



附：自动控制系统及应用自学考试大纲

自动控制系统及应用

组编/全国高等教育自学考试指导委员会
编/孔凡才

全国高等教育自学考试指定教材 机电一体化工程 (专科)

机械工业出版社

全国高等教育自学考试指定教材
机电一体化工程专业（专科）

自动控制系统及应用

（附：自动控制系统及应用自学考试大纲）

全国高等教育自学考试指导委员会 组编
孔凡才 编

机械工业出版社

本书主要叙述典型自动控制系统的基本部件、系统的组成、工作原理和数学模型的建立；着重阐述自动控制系统性能（稳定性、稳态性能和动态性能）的分析，以及改善系统性能的途径（系统校正）。本书的着眼点是系统性能分析（以定性分析为主，定量分析为辅）和系统性能的改进。

本书的特点是：全书以方法论为主线，以实例分析（或举例）为载体，将自动控制原理和实际系统结合起来，理论联系实际，侧重技术应用，并注意物理概念和物理过程的阐述。本书条理清楚、重点突出、分析仔细、便于自学。书中对检测元件、控制电机和电力电子学做了必要的补充，以便于机械类等非电专业学生阅读。书中每章均有小结、思考题和习题，便于读者复习和练习。

本书为全国高等教育自学考试“机电一体化工程”专业的自学教材，也可供普通高等专科学校、高等职业院校和业余大学机电类专业学生选用，并可供工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

自动控制系统及应用/孔凡才编. —北京：机械工业出版社，2000.7

全国高等教育自学考试指定教材 机电一体化工程专业（专科）

ISBN 7-111-01332-8

I. 自… II. 孔… III. 自动控制系统—高等教育—自学考试—教材
IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2000）第 66448 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

责任编辑：贾玉兰 版式设计：张世琴 责任校对：张佳

印刷：北京友谊印刷有限公司

2000 年 12 月第 1 版·2005 年 11 月第 4 次印刷

787mm × 1092mm · 1/16 · 17.625 印张·432 千字

16001—19000 册

定价：23.50 元

本书如有质量问题，请与当地教材供应部门联系。

组 编 前 言

当您开始阅读本书时，人类已经迈入了 21 世纪。

这是一个变幻难测的世纪，这是一个催人奋进的时代。科学技术飞速发展，知识更替日新月异。希望、困惑、机遇、挑战，随时随地都有可能出现在每一个社会成员的生活之中。抓住机遇，寻求发展，迎接挑战，适应变化的制胜法宝就是学习——依靠自己学习、终生学习。

作为我国高等教育组成部分的自学考试，其职责就是在高等教育这个水平上倡导自学、鼓励自学、帮助自学、推动自学，为每一个自学者铺就成才之路。组织编写供读者学习的教材就是履行这个职责的重要环节。毫无疑问，这种教材应当适合自学，应当有利于学习者掌握、了解新知识、新信息，有利于学习者增强创新意识、培养实践能力、形成自学能力，也有利于学习者学以致用、解决实际工作中所遇到的问题。具有如此特点的书，我们虽然沿用了“教材”这个概念，但它与那种仅供教师讲、学生听，教师不讲、学生不懂，以“教”为中心的教科书相比，已经在内容安排、形式体例、行文风格等方面都大不相同了。希望读者对此有所了解，以便从一开始就树立起依靠自己学习的坚定信念，不断探索适合自己的学习方法，充分利用已有的知识基础和实际工作经验，最大限度地发挥自己的潜能达到学习的目标。

欢迎读者提出意见和建议。

祝每一位读者自学成功。

全国高等教育自学考试指导委员会

1999 年

编 者 的 话

本书是根据高等教育自学考试“机电一体化工程”专业的自动控制系统及应用课程的1999年修订的自学考试大纲编写的。其参考教学时数为72学时（自学时数为240小时）。

本书主要叙述典型自动控制系统的基本部件、系统的组成，系统的工作原理和数学模型的建立；从复数域分析法和频域分析法出发，着重阐述自动控制系统的性能分析方法（系统稳定性、稳态和动态性能分析）以及改善系统性能的途径（系统校正）。本书的着眼点是系统性能分析和系统性能改进，而不是系统设计。因此书中主要是阐述常用的反馈控制系统的分析方法，阐述系统的组成→工作原理→分析思路→分析方法→改善系统性能的途径→主要结论和它的物理含义以及它在实际系统中的应用。

由于自动控制理论比较抽象，学生不易接受，主要是不知自动控制理论用于何处和怎样具体应用。因此本书将自动控制理论与自动控制系统结合起来，并注意理论在实际系统中的应用。

本课程的总体框架是以自动控制系统为主，自动控制理论作为分析的方法和工具，是围绕系统性能分析展开的，是为分析的对象（实际的自动控制系统）服务的，请读者学习本课程时加以注意。

