



普通高等教育电气工程与自动化（应用型）规划教材

（少学时）

电器控制与PLC

（西门子S7-300机型）



柳春生○编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

电器控制与 PLC

(西门子 S7—300 机型)

柳春生 编著



机械工业出版社

西门子 S7—300 PLC 是国内应用范围极广、市场占有率很高的可编程程序控制器产品。故本书以西门子 S7—300 PLC 为基础,主要介绍了常用低压电器;电器控制线路;S7—300 PLC 硬件组成及工作原理;PLC 的编程基础;S7—300 PLC 指令系统及编程;PLC 控制系统设计。此外,为了方便教学和自学,各章叙述详细、全面、易懂,并配有大量例题和习题,附录中还有实验指导书,可供读者选择。

本书注重少学时、应用型,并反映了本学科的最新技术,可作为高等院校的电气工程及其自动化、电力系统自动化、自动化、机电一体化、建筑电气与智能化等专业的教材,也可供工程技术人员自学或作为培训教材使用,对 S7—300 PLC 的用户也有很大的参考价值。

图书在版编目 (CIP) 数据

电器控制与 PLC: 西门子 S7—300 机型/柳春生编著 —北京:机械工业出版社,2010.2

ISBN 978-7-111-29752-9

I. ①电… II. ①柳… III. ①电气控制②可编程序控制器 IV. ①TM571

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 025456 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:牛新国 责任编辑:罗 莉 责任校对:张晓蓉

封面设计:陈 沛 责任印制:李 妍

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2010 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·20.75 印张·510 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-29752-9

定价:40.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821 封面无防伪标均为盗版

前 言

随着 PLC 技术的不断发展,它与计算机技术、自动控制技术和通信技术逐渐融为一体。PLC 已从原先小规模单机开关量控制,发展到包括过程控制、运动控制、智能控制、机器人控制等几乎所有控制领域,并结合网络通信能组成工厂自动化的 PLC 综合控制系统。近年来,它在工业自动化、机电一体化、传统产业技术等领域的应用越来越广泛,已成为现代工业控制三大支柱之一。

目前,PLC 产品大致可分为美国、欧洲、日本三大流派。据统计,德国西门子公司生产的 PLC 在我国无论是应用范围还是市场占有率都已超过 30%,特别是西门子公司推出的 S7—300 PLC 以其功能强大、性价比高等特点而深受用户的欢迎。但因 S7—300 PLC 功能强大、程序结构复杂且相应的中文资料较少,给初学者带来了较大的困难。

以继电器-接触器为基础的电器控制是 PLC 控制系统的基础,所以国内很多高等院校都将电器控制与可编程序控制器的内容合为一体,开设成一门名叫“电器控制与可编程序控制器”的课程。从大量的调研资料可知,目前国内出版市场中此类书并不少,但针对西门子 S7—300 PLC 机型的“电器控制与可编程序控制器”的书还比较少见,尤其是“少学时、应用型”的还没有。因此,撰写一本基于西门子 S7—300 PLC 的“电器控制与可编程序控制器(少学时、应用型)”的书籍是非常必要的。

全书分为两篇共七章。第一篇是电器控制,分两章介绍了常用低压电器和电器控制线路。第二篇是可编程序控制器,分五章介绍了 PLC 的产生、基本特点和主要功能;PLC 的硬件组成及工作原理;PLC 的编程基础;S7—300 PLC 指令系统及编程;PLC 控制系统设计。此外,为了方便教学和自学,各章叙述详细、全面、易懂,并配有大量例题和习题,附录中还有实验指导书,可供读者选择。

本书注重少学时、应用型,并反映了本学科的最新技术,可作为高等院校的电气工程及其自动化、电力系统及其自动化、自动化、机电一体化、建筑电气与智能化等专业的教材,也可供工程技术人员自学和作为培训教材使用,对 S7—300 PLC 的用户也有很大的参考价值。

全书由浙江科技学院柳春生教授撰写。本书得到了沈立民和徐然两位教师的帮助和支持,沈立民撰写了附录 B 的 PLC 实验部分,徐然撰写了附录 C 的电器控制实验部分,在此向他们表示感谢!在本书的撰写和出版过程中,也得到了浙江省教育厅高校重点建设教材项目的资助、机械工业出版社的悉心指导以及作者所在单位的领导和同仁的全力支持与帮助,在此一并表示衷心的感谢!

