

潘玉民 吴立锋 邓永红 主 编

自动控制原理

典型题解及考研指导

 科学出版社

自动控制原理典型题解 及考研指导

潘玉民 吴立锋 邓永红 主编



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书以自动控制原理典型题为核心,融合课程和考研知识点、难点进行解题分析。从澄清基本概念、基本原理出发,分析出题意图、解题思路及方法辨析、结论及推广,含一题多解和一定量的研究生入学考试真题。本书渗透了作者多年研究生考试指导经验,也是为适应慕课、微课、翻转课堂等新型教学模式而编写的参考书。

本书适合具有一定控制理论基础的学生和考研学生使用,书中概念和理论参考胡寿松主编的《自动控制原理》(第六版),可与该书配合使用,也可供控制工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理典型题解及考研指导 / 潘玉民, 吴立锋, 邓永红主编. —北京: 科学出版社, 2017.5

ISBN 978-7-03-052821-6

I. ①自… II. ①潘… ②吴… ③邓… III. ①自动控制理论—研究生—入学考试—题解 IV. ①TP13-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 107580 号

责任编辑: 余江 张帆 / 责任校对: 郭瑞芝

责任印制: 吴兆东 / 封面设计: 迷底书装

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>

北京教图印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 5 月第 一 版 开本: 787 × 1092 1/16

2017 年 5 月第一次印刷 印张: 15 1/4

字数: 397 000

定价: 39.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

自动控制原理课程是电气工程学科信息类专业的必修课，也是硕士研究生入学考试课程。在自动化、自动控制专业课程设置中，自动控制原理课程具有承上启下、举足轻重的地位。自动控制原理与电力电子技术、电机与拖动基础课程一起构成自动化专业课——电力拖动自动控制系统的主要内容。

自动控制原理课程是自动化专业及相关专业的学科基础课，是一门理论与实践并重，理论性、工程性、实践性很强的课程。该课程是自动化专业的核心课程，也是电气、电子信息、计算机、仪器仪表类专业的重要课程。根据教育部发布的普通高等学校本科专业目录，自动控制原理课程面向相关专业包括自动化、测控技术与仪器、电气工程及其自动化、电子信息工程、计算机科学与技术等。

自动控制技术目前已广泛应用于各类学科。

本书以自动控制原理典型例题和知识点为核心，以省级精品课程、在建精品资源共享课为依托，适应当前慕课、微课、翻转课堂等新型教学模式。本书可作为本科生、专科生及考研备考使用，是根据作者多年来的教学和考研指导经验编写而成，本书也可与胡寿松主编《自动控制原理》(第六版)配合使用。

全书共分9章。第1~8章为经典控制部分，第9章为现代控制理论基础部分。本书力求图文并茂，深入浅出，分析透彻，例题具有代表性、启发性，含出题意图、解题思路、一题多解、结论及推广、MATLAB辅助分析、研究生考试指导等内容。书中的微课知识元用空心字体特别标注出来，以便读者理解。

本书编写时参考了北京航空航天大学汪声远、祁慧珍老师编写的辅导材料，在此致谢；同时也参考了许多专家、学者的教材或参考书，在此，向参考文献的有关作者一并致谢。

感谢科学出版社编辑的大力支持和指导，感谢华北科技学院教务处的大力支持和电子信息工程学院提供的支持和帮助。

本书由潘玉民、吴立锋、邓永红任主编，马红梅、王辉俊任副主编，赵立永、薛伟宁参编。全书由张全柱、王洪民主审。

由于编者水平有限，书中难免存在不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2017年1月

目 录

前言	
绪论	1
0-1 课程特点·学习方法·复习提示	1
0-2 慕课-微课-翻转课堂简介	5
0-3 课程知识点汇总	6
第 1 章 自动控制的基本概念	8
1-1 内容提要	8
1-2 典型例题解析	10
第 2 章 控制系统的数学模型	20
2-1 内容提要	20
2-2 典型例题解析	26
第 3 章 线性系统的时域分析法	52
3-1 内容提要	52
3-2 典型例题解析	61
第 4 章 控制系统的根轨迹法	81
4-1 内容提要	81
4-2 典型例题解析	87
第 5 章 线性系统的频域分析法	113
5-1 内容提要	113
5-2 典型例题解析	119
第 6 章 线性系统的校正方法	145
6-1 内容提要	145
6-2 典型例题解析	149
第 7 章 线性离散控制系统	168
7-1 内容提要	168
7-2 典型例题解析	177
第 8 章 非线性控制系统分析	193
8-1 内容提要	193
8-2 典型例题解析	197
第 9 章 现代控制理论基础	212
9-1 内容提要	212
9-2 典型例题解析	219
参考文献	238

绪 论

随着计算机、通信等技术的发展,自动控制技术得到迅速发展,应用越来越广泛,深刻地影响人类社会的各方面,为人类文明进步做出了重要贡献。

自动控制原理(或理论)是研究自动控制技术的基础理论和自动控制共同规律的技术学科,是自动化专业及相关专业的学科基础课程,该课程理论与实践并重。

0-1 课程特点·学习方法·复习提示

1. 课程特点

自动控制原理课程是自动化专业的一门核心课程,具有理论性、工程性、实践性特点,以方法论为特色,介绍科学的思维和研究方法。在自动化课程体系中具有承上启下、桥梁与纽带作用,具有如下特点:

(1) 涉及多学科。

自动控制理论的发展初期是以反馈控制理论为基础的自动调节原理,随着生产和科学的进步现已发展为一门独立的学科——控制论。广义而言,控制论是指把自动调节、通信工程、计算机技术以及神经科学以数学为纽带相互渗透形成的学科,也是信息科学的重要组成部分,其发展涉及众多的学科领域。

