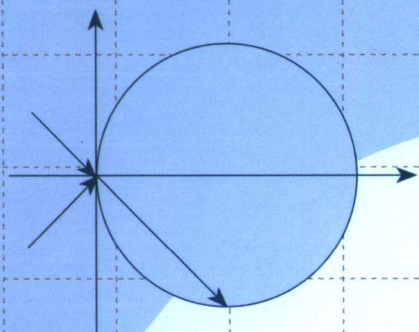
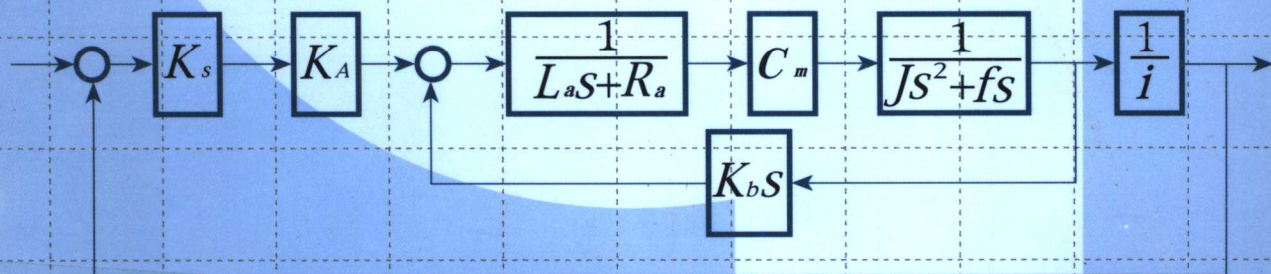


胡寿松 主 编



自动控制原理 习题集

第二版



科学出版社
www.sciencep.com

7213-44
1/1575

自动控制原理习题集

第二版

胡寿松 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书为《自动控制原理》(第四版)一书的学习指导性配套用书。书中不但精辟地总结了自动控制理论的主要内容,列举了各种典型例题的求解方法,组织了丰富的各类习题,而且列选了有代表性的硕士研究生入学试题及详细解答。书末附有习题参考答案。

全书共编入例题 231 道,习题 417 道,水平测试题 142 道,考研全真试题及解答 210 道,共计 1000 道题。

本书可作为控制理论手册、解题指南、题库及报考研究生必读参考书,亦可作为自动控制、工业自动化、电气自动化、仪表及测试、机械、动力等专业的辅助教材。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理习题集/胡寿松主编. —2 版. —北京:科学出版社,2003

ISBN 7-03-011111-7

I. 自… II. 胡… III. 自动控制理论-习题 IV. TP13-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 047363 号

责任编辑:李淑兰 马长芳/责任校对:柏连海

责任印制:刘秀平/封面设计:王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

西 源 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

1990 年 10 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2003 年 8 月第 二 版 印张: 46 3/4

2003 年 8 月第七次印刷 字数: 1 095 000

印数: 26 001—31 000

定价: 58.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)

前 言

本书是与胡寿松主编的《自动控制原理》(第四版)(科学出版社,2001)相配套的学习指导性教学用书。为了满足广大读者学习和掌握自动控制技术的需求,我们对1990年出版的《自动控制原理习题集》进行了全面修订,力图通过对基本控制理论的提要性归纳、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掌握自动控制理论的基本方法,达到巩固基础、提高能力的目的。近年来,许多大学毕业生有志于进一步深造,报考了硕士研究生,但都苦于缺乏指导性学习材料。为此,我们精选了全国若干所进入“211工程”重点大学近数年的硕士研究生“自动控制原理”入学试题,并作了精心的解答,作为本书内容的一部分。这一举措,在全国范围内,当属首次。

本书体系和符号与《自动控制原理》(第四版)一书相一致。各章结构基本相同,计有基本理论,例题和解答,习题,水平测试题和考研全真导引试题及解答五部分。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,起到了控制理论手册的作用;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讨论题,可以帮助读者扩大知识面;习题部分内容开阔,便于选用,起到题库作用,书末附有参考答案;水平测试题多注重技巧性,有助于读者自我检查对控制理论掌握的深度;考研全真导引则注重典型性、技巧性、综合性及逻辑性,属于一种实战性训练与提高。

