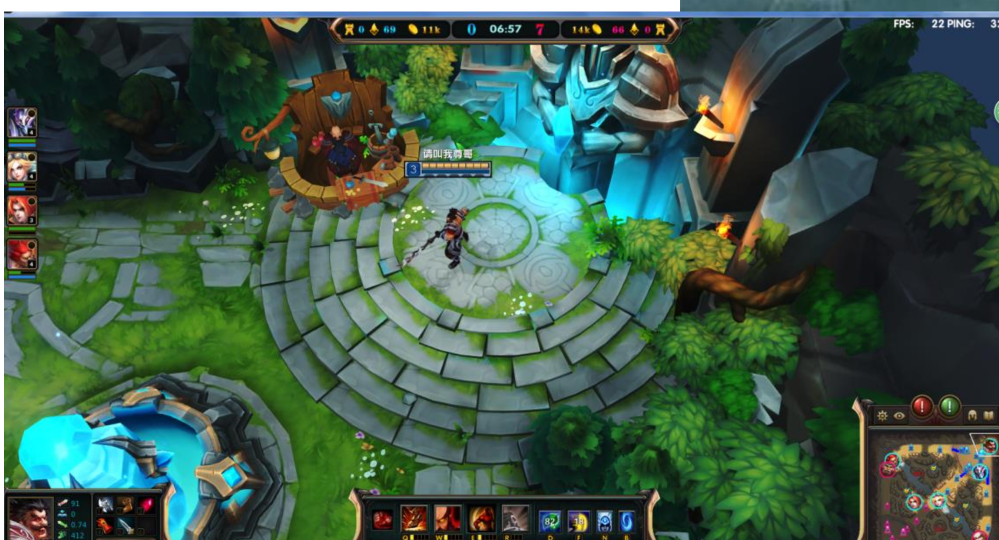
电力电子电路仿真 －MATLAB和PSpice应用

扫描下面二维码，下载链接中的**word**文档，通过文档中的链接下载**Matlab2015b**软件，并根据教程完成安装。

沙盘

VR



电子游戏

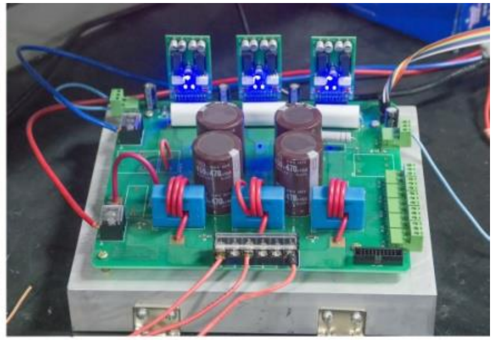

昵图网 www.nipic.com

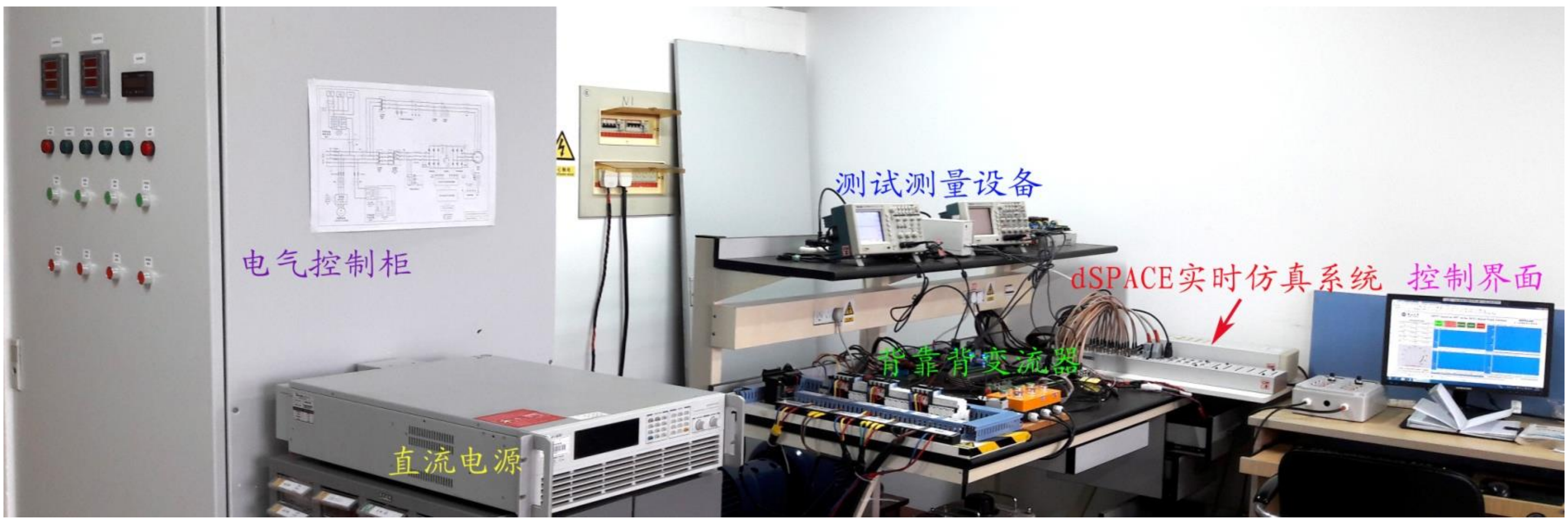

VELOX
COMPOSITE


СКОРАЯ МЕДИЦИНСКАЯ ПОМОЩЬ
03

各种模型玩具


2011 06 24




测试测量设备
电气控制柜
dSPACE实时仿真系统
控制界面
背靠背变流器
直流电源

课程简况

- 学时：24学时
- 24学时的理论授课在第10-15周进行，理论课程结束后还有一周的课程设计。
- 考核方式：考试
- 最终成绩：考试成绩占70%，平时成绩占30%（作业，注意出勤）
- 张 迪，电气馆C楼215，dzhang1120@ysu.edu.cn

