第二章 控制系统的数学模型

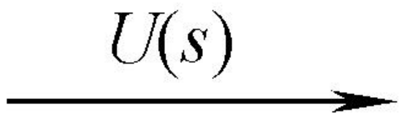
动态结构图：

控制系统的动态结构图（方框图）是描述系统中各变量间关系的数学图形。应用动态结构图可以简化复杂控制系统的分析和计算，同时能直观地表明控制信号在系统内部的动态传递关系，因此在控制理论中的应用十分广泛。

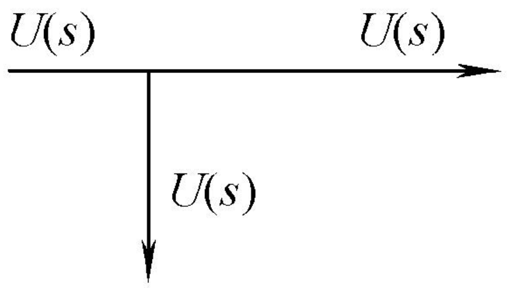
2.5 动态结构图及等效变换

一、动态结构图的组成

1、信号线：有箭头的直线，箭头表示信号传递方向。



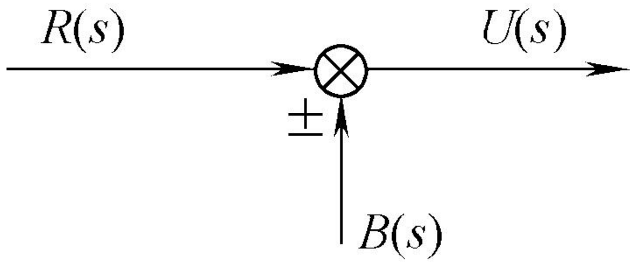
2、引出点：信号引出或测量的位置。



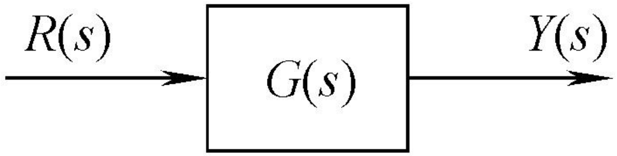
从同一信号线上引出的信号，数值和性质完全相同。

2.5 动态结构图及等效变换

3、综合点（相加点、比较点）：对两个或两个以上的信号进行代数运算，“＋”表示相加，“－”表示相减。“＋”常省略。



4、方框：表示典型环节或其组合，框内为对应的传递函数，两侧为输入、输出信号线。



$$Y(s) = R(s)G(s)$$

二、动态结构图的绘制步骤

系统的动态结构图的绘制步骤如下：

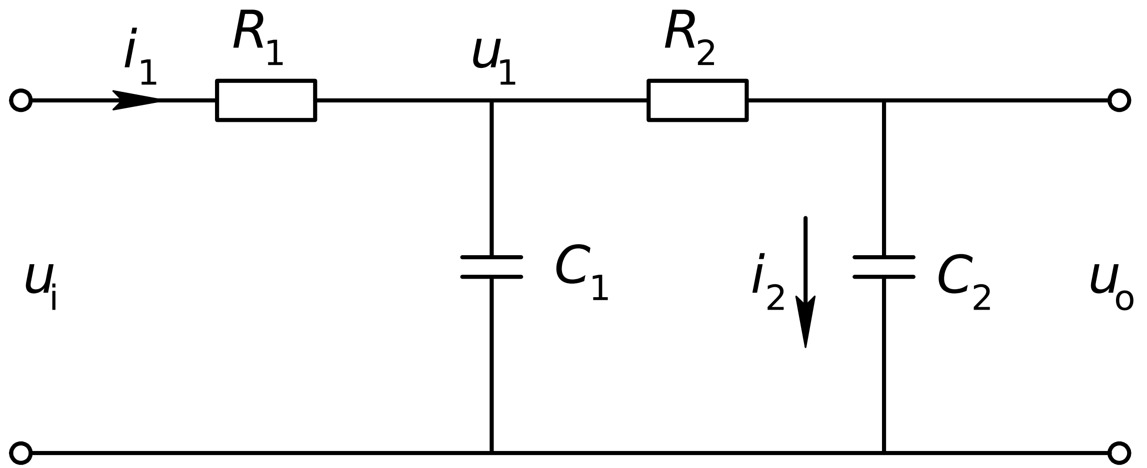
(1) 根据信号传递过程，将系统划分为若干个环节或部件。

(2) 确定各环节的输入量与输出量，求出各环节的传递函数。

(3) 绘出各环节的动态结构图。

(4) 将各环节相同的量依次连接，得到系统动态结构图。

