



21世纪高职系列教材
SHIJI GAOZHI XILIEJIAOCAI

自动控制原理与系统

主编 / 刘 娟 主审 / 刘明伟 崔风波



21世纪高职系列教材

SHIJI GAOZHI XILIE JIAOCAI

自动控制原理与系统

主编 / 刘娟 主审 / 刘明伟 崔风波 ■

内 容 简 介

《自动控制原理与系统》的特点是自动控制原理与系统相结合,理论联系实际,注重方法论的叙述。本教材注重以就业为导向,以能力为本位,面向市场,面向社会,充分体现职业教育的特色,满足培养高技能人才的需要。

本书以经典线性自动控制原理为主线,讲解自动控制系统的组成与性能指标;自动控制系统的数学模型的建立;自动控制系统的时域分析;自动控制系统的频域分析;自动控制系统的校正及工程设计方法;MATLAB 软件与控制系统的仿真分析;单闭环和具有速度与电流双闭环的直流调速系统;可逆调速系统;随动控制系统;异步电动机变频调速系统及自动控制系统的分析与调试等方面的基本知识。本书的编写内容,力争做到重点突出、概念清楚、层次清晰、深入浅出、简明易学,力求达到紧密联系 actual、学用一致的目的。

本书适用于高职高专电气自动化、自动控制、船舶电气、电子信息类专业教学的需要,还可用于从事电气自动化的一般工程技术人员的参考。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理与系统/刘娟主编. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2009.4

ISBN 978-7-81133-354-1

I. 自… II. 刘… III. ①自动控制理论②自动控制系统
IV. TP13 TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 044150 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451-82519328
传 真 0451-82519699
经 销 新华书店
印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂
开 本 787mm×1 092mm 1/16
印 张 17.75
字 数 422 千字
版 次 2009 年 4 月第 1 版
印 次 2009 年 4 月第 1 次印刷
定 价 33.00 元

<http://press.hrbeu.edu.cn>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

21 世纪高职系列教材编委会

(按姓氏笔画排序)

主任委员	王景代	丛培亭	刘 义	刘 勇
	李长禄	张亦丁	张学库	杨永明
委 员	杨泽宇	季永青	罗东明	施祝斌
	唐汝元	曹志平	蒋耀伟	熊仕涛
	马瑶珠	王景代	丛培亭	刘 义
	刘 勇	刘义菊	刘国范	闫世杰
	李长禄	杨永明	杨泽宇	张亦丁
	张学库	陈良政	沈苏海	肖锦清
	周 涛	林文华	季永青	罗东明
	施祝斌	钟继雷	唐永刚	唐汝元
	郭江平	晏初宏	柴勤芳	曹志平
	蒋耀伟	熊仕涛	潘汝良	

前言

为了深入贯彻《国务院关于大力发展职业教育的决定》,深化教育教学改革,推进课程改革与教材建设,根据教育部《关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》精神,为满足高职高专电气自动化、自动控制、船舶电气、电子信息类专业教学基本建设的需要,按照《自动控制原理与系统》教学大纲的要求编写了本教材。

《自动控制原理与系统》的特点是自动控制原理与系统相结合,理论联系实际,注重方法论的叙述。本教材注重以就业为导向,以能力为本位,面向市场,面向社会,充分体现职业教育的特色,满足培养高技能人才的需要。

《自动控制原理与系统》课程是高职高专电气自动化、自动控制、电子信息类专业的主要课程,其教学内容既包含作为专业基础的自动控制原理部分,也涵盖实践性很强的自动控制系统部分,同时还受到教学时数的限制。为此,本教材在编写过程中,按照《自动控制原理与系统》教学大纲的要求,以职业岗位群的需求为出发点,编者曾多次深入渤海船舶重工责任有限公司、大连船舶造船有限公司、山海关造船厂、大连海事大学等单位进行调查研究,收集信息,本着为企业培养具有必要的理论知识和较强的实践能力以及生产、建设、管理、服务第一线的高技能人才的需要而确定了本书的编写内容,力争做到重点突出、概念清楚、层次清晰、深入浅出、简明易学,力求达到紧密联系实际、学用一致的目的。

全书共分十二章,主要内容包括:自动控制系统的组成与性能指标;自动控制系统的数学模型;自动控制系统的稳定性分析;自动控制系统的稳态与动态性能分析;系统的频率特性;系统的校正;自动控制系统的设计方法;MATLAB 软件与控制系统的仿真分析;单闭环和具有速度与电流双闭环的直流调速系统;可逆调速系统;随动控制系统;异步电动机变频调速系统及自动控制系统的分析与调试等方面的基本知识,每章末都有概括其主要内容的小结与习题,以帮助巩固掌握有关内容,训练灵活应用、分析和解决自动控制系统实际问题的能力。

