20　年　月　日	第　周
课题	第一章　控制系统的基本概念
授课时数	2 节
教学目的	**知识目标：** 1.了解自动控制系统的基本职能元件及基本框图； 2.掌握自动控制的定义； 3.掌握开环、闭环控制的定义及特点。 **能力目标：** 通过学习，使学生掌握自动控制系统的基本类型； **德育目标：** 理论联系实际，培养学生勤于思考，善于分析问题并进行归纳和总结的能力；
教学重点	1.自动控制的定义； 2.开环、闭环控制的定义及特点。
教学难点	开环、闭环控制的定义及特点
教具	
教学方法	讨论法、讲授法

教 学 进 程 及 内 容	说 明
（一） 引言 无论是人们的日常生活、工业生产，还是空间探索、导弹制导等尖端科技领域中，自动控制技术无所不在、无所不能。自动控制理论和技术已经渗透到社会、经济和科学研究的各个方面。 （二） 讲授新课 一、自动控制的定义及基本职能元件 1．自动控制的定义 控制就是在没有人直接参与的情况下，利用控制装置操纵被控对象，使被控量等于给定值。 2．基本职能元件 比较自动控制与人工控制系统，可见自动控制系统存在着三个最基本的职能元件： （1）测量元件：代替人的眼睛，完成信号的采集测量； （2）比较元件：代替人的大脑，完成比较、计算、判断，并发出调节指令； （3）执行元件：代替人的肌肉和手，完成或实现对被控对象的调节作用。 任何实际的自动控制系统，都少不了上述三个的职能元件（部件、部分）。 二、自动控制系统的分类及基本组成 1．按给定信号的特征分类 （1）恒值控制系统 特点：给定量恒定不变，其任务是保证系统在任何扰动信号作用下，系统的被控量保持恒定，这类控制系统是最常见的，常常也称为镇定系统，像压力、流量、温度、速度、电压、电流等恒定控制系统。 （2）随动控制系统 特点：这类控制系统的主要特点是给定信号的变化规律是事先不确定的随机信号，控制系统的主要任务是使系统的输出能快速、准确地跟随输入的变化而变化，故这类系统常常又称为跟踪控制系统。 常见的例子如火炮、雷达、导弹制导等控制系统。 2. 按控制方式分类 （1）开环控制	

开环控制是控制量与被控对象之间只有一条通路而没有反馈通路，也即控制作用的传递路径不是闭合的，或者说输出量对系统的输入量不产生影响。

（2）闭环控制

闭环控制是指控制装置与被控对象之间既有向前信号传递，又有信号反向联系的系统。它将测量的输出量反馈到输入端形成闭合环路，与输入量进行比较，得到偏差信号来产生控制作用，达到消除或减小偏差的目的。

三、自动控制系统的基本组成

1．控制对象：指要进行控制的设备或过程。所要控制的某个物理量或某种状态，就叫做系统的输出量或被控量。

2．测量元件：其职能是检测被控量（系统输出），并进行信号的变换（如非电量转换）和传输，用于反馈被控量到比较元件与输入进行比较（形成偏差信号）。

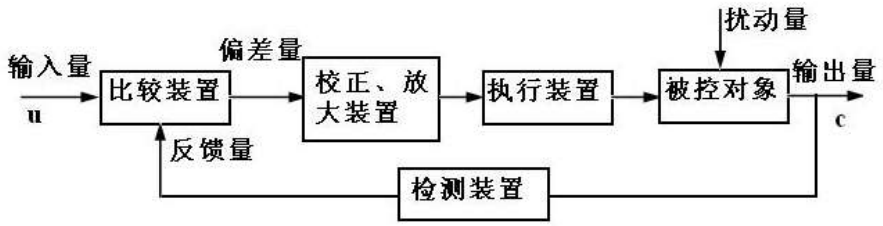
3．比较元件：其职能是把测量元件检测到的实际输出量与给定元件给出的输入量进行比较，得到偏差信号。

