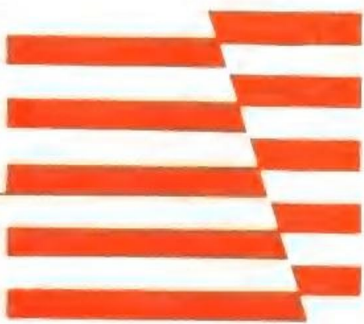


顺序控制技术

SHUNXU KONGZHI JISHU

韩梦玮 编著 国防工业出版社



目 录

第一章 逻辑式顺序控制技术	1
1-1 逻辑式顺序控制原理	1
1-2 逻辑式顺序控制器组成部件	9
1-3 逻辑式顺序控制的程序编制方法	19
参考文献	44
第二章 步进式顺序控制技术	45
2-1 步进式顺序控制原理	45
2-2 步进式顺序控制器的组成部件	48
2-3 步进式顺序控制器的控制功能	69
2-4 步进式顺序控制的程序编制	85
第三章 可编顺序控制技术	
——工作原理与部件分析	107
3-1 可编顺序控制原理	107
3-2 一位微处理器原理	112
3-3 一位微处理器逻辑分析	122
3-4 一位微处理器参数	133
3-5 半导体存储器	137
3-6 程序计数器	149
3-7 输入选择器和输入隔离电路	152
3-8 输出锁存器和输出驱动电路	157
3-9 计时计数电路	162
3-10 操作控制电路	165
第四章 可编顺序控制技术	
——系统结构与编程方法	169
4-1 循环控制的硬件结构	169
4-2 循环控制的程序结构	174
4-3 逻辑运算程序的编制	183
4-4 计时计数程序的编制	186
4-5 算术运算程序的编制	195
4-6 模拟数字电路的程序编制	202
4-7 判断分支的硬件结构	213
4-8 判断分支的编程方法	221
4-9 子程序嵌套的系统结构与编程方法	231
4-10 步进控制的系统结构与编程方法	236
4-11 中断传送的系统结构与编程方法	247
第五章 顺序控制系统的可靠性和抗干扰技术	254
5-1 可靠性技术基础	254
5-2 顺序控制系统的可靠性技术	269
5-3 干扰的形成	285
5-4 顺序控制系统的抗干扰措施	290
参考文献	306

第一章 逻辑式顺序控制技术

本章介绍逻辑式顺序控制器的工作原理、组成部分、典型装置以及程序编制方法。逻辑式顺序控制器是指利用二极管矩阵进行“与”“或”、“非”基本逻辑组合的顺序控制器，又名基本逻辑式顺序控制器。它结构简单、价格便宜，适用于动作不太复杂、需要根据条件进行判断的开关量自动控制系统。

1-1 逻辑式顺序控制原理

逻辑式顺序控制器和电器控制线路都属于“与”、“或”、“非”基本逻辑组合网络。由于电器控制线路采用直接控制原理和固定接线型式，所以通用性和灵活性较差；而逻辑式顺序控制器是在电器控制线路的基础上改进的，它采用旁路控制原理和二极管矩阵型式，使其成为一种“可变”的逻辑组合网络，编制或改编程序比较方便，从而提高了装置的通用性和灵活性。本节就从旁路控制和二极管矩阵来说明逻辑式顺序控制器的基本原理。

(一) 旁路控制原理

为便于介绍，假设电器控制线路和逻辑式顺序控制器中采用的输入、输出元件都是继电器，由输入继电器反映现场条件，由输出继电器送出动作信号，输入继电器线圈用 X 表示，其触点用 x 、 $\bar{x}$ 表示；输出继电器线圈用 Z 表示，其触点用 z 、 $\bar{z}$ 表示。

如果要求用输入继电器触点 x 来控制输出继电器线圈 Z ，在电器控制线路中，触点与线圈是串联的，如图 1-1 (a) 所示，用常开触点 x 控制线圈 Z 。当 x 不动作时，电



图1-1 控制原理
(a) 直接控制；(b) 旁路控制。

路断开， Z 不通电；当 x 动作后，电路接通， Z 通电。这种靠触点直接断开或接通电路来控制线圈的原理，称为直接控制原理。在逻辑式顺序控制器中，触点与线圈相并联，如图 1-1 (b) 所示，用常闭触点 x 控制线圈 Z 。当 x 不动作（闭合）时，电流从电源 E 、经电阻 R ，再经触点 x 到地端，线圈 Z 两端电压为零，通过的电流为零，即线圈被触点旁路了，当 x 动作（打开）后，电流从电源 E 、经电阻 R 、再经线圈 Z 到地端，线圈通电，即旁路作用解除了。这种靠触点是否旁路来控制线圈的原理，称为旁路控制原理。在图 1-1 (b) 电路中，电阻 R 的作用是在触点起旁路作用时限制电流，叫做限流电阻。

需要指出,直接控制与旁路控制所采用的触点状态是相反的。如在直接控制中采用常开触点,则在旁路控制中应采用常闭触点,这样才能起到相同的控制作用,并可用同一符号 x 表示;与此相反,如在直接控制中采用常闭触点,则在旁路控制中采用常开触点,都用符号 $\bar{x}$ 表示。

如要求输入继电器触点 x_1 、 x_2 和输出继电线圈 Z 组成“与”逻辑电路,在电器控制线路中,如图1-2(a)所示,常开触点 x_1 、 x_2 和线圈 Z 串联,当 x_1 与 x_2 都动作(闭合)时,电路接通, Z 得电;在 x_1 、 x_2 中,只要有一个不动作(断开)时,则电路断开, Z 失电。 x_1 、 x_2 和 Z 之间这种关系称为“与”逻辑关系,所组成的电路称为“与”逻辑电路。 Z 叫做逻辑函数,这里是“与”函数; x_1 、 x_2 叫做逻辑变量,这里是“与”



图1-2 “与”电路
(a) 直接控制; (b) 旁路控制。

因子。在逻辑式顺序控制器中,如图1-2(b)所示,常闭触点 x_1 、 x_2 和线圈 Z 相并联,当 x_1 与 x_2 都动作(打开)时,电流从电源 E 、经电阻 R 、再经线圈 Z 到地端, Z 得电;当 x_1 、 x_2 中有一个不动作(闭合)时,电流从电源 E 、经电阻 R 、再经不动作的那个触点(x_1 或 x_2 或 x_1 、 x_2)到地端,由于触点旁路作用 Z 不得电。可见,根据旁路控制原理,也能实现 x_1 、 x_2 和 Z 之间的“与”逻辑关系。

逻辑函数与逻辑变量之间的关系,通常用逻辑表达式(或逻辑代数式)来表示。上述 Z 、 x_1 、 x_2 之间的“与”逻辑表达式写作

$$Z = x_1 \cdot x_2 \quad (1-1)$$

在逻辑式顺序控制器中,实际采用的“与”逻辑电路都接有二极管,如图1-3(a)所示,在 x_1 、 x_2 和 Z 支路中分别接有二极管 D_1 、 D_2 和 D_3 。图1-3(b)是把电路画成