第1章 绪 论

- 计算机仿真是建立需研究系统的模型，进而在计算机上对模型进行实验研究的过程 。
- 计算机仿真方法是以计算机仿真为手段，通过在计算机上运行模型来再现系统的运动过程，从而认识系统规律的一种研究方法 。
- 计算机仿真技术是以计算机科学、系统科学、控制理论和应用领域有关的专业技术为基础，以计算机为工具，利用系统模型对实际的或设想的系统进行分析与研究的一门新兴技术。现代计算机仿真技术综合集成了计算机、网络、图形图像、多媒体、软件工程、信息处理、自动控制等多个高新技术领域的知识，是系统分析与研究的重要手段。
- 计算机仿真技术具有良好的可控性、无破坏性、安全、可靠、不受外界条件的限制、可多次重复、高效和经济性等特点
- 计算机仿真技术经历了模拟计算机仿真、混合计算机仿真、专用数字计算机仿真、通用数字计算机仿真等阶段，目前已进入基于网络的分布仿真阶段。

第1章 绪 论

1.1 仿真的基本概念（3个基本概念）

1.1.1 系统 定义为具有一定功能，按某种规律相互联系又相互作用着的对象之间的有机组合

任何系统的研究都需要关注3个方面的内容，即实体、属性和活动：

- 实体 组成系统的具体对象；
- 属性 实体所具有的每一项有效特性（状态和参数）；
- 活动 系统内对象随时间推移而发生的状态变化。

第1章 绪 论

1.1.2 模型 在科学方法论中，把模型界定为人们为了特定的研究目的而对认识对象所做的简化描述

- 模型方法是通过研究模型来揭示原型的形态、特征和本质的方法
- 可以把模型看作是原型物质的或观念上（如数学的）的类似物
- 模型分为实物模型和抽象模型两大类

1. 建模活动 模型作为系统的原型在研究时的“替身”，在选择模型时，要以便于达到研究的目的为前提（例如：在分析电路的工作过程和原理时，采用物理模型的结构，而在对控制系统进行设计时，采用数学模型）

模型的描述经常可以采用下述一些原则：

（1）相似性 （2）切题性 （3）吻合性 （4）可辨识性 （5）简单化 （6）综合精度

第1章 绪 论

2. 模型描述的层次

模型可以在不同的抽象层次上来描述一个系统 ：

（1）**行为层次** （2）**状态结构层次** （3）**分解结构层次** （不同的抽象方法可以得到不同的模型描述形式，但物理意义是相同的，反映到仿真时，所搭建的仿真系统形式有所不同，但表达的系统的本质是相同的）

3. 数学模型 数学模型是根据物理概念、变化规律、测试结果和经验总结，用数学表达式、逻辑表达式、特性曲线、实验数据等来描述某一系统的表现形式。数学模型一般是数学方程组。

- 计算机仿真中采用的模型是数学模型
- 本质是关于现实世界一小部分和几个方面抽象的数学“映像”
- 系统的属性用变量表示，而系统的活动则用相互关联的变量间的数学函数关系式来描述
- 不可能对系统作完全真实的描述，而只能根据研究目的对它作某种近似简化的描述

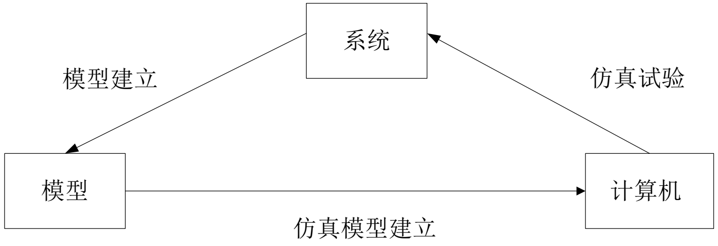
第1章 绪 论

1.1.3 仿真 系统仿真是建立系统、过程、现象和环境的模型（物理模型、数学模型或其他逻辑模型），在一段时间内对模型进行操作，应用于系统的测试、分析或训练。

计算机仿真3要素和3个基本活动

- 模型建立是通过对实际系统的观测或检测，在忽略次要因素及不可检测变量的基础上，用物理或数学的方法进行描述，从而获得实际系统的简化近似模型
- 仿真模型反映了系统模型（简化模型）同仿真器或计算机之间的关系，它应能为仿真器或计算机所接受，并能进行运行
- 仿真实验是指对模型的运行

微分方程的数值解法、离散相似法是数字仿真的基础。



第1章 绪 论

1.2 仿真的分类

模型	计算机类型	时钟比例关系	系统模型的特性
物理仿真	模拟计算机仿真	实时仿真	连续系统仿真
数学仿真	数字计算机仿真	亚实时仿真	离散事件系统仿真
半实物仿真	数字模拟混合仿真	超实时仿真	

第1章 绪 论

- **1.3 计算机仿真**

从以下一些方面描述了“仿真”的概念：

对象：仿真针对的对象是系统，包括客观存在的系统与设计中的系统。

目的：获得系统的动态行为。这是仿真的直接目的。由此而分析系统、设计系统或进行决策是仿真活动的间接目的。

方法：通过展开系统的模型来获得系统的行为或特性。使用模型是仿真活动的一个重要特征：这表明获得系统的行为不是直接对系统进行操作，而是对系统的模型进行操作。为此首先要建立系统的模型。

方法的实现：应用数值计算的方法来展开模型，获得模型在一定输入下的输出。这是仿真与其他基于模型分析方法的主要区别。

设施：计算机。数值计算是在计算机上进行的。

第1章 绪 论

- 归纳为：

计算机（数字）仿真是在计算机上，建立形式化的数学模型，然后按一定的实验方案，通过数值计算的方法展开系统的模型来获得系统的（动态）行为，从而研究系统的过程。

计算机仿真涉及两步重要的工作：

①必须建立系统的模型；

②要在计算机上对模型进行数值计算。如加以区分，前者称为建模，而后者可以称为展模。

第1章 绪 论

1.3.2 计算机仿真方法的特点

（1）模型参数任意调整
（2）系统模型快速求解
（3）运算结果准确可靠
（4）仿真的结果形象直观

1.3.3 计算机仿真方法的作用
（1）优化系统设计
（2）降低实验成本
（3）减少失败风险
（4）提高预测能力

第1章 绪 论

1.3.4 计算机仿真的步骤

仿真是基于模型的活动，**首先**要针对实际系统建立其模型。然后在上述模型的基础上进行仿真建模。

下一步程序设计即将仿真模型用计算机能执行的程序来描述。

最后要对仿真输出进行分析。

第1章 绪 论

1.4 计算机仿真技术在电力电子系统中的应用

电力电子技术的现状：

电力电子技术应用范围不断扩大
复杂的非线性数模混合系统
成本增加
设计和分析均带来了巨大的困难

安全性、经济性及进行实验研究的可能性等在现场实验中往往不易做到。

第1章 绪 论

电子电路设计自动化（Electronic Design Automation, EDA） 已经渗入到电子电路设计的各个领域，例如原理图设计、逻辑或模拟电路仿真、优化设计、最坏条件分析、印刷电路板设计等

