

中国电子教育学会中专教育委员会
全国中专电子类教材协会

推荐教材

中等专业学校教材

控制技术及应用

李新平 吴家礼 李 谷 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

URL: <http://www.phei.com.cn>

7P=73
L 17

中等专业学校教材

控制技术的应用

李新平 吴家礼 李 谷 编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以经典线性控制理论中的时域分析法和频域分析法为主线,结合控制电机、变流技术、随动系统和速度控制系统,学习自动控制系统的组成、工作原理、自动调节过程以及数学模型建立、系统分析、系统校正和系统的实例分析。

本书把自控原理和系统有机结合,精选内容,理论联系实际,注重中专生实践能力的培养。适于作中等专业学校机电类专业的教材,并对相关专业的工程技术人员有一定参考价值。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,翻版必究。

图书在版编目(CIP)数据

控制技术及应用/李新平等编. - 北京:电子工业出版社, 2000.1

中等专业学校教材

ISBN 7-5053-5402-7

I. 控… II. 李… III. 自动控制系统-专业学术-教材 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 48563 号

丛 书 名: 中等专业学校教材

书 名: 控制技术及应用

编 者: 李新平 吴家礼 李 谷

策划编辑: 胡毓坚

责任编辑: 张凤鹏

排版制作: 电子工业出版社计算机排版室

印 刷 者: 北京东光印刷厂

装 订 者: 三河市新伟装订厂

出版发行: 电子工业出版社 URL: <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 15.25 字数: 390.4 千字

版 次: 2000 年 1 月第 1 版 2000 年 1 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-5053-5402-7
G·462

印 数: 5000 册 定价: 19.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页、所附磁盘或光盘有问题者,请向购买书店调换。
若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话 68279077

出版说明

随着中等专业学校电子类专业教学改革的不深入,尽快组织出版一批适应中等专业学校教学实际、体现职业技术教育特点的教材,已成为各中专校的迫切要求。有鉴于此,中国电子教育学会中专教育专业委员会、全国中专电子类教材协会决定联合成立全国中专电子类教材工作领导小组,组织出版一套中专电子类教材,以满足中专学校的教学需要。经过一段时期的准备,领导小组会同全国二十余所电子类中等专业学校,成立了“计算机及应用”、“电子技术应用”、“机电技术应用”3个专业教材编委会,共同组织协调这套教材的编审出版工作。

领导小组和各编委会确立了“根据中专生的培养目标,贯彻中专教育适应社会经济发展的需要,强化应用为教学重点的思想,反映现代职业教育思想、教育方法和教学手段和综合化、直接化、形象化特点,突出工程实践能力培养”的编写原则,以“新、简、实”作为这套教材的编写特色。所谓“新”,是根据电子技术日新月异、发展迅速的特点,在教材中尽可能反映当前电子信息产业的新技术、新知识、新工艺,缩短教材编审出版周期;所谓“简”,是针对现行教学内容与中专学生的文化基础不相适应,以及中专毕业生越来越直接面向生产第一线这一现实,适当降低教学内容的深度和难度,简化理论知识的讲授;所谓“实”,就是突出教学内容的实用性,强调对学生实践能力和技术应用能力的培养。

各编委员会的编审程序大致是,针对中专计算机及应用、电子技术应用、机电技术应用(机电一体化)的教学现状和现行教材存在的问题,尤其是针对目前中专教学改革的新情况,拟定各专业方向的课程设置计划和教材选题计划。在充分酝酿、广泛征集的基础上,由编委会确定每个选题的编写大纲和编审人员。编委会通过责任编委联系制度对编写实行质量控制。

这套教材的编写,都是来自各中专学校教学第一线的经验丰富的教师。由于他们辛勤的工作,这套教材基本反映了近年来各中专学校教学与教材改革的成果。相信这套教材会受到中等专业学校和其他中等职业学校电子类专业广大师生的欢迎。

