

自动化

专业本科系列教材

Xiandai Diya Dianqi Jiqi Kongzhi Jishu

现代低压电器及其控制技术

倪远平 主编

重庆大学出版社

现代低压电器及其控制技术

倪远平 主 编

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书介绍了电气工程中常用低压电器、智能电器的基本结构、工作原理和选用原则;介绍了国外低压电器的新型产品(例如电子式软起动器、可编程通用逻辑控制继电器等)、新技术及其应用发展方向;系统地介绍了电气控制原理、典型电气控制线路及设计方法;阐明了低压电器与 PLC、微机的区别和联系;详细叙述了可通信低压电器的基本原理、产品类型及现场总线网络技术。并简要介绍了应用计算机绘制电气工程图的基本原理和方法。全书图文并茂,理论联系实际,侧重于实际应用,便于自学。

本书可供从事电气工程及自动化、生产过程自动化领域的工程技术人员和科研人员阅读,也可作为高等学校电气工程、工业自动化、自动控制类等专业的教材和教学参考书,还可作为企业电气工程技术人员培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

现代低压电器及其控制技术/倪远平主编. —重庆:重庆大学出版社,2003.1

自动化专业本科系列教材

ISBN 7-5624-2719-4

I. 现... II. 倪... III. 低压电器—控制—高等学校—教材 IV. TM52

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 062298 号

现代低压电器及其控制技术

倪远平 主 编

责任编辑:周 立 版式设计:周 立

责任校对:廖应碧 责任印制:张永洋

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A 区)内

邮编:400044

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆铜梁正兴印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:13 字数:324 千

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月第 1 次印刷

印数:1—5 000

ISBN 7-5624-2719-4/TM·83 定价:18.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有 翻印必究

前言

电气控制技术是用以实现生产过程自动化的控制技术,它以各类电动机为动力的传动装置和系统为对象。电气控制系统是其中的主干部分。电气控制系统主要包括普通电气传动控制(速度、位置、压力、张力、流量等)系统,综合(分级)自动化系统以及自动生产线。它们是现代化生产的重要组成部分和基石。电气控制系统广泛应用于各个工业部门及凡是需要动力的场合中,该系统是由电动机及供电、检测、控制装置组成的反馈控制系统,是把电能转换成非电能量的装置,其特征是:它能自动地完成能量变换和控制所需的信息处理;其结果是:改善人们在生产及生活过程中工作的条件,大幅度提高全社会生产和再生产的效率。因此,电气控制系统自动化是提高劳动生产率的合理手段,是促进国民经济不断增长的重要因素。

电气控制线路的实现,可以是继电器-接触器逻辑控制方法、可编程逻辑控制方法及计算机控制(单片机、可编程控制器等)方法等。而现代电气控制技术已将这些方法融为一体,生产现场已经难以将其严格区分。尽管如此,继电器-接触器逻辑控制方法仍然是基本的方法。低压电器是现代工业过程自动化的重要基础件,是组成电气成套设备的基础配套元件,包括控制电器和配电电器。它是低压用电系统可靠运行、安全用电的基础和重要保证,在国民经济中有着不可替代的重要地位与作用,在国民经济各部门及人民生活中应用广泛、量大、面广、品种繁多。例如:一套生产自动线的电器设备中,可能需要使用成千品种、规格的几万件低压电器,其投资费用可能接近或超过主机的投资。

电气控制技术是一门实用性很强的技术科学,也是一门多学科交叉的专门技术。它集中体现了电机控制技术、传感器技术、电力电子技术、微电子技术、自动控制技术、微机应用技术和通信技术的有机结合及最新发展成就。几乎每种技术出现的新进展,特别是计算机技术的应用、新型控制策略的出现,都不断地改变着电气控制技术的面貌,促使它正向着集成化、智

