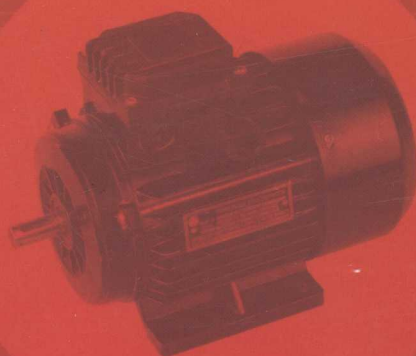


实用工业电器 与电动机控制

〔美〕 Rex Miller Mark R. Miller 著
王 巍 崔维娜 译



科学出版社

www.sciencep.com

实用工业电器 与电动机控制

〔美〕 Rex Miller Mark R. Miller 著
王 巍 崔维娜 译

科 学 出 版 社
北 京

图字：01-2009-0189 号

内 容 简 介

工业电气及电动机控制作为电气自动化的一个重要内容,已经广泛应用于国民经济各个部门。本书系统地讲述了各种基础电路的工作原理,介绍了面向工业应用的常用电路,总结了电路常见故障。为提高读者的实践技能和解决工作中的实际问题提供了有益的参考。

本书结合生产实际,介绍了如下内容:常用电气元件的符号,控制电路原理图和接线图,电气开关、继电器、电磁阀、电动机、定时器、传感器、固态启动器等工作原理及控制和故障排查方法。

本书通俗易懂、图文并茂、内容充实、辅以应用实例和实际经验,并引用大量实用、准确的技术数据。

本书可供电气维修人员阅读,也可作为工科院校相关专业学生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

实用工业电器与电动机控制/(美)Rex Miller, Mark R. Miller 著;王 巍, 崔维娜译. —北京:科学出版社, 2009

ISBN 978-7-03-024544-1

I. 实… II. ①R… ②M… ③王… ④崔… III. ①电器控制系统 ②电机-控制系统 IV. TM571 TM301.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 069179 号

责任编辑:赵方青 杨 凯 / 责任制作:董立颖 魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:郝晓燕

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

盛 主 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 6 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2009 年 6 月第一次印刷 印张:18 1/2

印数:1—4 000 字数:412 000

定 价:46.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前言

《实用工业电器与电动机控制》一书为下列读者编写——安装和操作电气系统的电工，工科院校相关专业学生及其他对电动机控制感兴趣的读者，包括：电工、技术员、电气产品承包商、电气系统规划人员和设计者等。本书的读者应具备基础电工学及电动机理论知识和操作的实践常识。同时本书也简述了相关的基础知识，以便读者查阅。本书的目标是为读者提供电气系统维护方面的实践知识。

阅读本书后，读者可全面理解电动机控制器及其理论，熟练操作、安装和维护多种电气系统。在这里，学生们需要更好地掌握专业术语及操作过程。

为使技术人员和学员能跟踪电气专业术语和设备快速更新的潮流，本书提供了一张术语表。

本书涉及很多能够展示本领域中早期设备的图例。尽管本领域正快速发展，但是这些素材仍然可以为那些希望跟上电动机控制最新进展的读者提供有价值的参考。虽然，本书不能为读者解决所有问题，但是大量工作中所需的实践技巧仍然是不可或缺的。