特别应该感谢电子工业出版社高质量、高效率的工作,为这套教材的出版提供了极大的便利,使之能及早与读者见面。

电子技术发展迅速,中专学校的教学内容也日新月异。我们衷心地希望广大师生对本套教材提出意见和建议,以便再版时予以修正。

全国中专电子类教材工作领导小组
电 子 工 业 出 版 社

全国中专电子类教材工作领导小组成员名单

顾问	赵家鹏	电子工业出版社
组长	李绍庭	山东省电子工业学校
副组长	陈炳声	南京无线电工业学校
	孟宪洲	山东省信息工程学校
	穆天保	辽宁电子工业学校
	卢小平	北京无线电工业学校
	安志鹏	武汉无线电工业学校
成员	吴家礼	天津无线电机械学校
	曹建林	无锡无线电工业学校
	陈建忠	福建省电子工业学校
	周智文	上海电子技术学校
	王献中	淮阴电子工业学校
	武马群	北京市计算机工业学校
	张福强	天津市仪表无线电工业学校
	王祥生	珠海市工业学校
秘书长	胡毓坚	电子工业出版社
副秘书长	王协瑞	山东省电子工业学校

机电类专业教材编委会委员一览表

主任委员	吴家礼	天津无线电机械学校
副主任委员	毛海兴	无锡无线电工业学校
	黄诚驹	武汉无线电工业学校
	张 华	福电子工业学校
委员	梁 栋	本溪市电子工业学校
	王 丽	黑龙江省电子工业学校
	张 铮	无锡无线电工业学校
	董 智	南昌无线电工业学校
	甄占双	河北省电子工业学校
	高 燕	天津无线电机械学校
	徐耀生	江苏淮阴电子工业学校
	韩满林	南京无线电工业学校
	刘靖岩	辽宁电子工业学校
	张吴祥	北京无线电工业学校
	何彦延	贵州无线电工业学校
	李新平	山东省电子工业学校
	黄礼东	贵州省电子工业学校
秘书	郝秀凯	天津无线电机械学校

参加全国中专电子类教材编审工作的学校

山东省电子工业学校	山东省信息工程学校
山东省机械工业学校	山东省邮电学校
山东广播电视学校	济南信息学校
辽宁省电子工业学校	辽宁省电子计算机学校
辽宁省本溪电子工业学校	武汉无线电工业学校
武汉市电子工业学校	天津无线电机机械学校
天津仪表无线电工业学校	上海电子技术学校
上海化学工业学校	江苏省淮阴电子工业学校
无锡无线电工业学校	常州无线电工业学校
山西省电子工业学校	南京无线电工业学校
大连电子学校	河北省电子工业学校
福建省电子工业学校	北京无线电工业学校
北京市计算机工业学校	北京市电子工业学校
黄河水利学校	河南省电子工业学校
贵州省电子工业学校	珠海市工业学校
内蒙古电子学校	南昌无线电工业学校
安徽省电子工业学校	黑龙江省电子工业学校
重庆电子工业学校	

前 言

本书是根据电子中等专业学校机电类专业教学计划及《控制技术及应用》教学大纲的要求,由机电类教材编委会组织编写的。

全书共分8章,主要包括五部分内容。第一部分为经典线性控制原理;第二部分为控制电机;第三部分为变流技术;第四部分为随动系统;第五部分为速度控制系统。

本书以经典线性控制原理中的时域分析法和频域分析法为主线,结合控制电机、变流技术、随动系统及速度控制系统,学习自动控制系统的组成、工作原理、自动调节过程以及数学模型建立、系统分析、系统校正和系统的实例分析。其特点是使自动控制原理与自动控制系统有机结合,理论联系实际,注重方法论及系统应用。本书适用于作中等专业学校机电类等专业的教材,并对工程技术人员有一定参考价值。

本书由山东省电子工业学校李新平高级讲师主编,其中第1、2、3章由李新平编写,第4、7章由南京无线电工业学校李谷编写,第5章由无锡无线电工业学校杨春生编写,第5章由天津无线机械学校吴家礼高级讲师编写,第8章由淮阴电子工业学校张宏杰编写。辽宁省本溪市电子工业学校梁栋高级讲师主审,并提出了许多修改意见,在此表示衷心感谢。