目前根据计算机、电子信息、检测技术、机电、通信工程、系统工程、管理工程等专业不同程度开设自动控制原理课程,因此,该课程具有普遍意义。

(2) 以方法论为特色,是一门关于方法论的课程,具有哲学特征。

① 理论性;②方法性;③系统性;④工程实践性。以实际控制系统为研究对象,解决实际工程设计问题。自动控制理论也正是源于这些实际的控制系统。

本课程的又一个显著特色,可以概括为一个字,即以“图”为特征,贯穿教材始终。如结构图、信号流程图、时域响应曲线、根轨迹图、伯德图、奈奎斯特曲线(奈氏曲线)、相轨迹图、状态变量图等图形化特征,也是有别于其他课程的独到之处和亮点所在,如图 0-1 所示。

此外,还有尼科尔斯曲线、负倒描述函数曲线等。以图形为主线展开的课程,必然呈现出形象直观、易懂的特点,有利于立体化教学。尤其有 MATLAB 软件作为支撑,该软件绘图能力极强,对课程学习者来说“如鱼得水”,可使复杂的问题简单化。

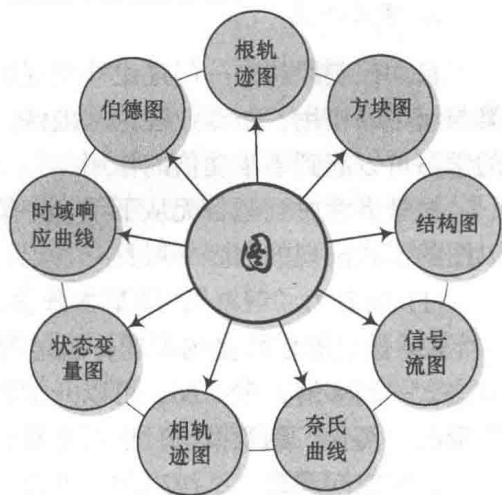


图 0-1 自控理论图形化特征

(3) 与数学联系密切,并在数学方法上有卓越贡献。

高等数学、复变函数及线性代数等是自动控制理论发展的重要基石,如建立在微积分和复变函数与积分变换引出的数学模型、传递函数等,时域与复数域的转换,基于线性代数和微分方程的状态空间分析法等。可以说,数学贯穿控制理论的始终,对控制理论的发展具有决定性的作用。但是,控制理论反过来又发展了数学,并且在数学上有独具匠心和创造性的发展。

控制理论在数学上的杰出贡献主要体现如下。

① 根轨迹法:解决高次方程求解的问题,这是数学至今还没有解决的问题。根轨迹法是通过系统参数变化绘制闭环特征根的运动轨迹,可以对控制系统的稳定性、动态、稳态性能直观地从根轨迹图上确定。显然,根轨迹把数学抽象问题平面化。如果利用 MATLAB 软件,则解任意参数下的高次方程变得十分容易。

② 结构图、信号流图:利用图形化方法对微分方程组化简、消元、求传递函数等,使微分方程组求解过程用图形化实现。

③ 信号流图:对拉氏变换后的线性方程组采用更为简单的图形化方法求解,深入揭示各变量之间的内在联系。特别是在系统的计算机模拟仿真及状态空间法分析设计时,更显示出其优越性。

④ 伯德图:间接分析高阶系统的频率特性,利用对数频率特性曲线——伯德图,即用图解法分析控制系统的动静态性能。

(4) 课程难点、课程内容。

① 课程难点:自动控制理论中的系统建模,扰动作用下的误差分析,奈奎斯特稳定判据,控制系统频域校正和综合,相平面,利用描述函数法判别稳定性等;现代控制理论中的时变系统分析,李雅普诺夫稳定性,最小实现,降维观测器设计等。

② 课程内容:核心内容可以概括为一个模型(数学模型),三种方法(时域法、根轨迹法、频域法)。

课程展开的逻辑思路:基本概念→数学模型→三种方法→改善性能(第 6 章校正)→离散系统(计算机控制)→非线性系统→现代控制理论基础。

2. 学习方法

自动控制原理是一门理论性很强的课程,有其显著特色,对后续专业课的学习起到桥梁与纽带的作用,是专业理论基础课,课程渗透方法论和新思维。选择好的方法对本课程的学习可以起到事半功倍的作用。

初学者常感到题目无从下手、没有思路、解题困难,是由于没有把握课程特点,其实,以图的形式出现的内容一般具有直观、易懂的特点,因此,这门课程并不深奥难学。

(1) 应着力“三基”,即基本概念、基本理论、基本方法。其中澄清基本概念最重要。

(2) 做足够多数量的习题,通过习题掌握课程内容、发现不足。搜集、吸收好的解题方法,一题多解,举一反三可以开阔视野,丰富解题思路。精彩的解题使人豁然开朗,可以吸收、消化,刻意模仿,也可将其视为模板,记忆与贯通,注重其解题思路,揭示物理本质,探究问题是怎么解决的,可否推广,或者能否得出一些有价值的结论,并将其迅速转化为自己的知识或技能,这是一种快速提高水平的有效方法。快速接受知识并内化为能

力也是一种学习的基本功。

(3) 鉴于 MATLAB 软件对学习的杠杆作用, 为该课程教与学提供了强有力的支撑, 可谓是一条快速通道, 即有“捷径”可走。

利用 MATLAB 软件强大功能可加深对课程内容的理解, 为学习本课程及考研准备注入活力, 可起到事半功倍的作用, 使数据及图形绘制精准、高效。MATLAB 具有很强的图形处理功能及大数据处理能力, 特别是擅长于矩阵运算, 因此, 对现代控制理论学习, 以及各种图形绘制方便、快捷, 可以大大提高复习效率和学习的深度, 这是在考研过程中常被同学忽略的。

