



新世纪高等学校规划教材·自动化系列

电气控制与 可编程控制器

西门子系列

主 编◎赵景波

副主编◎王 超 张 良



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社



新世纪高等学校规划教材·自动化系列

电气控制与 可编程控制器

西门子系列

DIANQI KONGZHI YU
KEBIANCHENGKONGZHIQI

主 编◎赵景波

副主编◎王 超 张 良

北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电气控制与可编程控制器：西门子系列 / 赵景波主编. —北京：北京师范大学出版社，2017.8

新世纪高等学校规划教材·自动化系列

ISBN 978-7-303-22422-7

I. ①电… II. ①赵… III. ①电气控制—高等学校—教材
②可编程序控制器—高等学校—教材 IV. ①TM571.2 ②TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 143892 号

营销中心电话 010-62978190 62979006
北师大出版社科技与经管分社 www.jswsbook.com
电子信箱 jswsbook@163.com

出版发行：北京师范大学出版社 www.bnup.com
北京市海淀区新街口外大街 19 号
邮政编码：100875

印刷：北京中印联印务有限公司
经销：全国新华书店
开本：787 mm×1092 mm 1/16
印张：21.5
字数：447 千字
版次：2017 年 8 月第 1 版
印次：2017 年 8 月第 1 次印刷
定价：46.00 元

策划编辑：李 丹
美术编辑：刘 超
责任校对：赵非非

责任编辑：李 丹
装帧设计：刘 超
责任印制：赵非非

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话：010—58800697

北京读者服务部电话：010—58808104

外埠邮购电话：010—58808083

本书如有印装质量问题，请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话：010—58800825

前 言

电气控制是以电力拖动系统或生产过程为控制对象,以实现生产过程自动化为目的的控制技术。作为现代工业的基础,电气控制现已广泛应用于工业、农业、国防等各领域和人们的日常生活中,并随着科学技术的发展得到迅猛的发展。现代电气控制技术在原有的继电器接触器控制技术的基础上,集合应用了计算机技术、检测技术、自动控制技术、网络和通信技术等先进的科学技术成果。

作为现代控制技术的一个分支,可编程序控制器(PLC)技术一问世就以强大的生命力占领工业控制领域。可编程序控制器是为工业控制应用而设计制造的,是综合了计算机技术、自动控制技术和通信技术的一种新型的、通用的自动控制装置。PLC以其功能强、可靠性高、使用灵活方便、易于编程以及适合在工业环境下应用等一系列优点,成为工业控制领域中增长速度最迅猛的工业控制设备。PLC已经成为现代工业自动化的重大支柱之一。

本书首先介绍了低压电器和电气控制线路,然后以德国西门子公司的S7-200系列PLC为主线,以STEP 7编程系统为平台,系统介绍了PLC的结构和原理、指令系统、编程方法、通信和网络以及在工业中的应用等内容。以“重视基础,循序渐进”“贴近实际”作为本书的编写宗旨和特色,图文并茂,实例丰富,讲解细致。为了保证内容的准确性和新颖性,本书编写时以英文资料为准,参考了西门子公司网站(包括德文网站)下载的最新资料,同时参考了编程软件STEP 7内容丰富的帮助文件和例子。

本书由赵景波(青岛理工大学)任主编,王超(昌吉学院)、张良(绵阳师范学院)任副主编。其中第1章、第2章由张良编写,第3章、第4章由王超编写,其余各章及附录由赵景波编写。最后由赵景波对全书进行统稿。

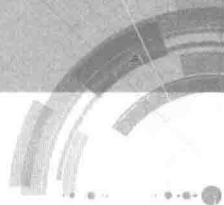
本书同时得到了青岛理工大学、昌吉学院和绵阳师范学院的帮助和支持。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中难免存在疏漏和不妥之处,恳请广大读者提出宝贵意见。

编 者

2017年5月

目 录



第 1 章 常用低压电器	1
1.1 概述	1
1.2 电磁式电器结构及工作原理	3
1.3 接触器	5
1.4 继电器	7
1.5 低压开关	13
1.6 主令电器	17
1.7 熔断器	20
思考与练习	24
第 2 章 电气控制系统中的基本控制电路	25
2.1 电气控制线路的绘制	25
2.2 三相异步电动机的直接起动控制	29
2.3 三相异步电动机的减压起动控制	34
2.4 三相异步电动机的制动控制	39
2.5 三相异步电动机的调速控制	41
2.6 三相异步电动机的其他典型控制	44
2.7 典型生产机械电气控制电路分析	46
2.8 电气控制线路设计方法基础	50
思考与练习	54
第 3 章 可编程控制器硬件和工作原理	55
3.1 概述	55
3.2 S7-200 系列 PLC	69
思考与练习	81

