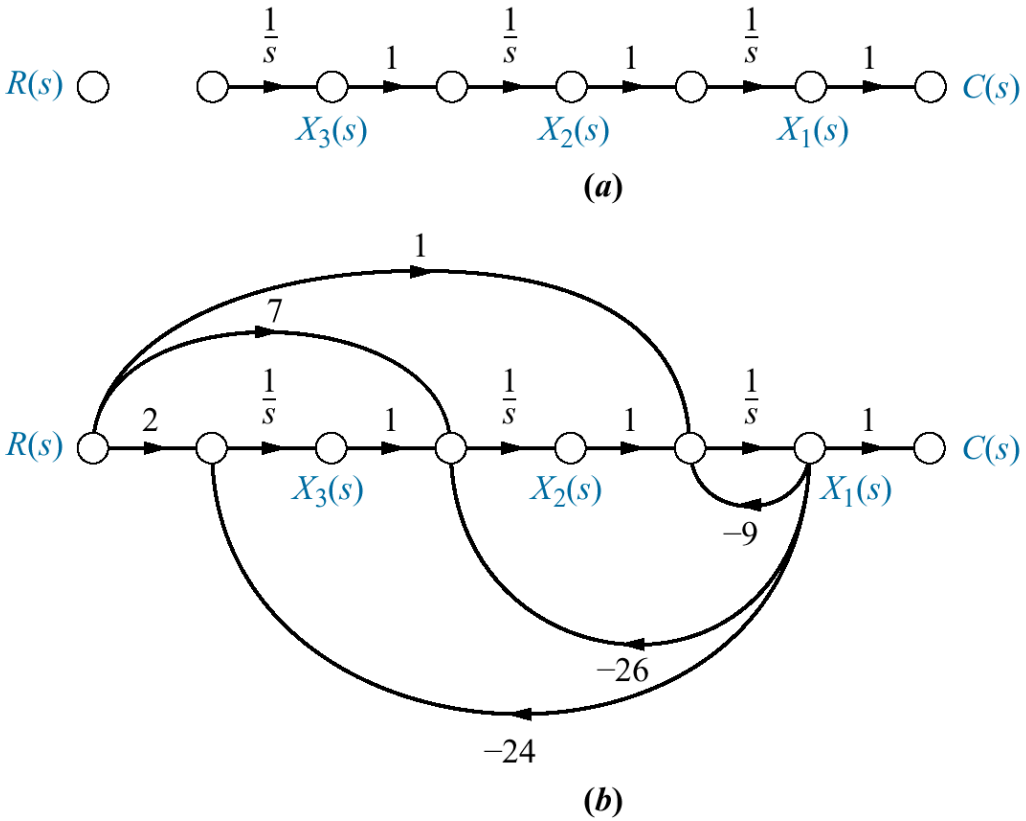


Fig. 5.29

Sistema de controle com retroação para o Exemplo 5.8

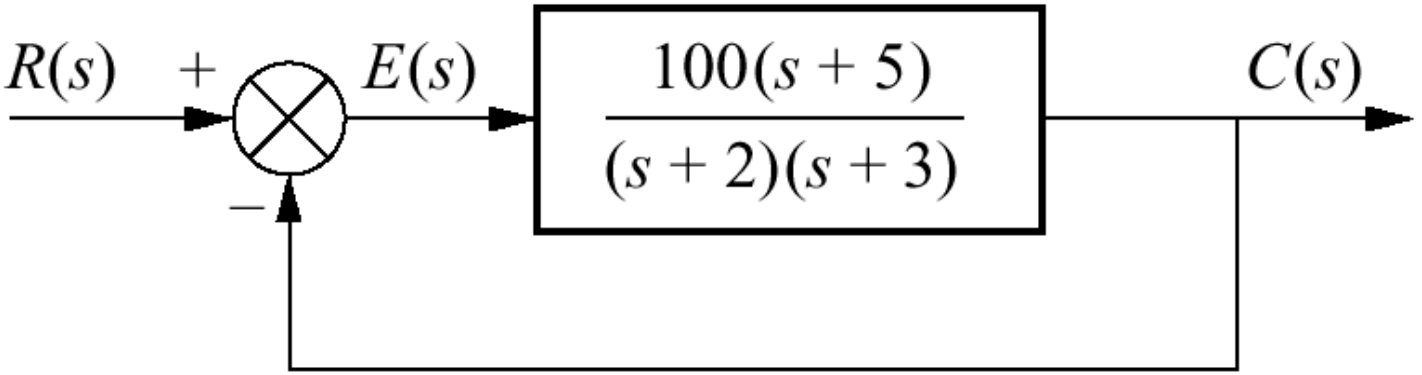


Fig. 5.30

Criando um diagrama de fluxo de sinal para o sistema da Fig. 5.29:

a. função da transferência à frente;

b. sistema completo

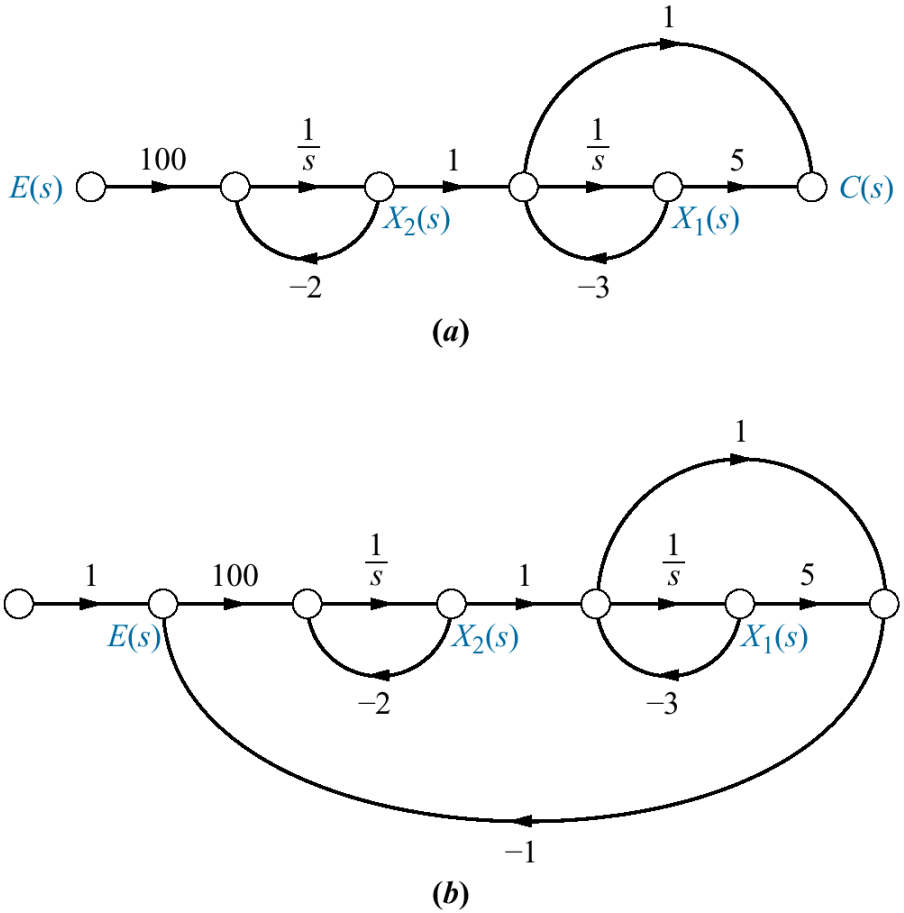


Fig. 5.31

Forma no espaço de estados para $C(s)/R(s)= (s+3)/[(s+4)(s+6)]$

Nota: $y = c(t)$

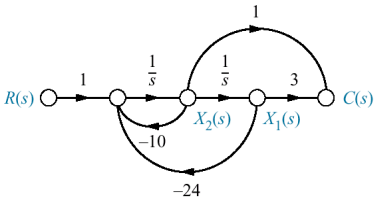
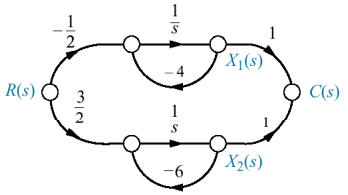
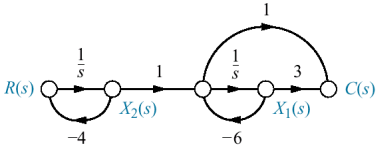
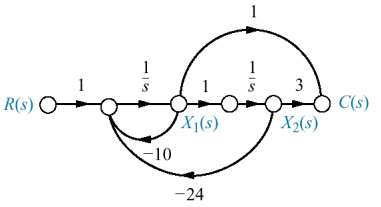
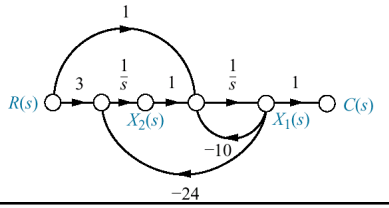
Forma	Função de Transferência	Diagrama de fluxo de sinal	Equações de estado
Variáveis de fase	$\frac{1}{(s^2+10s+24)} * (s+3)$		$\dot{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -24 & -10 \end{bmatrix}\mathbf{x} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} r$ $y = [3 \quad 1]\mathbf{x}$
Paralelas	$\frac{-1/2}{(s+4)} + \frac{3/2}{s+6}$		$\dot{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} -4 & 0 \\ 0 & -6 \end{bmatrix}\mathbf{x} + \begin{bmatrix} -\frac{1}{2} \\ \frac{3}{2} \end{bmatrix} r$ $y = [1 \quad 1]\mathbf{x}$
Cascata	$\frac{1}{(s+4)} * \frac{(s+3)}{(s+6)}$		$\dot{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} -6 & 1 \\ 0 & -4 \end{bmatrix}\mathbf{x} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} r$ $y = [-3 \quad 1]\mathbf{x}$
Canônica do controlador	$\frac{1}{(s^2+10s+24)} * (s+3)$		$\dot{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} -10 & -24 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}\mathbf{x} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} r$ $y = [1 \quad 3]\mathbf{x}$
Canônica do observador	$\frac{\frac{1}{s} + \frac{3}{s^2}}{1 + \frac{10}{s} + \frac{24}{s^2}}$		$\dot{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} -10 & 1 \\ -24 & 0 \end{bmatrix}\mathbf{x} + \begin{bmatrix} 1 \\ 3 \end{bmatrix} r$ $y = [1 \quad 0]\mathbf{x}$

