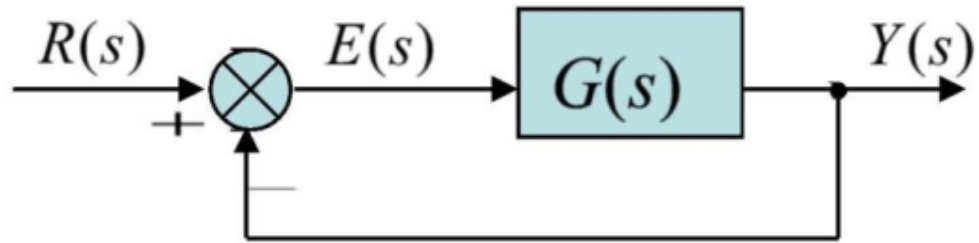


# 控制系统的结构图及其等效变换

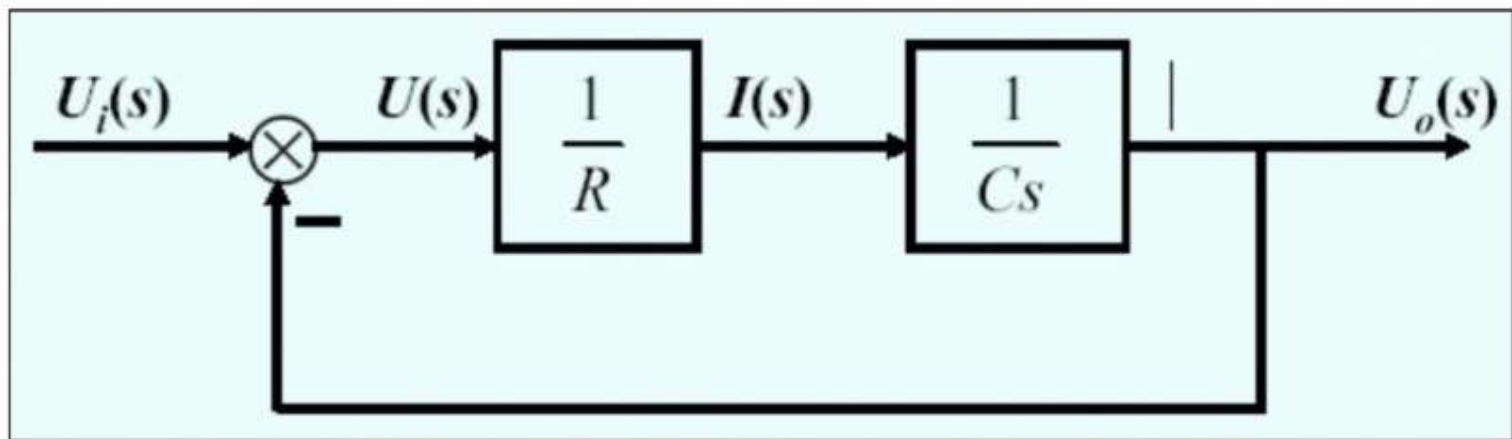
# 系统结构图的组成和绘制

系统结构图又称**方块图**，是将系统中所有的**环节**用**方块**来表示，按照系统中各个**环节**之间的**联系**，将各**方块**连接起来构成的；**方块**的一端为相应环节的**输入**信号，另一端为**输出**信号，用**箭头**表示**信号传递**的方向，并在**方块**内标明相应环节的**传递函数**。



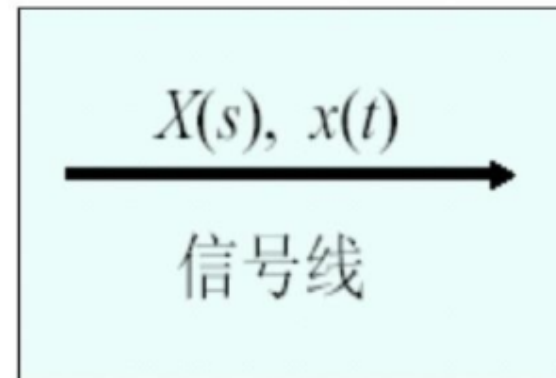
1. 表明了系统的组成、信号的传递方向；
2. 表示出了系统信号传递过程中的数学关系；
3. 可揭示、评价各环节对系统的影响；
4. 易构成整个系统，并简化写出整个系统的传递函数；
5. 直观、方便（图解法）。

