

东北电力大学

教 案 封 皮

开课单位	电气工程学院	课程名称	现代控制理论
授课教师	张虹	授课对象	电研 20 级 1 班
选用教材	《现代控制理论》刘豹	总学时	32 学时
课次	01		绪论
教学目的及要求	1、了解现代控制理论的知识体系 2、了解学习现代控制理论的重要性 3、了解控制学科对大学生的素质要求 4、了解控制理论在电力行业中的地位和作用		
教学重点处理安排	重点：现代控制理论与经典控制理论的区别 重点的处理：播放多媒体视频，采用对比说明的方式讲解。		
教学难点处理安排	难点：理解多输入多输出模型的概念 难点的处理：以单容水箱和双容水箱为例，讲解单输入单输出模型到多输入多输出模型的转化。		
教学方式、方法	教学方式：板书课堂教学+多媒体演示 教学方法： 采用递进式的知识生成方式，从回顾本科学过的自动控制原理知识入手，用设问的方式引发学生思考，将教学内容有序地组织起来，鼓励学生积极参与讨论，把课堂变成动态的、交互的学习环境，提高课堂教学效果。 多媒体演示祖国航空航天事业的发展进程，引导学生对控制学科热爱，明确自己所学内容在电力行业和其他行业中的地位和作用。		
教学内容及时间分配	1、控制理论在电力行业和其它领域的应用，课程对研究生的素质要求（10 分钟） 2、课程体系、平时要求、考核办法（10 分钟） 3、经典控制理论：适用范围、模型、分析方法和缺点（35 分钟） 4、现代控制理论：适用范围、模型、分析方法和优点（35 分钟）		
例题、练习题	以老鹰抓小鸡为例，阐述经典控制理论的作用 以航空发动机需能源最省为例，阐述最优控制的作用		
作业、思考题	课后作业：学习 matlab 仿真软件 思考题：研究生现当代时代背景下应树立何种人生目标？		

教 案

内 容	备 注
<p style="text-align: center;">绪 论</p> <p>课前导入：大家本科期间学过《经典控制理论》，现在要学习《现代控制理论》，课程之间是什么关系呢？简单打个比方，你用高中的三角函数能够计算一个三角形中心；而你学了线性代数以后，可以用矢量等方法计算三角形中心。你从解析几何发展到空间代数，解决旧问题更方便了，而且对一些原本没办法分析的问题，也可以分析解决了，这就是现代控制理论和经典控制理论的差别—提供了更好的平台和框架。</p> <p>下面让我们先来回顾所学过的《经典控制理论》知识。</p> <p>一、经典控制理论</p> <p>以分析和设计单变量控制系统为主要内容</p> <p>适用范围：单输入到单输出（SISO）线性定常系统。</p> <p>数学模型：线性高阶微分方程和传递函数。</p> <p>分析方法： $\left\{ \begin{array}{l} \text{时域分析法（低阶：1-3 阶）} \\ \text{根轨迹} \\ \text{频域分析法} \end{array} \right.$ </p> <p>缺点：只能反映输入到输出间的外部特性，难以揭示内部的结构和运行状态。</p> <p>二、现代控制理论</p> <p>现代控制理论:丰富了控制理论内容，扩大了所能处理的控制问题的范围。</p> <p>适用范围：</p> <p>(1) 多输入→多输出系统（SISO, MIMO, MISO, SIMO）</p> <p>(2) 非线性，时变系统</p> <p>数学模型：以一阶微分方程组或差分方程组表示的动态方程。</p> <p>分析方法：时域分析法</p> <p>可以描述系统内部的运行状态</p> <p>优点： $\left\{ \begin{array}{l} \text{便于考虑初始条件} \\ \text{最优化分析与设计} \end{array} \right.$ </p> <p>播放视频：嫦娥五号探测器从海南文昌航天发射场顺利升空</p> <p>讲解：航天燃料发动机运用最优控制，引发最优控制有哪些应用的讨论？</p> <p>三、线性系统理论概述</p> <p>1、线性系统理论主要研究线性系统状态的运动规律和改变这种运动规律的可能性和方法，建立和揭示系统结构、参数、行为和性能间的确定的和定量的关系。通常，研究系统运动规</p>	<p>课前导入，使学生轻松进入课程主题。</p> <p>学生分组讨论—培养团队协作精神以航天技术为例，讲述钱学森的爱国事迹，激发同学们的爱国热情。</p>