全书由渤海船舶职业学院副教授刘娟主编(编写第一、第二、第三、第四、第十章及附录),渤海船舶职业学院副教授孙艳秋参编(编写第六、第七、第八、第十一章)、渤海船舶职业学院副教授李海凤参编(编写第五、第九、第十二章),渤海船舶职业学院教授刘明伟、副教授崔风波主审。全书由刘娟统稿,后又根据主审的意见进行了必要修改和定稿。

限于编者的水平,书中难免出现错误和不妥之处,恳请广大师生和读者提出宝贵意见和建议,以便再版修订时改正。

编者

2009年1月

目 录

第一章 自动控制系统概述	1
第一节 自动控制系统常用术语	1
第二节 开环控制和闭环控制系统	2
第三节 自动控制系统的组成和分类	5
第四节 自动控制系统性能的基本要求	9
第五节 自动控制系统的发展概况	11
本章小结	12
习题	13
第二章 自动控制系统的数学模型	15
* 第一节 拉普拉斯变换	15
第二节 控制系统的微分方程	19
第三节 传递函数及方框图	24
第四节 典型环节的传递函数	29
第五节 自动控制系统框图及等效变换	39
第六节 反馈控制系统的传递函数	47
本章小结	49
习题	51
第三章 自动控制系统的时域分析	54
第一节 时域分析概述	54
第二节 一阶系统的动态响应	55
第三节 二阶系统的动态响应	57
* 第四节 高阶系统的动态响应	66
第五节 系统的稳定性分析	67
第六节 控制系统的稳态误差分析	76
本章小结	82
习题	83
第四章 频域分析法	87
第一节 频率特性的基本概念	87
第二节 典型环节的频率特性	93
第三节 控制系统开环频率特性	101
第四节 控制系统的稳定判据与稳定裕量	106
第五节 系统开环频率特性与时域指标间的关系	110
第六节 系统闭环频率特性与时域指标的关系	113
本章小结	115
习题	117

第五章 自动控制系统的校正	121
第一节 校正装置	121
第二节 串联校正	122
第三节 反馈校正	137
第四节 自动控制系统的工程设计方法	140
本章小结	148
习题	149
第六章 MATLAB 软件与控制系统的仿真分析	152
第一节 MATLAB 软件概述	152
第二节 应用 MATLAB 进行控制系统性能分析	158
第三节 SIMULINK 软件与控制系统的仿真	164
本章小结	169
习题	169
第七章 单闭环直流调速系统	171
第一节 调速系统的基本概念	171
第二节 单闭环直流调速系统及其稳态分析	174
第三节 单闭环直流调速系统动态分析	183
第四节 单闭环控制系统的限流保护——电流截止负反馈	185
第五节 无静差直流调速系统	188
本章小结	193
习题	193
第八章 双闭环直流调速系统	195
第一节 双闭环直流调速系统的组成	195
第二节 双闭环直流调速系统自动调节过程	198
第三节 双闭环直流调速系统性能分析	199
第四节 双闭环直流调速系统的工程设计	202
本章小结	212
习题	213
第九章 晶闸管可逆直流调速系统	214
本章小结	220
习题	221
第十章 位置随动系统	222
第一节 位置随动系统的基本组成与特点	222
第二节 位置随动系统的基本部件	223
第三节 晶闸管交流调压位置随动系统	230
本章小结	235

习题	235
第十一章 异步电动机变频调速系统	237
第一节 交流异步电动机变频调速基础	237
第二节 IGBT-SPWM 交流变频电路工作原理	242
第三节 IGBT-SPWM-VVVF 交流调速系统	247
第四节 通用变频器	248
本章小结	251
习题	252
第十二章 自动控制系统的分析与调试	253
第一节 自动控制系统的分析步骤	253
第二节 自动控制系统的调试方法	256
第三节 自动控制系统的维护、使用和故障的排除	259
本章小结	263
习题	264
附录一 常用函数的拉普拉斯变换对照表	265
附录二 常用文字符号	267
参考文献	271

第一章 自动控制系统概述

【本章要点】 本章主要介绍自动控制系统的基本概念、开环和闭环控制系统的特点、自动控制系统的组成和分类、及对控制系统性能的基本要求及发展概况等。

随着工业生产和科学技术的不断发展,自动控制技术在工业、农业、交通运输和国防建设中起着极其重要的意义。自动控制系统已被广泛应用于人类社会的各个领域。在工业方面,对于冶金、化工、机械制造等生产过程中遇到的各种物理量,包括温度、流量、压力、厚度、张力、速度、位置、频率、相位等,都有相应的控制系统。在此基础上通过采用数字计算机还建立起了控制性能更好和自动化程度更高的数字控制系统,以及具有控制与管理双重功能的过程控制系统。在农业方面的应用包括水位自动控制系统、农业机械的自动操作系统等。在军事技术方面,自动控制的应用实例有各种类型的伺服系统、火力控制系统、制导与控制系统等。在航天、航空和航海方面,除了各种形式的控制系统外,应用的领域还包括导航系统、遥控系统和各种仿真器。此外,在办公室自动化、图书管理、交通管理乃至日常家务方面,自动控制技术也都有着实际的应用。随着控制理论和控制技术的发展,自动控制系统的应用领域还在不断扩大,几乎涉及生物、医学、生态、经济、社会等所有领域。

