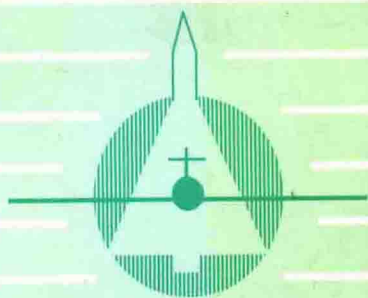


自动控制原理习题集

胡寿松 主编 沈程智 副主编

胡寿松 沈程智 赵平 编

吴庆宪 王永 陈兴盛



国防工业出版社

自动控制原理习题集

胡寿松 主编 沈程智 副主编

胡寿松 沈程智 赵平 编
吴庆宪 王永 陈兴盛

国防工业出版社

北京

内 容 简 介

本书为《自动控制原理》的学习指导性配套用书,内容系统而全面。本书不但精炼地总结了自动控制理论的主要内容,列举了有代表性的各类例题的求解方法,组织了丰富的各种习题,还列选了有代表性的硕士研究生入学试题。书末并附有习题参考答案。

本书具有控制理论手册、解题指南、题库及报考研究生必读等多项功能,可作为自动控制、工业自动化、电气自动化、仪表及测试、机械、动力等专业的教学用书,亦可作为各有关专业工程技术人员的必备参考书。

本书共编入例题 243 道,习题 447 道,水平测试题 130 道。

自动控制原理习题集

胡寿松 主编 沈程智 副主编

胡寿松 沈程智 赵平 编

吴庆宪 王永 陈兴盛

责任编辑 陈子玉

*

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 100044)

新华书店经售

涿中印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 35 $\frac{1}{4}$ 827 千字

1990 年 10 月第 1 版 2003 年 2 月北京第 6 次印刷 印数:23001-27000 册



ISBN 7-118-00705-6/TP·91 定价:30.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

本书是与胡寿松主编的《自动控制原理》(修订版)相配套的学习指导性教学用书。《自动控制原理》(修订版)自1984年由国防工业出版社出版、1988年被评为全国优秀教材以来,许多兄弟院校和读者纷纷来函,迫切希望我们及早出版与教材配套使用的习题集,以满足教学工作的需要。我们在教学过程中亦深有同感。因此,根据我们多年来在教学工作中的积累,并吸取了国内外有关资料中的精华部分,编写并出版这本习题集。本书力图通过对教学基本内容的提要性归纳、各种典型题例的讨论以及题库的建立,帮助读者正确理解和应用《自动控制原理》(修订版)一书中的基本理论和基本方法,以达到巩固基础、提高能力的目的。此外,为了扩大面向,适应工程技术人员在工程实践中的某些需要,以及报考硕士研究生的需要,本书还适当地扩展了部分理论内容,并编选了“水平测试题”部分,供有关读者自我检查之用。

本书体系和符号与《自动控制原理》(修订版)一书相一致。各章结构基本相同,分基本理论、例题和解答、习题及水平测试题等四部分。基本理论部分力求围绕教材的中心内容,简明扼要,重点突出,主要公式及图表齐全,便于查阅,起到控制理论手册的作用。为了同时能与其他同类教材配套使用,我们还适当地扩展了部分内容,并进行了必要的阐述。例题和解答部分比较详尽地分析和讨论了各种典型题例的求解方法,内容丰富,注重解题思路和一题多解,并有一定数量的综合运用题和论证题,可以帮助读者扩大知识面。习题部分内容比较开阔,便于选用,起到题库作用。书末并附有绝大部分习题的参考答案。水平测试题部分主要选自有关高校近年来招考硕士研究生的入学试题。这些试题并非都是难题,但却反映了对自动控制理论的基本要求。因此,对于有志于报考研究生的读者,或者愿意自我检查对控制理论掌握程度的读者,无疑都是有益的。

通过对本书的学习,我们希望并相信,读者一定会在定性分析能力,定量估算能力,综合运用能力,数、形结合能力以及初步联系工程实际能力等方面有所增强。这也是出版本书的主要目的。

本书由胡寿松主编,华东工学院曾向秋和王执铨主审。参加编写工作的作者计有:南京航空学院胡寿松(第一、二、三、十章),吴庆宪(第四、五章),陈兴盛(第六章),王永(第九、十一章),北京航空航天大学赵平(第七章),沈程智(第八章)。在本书的出版过程中,得到了航空航天部教材编审室的大力支持。北京航空航天大学孙虎章同志参与了本书编写纲要的讨论,提出了许多精辟的见解。马苏同志为本书精心描绘了全部插图。闵汉群同志关心并支持本书的编写和出版事宜,做了不少组织工作。对此,我们表示由衷地感谢。