能化、信息化、网络化方向发展。电器元件本身也朝着新的领域发展,不断涌现出新型产品。一些电器元件被电子化、集成化;一些电器元件采用了新技术成为智能化、可通信电器;有些甚至完全改变了传统电器的观念,从传统的现场开关量、模拟量信号控制方式,转为现场级的数字化网络方式。这些都体现了当代工业现代化的技术进步,标志着现代电气控制技术将产生巨大的变革和飞跃。因此,现代意义上的电气控制技术与传统的电气控制技术有着本质的区别和不同。

综上所述,本书正是在充分考虑现代低压电器及其控制技术的发展及应用现状的基础上编写的,同时又充分考虑本书编写要符合本科教学要求和教学规律,正确处理了本书与专科教材、中专教材、研究生教材的分工与不同。编写中,注意精选内容,将传统过时或将要过时的部分删除,增加最新产品及先进技术的内容,力求与现代生产实际相结合,突出实际应用。本书共分7章,以应用最为广泛的继电器接触器控制为主。第1章介绍常用低压控制电器的结构原理、工作特性及选用原则。第2章介绍了国外最新低压电器的新产品和新技术,及时了解国外低压电器发展的新动向。第3章讲解电气控制线路的基本环节,使学生掌握电气控制线路的基本原理。第4章介绍电气控制线路设计基础,并简要介绍了应用计算机绘制电气工程图的基本知识。第5章阐述了继电器控制与可编程控制器、微机等的区别和联系,强调继电器-接触器逻辑控制方法仍然是基本的方法,低压电器是现代工业过程自动化的重要基础元件。第6章讲解电气控制在生产和生活方面应用的例子,强调理论联系实际,着重培养学生解决实际工程技术问题的能力。第7章介绍可通信的低压电器与现场总线,一些电器元件采用了新技术成为智能化、可通信电器,为低压电器产品的发展注入了新的活力。

书中电气符号、电路图绘制及有关术语均贯彻《GB5094—85》、《GB4728.1~4728.13—84(85)》、《GB6988.1~6988.7—86》、《GB7159—87》等最新国家标准。

本书内容具有下列特点:

1. 内容切合实际、取材先进、合理、新颖。
2. 联系工程实际,引入学科交叉内容,介绍一些新产品、新思想、新方法和新技术。
3. 较为系统地讲述了各种新型电器的基本理论和技术。
4. 本书体系、结构完整合理,其内容、例题、习题等都经过精心筛选,是作者们长期教学经验的结晶。
5. 本书文字叙述简明扼要,条理清楚,深入浅出、便于自学。
6. 着重从工程实际应用出发,突出理论联系实际,具有面向广大工程技术人员的特点,因而具有很强的工程性、实用性。

本书由昆明理工大学倪远平教授担任主编,四川轻化工学院的黄芳清副教授担任副主编。第1章、第2章的2.1,2.3,2.4由黄芳清副教授编写,第3章、第7章、第2章的2.2由倪远平教授编写,第4章由四川轻化工学院的宋弘讲师编写,第5章、第6章由昆明理工大学的杨晓洪高级工程师编写。

