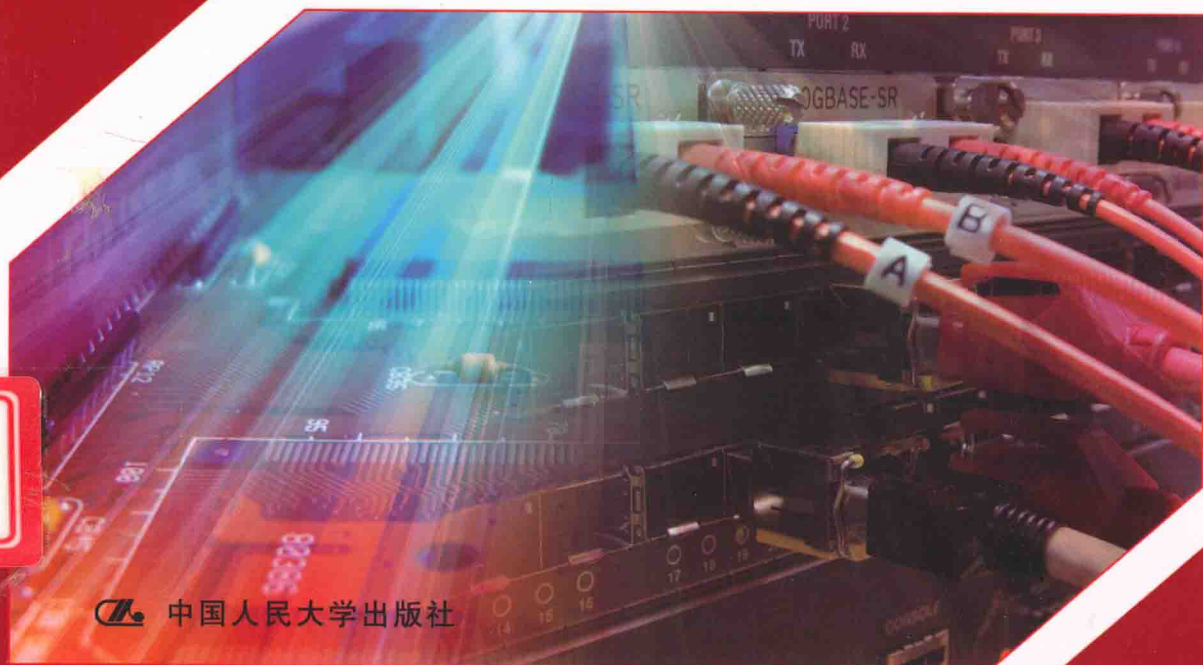


21世纪高职高专规划教材·机械专业基础课系列

电气控制与 PLC技术

DIAN QI KONG ZHI YU PLC JI SHU

主 编◎赵金纬



 中国人民大学出版社

21 世纪高职高专规划教材·机械专业基础课系列

电气控制与 PLC 技术

主编 赵金纬

中国人民大学出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

电气控制与 PLC 技术/赵金纬主编. —北京: 中国人民大学出版社, 2010
21 世纪高职高专规划教材·机械专业基础课系列
ISBN 978-7-300-13212-9

I. ①电… II. ①赵… III. ①电气控制-高等学校: 技术学校-教材②可编程控制器-高等学校: 技术学校-教材 IV. ①TM571.2②TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 249720 号

21 世纪高职高专规划教材·机械专业基础课系列

电气控制与 PLC 技术

主 编 赵金纬

出版发行 中国人民大学出版社

社 址 北京中关村大街 31 号

邮政编码 100080

电 话 010-62511242 (总编室)

010-62511398 (质管部)

010-82501766 (邮购部)

010-62514148 (门市部)

010-62515195 (发行公司)

010-62515275 (盗版举报)

网 址 <http://www.crup.com.cn>

<http://www.ttrnet.com> (人大教研网)

经 销 新华书店

印 刷 北京昌联印刷有限公司

规 格 185mm×260mm 16 开本

版 次 2011 年 6 月第 1 版

印 张 13.25

印 次 2011 年 6 月第 1 次印刷

印 数 305 000

定 价 26.00 元

版权所有 侵权必究 印装差错 负责调换

前 言

随着电气控制技术的发展,越来越多的新型控制技术得到普及和发展,PLC技术就是其中的一种,各个高职院校也都把这种技术列为各专业的核心或必修课程。编者一直从事相关课程的教学工作,在实际教学中,遇到了许多问题,比如:如何处理继电—接触器控制技术与PLC技术之间的关系;二者如何互相衔接;继电—接触器控制技术要讲到何种深度等。许多院校都逐渐将这两种技术合成一门课程来上,但相关教材在如何取舍教学内容,在有限的时间内如何让学生学得懂、用得上方面往往做得不够,只是将两种技术的内容简单地放在一起,这样给教学带来了诸多不便。因此,编者希望能编写一本更适合教学使用的教材,力求做到以下几点:

1. 以适合教学使用为基本原则,用最通俗的语言讲清一些抽象的概念和原理,舍弃一些不必要的知识和内容。

2. 明确基本知识内容和技能训练项目,以便于教师围绕项目组织教学活动。

3. 努力将继电—接触器控制技术和PLC技术二者融为一体,放到一个知识和理论体系下进行讲解,有利于学生建立一个完整的知识体系。

4. 编写内容更注重最基本知识的学习和最基本技能的训练,尽量按技术的实际应用情况去编写,以利于学生将这些技术应用到实际中去。

本书共分两大部分,第一部分重点介绍一些基本概念和基础知识,让学生建立起电气控制的知识体系。第二部分则重点介绍了继电—接触器控制技术和基于PLC的控制技术,并介绍了与PLC使用密切相关的触摸屏技术和变频器技术,使学生能更完整地了解电气控制技术体系。

在本书编写过程中,参考了多位同行的著作和一些企业的技术资料,在此一并表示感谢。

因作者水平有限,书中难免存在缺点和错误,恳请读者批评指正。

编 者

2011年4月

目 录

第一部分 电气控制基础

第 1 章 电气系统与自动控制	2
第 1 节 电气系统与控制	2
第 2 节 控制系统的组成与自动化	3
项目 参观电厂、配电站(房)、厂区电气系统、自来水供水系统等	9
第 2 章 电气控制系统的控制变量	11
第 1 节 控制器的变量	11
第 2 节 控制对象的变量	12
项目 常用测量仪表的使用	14
第 3 章 电气控制系统的执行器	17
第 1 节 电磁类	17
第 2 节 其他类	18
项目 常用执行器的认识及拆装	19
第 4 章 电气控制系统的控制器件	20
第 1 节 开关类器件	20
第 2 节 信号类器件	23
第 3 节 保护类器件	27
第 4 节 主令类器件	29
第 5 节 信号处理类器件	31
项目 常用电器的拆装与认识	32
第 5 章 电气控制系统的应用实例	33
第 1 节 全自动洗衣机电气控制系统分析	33
第 2 节 炉温自动控制系统分析	34
项目 全自动洗衣机的操作与参观工厂锅炉自动控制系统	35

第二部分 电气控制技术及应用

第一编 普通电气控制技术	38
第 1 章 电气控制电路识图	38
第 1 节 电气设备和器件的图形文字符号	38
第 2 节 电气制图规则和表示方法	42
项目一 电气图的绘制训练	53
项目二 电气工程图的读图训练	53

第 2 章 继电—接触器电气控制电路的分析与安装	54
第 1 节 按联锁规律实现控制的电路分析	54
第 2 节 按控制变量规律实现控制的电路分析	58
第 3 节 控制电路的安装与检修	60
项目一 以联锁规律构建的控制线路的安装与调试	64
项目二 以控制变量规律构建的控制线路的安装调试	65
第 3 章 继电—接触器电气控制系统的设计	66
第 1 节 电气控制系统设计的基本方法与原则	66
第 2 节 典型电气控制线路的分析与检测	74
项目一 三相异步电动机降压启动控制线路的设计、安装与检测	81
项目二 三相异步电动机制动控制线路的设计、安装与检测	81
第 4 章 普通车床电气控制系统的分析与检测	83
项目 CA6140 车床控制线路的安装与检测	89
第二编 基于 PLC 的电气控制技术	90
第 5 章 PLC 一般原理	90
第 1 节 数字控制技术概述	90
第 2 节 PLC 的工作原理	92
第 3 节 基于 PLC 的电气控制系统	97
项目 参观电镀生产线或其他基于 PLC 的电气控制系统	99
第 6 章 三菱 PLC 及其应用	100
第 1 节 三菱 PLC 概述	100
第 2 节 FX _{2N} 系列 PLC 的指令系统与编程方法	104
第 3 节 FX _{2N} 系列 PLC 的基本应用技术	138
项目一 基本指令的使用训练	163
项目二 步进指令与状态编程方法的训练	163
项目三 功能指令使用训练	164
项目四 三相异步电动机正反转控制系统的设计与安装	165
项目五 四组抢答器的设计与制作	167
项目六 喷水池喷水模拟装置的设计与制作	168
第 7 章 PLC 的综合应用知识介绍	171
第 1 节 PLC 特殊功能模块的使用	171
第 2 节 PLC 与触摸屏的配合应用	176
第 3 节 PLC 与变频器的配合应用	180
第 4 节 PLC 的通信组网技术	183
项目 基于 PLC 的三层电梯电气控制系统的设计与安装	196
附录 常用电气图的图形符号及新旧对照表	197
参考文献	202