限于编者的学术水平、教学经验和实践知识,书中难免存在错误和不妥之处,恳望读者提出批评和指教。

编者

1999年6月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 自动控制系统术语	(1)
1.2 自动控制系统示例	(2)
1.2.1 热处理炉温度控制系统	(2)
1.2.2 位置随动系统	(3)
1.2.3 调速系统	(5)
1.3 自动控制系统分类	(5)
1.3.1 按参考输入量分类	(6)
1.3.2 按被控量来分类	(6)
1.3.3 按照信号作用特点分类	(6)
1.3.4 按照元件特性分类	(7)
1.3.5 按自动控制系统的功能分类	(7)
1.4 对控制系统的性能要求	(8)
习题一	(9)
第 2 章 控制系统的分析方法	(10)
2.1 控制系统的数学模型	(10)
2.1.1 数学模型的概念	(10)
2.1.2 系统的微分方程式及其列写	(11)
2.1.3 非线性数学模型的线性化	(14)
2.1.4 传递函数的定义	(15)
2.1.5 典型环节及其传递函数	(17)
2.1.6 系统的框图(动态结构图)及其简化	(20)
2.2 系统分析	(26)
2.2.1 系统的稳定性分析	(26)
2.2.2 系统的时域分析	(29)
2.2.3 系统误差分析	(33)
2.3 控制系统频率特性的基本概念	(35)
2.3.1 频率特性和频域分析	(35)
2.3.2 幅频及相频特性	(36)
2.3.3 对数幅频及对数相频特性	(37)
2.3.4 渐近对数幅频和相频特性	(38)
2.4 典型环节波德图	(39)
2.4.1 比例环节	(39)
2.4.2 积分环节	(40)
2.4.3 微分环节	(41)
2.4.4 延迟环节	(41)
2.4.5 振荡环节	(43)

2.4.6 最小相位系统	(45)
2.5 控制系统开环波德图的绘制	(46)
2.6 对数频率稳定判据与稳定裕量	(48)
2.6.1 对数频率稳定判据	(48)
2.6.2 稳定裕量	(49)
2.6.3 开环放大倍数对系统相对稳定性的影响	(49)
2.6.4 中频段斜率与宽度对相对稳定性的影响	(50)
习题二	(52)
第3章 自动控制系统的校正	(57)
3.1 校正装置	(57)
3.1.1 无源校正装置	(57)
3.1.2 有源校正装置	(58)
3.2 串联校正	(60)
3.2.1 比例-微分(PD)串联校正(相位超前校正)	(60)
3.2.2 比例-积分(PI)串联校正(相位滞后校正)	(61)
3.2.3 比例-积分-微分(PID)串联校正(相位滞后-超前校正)	(62)
3.3 反馈校正	(64)
3.4 DDZ-Ⅲ调节器	(68)
3.4.1 概述	(68)
3.4.2 组成	(68)
3.4.3 工作原理	(71)
习题三	(75)
第4章 控制电机	(77)
4.1 概述	(77)
4.2 直流伺服电动机	(77)
4.2.1 直流伺服电动机的基本结构和工作原理	(77)
4.2.2 直流伺服电动机的静态特性	(78)
4.2.3 影响静态特性的因素	(80)
4.2.4 直流伺服电动机的动态特性	(81)
4.2.5 直流伺服电动机的控制	(83)
4.2.6 直流伺服电动机的技术指标	(84)
4.3 交流伺服电动机	(85)
4.3.1 交流永磁同步伺服电动机	(85)
4.3.2 两相交流异步伺服电动机	(88)
4.4 测速发电机	(90)
4.4.1 直流测速发电机的结构和工作原理	(90)
4.4.2 直流测速发电机的输出特性	(90)
4.4.3 直流测速发电机的主要性能指标	(91)
4.5 旋转变压器	(92)
4.5.1 旋转变压器的结构和工作原理	(92)
4.5.2 旋转变压器的应用	(93)
4.5.3 无刷旋转变压器的性能指标	(93)