任何系统都可以由信号线、方框、信号引出点及比较点组成的方块图来表示。



## 1. 信号线

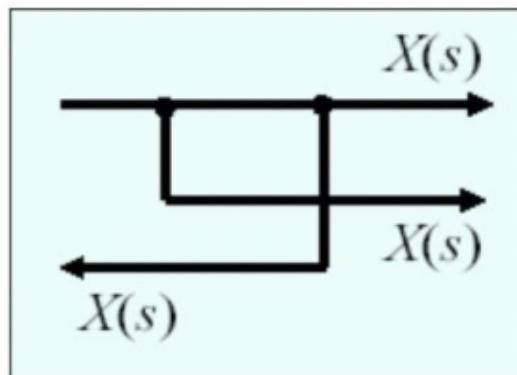
带有箭头的直线，箭头表示信号的传递方向，直线旁标记信号的时间函数或象函数。



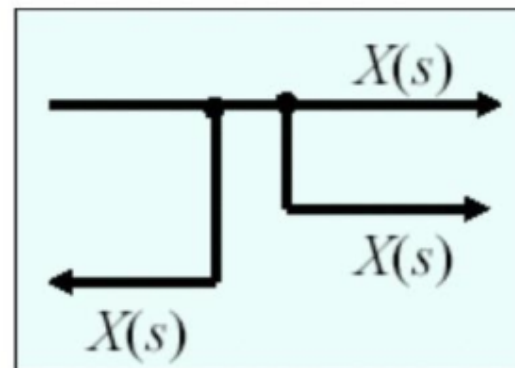
## 2. 信号引出点（线）/测量点

表示信号引出或测量的位置和传递方向。

同一信号线上引出的信号，其性质、大小完全一样。

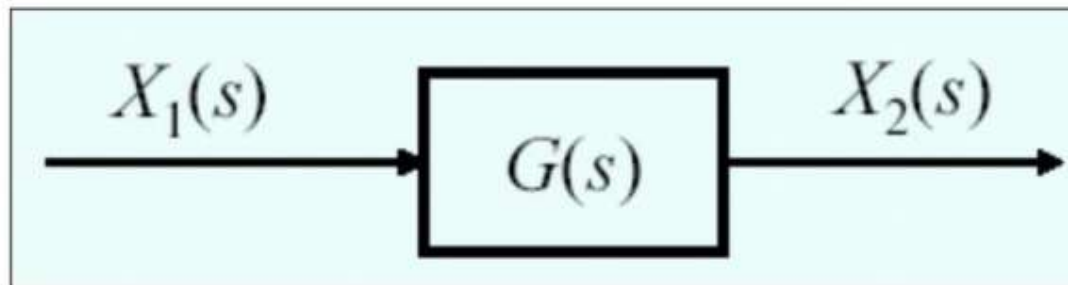


=



### 3. 函数方块(环节)

函数方块具有运算功能

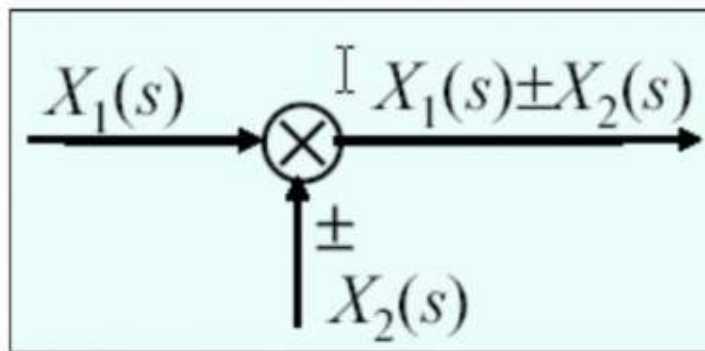


$$X_2(s) = G(s)X_1(s)$$

#### 4. 比较点（求和点、综合点）

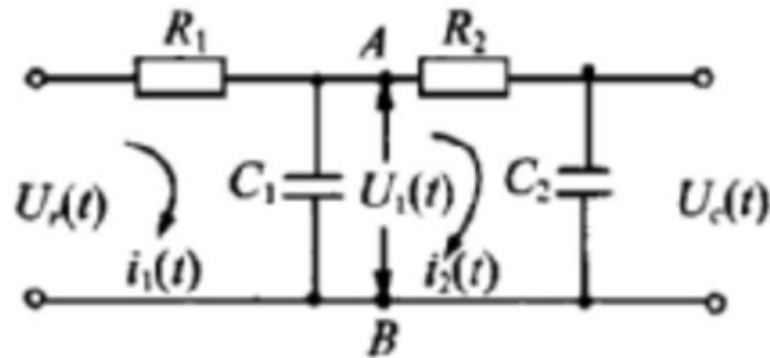
1. 用符号 “ $\otimes$ ” 及相应的信号箭头表示

2. 箭头前方的 “+” 或 “-” 表示加上此信号或减去此信号



！ 注意量纲： 相同量纲的物理量

# 例：二阶RC电气网络



$$\frac{u_r(t) - u_1(t)}{R_1} = i_1(t)$$

$$u_1(t) = \frac{1}{C_1} \int [i_1(t) - i_2(t)] dt$$

$$\frac{u_1(t) - u_c(t)}{R_2} = i_2(t)$$

$$u_c(t) = \frac{1}{C_2} \int i_2(t) dt$$

$$\frac{U_r(s) - U_1(s)}{R_1} = I_1(s)$$

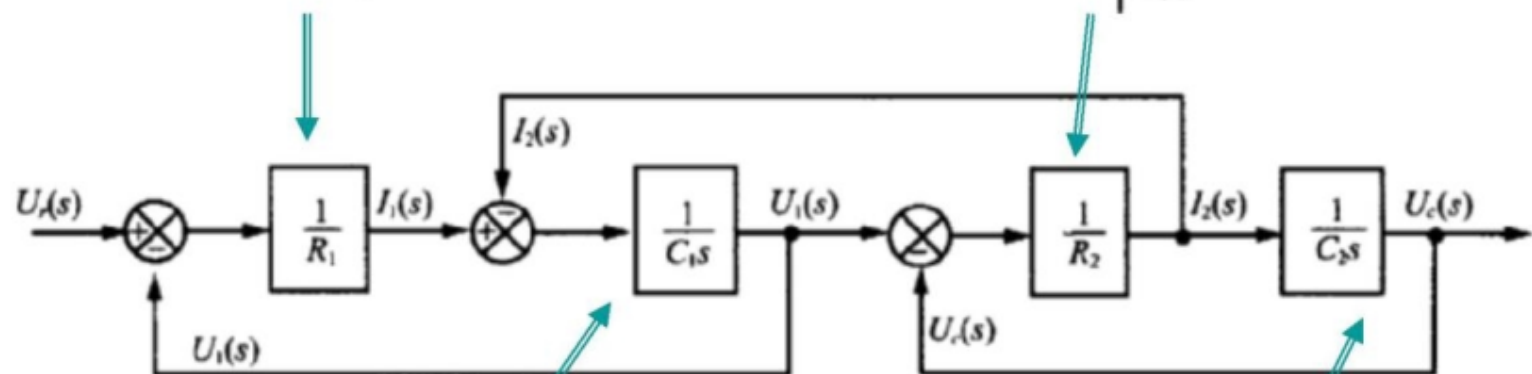
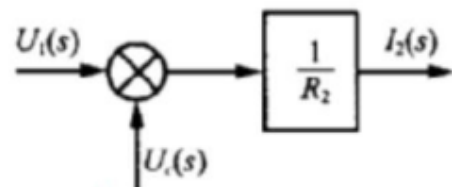
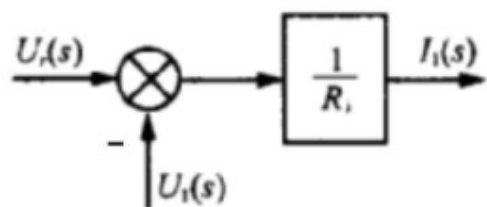
$$U_1(s) = \frac{I_1(s) - I_2(s)}{C_1 s}$$