Fig. 5.32
Transformações no espaço de estados

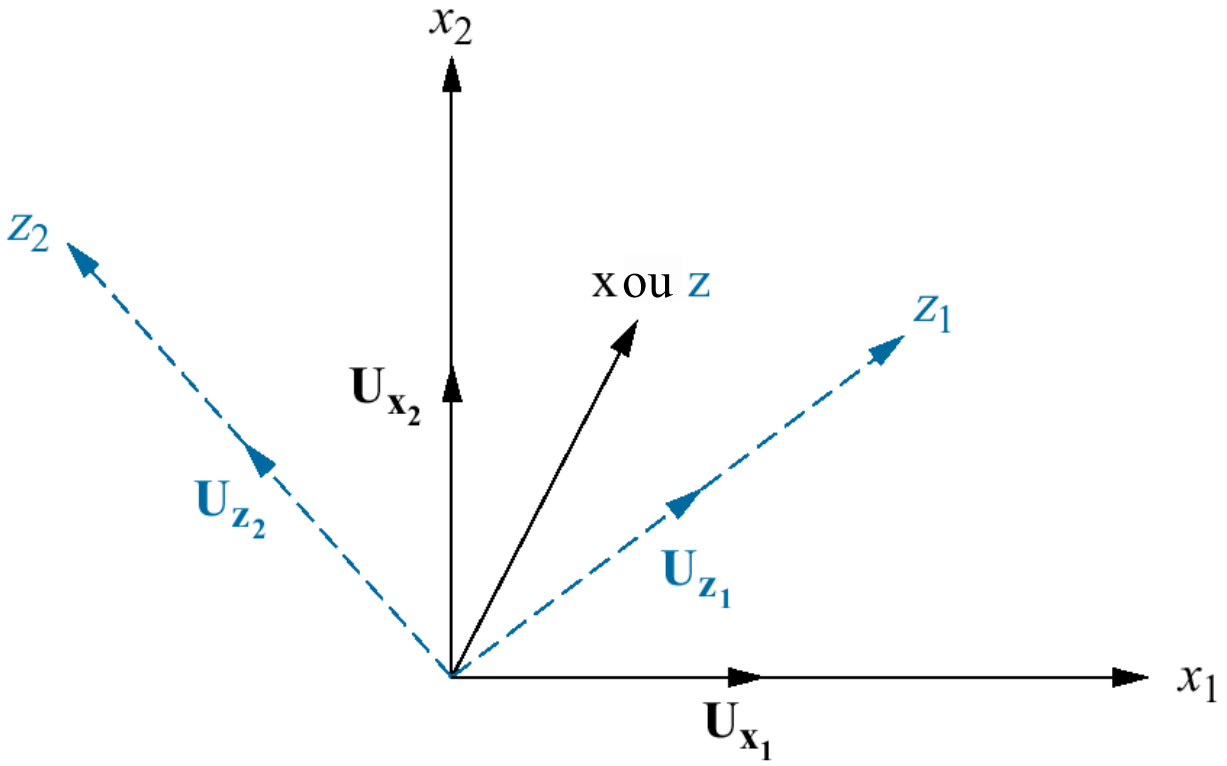


Fig. 5.33

Para ser um autovetor, a transformação Ax deve ser colinear com **x**; portanto em (*a*), **x** não é um autovetor; em (*b*), é

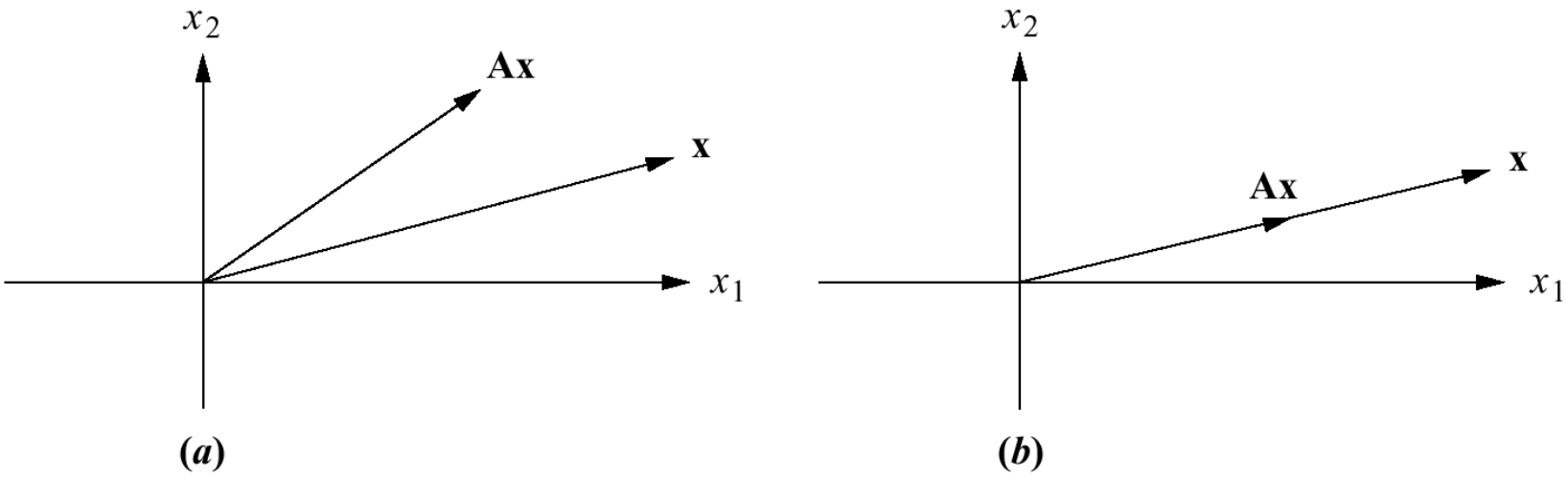
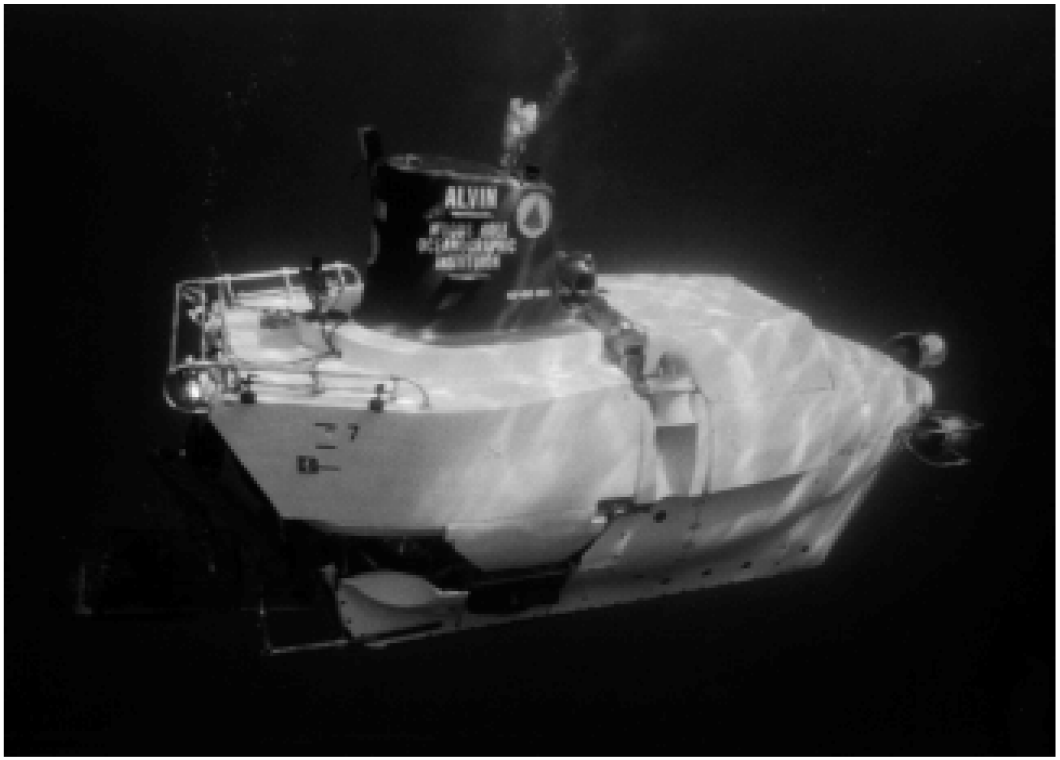


Fig. 5.34
Alvin, um submersível tripulado, explorou os destroços do Titanic com o Jason Júnior, um robô teleguiado por meio de um cabo



© Rob Catanach, Woods Hole Oceanographic Institution.

