

1.1 可编程序控制器的发展

在现代化生产设备中,有大量的开关量、数字量、脉冲量以及模拟量的控制装置,例如电机的启停,电磁阀的开闭,产品的计数,温度、压力、流量的设定与控制,等等。

过去,以上的控制主要是用继电器或分立的电子线路来实现。但是随着生产的飞速发展,人们对这些自控装置提出了更通用、易变、易修、可靠、经济的要求。固定接线式的老装置显然不能够适应这种要求。

随着电子工业的发展,人们开发了各种各样的可以满足上述要求的控制装置。比较有代表性的是:

- (1) 矩阵板式的逻辑控制器;
- (2) 一位微处理机;
- (3) 可编程序控制器(PC);
- (4) 计算机集散控制系统(DCS)。

显然,生产设备对于控制装置并不是非要用最先进、最新型的不可。在简单的生产设备里,我们还是可以用过去曾经流行过的逻辑控制系统,甚至继电器系统。为此,在本书中我们先实用性地介绍一下这些系统。一来给读者提供更多的控制手段。二来通过介绍引进一些必要的预备知识。

但是,作为本书的主要内容,我们主要介绍目前较先进、应用势头最强的可编程序控制系统。

可编程序控制系统(Programmable Control System)其核心为可编程序控制器(Programmable Controller),简称PC。它是1969年才开始发展的。它按照成熟而有效的继电器控制概念和设计思想,利用不断发展的新技术、新电子器件,逐步形成了具有特色的各种系列产品。

目前世界上各先进工业国都竞相开发、生产该类产品。我国在引进国外产品的同时,也开始引进技术,进行组装、开发、定型、生产。总之,PC已成为解决自动控制问题的最有效工具,它越来越受到人们的关注。

1.2 可编程序控制器的基本组成

1. 硬件框图

PC是一种用作数字控制的专用电子计算机。它按照用户程序存储器里的指令安排,通过输入接口采入现场信息,执行逻辑或数值运算,进而通过输出接口去控制各种执行机构动作。它的硬件构成原理与微机类似,主要亦是由三部分组成。其框图如图1-1所示。

2. 各部分功能

(1) CPU

与一般微机(例如单板机、单片机、IBM-PC机)一样,CPU在PC控制系统中的作用类似于人的大脑。它按照生产厂家预先编好的系统程序(也可称作操作系统)接收并存储从编程器键入的用户程序和数据;在执行系统程序时,按照预编的指令序列用扫描的方式接收现场输入装置的状态或数据,并存入用户存储器的输入状态表或数据寄存器中;诊断电源、PC内部各电路状态和用户编程中的语法错误;进入运行状态后,从存储器逐条读取用户程序,经过命令解释后按指令规定的任务产生相应的控制信号,去控制有关的控制门电路,分时、分渠道地去执行数据的存取、传送、组合、比较和变换等工作,完成用户程序中规定的运算任务;根据运算结果、更新有关标志位和输出状态寄存器表的内容,最后根据输出状态寄存器表的内容,实现输出控制、打印或数据通信等外部功能。

进入运行状态后,从存储器逐条读取用户程序,经过命令解释后按指令规定的任务产生相应的控制信号,去控制有关的控制门电路,分时、分渠道地去执行数据的存取、传送、组合、比较和变换等工作,完成用户程序中规定的运算任务;根据运算结果、更新有关标志位和输出状态寄存器表的内容,最后根据输出状态寄存器表的内容,实现输出控制、打印或数据通信等外部功能。

(2) 存储器

PC的存储器分为两个部分:一是系统程序存储器,另一是用户程序存储器。系统程序存储器是由生产PC的厂家事先编写并固化好的,它关系到PC的性能,不能由用户直接存取更改。其内容主要为监控程序、模块化应用功能子程序、命令解释和功能子程序的调用管理程序和各种系统参数等。用户程序存储器主要用来存储用户编制的梯形图,输入输出状态,计数、计时值以及系统运行必要的初始值。和一般微机不同,PC的用户存储量通常以字(16位/字)为单位来表示。产品说明书中标出的存储器型号及容量,多是指用户存储器而言。

(3) I/O 接口模板

PC机提供了各种操作电平 and 驱动能力的输入/输出接口模板。如输入/输出电平转换,电气隔离,串/并行变换,数据传送,误码校验,A/D或D/A变换以及其它功能控制等。通常这些模板都装有状态显示及接线端子排。

这些模板一般都插入模板框架中,框架后面有连接总线板。每块模板与CPU的相对插入位置或槽旁的DIP开关的位置,决定了I/O的各点地址号。这些地址号在用户编制程序时是十分重要的参数。

除上述一般I/O接口模板外,很多类型的PC还提供一些智能模板。例如通信控制模板、高精度定位控制、远程I/O控制、中断控制、ASCII/BASIC操作运算和其它专用控制功能模板。