$$\frac{U_1(s) - U_c(s)}{R_2} = I_2(s)$$

$$U_c(s) = I_2(s) \frac{1}{C_2 s}$$

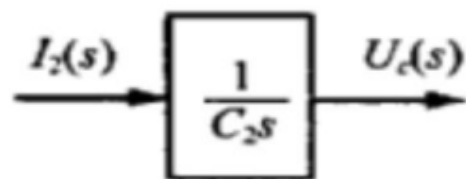
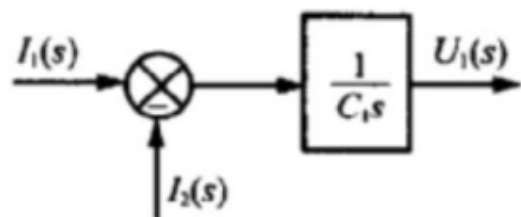
$$\frac{U_r(s) - U_1(s)}{R_1} = I_1(s)$$

$$\frac{U_1(s) - U_c(s)}{R_2} = I_2(s)$$



$$U_1(s) = \frac{I_1(s) - I_2(s)}{C_1 s}$$

$$U_c(s) = I_2(s) \frac{1}{C_2 s}$$





## 结构图的等效变换和简化

➤系统的结构图通过等效变换和简化后可以方便、快速地求取闭环系统的传递函数或系统输出量的响应。

➤等效变换和简化的过程对应于消去中间变量求系统传递函数的过程。

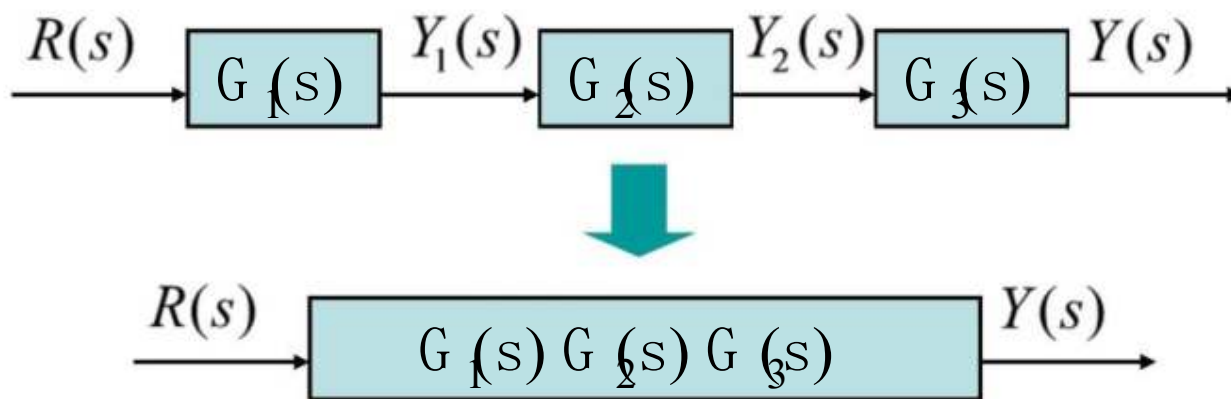
➤方框间的基本连接方式：串联、并联、反馈

➤在简化过程中应遵循变换前后变量关系保持等效的原则！

# 结构图的等效变换和简化

## (1) 串联

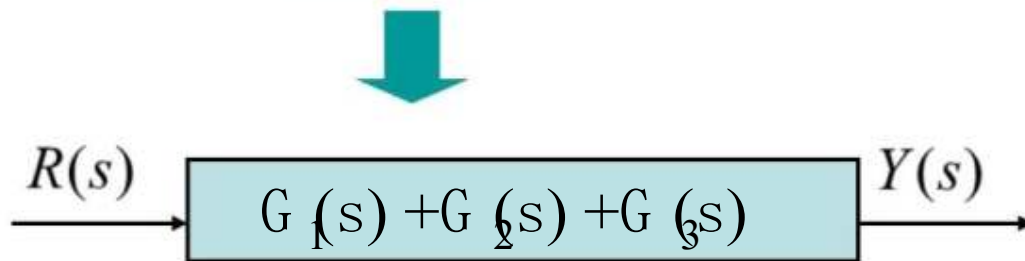
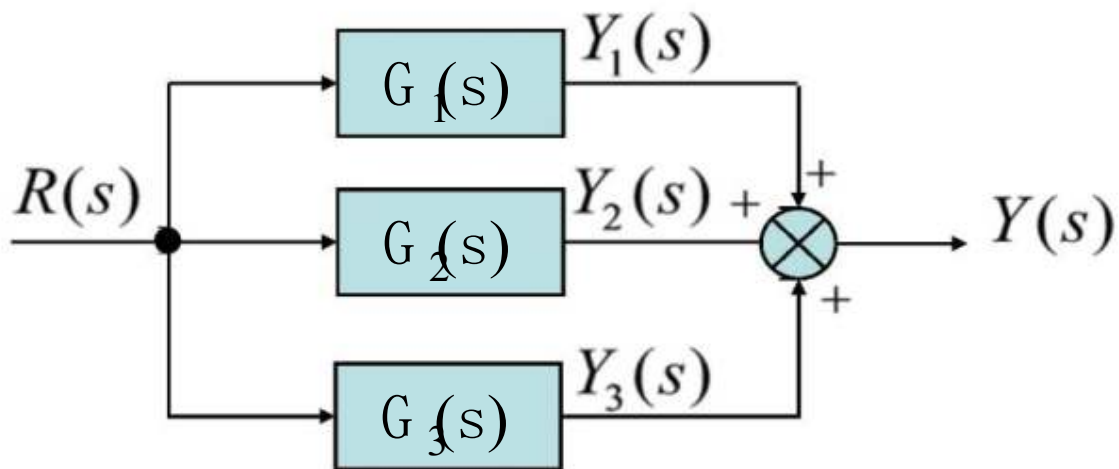
几个环节串联，总的传递函数等于每个环节的传递函数的乘积。



