自动控制原理知识点总结

第一章

1.什么是自动控制？（填空）

自动控制：是指在无人直接参与的情况下，利用控制装置操纵受控对象，是被控量等于给定值或按给定信号的变化规律去变化的过程。

2.自动控制系统的两种常用控制方式是什么？（填空）

开环控制和闭环控制

3.开环控制和闭环控制的概念？

开环控制：控制装置与受控对象之间只有顺向作用而无反向联系

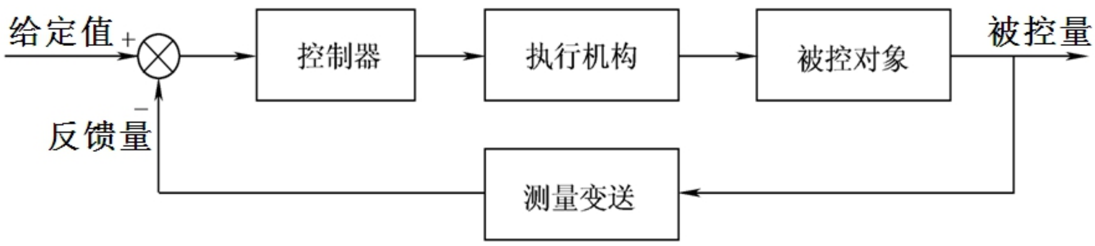
特点：开环控制实施起来简单，但抗扰动能力较差，控制精度也不高。

闭环控制：控制装置与受控对象之间，不但有顺向作用，而且还有反向联系，既有被控量对被控过程的影响。

主要特点：抗扰动能力强，控制精度高，但存在能否正常工作，即稳定与否的问题。

掌握典型闭环控制系统的结构。开环控制和闭环控制各自的优缺点？

（分析题：对一个实际的控制系统，能够参照下图画出其闭环控制方框图。）



典型闭环控制系统方框图

4.控制系统的性能指标主要表现在哪三个方面？各自的定义？（填空或判断）

（1）、稳定性：系统受到外作用后，其动态过程的振荡倾向和系统恢复平衡的能力

（2）、快速性：通过动态过程时间长短来表征的

（3）、准确性：有输入给定值与输入响应的终值之间的差值 e_{ss} 来表征的

第二章

1.控制系统的数学模型有什么？（填空）

微分方程、传递函数、动态结构图、频率特性

2.了解微分方程的建立？

（1）、确定系统的输入变量和输入变量

（2）、建立初始微分方程组。即根据各环节所遵循的基本物理规律，分别列写出相应的微分方程，并建立微分方程组

（3）、 消除中间变量，将式子标准化。将与输入量有关的项写在方程式等号的右边，与输出量有关的项写在等号的左边

3.传递函数定义和性质？认真理解。（填空或选择）

传递函数：在零初始条件下，线性定常系统输出量的拉普拉斯变换域系统输入量的拉普拉斯变

公众号【大学百科资料】整理，有超百科复习资料+海量网课资源

换之比

4. 七个典型环节的传递函数（必须掌握）。了解其特点。**（简答）**

典型环节	传递函数	特点
比例环节	$\mathrm{G}(s)=\dfrac{C(s)}{R(s)}=K$	输出不失真、不延迟、成比例地复现输入信号的变化，即信号的传递没有惯性
惯性环节	$\mathrm{G}(s)=\dfrac{C(s)}{R(s)}=\dfrac{\mathrm{K}}{Ts+1}$	其输出量不能瞬时完成与输入量完全一致的变化
积 分环节	$\mathrm{G}(s)=\dfrac{C(s)}{R(s)}=\dfrac{1}{T\mathrm{s}}$	输出量与输入量对时间的积分成正比。若输入突变，输出值要等时间 T 之后才等于输入值，故有滞后作用。输出积累一段时间后，即使输入为零，输出也将保持原值不变，即具有记忆功能。只有当输入反向时，输出才反向积分而下降。常用积分环节来改善系统的稳态性能
微分环节	$\mathrm{G}(s)=\dfrac{C(s)}{R(s)}=\mathrm{Ts}$	输出与输入信号对时间的微分成正比，即输出反映输入信号的变化率，而不反映输入量本身的大小。因此，可由微分环节的输出来反映输入信号的变化趋势，加快系统控制作用的实现。常用微分环节来改善系统的动态性能
振荡环节	$\mathrm{G}(s)=\dfrac{C(s)}{R(s)}=\dfrac{1}{\mathrm{T}^2s^2+2\xi Ts+1}$	若输入为一阶跃信号，则动态响应应具有振荡的形式
时滞环节	$\mathrm{G}(s)=\dfrac{C(s)}{R(s)}=\mathrm{e}^{-\tau s}=\dfrac{1}{e^{\tau s}}$	输出波形与输入波形相同，但延迟了时间 τ 。时滞环节的存在对系统的稳定性不利

