



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

自动控制原理 习题详解与考研辅导

王划一 杨西侠 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

自动控制原理习题 详解与考研辅导

王划一 杨西侠 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材《自动控制原理》(第二版)(王划一,杨西侠编著,国防工业出版社出版)的配套教材。其中兼容了高职高专教材《自动控制原理》(第二版)(王划一,杨西侠等编著,国防工业出版社出版)的全部习题解答。同时编入了精选的若干重点大学数年的硕士研究生“自动控制原理”入学试题,并作了详细的解答。

本书是一本内容丰富的学习自动控制原理的自学参考书,也可用于自动化类专业考研的复习和实战练习,还可作为该课程授课教师的教学素材库,以便于教学相长。

全书内容丰富,含有本科阶段配套教材的全部习题及解答共125题,高职高专阶段配套教材的全部习题及解答共64题,考研全真试题及解答96题。

本书可作为普通高等院校自动化、通信、计算机、自动控制、仪器仪表、测控、机械、动力、冶金等专业的“自动控制原理”课程配套教材,也可作为高职高专、成人教育和继续教育相关课程的辅助教材,还可作为科技人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理习题详解与考研辅导/王划一,杨西侠编著. —北京:国防工业出版社,2014.1
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-118-09148-9

I. ①自... II. ①王...②杨... III. ①自动控制理论-研究生-入学考试-题解 IV. ①TP13-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第262045号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售



*

开本 787×1092 1/16 印张 16% 字数 409 千字

2014年1月第1版第1次印刷 印数1—3000册 定价38.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材《自动控制原理》(第二版)(王划一,杨西侠编著,国防工业出版社出版)的配套教材。其中兼容了高职高专教材《自动控制原理》(第二版)(王划一,杨西侠等编著,国防工业出版社出版)的全部习题解答。为了帮助学生掌握经典控制理论的基本方法,提高运用理论解决实际问题的能力,传授解题技巧,应广大读者的要求,我们在多年教学积累的前提下,编写了这本配套教材。

本书系统地给出了《自动控制原理》(第二版)一书中全部习题详解,以满足本科生阶段的教学和学生自学。同时也兼顾了高职高专阶段的教学需求,将高职高专教材《自动控制原理》(第二版)的全部习题详解附加在各章的附加题详解中,其中与本科教材相同的习题,穿插在相应章节中。这样,两套教材的全部习题解答就在本书中全面完成了,满足了各个阶段学生的迫切需求。

本书编写的基本目的是帮助在校学生顺利地完课程的学习,从传授解题方法和技巧两个角度进行阐述。在习题解析过程中,给出了解题基本思路的提示与点拨,启发学生抓住该类题型的求解思路,举一反三,触类旁通。并对每一道习题都给出科学、完善的解答。

本书编写的另一目的是满足考研学生复习提高之用。近年来,报考硕士研究生的有志青年日趋增多,但都苦于寻找不到有效的指导材料,许多学生在网上发帖征寻习题解答和考研试题解答。于是许多非正规的乱版答案在网上流传,对读者造成一定的误导。为了帮助学生考研复习,以最少的时间、最快的效率提高应试能力,我们精选了若干重点大学数年的硕士研究生“自动控制原理”入学试题,并作了详细的解答。并根据题目类型分列在每一章,以便于复习查询。

我们相信,通过本书的学习和应用,定会满足读者在不同层次的需求,在分析能力、计算能力、应试能力、综合能力等方面,得到大幅度提高。

本书由山东大学王划一、杨西侠编著,作者从事“自动控制原理”课程教学几十年,积累了丰富的教学经验和教学资料,书中所有题目都由作者从多年教学资料中精选,现将其奉献给读者,并恳请广大读者不吝指正。

作者的邮件联系方式: huayi.wang2002@sdu.edu.cn, 欢迎交流。

作者于山东大学

2013年9月

目 录

第 1 章 自动控制的基本概念	1
1.1 习题详解.....	1
1.2 附加题详解.....	6
1.3 考研试题精选.....	7
第 2 章 控制系统的数学模型	10
2.1 习题详解	10
2.2 附加题详解	26
2.3 考研试题精选	28
第 3 章 时域分析法	42
3.1 习题详解	42
3.2 附加题详解	58
3.3 考研试题精选	61
第 4 章 根轨迹法	80
4.1 习题详解	80
4.2 考研试题精选.....	104
第 5 章 频率响应法	126
5.1 习题详解.....	126
5.2 附加题详解.....	145
5.3 考研试题精选.....	147
第 6 章 控制系统的校正	164
6.1 习题详解.....	164
6.2 附加题详解.....	184
6.3 考研试题精选.....	187

