



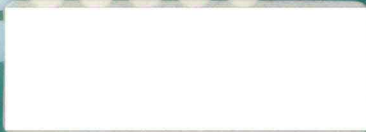
高等职业技术教育机电类专业规划教材

电器学

第3版

贺湘琰 李靖 主编

- ★ 系统介绍了电器的基础理论，各类低压电器和高压电器的用途、基本结构、技术参数及选用方法
- ★ 删减了老产品，增加了近十多年来生产的新产品
- ★ 电器原理方面删减了部分理论内容，增加了多个例题，并对所用国家标准进行了更新，增加了实用性



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



赠 电子课件
习题与思考题解答

高等职业技术教育机电类专业规划教材

电 器 学

第 3 版

主 编 贺湘琰 李 靖

参 编 黄家麟 罗小丽 李晓慧 吴举秀



机 械 工 业 出 版 社

本书系统介绍了电器的基础理论, 各类低压电器和高压电器的用途、基本结构、技术参数及选用方法。本书是在 1995 年出版的《电器学(第 2 版)》的基础上修订而成的。书中删减了老产品, 增加了近十多年来生产的新产品, 包括 DW45 系列万能式低压断路器、T 系列等塑壳式低压断路器、新型继电器、ZN39-40.5C 型高压交流真空断路器及永磁操动机构等电器新产品。电器原理方面则删减了部分理论内容, 增加了多个例题, 并对所用国家标准进行了更新, 增加了实用性。

本书具有系统性、实用性和先进性, 可作为普通高等院校和职业技术学院电器、电机及电气技术类专业的教材, 还可作为普通高校成人继续教育电气工程专业专升本教材。中等专科学校也可以选用本书作为教材。并且, 本书也可供从事电器生产和电气技术工作的人员参考。

为方便教学, 本书配有免费电子课件、习题与思考题解答等, 凡选用本书作为授课教材的学校, 均可来电或邮件索取, 咨询电话: 010-88379564 或邮箱: cmpqu@163.com。有任何技术问题也可通过以上方式联系。

图书在版编目(CIP)数据

电器学/贺湘琰, 李靖主编. —3 版. —北京:
机械工业出版社, 2011. 12
高等职业技术教育机电类专业规划教材
ISBN 978-7-111-36606-5

I. ①电… II. ①贺…②李… III. ①电器—高等职业
教育—教材 IV. ①TM5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 243575 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: 曲世海 责任编辑: 曲世海 关晓飞 版式设计: 霍永明
责任校对: 樊钟英 封面设计: 鞠 杨 责任印制: 乔 宇
北京铭成印刷有限公司印刷

2012 年 3 月第 3 版第 1 次印刷
184mm×260mm · 17.25 印张 · 426 千字
0001—3000 册
标准书号: ISBN 978-7-111-36606-5
定价: 33.00 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

读者购书热线: (010)88379203

封面无防伪标均为盗版

第3版前言



本书是在1995年出版的《电器学(第2版)》基础上修订而成的。《电器学(第2版)》作为普通高等专科学校教育机电类规划教材,在出版后曾多次重印,被多所普通高等专科学校和职业技术学院采用,此外,还有许多从事电器生产和电气技术工作的工程技术人员用作参考书。

在《电器学(第2版)》出版后的十多年间,电器工业得到迅速发展,电器的设计、生产和加工水平不断提高,新型高低压电器产品不断涌现,并向小型化、智能化和网络化等方向发展。同时,各校老师和读者也对我们提出了不少意见和建议,因此有必要对《电器学(第2版)》进行修订。

本书对第2版每一章的内容都进行了不同程度的修改,在“第1篇 电器原理”中删除了部分理论内容,增加了多个例题,并对所用国家标准进行了更新,增加了实用性。在“第2篇 低压电器”中删减了部分老产品,增加了我国自主设计的第三代产品和从国外引进的产品,包括DW45系列万能式低压断路器等9种新产品。在“第3篇 高压电器”中也删减了部分老产品,增加了新型真空断路器及永磁操动机构等新产品。

本书由湖南工程学院贺湘琰副教授和李靖博士、教授任主编。书中第1、2、3、4章由黄家麟副教授修订;绪论及第5、6章由贺湘琰副教授修订;第7、8、9、10章由李靖博士、教授修订,河南机电高等专科学校李晓慧高级工程师、湖南电气职业技术学院罗小丽老师和济南铁道职业技术学院吴举秀老师也参加了本书的修订工作。