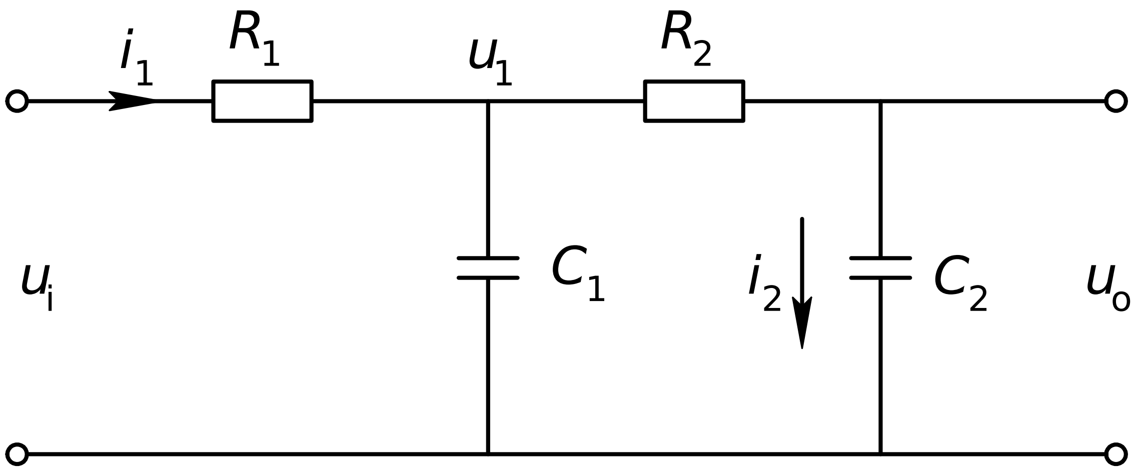
例1 试绘制如图所示*RC*电路的动态结构图。



解： (1) 根据信号传递过程，将系统划分为四个部件：R_1、C_1、R_2、C_2。

(2) 确定各环节的输入量与输出量，求出各环节的传递函数。

2.5 动态结构图及等效变换

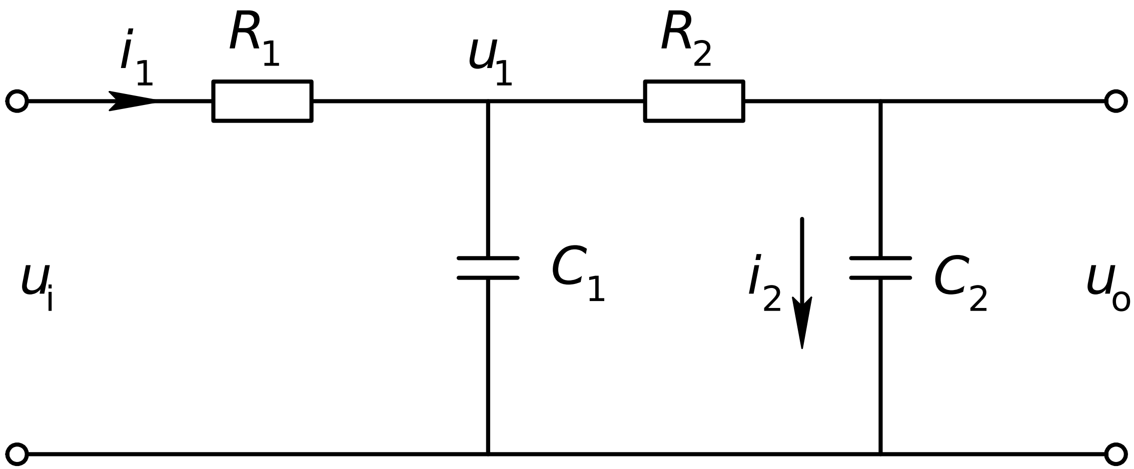


- R_1： 输入量为u_i-u_1， 输出量为i_1； 传递函数为

$$\frac{I_1(s)}{U_i(s)-U_1(s)}=\frac{1}{R_1}$$

- C_1： 输入量为i_1-i_2，输出量为u_1；传递函数为

$$\frac{U_1(s)}{I_1(s)-I_2(s)}=\frac{1}{C_1 s}$$



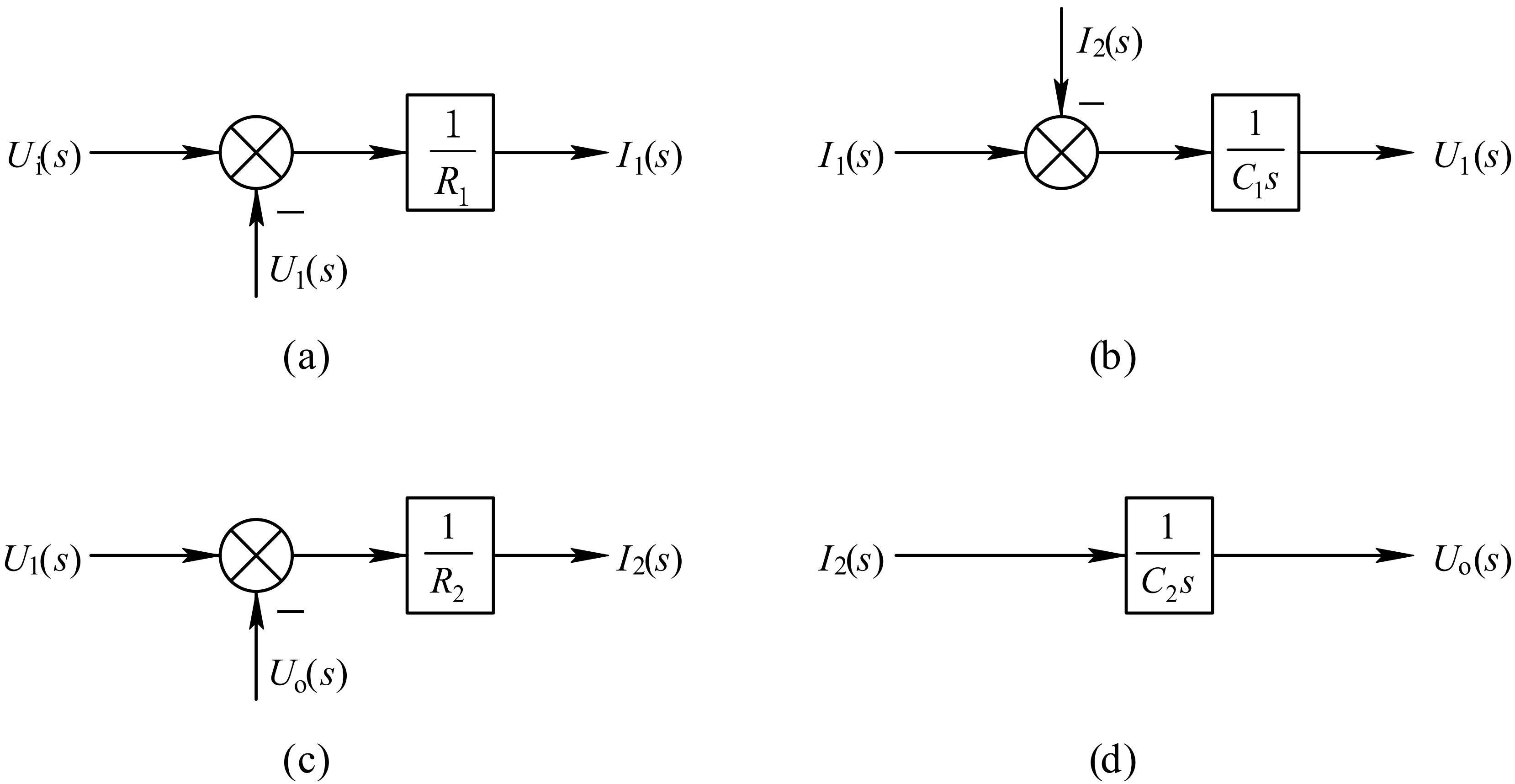
- **R_2**：输入量为u_1-u_o，输出量为i_2；传递函数为

$$\frac{I_2(s)}{U_1(s)-U_o(s)}=\frac{1}{R_2}$$

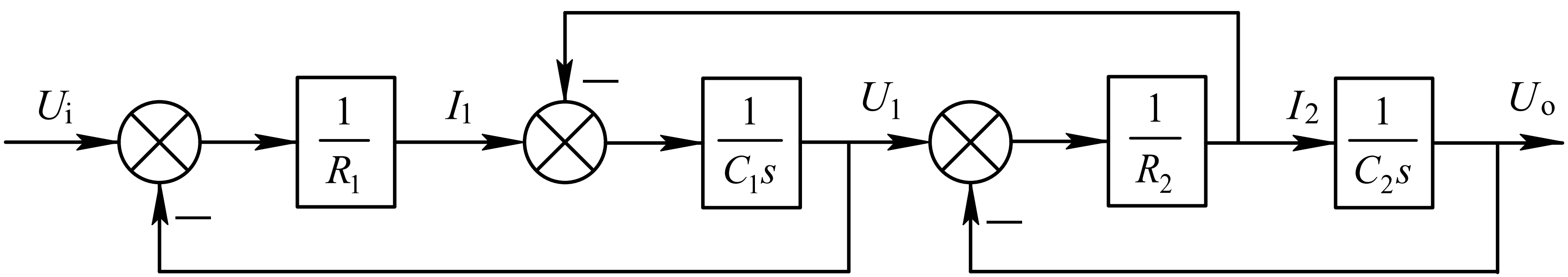
- **C_2**：输入量为i_2，输出量为u_o；传递函数为

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

(3) 绘出各环节的动态结构图。



(4) 将各环节相同的量依次连接， 得到系统动态结构图。

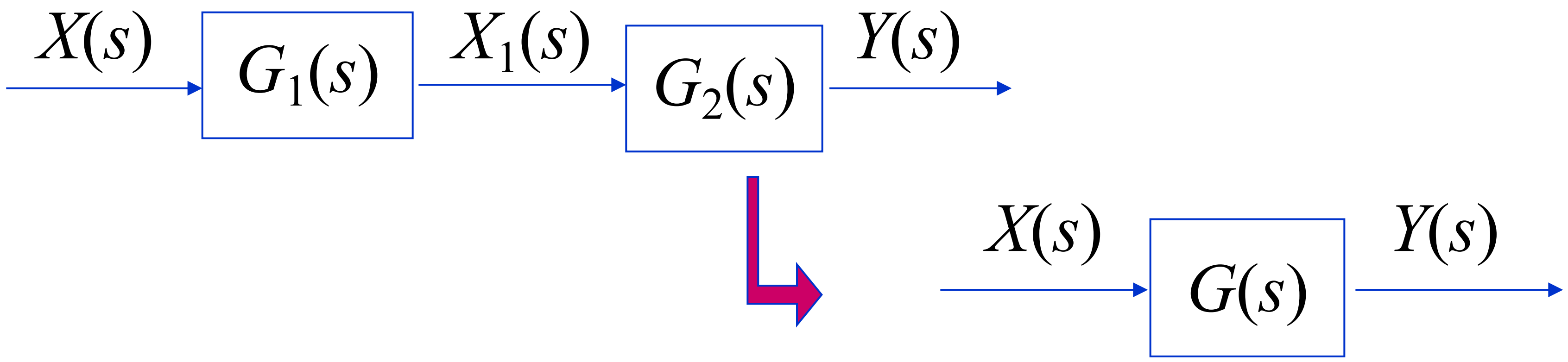


三、基本连接方式及等效变换