我们相信,通过学习本书,读者一定會在定性分析能力,定量计算能力,综合运用能力,数、形结合能力等方面得到极大提高。

本书由胡寿松教授主编,参加编撰工作的还有:李言俊教授、吴庆宪教授、沈程智教授以及刘亚博士。在本书编写过程中,得到了夏良正、吴晓蓓、王执铨、王永、赵平、陈兴盛、王凤茹、刘春生、丁勇、朱其新、侯霞、徐德友、肖迪、沈英、马苏等的支持和帮助,在此深致谢忱。

对于本版中存在的错误和不妥之处,恳请广大读者继续不吝指正。

胡寿松

2002年8月

目 录

前言

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	8
第二章 控制系统的数学模型	14
2-1 数学模型	14
2-2 线性系统的微分方程与传递函数	15
2-3 结构图与信号流图	19
2-4 控制系统的传递函数	21
例题和解答	23
习题	56
水平测试题	66
考研全真导引	70
第三章 时域分析法	84
3-1 基本概念	84
3-2 稳定性分析	86
3-3 稳态误差计算	90
3-4 动态性能计算	94
例题和解答	101
习题	132
水平测试题	141
考研全真导引	146
第四章 根轨迹法	168
4-1 根轨迹方程	168
4-2 绘制根轨迹的基本法则	170
4-3 参数根轨迹和根轨迹簇	172
4-4 延迟系统根轨迹的绘制	173
4-5 系统性能的分析 and 估算	175
例题和解答	177
习题	190

水平测试题	198
考研全真导引	199
第五章 频率响应法	230
5-1 频率特性	230
5-2 典型环节的频率特性	232
5-3 开环频率特性曲线的绘制	236
5-4 频率域的稳定性判据	239
5-5 频率域性能指标	242
5-6 闭环频率特性	243
例题和解答	245
习题	264
水平测试题	276
考研全真导引	280
第六章 线性系统的校正方法	316
6-1 引言	316
6-2 系统校正装置的分析法设计	320
6-3 系统校正装置的综合法设计	323
6-4 复合控制校正	327
例题和解答	328
习题	338
水平测试题	343
考研全真导引	345
第七章 非线性系统理论	367
7-1 非线性系统的一般概念	367
7-2 相平面法基础	370
7-3 非线性系统的相平面分析	378
7-4 描述函数法基础	380
7-5 非线性系统的描述函数法分析	383
例题和解答	386
习题	406
水平测试题	411
考研全真导引	413
第八章 采样系统理论	445
8-1 引论	445
8-2 采样系统的 z 变换	446
8-3 差分与差分方程	449
8-4 脉冲传递函数	450
8-5 采样系统的分析	454

8-6 采样系统的综合	458
例题和解答	461
习题	482
水平测试题	488
考研全真导引	491
第九章 线性系统理论	514
9-1 系统数学描述中的常用基本概念	514
9-2 线性系统的可控性与可观测性	521
9-3 线性定常系统的线性变换	525
9-4 线性定常系统的反馈控制及状态观测器	531
9-5 稳定性理论	535
例题和解答	543
习题	574
水平测试题	582
考研全真导引	585
第十章 最优控制理论	622
10-1 引言	622
10-2 最优控制中的变分法	624
10-3 极小值原理及其应用	632
10-4 线性调节器与跟踪器	639
10-5 离散系统的最优控制	643
10-6 动态规划法	645
例题和解答	648
习题	675
水平测试题	683
部分习题参考答案	687
参考文献	738

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性能。

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所组成。

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控制装置总体。

输出量 位于控制系统输出端,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。它可分为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,对工作过程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,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。

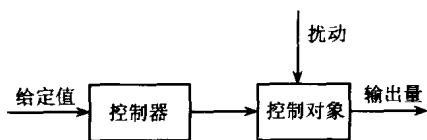


图 1-1 按给定值操纵的开环控制原理方框图

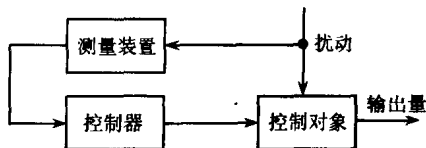


图 1-2 按扰动补偿的开环控制原理方框图

(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及功能部件内部参数变化给输出量造成的影响,系统自身无法克服。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

