

可下载教学资料

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

高等学校教材
电子信息

自动控制原理 (第二版)

习题全解及MATLAB实验

胡晓倩 杨佳 张莲 余成波 编著

清华大学出版社

高等学校教材

电子信息

自动控制原理（第二版） 习题全解及MATLAB实验

胡晓倩 杨佳 张莲 余成波 编著

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书是配合由清华大学出版社出版、余成波等编著的《自动控制原理》(第二版)教材编写的学习指导性配套用书。在编写过程中,此书以这本教科书的内容、结构体系、章节顺序为蓝本,并对该书的习题进行了全解。同时,引入 MATLAB 作为系统分析与设计的实验工具。

全书内容共 8 章,每章由两个部分组成:教材习题同步解析和 MATLAB 实验。

本书可作为高等工科院校自动化及相关专业的控制理论课程的学习、解题指南及实验指导用书,也可作为研究生入学考试复习参考书,同时可供教师教学参考。

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 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理(第二版)习题全解及 MATLAB 实验/胡晓倩等编著. —北京:清华大学出版社,2012.4
(高等学校教材·电子信息)

ISBN 978-7-302-26135-3

I. ①自… II. ①胡… III. ①自动控制理论—计算机辅助计算—软件包, MATLAB—高等学校—
教学参考资料 IV. ①TP13 ②TP391.75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 135336 号

责任编辑:魏江江 薛 阳

封面设计:常雪影

责任校对:李建庄

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:13.25 字 数:331千字

版 次:2012年4月第1版 印 次:2012年4月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:22.00元

产品编号:035986-01

编审委员会成员

高等学校教材·电子信息

东南大学	王志功	教授
南京大学	王新龙	教授
南京航空航天大学	王成华	教授
解放军理工大学	邓元庆	教授
	刘景夏	副教授
上海大学	方勇	教授
上海交通大学	朱杰	教授
	何晨	教授
华中科技大学	严国萍	教授
	朱定华	教授
华中师范大学	吴彦文	教授
武汉理工大学	刘复华	教授
	李中年	教授
宁波大学	蒋刚毅	教授
天津大学	王成山	教授
	郭维廉	教授
中国科学技术大学	王煦法	教授
	郭从良	教授
	徐佩霞	教授
苏州大学	赵鹤鸣	教授
山东大学	刘志军	教授
山东科技大学	郑永果	教授
东北师范大学	朱守正	教授
沈阳工业学院	张秉权	教授
长春大学	张丽英	教授
吉林大学	林君	教授
湖南大学	何怡刚	教授
长沙理工大学	曾喆昭	教授
华南理工大学	冯久超	教授
西南交通大学	冯全源	教授
	金炜东	教授
重庆工学院	余成波	教授

重庆通信学院
重庆大学
重庆邮电学院

西安电子科技大学

西北工业大学
集美大学
云南大学
东华大学

曾凡鑫 教授
曾孝平 教授
谢显中 教授
张德民 教授
彭启琮 教授
樊昌信 教授
何明一 教授
迟 岩 教授
刘惟一 教授
方建安 教授

改革开放以来,特别是党的十五大以来,我国教育事业取得了举世瞩目的辉煌成就,高等教育实现了历史性的跨越,已由精英教育阶段进入国际公认的大众化教育阶段。在质量不断提高的基础上,高等教育规模取得如此快速的发展,创造了世界教育发展史上的奇迹。当前,教育工作既面临着千载难逢的良好机遇,同时也面临着前所未有的严峻挑战。社会不断增长的高等教育需求同教育供给特别是优质教育供给不足的矛盾,是现阶段教育发展面临的基本矛盾。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2001年8月,教育部下发了《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》,提出了十二条加强本科教学工作提高教学质量的措施和意见。2003年6月和2004年2月,教育部分别下发了《关于启动高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作的通知》和《教育部实施精品课程建设提高高校教学质量和人才培养质量》文件,指出“高等学校教学质量和教学改革工程”是教育部正在制定的《2003—2007年教育振兴行动计划》的重要组成部分,精品课程建设是“质量工程”的重要内容之一。教育部计划用五年时间(2003—2007年)建设1500门国家级精品课程,利用现代化的教育信息技术手段将精品课程的相关内容上网并免费开放,以实现优质教学资源共享,提高高等学校教学质量和人才培养质量。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上;精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合新世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻

性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。首批推出的特色精品教材包括:

(1) 高等学校教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 高等学校教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 高等学校教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 高等学校教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 高等学校教材·信息管理与信息系统。

(6) 高等学校教材·财经管理与计算机应用。

清华大学出版社经过三十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会
E-mail: weijj@tup. tsinghua. edu. cn

“自动控制原理”课程是高等工科院校电气信息类专业的一门重要的技术基础课程,其应用领域非常广泛,几乎遍及电类及非电类的各个工程技术学科。随着科学的进步,特别是近年来高集成度与高速数字技术的飞跃发展,新材料、新工艺和新器件的不断出现,使各技术学科领域和现代化工业的面貌发生了深刻和巨大的变化。当今科技革命的特征是以信息技术为核心,促使社会由电气化时代进入信息时代,并以知识密集产业作为主体产业。

本书是配合清华大学出版社出版、余成波等编著《自动控制原理》(第2版)教材编写的学习指导性配套用书,在编写过程中,此书是以这本教科书的内容、结构体系、章节顺序为蓝本,并对该书的习题进行了全解。同时,引入 MATLAB 作为系统分析与设计的实验工具。全书内容共 8 章,每章由两个部分组成:教材习题同步解析、MATLAB 实验指导等部分。

本书在对教材习题同步解析的解答过程中,除了有传统辅导书的解题过程外,还讨论了各种典型题的求解方法,内容丰富,注重解题思路和一题多解,注重引导学生思维,培养学生科学的思维方法,掌握解题的思维技巧及相关原理。MATLAB 实验以专题的形式出现,每个实验都给出了相关原理的介绍和所用的 MATLAB 函数,程序都用 M 文件的形式给出。

本书由余成波教授统稿,全书由胡晓倩、杨佳、张莲、余成波等主编。参与本书编写工作的还有李彦林、李洪兵、沈钰、吴佳伟、周召敏、唐海燕、张一萌、刘峪暄、张进、余婷、闫俊辉、熊飞、李芮、余磊、谭俊、何强等。

本书可作高等工科院校自动化及相关专业的控制理论解题指南、课程的学习及实验用指导书,也适应于参加研究生入学考试复习参考书,也可供教师教学参考。

书中不妥和不完善之处在所难免,敬请赐教。

编 者

2011 年 12 月于重庆理工大学

第 1 章 控制系统的基本概念	1
教材习题同步解析	1
第 2 章 自动控制系统的数学模型	8
教材习题同步解析	8
MATLAB 实验指导	32
第 3 章 控制系统的时域分析法	37
教材习题同步解析	37
MATLAB 实验指导	50
第 4 章 根轨迹法	55
教材习题同步解析	55
MATLAB 实验指导	83
第 5 章 频率特性法	88
教材习题同步解析	89
MATLAB 实验指导	113
第 6 章 控制系统的校正	119
教材习题同步解析	120
第 7 章 非线性控制系统	148
教材习题同步解析	148
MATLAB 实验指导	170
第 8 章 离散控制系统的分析和综合	175
教材习题同步解析	175
MATLAB 实验指导	193

控制系统的基本概念

本章介绍了自动控制的定义,自动控制系统的组成、工作原理和相关的常用术语。比较了开环控制系统和闭环控制系统,并进一步说明了其优缺点和适用范围,介绍了典型闭环系统的功能框图。需要重点掌握负反馈在自动控制系统中的作用,闭环系统(或反馈系统)的特征是:采用负反馈,系统的被控变量对控制作用有直接影响,即被控变量对自身有控制作用。

在分析系统的工作原理时,确定控制系统的被控对象、控制量和被控制量,根据控制系统的工作原理及各元件信号的传送方向,可画出控制系统的职能方框图。方框图是分析控制系统的基础。本章的难点在于由系统的物理结构图或工作原理示意图绘出系统元件框图。

按照不同的分类方法可以将自动控制系统分成不同的类型,实际系统可能是几种方式的组合。

对自动控制系统的基本要求包括:系统首先必须是稳定的;系统的稳态控制精度要高,即稳态误差要小;系统的动态性能要好,即系统的响应过程要平稳,响应过程要快。这些要求可归纳成稳、准、快三个字。

