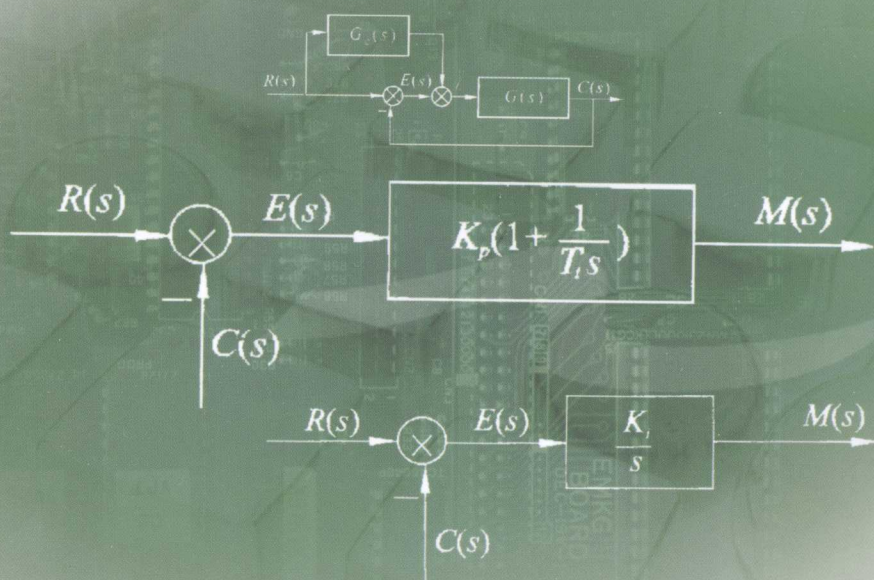


高等学校电子信息类系列教材

自动控制理论习题详解

王艳秋 王立红 杨汇军 编著



清华大学出版社
<http://www.tup.com.cn>



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>

高等学校电子信息类系列教材

自动控制理论习题详解

王艳秋 王立红 杨汇军 编著

清华大学出版社
北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书是《自动控制理论》(王艳秋等编著)教材配套的辅助教材。书中各章节结构基本相同,分为:内容提要、典型题解、习题详解三个部分。其中,内容提要归纳了自动控制理论的基本概念、基本原理与方法;典型题解收集了较多的基本题和一部分难度较大的题,均给出了详细的解题步骤;习题详解部分收集了各种类型习题及其详解,有的题给出了多种解法。

本书可作为高等院校理工科学生《自动控制理论》课程的学习指导书,也可作为硕士研究生入学考试的参考书,还可作为各类工程技术人员和自学者的辅导书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

自动控制理论习题详解/王艳秋,王立红,杨汇军编著. —北京:清华大学出版社;北京交通大学出版社,2009.7

(高等学校电子信息类系列教材)

ISBN 978-7-81123-781-8

I. 自… II. ①王… ②王… ③杨… III. 自动控制理论-高等学校-解题
IV. TP13-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第125344号

策划编辑:韩 乐

责任编辑:郭东青

出版发行:清华大学出版社 邮编:100084 电话:010-62776969

北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686414

印刷者:北京泽宇印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:22 字数:546千字

版 次:2009年9月第1版 2009年9月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-81123-781-8/TP·516

印 数:1~4 000册 定价:34.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

前 言

由于自动控制技术在各个行业的广泛渗透,“自动控制理论”课程已成为高等学校许多学科的科学技术基础必修课,且愈来愈占有重要的位置。为帮助“自动控制理论”课程的初学者更好地掌握这门技术,也为适应报考研究生读者的需求,同时自动控制理论课程作为辽宁省省级精品课程,急需进行教材改革尝试,以适应教学改革的需要和对应用型人才培养的需求,特精心编写了这本《自动控制理论习题详解》。

本书是教材《自动控制理论》(王艳秋等编著)的辅助教学用书,书中各章节结构基本相同,分为:内容提要、典型题解、习题详解三个部分。其中,内容提要系统而精练地总结了经典控制理论和现代控制理论的基本概念、基本理论和基本方法;典型题解收集了大量的基本题和一部分难度较大的题,均给出了详细的解题步骤及结果;习题详解部分对教材中的所有习题做了详细解答,有的题给出了多种解法。

本书的主要特点是:所精选的例题和习题,内容全面、重点突出、分析透彻,可帮助学生理清思路、掌握重点、突破难点,从而提高分析问题和解决问题的能力,因此它是学生复习必读、考研必备的一本辅导书。

本书可作为自动化、电子、电气、信息与通信、计算机、机械等专业学生学习“自动控制原理”课程的辅助教材,也可作为立志报考自动化类专业的硕士研究生的复习资料,对于从事控制工程领域的工程技术人员也是一本极好的参考书。