4.6 步进电动机	(93)
4.6.1 步进电动机的结构和工作原理	(94)
4.6.2 步进电动机的主要性能指标	(95)
4.6.3 步进电动机的控制	(96)
4.6.4 步进电动机的驱动电路	(99)
习题四	(101)
第5章 半导体变流技术	(103)
5.1 晶闸管	(103)
5.1.1 晶闸管的结构和工作原理	(103)
5.1.2 晶闸管的特性	(105)
5.1.3 晶闸管的主要参数	(106)
5.1.4 晶闸管的型号	(110)
5.2 晶闸管可控整流电路	(110)
5.2.1 单相可控整流电路	(110)
5.2.2 三相可控整流电路	(117)
5.3 晶闸管触发电路	(123)
5.3.1 对触发电路的基本要求	(123)
5.3.2 单结晶体管触发电路	(124)
5.3.3 锯齿波移相触发电路简介	(126)
5.3.4 集成触发电路	(128)
5.4 有源逆变	(129)
5.4.1 逆变的概念	(129)
5.4.2 直流发电机-电动机系统中能量的转化	(129)
5.4.3 有源逆变的工作原理	(130)
5.4.4 三相半波变流器的逆变工作状态	(133)
5.5 晶闸管的保护	(133)
5.5.1 过电压保护	(134)
5.5.2 过电流保护	(136)
5.5.3 电压上升率 du/dt 和电流上升率 di/dt 的限制	(137)
5.5.4 晶闸管的串、并联及其保护	(138)
习题五	(140)
第6章 直流调速系统	(141)
6.1 单闭环有静差调速系统	(141)
6.1.1 单闭环系统的构成	(141)
6.1.2 单闭环调速系统的分析	(145)
6.1.3 单闭环调速系统的限流保护——电流截止负反馈	(148)
6.1.4 电压负反馈电流正反馈调速系统	(151)
6.1.5 单闭环调速系统的动态分析	(153)
6.1.6 实例	(156)
6.2 无静差调速系统	(158)
6.2.1 积分调节器和积分控制规律	(158)
6.2.2 比例-积分控制规律	(161)
6.2.3 无静差调速系统举例及稳态参数计算	(162)

6.3 速度、电流双闭环调速系统	(163)
6.3.1 双闭环系统的构成	(163)
6.3.2 静特性	(165)
6.3.3 稳态工作点和稳态参数	(166)
6.3.4 双闭环调速系统的动态性能	(166)
6.4 脉宽调速系统	(168)
6.4.1 PWM 控制技术	(169)
6.4.2 直流电动机的 PWM 控制原理	(171)
6.4.3 由集成 PWM 控制器控制的直流不可逆调速系统	(173)
6.4.4 由单片微机控制的 PWM 直流可逆调速系统	(176)
习题六	(181)
第 7 章 随动系统	(183)
7.1 概述	(183)
7.1.1 随动系统的应用	(183)
7.1.2 随动系统的分类	(184)
7.2 随动系统的组成及工作原理	(185)
7.2.1 随动系统组成部件的工作原理和传递函数	(185)
7.2.2 随动系统的稳态误差分析	(187)
7.2.3 随动系统的动态校正	(189)
7.3 小功率随动系统实例分析	(194)
7.3.1 系统部件及工作原理	(194)
7.3.2 系统的方框图	(194)
习题七	(196)
第 8 章 交流电机的变频调速	(197)
8.1 变频调速的基本知识	(197)
8.1.1 变频调速的控制方式	(197)
8.1.2 变频器	(198)
8.1.3 变频器的基本构成	(200)
8.1.4 逆变器	(201)
8.2 变频调速控制原理	(202)
8.2.1 变频器主电路	(202)
8.2.2 PWM 信号的形成	(206)
8.3 变频调速技术中的功率驱动电路	(210)
8.3.1 大功率晶体管的基极驱动电路	(210)
8.3.2 大功率晶体管的保护	(216)
8.3.3 PWM 大规模集成电路 HEF4752	(217)
8.4 变频调速系统实例	(220)
8.4.1 模拟正弦 PWM 变频调速系统	(220)
8.4.2 μ PD7801 单片机控制变频调速系统	(220)
习题八	(224)
附录	(225)
拉普拉氏变换	(225)

一	拉普拉氏变换的定义	(225)
二	常用函数的拉氏变换	(225)
三	拉氏变换的主要运算定理	(226)
四	拉氏反变换	(229)
参考文献		(232)

