



全国高职高专教育“十一五”规划教材

电气控制及PLC

姚融融 主编



高等教育出版社
Higher Education Press

全国高职高专教育“十一五”规划教材

电气控制及 PLC

Dianqi Kongzhi ji PLC

姚融融 主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书以培养读者掌握电气控制技术和使用 PLC(可编程序控制器)的能力为主要目的,具有理论与实践相结合、突出控制技术、集理论教学、实验、实训为一体的特点。

本书共分 8 章,附录由两个实训部分组成。基础理论方面分为两篇。第一篇为电气控制技术部分,主要介绍常用的低压电器、电气控制技术的基础、电气控制技术的基本控制线路、常用机床电气控制线路分析。第二篇为可编程序控制器应用部分,主要介绍可编程序控制器的结构和工作原理、基本顺控指令及其应用、步进顺控指令及其应用、功能指令及其应用。实践教学方面包含 16 个实训项目,其中:电气控制技术主要介绍电动机及低压电器的拆装及实践、电气控制线路的基本环节;可编程序控制器主要介绍电动机循环正反转的 PLC 控制、数码管循环点亮的 PLC 控制、机械手的 PLC 控制、工业洗衣机的 PLC 控制、皮带运输机的 PLC 控制、自动交通灯的 PLC 控制、功能指令实现数码管循环点亮、8 站小车的呼叫控制等。

本书可以作为高职高专院校的工业自动化、电气工程及自动化、机电一体化等相关专业的教材,也可供成人高校的相关专业选用,并可作为电工高级工、电工技师的培训教材和电气技术人员的培训和参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制及 PLC/姚融融主编. —北京:高等教育出版社, 2010. 2

ISBN 978 - 7 - 04 - 028849 - 0

I. ①电… II. ①姚… III. ①电气控制 - 高等学校: 技术学校 - 教材②可编程序控制器 - 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 007277 号

策划编辑	孙 薇	责任编辑	曲文利	封面设计	张雨微	责任绘图	尹莉
版式设计	张 岚	责任校对	杨雪莲	责任印制	朱学忠		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
总 机 010 - 58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 山东鸿杰印务集团有限公司

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 22
字 数 540 000

购书热线 010 - 58581118
咨询电话 400 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2010 年 2 月第 1 版
印 次 2010 年 2 月第 1 次印刷
定 价 28.20 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 28849 - 00

前 言

《电气控制及 PLC》共分两篇 8 章,并以附录的形式给出两个部分的实训项目。内容包括常用低压电器、控制线路的基本环节、通用机床的电气控制、可编程序控制器的结构和工作原理、基本顺控指令、功能指令、特殊功能模块及其应用、电气控制技术和可编程序控制器的基本实训案例和生产实际的案例。

本书的编写特点:

1. 体现高职高专“以能力培养为核心,以理论教学和实践教学相结合”的教学新思路,加强理论与实践的结合,增强学生的动手能力。本书的理论部分以章节编排、实践部分以项目编排,符合实践技能型的学习规律。理论与实践的结合遵循了递进式的教学原则。

2. 为实现学校和企业的无缝连接,让高职高专的学生在学校的实训基地中学习新技术、应用新技术。学生毕业之后即可上岗,实现学校与企业的零距离接轨。

3. 实践部分实现三级递进(全指导、半指导、零指导),是教、学、练的紧密结合。每一个实践课题一般安排二、三个实训项目。特别在零指导中教师只给出一个控制要求,让学生能自行完成设计和接线,举一反三、触类旁通,以培养高职高专学生的设计能力、创新意识和创新能力。

4. 全书采用国家标准,搜集了更新换代的低压电器产品。

5. 容易记忆。全书在电气控制线路原理叙述之后,用“符号法”或“阶梯法”予以总结,这种方法教师容易讲解,方便教学;学生容易理解,容易记忆。

本书可以作为高职高专学校的工业电气化电气工程及自动化、机电一体化等相关专业的教材,也可供成人高校的相关专业选用,并可作为电工培训高级工、电工技师的培训教材和电气技术人员的培训参考资料。