图1-3 二极管“与”电路

常见的二极管“与”门形式。可见,根据旁路控制原理建立的二极管“与”电路,同一数字电路中的二极管“与”门是一致的。电路中的二极管在正向导通时起钳位作用,

在反向截止时起隔离作用。这样既满足“与”逻辑关系，又避免相互间的影响。例如，当 x_1 与 x_2 都动作时， L 点为高电平， Z 通电；当 x_1 动作， x_2 不动作时， D_2 导通， L 点被钳制在低电平，硅二极管的导通压降为 0.7V ，锗二极管的导通压降为 0.3V ，都不足以使 Z 通电动作。如果 x_1 （打开）还参与对其他线圈的控制，也不会受 x_2 （闭合）的影响，因为 D_1 截止，将 x_1 与 x_2 隔离了。如果没有二极管，这时 x_2 把 x_1 两端短接了，影响了 x_1 对其他线圈的控制。

如要求输入继电器触点 x_1 、 x_2 和输出继电器线圈 Z 组成“或”逻辑电路，在电器控制线路中，如图1-4（a）所示，常开触点 x_1 和 x_2 并联后再与线圈 Z 串联，当 x_1 或



图1-4 “或”电路
(a) 直接控制；(b) 旁路控制。

x_2 动作（闭合）时，电路接通， Z 得电；当 x_1 、 x_2 都不动作（打开）时，电路断开， Z 不通电。 x_1 、 x_2 和 Z 之间的这种关系称为“或”逻辑关系，所组成的电路称为“或”逻辑电路。这里 Z 叫做“或”函数， x_1 、 x_2 是它的两个“或”因子。电器控制线路中的“或”电路也是根据直接控制原理建立的。在逻辑式顺序控制器中，如图1-4（b）所示，由常闭触点 x_1 和 x_2 控制线圈 Z ，并在各支路中分别接入二极管 $D_1 \sim D_4$ 。当 x_1 或 x_2 动作（打开）时，电路中 L_1 或 L_2 点处于高电平，电流从电源 E 经 R_1 、 D_3 或 R_2 、 D_4 到 Z ， Z 得电；当 x_1 和 x_2 都不动作（闭合）时， L_1 和 L_2 都钳制在低电平， Z 被 x_1 、 x_2 旁路不通电，即根据旁路控制原理建立了“或”逻辑电路。上述 Z 和 x_1 、 x_2 之间的“或”逻辑表达式为

$$Z = x_1 + x_2 \quad (1-2)$$

图1-4（b）电路中的二极管是必不可少的，否则将影响“或”逻辑关系。例如，假设没有二极管 D_4 ，当 x_1 动作而 x_2 不动作时， Z 将被 x_2 旁路而不通电，这不符合“或”逻辑关系。反之，有二极管 D_4 反向截止起隔离作用， Z 仍通电。

关于“非”逻辑电路，在电器控制线路中，如图1-5（a）所示，输入继电器的常



图1-5 “非”电路
(a) 直接控制；(b) 旁路控制。

闭触点 $\bar{x}$ 与输出继电器线圈 Z 串联, 当 $\bar{x}$ 不动作 (闭合) 时, 电路接通, Z 得电; 当 $\bar{x}$ 动作 (打开) 时, 电路断开, Z 失电。 Z 和 x 之间的这种关系称为“非”逻辑关系, 这样的电路称为“非”逻辑电路。在逻辑式顺序控制器中, 如图 1-5 (b) 所示, 由常开触点 $\bar{x}$ 控制线圈 Z , 并分别接有二极管 D_1 、 D_2 , 当 $\bar{x}$ 不动作 (打开) 时, 没有旁路作用, Z 得电; 当 $\bar{x}$ 动作 (闭合) 时, $\bar{x}$ 把 Z 旁路, Z 不得电。由旁路控制实现 Z 和 x 之间的“非”关系。图中的二极管也是必要的, 使得触点 $\bar{x}$ 可以参与其他逻辑运算, 而不会互相影响。 Z 和 x 之间的“非”逻辑表达式为

$$Z = \bar{x} \quad (1-3)$$

综上所述, 图 1-3 (b)、图 1-4 (b) 和图 1-5 (b) 是根据旁路控制原理建立起来的“与”、“或”、“非”逻辑电路, 代表现场条件的各输入继电器触点所在的支路, 同代表被控制量的输出继电器线圈所在支路相并联, 各支路均接有二极管, 起钳位作用和隔离作用。当线圈被触点旁路时, 线圈不得电, 旁路解除时, 线圈得电, 以实现基本的逻辑控制。如果输入条件都具备时, 才有输出, 为“与”关系; 如果只要有一个输入条件具备就有输出, 为“或”关系; 如果有输入无输出、无输入有输出, 为“非”关系。旁路控制原理是逻辑式顺序控制的基本原理, 根据旁路控制原理建立的“与”、“或”、“非”电路是逻辑式顺序控制器中最基本的逻辑电路。

为了实现各种逻辑控制要求, 并具有通用性和灵活性, 需要找到适当的组合型式, 把“与”、“或”、“非”基本逻辑电路组合起来, 这就是下面要介绍的二极管矩阵。

(二) 二极管矩阵

二极管矩阵板是逻辑式顺序控制器中的主要部件。矩阵板通常由双面印制电路板构成, 其一面印制有若干条竖导线 (称为行母线), 另一面印制有若干条横导线 (称为列母线), 行母线与列母线不直接相通, 如图 1-6 所示。所有行母线经过限流电阻接至电源母线, 各条列母线自印制板引出, 分别与触点、线圈等输入、输出元件相连接。每行母线和列母线都钻有许多小孔, 供插焊二极管用。根据逻辑控制的要求, 在有关的行母线与列母线之间插焊二极管, 勾通输入与输出元件之间的联系, 完成“与”、“或”、

