

职业技术·职业资格培训教材

维修电工 (下册)

(高级)

主	编	柴敬镛	王照清	
编	者	沈倪勇	仲葆文	杨德林
		张毓麟		
审	稿	徐坤泉	姚樵耕	

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

维修电工：高级·下册/柴敬镛，王照清主编．—北京：中国劳动社会保障出版社，
2003.9

职业技术·职业资格培训教材

ISBN 7 - 5045 - 4090 - 0

. 维... . 柴... 王... . 电工 - 维修 - 技术培训 - 教材 . TM07

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 048781 号

中国劳动社会保障出版社出版发行
(北京市惠新东街 1 号 邮政编码：100029)

出版人：张梦欣

*

新华书店经销

印刷厂印刷 装订厂装订

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 33.75 印张 712 千字

2003 年 9 月第 1 版 2003 年 10 月第 1 次印刷

印数： 册

定价：48.00 元

读者服务部电话：010 - 64929211

发行部电话：010 - 64911190

出版社网址：<http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话：010 - 64911344

内 容 简 介

本教材由劳动和社会保障部教材办公室、上海市职业技术培训教研室依据上海 1 + X 职业技能鉴定考核细目——维修电工（高级）组织编写。本教材从强化培养操作技能，掌握一门实用技术的角度出发，较好地体现了本职业当前最新的实用知识与操作技术，对于提高从业人员基本素质，掌握高级维修电工的核心内容与技能有直接的帮助和指导作用。

本教材分上、下两册，主要内容包括：电子技术、电力电子技术、电气控制技术、微机与可编程序控制器应用技术四篇。每篇又分成若干个单元。本套教材除了必要的理论知识外，还将部分应用实例及操作技能实例作为一个单元列入到每篇中，理论部分的每个单元后都编写了部分模拟测试题，操作实例部分的每个单元后都编写了部分技能模拟测试题。本套教材最后还编写了两套知识考核模拟试卷和技能考核模拟试卷。

参加本教材编写的具体分工为：柴敬镛（第一至四单元），沈倪勇（第五至八单元），仲葆文（第九至十二单元、第十九单元、第二十一单元、第二十二单元），王照清（第十三至十七单元），杨德林（第十八单元、第二十单元、第二十三单元），张毓麟（第二十四单元）。

本教材可作为上海地区维修电工（高级）职业技能培训与鉴定考核教材，也可供全国其他地区从业人员学习掌握先进维修电工技术，或进行岗位培训、就业培训使用。本教材还对维修电工技师及高级技师层次的培训有很好的学习使用价值，同时可作为高职及高级技校师生教学参考书。

前 言

职业资格证书制度的推行，对广大劳动者系统地学习相关职业的知识和技能，提高就业能力、工作能力和职业转换能力有着重要的作用和意义，也为企业合理用工以及劳动者自主择业提供了依据。

随着我国科技进步、产业结构调整以及市场经济的不断发展，特别是加入世界贸易组织以后，各种新兴职业不断涌现，传统职业的知识和技术也愈来愈多地融进当代新知识、新技术、新工艺的内容。为适应新形势的发展，优化劳动力素质，上海市劳动和社会保障局在提升职业标准、完善技能鉴定方面做了积极的探索和尝试，推出了 1 + X 的鉴定考核细目和题库。1 + X 中的 1 代表国家职业标准和鉴定题库，X 是为适应上海市经济发展的需要，对职业标准和题库进行的提升，包括增加了职业标准未覆盖的职业，也包括对传统职业的知识 and 技能要求的提高。

上海市职业标准的提升和 1 + X 的鉴定模式，得到了国家劳动和社会保障部领导的肯定。为配合上海市开展的 1 + X 鉴定考核与培训的需要，劳动和社会保障部教材办公室、上海市职业技术培训教研室联合组织有关方面的专家、技术人员共同编写了职业技术·职业资格培训系列教材。

