

五軸組合机床无触点程序控制系统¹⁾

段 揚 澤

摘 要

指令发生器及邏輯控制部件,常常是工业无触点程序控制系统(或靜止开关控制系统)中的主要組成部分。通过工业試驗的驗證,本文介紹了利用无触点元件設計这两个部件的方法,并且提出了一些工业实用的新綫路。

前 言

随着工业生产自动化程度的不断提高,要求电气控制系统具有高度的可靠性、准确性和维护簡便。因此采用无触点元件組成的无触点控制系统便受到了广泛的注意。本文以五軸組合机床为例,討論了一般工业无触点程序控制系统中的几个問題。

一、五軸組合机床机械与电气部分簡述

五軸組合机床由动力头、工作台和刀具存貯鼓(簡称刀鼓)等主要部分构成,刀鼓中存貯有8組刀杆,每組刀杆有2或3把刀具,由刀鼓旁的机械手推送或抓回。

进行无触点程序控制即是根据加工工艺的要求,按照規定的程序,选择不同的刀具送入工作台上的工件加工部位上,进行切削加工。依次完成加工一个工件需要一百多个步骤,由于动作程序繁多,要求控制装置的寿命及可靠性高,因此采用无触点控制方案是比較合适的。

系統的原理方框图如图1所示。

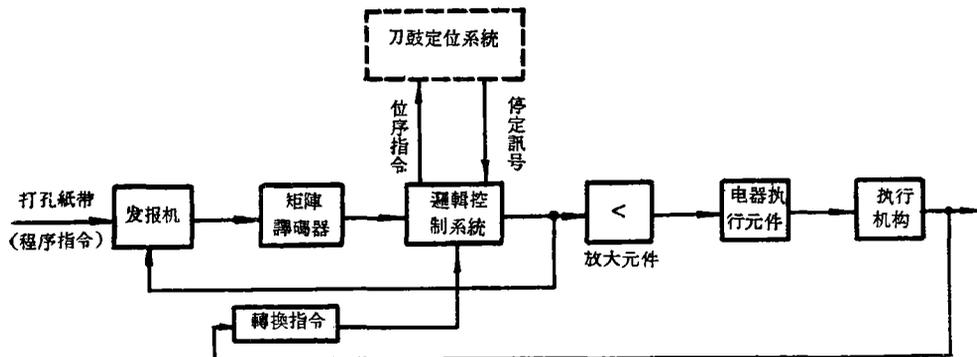


图1 系統的原理方框图

在动力部分被起动的和加工准备工作完毕后,一切操作便由系統自动进行控制。紙帶

1) 本文曾在1962年9月中国自动化学会学术会议上宣讀。

輸入程序指令,通过邏輯控制系统使机床各部分按工艺要求动作。刀鼓根据位序指令,轉动一定的角度后停定,并送出停定訊号通知邏輯控制系统执行下一指令,此时或由机械手推送鼓中之刀杆进入切削部位;或是工作台正轉 180°,动力头、工作台和机械手等部分动作到規定的位置后,就通过压力继电器、微动开关等发出轉換指令訊号,使程序繼續进行。为了提高生产率,机械部分的动作时间大都是重迭的。

在这个系統中,邏輯部分采用磁性邏輯元件,放大部分采用快速磁放大器,它們的原理綫路图示于表 1。

表 1

元 件	綫 路 图	在系統中的符号	邏輯代数表达式
和			$x = A \wedge B$ <p>或</p> $x = (A' \vee B')$
多輸入否 (或否)			$x = (A \vee B \vee C)'$
或			$x = A \vee B$
記 忆			$x = [B \vee (A \vee C)]'$
放 大 器			

組合机床一般都具有循环动作繁多、程序較為复杂等特点,因此控制系統常需解决程序指令发送和完成复杂邏輯取能等問題。

二、編碼器与譯碼器簡化定則的討論

矩陣譯碼器与发报机等可以組成无触点系統中的程序指令发送装置。

一般譯碼器常需用大量的閘門元件, Arthur Freilich 曾著文^[3]論述了簡化設計和節約閘門元件的办法。参照他的方法,进一步对編碼器和譯碼器予以研究,可以分別归納如下的簡化規則:

1. 对于編碼器

第一定則——在并列两縱行中(例如 A, C 行),如其中閘門元件数相等并列,則利用邏輯“和” AC 来代替 A 与 C 行,此时 AC 行至 A 与 C 行各有一条連鎖綫,節約的元件数

$$K_1 = \text{邏輯“和” } AC \text{ 中的元件数.}$$

第二定則——两行中有 AC “和”,但 A 或 C 行中有单存元件(图 2),此时 AC 至 A 或 C 的連鎖綫中相应增加一个連鎖閘門元件,節約的元件数

$$K_2 = AC \text{ “和”} - 1.$$

簡化結果如图 3 所示。

第三定則——两行中有 AC “和”并均有单存元件时,邏輯“和” AC 至 A 与 C 的連鎖綫中均应有連鎖閘門元件,節約元件数

$$K_3 = AC \text{ “和”} - 2.$$

第四定則—— A 与 C 行經合并后,邏輯“和” AC 可繼續与其他縱行按第一至第三定則化簡,但 A 与 C 中之剩余元件不能再参加化簡。

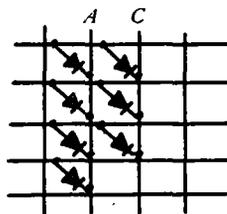


图 2.

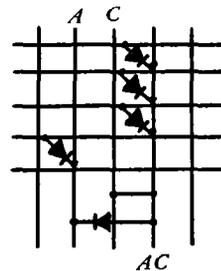


图 3.

第五定則——如果一个輸入仅連接一个单独的輸出(图 4),則可用短接点 B 来代替(如图 5 所示),節約元件数

$$K_4 = 1.$$



图 4.

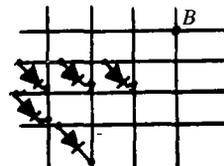


图 5.

2. 对于译码器(矩阵译码器)

第一,二,三定则同编码器.

第四定则——A与C合并后,剩余之元件仍可继续合并,连续使用第一,二,三定则,但在连锁线中均应有连锁阀门元件.

第五定则——如果任一行只有一条连锁线,则此线中之连锁阀门元件可以省去.

以 20 个讯号的矩阵译码器为例,一般的设计如图 6 所示,共需阀门元件数

$$n = GN = 100,$$

式中 G 为二进制位数, N 为讯号数量.

	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
0		X		X		X		X		X
1	X				X		X		X	
2		X		X		X		X		X
3	X		X		X		X		X	
4	X		X	X				X		X
5	X		X	X				X	X	
6	X		X	X		X				X
7	X		X	X		X		X		X
8	X	X			X		X		X	
9	X	X			X		X		X	
10	X	X			X	X			X	
11	X	X			X	X			X	
12	X	X		X			X		X	
13	X	X		X			X		X	
14	X	X		X		X			X	
15	X	X		X		X		X		X
16	X	X		X		X	X		X	
17	X		X		X		X		X	
18	X		X		X	X			X	
19	X		X		X	X		X		X

图 6.

	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	BC	BD	AD	FG	FH	EG	EH
0										X		X				X	
1									X			X				X	
2										X		X		X			
3									X			X		X			
4										X		X					X
5									X			X					X
6										X		X				X	
7									X			X				X	
8										X	X					X	
9									X		X					X	
10										X	X			X			
11									X		X			X			
12										X	X						X
13										X	X						X
14										X	X						X
15										X	X						X
16										X		X		X		X	
17										X		X		X		X	
18										X		X		X		X	
19										X		X		X		X	

图 8.

	4	16	8	12	8	12	10	10	10	10
A	0	0	4	0	4	2	2	2	2	2
16 B	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
8 C	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4
12 D	4	8	6	6	6	6	6	6	6	6
8 E	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4
12 F	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
10 G					0	5	5	5	5	5
10 H						5	5	5	5	5
10 J							0	0	0	0
10 K										

图 7.

	10	10	8	8	4	6	6	4	4
J	0	4	4	2	3	3	2	2	2
10 K	4	4	2	3	3	2	2	2	2
8 BC	0	0	2	2	2	2	2	2	2
8 BD	0	0	2	2	2	2	2	2	2
4 AD	2	2	0	0	0	0	0	0	0
6 FG	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 FH	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 EG	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 EH	0	0	0	0	0	0	0	0	0

图 9.