不仅如此, 熟练掌握该软件, 可为后续专业课的学习, 完成硕士、博士论文以及从事科研工作、发表学术论文等提供强有力的基础, 熟练使用将获益无穷。如果教师能充分利用该软件进行课程教学, “授人以渔”, 也会使教学工作产生质的飞跃, 易于实现立体化教学, 使抽象的概念平面化、立体化, 提高授课的传授力和透明度。

3. 复习提示

(1) 控制系统的一切性能取决于闭环特征方程的“根”——这是掌握控制系统性能分析的根本所在。控制系统的一切动、静态性能由闭环特征根唯一决定, 掌握了“根”的情况就抓住了事物的本质。

但是控制系统的特征方程通常都是高次方程, 在数学上除了一、二阶, 没有特殊的好办法求根, 而控制理论又必须解决这一问题, 否则后续的分析、设计就无法进行。于是就出现了根轨迹法、劳斯判据、赫尔维茨判据、奈奎斯特稳定判据等, 可以不必解高次方程也能掌握根的状态, 构思巧妙, 颇有“不战而屈人之兵”之感, 为数学提供了一系列好方法, 是对数学理论与方法的拓展, 因此认为数学与控制理论密切联系, 尤其是与 MATLAB 软件相结合, 相得益彰, 有利于多学科交叉并举, 相互促进, 协同发展。进而言之, MATLAB 是控制系统仿真技术的后盾。

(2) 考研学生容易忽略的是, 软件图形化对理论理解的重要作用, 如果结合 MATLAB 软件的强大功能, 使抽象的理论转化为直观、形象的问题, 如图形化, 可以使复杂问题变为易于理解的内容, 尤其是遇到难于理解的内容、考题, 必然会起到化难为易的效果, 如系统校正(第 6 章)是教材最难理解和掌握的, 如果利用该软件, 这个问题就会变成简单问题。

(3) 对考研备考学生, 题海还是必要的, 多做习题, 见多识广, 一题多解, 举一反三, 有时复杂问题还需举一反三, 由量变到质变, 提高解题能力。考研学生特别需要注意报考学校考题的特点、出题覆盖面, 吃透其内容, 不妨将其作为考试参考大纲使用。熟悉真题目的在于通过真题解答掌握课程相关理论及知识点, 把握重点及考试特点、解题要求等。

做真题的益处还在于正确把握报考学校, 如果该校历年试题很难, 估计自己的能力难于应付, 或考分会很低, 经过努力也不可能达到, 还是应考虑更换学校。

在四门研究生考试课程中, 自动控制原理提分相对容易, 除非实力较强, 否则其他课程提分较难。因此, 根据个人情况估计通过后续备考、自学能否达到目标, 做到“知己知彼”。备考时选择较高的目标, 则动力足, 可快速提高水平, 但在最终落实学校时, 应测试自己能否达到要求, 切勿“好高骛远”, 不切实际, 毕竟都希望一次到位。测试方法很简单, 通过定时做真题对照答案可知, 但需注意, 初始测试不一定效果好, 这不一定表明自己不

行,很可能是对题型、题量、强度等还不习惯,多次训练会提高。此外,还要兼顾复试课程,初试成绩很高,但复试课程成绩差同样会影响录取结果。

实际上,一切都取决于自己的准备情况,基础、实力、毅力、勤奋程度等都会影响最终结果,稳扎稳打,科学有素,则即使与目标有一定距离也会取得成功,因此,预见自己各方面的潜力储备情况是必要的,以免错过自己心仪的学校。

仅靠做真题是不够的,应广泛、全面备考,强调从本质上掌握知识要点,吃透课程内容,达到贯通效果,注意知识的系统性和前后联系,提升理解深度、高度以及综合应用能力,方能应对自如。如在确定满足一定性能指标的 K 值时,除用到稳态误差计算之外,还可能用到根轨迹法、频率特性、稳定性判别等多方面的知识。

(4) 培养自学能力十分重要。由于不同高校考试内容不尽相同,有些没有讲过的内容必须依靠自学,查缺补漏,这一点也是考研备考的又一个基本功。应不断总结,找出问题,不断调整坐标,以点带面,花最佳时间于关键内容,提高复习效率。

对学习遇到的问题,善于独立思考,通过自学、利用网络资源或参考书、资料等解决问题,养成研究探索问题的良好习惯。

(5) 抓住事物的主要矛盾,透过现象把握事物的本质。基于概念的高度,只要知道概念是什么,问题一般就清楚了。如在求系统的开环传递函数时,如果知道“开环传递函数”是怎么定义的,则问题就很清楚了。因此,概念是解题的钥匙,概念清楚,理论功底扎实,即可基于理论高度居高临下,问题常可以迎刃而解。

(6) 把握基本规律、思路 and 联系。自动控制是关于自动控制系统共同规律的技术科学。透过现象把握事物的本质规律,明确课程基本思路及各部分之间的相互联系,可以起到“画龙点睛”的作用。

注意一门课程并非包含该学科知识的全部,而是在介绍该学科研究问题的方法、问题是怎么提出和解决的。因此,领悟教材的问题是怎么提出的,矛盾如何解决的。即学习提出问题、思维方法及寻求解决问题的基本途径。把握教材的基本结构、知识点分布、前后的逻辑关系,宏观审视,从而在脑中形成一条清晰的线索,掌握解决问题的一般方法及内在联系。如此方能举一反三、触类旁通,才能在不同条件下灵活运用所学知识,掌握自动控制原理课程分析和解决问题的各种方法。