本书由上海第二工业大学姚融融任主编,上海第二工业大学陆铭任副主编,湖北广播电视大学大冶有色金属公司分校戴光世参编。书中的第一章、第二章、第三章、第四章由姚融融编写,第五章、第六章、第七章、第八章由陆铭编写;附录的两个实训部分由戴光世编写。全书由姚融融统稿。

本书初稿由上海第二工业大学自动化专业电气自动化教研室组织会审,作为教材使用了两年,并由贵州师范学院王良模、上海应用技术学院韩志青共同审核。上海第二工业大学周政新、顾永杰对本书初稿提出了许多宝贵的意见,在此表示衷心的感谢,同时感谢上海第二工业大学

05 级自动化专业蔡英明等多位同学对初稿所做的工作。此外,本书还由北京联合大学窦晓霞、童启明两位老师审阅,在此一并表示感谢。

目前教学改革正在不断深入,由于编者水平的局限,本书稿难免存在不妥之处,热诚欢迎选用本书做教材的同仁和读者提出宝贵的意见,并批评指正。

编 者

2009. 10

目 录

第一篇 电气控制技术部分

第一章 常用的低压电器	3	1.5.3 接触器的主要技术参数和类型	33
本章概要	3	1.5.4 接触器常见故障分析	35
1.1 电器的基本知识	3	1.6 继电器	36
1.1.1 电器的定义及分类	3	1.6.1 电磁式继电器	36
1.1.2 电磁式电器的工作原理与结构特点	4	1.6.2 时间继电器	39
1.1.3 电器的触点系统和电弧	7	1.6.3 热继电器	42
1.1.4 低压电器的主要技术参数	9	1.6.4 速度继电器	44
1.2 开关电器	11	本章小结	45
1.2.1 刀开关	11	本章习题	46
1.2.2 组合开关	13	第二章 电气控制技术基础	47
1.2.3 断路器	15	本章概要	47
1.3 熔断器	19	2.1 电气原理图的绘制与阅读	47
1.3.1 熔断器的用途、结构及工作原理	19	2.1.1 电气原理图的绘制原则	47
1.3.2 熔断器的类型与技术参数	20	2.1.2 电气原理图的阅读方法	48
1.3.3 熔断器的选择	21	2.2 电气控制系统图的分类与有关规定	49
1.3.4 快速熔断器	22	2.2.1 电气原理图	49
1.4 主令电器	23	2.2.2 电器布置图	50
1.4.1 控制按钮	23	2.2.3 电气安装接线图	51
1.4.2 位置开关	25	2.3 电气元件的图形符号和文字符号	52
1.4.3 万能转换开关	28	2.3.1 图形符号	52
1.4.4 主令控制器与凸轮控制器	29	2.3.2 文字符号	53
1.5 接触器	31	2.3.3 常用低压电器的图形符号和文字符号	53
1.5.1 交流接触器	31		
1.5.2 直流接触器	32		