由于作者水平有限,不妥之处在所难免,希望广大读者批评指正。

作 者

目 录

前言

第一篇 电器控制

第一章 常用低压电器	1	一、低压断路器的工作原理	27
第一节 低压电器的作用、分类及发展		二、低压断路器的种类	27
概况	1	三、低压断路器的功能	28
一、电器的定义及作用	1	四、低压断路器的选择	28
二、电器的分类	1	五、智能断路器简介	29
三、电力拖动自控系统常用的低压电器	2	习题	31
四、低压电器的发展概况	2	第二章 电器控制线路	32
习题	5	第一节 电器控制线路的绘制	32
第二节 接触器	5	一、图形和文字符号	32
一、接触器的结构与工作原理	5	二、电器控制线路的表示方法	36
二、交、直流接触器的特点对比	11	三、控制线路的组成及分类	36
三、接触器的主要技术数据	12	四、电器控制原理图的绘制原则	36
四、智能接触器简介	12	五、阅读和分析控制线路图的方法	36
习题	13	习题	37
第三节 继电器	13	第二节 笼型电动机的直接起停控制	37
一、继电器的定义及与接触器的区别	13	一、功能	37
二、继电器的种类及其特点	13	二、动作过程	37
三、继电器触点的种类	14	习题	38
四、继电器的特性	14	第三节 组成电器控制线路的基本规律	38
五、继电器的结构及原理	15	一、自锁控制	39
六、交流固态继电器简介	18	二、联锁控制	39
习题	19	三、变化参量控制	41
第四节 低压熔断器	20	习题	45
一、熔断器的功能	20	第四节 电器控制线路的一般设计方法	45
二、熔断器的种类与型号	20	一、电器控制线路的设计方法	45
三、熔断器的安秒特性	21	二、设计中应注意的几个原则	46
四、熔断器的选择	21	三、经验设计法举例	49
习题	22	习题	52
第五节 主令电器	22	第五节 电器控制的逻辑设计法	52
一、控制按钮	22	一、三种基本逻辑运算	52
二、行程开关	24	二、逻辑代数定理	53
三、转换开关	25	三、逻辑函数的化简	55
习题	27	四、继电器-接触器控制线路的逻辑函数	56
第六节 低压断路器	27		

五、用逻辑设计法设计控制线路	56
习题	57
第六节 常用典型控制线路	57
一、笼型异步电动机的起动控制线路	57

二、笼型异步电动机制动的控制线路	60
三、笼型异步电动机的调速控制线路	62
四、软起动器起动的控制线路简介	66
习题	69

第二篇 可编程序控制器

第三章 PLC 的产生、基本特点和

主要功能	70
------------	----

第一节 PLC 的产生、演变和发展趋势	71
一、PLC 的产生	71
二、国际上 PLC 的发展过程	71
三、我国 PLC 的发展过程	72
四、PLC 的发展趋势	73
第二节 PLC 的分类	77
一、按 I/O 点数分类	77
二、按功能分类	77
三、按结构形式分类	77
第三节 PLC 的基本特点和主要功能	79
一、PLC 的主要特点	79
二、PLC 的主要功能及应用领域	81
习题	81

第四章 PLC 的硬件组成及工作原理 .. 82

第一节 PLC 的基本组成及各部分的作用 .. 82	
一、PLC 的基本组成	82
二、整体式和模块式 PLC 的组成	82
三、PLC 各部分的作用	83
习题	84
第二节 PLC 的工作原理	84
一、PLC 的系统工作过程	85
二、用户程序的循环扫描过程	87
三、PLC 的 I/O 响应滞后问题	90
四、PLC 的中断	91
习题	92
第三节 PLC 的 I/O 模块和外围设备	92
一、数字量 I/O 模块	93
二、模拟量 I/O 模块	94
三、特殊 I/O 模块 (智能模块)	95
四、外围设备简介	96
习题	98
第四节 西门子 S7—300 PLC 的硬件组成及	
硬件配置	98
一、S7—300 的概况	99

二、硬件组成	100
三、S7—300 PLC 的模块简介	101
四、分布式 I/O 简介	114
五、硬件配置	116
习题	121

第五章 PLC 的编程基础

第一节 PLC 编程语言	123
一、编程语言的种类及其特点	123
二、梯形图语言	123
三、语句表语言	124
四、梯形图的绘制原则	124
习题	124
第二节 S7—300 PLC 编程基础	125
一、STEP 7 的程序结构	125
二、STEP 7 的编程语言	125
三、结构化程序中的块	127
四、STEP 7 的数据类型	134
五、PLC 中的存储器与寄存器	138
六、S7—300 PLC 编址	144
七、STEP 7 的指令类型与指令结构	149
习题	155

第六章 S7—300 PLC 指令系统及

编程	156
第一节 逻辑指令	156
一、位逻辑指令	156
二、字逻辑指令	169
习题	173
第二节 定时器与计数器指令	174
一、定时器指令	174
二、计数器指令	183
习题	188
第三节 数据处理与算术运算指令	190
一、数据装人与传送指令	190
二、数据转换指令	196
三、数据比较指令	201
四、算术运算指令	202

五、移位与循环移位指令	210	四、电源模块选择	244
六、累加器操作指令	214	五、外部接线设计	245
七、地址寄存器加指令	215	第三节 PLC 控制系统的软件设计	250
第四节 程序执行控制指令	216	一、PLC 软件设计的一般步骤	250
一、跳转指令	216	二、西门子 STEP 7 程序设计方法	252
二、循环指令	223	第四节 PLC 控制系统的人机接口设计	255
三、功能块调用指令与数据块指令	224	一、人机接口(界面)概述	255
四、主控继电器指令	227	二、人机接口系统的选型	255
五、显示和空操作指令	229	三、系统设计	256
第五节 指令系统综合应用	229	第五节 PLC 控制系统的可靠性与抗干扰	
习题	235	设计	257
第七章 PLC 控制系统设计	237	一、PLC 的环境适应性设计	257
第一节 PLC 控制系统的设计原则、内容与		二、PLC 控制系统的冗余性设计	259
步骤	237	三、PLC 控制系统的抗干扰设计	260
一、设计原则	237	四、PLC 控制系统的故障诊断	263
二、设计内容	238	第六节 PLC 控制系统设计举例	265
三、设计步骤	238	一、机械手控制系统简介	265
第二节 PLC 控制系统的硬件设计	240	二、使用起、保、停电路的编程方法	266
一、PLC 的选型	240	三、使用置位、复位指令的编程方法	270
二、PLC 容量的估算	242	习题	271
三、I/O 模块选择	243		
附 录			
附录 A STEP 7 语句表指令一览表	272	附录 C 电器控制实验指导书	308
附录 B PLC 实验指导书	277	实验一 三相笼型异步电动机的点动和	
实验一 实验系统简介及 STEP 7 编程软件		自锁控制线路	311
编程练习	277	实验二 三相笼型异步电动机减压起动	
实验二 基本指令的编程练习 I——与、		控制线路	313
或、非逻辑功能实验	302	实验三 三相笼型异步电动机可逆旋转	
实验三 基本指令的编程练习 II——定时		控制线路	315
器功能实验	304	实验四 三相笼型异步电动机电气制动	
实验四 基本指令的编程练习 III——计数		控制线路	318
器功能实验	305	实验五 小车变速自往复循环运动行程	
实验五 移位指令练习——装配流水线控		控制线路	320
制的模拟	306	参考文献	323