领会教材精神实质,吃透概念的含义,掌握分析问题的基本思路,要多问几个“为什么”。

(7) 抓重点。本课程的主要内容和关键是:一个模型(数学模型),三个方法(时域法、根轨迹法、频域法),对控制系统的要求概括为“稳、准、快”。学会定性分析,掌握定量计算和估算。

理论来自于实践,了解实际控制系统的工作原理,系统组成部件,通过实验研究或仿真实验加深对理论的理解。

(8) 善于模仿和吸收好的解题方法,摸索课程学习方法。科学运用习题解答,多做习题,强化所学内容,形成科学研究的思维方式。广泛查阅参考文献,有效利用网络资源,开阔视野,博学多闻。

(9) 注意灵活掌握知识和具有必要的推导能力。能否利用已知的知识解决未知的问题?这是学习的真正本意所在。学习的目的在于解决未知的问题,这是考研的一种重要基本功和能力。例如,在求带零点的欠阻尼二阶系统的性能指标时,由于没有现成的实用公式可用,可以先推

导出单位阶跃响应表达式,再利用超调量、峰值时间、调节时间等的定义推导出结果。

以上只是原则性地介绍了一些课程的特点、考研和学习方法,实际上,个人应根据各自的特点、基础、条件而有所不同。如何学好自动控制原理课程及提高复习的效果,还需大家共同探讨。

0-2 慕课-微课-翻转课堂简介

1. 慕课

慕课简称 MOOC (Massive Open Online Courses),即“大规模开放的在线课程”。最初由美国斯坦福大学、哈佛大学、麻省理工学院等世界名校倡导并于 2012 年发起,遵循“打破知名大学围墙,为普通人学习世界上最优质的教育资源打开大门”的教育理念,是在全球新涌现出来的一种在线课程模式。

“慕课”的特点是互动性更强,教学视频课程被分割成 10 分钟甚至更小的“微课程”,传授名校、名师的课程教学内容,由许多个小问题穿插其中连贯而成,以即时测试与反馈形式促进学习。

“慕课”近年来引起了国际社会的广泛关注,给高等教育人才培养和教学方式带来深刻变革。一个最显著的变化是“翻转课堂”,即从以教师为中心真正转变为以学生为中心。特点是学习在网上完成,不受时空限制,可免费享受一流大学的课程,只需一台计算机和有网络连接即可。

Coursera 与 edX、Udacity 是“慕课”的三种支持平台,北京大学、清华大学、上海交通大学、复旦大学等已相继加盟,并开发出国内的“慕课”支持平台,如“中国大学 MOOC 网”“MOOC 中国”等,“学堂在线”是清华大学于 2013 年推出的 MOOC 平台,面向全球提供在线课程。

慕课的出现,对于课程学习和考研复习的同学无疑提供了更好的支持资源。

2. 微课

“微课”的视频时长一般为 5~8 分钟,突出教学知识点(如重点、难点、疑点),内容精简,使用方便。

3. 翻转课堂

与传统教学过程相反,学生先自己利用网络课程资源完成知识的学习,而课堂变成了老师和学生之间、学生与学生之间互动的场所,包括答疑解惑、知识的运用等。

实际上,“慕课”涵盖“微课”“翻转课堂”的内容,但目前“微课”“翻转课堂”已独立形成了一种新型教学模式。

本书“微课知识元”是对慕课、微课、翻转课堂教学模式的辅助支持,起“答疑、解惑”作用,又有澄清基本概念,起到知识点、重点、难点、考点及重要概念和方法的解释、辨析的作用,既可作为“慕课”素材,又可作为“微课”和“翻转课堂”的教学素材等,可灵活使用,同时汇集了学生在课程学习或考研过程中经常遇到的一些问题。

0-3 课程知识点汇总

1. 自动控制原理(经典控制理论)