电力电子电路的EDA工具也得到了长足的发展。

此类工具大体包括：

①传统的电子电路设计软件。通过引入新的电力电子器件模型可将软件的应用领域扩展到电力电子系统的设计之中，例如为我国电路设计人员所熟知的PSpice；

②专用领域仿真软件。例如在控制系统仿真软件MATLAB中加入以理想开关模型为代表的电力电子器件模型，从而使软件在原有研究领域中面对采用电力电子装置的问题时仍可进行有效的仿真；

③开发新的电力电子系统专用仿真软件。例如以开关电源设计为目的的SIMPLIS、PSIM等。

第1章 绪 论

计算机专业仿真软件遵循一定的仿真步骤:

(电路时域分析为例)

电路图绘制

↓ 图形数据化

电连接网表

↓ 数学建模（状态方程、拓扑法、改进节点法）

系统状态方程

↓ 离散化（数值积分法、欧拉法、龙格库塔法、牛顿-拉夫逊法）

非线性代数方程组

↓ 线性化

线性代数方程组

↓ 求解

方程解

第1章 绪 论

各步骤执行的功能如下:

1．**图形数据化**

电路原理图（即画电路图）输入方法输入仿真系统 。电连接网络表是连接该电路原理图和仿真软件之间的桥梁，只有将电路原理图翻译成仿真程序可以识别的、反映电路中所有元器件性能和相互之间连接关系的文件，电路原理图才能作为仿真软件的输入被调用

2．**数学建模**

这一步根据第一步建立的点连接网络表建立系统的数学模型，建模的方法主要有状态方程法、改进节点法和拓扑法。

3．**数值积分**

计算机对连续系统进行求解，利用数值积分方法进行离散化，以得到对系统的仿真分析结果。

在此基础上，仿真软件通常还可以满足对仿真结果的性能分析，波形处理的功能要求，如：谐波分析、频域分析等。

第2章　系统建模方法

第2章 系统建模方法

系统仿真建模的基本要求：

（1）**清晰**

（2）**切题**

（3）**精密**

（4）**集合**

系统仿真建模的基本途径：

（1）**机理建模法**（如电力电子系统）

（2）**实验建模法** (内部结构和特性不清楚）

（3）**综合建模法** （以上两种情况兼有）

第2章 系统建模方法

系统的数学模型一般是非线性连续状态空间模型，其通用形式是常微分方程组形式：

$$\begin{cases} \dot{\boldsymbol{x}} = f(\boldsymbol{x},\boldsymbol{u},\boldsymbol{w},t) \\ \boldsymbol{y} = g(\boldsymbol{x},\boldsymbol{u},\boldsymbol{v},t) \\ \boldsymbol{x}(t_0) = \boldsymbol{x}_0 \\ 0 \leqslant \boldsymbol{h}(\boldsymbol{x},\boldsymbol{u},t) \end{cases} \tag{2-1}$$

式中，x为n维状态向量；
u为m维输入向量；
y为l维输出向量；
h为约束方程；
w和v是维数适当的噪声向量。

第2章 系统建模方法

2.2.1 连续时间系统模型（四种）

1. 微分方程

$$y^{(n)} = f(t, y, y^{(1)}, \ldots, y^{(n-1)}, u, u^{(1)}, \ldots, u^{(m)})$$

如果系统是线性定常系统，则微分方程可写成如下形式：

$$y^{(n)} + a_{n-1} y^{(n-1)} + \ldots + a_1 y^{(1)} + a_0 y = b_m u^{(m)} + b_{m-1} u^{(m-1)} + \ldots + b_1 u^{(1)} + b_0 u$$

式中 $a_0, a_1, \ldots, a_{n-1}$ 及 $b_0, b_1, \ldots, b_{m-1}$ 为常系数；

$y^{(1)}, y^{(2)}, \ldots, y^{(n)}$；$u^{(1)}, u^{(2)}, \ldots, u^{(m)}$ 为$y(t)$和$u(t)$的各阶导数。

第2章 系统建模方法

2. 传递函数

$$G(s)=\frac{Y(s)}{U(s)}=\frac{b_m s^m + b_{m-1}s^{m-1}+\cdots+b_1 s+b_0}{s^n + a_{n-1}s^{n-1}+\cdots+a_1 s+a_0}$$

3. 权函数

4. 状态空间方程

$$\begin{cases}\dot{\boldsymbol{x}} = \boldsymbol{A}\boldsymbol{x} + \boldsymbol{B}\boldsymbol{u} \\ \boldsymbol{y} = \boldsymbol{C}\boldsymbol{x} + \boldsymbol{D}\boldsymbol{u}\end{cases}$$

第2章 系统建模方法

2.2.2 离散时间系统模型（四种）

1. 差分方程

$$y(n+k)+a_{n-1}y(n+k-1)+\ ...\ +a_0y(k)$$
$$=b_m u(m+k)+b_{m-1}u(m+k-1)+\ ...\ +b_0u(k)$$