我们都知道，如果不接触水，那么就不可能学会游泳。同样，仅仅通过阅读也无法全面掌握电气控制的相关知识。读者一定要有获得实践经验的愿望，并投入时间提高工作技能。

对于那些专注于这样一个既令人兴奋又有挑战性的领域的读者，作者希望本书能激发他们的求知欲。

Rex Miller
Mark R. Miller

目 录

第 1 章 简 介

1.1	什么是电流	2
1.2	元素和原子	2
1.2.1	自由电子	3
1.2.2	电 流	3
1.2.3	能 量	3
1.3	电气材料	3
1.3.1	导 体	3
1.3.2	绝缘体	3
1.3.3	半导体	4
1.4	电的产生	4
1.5	电压和电流	5
1.5.1	电 阻	8
1.5.2	线 规	8
1.5.3	铜与铝导线	9
1.5.4	电 路	10
1.6	欧姆定律	11
1.6.1	什么是欧姆定律	11
1.6.2	欧姆定律的应用	11
1.7	功 率	12
1.7.1	马 力	12
1.7.2	千 瓦	12
1.8	电计量	12
1.8.1	电 流 表	13
1.8.2	电 压 表	14
1.8.3	欧 姆 表	15
1.8.4	数字万用电表	15
1.8.5	交流钳形表	16
1.8.6	功 率 表	16
1.8.7	其他仪表	18
1.9	电的控制	18
1.9.1	开 关	18
1.9.2	螺线管	22
1.9.3	继电器	23
1.9.4	二极管	23
1.10	电 阻	24
1.10.1	电阻类别	24

1.10.2 电阻色码	24
-------------------	----

第 2 章 符 号

2.1 电气符号	28
2.1.1 普通开关(按钮)符号	29
2.1.2 标准接线图符号	29
2.2 电子符号	31
2.2.1 电阻色码	31
2.2.2 电子符号对比	31
2.3 继电器触点符号	31
2.4 电路图	33

第 3 章 控制电路及电路图

3.1 接线图	36
3.2 线路图或梯形图	38
3.3 欠压释放	38
3.4 双线控制电路	38
3.5 温度控制	39
3.6 欠压保护	40
3.7 三线控制电路	40
3.8 控制电路的电流过载保护	42
3.9 控制电路中的变压器	43

第 4 章 开 关

4.1 电的控制	48
4.2 鼓形开关	48
4.2.1 控制单相电机的正反转	48
4.2.2 控制三相电动机的正反转	49
4.2.3 控制直流电动机的正反转	49
4.3 浮控开关	49
4.4 流量开关	51
4.5 脚踏拍子开关	52
4.6 操纵杆	52
4.7 互锁开关	53
4.7.1 机械互锁	53
4.7.2 按钮互锁	54
4.7.3 辅助触点互锁	54
4.8 限位开关	54
4.8.1 限位开关的类型	56
4.8.2 限位开关电路	57
4.9 压力开关	57

4.10	按钮开关	57
4.11	安全开关	60
4.12	选通开关	60
4.13	单极开关	60
4.14	启-停开关	60
4.15	温度开关	60
4.16	扳钮开关	61
4.17	晶体管开关	61
4.18	真空开关	62

第 5 章 磁和螺线管

5.1	螺线管	66
5.1.1	电磁阀	67
5.1.2	自动燃气炉电磁阀	67
5.2	螺线管结构	67
5.2.1	电枢和铁心中的涡流	68
5.2.2	电枢和空气隙	68
5.3	屏蔽线圈	68
5.4	电磁铁线圈	68
5.4.1	维持电流额定值	69
5.4.2	线圈电压	69
5.4.3	电压变化的影响	69
5.5	交流声	70

第 6 章 继电器

6.1	继电器	74
6.1.1	继电器螺线管	74
6.1.2	继电器应用	74
6.1.3	断电器衔铁	74
6.1.4	继电器触点	75
6.2	固态继电器	75
6.2.1	晶体管	75
6.2.2	电涌保护	76
6.2.3	双向三极管开关元件	76
6.2.4	晶闸管	77
6.3	断相继电器	79
6.4	固态监控继电器	80
6.4.1	电压继电器	81
6.4.2	电流继电器	81
6.4.3	过载/欠压继电器	82
6.5	固态继电器开关的种类	82
6.6	开 关	82

6.6.1	继电器负载	82
6.6.2	热敏电阻继电器	83
6.6.3	触点放大继电器	83
6.6.4	负载检测和负载转换继电器	83
6.6.5	典型应用	84
6.7	热过载继电器	85
6.7.1	热过载继电器的分类	85
6.7.2	手动复位熔断合金(NEMA)型	86
6.7.3	双金属片过载(NEMA)型	86
6.7.4	温度补偿	86
6.8	电磁继电器及电动机	88
6.8.1	电动机绕组继电器	89
6.9	机电继电器	90
6.10	继电器工作特性	91
6.10.1	触点寿命	91
6.10.2	触点结构	92
6.10.3	继电器线圈	92
6.10.4	冲击及振动	93
6.10.5	继电器及海拔高度	93