教 案

内 容	备 注
<p>律的问题称为系统分析问题，研究改变运动规律的可能性和方法的问题则称为系统综合问题或系统设计。线性系统可分为线性定常系统和线性时变系统。</p> <p>2、线性系统理论大体有四个平行的分支，即线性系统的状态空间法、线性系统的几何理论、线性系统的代数理论、多变量频域方法。状态空间法是一种时域方法，理论完整、成熟，线性系统理论的其它分支，都是在状态空间的影响和推动下形成和发展起来的。</p> <p>四、课程的考核方式</p> <p>考核方式分为两部分：理论考试（闭卷）和平时成绩</p> <p>其中：理论考试占比为 70%</p> <p>平时成绩占比为 30%</p> <p>本节小结</p> <p>通过本节内容的学习，使同学了解《经典控制理论》与《现代控制理论》的联系与区别，为后续内容的学习做好铺垫。</p> <p>《现代控制理论》课程在航空航天、电力系统等领域应用较多，后续我们结合例子进行学习，理论与实际相结合，学习效果更好。</p>	<p>提问：为什么非线性系统通常近似成线性系统来研究？</p>

东北电力大学

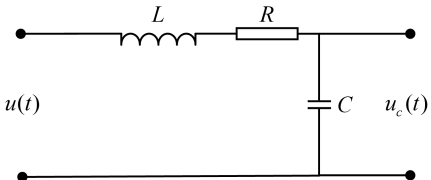
教 案 封 皮

开课单位	电气工程学院	课程名称	现代控制理论
授课教师	张虹	授课对象	电研 20 级 1 班
选用教材	《现代控制理论》刘豹	总学时	32 学时
课 次	02	第一章	第 1, 2 节
教学目的及要求	1、理解状态和状态变量的含义 2、掌握状态空间表达式的建模过程 3、掌握状态空间表达式的方框图描述 4、了解状态变量选取的不唯一性，领会社会主义核心价值观自由平等的含义。		
教学重点处理安排	重点：状态变量的选取 重点的处理：从高中物理课马拉小车的例子入手，明确小车受到的物理量，进而引出状态和状态变量的概念，并说明状态变量的选取是不唯一的。		
教学难点处理安排	难点：物理对象的建模过程 难点的处理：先说明状态变量的选取是不唯一的，然后以电路为例，从学生感兴趣的入手，再扩展到抽象的其他物理模型，由简入深讲解，明白因果，就容易推导。		
教学方式、方法	教学方式：板书课堂教学+Matlab 仿真 教学方法：递进式教学。在讲授完基本概念后，从同学们最熟悉的电路模入手进行建模，然后引出弹簧受力模型（机械系统），以及服装售卖模型（经管方向）等模型，由具体到抽象的建模过程，便于比较和理解。		
教学内容及时间分配	1、 状态空间描述的概念（33 分钟） 2、物理模型的建模过程（55 分钟） 3、社会主义核心价值观体现（2 分钟）		
例题、练习题	RLC 网络模型		
作业、思考题	仿真作业：用 Simulink 软件仿真，搭建电路模型的仿真框图。		