按上述定则将逻辑“和”数量列于图 7 之小方格中,粗线小方格中之逻辑“和”为所选择的一种方案,这样便得到图 8,可节约元件 28 个.二次合并后,通过图 9 得到如图 10 之矩阵,总共节约元件 36 个.

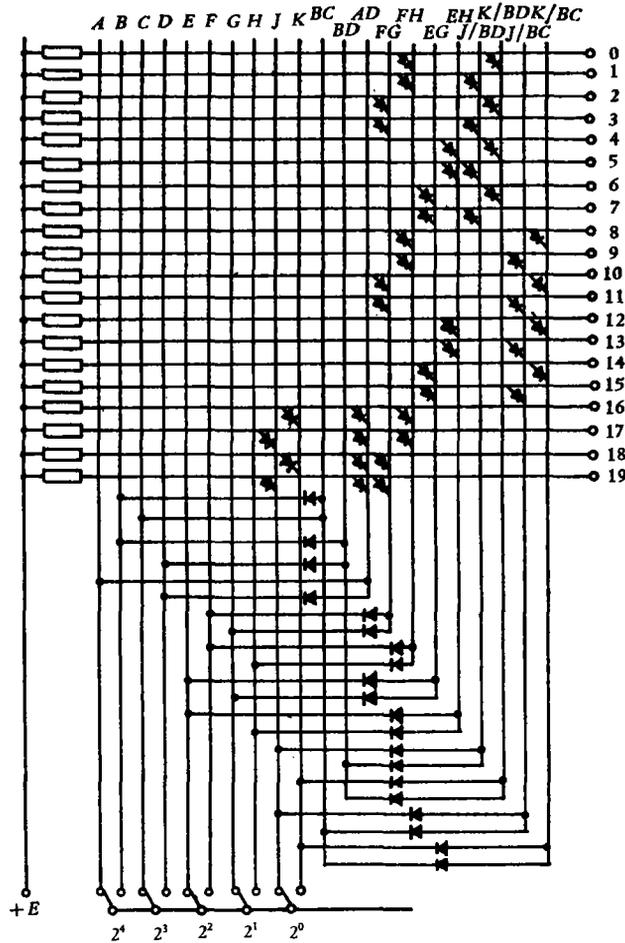


图 10.

对于 32 个訊号的譯碼器，簡化前用 160 个閥門元件，簡化后仅需 96 个，簡化后之矩陣譯碼器在工业运行中情况都正常。

三、邏輯部分

1. 邏輯运算与积木綫路

在邏輯系統設計中，邏輯运算与化簡的方法是变化多端的，例如在計數綫路中常用 $1 \vee A = 1$ 的关系，在机床可逆控制綫路中常用 $A^n = A$ 或 $A \wedge (A \vee B) = A$ 的关系，也常用 $A \wedge \bar{A} = 0$ ，或利用增加補助項，或利用輯邏輯能間的轉換等办法。

綜觀一些工业常用的邏輯綫路，都可把它分解成为一些簡單单元的組合。然后应用邏輯代数，有可能把它們归算成为更簡單的形式。如果把这些样式积累起来，作为积木綫路，則在設計中就更便于引用了，例如：

- (1) 两个“或”元件有公共輸入訊号。

如图 11 所示,其逻辑代数式为

$$x = (A \vee C) \wedge (B \vee C).$$

化简之,得 $x = AB \vee C$, 如图 12 所示.

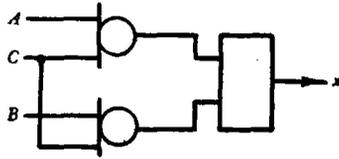


图 11.

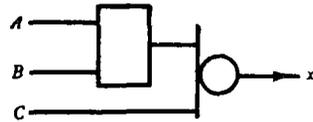


图 12.

(2) “和”与“或”有反演输入,输出在“或”.

如图 13 所示,其逻辑代数式为

$$x = A \vee (A' \wedge B').$$

化简后,得 $x = A \vee B$, 如图 14 所示.