由于编者水平所限,书中的内容和选题方面可能存在不少错误和不妥之处,恳请广大读者不吝指正。

编 者

目 录

第一章 自动控制的一般概念	1
1-1 自动控制与自动控制系统	1
1-2 自动控制方式	1
1-3 控制系统类型	3
例题和解答	3
习题	7
第二章 控制系统的数学模型	12
2-1 数学模型	12
2-2 傅里叶变换与拉普拉斯变换	13
2-3 线性系统的微分方程与传递函数	18
2-4 结构图与信号流图	22
2-5 控制系统的传递函数	24
例题和解答	26
习题	58
水平测试题	69
第三章 时域分析法	73
3-1 基本概念	73
3-2 稳定性分析	75
3-3 稳态误差计算	79
3-4 动态性能计算	83
例题和解答	90
习题	122
水平测试题	131
第四章 根轨迹法	137
4-1 根轨迹方程	137
4-2 绘制根轨迹的基本法则	139
4-3 参数根轨迹和根轨迹簇	142
4-4 延迟系统根轨迹的绘制	143
4-5 系统性能的分析 and 估算	145
例题和解答	147
习题	161
水平测试题	168
第五章 频率响应法	170
5-1 频率特性	170
5-2 典型环节的频率特性	172

5-3 开环频率特性曲线的绘制	176
5-4 频率域的稳定性判据	179
5-5 频率域性能指标	182
5-6 闭环频率特性	184
例题和解答	186
习题	205
水平测试题	218
第六章 线性系统的校正方法	223
6-1 引言	223
6-2 系统校正装置的分析法设计	228
6-3 系统校正装置的综合法设计	231
6-4 复合控制校正	234
例题和解答	235
习题	250
水平测试题	255
第七章 非线性系统理论	258
7-1 非线性系统的一般概念	258
7-2 相平面法基础	262
7-3 非线性系统的相平面分析	269
7-4 描述函数法基础	272
7-5 非线性系统的描述函数法分析	275
例题和解答	278
习题	298
水平测试题	302
第八章 采样系统理论	305
8-1 引论	305
8-2 采样系统的 z 变换	306
8-3 差分与差分方程	309
8-4 脉冲传递函数	311
8-5 采样系统的分析	314
8-6 采样系统的综合	318
例题和解答	321
习题	344
水平测试题	352
第九章 线性系统理论	356
9-1 数学模型的建立	356
9-2 状态方程的解	360
9-3 线性系统的可控性与可观性	363
9-4 稳定性理论	368
9-5 有理传递函数的实现	375

9-6 反馈控制与状态观测器	379
例题和解答	384
习题	408
水平测试题	418
第十章 最优控制理论	421
10-1 引言	421
10-2 最优控制中的变分法	423
10-3 极小值原理及其应用	431
10-4 线性调节器与跟踪器	438
10-5 离散系统的最优控制	443
10-6 动态规划法	445
例题和解答	448
习题	476
水平测试题	484
第十一章 状态估计与参数辨识	488
11-1 最优估计理论	488
11-2 卡尔曼滤波	490
11-3 系统辨识概念	493
例题和解答	498
习题	505
部分习题参考答案	507
参考文献	558

第一章 自动控制的一般概念

1-1 自动控制与自动控制系统

自动控制 利用控制装置自动地操纵机器设备或生产过程，使其具有希望的状态或功能。

自动控制系统 能够实现自动控制任务的系统。由控制器与控制对象组成。

控制对象 要求实现自动控制的机器、设备或生产过程。

控制器 对控制对象起控制作用的设备总体。

输出量 表现于控制对象或系统输出端，并要求实现自动控制的物理量。

输入量 作用于控制对象或系统输入端，并可使系统具有预定功能或预定输出的物理量。

扰动 破坏系统输入量和输出量之间预定规律的信号。

1-2 自动控制方式

开环控制 开环控制是指控制器与控制对象之间只有顺向作用而没有反向联系的控制过程。分按给定值操纵和按扰动补偿两种形式。

(1) 按给定值操纵 原理方框图如图 1-1 所示。信号由给定值至输出量单向传递。一定的给定值对应一定的输出量。系统的控制精度取决于系统事先的调整精度，对工作中受到的扰动或特性参数的变化无法自动补偿。结构简单，成本低廉，多用于系统结构参数稳定和扰动信号较弱的场合。如：自动售货机，自动报警器，自动化流水线及自动洗衣机等。

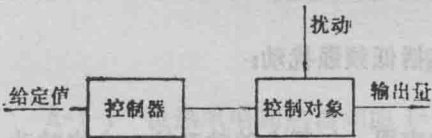


图1-1 按给定值操纵的原理方框图

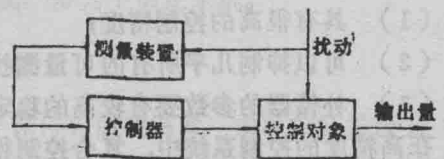


图1-2 按扰动补偿的原理方框图

(2) 按扰动补偿 原理方框图如图 1-2 所示。这种控制方式的原理是：利用对扰动信号的测量产生控制作用；以补偿扰动对输出量的影响。由于扰动信号经测量装置、控制器至对象的输出量是单向传递的，故属于开环控制方式。对于不可测扰动以及对对象、各功能部件内部参数变化给输出量造成的影响，系统自身无法控制。因此，控制精度有限。常用于工作机械的恒速控制（如稳定刀具转速）以及电源系统的稳压、稳频控制。