第 7 章 电动机

7.1	电动机分类	96
7.2	直流(DC)电动机	96
7.2.1	工作原理	96
7.2.2	反电动势	97
7.2.3	负 载	97
7.2.4	直流电动机类型	97
7.2.5	串励直流电动机	97
7.2.6	并励直流电动机	98
7.2.7	复励直流电动机	98
7.2.8	电枢类型	99
7.2.9	旋转方向	99
7.2.10	电动机速度	99
7.2.11	电枢效应	100
7.2.12	补偿绕组及辅助极	100
7.2.13	直流电动机启动电阻	100
7.2.14	直流电动机传动特性及适用场合	101
7.2.15	直流电动机故障检修	101
7.3	交流(AC)电动机	101
7.3.1	交流电动机类型	101
7.3.2	串励交流电动机	101
7.3.3	交流电动机磁场	102
7.3.4	两相旋转磁场	102

7.3.5	两相波形	103
7.3.6	三相旋转磁场	103
7.3.7	同步电动机	104
7.3.8	鼠笼式(感应)电动机	105
7.3.9	同步电动机的启动	105
7.3.10	感应电动机	105
7.3.11	定子结构	106
7.3.12	转 差	107
7.3.13	单相感应电动机	107
7.3.14	分相感应电动机	108
7.3.15	屏蔽磁极式(罩极)感应电动机	108
7.3.16	鼠笼式电动机的速度及转差	109
7.3.17	转 向	110
7.3.18	转矩及功率	110
7.3.19	制动转子力矩	110
7.3.20	停转力矩	110
7.3.21	制动转子的 $kV \cdot A/hp$	111
7.3.22	鼠笼式感应电动机的启动	112

第 8 章 定时器和传感器

8.1	时间和定时器	116
8.2	空气阻尼式时间继电器或气动延时定时器	116
8.3	同步时钟定时器	116
8.4	固态定时器	116
8.5	延时继电器	117
8.6	多功能定时继电器	118
8.7	可编程定时器控制	118
8.8	数字固态定时/计数器	119
8.8.1	单级型	119
8.8.2	定时/计数模式	119
8.8.3	双级型	119
8.8.4	指轮开关	120
8.9	DIP 开关	121
8.10	气动定时继电器	121
8.11	电动定时器	123
8.12	顺序控制	124
8.13	可编程定时器	125
8.14	传感器	125
8.14.1	固态液位控制	125
8.14.2	电容式传感器	126
8.14.3	温度感测	126
8.14.4	热电偶	127
8.14.5	热敏电阻	127

8.14.6	电阻式温度感测器	128
8.14.7	半导体测温传感器	128
8.14.8	压力传感器	128
8.14.9	应变片式传感器	128
8.14.10	硅压阻式压力传感器	129

第 9 章 传感器和检测

9.1	传感器分类	132
9.1.1	接触式传感器	132
9.1.2	非接触式传感器	132
9.2	存在检测传感器	132
9.3	限位开关	132
9.4	转速开关	134
9.4.1	转速开关的使用	134
9.5	压力控制传感器	135
9.6	温度控制传感器	136
9.6.1	埋入式套筒及密封压盖	137
9.7	浮控开关	137
9.8	编码器	140
9.8.1	光学可编程控制器编码器	141
9.8.2	多路转接	141
9.9	接近开关	141
9.9.1	工作原理	141
9.9.2	固态开关	141
9.9.3	圆柱形感应开关	141
9.9.4	宽范围感应接近开关	142
9.9.5	紧凑型感应接近开关	142
9.9.6	独立薄型接近开关	142
9.10	光电开关	142
9.10.1	工作原理	143
9.10.2	特 性	143
9.10.3	光电开关光源	143
9.10.4	标记传感器	144
9.10.5	透明材料探测	144
9.11	开关应用场合	145
9.12	自动识别器	145
9.13	无线射频识别系统	145
9.13.1	天 线	146
9.13.2	RF 标记	147
9.14	条码判读器及译码器	147
9.14.1	手持式扫描器	147
9.14.2	移动激光束扫描器	148
9.15	多路转接	148