$$G(s) = \prod_{i=1}^n G_i(s)$$

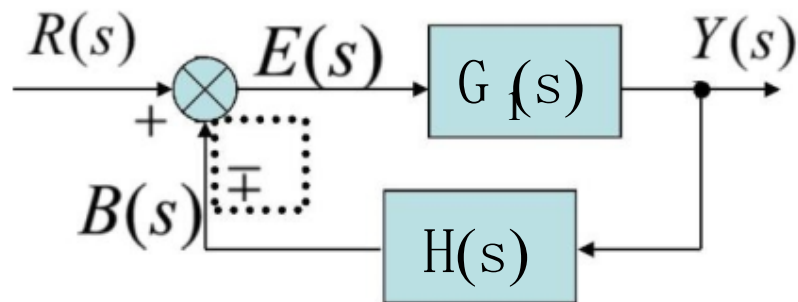
## (2) 并联

同向环节并联的传递函数等于所有并联的环节传递函数之和。



$$G(s) = \sum_{i=1}^n G_i(s)$$

### (3) 反馈

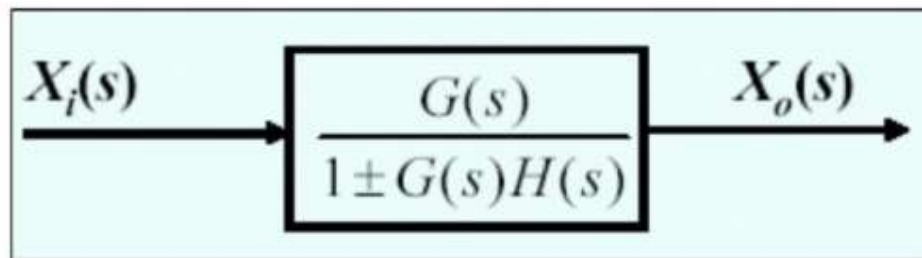
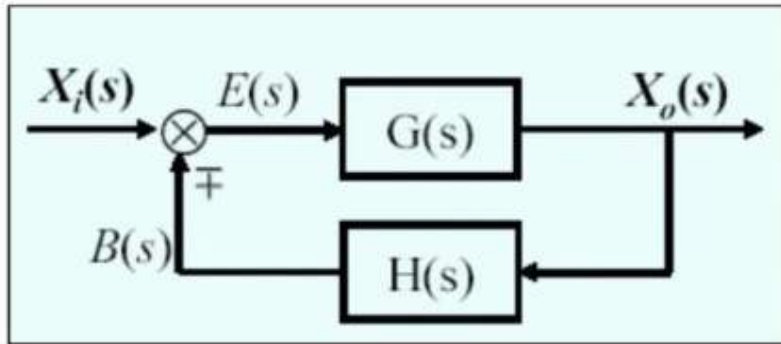


$$Y(s) = G_1(s)E(s)$$

$$E(s) = R(s) \mp B(s) = R(s) \mp Y(s)H(s)$$

$$\therefore Y(s) = G_1(s)[R(s) \mp Y(s)H(s)]$$

$$G(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{G_1(s)}{1 \pm G_1(s)H(s)}$$