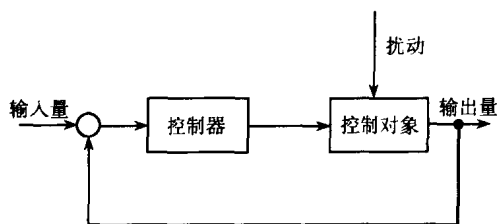


图 1-3 闭环控制典型原理方框图

- (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。

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

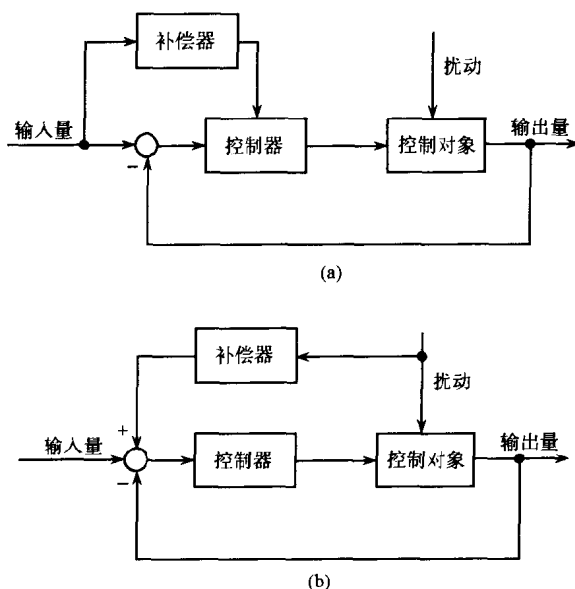


图 1-4 复合控制典型原理方框图

- (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极值的一种控制方式。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,选取燃料消耗量作为系统性

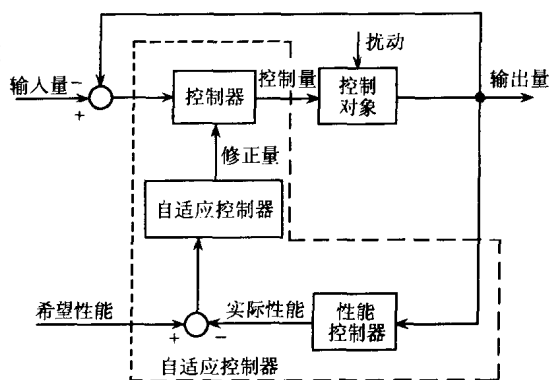


图 1-5 自适应控制典型原理方框图

能指标;对自动导航系统,选取定位误差的均方值作为系统性能指标。最优控制的设计方法主要有极大(小)值原理法和动态规划法,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,其典型原理方框图如图 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。系统的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 主要分为以下三类:

(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) 确定性与不确定性系统。系统的结构、参数和输入量都是确定的、已知的系统,称为确定性系统。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,则系统为不确定性系统。现实的工程系统,多为不确定性系统。

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 $T_{\text{希}}(^{\circ}\text{C})$;输

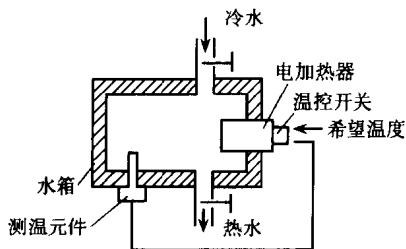


图 1-6 电加热器系统

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

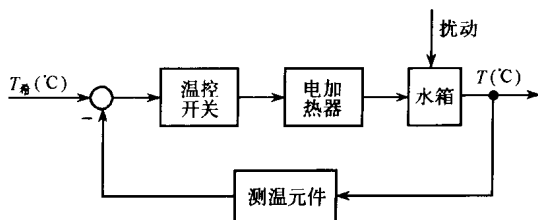


图 1-7 电加热器系统原理方框图

A-1-2 设电动机转速自动控制系统如图 1-8 所示, 图中, R_w 为给定基准电压的电位器, 1 为脉冲发生器, 2 为可控硅功率放大器, SM 为伺服电动机, M_{fx} 为负载转矩, i_1 和 i_2 均为减速器, TG 为测速发电机, K 为电压放大器。若令 K_{SCR} 代表可控硅功率放大器, 试说明系统工作原理并画出系统原理方框图。