2.4 电气控制线路的保护环节	57	3.3.2 转子绕组串频敏变阻器起动控制 线路	85
2.4.1 电流型保护	57	3.4 三相异步电动机调速与制动 控制线路	87
2.4.2 电压型保护	58	3.4.1 三相异步电动机调速控制 线路	87
2.4.3 位置保护及其他保护	59	3.4.2 三相异步电动机制动控制 线路	88
2.5 电气控制系统中的控制原则 ...	60	本章小结	93
2.5.1 时间控制原则	60	本章习题	93
2.5.2 行程(位置)控制原则	60	第四章 常用机床电气控制线路	
2.5.3 速度控制原则	60	分析	95
2.5.4 电流控制原则	60	本章概要	95
2.5.5 顺序控制原则	60	4.1 C620-1 卧式车床的电气控制 线路	95
本章小结	62	4.1.1 卧式车床的主要结构与运动 形式	96
本章习题	63	4.1.2 卧式车床的电力拖动特点与控制 要求	96
第三章 电气控制技术的基本控制 线路	64	4.1.3 C620-1 卧式车床的电气控制 线路分析	97
本章概要	64	4.1.4 C620-1 卧式车床的常见电气 故障分析	98
3.1 电动机的基本控制线路	64	4.2 M7130 型平面磨床的电气 控制线路	99
3.1.1 电动机的单向点动控制线路	64	4.2.1 平面磨床的主要结构与运动 形式	99
3.1.2 电动机的单向长动(连续)控制 线路	65	4.2.2 平面磨床的电力拖动特点与 控制要求	100
3.1.3 电动机的长动及点动的控制 线路	66	4.2.3 M7130 型平面磨床的电气控制 线路分析	101
3.1.4 电动机可逆运行控制线路	67	4.2.4 M7130 型平面磨床的常见电气 故障分析	104
3.1.5 电动机可逆“自动停止”、“自动 往返”控制线路	69	4.3 Z3040 型摇臂钻床的电气控制 线路	104
3.1.6 电动机的顺序控制与多地控制 线路	71	4.3.1 摇臂钻床的主要结构与运动 形式	105
3.1.7 电动机的延时控制	74	4.3.2 摇臂钻床的电力拖动特点与 控制要求	105
3.2 笼型电动机降压起动的控制 线路	76		
3.2.1 定子绕组串电阻(电抗器)降压 起动控制线路	76		
3.2.2 定子绕组星形-三角形降压起动 控制	79		
3.2.3 自耦变压器降压起动控制 线路	81		
3.3 三相绕线转子异步电动机的 起动控制线路	83		
3.3.1 转子绕组串电阻起动控制 线路	83		

4.3.3 摇臂钻床液压系统的介绍	106	电气故障分析	121
4.3.4 Z3040 型摇臂钻床的电气控制 线路分析	107	4.5 T68 型卧式镗床的电气控制 线路	122
4.3.5 Z3040 型摇臂钻床的常见电气 故障分析	111	4.5.1 卧式镗床的主要结构与运动 形式	122
4.4 X62W 型卧式万能铣床的电气 控制线路	112	4.5.2 卧式镗床的电力拖动特点与 控制要求	123
4.4.1 万能铣床的主要结构与运动 形式	112	4.5.3 T68 型卧式镗床的电气控制 线路分析	123
4.4.2 万能铣床的电力拖动特点与 控制要求	113	4.5.4 T68 型卧式镗床的常见电气故障 分析	126
4.4.3 X62W 型卧式万能铣床的电气 控制线路分析	114	本章小结	128
4.4.4 X62W 型卧式万能铣床的常见		本章习题	128

第二篇 可编程序控制器应用部分

第五章 可编程序控制器的结构和

工作原理	133
本章概要	133
5.1 可编程序控制器的由来	133
5.2 可编程序控制器的定义、分类 及特点	136
5.2.1 可编程序控制器的定义	136
5.2.2 可编程序控制器的分类	136
5.2.3 可编程序控制器的特点	137
5.3 可编程序控制器的功能和 应用	139
5.4 可编程序控制器与其他工业 控制系统的比较	139
5.5 可编程序控制器的发展趋势	141
5.6 可编程序控制器的组成与基本 结构	142
5.6.1 可编程序控制器的硬件系统	143
5.6.2 可编程序控制器的软件系统	147
5.7 可编程序控制器的工作过程与 工作原理	149
5.7.1 可编程序控制器的工作过程	149