本书由王艳秋、王立红、杨汇军编著。全书共分8章,前言及第1、3、5章由王艳秋执笔,第2、8、9章由王立红执笔,第4、6、7章由杨汇军执笔。全书由王艳秋教授统稿。

本书在编写过程中参考了很多优秀教材、习题集、习题详解和著作,在此向收录于参考文献中的各位作者表示真诚的谢意。

由于作者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者
2009年8月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 内容提要	1
1.1.1 基本概念	1
1.1.2 自动控制系统的类型	1
1.1.3 闭环控制系统的组成	2
1.1.4 对控制系统的基本要求	3
1.2 典型题解	3
1.3 习题详解	8
第 2 章 自动控制系统的数学模型	19
2.1 内容提要	19
2.1.1 控制系统微分方程的建立	19
2.1.2 传递函数	19
2.1.3 动态结构图	20
2.1.4 信号流图	21
2.1.5 梅森公式	21
2.1.6 控制系统的传递函数	22
2.2 典型题解	22
2.3 习题详解	32
第 3 章 时域法	51
3.1 内容提要	51
3.1.1 基本概念	51
3.1.2 一阶系统主要性能指标及计算	52
3.1.3 二阶系统主要性能指标及计算	52
3.1.4 稳定判据	55
3.2 典型题解	55
3.3 习题详解	72
第 4 章 根轨迹法	106
4.1 内容提要	106
4.1.1 根轨迹的基本概念	106
4.1.2 绘制根轨迹的基本法则	107
4.1.3 根轨迹的绘制与性能分析	109
4.2 典型题解	110

4.3	习题详解	127
第5章	频率法	149
5.1	内容提要	149
5.1.1	频率特性的概念	149
5.1.2	频率特性的表示方法	149
5.1.3	奈奎斯特稳定判据	151
5.1.4	对数频率特性稳定判据	152
5.1.5	稳定裕度	152
5.1.6	闭环频率特性性能指标	153
5.1.7	系统频域指标的计算	154
5.2	典型题解	154
5.3	习题详解	178
第6章	控制系统的校正	222
6.1	内容提要	222
6.1.1	控制系统的基本校正方式	222
6.1.2	基本校正规律	223
6.1.3	常见的校正装置	224
6.1.4	串联校正	226
6.1.5	复合校正	228
6.2	典型题解	229
6.3	习题详解	242
第7章	采样控制系统分析法	260
7.1	内容提要	260
7.1.1	采样控制系统的基本概念	260
7.1.2	采样过程与采样定理	260
7.1.3	信号的复现	261
7.1.4	z 变换与 z 反变换	261
7.1.5	离散系统的数学模型	262
7.1.6	采样控制系统的稳定性与稳态误差	263
7.1.7	采样系统的动态性能分析	264
7.1.8	采样控制系统的综合——最少拍系统设计	264
7.2	典型题解	265
7.3	习题详解	274
第8章	非线性控制系统分析法	284
8.1	内容提要	284
8.1.1	非线性控制系统概述	284
8.1.2	非线性特性及其描述函数对照表	284
8.1.3	描述函数法	285
8.1.4	相平面法	286

8.2	典型题解	286
8.3	习题详解	292
第9章	状态空间法	303
9.1	内容提要	303
9.1.1	基本概念	303
9.1.2	由微分方程建立状态空间表达式	304
9.1.3	由传递函数建立状态空间表达式	304
9.1.4	组合系统的状态空间表达式	305
9.1.5	状态方程的线性变换	307
9.1.6	由状态空间表达式求传递函数矩阵	308
9.1.7	离散系统的状态空间表达式	309
9.1.8	线性定常连续系统状态方程的解	309
9.1.9	线性定常系统的能控性和能观测性	311
9.1.10	状态反馈与状态观测器	312
9.1.11	李亚普诺夫稳定性分析	314
9.2	典型题解	315
9.3	习题详解	329
参考文献		341

第 1 章 绪 论

1.1 内容提要

1.1.1 基本概念

1. 自动控制

自动控制是指在没有人直接参与的情况下，利用控制装置，使被控对象的被控制量自动地按预定规律变化。

2. 自动控制系统

自动控制系统是由控制器和被控对象组成，能够自动对被控对象的被控量进行控制的系统。

3. 负反馈控制原理

指将系统的被控量直接或经变换后引入输入端，与控制量相减，利用所得的偏差量去控制被控对象，达到减小偏差或消除偏差的目的。

4. 常用术语

- (1) 被控对象，指工作状态需要给以控制的机械、装置或过程。
- (2) 被控量，也称输出量，表示被控对象工作状态的物理量。
- (3) 控制量，也称给定量，表示被控量的期望运行规律。
- (4) 扰动量，也称干扰量，是引起被控量偏离预定运行规律的量。
- (5) 反馈量，指被控量直接或经测量元件变换后送入输入端的量。
- (6) 偏差量，指给定量与反馈量相减后的输出量。

1.1.2 自动控制系统的类型

自动控制系统的类型有很多，分类方法也多种多样，按照输入量的变化规律可将系统分为恒值系统和随动系统；按照系统传输信号对时间的关系可将系统分为连续系统和离散系统；按照系统的输出量和输入量之间的关系可将系统分为线性系统 and 非线性系统；按照系统参数对时间的变化情况可将系统分为定常系统和时变系统；按照系统的结构和参数是否确定可将系统分为确定系统和不确定性系统，等等。根据不同的分类方法，自动控制系统的类型可以概括如下。