4．放大元件：其职能是将微弱的偏差信号进行放大，以足够的功率来推动执行机构或被控对象。

5．执行元件：其职能是直接控制被控对象，使其被控量发生变化，例如阀门、伺服机构等。

6．校正元件：其职能是为了改善或提高控制系统的性能（如稳定性、稳态精度、响应速度等），在控制系统的基本结构上附加的装置。

其中，比较元件、校正元件、放大元件统称为控制装置。



四、控制系统的基本要求

理想的控制系统，必须具备两方面的性能，即

（1）使系统的输出快速、准确地按输入信号要求的期望输出值变化；

（2）使系统的输出尽量不受任何扰动的影响；

对自动控制系统性能的主要要求为：

（1）稳定性：要求系统稳定并具有一定的稳定裕度。

（2）快速性：要求系统的瞬态响应快速且变化平稳。

（3）准确性：要求系统的稳态误差满足设计的要求。

小结：

1.自动控制的定义；

2.开环、闭环控制的定义及特点；

3.自动控制系统的基本组成；

4. 控制系统的基本要求。

作业：

课本P7　　1.4　1.5　1.9

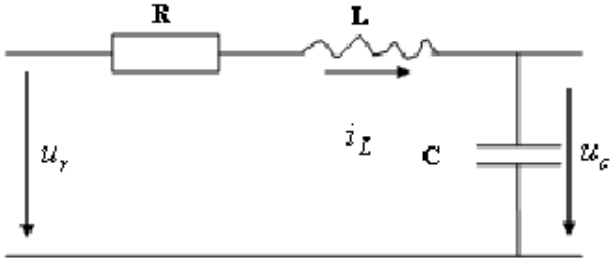
教学反思：

20　年　月　日	第　周
课题	§2.1　建立动态微分方程的一般方法 §2.2　传递函数
授课时数	2节
教学目的	**知识目标：** 1.掌握建立微分方程数学模型的方法和步骤； 2.掌握典型环节的传递函数。 **能力目标：**通过学习，使学生掌握建立微分方程数学模型的方法和典型环节的传递函数； **德育目标：** 理论联系实际，培养学生勤于思考的能力。
教学重点	1.建立微分方程数学模型的方法和步骤； 2.典型环节的传递函数。
教学难点	建立微分方程数学模型的方法和步骤
教具	
教学方法	讨论法、讲授法、例题讲解

教 学 进 程 及 内 容	说 明
§2.1　建立动态微分方程的一般方法 在经典控制理论中，常用的动态数学模型为微分方程、传递函数和系统框图。 建立数学模型的方法有解析法和实验法。解析法就是根据控制系统及元件各变量之间所遵守的物理规律，借助数学工具进行理论推导，从而建立控制系统的数学模型。 **一、　建立动态微分方程的一般方法** 用解析法建立系统或子系统微分方程的一般步骤如下： （1）清楚系统的工作原理，确定系统与子系统之间的输入量和输出量。 （2）从系统的输入端开始，根据各元件或环节所遵循的物理规律，依次列写它们的微分方程。 ③消去中间变量，求取一个仅含有系统的输入量和输出量的微分方程。 **二、理想元件的微分方程描述** 在电气和机械系统中几种最常见的理想元件有： 1．电容 电容两端电压与电流的关系为： $$i(t)=C\frac{du_c(t)}{dt} \quad 或 \quad u_c(t)=\frac{1}{C}\int i(t)dt$$ 2．电感 流过电感电流与两端的电压的关系为： $$u_L(t)=L\frac{di_L}{dt} \quad 或 \quad i_L(t)=\frac{1}{L}\int u_L(t)dt$$ 3．弹性力它是一种弹簧的弹性恢复力，其大小与机械变形成正比，弹性力分平动和旋转两种。 $$F=ky=k\int vdt \quad 或 \quad v=\frac{1}{k}\frac{dF}{dt}$$ 式中 k 为弹簧的弹性系数，F 为作用于弹簧的外力，y 为直线位移量，v 为直线位移速度。	

三、数学建模举例

例 1：R-L-C 串联电路，输入为电压$u_r(t)$，输出为电容电压$u_c(t)$，试求输入输出微分方程。



[解]：（1）确定系统的输入为电压$u_r(t)$，输出为电容电压$u_c(t)$，中间变量为电流$i(t)$；

（2）网络按集中参数考虑，且输出为开路电压，即无后级负载。

（3）由基尔霍夫电压定律写出方程：

$$L\frac{di}{dt}+Ri+u_c=u_r$$

（4）列写中间变量$i(t)$与$u_c(t)$的关系式：$i=C\dfrac{du_c}{dt}$

（5）将$i(t)$代入原始方程，消去中间变量$i(t)$，得到：

$$LC\frac{d^2u_c}{dt^2}+RC\frac{du_c}{dt}+u_c=u_r$$

可见，R-L-C 串联电路的动态数学模型是一个二阶线性微分方程。

§2.2　传递函数

一、传递函数的基本概念

1.传递函数

定义：线性定常系统的传递函数 G（s）定义为在零初始条件下，系统输出量的拉普拉斯变换与输入量的拉普拉斯变换之比。

线性定常系统的微分方程一般可写为

$$\begin{aligned}&a_0\frac{d^nc(t)}{dt^n}+a_1\frac{d^{n-1}c(t)}{dt^{n-1}}+\ldots+a_{n-1}\frac{d(t)}{dt}+a_nc(t)\\&=b_0\frac{d^mr(t)}{dt^m}+b_1\frac{d^{m-1}r(t)}{dt^{m-1}}+\ldots+b_{m-1}\frac{dr(t)}{dt}+b_mr(t)\end{aligned}\qquad(2\text{-}1)$$