教材习题同步解析

1.1 试列举几个日常生活中的开环控制和闭环控制系统的例子,并简述其工作原理。

解: 1. 开环控制系统

- (1) 最普通的热得快,加热到一定程度提醒断电,但不会自主断电,需要人为去断电。
- (2) 电风扇,人工转换电扇档位实现转速的控制,但不能根据环境温度自动调节。
- (3) 洗衣机,洗衣人根据经验,预先设定洗涤、漂洗等洗衣程序,洗衣机根据设定的程序完成洗衣过程。系统的被控制量(输出量)没有通过任何装置反馈回输入端,对系统的控制不起作用。

2. 闭环控制系统

- (1) 饮水机或电水壶,可实现自动断电保温。加温到一定温度停止加温,进入保温状态;温度降低时,进入加温状态,如此循环。
- (2) 自动调温空调,当环境温度高于或低于设定温度时,空调制冷系统自动开启,调定

室温到设定值。

(3) 全自动洗衣机的水位控制,红外传感器扫描水位高低,当水位合适时,洗衣机自动停止加水。

(4) 走道路灯的声光控制系统,基本工作原理如下:白天或夜晚光线较亮时,光控部分将开关自动关断,声控部分不起作用。当光线较暗时,光控部分将开关自动打开,负载电路的通断受控于声控部分。电路是否接通,取决于声音信号的强度。当声强达到一定程度时,电路自动接通,点亮灯泡,并开始延时,延时时间到,开关自动关断,等待下一次声音信号触发。这样,通过对环境声光信号的检测与处理,完成电路通断的自动开关控制。

1.2 试比较开环控制和闭环控制的优缺点。

解: 1. 开环控制

优点: 结构简单,系统稳定性好,调试方便,成本低。因此,输入量和输出量之间的关系固定,且内部参数或外部负载等扰动因素不大,或在这些扰动因素可以预测并进行补偿的前提下,可以采用开环控制系统。

缺点: 当控制过程受到来自系统外部的各种扰动因素,如负载变化、电源电压波动等,以及来自系统内部的扰动因素,如元件参数变化等,都将会直接影响到输出量,而控制系统不能自动进行补偿,抗干扰性能差。因此,开环系统对元器件的精度要求较高。

2. 闭环控制

优点: 抑制扰动能力强,与开环控制相比,对参数变化不敏感,并能获得满意的动态特性和控制精度。

缺点: 引入反馈增加了系统的复杂性,如果闭环系统参数的选取不适当,系统可能会产生振荡,甚至系统失稳而无法正常工作,这是自动控制理论和系统设计必须解决的重要问题。

1.3 自动控制系统通常由哪些环节组成? 它们在控制过程中的功能是什么?

解: 1. 给定元件

给出与被控制量期望值相对应的控制输入信号(给定信号),这个控制输入信号的量纲与主反馈信号的量纲相同。给定元件通常不在闭环回路中。

2. 测量反馈元件

测量反馈元件也称传感器,用于测量被控制量,并产生与被控制量有一定函数关系的信号(与被控制量成比例或与其导数成比例的信号),并反馈到输入端与给定信号进行比较。测量元件的精度直接影响控制系统的精度,应使测量元件的精度高于系统的精度,还要有足够宽的频带。

3. 比较元件

用于比较控制量和反馈量并产生偏差信号。电桥、运算放大器可作为电信号的比较元件。有些比较元件与测量元件是结合在一起的,如测角位移的旋转变压器和自整角机等。

4. 放大元件

将微弱的偏差信号进行幅值或功率的放大,以及信号形式的变换,如有源放大器、交流变直流的相敏整流或直流变交流的相敏调制。

5. 执行元件

用于操纵被控对象,如机械位移系统中的电动机、液压伺服马达、温度控制系统中的加

热装置等。执行元件的选择应具有足够大的功率和足够宽的频带。

6. 校正元件

用于改善系统的动态和稳态性能,根据被控对象特点和性能指标的要求而设计。校正元件串联在由偏差信号到被控制信号间的前向通道中的称为串联校正;校正元件在局部负反馈回路中的称为反馈校正或并联校正。

7. 被控对象

控制系统所要控制的对象,例如水箱水位控制系统中的水箱、房间温度控制系统中的房间、火炮随动系统中的火炮、电动机转速控制系统中的电机等。设计控制系统时,认为被控对象是不可改变的,它的输出即为控制系统的被控制量。