9.16 视觉系统	148
-----------------	-----

第 10 章 螺线管和电磁阀

10.1 螺线管	152
10.2 工业螺线管	152
10.2.1 管式螺线管	152
10.2.2 框式螺线管	152
10.3 适用场合	152
10.3.1 螺线管用作电磁铁	155
10.3.2 电磁铁线圈	155
10.3.3 线圈的检修与维护	156
10.4 电路中的电磁阀	157

第 11 章 电动机启动方法

11.1 电动机	160
11.2 分相电动机	160
11.2.1 工作原理	160
11.2.2 应 用	161
11.3 排斥式感应电动机	161
11.3.1 工作原理	161
11.3.2 应 用	161
11.4 电容启动电动机	161
11.4.1 反转性能	162
11.4.2 应 用	162
11.5 永久分容电动机	162
11.6 屏蔽磁极式电动机	163
11.6.1 反转性能	164
11.6.2 应 用	164
11.7 分相电动机	165
11.8 多相电动机启动器	165
11.9 降压启动方法	166
11.10 主回路电阻启动法	168
11.10.1 启动原理	168
11.10.2 优缺点	169
11.11 自耦变压器式启动法	169
11.11.1 启动原理	169
11.11.2 优缺点	170
11.12 部分绕组启动法	170
11.12.1 启动原理	171
11.12.2 优缺点	172
11.13 星形或三角形启动器	172
11.13.1 启动原理	172

11.13.2	优缺点	172
11.13.3	星形-三角形连接	173
11.14	多级变速启动器	174
11.14.1	低速闭锁继电器	174
11.14.2	自动顺序加速继电器	174
11.14.3	自动顺序减速继电器	174
11.15	交替磁极式电动机控制器	175
11.16	全压控制器	176
11.16.1	启动顺序	177
11.16.2	防低压保护	177
11.16.3	延时保护	178

第 12 章 固态降压启动器

12.1	机电装置	182
12.2	降压启动	182
12.3	晶闸管	182
12.4	固态无级加速	183
12.5	逻辑架	184
12.5.1	B-2 模块	184
12.5.2	B-3 模块	184
12.5.3	B-4 模块	185
12.5.4	B-5 模块	186
12.5.5	B-6 模块	186
12.5.6	B-7 电压监控模块	186
12.5.7	B-8 节能模块	186
12.6	短路 SCR 开关	186
12.7	基本固态电路接线图	186
12.8	双向击穿二极管	186
12.9	双向三极管开关	187
12.10	发光二极管	188
12.11	固态控制及电磁器件的抗干扰	188
12.11.1	电涌抑制器	189
12.11.2	避雷装置	189

第 13 章 转速控制和监控

13.1	电动机转速控制	192
13.2	鼠笼式电动机	192
13.3	同步电动机	192
13.3.1	励磁	192
13.3.2	转速	193
13.3.3	启动	193
13.3.4	启动方法	193

13.3.5	同步电动机应用	195
13.4	绕线式转子电动机	195
13.4.1	电阻调速	196
13.4.2	适用的转速控制类型	196
13.4.3	多路开关启动器	196
13.4.4	磁鼓控制器	197
13.4.5	磁力启动器	197
13.4.6	电阻器	198
13.4.7	固态调速控制器	198
13.5	变频调速控制	198
13.6	多速启动器	199
13.7	转速监控	199

第 14 章 电动机控制和保护

14.1	电动机控制	204
14.2	手控启动器	204
14.3	固态电动机控制器	205
14.4	顺序控制	206
14.4.1	多台电动机顺序控制	207
14.4.2	自动顺序控制	207
14.5	微 动	209
14.5.1	工作原理	209
14.5.2	正向或反向微动	209
14.6	反接制动	210
14.6.1	电动机任意方向的反接制动	210
14.6.2	逆反接制动	210
14.7	制 动	210
14.7.1	电动机电子制动器	212
14.7.2	机械制动	212
14.7.3	助推制动	213
14.7.4	电磁制动	213
14.7.5	液压制动	213
14.8	电动机保护	214
14.8.1	喘振及逆转保护	214
14.8.2	过载保护	215
14.8.3	自动复位过载继电器	215
14.8.4	反时限电流继电器	216
14.8.5	固态线路电压及线路电流监控继电器	216
14.8.6	程控电动机保护	216
14.8.7	保护模块	216
14.8.8	远程检温器(RTD)模块	217