教案

内 容	备 注
<p style="text-align: center;">第 1 章 线性系统的状态空间描述</p> <p>问题导入：对电气工程专业来说，电路模型较为常见。电路原理课中学过的双端口网络，可能包含许多能够蓄能的电容或电感元件，其两端的电压或流过的电流随时间在不断变化，当电路元件较多时，能从输出口观察到发生在每个元件上的变化吗？答案显而易见，本章学习的状态空间描述，采用内部机理法分析。</p> <p style="text-align: center;">1.1 状态空间描述的基本概念</p> <p>一、基本概念</p> <p>1. 状态：系统的状态，是指系统的过去、现在和将来的状况。</p> <p>2. 状态变量：能完全表征系统运行状态的最小数目的一组变量，状态变量选取不唯一。</p> <p> 如果用最少的 n 个变量 $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$ 就能完全描述系统的状态，那么这 n 个变量就是一组状态变量。</p> <p>3. 状态向量：设系统有 n 个状态变量，即 $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$，用这 n 个状态变量作为分量构成的向量 $x(t)$ 称为该系统的状态向量，记为 $[x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)]^T$</p> <p>4. 状态空间：由 n 个状态变量作为坐标轴所构成的 n 维空间，称为状态空间。</p> <p>二、状态空间表达式（动态方程）</p> <p>1. 状态方程：描述系统状态变量与输入变量之间关系的一阶微分方程组或者差分方程组。</p> $\dot{x} = f(x(t), u(t), t)$ <p>2. 输出方程：系统输出量与状态变量，输入变量之间的关系式</p> $Y(t) = y(x(t), u(t), t)$ <p>三、线性系统状态空间表达式的一般形式：</p> <p>连续系统：用线性微分方程来描述 $\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu \\ y = Cx + Du \end{cases}$</p> <p>离散系统：用差分方程来描述 $\begin{cases} x(k+1) = Gx(k) + Hu(k) \\ Y(k) = Cx(k) + Du(k) \end{cases}$</p> <p>对于线性系统来说，其中：</p> $x = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)]^T$ $\dot{x} = [\dot{x}_1(t), \dot{x}_2(t), \dots, \dot{x}_n(t)]^T$	<p>以电路模型为例进行导入，学生很快能够进入主题。</p> <p>电压，电流，电荷量，磁场强度等可以称为状态。</p> <p>可以选择电路的 n 个状态来描述系统的行为，状态的选择是自由平等的，引入社会主义核心价值观——平等自由</p>

教 案

内 容	备 注
$u = [u_1(t), u_2(t), \dots, u_n(t)]^T$ $y = [y_1(t), y_2(t), \dots, y_n(t)]^T$ <p>状态矩阵: $A = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix}_{n \times n}$</p> <p>控制矩阵: $B = \begin{pmatrix} b_{11} & \cdots & b_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & \cdots & b_{nn} \end{pmatrix}_{n \times n}$</p> <p>输出矩阵: $C = \begin{pmatrix} c_{11} & \cdots & c_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & \cdots & c_{nn} \end{pmatrix}_{n \times n}$</p> <p>关联矩阵: $D_{g \times p}$</p> <p>1.2 线性系统的状态空间描述</p> <p>一、状态变量的选取</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 可测量的物理量 2. 描述储能元件状态量 <p>二、状态空间表达式建立</p> <p>根据具体系统结构, 选择一定的物理量作为系统的状态变量和输出变量, 并利用各种物理定律, 如牛顿定律、基尔霍夫电压电流定律、能量守恒定律等, 即可建立系统的动态方程模型。</p> <p>例 1: RLC 电路如图所示, 系统的控制输入量为 $u(t)$, 系统输出为 $u_c(t)$。建立系统的动态方程。</p>  <p>解:</p> <p>该 RLC 电路有两个独立的储能元件 L 和 C, 设回路电流为 $i(t)$, 根据基尔霍夫电压定律和 R、L、C 元件的电压电流关系, 可得到下列方程:</p> $L \frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{C} \int i(t) dt + Ri(t) = u(t)$ $u_c(t) = \frac{1}{C} \int i(t) dt \quad (\text{即 } i(t) = C \frac{du_c}{dt})$	<p>结合熟悉的电力系统讲解, 然后再导入其他例子, 递进式教学</p>