闭环控制 又称反馈控制。指控制器与控制对象之间既有顺向作用又有反向联系的控制过程。其主要特点为：

(1) 闭环负反馈控制，即按偏差调节；

(2) 抗扰性好，控制精度高；

(3) 系统参数应适当选择，否则可能不能正常工作。

闭环控制典型方框图如图 1-3 所示。

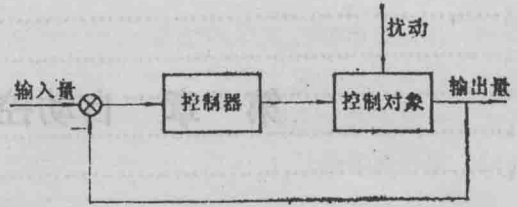


图1-3 闭环控制典型方框图

复合控制 复合控制是开环控制和闭环控制相结合的一种控制方式。它是在闭环控制回路的基础上，附加一个输入信号或扰动信号的顺馈通路，用来提高系统的控制精度。

顺馈通路通常由对输入信号的补偿器或对扰动信号的补偿器组成，分别如图 1-4 (a) 和 (b) 所示。复合控制的主要特点为：

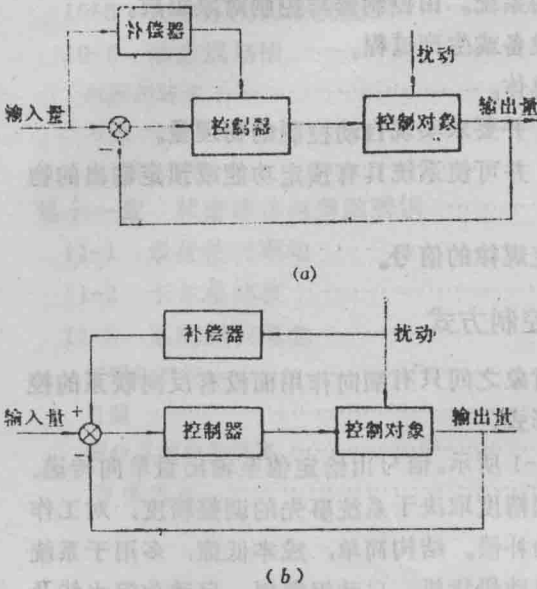


图1-4 复合控制典型方框图

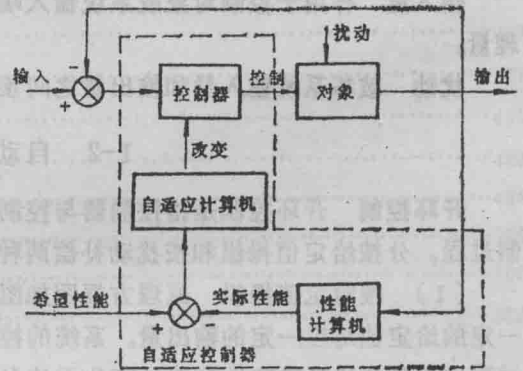


图1-5 自适应控制典型方框图

(1) 具有很高的控制精度；

(2) 可以抑制几乎所有的可量测扰动，其中包括低频强扰动；

(3) 补偿器的参数要有较高的稳定性。

在高精度的控制系统中，复合控制得到了广泛的应用。如平台随动系统，火炮随动系统，雷达站随动系统，飞机自动驾驶仪以及人造地球卫星控制系统等，均采用了复合控制方式。有关复合控制的原理及设计方法，见本书第六章。

最优控制 最优控制是使所选的系统性能指标达到最优的一种控制方式。系统性能指标是根据工作要求选定的。例如，对远距离航行的飞行器，选取燃料消耗量最小作为系统性能指标；对自动导航系统，则选取定位误差的均方值最小作为系统性能指标。最优控制的设计方法主要有极大（小）值原理和动态规划法，参见本书第十章。

自适应控制 自适应控制是能适应环境条件变化而自动调整系统参数或特性的一种控制方式。例如，在金属切削加工的自适应控制系统中，能按照切削材料和刀具的硬度，自动调整车速、进刀速度和切削用量，以达到最高工效。自适应控制主要用于空间技术和复杂生产过程控制中，其典型方框图如图 1-5 所示。

1-3 控制系统类型

自动控制系统有多种分类方法。例如，按信号传递路径，可分为开环、闭环与复合控制系统；按系统使用的能源，可分为机械、电气、液压和气动控制系统。此外，还可以按系统的功用和性能进行分类。

按系统功用分类 主要可分为以下三类。

(1) 镇定系统 又称调节器。系统输入量为常值，或者随时间缓慢地变化。系统的基本任务是当出现扰动时，使系统的输出量保持为恒定的希望值。如水位控制系统、恒压调节系统等。

(2) 随动系统 又称跟踪系统。系统的输入量随时间任意变化。系统的基本任务是使系统输出量以要求的精度跟随输入量变化。而系统输出量常是机械位置、速度或加速度。火炮控制系统、自动化仪表系统等属于这一类。

(3) 过程控制系统 又称程序控制系统。系统输入量按既定规律变化，系统的控制过程按预定的程序进行。系统的输出量常为温度、压力、流量等物理量。如石油化学工业中的反应塔、加热炉的自动温度控制等，均采用过程控制系统。