(4) 编程器及其它选件

编程器是编制、编辑、调试、监控用户程序的必备设备。它通过通信接口与CPU联系,完成人机对话。编程器有简易型和智能型两种,一般简易型的键盘采用命令语句助记符键,而智能型常采用梯形图语言键。前者只能联机编程,而后者则还可以脱机编程。很多PC机生产厂利用IBM-PC/XT改装的智能编程器,备有不同的应用程序软件。它不但

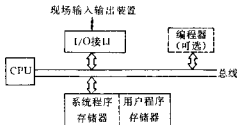


图 1-1 PC 硬件框图

可以完成彩显梯形图编程,还可以进行通信联网,具有事务管理等功能。

编辑器可以一机多用。一旦编程完毕,就可供其它 PC 使用。

PC 也可以选配其它设备,例如盒式磁带机、打印机、EPROM 写入器、高精度大屏幕彩色图形监控系统、人机接口单元等外部设备。但一般来说有了编辑器,基本上可以满足上述选配设备的存取文件、显示监控、人机对话的功能。

1.3 可编程序控制器的特点

可编程序控制器之所以越来越受到控制界人士的重视,是和它的特点(即优点)分不开的。

1. 功能齐全

PC 的基本功能包括开关量输入/输出,模拟量输入/输出,内部中间继电器,延时 ON/OFF 继电器,锁存继电器,主控继电器,计时器,计数器,移位寄存器,四则运算,比较,二—十进制转换,鼓形控制器,跳转和强制 I/O 等。

PC 的扩展功能有通信联网、成组数据传送、矩阵运算、PID 闭环回路控制、排序查表功能、中断控制及特殊功能函数运算等功能。

此外,PC 还具有自诊断、报警、监控等功能。

因此,它的适用性极强,几乎所有的控制要求,它均能满足。

2. 应用灵活

其标准的积木式硬件结构,以及模块化的软件设计,使得它不仅可以适应大小不同、功能繁复的控制要求,而且可以适应各种工艺流程变更更多的场合。

PC 的安装和现场接线简便,可以按积木方式扩充和删减其系统规模。由于它的逻辑、控制功能是通过软件完成的,因此允许设计人员在没有购买硬件设备前就进行“软接线”工作,从而缩短了整个设计、生产、调试周期,研制经费相对来说也少了。

3. 操作方便,维修容易

PC 采用电气操作人员习惯的梯形图形式编程与功能助记符编程,使用户能十分方便地读懂程序和编写、修改程序。工程师编好的程序十分清晰直观,只要写好操作说明书,操作人员经短期培训,就可以使用 PC。

另外 PC 带有完善的监视和诊断功能。PC 对于其内部工作状态、通信状态、I/O 点状态和异常状态等均有醒目的显示。因此,操作人员、维修人员可以及时准确地了解机器故障点,利用替代模块或插件的办法迅速处理故障。

4. 稳定可靠

各生产 PC 的工厂都严格地按有关技术标准进行出厂检验。美国有 NEMA 标准,日本有 JIS 标准,西德有 DIN 标准。所以尽管 PC 有各种型号,但都可以适应恶劣的工业应用环境。

例如,它在现场可耐峰-峰值为 1000 伏、脉宽为 1 微秒的矩形脉冲串的线路干扰。它在 0~60℃ 下均可正常运行。另外由于其结构精巧,所以耐热、防潮、抗震等性能也很好。一般平均无故障率可达几万小时。

第二章

顺序控制基础

2.1 顺序控制系统的功能要求和组成

2.1.1 功能要求

顺序控制系统在各生产领域中应用是很广泛的。

下面我们举几个简单例子,说明其特点及对控制器的要求。

例 1 在图 2-1 中所示的送料小车,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。

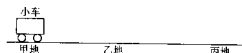


图 2-1 送料小车工作示意图

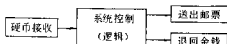


图 2-2 邮票出售机控制框图

例 2 邮票出售机,如图 2-2 所示。它接收 1 分、2 分或 5 分钱的硬币。如果这个出售机专门售 8 分邮票的,则收满 8 分就送出邮票一张。当顾客送入的钱多于 8 分时,机器还要退回多余的钱。因而控制系统要记住已收了多少钱,根据钱数决定是否送出邮票,以及是否退钱,退多少。

显然,该系统不仅需要做输入输出工作,而且要进行比较大小和加减法工作。当然这里由于数值简单,完全可以用逻辑判断来完成比较及加减工作。但计数、记忆功能必须是必须具备的。

例 3 图 2-3 是一个皮带运输系统。由于运输的距离较远,所以要将皮带分成若干段。在这个例子里,我们把它分成三段。

运输的料从来料处落下,经三段皮带运输到落料处被送走。这种皮带运输机械,在矿山码头、水泥厂等处应用得很广泛。

为了防止被送料在皮带上堆

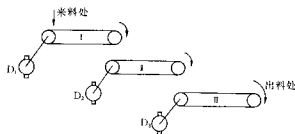


图 2-3 皮带运输机示意图

积,三段皮带启动时必须保证 III $\rightarrow$ II $\rightarrow$ I 的次序。相反,在停车时要保证 I $\rightarrow$ II $\rightarrow$ III 的