教 案

内 容	备 注
<p>(1) 我们可以取流过电感 L 的电流 $i(t)$ 和电容 C 两端电压 $u_c(t)$ 作为系统的两个状态变量，分别记作 $x_1 = i$ 和 $x_2 = u_c$</p> $\begin{cases} L \frac{dx_1}{dt} + x_2 + Rx_1 = u \\ \frac{dx_2}{dt} = \frac{1}{C} x_1 \end{cases} \quad \text{整理有} \quad \begin{cases} x_1' = -\frac{R}{L} x_1 - \frac{1}{L} x_2 + \frac{1}{L} u \\ x_2' = \frac{1}{C} x_1 \end{cases}$ <p>写成向量矩阵形式有：</p> $\begin{cases} \begin{bmatrix} x_1' \\ x_2' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} u \\ y = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \end{cases}$ <p>(2) 设状态变量 $x_1 = i$, $x_2 = \int i dt$</p> $\begin{cases} L \frac{dx_1}{dt} + \frac{1}{C} x_2 + Rx_1 = u \\ \frac{dx_2}{dt} = x_1 \end{cases} \quad \text{整理有} \quad \begin{cases} x_1' = -\frac{R}{L} x_1 - \frac{1}{LC} x_2 + \frac{1}{L} u \\ x_2' = x_1 \end{cases}$ $y = u_c = \frac{1}{C} x_2$ <p>写成向量矩阵形式为：</p> $\begin{cases} \begin{bmatrix} x_1' \\ x_2' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & -\frac{1}{LC} \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} u \\ y = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{C} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \end{cases}$ <p>本节小结</p> <p>1) 在用状态空间法描述系统时，系统的动态特性用由状态变量构成的一阶微分方程组来描述。</p> <p>2) 状态变量一般选择具有储能功能的元件为基本单元，以此为对象建立发生在其上的能量关系</p>	<p>思考：状态变量选取变化，当 $x_1 = i$, $x_2 = \int i dt$ 时，是否会对结果产生影响？</p> <p>运用 simulink 仿真软件验证，培养工程实践能力。</p>

东北电力大学

教 案 封 皮

开课单位	电气工程学院	课程名称	现代控制理论
授课教师	张虹	授课对象	电研 20 级 1 班
选用教材	《现代控制理论》刘豹	总学时	32 学时
课 次	03	第一章	第 3, 4 节
教学目的及要求	1、掌握传递函数与状态空间表达式的相互转化 2、掌握方框图与状态空间表达式的相互转化 3、了解微分方程与状态空间表达式的相互转化 4、 时域和变换域之间的相互转化，体现哲学的矛盾对立统一思想，是谓“殊途同归”		
教学重点处理安排	重点 1：传递函数转化成状态空间表达式 重点 1 的处理：结合例题讲解 重点 2：方框图转化成状态空间表达式 重点 2 的处理：回顾经点控制理论方框图知识，结合拉氏变换工具，即可等效。		
教学难点处理安排	难点：有零点的传递函数转化成状态空间表达式 难点的处理：运用框图表示模型，并结合无零点的传递函数结论进行推导。		
教学方式、方法	教学方式：板书教学和多媒体教学相结合 教学方法：采用递进式的知识生成方式，从简单的微分方程入手，然后再通过相互联系，推导出传递函数，方框图与状态空间表达式的转化。并且，用设问的方式引发学生思考，将教学内容有序地组织起来，鼓励学生积极参与讨论，把课堂变成动态的、交互的学习环境，提高课堂教学效果。		
教学内容及时间分配	1、微分方程转化成状态空间表达式（30 分钟） 2、传递函数与状态空间表达式相互转化（33 分钟） 3、方框图转化成状态空间表达式（25 分钟） 4、矛盾的对立统一与本节课的关系（2 分）		
例题、练习题	传递函数与状态空间表达式转化例题		
作业、思考题			