在本书编写过程中,我们曾参考了许多专家和学者发表的论文与著作,以及一些产品的说明书。由于各种因素不能一一预告、面谢,作者在此一并致谢。

本书适宜于从事电气工程和自动化及生产过程自动化领域的工程技术人员阅读,也可作为大专院校电气工程、工业自动化、自动控制等专业的教材和教学参考书。

由于编者水平有限,书中难免有缺点和错误之处,诚恳希望读者批评指正。

编 者
2002年9月

目 录

第 1 章 常用低压电器	1
1.1 概述	1
1.1.1 常用低压电器的分类	1
1.1.2 我国低压电器的发展概况	2
1.1.3 国内外低压电器的发展趋势	3
1.1.4 常用低压电器的基础知识	4
1.2 熔断器	9
1.2.1 熔断器的结构及工作原理	9
1.2.2 常用典型熔断器	10
1.2.3 熔断器的选用原则	12
1.3 隔离器 刀开关	14
1.3.1 常用隔离器、刀开关	14
1.3.2 隔离器、刀开关的选用原则	17
1.4 低压断路器	18
1.4.1 低压断路器的结构及工作原理	18
1.4.2 常用典型低压断路器	20
1.4.3 智能化断路器	20
1.4.4 低压断路器的选用原则	23
1.5 接触器	25
1.5.1 接触器的结构及工作原理	25
1.5.2 常用典型接触器	26
1.5.3 智能化接触器	29
1.5.4 接触器的选用原则	29
1.6 继电器	31
1.6.1 电磁继电器	31
1.6.2 时间继电器	37
1.6.3 热继电器	39
1.6.4 速度继电器	42
1.6.5 继电器的选用原则	43
1.7 主令电器	45
1.7.1 控制按钮	45
1.7.2 行程开关	46
1.7.3 转换开关	46

1.7.4	主令控制器	48
1.7.5	主令电器的选用原则	49
小结		49
习题		50
第2章	国外最新低压电器简介	51
2.1	接近开关	51
2.1.1	接近开关的工作原理	51
2.1.2	接近开关的技术指标	52
2.1.3	国外接近开关产品简介	52
2.2	电子式软起动器	54
2.2.1	电子式软起动器的发展现状、产品系列 及特点	54
2.2.2	电子式软起动器的工作原理和工作特性	55
2.2.3	电子式软起动器的用途和优点	57
2.3	可编程通用逻辑控制继电器	57
2.3.1	可编程通用逻辑继电器的特点	58
2.3.2	基于 LOGO 的可编程通用逻辑控制继 电器的基本功能	58
2.3.3	基于 LOGO 的可编程通用逻辑控制继 电器的特殊功能	60
2.4	固体继电器	64
2.4.1	固体继电器的特点	64
2.4.2	固体继电器的分类及工作原理	65
2.4.3	欧姆龙公司固体继电器产品简介	66
小结		67
习题		67
第3章	基本电气控制线路	69
3.1	电气控制线路的绘制	69
3.1.1	常用电气图的图形符号和文字符号	69
3.1.2	电气线路图	74
3.1.3	阅读和分析电气控制线路图的方法	74
3.2	三相异步电动机的起动控制线路	77
3.2.1	鼠笼式异步电动机全压起动控制线路	77
3.2.2	鼠笼式异步电动机降压起动控制线路	79
3.2.3	绕线式异步电动机起动控制线路	86
3.2.4	用电子式软起动器进行起动的控制线路	89
3.3	三相异步电动机的正反转控制线路	90
3.3.1	电动机可逆运行的手动控制线路	91
3.3.2	电动机可逆运行的自动控制线路	92

3.4	三相异步电动机制动控制线路	93
3.4.1	电磁机械制动控制线路	94
3.4.2	反接制动控制线路	96
3.4.3	能耗制动控制线路	101
3.5	三相异步电动机的调速控制线路	104
3.5.1	变更极对数的调速控制线路	104
3.5.2	变更转子外加电阻的调速控制线路	107
3.6	其他典型控制线路	108
3.6.1	多地点控制线路	108
3.6.2	顺序起停控制线路	108
3.6.3	步进控制线路	108
3.6.4	多台电动机同时起、停电路	109
	小结	110
	习题	111
第4章	电气控制线路设计基础	112
4.1	电气设计的主要内容	112
4.1.1	电气设计的一般内容	112
4.1.2	电气设计的技术条件	113
4.1.3	电气传动形式的选择	113
4.1.4	电气控制方案的确定	115
4.2	电气设计的一般原则	116
4.2.1	最大限度地实现生产机械和工艺对电气 控制线路的要求	116
4.2.2	在满足生产要求的前提下,力求使控制 线路简单、经济	116
4.2.3	保证控制线路工作的可靠性	118
4.2.4	控制线路工作的安全性	119
4.2.5	操作和维修方便	122
4.3	电气控制线路的经验设计法	122
4.3.1	经验设计法的基本步骤与基本特点	122
4.3.2	经验设计法的设计举例	122
4.4	电气控制线路的逻辑设计法	125
4.4.1	逻辑变量、逻辑函数及运算法则	125
4.4.2	继电器接触器控制线路的逻辑函数	128
4.4.3	逻辑设计方法的一般步骤	129
4.4.4	逻辑设计法的设计举例	130
4.5	电气控制线路工艺设计基础	133
4.5.1	电气设备总体配置设计	134
4.5.2	电器元件布置图的设计与绘制	134