1. 线性控制系统和非线性控制系统

按照系统的输出量和输入量之间的关系可将系统分为线性控制系统和非线性控制系统。

- (1) 线性控制系统，是由线性元件组成的系统，该系统的运动方程式可以用线性微分

方程描述。线性微分方程的各项系数为常数时，称为线性定常控制系统。

(2) 非线性控制系统，在组成系统的元器件中，只要有一个元器件的性能不能用线性方程描述，即为非线性控制系统。

2. 连续控制系统和离散控制系统

按照系统传输信号对时间的关系可将系统分为连续控制系统和离散控制系统。

(1) 连续控制系统，指系统中各部分的传输信号都是时间 t 的连续函数。

(2) 离散控制系统，如果控制系统在信号传输过程中存在着间歇采样、脉冲序列等离散信号，则称为离散控制系统。

3. 恒值控制系统、随动控制系统和程序控制系统

在生产中应用最多的闭环自动控制系统，往往要求被控制量保持在恒定的数值上。但也有些系统要求输出量按一定规律变化。因此，按照输入量的变化规律可将系统分成如下三种类型。

(1) 恒值控制系统。恒值系统的给定量是恒定不变的，系统的输出量也应是恒定不变的。

(2) 随动控制系统。随动系统的给定量按照事先设定的规律或事先未知的规律变化，要求输出量能够迅速准确地跟随给定量的变化。所以也可以叫做同步随动系统。

(3) 程序控制系统。程序控制系统的输入信号可以是时间的函数、空间的函数，也可以是几何图形或者按照某种规律编制的程序等。

4. 定常控制系统和时变控制系统

按照系统参数是否随时间变化可将系统分为定常控制系统和时变控制系统。

(1) 定常控制系统。系统参数不随时间变化的系统是定常控制系统。定常控制系统的微分方程或差分方程的系数是常数。线性的定常系统称为线性定常控制系统。

(2) 时变控制系统。系统参数随时间变化的系统是时变控制系统。时变控制系统的微分方程或差分方程的系数是时间的函数。

5. 开环控制系统和闭环控制系统

按照系统的结构可分为开环控制系统和闭环控制系统。

(1) 开环控制系统，是一种最简单的控制方式，其特点是：在控制器与被控对象之间只有正向控制作用而没有反馈控制作用，即只有输入量对输出量产生控制作用，而输出量对输入量没有作用，因此它不具备抗干扰能力。

(2) 闭环控制系统。凡是系统的输出端与输入端之间存在反馈回路，即输出量对输入量产生控制作用的系统叫做闭环系统。

1.1.3 闭环控制系统的组成

闭环控制系统种类很多，应用的范围也很广泛，它们的结构、性能和完成的任务也各不相同，但是概括起来，一般由以下基本环节组成：给定环节、比较环节、校正环节、中间环节、执行机构、被控对象和检测装置。

(1) 被控对象（也称调节对象），是指要进行控制的设备或过程。

(2) 执行机构，一般由传动装置和调节机构组成。执行机构直接作用于被控对象，使被控制量达到所要求的数值。

(3) 检测装置或传感器。该装置用来检测被控制量，并将其转换为与给定量相同的物理量。

(4) 给定环节，是设定被控制量的给定值的装置。

(5) 比较环节。比较环节将所检测量的被控制量与给定量进行比较，确定两者之间的偏差量。

(6) 中间环节。中间环节一般是放大元件，将偏差信号变换成适于控制执行机构工作的信号。

1.1.4 对控制系统的基本要求

对控制系统的基本要求有稳定性、准确性、快速性。稳定性，是系统正常工作的必要条件。准确性，要求系统稳态误差要小，稳态误差为零称无差系统，否则称有差系统。快速性，要求系统快速平稳地完成暂态过程，超调量要小，调节时间要短。

1.2 典型题解

【例1-1】 图1-1所示是家用电冰箱制冷控制系统原理图，试简述系统的工作原理，并画出系统原理方块图。

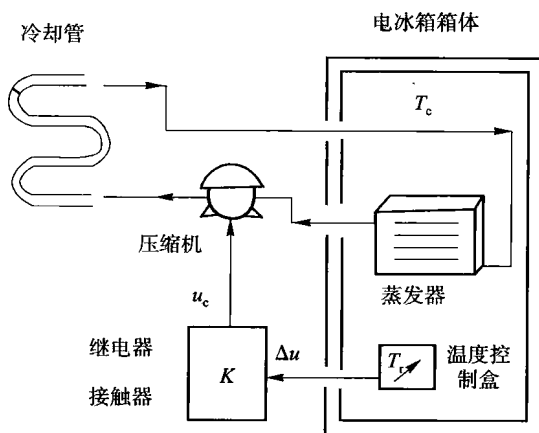


图1-1 电冰箱制冷控制系统原理图

解 系统的任务是保持冰箱内温度 T_c 等于给定温度 T_r 。系统由箱体、温度控制盒、电动机、压缩机、冷却管、蒸发器、继电器等部件组成。

温度控制盒通过双金属感温元件测量冰箱内的温度，并与给定温度进行比较。偏低时则接通继电器、接触器，输出供给电动机的电压，故温度控制盒起到了测量、比较、变换的作用。

(1) 电冰箱制冷控制系统工作原理。

当冰箱内温度 T_c 大于给定温度 T_r 时，即 $T_c > T_r$ ，则 $\Delta T = T_c - T_r > 0$ 。温度控制盒测量到偏差信号 ΔT ，并且将 ΔT 转换成电信号 Δu ， Δu 通过接触器、继电器启动电动机带动压缩机，压缩机将蒸发器中的高温低压气态制冷剂送入冷却管散热，降温后的低温高压液态制冷