按系统性能分类 主要可分为以下几类。

(1) 线性与非线性系统 可用线性微分方程或差分方程描述的系统，称为线性系统。如果微分方程或差分方程的系数为常数，则称为线性定常系统；否则为线性时变系统。用非线性方程描述的系统，称为非线性系统。

(2) 连续与离散系统 若输入量和输出量都是时间连续函数的系统，称为连续系统。在连续系统中，信号在全部时间上都是已知的。若系统中信号有一处或一处以上为离散时间函数，称为离散系统。在离散系统中，信号仅定义在离散时间上。

(3) 确定与不确定系统 系统的结构、参数和输入量都是确定的、已知的系统，称为确定系统。反之，当系统本身的结构或参数以及作用于该系统的信号有不确定性或模糊性时，则系统为不确定系统。现实的工程系统，多为不确定系统。

例题和解答

A-1-1 设热水电加热器如图 1-6 所示。为了保持希望的温度，由温控开关接通或断开电加热器的电源。在使用热水时，水箱中流出热水并补充冷水。试说明系统工作原理并画出系统原理方框图。

解 在热水电加热器系统中，输入量为预置的希望温度（给定值），设为 T_* ($^{\circ}\text{C}$)；输出量为水箱的实际水温，设为 T ($^{\circ}\text{C}$)；控制对象为水箱；扰动信号主要是由于放出热水并注入冷水而产生的降温作用。

当 $T(^{\circ}\text{C}) = T_*(^{\circ}\text{C})$ 时，电加热器不工作，此时水箱中水温保持在希望温度上。当使用热水时，

由于扰动作用使实际水温下降，测温元件感受 $T(^{\circ}\text{C}) < T_*(^{\circ}\text{C})$ 的变化，并把这一温度变化转换为电信号使温控开关工作。温控开关接通电源，使水箱中水升温，直到 $T(^{\circ}\text{C})$

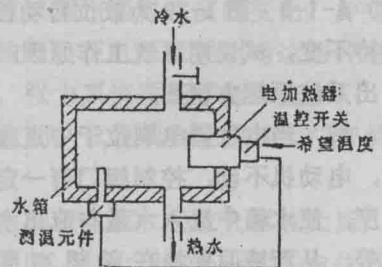


图1-6 电加热器系统

$=T_*(^{\circ}\text{C})$ 为止。系统原理方框图如图 1-7 所示。

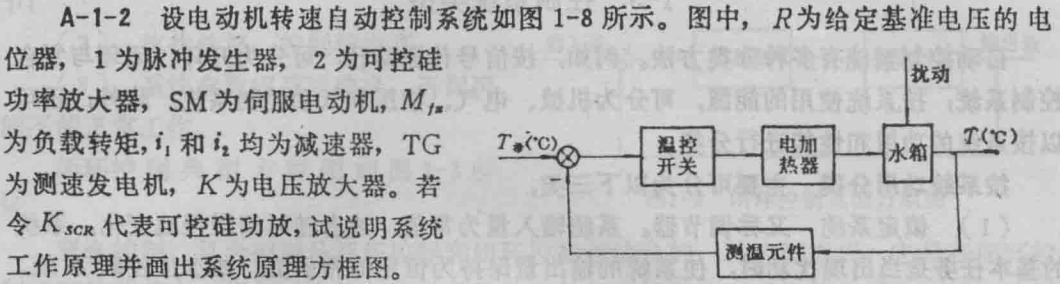


图1-7 电加热器系统原理方框图

解 电压 u_r 为给定的基准电压，其设置值与 SM 转速的预期值相对应。TG 测量 SM 在 M_{fz} 作用下的实际转速 n ，并输出相应电压 $u_{CF} = K_c n$ (K_c 为 TG 的传递系数)。若 $u_{CF} \neq u_r$ ，表明 SM 的实际转速不等于希望转速，偏差电压 $\Delta u = u_r - u_{CF} \neq 0$ ，经 K 输出 $u_1 = K \Delta u$ ，使 SM 转动，经 i_2 带动 R_w 滑臂，改变 u_p 的量值，进而控制可控硅功率放大器输出电压 u_a 的大小和极性，使电动机的转速 n 得到控制，直至恢复到预期值为止。系统原理方框图如图 1-9 所示。

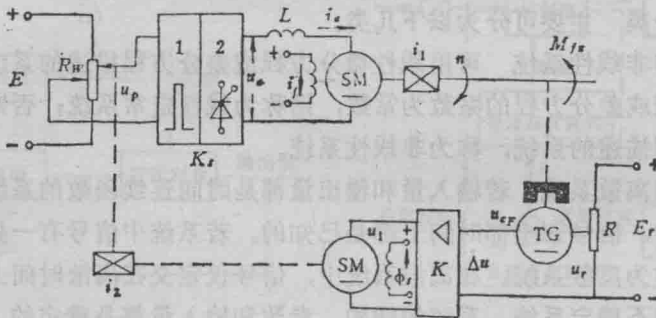


图1-8 电动机转速控制系统

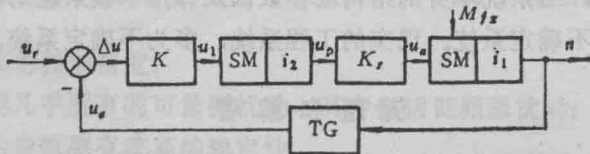


图1-9 电动机转速控制系统原理方框图

A-1-3 图 1-10 为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，并画出系统原理方框图。

解 当电位器电刷位于中点位置时，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。一旦流入水量或流出水量发生变化，水箱液面高度便相应变化。例如，当液面升高时，浮子位置亦相应升