自动控制系统是在高等数学、电工技术基础、电子技术基础、电力电子学、检测技术等课程内容基础上进行学习的。因此读者在学习本课程时，要注意对上述基础知识的复习与运用。鉴于机电一体化工程的专业教学计划中未曾安排控制电机、电力电子学和检测技术等课程，为便于读者自学，在编写本书时，在第二章“典型自动控制系统的基本部件”中，对典型自动控制系统中涉及到的上述必需的知识做了适当的补充。

考虑到这是一本自学教材，以及高等工程专科侧重技术应用的特点，因此在编写时，都是从生产实际出发，仔细分析系统的工作原理，着重阐明物理过程，并对不常用的部分理论和繁琐的数学推导做了简化的处理，以力求使教材简明、易学、实用。但自学毕竟是一种艰辛的劳动，不仅要有坚强的毅力和恒心，而且更要注意改进学习方法，要循序而渐进，熟读而精思；要靠自己反复钻研去掌握书中的核心内容；要学会做读书摘记，坚持独立解题；逐渐学会应用理论知识去解决实际生产中出现的的问题，提高分析能力和应用能力。

本书是全国高等教育自学考试“机电一体化工程”专业的自学教材，也可供高等工科院校、高等职业学院、业余大学、职工大学的“机电一体化”专业、“机械”类专业、“电气工程”类专业、“制冷空调”专业、“计算机应用”专业的有关课程参考使用。与本教材配套出版的，还有《自动控制系统及应用自学辅导》，内有学习辅导、思考题与习题参考解答及自测试卷。

本书由上海理工大学孔凡才教授编写；上海交通大学陈敏逊教授主审；上海大学龚幼民教授、上海理工大学颜小辛副教授参审，西安交通大学杨林森教授参加了审稿会议，他们对

书稿提出了许多宝贵的意见与建议，在此表示衷心的感谢。限于编者水平，书中难免存在错误与不妥之处，敬请广大读者和有关教师给予指正〔来信寄（邮政编码：200031）上海理工大学 孔凡才收〕。

编 者

2000 年 2 月于上海

律 师 声 明

湖南通程律师集团事务所和中国律师知识产权维权业务协作网各成员所接受教育部考试中心的委托,在中华人民共和国行政辖区内依法维护其著作权及与著作权有关的权利。特声明如下:

一、教育部考试中心合法拥有全国高等教育自学考试指导委员会组编的全国高等教育自学考试指定教材近 700 种图书的著作权。

二、全国高等教育自学考试指定教材已采用专门的防伪措施。凡假冒其防伪措施,复制、发行全国高等教育自学考试指定教材均构成侵权,必须承担相应的法律责任;凡销售全国高等教育自学考试指定教材侵权复制品的图书经销行为亦构成侵权,亦须承担相应的法律责任。

三、湖南通程律师集团事务所和中国律师知识产权维权业务协作网各成员所,将采取必要措施制止或消除任何侵犯教育部考试中心著作权及与著作权有关的权利的侵权行为,依法维护其著作权合法权益。

欢迎社会各界人士对侵犯教育部考试中心著作权的侵权行为进行举报。

维权电话:0731-5535762

传真:0731-5384397

特此声明!

湖南通程律师集团事务所

杨金柱 律师

2004 年 9 月

附:中国律师知识产权维权业务协作网核心成员所名单

(排名不分先后,各地普通成员所名单未列)

湖南通程律师集团事务所	内蒙诚安律师事务所	山东中强律师事务所
湖北楚风德浩律师事务所	山西黄河律师事务所	广西中司律师事务所
福建天衡联合律师事务所	四川信言律师事务所	重庆康实律师事务所
海南东方国信律师事务所	江西添翼律师事务所	浙江京衡律师事务所
陕西许小平律师事务所	河南仟问律师事务所	上海天宏律师事务所
天津华盛理律师事务所	安徽华人律师事务所	新疆巨臣律师事务所
北京市盈科律师事务所	江苏苏源律师事务所	国浩律师集团(昆明)事务所
湖南通程律师集团湘剑律师事务所深圳分所、湖南人和律师事务所珠海分所		

目 录

第一章 自动控制系统概述	1
第一节 引言	1
第二节 开环控制和闭环控制	2
一、开环控制系统	2
二、闭环控制系统	3
第三节 自动控制系统的组成	4
第四节 自动控制系统的分类	5
一、按输入量变化的规律分类	5
二、按系统传输信号对时间的关系分类	6
三、按系统的输出量和输入量间的 关系分类	6
第五节 自动控制系统的性能指标	6
一、系统的稳定性	6
二、系统的稳态性能指标	7
三、系统的动态性能指标	7
第六节 研究自动控制系统的方法	9
小结	9
思考题	10
习题	10
第二章 典型自动控制系统的基本部件	12
第一节 常用的检测元件	12
一、温度检测元件	12
二、线位移检测元件	14
三、角位移检测元件	16
四、转速检测元件	18
第二节 直流伺服电动机与交流伺服 电动机	19
一、直流伺服电动机	19
二、交流伺服电动机	21
第三节 晶闸管 (Th) 直流交流调压电路	22
一、晶闸管	22
二、单相晶闸管全控桥式整流电路	27
三、三相晶闸管半波可控整流电路	30