Fig. 5.35

Redução de diagrama de blocos relativo ao sistema de controle de posição da antena em azimute:

a. original;

b. empurrando o potenciômetro da entrada para a direita da junção somadora;

c. mostrando a função de transferência equivalente do percurso à frente;

d. função de transferência a malha fechada final

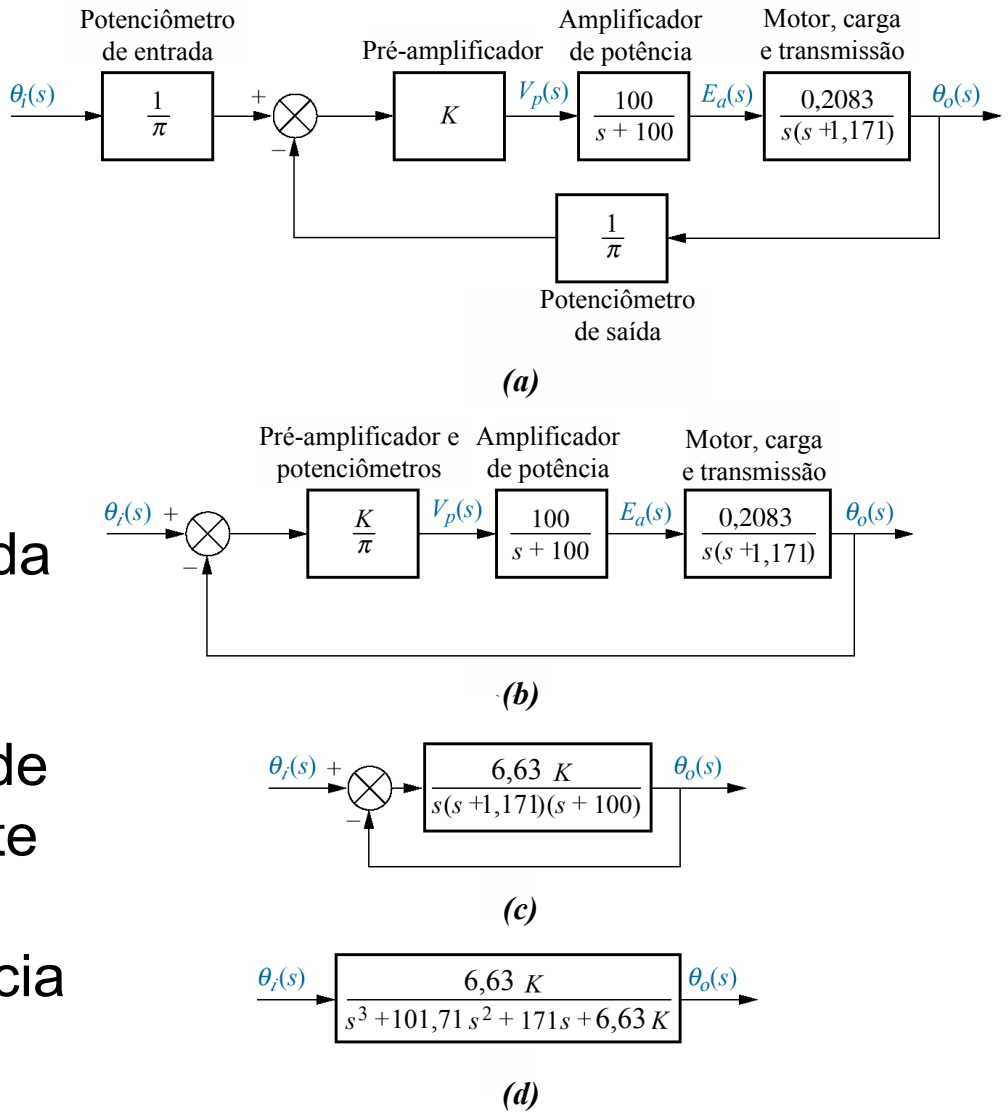


Fig. 5.36

Diagrama de fluxo de sinal relativo ao sistema de controle de posição da antena em azimute

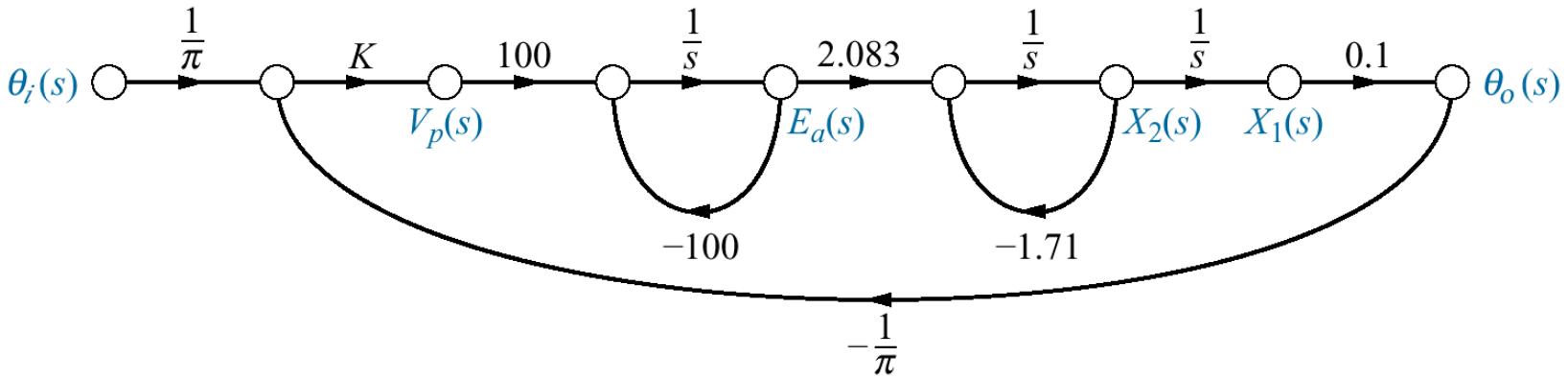


Fig. 5.37

Diagramas de blocos do profundor e da dinâmica do veículo UFSS, do qual pode ser extraído um diagrama de fluxo de sinal

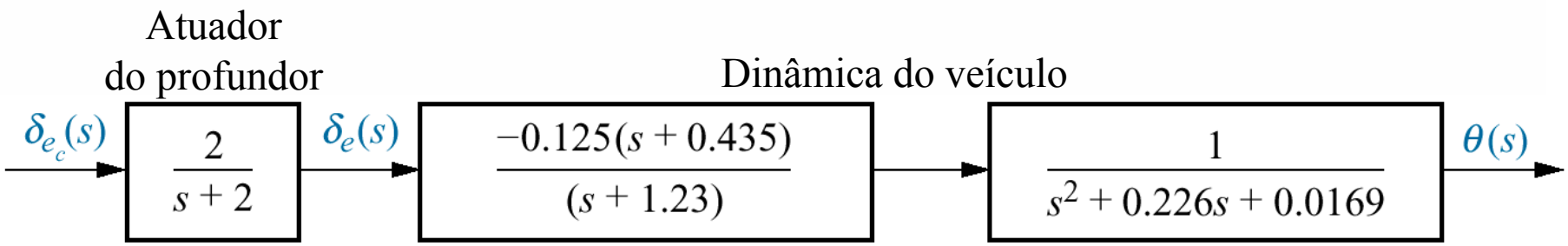


Fig. 5.38

Representação em diagrama de fluxo de sinal do sistema de controle em arfagem do veículo UFSS:
a. sem retroação de posição e de velocidade;
b. com retroação de posição e de velocidade (Nota: As variáveis necessárias explicitamente são: $x_1 = q$, $x_2 = dq/dt$, e $x_4 = d_e$)

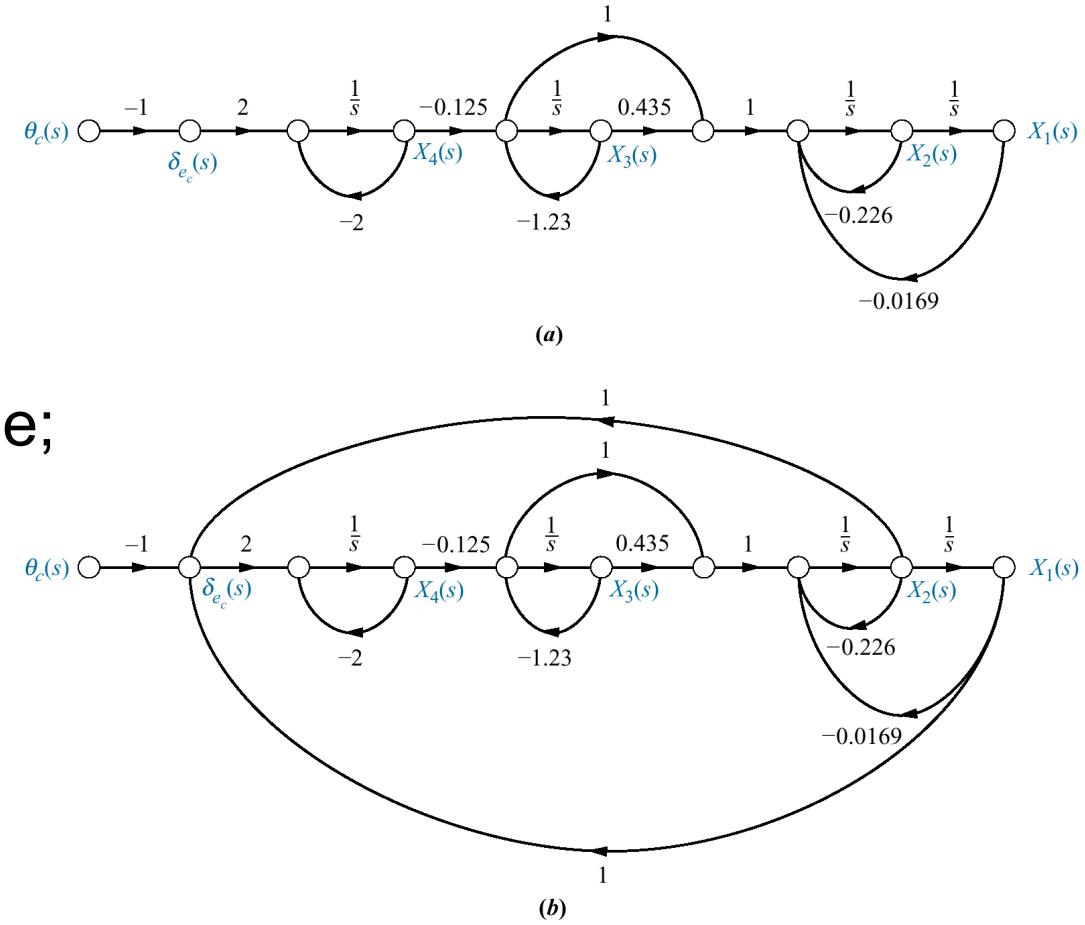


Fig. 5.39

Diagrama de blocos do sistema de controle de rumo do veículo UFSS.