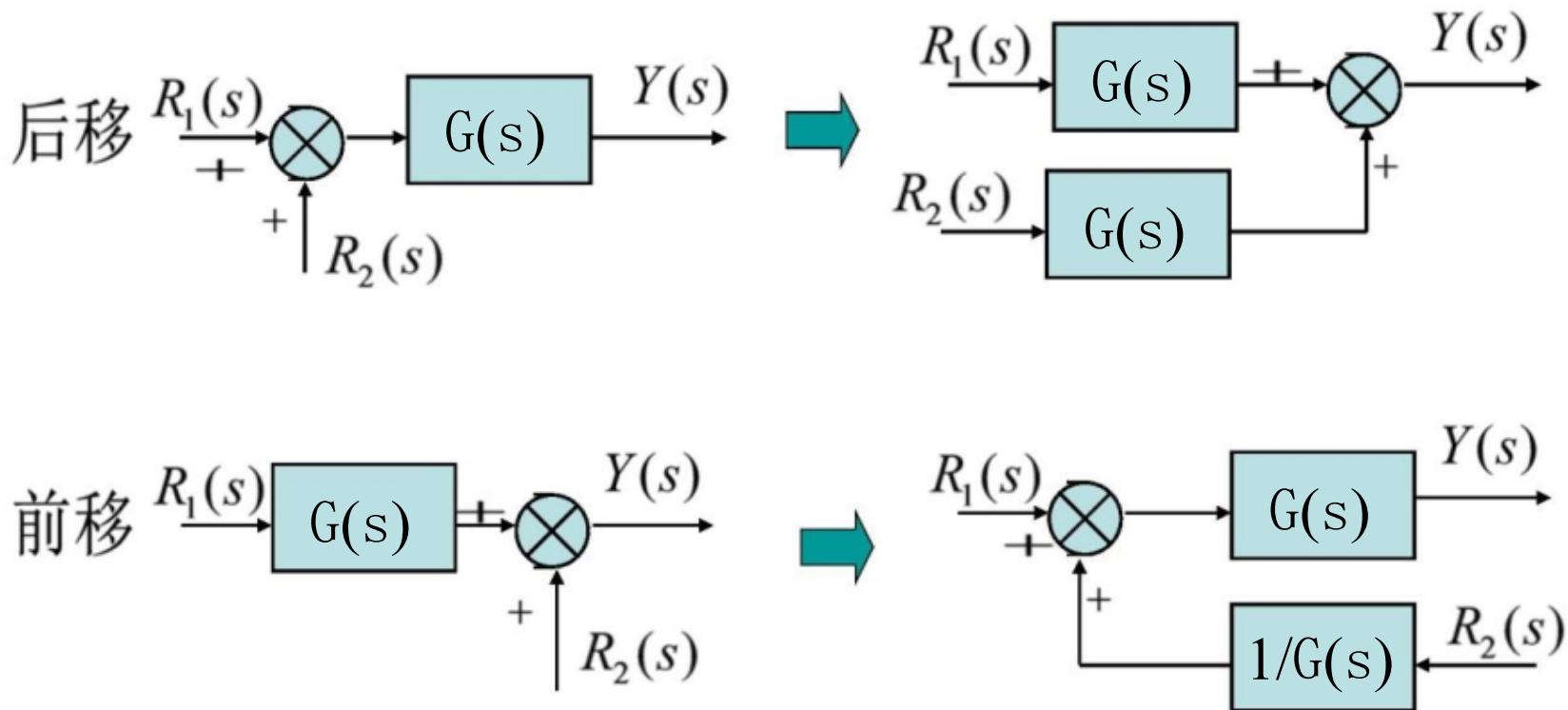


## 信号比较点及引出点的移动

在对系统进行分析时，为了简化系统的结构图，常常需要对信号的比较点或引出点进行变位运算，以便消除交叉，求出总的传递函数。

变位运算的原则是，输入和输出都不变。变换前后的方框图是等效的。

a 比较点（对信号求和）

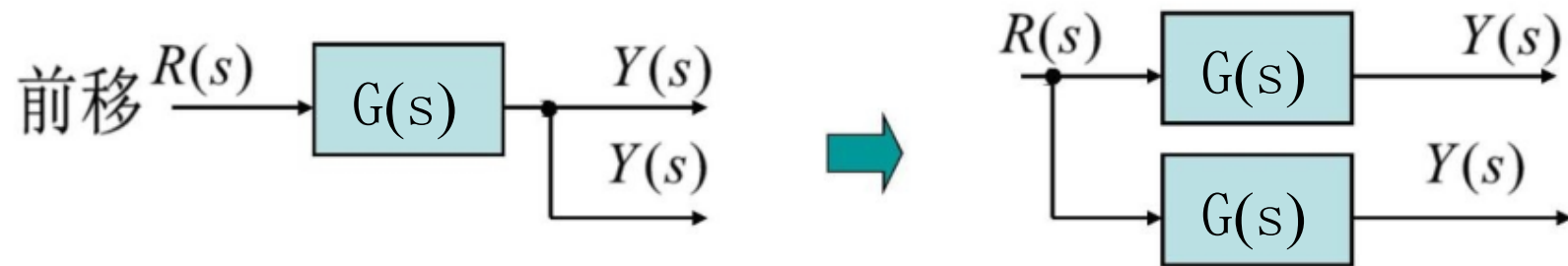
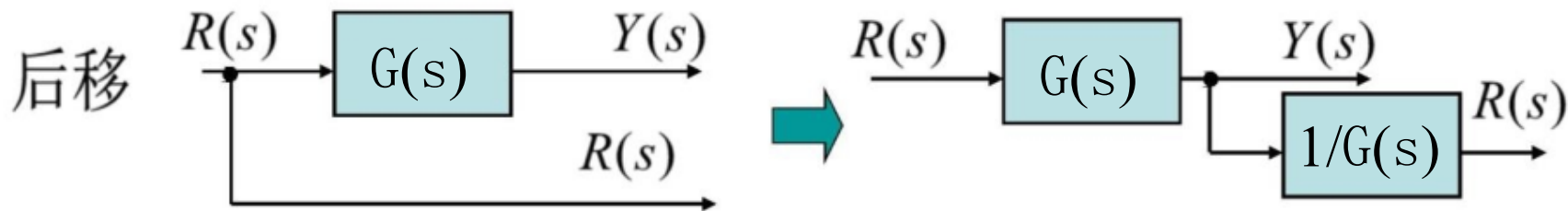