1.4 试述对控制系统的基本要求。

解: 1. 稳

稳是系统正常工作的必要条件。稳是指控制系统的稳定性和平稳性。

稳定性: 是指系统重新恢复平衡状态的能力,它是自动控制系统正常工作的先决条件。一个稳定的控制系统,其被控量偏离期望值的初始偏差应随时间的增长逐渐减小或趋于零。不稳定的系统是无法工作的。

平稳性: 是指过渡过程振荡的振幅与频率,即被控量围绕给定值摆动的幅度和摆动的次数。好的过渡过程摆动的幅度要小,摆动的次数要少。

2. 快

快要求系统的响应速度快、过渡过程时间短。系统的稳定性足够好、频带足够宽,才可能实现快速性的要求。过渡过程越短,说明系统快速性越好;过渡过程持续时间越长,说明系统响应迟钝,难以跟踪快速变化的指令信号。

平稳性和快速性反映了系统过渡过程的性能,称为系统的动态性能或瞬态性能。

3. 准

准是对系统稳态(静态)性能的要求。对一个稳定的系统而言,过渡过程结束后,系统的被控量(或反馈量)对给定值的偏差称为稳态误差,它是衡量系统稳态精度的重要指标。

稳态误差越小,或者对某种典型输入信号的稳态误差为零,表示系统的准确性越好,控制精度就越高。

1.5 图 1.1 所示的转速闭环控制系统中,若测速发电机的正负极性接反了,试问系统能否正常工作? 为什么?

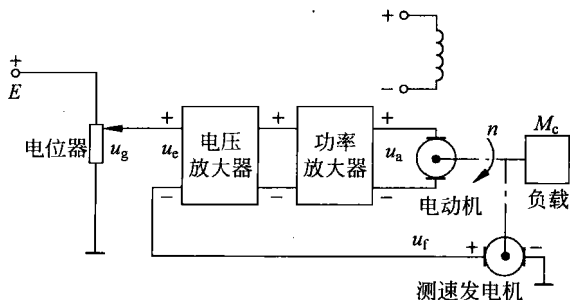


图 1.1 直流电动机转速闭环控制系统

解：若测速发电机的正负极性接反，偏差电压则为

$$u_c = u_g + u_f$$

系统将由负反馈变为正反馈，而正反馈不能进行系统控制，会使系统的偏差越来越大。因此，系统不能正常工作。

1.6 分析图 1.2 所示的水位自动控制系统，指出系统的输入量和被控制量，区分控制对象和自动控制器。说明控制器组成部分的作用，画出方框图并说明该系统是怎样出现偏差、检测偏差和消除偏差的。

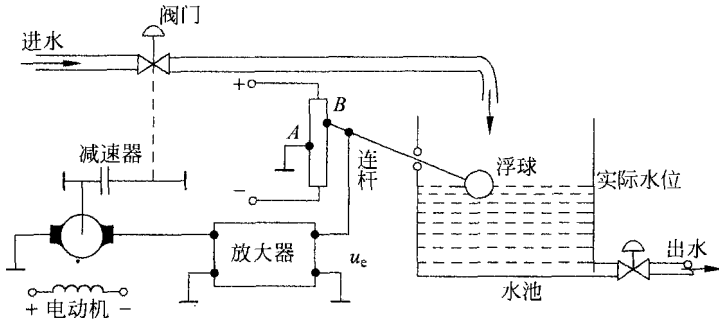


图 1.2 水位自动控制系统原理图

解：系统的输入量是电位器的给定电位，被控制量是水池的水位。控制对象是水池，而浮球、连杆机构、放大器、电动机、减速器、进水阀门等组成控制器。

在该系统中，浮球用来测量水位高低；连杆机构用来进行比较。连杆的一端由浮球带动，另一端则连向电位器控制进水阀门。它将期望水位与实际水位两者进行比较，得出水位误差，同时推动电位器的滑臂上下移动。电位器输出电压（偏差） u_c 反映了误差的性质：大小和方向。电位器输出的微弱电压经放大器放大后驱动直流伺服电动机，其转轴经减速器后拖动进水阀门，对系统施加控制作用。

在正常情况下，实际水位等于期望值，此时，电位器的滑臂居中， $u_c = 0$ 。当出水量增大时，水位开始下降，浮球也随之下降，带动电位器滑臂向上移动， $u_c > 0$ ，经放大后成为 u_a ，控制电动机正向旋转，以增大进水阀门开度，促使水位回升。当实际水位回复到期望值时， $u_c = 0$ ，系统达到新的平衡状态。