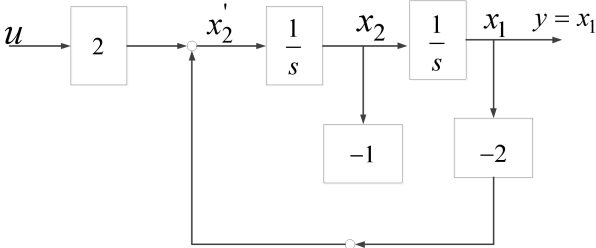
教 案

内 容	备 注
<p>1.3 微分方程转化成状态空间表达式</p> <p>问题导入：在数据化的时代，通过输入输出数据辨识出来的模型结构形式中，微分方程型的居多。例如，在电力系统中，常常由 PUM 采集系统发电侧或负荷侧的数据，辨识建立模型来分析系统的特性。如何将微分方程转化成状态空间表达式形式，以便更好地分析系统内部的运行状态，是本节课将要研究的内容。</p> <p>一、输入变量没有导数项</p> $y^{(n)} + a_{n-1}y^{(n-1)} + \dots + a_1y' + a_0y = \beta_0u$ <p>(或 $y^{(n)} + a_1y^{(n-1)} + \dots + a_{n-1}y' + a_ny = \beta_0u \rightarrow$ 适用于编程)</p> <p>(1) 选择状态变量 (选择 n 个状态变量 x_1, x_2, \dots, x_n)</p> $\begin{aligned} x_1 &= y \\ x_2 &= y' \\ x_3 &= y'' \\ &\vdots \\ x_n &= y^{(n-1)} \end{aligned}$ <p>(2) 化高阶微分方程为 x_1, x_2, \dots, x_n 的一阶微分方程组。</p> $\begin{cases} x_1' = x_2 \\ x_2' = x_3 \\ \vdots \\ x_{n-1}' = x_n \\ x_n' = -a_0x_1 - a_1x_2 - \dots - a_{n-1}x_n + \beta_0u \end{cases}$ $y = x_1$ <p>(3) 将方程组表示为向量—矩阵形式: $\begin{cases} x' = Ax + bu \\ y = cx \end{cases}$</p> <p>其中: $A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ -a_0 & -a_1 & -a_2 & \dots & -a_{n-1} \end{bmatrix}$ $b = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \beta_0 \end{bmatrix}$</p> $c = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad 0]$ <p>注 意：矩阵 A 为友矩阵。友矩阵的特点：主对角线上方元素为 1，最后一行的元素可以任意取，而其余的元素均为零。</p>	<p>问题引入，紧密结合电气工程专业实际，培养学生的工程实践意识</p> <p>电路 PLC 网络属于这种情况</p>

教 案

内 容	备 注
<div data-bbox="323 376 1021 577" data-label="Diagram"> </div> <p style="text-align: center;">系统结构图</p> <p>例 1: 已知 $y''' + 6y'' + 41y' + 7y = 6u$，试列写动态方程</p> <p>解：选状态变量 $x_1 = y$，$x_2 = y'$，$x_3 = y''$</p> <p>状态方程： $\begin{cases} x_1' = x_2 \\ x_2' = x_3 \\ x_3' = -7x_1 - 41x_2 - 6x_3 + 6u \end{cases}$ </p> <p>输出方程： $y = x_1$</p> <p>状态空间表达式为： $\begin{cases} x' = Ax + bu \\ y = cx \end{cases}$ </p> <p>其中： $A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -7 & -41 & -6 \end{bmatrix}$， $b = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 6 \end{bmatrix}$， $c = [1 \ 0 \ 0]$</p> <div data-bbox="351 1182 995 1420" data-label="Diagram"> </div> <p>例 2: 已知系统结构图如下，试求闭环状态空间表达式。</p> <div data-bbox="437 1464 903 1617" data-label="Diagram"> </div> <p>解： $G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{2}{s^2 + s + 2}$</p> <p>故微分方程为： $y'' + y' + 2y = 2u$</p> <p>选状态变量 $x_1 = y$，$x_2 = y'$</p> <p>状态方程： $\begin{cases} x_1' = x_2 \\ x_2' = -2x_1 - x_2 + 2u \end{cases}$ </p> <p>输出方程： $y = x_1$</p>	<p>典型例题加深学生对动态方程的了解和认识</p>