**注：**

相加点进入和出去的信号能量守恒

b引出点（信号由某一点分开）

## 分支点分出信号





- (3) 引出点之间可任意互换。比较点之间可互换  
(但注意前后符号一致)。
- (4) 引出点和比较点之间一般不能互换变位。

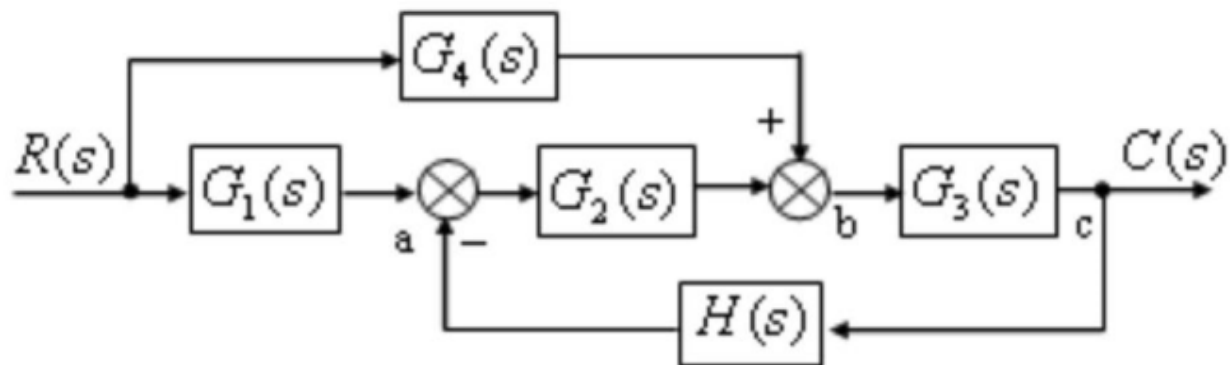
注意：

有些**实际系统**，往往是多回路系统，形成回路交错或相套。为便于计算和分析，常将种复杂的方框图简化为较简单的方框图。

① 结构图简化的关键是解除各种**连接之间**，包括**环路与环路之间的交叉**，应设法使它们分开，或形成大环套小环的形式。

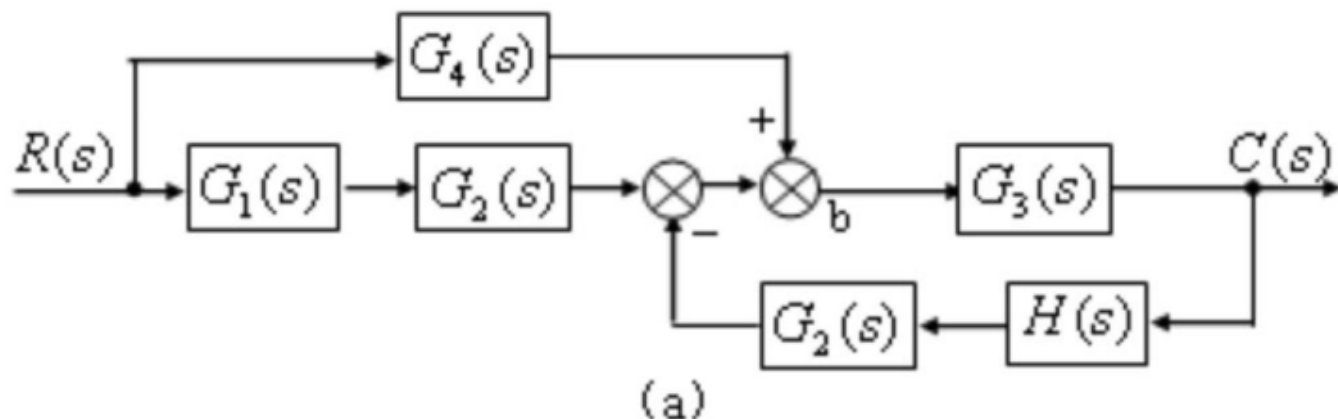
②解除交叉**连接**的有效方法是移动**比较点**或引出点。一般的，结构图上相邻的引出点可以彼此**交换**，相邻的**比较点**也可以彼此**交换**。但是，当引出点与**比较点**相邻时，它们的位置就不能作简单的**交换**。