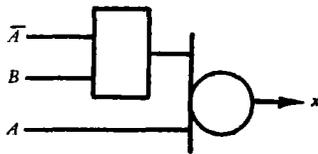


图 13.



图 14.

这种对应关系不很明显的例子还很多,整理后可以帮助设计,例如对于如图 15 的线路,可先选择 x_1, x_2, x_3, x_4 处写出逻辑方程式(不适当的选择,可能使问题反趋复杂):

$$x_1 = (6wx \wedge 2cc) \vee \overline{6wx}, \tag{1}$$

$$x_2 = x_1 \wedge 3wx, \tag{2}$$

$$x_3 = [2wx \wedge (3wx)']', \tag{3}$$

$$x_4 = (5wx)' \wedge (x_3 \vee x_4). \tag{4}$$

用上述积木线路对式(1),式(3)进行转换,得

$$x_1 = 2cc \vee \overline{6wx}, \tag{5}$$

$$x_3 = [(2wx)' \wedge (3wx)']' = \overline{2wx} \vee 3wx, \tag{6}$$

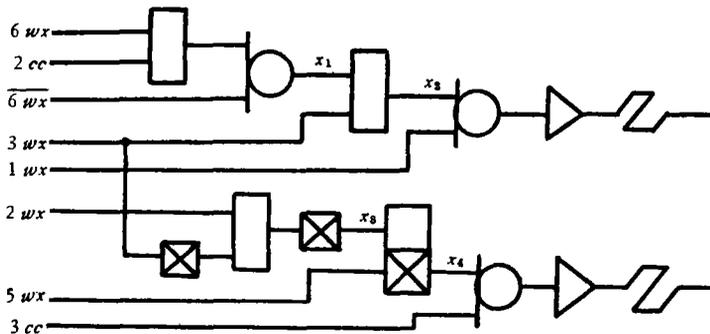


图 15.

按式(2),(4),(5),(6)作图(如图 16 所示),这样就简化了线路。

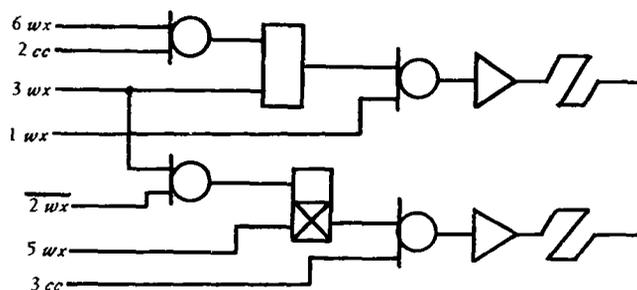


图 16.

2. 双稳态记忆元件的应用

记忆逻辑职能一般可用逻辑式 $x = \bar{B}(A \vee x)$ 来表达,用现有磁性逻辑元件来实现,其线路如图 17 所示。对此逻辑式加以转换可得图 18,整理并加以扩展即得如表 1 中所示线路,推导之,表达式为

$$x = [B \vee F \vee (A \vee C \vee E)']', \tag{7}$$

初始条件

$$\begin{aligned} D = y = 1, \\ x = 0; \\ y = [A \vee E \vee (B \vee D \vee F)']', \end{aligned} \tag{8}$$

初始条件

$$\begin{aligned} C = x = 1, \\ y = 0. \end{aligned}$$

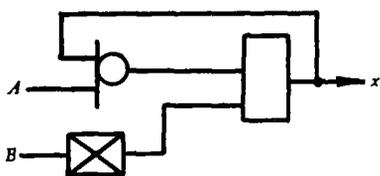


图 17.

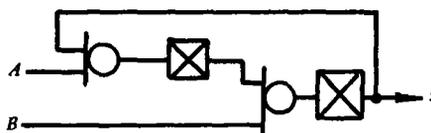


图 18.