第 4 章 S7-200 的基本指令	83
4.1 输入/输出指令	83
4.2 触点串、并联指令	84
4.3 置位、复位指令	85
4.4 边沿脉冲指令	86
4.5 立即指令	87
4.6 电路块连接指令	89
4.7 逻辑堆栈指令	90
4.8 定时器指令	92
4.9 计数器指令	97
4.10 比较指令	100
4.11 基本指令编程应用	102
思考与练习	109
第 5 章 S7-200 的功能指令	113
5.1 运算指令	113
5.2 数据处理指令	125
5.3 表功能指令	133
5.4 转换指令	138
5.5 程序控制类指令	146
5.6 特殊指令	154
5.7 广告牌循环彩灯的 PLC 控制	186
思考与练习	188
第 6 章 PLC 梯形图程序设计	189
6.1 PLC 的程序设计方法	189
6.2 梯形图设计规则	193
6.3 顺序功能图	193
6.4 PLC 程序及调试说明	199
6.5 典型的简单电路编程	201
6.6 典型的简单环节编程	205
6.7 顺序控制功能图在小车行程控制中的应用	210

思考与练习	212
第 7 章 S7-200 系列 PLC 的通信与网络	213
7.1 PLC 数据通信的基础知识	213
7.2 S7-200 的通信系统与网络	221
7.3 S7-200 的网络通信及应用	230
7.4 西门子 MPI 协议及应用	245
7.5 Profibus-DP 通信及应用	246
7.6 工业以太网通信及应用	251
7.7 PLC 与远程 PC 的通信	256
思考与练习	258
第 8 章 PLC 控制系统的应用设计	259
8.1 PLC 控制系统的总体设计	259
8.2 提高 PLC 控制系统可靠性的措施	265
8.3 PLC 控制系统的设计分析	274
8.4 自动售货机的设计	291
思考与练习	302
附录 STEP 7-Micro/WIN 编程软件	307
1 编程软件 STEP 7-Micro/WIN 的安装	307
2 STEP 7-Micro/WIN 编程软件的功能	307
3 STEP 7-Micro/WIN 编程软件的使用	314
4 仿真运行点动控制程序	329
参考文献	333

第1章 常用低压电器

在工业、农业、交通、国防等部门以及人民生活中,电能的应用越来越广泛。为了安全、可靠地使用电能,电路中就必须装各种起调节、分配、控制和保护等作用的低压电器。本章主要介绍了用于电力拖动自动控制系统领域中常用的低压电器,了解和掌握常用低压电器的结构、工作原理、型号、规格、用途等有关知识能为正确选择和合理使用这些低压电器打下基础。

1.1 概述

依据我国现行标准,工作电压在交流 1200V 及以下或直流 1500V 及以下、在电气线路中起通断、保护、控制或调节作用的电器称为低压电器。低压电器的种类繁多,构造原理各异,用途广泛。下面从其用途、动作方式和工作原理等方面来介绍其分类方法。

1.1.1 低压电器的分类

1. 按用途分类

①配电器:主要用于低压配电系统中,进行电能的输送和分配。要求在系统发生故障时保护动作准确,工作可靠,有足够的热稳定性和动稳定性。包括刀开关、隔离开关、空气断路器、保护继电器、熔断器、避雷器等。

②控制电器:主要用于各种电气传动系统中,对电路及系统进行控制。包括接触器、控制继电器、起动器、控制器等。

2. 按动作方式分类

①自动切换电器:依靠电或非电信号自动完成切换动作。包括自动开关、继电器、接触器等。

②手动切换电器:依靠人工直接操作完成切换动作。包括控制按钮、刀开关、转换开关等。

3. 按工作原理分类

①电磁式电器:利用电磁感应原理进行工作的电器。包括交直流接触器、电磁式继电器等。

②非电量控制电器:依靠外力或非电物理量的变化而工作的电器。包括刀开关、按钮、行程开关、压力继电器、速度继电器等。

4. 按执行机能分类

①有触点电器:利用触头的接触和分离来通断电路的电器。如刀开关、接触器、继电器等。

②无触点电器：利用电子电路发出检测信号，达到执行指令并控制电路的目的。如电感式开关、电子接近开关、晶体管式时间继电器等。

► 1.1.2 低压电器的技术指标

为保证电器设备安全可靠的工作，国家对低压电器的设计、制造制定了严格的标准，合格的电器产品必须满足国家标准规定的技术要求。我们在使用电气元件时，必须按照产品说明书中规定的技术条件选用。低压电器的技术指标主要有以下几项。

