

数字控制 系统

李九龄 翁樟 董登武 吴秋峰 编著

机械工业出版社



数 字 控 制 系 统

李九龄 翁 樟 编著
董登武 吴秋峰



机 械 工 业 出 版 社

自
益广
动化
必修
本
了系
践编
写,多
动化
本
由

本书较全面地阐述了数字控制系统的硬件组成和软件控制技术。第一章至第三章为顺序控制系统,第四章至第七章介绍了插补原理、程序控制系统的组成及软件编制。第八章至第十一章介绍了微型计算机控制系统的硬件结构及数字控制器的算法,第十二章扼要介绍了分级分布计算机控制系统。本书选材注意理论联系实际,选编了许多工程技术中具有代表性的实例。

本书可作为高等院校自动控制、工业自动化、计算机应用等专业的教材,也可作为工大、电大、专科学校及微型机专修班的参考教材或供从事微型计算机控制的工程技术人员阅读。

数 字 控 制 系 统

李九龄 翁 樟 编著
董登武 吴秋峰

*

责任编辑:王中玉

封面设计:王 伦

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $14 \frac{1}{4}$ · 字数 349 千字

1988年12月北京第一版·1988年12月北京第一次印刷

印数 0,001—3,900 · 定价:7.40元

*

ISBN 7-111-00570-8/TP·34

前 言

自动控制系统主要按控制对象是连续量还是离散量分为两大类。由于微型计算机的应用日益广泛，许多被控对象本来是连续的系统也离散化了。数字控制系统属于离散系统，它在自动化系统中的应用非常广泛，因此“数字控制系统”是自动控制及工业自动化等专业的一门必修课程。

本书力图把数字控制与工业过程控制紧密结合起来，从工程实际应用出发，在选材上注意了系统性和实用性；在编写中参阅了国内外有关教材和文献资料，本书是编者经几次教学实践编写的。全书共分十五章，其中第一章至第三章由董登武编写；第四章至第七章由翁樟编写；第十二章由吴秋峰编写；第八章至第十一章由李九龄编写。在编写中得到了清华大学自动化系工业自动化教研组许多同事的帮助，并承蒙郑维敏教授审阅，编者在此深表感谢。

本书作为教材时，参考教学时数为67学时，其中实验学时约占18学时。

由于编写水平有限，书中难免存在缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

编者

目 录

第一章 顺序控制系统概述	1
第一节 顺序控制的概念	1
第二节 顺序控制系统的组成	3
第三节 顺序控制系统分类	4
第二章 电器控制系统	6
第一节 电器元件及其符号	6
第二节 典型的控制单元	9
第三节 电器控制系统的设计	13
第三章 顺序控制器	24
第一节 逻辑组合式顺序控制器	24
第二节 步进式顺序控制器	29
第三节 一位微处理机	37
第四节 可编程序控制器	63
第五节 微型机顺序控制系统	72
第四章 数字程序控制系统的基本原理	80
第一节 数字程序控制的概念	80
第二节 数字程序控制系统的组成	81
第三节 数字程序控制系统的分类	82
第五章 插补原理	84
第一节 插补的概念	84
第二节 常用的插补方法	85
第六章 程序控制系统的硬件实现	104
第一节 实现程序控制的硬件系统结构	104
第二节 驱动系统	105
第三节 举例	109
第七章 程序控制的软件编制	110
第一节 拟定流程图,选择合适的数学模型	110
第二节 基本参数的选择与确定	113
第三节 程序举例	114
第八章 计算机控制系统概述	126
第一节 概述	126
第二节 微型机控制系统的组成及特点	126
第三节 微型机控制系统的分类	127
第九章 微型机控制系统的过程通道	131
第一节 概述	131
第二节 微型机的过程通道	136

IV

第三节 微型机控制系统的抗干扰措施	144
第十章 微型机控制系统设计与综合	146
第一节 模拟调节规律的离散化	146
第二节 数字控制器的程序实现	154
第三节 对象具有纯滞后的数字控制器的设计	163
第四节 离散系统二次型最优控制	166
第五节 系统参数的估计	170
第六节 状态估值	177
第七节 微型机控制系统的设计举例	180
第十一章 单片微型机控制系统	191
第一节 概述	191
第二节 单片机的结构	192
第三节 单片机内部各部件的功能	195
第四节 指令系统	204
第五节 MCS48系列芯片外电路的扩展	211
第十二章 分级分布计算机控制系统概述	213
第一节 计算机控制的集散化与综合化	213
第二节 分布控制系统的通信问题	214
第三节 分解-协调及模型简化	219
第四节 几个实例	221
参考文献	223

第一章 顺序控制系统概述

第一节 顺序控制的概念

我们首先看一个实例，由此建立顺序控制的概念。

图 1-1 是一个皮带运输机的示意图。由于运输的距离较远，所以要将皮带分成若干段，此处分三段，运输的料从来料处落下，经三段皮带运输到落料处被运走。这种皮带运输机在矿石开采、码头运输、水泥制造等产业部门应用很广。

为了防止料在皮带上堆积，三段皮带在起动时必须保证皮带Ⅲ先起动，然后皮带Ⅱ起动，最后皮带Ⅰ起动，并且互相之间要有一定时间间隔，以保证先起动者有充分时间起动完毕。相反，在停车时，要保证皮带按次序Ⅰ→Ⅱ→Ⅲ停