教 案

内 容	备 注
<p>状态空间表达式为： $\begin{cases} \dot{x}' = Ax + bu \\ y = cx \end{cases}$ </p> <p>其中： $A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2 & -1 \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \end{bmatrix}, \quad c = [1 \quad 0]$ </p>  <p>二、输入变量含有导数项</p> $y^{(n)} + a_{n-1}y^{(n-1)} + \dots + a_1y' + a_0y = b_nu^{(n)} + b_{n-1}u^{(n-1)} + \dots + b_1u' + b_0u$ <p>(1) 选取状态变量 x_1, x_2, \dots, x_n</p> $\begin{cases} x_1 = y - \beta_0u \\ x_2 = \dot{y} - \beta_0\dot{u} - \beta_1u = \dot{x}_1 - \beta_1u \\ x_3 = y - \beta_0\ddot{u} - \beta_1\dot{u} - \beta_2u = \dot{x}_2 - \beta_2u \\ \vdots \\ x_n = x_{n-1} - \beta_{n-1}u \end{cases}$ $\Rightarrow \begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 + \beta_1u \\ \dot{x}_2 = x_3 + \beta_2u \\ \vdots \\ \dot{x}_n = -a_0x_1 - a_1x_2 - \dots - a_{n-1}x_n + \beta_nu \end{cases}$ <p>待定系数： $\begin{aligned} \beta_0 &= b_n \\ \beta_1 &= b_{n-1} - a_{n-1}\beta_0 \\ \beta_2 &= b_{n-2} - a_{n-1}\beta_0 - a_{n-2}\beta_0 \\ \beta_3 &= b_{n-3} - a_{n-1}\beta_2 - a_{n-2}\beta_1 - a_{n-3}\beta_0 \end{aligned}$ </p> <p>(2) 写出向量形式 $\begin{cases} \dot{x}' = Ax + bu \\ y = cx + du \end{cases}$ </p>	<p>含有导数项，反映了控制量变化对系统的影响程度。输入量的微小变化，对应的导数项可能变化很大，这就是控制的魅力。</p> <p>在无导数项的基础上，重点找出不同之处，采用框图的形式推导建立状态空间表达式——求同存异的思想。</p>

教 案

内 容	备 注
<p>其中： $A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 \\ -a_0 & -a_1 & -a_2 & \cdots & -a_{n-1} \end{bmatrix}$, $b = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_n \end{bmatrix}$</p> <p style="text-align: center;">$c = [1 \ 0 \ 0 \ \cdots \ 0]$, $d = \beta_0$</p> <p>例 3: $\ddot{y} + 5\dot{y} + 7y = \ddot{u} + 3\dot{u} + 2u$, 列出状态空间表达式</p> <p>解:</p> <p>$a_0 = 3, a_1 = 7, a_2 = 5, b_0 = 2, b_1 = 3, b_2 = 1, b_3 = 0$</p> <p>$\beta_0 = b_3 = 0$</p> <p>$\beta_1 = b_2 - a_2\beta_0 = 1 - 5 \times 0 = 1$</p> <p>$\beta_2 = b_1 - a_2\beta_1 - a_1\beta_0 = 3 - 5 \times 1 - 7 \times 0 = -2$</p> <p>$\beta_3 = b_0 - a_2\beta_2 - a_1\beta_1 - a_0\beta_0 = 2 - 5 \times (-2) - 7 \times 1 - 3 \times 0 = 5$</p> <p>状态空间表达式</p> $\begin{cases} \dot{x} = Ax + bu \\ y = cx + du \end{cases}$ <p>$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -3 & -7 & -5 \end{bmatrix}$ $b = \begin{bmatrix} 1 \\ -2 \\ 5 \end{bmatrix}$ $c = [1 \ 0 \ 0]$</p> <p>1.4 由传递函数建立状态空间表达式</p> $G(s) = \frac{Y(s)}{u(s)} = \frac{b_n s^n + b_{n-1} s^{n-1} + \cdots + b_1 s + b_0}{s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \cdots + a_1 s + a_0}$ <p>应用除法有:</p> $G(s) = b_n + \frac{\beta_{n-1} s^{n-1} + \cdots + \beta_1 s + \beta_0}{s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \cdots + a_1 s + a_0} \cong b_n + \frac{N(s)}{D(s)}$ <p>上式中的 b_n 就是 $y = cx + du$ 中的 d , 即 $d = b_n$ 。</p> <p>本节小结:</p> <p>进行系统分析和设计, 首先要建立其数学模型, 常见的模型有微分方程、传递函数和方框图等。</p> <p>描述同一系统的模型不同, 正说明模型之间可以相互转化。自然科学中彰显马克思主义哲学原理, 从时域、复频域等角度能够相互转化, 体现这对立与统一的思想。</p>	<p>时域和复频域是系统的不同表现形式, 可以相互转化—体现出矛盾的对立与统一。</p>