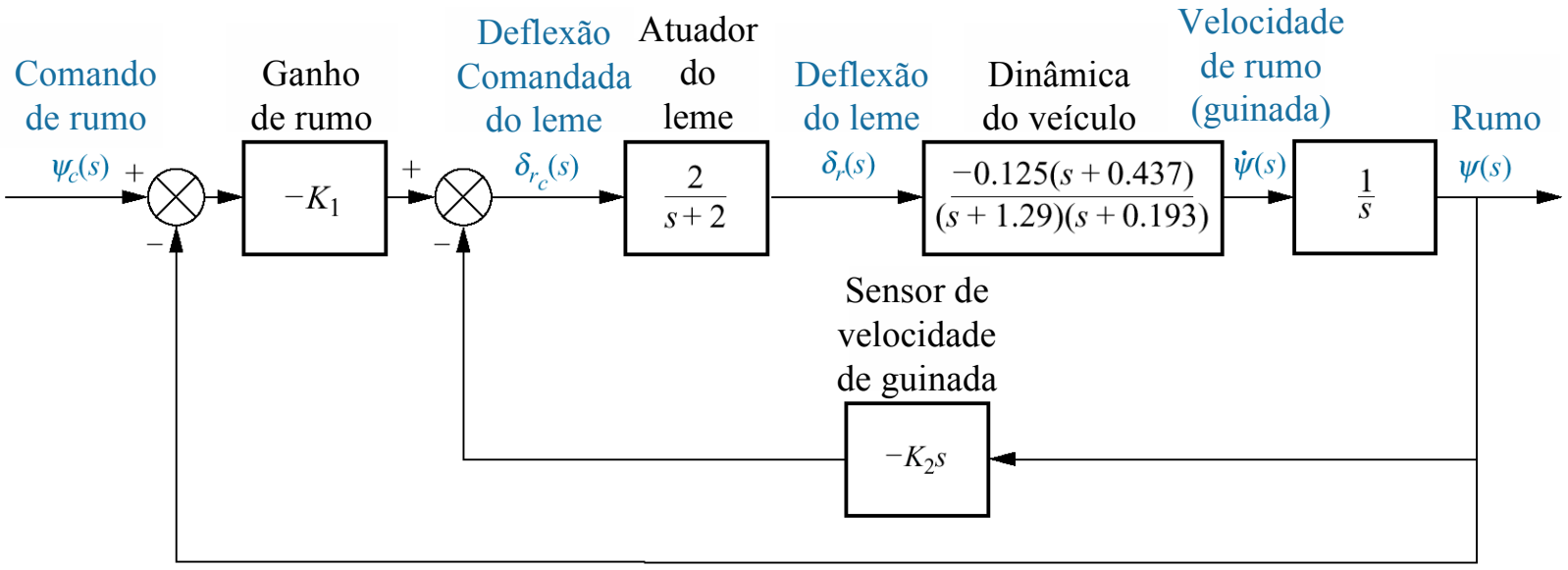


Fig. P5.1

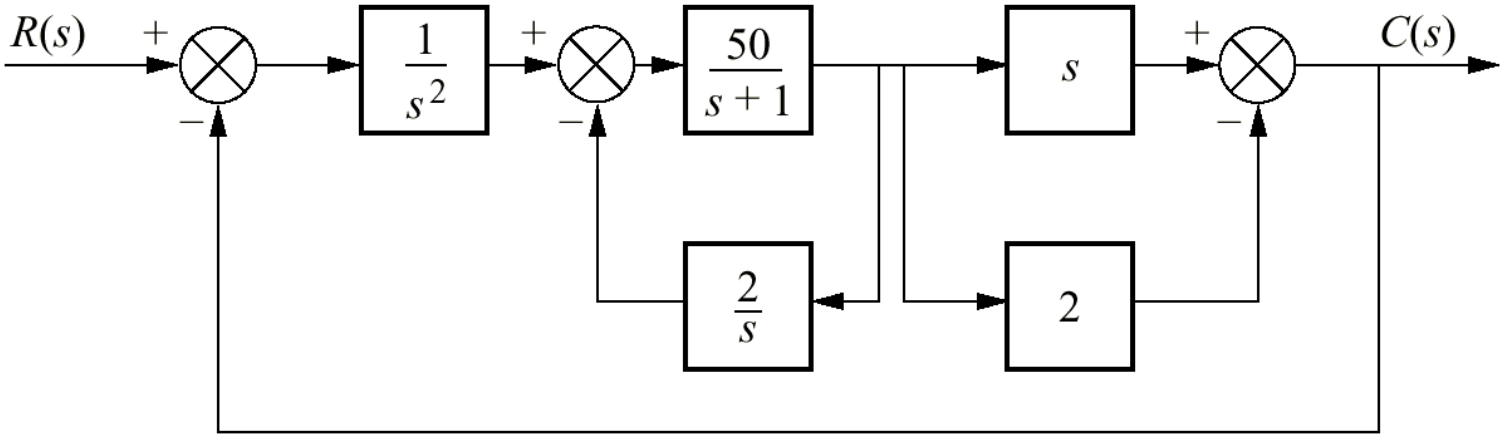


Fig. P5.2

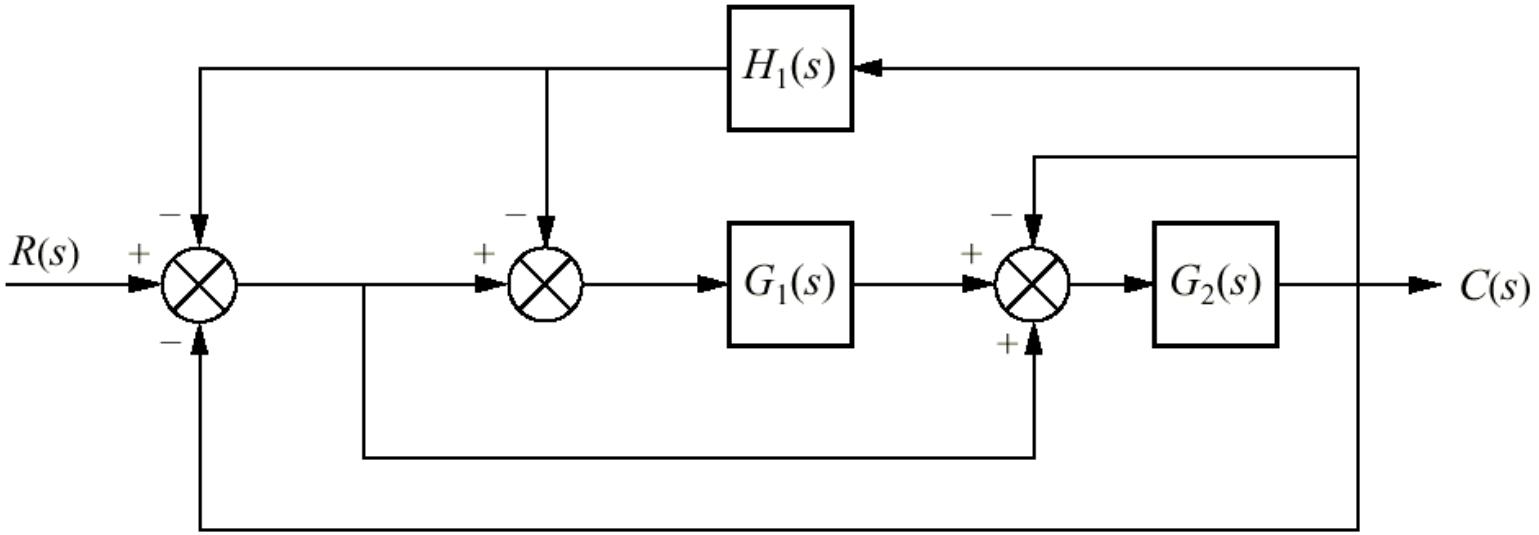


Fig. P5.3

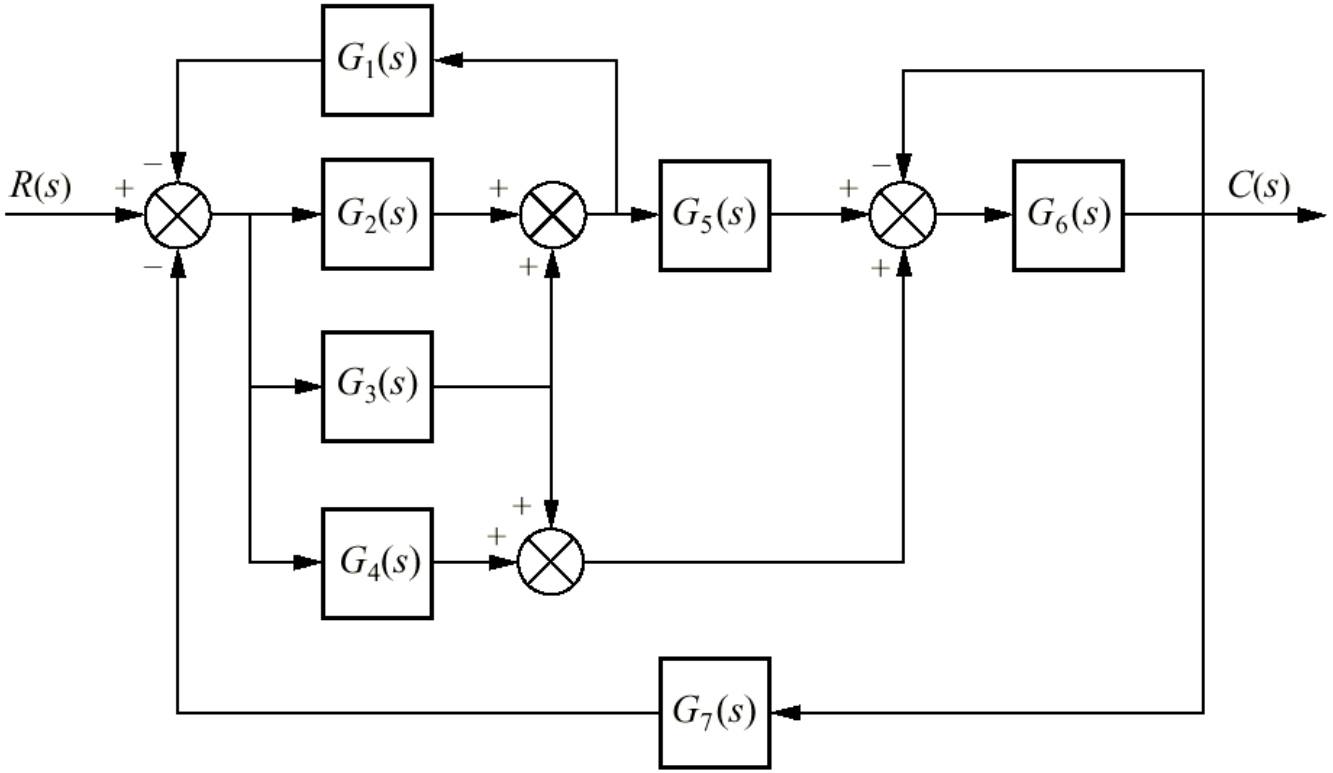