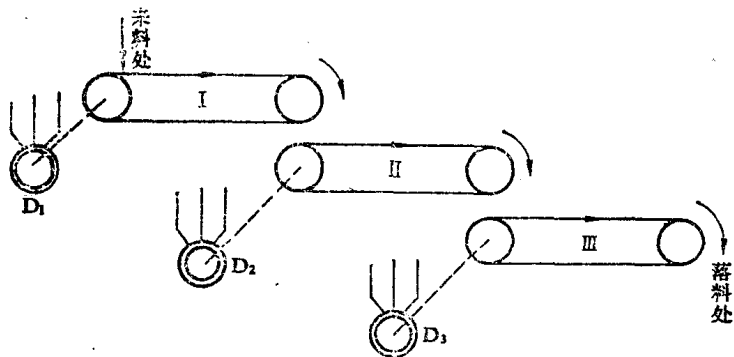


图1-1 皮带运输机示意图

车，否则同样会造成料的堆积，一旦堆积，清理起来就很麻烦。例如皮带Ⅲ尚未起动，皮带Ⅰ已起动，则料源源不断从Ⅰ运到Ⅱ；而Ⅱ不动，则料便堆在Ⅱ上，这时如果再停止Ⅰ来起动Ⅱ也不行了。因为堆积太多，致使Ⅱ起动不了，必须人工去清除堆积料。

要正确控制皮带机正常工作，必须要注意二点：

1. 依次顺序动作：即动作的次序是一定的，不得随意变动；例如起动时皮带起动次序必须是Ⅲ→Ⅱ→Ⅰ；停车时皮带制动的次序必须是Ⅰ→Ⅱ→Ⅲ，而且要有一定的时间间隔；
2. 要有记忆功能：即要记住上一步已经做了什么，下一步该做什么。这样才能正确做到按要求动作。例如在本例中，皮带运输机起动的次序是Ⅲ→Ⅱ→Ⅰ。假如Ⅲ已经起动，接着应该Ⅱ起动；而Ⅱ尚未起动时，这时皮带机的状况是Ⅲ在动，Ⅰ、Ⅱ停止。皮带机停止的次序是Ⅰ→Ⅱ→Ⅲ。即Ⅰ、Ⅱ先停，接着Ⅲ再停。如果Ⅰ、Ⅱ已停，而Ⅲ未停，这时皮带机的状况也是Ⅲ在动，Ⅰ、Ⅱ停止。如果控制中没有记忆功能，没记住上一步是在起动状态下工作，还是在停车状态下工作。那末仅根据Ⅲ在动，Ⅰ、Ⅱ停止的状况就无法决定下一步是继续起动Ⅱ，还是停止Ⅲ。

凡是具有上述两种功能的控制就是顺序控制。在顺序控制中，处理和控制的信号都是离散信号，即使有个别模拟信号，也都必须用模数转化为二值化离散信号；另外顺序控制只是对信号进行定性的处理和控制的，因此可以这样认为：顺序控制是借助于记忆元件对以离散信号为主的信号进行定性的顺序处理和控制的。

在顺序控制中，要处理好二个问题。一个是状态设计问题，用不同状态去决定同一工作情况下的不同动作；另一个是必须严格保证动作顺序及其相互间的定时关系。

在皮带运输机中，可以设定二个状态，一是起动状态，另一是停车状态。若用 RS 触发器的输出 Q_D 代表这二个状态，用 $Q_D = 0$ 表示停车状态， $Q_D = 1$ 表示起动状态，则可用起动按钮置触发器为 1，用停止按钮使触发器复位，如图 1-2 所示。

皮带运输机的控制线路如图 1-3 所示。

设 Z_1 、 Z_2 和 Z_3 分别控制三台电动机 D_1 、 D_2 和 D_3 。起动时 $Z_3 \rightarrow Z_2$ 延时 t_1 ； $Z_2 \rightarrow Z_1$ 延时 t_2 ；停车时 $Z_1 \rightarrow Z_2$ 延时 t_3 ； $Z_2 \rightarrow Z_3$ 延时 t_4 。用 Y_1 、 Y_2 、 Y_3 和 Y_4 分别代表四个延时单元的输出。