5. 动态结构图的等效变换与化简。三种基本形式，尤其是式 2-61。主要掌握结构图的化简用法，参考 P38 习题 2-9（a）、(e)、(f)。**（化简）**

等效变换，是指被变换部分的输入量和输出量之间的数学关系，在变换前后保持不变。串联，并联，反馈连接，综合点和引出点的移动（P27）

6. 系统的开环传递函数、闭环传递函数（重点是给定作用下）、误差传递函数（重点是给定作用下）：式 2-63、2-64、2-66

系统的反馈量 B（s）与误差信号 E（s）的比值，称为闭环系统的开环传递函数

系统的闭环传递函数分为给定信号 R（s）作用下的闭环传递函数和扰动信号 D（s）作用下的闭环传递函数

系统的开环传递函数		$G_{\mathrm{k}}(\mathrm{s})=\dfrac{\mathrm{B}(s)}{\mathrm{E}(s)}=G_1(s)G_2(s)H(s)=G(s)H(s)$
系统的闭环传递函	给定信号 R（s）作用，设 D（s）=0	$\Phi(\mathrm{s})=\dfrac{\mathrm{C}(s)}{\mathrm{R}(s)}=\dfrac{G_1(s)G_2(s)}{1+G_1(s)G_2(S)H(s)}=\dfrac{G(s)}{1+G(s)H(s)}$

公众号【大学百科资料】整理，有超百科复习资料+海量网课资源

数	扰动信号 D（s）作用，设 R（s）=0	$\Phi_d(\mathrm{s})=\dfrac{\mathrm{C}(s)}{\mathrm{D}(s)}=\dfrac{G_2(s)}{1+G_1(s)G_2(S)H(s)}=\dfrac{G_2(s)}{1+G(s)H(s)}$
系统的误差传递函数	给定信号 R（s）作用，设 D（s）=0	$\Phi_{er}(\mathrm{s})=\dfrac{\mathrm{E}(s)}{\mathrm{R}(s)}=\dfrac{1}{1+G_1(s)G_2(S)H(s)}=\dfrac{1}{1+G(s)H(s)}$
	扰动信号 D（s）作用，设 R（s）=0	$\Phi_{ed}(\mathrm{s})=\dfrac{\mathrm{E}(s)}{\mathrm{D}(s)}=\dfrac{-G_2(s)H(s)}{1+G_1(s)G_2(S)H(s)}=\dfrac{-G_2(s)H(s)}{1+G(s)H(s)}$

第三章

1. P42 系统的时域性能指标。各自的定义，各自衡量了什么性能？（填空或选择）

（1）、上升时间 $\mathrm{t_r}$

$\mathrm{t_r}$ 指系统响应从零开始，第一次上升到稳态值所需的时间

（2）、峰值时间 $\mathrm{t_p}$

$\mathrm{t_p}$ 指系统响应从零开始，第一次到达峰值所需的时间

（3）、超调量 $\sigma\%$ (平稳性)

指系统响应超出稳态值的最大偏离量占稳态值的百分比

（4）、调节时间 $\mathrm{t_s}$（快速性）

$\mathrm{t_s}$ 指系统响应应从零开始，达到并保持在稳态值的±5%（或±2%）误差范围内，即响应进入并保持在±5%（或±2%）误差带之内所需的时间

（5）、稳态误差 $\mathrm{e_{ss}}$

稳态误差指系统期望值与实际输出的最终稳态值之间的差值。这是一个稳态性能指标

2. 一阶系统的单位阶跃响应。（填空或选择）

从输入信号看，单位斜坡信号的导数为单位阶跃信号，而单位阶跃信号的导数为单位脉冲信号。相应的 ，从输出信号来看，单位斜坡响应的导数为单位阶跃响应，而单位阶跃响应的导数是单位脉冲响应。由此得出 线性定常系统的一个重要性质;某输入信号的输出响应，就等于该输出响应的导数；同理，某输入信号积分的输出响应，就等于该输入信号输出响应的积分。