4.5.3	电器部件接线图的绘制	135
4.5.4	电气柜、箱及非标准零件图的设计	135
4.5.5	各类元器件及材料清单的汇总	136
4.5.6	编写设计说明书	136
4.6	电气控制线路 CAD 辅助设计	136
4.6.1	Protel 99 简介	137
4.6.2	Protel 99 在电气控制线路绘制与设计中的应用	140
	小结	145
	习题	145
第 5 章	继电器控制与可编程序控制器、微机等的区别与联系	147
5.1	可编程序控制器的发展及特点	147
5.1.1	可编程序控制器的由来及发展	147
5.1.2	可编程序控制器的特点	148
5.2	可编程序控制器的组成、基本原理及语言简介	149
5.2.1	PLC 的组成	149
5.2.2	可编程序控制器的工作原理	150
5.3	PLC 的软件系统和编程语言	151
5.3.1	PLC 的软件系统	151
5.3.2	PLC 的编程语言	152
5.4	继电器控制与可编程控制器、微机的区别和联系	155
	小结	157
	习题	158
第 6 章	电气控制在生产中的应用	159
6.1	普通车床电气控制系统	159
6.1.1	普通车床工作过程及要求	159
6.1.2	M_1 主轴电动机的控制	159
6.1.3	刀架快速移动控制	161
6.1.4	冷却泵电动机的控制	161
6.2	智能大厦的电梯电气控制系统	161
6.2.1	概述	161
6.2.2	电梯的一般控制内容	161
6.2.3	电梯门的电气控制系统	162
6.2.4	PLC 控制电梯	163
6.3	桥式起重机的电气控制系统	165
6.3.1	桥式起重机的概述	165
6.3.2	控制要求	165
6.3.3	10t 桥式起重机电气控制	165

6.4 智能大厦生活水泵的电气控制系统	168
6.4.1 控制要求	168
6.4.2 电器控制线路	168
小结	171
习题	171
第7章 可通信的低压电器与现场总线	172
7.1 概述	172
7.2 低压电器数据通信的特点和技术基础	173
7.2.1 网络控制的内容	173
7.2.2 通信方式	173
7.2.3 数据通信网络结构	173
7.2.4 低压电器数据通信的特点	174
7.2.5 低压电器数据通信的规约	174
7.3 现场总线基础	175
7.3.1 现场总线控制系统的结构	175
7.3.2 现场总线技术构成的新一代集散系统 及其特点	177
7.3.3 现场总线的实质内容是一个通讯 协议	178
7.4 现场总线 PROFIBUS	179
7.4.1 ISO / OSI 模型	180
7.4.2 协议结构和类型	180
7.4.3 PROFIBUS 在工业通信网络中的位置 及自动化系统的组成	181
7.5 可通信低压电器	183
7.5.1 执行器/传感器接口——AS-i 网络	183
7.5.2 应用于 AS-i 网络的可通信电器	187
7.5.3 可通信的低压断路器	188
小结	192
习题	193
参考文献	194

第 1 章

常用低压电器

1.1 概 述

电器是一种能根据外界的信号和要求,手动或自动地接通或断开电路,断续或连续地改变电路参数,以实现电路或非电对象的切换、控制、保护、检测、变换和调节的电气设备。简言之,电器就是一种能控制电,使电按照人们的要求并安全地为人们工作的工具。