剂进入蒸发器，在蒸发器中急速降压扩散成气态，这个过程需要吸收周围的热量，即吸收箱体内部的热量，冰箱的温度随之降低；压缩机又将蒸发器中的高温低压气态的制冷剂送入冷却管散热。如此循环流动，使冰箱达到制冷的效果，直至 T_c 降低到 $\Delta T = T_c - T_r = 0$ 时， $\Delta u = 0$ ，电动机、压缩机停止工作。

由于外界温度较高，箱体保温能力有限而使箱体内温度 T_c 上升，或由于开冰箱门取东西使箱体内温度 T_c 上升。又出现偏差 $\Delta T = T_c - T_r > 0$ ， $\Delta u > 0$ 。再接通继电器、电动机、压缩机，又将蒸发器中的高温低压气态制冷剂送入冷却管散热，使 T_c 降低。电冰箱是否处于降温工作过程，是由温度控制盒测出 ΔT 是否大于零来控制的。温度控制盒起到测量、比较、变换的作用。

电冰箱温度控制系统是按偏差调节的闭环控制系统。

(2) 画出电冰箱温度控制系统的原理方框图，如图 1-2 所示。

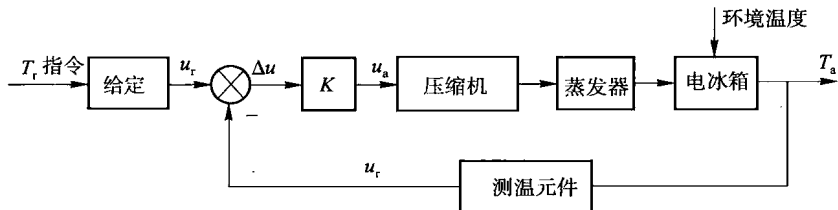


图 1-2 电冰箱温度控制系统方框图

【例 1-2】 图 1-3 为电阻炉温度控制系统原理图。

- (1) 指出系统输出量、给定量、扰动量、被控对象和控制器的组成元件。
- (2) 说明系统是怎样消除或减小偏差的。
- (3) 画出其方框图。

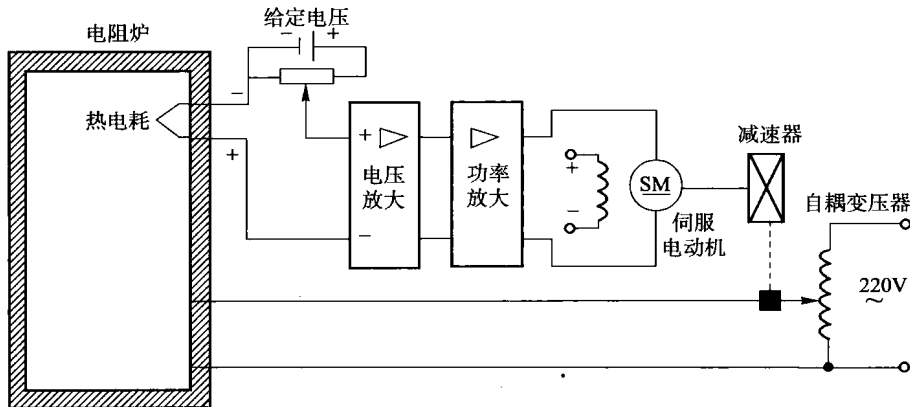


图 1-3 电阻炉温度控制系统原理图

解 (1) 炉温为输出量，经电位器设定的电压是给定量，电网电压的波动和炉门的开关为外部扰动量，系统元件和执行机构的性能改变为内部扰动量，电阻炉是被控对象。控制器由温度传感器（热电偶）、给定电位器、电压放大器、功率放大器、伺服电动机、减速器、自耦变压器组成。

(2) 在正常情况下，炉温等于期望值，热电偶输出的电压等于给定电压，此时偏差为

零,电动机不动,自耦变压器输出电压不变,这时,炉子散失的热量正好等于从加热器获取的热量,形成稳定的热平衡状态,炉温保持恒定。当炉温由于某种原因突然下降时,热电偶输出电压下降,与给定电压比较后出现正偏差,经电压放大器、功率放大器放大后,驱动电动机正转使调压器电压升高,炉温升高,直至炉温等于期望值为止。当炉温由于某种原因突然升高时,调节过程正好相反。