动态结构图的基本连接方式有三种：串联、并联、反馈。复杂系统的动态结构图都主要由这三种基本的连接方式组合而成的。

2.5 动态结构图及等效变换

1、串联等效

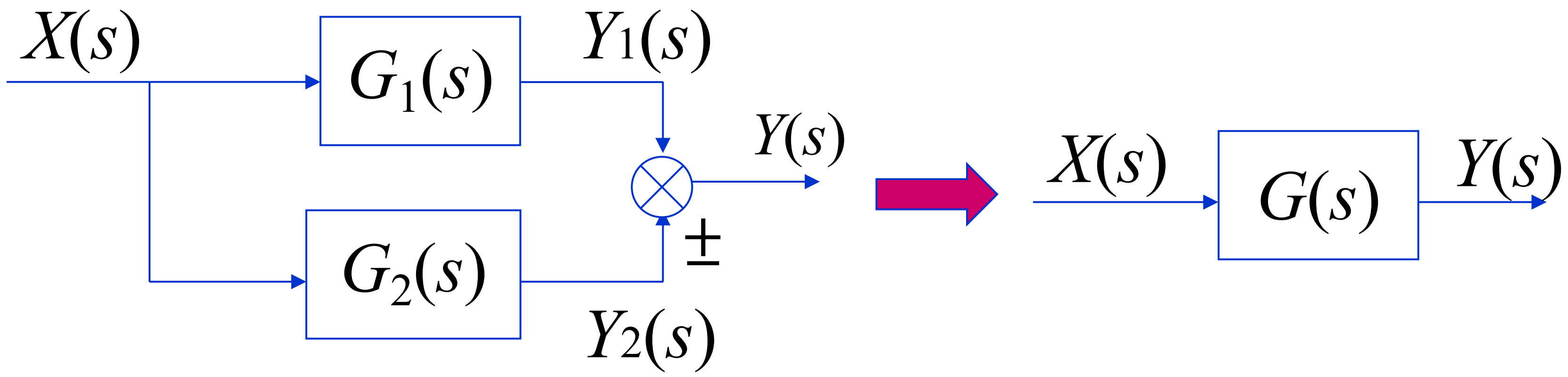


$$G(s)=\frac{Y(s)}{X(s)}=G_1(s)G_2(s)$$

n个环节串联后的总传递函数等于各环节的传递函数的乘积：

$$G(s) = G_1(s) \cdot G_2(s) \cdots\cdots G_n(s) = \prod_{i=1}^{n} G_i(s)$$

2、并联等效

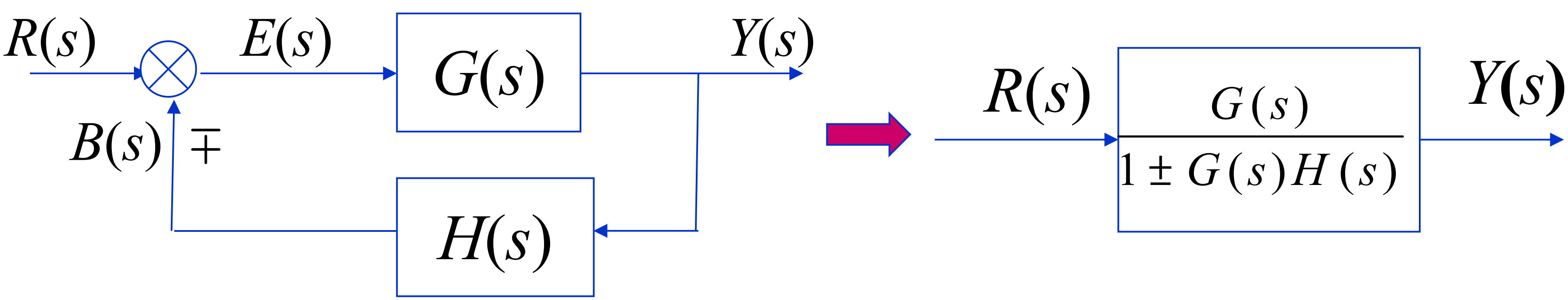


$$G(s) = G_1(s) \pm G_2(s)$$

*n*个环节并联后的总传递函数等于各环节的传递函数之代数和：

$$G(s)=G_1(s)+G_2(s)+\cdots+G_n(s)=\sum_{i=1}^{n}G_i(s)$$

3、反馈等效（回路等效）



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

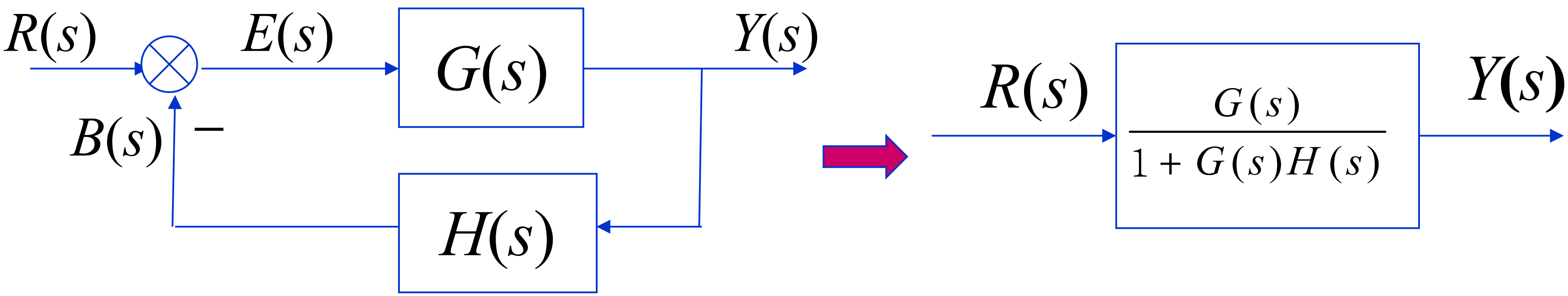
$$Y(s)=[R(s)\mp B(s)]G(s)=R(s)G(s)\mp Y(s)G(s)H(s)$$

$$Y(s)[1\pm G(s)H(s)]=R(s)G(s)$$

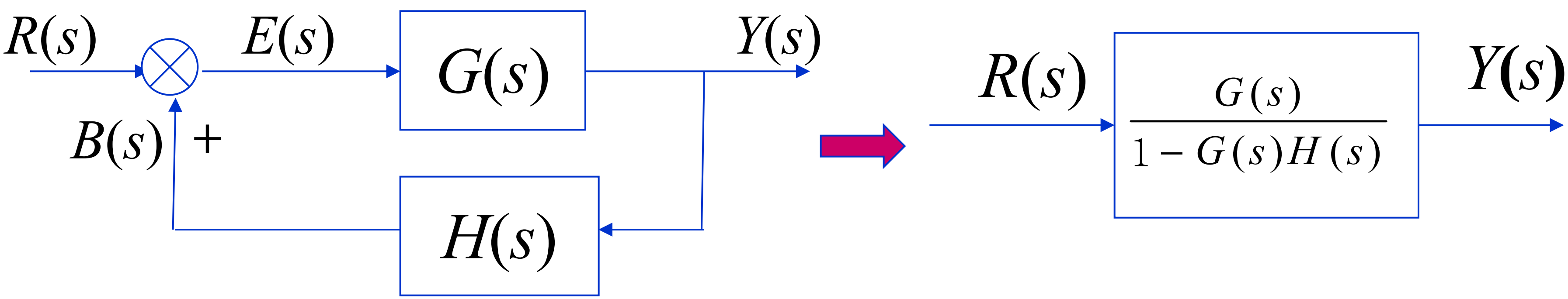
$$\frac{Y(s)}{R(s)}=\Phi(s)=\frac{G(s)}{1\pm G(s)H(s)}$$