从式(7),(8)可以看出,利用双半波磁性“否”逻辑元件组成的这个元件,实际上类似于一个双稳态的触发器,但它又具有半永久记忆的性能,亦即在断电后再送电时,这种元件及其组成的系统能恢复断电时的逻辑状态,并继续被中断的程序,同时又便于在事故断电重合闸时,采用预先去磁线路使系统停机待命。另外在这种元件中,由于增加了输入端 F 和输出端 y (见表 1),可以组成所谓连环去磁线路。例如在图 19 中,当电压继电器或热继电器 (PH 或 1—3 PT) 动作,或当人工停车时,能使 SJ-1 的 y 输出端有输出,从而使 SJ-2、SJ-3 相继去磁,使三套机组停车。显然,这样可节约元件数,简化线路和减少去磁功率。采用这种元件可使系统便于调整,提高工作的可靠性。

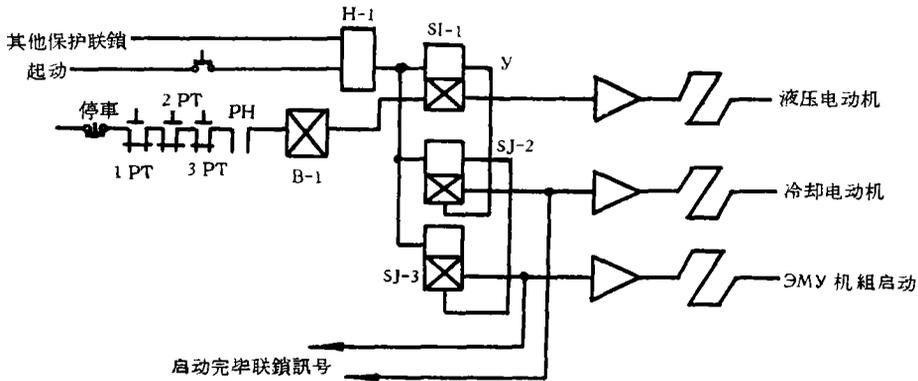


图 19.

3. 一些典型环节

利用表 1 中几种磁性逻辑元件,可以组成一些工业常用的线路,例如:

- (1) 作为简单的逻辑职能代替某些继电器控制系统的逻辑职能。
- (2) 作为系统中的逻辑综合部分,用以综合和处理各种讯号,亦即可组成某些逻辑判断装置。
- (3) 组成带有准确短延时的控制指令发生器。

如图 20 所示,其中讯号 A, B, C 使指令部分每次发出一个讯号,而 D, E, F 则使指令部分连续发出讯号,讯号间隔时间可加以调整。

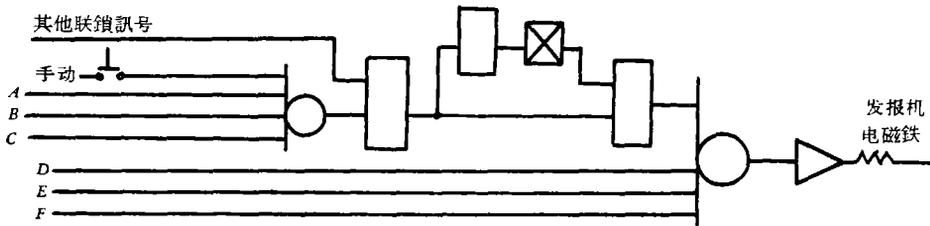


图 20.

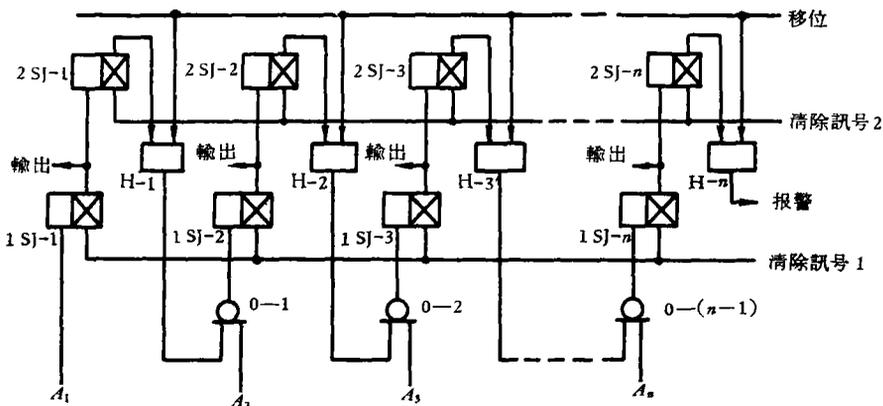


图 21.