(3) 系统方框图如图 1-4 所示。

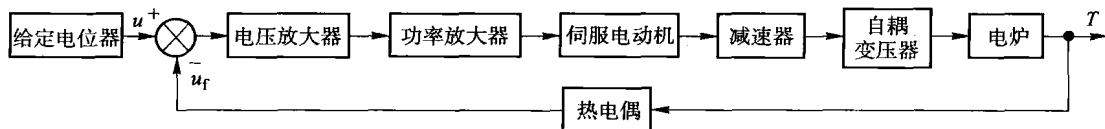


图 1-4 电阻炉温度控制系统方框图

【例 1-3】 图 1-5 为液位控制系统原理图。

- (1) 指出系统的输出量和输入量（包括给定输入量和扰动输入量）。
- (2) 分析工作原理。
- (3) 画出系统的原理方框图。

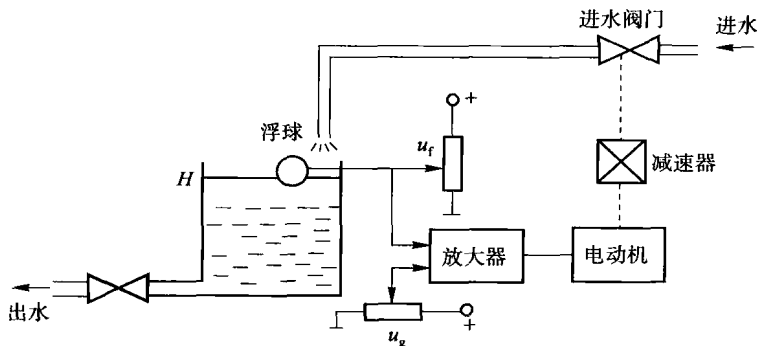


图 1-5 液位控制系统示意图

解 (1) 经电位器设定的电压是给定输入量；水箱是被控对象，水箱的液面高度是被控制量，即是系统输出量，系统元器件、作为执行机构的进水阀门变化量为扰动输入量。

(2) 当电位器电刷位于中间位置时，电动机不动，控制阀门有一定开度，使水箱中流入水量与流出水量相等，从而液面保持在希望的高度 H 上，一旦流入水量或流出水量发生变化，水箱液面高度便发生相应变化。例如，当液面升高时，浮球位置亦相应升高，通过杠杆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，使进入水箱的流量减少，此时，水箱液面下降，浮球位置相应下降，直到电位器电刷回到中点位置，系统重新处于平衡状态，液面恢复给定高度。反之，若水箱水位下降，则系统会自动增大阀门开度，加大流入水量，使液面升到给定高度。

(3) 液位自动控制系统原理方框图如图 1-6 所示。

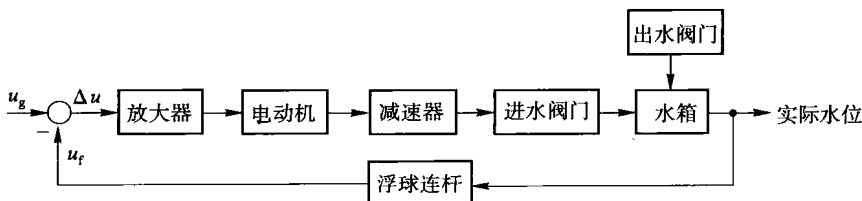


图 1-6 液位自动控制系统原理方框图

【例 1-4】 试述函数记录仪的工作原理，并画出函数记录仪工作原理框图。

解 函数记录仪是一种通用的自动记录仪，它可以在直角坐标上自动描绘两个电量的函数关系。同时，记录仪还带有走纸机构，用以描绘一个电量对时间的函数关系。函数记录仪通常由衰减器、测量元件、放大元件、伺服电动机、测速机组、齿轮系及绳轮等组成，采用负反馈控制原理工作，其原理如图 1-7 所示。系统的输入是待记录电压，被控对象是记录笔，其位移即为被控量。系统的任务是控制记录笔位移，在记录纸上描绘出待记录的电压曲线。