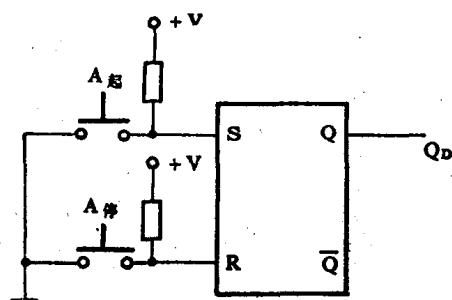


图1-2 起、停触发器

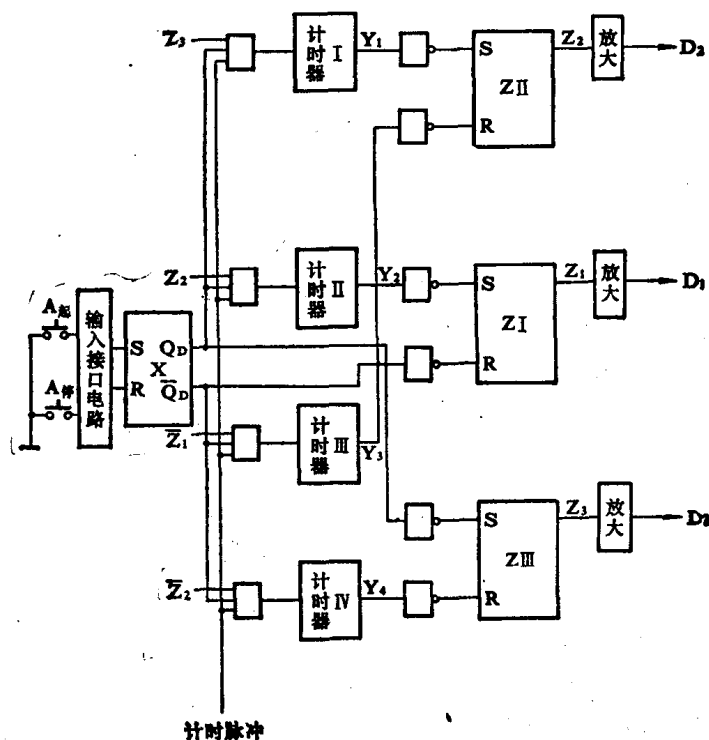


图1-3 皮带运输机的控制线路

起动按钮 $A_{起}$ 和停止按钮 $A_{停}$ 分别使触发器 X 处于二种不同的状态 $Q_D = 1$ 和 $\bar{Q}_D = 1$ 。触发器 Z_{II} 、 Z_I 、 Z_I 按起动或停止的顺序要求置位或复位，其输出信号经过放大去控制电动机，计时器 $I \sim IV$ 预置值保证所需的延时。

当按下 $A_{起}$ 后， $Q_D = 1$ ，它使 Z_{II} 置位去起动 D_3 ， Z_3 和状态 Q_D 选通计时脉冲，使计时器 I 计时。计时 t_1 后，使 $Y_1 = 1$ 。经反相使 Z_{II} 置位，起动 D_2 ， Z_2 和状态 Q_D 选通计时脉冲，使计时器 I 计时，计时 t_2 后使 $Y_2 = 1$ 。经反相使 Z_I 置位，起动 D_1 。停车时按下 $A_{停}$ ， $\bar{Q}_D = 1$ ，它使 Z_I 复位， D_1 先停， Z_1 和状态 $\bar{Q}_D$ 选通计时脉冲，使计时器 III 计时，计时 t_3 后使 $Y_3 = 1$ 。经反相后使 Z_{II} 复位，停止 D_2 ， Z_2 和状态 $\bar{Q}_D$ 选通计时脉冲，使计时器 IV 计时，计时 t_4 后使 $Y_4 = 1$ 。经反相后使 Z_{II} 复位，停止 D_3 。该线路可保证正确的起、停顺序。其中触发器 X 为起动状态与停止状态的记忆触发器。由于它的存在保证了正确的起停顺序。例如当皮带机 I 、 II 停止， III 动作时，下一步如何动作由触发器 X 的状态决定。若 X 的状态为 $Q_D = 1$ ，则为起动状态。此时 Z_3 和 Q_D 选通计时脉冲，使计时器 I 计时。经延时 t_1 后使 D_3 起动。若 X 的状态为 $\bar{Q}_D = 1$ ，则为停止状态。此时 Z_2 和 $\bar{Q}_D$ 选通计时脉冲，使计时器 IV 计时。经延时 t_4 后使 D_3 停止。

顺序控制系统在各个领域中的应用是很广泛的，例如图 1-4 所示的送料小车。送料的顺序是从甲地出发送料到丙地，空车返回甲地，再送料到乙地，然后空车返回甲地。之后重复循环上述过程。这个送料小车的控制系统既要顺序发出

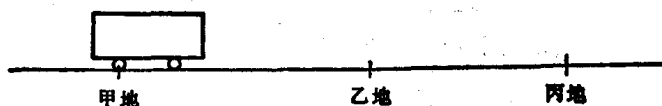


图1-4 送料小车示意图

控制信号,又要记忆上次送往何地,然后决定下次该送往何地。

例如邮票出售机,如图 1-5 所示。它接收一分、二分或五分钱的硬币,如果这个出售机专售八分钱邮票,则收满八分钱就送出邮票一张;当顾客送来的钱多于八分时,机器还要退回顾客多余的钱,因而控制系统要记住已经收了多少钱,根据钱数决定是否送出邮票,以及退回多少余钱。

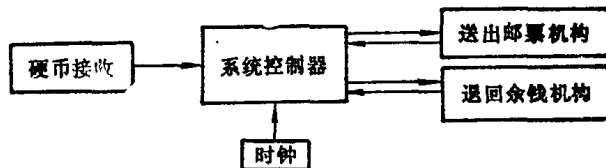


图1-5 邮票出售机控制框图

还有电梯自动控制,如图 1-6 所示。系统控制器接收乘客呼叫信号,发出输出控制信号,控制电梯停在要求的各层。

控制器要记住哪几层有乘客呼叫,是上楼还是下楼,然后决定先去哪层接客,后去哪层接客以及先送哪层乘客后送哪层乘客,正确地顺序工作。

再有针织提花帽机,如图 1-7 所示。针圈检测部分将第几圈第几针信息告诉系统控制器,系统控制器(此处用计算机)根据已送入的花型程序去控制提花机构,提花机构是由电磁铁控制提花刀头使提花针头上、下运动,使各色线织与不织,这样就可以织出彩色提花帽。控制器要记住什么位置织什么线。已经织到哪,下面该织什么,使提花针头有规律地动作,并配上一定的转速。