(4) 組成无触点程序控制鼓(移位寄存器)。

图 21 所示綫路可以將輸入訊号 A_1 或一組輸入訊号 $A_1 \cdots A_n$ 向右逐位移位, 这种作用, 可用来作程序控制鼓。

(5) 組成加法器。

对应于二进制的加法,

$$x = (A \vee B) \wedge (A' \vee B') = (A \vee B)(AB)', \tag{9}$$

$$\text{进位 } y = (A' \vee B')' = AB. \tag{10}$$

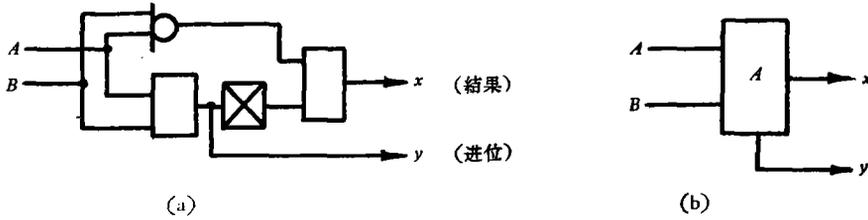


图 22

用磁性邏輯元件組成的这个綫路如图 22a 所示, 其符号如图 22b 所示。图 23 示出一个五位的加法器。显然, 这样的加法器无需特殊电源设备, 工作可靠。

利用这些典型环节可以組成多种綫路, 图 24 为組合机床中被簡化了的部分邏輯控制綫路, 它表明某些环节联合使用的情況。

4. 系統动作时间的校驗

利用磁性邏輯元件和磁放大器組成的系統, 在程序和邏輯关系复杂时, 須注意系統动作时间的校驗, 特别是在动作时间有重迭的組合机床中, 对其中某些控制环节更应予以校驗。如設: n ——邏輯系統的級数, 一般約为 2—5, c_1 ——邏輯元件輸出电流上升到額定值所需要的电源周波数, c_2 ——邏輯元件輸出电流下降到空載时所需要的电源周波数, f ——电源頻率, 則某一环节累計的动作时间 $T_p = c_1 n / f$, 释放时间 $T_{or} = c_2 n / f$ 。这样至少应有两种情况应予校驗:

(1) 当 n_1, n_2 两条邏輯綫路要求同时动作时

为簡化計算起見, 設該两条綫路的放大部分动作时间相等 ($T_{\text{op1}} = T_{\text{op2}}$)。此时, 两綫路吸合动作时间之差为

$$\Sigma T_{1p} - \Sigma T_{2p} = \frac{c_1}{f} (n_1 - n_2),$$

而两綫路释放动作时间之差則为

$$\Sigma T_{1or} - \Sigma T_{2or} = \frac{c_2}{f} (n_1 - n_2).$$

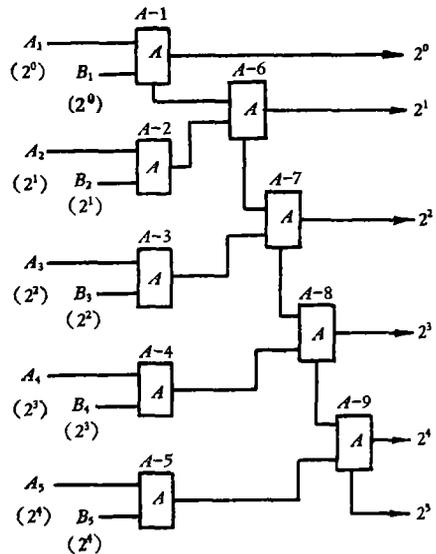


图 23.