1. 额定电流

①额定工作电流：在规定条件下，保证开关电器正常工作的电流值。

②额定发热电流：在规定条件下，电器处于非封闭状态，开关电器在 8h 工作制下，各部件温升不超过极限值时，所能承受的最大电流值。

③额定封闭发热电流：在规定条件下，电器处于封闭状态，在所规定的最小外壳内，开关电器在 8h 工作制下，各部件的温升不超过极限值时，所能承受的最大电流值。

④额定持续电流：在规定条件下，开关电器在长期工作制下，各部件的温升不超过限定值时所能承受的最大电流值。

2. 额定电压

①额定工作电压：在规定条件下，保证电器正常工作的电压值。

②额定绝缘电压：在规定条件下，用来度量电器及其部件的绝缘强度、电气间隙和漏电距离的标称电压值。除非另有规定，一般为电器最大额定工作电压。

③额定脉冲耐受电压：反映电器在其所在系统发生最大过电压时所能耐受的能力。额定绝缘电压和额定脉冲耐受电压共同决定绝缘水平。

3. 绝缘强度

绝缘强度是指电气元件的触头处于分断状态时，动静触头之间耐受的电压值（无击穿或闪烁现象）。

4. 耐潮湿性能

耐潮湿性能指保证电器可靠工作允许的环境潮湿条件。

5. 极限允许温升

电器的导电部件通过电流时将引起发热和温升。极限允许温升指为防止过度氧化和烧熔而规定的最高温升值（温升值 = 实测温度 - 环境温度）。

6. 操作频率及通电持续率

开关电器每小时内可以实现的最高操作次数称为操作频率。通电持续率是电器工作于断续周期工作制时负载工作时间与工作周期之比，通常以百分数表示。

7. 寿命

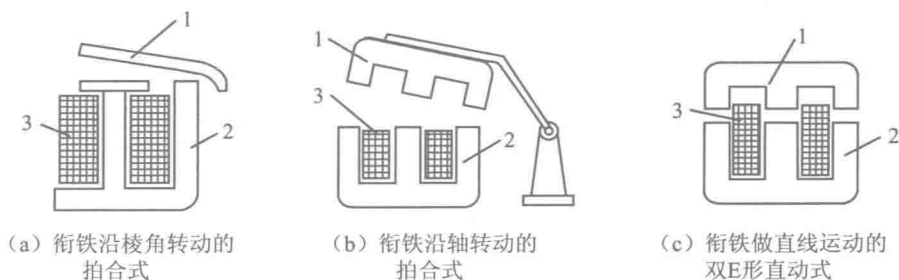
电器的寿命包括电气寿命和机械寿命。电气寿命是指电器元件的触头在规定的电路条件下，正常操作额定负荷电流的总次数。机械寿命是指电器元件在规定的使用条件下，正常操作的总次数。对于有触点的电器，其触头在工作中除机械磨损外，还有比机械磨损更为严重的电磨损。因而，电器的电气寿命一般小于其机械寿命。

1.2 电磁式电器结构及工作原理

电磁式低压电器在电气控制线路中使用量最大,类型也非常繁多。一般地,电磁式低压电器的工作原理和构造都基本相同。从结构上来看,主要有两个部分,即感测部分和执行部分。感测部分是感受外界信息,并做出反应。执行部分根据控制指令,接通或断开电路。下面将简单介绍电磁式低压电器的电磁机构、触头系统和灭弧装置。

1.2.1 电磁机构

电磁机构又称磁路系统,其主要作用是将电磁能转换为机械能并带动触头动作从而接通或断开电路。电磁机构由动铁芯、衔铁和电磁线圈三部分组成。按照通过线圈的电流种类可分为交流电磁机构和直流电磁机构。电磁机构常用的结构形式如图 1-1 所示。其中,图 1-1(a)中,衔铁绕磁棱角转动,磨损小,铁芯采用软铁做成,适用于直流接触器。图 1-1(b)中,衔铁绕轴转动,铁芯用硅钢片叠成 U 形或 E 形,适用于交流接触器。图 1-1(c)中,衔铁在线圈内做直线运动,适用于交流接触器和继电器。