式中，c(t)为系统的输出量；r(t)为系统的输入量；a_0，a_1，a_n

及 b_0，b_1，b_m 是与系统结构参数有关的常数。

在初始化条件下，根据拉普拉斯变换的微分定理，对式子（2-1）取拉氏变换，得到系统的传递函数为

$$G(s)=\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{b_0s^m+b_1s^{m-1}+\ldots+b_{m-1}s+b_m}{a_0s^n+a_1s^{n-1}+\ldots+a_{n-1}s+a_n}$$

二、 传递函数的零、极点

传递函数还可写成

$$G(s)=\frac{k^*\prod_{i=1}^{m}(s+z_i)}{\prod_{j=1}^{n}(s+p_j)}=\frac{k\prod_{i=1}^{m}(T_is+1)}{\prod_{j=1}^{n}(T_js+1)}$$

式中，z_i 为分子多项式的根，称为传递函数的零点；p_j 为分母多项式的根，称为传递函数的极点，也就是系统的特征根。零点和极点可以是实数或共轭复数。

三、 典型环节及其传递函数

1. 比例环节（放大环节）

比例环节的微分方程为 $c(t)=kr(t)$，k 为放大系数。

其传递函数为 $G(s)=\frac{C(s)}{R(s)}=k$

比例环节的典型例子有运算放大器、齿轮变速箱、电位器、测速发电机等。

2. 惯性环节

惯性环节的微分方程为 $T\frac{dc(t)}{dt}+c(t)=r(t)$，T 为时间常数。

其传递函数为 $G(s)=\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{1}{Ts+1}$

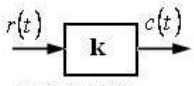
RL 网络、RC 网络、忽略电枢电感的直流伺服电动机都属于惯性环节。

3. 积分环节

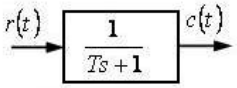
积分环节的微分方程为 $\frac{dc(t)}{dt}=r(t)$

其传递函数为 $G(s)=\dfrac{C(s)}{R(s)}=\dfrac{1}{s}$

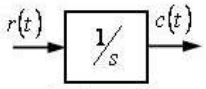
以上三个环节的数学模型如下图所示。



比例环节



惯性环节



积分环节

4. 微分环节

微分环节的微分方程为 $c(t)=\dfrac{dr(t)}{dt}$

其传递函数为 $G(s)=\dfrac{C(s)}{R(s)}=s$

5. 振荡环节

振荡环节的微分方程为

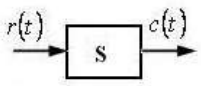
$$T^2\frac{d^2c(t)}{dt^2}+2\zeta T\frac{dc(t)}{dt}+c(t)=r(t)$$

其传递函数为 $G(s)=\dfrac{C(s)}{R(s)}=\dfrac{1}{T^2S^2+2\zeta Ts+1}$

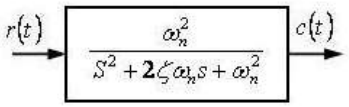
令 $\omega_n=\dfrac{1}{T}$， 则 $G(s)=\dfrac{\omega_n^2}{S^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2}$

式子中， ω_n 为振荡环节的无阻尼自然频率；ζ 为振荡环节的阻尼比。

以上两个环节的数学模型如下图所示。



微分方程



振荡环节

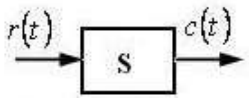
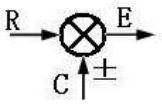
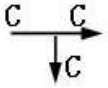
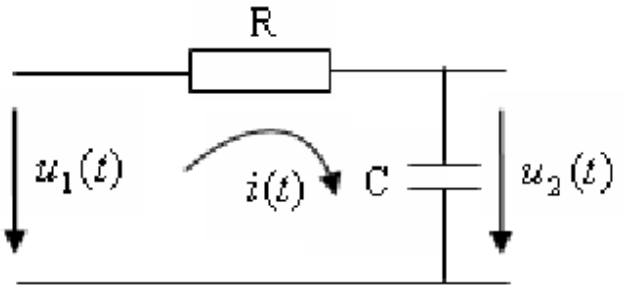
小结： 1. 建立微分方程数学模型的方法和步骤；

2. 典型环节的传递函数。

作业： 课本 P26 2.7

教学反思：

20　年　月　日	第　周
课题	§2.3　系统的动态结构图
授课时数	2节
教学目的	**知识目标：** 1.掌握系统结构图的定义、基本组成、绘制、基本连接形式； 2.掌握闭环系统常用的传递函数。 **能力目标：**通过学习，使学生掌握系统结构图的定义、基本组成、绘制、基本连接形式及闭环系统常用的传递函数。 **德育目标：** 理论联系实际，培养学生勤于思考的能力。
教学重点	1.系统结构图的定义、绘制和基本连接形式； 2.闭环系统常用的传递函数。
教学难点	系统结构图的定义、绘制和基本连接形式
教具	
教学方法	讨论法、讲授法、例题讲解