第一部分

电气控制基础

第 1 章 电气系统与自动控制

【知识学习】

本章介绍电气系统、自动控制系统的有关基本概念，应理解控制系统的基本组成，从宏观的角度去理解电气控制技术的范围及用途，为学习电气控制技术打下基础。

第 1 节 电气系统与控制

将电能从发电厂引用到用电设备的工程称为电气工程。从系统角度讲，电能由发电厂到用电设备的整个过程又构成一个系统，即电气系统。

整个电气系统可以按电能的使用性能分成发电系统和用电系统。

发电系统主要包括发电、电压等级变换、电能的输送与分配等部分，其功能是电能的产生与调整，为工农业生产和人们生活提供各种规格的电能；用电系统包括生产用电、生活用电、商业用电、科研用电等，通过一定的用电设备将电能转换成机械能、热能、光能等其他形式的能，实现电能为人类服务的目的。

无论是发电还是用电，为了更好地使用电，都需要对电的形式和大小进行调整和控制，使其适合人类千差万别的用电要求，因此，在电气系统中就必须用到各种各样的控制技术，实现对电气系统的控制，简称电气控制。由此，我们可以了解到，电气控制包括发电控制和用电控制。

电能的大小一般体现为电流和电压的大小，用电设备是靠电流运行的，只有形成一定的电流，用电设备才会将电能转换成其他形式的能。而形成电流的两个必要条件就是电压和电路。在一个闭合电路中，只要有了电压，就会有电流形成。无论是发电系统还是用电系统，实际上都是由一个或多个闭合电路构成的，因此，电路中的两个物理量——电流和电压就是我们研究和控制的直接对象。

一、发电系统

从电能的性质来讲，人们使用的电能主要有交流和直流两大类，其中交流电是应用最为广泛的一种电能，由交流发电机产生，有固定式和移动式两种。交流电经发电机产生后，需要对其频率和大小进行调整，使其成为统一标准的交流电，如我国采用频率为 50Hz 的 380V 和 1000V 的标准电压。

交流发电系统包括发电设备和电能输送控制设备，一般发电系统如图 1—1—1 所示。

直流电一般可由交流电通过电子整流装置转换而成，也可以利用干电池、蓄电装置提供。

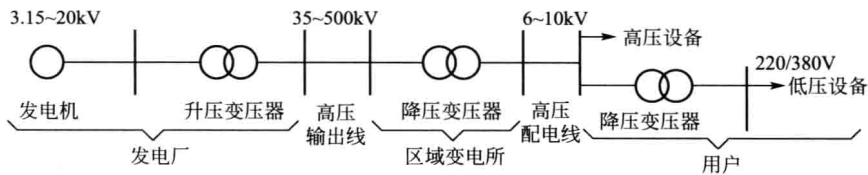


图 1-1-1 发电系统示意图

二、用电系统

用电系统主要由用电设备与电能控制装置构成。用电设备一般有电动类、电热类、发光类、化学反应类等；控制装置主要控制电能的通断、通断的间隔变化、电能的大小、电能的形式等多种因素。一般用电系统可以表示为如图 1-1-2 所示形式。

电气系统范围较大，涉及内容较多，本书我们仅通过研究用电系统中的低压系统的控制，来研究电气控制系统及其控制技术。

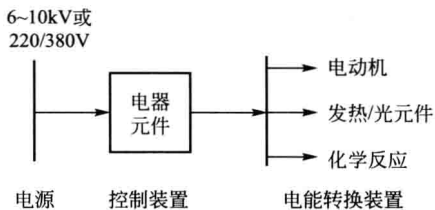


图 1-1-2 用电系统示意图

第 2 节 控制系统的组成与自动化

在许多工农业生产过程中或生产设备运行中，为了维持正常的工作条件，往往需要对某些物理量（如温度、压力、流量、液位、位移、转速等）进行控制，使其尽量维持在某个数值附近，或使其按一定规律变化。要满足这种需要，就应该对生产机械或设备进行及时的操作和控制，以抵消外界的干扰和影响。这种操作和控制，既可以用人工操作来完成，又可以用自动控制装置来完成。