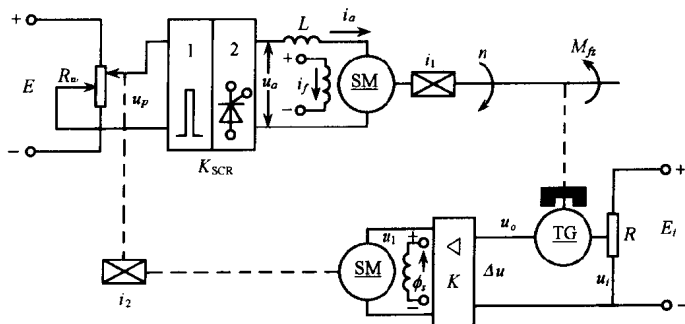


图 1-8 电动机转速控制系统

解 电压 u_i 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_{fx} 作用下的实际转速 n , 并输出相应电压 $u_o = K_c n$ (K_c 为 TG 的传递系数)。若 $u_o \neq u_i$, 表明 SM 的实际转速不等于希望转速, 偏差电压 $\Delta u = u_i - u_o \neq 0$, 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。

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 保持不变, 试说明系统工作原理, 并画出系统原理方框图。

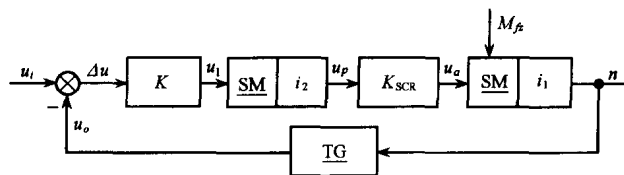


图 1-9 电动机转速控制系统原理方框图

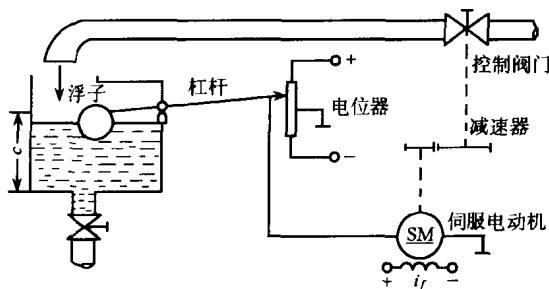


图 1-10 液位自动控制系统

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。

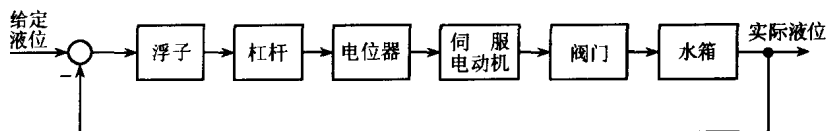


图 1-11 液位自动控制系统原理方框图

A-1-4 图 1-12 表示一个张力控制系统示意图。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。

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突然发生变化,如电源波动引起伺服电动机转速变化、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

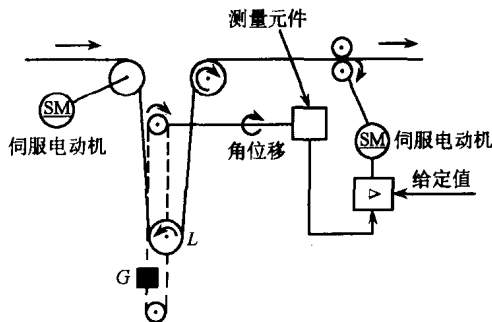


图 1-12 张力控制系统

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,并变换为相应的电压值反馈给放大器,通过放大器比较后,输出校正电压控制伺服电动机的转速,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系统原理示意图,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。

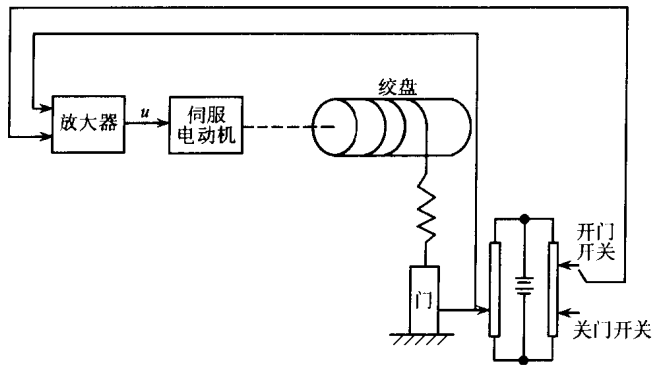


图 1-13 大门自动开关控制系统

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。

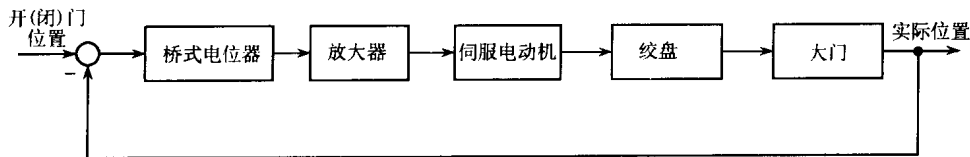


图 1-14 大门自动开闭系统原理方框图

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。

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 为伺服电动机, TG 为测速发电机。试画出系统原理方框图。