2. 离散传递函数

$$H(z)=Y(z)/U(z)=(\sum_{j=0}^{m}b_{m-j}z^{-j})/(1+\sum_{j=0}^{n}a_{n-j}z^{-j})$$

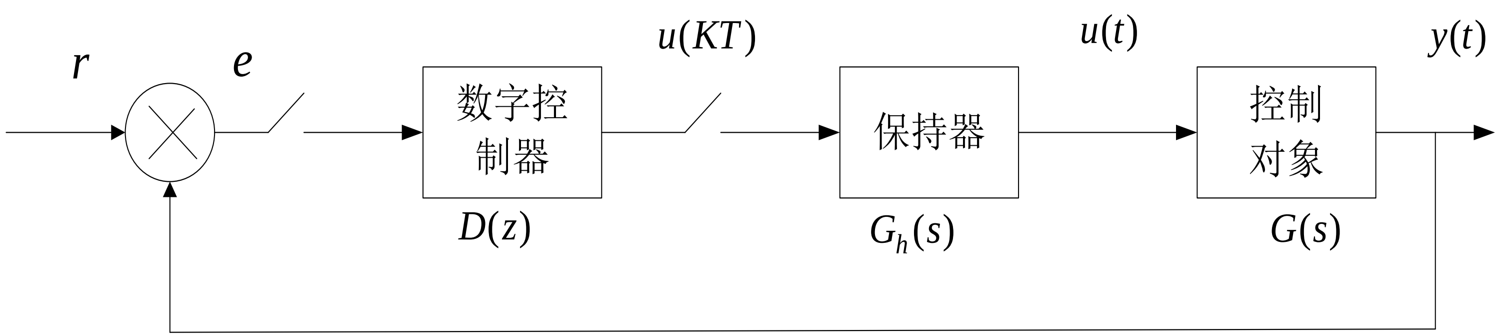
3. 权序列模型

4. 离散状态空间方程

$$\begin{cases}\boldsymbol{x}(k+1)=\boldsymbol{A}\boldsymbol{x}(k)+\boldsymbol{B}\boldsymbol{u}(k)\\ \boldsymbol{y}(k+1)=\boldsymbol{C}\boldsymbol{x}(k)+\boldsymbol{D}\boldsymbol{u}(k)\end{cases}$$

第2章 系统建模方法

2.2.3 连续－离散混合模型



$D(z)$ 为数字控制系统的离散传递函数

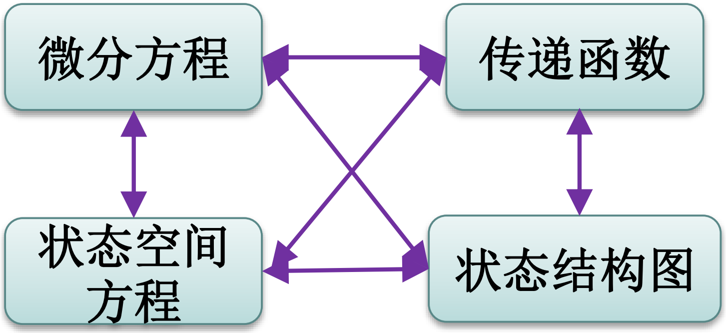
$G_h(s)$为保持器的传递函数

$G(s)$ 为被控对象的连续传递函数

2.3 数学模型之间的相互转换

2.3 数学模型之间的相互转换

（侧重于仿真系统中应用最多的传递函数和状态结构图形式，做到给定任意形式的数学模型，都能转换到传递函数或状态结构图的形式，系统状态结构图可以通过微分方程或状态方程来得到）



2.3.1 微分方程转换为状态方程

两种情况：

1. 系统输入量不含导数项的情形
2. 系统输入量中含有导数项的情形（参见控制理论相关内容）

2.3 数学模型之间的相互转换

例1：

设系统的数学模型如下

$$y^{(n)} + a_1 y^{(n-1)} + \ldots + a_{n-1} y^{(1)} + a_n y = f(x,t)$$

若给定 $t=0$时的初值 $y(0), \dot{y}(0), \cdots, y^{(n-1)}(0)$ 和 $t \geq 0$ 使得输入$u(t) = f(x,t)$，则可确定 $t > 0$时的系统行为。

2.3 数学模型之间的相互转换

现取

$$\begin{cases} x_1 = y \\ x_2 = \dot{y} \\ \cdots \\ x_n = y^{(n-1)} \end{cases}$$

作为状态变量，则式原式 可写为

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = x_3 \\ \cdots \\ \dot{x}_{n-i} = x_n \\ \dot{x}_n = -a_n x_1 - a_{n-1} x_2 - \ldots - a_2 x_{n-1} - a_1 x_n + u(t) \end{cases}$$