2.5 动态结构图及等效变换

在<u>负反馈</u>的情况下：



在<u>正反馈</u>的情况下：

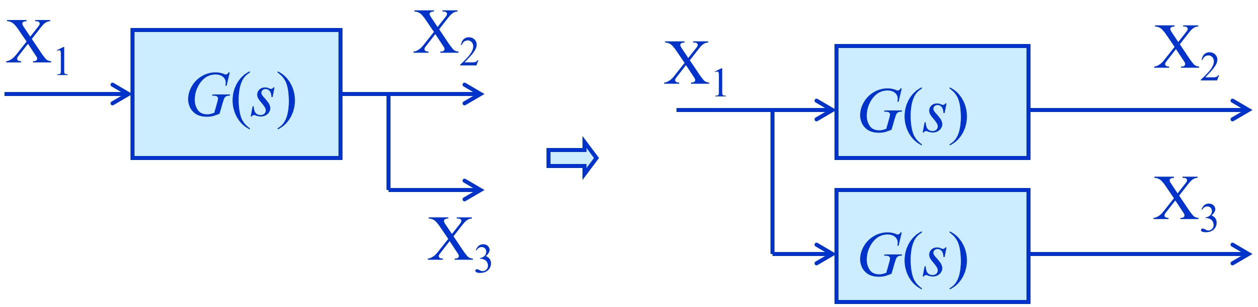


如果反馈通道的传递函数$H(s)=1$，则称闭环系统为<u>单位反馈系统</u>。

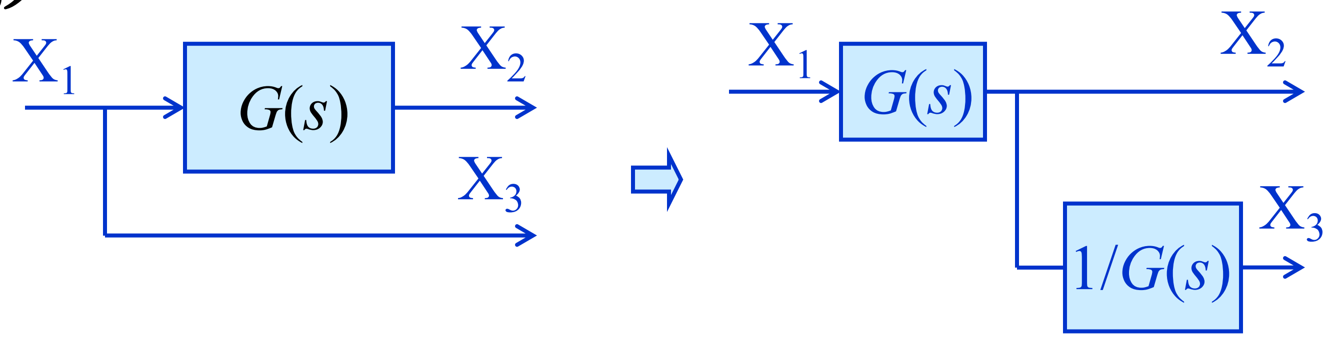
四、等效移动

1、引出点的移动

1）前移

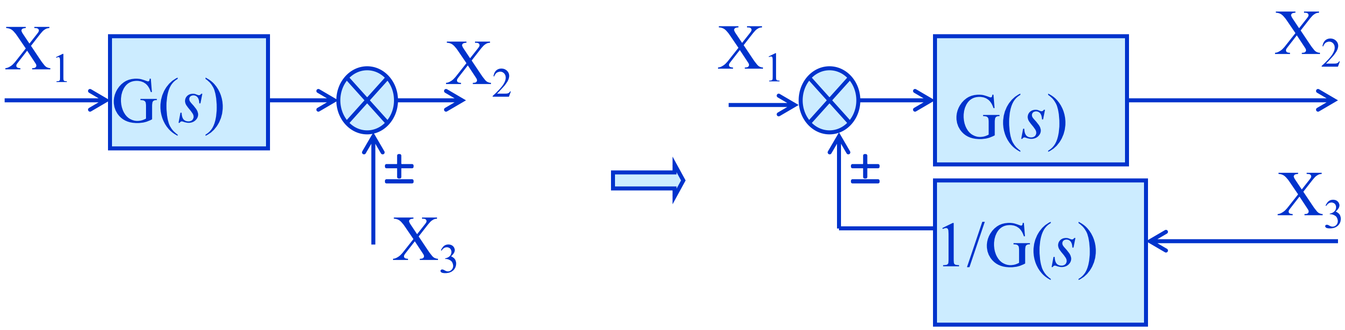


2）后移