第 7 章 非线性系统	203
7.1 习题详解.....	203
7.2 考研试题精选.....	222
第 8 章 离散控制系统	234
8.1 习题详解.....	234
8.2 考研试题精选.....	255
参考文献	262

第 1 章 自动控制的基本概念

1.1 习题详解

1-1 图 1-1 所示的自动平衡仪表,实质上是一个电压—位置随动系统,试画出系统的控制方框图。

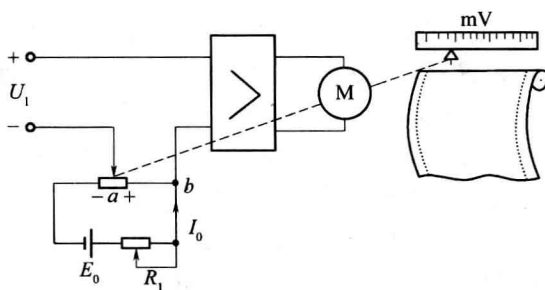


图 1-1 自动平衡仪表

解: (1) 工作原理: 闭环控制方式。

当输入电压 U_1 为零时, 电位器调整在 $U_{ba} = 0$, 记录仪指针位于零位, 电动机不动。当输入 U_1 上升趋于某工作点时, 电动机随之转动并带动电位器电刷和记录仪指针同步移动, 直至反馈电压 $U_{ba} = U_1$, 此时电动机停转, 记录仪指针指在 U_1 的位置。当输入电压 U_1 在工作点附近上下波动时, U_1 与 U_{ba} 的偏差电压会通过放大器驱动电动机随之转动, 带动仪表指针向 U_1 要求的位置移动。当 $U_{ba} = U_1$ 时, 系统达到新的平衡状态, 电动机停转, 从而实现电压自动跟踪记录的目的。

(2) 被控对象是电动机, 被控量是电动机输出转角 (产生电位器电刷位置和仪表指针位置), 给定量是现场输入电压 U_1 。

系统的方框图如图 1-2 所示。

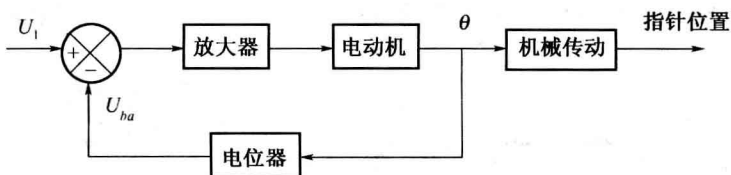


图 1-2 自动平衡仪表控制系统方框图

1-2 图 1-3 是一个水箱液位自动控制系统, 试分析它的工作原理, 并画出系统方框图。

解: (1) 工作原理: 闭环控制方式。

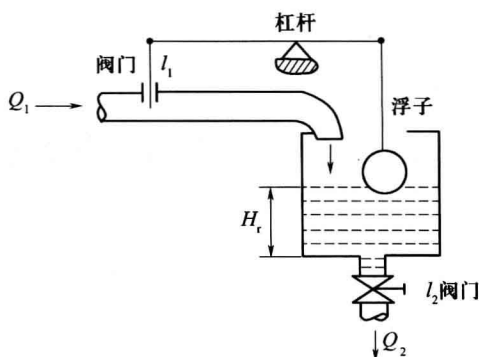


图 1-3 水箱液位自动控制系统

当连杆长度和支点位置设定以后，在一定的出水流量下，通过连杆的作用使浮球和阀门开度产生一个平衡点，则浮球位置对应了液面希望位置，此时阀门的开度使水箱中流入水量和流出水量相等，从而液面保持在希望高度上。当进水与出水量之间的平衡被破坏，就会导致液面发生变化，例如出水增大使液面下降，通过浮子检测出来并由连杆作用使阀门开度加大，致使液位上升，当调节到流入水量和流出水量再次相等时，系统达到了一个新的平衡点，此时浮球位置回到液面希望位置附近，略低于希望高度，我们称为有差调节。