3. 二阶系统：

（1）传递函数、两个参数各自的含义；（填空）

ξ 阻尼比，ξ 值越大，系统的平稳性越好，超调越小；ξ 值越小，系统响应振荡越强，振荡频率越高。当 ξ 为 0 时，系统输出为等幅振荡，不能正常工作，属不稳定。

ω_{n} 为无阻尼振荡频率

（2）单位阶跃响应的分类，不同阻尼比时响应的大致情况（图 3-10）；　（填空）P（47）

（3）欠阻尼情况的单位阶跃响应：掌握式 3-21、3-23~3-27；参考 P51 例 3-4 的欠阻尼情况、P72 习题 3-6。

欠阻尼二阶系统的性能指标：

（1）、上升时间 $\mathrm{t_r}$　　$C(\mathrm{t_r})=1-\dfrac{e^{-\xi\omega_n t_r}}{\sqrt{1-\xi^2}}\sin(\omega_d t_r+\beta)=1$

由此式可得 $t_r=\dfrac{\pi-\beta}{\omega_d}=\dfrac{\pi-\beta}{\omega_n\sqrt{1-\xi^2}}$　　其中 $\beta=\arctan\left(\dfrac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi}\right)$

公众号【大学百科资料】整理，有超百科复习资料+海量网课资源

（2）、峰值时间 t_p

根据 t_p 的定义，可采用求极值的方法来求取它，得

$$t_p=\frac{\pi}{\omega_d}=\frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\xi^2}}$$

（3）、超调量 $\sigma\%$　　$\sigma\%=e^{-\xi\pi/\sqrt{1-\xi^2}}\times 100\%$

（4）、调节时间 t_s　　$t_s=\frac{3}{\xi\omega_n}(\xi<0.68)$　±5%误差带

$t_s=\frac{3}{\xi\omega_n}(\xi<0.76)$　±2%误差带

当 ξ 大于上述值时，可采用近似公式计算 $t_s=\frac{1}{\omega_n}(6.45\xi-1.7)$

（5）、稳态误差 e_{ss}　　$e_{ss}=\frac{2\xi}{\omega_n}$

在系统稳定的前提下，主要分析系统的动态性能和稳态性能。动态性能包括平稳性和快速性，稳态性能是指准确性。

（1）、平稳性

主要有 ξ 决定，$\xi\uparrow\rightarrow\delta\%\downarrow\rightarrow$ 平稳性越好。当 ξ=0 时，系统等幅振荡，不能稳定工作。ξ 一定时，$\omega_n\uparrow\rightarrow\omega_d\uparrow$，系统平稳性变差。（$\omega_d=\omega_n\sqrt{1-\xi^2}$）

（2）、快速性

当 ω_n 一定时，若 ξ 较小，则 $\xi\downarrow\rightarrow t_s\uparrow$，而当 ξ>0.7 之后又有 $\xi\uparrow\rightarrow t_s\downarrow$。即 ξ 太大或太小，快速性均变差。

一般，在控制工程中，ξ 是由对超调量的要求来确定的.。ξ 一定时，$\omega_n\uparrow\rightarrow t_s\downarrow$

由此分析可知，要想获得较好的快速性，阻尼比 ξ 不能太大或是太小，而 ω_n 可尽量选大。

一般将 ξ=0.707 称为最佳阻尼比，此时系统不仅响应速度快，而且超调量小。

（3）、准确性

ξ 的增加和 ω_n 的减小虽然对于系统的平稳性有利，但将使得系统跟踪斜坡信号的稳态误差增加

4. 系统稳定的充要条件？

系统的所有特征根的实部小于零，其特征方程的根部都在 S 左半平面

劳斯判据的简单应用：参考 P55 例 3-5、3-6。（分析题）

劳斯稳定判据

若特征方程式的各项系数都大于零（必要条件），且劳斯表中第一列元素均为正值，则所有的特

公众号【大学百科资料】整理，有超百科复习资料+海量网课资源

征根均位于 s 左半平面，相应的系统是稳定的；否则系统不稳定，且第一列元素符号改变的次数等于该特征方程的正实部根的个数。

5.用误差系数法求解给定作用下的稳态误差。参考 P72 习题 3-13。（计算题）P(60)