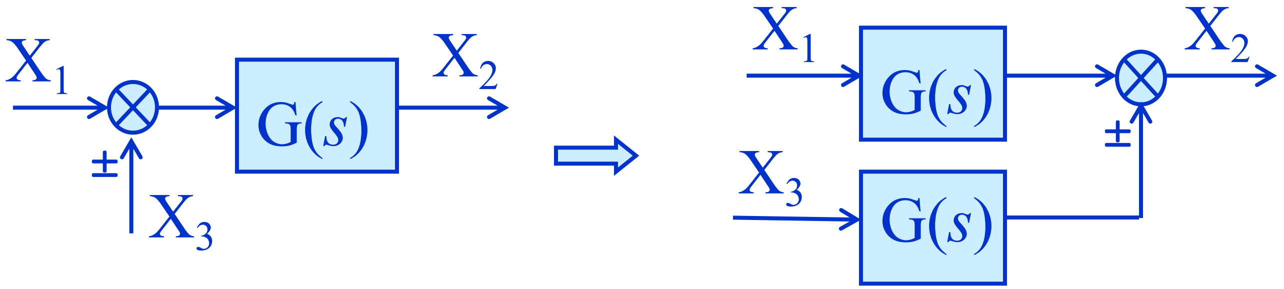


2、综合点的移动

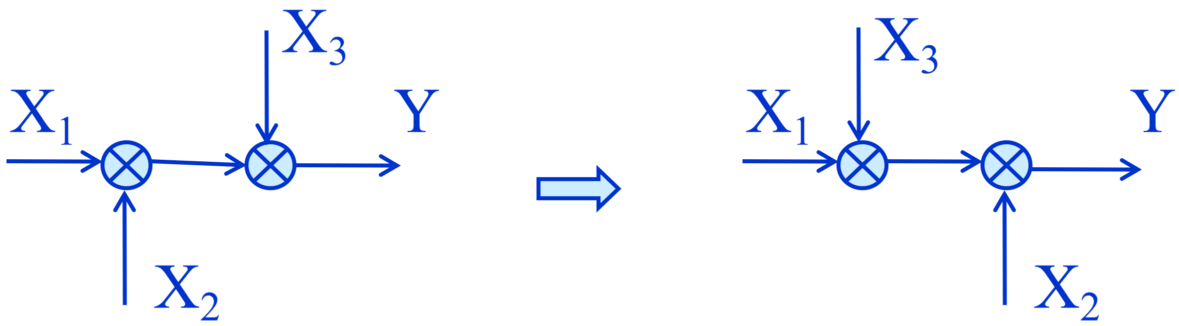
1）前移



2）后移



3） 相邻综合点移动



NOTE：

（1） 反馈等效优先；

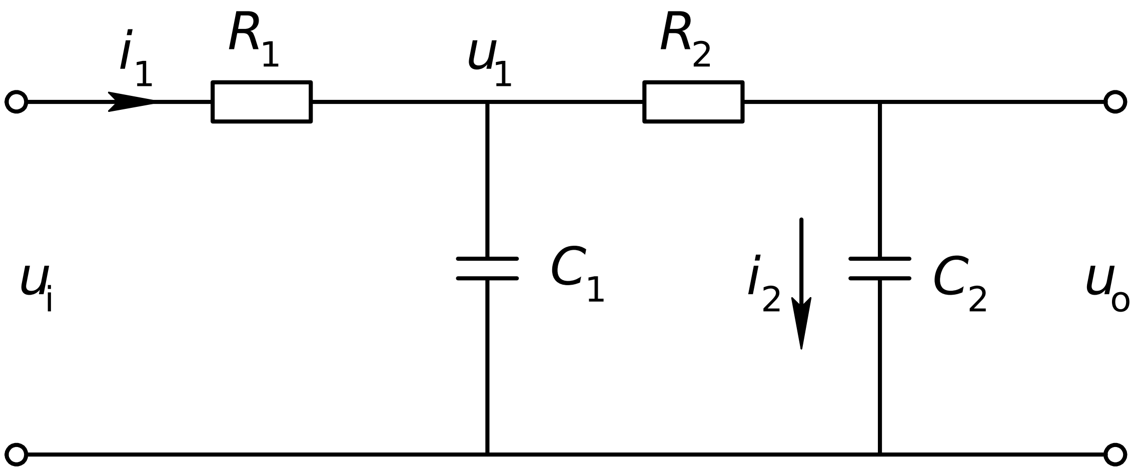
（2） 引出点移向引出点，综合点移向综合点；

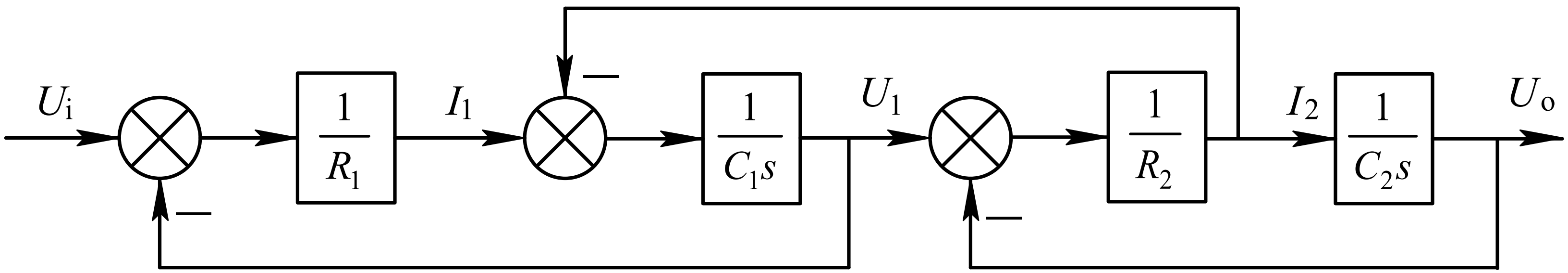
（3） 相邻的引出点可以互换位置，也可以合并；