进一步写成矩阵形式 $\dot{x} = Ax + BU$

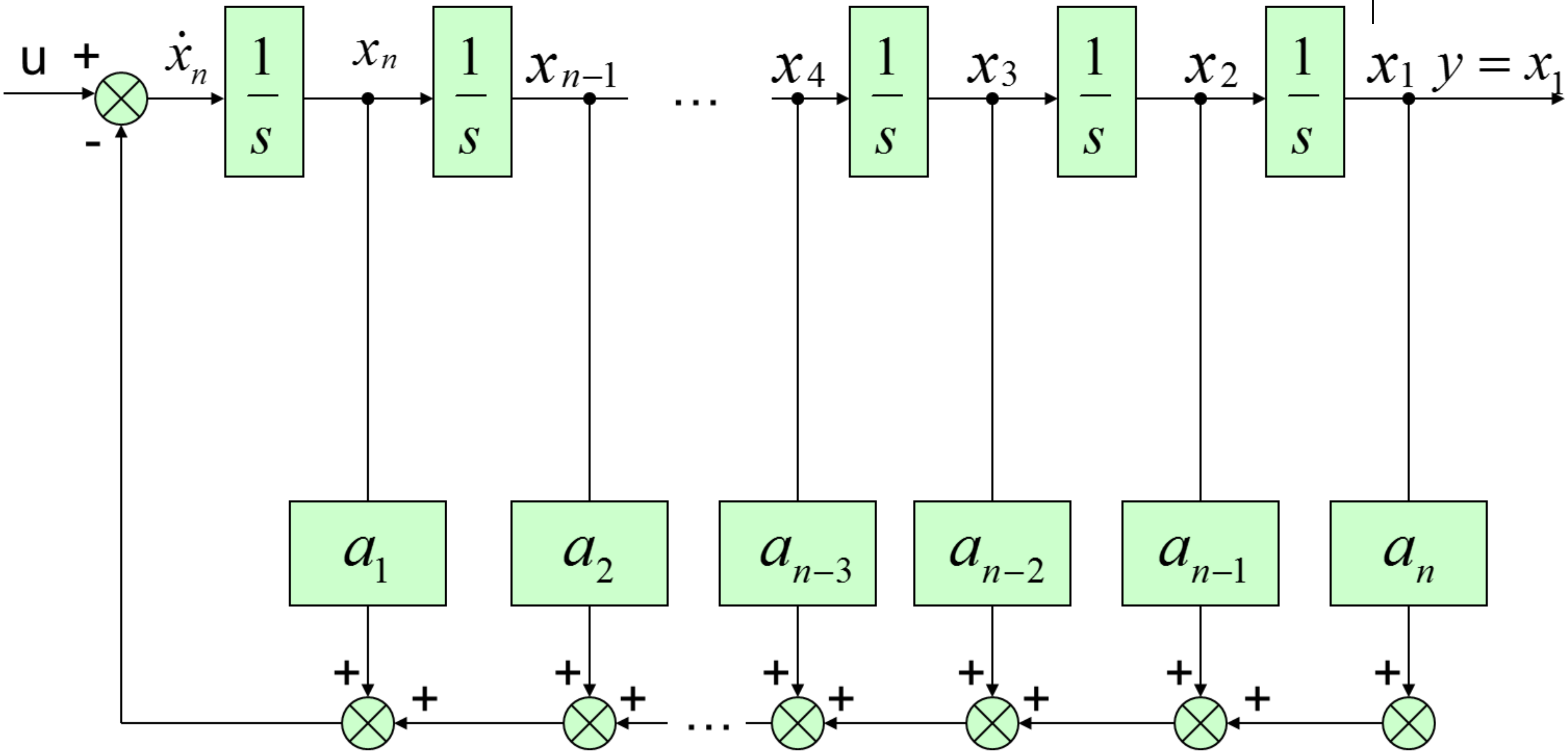
2.3 数学模型之间的相互转换

其中 $$x=\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_{n-1} \\ x_n \end{bmatrix}, A=\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ -a_n & -a_{n-1} & -a_{n-2} & \dots & -a_1 \end{bmatrix}, B=\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

系统输出方程 $$y=\begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_{n-1} \\ x_n \end{bmatrix}$$

或写成 $y=Cx$ 式中 $C=\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix}$

2.3 数学模型之间的相互转换



系统的结构图

2.3 数学模型之间的相互转换

例二：考虑下列常微分方程描述的系统，其输入为 *u*，其输出为 *y*

$$\ddot{y} + 2\xi\omega\dot{y} + \omega^2 y = \omega^2 u$$

试写出系统的状态方程和输出方程。

解：**取状态量:** $x_1 = y, x_2 = \dot{y}$

系统状态方程:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = -\omega^2 x_1 - 2\xi\omega x_2 + \omega^2 u \end{cases}$$

2.3 数学模型之间的相互转换

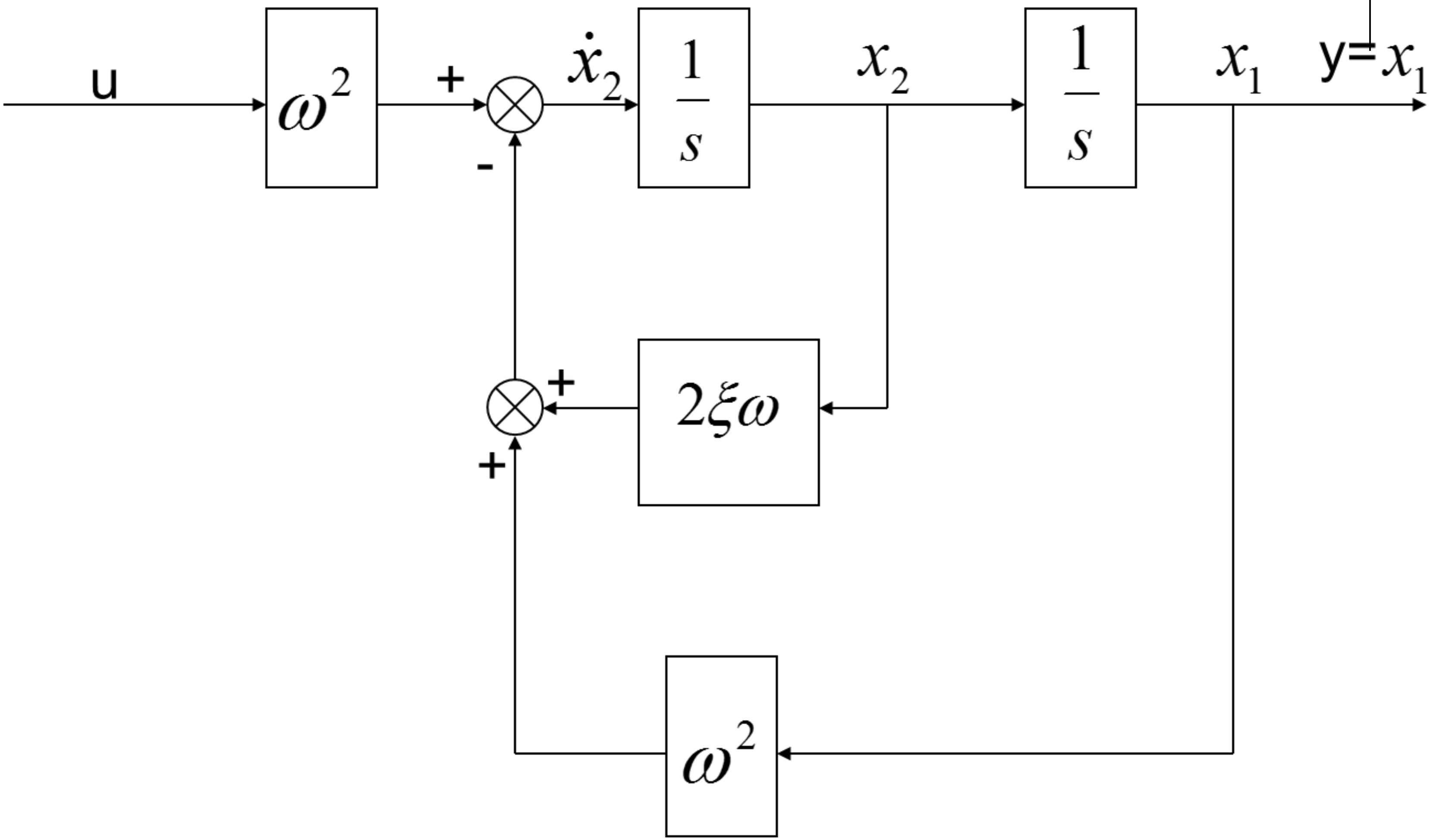
写成矩阵形式为

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega^2 & -2\xi\omega \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \omega^2 \end{bmatrix} u$$