电器按其工作电压等级可分为高压电器和低压电器。低压电器通常指工作在交流电压 1 200V 及其以下或直流电压 1 500V 及其以下的电路中的电器。

1.1.1 常用低压电器的分类

低压电器的种类繁多,构造各异,分类方法也很多。常见的低压电器分类方法如图 1.1 所示。

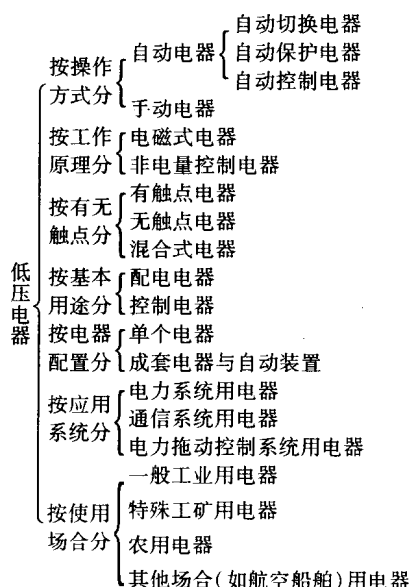


图 1.1 常用低电压电器的分类

本书涉及的电力拖动自动控制系统常用低压电器主要有以下几种:熔断器,隔离器,刀开关,低压断路器,接触器,继电器,主令电器(控制按钮、行程开关、转换开关、主令控制器)。在本章的以后各节将对它们分别予以介绍。

1.1.2 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。解放后,从1953年开始,经过近50年至今,我国低压电器工业的发展经历全面仿苏、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(1987年前后),我国共开发了各类低压电器产品约600多个系列,实际生产的约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,几万个规格。“八五”期间,我国的低压电器产品一方面对“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,自行开发、设计、试制,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3代。

第一代产品,在20世纪60年代初至70年代初,自行开发设计的统一设计产品,以CJ10、DZ10、DW10为代表,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。但这一代产品为我国低压配电和控制系统的发展起了重要作用。

第二代产品,在20世纪70年代后期到80年代,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系列等为代表,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,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,引进德国AEC公司技术,国内型号为DW17系列;3WE系列、3TB系列,引进德国西门子公司技术;3TB系列国内型号为CJX3系列;B系列,引进德国ABB公司技术;LCI-D系列,引进法国TE公司技术,国内型号为CJX4系列)。

第三代产品,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10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,目前市场占有率不足10%,但逐年有所增长(注:M系列,法国施耐德公司技术;F系列,德国F-G公司技术;3TF系列,德国西门子公司技术)。

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、几万个规格,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,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。

1.1.3 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、制造和分析于一体(CAD/CAM/CAE),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纸,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,产品由于优异的性能,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,目前也已广泛采用。

(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,除建立必须的数据、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、电磁机构和触头运动过程动态仿真、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头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

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序控制器(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,称通信协议。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,不但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,系统元件越来越多,一个元件故障将导致系统瘫痪。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的新概念;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。

1.1.4 常用低压电器的基础知识

(1) 电器的基本组成

从结构上看,电器一般由两个基本部分,即感受部分和执行部分组成。感受部分接受外界输入的信号,并通过转换、放大与判断做出有规律的反应,使执行部分动作;执行部分则按照感受部分对外界输入信号的反应进行相应的动作,从而接通或分断电路,实现控制的目的。