自动控制系统性能的优劣,将直接影响到产品的产量、质量、成本、劳动条件和预期目标的完成。因此,掌握有关自动控制知识就显得尤为重要。

第一节 自动控制系统常用术语

自动控制系统(Automatic control system)是指在无人直接参与的情况下,利用控制装置使被控对象或过程自动地按预定规律运行,使之按照预定的方案达到要求的指标。它能自动调节、检测、加工的机器设备、仪表,按规定的程序或指令自动进行作业的技术措施。其目的在于增加产量、提高质量、降低成本和劳动强度、保障生产安全等。

自动控制系统一般由施控装置和被控对象组成。施控装置(Controlling equipment),是指对控制对象施行控制作用的设备的总体,又称控制装置或施控系统。例如放大器、触发器、晶闸管整流器等。被控对象(Controlling plant),是指要求实现自动控制的机器、设备或生产过程,即为接受控制的装置,又称被控装置或被控系统。例如:电动机、加热炉、机床等。

图 1-1 中给定电压经过电位器 RP_1 分压后的电压 u_i 送入放大器,放大器输出电压 u_c 给触发器,改变 u_c 即可改变触发器脉冲相位,从而改变了晶闸管控制角,使晶闸管整流器输出电压发生相应的变化,因此直流电动机的转速随之变化。图 1-1 由电位器、放大器、触发器、晶闸管整流器及直流电动机等组成的系统,其预定的功能是改变晶闸管输出电压,而它给定的目标就是调节电动机的转速。其中由电位器、放大器、触发器、晶闸管组成了施控系统,而电动机则为被控制对象。

图 1-1 中施加于系统的变量 u_i 为输入量,通常把系统的给定值称为输入量(Input variable)。在自动控制系统中也称为参据量或参考输入,常用 r 表示。施控装置的输出量

u_a 即为被控对象的输入量称为操纵量 (Controlling variable), 常用 m 表示。直接改变操纵量的元件称为执行装置或末级施控装置。被控对象的输出量称为被控量 (Controlled variable), 也就是系统的输出量 (Output variable), 常用 c 表示。图 1-1 中被控量为转速 n 。

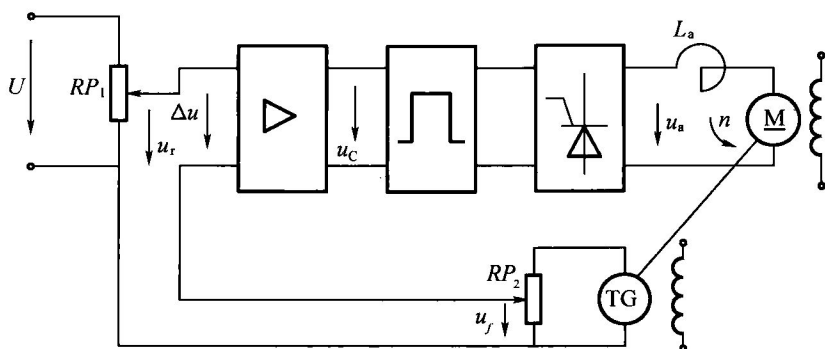


图 1-1 晶闸管直流调速系统

图 1-1 中放大器和触发器放大倍数的变化、晶闸管整流器交流电源的变化、电动机负载转矩及励磁电流的变化都会引起被控量 n 的变化, 这些难以预料的变化量称为扰动量 (Disturbance variable), 即扰动量是除给定信号以外对输出产生作用的信号, 常用 d 表示。扰动包括内扰动和外扰动两种。如果扰动产生于系统的内部叫内扰动, 如系统元件参数的变化等; 如果扰动产生于系统的外部叫外扰动, 如电动机负载转矩变化、电源电压波动、环境温度的变化等。外扰动对系统来说, 也是一种输入量。

若将系统的输出量的部分或全部通过某种装置馈送到输入端, 并与输入信号进行比较的过程称为反馈 (feedback)。当与输入量比较符号相反、对原输入信号起削弱作用时称为负反馈, 反之称为正反馈。在自动控制系统中, 通常应用负反馈。我们通常按照控制系统是否设有反馈环节来进行分类: 设有反馈环节的, 称为闭环控制系统 (Closed loop Control System); 不设反馈环节的, 则称为开环控制系统 (Open loop Control System), 而“环” (loop) 是指由反馈环节构成的回路。图 1-1 中反馈部分采用直流测速发电机, 输出电压是经过电位器 RP_2 分压后的反馈电压 u_f , u_f 与 u_r 反向串联。

第二节 开环控制和闭环控制系统

一、开环控制系统

若系统的输出端和输入端之间不存在反馈回路, 输出量对系统的控制作用没有影响时, 这样的系统称为开环控制系统 (Open loop Control System), 即指在控制系统中, 只有前向通路, 而没有主反馈回路的系统。