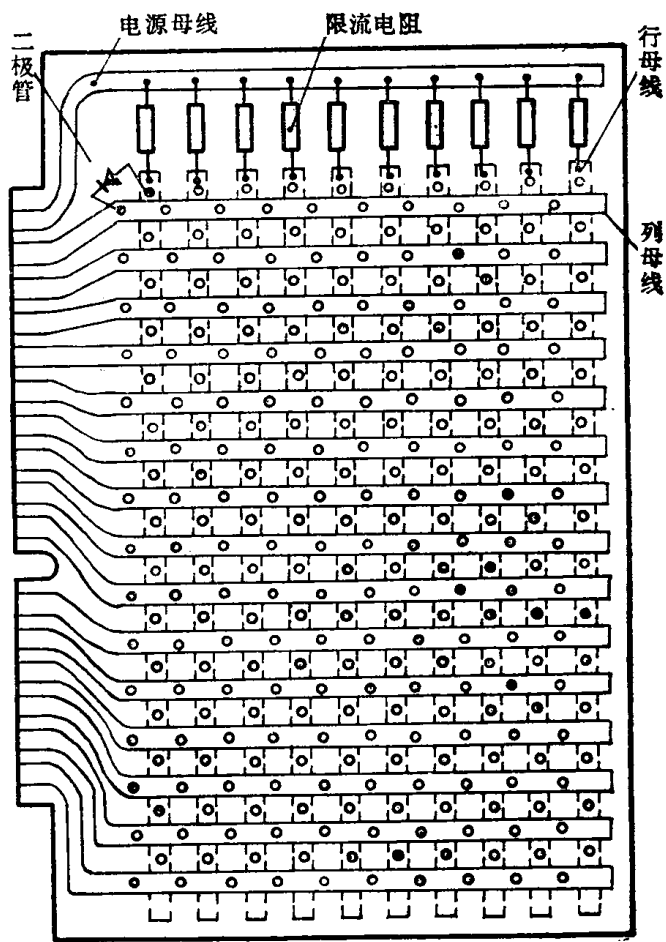


图1-6 矩阵板（示意图）

“非”逻辑组合。这种由行、列母线和二极管构成的逻辑组合网络，叫做二极管矩阵。

现在我们利用二极管矩阵来建立旁路控制的“与”、“或”、“非”电路，也就是将前面讨论的旁路控制的“与”、“或”、“非”电路用二极管矩阵型式来表示。图1-7是二极管矩阵中的“与”电路。具有“与”逻辑关系的触点 x_1 、 x_2 和线圈 Z 分别与第1、2、3系列母线相联接，它们通过二极管 D_1 、 D_2 、 D_3 与同一条行母线相联系。当 x_1 与 x_2 都动作时，由于没有旁路，行母线处于高电平，通过 D_3 使 Z 得电；当 x_1 动作、 x_2 不动作时，由于 x_2 的旁路作用， D_2 将行母线钳制在低电平， Z 不得电。即实现了 x_1 、 x_2 和 Z 之间的“与”关系。实际上，这里的电路与图1-3二极管“与”电路，在原理上是一样的。

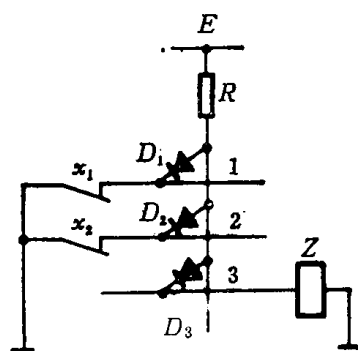


图1-7 二极管矩阵中的“与”电路

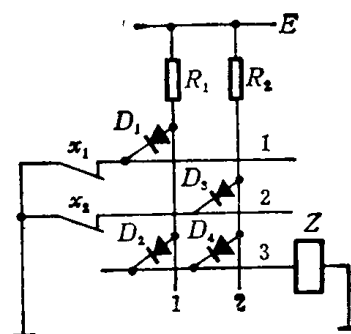


图1-8 二极管矩阵中的“或”电路

上面介绍了一个输出线圈 Z 受两个输入触点 x_1 、 x_2 “与”逻辑控制的情况。一般情况下，若一个输出信号 Z 受 n 个输入信号 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 的“与”逻辑控制，其逻辑表达式为

$$Z = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdots x_n \quad (1-4)$$

在逻辑式顺序控制器中实现“与”逻辑运算的规则是：“与”函数 Z 占一条列母线， n 个“与”因子占 n 条列母线，在同一条行母线上对这 $n+1$ 条列母线插焊二极管。

图1-8是二极管矩阵中的“或”电路。具有“或”逻辑关系的触点 x_1 、 x_2 和线圈 Z 分别与第1、2、3条列母线相联接。第1条行母线对第1、3条列母线接二极管 D_1 、 D_2 ，以联系 x_1 与 Z ；第2条行母线对第2、3条列母线接二极管 D_3 、 D_4 ，以联系 x_2 与 Z 。当 x_1 或 x_2 动作时，第1条或第2条行母线处于高电平，电流通过 D_2 或 D_4 使 Z 通电；当 x_1 和 x_2 都不动作时，第1、2条行母线都被钳制在低电平， Z 不通电，因而实现了“或”逻辑控制，这与图1-4(b)中的“或”电路，实际上是一样的。

在逻辑式顺序控制器中实现“或”逻辑运算的一般规则是：若一个输出信号 Z 受 n 个输入信号 $x_1, x_2 \cdots x_n$ 的“或”逻辑控制，用逻辑式表示为

$$Z = x_1 + x_2 + x_3 + \cdots + x_n \quad (1-5)$$

“或”函数 Z 占一条列母线， n 个“或”因子占 n 条列母线和 n 条行母线， n 条行母线与 $n+1$ 条列母线之间分别插焊二极管。

图1-9是二极管矩阵中的“非”电路。在逻辑式顺序控制器中实现“非”逻辑运算的规则是：若一个输出信号 Z 受一个输入信号 x 的“非”逻辑控制，记作

$$Z = \bar{x}$$

则函数 Z 和反变量 $\bar{x}$ 各占一条列母线，在同一条行母线与这两条列母线间插焊二极管。需要注意的是，与图 1-5 (b) 中一样， $\bar{x}$ 是指常开触点。

下面我们将上述三种基本逻辑电路组合在同一个矩阵中，如图 1-10 所示。这是逻辑式顺序控制器的原理图，由输入、输出和二极管矩阵三部分组成。为简便起见，矩阵中的二极管均用箭头表示，箭头指向二极管导通方向。在该矩阵中，输出继电器线圈 Z_1 通过二极管 D_1 、 D_2 、 D_3 ，同输入触点 x_1 、 x_2 组成“与”电路，即 $Z_1 = x_1 \cdot x_2$ 。 Z_2 通过 D_4 、 D_5 、 D_6 、 D_7 ，同 x_1 、 x_2 组成“或”电路，即 $Z_2 = x_1 + x_2$ 。 Z_3 通过 D_8 、 D_9 同 $\bar{x}_1$ 组成“非”电路，即 $Z_3 = \bar{x}_1$ 。

从图 1-10 可以看出：首先，只要改变二极管位置，就可实现不同的逻辑组合。例

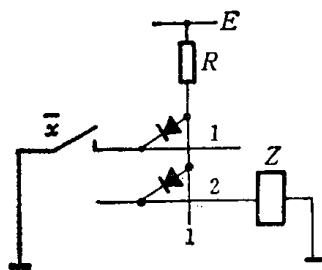


图1-9 二极管矩阵中的“非”电路

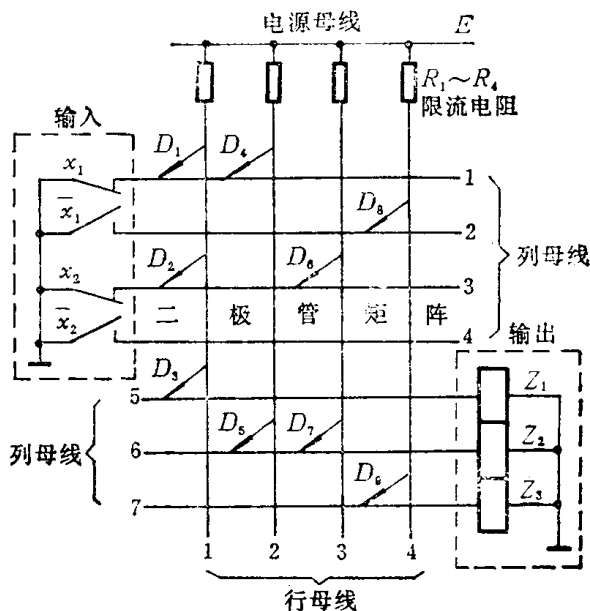


图1-10 逻辑式顺序控制器原理图

如，若要实现这样的逻辑组合： $Z_1 = x_1 + x_2$ ； $Z_2 = x_1 \cdot x_2$ ； $Z_3 = \bar{x}_2$ 。这里的输入、输出信号与图 1-10 中的相同，但逻辑组合不一样。这时，只要改变二极管的位置，如图 1-11 所示， $D_1 \sim D_4$ 使 Z_1 和 x_1 、 x_2 组成“或”电路； $D_5 \sim D_7$ 使 Z_2 和 x_1 、 x_2 组成“与”电路； D_8 、 D_9 使 Z_3 和 $\bar{x}_2$ 组成“非”电路。由此可见，二极管矩阵是一种灵活可变的逻辑组合网络，因而使得逻辑式顺序控制器的灵活性和通用性比电器控制线路提高了。假如输入、输出点数不超过规定的容量，同一台逻辑式顺序控制器，可以方便地改变其控制程序；或者，同一规格的逻辑式顺序控制器，可以控制不同的生产工艺，只要根据控制要求，正确安排