一、人工控制与自动控制

如图 1-1-3 所示是人工控制保持水位恒定的供水系统。水池中的水源不断地经出水管流出，以供用户使用。随着用水量的增多，水池中的水位必然下降。这时，若要保持水位高度不变，就得开大进水阀门，增加进水量以作补充。在本例中，进水阀门的开启程度（简称开度）并非是一成不变的，而是根据实际水位的高低进行操纵的。上述过程可由人工操作实现。正确的操作步骤是：

(1) 将水位的要求值（期望水位值）牢记在大脑中。

(2) 用眼睛或测量工具测量水池的实际水位。

(3) 将期望水位与实际水位进行比较、计算，从而得出误差值。

(4) 按照误差的大小和正负性质，由大脑指挥手去正确地调节进水阀门。所谓

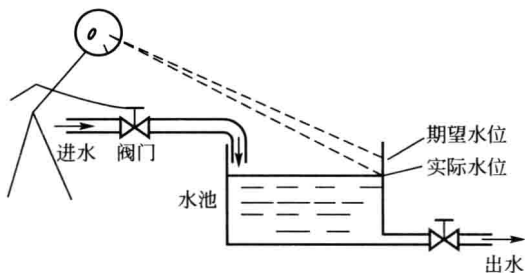


图 1-1-3 人工控制的水池供水示意图

正确调节，是要按减小误差的方向来调节进水阀门的开度。

如图 1—1—3 所示的过程有人直接参与控制，称为人工控制。在本例中，水池中的水位是被控制的物理量，简称被控量。水池这个设备是控制的对象，简称对象。

人工控制的过程是测量、求误差、控制、再测量、再求误差、再控制这样一种不断循环的过程。其控制目的是要尽量减少误差，使被控量尽可能保持在期望值附近。

如果找到某种装置以完全代替图 1—1—3 中人所完成的全部职能，那么人就可以不直接参与控制，这就成为自动控制了。如图 1—1—4 所示是水池水位自动控制系统的一种简单形式。图中用浮子代替人的眼睛，作为测量水位高低之用；另用一套杠杆机构代替人的大脑和手，作为计算误差和执行控制之用。杠杆的一端由浮子带动，另一端则连接进水阀门。当用水量增大时，水位开始下降，浮子也随之降低，通过杠杆的作用，进水阀门往上提，开度增大，进水量增加，使水位回至期望值附近。反之，若用水量变小，水位及浮子上升，进水阀门关小，进水量减少，使水位自动下降至期望值附近。整个过程是在无人直接参与下进行的，所以是自动控制过程。其工作步骤可归纳为：

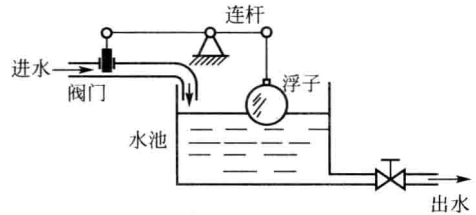


图 1—1—4 简易水位自动控制示意图

(1) 用连杆的高度标定好水位的期望值。

(2) 当水位超过或低于期望值时，其水位误差被浮子检测出来，并通过杠杆作用于进水阀，从而产生控制作用。

(3) 按减小误差的方向控制进水阀门的开度。

如图 1—1—4 所示的系统虽然可以实现自动控制，但结构简陋而且存在较大的缺点，主要表现在被控制的水位高度将随着出水量的变化而变化。出水量越多，水位就越低，偏离期望值就越远，即误差越大。也就是说，控制结果总存在着一定范围的误差值。产生这种现象的原因可解释如下：当出水量增加时，为了使水位基本保持恒定不变，就得开大进水阀门，使较多的水流进水池作为补充。要开大进水阀，唯一的途径就是让浮子下降得更多，这意味着控制的结果是水位要偏离期望值而降低了。于是整个系统将在较低的水位建立起新的平衡状态。

为克服上述缺点，可在原系统中增加一些设备而组成较完善的自动控制系统，如图 1—1—5 所示。这里，浮子仍是测量元件，连杆起着比较作用，它将期望水位与实际

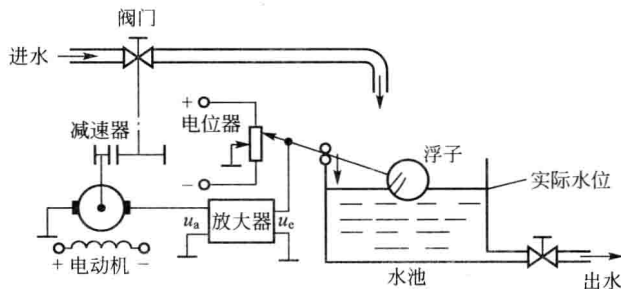


图 1—1—5 较完善的水位自动控制示意图

水位两者进行比较，得出误差，并以运动的形式推动电位器的滑块做上下移动。电位器输出电压的高低和极性充分反映出误差的性质（大小和方向）。电位器输出的微弱电压经放大器放大后用以控制直流伺服电动机，其转轴经减速器降速后拖动进水阀门，实现对系统的控制作用。