次序。

这种例子要求控制器有明确的顺序功能,互相之间的约束和禁止也很紧密。

诸如上述的控制系统还可以举出很多生产例子,可见顺序控制系统是使用十分广泛的一种控制系统。

从上面的例子我们可以看出它们对控制器提出的基本功能要求是:

1. 禁止约束功能:即动作次序是一定的,互相制约,不得随意变动。
2. 记忆功能:即要记住过去的动作,后面的动作由前面的动作情况而确定。

凡具有上述两种功能的控制就是顺序控制。在顺序控制中,处理和控制的信号主要是离散信号。即使有个别模拟信号,也都用模数转换为二值化离散信号。另外它只是对信号进行定性的处理和控制的。

在顺序控制中,要处理好两个问题。一个是状态设计问题,用不同状态来决定不同动作。另一个是必须严格保证相互的约束或定时关系。

2.1.2 组成

一个典型的顺序控制系统,可由5个部分组成。其框图如图2-4。

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。

其输出输入的关系可表达为

$$Z_i = f(X_i, Y_i)$$

式中, Y_i 是系统的现时状态,

X_i 是系统的现时输入, Z_i

是现时输出,它是现时输入和系统现时状态的函数。输出编码器是实现该函数的功能块。系统下一个状态为:

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

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 Y_i 靠记忆单元存储。有了记状态的记忆单元,就使整个控制器发生质的变化,成为时序网络。

2. 输入接口

输入的现场信号常常不能直接加到控制器中,例如按钮、行程开关的合和分必须转变为电平的高低。这一部分电路就是输入接口电路。

3. 输出接口

和输入接口类似,当控制器的输出控制信号电压(或电流)太小,不能直接驱动执行机构时,也要加输出接口电路。

在小车往返例子中,小车电机是顺序控制对象。电动机是执行机构。而控制器的输出

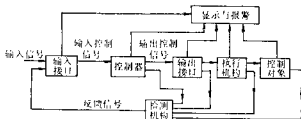


图 2-4 典型顺序控制系统结构框图

控制信号是弱小的高低电平。因此要有一个接口把弱小电平“放大”变化为接触器能随之动作的电压,再用接触器触头来控制电机主电路,达到电机的起停作用。

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。例如在往返小车的例子中,甲、乙、丙三地都装有行程开关,以便检测小车是否行进到位。只有装了这些检测信号,控制器才可能准确地知道小车的现在位置,以便发出正确的执行命令。

5. 显示与报警

为了调整方便,工作运行时监视故障的发生以及及时向操作人员发出故障报警,这一部分的内容在实际系统中亦是必不可少的。

2.2 顺序控制的数学工具

顺序控制中基本的量是离散数字量,所以所用的数学工具是布尔代数、真值表、卡诺图等。

在本书中,作为基础,我们简要、实用地介绍一下这三方面的内容。

2.2.1 布尔代数

布尔代数也称开关代数或逻辑代数,它是一种因果关系代数。布尔代数也和一般代数一样,可以写成下面这样的表达式:

$$Y=f(A,B,C,D,\dots)$$

它有两个特点:

第一,其中的函数 Y 和变量 A,B,C,D 等均只有两种可能的数值:0或1。如用于开关电路上,则开关是变量(原因),0代表打开(断路)或低电位,1代表合上(通路)或高电位;灯亮与否是函数(结果),0表示不亮,而1表示亮。

如用于逻辑推理上,考虑某几个工作的方式和完成任务的关系,则工作方式是原因,0代表错误,1代表正确;完成任务与否是结果,0表示没完成,1表示完成。

第二,函数 f 只有三种基本运算方式:“或”运算,“与”运算,以及“反”(或称“非”)运算。

下面分别讲述这三种运算及它们的运算规律。

1. “或”运算

$$Y=A+B$$

或的逻辑运算,可用两个开关 A 和 B 并联控制灯 Y 的电路来说明。即两个开关有一个合上(为1)灯就亮(为1)。

这里式子 $Y=A+B$ 中的符号“+”并不是算术运算中的加,而是代表“或”的逻辑关系。

由于 A 和 B 只有取1或取0的两种值(开和关),所以可以将其各种可能的结果(灯

亮或灭)写出如下:

$$Y=0+0=0$$

$$Y=0+1=1$$

$$Y=1+0=1$$

$$Y=1+1=1$$

这四个式子与一般的算术加法类同,只有第四式不符合加法规律。这是因为 Y 也只有两种取值可能,即 0(不亮)或 1(灯亮)。四个式子可归纳成一句话“有一个 1 即为 1”来记忆。