在常用低压控制电器中大部分为电磁式电器。对于有触点的电磁式电器,其感受部分就是电磁机构,执行部分就是触头系统。

(2) 电磁机构

1) 电磁机构的组成和工作原理

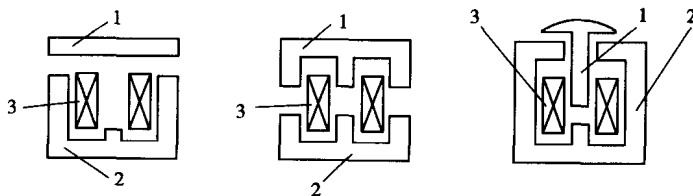


图 1.2 直动式电磁机构

1—衔铁 2—铁心 3—吸引线圈

电磁机构是电磁式电器的重要组成部分。它的工作好坏将直接影响电器的工作可靠性和

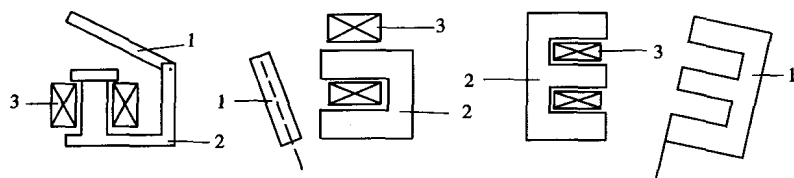


图 1.3 转动式(拍合式)电磁机构

1—衔铁 2—铁心 3—吸引线圈

使用寿命,因此,对电磁机构的形式和特性应有一定的了解。

电磁机构通常采用电磁铁的形式,由吸引线圈、铁心和衔铁三部分组成,其结构形式按衔铁的运动方式一般可分为直动式和转动式(拍合式)两种,如图 1.2 和图 1.3 所示。

电磁机构的工作原理是:当吸引线圈通入电流后,产生磁场,磁通经铁心、衔铁和工作气隙形成闭合回路,产生电磁吸力,衔铁在电磁吸力的作用下产生机械位移,被铁心吸合。与此同时,衔铁还要受到弹簧的拉力等与电磁吸力方向相反的反力的作用。只有当电磁吸力大于反力时,衔铁才能可靠地被铁心吸住。

吸引线圈通入的电流可能是直流电也可能是交流电。通入直流电的线圈称为直流线圈,通入交流电的线圈称为交流线圈。直流线圈产生恒定磁通,铁心中没有磁滞损耗和涡流损耗,只有线圈本身的铜损,因此铁心不发热,只有线圈发热,故无骨架,线圈与铁心接触,且将线圈做成高而薄的细长形以利散热。相应的铁心和衔铁用软钢或工程纯铁制成。交流线圈除线圈发热外,因铁心中有磁滞和涡流损耗,铁心也要发热,故有骨架,使线圈和铁心相互隔开且将线圈做成粗短形以改善线圈和铁心的散热情况。相应的铁心和衔铁用硅钢片叠成,以减小铁损。

另外,根据线圈在电路中的连接方式可分为串联线圈(又称电流线圈)和并联线圈(又称电压线圈)。串联线圈串接于线路中,流过的电流大,为减小对电路的影响,线圈的导线粗,匝数少,阻抗较小。并联线圈并联在线路上,为减小分流作用,降低对原电路的影响,需要其阻抗较大,所以线圈的导线细,匝数多。

2) 电磁吸力和电磁机构的特性

① 电磁吸力

根据马克思威尔公式,吸引线圈通入电流后产生的电磁吸力为:

$$F = 4B^2S \times 10^5 \quad (1.1)$$

式中: F 为电磁吸力,单位为 N;

B 为工作气隙磁感应强度,单位为 T;

S 为铁心截面积,单位为 m^2 。

当线圈中通以直流电时, F 为恒值。当线圈中通以交流电时,磁感应强度为交变量,即:

$$B = B_m \sin \omega t \quad (1.2)$$

由式(1.1)和式(1.2)可得:

$$\begin{aligned} F &= 4S \times 10^5 B_m^2 \sin^2 \omega t = \\ &= 2B_m^2 S (1 - \cos 2\omega t) \times 10^5 = \\ &= 2B_m^2 S \times 10^5 - 2B_m^2 S \times 10^5 \cos 2\omega t \end{aligned} \quad (1.3)$$