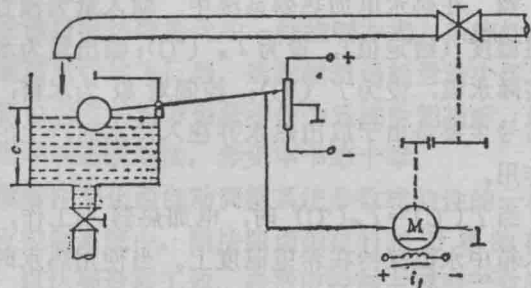


图1-10 液位自动控制系统

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，使进入水箱的流量减少。此时，水箱液面下降，浮子位置相应下降，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，若水箱液位下降，则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 。

液位自动控制系统原理方框图如图1-11所示。

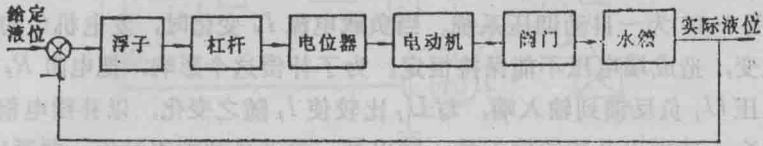


图1-11 液位自动控制系统原理方框图

A-1-4 图1-12表示一个张力控制系统。当送料速度在短时间内突然变化时，试说明控制系统的作用情况。

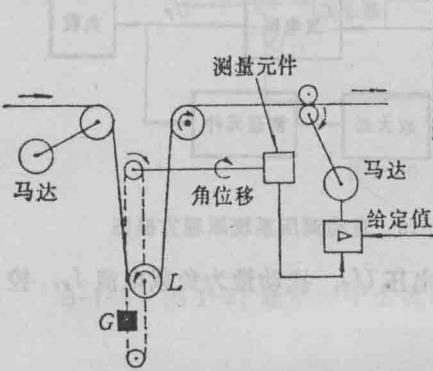


图1-12 张力控制系统

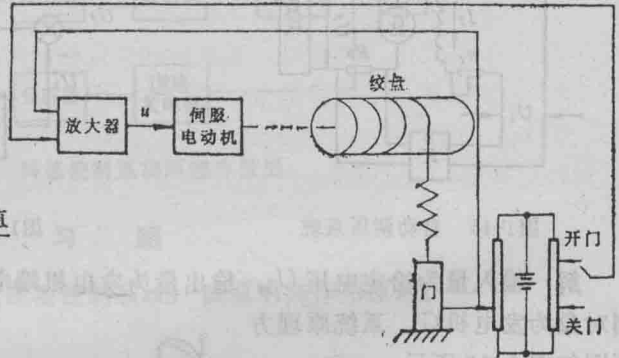


图1-13 大门自动开关控制系统

解 当给定值参考输入一定时，送料速度为某一要求的数值，此时测量头的重锤 G 与轮 L 受力平衡，因此测量轴无角位移，系统处于平衡状态。

若送料速度在短时间内发生突然变化，如电源波动引起马达转速变化、所输送的带料厚度不均匀等，从而使带料在输送过程中的张力发生改变，以至破坏了重锤 G 与轮 L 的受力平衡，于是测量轴产生角位移，通过测量元件直接测出送料速度的变化，并转换为相应的电压值反馈给放大器，通过放大器比较后，输出校正电压以控制马达的转速，从而改变送料速度，直到送料速度恢复为要求的数值，张力系统重新平衡为止。

A-1-5 图1-13是仓库大门自动控制原理示意图。试说明自动控制大门开关的工作原理并画出系统原理方框图。

解 当合上开门开关时，电位器桥式测量电路产生偏差电压，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，直到桥式测量电路达到平衡，电动机停止转动，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，带动绞盘使大门关闭，从而实现了远距离自动控制大门开闭的要求。

大门自动开闭控制系统的原理方框图如图 1-14 所示。

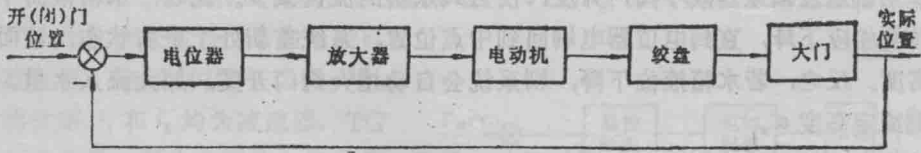


图1-14 大门自动开闭系统原理方框图

A-1-6 图 1-15 为一自动调压系统。当负载电流 I_F 变化时，发电机 G 的电枢绕组压降也随之改变，造成端电压不能保持恒定。为了补偿这个影响，把电阻 R_f 上的压降经放大后的电压 U_1 负反馈到输入端，与 U_f 比较使 I_f 随之变化，以补偿电枢压降，使端电压维持不变。试指出系统的输入量、输出量、扰动量和控制对象，并画出系统原理方框图。