本书在修订过程中,还得到了许多学校老师和企业工程技术人员的协助,编者在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中不妥或错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

第2版前言



本书是根据1992年5月高等专科学校电类专业教材编审委员会的决定，在1985年6月机械工业出版社出版的高专学校试用教材《电器学》基础上修订而成的，可作为高等专科学校电器、电机及电气技术等专业的教材。中等专业学校也可以选用此书，并且该书可供从事电器生产和电气技术工作的工程技术人员参考。

本书与1986年6月出版的《电器学》相比，内容作了重要的修改和补充，删去了即将淘汰的老产品，增加更新换代新产品CJ20、DZ20、DW15及SF₆全封闭组合电器(GIS)等内容，还适当介绍了从国外引进生产的产品，例如ME系列低压断路器、B系列交流接触器及NT系列低压熔断器等，反映了我国电器工业发展的新面貌和先进水平。本书在结构体系方面，根据几年来试用教材的教学实践作了合理的调整。书中采用最新的国家标准和部颁标准。

本书由湘潭机电高等专科学校贺湘琰副教授主编，河北工学院孟庆龙教授主审。书中绪论，第一、二、三、四章由黄家麟副教授编写；第五、六、七、八章由贺湘琰副教授编写；第九、十章由黄家麟副教授、易克铨高级工程师和陆植森高级工程师共同编写。孟庆龙教授对本书作了严谨认真的审阅，提出了许多宝贵意见，编者在此对他表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，还得到湖南大学、河北工学院、西安交通大学、上海电器科学研究所、湖南开关厂、湘潭电机厂、北京开关厂、北京低压电器厂、沈阳高压开关厂、沈阳低压开关厂、平顶山高压开关厂和西安高压开关厂等单位许多同志的帮助，他们提供了不少宝贵资料，在此一并致谢。

由于编者水平所限，书中不妥或错误之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

目 录



第3版前言

第2版前言

绪论	1
0.1 电器在电力系统及工业控制系统中的作用	1
0.2 电器的定义与分类	4
0.3 国内外电器工业发展概况	6
0.4 本课程的任务	7

第1篇 电器原理

第1章 电器的电动力	9
1.1 概述	9
1.2 计算电动力的两种基本方法	12
1.2.1 用能量平衡法计算电动力	12
1.2.2 用比奥-沙瓦定律计算电动力	13
1.3 正弦电流产生的电动力	16
1.3.1 单相交流电动力	16
1.3.2 三相交流电动力	17
1.4 交流短路电流产生的电动力	20
1.4.1 单相短路时导体所承受的电动力	20
1.4.2 三相对称短路时导体所承受的电动力	21
1.5 电器电动稳定性的校验	22
习题与思考题	24
第2章 电器的发热	26
2.1 概述	26
2.1.1 制订电器最高允许温度和极限允许温升的原则	26
2.1.2 电器最高允许温度和极限允许温升的分类	27
2.1.3 电器散热的基本方式	30
2.2 电器热计算的基本原理	33
2.3 不同工作制下电器的热计算	36
2.3.1 长期工作制	36
2.3.2 八小时工作制	36
2.3.3 短时工作制	36



2.3.4 反复短时工作制	38
2.4 交流短路电流下电器的热计算	40
习题与思考题	41
第3章 电弧的产生与熄灭	42
3.1 概述	42
3.1.1 气体的游离与去游离	42
3.1.2 气体放电的几个阶段	45
3.2 电路开断时电弧的产生过程	49
3.3 直流电弧的产生与熄灭	51
3.3.1 直流电弧的伏安特性	51
3.3.2 直流电弧的稳定燃烧点及熄灭条件	52
3.3.3 电弧能量及开断直流电弧时的过电压	53
3.4 交流电弧的产生与熄灭	55
3.4.1 交流电弧的伏安特性	55
3.4.2 交流电弧的熄灭条件与熄灭过程	55
3.4.3 交流电弧零休期间的物理过程	57
3.5 电器常用的灭弧方法	62
3.5.1 熄灭长弧的方法	62
3.5.2 熄灭短弧的方法	63
习题与思考题	63
第4章 电接触	65
4.1 概述	65
4.2 接触电阻的成因及计算	66
4.2.1 收缩电阻和表面膜电阻	67
4.2.2 接触电阻的计算公式	68
4.2.3 影响接触电阻的各种因素	69
4.2.4 电接触连接的基本结构	72
4.3 触头的振动与熔焊	74
4.4 触头的电磨损	75
4.4.1 液桥的形成和金属转移	75
4.4.2 电弧对触头的磨损	76
4.5 触头的发热计算	76
4.5.1 触头在长期工作时的温升	76
4.5.2 电接触连接在通过短路电流时的热稳定性	78
4.6 触头的电动力计算	79
4.7 电器常用的电接触材料	80
4.7.1 弱电流触头材料的选用	81