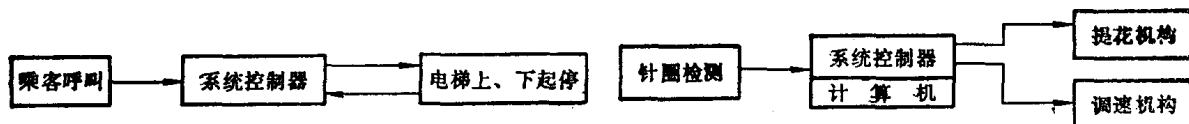


图1-6 电梯自动控制框图

图1-7 针织提花帽机控制框图

诸如上述控制系统还可以举出生产和生活中的很多例子,可见,顺序控制系统是使用广泛的一种控制系统。

第二节 顺序控制系统的组成

上节中的皮带运输机控制线路是一个典型的顺序控制系统,它由以下五个部分组成:

1. 控制器:这是系统的核心部分。它接受输入控制信号,并对输入信号进行处理,产生完成各种控制作用的输出控制信号。例如图 1-3 中的触发器 X、计时器 I~IV 和触发器 ZI、ZII、ZIII,以及所有的与非门组成了皮带机的控制器。它们完成状态的记忆和动作顺序控制,顺序控制的二个特点都体现在控制器中。

典型的顺序控制系统的控制框图如图 1-8 所示。

$$\text{输出 } Z_i = f(X_i, Y_i)$$

式中, Y_i 是系统的现时状态, X_i 是现时输入,所以现时输出 Z_i 是现时输入和系统现

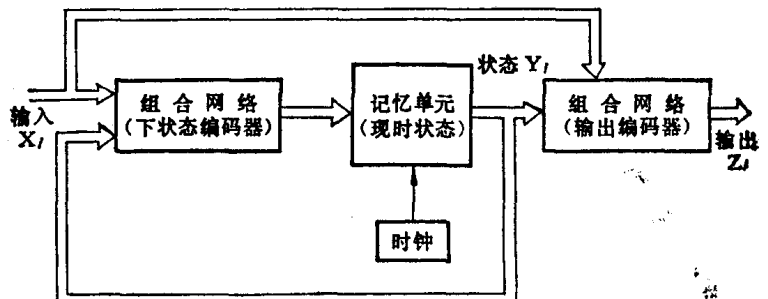


图1-8 典型顺序控制系统框图

时状态的函数。输出编码器就是实现该函数的功能块。系统下一状态

$$Y_{i+1} = g(X_i, Y_i)$$

即 Y_{i+1} 也是 X_i 和 Y_i 的函数，它用下一状态编码器实现。

系统的状态靠记忆单元存储，在时钟脉冲作用下按下一状态编码器的输出去改变状态。有了记忆状态的记忆单元，使整个控制器发生质的变化，成为时序网络。

图中的时钟可以用来自系统的时钟，也可用单独的时钟。

2. 输入接口：输入控制信号不一定能够直接加到控制器。例如上例的按钮和触发器之间无法直接传递信号，因此要把触头的动作转为电平的高低，这部分电路就是输入接口电路。

3. 输出接口：同样，当控制器的输出控制信号不能直接用来控制执行机构时也要加输出接口电路。

在皮带运输机控制中，皮带运输机是顺序控制系统的控制对象，三台电动机是执行机构，即由电动机去拖动皮带运输机；而控制器的输出控制信号是高、低电平，它不能直接去控制电动机，因此要将高、低电平转为电动机的起停。在图 1-3 中，用“放大”环节示意。实际上控制异步电动机起停常用接触器

(将在第二章介绍)，如图 1-9 所示，用三极管开关电路带动继电器——接触器去控制电动机，虚线内电路便是输出接口电路。

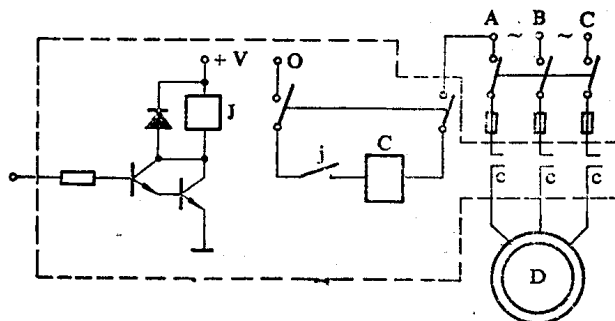


图1-9 输出接口电路

4. 检测部分：在实际控制线路中常常为了使系统工作可靠，控制器应及时了解输出接口、执行机构和控制对象实际工作情况，这就需要对这部分进行检查和测量，然后将测量信号送回控制器。例如，在上例皮带运输机控制中，是以 $Z_1 \sim Z_3$ 的电平表示各段皮带机的起停。但是这是间接的，有可能 $Z_3 = 1$ ，但由于后面电路故障，第三段皮带运输机并未真正转起来，这时再起动第二段和第一段皮带机仍然会造成堆积。因此有时在皮带机转动部分装上速度继电器，只有当皮带机转到要求的转速时，速度继电器才发出信号，该信号再通过输入接口送到控制器。这就比较可靠。

5. 显示与报警：为了调整方便、工作时监视以及故障时报警，这部分内容在实际系统中是必不可少的。因此一个典型的顺序控制系统可以用图 1-10 的结构框图表示。

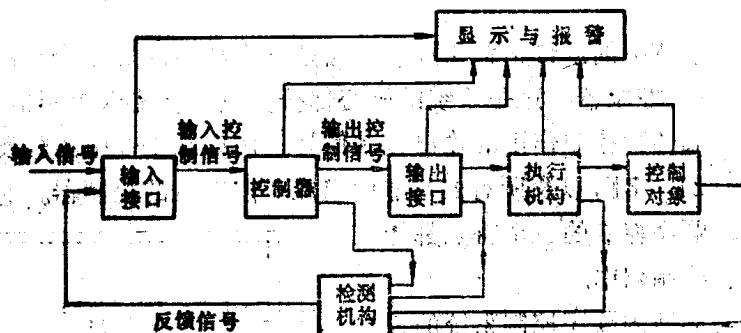


图1-10 典型顺序控制系统结构框图

第三节 顺序控制系统分类

因为控制器是顺序控制系统的核心，因此按控制器的内容将顺序控制系统分为下列六

类:

1. 电器控制系统;
2. 无触点逻辑元件控制系统;
3. 数字集成电路控制系统;
4. 矩阵式逻辑控制系统;
5. 可编程序逻辑控制系统;
6. 计算机顺序控制系统。

对于顺序控制系统来说, 不管它是那一类控制系统, 其系统的控制器用何种方法组成, 都明显具有顺序控制和状态记忆两大特点; 而除了控制器不同外, 系统的其余各部分可以完全相同, 因此下面在介绍各种顺序控制系统时, 实际上是介绍各种顺序控制系统的控制器部分。

顺序控制系统最早就是电器控制系统, 它曾叫做继电器—接触器控制系统, 因为它的主要器件是继电器和接触器。电器元件的触点容易在开断时被电弧或火花烧坏, 影响系统工作的可靠性, 为了提高可靠性, 用分立元件组成的无触点逻辑元件控制曾一度优于电器控制。随着电器元件触头材料的性能提高以及小规模集成电路的产生, 使无触点逻辑元件控制系统又逊色了。

无论是电器控制系统、无触点逻辑元件控制系统或集成电路控制系统都是用硬件来改变控制内容的。因而一个电器控制系统的硬件一旦完成, 就只能服务于专用控制对象, 通用性很差。

计算机产生后, 曾经用计算机作顺序控制, 使控制系统通用性大大提高。因为它对于各种服务对象, 硬件基本上一样, 只要从软件上改变, 进行控制即可。但是由于计算机价格昂贵, 可靠性不太高, 阻碍其推广使用。

矩阵式和可编程序的逻辑控制系统是在计算机顺序控制系统之后出现的, 它兼有计算机控制的灵活性、又有电器控制简单、价廉的特性, 此外在可靠性上也有较大的提高, 因此应用较广泛。

第二章 电器控制系统

第一节 电器元件及其符号

电器控制，顾名思义是用电器元件来进行控制。

常用的电器元件有继电器、接触器、按钮、行程开关和熔断器。下面对这些常用电器元件作简单介绍。

1. 继电器

继电器有多种：电磁继电器、舌簧（干簧）继电器、热继电器和时间继电器。常用的是电磁继电器。

（1）电磁继电器

电磁继电器的典型结构如图 2-1 所示，它主要由铁心、线圈、衔铁、返回弹簧和动、静触点等构成。当线圈中加上规定的电压或电流。衔铁就会在电磁吸力的作用下克服返回弹簧的拉力吸向铁心，衔铁上的动触点就和静触点闭合或断开，图中有二个动触点和二个静触点，衔铁被吸合时闭合的一对动静触点叫做常开触点，因为在线圈断电时是打开的。衔铁被吸合时打开的一对动静触点叫做常闭触点，因为它在线圈断电时是闭合的。线圈断电后，电磁吸力消失，衔铁在返回弹簧的作用下返回原位，使常闭触点闭合，常开触点打开。可见这是利用电磁原理设计的开关。

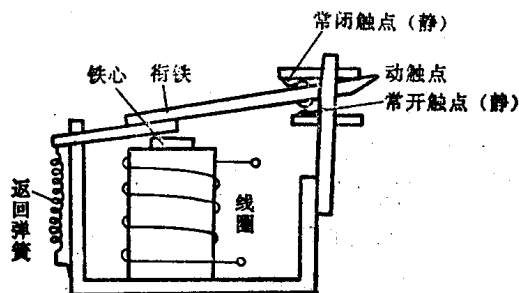


图2-1 电磁继电器结构图

电磁继电器分直流继电器和交流继电器

（以线圈所用直流电还是交流电来分）。交流继电器的铁心和衔铁都应用硅钢片，两者又分电压继电器（圈数多电流小）和电流继电器（圈数少电流大）。

（2）舌簧继电器

舌簧继电器如图 2-2 所示，它主要由线圈和舌簧管构成，舌簧管内有导磁材料做成的舌簧片，它相当于电磁继电器中的触点。当线圈通电后，舌簧片被磁化，极性如图 2-2 所示，管中舌簧片两个端部极性相反，互相吸引，相当于一对常开触点闭合。线圈断电，舌簧片靠本身的弹力分开。可见它是利用电磁感应原理设计成的开关。舌簧管还可以如图 2-3 所示用