教 学 进 程 及 内 容	说 明
§2.3　系统的动态结构图 **一、　系统的动态结构图** 1.定义 控制系统的动态结构图是描述系统各元件之间信号流向和传递关系的数学图示模型,它表示系统各变量之间的因果关系以及对各变量所进行的运算，是控制理论中描述复杂系统的一种简便方法，它适于线性和非线性系统。 2.结构图的组成 结构图由方框、信号线、分支点和相加点等单元。 （1） 方框：标有某一元件传递函数的方框图。如下图所示。  （2）信号线：带箭头的直线，它有方向性； （3）相加点（综合点）：用  表示。 （4）分支点：用  表示。 3.结构图的绘制方法 步骤：（1）根据系统的结构和工作原理，将系统分解成若干个环节，确定各环节的输入量、输出量，写出各环节的传递函数； （2） 绘制各环节的方框图； （3） 将这些方框按信号的流向和传递关系用信号线、相加点和分支点连接起来，即得到整个系统的结构图。 例题 1：画出 RC 电网络的结构图。  	

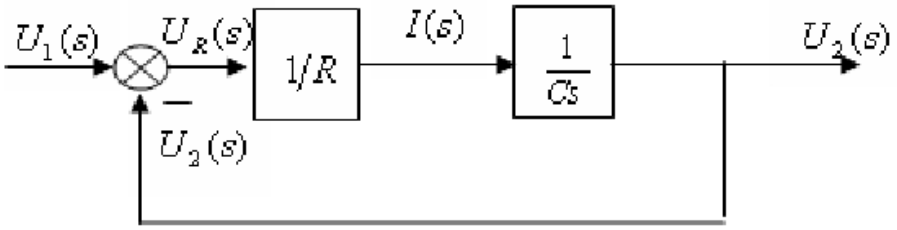
根据电路的基尔霍夫定律，可列写出以下方程式：

$$\begin{cases} u_R(t)=u_1(t)-u_2(t) \\ i(t)=u_R(t)/R \\ u_c(t)=\dfrac{1}{C}\int i(t)dt \end{cases}$$

对方程式求拉氏变换得：

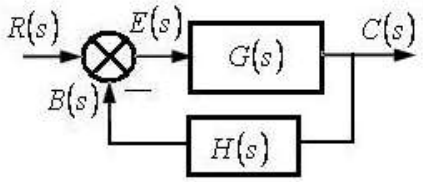
$$\begin{cases} U_R(s)=U_1(s)-U_2(s) \\ I(s)=U_R(s)/R \\ U_2(s)=I(s)/Cs \end{cases}$$

画出结构图如下图所示。



该网络的传递函数为：$G(s)=\dfrac{U_2(s)}{U_1(s)}=\dfrac{1}{RCs+1}$

二、 系统常用的传递函数



1. 前向通道传递函数：输出量C(s)与偏差量E(s)之比，

即 $G(s)=\dfrac{C(s)}{E(s)}$

2. 反馈通道传递函数：反馈量B(s)与输出量C(s)之比，

即 $H(s)=\dfrac{B(s)}{C(s)}$

3. 开环传递函数：反馈量B(s)与偏差量E(s)之比，

即 $$G_k(s)=\frac{B(s)}{E(s)}=G(s)H(s)$$

4．闭环传递函数：输出量C(s)与输入量R(s)之比，

即 $$G_B(s)=\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{G(s)}{1+G(s)H(s)}$$

5．误差传递函数：偏差量E(s)与输入量R(s)之比，

即 $$G_{E,R}(s)=\frac{E(s)}{R(s)}=\frac{1}{1+G(s)H(s)}$$

小结：

1.系统结构图的定义、绘制和基本连接形式；

2.闭环系统常用的传递函数。

作业：

课本P27 2.8

教学反思：

20　年　月　日	第　周
课题	§2.4　结构图的等效变换
授课时数	2节
教学目的	**知识目标：** 1.掌握结构图的等效变换及化简； **能力目标：**通过学习，使学生掌握结构图的等效变换及化简方法。 **德育目标：** 理论联系实际，培养学生勤于思考的能力。
教学重点	结构图的等效变换
教学难点	结构图的等效变换
教具	
教学方法	提问法、讲授法、例题讲解