第 1 章 绪 论

随着生产和科学技术的发展,自动控制在国民经济和国防建设中所起的作用越来越大。在工业生产中,自动控制系统既用于提高产品质量,也用于提高产品的产量。例如,生产过程中对压力、温度、频率、转速等物理量的控制;造纸厂中纸张滚卷的恒张力控制;热轧厂中对金属板厚度的控制;在现代武器系统中,导弹制导系统控制导弹正确命中目标;惯性导航使人造卫星按预定轨迹运行;雷达跟踪系统控制火炮射击的高低和方位。在家用电器中自动控制技术的应用也越来越广,如用于温度控制的电冰箱、空调、洗衣机等。

自动控制技术是人类进步的一个象征,控制技术使生产过程实现了自动化,极大提高了劳动生产率和产品质量,改善了劳动条件。另外,自动控制技术不仅涉及传统的工程领域,也涉及社会、经济、环境生态、生物医学等各个非工程领域。自动控制技术是实现工业、农业、科学技术和国防现代化所必不可少的一门技术。

1.1 自动控制术语

在本节内,将对控制系统中使用的一些术语作出定义。

任何技术设备、机器和生产过程都必须按要求运行。例如,要想发电机正常供电,其输出电压必须保持恒定,尽量不受负荷变动的干扰;要想数控机床加工出高精度零件,其刀架的进给量必须准确地按照程序指令的设定值变化;要想热处理炉提供合格的产品,其炉温必须严格地按规定操纵等等。其中发电机、机床、热处理炉是工作的主体设备,而电压、进给量、炉温则是表征这些设备工况的关键参数,额定电压、设定进给量、规定的炉温就是在设备运行中对工况参数的具体要求。按照特定的要求操纵工况参数,即机器设备运行的实质。

(1)对象——将被操纵的机器设备称作受控对象,简称对象。设备是由一些器件组合而成。其作用是完成一个特定的动作。在本书中,我们称被控制机器设备(如发电机、数控机床、加热炉、电动机等)为对象。将表征其工况的关键参数称作被控量,而将对这些工况参数所希望达到的值称作给定值(或希望值、参考输入)。

(2)系统——是一些部件的组合,它可以完成一定的任务。系统的概念可以应用于抽象的动态现象,如经济学的现象。

(3)扰动——是一种对系统的输出量产生相反作用的因素。如果扰动来自于系统内部,则称为内扰动;来自于系统外部的扰动称为外扰动。

(4)反馈控制——在有扰动的情下,反馈控制有减小系统输出量与给定输入量之间偏差的作用。控制作用正是根据偏差而实现的。反馈控制仅仅是针对无法预料的扰动而设计的,可以预料的或者是已知的扰动,可以用校正的方法解决。

(5)随动系统——是一种反馈控制系统。在这个系统中,输出量就是机械位移、速度或者加速度,因此,随动系统这个术语,与位置(或速度、加速度)控制系统是同义语。现代工业广泛地采用了随动系统。例如,采用程序指令的机床自动化操作等。

(6)自动调整系统——是一种反馈控制系统。在这种系统中,给定输入量保持常量或者随

时间缓慢变化。这种系统的基本任务,是在有扰动情况下,使实际的输出量保持希望的数值。

用恒温器作为控制器的室内加温系统,就是一种自动调整系统。恒温器的温度给定值与室内的实际温度进行比较得到偏差。室外温度的变化量是该系统的扰动。自动调整系统的任务,是保证所要求的室内温度不受室外温度(扰动)变化的影响。自动调整系统的例子还有很多,例如压力的自动控制、转速、电压、电流和频率等电量的自动控制都是自动调整系统。

(7) 闭环控制系统——凡是系统输出信号对控制作用有直接影响的系统,都叫做闭环控制系统。闭环控制系统也就是反馈控制系统。输入信号和反馈信号(反馈信号可以是输出信号本身,也可以是输出信号的函数)之差,称为偏差信号。偏差信号加到控制器上,使系统的输出量趋向给定的值。换句话说,“闭环”的含义就是应用反馈作用来减小系统的偏差。图 1.1 表示了闭环控制系统的输入量与输出量之间的关系,这种关系图叫做功能框图。