输出方程为

$$y = \begin{pmatrix} 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

2.3 数学模型之间的相互转换

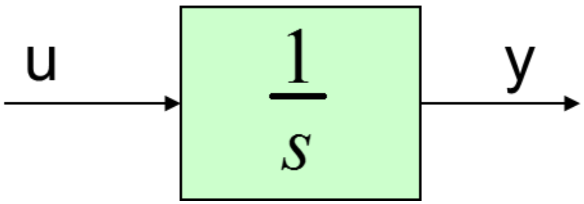


系统结构图

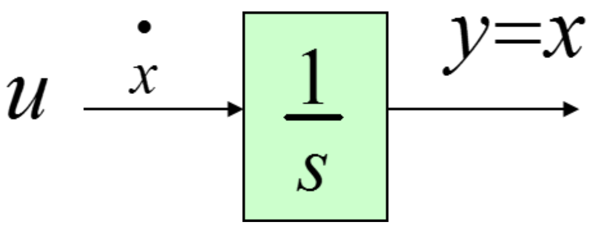
2.3 数学模型之间的相互转换

2.3.2 结构图转换为状态方程（反向记忆，即各种典型环节的状态方程转换为状态结构图）

1. 积分环节 $1/s$



（a) 系统框图；



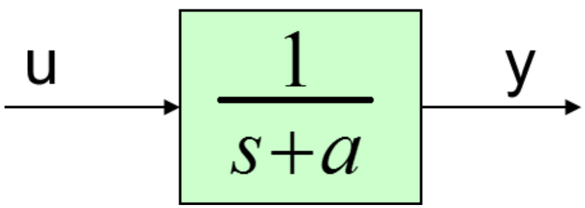
(b) 状态变量图

积分环节的状态方程：

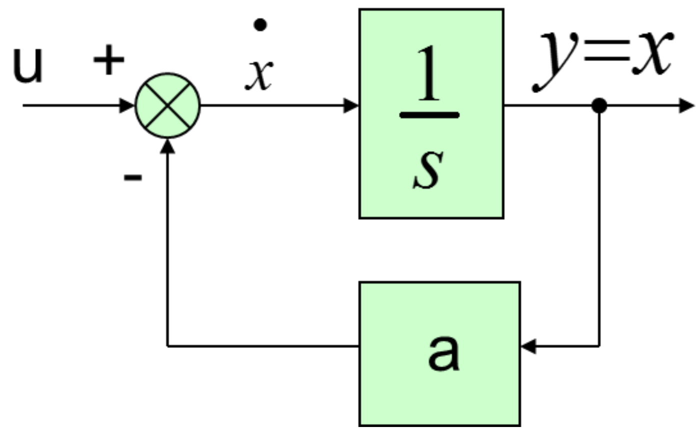
$$\begin{cases} \dot{x} = u \\ y = x \end{cases}$$