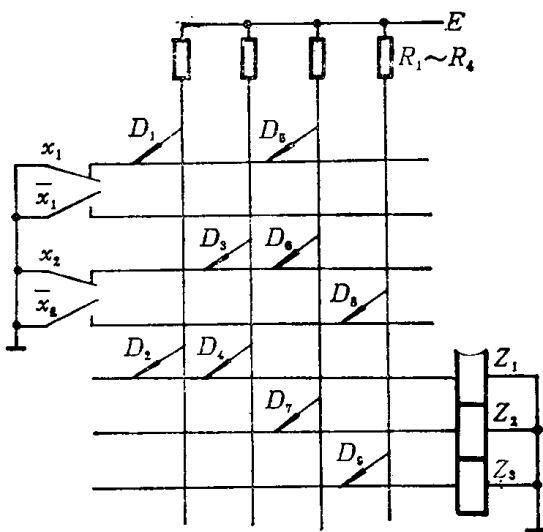


图1-11 实现不同的逻辑组合

二极管的位置即可。

其次，同一个输入信号可以参与多种逻辑运算。如图 1-10 中，输入触点 x_1 参与两种逻辑运算，即 $Z_1 = x_1 \cdot x_2$ 和 $Z_2 = x_1 + x_2$ ，由于有二极管起钳位作用和隔离作用，都能正确实现逻辑运算又互不影响。 x_2 也是这样。若在电器控制线路中，参加两种逻辑运算需要两个触点，参加多种逻辑运算时，需要用中间继电器增加触点数。而逻辑式顺序控制器中，触点是输入信号，不直接起逻辑运算作用。因此，逻辑式顺序控制器所需要的输入触点数比电器控制线路的少，从而可靠性得到提高。

再次，输入可以是触点信号，也可以是电平信号。图 1-10 中输入都是触点信号，实际上也可以是电平信号。电平信号一般来自有源电路（如直流电源、晶体管电路），需要接地端，多个电平信号需要公共接地端。由于逻辑式顺序控制器的输入采用并联方式，有公共接地端，因此允许电平信号输入。而电器控制线路的输入采用串联方式，只允许触点信号。逻辑式顺序控制器兼容触点信号和电平信号，使用方便。而且，电平信号是无触点的，可以组成无触点控制系统，提高了可靠性。

下面以控制某送料小车自动往返为例，进一步说明逻辑式顺序控制器的工作原理。

小车的动作要求，如图 1-12 所示，可以在 A 、 B 之间起动或停车，前进或后退，前进至 B 处停车 t 秒后返回，后退至 A 处停车后，立即返回。设 x_1 、 x_2 为 A 、 B 两处的限位开关触点， Z_1 、 Z_2 分别为送出前进和后退动作信号的输出继电器线圈， z_1 、 $\bar{z}_1$ 和 z_2 、 $\bar{z}_2$ 是它们的常开、常闭触点， T 是延时继电器线圈， t 是它的触点，也代表延迟时间。可用图 1-13 所示的电器控制线路，实现小车自动往返，线路中 A_1 、 A_2 和 $\bar{A}_3$ 分别是前进起动按钮、后退起动按钮和停止按钮。

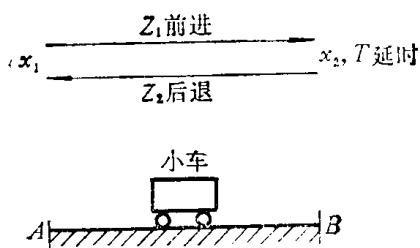


图1-12 小车自动往返动作示意图

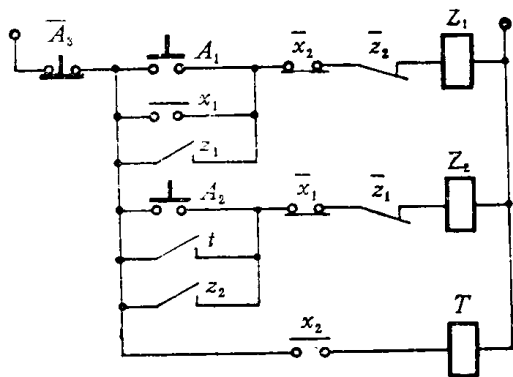


图1-13 小车自动往返电器控制线路

按照图 1-13 电器控制线路，可以写出表达这一控制过程的逻辑代数式，注意在电器控制线路中，触点串联为逻辑“与”，触点并联为逻辑“或”。再将所得到的逻辑代数式展开成“与-或”形式（即先“与”后“或”的形式），这样便于在二极管矩阵中进行逻辑组合。具体如下：

$$Z_1 = (A_1 + x_1 + z_1) \bar{x}_2 \bar{z}_2 \bar{A}_3 \quad (1-6)$$

$$= A_1 \bar{x}_2 \bar{z}_2 \bar{A}_3 + x_1 \bar{x}_2 \bar{z}_2 \bar{A}_3 + z_1 \bar{x}_2 \bar{z}_2 \bar{A}_3$$

$$Z_2 = (A_2 + t + z_2) \bar{x}_1 \bar{z}_1 \bar{A}_3 \quad (1-7)$$

$$= A_2 \bar{x}_1 \bar{z}_1 \bar{A}_3 + t \bar{x}_1 \bar{z}_1 \bar{A}_3 + z_2 \bar{x}_1 \bar{z}_1 \bar{A}_3$$

$$T = x_2 \bar{A}_3$$

(1-8)

根据逻辑代数式，即可在逻辑式顺序控制器的二极管矩阵中安排二极管，也就是编制控制程序和实现逻辑运算。三个逻辑式包含3个函数和12个变量，需用 $3 + 12 = 15$ 条列母线；三个逻辑式共有7个“与”项，需用7条行母线，如图1-14所示。按照前面得出的二极管矩阵中实现逻辑运算的规则，安排二极管如下： Z_1 式有三个“与”项，分别占据1、2、3号行母线，第一项是 A_1 、 $\bar{x}_2$ 、 $\bar{z}_2$ 、 $\bar{A}_3$ 之“与”，在1号行母线与1、3、7、8、13号列母线间插二极管1~5；第二项是 x_1 、 $\bar{x}_2$ 、 $\bar{z}_2$ 、 $\bar{A}_3$ 之“与”，在2号行母线与3、4、7、8、13号列母线间插二极管；第三项是 z_1 、 $\bar{x}_2$ 、 $\bar{z}_2$ 、 $\bar{A}_3$ 之“与”，也在相应的行、列母线间插二极管。对 Z_2 和 T 两式也按运算规则安排二极管（为统一起见，图中已将现场信号 x_1 、 x_2 转换成继电器触点）。