本篇主要学习常用低压电器的结构、工作原理和电器控制线路的组成、基本规律及其设计方法，并对交流异步电动机的起动、制动和调速的方法及其典型控制线路也作简要介绍。

第一章

常用低压电器

第一节 低压电器的作用、分类及发展概况

一、电器的定义及作用

凡是能自动或手动接通和断开电路，以及对电路或非电对象能进行切换、控制、保护、检测、变换和调节的电器元件系统称为电器。简单地说，电器就是电的控制工具。

由此定义可以看出电器的作用：即接通和断开电路；对电路或非电对象进行切换、控制、保护、检测、变换和调节。

电器的用途广泛、功能多样、种类繁多、构造各异，其分类方法很多。下面介绍几种常用的分类方法。

二、电器的分类

(一) 按工作电压等级分

高压电器——指交流额定电压高于 1200V 或直流额定电压高于 1500V 的电器。

低压电器——指交流额定电压为 1200V 及以下或直流额定电压为 1500V 及以下的电器。

(二) 按动作原理分

手动电器——指需要人直接操作才能完成指令任务的电器，如按钮、转换开关、隔离开关等。

自动电器——指不需要人操作，而是按照电信号或非电信号自动完成指令任务的电器，如接触器、继电器、电磁阀等。

(三) 按应用场合分

分为一般工业用电器、特殊工矿用电器（如防爆电器）、农用电器、其他场合用电器（如航空及船舶用电器）。

(四) 按用途分

控制电器——用于各种控制电路和控制系统的电器，如接触器、继电器、电动机起动器等。

主令电器——用于自动控制系统中发送控制指令的电器，如按钮、主令开关、转换开关等。

执行电器——用于某种完成动作或传送功能的电器，如电磁阀、电磁离合器等。

配电电器——用于电能的输送和分配的电器，如高压断路器、隔离开关、母线等。

保护电器——用于保护电路及用电设备的电器，如熔断器、避雷器等。

三、电力拖动自控系统常用的低压电器

电力拖动自控系统常用的低压电器主要有接触器、继电器、断路器、行程开关、熔断器及其他电器（如按钮、刀开关等）。

四、低压电器的发展概况

(一) 我国低压电器的发展概况

解放前，我国的低压电器工业基本上是一片空白。从 1953 年开始至今，我国低压电器工业的发展经历了全面模仿苏联、自行设计、更新换代、技术引进、跟踪国外新产品等几个阶段，在品种、水平、生产总量、新技术应用、检测技术与国际标准接轨等方面都取得了巨大成就。至“七五”末期，我国共开发了各类低压电器产品 600 多个系列、实际生产的 400 多个系列（其中 100 多个系列产品目前已经淘汰），1200 多个品种，几万种规格。“八五”期间，我国一方面对“七五”及以前形成的更新换代产品和技术引进产品进行推广应用，另一方面对其进行二次开发，使其进一步完善和提高，为开发新一代产品奠定了基础。“九五”期间，我国的低压电器产品开发主要是跟踪国外新技术、新工艺、新产品，并且自行开发、设计、试制。这一时期是我国低压电器产业突飞猛进的时期。目前已有大批新产品、新品种面市，有的产品已达到国外同类产品的先进水平，并出口国外。新型电器包括可通信低压电器，如智能化框架断路器、智能化塑壳断路器、智能配电装置、智能化接触器、模数化终端保护电器等，并已批量投入生产，推广应用。综合上述，我国的低压电器产品主要经历了 4 代。

第 1 代产品，从 20 世纪 60 年代初至 70 年代初，是自行开发设计的统一设计产品，以 CJ10、DZ10、DW10 等系列为代表，共约 29 个系列。这代产品总体技术性能相当于国外 20 世纪 50 年代水平，有的是 20 世纪 40 年代水平，现已被淘汰。但这一代产品对我国低压配电和控制系统的发展起了重要作用。

第 2 代产品，从 20 世纪 70 年代后期到 80 年代，是完成的更新换代和引进国外技术生产的产品。更新换代产品以 CJ20、DZ20、DW15 等系列为代表，共约 56 个系列。引进技术制造产品以 ME、3WE、B、3TB、LCI-D 系列等为代表，约 34 个系列。这批产品总体技术性能水平相当于国外 20 世纪 70 年代末、80 年代初的水平、目前市场占有率约 50%。随着新型电器的出现其市场占有率有下降趋势（注：ME 系列，引进 AEC 公司技术，国内型号为 DW17 系列；3WE 系列、3TB 系列，引进西门子公司技术；3TB 系列国内型号为 CJX3 系列；B 系列，引进 ABB 公司技术；LCI-D 系列，引进 TE 公司技术，国内型号为 CJX4 系