(2) 被控对象是水箱，被控量是水箱液位，给定量是连杆的设定位置（代表液位的希望值）。主扰动是出水流量。出水流量波动越大，液位稳定后的偏差也随之加大。

系统的方框图如图 1-4 所示。

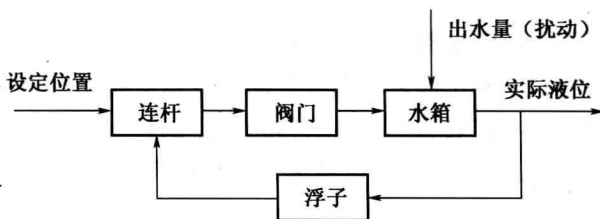


图 1-4 液位自动控制系统方框图

1-3 图 1-5 所示自动调速系统。

(1) 分析(a)与(b)的工作原理，画出功能方框图。

(2) 假设空载时，(a)与(b)的工作机械转速均为 100r/min，当工作机械受到同样大的负

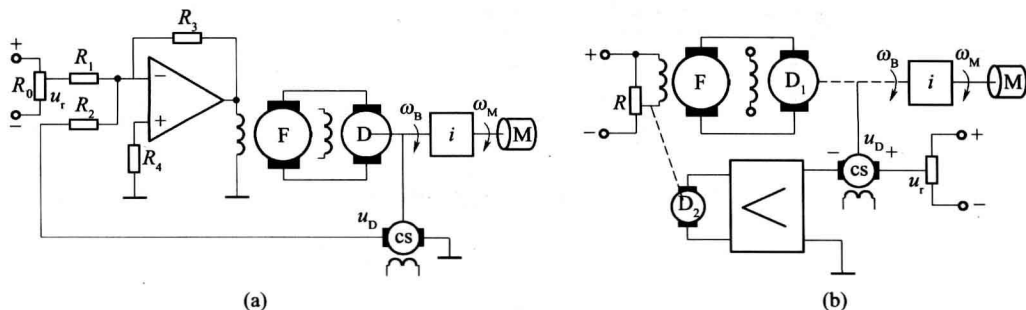


图 1-5 自动调速系统

载阻力矩时,哪个系统能保持输出转速不变?

解:对于图 1-5(a): (1) 工作原理: 闭环控制方式。

在电动机 D 稳定的输出转速下,系统带上负载后,输出的转速会下降。测速发电机 cs 会将输出转速的变化反馈到输入端与给定值进行比较,当偏差加大时,其偏差电压会直接经放大器放大使发电机的激磁电流增大,从而使发电机 F 的端电压增大,致使电动机 D 的转速回升,从而使偏差电压减小,但偏差电压始终不能为零,因为若偏差电压为零时,励磁电流也会为零,发电机 F 将不能工作,所以保持一定的偏差电压是维持控制作用的基础。因此,当空载时的工作机械转速为 100r/min 时,带上负载后自动调速输出转速会低于 100r/min。该系统称为有差系统。

(2) 被控对象是电动机 D,被控量是电动机输出转速,给定量是电位器设定的输入电压。主扰动是负载阻力矩。

系统的方框图如图 1-6 所示。

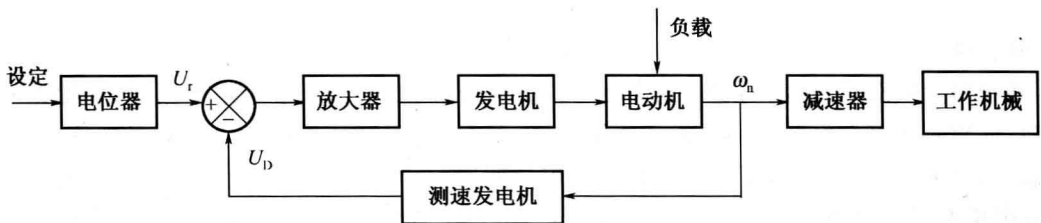


图 1-6 有差调速系统方框图

对于图 1-5(b): (1) 工作原理: 闭环控制方式。

系统带上负载后,输出的转速会下降,测速发电机 cs 会将输出转速的变化反馈到输入端与给定值进行比较,当反馈电压低于给定电压时,其偏差电压会被自动检测出来并经放大器放大使伺服电机 D_2 转动,带动电位器电刷移动,使发电机 F 的激磁电流增大,从而使发电机 F 的端电压增大,致使电动机 D_1 的转速回升,从而使偏差电压减小,直至偏差电压减小为零,此时伺服电机 D_2 停转,电动机 D_1 的转速保持在指定数值。因此,当空载时的工作机械转速为 100r/min 时,带上负载后自动调速系统能保持输出转速 100r/min 不变。该系统称为无差系统。