5.7.2 可编程序控制器的输入/输出 过程	151
5.7.3 可编程序控制器的中断输入处理 过程	151
5.7.4 可编程序控制器的工作原理	151
5.8 可编程序控制器的编程语言和 程序结构	152
5.8.1 可编程序控制器的编程语言	152
5.8.2 可编程序控制器的程序结构	154
5.9 PLC 的技术性能指标	154
本章小结	155
本章习题	156
第六章 基本顺控指令及其应用	157
本章概要	157
6.1 基本顺控指令	157
6.1.1 基本指令一览表	160
6.1.2 LD、LDI、OUT 指令	162
6.1.3 AND、ANI 指令	163
6.1.4 OR、ORI 指令	164
6.1.5 串联电路块的并联连接指令 ORB	165
6.1.6 并联电路块的串联连接指令	

ANB	166	7.2.3 单流程状态转移图的编程	212
6.1.7 栈操作指令 MPS、MRD、MPP	167	7.3 选择性流程与并行性流程的 程序编制	218
6.1.8 主控及主控复位指令 MC、MCR	170	7.3.1 选择性流程及其编程	218
6.1.9 置位与复位指令 SET、RST	171	7.3.2 并行性流程及其编程	222
6.1.10 脉冲输出指令 PLS、PLF	173	7.4 复杂流程及跳转流程的程序 编制	227
6.1.11 空操作指令 NOP	174	7.4.1 复杂流程的程序编制	227
6.1.12 程序结束指令 END	174	7.4.2 跳转流程的程序编制	230
6.2 梯形图编程注意事项	175	7.5 用辅助继电器实现顺序控制的 程序编制	231
6.2.1 水平不垂直	175	7.5.1 用辅助继电器实现顺序控制的 设计思想	231
6.2.2 多上串左	175	7.5.2 使用起保停电路的编程方法	232
6.2.3 线圈右边无触点	176	7.5.3 使用置位复位指令的编程 方法	236
6.2.4 双线圈输出不可用	176	本章小结	239
6.3 基本电路的编程	177	本章习题	239
6.3.1 电动机的起保停电路	177	第八章 功能指令及其应用	244
6.3.2 单台电动机的两地控制	178	本章概要	244
6.3.3 两台电动机的顺序联动控制	178	8.1 功能指令的基本规则	244
6.3.4 定时器的应用	180	8.1.1 功能指令的表示形式	244
6.3.5 计数器 C 的应用	180	8.1.2 数据长度和指令类型	245
6.3.6 振荡电路	181	8.1.3 操作数	246
6.3.7 振荡电路的应用	182	8.2 功能指令介绍	248
6.3.8 单触点的起动/停止控制	183	8.2.1 程序流控制指令	248
6.4 梯形图程序设计的技巧	185	8.2.2 传送与比较指令	253
6.4.1 转换法	185	8.2.3 算术与逻辑运算指令	256
6.4.2 逻辑法	192	8.2.4 循环与移位指令	261
6.4.3 经验法	197	8.2.5 数据处理指令	263
本章小结	200	8.2.6 高速处理指令	266
本章习题	201	8.2.7 方便指令	268
第七章 步进顺控指令及其应用	204	8.2.8 外部 I/O 设备指令	270
本章概要	204	8.2.9 外部设备 SER 指令	273
7.1 状态转移图及步进顺控指令	204	8.2.10 触点比较指令	279
7.1.1 流程图	204	本章小结	281
7.1.2 状态转移图	205	本章习题	282
7.1.3 状态继电器	207		
7.1.4 步进顺控指令	207		
7.2 步进顺控的编程方法	209		
7.2.1 状态转移图的编程方法	209		
7.2.2 编程注意事项	210		