列)。

第3代产品,在20世纪90年代跟踪国外新技术、新产品、自行开发、设计、研制的产品,以DW40、DW45、DZ40、CJ40、S系列等为代表的十多个系列。与国外合资生产的M、F、3TF系列等,约30个系列。这些产品总体技术性能达到或接近国外20世纪80年代末、90年代初水平。

第3代电器产品具有高性能、小型化、电子化、智能化、模块化、组合化、多功能化等特征。但受制于通信能力的限制,不能很好地发挥智能产品的作用,市场占有率仅有5%~10%,如智能断路器、软起动器等。

20世纪90年代末随着智能化低压电器的诞生以及现场总线技术在低压电器领域的应用,国内低压电器向网络化、可通信发展。截至2003年底,国内低压电器元件获3C认证13000多个单位,低压成套装置获3C认证6000多个单位,生产的低压电器产品近1000个系列、产值约200亿人民币。

第4代产品,21世纪初到目前开发的现场总线低压电器的产品。这种产品除了具有第3代低压电器产品的特征外,其主要技术特征是可通信,能与现场总线系统连接,概括起来有以下6大技术特征:

① 带有通信接口。能与多种开放式现场总线进行双向通信,实现低压电器可通信、网络化。

② 强调系统集成。产品包括硬件、软件。同时,第4代低压电器元件与成套装置同步开发。

③ 强调标准化。第4代产品除结构、技术性能标准化外,其通信协议、通信规约必须标准化,同公司产品具有较好的互操作性。

④ 提高产品综合性能。包括技术性能、外观、使用性能、维护性能。

⑤ 强调环保要求。逐步发展“绿色”产品,包括产品材料选用、制造过程及使用过程不污染环境。

⑥ 具有高可靠性。开展可靠性设计,产品生产过程进行可靠性控制(大力推进在线检测装置),可靠性出厂检验及可靠性增长,特别强调电子器件可靠性及电磁兼容要求。

智能化、可通信低压电器的产品结构特征及基本功能有:

① 低压电器产品中装有微处理器;

② 低压电器带有通信接口,能与现场总线连接;

③ 采用标准化结构,具有互换性,内部可更换部件采用模块化结构;

④ 保护功能齐全;

⑤ 外部故障记录显示;

⑥ 参数批量显示;

⑦ 内部故障自诊断;

⑧ 能进行双向通信。

当前,我国低压电器的发展正向着更高层次迈进,新产品已发展到12大类、380个系列、1200多个品种、几万种规格,在传统低压电器向着高性能、高可靠、小型化、多功能、组合化、模块化、电子化、智能化和零部件通用化方向发展的同时,随着计算机网络的发展与应用,又在研制开发、生产和推广应用各种可通信智能化电器、模数化终端组合电器及节

能电器。可以肯定的是,随着国民经济的发展,我国的低压电器工业将会大大缩短与先进国家的差距,发展到更高的水平,以满足国内外市场的需要。

(二) 国内外低压电器的发展趋势

不断吸收应用各种相关新技术是国内外低压电器发展的一大趋势,它主要包括以下几个方面。

1. 现代设计技术的应用

现代设计技术主要表现在三维计算机辅助设计系统与制造软件系统的引入、电器开关特性的计算机模拟和仿真、现代化的样机测试手段等3个方面。其中,三维计算机辅助设计系统集成设计、制造和分析(CAD/CAM/CAE)于一体,它能实现设计与制造的自动化与优化,从零件设计、装配到产品总装、仿真运行等均可在计算机上完成,并能让设计者在三维空间完成零部件设计和装配,并在此基础上自动生成工程图样,大幅度缩短开发周期与开发费用,提高产品性能与缩小体积。它的辅助制造部分能自动完成零件的模具设计和加工工艺,并生成相应的数控代码,直接带动数控机床。它的分析仿真部分能进行产品的应力分析,热场甚至电磁场的计算,机构的静态和动态特性分析,并能通过分析使产品的设计达到优化,获得最佳的性能和最小的体积。目前国内外一些著名的电器公司已广泛采用三维设计系统来开发产品,国内在20世纪90年代初首先由常熟开关厂依靠UG三维设计系统开发CMI系列高分断性能的塑壳断路器获得成功,该产品由于其优异的性能,加上极短的开发周期,一方面很快占领了市场,使工厂取得了显著的经济效益;另一方面也带动其他工厂纷纷引进这种新技术,目前已被广泛采用。

2. 低压电器专用计算机应用软件

上述的CAD/CAM/CAE系统一般是指通用软件。为完善设计和提高设计效率,除建立必需的数据、符号、标准元件库外,还需要一些专用分析、计算软件,如磁系统三维分析、计算软件包、电器开关特性的计算机模拟和仿真、低压电器合闸和分断过程动态仿真、电磁机构和触点运动过程动态仿真、电弧产生与熄灭过程的动态仿真、样机测试等软件包。用ANSYS有限元分析软件可进行触点灭弧系统和脱扣器的磁场分析及电器机壳的强度分析;用ADAMS软件可进行操纵机构的动态特性分析,用CFX-F3D三维流体计算软件分析灭弧过程中电弧等离子体微观参数等。