如图 1-2 所示为数控加工机床示意图, 它是由步进电动机驱动的, 是一个未设反馈环节的控制系

统, 是一个典型的开环控制系统。它由预先设定的加工程序指令, 通过运算控制器, 去控制脉冲的产生和分配, 发出相应的脉冲, 再经过功率放大, 驱动步进电动机, 通过精密传动机构, 再带动工作台进行加工。若

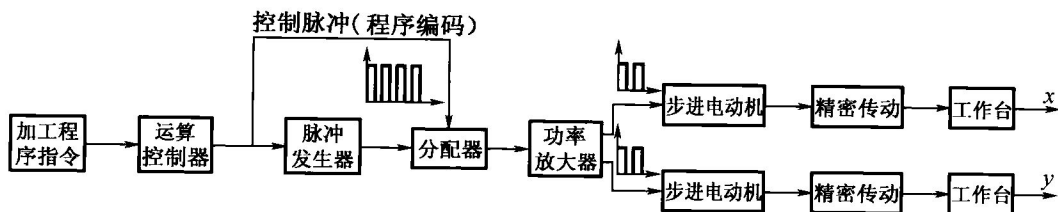


图 1-2 数控加工机床示意图

能保证不丢失脉冲,并能有效地抑制干扰的影响,再采用精密传动机构,虽然采用开环控制系统,仍能达到很高的加工精度。

如今采用微机控制,应用专用步进驱动模块驱动的伺服系统,可达到每转10 000步的高分辨率;因此对小功率伺服系统,采用开环控制也可以达到很高的控制精度。

图 1-3 为数控加工机床开环控制系统方框图。此系统的输入量为加工程序指令,输出量为机床工作台的位移,系统的控制对象为工作台,执行机构为步进电动机和传动机构。由图 1-3 可见,系统无反馈环节,输出量并不返回来影响控制部分,因此是开环控制。

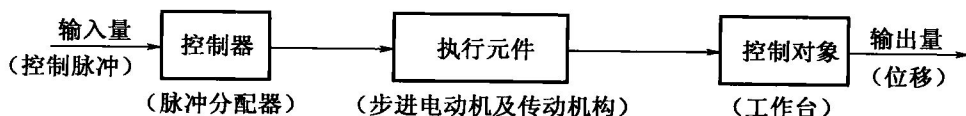


图 1-3 数控加工机床开环控制方框图

开环控制系统的优点是系统无反馈环节,因此结构简单,系统稳定性好,成本也低。开环控制系统的缺点是当控制过程受到各种扰动因素影响时,将会直接影响输出量,而系统不能自动进行补偿。特别是当无法预计的扰动因素使输出量产生的偏差超过允许的限度时,开环控制系统便无法满足技术要求,这时就应考虑采用闭环控制系统。因此,在输出量和输入量之间的关系固定,且内部参数或外部负载等扰动因素不大,或这些扰动因素产生的误差可以预计确定并能进行补偿,则应尽量采用开环控制系统。

二、闭环控制系统

若系统的输出端和输入端之间存在反馈回路,输出量通过反馈环节返回来作用于控制部分,形成闭合回路,则这样的系统称为闭环控制系统(Closed loop Control System),又称为反馈控制系统(Feedback Control System),即指在控制系统中,既有前向通路,又包含主反馈回路的系统。

图 1-4 为电炉箱恒温自动控制系统。在这个控制系统中,被控制量为炉温 T ,炉温的预期值是由给定电位器设定的电压 U_{sT} 所决定,即 U_{sT} 就是该系统的输入量。一只由电阻丝通电加热的电炉箱,由于炉壁的散热、增减工件和电网电压波动,将使炉温产生变化,而这种变化通常是无法预先设定的。因此,若工艺要求保持炉温恒定,则开环控制将无法自动补偿,必须采用闭环控制。由于需要保持恒定的物理量是温度,所以最常用的方法便是采用温度负反馈。由图可见,如今采用热电偶来检测温度,并将炉内实际温度转换成相对应的电压

信号 U_{fT} (mV) (称为反馈电压), 然后反馈到输入端与给定电压 U_{sT} 进行比较, 所得的结果即为偏差电压 $U = U_{sT} - U_{fT}$ 。 ΔU 作为控制电压经电压放大器、功率放大器放大后, 去控制执行电动机的旋转速度和方向, 再经减速器带动调压器滑动触点移动, 以改变加热电流的大小来调节炉温。