附录一 电气控制技术实训部分	283		
电气控制技术实训之一 兆欧表 (摇表)的使用	283	PLC 实训之二	软件的使用
电气控制技术实训之二 交流接触器 的拆装	285		电动机循环正反转的 PLC 控制
电气控制技术实训之三 笼型异步 电动机测试及检修实例	288	PLC 实训之三	数码管循环点亮的 PLC 控制
电气控制技术实训之四 笼型异步 电动机的拆卸和装配实例	292	PLC 实训之四	机械手的 PLC 控制 ...
电气控制技术实训之五 低压电器 的拆装与实例	294	PLC 实训之五	工业洗衣机的 PLC 控制
电气控制技术实训之六 三相异步 电动机的基本电气控制环节实训 ...	305	PLC 实训之六	皮带运输机的 PLC 控制
附录二 可编程序控制器的实训		PLC 实训之七	自动交通灯的 PLC 控制
部分(FX_{2N} PLC 的实训		PLC 实训之八	功能指令实现数码管 循环点亮
部分)	311	PLC 实训之九	8 站小车的呼叫 控制
PLC 实训之一 GX Developer 编程		PLC 实训之十	FX _{2N} -4AD 的应用 ...
参考文献			341

第一篇

电气控制技术部分

第一章

常用的低压电器

本章概要

低压电器是电力拖动自动控制系统的基本组成元件,是电气控制技术的关键要素。传统的继电器-接触器控制技术是近代先进电气控制技术的基础,并且仍被广泛应用。本章将从应用方面介绍常用低压电器的用途、基本结构、工作原理、主要技术参数和选用方法;同时也是正确选择和合理使用电器与培养电气控制线路分析与设计基本能力的基础。

常用的低压电器有许多种:开关、熔断器、继电器、接触器、主令开关、起动机、控制器等。按电器的动作方式可以分为控制电器和保护电器。

低压电器是组成低压控制线路的基本元器件。在工矿企业中常用按钮、开关、继电器、接触器等电器组成电动机的起动、停止、反转和制动等控制线路。本章将对各种常用电器的构造、原理、型号和选用作一个详细的介绍。



1.1 电器的基本知识

1.1.1 电器的定义及分类

一、电器的定义

凡是自动或手动接通或断开电路及能实现对电路或非电对象切换、控制、保护、检测、变换和调节目的的电气元件统称为电器。

二、电器的分类

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。从使用角度常分为以下几种。

1. 按工作电压等级分类

(1) 低压电器

通常是指工作电压在交流电压 1 200 V、直流电压 1 500 V 以下的各种电器。例如接触器、继电器、刀开关、按钮等。

(2) 高压电器

通常是指工作电压高于交流电压 1 200 V、直流电压 1 500 V 以上的各种电器。例如高压熔断器、高压隔离开关、高压断路器等。

2. 按用途分类

(1) 控制电器

用于各种控制电路和控制系统的电器。例如接触器、各类继电器、起动器、控制器等。

(2) 主令电器

用于自动控制系统中发送控制指令的电器。例如控制按钮、主令开关、行程开关等。

(3) 保护电器

用于保护电路及电气设备的电器。例如熔断器、热继电器、断路器、避雷器等。

(4) 配电电器

用于电能的输送和分配的电器。例如各类刀开关、断路器等。

(5) 执行电器

用于完成某种动作或传动功能的电器。如电磁铁、电磁阀、电磁离合器等。

3. 按工作原理分类

(1) 电磁式电器

依据电磁感应原理来工作的电器。如交流接触器、直流接触器、各种电磁式继电器、电磁阀等。

(2) 非电量控制电器

这类电器是靠外力或某种非电物理量的变化而动作的。如行程开关、按钮、压力继电器、温度继电器等。

1.1.2 电磁式电器的工作原理与结构特点

电磁式电器一般都有两个基本部分：感受部分和执行部分。感受部分：它感受外界的信号，作出有规律的反应，在自动切换电器中感受部分大都由电磁机构组成；执行部分：如触点连同灭弧系统，它根据指令，执行电路的接通、断开任务。