Fig. P5.4

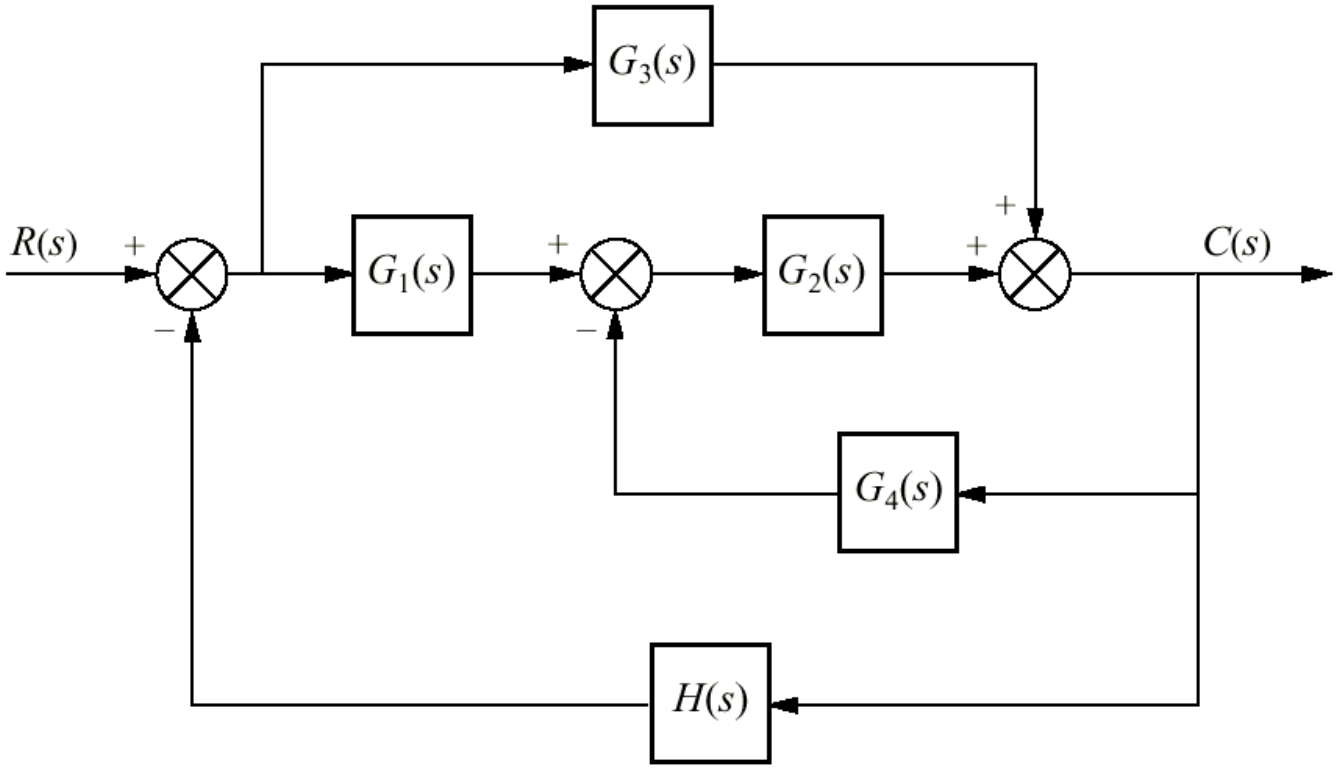


Fig. P5.5

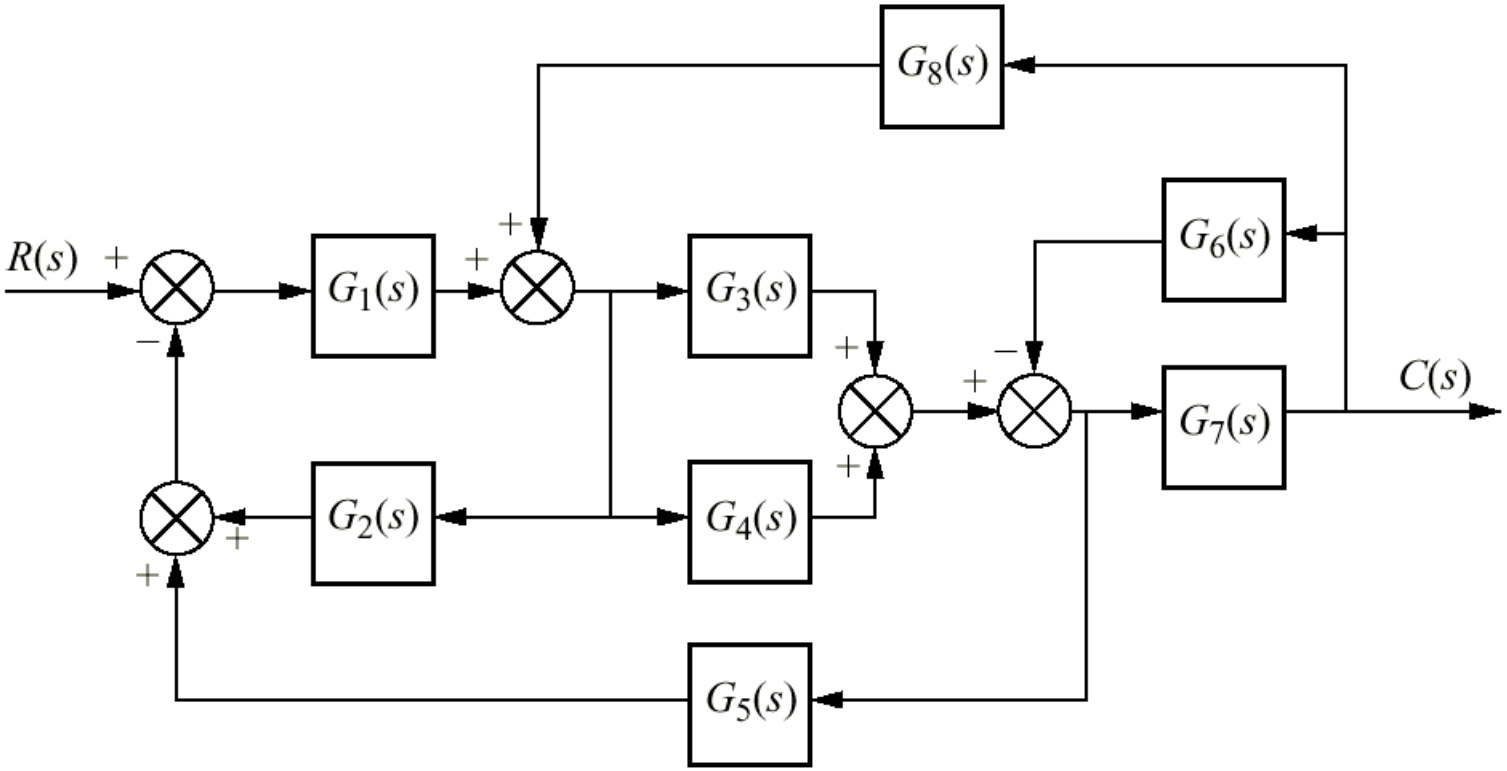


Fig. P5.6

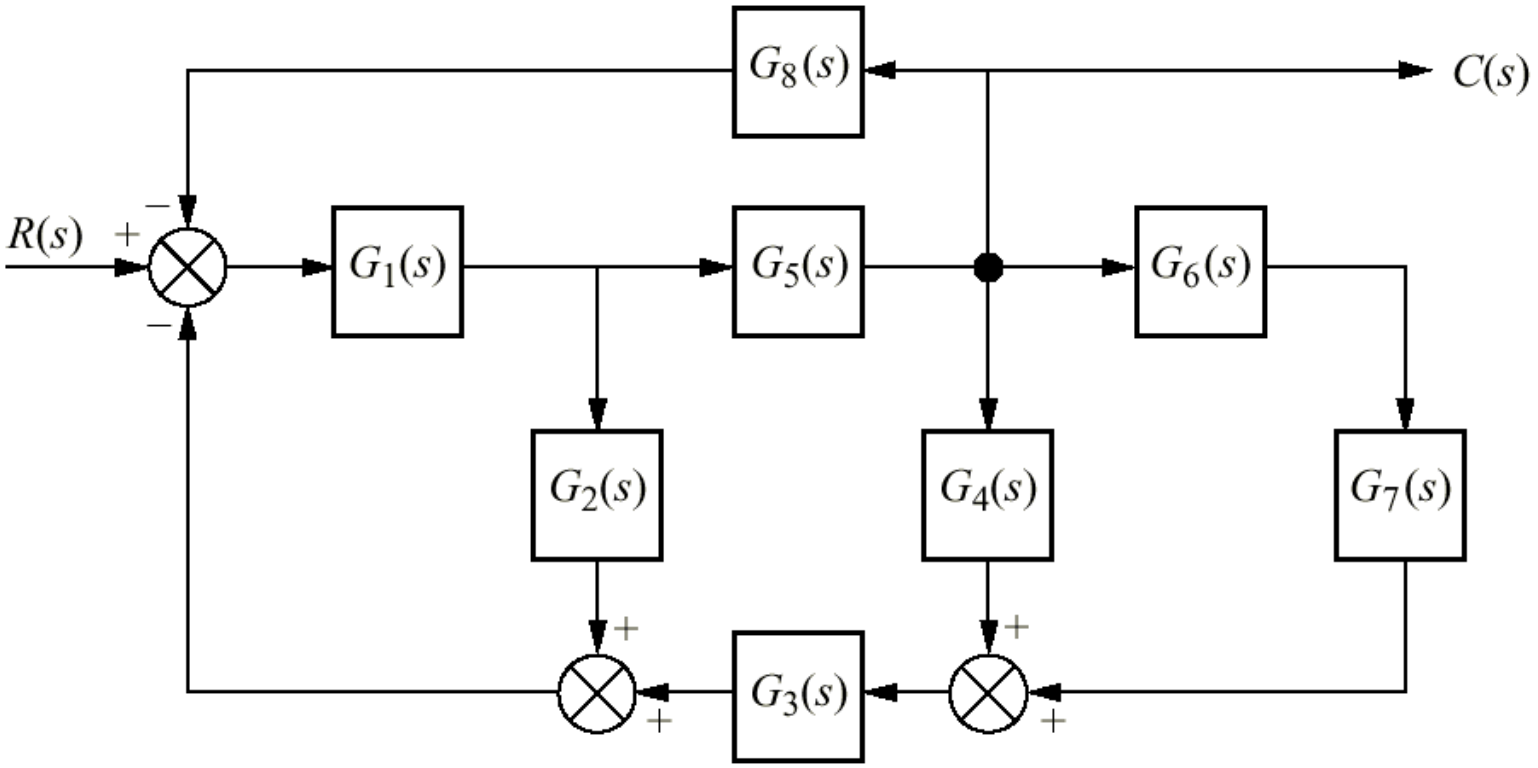


Fig. P5.7

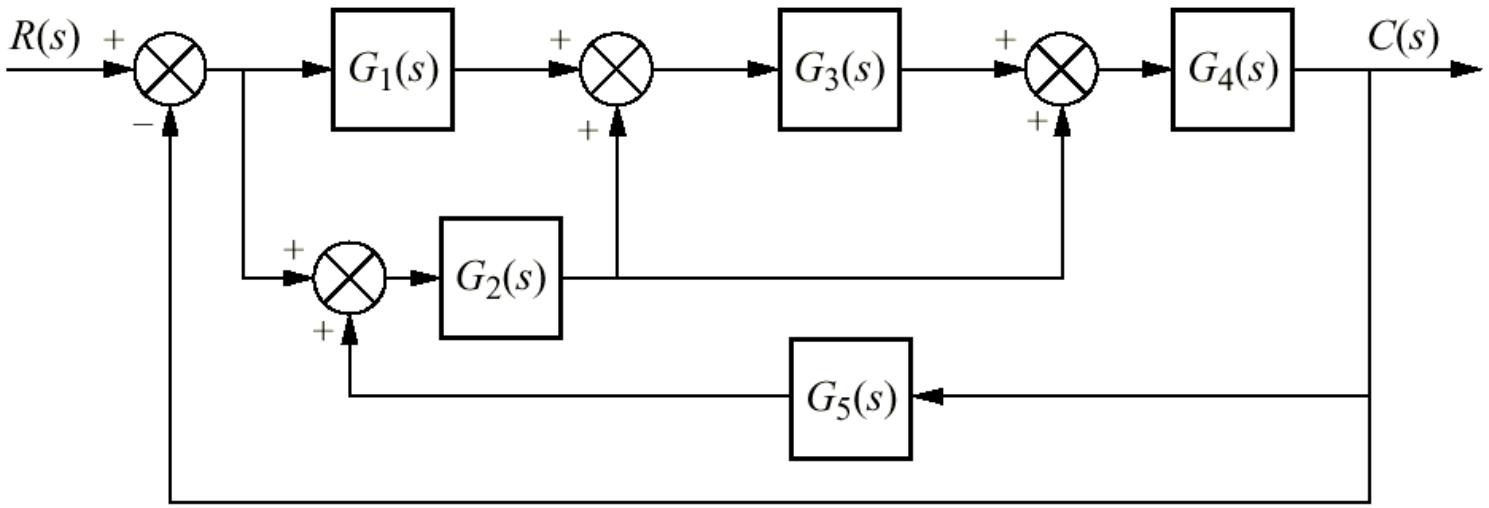