（4） 相邻的综合点可以互换位置，也可以合并；

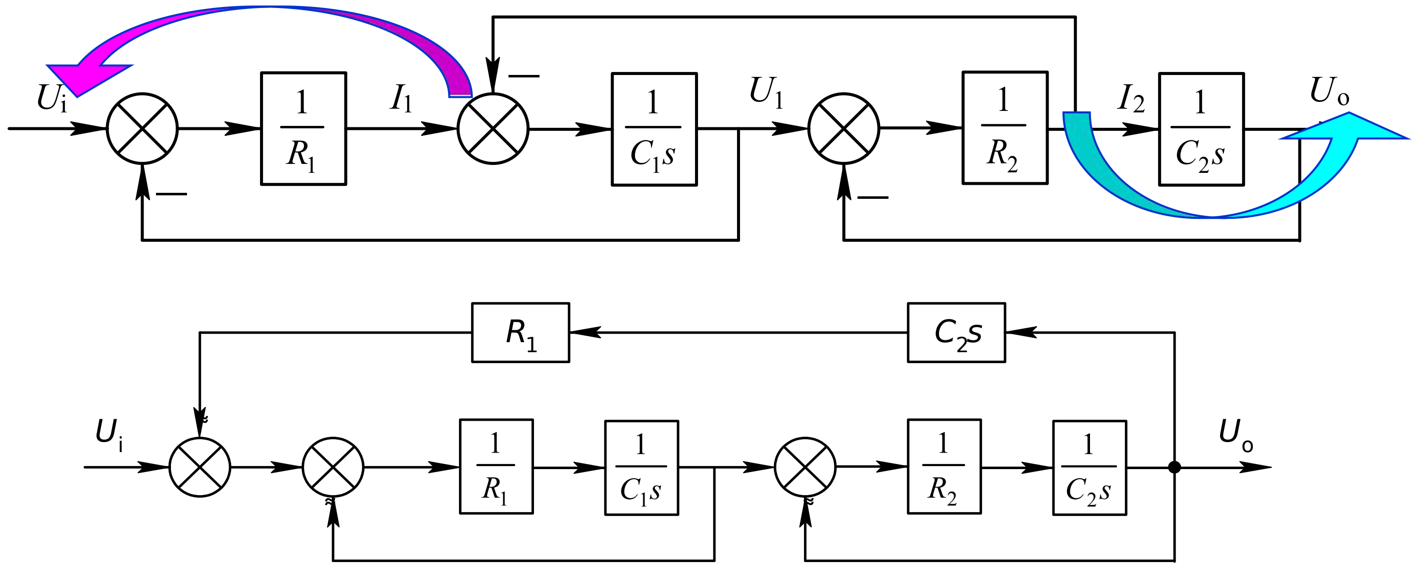
（5） 相邻的引出点和综合点不可互换位置。

例2 试简化如图所示*RC*电路的动态结构图。

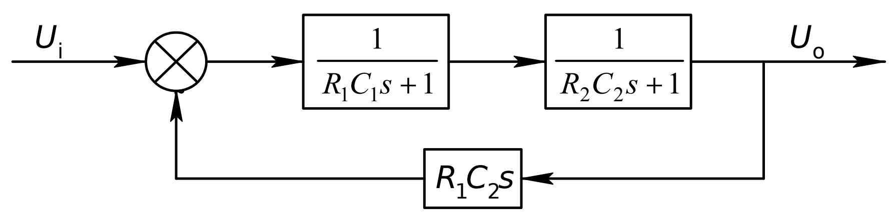




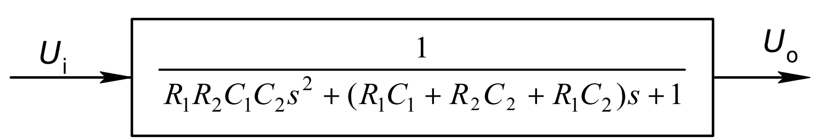
2.5 动态结构图及等效变换



(a)

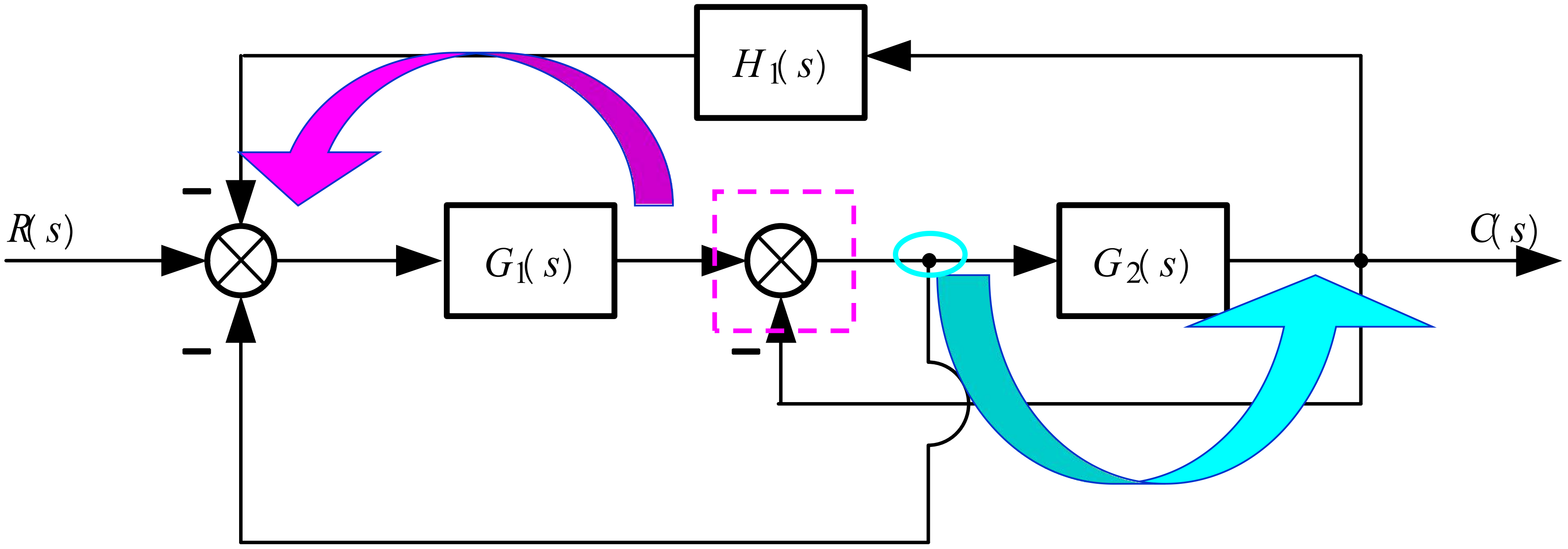


(b)