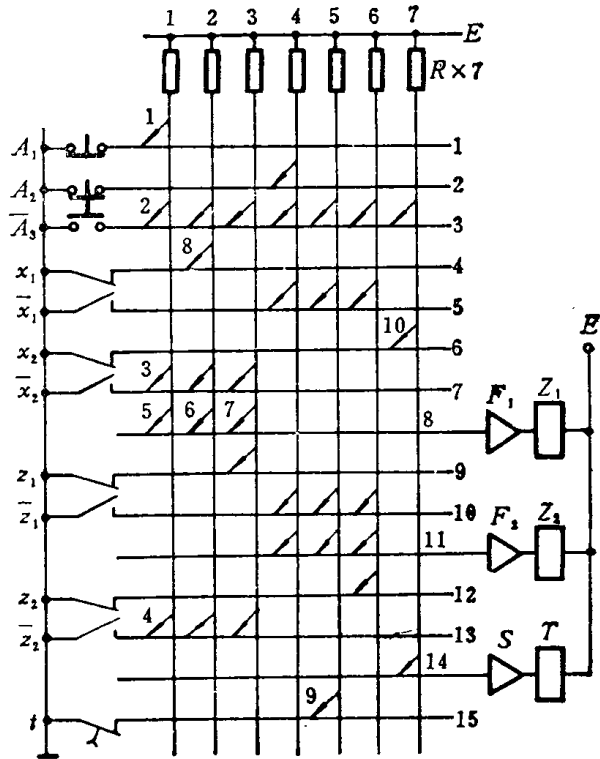


图1-14 小车自动往返的逻辑式顺序控制

现在来分析图1-14的控制过程。假设小车停在 AB 间某处，要求起动后先前进，然后自动往返。我们先按下前进起动按钮 A_1 ，这时1号行母线处于高电平，通过5号二极管和放大器 F_1 （其作用将在后面介绍），使 Z_1 通电，驱动小车前进；同时，常闭触点 z_1 打开，使3号行母线为高电平，通过7号二极管和放大器 F_1 ，使 Z_1 保持通电，起“自锁”作用；还有，常开触点 $\bar{z}_1$ 闭合，将4、5、6号行母线钳制在低电平，禁止 Z_2 通电，以避免主电路电源短路，起“互锁”作用。当小车前进至 B 处，限位开关的常开触点 $\bar{x}_2$ 闭合，把1、2、3号行母线钳制到低电平， Z_1 失电停车；同时，常闭触点 x_2 打开，7号行母线为高电平，经二极管和延时电路 S 使继电器 T 通电。到达预定的 t 秒钟时，其常闭触点 t 打开，使5号行母线处于高电平，经二极管和放大器 F_2 ，使 Z_2 通电，驱动小车后退；同时，常闭触点 z_2 打开起自锁作用，常开触点 $\bar{z}_2$ 闭合起互锁作用。小车后退至 A 处，限位开关常开触点 $\bar{x}_1$ 闭合，使4、5、6号行母线处于低电平， Z_2 失电停车；同时，常闭触点 x_1 打开，2号行母线为高电平，经二极管6和放大器 F_1 ， Z_1 又得电，小车又前进，……就这样小车自动往返。当要停车时，按下停止按钮 $\bar{A}_3$ ，把全部行母线钳制到低电平，不论小车在何位置、做什么动作均停止不动。

假如需要改变小车动作，不在 B 处，而在 A 处停车 t 秒钟，那么，只要改变三个二极管的位置即可。就是把2号行母线上的8号二极管，由4号列母线移至15号列母线，使 Z_1 的起动条件之一 x_1 改为 t ；再把5号行母线上的9号二极管，由15号列母线移至6号列母线，使 Z_2 的起动条件之一 t 改为 x_2 ；然后把7号行母线上的10号二极管，由6号

列母线移至 4 号列母线, 使 T 的起动条件由 x_2 改为 x_1 。

从这个具体例子中, 可以进一步看到逻辑式顺序控制器的工作原理, 它根据控制对象的动作要求, 在矩阵板上通过二极管进行“与”、“或”、“非”逻辑组合, 预先编制好逻辑控制和逻辑运算的程序。在工作过程中, 由现场条件、设定时间和操作命令等输入信号的变化, 使一些行母线旁路, 相应的输出被封锁; 而另一些行母线解除旁路, 开启相应的输出, 送出动作信号。实现起动、自锁、互锁、延时以及停止等控制功能。其中, 旁路控制原理和在二极管矩阵中进行逻辑组合的原理, 是逻辑式顺序控制器的基本原理。

在这个例子中, 还涉及到逻辑式顺序控制器的组成部分和程序编制方法, 将在下面几节中详细介绍。

1-2 逻辑式顺序控制器组成部件

本节将介绍逻辑式顺序控制器的组成部件, 主要是二极管矩阵板、输入电路、输出放大器、延时和定时电路及中间记忆电路等, 并介绍其中一些电路的设计和计算方法。

(一) 逻辑式顺序控制器的组成

在上节介绍逻辑式顺序控制器的工作原理时, 已涉及到它的基本组成部分, 即二极管矩阵、输入和输出部分。实际应用的逻辑式顺序控制器, 除了基本部分外, 还需要其他部分相配合, 才能正常工作和满足各种功能。在图1-15所示的逻辑式顺序控制器的框图中, 示出了它的各个组成部件以及相互间的联系。

在逻辑式顺序控制器中, 二极管矩阵板是核心部件, 它既有存储控制程序的功能, 又有进行逻辑运算的功能。也就是说, 由二极管矩阵确定了控制过程各个阶段各个动作的顺序, 以及输出信号与输入信号之间的逻辑关系。

输入到二极管矩阵板的信号有从输入电路送来的信号。输入电路起信号的转换和隔离作用。它把从现场检测元件送来的信号, 转换成矩阵板所需要的统一的逻辑电平。现场检测元件包括限位开关、压力开关和接近开关等, 它们送来的信号反映现场的条件和状态。而且, 应抑制外界干扰, 把外界干扰与本机“隔离”开。

输入到二极管矩阵板的信号, 还有主令信号、反馈信号和时间信号。主令信号是指操作人员发出的命令信号, 如起动、停止等。反馈信号是指从输出端送回来的信号, 起保持和记忆作用, 如自锁、互锁等; 有的是内反馈信号, 或称中间信号, 它代表逻辑运算的中间结果。时间信号包括延时吸合、延时释放和定时控制等时间到达的信号。

所有上述输入信号送到二极管矩阵板中进行逻辑运算, 在条件满足时发出输出信号。

从二极管矩阵输出的信号有供给输出放大器的动作信号和供给时间单元的计时信号。为了限制旁路时的电流, 矩阵板中的限流电阻的阻值取得比较大, 这样, 信号电流

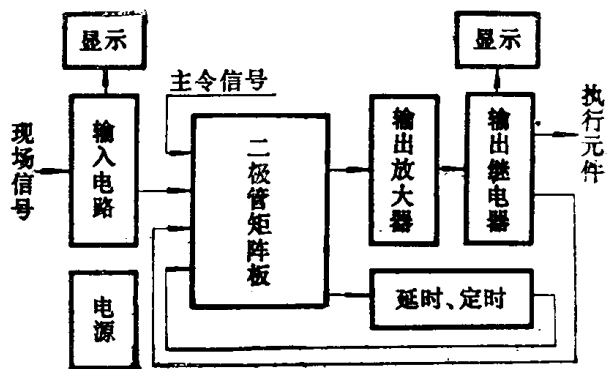


图1-15 逻辑式顺序控制器方框图

就比较小,不足以直接驱动输出继电器。因此,用输出放大器把动作信号放大后,再驱动输出继电器。由输出继电器去控制执行元件(如接触器、电磁阀等),一般还将其触点反馈到输入端,参与二极管矩阵中的逻辑运算。时间单元通常是晶体管时间继电器,预先设定时间,计时信号到达时开始计时,预定时间到达时继电器动作,并送回到输入端。