教 学 进 程 及 内 容	说 明

§2.4　结构图的等效变换

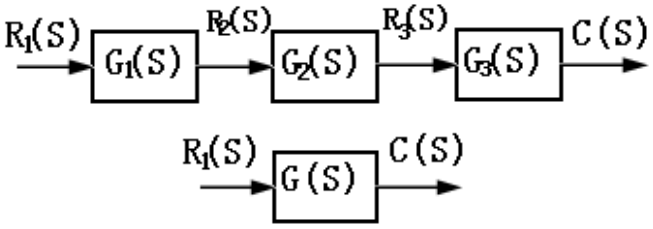
动态结构图的连接方式主要有三种：串联、并联和反馈。

结构图在变化后与变换前的输入量与输出量都保持不变。

一、串联环节的等效变换

串联环节的特点是各环节之间是按照信号的传递方向首尾相连。

按传递函数的定义，可得



由　$C(s)=G_1(s)G_2(s)G_3(s)R_1(s)$

则等效传递函数为　$G(s)=\dfrac{C(s)}{R_1(s)}=G_1(s)G_2(s)G_3(s)$

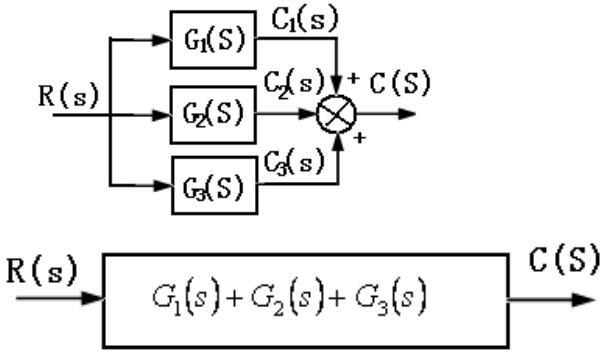
推广： n 个环节串联时，其等效传递函数为

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

二、并联环节的等效变换

并联环节的特点是各环节的输入量为同一变量，输出量为各环节的输出量的代数和。

按传递函数的定义，可得



由叠加原理，得

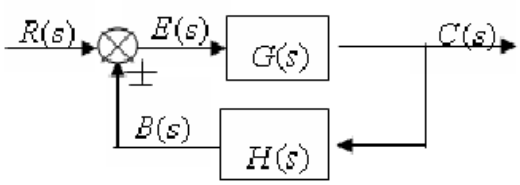
$$C(s)=C_1(s)+C_2(s)+C_3(s)=[G_1(s)+G_2(s)+G_3(s)]R(s)$$

故等效传递函数为 $$G(s)=\frac{C(s)}{R(s)}=G_1(s)+G_2(s)+G_3(s)$$

推广：n 个环节并联时，其等效传递函数为

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

三、反馈环节的等效变换

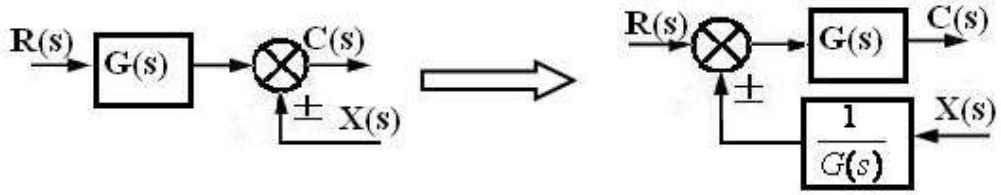


等效变换的传递函数为 $G_B(s)=\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{G(s)}{1\mp G(s)H(s)}$

四、结构图的等效变换法则

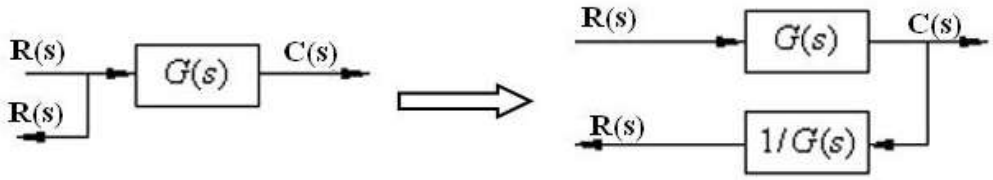
1. 综合点的移动

综合点前移时，必须在添加的移动支路中串入相同传递函数的倒数；综合点后移时，必须在添加的移动支路中入相同传递函数；



2. 分支点的移动

分支点后移时，必须在添加的移动支路中串入相同传递函数的倒数；分支点前移时，必须在添加的移动支路中入相同传递函数；相邻分支点可以相互换位，不改变信号本身的性质和大小。



作业：

课本 P12　1、2、3

教学反思：

20　年　月　日	第　周
课题	§3.1　典型输入信号及时域性能指标
授课时数	2节
教学目的	**知识目标：** 1. 掌握自动控制系统的典型输入信号； 2.掌握控制系统的动态性能指标和稳态性能指标。 **能力目标：** 通过学习，使学生掌握系统的典型输入信号及其性能指标； **德育目标：** 理论联系实际
教学重点	控制系统的动态性能指标和稳态性能指标
教学难点	控制系统的动态性能指标和稳态性能指标
教具	
教学方法	提问法、讲授法、例题讲解