(2) 被控对象是电动机 D_1 ,被控量是电动机输出转速,给定量是电位器设定的输入电压。主扰动是负载阻力矩。

系统的方框图如图 1-7 所示。

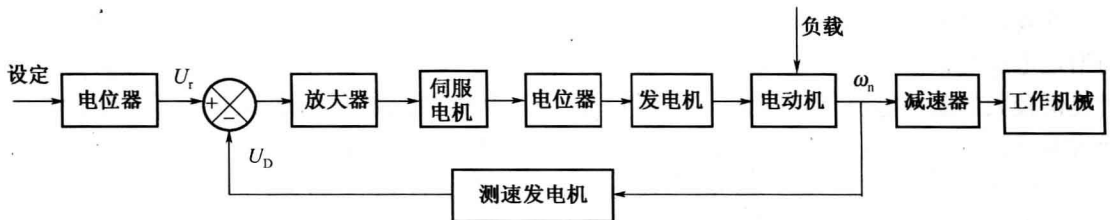


图 1-7 无差调速系统方框图

1-4 图 1-8 所示自动调压系统。

(1) 分析图(a)与图(b)的工作原理,画出功能方框图。

(2) 假设空载时,图(a)与图(b)的发电机端电压相同,均为 110V。当带上负载后,哪个系统能保持电压不变。为什么?

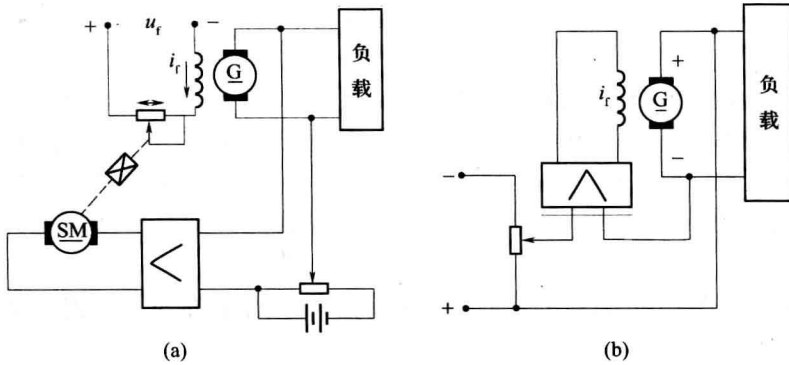


图 1-8 自动调压系统

解: 对于图 1-8(a): (1) 工作原理: 闭环控制方式。

系统带上负载后,输出的端电压会下降,当发电机两端电压低于给定电压时,其偏差电压会被自动检测出来并经放大器放大使伺服电机 SM 转动,经减速器带动电位器电刷移动,使发电机的激磁电流增大,从而使发电机 G 的端电压回升,直至偏差电压减小为零,此时电动机停转,发电机 G 的电压保持在给定电压指定数值。因此,当给定电压为 110V 时,自动调压系统能保持端电压 110V 不变。该系统称为无差系统。

(2) 被控对象是发电机,被控量是发电机输出电压,给定量是电位器设定的输入电压。主扰动是负载变化。

系统的方框图如图 1-9 所示。

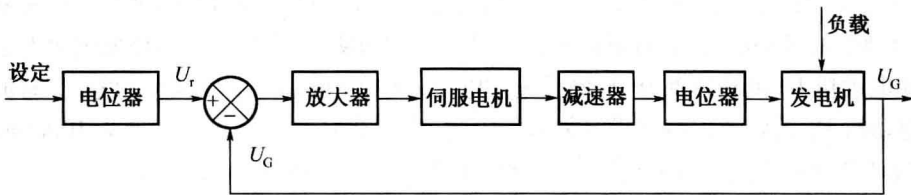


图 1-9 无差自动调压系统方框图

对于图 1-8(b): (1) 工作原理: 闭环控制方式。

在发电机稳定的工作状态下,系统带上负载后,输出的端电压会下降。当发电机两端电压与给定电压的偏差加大时,其偏差电压的变化会被自动检测出来并直接经放大器放大为发电机提供较大的激磁电流,使发电机 G 的端电压回升,从而使偏差电压减小,但偏差电压始终不能为零,因为若偏差电压为零时,励磁电流也会为零,发电机将不能工作,所以保持一定的偏差电压是维持控制作用的基础。因此,当发电机空载时电压为 110V 时,带上负载后自动调压系统端电压会低于 110V。该系统称为有差系统。