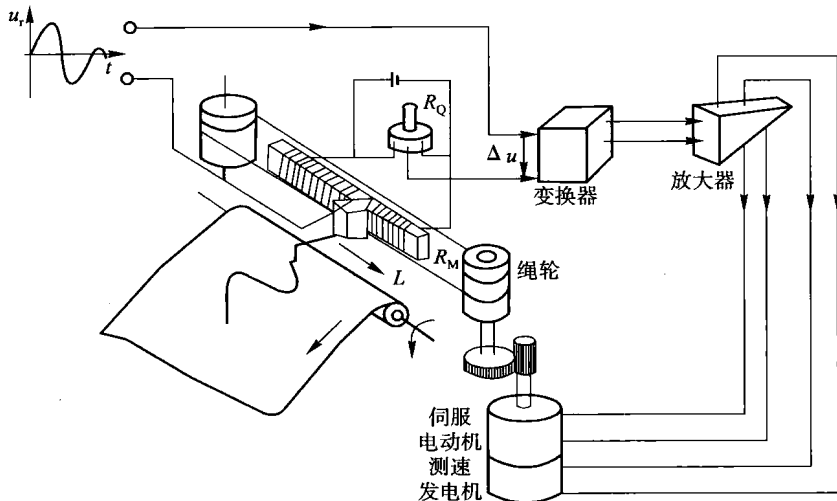


图 1-7 函数记录仪原理示意图

在图 1-7 中，测量元件是由电位器 R_Q 和 R_M 组成的桥式测量电路，记录笔就固定在电位器 R_M 的滑臂上，因此，测量电路的输出电压 u_p 与记录笔位移成正比。当有慢变的输入电压 u_r 时，在放大元件输入端得到偏差电压 $\Delta u = u_r - u_p$ ，经放大后驱动伺服电动机，并通过齿轮系及绳轮带动记录笔移动，同时使偏差电压减小。当偏差电压 $\Delta u = 0$ 时，电动机停止转动，记录笔也静止不动。此时， $u_p = u_r$ ，表明记录笔位移与输入电压相对应。如果输入电压随时间连续变化，记录笔便描绘出随时间连续变化的相应曲线。函数记录仪方框图如图 1-8 所示。图中测速发电机反馈与电动机速度成正比的电压，用以增加阻尼，改善系统性能。

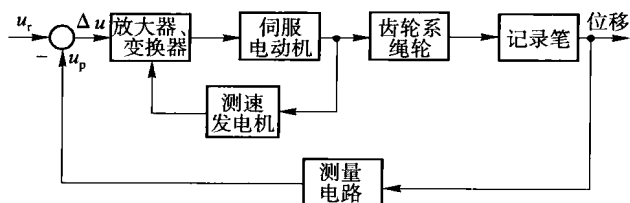


图 1-8 函数记录仪方框图

【例 1-5】 试述飞机自动驾驶仪的工作原理，并画出函数记录仪工作原理框图。

解 飞机自动驾驶仪是一种能保持或改变飞机飞行状态的自动装置，它可以稳定飞行的姿态、高度和航迹；用以操纵飞机爬高、下滑和转弯。飞机与自动驾驶仪组成的自动控制系统称为飞机—自动驾驶仪系统。

如同飞行员操纵飞机一样，自动驾驶仪是通过控制飞机的三个操纵面（升降舵、方向舵、副翼）的偏转，改变舵面的空气动力特性，以形成围绕飞机质心的旋转转矩。从而改变飞机的飞行姿态和轨迹。现以比例式自动驾驶仪稳定飞机俯仰角为例，说明其工作原理。图 1-9 为飞机—自动驾驶仪系统稳定俯仰角的原理示意图。

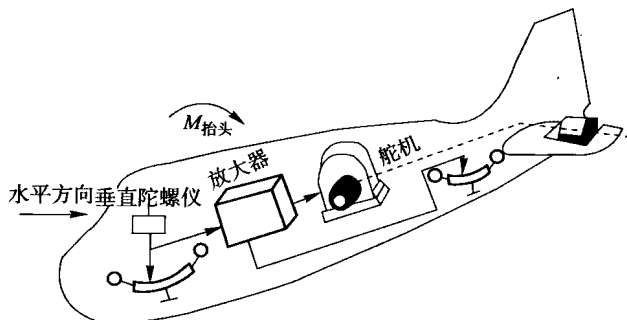


图 1-9 飞机—自动驾驶仪系统原理示意图

图中，垂直陀螺仪作为测量元件用以测量飞机的俯仰角，当飞机以给定俯仰角水平飞行时，陀螺仪电位器没有电压输出；如果飞机受到扰动，使俯仰角向下偏离期望值，陀螺仪电位器输出与俯仰角偏差成正比的信号，经放大器放大后驱动舵机，一方面推动升降面向上偏转，产生使飞机抬头的转矩，以减小俯仰角偏差；同时还带动反馈电位器滑臂，输出与舵偏角成正比的电压并反馈到输入端。随着俯仰角偏差减小，舵偏角也随之减小直到俯仰角回到期望值，这时，舵面也恢复到原来状态。

图 1-10 是飞机—自动驾驶仪俯仰角控制系统方框图，图中，飞机是被控对象，俯仰角 θ 是被控制量，放大器、舵机、垂直陀螺仪、反馈电位器等是控制装置，即自动驾驶仪。参考量是给定的俯仰角 θ_i ，控制系统的任务就是在任何扰动（如阵风或气流冲击）下，始终保持飞机以给定俯仰角飞行。