四、三相晶闸管全控桥式整流电路	32
五、晶闸管整流装置反并联可逆 供电电路	33
六、晶闸管交流调压电路	33
第四节 双极晶体管 (BJT) 脉宽调制 (PWM) 型直流调压电路	35
一、双极晶体管 (BJT)	36
二、双极晶体管 (BJT) 一脉宽调制 (PWM) 型直流调压电路	37
第五节 绝缘栅双极型晶体管 (IGBT) 正弦 脉宽调制 (SPWM) 型交流 变频电路	41
一、绝缘栅双极型晶体管 (IGBT)	41
二、二极管整流器—IGBT 逆变器构成的 交一直—交变压变频电路	44
第六节 常用的调节器线路	47
一、比例 (P) 调节器	47
二、积分 (I) 调节器	48
三、比例积分 (PI) 调节器	49
四、惯性 (T) 调节器	50
五、比例积分微分 (PID) 调节器	51
小结	52
思考题	54
习题	55
第三章 典型自动控制系统的组成和工 作原理	57
第一节 水位控制系统	57
第二节 发动机离心调速系统	58
一、液压阀控液压缸和液压阻尼器	58
二、发动机离心调速系统	60
第三节 具有转速负反馈的晶闸管直流 调速系统	61
第四节 具有电压负反馈和电流正反馈的晶 管直流调速系统及实例分析	63
一、具有电压负反馈和电流正反馈的晶 闸管直流调速系统	63
二、实例分析	64

第五节 转速、电流双闭环晶闸管直流调速系统	67	二、典型自动控制系统闭环传递函数的求取	120
第六节 晶闸管交流调压位置随动系统	70	三、交叉反馈系统框图的化简及其闭环传递函数的求取	121
一、晶闸管交流调压位置随动系统的工作原理	70	第五节 典型自动控制系统常用部件的传递函数与框图	122
二、位置随动系统的特点	74	一、电路元件	122
第七节 双极晶体管 (BJT) 脉宽调制 (PWM) 控制的直流位置随动系统	74	二、运算放大器及常用调节器	122
一、系统的组成	74	三、组合机床的动力滑台	124
二、系统的工作原理	74	四、直流电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机	125
第八节 绝缘栅双极型晶体管 (IGBT) 正弦脉宽调制 (SPWM) 控制的交流变压变频 (VVVF) 调速系统	80	第六节 典型自动控制系统的数学模型	129
一、变压变频调速的基本控制方式	80	一、水位控制系统	129
二、模拟式 IGBT-SPWM-VVVF 交流调速系统	81	二、具有转速负反馈的直流调速系统	129
三、微机控制的 IGBT-SPWM-VVVF 交流调速系统简介	82	三、转速、电流双闭环直流调速系统	130
小结	84	四、位置跟随系统	132
思考题	87	五、机械转动系统	133
习题	87	第七节 系统数学模型的简化处理	135
读图练习	88	小结	137
第四章 拉普拉斯变换及应用	91	思考题	139
第一节 拉普拉斯变换的概念	91	习题	140
第二节 拉普拉斯变换的主要运算定理	94	第六章 频率特性	143
第三节 拉普拉斯反变换	96	第一节 频率特性的基本概念	143
第四节 拉普拉斯变换应用举例	97	第二节 频率特性表示方式	144
小结	102	一、数学式表示方式	144
习题	103	二、图形表示方式	145
第五章 自动控制系统的数学模型	104	第三节 典型环节的对数频率特性	149
第一节 传递函数	104	一、比例环节	149
第二节 系统框图	105	二、积分环节	149
第三节 典型环节的传递函数和功能框	106	三、理想微分环节	151
一、比例环节	107	四、惯性环节	151
二、积分环节	107	五、比例微分环节	153
三、理想微分环节	109	六、振荡环节	153
四、惯性环节	110	七、延迟环节	156
五、比例微分环节	112	第四节 闭环系统的开环对数频率特性	157
六、振荡环节	113	一、采用叠加的方法求串联环节的伯德图	157
七、延迟环节	115	二、系统开环渐近对数幅频特性的简便画法	159
第四节 框图的变换、简化和闭环传递函数的求取	116	三、最小相位系统的概念	161
一、框图的等效变换与简化	116	四、由系统 (或部件) 的对数频率特性求对应的传递函数	163
		第五节 系统的闭环频率特性	165