1—衔铁 2—铁芯 3—电磁线圈

图 1-1 常用的电磁机构结构形式

1. 铁芯

交流电磁机构的铁芯一般采用硅钢片叠制而成,以减少交变磁场在铁芯中产生的涡流及磁滞损耗,避免铁芯过热。交流电磁机构的铁芯有短路铜环,又称减振环,其作用是减少交流接触器吸合时产生的振动和噪声。直流电磁机构的铁芯由整块的铸钢或铸铁制成,以增加磁导率。

2. 线圈

线圈是电磁机构非常重要的部件。按通入线圈电源种类的不同,可分为交流线圈和直流线圈。根据线圈在电路中连接方式可分为串联线圈(电流线圈)和并联线圈(电压线圈)。串联线圈的导线粗,匝数少,阻抗小;并联线圈的导线细,匝数多,阻抗大。从结构上看,线圈可分为有骨架和无骨架两种。交流电磁机构的线圈多为有骨架结构,形状为短而粗的“矮胖形”;直流电磁机构的线圈多为无骨架结构,形状为长而薄的“瘦高形”。

3. 工作原理

电磁式电器的工作原理如图 1-2 所示。当电磁线圈通电后,衔铁在电磁感应的作用下被磁化产生电磁吸力,当电磁吸力克服弹簧的弹力后使得衔铁向下移动,与铁芯吸

合，同时衔铁带动支架使动静触点闭合。当电磁线圈断电或者电压大幅度下降时，电磁吸力减小或者消失，衔铁在弹簧弹力作用下复位，同时动静触点分离、复位。

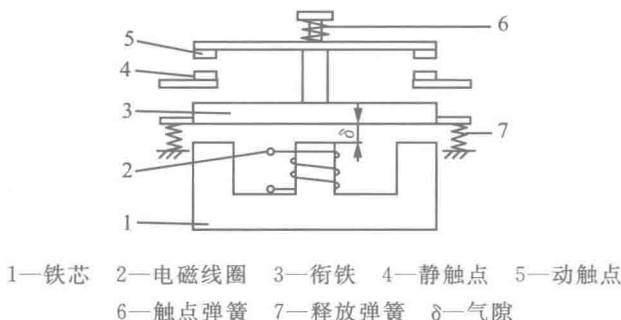


图 1-2 电磁式电器工作原理

1.2.2 触头系统

触头也称触点，是接触器的执行元件，用来接通或者断开被控制的电路。触头工作的好坏直接影响整个电路的工作性能。触头按照其控制的电路可以分为主触头和辅助触头。主触头用来接通和断开主电路，允许通过的电流大；辅助触头用于接通和断开控制电路，允许通过的电流小。触头按照未通电时的状态分为常开触头和常闭触头。常开触头在线圈通电后闭合；常闭触头在线圈通电后断开。触头按照结构形式可以分为桥式触头和指形触头，如图 1-3 所示。

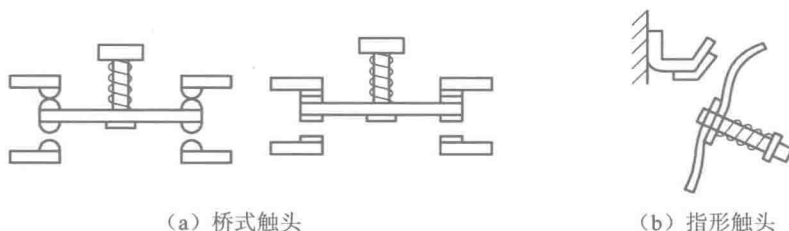


图 1-3 触头结构形式

触头按照接触形式可以分为点接触、线接触、面接触 3 种，如图 1-4 所示。点接触允许通过的电流较小，常用于辅助触点。面接触或线接触允许通过的电流较大，常用于大电流的场合，如交流接触器的主触点。