电磁式电器在电气自动化控制电路中使用最多，类型也很多，其工作原理和构造基本相同。就其结构而言，大都由电磁机构和触点系统两个主要部分组成。

一、电磁机构

电磁机构是电磁式电器的信号检测部分。它的主要作用是将电磁能量转换为机械能量并带动触点动作，从而完成电路的接通或分断。

电磁机构由吸引线圈、铁心、衔铁等几部分组成。

1. 常用的磁路结构

常用的磁路结构可分为三种形式，如图 1-1 所示。

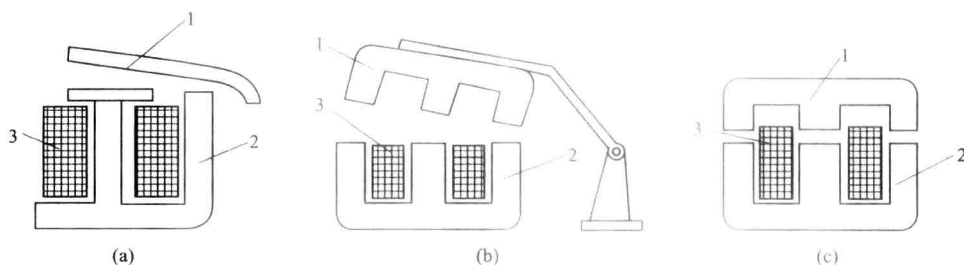


图 1-1 常用的磁路结构

1—衔铁；2—铁心；3—吸引线圈

① 衔铁沿棱角转动的拍合式铁心 如图 1-1(a)所示,这种形式广泛应用于直流电器中。

② 衔铁沿轴转动的拍合式铁心 如图 1-1(b)所示,其铁心形状有 E 形和 U 形两种。此种结构多用于触点容量较大的交流电器中。

③ 衔铁直线运动的双 E 形直动式铁心 如图 1-1(c)所示,大都用于交流接触器、继电器中。

电磁式电器分为直流与交流两大类。通常直流电磁铁的铁心是用整块钢材或工程纯铁制成的,而交流电磁铁的铁心则用硅钢片叠压而成。

2. 吸引线圈

吸引线圈的作用是将电能转换成磁能。按通入电流种类不同,可分为直流线圈和交流线圈。

对于直流电磁铁:直流电磁铁在稳定的状态下通入恒定的磁通,铁心中没有磁滞损耗和涡流损耗,也就不产生热量,只有线圈是产生热量的热源。因此,直流电磁铁的线圈没有骨架,并且直流电磁铁的吸引线圈做成高而薄的瘦长形,使线圈与铁心直接接触,从而使线圈中产生的热量通过铁心散发出去,以便于散热。

对于交流电磁铁:由于交流电磁铁的铁心中通过的是交变磁通,因此交流电磁铁的铁心中会存在磁滞损耗和涡流损耗,这样线圈和铁心都会发热。所以一方面,交流电磁铁的吸引线圈做成有骨架的,使铁心与线圈隔离并将线圈制成短而厚的矮胖形,更有利于铁心和线圈的散热;另一方面,交流电磁铁的铁心用电工硅钢片叠压而成,以减少磁滞损耗和涡流损耗。

二、电磁吸力与吸力特性

电磁式电器采用交、直流电磁铁的基本原理,电磁吸力是影响其可靠工作的一个重要参数。电磁铁的吸力可按下式求得

$$F_{at} = \frac{10^7}{8\pi} B^2 A \quad (1-1)$$

式中, F_{at} 为电磁吸力(N); B 为气隙中的磁感应强度(T); A 为磁极截面积(m^2)。

在固定铁心与衔铁之间的气隙值 δ 及外加电压值 U 一定时,对于直流电磁铁,电磁吸力是一个恒定值。但对于交流电磁铁,由于外加正弦交流电压,其气隙磁感应强度亦按正弦规律变化,即

$$B = B_m \sin \omega t$$

将上式代入式(1-1)整理得

$$F_{at} = \frac{F_{atm}}{2} - \frac{F_{atm}}{2} \cos 2\omega t = F_0 - F_0 \cos 2\omega t$$

式中, F_{atm} 为电磁吸力最大值, $F_{atm} = \frac{10^7}{8\pi} B_m^2 A$; $F_0 = \frac{F_{atm}}{2}$ 为电磁吸力平均值。