职业技术·职业资格培训教材严格按照 1 + X 鉴定考核细目进行编写，教材内容充分反映了当前从事职业活动所需要的最新核心知识与技能，较好地体现了科学性、先进性与超前性。聘请编写 1 + X 鉴定考核细目的专家，以及相关行业的专家参与教材的编审工作，保证了教材与鉴定考核细目和题库的紧密衔接。

职业技术·职业资格培训教材突出了适应职业技能培训的特色，按等级、分模块单元的编写模式，使学员通过学习与培训，不仅能够有助于通过鉴定考核，而且能够有针对性地进行系统学习，真正掌握本职业的实用技术与操作技能，从而实现我会做什么，而不只是我懂什么。每个模块单元所附模拟测试

题和答案用于检验学习效果，教材后附本级别的知识模拟试卷和技能模拟试卷，使受培训者巩固提高所学知识与技能。

本教材虽结合上海市对职业标准的提升而开发，适用于上海市职业培训和职业资格鉴定考核，同时，也可为全国其他省市开展新职业、新技术职业培训和鉴定考核提供借鉴或参考。

新教材的编写是一项探索性工作，由于时间紧迫，不足之处在所难免，欢迎各使用单位及个人对教材提出宝贵意见和建议，以便教材修订时补充更正。

劳动和社会保障教材办公室
上海市职业技术培训教研室

目 录

第三篇 电气控制技术

第十六单元 自动控制的基本概念	(3)
第一节 开环控制系统和闭环控制系统.....	(4)
第二节 闭环控制系统的组成.....	(6)
第三节 自动控制系统的分类.....	(8)
模拟测试题.....	(9)
模拟测试题答案.....	(10)
第十七单元 晶闸管直流调速系统	(11)
第一节 直流调速系统技术基础.....	(11)
第二节 单闭环直流调速系统.....	(34)
第三节 转速、电流双闭环直流调速系统.....	(45)
第四节 晶闸管 - 电动机可逆直流调速系统.....	(50)
第五节 晶闸管 - 电动机直流调速系统实例分析及其调试方法.....	(59)
第六节 全数字直流调速系统及其应用.....	(81)
模拟测试题.....	(89)
模拟测试题答案.....	(92)
第十八单元 电机扩大机组直流调速系统	(95)
第一节 电机扩大机.....	(95)
第二节 电机扩大机 - 发电机 - 电动机调速系统.....	(100)
第三节 A 系列龙门刨床电气控制系统.....	(107)
模拟测试题.....	(129)
模拟测试题答案.....	(131)
第十九单元 交流变频调速系统	(133)
第一节 交流变频调速的基本概念.....	(134)
第二节 脉宽调制型变频调速系统.....	(148)

第三节 数字式通用变频器及其应用.....	(158)
模拟测试题.....	(171)
模拟测试题答案.....	(173)
第二十单元 继电器控制电路的分析与设计	(175)
第一节 电气控制电路分析基础.....	(175)
第二节 继电器控制电路设计方法.....	(184)
第三节 组合步进电路逻辑设计.....	(192)
第四节 继电器控制电路设计举例.....	(195)
第五节 常用控制电器的选择.....	(207)
模拟测试题.....	(213)
模拟测试题答案.....	(215)
第二十一单元 电气控制技术操作技能实例	(216)
第一节 转速、电流双闭环不可逆直流调速系统.....	(216)
第二节 欧陆 514C 型直流调速控制系统	(226)
第三节 西门子 MMV/ MDV 型交流变频调速系统	(236)
技能模拟测试题.....	(249)
技能模拟测试题答案.....	(253)
第四篇 微机与可编程序控制器应用技术	
第二十二单元 微型计算机的基本概念	(257)
第一节 微型计算机的基本组成.....	(257)
第二节 计算机中数据的表示方法.....	(263)
第三节 微型计算机的硬件.....	(268)
第四节 MCS - 51 系列单片机	(279)
模拟测试题.....	(297)
模拟测试题答案.....	(299)
第二十三单元 可编程序控制器及其应用	(300)
第一节 可编程序控制器的基本概念.....	(300)
第二节 FX2 系列可编程序控制器	(310)
第三节 基本指令及其应用.....	(329)
第四节 步进指令及其应用.....	(335)
第五节 常用功能指令及其应用.....	(341)
第六节 编程器及其使用.....	(353)
第七节 可编程序控制器控制系统设计方法.....	(367)