4.7.2 中电流及强电流触头材料的选用	81
4.7.3 固定电接触所用材料	81
4.7.4 真空开关电器所用触头材料	81
习题与思考题	82
第5章 电磁铁的磁路计算	84
5.1 概述	84
5.1.1 电磁铁的结构和工作原理	84
5.1.2 电磁铁的分类	84
5.2 磁路计算的基本定律	86
5.2.1 磁路的基尔霍夫第一定律	87
5.2.2 磁路的基尔霍夫第二定律	87
5.2.3 磁路的欧姆定律	87
5.3 气隙磁导的计算	89
5.3.1 数学解析法计算气隙磁导	89
5.3.2 分割磁场法计算气隙磁导	92
5.4 直流磁路的计算	96
5.4.1 直流磁路计算的任务	96
5.4.2 漏磁系数法计算磁路	97
5.5 交流磁路的计算	102
5.5.1 交流磁路的主要特点	102
5.5.2 交流并联电磁铁磁路计算的任务和方法	103
5.5.3 交流并联电磁铁磁路计算的步骤	105
习题与思考题	108
第6章 电磁铁的特性及设计方法	109
6.1 概述	109
6.2 电磁铁的反力特性	110
6.2.1 电磁铁反力特性的分类	110
6.2.2 电磁铁反力特性计算举例	110
6.3 电磁铁的吸力计算及静吸力特性	111
6.3.1 能量平衡法	111
6.3.2 麦克斯韦公式法	114
6.3.3 交流电磁铁的吸力	116
6.3.4 常用电磁铁的静吸力特性	119
6.4 电磁铁动作时间的计算	122
6.4.1 直流电磁铁的吸合时间	122
6.4.2 直流电磁铁的释放时间	124
6.4.3 影响直流电磁铁动作时间的因素	125



6.4.4 交流电磁铁的动作时间	126
6.5 直流电磁铁设计	126
6.5.1 选择设计点	126
6.5.2 选择电磁铁的结构形式	127
6.5.3 直流电磁铁的初步设计	127
6.5.4 验算直流电磁铁的性能	134
6.6 交流电磁铁设计	136
6.6.1 选择设计点	136
6.6.2 选择电磁铁的结构形式	136
6.6.3 交流电磁铁的初步设计	136
6.6.4 验算交流电磁铁的性能	140
6.7 相似法	141
习题与思考题	143

第2篇 低 压 电 器

第7章 低压配电电器	145
7.1 概述	145
7.2 刀开关、刀熔开关和转换开关	146
7.2.1 刀开关	146
7.2.2 刀熔开关	149
7.2.3 转换开关	149
7.3 低压熔断器	150
7.3.1 低压熔断器的用途和分类	150
7.3.2 低压熔断器的工作原理及主要技术参数	150
7.3.3 低压熔断器的典型产品	153
7.3.4 低压熔断器的材料	158
7.3.5 低压熔断器的选用	160
7.4 低压断路器	162
7.4.1 低压断路器的用途、分类和工作原理	162
7.4.2 低压断路器的主要技术参数	163
7.4.3 典型低压断路器产品	165
7.4.4 低压断路器的选用	179
习题与思考题	180
第8章 低压控制电器	181
8.1 概述	181
8.2 接触器	181
8.2.1 接触器的用途、工作原理和分类	181



8.2.2 接触器的主要技术参数	182
8.2.3 接触器的典型产品	183
8.2.4 接触器的结构分析	190
8.2.5 交流接触器引进产品介绍	191
8.2.6 接触器的选用	192
8.3 控制继电器	194
8.3.1 控制继电器的用途和分类	194
8.3.2 继电器的输入—输出特性	194
8.3.3 控制继电器的主要技术参数	194
8.3.4 常用的控制继电器	195
8.4 凸轮控制器与主令电器	206
8.4.1 凸轮控制器	206
8.4.2 主令电器	208
习题与思考题	211