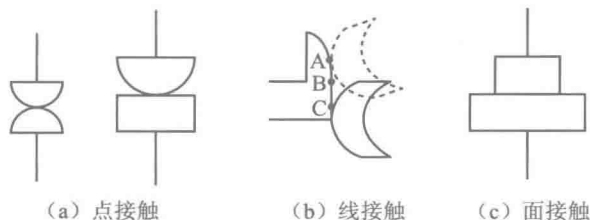


图 1-4 触头接触形式

1.2.3 灭弧装置

触头分开瞬间，在动、静触头之间会产生很强的电弧。电弧是触头间气体在强电

场作用下产生的放电现象。强烈的放电会产生高温并有强光,使电路的切断时间延长,甚至烧损触头,影响接触器的正常工作。为此必须采用有效的措施进行灭弧。常用的灭弧方法有机械灭弧、磁吹灭弧、窄缝灭弧和栅片灭弧等。

1. 机械灭弧

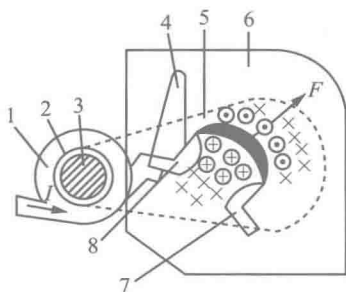
通过机械将电弧迅速拉长,用于开关电路。

2. 磁吹灭弧

磁吹灭弧装置如图 1-5 所示。在触头电路中串入一个吹弧线圈,在其磁力作用下,电弧受到电磁力的作用被拉长并被吹入由固体介质构成的灭弧罩内,电弧与固体介质接触被冷却熄灭。

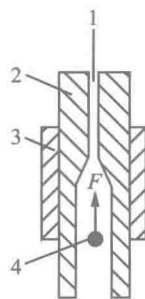
3. 窄缝灭弧

窄缝灭弧装置如图 1-6 所示,它是利用灭弧罩的窄缝来实现的。灭弧罩内只有一个纵缝,缝的下部宽,上部窄,当触头断开时,电弧在电动力的作用下进入弧罩的窄缝中,窄缝将电弧直径压缩,并使电弧与缝壁紧密接触,加强冷却和消除电离作用,使电弧快速熄灭。



1—吹弧线圈 2—绝缘套筒 3—铁芯 4—引弧角
5—导磁夹板 6—灭弧罩 7—动触点 8—静触点

图 1-5 磁吹灭弧装置

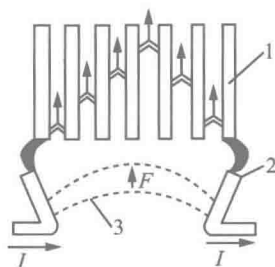


1—纵缝 2—介质
3—磁性夹板 4—电弧

图 1-6 窄缝灭弧装置

4. 栅片灭弧

栅片灭弧示意图如图 1-7 所示。当触头分断时,产生的电弧在电场力的作用下被推入一组金属栅片,从而将电弧分成数段短电弧,当交流电压过零时,电弧自然熄灭。两个栅片间必须要有 150~250V 电压,电弧才能重燃。一方面电源电压不足以维持电弧重燃,另一方面栅片吸收电弧热量,使电弧迅速冷却,所以电弧进入灭弧栅后就很快的熄灭了。这是一种常用的交流灭弧装置。



1—灭弧栅片 2—触点 3—电弧

图 1-7 栅片灭弧示意图

1.3 接触器

接触器是一种用来接通或切断交直流主电路和控制电路的自动控制电器,其主要控制对象是电动机,也可以是其他电力负载,如电焊机、电热器等。它的作用和刀开关很相似,但接触器不仅能切断和接通电路,还具有零电压保护、欠电压释放、控制

容量大、工作可靠、适用于远距离频繁控制等优点。因此接触器在电路拖动与自动控制系统中应用非常广泛。

接触器种类繁多，按照使用的电路不同分为交流接触器和直流接触器；按驱动方式可以分为电磁式接触器、气动接触器和电磁气动接触器；按照灭弧介质分为空气电磁接触器、油浸式接触器和真空接触器。在工业生产中，使用最广泛的是电磁式交流接触器。

► 1.3.1 交流接触器

1. 交流接触器的结构

交流接触器主要由电磁机构、触头系统、灭弧装置和其他辅助部件构成。电磁系统包括线圈、静铁芯和动铁芯(衔铁)，其作用是将电磁能转换为机械能，产生电磁吸力，带动触点运动；触头系统包括用于接通、切断主电路的主触头和用于控制电路的辅助触头；灭弧装置用于迅速切断主触头断开时产生的电弧，防止主触头烧毛、熔焊，对于容量较小的交流接触器，常采用陶土灭弧罩灭弧，对于容量较大的交流接触器，常采用灭弧栅灭弧。