小结	167	小结	197
思考题	169	思考题	198
习题	169	习题	199
第七章 自动控制系统的性能分析	171	第八章 自动控制系统的校正	202
第一节 自动控制系统的稳定性分析	171	第一节 校正装置	202
一、系统稳定性的概念	171	一、无源校正装置	202
二、对数频率稳定判据	172	二、有源校正装置	202
三、稳定裕量与系统的相对稳定性	174	第二节 串联校正	206
四、二阶系统的稳定性分析举例	175	一、比例 (P) 串联校正	206
五、典型三阶系统的稳定性分析举例	176	二、比例微分 (PD) 校正 (相位超前 校正)	207
六、调速系统稳定性分析举例	178	三、比例积分 (PI) 校正 (相位滞后 校正)	209
七、位置随动系统稳定性分析举例	180	四、比例积分微分 (PID) 校正 (相位滞后 - 超前校正)	211
八、延迟环节对系统稳定性的影响分析 举例	181	第三节 反馈校正	214
第二节 自动控制系统的稳态性能分析	182	第四节 顺馈补偿	218
一、系统稳态误差的概念	182	一、扰动顺馈补偿	219
二、系统稳态误差与系统型别、系统开环 增益间的关系	184	二、输入顺馈补偿	220
三、系统稳态误差与输入信号间的关系	185	第五节 系统分析方法综述	222
四、由系统开环对数频率特性分析系统的 稳态性能	187	小结	223
五、自动调速系统的稳态性能分析举例	188	思考题	224
六、位置随动系统的稳态性能分析举例	189	习题	225
第三节 自动控制系统的动态性能分析	190	附录	228
一、系统动态指标的求取	190	附录 A 常用文字符号	228
二、系统动态性能与系统开环频率特性间 的关系	193	附录 B 自动控制技术术语中、英文名词 对照 (以汉语拼音序排列)	232
第四节 自动控制系统性能分析举例	194	参考文献	240
一、调节增益对典型二阶系统性能的 影响	194	后 记	241
二、调节增益对典型三阶系统性能的 影响	195	《自动控制系统及应用》自学考试大纲	243
		后 记	271

第一章 自动控制系统概述

第一节 引言

在工业、农业、交通运输和国防各个方面，凡对生产技术要求较高的场合，都离不开自动控制。所谓自动控制，就是在没有人直接参与的情况下，利用控制装置，对生产过程、工艺参数、目标要求等进行自动的调节与控制，使之按照预定的方案达到要求的指标。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，自动控制越来越受到人们的重视，在控制理论和技术应用方面因此也获得了飞速的发展。

自动控制的应用虽然可以追溯到 18 世纪（1788 年）瓦特（Watt）利用小球离心调速器使蒸汽机转速保持恒定的开创性的突破以及 19 世纪（1868 年）麦克斯韦（Maxwell）对船舶摆动（稳定性）的研究；但在初期，自动控制应用的进展是不快的。自动控制的真正发展是在 20 世纪。例如 1920 年海维赛得（Heaviside）在无线电方面的研究（并首先引入了拉普拉斯变换、傅里叶变换和表征声强比的单位分贝）和 1932 年奈奎斯特（Nyquist）对控制系统稳定性的研究（奈氏稳定判据）等。此后，在第二次世界大战期间，由于对更快和更精确武器系统的需要，并借助于数学方面的成果，自动控制理论获得迅速的发展。1948 年维纳（Weiner）出版了划时代著作《控制论》，对控制理论作了系统的阐述，随后伊文斯（Evans）在 1950 年创立了根轨迹法，1954 年钱学森创立工程控制论，1962 年柴达（Zadeh）提出状态变量法等等。60 年代以后，以现代控制理论为核心，在多输入—多输出、变参量、非线性、高精度、高效能等控制系统的研究，在最优控制、最佳滤波、系统辨识、自适应控制等理论方面都获得了重大的发展，特别是近年来由于计算机技术和现代应用数学研究的迅速发展，使大系统理论和人工智能控制等方面都取得了很大的进展。

同样，在机电控制技术方面，早在 20 世纪 30 年代就出现了电子管调节器和模拟计算机，出现了液压仿形机床，到 40 年代出现了电机放大机—发电机—电动机控制系统，到 50 年代出现了晶体管、集成电路，步进电机和三维数控机床，到 60 年代，出现了晶闸管、大规模集成电路、新型伺服电机，以及电液伺服阀的普及和计算机技术的发展，到 70 年代及以后，随着微电子技术和计算机技术的迅猛发展，相继出现了大型多功能数控机床、数控加工中心、机械手、机器人等机电一体化的高新设备，以及计算机辅助设计（CAD）和计算机辅助制造（CAM）等高新技术。如今随着时间的推移，将会出现更多的高新产品和高新技术。