3. 计算机网络系统的应用

计算机网络系统的应用是指微处理机技术和计算机技术的引入及计算机网络技术和信息通信技术的应用,一方面使低压电器智能化,另一方面使智能化电器与中央控制计算机进行双向通信。进入20世纪90年代,随着计算机通信网络的发展,低压电器与控制系统已统一形成了智能化监控、保护与信息网络。它由智能化电器、监控器、中央计算机包括可编程控制器(PLC)及网络元件4部分组成。监控器在网络中起参数测量与显示、某些保护功能、通信接口作用,并代替传统的指令电器、信号电器和测量仪表。网络元件用于形成通信网络,主要有现场总线、操作器与传感器接口、地址编码器及寻址单元等。

计算机网络系统的应用,不仅提高了低压配电与控制系统的自动化程度,并且实现了信息化,使低压配电、控制系统的调度、操作和维护实现了四遥(遥控、遥信、遥测、遥调),提高了整个系统的可靠性。实现区域联锁,使选择性保护匹配合理。采用新型监控元件,使可提供的信息量大幅度增加,实现信息共享,减少信息重复和信息通道,简化二次控制线路,接线简单,安装方便,提高工作可靠性。随着计算机网络的应用,对低压电器产品

提出了新的要求,如:如何实现低压电器元件与网络的连接、用户和设备之间的开放性和兼容性、标准化的通信规约(协议)以及可靠性问题、电磁兼容性 EMC (ElectroMagnetic Compatibility) 要求等。

在计算机网络中,为了保证数据通信的双方能正确自动地进行通信,必须制定一套关于信息传输的顺序、信息格式和信息内容的约定,这种约定称为通信协议。国际标准化组织制定了开放系统互联 ISO/OSI 参考模型,共 7 层,包括传输规程和用户规程等。一些国家和公司按照 ISO/OSI 参考模型相继推出了各自的现场总线标准,如欧洲标准 PROFIBUS、我国的《低压电器数据通信规约(V1.0)》等。由于现场总线技术的出现,为构造分布式计算机控制系统提供了条件,并且它即插即用,扩充性好、维护方便,因此由智能化电器与中央计算机通过接口构成的自动化通信网络正从集中式控制向分布式控制发展,因而目前这种技术成为国内外关注的热点。

4. 可靠性技术

随着低压电器和控制系统的大型化、复杂化,系统元器件越来越多,一个元器件故障将可能导致系统瘫痪。因此,国内外重点研究以下几个方面:可靠性物理研究,即产品失效机理研究;可靠性指标与考核方法研究;可靠性实验装置研究;提高可靠性研究。

5. 新的灭弧系统和限流技术

由于电力系统发展的需要,对低压开关电器提出了高性能和小型化的要求,传统意义上的灭弧系统已不能满足对低压开关电器开断能力的要求,因此,国内外致力于研究新的灭弧系统和限流技术,实现开关电器“无飞弧”。如采用一种三维磁场集中驱弧技术来提高塑壳断路器的开断性能;采用旋转式双断点的限流结构,并在前后级保护特性配合方面实现“能量匹配”以提高开关电器开断能力;采用新的绝缘材料抑制由于电极的金属蒸气扩散至绝缘器壁上形成的金属粒子堆积层,加强对电弧的冷却作用等。

习 题

1. 什么叫电器?其作用是什么?
2. 电器按用途不同可以分为哪几类?

第二节 接 触 器

接触器实际上是一个能频繁通断的由电磁铁带动的负荷开关。与其他开关相比,它可以频繁通断主电路的正常工作电流,但不能分断主电路的短路电流。短路电流通常用断路器或熔断器来分断。因此,接触器常用于电路的频繁通断和电气设备(如电动机)的近、远距离控制,程序控制等。

一、接触器的结构与工作原理

(一) 结构

接触器结构如图 1-1 所示。其主要部件有线圈、铁心、衔铁、主触点、辅助触点、灭弧罩等。在控制电路中只画出线圈和触点。

1. 触点形式

触点形式如图 1-2 所示。

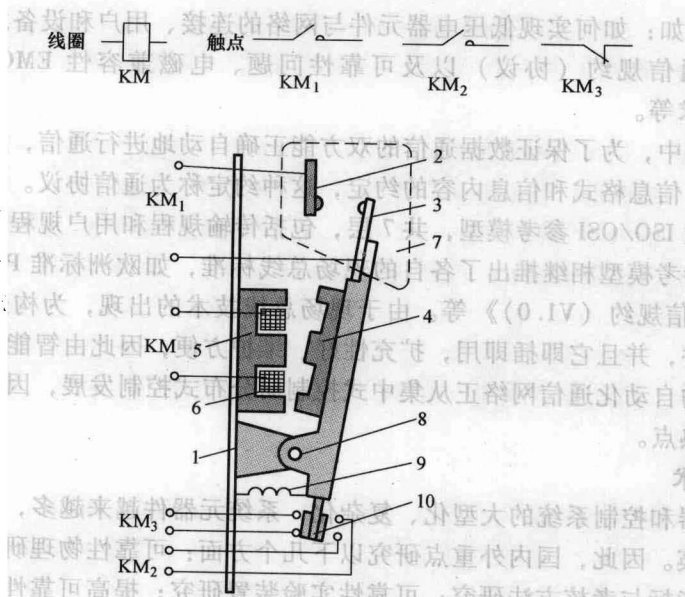


图 1-1 接触器的结构示意图

1—绝缘板 2—主静触点 3—主动触点 4—弹簧 5—铁心 6—线圈
7—灭弧罩 8—转轴 9—反作用弹簧 10—辅助触点

点接触——允许通过电流小。

线接触——允许通过电流中等。

面接触——允许通过电流大。

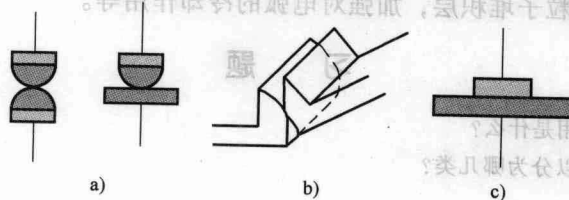
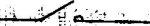