这个结论也可推广至多个变量(多个原因)A,B,C,D...决定结果 Y 的情况。

$$Y=A+B+C+D+\cdots$$

各变量全为 0 时,Y 才为 0,否则,有一个为 1,则 Y 就为 1。

这个概念在电路上来说明时,则意味着多个开关并联控制一个灯。只要开关中有一个合上(为 1),则灯就为 1(灯亮)。或者说只有全部开关均为 0 时,输出灯才为 0。

2. “与”运算

$$Y=A \times B$$

有人习惯写成: $Y=A \cdot B$ 或 $Y=AB$

“与”的逻辑运算可以用开关电路来说明,就是两个开关串起来控制一个灯。只有两个开关都合上,灯才可能亮。

根据 A 和 B 的可能取值 0 或 1,可以列出下列各种可能的运算结果:

$$Y=0 \times 0=0$$

$$Y=1 \times 0=0$$

$$Y=0 \times 1=0$$

$$Y=1 \times 1=1$$

这种运算结果也可归纳成一句话:“有一个 0,即为 0。”

同样,这个结论也可以推广到多变量的“与”函数:各变量均为 1,结果才会为 1;有一个为 0,结果必为 0。写成表达式如下:

$$Y=A \times B \times C \times D \times \cdots$$

这个概念用到开关控制灯的电路中,即意味着多个开关串联控制一个灯。只要其中一个开关不合上(为 0),则灯就不亮。或者说只有所有开关均合上,灯才会亮。

3. “反”运算

$$Y=\bar{A}$$

“反”的逻辑运算也可以用开关电路来说明,即开关并接在灯上。当开关合上时,灯中电流被开关短路。灯反而不亮。

因为布尔代数的变量只能取 0 和 1 的两个值,所以 A 取 0 值时, $\bar{A}$ 必取 1 值。反之,A 取值为 1 时, $\bar{A}$ 必为 0。

4. 布尔代数的基本运算规律

(1) 恒等式

$$A \cdot 0=0 \quad A \cdot 1=A \quad A \cdot A=A$$

$$A+0=A \quad A+1=1 \quad A+A=A$$

$$A+\bar{A}=1 \quad A \cdot \bar{A}=0 \quad \bar{\bar{A}}=A$$

(2) 运算规律

与普通代数一样,布尔代数也有交换律、结合律、分配律,而且它们与普通代数的规律完全相同。

交换律: $A \cdot B=B \cdot A$

$$A+B=B+A$$

结合律: $(AB)C=A(BC)=ABC$

$$(A+B)+C=A+(B+C)=A+B+C$$

分配律: $A(B+C)=AB+AC$

$$(A+B)(C+D)=AC+AD+BC+BD$$

我们利用这些运算规律和恒等式,就可以化简很多逻辑关系式。

例1 $A+AB=A(1+B)=A$

$$A+\bar{A}B=A+AB+\bar{A}B=A+(A+\bar{A})B=A+B$$

例2 如果我们原来已设计一个继电器开关线路如图 2-5(a)。其中 A 与 $\bar{A}$ 是同一继电器的常开与常闭触点。一般我们把常开触点定为变量 A 、 B 等。则常闭触点相应的为 $\bar{A}$ 、 $\bar{B}$ 。

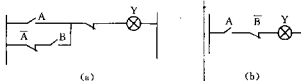


图 2-5 用布尔代数化简继电器线路的例子

为了化简图 2-5(a)的线路。我们先可以把图中触点(如同开关)和灯的关系用布尔代数表达出来。

$$Y=(A+\bar{A}B) \cdot \bar{B}$$

下面我们用布尔代数知识简化:

$$Y=(A+\bar{A}B) \cdot \bar{B}=A\bar{B}+\bar{A}B \cdot \bar{B}=\bar{A}B+0=A\bar{B}$$

从而我们可以用图 2-5 中(b)电路代替原设计电路(a)。电路大大简化了,但逻辑控制作用完全一样。

5. 摩根定理

在电路设计时,人们手边有时没有“与”门,而只有“或”门和“反”门。或者只有“与”门和“反”门,没有“或”门。在继电器电路设计时,有人不喜欢用串联(“与”关系)而喜欢用并联开关的方法。利用摩根定理,可以帮助你解决元件互换或线路改变问题。摩根定理式子为:

$$\overline{A+B}=\bar{A} \cdot \bar{B}$$

$$\overline{A \cdot B}=\bar{A}+\bar{B}$$

推广到多变量:

$$\overline{A+B+C+\dots} = \overline{A} \cdot \overline{B} \cdot \overline{C} \cdot \dots$$

$$\overline{\overline{A} \cdot \overline{B} \cdot \overline{C} \cdot \dots} = A+B+C+\dots$$

此定理我们可以用表格法验证其正确性。

表 2-1 摩根定理验证

二 变 量	A	B	$\overline{A+B}$	$\overline{\overline{A} \cdot \overline{B}}$	$\overline{\overline{A} \cdot \overline{B}}$	$\overline{A+B}$
	0	0	1	1	1	1
	0	1	0	0	1	1
	1	0	0	0	1	1
	1	1	0	0	0	0
变量可能取值			相等		相等	