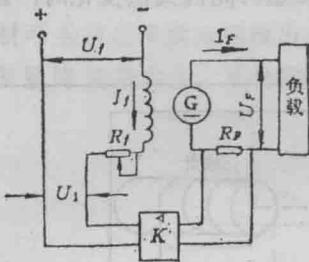


图1-15 自动调压系统

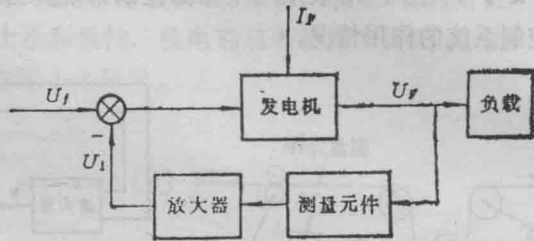


图1-16 自动调压系统原理方框图

解 输入量为给定电压 U_f ，输出量为发电机端电压 U_F ，扰动量为负载电流 I_F ，控制对象为发电机 G。系统原理方框图如图 1-16 所示。

A-1-7 图 1-17 是一个带有测速反馈的位置随动系统。图中，1 为控制电位器，2 为反馈电位器，K 为电压放大器，SM 为电动机，TG 为测速发电机。试画出系统原理方框图。

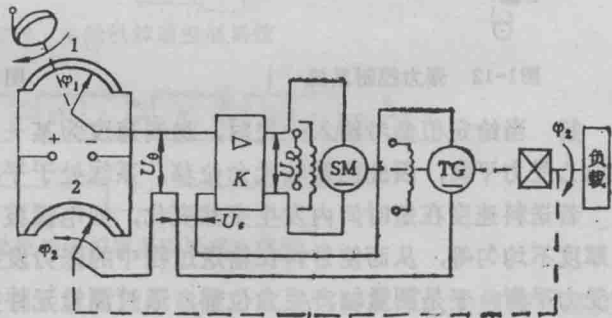


图1-17 位置随动系统

解 电位器 1 和 2 组成了系统的测量比较电路。测速发电机电压 U_e 极性与 U_D 相反，用来改善系统的性能。整个系统的原理方框图如图 1-18 所示。



图1-18 位置随动系统原理方框图

A-1-8 图 1-19 为发电机-电动机组转速负反馈控制系统。图中, U_i 为输入量, 转速 n 为输出量, K_f 表示电压放大器, G 为发电机, M 为电动机, TG 为测速发电机。若不考虑扰动量, 试画出系统的原理方框图。

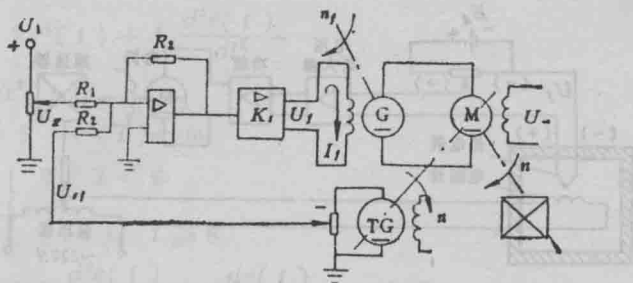


图1-19 转速控制系统

解 系统原理方框图如图 1-20 所示。



图1-20 转速控制系统原理方框图

习 题

B-1-1 图 1-21 表示一个水位自动控制系统, 试说明其作用原理。

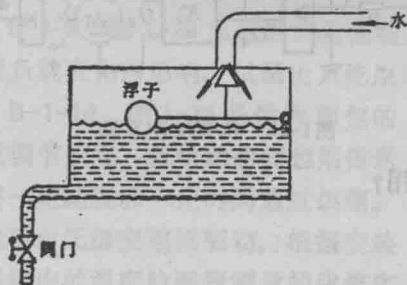


图1-21 水位自动控制系统

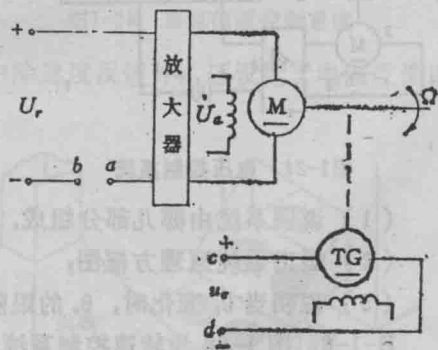


图1-22 速度控制系统

B-1-2 图 1-22 为电动机速度控制系统原理示意图。图中, U_r 为给定参考电压, M 为电动机, U_a 为 M 的电枢电压, Ω 为 M 的输出轴角速度, TG 为测速发电机, U_o 为 TG 的输出电压。要求:

- (1) 将该速度控制系统接成负反馈系统;
- (2) 画出系统原理方框图。

B-1-3 图 1-23 是恒温箱的温度自动控制系统。要求:

- (1) 画出系统的原理方框图;
- (2) 当恒温箱的温度变化时, 试述系统的调节过程;
- (3) 指出系统属于哪一类型?