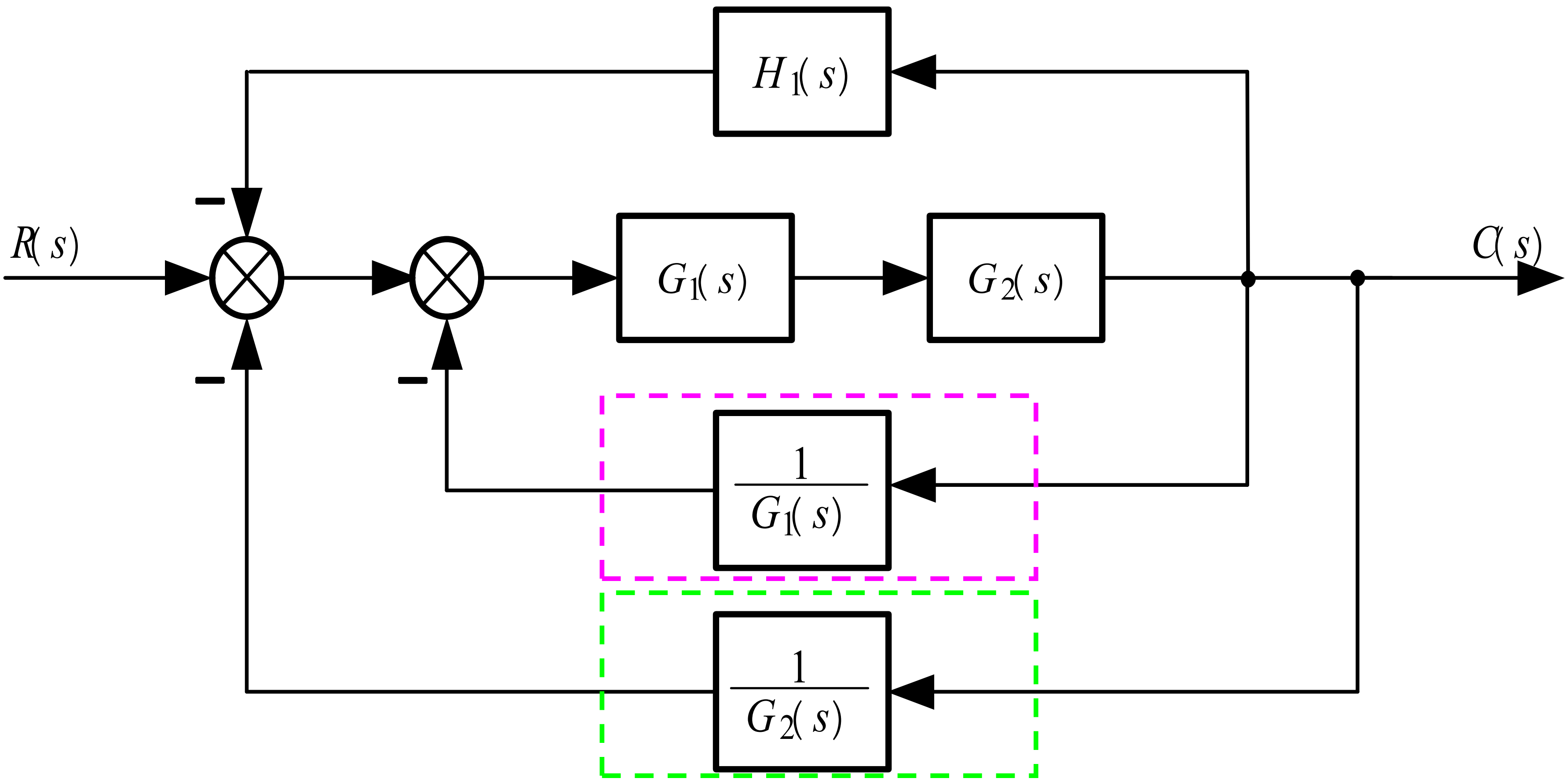


(c)