由式(1.3)可知,虽然磁感应强度是正、负交变的,但电磁吸力却是脉动的,方向不变。上

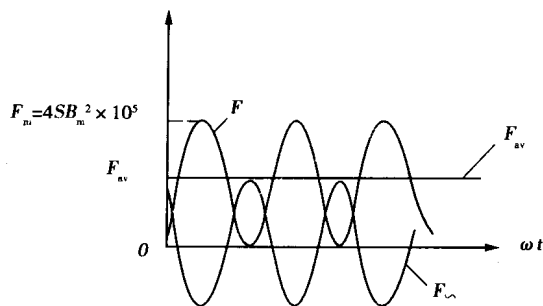


图 1.4 线圈中通以交流电时电磁吸力的变化情况

当电磁吸力的瞬时值大于反力时,铁心吸合;当电磁吸力的瞬时值小于反力时,铁心释放。所以电源电压每变化一个周期,铁心将吸合两次,释放两次,从而使电磁机构产生剧烈的振动和噪声,对电器工作十分不利。解决的办法是在铁心端面开一个小槽,在槽内嵌入铜质短路环,如图 1.5 所示。

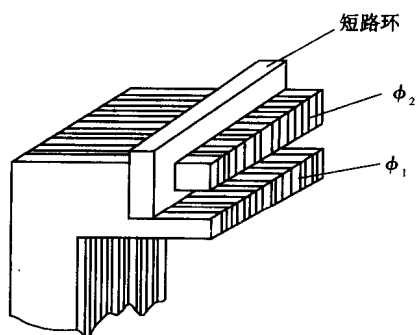


图 1.5 交流铁心短路环

式吸力由两部分组成:第一项为平均吸力 F_{av} ,其值为最大吸力的一半;第二项为以两倍电源频率变化的交变分量,即

$$F_{\omega} = F_{av} \cos 2\omega t$$

电磁吸力的变化情况如图 1.4 所示。

从式(1.3)和图 1.4 看出,电磁吸力按正弦函数平方的规律变化,变化频率为电源频率的两倍,最大值为 F_m ,最小值为零。

$$F_m = 4SB_m^2 \times 10^5 = 2F_{av} \quad (1.4)$$

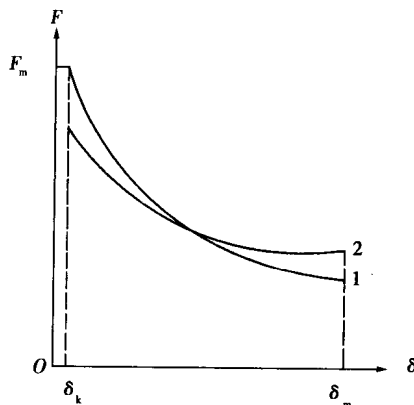


图 1.6 电磁机构的吸力特性

1—直流电磁机构的吸力特性 2—交流电磁机构的吸力特性

加上短路环后,铁心端面上的磁通被分成了有一定相位差的两部分,则它们所产生的电磁吸力间也有一定相位差,二者合成后的电磁吸力便不可能为零了。如果在电磁机构的吸引线圈通电期间,二者合成后的电磁吸力在任一时刻都始终大于反力,便不会产生剧烈的振动和噪声了。一般短路环包围 2/3 的铁心端面。

②电磁机构的特性

电磁机构的特性通常是指吸力特性和反力特性,二者间的配合关系将直接影响电磁式电器的工作可靠性。

吸力特性是指电磁吸力 F 与工作气隙 δ 之间的关系。对于直流电磁机构,在外加电压或电流不变时,吸力只与工作气隙的平方成反比,故吸力特性曲线为二次曲线形状。如图 1.6 中曲线 1 所示。

图中 δ_m 为衔铁打开后的气隙, δ_k 为衔铁闭合后的气隙。由曲线 1 可知,衔铁打开后的吸力比闭合后的吸力要小得多。衔铁在闭合状态时,绝对做不到使气隙为零,此时的吸力为最大吸力 F_m 。但衔铁闭合后由于磁路磁阻较小,在线圈断电后由于导磁体剩磁所产生的吸力足以克服释放弹簧的反力,会使衔铁打不开。为了避免这种“衔铁粘住”现象,通常在吸力较小的