由表中可以看出,不管变量 A 和 B 如何取值,摩根定理式子两边,即 $\overline{A+B}$ 和 $\overline{\overline{A} \cdot \overline{B}}$ (或 $\overline{\overline{A} \cdot \overline{B}}$ 和 $\overline{A+B}$) 的值始终相等。从而证明了其正确性。

至于多变量的摩根定理,用相同的方法也可以得到证明。

这个定理可以用一句话,“头上切一切,下而变个号”来记忆使用。

例: $\overline{\overline{A} \cdot \overline{B}} = \overline{\overline{A}} + \overline{\overline{B}} = A+B$

$\overline{A+B+C} = \overline{\overline{A} \cdot \overline{B} \cdot \overline{C}} = A \cdot B \cdot C$

2.2.2 真值表

当人们遇到一个因果问题时,常常把各种因素全部考虑进去,然后研究其结果。真值表也就是这种考虑问题的方法的一种表格形式。

例如考虑 3 个继电器(有常开常闭触点)的触点去控制一个电灯。设继电器的常开触点分别为 A、B、C,则其常闭触点为 $\overline{A}$ 、 $\overline{B}$ 、 $\overline{C}$ 。另外,设电灯为 Y。现要求设计一个控制电路只有当两个以上继电器通电时,灯才会亮。

全面考虑 3 个变量的取值(0 或 1),可能出现 8 种情况。这可能出现的情况个数是 3 种变量的排列数。(一般 n 个变量可有 2^n 种情况)。

为了不遗漏任一种取值的情况,我们可以用 3 位二进制值来填写变量取值表(见表 2-2 左边 3 列);同时在表右边一列留出作为考虑在 3 变量取各种值时,电灯 Y 取值的情况。这种表就称为真值表。

表 2-2

	A	B	C	Y
一	0	0	0	0
二	0	0	1	0
三	0	1	0	0
四	0	1	1	1
五	1	0	0	0
六	1	0	1	1
七	1	1	0	1
八	1	1	1	1

由于表 2-2 是为了上述问题而立,因此,我们可以很快得出第四、第六、第七、第八这四项三个继电器取值情况时,电灯亮。其它几项由于变量(继电器)取值为 1 的个数少于两个,所以电灯不能亮。

这种真值表填写十分方便,变量有 n 个,则有 n 列, 2^n 项。变量部分以二进制数填写。最右边的变量列自上而下: 0, 1, 0, 1, ..., 向下填到最下一行。向左进一列里,自上而下: 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, ..., 向下填到最下一行。再向左一列,自上而下: 填 4 个“0”, 4 个“1”, ..., 填到最下一行。变量再多,填写变量取值也很有规律,而且可以保证一个不遗漏。填好变量所有可能的取值后,即可以开始根据题意要求,分析填写结果部分。满足结果的项填“1”值,不满足结果的项填“0”值。不能确定结果为 1、为 0 的项,填“X”。列这种真值表不仅可以全面地不遗漏地分析各种可能情况,而且直观清晰,易于写出逻辑问题的布尔代数式。

在上例中,对于电灯要亮的四项:

第四项,要求变量取值 $A=0, B=1, C=1$, 在写式子时要使 Y 为 1。显然只有写 $A \cdot B \cdot C = \bar{0} \cdot 1 \cdot 1 = 1$ 。所以第四项布尔式子就是 $\bar{A} \cdot B \cdot C$ 。

第六项,要求变量取值 $A=1, B=0, C=1$ 在写式子时要使 Y 为 1。显然只有写 $A \cdot \bar{B} \cdot C$ 。因为把取值代入 $A \cdot B \cdot C = 1 \cdot 0 \cdot 1 = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1$ 。所以第六项布尔式子就是 $A \cdot \bar{B} \cdot C$ 。

同四、六项一样道理,第七、第八项的布尔式分别为 ABC 和 $\bar{A}\bar{B}\bar{C}$ 。

从而,我们可以写出 Y 可能为 1 的关系式为 $Y = \bar{A}BC + A\bar{B}C + ABC + \bar{A}\bar{B}\bar{C}$ 。这里用“+”或关系是因为满足任何一种情况都可以使 Y 为 1 的缘故。

这种从真值表写出布尔代数式的方法可以用下面两段话来描述。

(1) 写布尔代数式先看真值表中结果为 1 的项。有几项就有几个“或”项。

(2) 每一项各变量之间是与的关系。写某一为 1 的项时,每个变量代号都要写上,然后添“反”。至于哪一个变量要添加“反”(上横线)要看该变量在这一项里是否为取值“0”状态。是“0”状态则加“反”。否则不加“反”。