在正常情况下，实际水位等于期望值，此时，电位器的滑块居中， $u_e = 0$ 。当出水量增大，浮子下降时（如图 1—1—5 所示），它带动电位器滑块向上移动，输出电压 $u_e > 0$ ，经放大成 u_a 后控制电动机正转，以增大进水阀门的开度，使水位回升。只有当实际水位恢复到期望值时，才能使 $u_e = 0$ ，控制作用才告终止。

可见，本系统的优点是：无论出水量或多或少，自动控制的结果总是使实际水位的高度恒等于期望值，不致出现误差，从而大大提高了控制的精度。

二、控制系统的基本组成

从上面对手动控制和自动控制的比较分析，可以发现，从某种意义上讲，二者是极为相似的。自动控制系统只不过是把某些装置有机地组合在一起，以代替人的职能而已。图 1—1—5 中的浮子相当于人的眼睛，连杆和电位器类似于人的大脑，电动机相当于人的手等。由于这些装置负担着控制的职能，固而称之为控制器，而水池是控制的对象，因此，可以总结出：任何一个控制系统，都是由人、控制器和控制对象组成的，如图 1—1—6 所示。

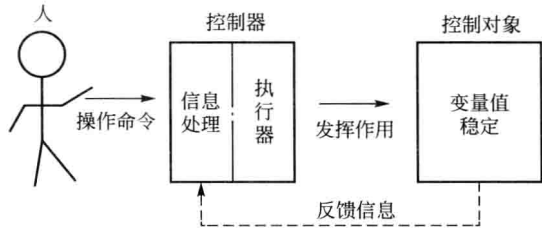


图 1—1—6 控制系统的基本组成

三、典型的自动控制系统

自动控制系统从信号传送的特点或系统的结构形式来看，可以分为开环控制系统和闭环控制系统两大类。

1. 开环控制系统

如图 1—1—7 所示的他励直流电动机转速控制系统就是一个开环控制系统。

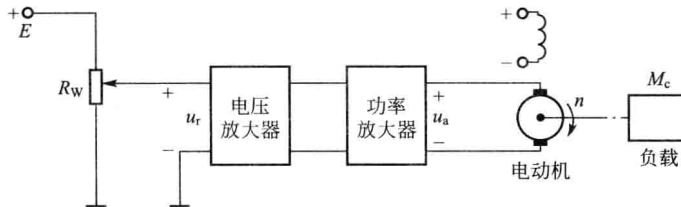


图 1—1—7 直流电动机转速开环控制系统

它的任务是控制直流电动机以恒定的转速带动负载工作。系统的工作原理是：调节电位器 R_w 的滑块，使其给定某个参考电压 u_r 。该电压经电压放大和功率放大后成为 u_a ，再送往电动机的电枢，作为控制电动机转速之用。由于他励直流电动机的转速 n 与电枢电压 u_a 成正比（对同一负载而言），因此，当负载转矩 M_c 不变时，只要改变给定电压 u_r ，便可得到不同的电动机转速 n 。换言之， u_r 与 n 具有一一对应的函数关系。

就本系统而言，直流电动机是控制对象，电动机的转速 n 是控制变量。若把全系统作为整体来看，电动机转速 n 是被控对象中需要严加控制的物理量，称为系统的输出量或输出信号。 n 值的大小由参考电压 u_r 所决定， u_r 是原因， n 是结果，通常把参考电压 u_r 称为系统的输入量或输入信号。

就图 1—1—7 而言，只有输入量 u_r 对输出量 n 的单向控制作用，而输出量 n 对输入量 u_r 却没有任何影响和联系，即系统的输出端和输入端之间不存在反馈回路，所以称这种系统为开环控制系统。