2.3 数学模型之间的相互转换

2. 惯性环节$1/(s+a)$



（a) 系统框图；



(b) 状态变量图

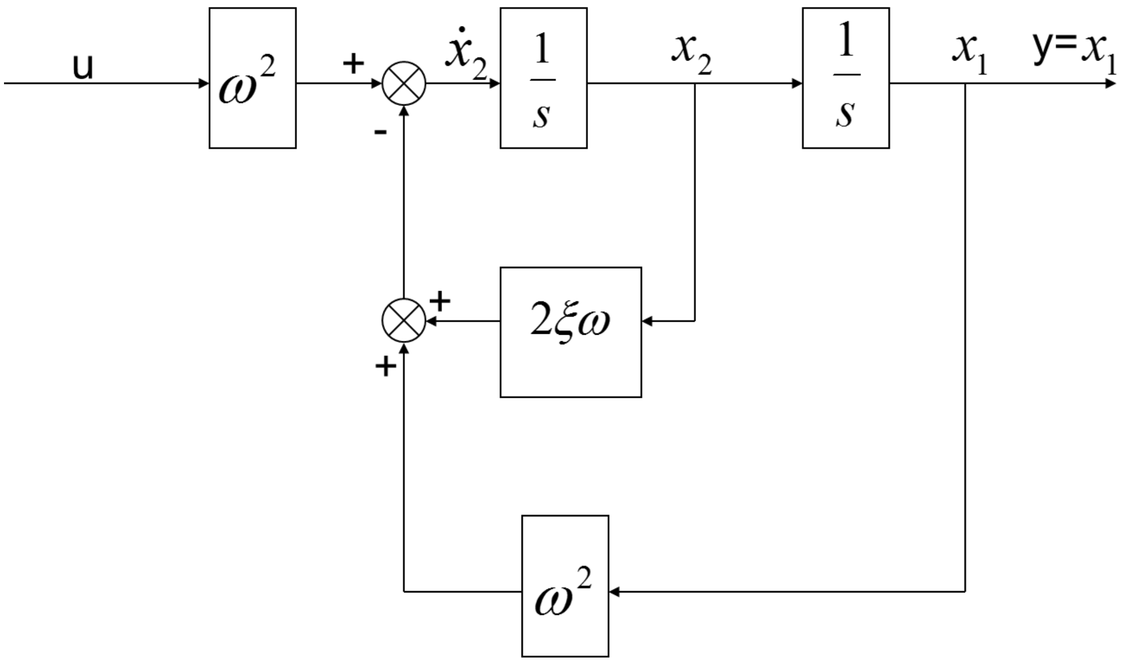
惯性环节的状态方程：

$$\begin{cases} \dot{x} = -ax + u \\ y = x \end{cases}$$

2.3 数学模型之间的相互转换

3. 二阶振荡环节

$1/(s^2+as+b)$

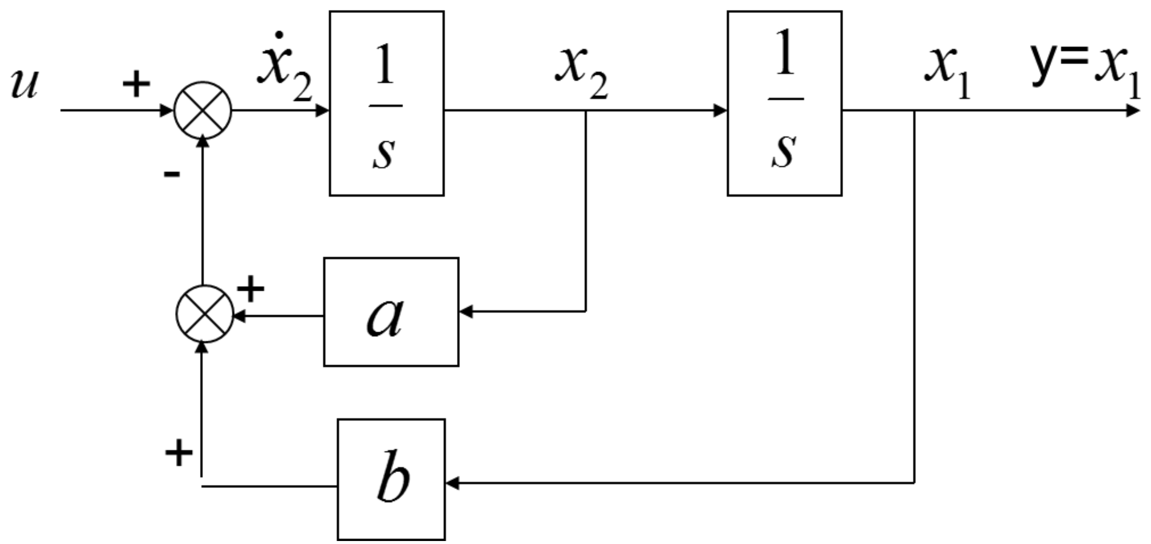


$$\frac{\omega^2}{s^2+2\xi\omega s+\omega^2}$$

由前面例二中得到的结构图为 $\dfrac{\omega^2}{s^2+2\xi\omega s+\omega^2}$ 的结构图，

2.3 数学模型之间的相互转换

由该结构图可以将对应的量进行替代得



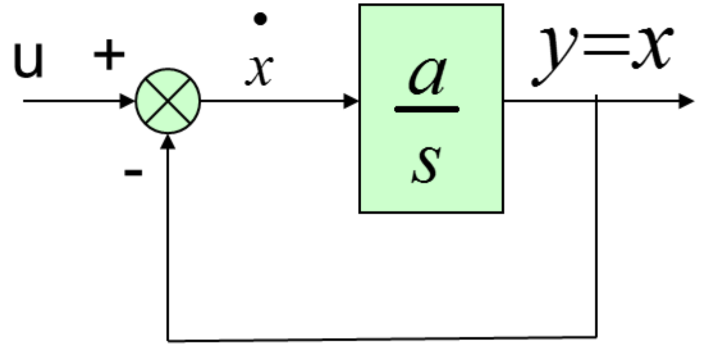
二阶振荡环节的状态方程

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = -ax_1 - bx_2 + u \\ y = x_1 \end{cases}$$