第八节 可编程序控制器的安装与维护	(453)
模拟测试题	(457)
模拟测试题答案	(460)
第二十四单元 可编程序控制器技能操作实例	(461)
第一节 用 PLC 替代继电控制改进设计	(461)
第二节 基本逻辑指令编程	(464)
第三节 步进指令编程	(467)
第四节 功能指令编程	(479)
技能模拟测试题	(487)
技能模拟测试题答案	(489)
知识考核模拟试卷 (一)	(494)
知识考核模拟试卷 (一) 答案	(499)
知识考核模拟试卷 (二)	(500)
知识考核模拟试卷 (二) 答案	(505)
技能考核模拟试卷 (一)	(507)
技能考核模拟试卷 (一) 答案	(515)
技能考核模拟试卷 (二)	(519)
技能考核模拟试卷 (二) 答案	(527)

第三篇 电气控制技术

第十六单元 自动控制的基本概念

随着科学技术和工业发展，在国民经济各个领域都广泛应用了自动控制技术。自动控制技术的应用，提高了产品质量和产量，提高了生产劳动率，降低了成本，改善了劳动条件，减轻了劳动强度。随着计算机技术的发展和运用，自动控制技术的应用范围越来越广泛，已扩展到生物、医学、环境和经济管理现代社会生活领域中。自动控制已成为现代社会生活中不可缺少的重要组成部分。

所谓自动控制，是指在没有人直接参与的情况下，利用控制装置使被控对象（如机器、设备或生产过程等）自动地按照预定的规律变化和运行。自动控制理论是研究自动控制共同规律的技术科学。自动控制理论发展的初期是以反馈控制理论为基础的自动调节原理。随着工业生产和科学技术的发展，形成了以传递函数为基础的经典控制理论。它主要研究单输入 - 单输出、线性定常系统的分析和设计问题。随着现代应用数学和计算机技术发展和运用，自动控制理论又进入了一个新的阶段——现代控制理论，它主要研究具有高性能、高精度的多变量变参数系统的最优控制问题。本单元将着重讨论自动控制的一些基本概念。

第一节 开环控制系统和闭环控制系统

为了实现各种控制任务，将被控对象和控制装置按照一定方式连接，对被控对象的一个或多个物理量（如转速、位移、温度、电流、电压等）进行自动控制的整个系统称为自动控制系统。自动控制系统可分为开环控制系统、闭环控制系统和复合控制系统。下面着重对开环控制系统和闭环控制系统加以讨论。

一、开环控制系统

图 16—1 为晶闸管 - 电动机速度控制系统。图中电动机是被控对象，转速 n 是要求实现自动控制的物理量，称为被控量（输出量），转速给定 U_{gn} 为系统输入量。当系统输入端给定一个电压 U_{gn} （输入量）时，电动机就有对应一个转速 n （输出量）。当给定电压 U_{gn} 增大时，通过触发器 CF 使晶闸管整流装置的控制角减小，晶闸管整流装置输出电压 U_d 增加，电动机的转速 n 增加。为了清楚地说明系统各元件间的信号传递作用关系，常用系统方框图来表示控制系统，此系统方框图如图 16—2 所示。