直流电动机转速开环控制系统可用图 1—1—8 所示的方框图表示。

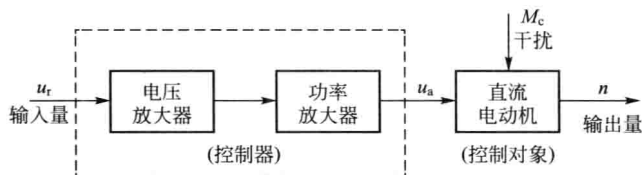


图 1—1—8 直流电动机转速开环控制系统方框图

图中用方框代表系统中具有相应职能的元部件；用箭头表示元部件之间信号的传递方向。电动机负载转矩 M_c 的任何变动，均会构成对输出量 n 的影响。换言之，对恒速控制系统来说，作用于电动机轴上的阻力矩 M_c 将对系统的输出起到破坏作用，这种作用称为干扰或扰动，在图 1—1—8 中用一个作用在电动机上的箭头来表示。

开环控制系统的精度，主要取决于 u_r 的精度以及控制器参数的稳定程度，系统没有抵抗外部干扰的能力，故控制精度较低。但由于系统结构简单、造价较低，故在系统结构参数稳定、没有干扰作用或所受干扰较小的场合下，仍会大量使用。

2. 闭环控制系统

开环控制系统精度不高和适应性不强的主要原因是缺少从系统输出到输入的反馈回路。欲提高控制精度，就必须引入反馈环节，将输出量测出来，经物理量的转换后再反馈到输入端，使输出量对控制作用有直接影响。引入反馈回路的目的是实现自动控制，提高控制质量。

在图 1—1—7 所示的直流电动机转速开环控制系统中，加入一台测速发电机，对电路稍作改变，便构成了如图 1—1—9 所示的直流电动机转速闭环控制系统。

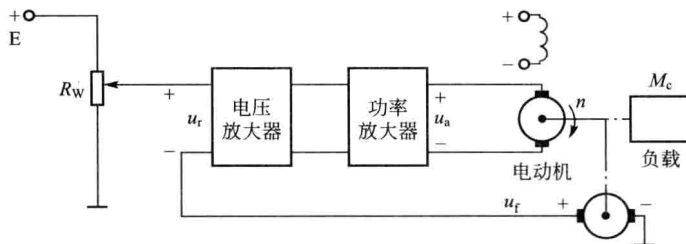


图 1—1—9 直流电动机转速闭环控制系统

图 1—1—9 中，测速发电机由电动机同轴带动，它将电动机的实际转速 n （即系统的输出量）测量出来，并转换成电压 u_f ，再反送到系统的输入端，与给定值电压 u_r （即系

统的输入量) 进行比较, 从而得出电压 $u_c = u_r - u_f$ 。由于该电压能间接地反映出误差的性质 (即大小和正负方向), 故通常称之为偏差信号, 简称偏差。偏差 u_c 经放大器放大成 u_a 后, 作为电枢电压控制电动机转速之用。

直流电动机转速闭环控制系统可用图 1—1—10 所示的方框图来表示。

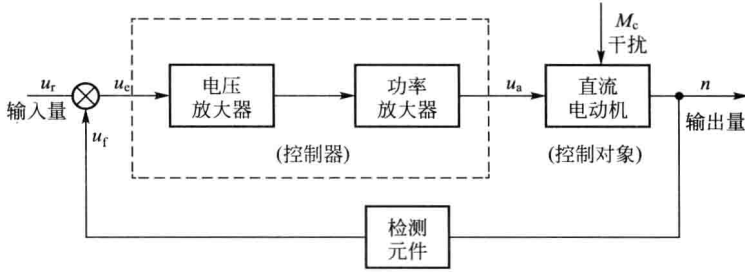


图 1—1—10 直流电动机转速闭环控制系统方框图

通常, 把从系统输入量到输出量之间的通道称为前向通道; 把从输出量到反馈信号之间的通道称为反馈通道。方框图中用符号 “ \otimes ” 表示比较环节, 其输出量等于各个输入量的代数和。因此, 各个输入量均须用正负号表明其极性。图中清楚地表明: 由于采用了反馈回路, 使信号的传递路径形成了闭合环路, 使输出量反过来形成了影响, 产生控制作用。这种通过反馈回路使系统构成闭环, 并按偏差的性质产生控制作用, 以求减小或消除偏差的控制系统, 称为闭环控制系统, 或称反馈控制系统。

闭环控制系统具有很强的纠偏功能, 对于干扰具有良好的适应性。就图 1—1—9 而论, 设系统原已处于某个给定电压 u_r 相对应的转速 n 状态下运行, 若一旦受到某些干扰 (如负载转矩突然增大) 而引起转速下降时, 系统就自动产生如下的调整过程:

$$M_c \uparrow \rightarrow n \downarrow \rightarrow u_f \rightarrow u_c (=u_r - u_f) \uparrow \rightarrow u_a \uparrow \rightarrow n \uparrow$$