例2.9 简化下图，求出系统的传递函数。

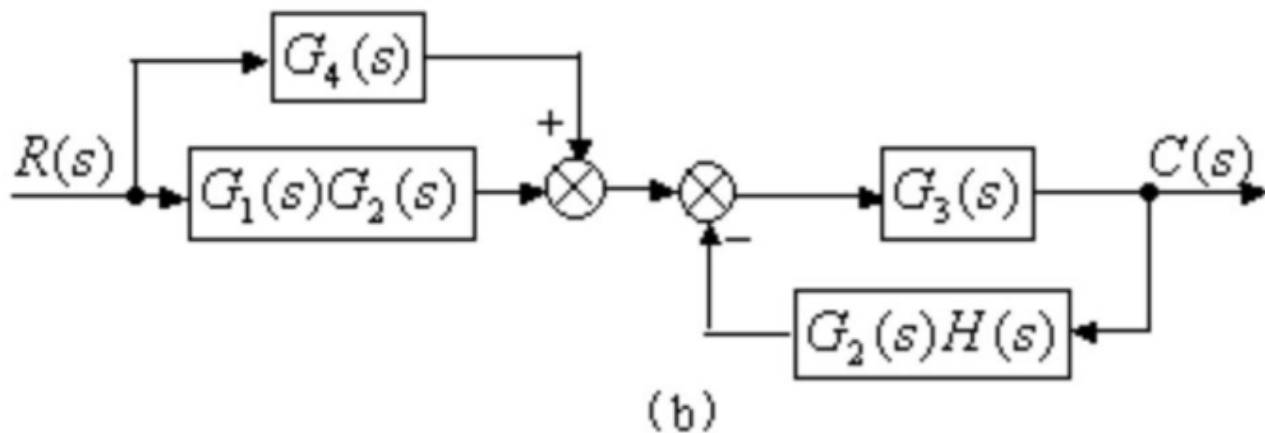


解： 上是具有交叉接的构。消除交叉，可采用比点、引出点互的方法理。

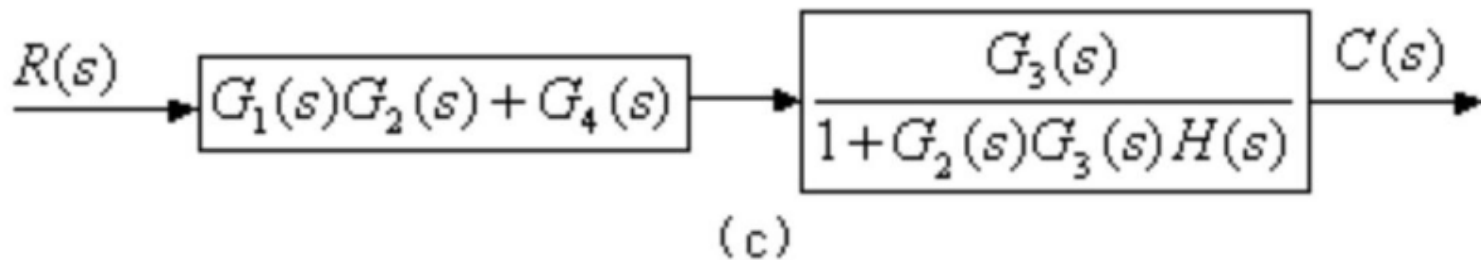
(1) 将相加点a移至 $G_2$ 之后



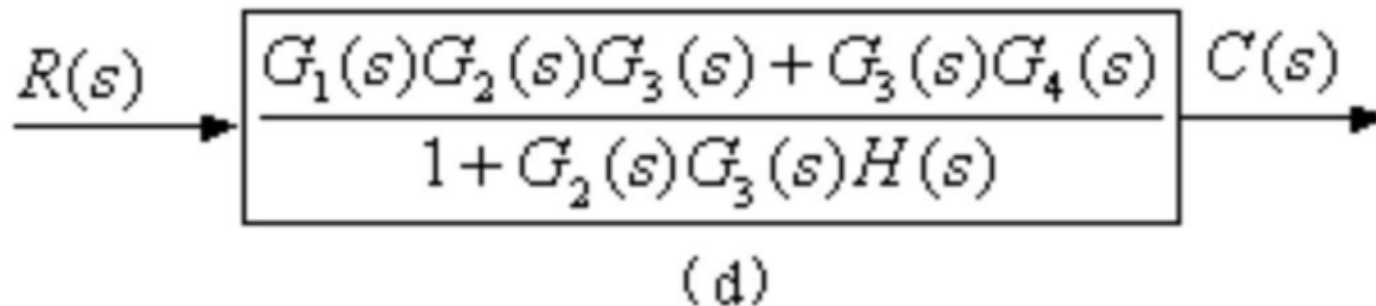
(2) 再与b点交



(3) 因  $G_4$  与  $G_1G_2$  并,  $G$  与  $G_3H_2$  是反



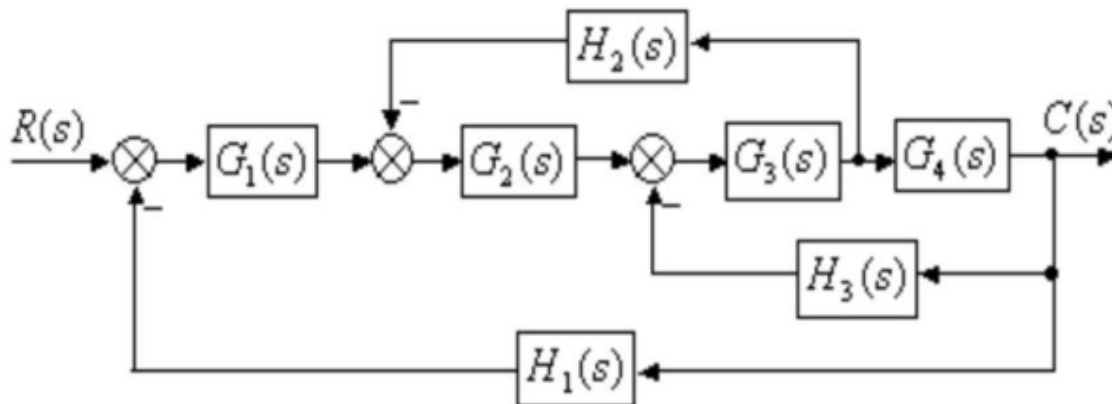
(4) 上图两环节串联，函数相乘后得系统的传递函数为



注：

- ①以上为原系统的闭环传递函数，不是开环系统的传递函数，而是闭环系统简化的结果；
- ②分母中不能看成原闭环系统的开环传递函数，闭环系统开环传递函数应根据定义和具体框图定。

例2.10 试简化下图所示系统的结构图，并求系统的传递函数



有一条前向通道： $G_1 G_2 G_3 G_4$

反馈回路开环传递函数： $G_2 G_3 H_2$ ， $G_3 G_4 H_3$ ， $G_1 G_2 G_3 G_4 H_1$

前向通道与反馈回路两两接触

所以

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G_1 G_2 G_3 G_4}{1 + G_2 G_3 H_2 + G_3 G_4 H_3 + G_1 G_2 G_3 G_4 H_1}$$

# 信号流图的组成及性质

求系统的传递函数时，需要对微分方程组或经拉氏变换后的代数方程组进行消元。而采用结构图或信号流图，不仅便于求取系统的传递函数，还能直观地表明输入信号以及各中间变量在系统中的传递过程。因此，结构图和信号流图作为一种数学模型，在控制理论中得到了广泛的应用。

信号流图起源于梅森 (S. J. MASON) 利用图示法来描述一个或一组线性代数方程，是由节点和支路组成的一种信号传递网络。

# 信号流图的性质

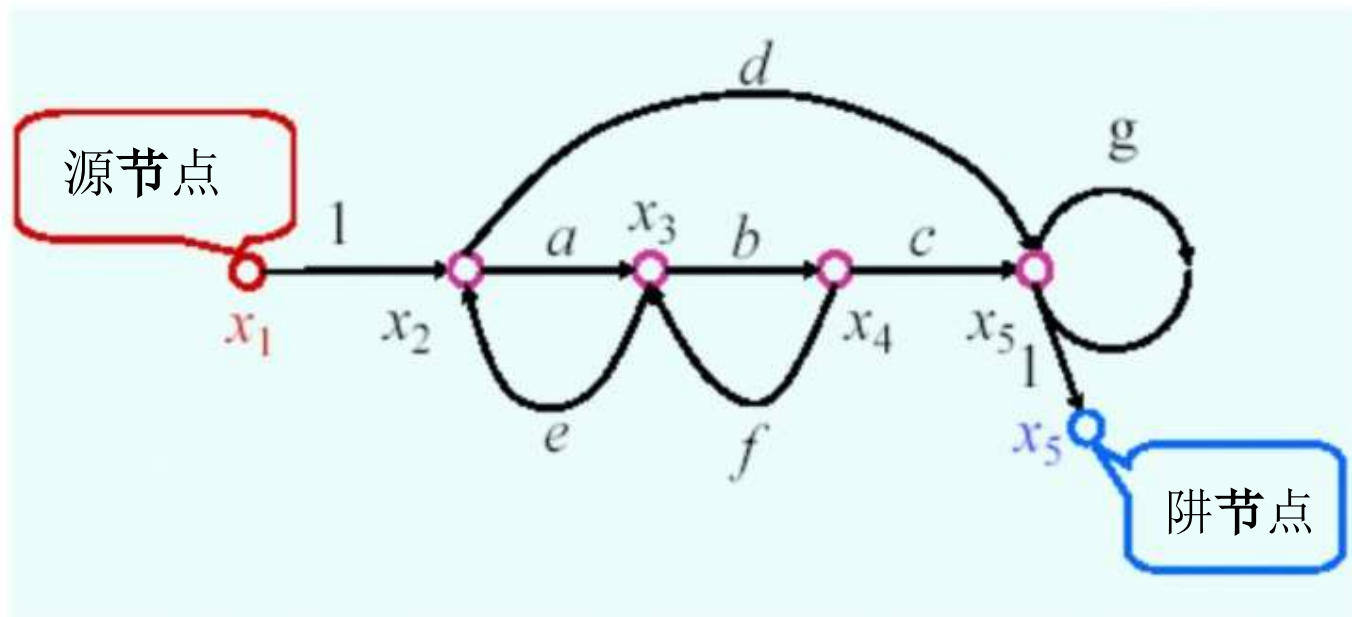
1. 信号流图只能用来表示代数方程组，节点表示系统变量。
2. 节点把所有输入信号叠加，传到所有的输出支路。
3. 信号只能沿支路的箭头方向单向传递，后一个节点对前一个节点没有反作用。
4. 对于给定的系统，节点变量的设置是任意的，因此信号流图不是唯一的。