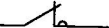
图 1-2 触点的 3 种接触形式

a) 点接触 b) 线接触 c) 面接触

2. 触点种类

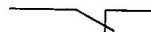
(1) 主触点：主触点容量大，用于通断高电压、大电流电路。

常开触点——多见，其符号为 

常闭触点——少见，其符号为 

(2) 辅助触点：辅助触点容量小，用于通断低电压、小电流电路（如控制电路）。

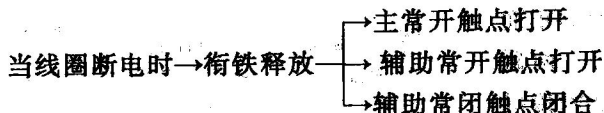
常开触点， 

常闭触点， 

3. 接触器的动作过程

当线圈通电时→衔铁吸合

- 主常开触点闭合
- 辅助常开触点闭合
- 辅助常闭触点断开



接触器的触点是最容易损坏的部件。其损坏的原因主要是磨损和电弧烧损，其中电弧烧损最为严重。为了保护触点、提高触点的分断能力，就必须加灭弧装置。如上面的灭弧罩就是灭弧装置之一。接触器能分断电流的大小与灭弧装置的灭弧能力的大小有直接关系，因此，需要对灭弧装置的灭弧原理作一下介绍。

(二) 电弧的产生与灭弧装置

1. 电弧的产生

当接触器触点分断电路时，如果电路中电压超过 $10 \sim 12\text{V}$ 和电流超过 $80 \sim 100\text{mA}$ ，即：功率约 1W ，在拉开的两个触点之间将出现强烈的火花。当电流越大时，电火花越强烈。当电流大到一定强度时，电火花就会变成“电弧”，这实际上是一种气体放电现象，如图 1-3 所示。

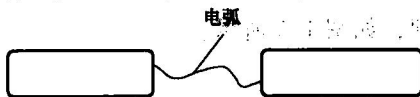


图 1-3 开关电弧

2. 灭弧装置

接触器中的灭弧装置只能熄灭正常的工作电流产生的电弧，不能熄灭短路电流产生的电弧，故接触器不能用来分断短路电流，其常与熔断器配合使用。接触器用来分断正常的工作电流，靠熔断器来分断短路电流。

在接触器中常用以下 3 种灭弧装置：

磁吹式灭弧装置（吹弧线圈 + 灭弧罩）——灭弧能力最强，多用于直流接触器。

带灭弧栅的灭弧装置（灭弧栅 + 灭弧罩）——灭弧能力强，多用于交流接触器。

灭弧罩（由陶土和石棉水泥制成）——灭弧能力差，用于小容量的交、直流接触器。

(1) 灭弧罩的灭弧原理。灭弧罩是最为简单的灭弧装置，主要是通过冷却降温来灭弧，同时也起隔弧的作用，防止电弧飞溅。

(2) 带灭弧栅的灭弧装置的灭弧原理。灭弧栅的灭弧原理如图 1-4 所示。

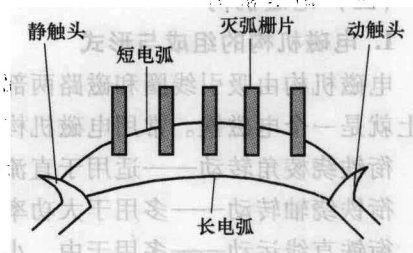


图 1-4 灭弧栅灭弧原理

当出现电弧时，电弧周围的磁场将灭弧栅片（即小钢片）磁化，于是灭弧栅片将电弧吸入其中，将原来的长电弧分割成短电弧。当交流电流过量时，电弧自燃熄灭，此时去电离作用最强，介质的绝缘强度也在迅速恢复。更主要的是也在此时，电流极性发生改变，由于近阴极效应，使得多个短电弧的弧隙压降串起来比较大，在 $150 \sim 250\text{V}$ 之间，只有当加在栅片间的电压达到 $150 \sim 250\text{V}$ 时，电弧才可能重燃。实际上，交流电流过零时，加在栅片间的电压也比较低（纯电阻负荷时，此电压为零；电感负荷时，此电压也不大）。这样一来，电源电压不足以维持电弧，同时由于栅片的散热作用，电弧自燃熄灭后很难重燃，于是电弧便很快熄灭。这种方法广泛用于交流接触器灭弧。

(3) 磁吹式灭弧装置。这种灭弧装置的灭弧原理如图 1-5 所示。

带铁心的吹弧线圈与主电路相串联，吹弧线圈里的电流就是负荷电流，方向如图 1-5 所

示, 根据右手定则判断可见, 吹弧线圈的正面是北极 (N 极), 背面是南极 (S 极)。两磁极通过两块钢夹板 (导磁颊片) 将磁力传导到主触点周围, 其磁力线方向如图 1-5 所示。根据左手定则可判断电磁力 F 的方向如图 1-5 所示。电磁力 F 使电弧越拉越长, 且沿着熄弧角 (与静触点相连的引弧触点) 向上运动, 将热量传递给罩壁。两者联合作用, 电弧很快熄灭。