可见，该系统在运行时，无论何种干扰引起水位出现偏差，系统就会进行调节，最终总是使实际水位等于期望值，大大提高了控制精度。该控制系统也可用方框图表示，如图 1.3 所示。

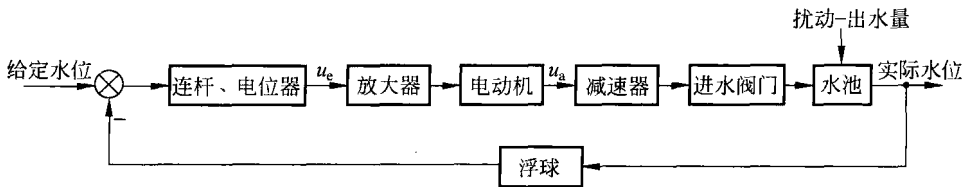


图 1.3 水位自动控制系统方框图

1.7 一晶体管稳压电源如图 1.4 所示。试画出其方框图，并说明被控量、给定值、干扰量是什么？哪些元件起着测量、放大、执行作用？

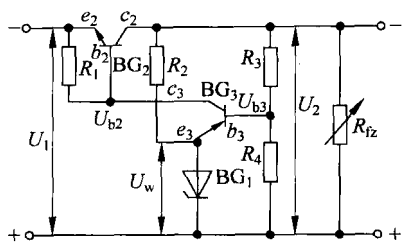


图 1.4 晶体管稳压电源原理图

解：稳压管 BG_1 的电压 U_w 是电源的参考输入即给定值，稳压电源输出电压 U_2 是被控量，干扰量是输入的待稳定电压 U_1 或负载 R_L 。稳压管 BG_1 稳定了基准电压 U_w ，使 U_w 不受输入或输出电压的影响。

电路分为以下 4 部分：

反馈测量元件：由分压电路 (R_3, R_4) 组成，监视输出端电压 U_2 之变化，把变化 U_{b3} 送到放大器晶体管 BG_2 。

基准电压元件：由电阻 R_2 和稳压二极管 BG_1 组成，利用稳压二极管的稳压特性输出一个稳定的参考电压 U_w 。 R_2 用以限制稳压二极管的工作电流。

比较及放大元件：由三极管 BG_3 所构成的共射极放大器组成，把反馈电压 U_{b3} 和参考电压 U_w 作出比较并放大，输出电压 U_{b2} 到控制元件。

控制执行元件：由三极管 BG_2 构成。 BG_2 可看成一个可变电阻，其内阻受输入基极的电压 U_{b2} 所影响，电压 U_{b2} 越高，内阻便越低，流经的电流便越大，输出电压 U_{ce2} 便下降，反之则上升。 BG_2 与负载串联，输出管压降 U_{ce2} 用于抵消输出电压 U_2 的波动，因此此电路称为串联型稳压电路。

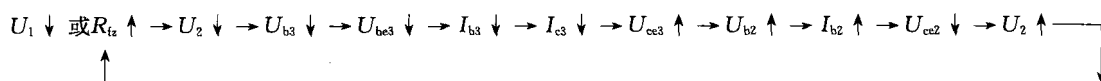
各个电压之间的关系如下：

$$U_{b3} = U_w + U_{be3}, \quad U_{b2} = U_w + U_{ce3}, \quad U_2 = U_1 - U_{ce2}$$

$$U_{b3} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} U_2$$

$$U_2 = \frac{R_3 + R_4}{R_4} U_{b3} = \frac{R_3 + R_4}{R_4} (U_w + U_{be3}) \approx \frac{R_3 + R_4}{R_4} U_w$$

当干扰引起输出电压 U_2 减小时，系统稳压过程如下：



这样，只要输出电压 U_2 有一点微小的变化，就能引起调整管 BG_2 的输出电压 U_{ce2} 发生较大的变化，提高了稳压电路的灵敏度，改善了稳压效果，而且能输出较大的电流，具有较好的带负载能力。此稳压电源实际上就是一个具有放大环节的电压串联负反馈系统，方框图如图 1.5 所示。