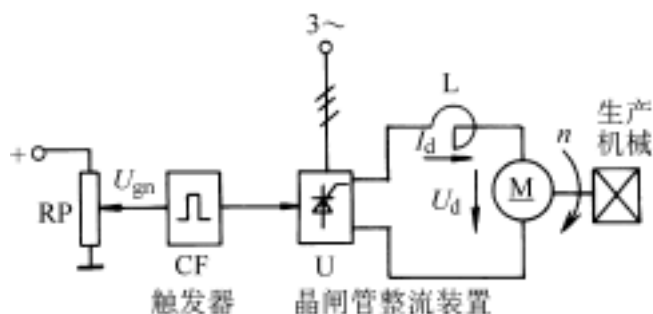


图 16—1 晶闸管 - 电动机速度控制系统

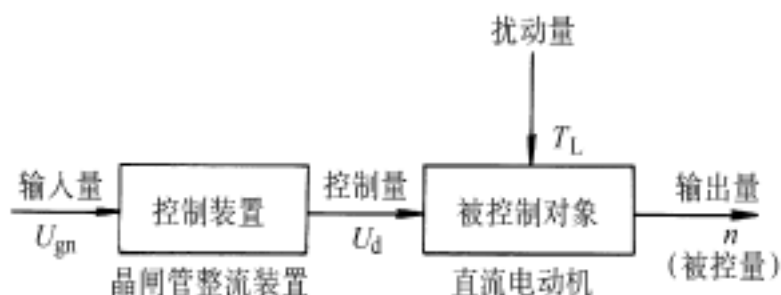


图 16—2 晶闸管 - 电动机速度控制系统方框图

图中作用于系统输入端的量 U_{gn} 为输入量，作用于被控对象（电动机）的量 U_d 称为控制量，转速 n 是要求控制的输出量，亦称为被控量。作用于被控对象（电动机）的负载转矩 T_L 称为扰动量。从理论上来说所有使被控量即转速 n 偏离希望值（给定值）的因素都是扰动，如电源电压的波动、电动机励磁电流的变化等因素在转速给定值 U_{gn} 不变时，都将引起被控量（转速 n ）的变化。为了分清主次，把各种扰动分为主扰动和次扰动，系统分析时主要考虑主扰动。对于图 16—1 所示直流电动机控制系统，电动机负载转矩 T_L 为主扰动。上述控制系统输出量（被控量）只能受控于输入量，输出量不反送到输入端参与控制的系统称为开环控制系统。开环控制系统可以按给定量控制方式组成系统，也可以按扰动控制方式组成系统。图 16—1 所示开环控制系统是按给定量控制的开环控制系统。按扰动控制的开环控制系统，用仪器仪表来测量扰动，使系统按照扰动进行控制，以减小或抵消扰动对输出量的影响，这种开环控制系统也称之为前馈控制系统。前馈控制

系统是利用可测量的扰动量产生一种补偿作用，能针对扰动迅速调整控制量，使被控量及时得到调整，以提高抗扰动性能和控制精度。

按给定量控制的开环控制系统结构简单、调整方便、成本低，但控制系统抗扰动性能差，控制精度低，往往不能满足生产要求。如图 16—1 所示电动机开环控制系统用于刨床加工零件时，由于在加工过程中负载转矩变化而产生不同的转速降，从而引起转速波动，造成刨床加工精度差，不能满足生产要求。为了提高抗扰动性能和控制精度，可采用闭环控制（反馈控制）系统。