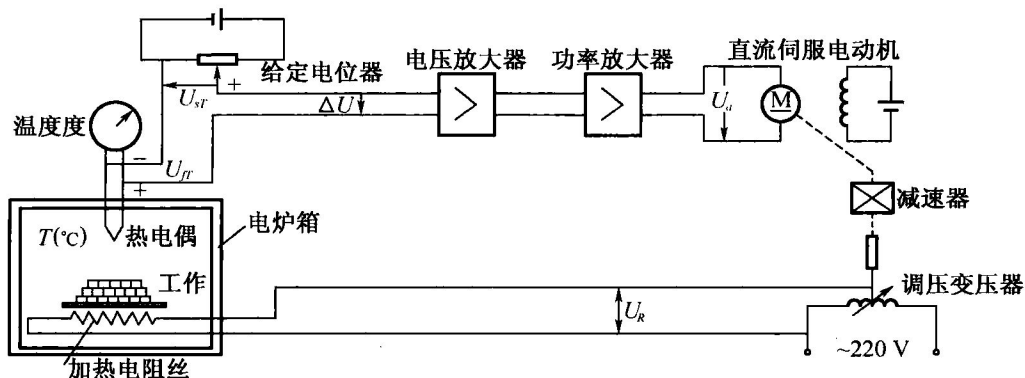


图 1-4 电炉箱恒温自动控制系统

当炉温偏低时, $U_{fT} < U_{sT}$, 则 $\Delta U > 0$, 此时偏差电压极性为正, 电动机正转, 调压器滑动触点向右移动, 加热电流加大, 炉温上升, 直到炉温升至预期值, $U_{fT} = U_{sT}$ 则 $\Delta U = 0$, 电动机停转。反之, 当炉温偏高时, $U_{fT} > U_{sT}$ 则 $\Delta U < 0$, 此时偏差电压极性为负, 电动机反转, 调压器滑动触点向左移动, 加热电流减小, 炉温下降, 直到炉温下降至预期值, 即 $U_{fT} = U_{sT}$, $\Delta U = 0$, 电动机停转为止, 这样炉温可自动回复, 并保持恒定。

图 1-5 为电炉箱自动控制系统方框图。此系统给定电压信号 U_{sT} 就是系统的输入量, 被控制量炉温 T 就是系统的输出量, 而反馈量则是通过检测元件热电偶从系统输出端取出信号, 构成反馈环节。在这个系统中, 由电压放大器、功率放大器、电动机、减速器、调压器等为施控装置, 电炉则是被控对象。

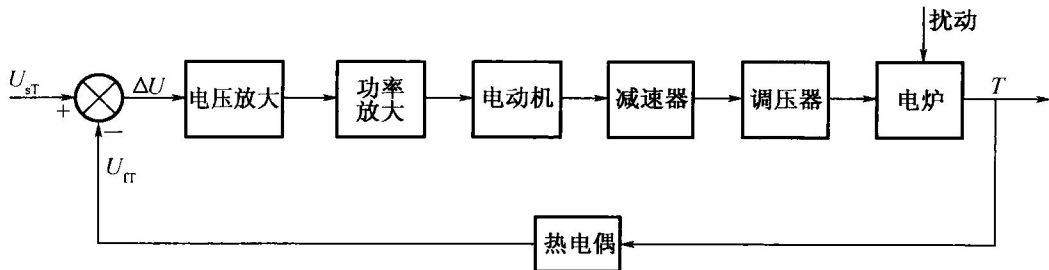


图 1-5 电炉箱自动控制方框图

闭环控制系统的优点是对于扰动产生的影响通过反馈控制可以自动进行补偿, 精度高, 可以采用不太精密、成本较低的元件来构成精密的控制系统。闭环控制系统的缺点是闭环控制要增加检测、反馈比较, 调节器等部件, 会使系统复杂、成本提高。因此当系统精度要求较高、扰动量较大且无法预计的场合, 需采用闭环控制。

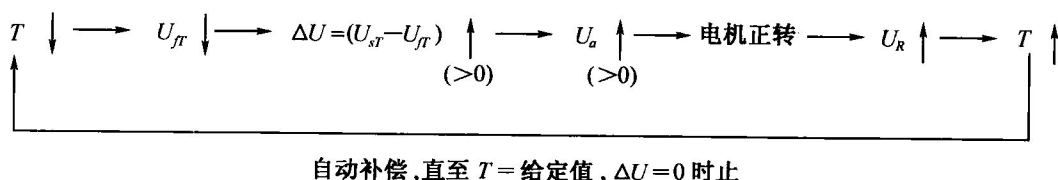


图 1-6 炉温自动调节过程

第三节 自动控制系统的组成和分类

一、自动控制系统的组成

为了表明自动控制系统的组成以及信号的传递情况,通常把系统各个环节用框图表示,并用箭头标明各作用量的传递情况,现以图 1-4 和图 1-5 所示的恒温控制系统来说明自动控制系统的组成。图 1-7 便是图 1-4 所示系统的方框图。方框图可以把系统的组成简单明了地表达出来,而不必画出具体线路。

