



名师考案丛书
MINGSHI KAOAN CONGSHU

(第四版)

自动控制原理

考研教案

刘慧英 主编

西北工业大学出版社



名师考案丛书

MINGSHIKAOANCONGSHU

自动控制原理

(第四版)

考研教案

主编 刘慧英
编者 卢京潮 袁冬莉
贾秋玲 赵 忠



西北工业大学出版社

【内容简介】 本书为考研参考用书。全书分为两部分,第一部分共 10 章,每章由 4 个知识板块组成:知识脉络图;重点、难点解读;课程考试、考研要点点击;典型例题及习题精选详解;第二部分是课程考试及考研真题及解答,共编入 8 套近年来国内知名高校的课程考试及研究生入学考试真题及解答。通过本书的学习,有助于读者正确理解自动控制理论的相关概念,掌握解题方法和技巧,测试读者对所学内容的掌握情况。

本书是专门为报考硕士研究生的考生编写的应试指导书,也可供普通高等学校自动化专业、信息技术、仪表与检测技术、机电一体化等专业本科生以及相关领域的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理考研教案/刘慧英主编. —西安:西北工业大学出版社,2006. 11
(名师考案丛书)

ISBN 978 - 7 - 5612 - 2168 - 6

I. 自… II. 刘… III. 自动控制理论—研究生—入学考试—教学参考资料 IV. TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 136615 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:陕西向阳印务有限责任公司

开 本:787 mm×960 mm 1/16

印 张:23.625(插页 1)

字 数:642 千字

版 次:2006 年 11 月第 1 版 2006 年 11 月第 1 次印刷

定 价:29.00 元



前 言

随着科学技术和社会经济全球化发展的需要,自动控制技术已经广泛应用于工农业生产和国民经济发展的各个领域,自动控制原理也已经成为工科高等院校的一门重要的技术基础课程。为了帮助本科生更好地掌握本课程的学习要领,同时,也为了方便报考研究生的读者系统复习的需要,应西北工业大学出版社的约请,我们编写了本书。

本书系统全面地总结了自动控制理论的主要内容,共分为两个部分。第一部分是课程的重点内容提要,共10章,各章都设计了4个知识板块:①知识脉络图:将各章的主要内容用图形的形式展示出来,使其具有形象直观的特点;②重点、难点解读:将各章的重要内容及公式总结排列出来,有助于读者系统全面地复习所学内容;③课程考试、考研要点点击:指出了各章的难点、考点和对重点内容的提示,帮助读者掌握各章的要点与考点内容;④典型例题及习题精选详解:各章都选择有一定量的典型例题,有利于读者学习和理解对本章内容的掌握情况。习题精选详解部分,主要对科学出版社出版的胡寿松教授主编的《自动控制原理》(第四版)教材的部分课后习题作了详细解答。第二部分是课程考试及考研真题及解答,共编入了8套近年来国内知名高校的课程考试及研究生入学考试真题与解答。通过本部分的练习,有助于读者测试对所学内容的理解和掌握程度。本书以突出基础和重点为主,保留了课程的重点内容,以便读者自学。同时配有适量的典型例题,帮助读者准确理解有关概念,掌握解题方法和技巧。

参加本书编写的作者都是西北工业大学自动化学院的教师,他们多年来一直从事着控制理论的教学和科研工作,具有丰富的教学和实践经验。本书第1,3,8章(部分)由卢京潮编写;第4,6章由袁冬莉编写;第7,10章由贾秋玲编写;第9章由赵忠编写;刘慧英负责第2,5,8章(部分)的编写及全书的统稿工作。此外,高怡、胡珊珊、邢豪军、曹海明、李为刚和乔得吉等参与了本书部分习题的解答、绘图和书稿的整理工作。

本书是在西北工业大学出版社的关心和支持下完成的,受到了自动化学院栾云凤副院长和学院课程督导组教师们的大力支持和帮助。在此,谨向参考文献中所列具的图书的作者和所选考试、考研试题的命题人以及为本书出版给予帮助指导的所有同仁、老师表示深深的谢意!