二、闭环控制系统（反馈控制系统）

闭环控制系统又称反馈控制系统。图 16—3 为晶闸管整流装置供电的直流电动机闭环控制系统。

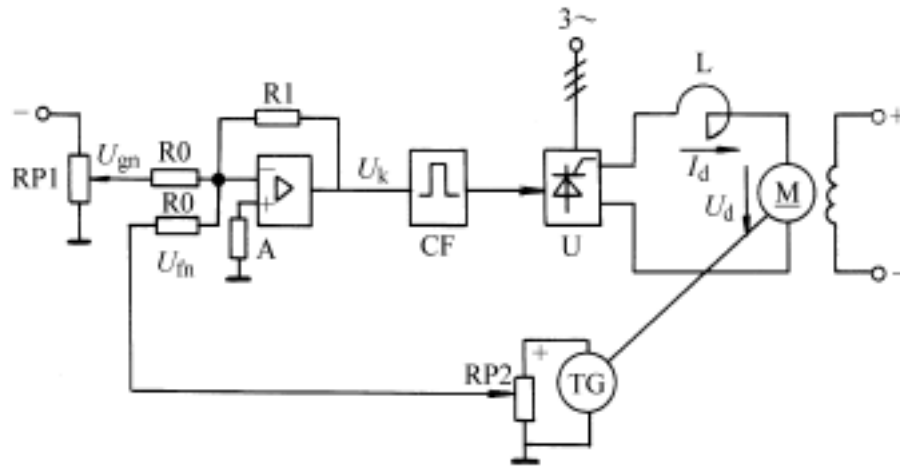


图 16—3 直流电动机闭环控制系统

测速发电机 TG 与电动机 M 装在同一机械轴上，并从测速发电机 TG 引出转速负反馈电压 U_{fn} ，此电压正比于电动机的转速 n 。该转速反馈电压 U_{fn} 与给定电压 U_{gn} 进行比较，其差值 $U = U_{gn} - U_{fn}$ 经调节放大器后输出控制电压 U_k ，经触发器 CF 控制晶闸管变流器的输出电压 U_d 从而控制电动机转速 n ，使转速 n 与转速给定值趋于一致。图 16—3 所示直流电动机闭环控制系统的方框图如图 16—4 所示。

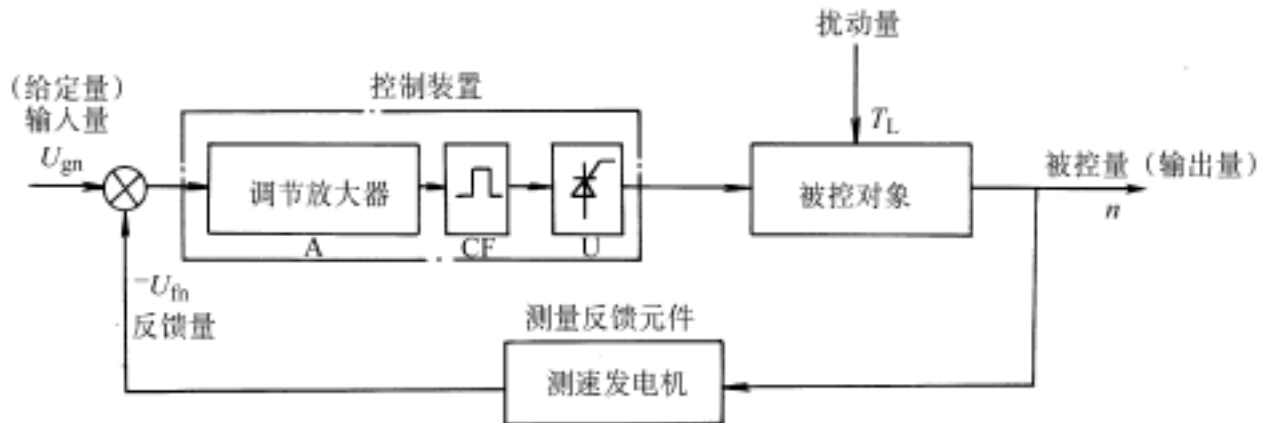


图 16—4 直流电动机闭环控制系统方框图

当负载增加时，电动机因负载增加转速 n 下降，则转速反馈电压 U_{fn} 减小。由于转速给定电压 U_{gn} 不变，偏差 $U = U_{gn} - U_{fn}$ 增加，通过调节放大器，使晶闸管变流器输出电

压 U_d 增加，从而使电动机的转速 n 回升。该调节过程可以表示为：负载 I_d n U_{fn} U U_k U_d n 。由此可见，当 U_{gn} 不变而电动机转速 n 由于某种原因而产生变化时，可通过转速负反馈自动调节电动机转速 n 而维持稳定，从而提高了控制精度。比较图 16—1 开环控制系统和图 16—3 闭环控制系统可以发现，闭环控制系统与开环控制系统最大的差别在于闭环控制系统存在一条从被控量（转速 n ）经过检测反馈元件（测速发电机）到系统输入端的通道，这条通道称为反馈通道。闭环控制系统有以下三个重要功能：