结果, 电动机的转速降落得到自动补偿, 使控制量 n 基本保持恒定。

由于闭环控制系统采用了负反馈回路, 故系统对外部或内部干扰 (如元部件参数变动) 的影响不甚敏感。这样, 就可以选用不太精密的元件构成较为精密的控制系统。但是, 闭环控制系统也有它的缺点: 由于采用反馈装置, 导致设备增多, 线路复杂。也正因为反馈通道的存在, 对于一些惯性较大的系统, 若参数配合不当, 控制过程就可能变得很差, 甚至出现发散或等幅振荡等不稳定的情况, 故在闭环控制系统中, 稳定性始终是一个突出的问题。

必须指出, 对主反馈而言, 只有按负反馈原理组成的闭环控制系统才能实现自动控制。若采用正反馈, 将使偏差越来越大, 不仅无法纠正偏差, 反而导致系统无法工作。

四、自动控制系统的特征和定义

由于闭环控制系统具有很强的自动纠偏能力, 控制精度较高, 因而在工程实际中获得广泛的应用。通常所说的自动控制系统就是指闭环控制系统。在工程实际中, 按照偏差控制的闭环系统种类繁多, 尽管它们所完成的任务不同, 具体结构千差万别 (如水位控制与转速控制), 但是, 从检出偏差到利用偏差进行控制, 从而减小或消除偏差这一过程是相

同的。归纳起来，自动控制系统的特征有：

(1) 在结构上，系统必须具有反馈装置，并按负反馈原则组成系统。采用反馈，就可对被控变量不断地进行检测，并将其变换成与输入量相同的物理量，再反馈到输入端，与输入量进行比较。采用负反馈的目的是求得偏差信号。

(2) 由偏差产生控制作用。具体而言，系统必须按照偏差的性质（大小、方向）进行正确控制，故系统中必须具有执行纠偏任务的执行机构。控制系统正是靠放大的偏差信号来推动执行机构，以便对控制对象进行控制的。于是，不管什么原因引起被控变量偏离期望值而出现偏差时，相应的偏差信号便随之出现，系统必然产生相应的控制作用，以便纠正偏差。

(3) 控制的目的是力图减小或消除偏差，使被控变量尽量接近期望值。

根据上述自动控制系统的三个特征，可以对自动控制系统下一个较为准确的定义：即所谓的自动控制系统，是一个带有反馈装置的动力学系统。系统能自动而连续地检测被控变量，并求出偏差，进而根据偏差的大小和正负极性进行控制，而控制的目的是力图减小或消除所存在的偏差。

五、自动控制系统的分类

自动控制系统的种类繁多，应用范围很广泛，它们的结构、性能乃至控制任务也各不相同。因而分类方法很多，不同的分类原则会导致不同的分类结果。在此仅介绍几种常见的分类方法。

1. 按输入信号的特征分类

(1) 恒值控制系统（又称自动调整系统）。

这类系统的特点是输入信号为某个常数，故称为恒值。由于扰动的出现，将使被控变量偏离期望值而出现偏差，恒值系统能根据偏差的性质产生控制作用，使被控变量以一定的精度回复到期望值附近。前面介绍过的水位控制系统及转速闭环控制系统均为恒值控制系统。此外，生产过程中广泛应用的温度、压力、流量等参数的控制，多半是采用恒值控制系统来实现的。

(2) 程序控制系统。

这类系统的输入信号不是常数，而是按照预先知道的时间函数变化。如热处理炉温控制系统中的升温、保温、降温过程，都是按照预先设定的规律（程序）进行控制的。又如机械加工中的程序控制机床、加工中心等均是典型的例子。

(3) 随动系统（又称伺服系统）。

这类系统的输入信号是预先不知道的随时间任意变化的函数。控制系统能使被控量以尽可能高的精度跟随给定值变化。随动系统也能克服扰动的影响，但一般说来，扰动的影响是次要的。许多自动化武器是由随动系统控制的，如鱼雷的飞行、炮瞄雷达的跟踪、火炮的自动瞄准、导弹的制导等。民用工业中的船舶自动舵、数控切割机以及多种自动记录仪表等，均属随动系统之列。

2. 按描述元件的动态方程分类

(1) 线性系统。

线性系统的特点在于组成系统的全部元件都是线性元件，它们的输入—输出静态特性

均为线性特性。这类系统的运动过程可用线性微分方程（或差分方程）来描述。

(2) 非线性系统。

非线性系统的特点在于系统中含有一个或多个非线性元件。非线性元件的输入—输出静态特性是非线性特性。例如饱和和限幅特性、死区特性、继电特性或传动间隙等。凡含有非线性元件的系统均属非线性系统，这种系统的运动过程需用非线性微分方程（或差分方程）来描述。