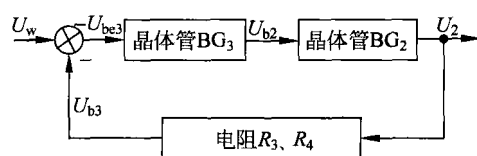


图 1.5 晶体管稳压电源方框图

1.8 图 1.6(a)和图 1.6(b)所示的系统均为自动调压系统，试分析其工作原理，画出方框图。设空载时，图 1.6(a)和图 1.6(b)的发电机端电压均为 110V，试问带上负载后，图 1.6(a)和图 1.6(b)中哪个系统能够保持 110V 电压不变？哪个系统的电压会稍低于 110V？为什么？

解：带上负载后，在一开始由于负载的影响，图 1.6(a)和图 1.6(b)系统的端电压都要下降，但图 1.6(a)中所示系统能恢复到 110V，而图 1.6(b)所示系统却不能。理由如下：

图 1.6(a)系统，当 u_o 低于给定电压时，偏差电压(给定电压与反馈电压之差： $u_e = u_r - u_f$)

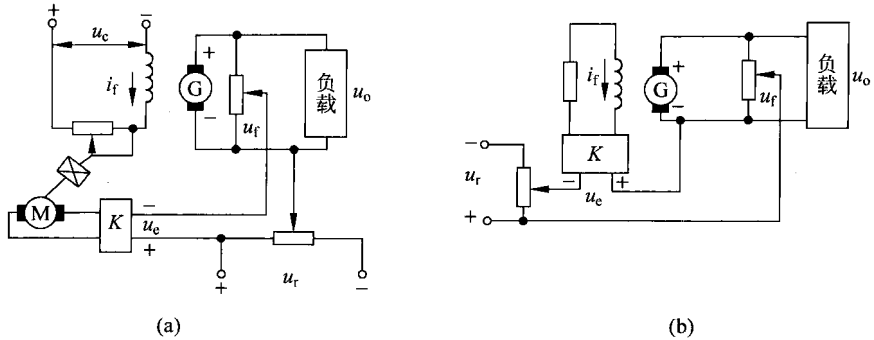


图 1.6 自动调压系统原理图

经放大器 K 放大后,驱动电机 M 转动,经减速器带动变阻器使发电机 G 的励磁回路电阻变小,从而使发电机的励磁电流 i_f 增大,发电机的输出电压会升高,从而使给定电压与发电机机端电压之间的偏差电压减小,直至偏差电压为零时,电机才停止转动。因此,图 1.6(a) 系统能保持 110V 不变。

图 1.6(b) 系统,当 u_o 低于给定电压时,其偏差电压 u_e 经放大器 K 后,输入发电机励磁回路,直接使发电机励磁电流增大,提高发电机的端电压,使发电机 G 的端电压回升。偏差电压减小,但不可能等于 0,因为当偏差电压为 0 时, $i_f = 0$, 发电机不能工作,即图 1.6(b) 所示系统的稳态电压会低于 110V。

以上两种自动调压系统都是恒值控制系统,但区别在于:当跟随响应一个给定的恒值信号时,系统 1.6(a) 是无差系统,系统 1.6(b) 是有差系统。

二者的本质不同在于:图 1.6(a) 系统励磁电压由单独的电源 u_c 提供,而图 1.6(b) 系统由发电机系统的偏差电压 u_e 提供。两种自动调压系统的方框图如图 1.7 所示。

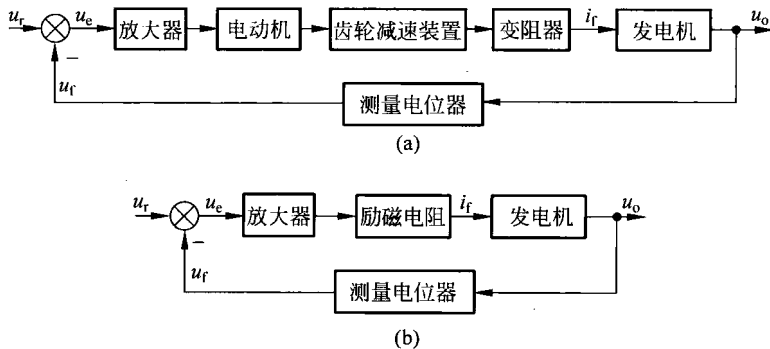


图 1.7 自动调压系统方框图

1.9 仓库大门自动控制系统原理如图 1.8 所示。试说明仓库大门开启、关闭的工作原理。如果大门不能全开或全关,应该怎样进行调整?