(2) 被控对象是发电机,被控量是发电机输出电压,给定量是电位器设定的输入电压。主扰动是负载变化。

系统的方框图如图 1-10 所示。

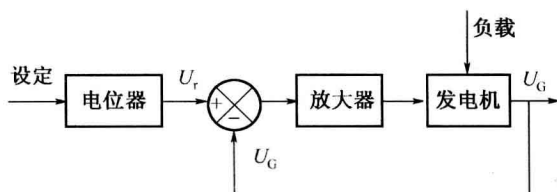


图 1-10 有差自动调压系统方框图

1-5 图 1-11 是仓库大门自动控制系统。试分析大门开关自动控制过程,并画出系统方框图。

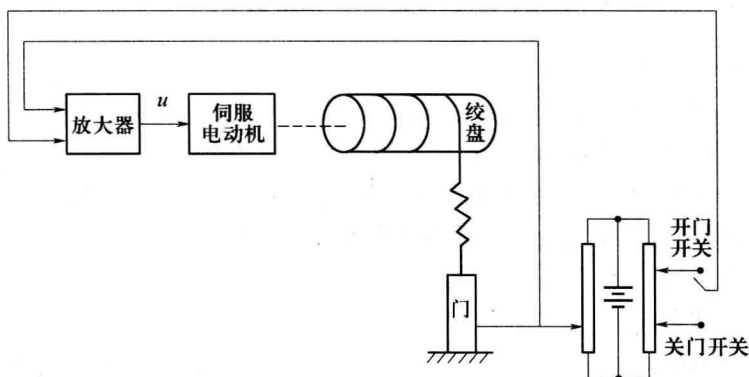


图 1-11 仓库大门自动控制

解: (1) 工作原理: 闭环控制方式。

当合上开门开关时,电位器桥式测量电路产生一个偏差电压信号。此偏差电压经放大器放大后,驱动伺服电动机带动绞盘转动,使大门向上提起。与此同时,与大门连在一起的电位器电刷上移,使桥式测量电路重新达到平衡,电动机停转开门开关自动断开。反之,当合上关门开关时,伺服电动机反向转动,带动绞盘转动使大门关闭,从而实现了远距离自动控制大门开启的要求。

(2) 被控对象是大门,被控量是大门的实际位置,给定量是开关设定的输入电压。

系统的方框图如图 1-12 所示。

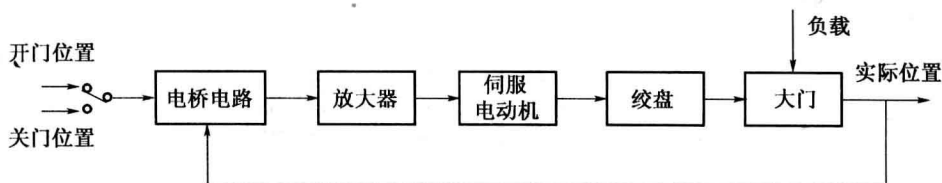


图 1-12 仓库大门自动控制方框图

1-6 下列各式是描述系统的微分方程,其中 $c(t)$ 是输出量, $r(t)$ 是输入量,试判断哪些是线性的,哪些是非线性的,哪些是变系数的?

$$(1) 4 \frac{d^2 c(t)}{dt^2} = c(t) \frac{dc(t)}{dt}$$

$$(2) t^2 \frac{d^3 c(t)}{dt^3} - e^{-t} \frac{dc(t)}{dt} + 2c(t) = r(t)$$

$$(3) \frac{1}{c(t)} \frac{d^2 c(t)}{dt^2} + \frac{1}{c(t)} \frac{dc(t)}{dt} + 1 = 0$$

$$(4) \frac{d^2 c(t)}{dt^2} + \frac{1}{c(t)} \frac{dc(t)}{dt} - 3 = 0$$

$$(5) (1-t^2) \frac{d^2 c(t)}{dt^2} - 2t \frac{dc(t)}{dt} + n(n+1)c(t) = 0 \quad (n \text{ 是常数})$$

$$(6) \frac{d^2 c(t)}{dt^2} + \frac{1}{t} \frac{dc(t)}{dt} + \left(1 - \frac{n^2}{t^2}\right) c(t) = 0 \quad (n \text{ 是常数})$$

解：系统按数学模型分类有：

线性系统——可用线性微分方程或差分方程描述的系统，称为线性系统。若方程的系数全为常数，则称为线性定常系统；否则称为线性时变系统。

非线性系统——用非线性方程描述的系统称为非线性系统。非线性方程的特点是系数与变量有关，或者方程中含有变量及其导数的高次幂或乘积项。

基于以上定义，可知：

- (1) 非线性定常系统；
- (2) 线性时变系统；
- (3) 线性定常系统；
- (4) 非线性定常系统；
- (5) 线性时变系统；
- (6) 线性时变系统。