2. 交流接触器工作原理

当交流接触器线圈通电后，在电磁力的作用下，衔铁闭合动作，从而带动动触点动作，使常闭触点断开，常开触点闭合。当线圈断电或者电压明显下降时，电磁吸力也将消失或者下降，此时衔铁在反作用弹簧的作用下，触点复位。接触器的文字符号为 KM，图形符号如图 1-8 所示。



图 1-8 接触器符号

► 1.3.2 直流接触器

直流接触器线圈通以直流电，主触头接通或切断主电路。直流接触器铁芯中不产生涡流和磁滞损耗，所以不发热，铁芯可用整块钢制成。为保证散热良好，通常将线圈绕制成长而薄的圆筒状。直流接触器灭弧较难，一般采用灭弧能力较强的磁吹灭弧装置。

► 1.3.3 接触器的主要技术参数

1. 额定电压

接触器铭牌额定电压是指主触点上的额定电压。通常用的电压等级为：

直流接触器：110V、220V、440V、660V。

交流接触器：220V、380V、500V、600V。

2. 额定电流

接触器铭牌额定电流是指主触点的额定电流。通常用的电流等级为：

直流接触器：5A、10A、20A、40A、60A、100A、150A、250A、400A、600A。

交流接触器：5A、10A、16A、20A、32A、40A、55A、60A、80A、100A、125A、150A、250A、315A、400A、600A、630A。

3. 电磁线圈的额定电压

通常用的电压等级为：

直流线圈：24V、48V、110V、220V、440V。

交流线圈：24V、36V、127V、220V、380V。

一般情况下，交流负载用交流接触器，直流负载用直流接触器，但交流负载频繁动作时也可采用带直流线圈的交流接触器。

4. 额定操作频率

额定操作频率指允许每小时接通的最多次数。根据型号不同而有所不同。操作频率将直接影响接触器的使用寿命。

5. 电气寿命和机械寿命

电气寿命是指接触器的主触点在额定负载条件下，所允许的极限操作次数。机械寿命是指接触器在不需修理的条件下，所能承受的无负载操作次数。现代生产的接触器电气寿命可达50万~100万次，机械寿命可达500万~1000万次。

► 1.3.4 接触器的选用原则

选择接触器时应从其工作条件出发，主要考虑下列因素：

①控制交流负载应选用交流接触器，控制直流负载选用直流接触器。

②主触头和辅助触头的数量应能满足控制系统的需要。

③主触头的额定工作电压应大于或等于负载电路的电压。

④线圈的额定电压应与控制回路电压相一致。一般来说接触器在线圈额定电压85%及以上时才能可靠地吸合。

⑤主触头的额定工作电流应大于或等于负载电路的电流。对于电动机负载可按下列经验公式计算：

$$I_c = \frac{P_N}{K U_N}$$

式中： I_c 为接触器主触点电流(A)； P_N 为电动机额定功率(kW)； U_N 为电动机的额定电压(V)； K 为经验系数，一般取1~1.4。

选用接触器的额定电流应大于或等于 I_c 。这里需要指出的是，接触器主触头的额定工作电流是在规定条件下(额定工作电压、使用类别、操作频率等)能够正常工作的电流值，当实际使用条件不同时，这个电流值也将随之改变。例如，在电动机频繁启停或者频繁正反转的场合，一般将接触器的额定电流降低一个等级来使用。

► 1.4 继电器

继电器是一种根据某种输入信号的变化而接通或断开控制电路，实现自动控制和保护电气控制线路的电器。这里的输入信号可以是电压、电流等电量，也可以是转速、时间、温度、压力等非电量。继电器一般不用来直接控制电流较强的主电路，而是通过接触器或者其他电器对电路进行控制。和接触器相比，继电器的触点断流能力较小，

一般不需要灭弧装置，因此它的结构简单，体积小，质量轻，但对继电器动作的准确性则要求较高。继电器种类繁多，常用的有电流继电器、电压继电器、中间继电器、时间继电器、热继电器、温度继电器、压力继电器、计数继电器、频率继电器等。下面将介绍几种常用的继电器。