# 信号流图的常用术语

## 1. 节点及其类别

- ◆ **源节点** 只有 **输出支路** 而无**输入支路**的节点称为**源节点**或**输入节点**，对应于系统的**输入变量**。
- ◆ **阱节点** 只有 **输入支路** 而无**输出支路**的节点称为**阱节点**或**输出节点**，它对应于系统的**输出变量**。
- ◆ **混合节点** 既有**输入支路**又有**输出支路**的节点称为**混合节点**。



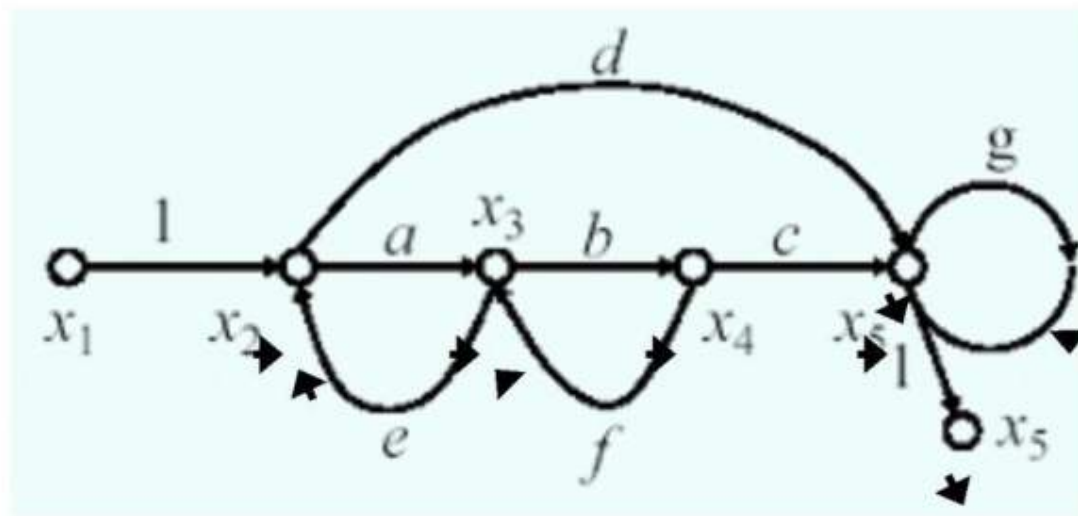
- **节点**——代表系统中的**一个变量或信号**。用符号“○”表示。
- **支路**——是**连接两个节点的定向线段**。用符号“→”表示，其中的**箭头**表示信号的**传送方向**。
- **支路增益**——支路**传输**定量地表明**变量从支路一端沿箭头方向传送到另一端的函数关系**。用**标在支路旁边的传递函数**“G”表示支路**传输**。

$$x_2 = x_1 + ex_3$$

$$x_3 = ax_2 + fx_4$$

$$x_4 = bx_3$$

$$x_5 = dx_2 + cx_4 + gx_5$$



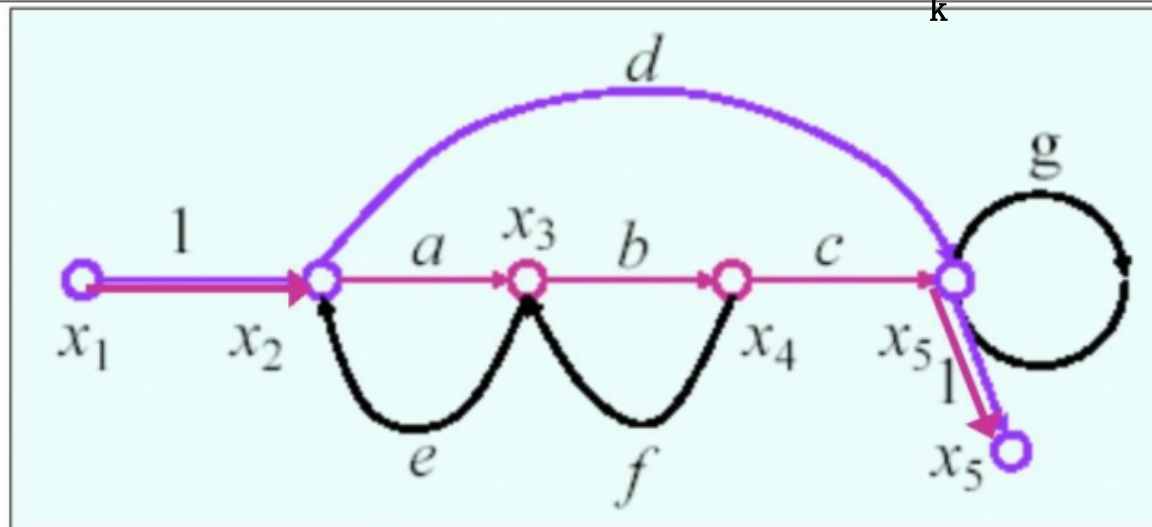
2.

通路

沿支路箭头方向穿过各相连支路的路径。

前向通路

从源节点到阱节点的通路上通过任何节点不多于一次的通路。前向通路上各支路增益之乘积，称前向通路总增益，一般用 $p_k$ 表示。



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/538122014006006107>