Fig. P5.8

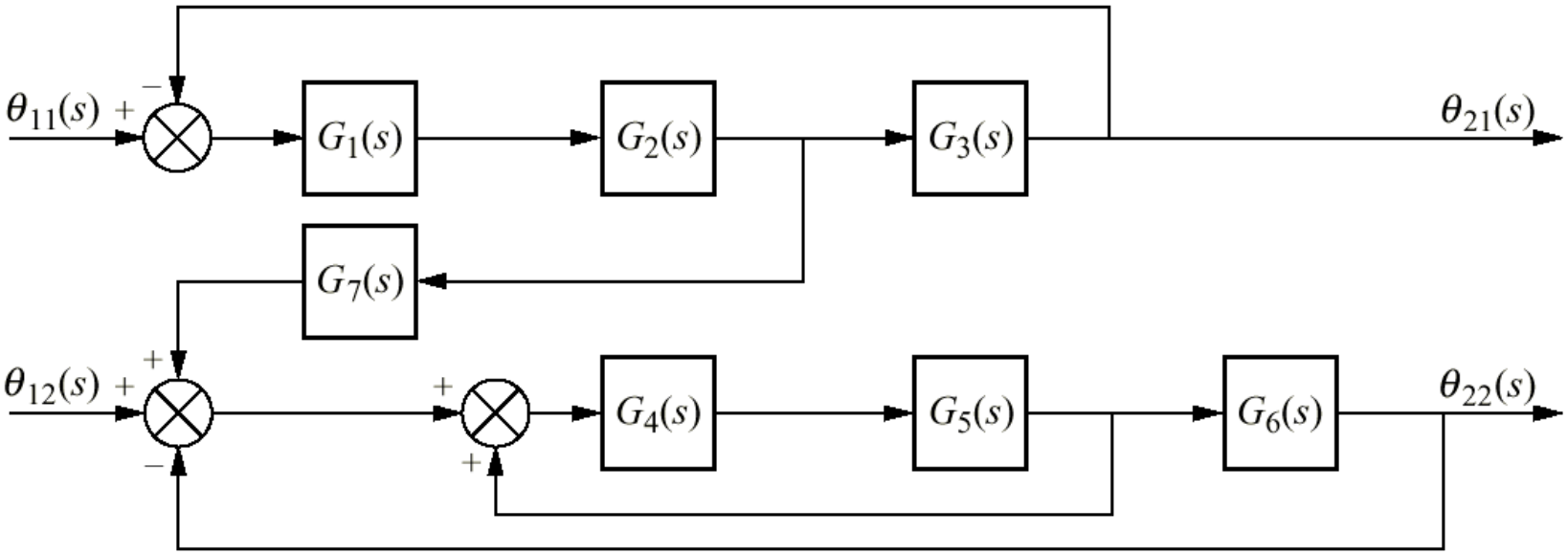


Fig. P5.9

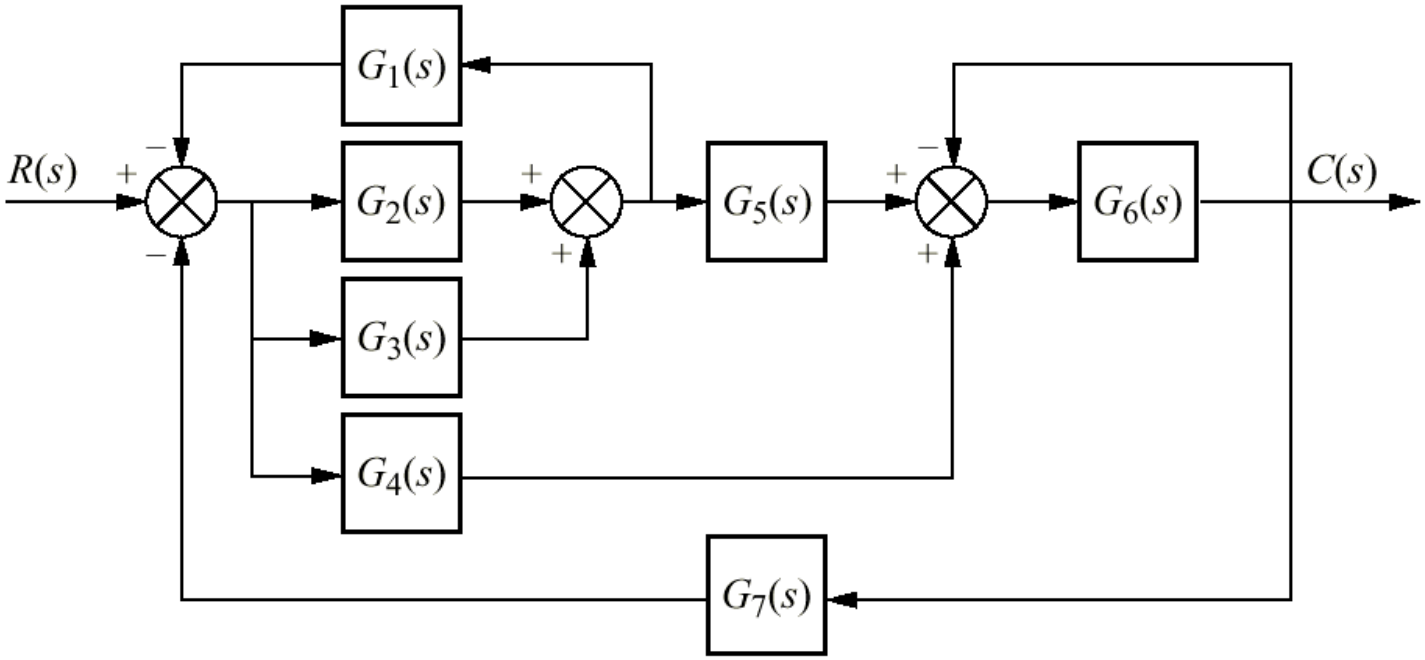


Fig. P5.10

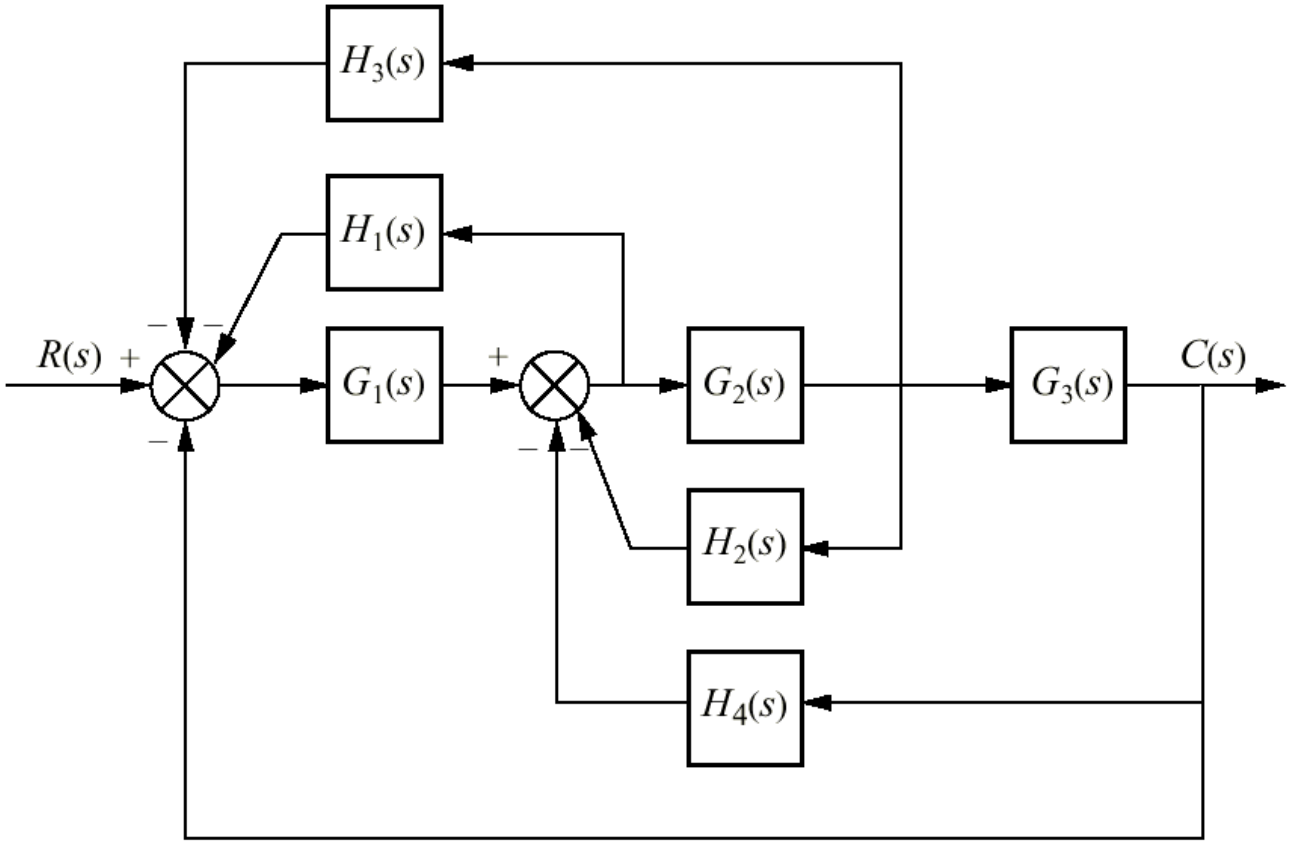


Fig. P5.11

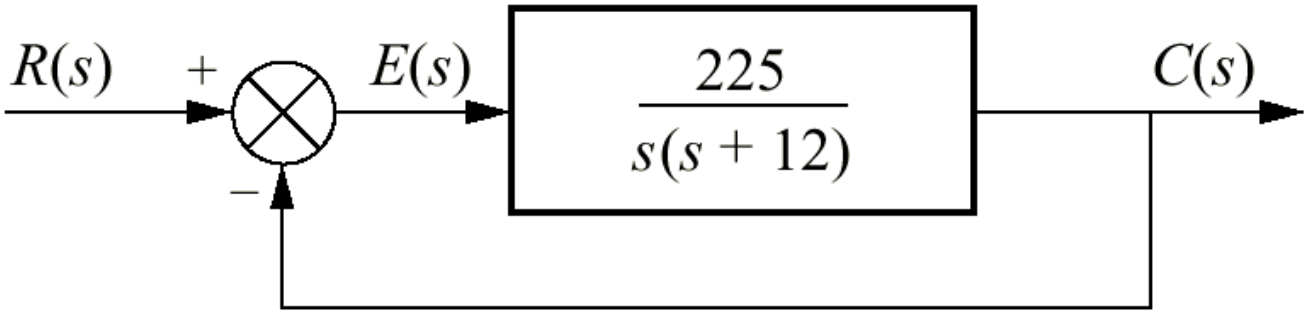