解: 当给定电位器和测量电位器输出相等时,放大器无输出,门的位置不变。假设门的原始位置在“关”状态,当门需要打开时,“开门”开关打开,“关门”开关闭合,给定电位器和测量电位器输出不相等。电位器组测量出开门位置与大门实际位置间对应的偏差电压,偏差

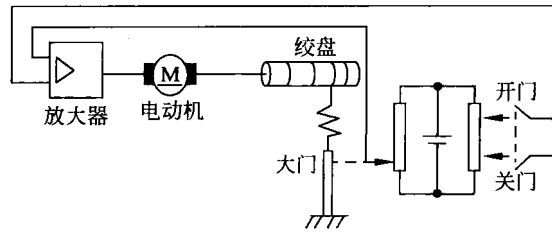


图 1.8 仓库大门自动控制系统

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，直到电位器组达到平衡，即测量电位器输出与给定电位器输出相等，则电动机停止转动，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。系统方框图如图 1.9 所示。

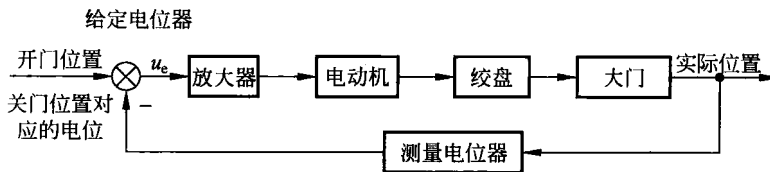


图 1.9 仓库大门自动控制系统方框图

如果大门不能全开或者全闭，说明电位器组给定的参考电压与期望的开门位置或关门位置不一致，应该调整电位器组的滑臂位置，即调整“开门”或“关门”位置对应的参考电压。

第 2 章

自动控制系统的数学模型

数学模型是描述系统输入输出以及内部各变量之间关系的数学表达式,建立系统的数学模型是进行控制系统分析和设计的基础。微分方程、传递函数、结构图、信号流图和脉冲响应函数都是用来描述线性系统的数学模型。

微分方程是控制系统的时域数学模型,正确地理解和掌握系统的工作过程、各元部件的工作原理是建立系统微分方程的前提。

传递函数是在零初始条件下系统输出量的拉普拉斯变换与输入量的拉普拉斯变换之比,是经典控制理论中重要的数学模型,熟练掌握和运用传递函数的概念,有助于分析和研究复杂系统。

动态结构图和信号流图是两种用图形表示的数学模型,具有直观形象的特点。其优点是可以方便地应用梅逊增益公式求复杂系统的传递函数。

脉冲响应函数是在零初始条件下,用系统对理想单位脉冲输入的时域响应描述系统变量的函数关系。对脉冲响应函数取拉普拉斯变换,即可求得相应的传递函数。

控制系统常用的传递函数有开环传递函数 $G_K(s)$,闭环传递函数 $\Phi(s)$ 和 $\Phi_D(s)$ (扰动输入作用下的闭环传递函数)以及偏差传递函数 $\Phi_E(s)$ 和 $\Phi_{DE}(s)$ (扰动输入作用下的偏差传递函数),它们在系统分析和设计中的地位十分重要。

求系统的传递函数常用的方法有三种:微分方程取拉普拉斯变换法、结构图等等效化简法以及梅逊增益公式法。对于力学系统,要用到牛顿第二定律;对于电网络,要用到节点电流定律和回路电压定律,还可以利用复数阻抗的概念方便地写出相应的传递函数。

教材习题同步解析

2.1 求图 2.1 中 RC 电路和运算放大器的传递函数 $U_o(s)/U_i(s)$ 。

图 2.1(a)解:令 $Z_1 = \frac{1}{Cs + \frac{1}{R_1}}$ 为电容和电阻的并联复数阻抗; $Z_2 = R_2$ 为电阻的复数阻

抗。由此可求得传递函数为:

$$G(s) = \frac{U_o(s)}{U_i(s)} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{R_2}{\frac{1}{Cs + \frac{1}{R_1}} + R_2} = \frac{R_2 + R_1 R_2 Cs}{R_1 + R_2 + R_1 R_2 Cs}$$