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_c 极性与 U_o 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。

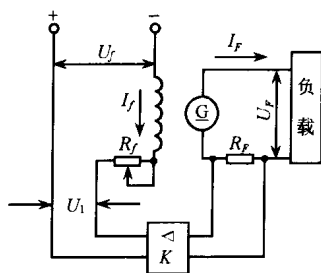


图 1-15 自动调压系统

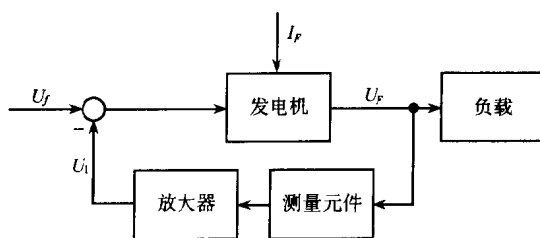


图 1-16 自动调压系统原理方框图

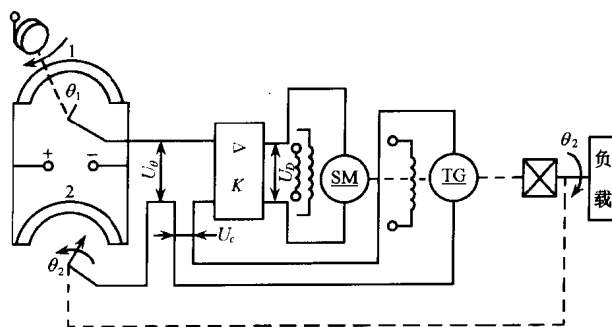


图 1-17 位置随动系统

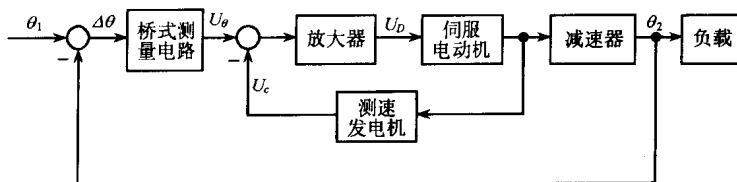


图 1-18 位置随动系统原理方框图

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_g 为输入量,转速 n 为输出量, K_s 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。