1. 检测被控量（如图 16—1 中转速 n ）。
2. 将被控量（如转速 n ）检测所得的反馈量（如 U_{fn} ）与给定值 U_{gn} 进行比较得到偏差 U 。
3. 根据偏差 U 对被控制量（转速 n ）进行调节。

综上所述，闭环控制系统建立在负反馈基础上，按偏差进行控制，当系统由于某种原因使被控制量偏离希望值而出现偏差时，必定会产生一个相应的控制作用去减小或消除这个偏差，使被控制量与希望值趋于一致。所以闭环控制系统具有良好的抗扰动能力（不论这是来自系统的外部扰动，还是系统内部的参数变化），有较高的控制精度，在实际应用中得到了广泛应用。但是，这种系统需要检测反馈元件、使用元件多、线路较复杂、调整较复杂。

第二节 闭环控制系统的组成

闭环控制系统一般可由给定元件、比较元件、放大校正元件、执行元件、被控对象、检测反馈元件组成，如图 16—5 所示。



图 16—5 闭环控制系统基本组成

图中“ \otimes ”代表比较元件，它将检测反馈元件检测到的被控量的反馈量与给定量进行比较，“ $-$ ”表示给定量与反馈量极性相反，即负反馈，“ $+$ ”表示给定量与反馈量极性相同，即正反馈。信号从输入端沿箭头方向达到输出端的传输通道称为前向通道，系统输出

量经检测元件反馈到输入端传输通道称为反馈通道。

一、闭环控制系统的基本元件

1. 给定元件

给出与希望的被控量相对应的系统输入量（给定量），如图 16—3 中给出 U_{gn} 的给定电位器。

2. 比较元件

把检测反馈元件检测的被控量实际值的反馈量与给定元件给出的给定量进行比较，求出它们之间的偏差信号。

3. 放大校正元件

对偏差信号进行放大与运算，校正输出一个按一定规律变化的控制信号，以提高系统的稳态性能和动态性能。放大校正元件可采用运算放大器和电阻、电容组成。

4. 执行元件

根据放大校正元件单元的输出信号产生一个具有一定功率并能够被被控对象接受的控制量，使被控量与希望值趋于一致。

5. 被控对象

自动控制系统中需要进行控制的设备或生产过程，它接受控制量，输出被控量，如图 16—3 中的电动机。

6. 检测反馈元件

对被控量进行检测并输出反馈量。如果这个物理量是非电量，一般再转换为电量，如图 16—3 中测速发电机用于检测电动机转速并转换成直流电压。

二、自动控制系统的信号

1. 给定量（输入量）

给定元件的输出信号，实际输入到系统的输入量。

2. 反馈量

检测反馈元件的输出信号，与被控量成某种函数关系，一般是成比例关系。

3. 偏差信号

它是由给定量和反馈量比较，由比较元件产生。

4. 控制量

执行元件输出信号，作用于被控对象的信号，通常是具有一定的功率，并且能够被被控对象所接受的一种物理量。

5. 被控量（输出量）

它是系统要求实现自动控制的物理量，是系统的输出量。

6. 扰动量

它往往是外部扰动信号，影响被控量的控制精度，使被控量偏离希望值。

第三节 自动控制系统的分类

自动控制系统有多种分类方法，如按控制系统结构、给定量、被控量等来分类。

一、按控制系统结构特点分类

1. 闭环控制系统（反馈控制系统）

闭环控制系统是按偏差进行控制的，具有抑制任何内外扰动对被控制量产生影响的能力，有较高的控制精度。闭环控制系统是自动控制系统中最基本、最常用的一种控制系统。

2. 开环控制系统

该控制系统不存在被控量的反馈，系统的输出量不会对系统的控制作用发生影响。开环控制系统可以按给定量控制方式组成系统，也可以按扰动控制方式组成系统即前馈控制系统。前馈控制系统的主要缺点是没有被控量的反馈，在有其他扰动或测量仪表有误差的情况下，被控量可能有越来越大的误差，因而前馈控制往往作为改善闭环控制系统性能的一种手段构成复合控制系统。