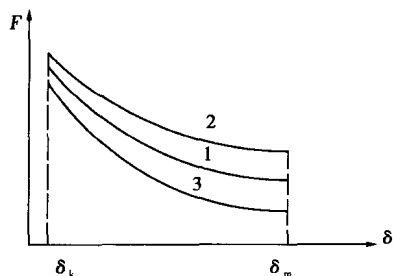


图 1.7 改变电压或电流时的吸力特性

- 1—原吸力特性
2—增加电压或电流时的吸力特性
3—减小电压或电流时的吸力特性

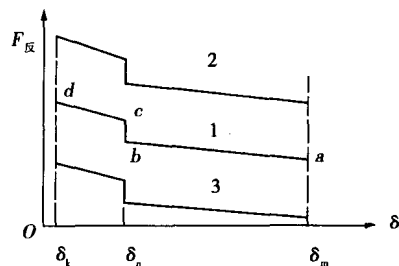


图 1.8 电磁机构的反力特性

- 1—释放弹簧不变时的反力特性
2—拧紧释放弹簧时的反力特性
3—放松释放弹簧时的反力特性

直流电磁机构(如直流继电器)的衔铁上装一非磁性垫片(厚度为 0.1mm 的磷铜片),在吸力较大的直流电磁机构(如直流接触器)的铁心柱端面上加装极靴,以增加衔铁闭合后的气隙。交流串联电磁机构的特性曲线形状与直流电磁机构近似,但交流并联电磁机构的特性曲线比较平坦。如图 1.6 中曲线 2 所示,且导磁体不存在有剩磁,所以在线圈断电时不会产生“衔铁粘住”现象。

在同一电磁机构中作用不同的电压或电流时,可以改变吸力特性曲线的位置。当线圈外加电压或电流增大时,吸力特性曲线上移,变得较为平坦。反之则下移,如图 1.7 所示。

反力特性是指电磁机构中与电磁吸力方向相反的反力(释放弹簧、触点弹簧以及运动部件的重力与摩擦力等对衔铁的作用力) $F_{\text{反}}$ 与气隙 δ 之间的关系。由于弹簧的作用力与长度呈线性关系,所以若反力中只考虑弹簧力,则反力特性曲线都是直线段。如图 1.8 中曲线 1 所示。

在衔铁闭合过程中,当气隙 δ_m 减小时,反力逐渐增大,如曲线 1 中的 ab 段所示,这一段为释放弹簧的反力变化。到达 δ_n 位置时,动静触点刚刚接触,这时触点弹簧的初压力作用到衔铁上,反力突增,如曲线中的 bc 段所示。当气隙 δ_n 再减小时,释放弹簧与触点弹簧同时起作用,使反力变化增大,如曲线中 cd 段所示,这一段为释放弹簧与触点弹簧的合成反力变化。

改变释放弹簧的松紧,可以改变反力特性曲线的位置。若将释放弹簧拧紧,则反力特性曲线平行上移,如图 1.8 中曲线 2 所示;反之,反力特性曲线平行下移,如图 1.8 中曲线 3 所示。

为了使电磁机构能正常工作,衔铁吸合时,吸力必须始终大于反力,即吸力特性始终处于反力特性的上方;衔铁释放时,吸力特性必须位于反力特性的下方,如图 1.9 所示。

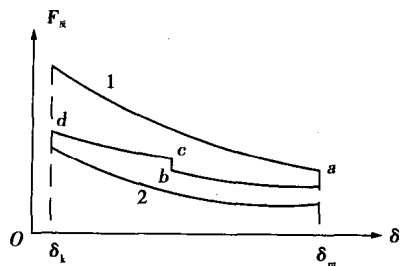


图 1.9 吸力特性与反力特性的配合

- 1—吸合时最小吸力特性
2—释放时允许最大吸力特性

从图中可见,在吸力特性与反力特性曲线之间,有一块面积,这块面积代表了衔铁在运动过程中积聚的能量。此块面积越大,衔铁积聚的能量越大,其动作速度也越大,衔铁和铁心接触、动触点和静触点接触时的冲击力也越大,严重时会导致衔铁和铁心间的严重机械磨损及触点的熔焊与烧损。因此,吸力特性与反力特性应尽可能靠近,以利于改善电器的性能。