1.2 附加题详解

1-7 图 1-13 所示是一个电动机速度控制系统。

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

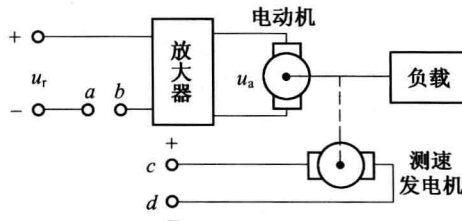


图 1-13 速度控制系统

解：(1) 负反馈状态的连接见图 1-14。

(2) 画出系统方框图见图 1-15。

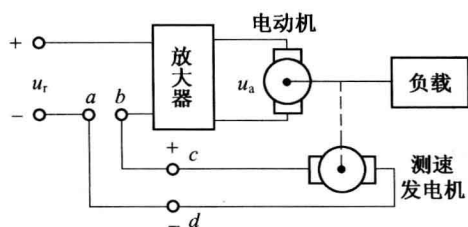


图 1-14 负反馈速度控制系统

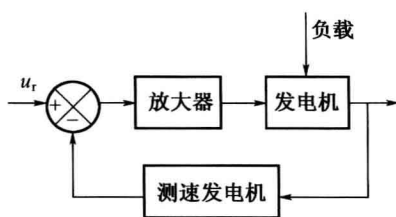


图 1-15 负反馈速度控制系统方框图

1.3 考研试题精选

1-8 电冰箱制冷系统原理如图 1-16 所示,继电器的输出电压 U_a 就是加在压缩机上的工作电压。简述工作原理,绘出系统方框图。若出现压缩机频繁启动,请提出相应的改进措施。

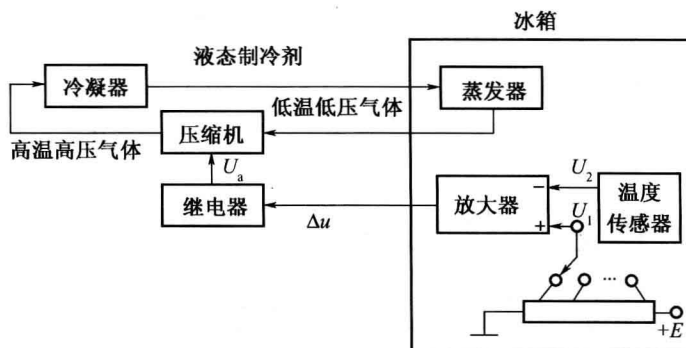


图 1-16 电冰箱制冷系统原理图

解: (1) 工作原理: 闭环控制方式。

双金属温度传感器感受冰箱内的温度并把它转换为电压信号 U_2 , 与电位器设置的给定输入电压 U_1 相比较, 偏差经放大器放大后传送给继电器。当冰箱内温度高于设定值时, 若偏差信号放大后能(超过继电器死区电压)使继电器吸合, 则压缩机启动。

冰箱制冷原理如图 1-17 所示, 制冷剂以气态的形式由压缩机吸入, 压缩成高温高压的蒸汽经排气管进入冷凝器, 制冷剂将热量散发到外界空气中, 冷凝为高压的液体。然后经过过滤器进入毛细管, 并被截流降压进入蒸发器中汽化, 使制冷剂液体吸收外界热量汽化为干饱和蒸汽, 实现冰箱内降温, 制冷剂变为低压过热蒸汽而被压缩机吸回, 如此往复。当 $U_1 = U_2$ 时, 说明冰箱内实际温度和设定温度值相等, $\Delta u = 0$, 压缩机、冷凝器以及蒸发器停止工作。

如果出现压缩机频繁启动, 说明当冰箱内温度与设定值偏差很小时, Δu 就达到继电器的死区电压, 继电器有输出, 使压缩机启动。如果减小放大器的放大倍数或适当增大继电器的死区范围, 使压缩机对冰箱实际温度的变化不过于敏感, 则可消除压缩机的频繁启动问题。