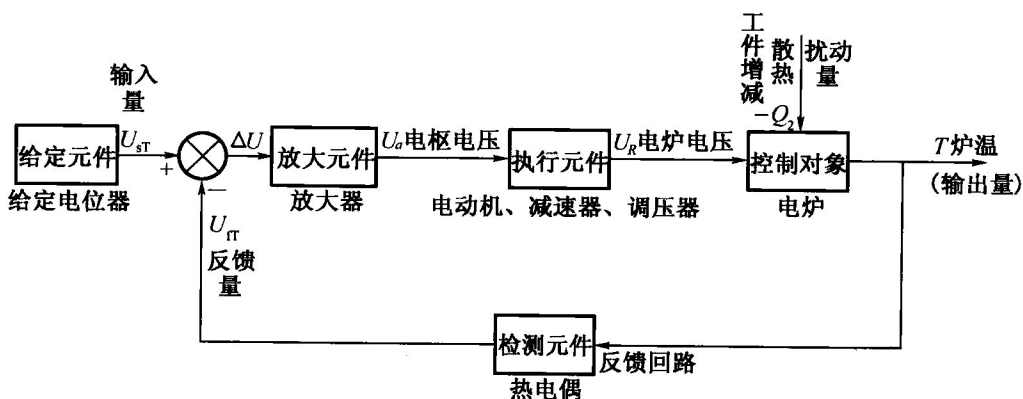


图 1-7 自动控制系统的方框图

1. 由图 1-7 可见,系统中各个元件如下:

(1) 给定元件(Command Element) 由它调节给定信号,以调节输出量的大小。此处为给定电位器。

(2) 检测元件(Detecting Element) 由它检测输出量的大小,并反馈到输入端。此处为热电偶。

(3) 比较环节(Comparing Element) 在此处,反馈信号与给定信号进行叠加,信号的极性以“+”或“-”表示。若为正反馈,则两极性相同;若为负反馈,则两极性相反。

(4) 放大元件(Amplifying Element) 由于偏差信号一般很小,因此要经过电压放大及功率放大,以驱动执行元件。此处为放大器。

(5) 执行元件(Executive Element) 驱动被控制对象的环节。此处为伺服电动机、减速器

和调压器。

(6)被控对象(Controlled Plant) 亦称被调对象,此处即为电炉。

(7)反馈环节(Feedback Element) 由它将输出量引出,再回送到控制部分。对于闭环控制系统中,反馈环节一般包括检测、分压、滤波等单元。

2.由图 1-7 可见,系统中的各种作用量和被控制量如下。

(1)输入量(Input Variable) 又称控制量或参考输入量(Reference Input Variable),所以输入量的角标常用 r (或 i)表示,此处给定电压 U_{iT} 。

(2)输出量(Output Variable) 又称被控制量(Controlled Variable),所以输出量角标常用 c (或 o)表示。它是自动控制的目标,此处为炉温 T 。

(3)反馈量(Feedback Variable) 通过检测元件将输出量转变成与给定信号性质相同且数量级相同的信号。反馈量的角标常以 f 表示,此处为 U_{fT} 。

(4)扰动量(Disturbance Variable) 又称干扰或“噪声”(Noise),所以扰动量的角标常以 d (或 n)表示。此处扰动主要为炉壁散热、增减工件和电网电压波动,将使炉温产生变化。

(5)中间变量(Semifinished Variable) 系统中各环节之间的作用量。它是前一环节的输
出量,也是后一环节的输入量。如图 1-7 中的 U 、 U_a 、 U_R 等就是中间变量。

在自动控制系统中,各个元件的排列,通常将给定元件放在最左端,被控对象放在最右端。即输入量在最左端,输出量在最右端。从左至右(即从输入至输出)的通道称为前向通道(Feedforward Path)或顺馈通道(Forward Path);将输出信号引回输入端的通道称为反馈通道或反馈回路(Feedback Path)。

例 1-1 图 1-8 所示为雷达天线位置跟随系统。

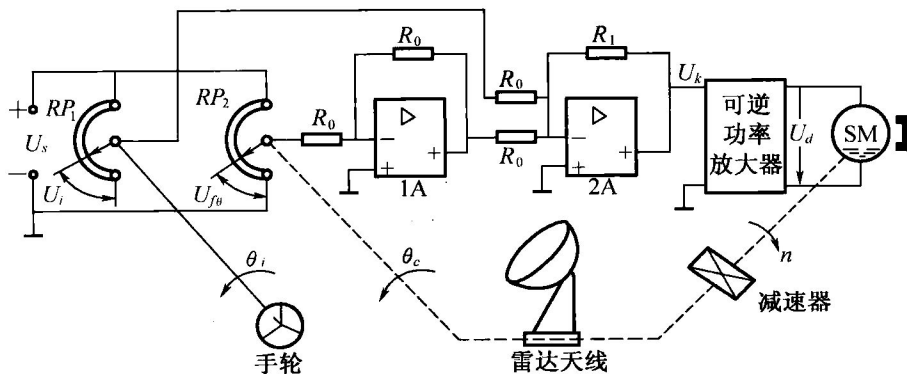


图 1-8 位置跟随系统示意图

(1)系统的组成 系统的控制对象为雷达天线,被控制量是雷达天线的角位移 θ_c 。驱动雷达天线的是直流伺服电动机,它和减速器构成系统的执行元件,而为电动机提供电能的可逆直流调压电路为功率放大器。图中 2A 是比例放大器,其比例系数为 $K = -R_1/R_0$,它作为比较环节。系统的给定指令 i 是由手轮转动给出,它通过与手轮联动的给定电位器 RP_1 转化为电压信号 U_i ,因此 RP_1 为给定元件。图中 RP_2 为检测电位器,它与雷达天线联动。被控量角位移 θ_c 通过 RP_2 转化反馈信号电压 $U_{f\theta}$ 。为了保证跟随精度,要求采用位置负反馈,即要求 $U_{f\theta}$ 和 U_i 极性相反,而 ΔU 电位器 RP_1 与 RP_2 并接在同一电源上,又具有公