为了便于操作人员了解控制过程中输入、输出的状态,相应各输入点和输出点都有显示。

显然,整个装置还需要直流稳压电源。

(二) 二极管矩阵板

二极管矩阵板的作用已在前面介绍过,下面介绍几个具体问题。

1. 矩阵板的容量和结构 矩阵板的容量是指矩阵板中的行母线数和列母线数,它们取决于输入信号和输出信号的多少,以及逻辑组合的复杂程度。如果与控制过程对应的一组逻辑代数式已知时,那么,列母线数和行母线数也随着确定了,两者的关系是:

$$\text{列母线数} = \text{逻辑函数总数} + \text{逻辑变量总数}$$

$$\text{行母线数} = \text{逻辑“与”项的总数}$$

在上节所举的小车自动往返的例子中,其二极管矩阵中行、列母线的数目,就是按照这里的关式确定的。在逻辑变量总数中,包括主令信号数、现场检测信号数、输出动作信号数、时间信号数、中间信号数以及反馈信号数。

如果逻辑代数式尚未得到,那么可以按照下列式子来估算:

$$L = A + 2X + 3(Z + T + Y) \quad (1-9)$$

$$H = 3(Z + T + Y) \quad (1-10)$$

式中 L ——列母线数;

A ——主令信号数;

X ——现场检测信号数;

Z ——输出动作信号数;

T ——时间信号数;

Y ——中间信号数;

H ——行母线数。

式(1-9)确定的列母线数中,主令信号有一个算一条;现场检测信号,每个按常开和常闭两条计算;输出动作信号、时间信号和中间信号,每个按三条计算,其中一条接线圈,两条接常开和常闭反馈触点。计算所得总数不小于实际所需的列母线数。式(1-10)确定的行母线数是按照每个输出平均有三个“与”项估算的,供预选时参考。

矩阵板的结构大致有大板整体式和小板组合式两种。大板整体式结构,把所有的行、列母线集中在一块印制板上,编制程序比较方便,外部连线也较少,但印制板的利用率不高,加工较困难,通用性差。小板组合式结构,把行、列母线分散到几块统一规格的小印制板上,再通过接插件,把它们组合起来,虽然外部连线较多、编制程序不方便,但印制板加工容易、利用率高,并且通用性大。

2. 二极管和限流电阻 矩阵板中二极管的工作电流和反向电压都较小,开关速度也不高。因此,用普通二极管即可,常用的是2CP系列硅普通二极管,如2CP11~2CP14。

要按规定条件筛选,以保证可靠工作。

限流电阻的大小应兼顾两方面的要求,一方面在旁路时,电源经限流电阻直接到地端,要求阻值大,以减少电源的消耗;另一方面在旁路解除时,电源经限流电阻到输出放大器,要求阻值小,以供给输出放大器必需的基极电流。矩阵板的电源电压,一般取输出继电器的工作电压,如直流 24 V,这时限流电阻取 $5 \sim 20 \text{k}\Omega$,旁路时的电流约 $1 \sim 5 \text{mA}$ 。

(三) 输入电路

前面谈到,输入电路主要起信号的转换和隔离作用,这是十分必要的。因为现场信号是各种各样的,有了输入电路可以转换成统一的、必需的触点数目或信号电平,才能参与矩阵板中的逻辑运算,并提供输入显示等。同时,输入长联接线是引入外界干扰的重要途径,必须采取隔离措施,以提高控制系统的抗干扰能力。对于逻辑式顺序控制器的输入电路来说,既要求起到转换和隔离作用,又希望电路简单、成本较低。因此,较多地采用继电器输入电路,也有的采用晶体管输入电路和光电耦合输入电路等。这里介绍继电器输入电路,其他的输入电路,将在步进式顺序控制器中介绍。

继电器输入电路,如图 1-16 所示。图 1-16(a) 中 K 是运行和调试切换开关,在运

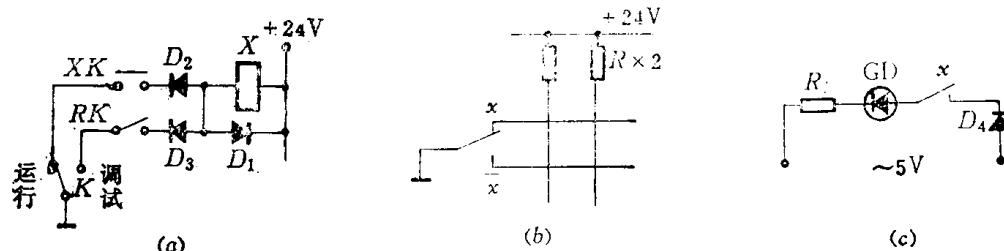


图1-16 继电器输入电路

行状态,由现场检测元件(如行程开关) XK 控制输入继电器线圈 X 。当 XK 闭合时,24 V 电源通过线圈 X 、二极管 D_2 、行程开关 XK 和切换开关 K 到地端,构成通路,继电器线圈通电动作。在调试状态,由钮子开关 RK 模拟现场行程开关,控制输入继电器线圈。二极管 D_1 称为续流二极管,在 XK 或 RK 断开时为继电器线圈提供放电回路,以避免线圈在断电瞬间产生高压。图 1-16(a) 中画出的只是一路输入电路,其他各路与此相同,为避免各路输入信号互相影响,接入二极管 D_2 和 D_3 等。图 1-16(b) 中 x 和 $\bar{x}$ 是继电器的切换触点,即一对常闭触点和一对常开触点,与矩阵板中列母线联接,参与逻辑运算。图 1-16(c) 中继电器的另一对常开触点 x 控制发光二极管 GD ,以显示输入状态,二极管 D_4 用来把 5 V 交流电压整为直流,电阻 R_L 用来限制电流。可见,继电器能将现场行程开关的一对常开触点,转换成逻辑运算需要的一对常开触点和一对常闭触点,以及显示需要的一对常开触点,较好地起到信号转换作用。

由于继电器的线圈与现场检测元件相连,继电器的触点与顺序控制器的矩阵板相连,而线圈与触点之间没有电路上的联系,因此,现场与顺序控制器之间也没有电路上的联系,这就起到了较好的隔离作用,避免外界干扰信号通过输入信号线窜入顺序控制器内部引起误动作。