第3篇 高压电器

第9章 高压交流断路器	215
9.1 概述	215
9.1.1 高压交流断路器的用途	215
9.1.2 高压交流断路器的分类	215
9.2 高压交流少油断路器	217
9.2.1 SN10-10I型高压交流少油断路器的用途、型号含义及主要技术参数	217
9.2.2 SN10-10I型高压交流少油断路器的结构及工作原理	218
9.3 高压交流真空断路器	221
9.3.1 真空灭弧的特点	221
9.3.2 真空灭弧室中电弧产生与熄灭的物理过程及提高其开断能力的途径	222
9.3.3 真空灭弧室及触头的结构	224
9.3.4 高压交流真空断路器的操作过电压	225
9.3.5 高压交流真空断路器的优点及存在的问题	226
9.3.6 真空断路器操动机构的比较	227
9.3.7 高压交流真空断路器产品介绍	227
9.4 高压交流六氟化硫断路器	230
9.4.1 六氟化硫的特性	230
9.4.2 高压交流六氟化硫断路器的分类	232
9.4.3 高压交流六氟化硫断路器的优缺点	232
9.4.4 高压交流六氟化硫断路器产品介绍	233
9.5 高压交流断路器的操动机构	237
9.5.1 操动机构的任务与要求	237



9.5.2 操动机构的类型与特点	238
9.5.3 操动机构示例	239
习题与思考题	244
第 10 章 其他高压电器	245
10.1 高压隔离开关和高压负荷开关	245
10.1.1 高压隔离开关	245
10.1.2 高压负荷开关	248
10.2 高压熔断器	249
10.2.1 限流式高压熔断器	250
10.2.2 高压跌落式熔断器	251
10.3 高压避雷器	252
10.3.1 间隙的放电特性	252
10.3.2 高压交流管式避雷器	253
10.3.3 高压交流阀式避雷器	254
10.3.4 高压交流磁吹阀式避雷器	256
10.3.5 金属氧化物高压避雷器	256
10.4 高压组合电器	257
10.4.1 高压组合电器的定义与分类	257
10.4.2 金属外壳式高压成套组合电器	258
10.4.3 全封闭六氟化硫高压成套组合电器	259
习题与思考题	260
附录	261
附录 A 导磁体常用材料的磁性能	261
附录 B 漆包线的规格、性能与用途	263
参考文献	265

绪 论

0.1 电器在电力系统及工业控制系统中的作用

由发电厂、电力网及电能用户组成的系统称为电力系统。电力网是输送、交换和分配电能用的，它由变电所和各种不同电压等级的电力线路所组成。变电所是变换电压和交换电能的场所，由电力变压器和配电装置所组成。

电力系统的中心环节是发电厂。我国发电厂主要有火力发电厂和水力发电厂两类。火力发电厂是利用过热蒸汽推动汽轮机旋转以带动发电机发电的。水力发电是利用水的冲击力推动水轮机旋转，由水轮机带动发电机发电的。根据利用能源的不同，还有其他类型的发电厂，如核电厂、地热发电厂、潮汐发电厂、风力发电厂、沼气发电厂和太阳能发电厂等。

发电厂与电能用户之间有一定距离，通常采用架空输电线或电缆将电能从发电厂送到电能用户。要将电能送到远处，必须升高电压后再输送，因为当输送功率一定时，电压增高，电流可减小，则电线的线径可以选择小些，以节省大量有色金属，同时线路的有功损耗及电压损耗也降低了。例如，一台汽轮发电机，额定电压为 10.5kV，或水轮发电机，额定电压为 13.8kV，若需送电到 100km 以外，则应将电压升高到 110kV。若要送电到 200 ~ 300km 处，则需将电压升为 220kV。粗略估计，35kV 电压能送电 40 ~ 50km，10kV 电压能送电 15 ~ 20km，380V 电压仅能送电 1.5km 左右。

发电厂生产的电能，经过变压器升高电压以后，经输电线送达变电所，在变电所一般要将 110kV 以上的电压由降压变压器降压，变为 35kV，35kV 及以下的线路均属于配电线路。由 35kV 送电到用户之前，需再次降压为 10kV，然后以 10kV 配电线路供电到各用户。各用户采用配电变压器将电压降为 380/220V 以后供电到各车间及住宅区（一般动力线路采用 380V，照明线路采用 220V）。

电力系统的接线图按其电力系统的作用可分两种，一种表示电力输送及分配的电路，称为一次接线图或主接线图，凡与其直接相连的电气设备，称为一次设备或一次元件。另一种是表示控制、指示、监视、测量和保护一次设备运行的电路，称为二次接线图或控制电路，凡与其直接相连的电气设备，称为二次设备或二次元件。