再画出继电器触点控制电灯的电路图如图 2-6。

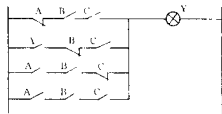


图 2-6 继电器触点控制电灯电路图

上面虽然能很快地设计电路图,但是否是最简单的电路图,在此尚难判断。我们可以用布尔代数恒等式和规律去分析简化。

$$\begin{aligned}
 Y &= \bar{A}BC + A\bar{B}C + ABC + \bar{A}\bar{B}\bar{C} \\
 &= \bar{A}BC + A\bar{B}C + ABC \\
 &\quad + ABC + \bar{A}\bar{B}\bar{C} + ABC \\
 &= (\bar{A} + A)BC + A(\bar{B} + B)C \\
 &\quad + AB(\bar{C} + C) \\
 &= BC + AC + AB
 \end{aligned}$$

上面简化过程用到了 $A + A = A$ 及 $\bar{A} + A = 1$ 的恒等式性质及分配律、结合律。显然简化过程需要有一定的技术和对公式规律有相当的熟悉和了解。

2.2.3 卡诺图

卡诺图不仅可以和真值表一样全面不遗漏地表示变量和函数的因果关系,而且还可以根据规则,迅速地写出简化的布尔代数式。

所谓卡诺图,就是按一定规则画出来的一种方块图。图 2-7 分别画出了常用的二变量、三变量、四变量的变量卡诺图。图中,一个小方块代表了变量一种取值情况,比如图 2-7(c)中第 5 块小方块代表 A 取值 0、B 取值 1、C 取值 0、D 取值 1 这种情况。和真值表类似有 n 个变量就有 2^n 个小方块(取值情况)。但值得注意的是,变量卡诺图中变量取值顺序必须要按图 2-7 所标的次序排列,不可任意变动。因为这种排列是保证了任何相邻的小方块,在逻辑上也是相邻的。亦即指两个位置相邻的小方块变量取值情况只有一个变量不同,其它变量相同。这就使人们能很快地找到简化合并项:类似 $ABC + AB\bar{C} = AB(C + \bar{C}) = AB$ 。

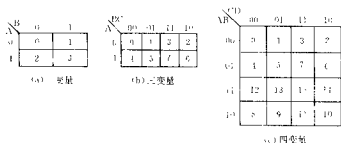


图 2-7 变量卡诺图画法

在小方块中填函数(结果)为 1、0 方法与真值表类似,根据逻辑问题要求,一种一种(小方块)情况填。

卡诺图根据题意完全填好后,就可以根据以下规则写出简化的布尔代数式。

(1) 合并小方块

所谓合并就是把位置相邻的小方块以 2、4、8、...、 2^n 块合在一块。这里要注意的是卡诺图具有“循环相邻”的特征。例如在图 2-7(c)中,第 0 块和第 2 块、第 8 块也是相邻的。

另外,合并过的小块,还可以参加其它合并块中。原则是每个合并块尽量大。合并块必须是 2 的倍数小方块的方块群。

(2) 写出最简布尔代数式

写代数式的原则是有几个方块群就有几个“或”项。每一合并块写变量式时,先向左看再向上看,如只遇到 1 亦遇到 0,则该变量不写。如只遇到该变量为 1,则写该变量。如只遇到该变量取值 0,则写该变量“反”。合并块中各变量(或反变量)之间为“与”关系。

例 1 还是用前面提到的三继电器触点控制一个灯的例子(见图 2-6)。其卡诺图如图 2-8。图中有 4 种取值情况可使灯亮。方块群为 3 个。上下的那一合并块,向左看 A 变量取值可 1,可 0,所以不写 A 变量。向上看 B 变量、C 变量均只能取值 1,所以该合并块的布尔

代数式为 BC。同理左边一合并块向左看变量只遇到 A 取 1, 所以 A 变量取 A, 而向上看 B 变量取值可 1 可 0, C 变量只取 1, 所以写代数式为 AC。同理右边一合并块可写出为 AB。从而总的函数式为

$$Y = BC + AB + AC$$

同前面简化了的式子是一样的。显然, 这种方法规律程式化, 好记, 一步即可达到最简的目的。

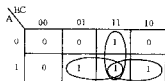


图 2-8 继电器控灯卡诺图简化

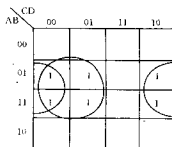


图 2-9 化简例子卡诺图

例 2 设有式子 $Y = \overline{A}BCD + ABCD + \overline{A}B\overline{C}D + ABC\overline{D} + AB\overline{C}D + \overline{A}BC\overline{D}$, 用卡诺图进行简化。