(2) 被控对象是冰箱, 被控量是冰箱的实际温度, 给定量是电位器设定的输入电压。

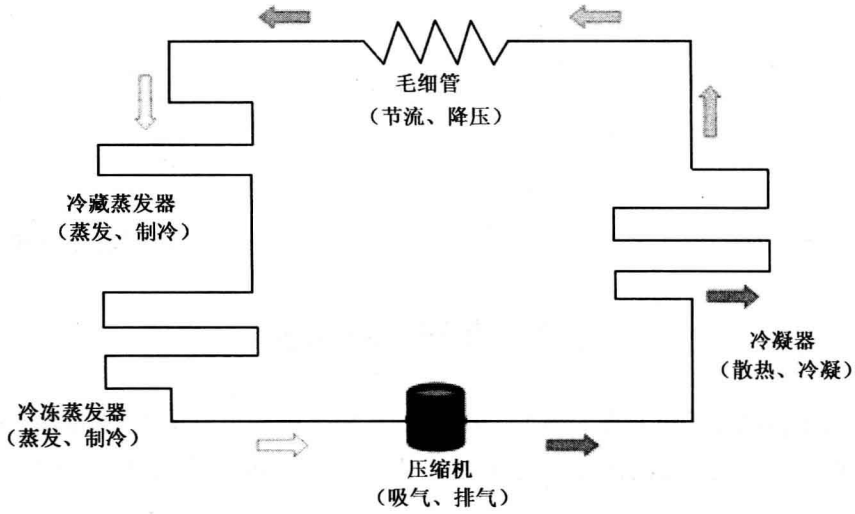


图 1-17 冰箱制冷过程

系统的方框图如图 1-18 所示。

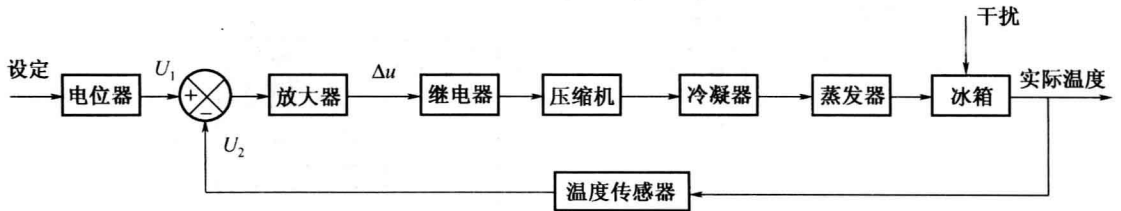


图 1-18 冰箱自动控制方框图

1-9 炉温控制系统的工作原理如图 1-19 所示,指出系统的输入量、输出量、偏差信号和被控对象,画出系统的方框图,并简单说明炉温的调节过程。

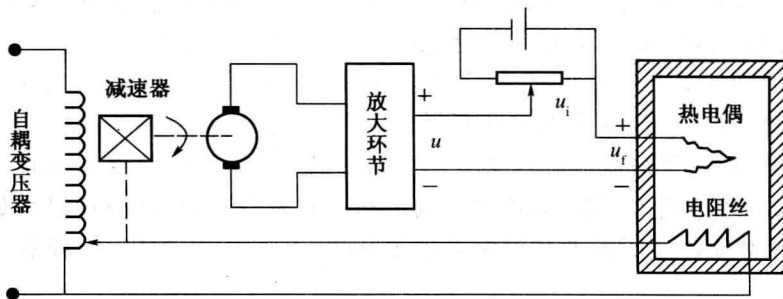


图 1-19 炉温控制系统的原理图

解: (1) 工作原理: 闭环控制方式。

炉内温度经热电偶测量转变为电信号 u_f , 当炉内温度小于设定的温度, 即 $u_f < u_i$ 时, 产生偏差信号 u , 经放大环节后, 驱动电动机正向转动, 经减速器调整自耦变压器的动点位置, 从而

提高加热电压,使炉内温度升高,直到 $u_f = u_i$,此时电动机停止转动;反之亦然。

(2) 系统的输入量为给定电压 u_i ,输出量为炉温,偏差信号为 u ,被控对象为电炉,系统的方框图如图 1-20 所示。

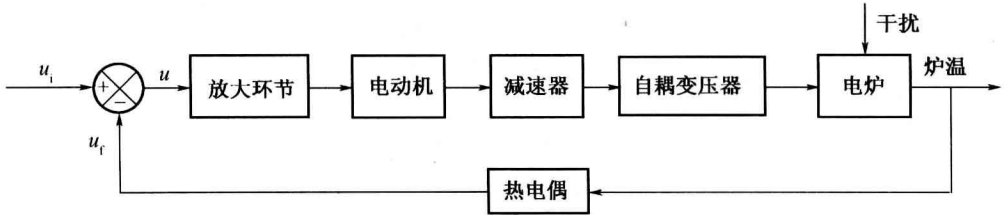


图 1-20 炉温控制系统的方框图

第2章 控制系统的数学模型

2.1 习题详解

2-1 求下列函数的拉普拉斯反变换:

$$(1) F_1(s) = \frac{s+1}{s(s^2+s+1)}$$

$$(2) F_2(s) = \frac{6s+3}{s^2}$$

$$(3) F_3(s) = \frac{5s+2}{(s+1)(s+2)^3}$$

$$(4) F_4(s) = \frac{1}{s^2(s^2+\omega^2)}$$

解: 用部分分式法把复杂函数分解为简单函数的代数和, 利用拉普拉斯变换的性质就能直接求出原函数。当有共轭复数根式, 对应的是正弦(余弦)函数, 要熟知对应关系。

$$(1) F_1(s) = \frac{s+1}{s(s^2+s+1)} = \frac{1}{s} + \frac{-s}{s^2+s+1} = \frac{1}{s} - \frac{s}{\left(s+\frac{1}{2}\right)^2 + \frac{3}{4}}$$