3. 按信号的传递是否连续分类

(1) 连续系统。

若系统各环节间的信号均为时间 t 的连续函数，则这类系统称为连续系统。连续系统的运动规律可用微分方程描述。上述水位和电动机转速控制系统均属连续系统。

(2) 离散系统。

在信号传递过程中，只要有一处的信号是脉冲序列或数字编码，刚这种系统就称为离散系统。离散系统的特点是：信号在特定离散时刻 $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ 中是时间的函数，而在上述离散时刻之间，信号无意义（不传递）。离散系统的运动规律需用差分方程描述。

随着计算机应用技术的迅猛发展，为数众多的自动控制系统都采用数字计算机作为控制手段。在计算机引入控制系统之后，控制系统就由连续系统变成离散系统了。

4. 按系统的参数是否随时间变化分类

(1) 定常系统。

如果系统中的参数不随时间变化，则这类系统称为定常系统。实践中遇到的系统，大多数属于这类系统，或可以合理地近似成这类系统。

(2) 时变系统。

如果系统中的参数是时间 t 的函数，则这类系统称为时变系统。

【技能训练与实践】

本章的内容基本上是一些概念，所以可安排一些参观性质的实践活动。使学生通过对实际电气控制系统的观察、认知，加深对有关概念和系统的理解，逐步培养出宏观分析问题的技术能力。

项目 参观电厂、配电站（房）、厂区电气系统、自来水供水系统等

一、项目教学目的

通过教学使学生了解电气系统的基本组成，更深入地理解电气系统及电气控制的相关概念，为进一步学习电气控制技术建立初步的感性认识：

二、项目教学过程

1. 选取要参观的地点及设备，做好安全防护措施。

2. 学生安全教育。

做好以下几个方面教育：

(1) 参观过程中要服从管理，不能随便碰触设备或有可能带电的部位，防止触电事故

发生。

(2) 按规定内容进行参观，不能随便到其他地方走动，以免发生其他意外。

(3) 注意自己的仪容仪表，禁止有可能引起火灾、伤害事故的行为。

3. 介绍设备、系统等，指导学生认识相关内容。

三、项目总结与拓展

对参观过程中的情况进行总结，注意观察日常生活中有关电气控制的事物和现象。

第 2 章 电气控制系统的控制变量

【知识学习】

本章主要介绍电气控制系统在分析与设计中经常遇到的相关控制变量，只有较为深入地了解了这些变量之后，才会理解电气控制系统的构成思想，同时，也为对电气控制系统进行分析和检测打下必要的知识基础。

第 1 节 控制器的变量

在电气控制系统中，控制器的控制变量是电压和电流，而电路中存在的对电流的阻碍作用是不可避免的，很多时候人们还利用电路的这种阻碍作用（即电阻）来调整电流的大小，因此，在研究电气控制技术之前，需要深刻理解电压、电流和电阻这三个物理量。

一、电压

电压是由电源内部力（电磁力或化学力）做功形成的，其功能是推动电路中的电荷移动使之形成电流。由于电压检测方便，因此，在电气控制系统中，电压的检测与分析就成为对系统的分析一个重要的物理量。

有人把电流与水流相比。例如，水是从高水位流向低水位的，水泵可以将水由低水位推向高水位。与此相似，电流可以说是由高电位流向低电位的，而电源可以把电荷由低电位推向高电位。从这一点出发，可以认为电路中每一点都有一定的电位。空间某一点的位置高低是相对的，与所取的参考点有关。电路中某点的电位高低也是相对的，与所取哪一点电位为零（叫做参考点）有关。电路中某点的电位等于这一点与参考点（零电位点）之间的电压。或者说，电路中某两点的电压就是这两点之间的电位差。即 $U_{ab} = U_a - U_b$ ，其中 U_a 、 U_b 分别代表电路中 a 、 b 两点的电位。

电位的单位就是电压的单位，即伏特（V）。

在电气控制系统中测量电压时，可以直接检测两点间的电压，即电位差。有时，选一个参考点，一般选零电位做参考点，这一点也是与大地等电位的，然后，再测量系统中各检测点相对这一点的电位大小，即电压大小。

二、电流

电荷的流动一般称为电流。电路中任何两点如果有电压，就有了形成电流的可能，一旦两点之间有导体连接，就会出现电荷流动，导体中就形成了电流。这就像水流一样，只要高处有水存在，就有流下来形成水流的可能，一旦高处与低处之间有了通道，水就会流下来，形成水流。