由于作者的水平所限,书中难免会有错漏或不妥之处,恳请广大读者指正。

编 者

2006年8月



目 录

第一部分

第 1 章 自动控制的一般概念	1
1.1 知识脉络图	1
1.2 重点、难点解读.....	1
一、基本概念	1
二、基本控制方式	2
三、反馈控制系统的组成	2
四、控制系统的分类	2
五、对控制系统的基本要求	3
1.3 课程考试、考研要点点击.....	3
1.4 典型例题及习题精选详解	3
一、典型例题详解	3
二、习题精选详解	7
第 2 章 控制系统的数学模型	14
2.1 知识脉络图.....	14
2.2 重点、难点解读	15
一、微分方程.....	15
二、传递函数	16
三、结构图	17
四、信号流图	18
五、梅森增益公式	18
六、控制系统的传递函数	19
2.3 课程考试、考研要点点击	19

2.4	典型例题及习题精选详解	19
	一、典型例题详解	19
	二、习题精选详解	27
第3章	线性系统的时域分析法	50
3.1	知识脉络图	50
3.2	重点、难点解读	51
	一、稳定性	51
	二、稳态误差计算	51
	三、系统动态性能指标计算	52
3.3	课程考试、考研要点点击	53
3.4	典型例题及习题精选详解	53
	一、典型例题详解	53
	二、习题精选详解	59
第4章	线性系统的根轨迹法	73
4.1	知识脉络图	73
4.2	重点、难点解读	74
	一、绘制根轨迹的基本条件	74
	二、绘制根轨迹的基本法则	74
	三、根轨迹与系统性能的关系	76
4.3	课程考试、考研要点点击	77
4.4	典型例题及习题精选详解	77
	一、典型例题详解	77
	二、习题精选详解	87
第5章	线性系统的频域分析法	110
5.1	知识脉络图	110
5.2	重点、难点解读	111
	一、频率特性	111
	二、频率特性的几何表示	111
	三、频率特性的绘制	111
	四、稳定判据与稳定裕度	113

五、频域性能指标与时域动态性能指标的关系	114
六、三频段与系统性能的关系	115
5.3 课程考试、考研要点击	116
5.4 典型例题及习题精选详解	116
一、典型例题详解	116
二、习题精选详解	121
第 6 章 线性系统的校正方法	135
6.1 知识脉络图	135
6.2 重点、难点解读	135
一、校正方式	135
二、常用校正装置及特性	136
三、串联校正装置的设计步骤	137
四、控制系统的性能指标	138
五、三频段理论在系统校正中的应用	139
6.3 课程考试、考研要点击	139
6.4 典型例题及习题精选详解	139
一、典型例题详解	139
二、习题精选详解	147
第 7 章 线性离散系统的分析与校正	173
7.1 知识脉络图	173
7.2 重点、难点解读	174
一、离散系统的基本概念	174
二、信号采样与保持的数学描述	174
三、 z 变换理论	175
四、离散系统的数学模型	177
五、离散系统分析	179
六、离散系统设计——最少拍系统设计	183
7.3 课程考试、考研要点击	184
7.4 典型例题及习题精选详解	184
一、典型例题详解	184
二、习题精选详解	191

第 8 章 非线性控制系统分析	207
8.1 知识脉络图	207
8.2 重点、难点解读.....	207
一、非线性控制系统概述	207
二、描述函数法	208
三、相平面法	210
8.3 课程考试、考研要点点击.....	213
8.4 典型例题及习题精选详解	213
一、典型例题详解	213
二、习题精选详解	220
第 9 章 线性系统的状态空间分析与综合	247
9.1 知识脉络图	247
9.2 重点、难点解读.....	248
一、线性系统的状态空间描述	248
二、线性系统的可控性与可观测性	251
三、线性定常系统的线性变换	252
四、线性定常系统的反馈结构及状态观测器	252
五、李雅普诺夫稳定性分析	253
9.3 课程考试、考研要点点击.....	254
9.4 典型例题及习题精选详解	255
一、典型例题详解	255
二、习题精选详解	261
第 10 章 动态系统的最优控制方法	286
10.1 知识脉络图.....	286
10.2 重点、难点解读	286
一、基本概念	287
二、基本原理	288
10.3 课程考试、考研要点点击	291
10.4 典型例题及习题精选详解.....	291
一、典型例题详解	291
二、习题精选详解	297