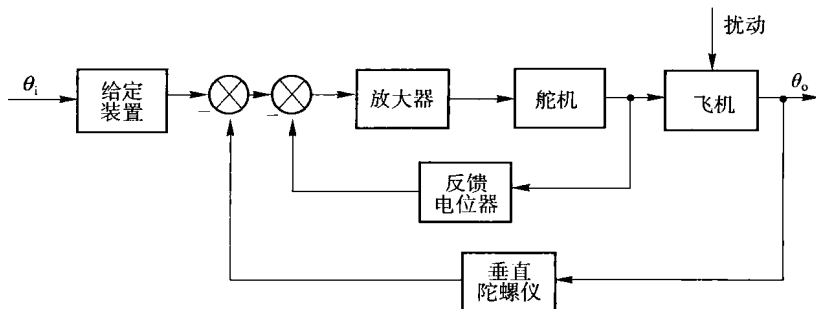


图 1-10 飞机—自动驾驶仪俯仰角控制系统方框图

1.3 习题详解

1-1 直流发电机电压自动控制系统示意图如图 1-11 所示, 1 为发电机, 2 为减速器, 3 为执行电动机, 4 为比例放大器, 5 为可调电阻器。试回答:

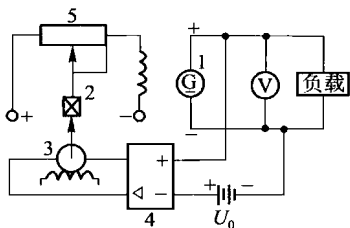


图 1-11 直流发电机电压自动控制系统示意图

- (1) 该系统由哪些元件组成, 各起什么作用?
- (2) 绘出系统的框图, 说明当负载电流变化时, 系统如何保持发电机的电压恒定?
- (3) 该系统是有差系统还是无差系统?
- (4) 系统中有哪些可能的扰动?

解 (1) 该系统由给定元件、比较放大元件、执行机构、测量元件、被控对象组成。给定元件是电源电压 U_0 , 用来设定直流发电机电压的给定值。

比较放大元件是比例放大器, 实现被控量与给定量的比较和放大。执行机构由伺服电动机、减速器和可调电阻器组成, 调节发电机的输出电压。测量元件为跨接在发电机电枢两端, 并同电压源 U_0 一起连接到比例放大器输入端的导线, 将系统的输出量直接反馈到系统的输入端。被控对象为直流发电机, 供给负载恒定不变的电压。

(2) 系统结构框图如图 1-12 所示。当负载电流增大时, 发电机端电压下降, 电压偏差增大, 偏差电压经运算放大器放大后, 控制伺服电动机, 带动可调电阻器的滑动端使励磁电流增大, 使发电机的电压升高直至恢复到给定电压的数值上, 从而实现电压的恒定控制。负载电流减小的情况与此相同。

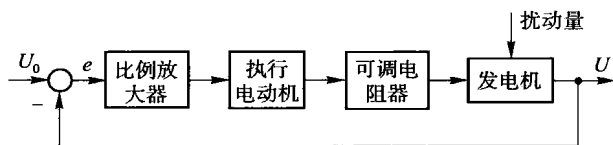


图 1-12 直流发电机电压自动控制系统结构框图

(3) 假设系统在稳定运行状态下, 发电机输出的电压与给定的电压 U_0 相等。此时, 比例放大器输出为零, 执行电动机不转动, 可调电阻器的滑动端不动, 发电机磁场不变化, 从而保持发电机输出电压 U 等于给定电压 U_0 。假设成立, 故该系统为无差系统。

(4) 系统中可能出现的外部扰动: 负载电流的变化 (增加或减小)。可能出现的内部扰动: 系统长时间工作使电源电压 U_0 降低, 执行机构、减速器等的机械性能改变等。

1-2 水箱液面高度控制系统的三种控制方案如图 1-13 所示。在运行中, 希望液面高度 H 维持不变。

(1) 试说明各系统的工作原理。

(2) 画出各系统方框图, 并指出被控对象、被控量、给定值、干扰量。

(3) 试说明各系统属于哪种控制方式。

解 (1) 系统的控制对象是水箱, 被控量 (系统的输出量) 是水位高度 H , 工艺上要求水箱水位恒定, 出水量 Q_2 影响水位高低, 因而是扰动量。保持 H 恒定的控制量是进水量 Q_1 。进水量的大小由电动机通过减速器改变控制阀的开度来实现。因此, 电动机、减速器、控制阀是执行机构, 电动机电枢电压 $U = U_A - U_B$, 其中, U_A 为给定量, U_B 为反馈量, U_B 的大小取决于浮球的位置, 而浮球的位置取决于水位 H , 由浮球、杠杆、电位器可动触头构成了检测反馈元件。

当 $Q_1 = Q_2$ 时, 液位保持恒定, 此时电动机不转, $U = U_A - U_B = 0$ 。设 Q_2 增加, H 下降, 通过浮球及杠杆的反馈作用, 将使可动触头上移, U_B 增大, $U = U_A - U_B$ 为负, 从而使电动机反转, 电动机使阀门开大, 进水量 Q_1 增大, 水位 H 上升。这一过程直到水位恢复到原来位置为止。此时, $U = U_A - U_B = 0$ 。当 Q_2 减小时, H 上升, 通过浮球及杠杆的反馈作用, 将使可动触头下移, U_B 减小, $U = U_A - U_B$ 为正, 从而使电动机正转, 电动机使阀门开小, 进水量 Q_1 减小, 水位 H 下降。这一过程直到水位恢复到原来位置为止。此时, $U = U_A - U_B = 0$ 。