教 学 进 程 及 内 容	说 明

§3.1　典型输入信号及时域性能指标

对于线性控制系统，工程上常用的分析方法有时域分析法、根轨迹法和频率分析法。

时域分析法，就是在典型输入信号作用下，通过拉普拉斯变换，求出系统的输出量的表达式，然后进行拉普拉斯反变换，从而得到系统时间响应的全部信息。

一、　典型输入信号

（1）单位冲击（脉冲）信号 $\delta(t)$

定义：$\delta(t)=\begin{cases}0 & t\neq 0\\ \infty & t=0\end{cases}$，$\int_{0^-}^{0^+}\delta(t)dt=1$，　Laplace 变换：$L[\delta(t)]=1$

（2）单位阶跃信号 $\mathbf{1}(t)$

定义：$1(t)=\begin{cases}0 & t<0\\ 1 & t\geq 0\end{cases}$，　Laplace 变换：$L[1(t)]=1/s$

（3）单位斜坡（速度）信号

定义：$r_v(t)=\begin{cases}0 & t<0\\ t & t\geq 0\end{cases}$，　Laplace 变换：$L[r_v(t)]=1/s^2$

（4）单位加速度（抛物线）信号

定义：$r_a(t)=\begin{cases}0 & t<0\\ \frac{1}{2}t^2 & t\geq 0\end{cases}$，　Laplace 变换：$L[r_a(t)]=1/s^3$

（5）正弦（余弦）信号

定义：$r(t)=\begin{cases}0 & t<0\\ \sin\omega t & t\geq 0\end{cases}$，　Laplace 变换：$L[r(t)]=\frac{\omega}{s^2+\omega^2}$

定义：$r(t)=\begin{cases}0 & t<0\\ \cos\omega t & t\geq 0\end{cases}$，　Laplace 变换：$L[r(t)]=\frac{s}{s^2+\omega^2}$

二、系统暂态性能指标

任何一个控制系统的时间响应都可以分为暂态响应和稳态响应两部分。

1.暂态响应

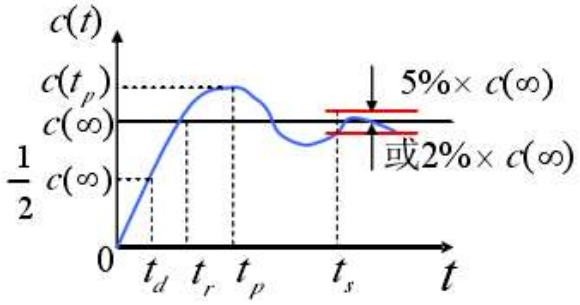
暂态响应又称为暂态过程或过渡过程。它是指在输入信号或扰作用动信号下，系统地输出量从初始状态到最终状态的响应过程。

2. 稳态响应

稳态响应由称为稳态过程。它是指系统在输入信号或扰动信号作用下，当时间 t 趋近于无穷大时，系统的输出响应的状态。

3．暂态和稳态性能指标

为了定量表示控制系统暂态和稳态响应的性能，在工程上一般以单位阶跃信号作为输入试验信号来定义系统的暂态和稳态性能指标。



（1）上升时间 t_r：系统阶跃响应从零开始第一次上升到稳态值的时间（有时可取响应的稳态值得 10%到 90%所对应的时间）。

（2）峰值时间 t_p：系统阶跃响应从零开始第一次超过稳态值达到第一个峰值的时间。

（3）调节时间 t_s：指当输出量和稳态值之间的偏差达到允许范围（一般取 2%或 5%的误差带），并维持在此允许范围内所需的最小时间。

作业：

课本 P12　　1、2、3

教学反思：

20　年　月　日	第　周
课题	§3.2　控制系统的稳定性
授课时数	2节
教学目的	**知识目标：** 1.掌握稳定的概念和定义、系统稳定的充要条件； 2.掌握线性系统的劳斯判据及应用中的特殊问题。 **能力目标：** 通过学习，使学生懂得运用劳斯判据判别系统的稳定性。 **德育目标：** 理论联系实际
教学重点	1.稳定的概念和定义、系统稳定的充要条件； 2.线性系统的劳斯判据及应用中的特殊问题。
教学难点	劳斯判据及在系统稳定性分析中的应用
教具	
教学方法	提问法、讲授法、例题讲解