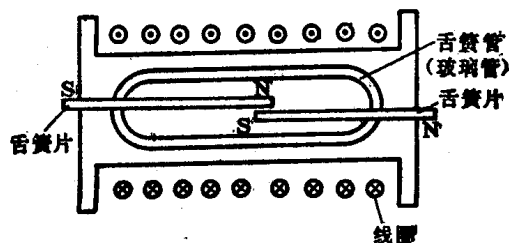


图2-2 舌簧继电器结构图

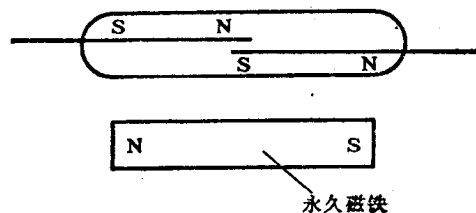


图2-3 舌簧管结构

永久磁铁使舌簧片感应。

(3) 热继电器

热继电器见图 2-4。A、B 是两块复合在一起的金属片，A 的膨胀系数大于 B，当电阻丝通电流加热时，金属片就会成弧形使常闭触点断开、常开触点闭合。

(4) 时间继电器

如图 2-5 所示，在电磁式继电器的线圈与铁心中间放入一个短路铜套或短路线圈。这可使衔铁在线圈通电或断电瞬间不能立即吸合或释放。因为在通电或断电瞬间电流是暂态过程即由于线圈有电感，电流处于过渡过程。在吸合时这个变化的电流将在短路铜套中感应电流，这个感应电流是去磁的，使吸力大小减弱，以致衔铁吸合不了，等过渡过程结束，铜套中无感应电流，衔铁才吸合，所以可以做到延时吸合。同理，释放时，电流衰减过程在铜套中感应电流却是助磁的，使吸力不会立即消失，延时释放。调节非磁性垫片厚度和返回弹簧的松紧就可以调节延时的大小，但最大不过几秒。需要长延时，可采用其他类型时间继电器，当然它们的工作原理不同，但延时作用一样，只要会使用就行，因而不在此一一赘述其它延时继电器的工作原理。

继电器的符号如图 2-6 所示：

凡是瞬时动作的继电器，不管工作原理如何，其线圈符号都一样，例如电磁继电器和舌簧继电器线圈是同一符号。用永久磁铁吸合的舌簧只画触点不画线圈。

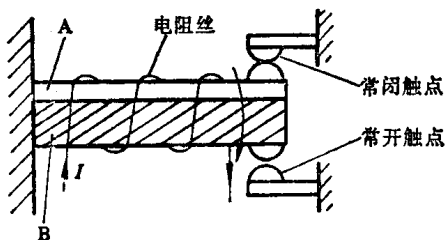


图2-4 热继电器触点示意图

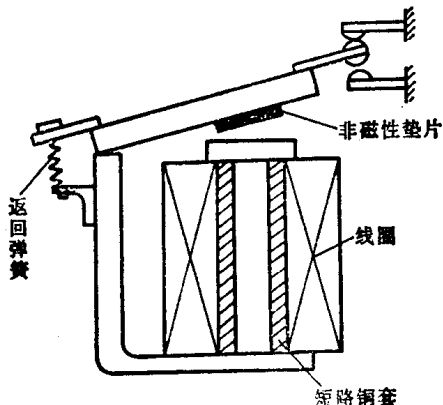


图2-5 时间继电器示意图

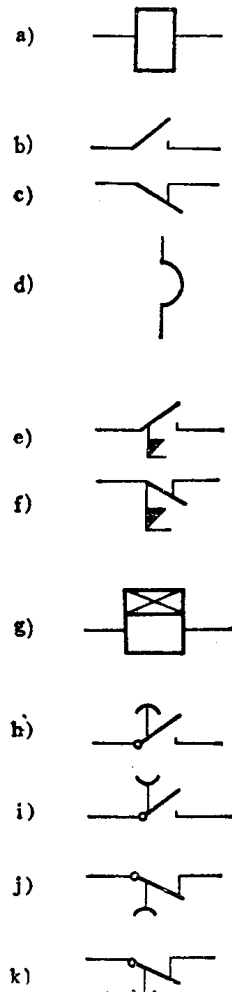


图2-6 继电器图形符号

- a) 继电器线圈 b) 继电器常开触点 c) 继电器常闭触点 d) 热继电器热敏元件 e) 热继电器常开触点 f) 热继电器常闭触点 g) 时间继电器线圈 h) 延时闭合的时间继电器常开触点 i) 延时释放的时间继电器常开触点 j) 延时释放的时间继电器常闭触点 k) 延时闭合的时间继电器常闭触点

凡是时间继电器不管其工作原理如何,例如有电磁阻尼式、钟表式、气囊式、电子式,其线圈和触点符号都一样。

对继电器的基本技术要求如下:

- 1) 工作可靠;
- 2) 动作灵敏;
- 3) 性能稳定;
- 4) 体积小、重量轻;
- 5) 寿命长:继电器的使用寿命,分机械寿命和电气寿命。

机械寿命指动作多少次后的机械损坏。它可以高达几百万次。电气寿命是指触点断开额定电流的次数,它往往比机械寿命低一个数量级,即几十万次。不同的继电器寿命是不同的。由于电气寿命比机械寿命短,继电器损坏往往是触头先损坏,所以这里提的寿命往往是指电气寿命。

- 6) 对周围元件与装置的干扰小;
- 7) 安装、维护和检修方便。

2. 接触器

接触器的工作原理和继电器一样,不同的是接触器用来通断较大电流,因而它有若干对容量较大的主触点。接触器也分直流接触器和交流接触器,区分的依据是主触点断开直流电还是断开交流电,而不是线圈加什么电。图 2-7 是交流接触器结构图。在线圈通电后,衔铁克服返回弹簧拉力而吸合,它有五对主触点可以通断大电流,还有辅助触点供控制用,图中虚线表示灭弧罩,用它可以切断电弧,保护触点。

接触器的符号如图 2-8 所示,它的线圈符号同继电器,触点符号却不同。

3. 按钮

按钮是手动开关,如图 2-9 所示。

按钮分常开按钮、常闭按钮和复合按钮。

在自动控制中,按钮常用来作为开始起动或最后结束的命令,因而属于主令电器。这种命令通常由人工发出,所以作成手动。手一松,由返回弹簧返回。按钮的符号如图 2-10 所示。