共接地端,因此 $U_{f\theta}$ 和 U_i 极性相同,便增设了反向器 1A,其比例系数为 $K = -R_0/R_0 = -1$ 。这样在电压放大器输入端的比较信号 $\Delta U = U_i - U_{f\theta}$ 二者极性相反。

(2)系统的方框图 系统的方框图如图 1-9 所示。其中被控对象:雷达天线;被控量:角位移 θ_c ;给定量:给定指令 θ_i ;测量元件:检测电位器 RP_2 ;干扰量:主要是元件参数的变化而引起的干扰力矩;放大元件:电压、功率放大器;执行元件:电动机、减速器等。

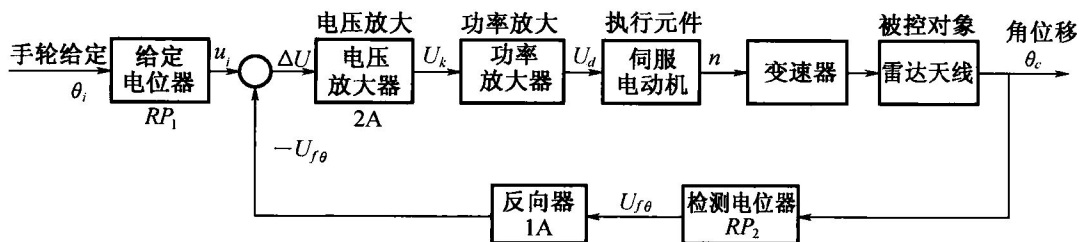


图 1-9 雷达天线位置跟随系统框图

(3)工作原理 当手轮逆时针转动时,设给定指令 θ_i 增加并设 U_i 减小,即 $\theta_i > \theta_c$ 、 $U_i < U_{f\theta}$,则偏差电压 $\Delta U = U_i - U_{f\theta} < 0$ 。而电压放大器为反向器,则 $U_c > 0$, $U_d > 0$,设此时电动机正转将带动雷达天线作逆时针转动,其过程直到 $\theta_k = \theta_i$, $U_{f\theta} = U_i$, $\Delta U = 0$, $U_k = 0$, $U_d = 0$,电动机停转为止,其自动调节过程如图 1-10 所示。

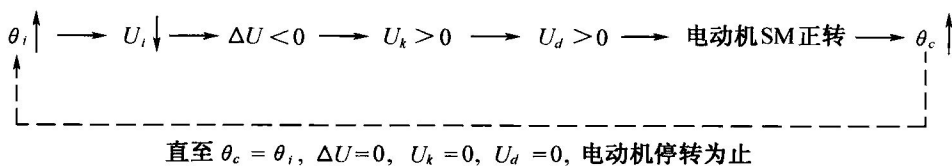


图 1-10 雷达天线位置跟随自动调节过程

二、自动控制系统的分类

自动控制系统的种类很多,应用的范围也很广,它们的结构和完成的任务也不同,因此,控制系统从不同的角度来进行分类,主要有以下几种分类法。

1. 按输入量变化的变化规律分类

(1) 恒值控制系统(Fixed Set - Point Control System)

恒值控制系统的特点是:系统的输入量是恒定的常量,并且要求系统的输出量相应地保持恒定。

恒值控制系统是最常见的一类自动控制系统,如自动调速系统、恒温控制系统、恒压力控制系统、恒张力控制系统等。它着重研究各种扰动对输出量的影响,以及如何克服扰动影响将实际输出保持在预期值上。

(2) 随动控制系统(Follow - Up Control System)

随动控制系统又称伺服系统(Servo - System),其特点是:输入量是随机变化着的,并且要求随动控制系统的输出量能跟随输入量的变化而作出相应的变化。

随动控制系统在工业和国防上有着极为广泛的应用,如船闸牵曳系统、火炮控制系统、雷达自动跟踪系统、刀架跟踪系统和机器人控制系统等。对随动控制系统通常着重于跟随的准确性和快速性。

(3) 程序控制系统(Programme Control System)

程序控制系统的特点是:输入量按照一定的时间函数变化,并且要求输出量随之变化。程序控制系统可以是开环的,也可以是闭环的。例如数控机床工作台移动系统以及一些自动化生产线等。

2. 按系统传递信号对时间的关系分类

(1) 连续控制系统(Continuous Control System)