自动控制原理课程主要知识点如图 0-2 所示。

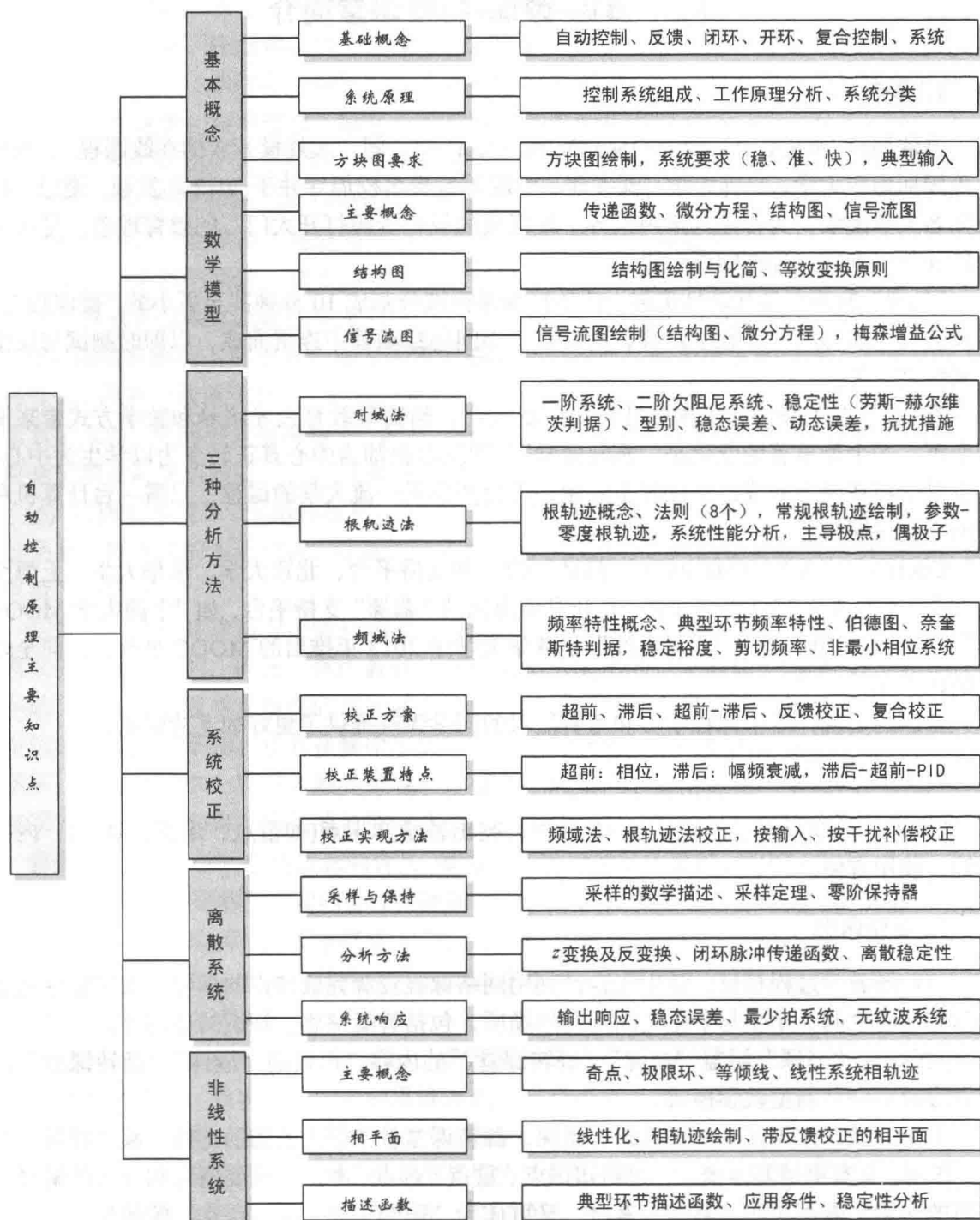


图 0-2 经典控制理论知识点

2. 现代控制理论基础部分

现代控制理论基础部分的主要知识点如图 0-3 所示。

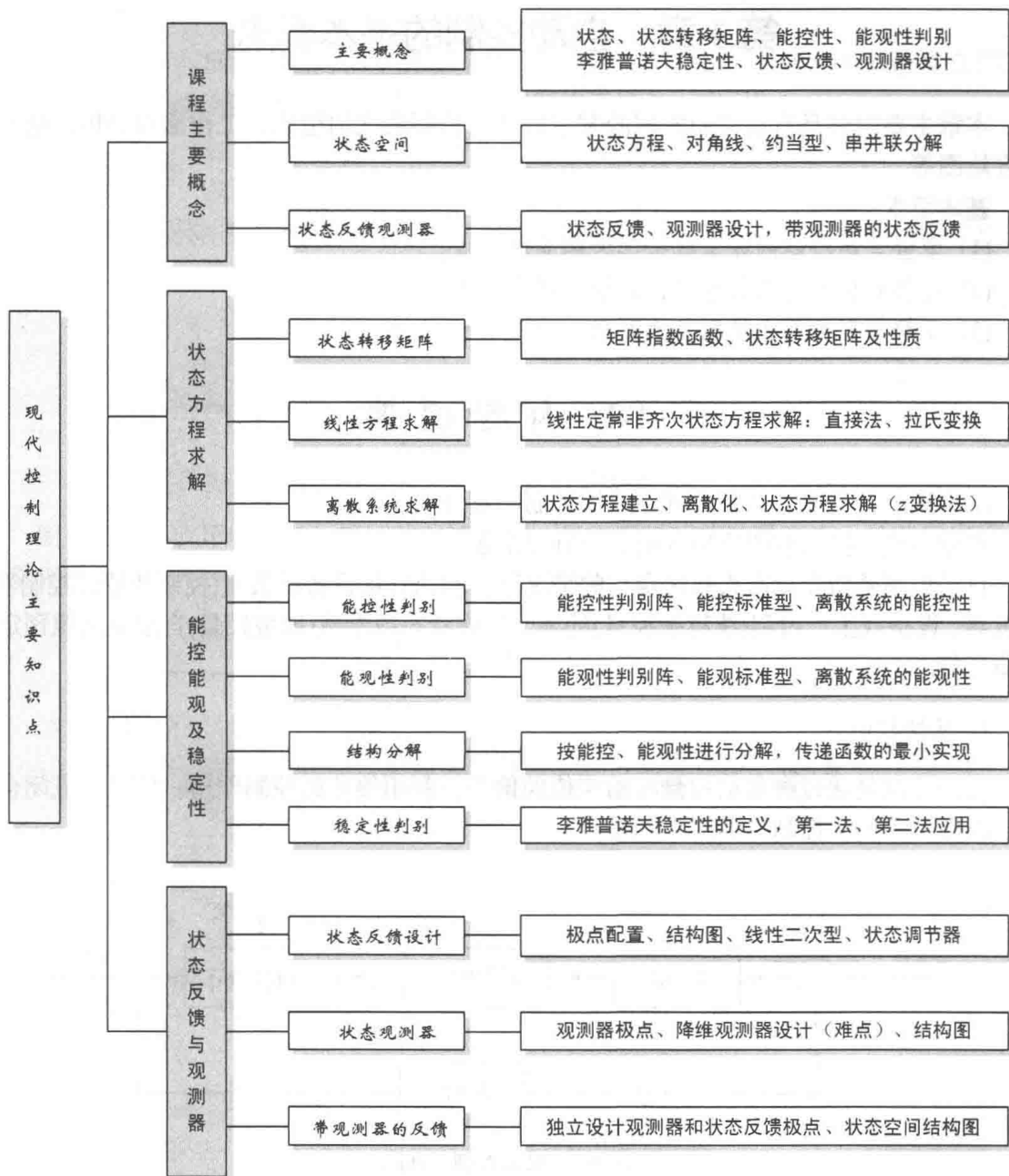


图 0-3 现代控制理论基础知识要点

说明：现代控制理论还包括最优控制理论、状态估计与参数辨识等。包含变分法、极小值原理、动态规划、最优估计理论、最优滤波理论(含卡尔曼滤波器)、系统辨识理论等知识，本书没有涉及。不同高校要求不同，但在硕士研究生考试中，大多数高校主要测试图 0-3 所示内容，即现代控制理论的基础部分。

第1章 自动控制的基本概念

本章主要内容是自动控制原理的基本概念,控制系统的组成、工作原理分析,绘制原理方块图等。

基本要求:

- (1) 掌握自动控制的基本概念和控制系统组成;
- (2) 能够分析系统工作原理,掌握绘制方块图的方法;
- (3) 了解自动控制系统的基本要求。

1-1 内容提要

基本概念:反馈、开环控制、反馈控制、复合控制。