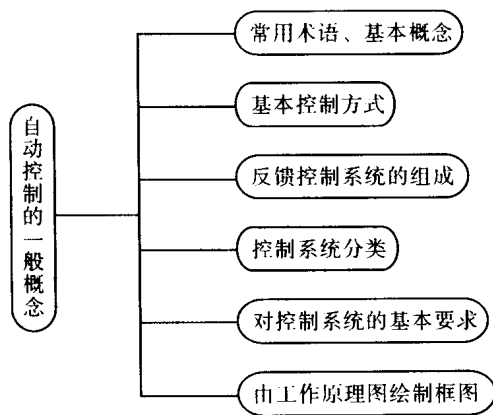
第二部分

一、课程考试真题	317
1. 西北工业大学 2003—2004 学年第 1 学期自动控制原理试题	317
2. 西北工业大学 2004—2005 学年第 1 学期自动控制原理试题	320
3. 西北工业大学 2005—2006 学年第 1 学期自动控制原理试题	324
4. 上海交通大学 2002—2003 学年第 2 学期自动控制原理试题	328
二、课程考试真解解答	330
1. 西北工业大学 2003—2004 学年第 1 学期自动控制原理试题解答	330
2. 西北工业大学 2004—2005 学年第 1 学期自动控制原理试题解答	333
3. 西北工业大学 2005—2006 学年第 1 学期自动控制原理试题解答	337
4. 上海交通大学 2002—2003 学年第 2 学期自动控制原理试题解答	340
三、考研真题	343
1. 西北工业大学 2004 年硕士研究生入学考试自动控制原理试题	343
2. 西北工业大学 2005 年硕士研究生入学考试自动控制原理试题	345
3. 西北工业大学 2006 年硕士研究生入学考试自动控制原理试题	347
4. 中国科技大学 2005 年硕士研究生入学考试自动控制原理试题	348
四、考研真题解答	351
1. 西北工业大学 2004 年硕士研究生入学考试自动控制原理试题解答	351
2. 西北工业大学 2005 年硕士研究生入学考试自动控制原理试题解答	354
3. 西北工业大学 2006 年硕士研究生入学考试自动控制原理试题解答	358
4. 中国科技大学 2005 年硕士研究生入学考试自动控制原理试题解答	361

第一部分

第1章 自动控制的一般概念

1.1 知识脉络图



1.2 重点、难点解读

一、基本概念

1. 常用术语

(1) 自动控制 在没有人直接参与的情况下,利用控制装置,使被控对象的被控量自动按指定规律变化。

(2) 自动控制系统 能自动对被控对象的被控量(或工作状态)进行控制的系统。



- (3) 被控对象 需要对工作状态进行控制的机械、装置或过程。
- (4) 被控量 描述被控对象工作状态的物理量,也是系统的输出量。
- (5) 给定量 也称输入量,表征被控量的希望运行规律。
- (6) 扰动量 也称干扰量,是引起被控量偏离预定运行规律的量。

2. 控制系统的任务

减小或消除扰动量的影响,使被控对象的被控量始终按给定量确定的运行规律去变化。

3. 负反馈控制原理

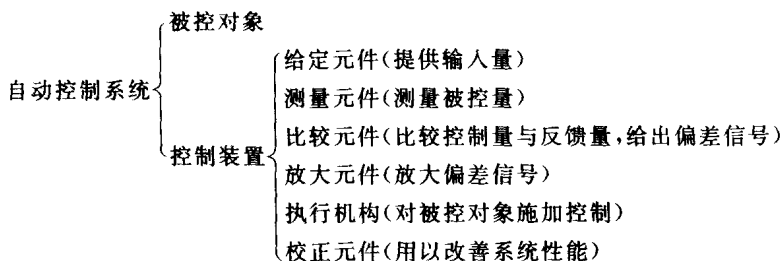
将系统的输出信号引回输入端,与给定输入信号相比较,利用所得的偏差信号产生控制作用调节被控对象,达到减小偏差或消除偏差的目的。