用部分分式法把 $F_1(s)$ 分解成了两部分, 第1项对应的原函数是阶跃函数, 第2项极点是一对共轭复数根, 对应的原函数是正弦(或余弦)函数, 这时可写成

$$F_1(s) = \frac{1}{s} - \frac{\left(s+\frac{1}{2}\right) - \frac{1}{2}}{\left(s+\frac{1}{2}\right)^2 + \frac{3}{4}}$$

利用拉普拉斯变换的复位移性质, 得

$$f_1(t) = L^{-1}[F_1(s)] = L^{-1}\left[\frac{1}{s} - \frac{\left(s+\frac{1}{2}\right) - \frac{1}{2}}{\left(s+\frac{1}{2}\right)^2 + \frac{3}{4}}\right] = 1 - e^{-\frac{t}{2}} \cos \frac{\sqrt{3}}{2}t + \frac{1}{\sqrt{3}} e^{-\frac{t}{2}} \sin \frac{\sqrt{3}}{2}t$$

$$(2) F_2(s) = \frac{6s+3}{s^2} = \frac{6}{s} + \frac{3}{s^2}$$

$$f_2(t) = 6 + 3t$$

$$(3) F_3(s) = \frac{5s+2}{(s+1)(s+2)^3} = \frac{-3}{s+1} + \frac{8}{(s+2)^3} + \frac{3}{(s+2)^2} + \frac{3}{s+2}$$

$$f_3(t) = -3e^{-t} + e^{-2t}(4t^2 + 3t + 3)$$

$$(4) \quad F_4(s) = \frac{1}{s^2(s^2 + \omega^2)} = \frac{1}{s^2\omega^2} - \frac{1}{\omega^2(s^2 + \omega^2)}$$

$$f_4(t) = \frac{1}{\omega^2}t - \frac{1}{\omega^3}\sin\omega t$$

2-2 求下列微分方程的解:

$$(1) 2\ddot{x} + 7\dot{x} + 3x = 0, \quad x(0) = 3, \quad \dot{x}(0) = 0$$

$$(2) \dot{x} + 2x = \delta(t), \quad x(0) = 0$$

$$(3) \ddot{x} + 2\zeta\omega_n\dot{x} + \omega_n^2x = 0, \quad x(0) = a, \quad \dot{x}(0) = b$$

$$(4) \dot{x} + ax = A\sin\omega t, \quad x(0) = b$$

式(3),(4)中 a 和 b 为常数。

解: 把微分方程两端进行拉普拉斯变换并代入给定的初始条件和确定的输入信号,转换为 s 域中的代数方程,求解代数方程可得到微分方程在复数域的解,再通过拉普拉斯反变换即可得到微分方程在时域中的解。

(1) 利用拉普拉斯变换的微分定理,对方程两端进行拉普拉斯变换得

$$2[s^2X(s) - sx(0) - \dot{x}(0)] + 7[sX(s) - x(0)] + 3X(s) = 0$$

把初始条件代入,求解上述代数方程,可得复数域的解为

$$X(s) = \frac{6s + 21}{2s^2 + 7s + 3}$$

用部分分式法对 $X(s)$ 进行反变换,得

$$X(s) = \frac{6s + 21}{2s^2 + 7s + 3} = \frac{1}{2} \times \frac{6s + 21}{s^2 + 3.5s + 1.5} = \frac{1}{2} \times \frac{6s + 21}{(s + 3)(s + 0.5)}$$

$$= \frac{-3/5}{s + 3} + \frac{18/5}{s + 0.5}$$

求得时域的解为

$$x(t) = L^{-1}[X(s)] = L^{-1}\left[\frac{-3/5}{s + 3} + \frac{18/5}{s + 0.5}\right] = -\frac{3}{5}e^{-3t} + \frac{18}{5}e^{-\frac{t}{2}}$$

(2) 方程两端进行拉普拉斯变换得

$$[sX(s) - x(0)] + 2X(s) = 1$$

$$X(s) = \frac{1}{s + 2}$$

所以

$$x(t) = e^{-2t}$$

(3) 方程两端进行拉普拉斯变换得

$$[s^2X(s) - sx(0) - \dot{x}(0)] + 2\zeta\omega_n[sX(s) - x(0)] + \omega_n^2X(s) = 0$$

$$X(s) = \frac{as + b + 2a\zeta\omega_n}{s^2 + 2\zeta\omega_ns + \omega_n^2} = \frac{a(s + \zeta\omega_n) + b + a\zeta\omega_n}{(s + \zeta\omega_n)^2 + \omega_n^2}$$