教 学 进 程 及 内 容	说 明
§3.2　控制系统的稳定性 一个线性控制系统能够正常工作的首要条件，就是它必须是稳定的。 一、系统运动的稳定性 稳定性描述：如果线性系统受到扰动的作用而使被控量产生偏差，当扰动消失后，随着时间的推移，该偏差逐渐减小并趋于零，即被控量回到原来的平衡工作状态，则称该系统稳定。反之，若在扰动的影响下，系统的被控量随着时间的推移而发散，则称系统不稳定。 若暂态响应能消失的，则系统是稳定的，若暂态响应不能消失，则系统不稳定。线性系统的稳定性，与系统的输入信号、初始状态均无关，它是系统的固有本质属性，完全取决于系统的结构和参数。 二、线性控制系统稳定性的充分必要条件 系统微分方程的特征根的全部根都是都负实数或实部为负的复数，也即，系统闭环传递函数的极点均位于 S 平面的左半平面。 当特征根出现正实数或实部为正的复数或有极点分布于S平面的右半平面时，线性系统为不稳定；当特征根出现纯虚数或有极点位于S平面的虚轴时，线性系统为临界稳定。 三、　劳斯判据 控制系统稳定性的充分必要条件是劳斯矩阵中左端第一列各项值均为正数。 1.判据的应用步骤： 首先系统的特性方程式为：$a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \cdots + a_{n-1} s + a_n = 0$ 式子中，各项系数$a_0, a_1, \cdots, a_{n-1}, a_n$均为实数，且$a_0 > 0$。然后根据特征方程的各项系数列出如下劳斯阵：	**由教师引导，学生思考回答**

$$
\begin{array}{c|cccc}
s^n & a_0 & a_2 & a_4 & \cdots \\
s^{n-1} & a_1 & a_3 & a_5 & \cdots \\
s^{n-2} & b_1=\dfrac{a_2a_1-a_0a_3}{a_1} & b_2=\dfrac{a_4a_1-a_0a_5}{a_1} & b_3\dfrac{a_6a_1-a_0a_7}{a_1} & \cdots \\
s^{n-3} & c_1=\dfrac{b_1a_3-a_1b_2}{b_1} & c_2=\dfrac{b_1a_5-a_1b_3}{b_1} & c_3=\dfrac{b_1a_7-a_1b_4}{b_1} & \cdots \\
\vdots & \vdots & & & \\
s^2 & d_1 & d_2 & d_3 & \\
s^1 & e_1 & e_2 & & \\
s^0 & f_1 & & &
\end{array}
$$

劳斯阵左端第一列各项值中有负数，则系统不稳定，且左端第一列各项值的正负符号的改变次数等于特征方程的根在 s 平面右侧的个数。

2.特例

第一种特殊情况：劳斯表中第一列的某一行元素出现零元素，而该行的其余元素不全为零。

结论：当出现这种情况时，说明系统特征方程具有正实数根或纯虚根，系统不稳定或临界稳定。

处理方法：可以用一个小正数ε 来代替那个零元素，然后继续构造下去，并令ε →0，判别第一列元素符号改变的次数。

例：设系统的特征方程为 $s^3-3s+2=0$

解：构造劳斯表如下，并作特殊处理。

$$
\begin{array}{c|cc}
s^3 & 1 & -3 \\
s^2 & 0=\varepsilon & 2 \\
s^1 & \dfrac{-3\varepsilon-2}{\varepsilon} & 0 \\
s^0 & 2 &
\end{array}
$$

由劳斯表可知，其第一列元素的符号改变了 2 次，故系统不稳定，且具有 2 个特征根位于 S 右半平面

第二种特殊情况：劳斯表中出现某一行元素全为零。

结论：出现这种特殊情况，说明存在着等值反号的实数根或成对出现的纯虚根或对称于 S 平面坐标轴原点的偶数对共轭复数根。系统是不稳定的或临界稳定。

处理方法：利用全零行上一行的元素及相应的阶次构造辅助多项式 F(s)，并以 dF(s)/ds 各系数代替全零行元素，然后继续构造劳斯

表的其余部分。

例：设系统的特征方程为 $s^5+2s^4+24s^3+48s^2-25s-50=0$

解：构造劳斯表如下，并作特殊处理。

s^5	1	24	−25
s^4	2	48	−50
s^3	$0\to 8$	$0\to 96$	
s^2	24	−50	
s^1	112.7		
s^0	−50		

$$\Leftarrow\begin{cases}F(s)=2s^4+48s^2-50\\ \dfrac{dF(s)}{ds}=8s^3+96s\end{cases}$$

由劳斯表可知，其第一列元素的符号发生改变，故系统必然不稳定。

小结：

1. 稳定的概念和定义、系统稳定的充要条件；
2. 线性系统的劳斯判据及应用中的特殊问题。

作业：

教学反思：

20　年　月　日	第　周
课题	§3.3　一阶系统的阶跃响应 §3.4　二阶系统的阶跃响应
授课时数	2节
教学目的	**知识目标：** ①掌握一阶系统的单位斜坡响应及性能指标 ②掌握二阶系统的不同阻尼比下的单位阶跃响应 **能力目标：** 通过学习，能熟练运用时域分析法判定系统的稳定性并进行有关的参数计算、分析。 **德育目标：**通过教学，培养学生勤于思考、运用所学知识解决实际问题的能力，并进行归纳和总结。
教学重点	1.一阶系统的单位斜坡响应 2.二阶系统的不同阻尼比下的单位阶跃响应
教学难点	二阶系统的不同阻尼比下的单位阶跃响应
教具	
教学方法	提问法、讨论法、讲授法