负反馈控制原理是闭环控制(负反馈控制)系统的本质机理。

二、基本控制方式

- (1) 开环控制 输出量对系统控制作用不产生影响的控制方式。
- (2) 闭环控制 输出量对系统控制作用产生直接影响的控制方式。
- (3) 复合控制 既有顺馈控制又有反馈联系的控制方式。

三、反馈控制系统的组成



四、控制系统的分类

1. 按给定输入的形式

- 恒值控制系统
- 随动系统
- 程序控制系统

2. 按系统是否满足叠加原理

- 线性系统
- 非线性系统

3. 按系统参数是否随时间变化

- 定常系统
- 时变系统



4. 按信号传递是否连续

连续系统
离散系统

五、对控制系统的基本要求

稳:基本要求。系统稳定是系统正常工作的必要条件。

准:稳态要求。要求系统稳态控制精度高,稳态误差要小。

快:动态要求。要求系统快速平稳地完成过渡过程,超调量要小,调节时间要短。

1.3 课程考试、考研要点点击

本章所涉及的自动控制方面的基本概念是以后课程学习的基础,有关内容在诸如问答、填空和选择类型的考题中常会涉及。在掌握基本概念的基础上,还应熟悉线性定常系统微分方程的特点,并通过练习掌握由系统工作原理图正确绘制框图的方法。

1.4 典型例题及习题精选详解

一、典型例题详解

1. 根据图 1.1 所示的电动机速度控制系统工作原理图。

- (1) 将 a, b 与 c, d 用线连接成负反馈系统;
- (2) 画出系统框图。

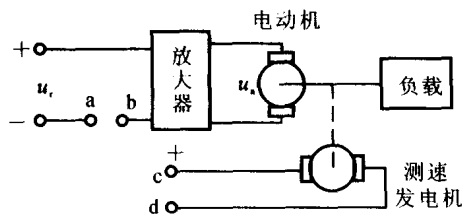


图 1.1 速度控制系统原理图

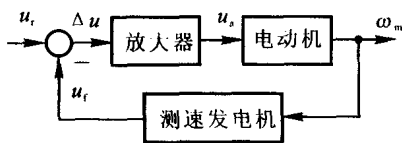


图 1.2 速度控制系统框图

解 (1) 负反馈连接方式为: $a \leftrightarrow d, b \leftrightarrow c$; (2) 系统框图如图 1.2 所示。

2. 图 1.3 是控制导弹发射架方位的电位器式随动系统原理图。图中电位器 P_1, P_2 并联后跨接到同一电源 E_0 的两端,其滑臂分别与输入轴和输出轴相连接,以组成方位角的给定装置和反馈装置。输入轴由手轮操纵;输出轴则由直流电动机经减速器后带动,电动机采用电枢控制方式工作。