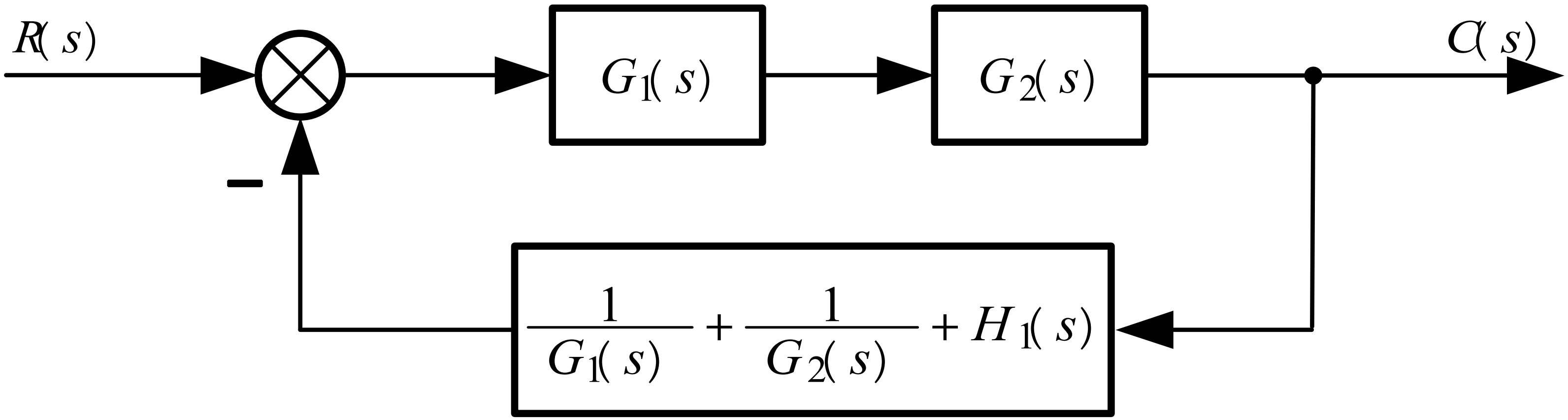
例3：试简化系统结构图，并求出系统的传递函数。



2.5 动态结构图及等效变换

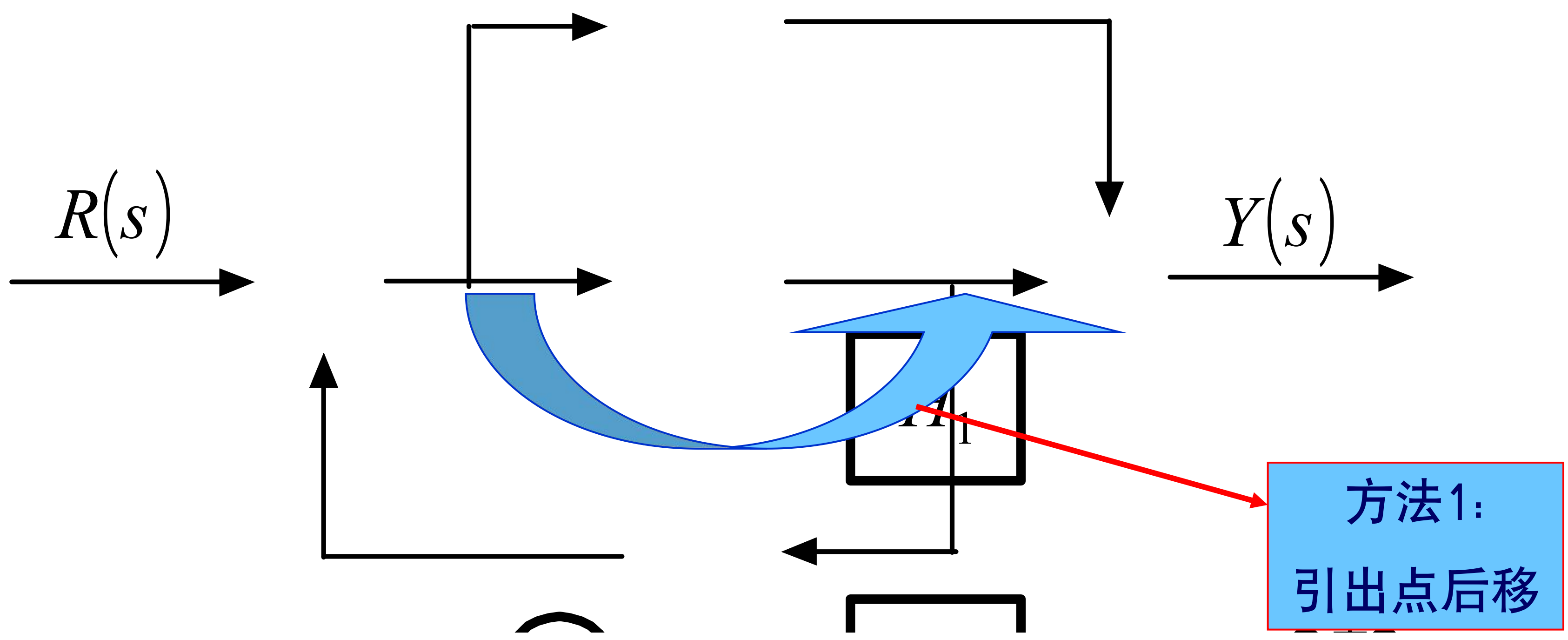


2.5 动态结构图及等效变换



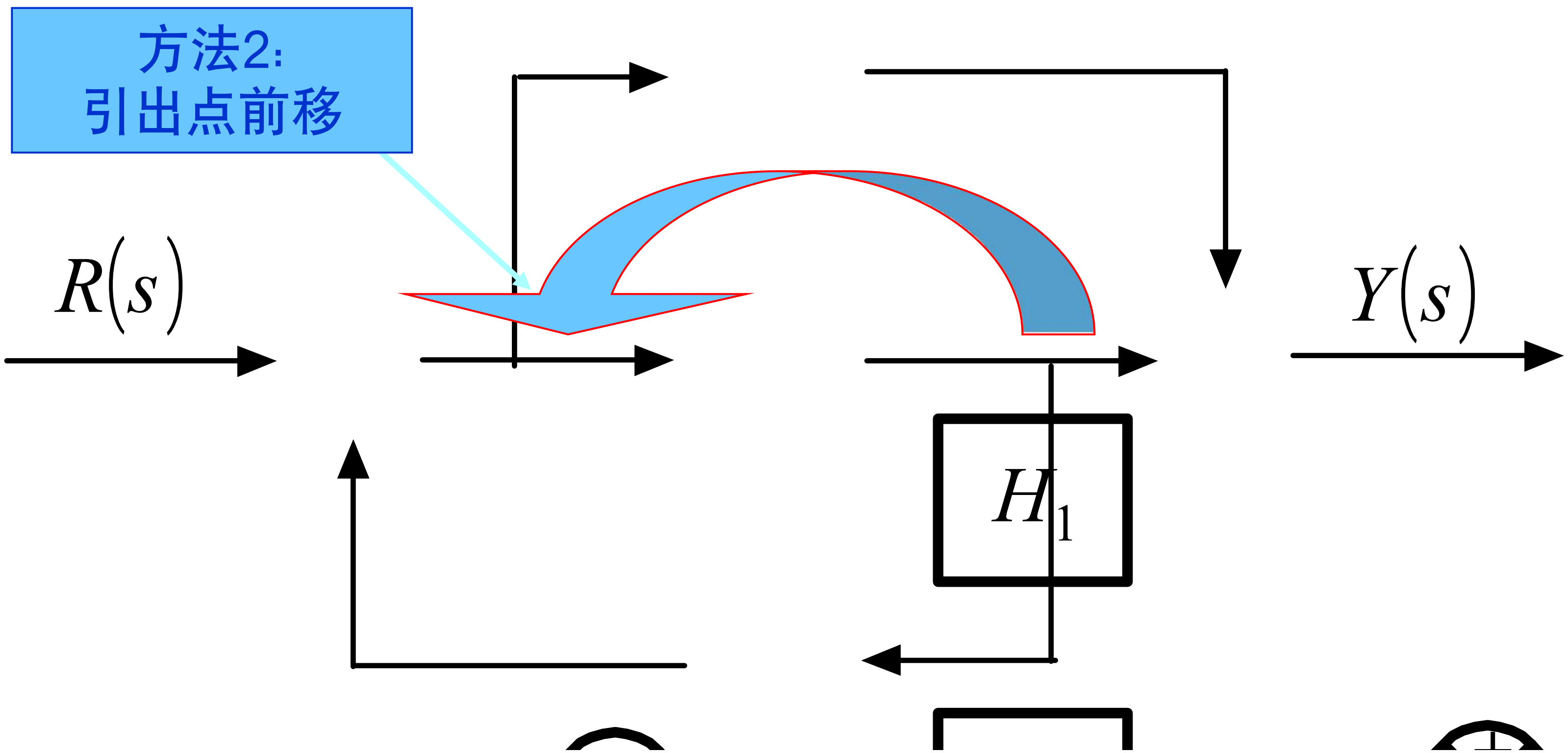
$$\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{G_1(s)G_2(s)}{1+G_1(s)+G_2(s)+G_1(s)G_2(s)H_1(s)}$$

例4：试简化系统结构图，并求系统传递函数。



$$\frac{Y(s)}{R(s)}=\frac{G+H_1}{1+GH_2}$$

2.5 动态结构图及等效变换



$$\frac{Y(s)}{R(s)}=\frac{G+H_1}{1+GH_2}$$

Thank You！