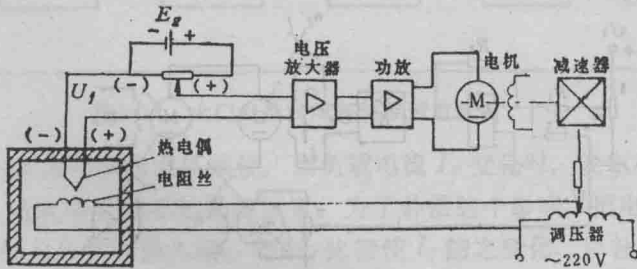


图1-23 温度控制系统

B-1-4 图 1-24 为发电机电压自动控制系统。图中, 1 为发电机, 2 为减速器, 3 为电动机, 4 为电压放大器, 5 为可调电位器。试问:

- (1) 该系统由哪几部分组成, 各起什么作用?
- (2) 系统中有哪些可能的扰动量?
- (3) 当输出电压降低时, 系统的调节过程如何?
- (4) 该系统属于何种类型?

B-1-5 图 1-25 为位置随动系统, 输入量为转角 θ_i , 输出量为转角 θ_o 。 R_p 为圆盘式滑动电位器, K 为功率放大器, SM 为何服电动机。要求:

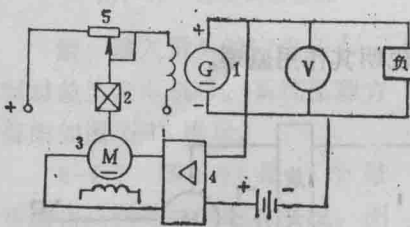


图1-24 电压控制系统

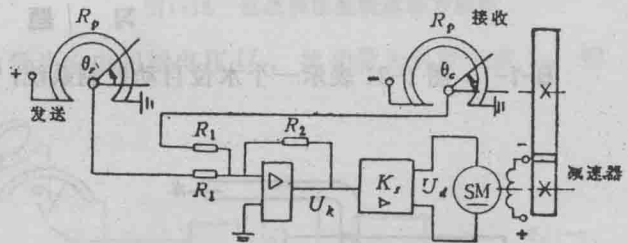


图1-25 位置随动系统

- (1) 说明系统由哪几部分组成, 各起什么作用?
- (2) 画出系统原理方框图;
- (3) 说明当 θ_i 变化时, θ_o 的跟随过程。

B-1-6 图 1-26 为转速控制系统; U_i 为输入量, E_f 为发电机电势, 转速 n 为输出量。试画出系统原理方框图。

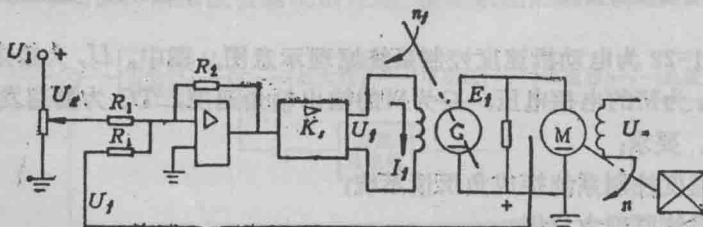


图1-26 转速控制系统

B-1-7 设描述系统的微分方程如下, 其中 $c(t)$ 为输出量, $r(t)$ 为输入量, 试判定它们属于何种类型?

$$(1) c(t) = 3r(t) + 6 \frac{dr(t)}{dt} + 5 \int_{-\infty}^t r(\lambda) d\lambda$$

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

$$(3) c(t) = r^2(t)$$

$$(4) c(t) = 5 + r(t) \cos \omega t$$

$$(5) c(t) = \begin{cases} 0, & t < 6 \\ r(t), & t \geq 6 \end{cases}$$

$$(6) \frac{d^3c(t)}{dt^3} + 3 \frac{d^2c(t)}{dt^2} + 6 \frac{dc(t)}{dt} + 8c(t) = r(t)$$

$$(7) t \frac{dc(t)}{dt} + c(t) = r(t) + 3 \frac{dr(t)}{dt}$$

B-1-8 图 1-27 为温度自动控制系统, 改变 a 点位置可以改变恒温温度。试说明该系统的工作原理和性能, 并指出它属于何种类型?

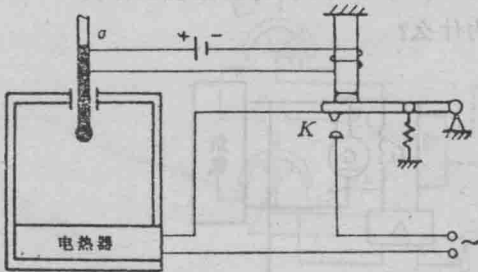


图 1-27 温度控制系统

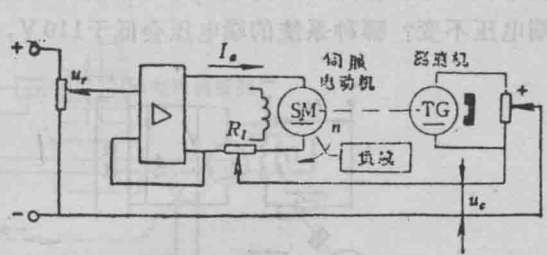


图 1-28 直流恒速控制系统

B-1-9 图 1-28 为直流恒速控制系统。系统中除速度反馈外, 还设置了电流反馈以补偿负载变化的影响。试画出系统原理方框图。

B-1-10 图 1-29 是烘烤面包的速度调节装置。待烘烤的面包用传送带按一定速度和一定时间通过烘箱。传送带由无级变速器驱动, 根据安装在烘箱内的温度检测器测量的烘箱实际温度, 通过控制器可以调整传送带的速度。若烘箱温度过高, 传送带速度应加快, 反之, 则应减慢, 以保证烘烤面包的质量。试说明传送带速度自动控制的工作原理, 并绘制相应的原理方框图。