下面举例介绍两种类型的接线图，可以看出电器在线路中的作用。

图 0-1 为车间用高压配电所的主接线图。这是一种最常见的高压侧无母线的主接线图。由 6 ~ 10kV 架空进线，经高压隔离开关 QS 和高压交流断路器 QF 送到电力变压器 TM，变压器将 6 ~ 10kV 高压降为 400/230V 低压后，进入低压配电室，经低压总开关（此处采用低压断路器）将电能送达低压母线，再经过低压隔离开关 QS 和低压熔断器 FU 由低压配电线送到用电设备。

高压交流断路器可以接通或切断负载电流，并且在电路发生过载或短路时，可以自动跳闸切断电路，起过载保护和短路保护的作用。高压交流断路器是高压电器中最重要的一类电器。

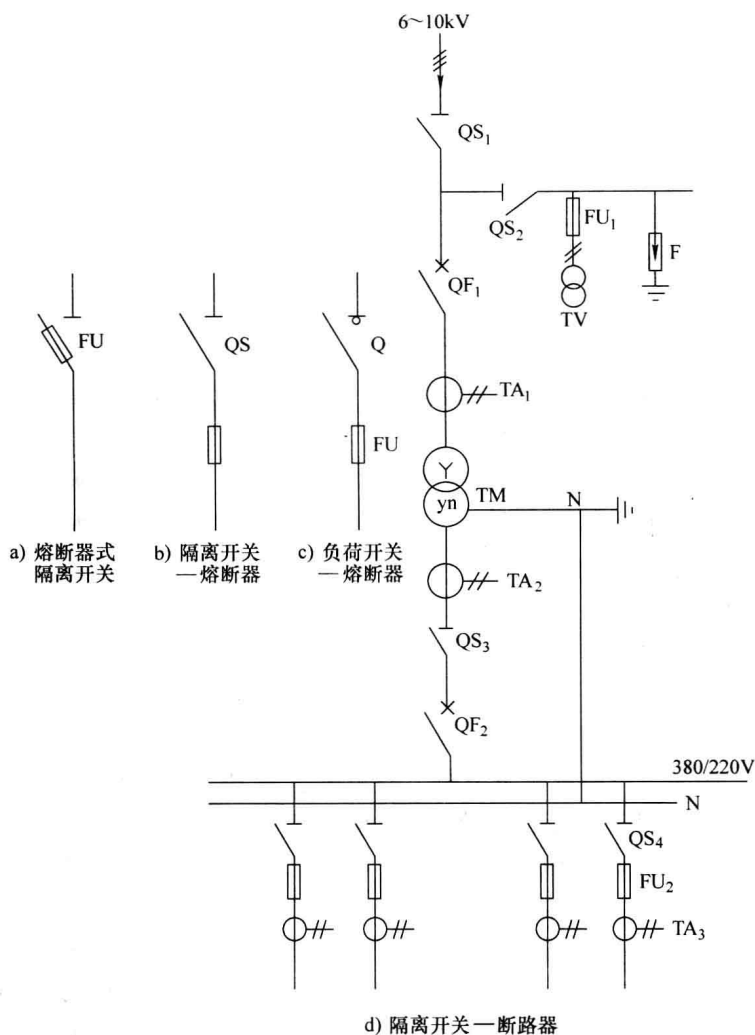


图 0-1 车间用高压配电所的主接线图

FU—熔断器 F—高压避雷器 QF—断路器
 QS—隔离开关 Q—负荷开关 TA—电流互感器
 TV—电压互感器 TM—电力变压器

隔离开关是电力系统中应用最多的一种高压开关设备，由于它没有灭弧装置，只能用它隔离电源，建立必要的绝缘间隙，以便检修后面的电气设备；但不能用它接通或切断负载电流。

当检修线路时，应先断开高压交流断路器，然后才允许将高压隔离开关打开。当检修完毕要恢复通电时，应先合上隔离开关，然后将断路器合闸。总之，隔离开关与断路器配合使用时，应有机械的或电气的联锁，以保证上述操作顺序的正确性。

高、低压侧均装有电流互感器 TA，高压侧还装有电压互感器 TV，用它们可以将测量仪表、继电器和自动调整装置接入线路，以达到测量安全，使仪表、继电器便于工作的目的。例如，电流互感器的二次绕组（额定电流为 5A）与电压互感器的二次绕组（额定电压为 100V）分别接到电能表的电流线圈和电压线圈，以便计量电能损耗。电流互感器的二次绕组