系统的稳态误差既与系统的结构参数有关，也与输入有关，设系统的输入的一般表达式为

$R(s)=\dfrac{A}{S^n}$ 式中 N 为输入的阶次

令系统的开环传递函数一般表达式为 $$G(s)H(s)=\frac{K\prod_{i=1}^{m}(\tau_i+1)}{s^v\prod_{j=1}^{n-v}(T_j+1)}(n>m)$$

式中，K 为系统的开环增益，即开环传递函数中各因式的常数项为 1 时的总比例系数；τ_i、T_j 为时间常数 ；v 为积分环节的个数，由它表征系统的类型，或称其为系统的无差度。

系统的稳态误差可表示为 $$e_{ssr}=\lim_{s\to 0}s\cdot\frac{\frac{A}{S^N}}{1+\frac{K}{S^v}}$$

表 5-1 给定信号作用下系统稳态误差 e_{ssr}

系统型号	阶跃信号输入 $R(s)=\dfrac{R_0}{s}$	速度信号输入 $R(s)=\dfrac{v_0}{s^2}$	加速度信号输入 $R(s)=\dfrac{a_0}{s^3}$
稳态误差	$e_{ssr}=\dfrac{R_0}{1+K_p}$	$e_{ssr}=\dfrac{v_0}{K_v}$	$e_{ssr}=\dfrac{a_0}{K_a}$
	静态位置误差系数 K_p	静态速度误差系数 K_v	静态加速度误差系数 K_a
	$K_p=\lim_{s\to 0}\dfrac{K}{S^v}$	$K_v=\lim_{s\to 0}\dfrac{K}{S^{v-1}}$	$K_a=\lim_{s\to 0}\dfrac{K}{S^{v-2}}$
0	$\dfrac{R_0}{1+K_p}$	∞	∞
I	0	$\dfrac{v_0}{K_v}$	∞
II	0	0	$\dfrac{a_0}{K_a}$

稳态误差是衡量系统控制精度的性能指标。稳态误差可分为，由给定信号引起的误差以及由扰动信号引起的误差两种。稳态误差也可以用误差系数来表述。系统的稳态误差主要是由积分环节的个数和开环增益来确定的。为了提高精度等级，可增加积分环节的数目；为了减少有限误差，可增加开环增益。但这样一来都会使系统的稳定性变差。而采用补偿的方法，则可保证稳定性的前提下减小稳态误差。

公众号【大学百科资料】整理，有超百科复习资料+海量网课资源

第四章

1. 幅频特性、相频特性和频率特性的概念。

系统的幅频特性：$A_{(\omega)}=|G_{(j\omega)}|$

系统的相频特性：$\varphi_{\omega}=\angle G_{(j\omega)}$

系统的频率特性（又称幅相特性）：$G_{(j\omega)}=A_{(\omega)}\,e^{j\varphi(\omega)}=|G_{(j\omega)}|e^{j\angle G(j\omega)}$