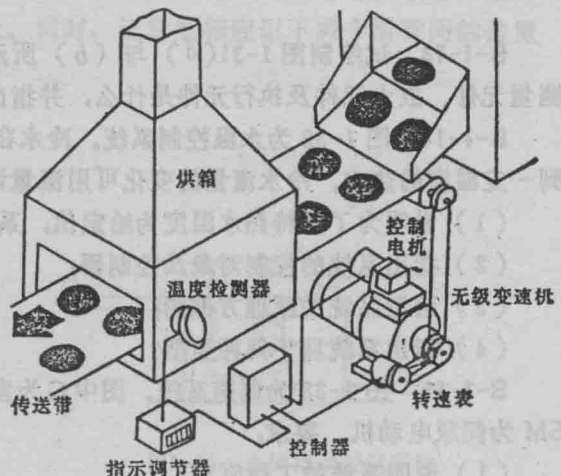


图 1-29 烘烤面包的速度调节装置

B-1-11 图 1-30 是一种用电流控制的气动调节阀, 用来控制液体的

流量。图中，与杆固连的线圈内有一块永久磁铁，当电流通过线圈时，便产生使杆绕支点转动的力矩，从而带动挡板关闭或打开喷嘴。当喷嘴被关闭时，进入膜片上腔的空气压力将增大，从而将膜片下压，并带动弹簧、阀杆一起下移；反之，当喷嘴被打开时，由于空气从喷嘴跑出，进入膜片上腔的空气压力将减小，膜片连同弹簧、阀杆便一起上升。此外，阀杆上下移动的同时，通过反馈联动机构将阀杆位移反馈回去，并由与杆相连弹簧产生一个平衡力矩。这样，通过电流控制阀杆位移，从而改变阀门开度，达到控制液体流量的目的。要求：

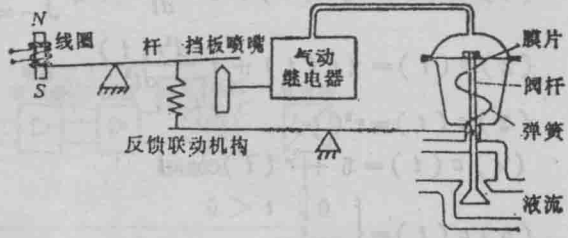


图1-30 气动调节阀控制装置

(1) 确定该控制装置的输入量、输出量、控制对象和扰动量；

(2) 绘出其原理方框图；

(3) 指出该装置属于何种类型的系统？

B-1-12 图 1-31(a) 和 (b) 均为自动调压系统。假设空载时，(a) 与 (b) 的发电机端电压相同，均为 110 V。试问带上负载后，(a) 与 (b) 哪种系统能保持 110 V 端电压不变？哪种系统的端电压会低于 110 V，为什么？

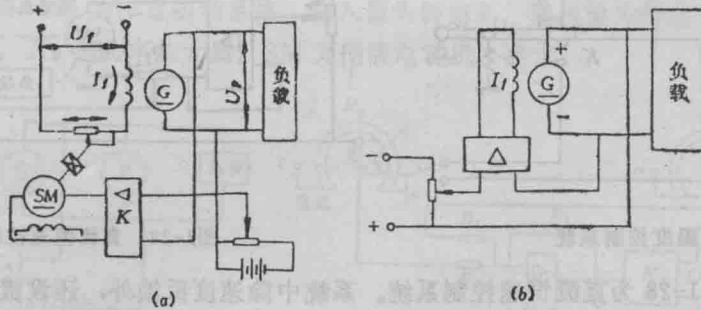


图1-31 自动调压系统

B-1-13 试绘制图 1-31(a) 与 (b) 所示系统的原理方框图，分别说明各系统的测量元件、放大元件及执行元件是什么，并指出各系统的输入量、输出量和控制对象。

B-1-14 图 1-32 为水温控制系统。冷水在热交换器中由通入的蒸汽加热，从而得到一定温度的热水。冷水流量的变化可用流量计测得。要求：

(1) 说明为了保持热水温度为给定值，系统是如何工作的？

(2) 指出系统的控制对象及控制器；

(3) 绘制系统的原理方框图；

(4) 指出系统属于何种类型？

B-1-15 图 1-33 为调速系统。图中 G 为发电机，M 为电动机，TG 为测速发电机，SM 为伺服电动机。要求：

(1) 说明系统的工作原理；

(2) 绘制系统原理方框图。