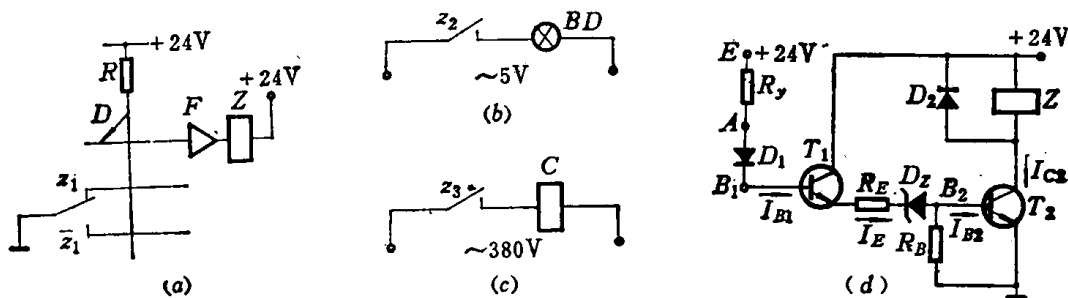
输入继电器可选用 JRX-13F-1 型或 DZ-144 型小功率直流电磁继电器,额定电压

为24V, 吸合电压约18V, 平均吸合时间5~10ms, 有4对常开触点和4对常闭触点, 触点负荷为直流48V×0.25A (JRX-13F-1型) 或100V×1A (DZ-144型)。由于继电器的动作电压比一般干扰电压的幅度大, 继电器的动作时间比一般干扰的持续时间长, 因此, 继电器具有较强的抗干扰能力。

上面谈到的都是继电器输入电路的优点, 但继电器的触点有机械磨损, 容易引起接触不良, 影响动作的可靠性, 这是它的缺点。

(四) 输出电路

逻辑式顺序控制器中较多的采用继电器输出电路, 它由输出放大器 F 和输出继电器 Z 组成, 如图1-17所示。从矩阵板送出的动作信号经放大器放大后驱动继电器, 继电器



$$T_{11}: 3DG6D \quad \beta_1 \geq 40 \quad T_{21}: 3DG12B \quad \beta_2 \geq 40 \quad D_{21}: 2CW14 \quad V_Z = 7V \\ D_{22}: 2CP42 \quad R_y = 8.2k\Omega \quad R_E = 2.2k\Omega \quad R_B = 10k\Omega$$

图1-17 继电器输出电路

的一对常开、常闭触点 $\bar{z}_1$ 、 z_1 与矩阵列母线相连, 作为输出反馈信号参与逻辑运算 (图1-17a)。另一对常开触点 z_2 控制输出显示灯 BD (图1-17b)。还有一对常开触点 z_3 去控制执行元件, 如接触器线圈 c (图1-17c)。

为了使输出继电器的触点能够直接驱动一般电磁阀和较大容量的接触器, 可选用JJDZ3-33型或JQX-10F-3Z型等小型中间继电器, 它们有三对常开、常闭触点, 额定工作电压为24V, JJDZ3-33型的额定工作电流为100mA, JQX-10F-3Z型的额定工作电流为80mA。一方面要提供这么大的继电器工作电流; 另一方面又要减小从行母线上取用的电流, 以减小限流电阻上的损耗。因此, 设置了输出放大器。

输出放大器线路, 如图1-17(d)所示, 图中 R_y 、 D_1 是矩阵板上的限流电阻和二极管。放大器电源电压取为继电器工作电压24V, 为了减小从行母线取用的电流, 放大器第一级由晶体管 T_1 等组成射极输出器, 具有较高的输入阻抗, 只从行母线取很小的基极电流 I_{B1} ; 并使行母线上 A 点具有较高的电平, 容许一条行母线同时供给几路输出, 以扩大行母线的利用率。为了提供继电器线圈100mA的电流, 整个放大器由晶体管 T_1 和 T_2 等两级组成, 具有较大的电流放大倍数, 并使晶体管 T_2 可靠饱和, 提高其带负载能力和抗干扰能力。稳压二极管 D_2 也是为了提高电路抗干扰能力的。 D_2 是续流二极管, 当晶体管 T_2 由饱和转向截止时, 为继电器线圈提供通路, 避免产生高压击穿晶体管。

放大器从行母线取用的电流和放大器带负载能力计算如下:

行母线上 A 点的电位可表示为

$$V_A = V_{D1} + V_{BE1} + I_B R_E + V_Z + V_{BE2}$$

$$= I_{B1} (1 + \beta_1) R_E + (V_Z + V_{D1} + V_{BE1} + V_{BE2})$$

设 $R'_E = (1 + \beta_1) R_E$ (1-11)

$$V'_Z = V_Z + V_{D1} + V_{BE1} + V_{BE2} \quad (1-12)$$

则 $V_A = I_{B1} R'_E + V'_Z$ (1-13)

由式 (1-13) 可看出, 对行母线来说, 输出电路等效于一条电阻 R'_E 和反电势 V'_Z 组成的支路。因此, A 点电位为

$$V_A = \frac{E - V'_Z}{R_y + R'_E} \times R'_E + V'_Z \quad (1-14)$$

根据图 1-17(d) 所示电路参数代入上述各式, 可以得到

$$R'_E = (1 + \beta_1) R_E = (1 + 40) \times 2.2 = 90.2 \text{ (k}\Omega\text{)}$$

$$V'_Z = V_Z + V_{D1} + V_{BE1} + V_{BE2} = 7 + 0.7 + 0.7 + 0.7 = 9.1 \text{ (V)}$$

$$V_A = \frac{24 - 9.1}{8.2 + 90.2} \times 90.2 + 9.1 = 22.8 \text{ (V)}$$

再由式 (1-13) 可得基极电流 I_{B1} , 也就是一路输出电路从行母线上取用的电流

$$I_{B1} = (V_A - V'_Z) / R'_E = (22.8 - 9.1) / 90.2 = 0.15 \text{ (mA)}$$

可见, 所取用的电流是很小的。

晶体管带负载能力与其饱和深度有关, 饱和越深, 带负载能力越强。饱和深度可用饱和系数 K_s 表示, 当 K_s 达 $2 \sim 4$ 时, 晶体管充分饱和。

$$K_s = I_B / I_{Bs} \quad (1-15)$$

$$I_{Bs} = I_{cs} / \bar{\beta}_{\min} \quad (1-16)$$

$$I_{cs} = E_c / R_c \quad (1-17)$$

式中 I_{Bs} ——临界饱和时的基极电流;

I_{cs} ——饱和时的集电极电流;

$\bar{\beta}_{\min}$ ——晶体管直流放大系数的最小值;

E_c ——集电极电源电压;

R_c ——集电极负载电阻。

现检验本输出放大器带动 100mA 继电器负载时的饱和程度。

因为 $I_E = (1 + \beta_1) I_{B1} = (1 + 40) \times 0.15 = 6.15 \text{ (mA)}$

$$I_{B2} = I_E - I_{RB} = I_E - V_{BE2} / R_B$$

$$= 6.15 - 0.7 / 10 = 6.08 \text{ (mA)}$$

而饱和时的集电极电流 I_{cs} , 取继电器额定工作电流

$$I_{cs} = 100 \text{ (mA)}$$

$$I_{Bs2} = I_{cs} / \bar{\beta}_{\min} = 100 / 40 = 2.5 \text{ (mA)}$$

可见, 实际基极电流 I_{B2} 大于临界饱和基极电流 I_{Bs2} , 并且饱和系数

$$K_s = I_{B2} / I_{Bs2} = 6.08 / 2.5 = 2.4$$

晶体管 T_2 已充分饱和。

如果一条行母线同时带四路输出, 这四路输出相当于四条电阻 R'_E 和反电势 V'_Z 的支路并联, 如图 1-18(a) 所示, 这四条支路等效于一条电阻为 $1/4 R'_E$ 和反电势 V'_Z 的支路,