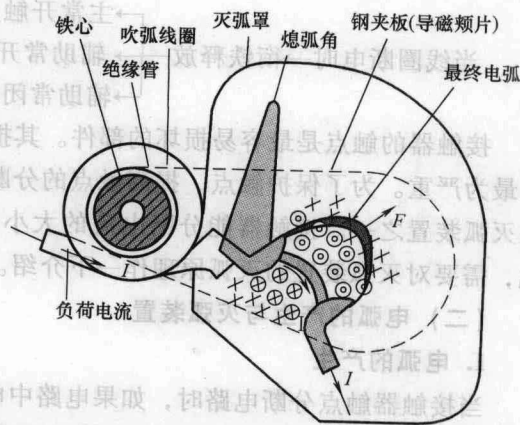


图 1-5 磁吹式灭弧装置

采用多断口触点 (如桥式触点) 可以使电弧长度及触点分断速度成倍提高, 有利于灭弧。接触器辅助触点常采用桥式触点正是这个道理, 如图 1-6 所示。

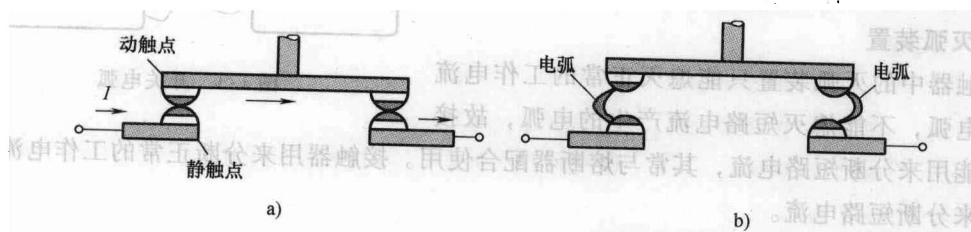


图 1-6 桥式触点

a) 闭合状态 b) 断开状态

(三) 电磁机构

1. 电磁机构的组成与形式

电磁机构由吸引线圈和磁路两部分组成。磁路包括铁心、衔铁、空气隙等。电磁机构实际上就是一个电磁铁。常用电磁机构如图 1-7 所示, 按衔铁的运动方式可作如下分类:

衔铁绕棱角转动——适用于直流接触器, 如图 1-7a 所示。

衔铁绕轴转动——多用于大功率的交流接触器, 如图 1-7b 所示。

衔铁直线运动——多用于中、小功率的交流接触器, 如图 1-7c 所示。

中小型接触器的外形和结构如图 1-8 所示。

2. 电磁机构的工作特性

电磁机构把电磁能转换成机械能, 使衔铁运动, 即衔铁吸合与释放。电磁机构的工作特性常用吸力特性与阻力特性来表征。

(1) 吸力特性: 电磁机构的吸力 F 与气隙 δ 之间的关系, 称为吸力特性, 即 $F = f(\delta)$ 。它随励磁电流种类 (交流或直流)、线圈的连接方式 (串联或并联) 而有所差异。

电磁机构的吸力可按下式近似计算:

$$F = 4 \times 10^5 B^2 S \quad (\text{即 } F \propto B^2) \quad (1-1)$$

式中 F ——吸力, 单位为 N;

B ——磁通密度, 单位为 T, $1\text{T} = 1\text{Wb}/\text{m}^2$;

S ——吸力处的铁心截面积, 单位为 m^2 。

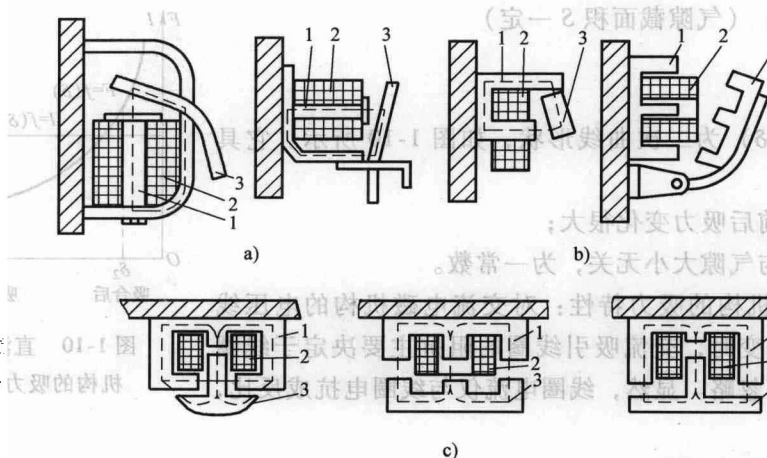


图 1-7 常用电磁机构的形式

a) 衔铁绕棱角转动 b) 衔铁绕轴转动 c) 衔铁直线运动

1—铁心 2—线圈 3—衔铁

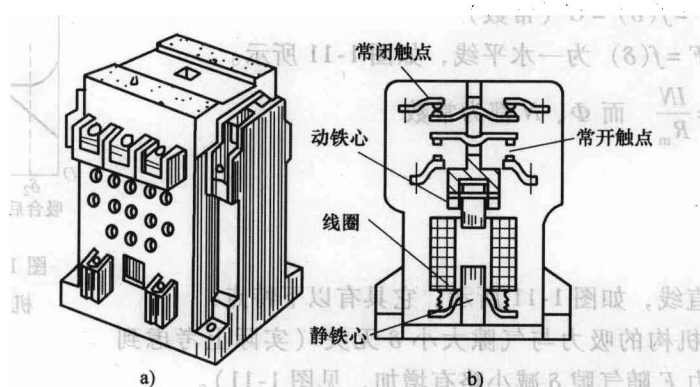


图 1-8 中小型接触器的外形和结构

a) 外形 b) 结构图

因为 $B = \Phi/S$, 而 S 一定, 所以 $F \propto \Phi^2$ 。

根据式 (1-1), 可推出直、交流电磁机构 (均为电压线圈) 的吸力特性。

1) 直流电磁机构的吸力特性: 直流电磁机构如图 1-9 所示。对直流电磁机构的电压线圈, 当外加电压和线圈电阻不变时, 流过线圈的电流为一常数, 与气隙 δ 大小无关, 即无电感效应。