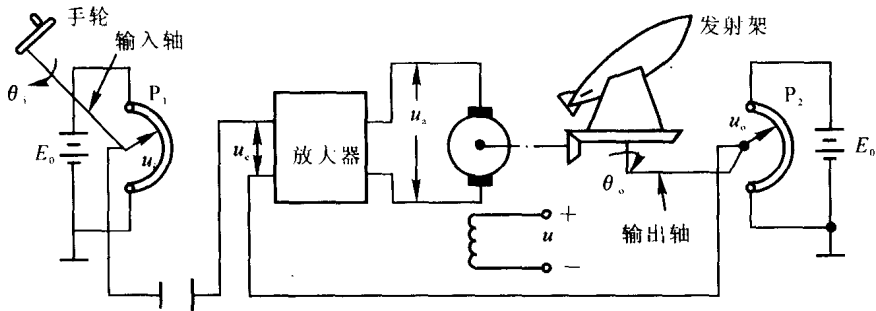


图 1.3 导弹发射架方位角控制系统原理图

试分析系统的工作原理,指出系统的被控对象、被控量和给定量,画出系统的框图。

解 当导弹发射架的方位角与输入轴方位角一致时,系统处于相对静止状态。

当摇动手轮使电位器 P_1 的滑臂转过一个输入角 θ_i 的瞬间,由于输出轴的转角 $\theta_o \neq \theta_i$,于是出现一个误差角 $\theta_e = \theta_i - \theta_o$,该误差角通过电位器 P_1, P_2 转换成偏差电压 $u_e = u_i - u_o$, u_e 经放大后驱动电动机转动,在带动导弹发射架转动的同时,通过输出轴带动电位器 P_2 的滑臂转过一定的角度 θ_o ,直至 $\theta_o = \theta_i$ 时, $u_i = u_o$,偏差电压 $u_e = 0$,电动机停止转动。这时,导弹发射架停留在相应的方位角上。只要 $\theta_i \neq \theta_o$,偏差就会产生调节作用,控制的结果是消除偏差 θ_e ,使输出量 θ_o 严格地跟随输入量 θ_i 而变化。

系统框图如图 1.4 所示。

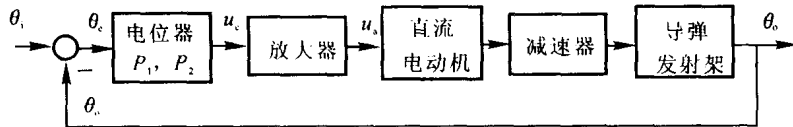


图 1.4 导弹发射架方位控制系统框图

系统中,导弹发射架是被控对象,发射架方位角 θ_o 是被控量,通过手轮输入的角度 θ_i 是给定量。

3. 工作台位置液压伺服系统如图 1.5 所示。系统可以使工作台按照控制电位器给定的规律变化。要求:

(1) 指出系统的被控对象,被控量和给定量,画出系统框图。

(2) 说明控制系统中控制装置各组成部分。

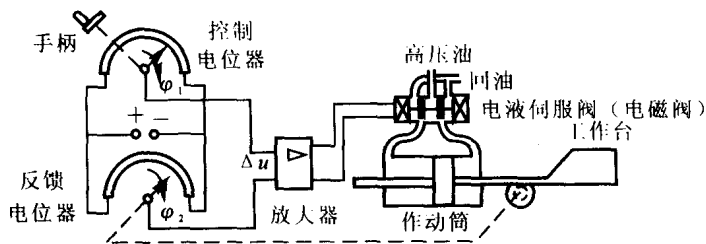


图 1.5 工作台液压伺服系统工作原理图



解 (1) 控制系统的功能是使工作台随控制电位器给定规律移动, 因此被控对象是工作台, 被控量是工作台的位移, 给定量是控制电位器滑臂的转角(表征工作台的希望位置)。系统框图如图 1.6 所示。

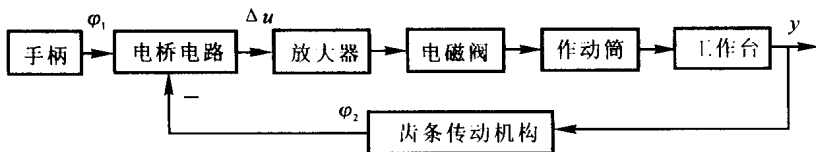


图 1.6 工作台液压伺服系统框图

(2) 控制装置各组成部分及其作用如下: 手柄是给定元件, 给出表征工作台希望位置的转角信号 φ_1 。齿条齿轮传动机构完成测量元件的功能。由控制电位器、反馈电位器组成的电桥电路完成 φ_1 和 φ_2 (表征工作台实际位置) 的比较, 给出偏差电压 Δu 。放大器是放大元件。电磁阀、作动筒组成执行机构, 推动工作台移动。

4. 摄像机角位置自动跟踪系统如图 1.7 所示。当光点显示器对准某个方向时, 摄像机自动跟踪并对准这个方向。试分析系统的工作原理, 指出被控对象、被控量和给定量, 画出系统框图。