► 1.4.1 电磁式继电器

电磁式继电器就是采用电磁式结构的继电器。由于其结构简单，价格便宜，使用维护方便，现已被广泛地应用在电气控制系统中。电磁式继电器的结构和原理与接触器基本相同，但也有一些不同之处。继电器的输入可以是各种物理量，而接触器的输入量只有电量；继电器主要实现对各种信号的感测，并且通过比较确定其动作值，所以它强化感测的灵敏性、动作的准确性及反应的快速性，其触点通常接在小容量的控制电路中，一般不采用灭弧装置，而接触器主要是控制主电路的通断，通常都有灭弧装置。

电磁式继电器按照通入线圈电流种类不同可分为直流电磁继电器与交流电磁继电器，按继电器所反映的参量可以分为电流继电器、电压继电器、中间继电器、时间继电器等。

继电器的主要特点是具有跳跃式的输入—输出特性，电磁式继电器的特性如图 1-9 所示，这一矩形曲线统称为继电特性曲线。

当继电器输入量 x 由 0 增至 x_2 以前，继电器输出 y 为 0。当输入量增加到 x_2 时，继电器吸合，输出量为 y_1 。如果再继续增大 x ， y 保持 y_1 不变。当 x 小于 x_1 继电器释放，输出量由 y_1 到 0。当 x 继续减小， y 仍然保持输出为 0。在图 1-9 中， x_2 称为继电器吸合值， x_1 称为继电器释放值。要让继电器吸合，输入量必须等于或者大于 x_2 。要让继电器释放，输入量必须等于或者小于 x_1 。

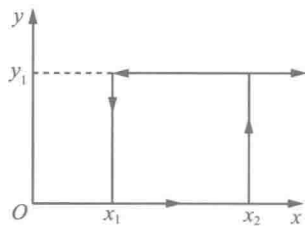


图 1-9 继电特性曲线

$k = x_1/x_2$ 称继电器返回系数，它是继电器重要的参数之一，该参数可以通过调整释放弹簧的松紧程度来调节。另一个重要参数是吸合时间和释放时间：吸合时间是指线圈收到电信号到衔铁完全吸合需要的时间，释放时间是指线圈断电到衔铁完全释放所需的时间。普通继电器的释放和吸合时间是 0.05~0.15s，快速继电器为 0.005~0.05s，它的大小会影响继电器的操作频率。

1. 电流继电器

根据电流大小而动作的继电器，称为电流继电器。电流继电器分为欠电流继电器和过电流继电器两类。电流继电器的线圈串接在被测量的电路中，以感应电路电流的变化。为了不影响电路工作情况，电流继电器线圈匝数少，导线粗，线圈阻抗小。

在电路中，流过电流继电器的电流高于某一整定电流值而动作的称为过电流继电器，而低于某一整定电流值时动作的称为欠电流继电器。过电流继电器对电路起过电流保护，欠电流继电器对电路起欠电流保护。

在选用电流继电器时，首先根据对负载的保护作用（是过电流还是欠电流）来选择电流继电器类型，然后要保证线圈电压的种类和等级应与负载电路一致，最后根据控

制电路的要求选择触点的数量、类型(常开还常闭)和返回系数。电流继电器的文字符号为 KI, 图形符号如图 1-10 所示。

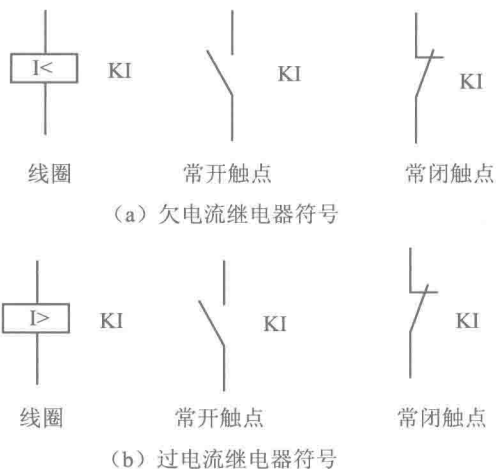


图 1-10 电流继电器符号

2. 电压继电器

根据电压大小而动作的继电器称为电压继电器。电压继电器的结构与电流继电器相似, 不同的是电压继电器线圈为并联的电压线圈, 匝数多, 导线细, 阻抗大。电压继电器按动作电压值的不同, 有过电压继电器、欠电压继电器和零电压继电器之分。