本章重点:控制系统原理分析、绘制方块图。

自动控制是指在没有人直接参与的情况下,利用外加设备或装置(控制装置或控制器),使机器、设备或生产过程(统称被控量)的某个工作状态或参数(即被控量)自动地按照预定的规律运行。

1. 反馈控制

反馈控制是通过测量被控量与给定值的偏差,利用偏差起控制作用。信号形成闭合回路,因此又称闭环控制,如图 1-1 所示。

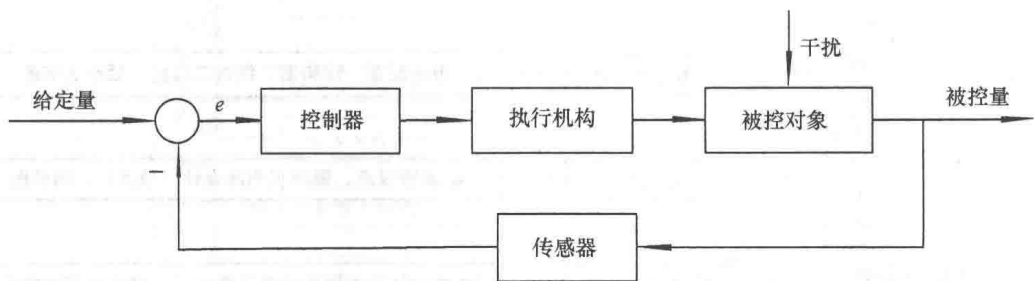


图 1-1 反馈控制原理图

由图 1-1 可知,闭环系统组成部分(被控对象之外):①检测元件;②给定元件;③比较元件;④放大元件(包含在控制器中);⑤执行元件;⑥校正元件(图 1-1 在控制器中实现)。如果系统已经达到性能指标,则不需要校正元件。

反馈控制的本质

(1) 反馈控制本质是按偏差控制的系统,是将被控量的值与给定值进行比较,通过控

制器对被控对象施加作用，使被控量尽可能达到期望值。

(2) 反馈：把取出的输出量送回输入端，并与输入信号相比较产生偏差信号的过程，称为反馈。若反馈的信号与输入信号相减，使产生的偏差越来越小，则称为负反馈；反之，则称为正反馈。