第 15 章 三相控制器

15.1	三相电动机	222
15.2	启动器	222
15.2.1	简易型启动器	222
15.2.2	全电压双向启动器	223
15.2.3	正转-反转-制动	223
15.2.4	启动-制动-微动	223
15.2.5	双向启动器	224
15.2.6	双速启动器	224
15.3	双电动机控制器	224
15.4	中压控制器	225
15.5	固态电动机控制器	230
15.5.1	模 块	230
15.5.2	固态控制器的优点	231
15.6	电动机控制中心	231

第 16 章 驱动装置

16.1	交流(AC)驱动	234
16.1.1	调速驱动	234
16.1.2	交流变频(AC)驱动	234
16.1.3	CSI 逆变器	235
16.1.4	变压逆变器	235
16.1.5	脉宽调制(PWM)逆变器	236
16.1.6	变螺距驱动	237
16.1.7	绕线式转子交流(AC)电动机驱动	237
16.2	直流(DC)驱动	238
16.2.1	调速驱动	238
16.2.2	开环控制(传统方法)	238
16.2.3	闭环控制	240
16.2.4	直流(DC)驱动的优点	240
16.2.5	直流(DC)驱动及系统	240
16.3	固态数字化交流(AC)驱动	240

第 17 章 故障排查与维护

17.1	故障排查	244
17.2	预防性技术保养	244
17.2.1	潮湿地区	244
17.2.2	预防意外电击	245
17.2.3	接地-故障插座	246
17.2.4	接线装置	247
17.3	小型电动机的维护	247

17.3.1	正确布线	247
17.3.2	检查内部开关	247
17.3.3	检查负荷状态	247
17.3.4	润滑时需特别注意的问题	247
17.3.5	保持换向器的清洁	247
17.3.6	电动机的额定运行参数必须适当	247
17.3.7	更换磨损的电刷	247
17.4	电动机故障	247
17.4.1	球轴承电动机	247
17.4.2	套筒轴承电动机	248
17.5	电动机常见故障及原因	248
17.5.1	故障诊断	249
17.5.2	离心开关	249
17.5.3	整流式电动机	249
17.6	故障排查帮助指南	249
17.6.1	接线图	249
17.6.2	小型三相电动机额定数据	252
17.7	电源扰动	254
17.7.1	电压波动	254
17.7.2	瞬 变	255
17.7.3	供电中断	255
17.7.4	查找短路	255
17.8	鼠笼式转子电动机	256
17.9	单相电动机的离心开关测试	256
17.10	运行与启动绕组之间的短路测试	256
17.11	电容器测试	256
17.12	用仪表检查故障	257
17.12.1	用电压-电流表检修电动机故障	257
17.12.2	钳形电压-电流表	258
17.12.3	接地检查	258
17.12.4	开路检查	259
17.13	故障检修指南	259
17.14	电动机寿命	265
17.14.1	通 风	265
17.14.2	环境温度	265
17.15	性能参数	265
17.15.1	单相电压不平衡	266
17.15.2	三相电压不平衡	266
17.16	电动机保护	267
17.17	直流电动机故障	267
17.18	固态装置的故障排查	268

词汇表	273
-----------	-----

第1章 简介

本章目标

- 对电流进行简单的定义
- 罗列7种产生电的方法
- 明确影响电阻的4种因素
- 识别不同类型的电路
- 描述欧姆定律
- 讨论电流的测量方法
- 判别用于电流控制的开关
- 认读电阻色码