2. 七个典型环节的频率特性（必须掌握）。了解其伯德图的形状。**（简答题）**

典型环节	传递函数	幅频特性	相频特性	斜率 dB/dec	特殊点
比例环节	$G(s)=K$	$A(\omega)=K$	$\varphi(\omega)=0°$	0	$L(\omega)=20\lg k$
积分环节	$G(s)=\frac{1}{s}$	$A(\omega)=\frac{1}{\omega}$	$\varphi(\omega)=-90°$	−20	$\omega=1, L(\omega)=0$ $\omega=10, L(\omega)=-20dB$
微分环节	$G(s)=s$	$A(\omega)=\omega$	$\varphi(\omega)=90°$	20	$\omega=1, L(\omega)=0$ $\omega=10, L(\omega)=20dB$
惯性环节	$G(s)=\frac{1}{Ts+1}$	$A(\omega)=\frac{1}{\sqrt{1+(\omega T)^2}}$	$\varphi(\omega)=-\arctan\omega T$	−20和0	
一阶微分环节	$G(s)=Ts+1$	$A(\omega)=\sqrt{1+(\omega T)^2}$	$\varphi(\omega)=\arctan\omega T$	0和20	$L(\omega)=20\lg A(\omega)$
振荡环节	$G(s)=$ $\frac{\omega_n^2}{s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n^2}$	$A(\omega)=$ $\frac{1}{\sqrt{\left(1-\frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)^2+\left(\frac{2\xi\omega}{\omega_n^2}\right)^2}}$	$\varphi(\omega)=$ $-\arctan\left(\frac{2\xi\omega_n\omega}{\omega_n^2-\omega^2}\right)$	0和−40	$\omega=0, L(\omega)=1$ $\omega=\omega_n, A(\omega)=\frac{1}{2\xi}$ $\omega=\infty\ \ L(\omega)=0$
时滞环节	$G(s)=e^{-\tau s}$	$A(\omega)=1$	$\varphi(\omega)=-\tau\omega$		
非最小相位环节	$G(s)=\frac{1}{Ts-1}$	$A(\omega)=\frac{1}{\sqrt{1+(\omega T)^2}}$	$\varphi(\omega)=-\arctan\left(\frac{\omega T}{-1}\right)$		

比例环节、积分环节、惯性环节、微分环节、一阶微分环节、振荡环节、（时滞环节、）非最小相位环节

3. 绘制伯德图的步骤（主要是 L(ω)）

（1）、将开环传递函数标准化

公众号【大学百科资料】整理，有超百科复习资料+海量网课资源

（2）、找出各环节的转折频率，且按大小顺序在坐标中标出来。

（3）、过ω=1，L(ω)=20lgk 这点，作斜率为-20vdB/dec 的低频渐近线。

（4）、从低频渐近线开始，每到某一环节的转折频率处，就根据该环节的特性改变一次渐进线的斜率，从而画出对数幅特性的近似曲线。

（5）、根据系统的开环对数相频特性的表达式，画出对数相频特性的近似曲线。

4. 根据伯德图求传递函数：参考 P110 习题 4-4。（分析题）P90

$\omega_0 = \sqrt[v]{K}$

5. 奈氏判据的用法：参考 P111 习题 4-6。（分析题）P94

6. 相位裕量和幅值裕量的概念、意义及工程中对二者的要求。（填空或判断）

对应于 $|G(j\omega)H(j\omega)|=1$ 时的频率 ω_c 称为穿越频率，或称剪切频率，也截止频率

相位裕量 γ：$G(j\omega)H(j\omega)$ 曲线上，模值为 1 处对应的矢量与负实周之间的夹角，其算式为：

$\gamma=\varphi$（ω_c）$+180°$　$A(\omega_c)=1\rightarrow\omega_c$

幅值裕量 K_g：开环频率特性的相角 $\varphi(\omega_g)=-180°$ 时，在对应的频率 ω_g 处，开环频率特性的幅值 $|G(j\omega_g)H(j\omega_g)|$,其算式为：$K_g=\dfrac{1}{|G(j\omega_g)H(j\omega_g)|}=\dfrac{1}{A(\omega_g)}$

一般，K_g 值越大，说明系统的相对稳定性越好；反之，当 $K_g<1$ 时，对应的闭环系统不稳定。

7. 开环频率特性与时域指标的关系中低频段、中频段、高频段各自影响什么性能？

稳态性能、动态性能、抗干扰能力

注意相位裕量和穿越频率各自影响什么性能？（填空或判断）

相位裕量：γ 一般相对裕量越大，系统的相对稳定性越好。在工程中，通常要求 γ 在 $30°$ 到 $60°$ 之间

穿越频率：ω_c 来反映系统的快速性

第五章

1. 常用的校正方案有什么？（填空）

串联矫正和反馈校正

2. PID 控制：

（1）时域表达式 P122 <u>式 5-18</u>

$$u(t)=K_P e(t)+K_1\int_0^t e(\tau)d\tau+K_D\frac{d}{dt}e(t)$$

（2）P、PI、PD、PID 控制各自的优缺点？（简答题）

公众号【大学百科资料】整理，有超百科复习资料+海量网课资源