抗扰动能力：反馈控制对被主反馈(针对多环系统)包围的前向通路上的扰动有抑制能力，系统能减小或消除这个偏差，使被控量和期望值趋于一致。

2. 开环控制

如图 1-2 所示，开环控制特点是控制装置与被控对象之间只有顺向作用而没有反向联系的过程。



图 1-2 开环控制原理图

图 1-3 也属于开环控制，是一种前馈控制，是用测量的扰动量产生一种补偿作用，目的是克服扰动。开环控制也可以是按输入进行补偿，见第 6 章图 6-9 所示。

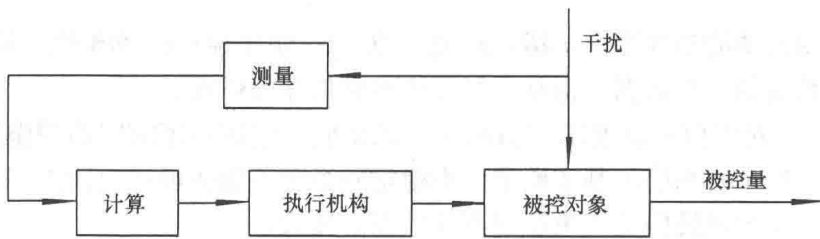


图 1-3 按干扰补偿的开环控制

3. 复合控制

前馈控制一般不能单独使用，通常与反馈控制结合起来，构成复合控制系统，如图 1-4 所示。

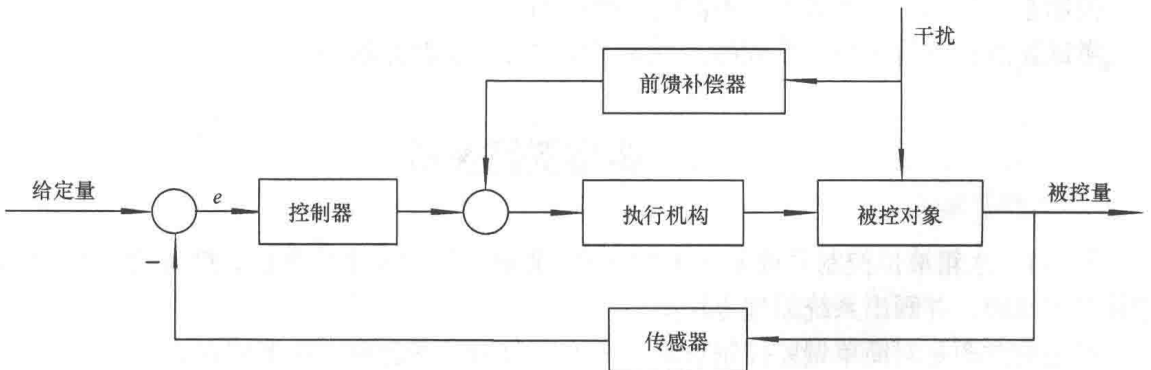


图 1-4 复合控制

图 1-4 中, 前馈控制器只是用来克服干扰, 如负载扰动, 而其他扰动, 如控制器、执行器、被控对象受到的扰动则由闭环控制克服, 同时闭环控制保证系统的稳定性, 复合控制可以有效提高控制精度。

4. 方块图绘制

方块图是本章重要内容。方块图是一种简化的原理图, 从方块图可以大致看出系统的工作原理, 若将方框中的汉字替换为传递函数即可转化为第 2 章的结构图, 结构图再去掉方块, 变量用节点表示就会转化为信号流程图。

方块图绘制时, 应指出被控对象、被控量、检测元件、执行元件及放大元件等, 这样工作原理即可基本显现出来。

方块图绘制准则: 方块图的各部分与实际系统的元部件不一定是一一对应, 一个实际元部件可以用一个方框或几个方框表示; 而一个方框也可以代表元部件或是一个子系统, 或者是一个大的复杂系统。按照信号的传递顺序, 将受控对象置于最右方, 被控量作为系统的输出; 给定量置于最左端, 绘制原理方块图。

注意: 方块图绘制时不反映系统的实际极性, 只反映信号之间的关系。这一点各类教材很少说明。

5. 对自动控制系统的基本要求

对自动控制系统的基本要求包括: a. 稳定性; b. 快速性; c. 准确性, 即稳、准、快。它是设计控制系统的主要依据, 也是控制系统性能指标的体现。

(1) 稳定性。对恒值系统要求当系统受到扰动后, 经过一定时间的调整能够回到原来的期望值。稳定性是对系统的基本要求, 不稳定的系统不能实现预定任务。

特点: 稳定性由系统的结构决定而与外界因素无关。

(2) 快速性。对过渡过程的形式和快慢提出要求, 一般称为动态性能。

(3) 准确性。用稳态误差来表示。在参考输入信号作用下, 系统达到稳态后, 稳态输出与参考输入之差称为稳态误差。

典型输入信号: 单位阶跃输入、单位斜坡输入、单位加速度输入、单位脉冲输入、正弦输入。

控制系统分类: 了解即可, 不同的系统区别很大。

考试要点: 对给定系统原理图, 说明工作原理、绘制方块图。

1-2 典型例题解析

例 1-1 水箱液位控制系统如图 1-5 所示, 要求在运行中水箱液位高度保持不变。试简述其工作原理, 并画出系统原理方块图。

本题的意图是对简单偏差控制系统进行原理分析, 熟悉画方块图的方法。

解题思路 从干扰量——用水阀的开度变化入手, 导致液位变化, 浮子检测到液位变

化,通过杠杆的传导作用,改变控制阀的开度,使液位基本回到原位置。图 1-5 中, l_1 、 l_2 表示阀门的开度,若为直线行程的阀门,则表示阀芯的位移。

解 被控对象:水箱;被控量:液位;检测元件:浮子;放大和执行机构:杠杆、控制阀。

原理分析:从图 1-5 可以看出,被控量是 h ,测量的是 $e = h_r - h$,故系统属于负反馈控制方式。其中, h_r 为系统的给定值,也就是希望的水箱液位高度。

设额定需用流量为 Q_{20} ,此时对应液位高度 h 恰好等于给定值 h_r ,由阀门(节门)1 的开度决定的进入水箱的流量 q_1 也恰好等于 Q_{20} ,则系统处于要求的工作状态。

若需用流量发生变化,如关小阀门 2,即 q_2 减小,一时进入水箱的流量 q_1 还没改变,则 $q_1 > q_2$,液位高度上升。而 h 的增大将导致浮子上移,杠杆联动作用使节门 1 关小;使 q_1 减小,直到 q_1 重新等于 q_2 ,使液面高度又保持常值。

这是一个典型的有差系统。移动杠杆的支点,可改变杠杆传动比,可强化控制的效果,使浮子移动量很小就会使 q_1 变化很大,从而保证水位高度 h 的波动量在允许的误差范围内,但是图 1-5 系统从根本上来讲,需用流量改变以后,容器的液面高度 h 再也不能恢复到给定值 h_r 。这和装置各部件的特性有着密切的关系,请自行分析其原因。