面对浩如烟海的各种自动控制技术，本课程只能说是一个入门，为读者在机、电自动控制技术方面打下一个初步的但却是非常重要的基础，使读者对自动控制系统的组成、工作原理、数学模型、性能分析和系统校正等方面有一个相对完整的认识。

第二节 开环控制和闭环控制

若通过某种装置将能反映输出量的信号引回来去影响控制信号，这种作用称为反馈作用。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；不设反馈环节的，则称为开环控制系统（这里所说的“环”，是指由反馈环节构成的回路）。下面将概括地介绍这两种控制系统的控制特点。

一、开环控制系统

若系统的输出量不被引回来对系统的控制部分产生影响，这样的系统称为开环控制系统。

例如一般洗衣机^①就是一个开环控制系统。其浸湿、洗涤、漂清和脱水过程都是依设定的时间程序依次进行的，而无需对输出量（如衣服清洁程度、脱水程度等）进行测量。

又如普通机床的自动加工过程，也是开环控制。它是根据预先设定的加工指令（切削深度、行程距离）进行加工的，而不去检测其实际加工的程度。

再如图 1-1 所示的由步进电动机驱动的数控加工机床，就是一个未设反馈环节的开环控制系统。

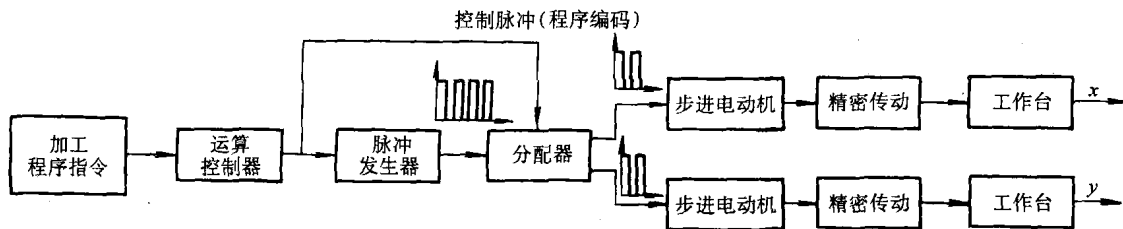


图 1-1 数控加工机床示意图

它由预先设定的加工程序指令，通过运算控制器（可为微机或单片机）去控制脉冲的产生和分配，发出相应的脉冲，由它（通常还要经过功率放大）驱动步进电动机，通过精密传动机构，再带动工作台（或刀具）进行加工。如果能保证不丢失脉冲，并能有效地抑制干扰的影响，再采用精密传动机构（如滚珠丝杆），这样，整个系统虽然为开环系统，但仍能达到相当高的加工精度。现在已有计算机控制的、由精密步进电动机驱动的高精度开环控制系统。

图 1-2 为开环控制系统方块图^②。系统的输入量为加工程序指令，输出量为机床的位移，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。

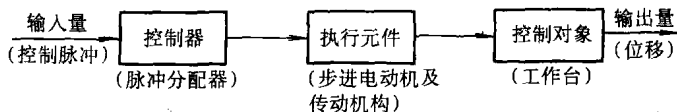


图 1-2 数控加工机床开环控制图

① 这里是指不具有判断清洁度、智能控制等功能的普通洗衣机。

② 在本书中，将在方框中填入文字的系统结构示意图称为“方块图”；将方块中填入传递函数的系统结构示意图称为“系统框图”（见第五章）。

由于开环系统无反馈环节，一般结构简单，系统稳定性好，成本也低，这是开环系统的优点。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，或这些扰动因素可以预计确定并能进行补偿，则应尽量采用开环控制系统。

开环控制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，这时应考虑采用闭环控制系统。

二、闭环控制系统

若系统输出量通过反馈环节返回来作用于控制部分，形成闭合环路，这样的系统称为闭环控制系统，又称为反馈控制系统或自动控制系统。

现以炉温自动控制系统来说明闭环控制的特点。

一只由电阻丝通电加热的电炉箱，由于炉壁散热和增、减工件，将使炉温产生变化，而这种变化通常是无法预先确定的。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，最常用的方法便是采用温度负反馈。图 1-3 为一个采用温度负反馈的控制系统。由图可见，采用热电偶来检测温度，并将炉温转换成电压信号 U_{fT} （毫伏