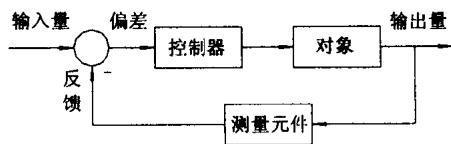


图 1.1 闭环控制系统

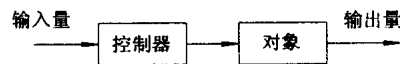


图 1.2 开环控制系统

(8) 开环控制系统——若系统的输出量对系统的控制作用没有影响,则叫开环控制系统。开环控制系统既不需要对输出量进行测量,也不需要将它反馈到系统的输入端与输入量进行比较。图 1.2 表示了开环控制系统的输入量与输出量之间的关系。洗衣机就是开环控制系统的实例,它的浸湿、洗涤和漂清的过程是顺序进行的,无需对其输出信号,即衣服的清洁程度进行测量。

由于开环控制系统中系统的输出量不与给定的输入量进行比较,因此,对应于每一个给定的输入量,便有一个固定的输出量与之对应,系统的精度只取决于系统校准的精度。当然,出现扰动时,开环控制系统就无法进行控制了。扰动使开环控制系统的输出量偏离期望值,而开环控制系统对此却无能为力。如果输入量与输出量之间的关系已知,并且不存在内扰和外扰,则可采用开环控制系统。实际上任何控制系统或大或小都要受到内部或外部的干扰,所以开环控制系统较适宜于抗干扰能力强的数字控制系统。显然,开环控制系统不是反馈控制系统。

1.2 自动控制系统示例

典型的控制系统有温度控制系统;随动控制系统以及速度控制系统。本节欲通过这些典型例子使我们对自动控制系统有进一步的了解。

1.2.1 热处理炉温度控制系统

热处理炉温控系统的工作原理图如图 1.3 所示。

- (1) 控制任务——是保持热处理炉炉膛温度恒定;
- (2) 受控对象——热处理炉;
- (3) 被控量——炉膛温度;
- (4) 扰动——工件数量、环境温度、煤气压力等;

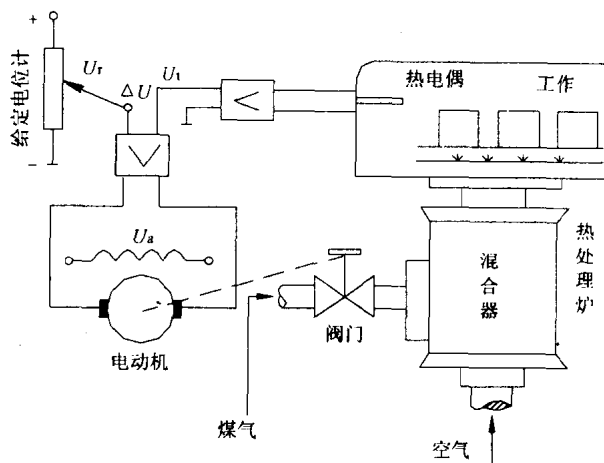


图 1.3 热处理炉温度控制原理图

- (5) 温度调节方法——调节煤气管道上阀门开度即可改变炉温；
- (6) 测量元件——热电偶。其作用是将炉温转变为相应的电压信号 U_i ；
- (7) 给定装置——由给定电位器给定。其给定电压 U_r 大小对应于给定的炉膛温度；
- (8) 计算——将两电压主极性反接，就可完成减法运算。输出电压 $\Delta U = U_r - U_i$ ，相当于炉温的偏差量；
- (9) 执行机构——电动机、传动装置和阀门。

热处理炉温度控制系统的控制原理是炉温既受工件数量及环境温度变化的影响，又受由混合器输出的煤气流量的影响，因此调整煤气流量便可控制炉温。假定炉温恰好等于给定温度值，这时 $U_i = U_r$ 即 $\Delta U = 0$ 。故电动机和调节阀都静止不动，煤气流量恒定，热处理炉处于给定温度状态。如果增加工件，热处理炉的负荷加大，而煤气流量一时没变，则炉温下降。温度下降将导致 U_i 减小，使 $\Delta U > 0$ ，电动机将阀门开大，增加煤气供给量，从而使炉温回升，直至重新等于给定值 ($U_i = U_r$) 为止。这样在负荷加大的情况下仍然保持了规定的温度。