Fig. P5.12

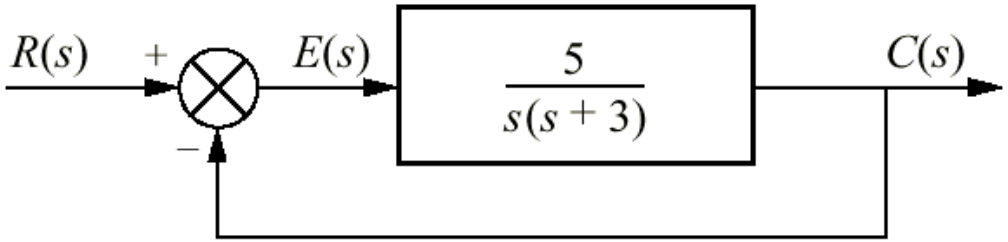


Fig. P5.13

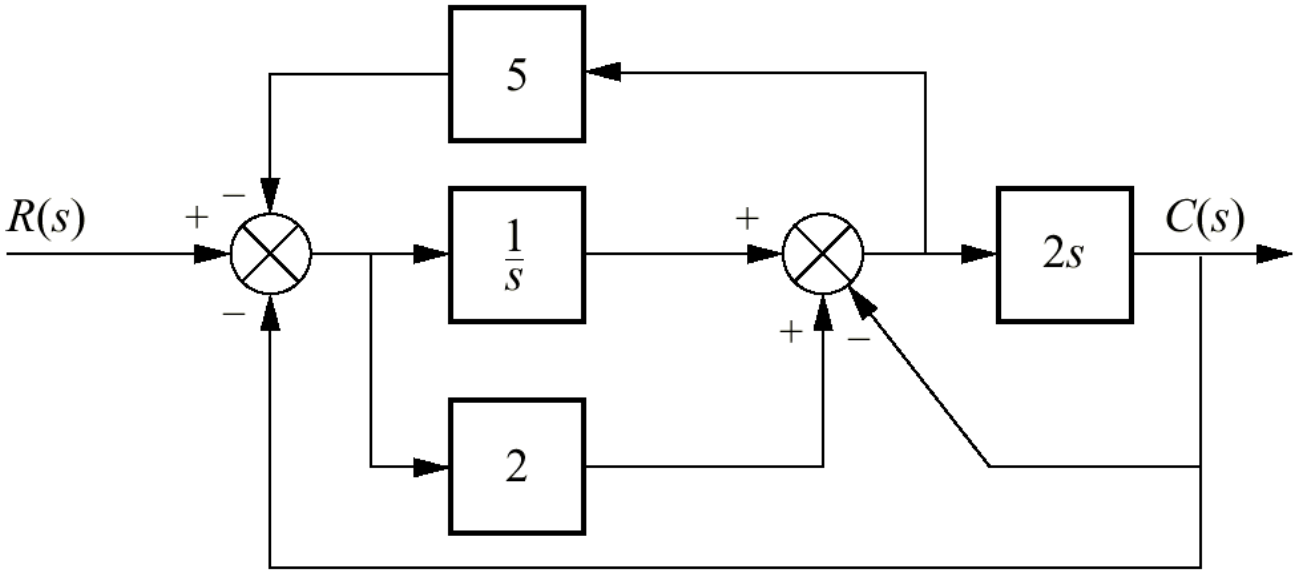


Fig. P5.14

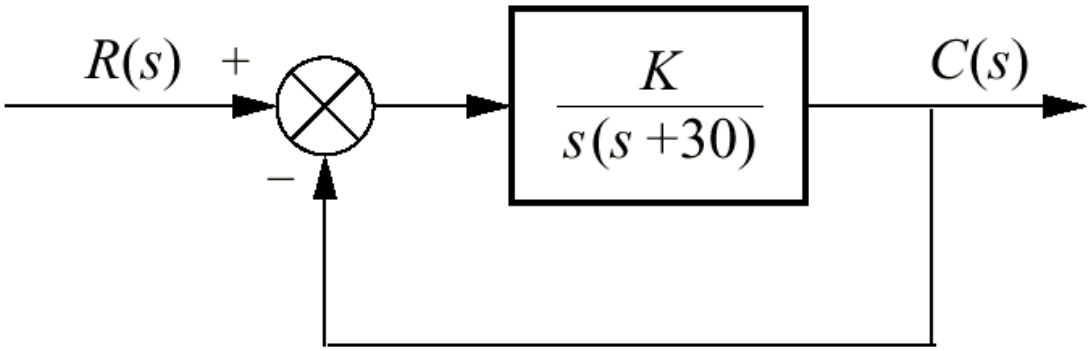


Fig. P5.15