1.1 什么是电流

虽然我们看不见电,但是每天都能够感觉到它的存在。电具有数不清的用途。虽然我们尝不出也闻不到电的味道,但是可以随时感觉到它。我们可以品尝到利用电能烹制出的美味食品。当闪电划过天空的时候,也可以闻到其中形成的某种气体(臭氧)。

从本质上看,存在两种类型的电:静电(固定的)和电流(移动的)。本书主要讨论电流,因为人们通常使用的就是电流。电流可以简单地定义为沿着某种导体移动的电子流。为了更好地理解这个概念,需要先了解一些相关化学元素和原子的知识。

1.2 元素和原子

元素是构成宇宙的最基本的物质要素。现在自然界中已知的元素共有 94 种,诸如铁、铜和氮等。科学家在实验室中合成了 11 种其他元素。现存的任何一种已知的物体——固体、液体或气体——都由元素构成。

元素很少以纯态存在,而几乎总是以一种称为化合物的混合状态存在。甚至一种如此常见的物质,例如,水就是一种化合物,其中包含不止一种元素,如图 1.1 所示。两个或两个以上的原子结合在一起称为分子,这里两个氢原子和一个氧原子结合形成一个水分子(H_2O)化合物。

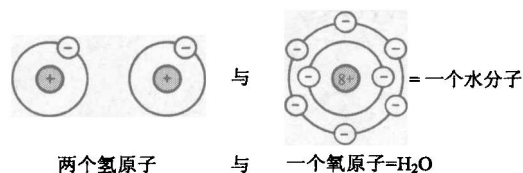
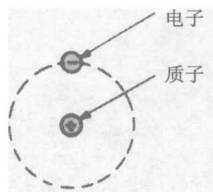
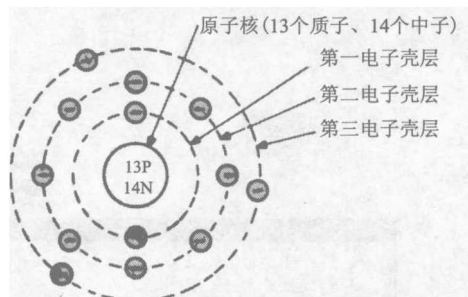


图 1.1 水分子的形成

原子是具有元素所有特性的最小微粒,是构成元素的最小单位。每一种元素都有它自己的原子类型。例如,所有的氢原子都是一样的,并且不同于其他任何一种元素的原子。然而,所有的原子又都有着相同的部分。它们都有一个内层部分,叫做原子核。原子核由质子和中子两种微粒构成,几乎集中了原子的全部质量。原子结构还包含一个外层部分,由被称为电子的微小微粒构成。电子围绕原子核作旋转运动(见图 1.2 和 1.3)。



(a) 氢原子



(b) 铝原子

图 1.2 原子结构

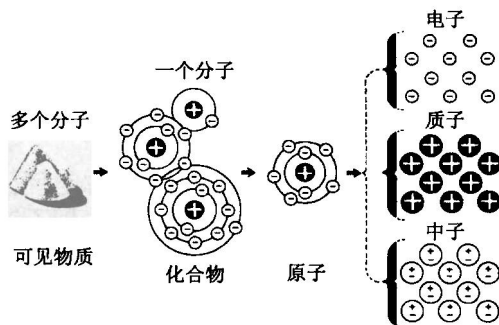


图 1.3 分子结构

原子包含质子、中子和电子。中子没有电荷,但是质子带有正电荷,电子带有负电荷。因为质子和电子带有电荷,所以它们是能量粒子,更确切地说,它们的电荷形成了原子内部的电力场。简单地说,这些带电微粒相互之间总是存在着排斥或吸引作用,从而使得能量以动能的形式存在。

每种元素的原子都具有确定数量的电子和质子。一个氢原子具有一个电子和一个质子。一个铝原子含有 13 个电子和 13 个质子。具有相反电荷的微粒——带负电荷的电子和带正电荷的质子,相互吸引并总是试图将电子维持在某一个轨道上。只要这种电量分布没有发生变化,原子就会处于平衡状态。

然而,有些原子的电子很容易就被拖离或推离它们自己的运行轨道。这种电子运动或流动的能力就是形成电流的基础。