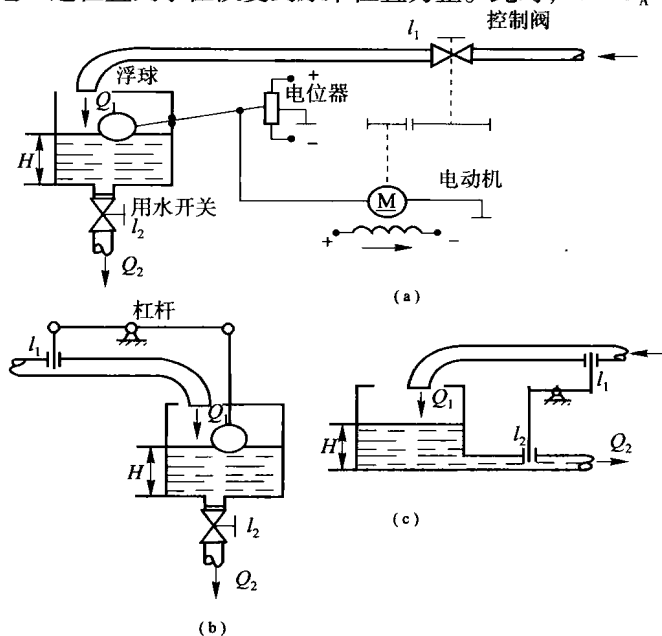


图 1-13 水箱液面高度控制系统

水箱水位控制系统方框图如图 1-14 所示。

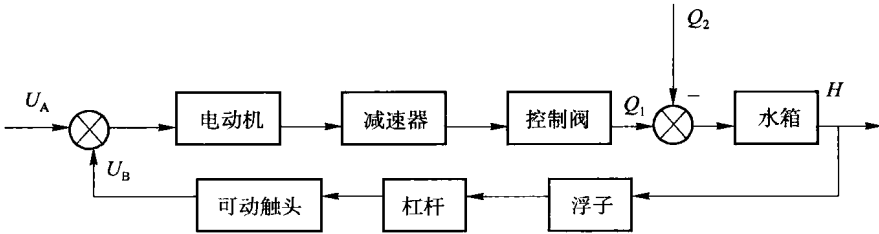


图 1-14 水箱水位控制系统方框图

明显看出，被控量是 H ，测量的是电动机电枢电压 $U = U_A - U_B$ ，故系统属于负反馈控制方式。

(2) 系统的控制对象是水箱，被控量是水箱液面高度 H 。浮子跟随液面上下浮动，可以反映出液面的实际高度 H ，相当于测量元件。浮子带动杠杆，调节进入水箱的进水量 Q_1 ，进而控制液面高度 H ，故杠杆相当于放大、执行元件。

系统的工作原理是：当 $Q_1 = Q_2$ （水箱的流入量等于水箱的流出量）时，液位 H 保持恒定。当 Q_2 增加，液面 H 下降时，浮球降落，通过杠杆作用移动控制阀开度使水流量 Q_1 增加，水位开始上升；当 $Q_1 = Q_2$ 时达到平衡状态。当 Q_2 减小时，液面 H 上升，浮球上升，通过杠杆作用移动控制阀开度使水流量 Q_1 减少，水位开始下降，当 $Q_1 = Q_2$ 时达到平衡状态。

由以上分析可画出系统的原理方框图如图 1-15 所示。

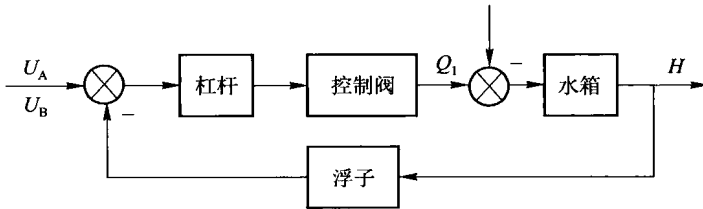


图 1-15 系统的原理方框图

明显看出，被控量是 H ，测量的是液面的变化量，故系统属于负反馈控制方式。

(3) 系统控制的任务是保持水箱水位高度 H 不变。系统的控制对象是水箱，被控量是水箱液面高度 H 。当水箱的流出量 Q_2 增大或减少或者出水阀门 l_2 开大或关小时，都会使水箱的水位高度发生变化。所以水箱的出水量 Q_2 或出水阀门 l_2 是干扰量。

系统的工作原理是：当 $Q_1 = Q_2$ （水箱的流入量等于水箱的流出量）时，液位 H 保持恒定。当 Q_2 增加，液面 H 下降，此干扰通过杠杆测量后，去操纵进水阀门 l_1 开大，使水箱出水量 Q_2 与进水量 Q_1 平衡，从而使水箱水位高度保持不变。当 Q_2 减少，液面 H 上升，此干扰通过杠杆测量后，去操纵进水阀门 l_1 开小，使水箱出水量 Q_2 与进水量 Q_1 平衡，从而使水箱水位高度保持不变。

由以上分析可画出水箱水位控制系统的原理方框图，如图 1-16 所示。