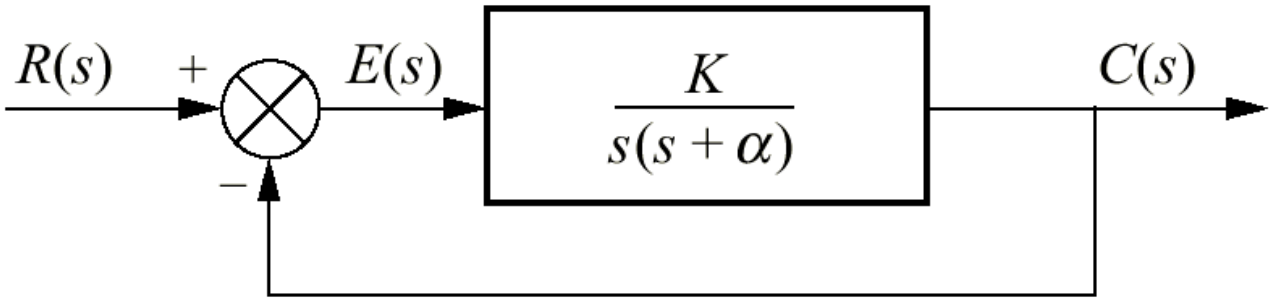


Fig. P5.16

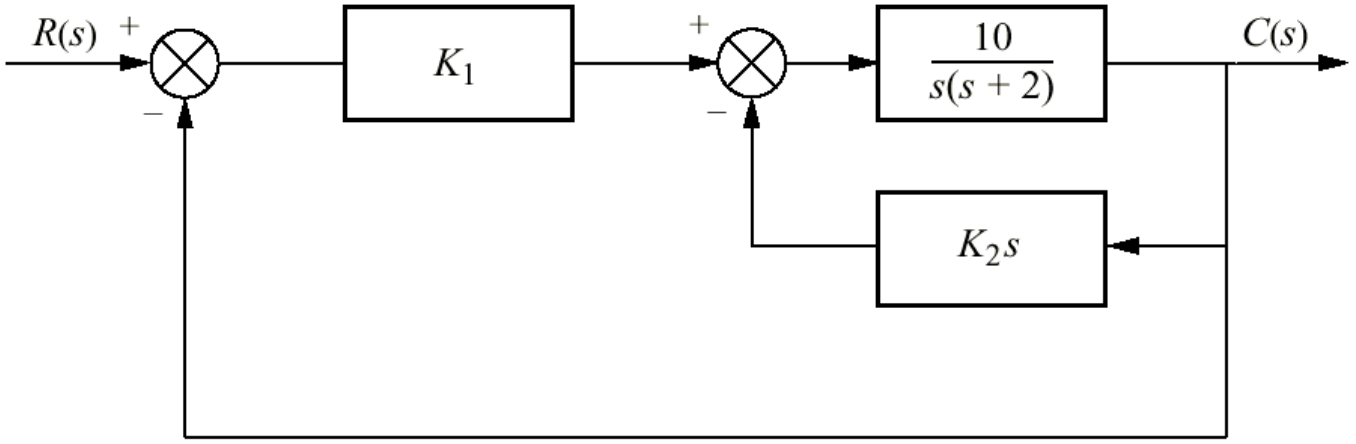


Fig. P5.17

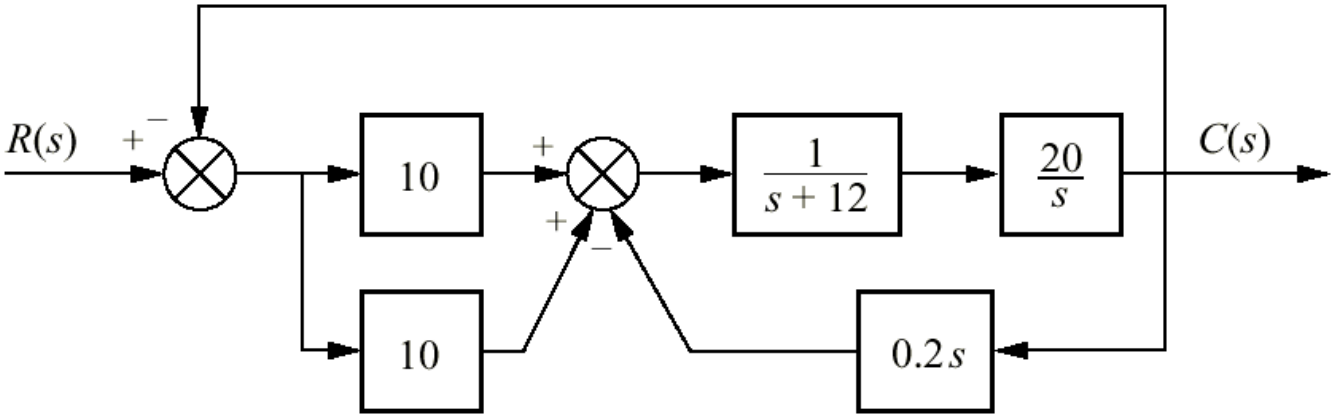


Fig. P5.18

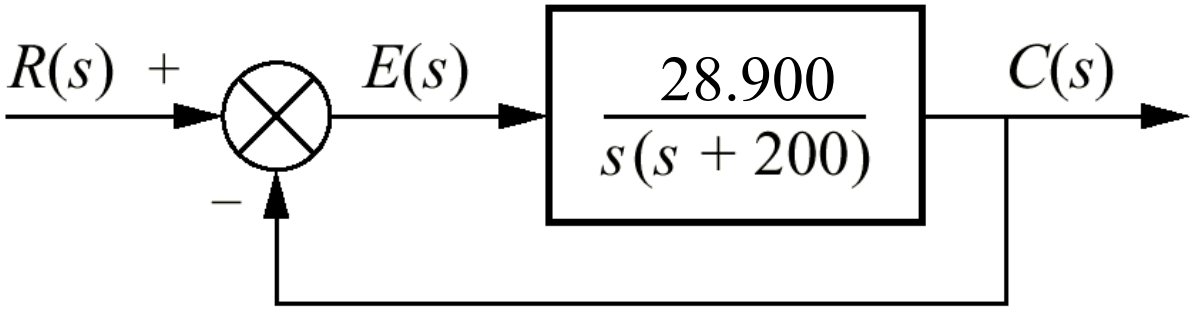


Fig. P5.19