教 学 进 程 及 内 容	说 明
教学引入： 复习典型环节的传递函数，提问：所学的典型环节有哪几个？它们的表达式怎么写？ 讲授新课： §3.3 一阶系统的阶跃响应 时域分析法，是指控制系统在一定的输入信号作用下，根据系统输出量的时域表达式，分析系统的稳定性、暂态和稳定性能。 一、一阶系统的时域分析 1. 一阶系统的数学模型 一阶系统的微分方程： $T\frac{dc(t)}{dt}+c(t)=r(t) \qquad t\geq 0$ 一阶系统的传递函数： $G(s)=\frac{1}{Ts+1}$ ， T 为时间常数 2. 单位斜坡响应 输入 $r(t)=t\cdot 1(t) \Leftrightarrow R(s)=\frac{1}{s^2}$ 输出 $c(t)=L^{-1}[C(s)]=L^{-1}[\Phi(s)R(s)]=L^{-1}\left[\frac{1}{Ts+1}\times\frac{1}{s^2}\right]$ $=L^{-1}\left[\frac{1}{s^2}-\frac{T}{s}+\frac{T^2}{Ts+1}\right]=t-T\left(1-e^{-\frac{t}{T}}\right), \qquad t\geq 0$ 误差函数： $e(t)=r(t)-c(t)=T\left(1-e^{-\frac{t}{T}}\right)$ 稳态误差： $e_{ss}=\lim_{t\to\infty}e(t)=\lim_{t\to\infty}T\left(1-e^{-\frac{t}{T}}\right)=T$ 结论：一阶系统在跟踪单位斜坡信号时，总存在位置误差，且位置误差的大小随时间而变化，因此 **T 越小则稳态误差也越小。** §3.4 二阶系统的阶跃响应 1. 典型二阶系统的数学模型 闭环传递函数： $\Phi(s)=\frac{\omega_n^2}{s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n^2}=\frac{1}{T^2s^2+2\xi Ts+1}$ 式中， ω_n 为振荡频率，T 为时间常数， ξ 为阻尼比。	**由教师引导，学生思考回答**

输入 $r(t)=1 \Leftrightarrow R(s)=\dfrac{1}{s}$

则 $C(s)=\Phi(s)R(s)=\dfrac{1}{T^2s^2+2\xi Ts+1}\dfrac{1}{s}=\dfrac{\omega_n^2}{s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n^2}\dfrac{1}{s}$ （4-1）

式中 $\omega_n=1/T$

2. 二阶系统的闭环零极点

二阶系统的闭环特征方程式：$s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n^2=0$

特征根为：$s_{1,2}=-\xi\omega_n\pm\omega_n\sqrt{\xi^2-1}$

显然，随着阻尼比ξ取值的不同，闭环极点的分布也不同。

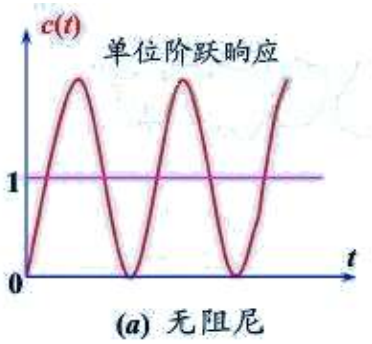
3. 二阶系统的阶跃响应

（1） 当$\xi=0$（无阻尼）时：

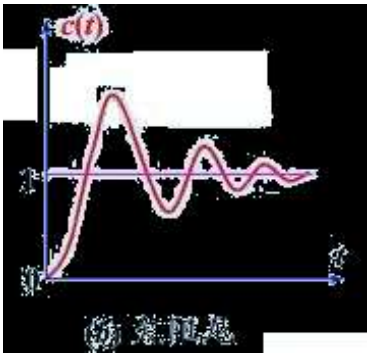
特征根$s_{1,2}=\pm j\omega_n$，是一对纯虚根；

把$\xi=0$代入式子（4-1）得 $C(s)=\dfrac{\omega_n^2}{s^2+\omega_n^2}\dfrac{1}{s}$

单位阶跃响应为：$c(t)=1-\cos\omega_n t$，**它为等幅振荡曲线**，如下图（a）所示。



(a) 无阻尼



（2）当$0<\xi<1$（欠阻尼）时：

特征根$s_{1,2}=-j\omega_n\pm j\omega_n\sqrt{1-\xi^2}$，是一对共轭复根；

$\omega_d=\omega_n\sqrt{1-\xi^2}$为阻尼振荡频率，代入特征根得$s_{1,2}=-\xi\omega_n\pm j\omega_d$

单位阶跃响应为：

$$c(t)=1-\frac{e^{-\xi\omega_n t}}{\sqrt{1-\xi^2}}\sin(\omega_d t+\varphi)$$

教师对公式做简单的推导，重在让学生知道过程

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/697126143152006144