因此交流电磁铁的电磁吸力是随时间变化而变化的。

另一方面,交、直流电磁铁在吸合或释放过程中,由于气隙 δ 值是变化的,因此电磁吸力 F_{at} 又随 δ 值变化而变化。通常交流电磁铁的吸力是指它的平均吸力。所谓吸力特性,是指吸动过程中电磁吸力 F_{at} 随衔铁与铁心间气隙 δ 变化的关系曲线。不同的电磁机构有不同的吸力特性。图 1-2 表示一般电磁铁的吸力特性。

对于直流电磁铁,其励磁电流的大小与气隙 δ 无关。动作过程中为恒磁动势工作,其吸力随

气隙的减小而增大,所以吸力特性曲线比较陡峭,如图 1-2 中的曲线 1 所示。而交流电磁铁的励磁电流与气隙成正比。动作过程中为近似恒磁通工作,其吸力随气隙的减小略有增大,所以吸力特性比较平坦,如图 1-2 中的曲线 2 所示。

三、反力特性和返回系数

所谓反力特性是指吸动过程中反作用力 F_r 与气隙 δ 的关系曲线,如图 1-2 中的曲线 3 所示。

为了使电磁机构能正常工作,其吸力特性与反力特性配合必须得当。在衔铁吸合过程中,其吸力特性必须始终处于反力特性的上方,即吸力要大于反力。反之衔铁释放时,吸力特性必须位于反力特性的下方,即反力要大于吸力。

返回系数是指释放电压 U_{re} (或电流 I_{re}) 与吸合电压 U_{at} (或电流 I_{at}) 的比值,用 β 表示,

$$\beta_U = \frac{U_{re}}{U_{at}} \text{ 或 } \beta_I = \frac{I_{re}}{I_{at}}。$$

返回系数是反映电磁式电器动作灵敏度的一个参数,对电器工作的控制要求、保护特性和可靠性有一定的影响。

四、交流电磁机构上短路环的作用

根据交流电磁铁的吸力公式可知,交流电磁机构的电磁吸力 F_{at} 是一个两倍电源频率的周期性变量。它有两个分量:一个是恒定分量 F_0 ,其值为最大吸力值 F_{atm} 的一半;另一个是交变分量 F_- ,交变分量 $F_- = F_0 \cos 2\omega t$,其幅值为最大吸力值的一半,并以两倍电源频率变化,总的电磁吸力 F_{at} 在 $0 \sim F_{atm}$ 的范围内变化,其吸力曲线如图 1-3 所示。

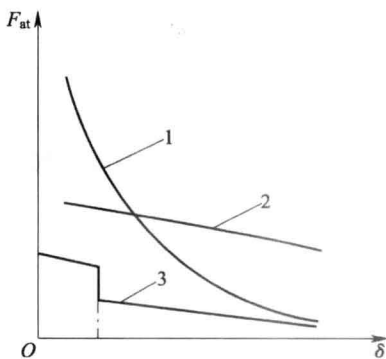


图 1-2 电磁铁的吸力特性

1—直流电磁铁吸力特性;2—交流电磁铁吸力特性;3—反力特性

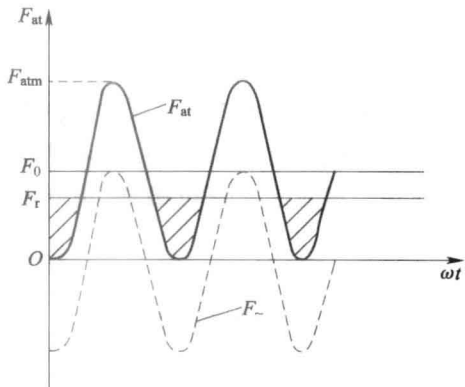


图 1-3 交流电磁机构实际吸力曲线

电磁机构在工作中,衔铁始终受到反作用弹簧、触点弹簧等反作用力 F_r 的作用。尽管电磁吸力的平均值 F_0 大于 F_r ,但在某些时候 F_{at} 仍将小于 F_r (如图 1-3 中阴影部分所示)。