3. 复合控制系统

复合控制系统是既有前馈控制又有反馈控制的控制系统。

二、按给定量的特点分类

1. 定值控制系统

在生产过程中，被控量（如温度、压力、流量等）要求维持在某一值，就要采用定值控制系统。定值控制系统的给定量在正常运行下基本上是不变的，有时给定量根据需要也可以从某一值改变到另一值。系统的基本任务是克服各种扰动影响使输出的被控量保持在给定的希望值上。

2. 随动系统

这种系统的给定量是预先未知的随时间任意变化的函数，系统的任务是克服一切扰动保证输出的被控量以一定的精度跟随给定量变化而变化。武器的瞄准装置、雷达天线的跟踪系统、机床仿形控制以及自动平衡式测量仪器等都属于随动系统。

3. 程序控制系统

这种系统中，给定量是按预定规律随时间变化程序或跟随某一参数的变化而变化，要求被控量迅速、准确地跟随给定量变化。如加热炉的温度控制，炉温是根据预先制定的程序进行控制。

三、按被控量的特点分类

1. 连续控制系统

这种控制系统需定量地控制被控量，被控量可以连续地被调整。

2. 顺序控制系统

这种控制系统中，其被控量是开关量（如电量有或无、正转或反转、起动或停止等）。系统按照预先确定的时间顺序或根据一定逻辑关系所要求的顺序来进行控制。

四、其他分类方式

按被控量名称来分类，可分为电压控制系统、速度控制系统、温度控制系统、压力控制系统等。

按控制系统回路多少可分为单回路控制系统、多回路控制系统。

按系统控制中组成元件特性的线性和非线性可分为线性控制系统和非线性控制系统。

模拟测试题

(一) 单项选择题（下列每题有 4 个选项，其中只有一个是正确的，请将其代号填在横线空白处）

1. 控制系统输出量（被控量）只能受控于输入量，输出量不反送到输入端参与控制的系统称为_____。

- A. 开环控制系统 B. 闭环控制系统
C. 复合控制系统 D. 反馈控制系统

2. 闭环控制系统建立在_____基础上，按偏差进行控制。

- A. 正反馈 B. 负反馈 C. 反馈 D. 正负反馈

3. 前馈控制系统是_____。

- A. 按扰动进行控制的开环控制系统 B. 按给定量控制的开环控制系统
C. 闭环控制系统 D. 复合控制系统

(二) 判断题（下列判断正确的请打“√”，错误的打“×”）

1. 闭环控制系统输出量不反送到输入端参与控制。 ()
2. 前馈控制系统是建立在负反馈基础上按偏差进行控制。 ()
3. 开环控制系统和闭环控制系统最大的差别在于闭环控制系统存在一条从被控量到输入端的反馈通道。 ()
4. 复合控制系统是负反馈控制系统。 ()

(三) 简答题

1. 闭环控制系统为什么具有良好的抗扰能力和控制精度？
2. 闭环控制系统一般由哪几部分组成？有哪些作用量和被控制量？

模拟测试题答案

(一) 单项选择题

1. A 2. B 3. A

(二) 判断题

1. × 2. × 3. 4. ×

(三) 简答题

1. 闭环控制系统是建立在负反馈基础上，按偏差进行控制。当系统中由于某种原因使被控量偏离希望值而出现偏差时，必定会产生一个相应的控制作用去减小或消除这个偏差，使被控量与希望值趋于一致，所以闭环控制系统具有良好的抗扰动能力和控制精度。

2. 闭环控制系统一般由给定元件、比较元件、放大校正元件、执行元件、被控对象、检测反馈元件等组成。系统有给定量（输入量）、反馈量、控制量、扰动量、被控量（输出量）。