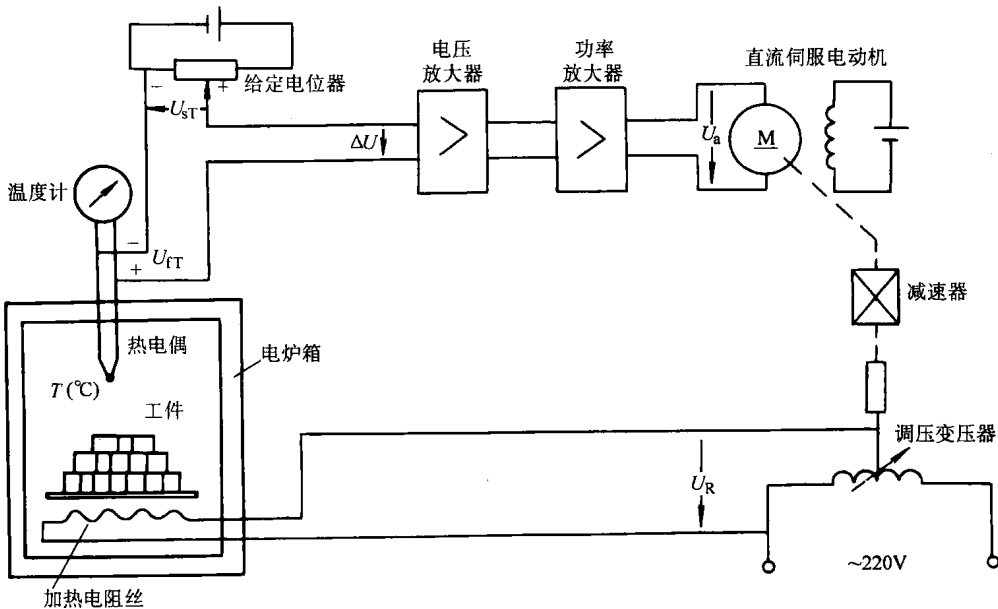


图 1-3 电炉箱恒温自动控制系统

级)，然后反馈至输入端与给定电压 U_{sT} 进行比较，由于是采用负反馈控制，因此两者极性相反，两者的差值 ΔU 称为偏差电压 ($\Delta U = U_{sT} - U_{fT}$)。此偏差电压作为控制电压，经电压放大和功率放大后，去驱动直流伺服电动机（控制电动机电枢电压），电动机经减速器带动调压变压器的滑动触头，来调节炉温。电炉箱自动控制方块图如图 1-4 所示。

当炉温偏低时， $U_{fT} < U_{sT}$ ， $\Delta U = (U_{sT} - U_{fT}) > 0$ ，此时偏差电压极性为正，电动机“正”转，使滑点右移，从而使电炉供电电压增加，电流加大，炉温上升，直至炉温升至给定值， $U_{fT} = U_{sT}$ ， $\Delta U = 0$ 时，炉温保持恒定。自动调节过程如图 1-5 所示。

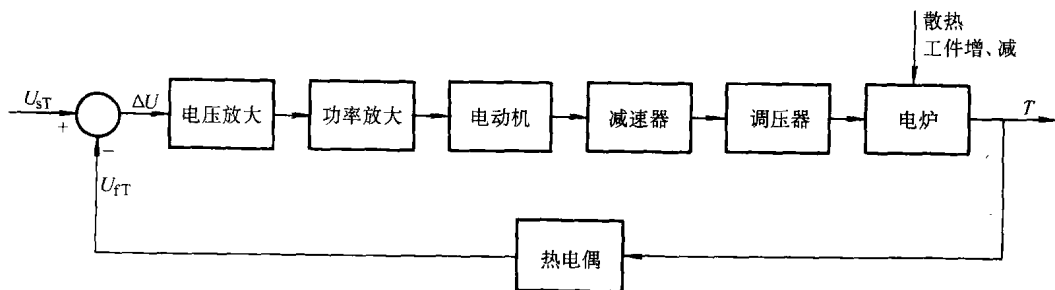


图 1-4 电炉箱自动控制方块图

反之，当炉温偏高时，则 ΔU 为负，经放大后使电动机“反”转，滑动触点左移，供电电压减小，直至炉温降至给定值。

炉温处于给定值时， $\Delta U = 0$ ，电动机停转。

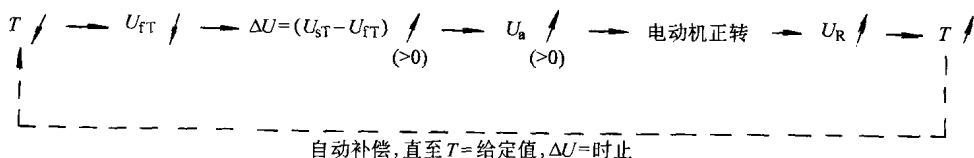


图 1-5 炉温自动调节过程

由以上分析可知，反馈控制可以自动进行补偿，这是闭环控制的一个突出的优点。当然，闭环控制要增加检测、反馈比较环节和调节器等部件，会使系统复杂、成本提高。而且闭环控制会带来副作用，使系统的稳定性变差，甚至造成不稳定。这是采用闭环控制时必须重视并加以解决的问题。