解: 先画卡诺图, 如图 2-9。

根据合并小方块群原则, 可以合并为两个合并块。

从而可以很快写出最简布尔代数式:

$$Y = BC + B\overline{D}$$

2.3 电器控制系统

2.3.1 基本电器元件及符号

电器控制系统, 即用电器元件组装起来进行控制的系统。

常用的电器元件有按钮、行程开关、熔断器、继电器、接触器。

1. 按钮

按钮是手动开关, 在自动控制系统中, 它常用来作为开始启动或最后停止的命令, 因此属于主令性电器。这种命令通常由操作工人发出, 所以做成手动。

按钮分为常开按钮 (即平时触点分开, 手工按上去触点合上, 手离开又由弹簧返回使触点回复原状分开) 及常闭按钮。还有把常开常闭装在一起的复合按钮, 见图 2-10。

2. 行程开关

行程开关和按钮不同的地方是, 它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很类似, 只是将按钮上的“钮”换成可撞击的物块即可。行程开关的图形符号见图 2-11。在现代设备上常用光电效应、电磁感应等原理做或无触点行程开关, 其原理不同, 但作用和符号基本相同。

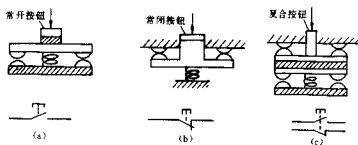


图 2-10 按钮示意图及符号

3. 熔断器

熔断器俗称保险丝。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,FR 产生热量,融化了熔片、熔丝,而断开电路,从而保护设备安全。熔断器的图形符号见图 2-12。



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 2-12 熔断器图形符号

4. 继电器

继电器有很多种,如电磁继电器、干簧继电器、热继电器和时间继电器等。

(1) 电磁继电器

这种继电器是最常用的继电器,它的结构如图 2-13 所示。

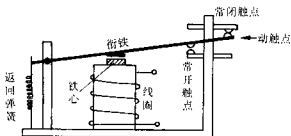


图 2-13 电磁继电器结构图

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

或电流后,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 2-13 中有两个动触点和两个静触点。衔铁被磁力吸合时闭合的一对动静触点叫做常开触点,因为在线圈断电时它是打开着的。衔铁被吸合时打开的一对动静触点叫做常闭触点,因为在线圈断电时,它们是闭合着的。

线圈断电后,电磁力消失,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。可见它是利用电磁原理设计的开关。

电磁继电器分直流和交流继电器,它们是以线圈是用直流电还是交流电来分开的。交流继电器的铁心和衔铁一般多用硅钢片,以减小涡流。直流则多用铸钢。

电磁继电器亦可以按两者线圈的多少分为电流式或电压式。圈数多电流小的为电压式,反之则为电流式。

(2) 干簧继电器

干簧继电器又称舌簧继电器,它的结构如图 2-14 所示。干簧继电器可有线圈型和永磁式两种。图 2-14(b)中为永磁式。在干簧管中有导磁材料做成的干簧片,它相当于电磁继电器中的触点。当永久磁铁接近干簧管时,簧片被磁化,极性如图。由于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。而当永久磁铁离开时,舌簧片靠自身的弹性分开。为了简单,一般干簧管中只有一对常开触点。

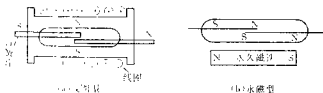


图 2-14 干簧继电器结构图

线圈型干簧继电器结构如图 2-14(a),它的原理和永磁式干簧继电器一样,只是产生磁场靠电流通过线圈的办法来实现。线圈中通电,产生的磁场使干簧片磁化(感应)相吸。线圈断电,干簧片失磁,弹回常开状态。

(3) 热继电器

热继电器的结构示意图如图 2-15 所示。其中 A、B 是两块复合在一起的金属片,A 片的热膨胀系数大于 B 金属片,当电阻丝通电加热时,金属片就会变成弧形,使常闭触点断开,常开触点闭合。

(4) 时间继电器

它的结构与电磁继电器相似,只是用各种办法,使衔铁在线圈通电或断电瞬间不能立即吸合或不能立即释放。办法有各种各样:有电子式、短路铜套涡流式、气囊式等等。它们的工作原理不同,但效果都一样,使线圈中的电流变化减慢,以达到延时使衔铁动作的作用。

(5) 接触器

接触器的工作原理和继电器一样,所不同的是接触器用来通断较大的电流,因而它有

若干对容量较大的主触点。它也分直流和交流接触器。但和继电器不同,区分直流还是交流的依据是看主触点用来断开、合上直流负载还是交流负载。

图 2-16 表示了交流接触器的结构图。它有五对主触点可以通断大电流,还有二对辅助触点,供控制用。主触点上虚线表示灭弧罩,用它可以切断电弧,避免电弧烧坏触点。

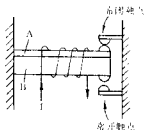


图 2-15 热继电器结构示意图

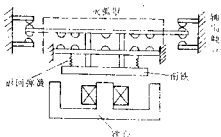


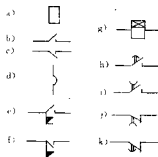
图 2-16 交流接触器结构图

(6) 继电器和接触器的符号

凡是瞬时动作的继电器,不管其工作原理如何,其线圈符号都是一样的。例如电磁继电器和干簧继电器线圈是同一种符号(永磁式干簧继电器只画触点,不画线圈),见图 2-17(左)。