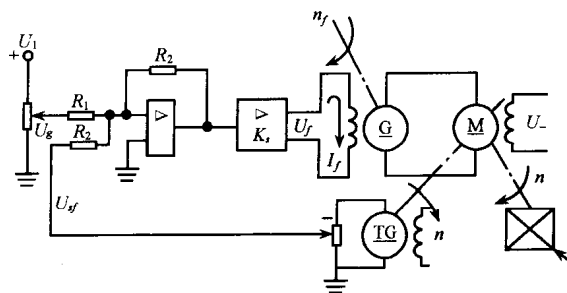


图 1-19 转速控制系统

解 系统原理方框图如图 1-20 所示。

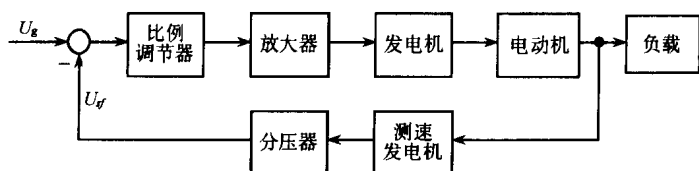


图 1-20 转速控制系统原理方框图

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。

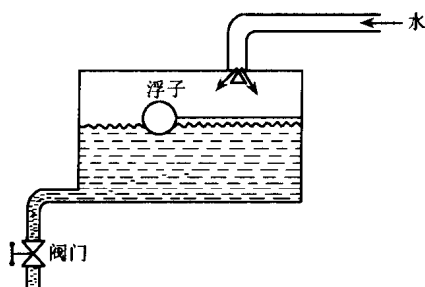


图 1-21 水位自动控制系统

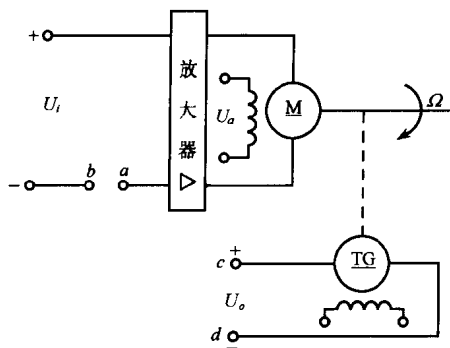


图 1-22 速度控制系统

B-1-2 图 1-22 为电动机速度控制系统,图中, U_i 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。

- (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。

- (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?

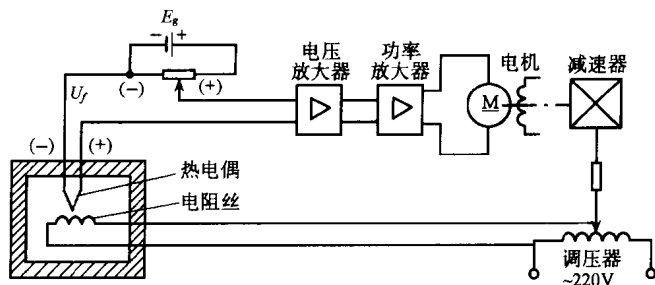


图 1-23 温度控制系统

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。

- (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?

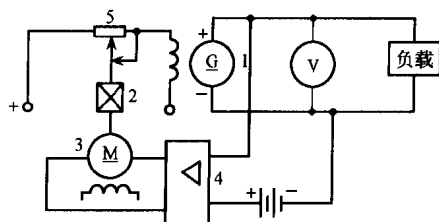


图 1-24 电压控制系统

B-1-5 图 1-25 为位置随动系统,图中,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_r 为功率放大器, SM 为伺服电动机。

- (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。

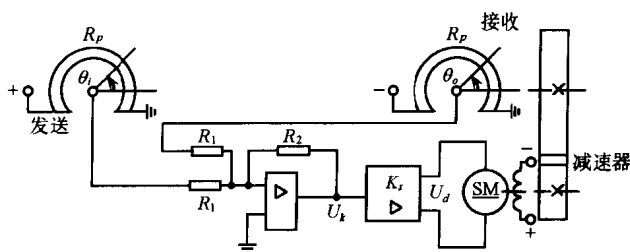


图 1-25 位置随动系统

B-1-6 图 1-26 为转速控制系统,图中, U_g 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。

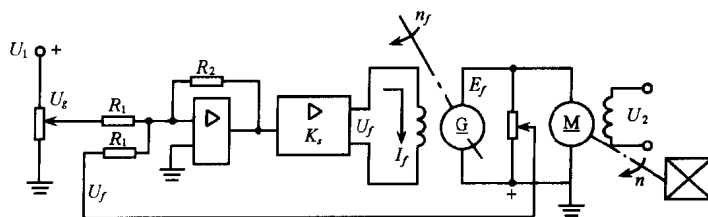


图 1-26 转速控制系统

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?

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

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

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

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

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

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

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

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?

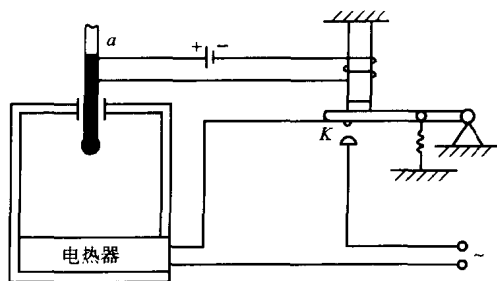


图 1-27 温度控制系统

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。

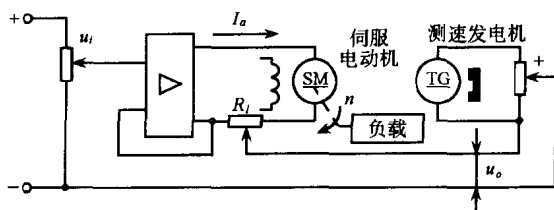


图 1-28 直流恒速控制系统

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。传送带由无级变速机驱动, 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。

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,