还接到电流表,以便测量各相电流,并供电给电流继电器以实现过电流保护。电压互感器的二次绕组接到电压表,以便测量电压,并供电给绝缘监察用仪表。

为了防止雷电波沿架空线侵入变电所,保护电力系统和电气设备的绝缘,使其不受过电压的损害,应在进线处安装高压避雷器 F。

当变压器($320\text{kV} \cdot \text{A}$ 以下)装在户外或杆上时,高压侧采用高压跌落式熔断器,如图 0-1a 所示。高压跌落式熔断器不能带负载操作,仅可以通断一定容量变压器的空载电流。当发生过载或短路故障时,熔管中熔体熔断,熔管的一端绕轴下坠,电弧被气吹灭,可起过载或短路保护作用。

若变压器装在户内,变压器容量在 $320\text{kV} \cdot \text{A}$ 以下,高压侧也可采用高压隔离开关串联高压熔断器方案,如图 0-1b 所示。高压隔离开关不能带负载操作。

当变压器容量在 $500 \sim 1000\text{kV} \cdot \text{A}$ 范围内,或者变压器需经常通断时,高压侧可采用高压负荷开关串联高压熔断器方案,如图 0-1c 所示。在该方案中,负荷开关不能切断短路电流,仅可切换负载电流,熔断器作短路保护,现行环网柜多采用此方案。

当变压器容量在 $1000\text{kV} \cdot \text{A}$ 及以上范围,多采用高压隔离开关串联高压交流断路器方案,如图 0-1d 所示。由于高压交流断路器具有过载及短路保护功能,并可以实现自动重合闸,使恢复供电时间大为缩短。

图 0-2 为三相笼型异步电动机直接起动控制电路。由三相交流电源经低压隔离开关 QS、熔断器 FU、接触器 KM 的动合主触头、热继电器 FR 的热元件接到异步电动机 M 定子绕组的电路,称为主电路。

由按钮 SB_1 (动断按钮)、 SB_2 (动合按钮)、接触器线圈 KM 及其动合辅助触头 KM、热继电器的动断触头 FR 组成的电路,称为控制电路。

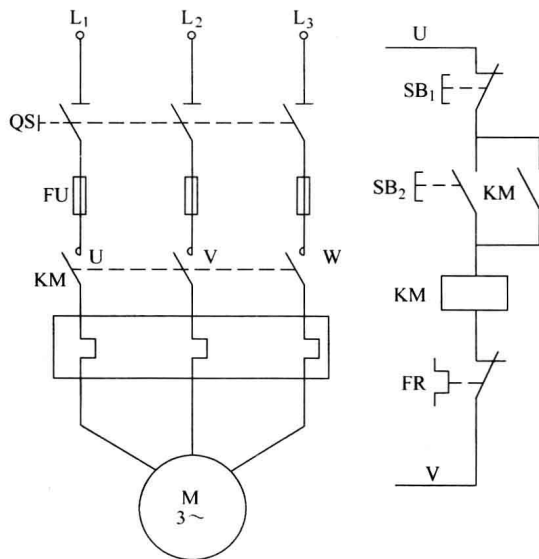


图 0-2 三相笼型异步电动机直接起动控制电路

KM—接触器 FR—热继电器 SB—按钮

QS—低压隔离开关 FU—熔断器 M—异步电动机



起动时,首先合上低压隔离开关 QS,引入电源。按下起动按钮 SB_2 ,交流接触器 KM 的线圈接通电源,三对主触头闭合,电动机 M 起动运转。与此同时,并联在按钮 SB_2 两端的辅助触头 KM 也闭合。这样,当手松开而按钮 SB_2 自动复位后,接触器 KM 的线圈也不会断电,所以称此动合辅助触头为自锁(自保)触头。此种电路具有自锁功能,同时具有失电压保护和过载保护的功能。

失电压保护:电动机运行时,遇到电源临时停电,在恢复供电时,如果未加防范措施而让电动机自行起动,很容易造成设备或人身事故。采用自锁控制电路,由于自锁触头和主触头在停电时一起断开,控制电路和主电路都不会自行通电,所以在恢复供电后,如果不按下起动按钮 SB_2 ,电动机就不会自行起动。