如果负荷减小或煤气压力突然加大，则炉温升高。 U_i 随之加大， $\Delta U < 0$ ，故电动机反转关小阀门，减少煤气量，从而使炉温回降，直至等于给定值为止。

由此看出，系统通过炉温与给定值之间的偏差来控制炉温，所以是按偏差调节的自动控制系统。系统中除热处理炉及供气设备外，其余统称温度控制装置或温度调节器。

表示系统内各功能部件之间相互联系的框图如图 1.4 所示。图中每个功能部件用一个方框表示，箭头表示信号的输入、输出通道，最右边的方框习惯于表示被控对象，其输出信号即为被控量，而系统的总输入量包括给定值和外部干扰。

系统是一个闭合的回路，信号经调节器、热处理炉之后又反馈到调节器。由于系统是按偏差进行调节的，因而必须测量炉温，反馈的闭合回路也是必需的；而且反馈信号应与给定值作相减的计算（图中以负号表示负反馈），以得到偏差信号。所以，这种系统称为反馈控制系统。

1.2.2 位置随动系统

图 1.5 是位置随动系统的原理图。根据图 1.5 可知道随动控制系统由以下几部分组成：

- (1) 控制的任務——使工作机械跟随指令机构同步转动，即要求工作机械的 θ_c 跟随指令转角 θ_r 变化，亦即使 $\theta_c(t) = \theta_r(t)$ ；

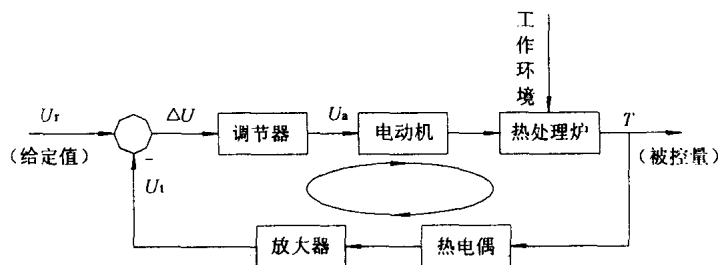


图 1.4 热处理炉温度控制系统功能框图

(2)受控对象——工作机械；

(3)被控量——角位置 θ_c ；

(4)给定值(输入值)——指令转角 θ_r ；

(5)测量元件——电位计。转角 θ_c 及 θ_r ；由两个电位计测量并转换为相应的电压 U_c 及 U_r ；

(6)计算—— $\theta_c - \theta_r$ 。两个测量电位作桥式连接，即完成了减法运算 $\theta_r - \theta_c$ 。两电刷之间的电压 U_g ，反映了被控量 θ_c 与给定值 θ_r 的误差；

(7)执行机构——电动机减速装置。

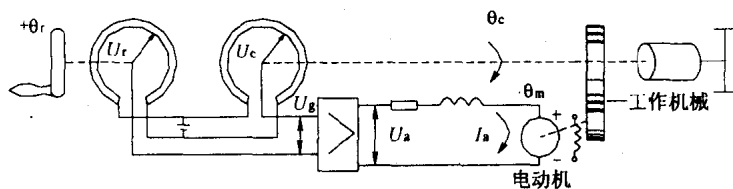


图 1.5 位置随动系统原理图

位置随动系统的控制原理：

如果工作机械转角 θ_c 等于指令转角 θ_r ，经事先调整，使 $U_r = U_c$ ，则 $U_g = 0$ ，电动机不动，系统处于平衡状态。如果指令转角 θ_r 变化了，而工作机械仍处于原位，则 $\theta_c \neq \theta_r$ ， $U_c \neq U_r$ ， $U_g \neq 0$ ，电动机拖动工作机械向 θ_r 所要求的方向快速偏转，直至 $\theta_c = \theta_r$ ，电动机停转，在新的位置上又处于与指令同步的平衡状态，完成了跟随的任务。