4. 行程开关

行程开关和按钮不同的地方是靠外加机械力使触点动作,而不是靠人工手动。所以行程开关的示意图与按钮大体相同,只是将按钮上的“按钮”换成可撞击的物块即可。行程开关图形符号见图 2-11。

5. 熔断器

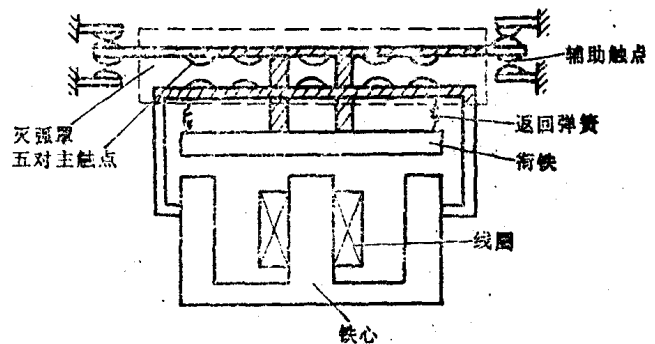


图2-7 交流接触器结构图

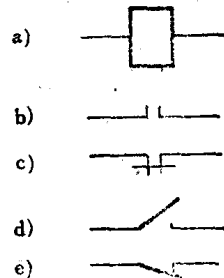


图2-8 接触器图形符号

- a) 接触器线圈 b) 接触器常开主触点
c) 接触器常闭主触点 d) 接触器常开辅助触点
e) 接触器常闭辅助触点

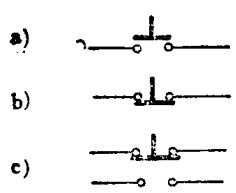
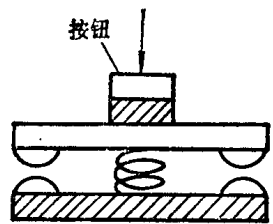


图2-10 按钮图形符号
a) 常开按钮 b) 常闭按钮
c) 复合按钮

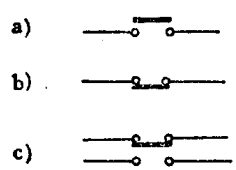
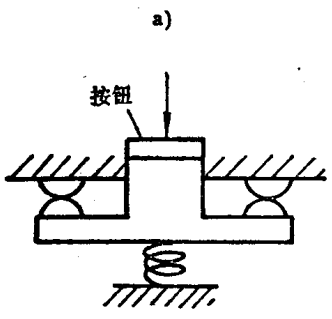


图2-11 行程开关图形符号
a) 常开触点 b) 常闭触点
c) 复合触点

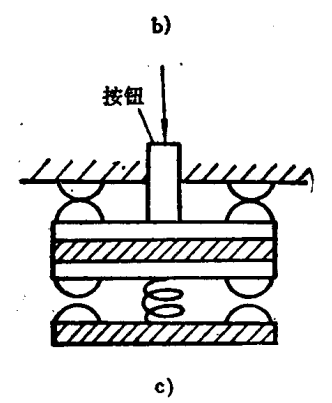


图2-9 按钮示意图

a) 常开按钮 b) 常闭按钮 c) 常开常闭按钮 (复合按钮)



图2-12 熔断器图形符号

熔断器俗称保险，熔断器中的熔片就是俗称的保险丝。尽管熔断器种类很多，但工作原理是一样的，都是当电流过大时融化熔片断开电路而保护设备安全。熔断器（连同熔片）的图形符号见图2-12。

第二节 典型的控制单元

上面介绍了一些主要的电器元件，它大量用于顺序控制系统。使用电器元件进行自动控制的控制系统是多种多样的。这里先介绍常用的典型控制单元。

1. 与

图2-13 * 所示的是一个“与”控制单元的控制电路。只有当开关 k_1 和 k_2 同时合上后，继电器 X_1 和 X_2 同时吸合。它们的常开触点 x_1 和 x_2 也同时闭合，继电器 Z_1 才能得电吸合。它的常开触点 z_1 使灯 L 点亮。

为了用逻辑代数式表示这个控制关系，下面都设定用大写字母表示电器的线圈，而用小写字母表示其相对应的触点。如图2-13 b 所示：

常开触点用小写字母表示，常闭触点在小写字母上打一杠表示。因此图 2-13 a 可以写成：

$$X_1 = k_1$$

$$X_2 = k_2$$

$$Z_1 = x_1 \cdot x_2$$

$$L = z_1$$

式中， $Z_1 = x_1 \cdot x_2$ 是“与”运算，在电路上是串联控制，即触点相串联就是“与”关系。

2. 或

“或”控制单元如图2-14所示，触点相并联就是“或”关系，可表示为 $Z_1 = x_1 + x_2$ 。

3. 非

图2-15所示是“非”控制单元，在电路中为反向控制。当 k_1 合上时 X_1 动作， Z_1 释放。反之， k_1 断开时， X_1 释放而 Z_1 动作，即常闭触点表征的是“反”运算或“非”运算关系。可表示为

$$Z_1 = \bar{x}_1$$

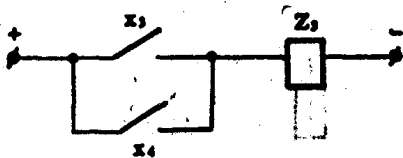


图2-14 “或”控制单元



图2-15 “非”控制单元

4. 记忆

图2-16所示的是自保电路。图中 A_1 是个短信号，如果没有常开触点 z_1 ，则要 Z_1 长期动作，必须人为地一直按 A_1 ，现在有了 z_1 ，当 Z_1 动作， z_1 闭合，即使 A_1 放开， Z_1 仍可从 z_1 得电。所以有了该线路，按一下 A_1 便可使 Z_1 长期吸合， A_2 常闭触点用来解除自保，释放 Z_1 。该线路可用下列逻辑式表示：

$$Z_1 = (A_1 + z_1) \bar{A}_2$$

这个电路是或、与、非电路的组合， $A_1 + z_1$ 是或， $\bar{A}_2$ 是非， $(A_1 + z_1) \bar{A}_2$ 又是与。

图2-16中，当 A_1 和 A_2 同时动作，即 A_1 合上， A_2 打开，则 Z_1 动作不了，因 A_2 先切断电路， A_1 合上无效，所以该电路称为停止优先。