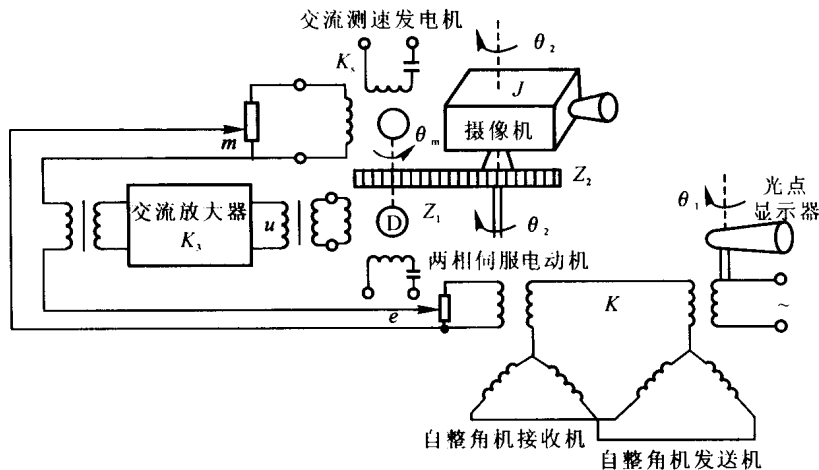


图 1.7 摄像机角位置随动系统原理图

解 控制系统的任务是使摄像机自动跟踪光点显示器指示的方向。

当摄像机方向角与光点显示器指示的方向一致时, $\theta_2 = \theta_1$, 自整角机输出 $e = 0$, 交流放大器输出电压 $u = 0$, 电动机静止, 摄像机保持原来的协调方向。当光点显示器转过一个角度, $\theta_2 \neq \theta_1$ 时, 自整角机输出与失谐角 $\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2$ 成比例的电压信号(其大小、极性反映了失谐角的幅值和方向), 经电位器后转变成 e , 经放大器放大后驱动伺服电动机旋转, 并通过减速器带动摄像机, 跟踪光点显示器的指向, 使偏差减小, 直到摄像机与光点显示器指向重新达到一致时为止。测速发电机测量电动机转速, 进行速度反馈, 用以改善系统性能。