连续控制系统的特点是:各元件的输入量与输出量都是连续量(模拟量),因此它又称为模拟控制系统(Analogue Control System)。图 1-4 所示的恒温控制系统就是连续控制系统。连续控制系统的运动规律通常可用微分方程来描述。

(2) 离散控制系统(Discrete Control System)

离散控制系统又称采样数据控制系统(Sampled - Date Control System)。其特点是:系统中有的信号是脉冲序列,或采样数据量、数字量。即信号在特定的采样时刻才取值,而在相邻采样时刻的间隔中信号是不确定的。通常数字计算机控制的系统都是离散控制系统。

3. 按系统的输出量和输入量间的关系分类

(1) 线性控制系统(Linear System)

线性控制系统的特点是:系统全部由线性元件组成,它的输出量与输入量间的关系用线性微分方程来描述。它的一个重要性质就是可以应用叠加原理,即几个扰动或控制量同时作用于系统时,其总的输出等于每个单独作用时的输出之和。

(2) 非线性控制系统(Nonlinear System)

非线性控制系统的特点是:系统中存在有非线性元件,如具有死区、出现饱和等非线性特性的元件。事实上,只要系统中有一个非线性性质的元件,就是非线性系统。它的输出量与输入量间的关系要用非线性微分方程来描述。叠加原理对非线性系统无效。

4. 按系统中的参数对时间的变化情况分类

(1) 定常控制系统(Time - Invariant Control System)

定常控制系统特点是:系统的全部参数不随时间变化,它的输出量与输入量间的关系用定常微分方程来描述。在实践中遇到的系统,基本属于定常系统。

(2) 时变控制系统(Time - Varying Control System)

时变控制系统的特点是:系统中有的参数是时间 t 的函数,它随时间变化而改变。例如宇宙飞船控制系统,它在飞行过程中、飞船内燃料质量、飞船受的重力等都在发生变化,就是时变系统。

当然,除了以上的分类方法外,还有其他一些方法,例如按系统主要组成元件的物理性质来分,又可分为电气控制系统、机械控制系统、液压控制系统、电气-液压控制系统等。又如按输入、输出信号的数量来分,又可分为单输入-单输出系统、多输入-多输出系统。本书只讨论连续控制的定常线性系统。

第四节 自动控制系统性能的基本要求

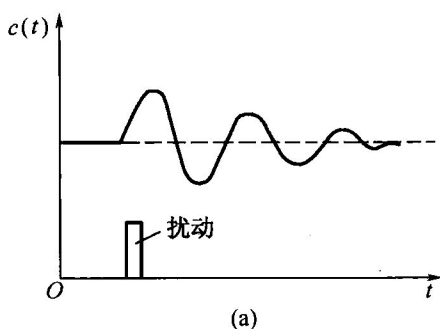
自动控制系统的稳定性、快速性、准确性,这是对自动控制系统提出的基本要求。稳定性是保证控制系统正常工作的先决条件,一个稳定的控制系统,其被控量偏离期望值的初始偏差应随时间的增长逐渐减小或趋于零。快速性是为了很好地完成控制任务,控制系统仅仅满足稳定性要求是不够的,还必须对其过渡过程的形式和快慢提出要求,一般称为动态性能。准确性是指理想情况下,当过渡过程结束后,被控量达到的稳态值(即平衡状态)应与期望值一致。

自动控制系统的性能通常是指系统的稳定性、稳态性能和动态性能。

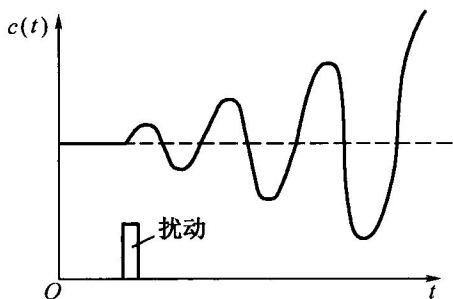
一、系统的稳定性(Stability)

1. 稳定系统

当扰动作用(或给定值发生变化)时,输出量将会偏离原来的稳定值,这时,由于反馈环节的作用,通过系统内部的自动调节,系统可能回到(或接近)原来的稳定值(或跟随给定值),如图 1-11(a)所示。



(a)



(b)

图 1-11 稳定系统和不稳定系统

(a)稳定系统;(b)不稳定系统

2. 不稳定系统

由于内部的相互作用,使系统出现发散而处于不稳定状态,如图 1-11(b)所示。

3. 稳定的重要性

不稳定的系统是无法进行工作的;因此,对任何自动控制系统,首要的条件便是系统能稳定正常运行。

二、系统的稳态性能指标(Steady-State Performance Specification)

当系统从一个稳态过渡到新的稳态,或系统受扰动作用又重新平衡后,系统会出现偏差,这种偏差称为稳态误差 e_{ss} (Steady-State Error)。系统稳态误差的大小反映了系统的稳态精度(或静态精度)(Static Accuracy),它表明了系统的准确程度。稳态误差 e_{ss} 越小,则系统的稳态精度越高。