过载保护:电动机在运行过程中,如果由于过载、操作频繁、断相运行等原因都会使电动机电流超过额定值,将引起电动机过热。串接在主电路中的热继电器 FR 的热元件因受热而弯曲,产生推力,使串联在控制电路中的 FR 的动断触头断开,切断控制电路,线圈 KM 断电,主触头断开,电动机 M 停转。

热继电器的热元件有热惯性,即使通过它的电流超过额定值的好几倍,也不会瞬时动作。因此,它仅能作为过载保护用,对于电动机的短路保护,还要靠熔断器 FU 来完成。

要电动机停止运转,按下停止按钮 SB_1 ,控制电路断电,接触器 KM 的线圈失电,接触器的衔铁打开,主触头即断开,电动机停止运行。

以上简单介绍了高、低压电器在电力线路中的作用,可以对电器功能及其与电力系统的联系有初步概念。

随着农业机械化及工业自动化程度不断提高,电器的使用范围日益扩大,对品种、产量及质量的要求日益提高,电器制造业已成为国民经济建设中重要的一环。

0.2 电器的定义与分类

发电机产生电流,把机械能转换成电能,电动机接收电能,把电能转换成机械能或其他形式的能量。然而,从电能的产生、输送到应用,并不是一个简单的过程。例如发电机的端电压随负载变化而变化,必须有稳定电压的设备,才能符合用户的要求。又如高压输电系统中出现短路时,数以万安计的电流可以将电气设备烧坏,所以必须有自动切断故障的自动装置。电动机在起动时会产生较大的起动电流,影响电力系统的稳定,也要设法弥补这一缺点。在电力拖动与自动控制系统中,需要电动机有很好的调速性能,对起动、制动、反向和调速等能简便而迅速地控制,并且要求对生产过程能进行检测和自动控制。总之,从发电机到负载之间还必须有许多其他电气设备的配合,才能顺利实现电能的生产和应用。凡是对电能的产生、输送和应用起控制、保护、检测、变换与切换及调节作用的电气器具,统称为电器。

由于电器所起的作用不同,应用的条件不同,因此它的外形、尺寸、质量均不一致。以质量来说,一些按钮只有几十克,而高压断路器可达 10^4kg 以上。就外形尺寸来说,一些继电器小巧玲珑,可置于掌上,而某些断路器则高达十余米。从结构来说,简单的(如刀开关等)不过几个零件,复杂的(如断路器)其零件数以千计。

除电机与变压器外,电器是电气化和自动化的基本工具。电器元件与电器成套装置是发



电厂、电力网、工矿企业、农林牧副渔业和交通运输业以及国防军事等方面的重要技术装备。电器在电力输配电系统、电力传动和自动控制设备中起着重要作用。据估计,每新增 10^4kW 的发电容量,就需要大小高压电器500~600个,以及各种低压电器元件6万件左右。在大型现代化成套设备中,例如一套1700mm的连轧机,就装有低压电器元件上千个品种,有上万个元件。

电器有以下各种分类方法。

1. 按电器的用途分

(1) 电力系统用电器 如高压断路器、高压熔断器、电抗器、避雷器、低压断路器、低压熔断器等。除电抗器和避雷器外,对这类电器的主要技术要求是通断能力强、限流效应好、电动稳定性和热稳定性高、操作过电压低、保护性能完善等。

(2) 电力拖动自动控制系统用电器 如接触器、起动器、控制器、控制继电器等。对这类电器的主要技术要求是有一定通断能力、操作频率高、电气和机械寿命长等。

(3) 自动化通信用弱电电器 如微型继电器、舌簧管、磁性或晶体管逻辑元件等。对这类电器的主要技术要求是动作时间快、灵敏度高、抗干扰能力强、特性误差小、寿命长、工作可靠等。

2. 按电压高低、结构和工艺特点分

(1) 高压电器 额定电压3kV及以上的电器,如高压断路器、隔离开关、负荷开关、接地短路器、高压熔断器、电压互感器、电流互感器、高压避雷器、电抗器等。

(2) 低压电器 额定电压交流1000V(专用于矿山井下的电器可至1140V)、直流1500V及以下的电器,称为低压电器。如低压断路器、刀开关(低压隔离开关)、转换开关、接触器、起动器、控制器、继电器、低压熔断器、电阻器、变阻器、主令电器等。