系统中, 摄像机是被控对象, 摄像机的方向角 θ_2 是被控量, 给定量是光点显示器指示的方向角 θ_1 。系统框



图如图 1.8 所示。

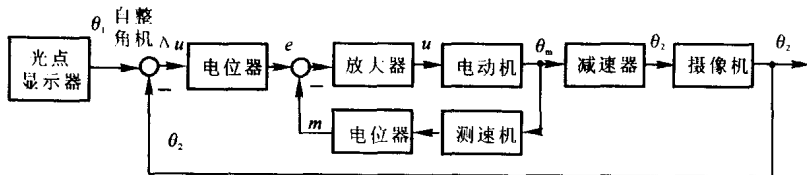


图 1.8 摄像机角位置随动系统框图

5. 图 1.9(a),(b) 均为调速系统。

(1) 分别画出图(a),图(b)对应系统的框图。给出图(a)正确的反馈连线方式。

(2) 在恒值输入条件下,图(a),图(b)中哪个是有差系统,哪个是无差系统,说明其道理。

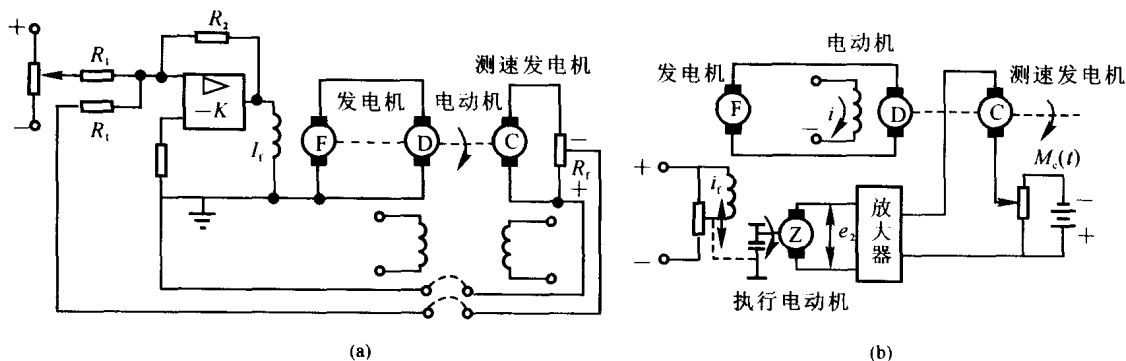


图 1.9 调速系统工作原理图

解 (1) 系统框图如图 1.10 所示。图 1.9(a) 正确的反馈连接方式如图 1.9(a) 中虚线所示。

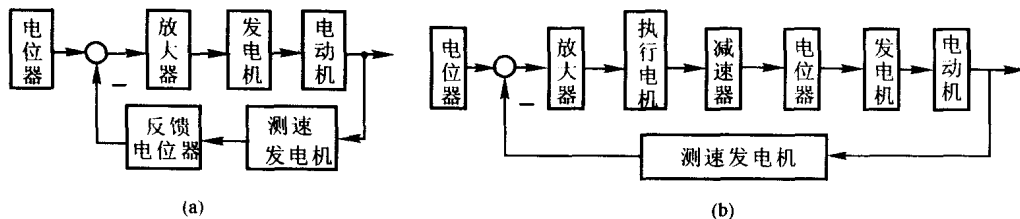


图 1.10 系统框图

(2) 图 1.9(a) 中的系统是有差系统,图 1.9(b) 中的系统是无差系统。

图 1.9(a) 中,当给定恒值电压信号,系统运行达到稳态时,电动机转速的恒定是以发电机提供恒定电压为条件的,对应发电机激磁绕组中电流一定是恒定值。这意味着放大器前端电压是非零的常值。因此,常值偏差电压存在是系统稳定工作的前提,故系统有差。



图 1.9(b) 中,在给定系统恒定电压,电动机恒定转动时,对应发电机励磁绕组中的励磁电流恒定,这意味着执行电动机处于停转状态,放大器前端电压必然为 0,故系统无差。

6. 试判别以下方程描述系统的类型(线性或非线性,定常或时变,动态或静态)。

$$(1) \dot{c}(t) + \cos \omega t c(t) = r(t) \quad (2) \ddot{c}(t) + e^{-t} \dot{c}(t) + 2\dot{c}(t) \cdot c(t) = t\dot{r}(t) + r(t)$$

$$(3) \ddot{c}(t) + 2\dot{c}(t) + 4c(t) = 2\dot{r}(t)$$

$$(4) \ddot{c}(t) + \dot{c}(t) + 5c(t) + \int_0^t c(t)dt = 8r(t), \quad c(t) = 0 \quad (t \leq 0)$$

$$(5) \ddot{c}(t) + 4c(t) = \begin{cases} 4r(t), & 0 \leq t < 1 \\ r(t), & t \geq 1 \end{cases}$$

解 (1) 线性时变动态系统; (2) 非线性时变动态系统; (3) 线性定常动态系统;

(4) 线性定常动态系统; (5) 线性时变动态系统。

二、习题精选详解

1.4.1 图 1.4.18* 是液位自动控制系统原理示意图。在任何情况下,希望液面高度 c 维持不变,试说明系统工作原理并画出系统框图。

解 系统的控制任务是保持液面高度不变。水箱是被控对象,水箱液位是被控量,电位器设定电压 u_r (表征液位的希望值 c^*) 是给定量。

当电位器电刷位于中点位置(对应 u_r) 时,电动机不动,控制阀门有一定的开度,使水箱中流入水量与流出水量相等,从而液面保持在希望高度 c^* 上。一旦流出水量发生变化(相当于扰动),例如当流出水量减小时,液面升高,浮子位置也相应升高,通过杠杆作用使电位器电刷从中点位置下移,从而给电动机提供一定的控制电压,驱动电动机通过减速器减小阀门开度,使进入水箱的液体流量减少。这时,水箱液面下降,浮子位置