当电磁吸力 $F_{at} < F_r$ 时,衔铁开始释放;当 $F_{at} > F_r$ 时衔铁又被吸合。如此周而复始从而使衔铁产生振动发出噪声。为此必须采取有效措施,以消除振动和噪声。

具体办法是在铁心端部开一个槽,槽内嵌入称为短路环(或称阻尼环)的铜环,如图 1-4 所示。短路环把铁心中的磁通分为两部分,即不穿过短路环的 Φ_1 和穿过短路环的 Φ_2 ,且 Φ_2 滞后

于 Φ_1 , 使合成吸力始终大于反作用力, 从而消除了振动和噪声。

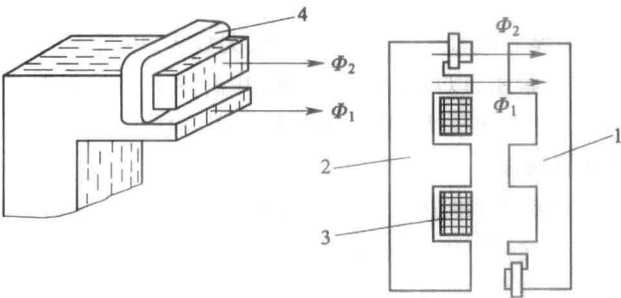


图 1-4 交流电磁铁的短路环
1—衔铁;2—铁心;3—线圈;4—短路环

短路环通常包围 2/3 的铁心截面, 一般用铜、锰白铜(亦称康铜)或镍铬合金等材料制成。

1.1.3 电器的触点系统和电弧

一、电器的触点系统

触点是电器的执行部分, 起到接通和分断电路的作用。因此, 要求触点的导电、导热性能良好, 触点通常用铜制成。但铜的表面容易氧化而生成一层氧化铜, 将增大触点的接触电阻, 使触点的损耗增大, 温度上升。所以有些电器, 如继电器和小容量的电器, 其触点通常采用银或表面涂上银质材料, 这不仅在于银的导电和导热性能均优于铜质触点, 更主要的是氧化银的电阻率与纯银相似(氧化铜则不然, 其电阻率可达纯铜的十余倍以上), 而且要在较高的温度下才会形成, 同时又容易粉化。因此, 银(涂银)触点具有较小和稳定的接触电阻。对于大中容量的低压电器, 在结构设计上, 触点采用滚动接触, 可将氧化膜去掉; 这种结构的触点也常采用铜质材料。

触点主要有以下几种结构形式。

1. 桥式触点

图 1-5(a) 是两个点接触的桥式触点, 图 1-5(b) 是两个面接触的桥式触点, 两个触点串于同一条电路中, 电路的接通与断开由两个触点共同完成。点接触形式适用于电流不大并且触点压力小的场合; 面接触形式适用于大电流的场合。

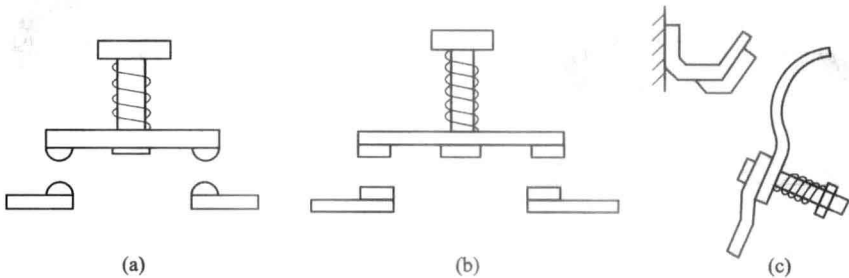


图 1-5 触点的结构形式
(a) 桥式触点的点接触 (b) 桥式触点的面接触 (c) 指形触点的线接触