因此,不能认为采用按被控量偏差控制的系统,最终一定能使被控量等于给定值,完全消除偏差。

按照信号的传递顺序,将受控对象置于最右方,指令机构置于最左端,则得图 1-6 液位控制系统的原理方块图。

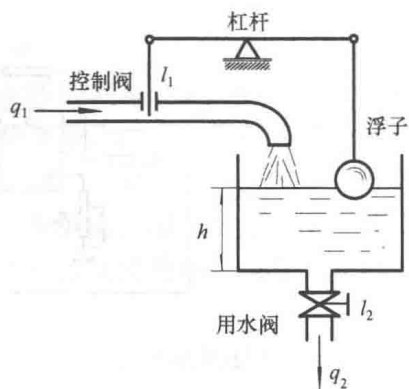


图 1-5 液位控制系统

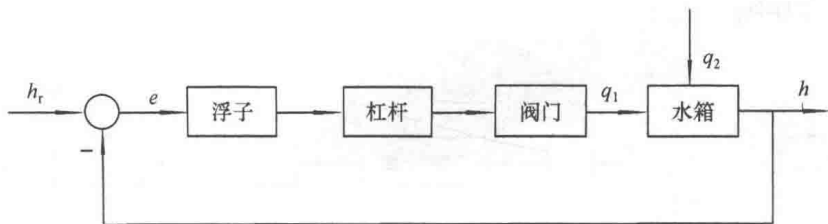


图 1-6 液位控制系统原理方块图

例 1-2 带负载的转速控制系统如图 1-7 所示,要求运行过程中电机的转速恒定。简要分析系统的工作原理,并画出系统的原理方块图。

本题的意图是熟悉电动机带负载运行控制系统工作原理和方块图画法。

说明 调速系统是自动化专业的核心内容。电动机是使生产、设备实现自动化之源,大千世界,凡是运动的物体、装置、设备等大多与电动机有关。

解 需要控制的是电动机的转速,故首先应明确如下几点。受控对象:电动机+负载;被控量是电动机的转速。检测元件:测速发电机;放大:运算放大器、可控硅整流电路;给定装置:电位器。

要求:电动机+负载的转速恒定。

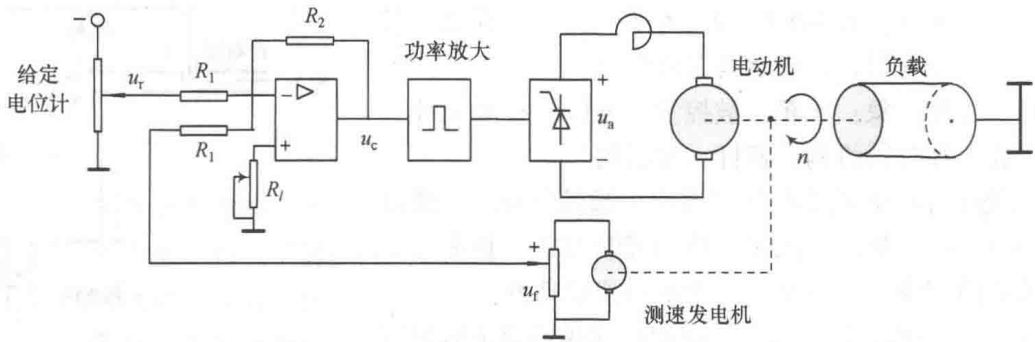
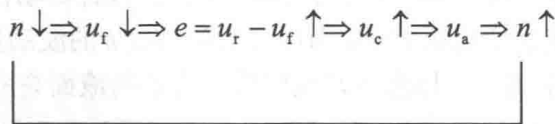


图 1-7 调速系统原理图

直接拖动负载转动的是直流电动机，电动机又是由可控硅整流装置供电，故电动机承担了执行的功能，整流装置相当于变换和放大部件。

要求转速值 n_r 通过给定电位计(或指令机构)以电压 u_r 给出。 n_r 称给定值， u_r 则相当于指令信号。



电动机实际转速通过同轴的测速发电电动机测量，并以电压 u_f 输出。如果由于负荷的扰动使电动机转速下降，则 u_f 随之下落， $e = u_r - u_f$ 上升， n_r 与 n_f 的比较是由线路 u_r 与 u_f 相减实现的，比较电路就相当于计算装置。

按照信号的传递顺序，将受控对象置于最右方，指令机构置于最左端，则得图 1-8 调速系统的原理方块图。

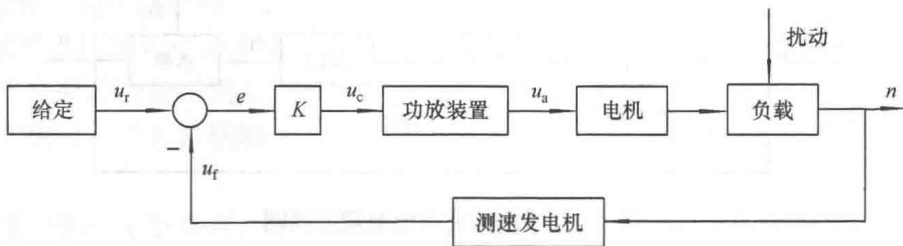


图 1-8 调速系统原理方块图

从图 1-8 也可以看出：如果由于负荷的扰动使负载转速下降，则 u_f 随之下落， $u_r - u_f$ 上升，可控硅整流功放输出的电压 u_a 加大，从而电动机拖动负载增速，完成控制作用，补偿扰动对被控量 n 的影响。如果负荷扰动使电动机转速上升，则 u_f 随之上升，偏差减小，经调节使转速下降。

系统的被控量是负载的转速 n ，并且按 n 对 n_r 的偏差(即 $u_r - u_f$)进行控制，故该系统属于按偏差控制的负反馈控制方式。如果没有偏差就失去控制作用。

按照逻辑推理，假如 $e = 0 \rightarrow u_c = 0 \rightarrow u_a = 0 \rightarrow n = 0$ ，电动机将停转，即失去控制作用。