(3) 自动电磁元件 阀用电磁铁、电磁离合器、磁放大器、磁性逻辑元件、微型继电器、传感器和自动电压调节器等。

(4) 成套电器和自动化成套装置 高压开关柜、低压开关柜、电力用自动化继电保护屏、可编程序控制器、半导体逻辑控制装置、无触头自动化成套装置等。

3. 按电器的使用场合及工作条件分

(1) 一般民用电器 适用于大部分工业企业环境,无特殊要求。

(2) 特殊工业企业用电器 适用于矿山、冶金、化工等特殊环境,例如矿用防爆电器和化工用电器等。

(3) 农用电器 适合于农村环境而专门生产的电器。

(4) 热带用电器和高原用电器 适合于热带、亚热带地区以及高原山区而派生的电器。

(5) 牵引、船舶、航空等电器 如船用电器,电气铁道用的牵引电器、航空电器以及汽车、拖拉机用电器等。

4. 按电器执行功能分

(1) 有触头电器 电器通断电路的执行功能由触头来实现的电器。

(2) 无触头电器 电器通断电路的执行功能不是由触头来实现,而是根据开关元件输出信号的高低电平来实现,如饱和电抗器、晶闸管接触器及晶闸管起动器等。其特点为无弧通断电路、动作时间快、电寿命及机械寿命长、无噪声等。无触头电器目前还不能完全切断电流,不如触头电器那样对电源起隔离作用。



(3) 混合式电器 它是无触头与有触头互相结合相辅相成的电器新品种,有着广阔的发展前途,如低压断路器采用半导体脱扣器,高压断路器应用微型计算机控制智能断路器等。

有触头电器的主要问题是通断过程存在电弧和磨损、电气和机械寿命短;而无触头电器的主要问题是压降大和发热温升高。如果通断过程由晶闸管无弧转换来完成,而断开状态由触头来实现,则可以取长补短,提高电器性能。

0.3 国内外电器工业发展概况

电器产品的性能和质量直接影响电力系统与工业控制系统的可靠运行,并与千家万户的生命、财产安全息息相关。

20 世纪 50 年代以前,我国电器工业十分薄弱,只能制造小型低压电器(如刀开关及熔断器),以及小型户内式高压断路器等,只用它们还不能配齐起码的发电厂与变电所或普通机床所需的电器设备。

20 世纪 50 年代以后,我国电器工业迅速发展,在产品、标准及检测等方面已形成比较完整的体系,产品品种、技术性能、产品质量及生产能力等方面基本满足国民经济发展的需要。

低压电器方面,我国分别在 20 世纪 60 年代和 20 世纪 80 年代完成了第一代和第二代产品的研发及生产。20 世纪 90 年代初,我国开始研发第三代产品,部分产品性能已达到国际同类产品水平。这批产品从 20 世纪末开始推广,目前已形成批量生产能力,使国产低压电器总体水平达到国外 20 世纪 90 年代水平。

进入 21 世纪后,随着微处理器在低压电器中大量应用,低压电器智能化、网络化、可通信已成为国内外新一代产品主要特征之一。

国外低压电器厂从 20 世纪末到 21 世纪初相继推出了新一代低压电器产品,这批产品以新技术、新材料和新工艺为支撑,在产品性能、结构、小型化、智能化和环保节能等方面都有重大突破。我国也在研发第四代低压电器产品,已于 2009 年完成第一批四个项目的研发工作。第四代低压电器产品具有高性能、小型化、智能化、网络化和可通信等特点;在产品结构上也有所创新,模块化程度进一步提高;在可靠性、安装方式多样化、工艺性及环保节能等方面也有所提高。

高压电器方面,我国生产的 500kV 及以下各电压等级的各类高压电器系列化产品,已能基本满足电力系统及国民经济各方面的需要。在高压断路器产品中, SF₆ 断路器及其成套组合电器(简称 GIS),在 66~500kV 电压等级中,已占 99% 份额;在 35kV 及以下电压等级中,真空断路器占优势,也有少部分 SF₆ 断路器;油断路器已基本退出生产领域,其产量仅占高压交流断路器年产量的 1% 以下,我国已基本上实现了高压开关设备的无油化。

随着电力工业的高速发展,国内外均在建设 750kV 及 1000kV 的高压输电线路,因此对高压电器的研发和生产提出了更高的要求,目前国内外均在研发额定电压高、容量大、可靠性高、智能化、少(免)维护和节能环保的高压电器新产品。我国已研制出 800kV 的 SF₆ 断路器,1100kV 的 SF₆ 断路器及其 GIS 也在研制中。我国高压电器行业整体技术水平正在全面提升。