第三节 自动控制系统的组成

现以图 1-3 和图 1-4 所示的恒温控制系统来说明自动控制系统的组成和有关术语。

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方块图表示，并用箭头标明各作用量的传递情况，图 1-6 便是图 1-3 所示系统的方块图。方块图可以把系统的组成简单明了地表达出来，而不必画出具体的线路。

由图 1-6 可以看出，一般自动控制系统包括：

- (1) 给定元件 由它调节给定信号 (U_{ST})，以调节输出量的大小。此处为给定电位器。
- (2) 检测元件 由它检测输出量（如炉温 T ）的大小，并反馈到输入端。此外为热电偶。
- (3) 比较环节 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。若为负反馈，则两信号极性相反。若极性相同，则为正反馈。
- (4) 放大元件 由于偏差信号一般很小，所以要经过电压放大及功率放大，以驱动执行元件。此处为晶体管放大器或集成运算放大器。
- (5) 执行元件 是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) 控制对象 亦称被调对象。在此恒温系统中即为电炉。

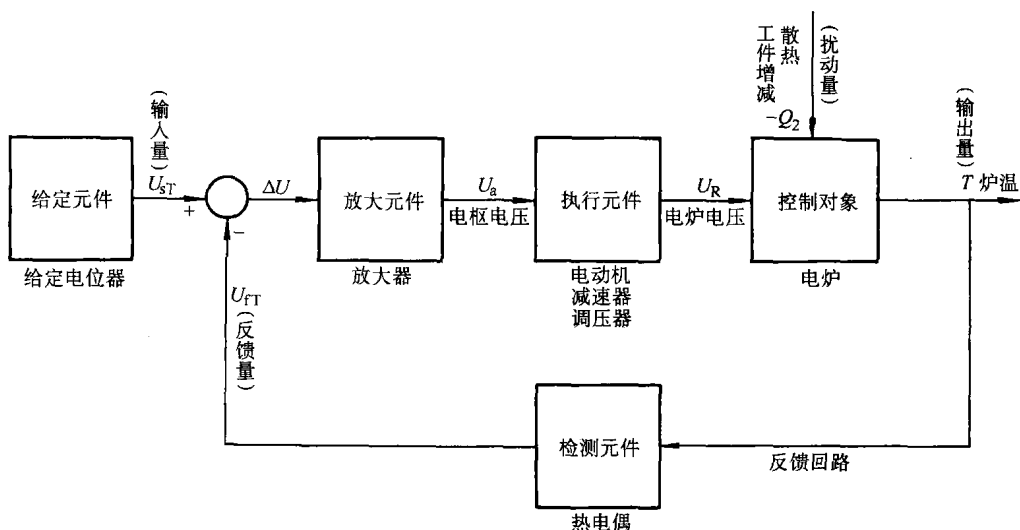


图 1-6 自动控制系统的方块图

(7) 反馈环节 由它将输出量引出，再回送到控制部分。一般的闭环系统中，反馈环节包括检测、分压、滤波等单元，反馈信号与输入信号极性相同则为正反馈；相反，则为负反馈。

由图 1-6 可见，系统的各种作用量和被控制量有：

①输入量 又称控制量或调节量，它通常由给定信号电压构成，或通过检测元件将非电输入量转换成信号电压，如图 1-6 中的给定电压 U_{sT} 。

②输出量 又称被控制量或被调量，它是被控制对象的输出，是自动控制的目标，如图 1-6 中的炉温 T 。

③反馈量 通过检测元件将输出量转变成与给定信号数量级相同的信号电压，如图 1-6 中的反馈信号 U_{fT} 。

④扰动量 又称干扰或“噪声”，它通常指引起输出量发生变化的各种因素。来自系统外部的称为外扰动，例如电动机负载转矩的变化、电网电压的波动、环境温度的变化等。图 1-6 中的炉壁散热、工件增减均可看成是来自系统外部的扰动量。来自系统内部的扰动称为内扰动，如系统元件参数的变化、运放器的零点漂移等。

⑤中间变量 它是系统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 1-6 中的 ΔU 、 U_a 、 U_R 等就是中间变量。

由图 1-6 可以看到，方块图可以直观地将系统的组成、各环节间的相互关系以及各种作用量的传递情况，简单明了地概括出来。

第四节 自动控制系统的分类

自动控制系统可以从不同的角度来进行分类。

一、按输入量变化的规律分类

(一) 恒值控制系统

恒值控制系统的特点：系统的输入量是恒量，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、恒张力控制系统等。此外，许多恒压（液压）、稳压（电压）、稳流（电流）、恒频（电频率）的自动控制系统也都是恒值控制系统。