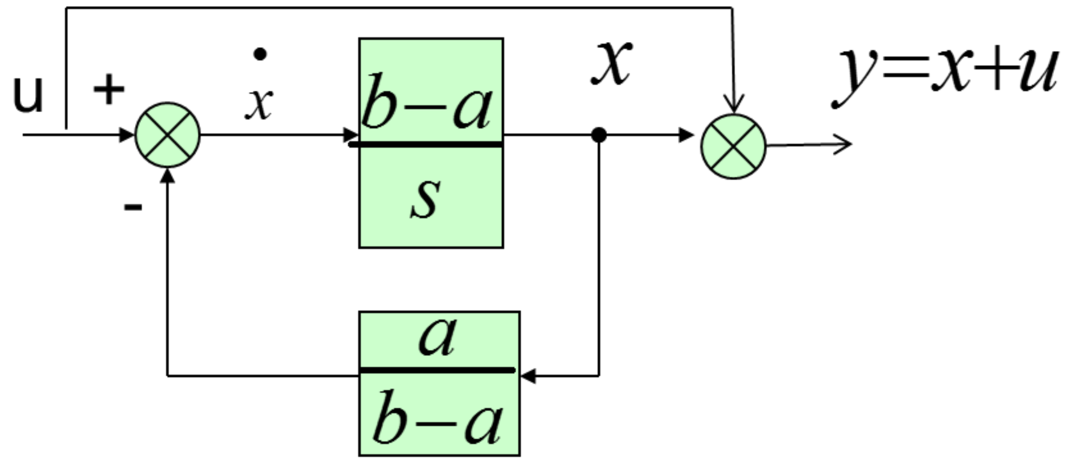
2.3 数学模型之间的相互转换

另外一些典型环节的结构图：

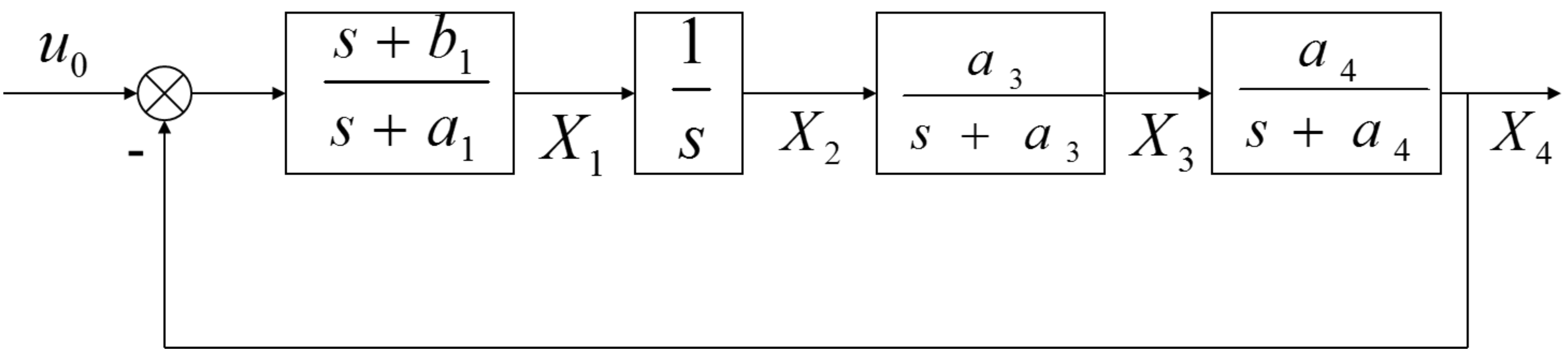
$$a/(s+a)$$



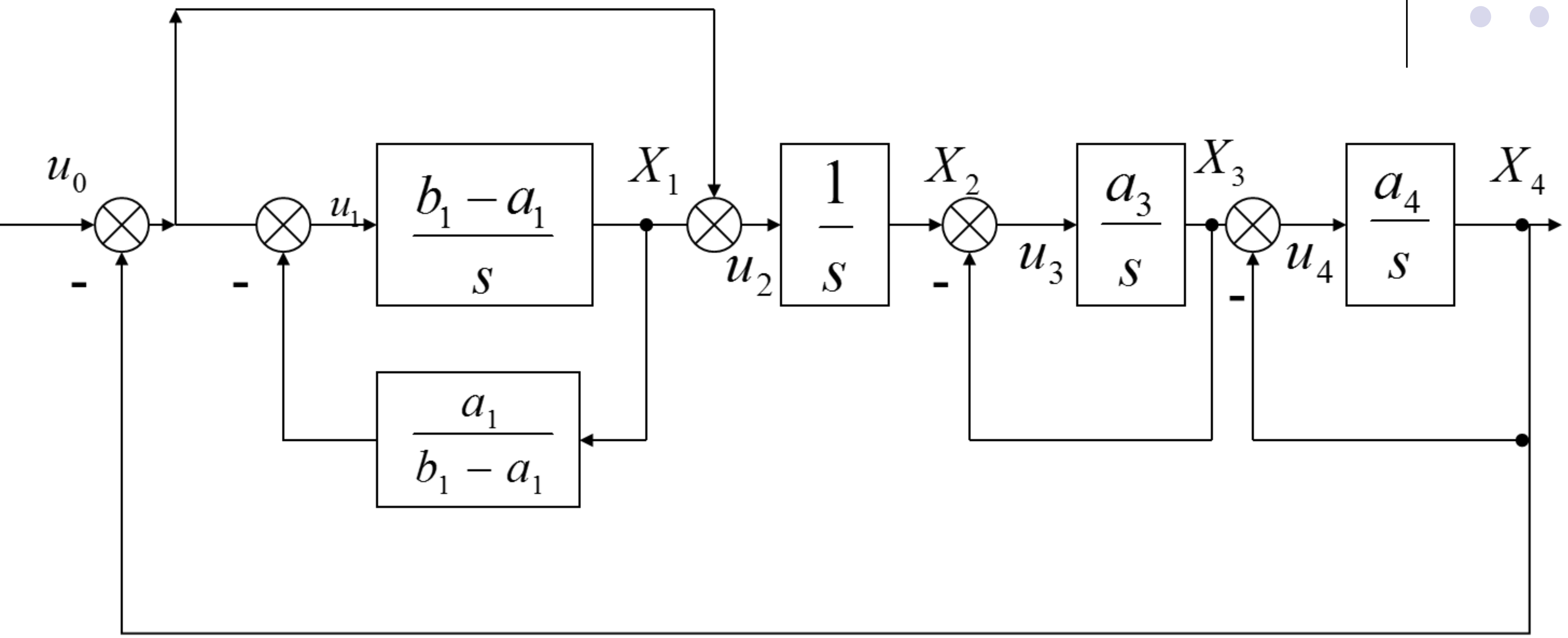
$$(s+b)/(s+a)$$



例：考察如下四阶系统：



一个 四阶系统


u_0
u_1
$\frac{b_1-a_1}{s}$
X_1
u_2
$\frac{1}{s}$
X_2
u_3
$\frac{a_3}{s}$
X_3
u_4
$\frac{a_4}{s}$
X_4
$\frac{a_1}{b_1-a_1}$
-
-
-
-

四阶系统结构图(b)

各积分环节状态方程和输入方程为

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = (b_1 - a_1)u_1 \\ \dot{x}_2 = u_2 \\ \dot{x}_3 = a_3 u_3 \\ x_4 = a_4 u_4 \end{cases} \quad (2.67)$$

$$\begin{cases} u_1 = -\dfrac{a_1}{b_1 - a_1} x_1 - x_4 + u_0 \\ u_2 = x_1 - x_4 + u_0 \\ u_3 = x_2 - x_3 \\ u_4 = x_3 - x_4 \end{cases} \quad (2.68)$$

用矩阵的形式表示出来，有

其中 $\begin{cases} \dot{x} = KU \\ U = WX + W_0 U_0 \end{cases}$

$$K = \begin{bmatrix} b_1 - a_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_4 \end{bmatrix}, W = \begin{bmatrix} -a_1/(b_1 - a_1) & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$W_0 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}'$$

K称为积分器的系数阵， 对角线上的元素按顺序分别表示各相应积分器的增益。

W为系统的连接矩阵，它描述了系统内部各环节的连接情况。

W_0称为系统的外部输入连接矩阵，它描述了外部输入对系统的作用情况。

将(2.70)代入(2.69) 可得

$$\dot{x} = (KW)X + (KW_0)U_0$$

进一步写成标准形式

$$\dot{x} = AX + BU$$

系统输出方程为

$$Y = CX$$

其中 $A = KW, B = KW_0, C = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}'$