图1-18 四路输出的计算

如图 1-18(b) 所示。那么，行母线上 A 点的电位为

$$V_A = \frac{E - V'_z}{R_y + \frac{1}{4} R'_E} \times \frac{1}{4} R'_E + V'_z \quad (1-18)$$

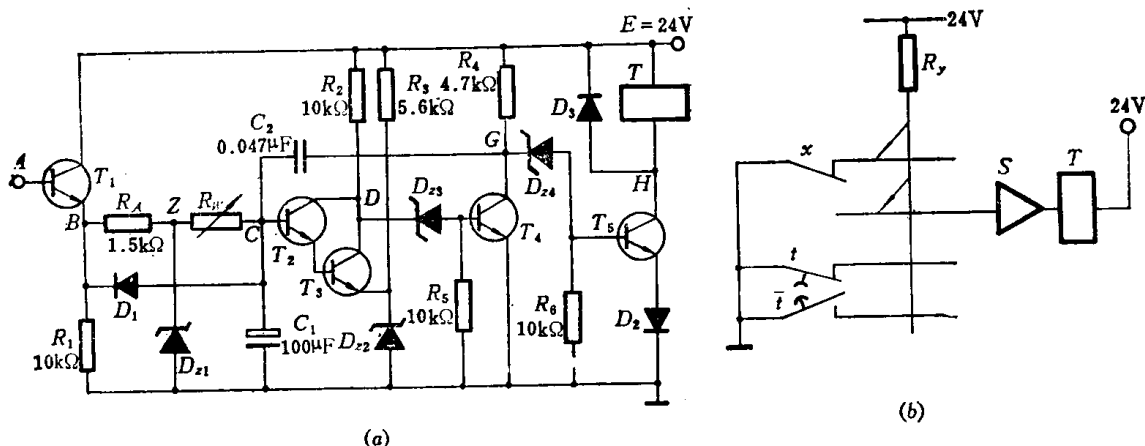
$$V_A = \frac{24 - 9.1}{8.2 + 0.25 \times 90.2} \times 0.25 \times 90.2 + 9.1 = 20(\text{V})$$

可见，即使一条行母线同时带四路输出，行母线上仍有较高的电平，如果还有延时电路也能正常工作。但 T_2 管的饱和深度有所减弱。

除了继电器输出电路外，有时还采用功率管输出电路和可控硅输出电路，可参阅第二章步进式顺序控制器中的输出电路。

(五) 延时和定时电路

在逻辑式顺序控制器中，通常采用晶体管阻容延时或定时电路，与普通电磁继电器相结合，组成电子式延时或定时继电器。图 1-19(a) 是一种晶体管阻容延时电路，图



T_1, T_2, T_3, T_4 : 3DG6D T_5 : 3DG12B D_{Z1}, D_{Z3} : 2CW20
 D_{Z2}, D_{Z4} : 2CW15 D_1, D_2, D_8 : 2CP11 T : JJDZ3-33

图1-19 延时电路

1-19(b) 是它与二极管矩阵的联系。它由下列几部分组成：

1. 隔离电路 由晶体管 T_1 和电阻 R_1 等构成射极输出器，利用其输入阻抗大、输出阻抗小的特点，一方面可以减小延时电路对二极管矩阵的影响，如取用的电流；另一方

面也可以减少二极管矩阵对延时电路的影响,如充放电回路的电阻,以提高延时的精度。

2. 阻容延时电路 由电阻 R_A 、电位器 R_w 、电容 C_1 、稳压管 D_{Z1} 和二极管 D_1 等组成,从二极管矩阵中送来延时的起始信号时, T_1 管的基极(A 点)和发射极(B 点)立即从低电平转为高电平,经 R_A 使 D_{Z1} 导通,并经 R_w 向 C_1 充电,调整 R_w 和 C_1 的大小,即可改变延迟时间。当 A 点和 B 点从高电平转为低电平时, C_1 经 D_1 和 R_1 很快放电。这样可起到“延时吸合,瞬时释放”的作用。由于充电电平由稳压管 D_{Z1} 稳压在固定值,不受输入电平波动而影响,因此,也提高了延时精度。

3. 晶体管比较开关 由晶体管 T_2 、 T_3 和稳压管 D_{Z2} 组成。 T_2 、 T_3 的发射结电压 V_{BE2} 、 V_{BE3} 和 D_{Z2} 的稳定电压 V_{Z2} 形成比较开关的阈值电压 V_T ,当电容 C_1 的充电电压 v_c 小于 V_T 时, T_2 、 T_3 和 D_{Z2} 均截止, T_2 、 T_3 集电极 D 端为高电平;当 v_c 达到 V_T 时, T_2 、 T_3 和 D_{Z2} 均导通, D 端为低电平。因此,由比较开关确定延时的终了时刻。 T_2 和 T_3 组成复合管,具有很大的电流放大倍数,从而容许前面阻容延时电路送来的电流可以很小,即电位器阻值 R_w 可以很大,以达到较长的延时。

4. 放大电路 由晶体管 T_4 、 T_5 和稳压管 D_{Z3} 、 D_{Z4} 等组成。为了使延时电路能直接带动执行元件,采用与输出电路同样的继电器,并由其触点送回矩阵参加逻辑运算(见图1-19b)。放大电路用来驱动继电器,当 D 端电平达到 D_{Z3} 的稳定电压和 T_4 的发射结电压时, D_{Z3} 和 T_4 导通, T_4 集电极 G 端为低电平, D_{Z4} 和 T_5 截止,继电器处于释放状态;当 D 端电平低于 D_{Z3} 的稳定电压和 T_4 的发射结电压时, D_{Z3} 和 T_4 截止, G 端为高电平, D_{Z4} 和 T_5 导通,使继电器吸合。 G 端与 C 端跨接的电容 C_2 构成正反馈。当 C 点电平由低变高时,各点电平变化为

$$\begin{array}{c} V_c \uparrow \rightarrow V_D \downarrow \rightarrow V_G \uparrow \rightarrow V_H \downarrow \rightarrow \text{继电器吸合} \\ \uparrow \quad \quad \quad \text{正反馈} \end{array}$$

因而加速了继电器的吸合过程;反之,当 C 点电平由高变低时,各点电平变化与上述相反,加速了继电器的释放过程。继电器吸合或释放过程加速,可以避免触点抖动。

根据 RC 电路对阶跃电压响应的一般规律,结合本电路的情况,可估算出延时范围。这里稳压管 D_{Z1} 两端电压 V_Z 是充电的阶跃电压,电位器 R_w 是充电电阻, C_1 是充电电容,电路方程为

$$R_w C_1 \frac{dv_c}{dt} + v_c = V_Z \quad (1-19)$$

式中 v_c ——电容 C_1 两端的充电电压。

该方程在零初始条件($t=0$ 时, $v_c=0$)下解为

$$v_c = V_Z (1 - e^{-t/\tau}) \quad (1-20)$$

$$t = \tau \ln \frac{V_Z}{V_Z - v_c} \quad (1-21)$$

$$\tau = R_w C_1 \quad (1-22)$$

电容器端电压 v_c 从零充到比较开关的阈值电压 V_T 所需的时间,就是电路的延迟时间,将 $v_c = V_T$ 代入式(1-21),即得延时