凡是时间继电器,其线圈和触点符号也是一样的。

对继电器的基本要求是:工作可靠、寿命长(主要指触点的电气寿命)、体积小、重量轻、干扰小、安装维修方便。



(a) 继电器图形符号



(b) 接触器图形符号

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

a) 接触器线圈 b) 接触器常开触点 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 2-17 继电器、接触器图形符号

接触器的图形符号见图 2-17(右部),它的主触点和辅助触点符号是不同的。

2.3.2 典型的控制线路

上面介绍了一些主要的电器元件,它们大量用于顺序控制系统,即使在最先进的设备里也常常用到它们。使用电器元件进行自动控制的控制系统是多种多样的,但不管系统多么复杂,如同房子由门、窗、墙、房顶等组合面成一样,其电路也是由一些基本的典型线路组成。

1. “与”

前面已讲过“与”的逻辑关系表达形式为 $Y=A \cdot B$ 。在继电器电路中,我们常用 Z 表示结果, X 或 K 表示原因,则 $Z_1=X_1 \cdot X_2$ 的线图如图 2-18 所示。

从图 2-18 可以知道“与”,即是“串联”。

2. “或”

如同“与”线路,“或”线路则是触点并联。其逻辑表达式为 $Z_2=X_3+X_4$ 。图 2-19 为“或”逻辑的电路图。

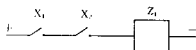


图 2-18 “与”控制线路

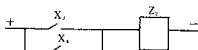


图 2-19 “或”控制线路

3. “反”

“反”又称为“非”。图 2-20 所示是“反”的控制电路。当 K_1 合上时 X_5 动作,则 Z_3 释放。而当 K_1 断开时, X_5 释放, Z_3 动作。

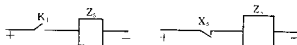


图 2-20 “非”控制线路

从图 2-20 看出,用原因常闭触点来控制结果继电器可实现“反”的逻辑关系。图 2-20 中关系式为 $Z_3=X_5$ 。

4. 记忆

记忆电路又称自保电路。图 2-21 和图 2-22 表示了两种用继电器实现的自保记忆电路。图 2-21 中 A_1 按钮(或行程开关)按一下即放开,是个短信号。如果没有常开触点 z_4 ,则要 Z_4 长期动作是不可能的。现在有了 z_4 触点,即使按钮 A_1 放开, Z_4 线圈仍可从 z_4 得电。这种通过继电器自身的触点保持自己线圈工作的自保电路在控制线路中是常常使用的。图 2-21 中的 $\bar{A}_2$ 是用来解除自保的按钮。

图 2-21 中,当 A_1 和 $\bar{A}_2$ 同时按下时, Z_4 是动作不了的。因 $\bar{A}_2$ 先切断电路, A_1 按下是无效的。所以称为停止优先自保电路。

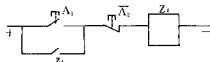


图 2-21 停止优先的自保电路

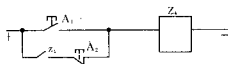


图 2-22 启动优先的自保电路

将图 2-21, 稍改变为图 2-22 后, 仍为自保电路, 但此时若 A_1 和 $\overline{A_2}$ 同时按下, 则 A_1 使 Z_1 动作, $\overline{A_2}$ 无效。所以是启动优先自保电路。

自保电路, 记忆了 A_1 瞬间按下的状态, 所以常用于行程、步序、信号长短处理等场合。

5. 行程控制

图 2-23 为一个送料小车在甲乙两地作往返运动的示意图。

要求小车可以在任意位置启动, 并可向任一方向运动。一经启动, 小车即自动在甲乙两地不断地自动往返运动。需要停车则按一下停车按钮。

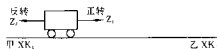


图 2-23 小车往返运动示意图

这样的要求, 其电器控制电路及电机(小车驱动电机)的接线图如图 2-24 所示。

图中 A_{Q1} 、 A_{Q2} 分别为向右和向左启动按钮, A_T 为停止按钮。 Z_1 、 Z_2 为控制向右向左转异步电机的接触器。 XK_1 和 XK_2 是甲乙两地的行程开关。

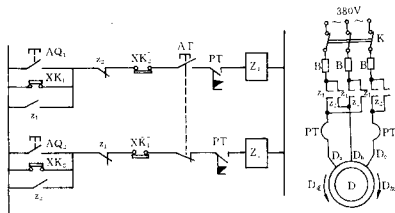


图 2-24 小车往返控制电路

现对图 2-24 作些说明:

(1) 电机正反转带动小车向右向左运动。改变三相相序接线可改变电机正反转。 Z_1 接通, 则 A、B、C 三相电接到电机 D_4 、 D_5 、 D_6 , 电机正转。 Z_2 接通, 则 A、B 换相, A、B、C 三相电