将图2-16所示的电路变换为图2-17后，仍然是自保电路。但此时若 A_1 和 A_2 同时动作，则 A_1 使 Z_1 动作， A_2 无效，所以是起动优先。其逻辑表示式为

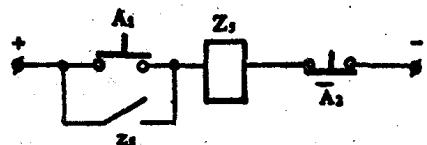


图2-16 停止优先的自保电路

$$Z_0 = A_1 + z_0 \bar{A}_2$$

自保电路是从 Z_0 的角度来解释的, 即 Z_0 可以通过自身触点来保持吸合。但该电路有它更有意义的一个特点: 上述线路中, A_1 是个短暂信号, 按一下, A_1 吸合, 一松手, A_1 便断开而消失信号。自保电路就可以记下这短暂信号, 即 Z_0 的吸合与否, 记忆了 A_1 按下过没有。从这一点出发, 上述线路便是记忆单元。 A_2 可解除记忆。

有了记忆单元, 配上有序的控制, 就能实现顺序控制了。

5. 多地点

图2-18所示为多地点控制电路, A_{11} 、 A_{12} 、 $\dots$ 、 A_{1n} 和 A_{21} 、 A_{22} 、 $\dots$ 、 A_{2n} 是不同地点的起动和停止按钮, 例如 Z_0 表示控制某大楼地下室消防水泵的接触器, A_{11} 、 A_{21} 、 A_{12} 、 A_{22} 、 $\dots$ 、 A_{1n} 、 A_{2n} 是大楼各层的起、停按钮, 一旦某层起火, 可以就地起动水泵灭火。

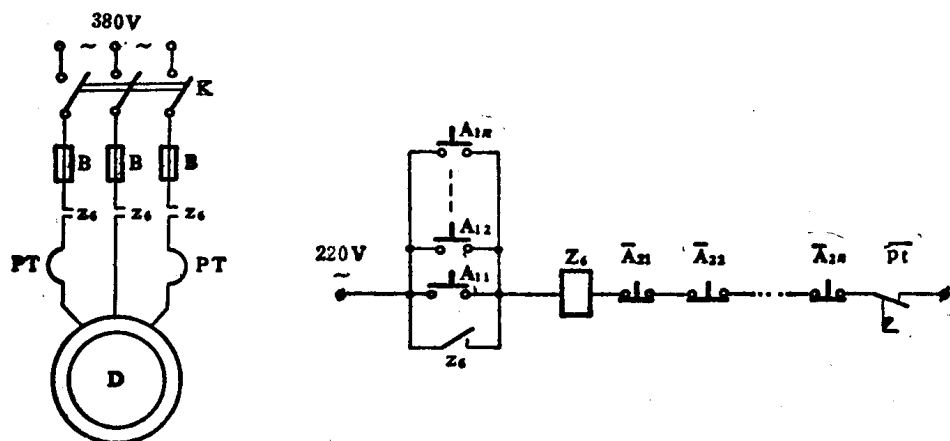


图2-18 多地点控制电路

图2-18中, K 是三相闸刀, B 是熔断器, 该线路用逻辑式表示为

$$Z_0 = (A_{11} + A_{12} + \dots + A_{1n} + z_0) \cdot \bar{A}_{21} \cdot \bar{A}_{22} \dots \bar{A}_{2n} \cdot \bar{p}t$$

$$D = K \cdot B \cdot Z_0 \cdot PT$$

6. 行程控制

图2-19所示为一个送料小车在甲乙两地作往返运动。小车可以在甲乙两地任一位置起车, 并可向任一方向运动, 前进到终点再自动向相反方向运动。小车亦可在任意位置停车。

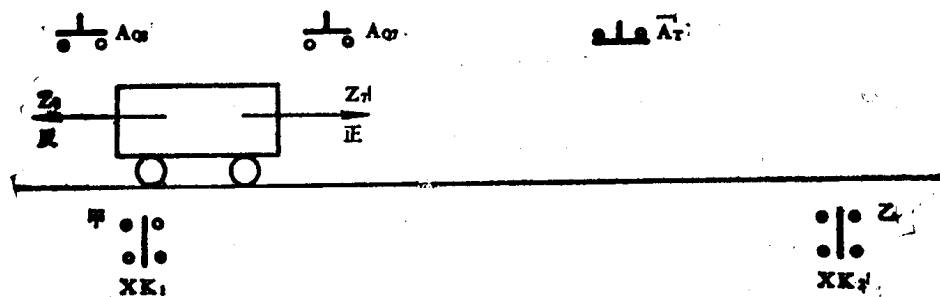


图2-19 小车往返运动示意图