（二）随动系统（又称伺服系统）

随动系统的特点：输入量是变化着的（有时是随机的），并且要求系统的输出量能跟随输入量的变化而作出相应的变化。

这种控制系统的另一个特点是可以功率很小的输入信号操纵功率很大的工作机械（只要选用大功率的功放装置和电动机即可）此外还可以进行远距离控制。

随动系统在工业和国防上有着极为广泛的应用，例如船闸牵曳系统、刀架跟随系统、火炮控制系统、雷达导引系统和机器人控制系统等。

（三）过程控制系统

生产过程通常是指把原料放在一定的外界条件下，经过物理或化学变化而制成产品的过程。例如化工、石油、造纸中的原料生产；冶炼、发电中的热力过程等。在这些过程中，往往要求自动提供一定的外界条件，例如温度、压力、流量、液位、粘度、浓度等参量在一定的时间内保持恒值或按一定的程序变化。对其中的每一个局部，它们可能是一种随动控制系统，也可能是按程序指令变化的恒值控制系统。

二、按系统传输信号对时间的关系分类

（一）连续控制系统

连续控制系统的特点是控制作用的信号是连续量或模拟量。如上节所述的恒温系统便是连续控制系统，因为作用于系统的信号都是模拟量。

（二）离散控制系统

离散系统又称采样数据系统，它的特点是系统中有的信号是断续量（或数字量或采样数据量）。通常，采用数字计算机控制的系统都是离散系统。

三、按系统的输出量和输入量间的关系分类

（一）线性控制系统

线性控制系统的特点是系统由线性元件构成。它的各个环节或系统都可以用线性微分方程来描述，它可以应用叠加原理和应用拉氏（Laplace）变换。

（二）非线性控制系统

非线性控制系统的特点是其中一些环节具有非线性性质（例如出现饱和、死区、摩擦等等）。它们往往要采用非线性的微分方程来描述。此外，叠加原理对非线性系统是不适用的。

当然，除了以上的分类方法外，还可以根据其他的条件去进行分类。本书根据考试大纲的要求，只讨论连续控制的线性系统。

第五节 自动控制系统的性能指标

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，现分别介绍如下。

一、系统的稳定性

当扰动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稳定下来,这属于稳定系统,如图1-7a所示。但也可能由于内部的相互作用,使系统出现发散而处于不稳定状态,成为不稳定系统,如图1-7b所示。显然,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。对系统的稳定性将在第七章中进行分析。

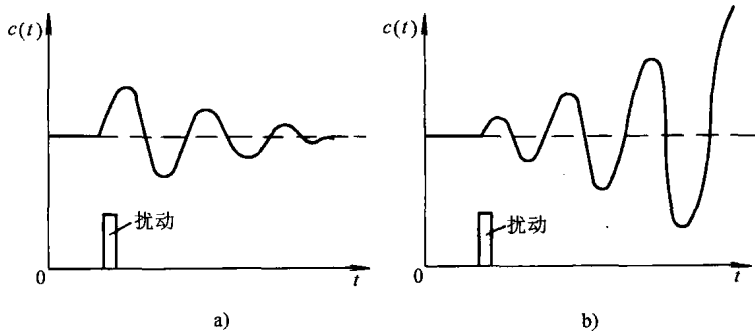


图 1-7 稳定系统和不稳定系统

a) 稳定系统 b) 不稳定系统

二、系统的稳态性能指标

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。系统稳态误差的大小反映了系统的稳态精度(或静态精度),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。若 $e_{ss}=0$,则系统称为无静差系统,如图1-8b所示。反之,若 $e_{ss} \neq 0$,则称为有静差系统,如图1-8a所示。

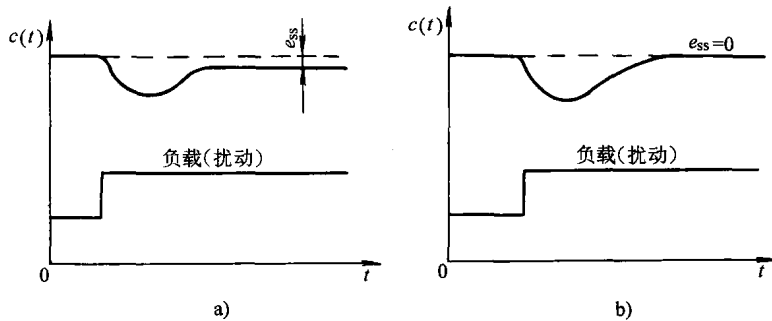


图 1-8 自动控制系统的稳态性能

a) 有静差系统 b) 无静差系统

三、系统的动态性能指标

由于系统的对象和元件通常都具有一定的惯性(如机械惯性、电磁惯性、热惯性等),并且也由于能源功率的限制,系统中各种量值(如速度、位移、电流、温度等)的变化不可能是突变的。因此,系统从一个稳态过渡到新的稳态都需要经历一段时间,亦即需要经历一个过渡过程。表征这个过渡过程性能的指标叫做动态指标。现在以系统对突加给定信号的动态响应来介绍动态指标。

图1-9为系统对突加给定信号的动态响应曲线。