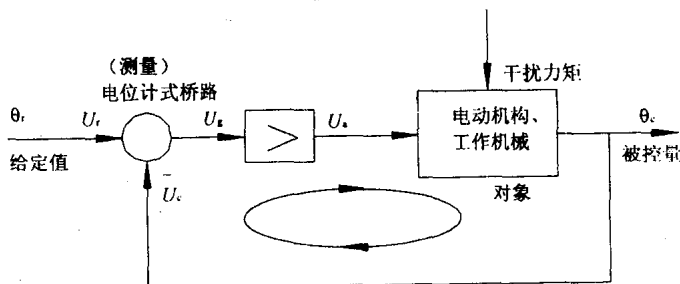


图 1.6 位置随动系统功能框图

由于系统是通过测量 θ_c 与 θ_r 的偏差来控制的，所以是按偏差调节的自动控制系统。系统的功能框图如图 1.6 所示，它是个负反馈的闭合回路。在工程技术上，常常需要某个机构(如机床刀架进给、船闸、雷达天线、卡车前轮等)的位置能快速精确地跟随一个指令信号动作，而这可以通过随动原理来实现。

系统的受控对象比较简单，相当于执行机构直接拖动的一个纯机械载荷。指令信号根据工

作需要经常变化,而且无法完全确定。只要选用大功率的功放装置和电动机,即可以用功率很小的指令信号来操纵功率很大的工作机械,且可以进行远距离控制。

1.2.3 调速系统

图 1.7 为调速系统的工作原理图,该系统的任务是保持工作机械恒速运行。

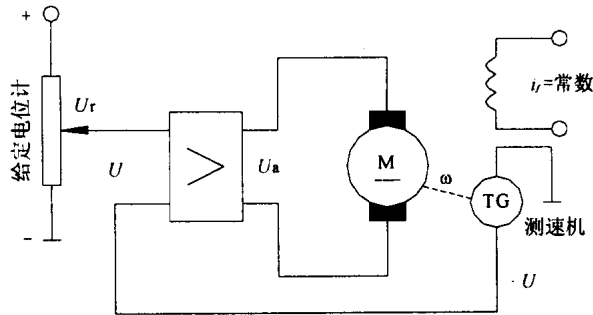


图 1.7 调速系统原理图

调速系统的控制原理:

测速机测量电动机的转速 n 并将其转换为相应的电压 U ,然后将 U 与给定电位计的输出电压 U_r 进行比较,其输出信号经放大装置放大后控制电动机,而电压 U_r 即代表了所要求的转速。如果工作机械的载荷加大,使电动机转速下降,测速机输出电压 U 减小,与给定电压 U_r 比较后的偏差电压 ΔU 放大为 U_a ,故电枢电压相应加大,从而使电动机转速得到补偿。

这里是通过测量转速,与给定转速的偏差来控制电动机转速的,因此调速系统亦称为按偏差调节的自动控制系统。其功能框图如图 1.8 所示。

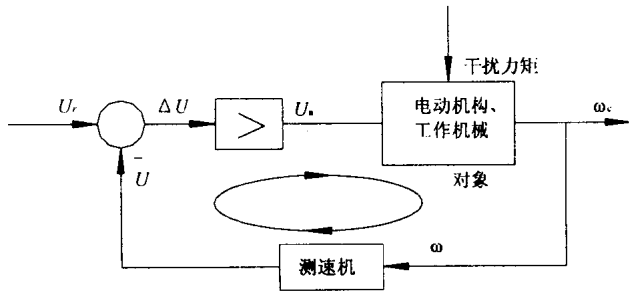


图 1.8 调速系统功能框图

1.3 自动控制系统分类

自动控制系统有顺序(sequential)自动控制和反馈自动控制两种。顺序自动控制系统是开环系统,是执行预先给出的顺序命令,它可分为:

(1)时间顺序控制——顺序是按时间来编排的,当前一阶段控制动作结束,再经一定时间之后转移到下一动作。

(2)条件顺序控制——顺序根据前一阶段的控制结果,选定下一阶段所要完成的控制动作,并转到下一阶段工作。