过电压继电器是当电压高于某一整定电压值(一般为被保护电路额定电压的 1.05~1.2 倍)而动作的称为过电压继电器; 低于某一整定电压值(一般为被保护电路额定电压的 0.2~0.5 倍)时动作的称为欠电压继电器; 而低于被保护电路额定电压的 0.05~0.25 倍时动作的称为零电压继电器。

选用电压继电器时的方法和选用电流继电器相似, 首先要确定电压继电器类型, 然后要保证线圈电压的种类和等级应与负载电路一致, 最后考虑触点的数量、类型和返回系数。电压继电器的文字符号为 KV, 图形符号如图 1-11 所示。

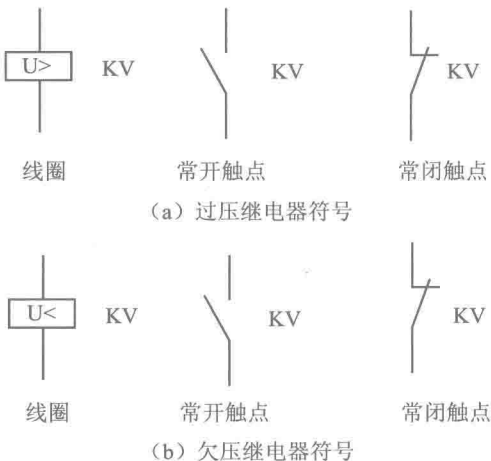


图 1-11 电压继电器符号

3. 中间继电器

中间继电器实质上也是一种电压继电器，是用来转换控制信号的中间元件。它的特点是触点数量较多，各触点的额定电流相同。中间继电器通常用于扩大触点数量，起到信号传递、联锁、转换以及隔离的作用。除了专用的中间继电器外，额定电流小于 5A 的接触器也可以作为中间继电器来使用，但中间继电器一般只用于控制电路，中间继电器也有交直流之分，可以分别用于交流和直流控制电路。中间继电器的文字符号为 KA，图形符号如图 1-12 所示。



图 1-12 中间继电器符号

1.4.2 时间继电器

时间继电器是在电路中起着控制动作时间的继电器，当时间继电器的线圈通电后，需要经过一定时间延迟，它的触点才能闭合或者断开。时间继电器按照工作原理分类，有电磁式、电动式、空气阻尼式、电子式、数字式等类型。其中，电磁式和电动式时间继电器基本趋于淘汰，空气阻尼式在定时精度不高、延时较短的地方还可以使用，电子式和数字式时间继电器是现在的主流产品。这里仅介绍数字式时间继电器。

数字式时间继电器具有延时范围长、精度高、体积小等特点，适用于各种需要精确延时的场合和各种自动控制电路中，通常具有图 1-13 的电路结构。

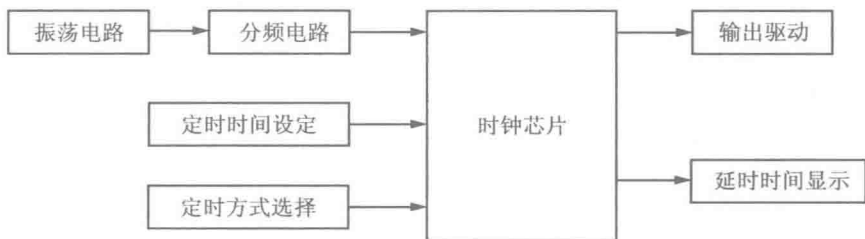


图 1-13 数字式时间继电器原理框图

时间继电器有通电延时和断电延时两种类型。通电延时型继电器接收输入信号后，延迟一定的时间后输出信号才发生改变，而当输入信号消失后，输出信号瞬时复位；断电延时继电器接收输入信号后，瞬时产生输出信号，当输入信号消失后，延迟一定的时间，输出信号才复位。时间继电器的图形符号如图 1-14 所示，文字符号用 KT 表示。

选用时间继电器时，应该按照控制系统提出的控制要求，并根据延时方式选择通电延时型或断电延时型，然后再确定触头延时形式（是延时闭合还是延时断开）和数量。随着电子技术的发展，电子式和数字式时间继电器可靠性和精度不断提高，延时范围广，价格低，如果没有特殊要求，一般应选用电子式或数字式时间继电器。