即:

$$\text{电流 } I = f(\delta) = C \text{ (常数)}。$$

$$\text{因为磁通 } \Phi = \frac{IN}{R_m} \propto \frac{1}{R_m} \text{ 且 } F \propto \Phi^2$$

式中 R_m ——磁路的磁阻;

IN ——磁势 (I 为线圈的电流, N 为线圈匝数)。

$$\text{所以 } F \propto \frac{1}{R_m^2}$$

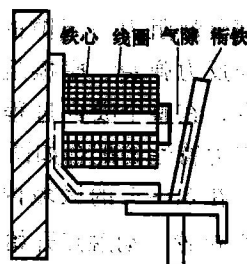


图 1-9 直流电磁机构

又因为 $R_m \propto \delta$ (气隙截面积 S 一定)

所以 $F \propto \frac{1}{\delta^2}$

故吸力特性 $F=f(\delta)$ 为二次曲线形状, 如图 1-10 所示。它具有以下特点:

- ① 衔铁吸合前后吸力变化很大;
- ② 线圈电流与气隙大小无关, 为一常数。

2) 交流电磁机构的吸力特性: 对交流电磁机构的电压线圈, 当外加电压不变时, 交流吸引线圈的阻抗主要决定于线圈的电抗, 电阻可以忽略。显然, 线圈电流仅与线圈电抗成反比, 即有电感效应。

因为 $U \approx E = 4.44 f \cdot \Phi \cdot N$

所以当 U 、 f 、 N 一定时, Φ 为常数

又因为 $F \propto \Phi^2$

所以吸力 $F=f(\delta)=C$ (常数)

故吸力特性 $F=f(\delta)$ 为一水平线, 如图 1-11 所示。

又因为 $\Phi = \frac{IN}{R_m}$ 而 Φ 、 N 都为常数

故 $I \propto R_m$

而 $R_m \propto \delta$

所以 $I \propto \delta$

故 $I=f(\delta)$ 为一直线, 如图 1-11 所示。它具有以下特点:

① 交流电磁机构的吸力与气隙大小 δ 无关 (实际上考虑到漏磁的作用, 吸力 F 随气隙 δ 减小略有增加, 见图 1-11)。

② 衔铁吸合后电流很小, 即不需多大电流就能维持衔铁吸合。

③ 衔铁吸合前后线圈电流变化很大, 衔铁吸合前电流将达到吸合后额定电流的 5~6 倍 (U 形结构); E 形衔铁铁心机构可高达 10~15 倍。如果衔铁卡住不能吸合或者频繁动作, 线圈可能被烧坏, 故交流接触器不宜频繁动作。这就是对于可靠性要求高或频繁动作的控制系统采用直流电磁机构而不采用交流电磁机构的原因。

(2) 阻力特性及其与吸力特性的配合。电磁机构转动部分静阻力与气隙的关系, 称为阻力特性。阻力的大小与反力弹簧、摩擦阻力以及衔铁重量有关。欲使衔铁吸合, 在整个吸合过程中, 吸力需大于阻力。吸力特性与阻力特性的配合如图 1-12 所示。

在 $\delta_1 - \delta_2$ 的区域内, 阻力随气隙减小略有增大。到达 δ_2 位置, 动触点开始与静触点接触, 这时触点上的初压力作用到衔铁上, 阻力骤增、曲线突变。其后在 $\delta_2 - 0$ 的区域内, 气隙越小触点压得越紧, 阻力越大, 线段较 $\delta_1 - \delta_2$ 段陡。

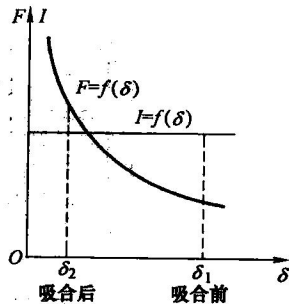


图 1-10 直流电磁机构的吸力特性

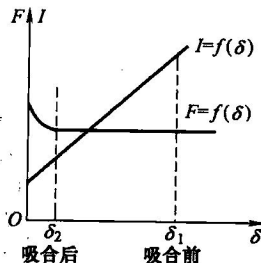


图 1-11 交流电磁机构的吸力特性

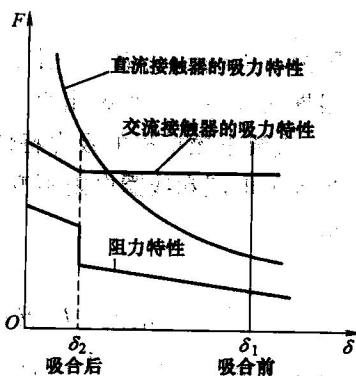


图 1-12 吸力特性与阻力特性的配合