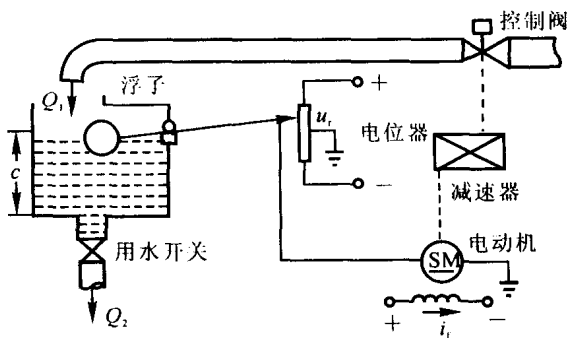
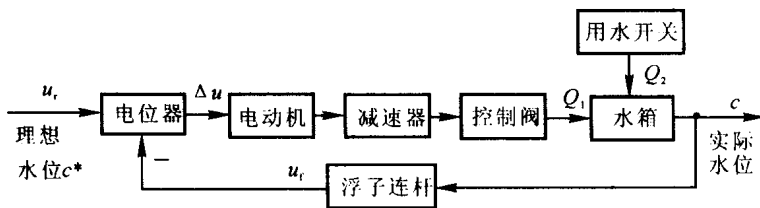


图 1.4.18 液位自动控制系统

相应下降,直到电位器电刷回到中点位置为止,系统重新处于平衡状态,液面恢复给定高度。反之,当流出水量在平衡状态基础上增大时,水箱液位下降,系统会自动增大阀门开度,加大流入水量,使液位升到给定高度 c^* 。

系统框图如图解 1.4.1 所示。

* 本书习题精选详解中的“图号”与《自动控制原理》(科学·第四版)相对应,以便于读者查阅。



图解 1.4.1 液位自动控制系统框图

1.4.2 图 1.4.19 是仓库大门自动控制系统原理示意图。试说明系统自动控制大门开闭的工作原理并画出系统框图。

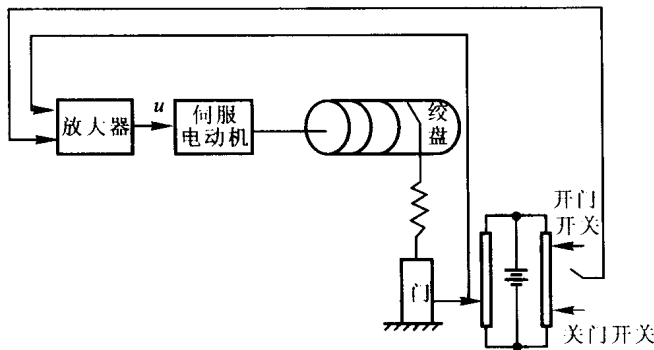
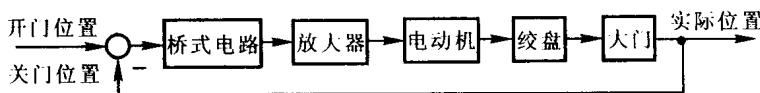


图 1.4.19 仓库大门自动开闭控制系统

解 当合上开门开关时,电桥会测量出开门位置与大门实际位置间对应的偏差电压,偏差电压经放大器放大后,驱动伺服电动机带动绞盘转动,将大门向上提起。与此同时,和大门连在一起的电刷也向上移动,直到桥式测量电路达到平衡,电动机停止转动,大门达到开启位置。反之,当合上关门开关时,电动机带动绞盘使大门关闭,从而可以实现大门远距离开闭自动控制。系统框图如图解 1.4.2 所示。

被控对象:仓库大门;被控量:大门的实际位置;给定量:开关位置。



图解 1.4.2 仓库大门控制系统框图

1.4.3 图 1.4.20(a) 和(b) 均为自动调压系统。设空载时,图(a) 与图(b) 发电机端电压均为 110 V。试问带上负载后,图(a) 与图(b) 中哪个系统能保持 110 V 电压不变?哪个系统的电压会稍低于 110 V?为什么?