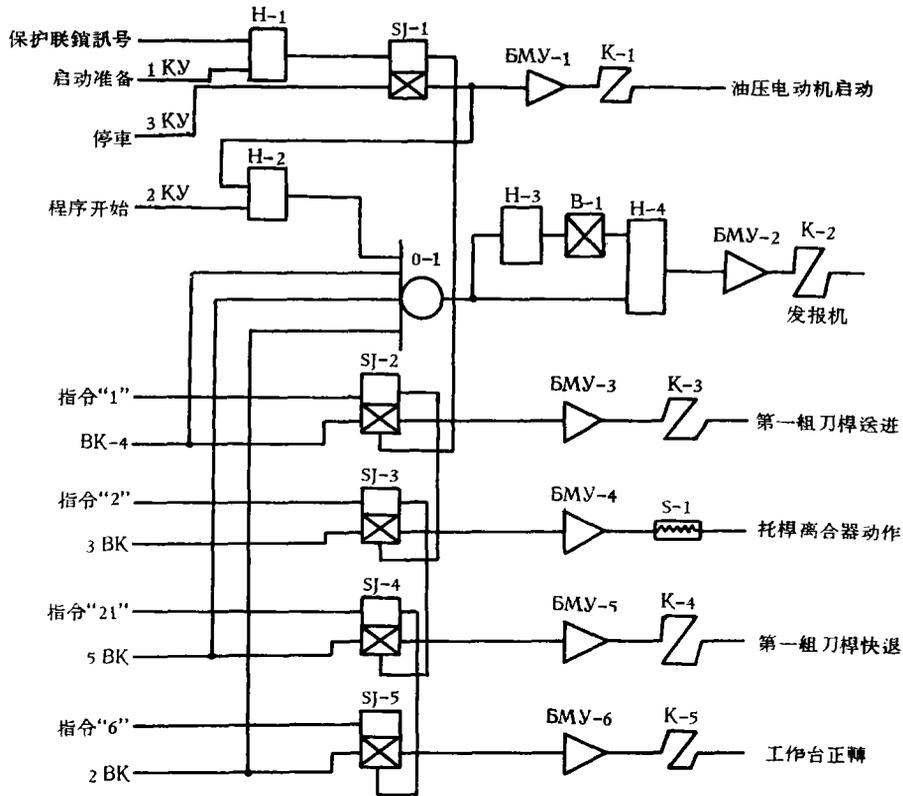


图 24.

如 $n_1 \neq n_2$, 则系统不能正常工作, 但可利用逻辑运算方法, 调整元件数量, 使 $n_1 = n_2$, 而逻辑职能仍然相同。

(2) 当 n_1 和 n_2 两条线路要求可逆动作时
此时,

$$\Sigma T_{10r} - \Sigma T_{2p} = (c_2 n_1 - c_1 n_2) \frac{1}{f} + (T_{610r} - T_{62p}), \quad (11)$$

式中 T_{610r} 为 n_1 线路中放大部分的释放时间, T_{62p} 为 n_2 线路中放大部分的吸合动作时间。这时可分两种情况来研究:

第一:

$$-(c_2 n_1 - c_1 n_2) \frac{1}{f} = T_{610r} - T_{62p}; \quad (12)$$

第二:

$$\begin{cases} -(c_2 n_1 - c_1 n_2) \frac{1}{f} > T_{610r} - T_{62p}, \\ (c_2 n_1 - c_1 n_2) \frac{1}{f} < 0. \end{cases} \quad (13)$$

在最不利的工况下,例如 $c_1 = 2$, $c_2 = 4$, 这两种情况的通解是

$$n_2 \geq (T_{610r} - T_{62p}) \frac{f}{2} + 2n_1. \quad (14)$$

例如在組合机床中, $T_{610r} - T_{62p} = 0.12$ 秒, $f = 50$ 周/秒, 所以 $n_2 \geq 2n_1 + 3$.

此时, 調整元件数量是一个办法, 另一解决方法是增加电气連鎖綫路, 但这样往往会引入滞后時間。

四、工业試驗

系統与机械部分联合运轉中, 驗證了:

1. 发报机-矩陣譯碼器綫路、准确短延时綫路和連环去磁綫路等工作准确正常;
2. 邏輯部分能完成規定的邏輯职能, 工作稳定可靠;
3. 系統能繼續被中断的程序, 可以实现自动和手动調整的轉換。

图 25 示出控制柜安装在現場的情况。控制柜背部的上层为发报机、譯碼器等, 下层为邏輯控制系統和快速磁放大器等的接綫情况。

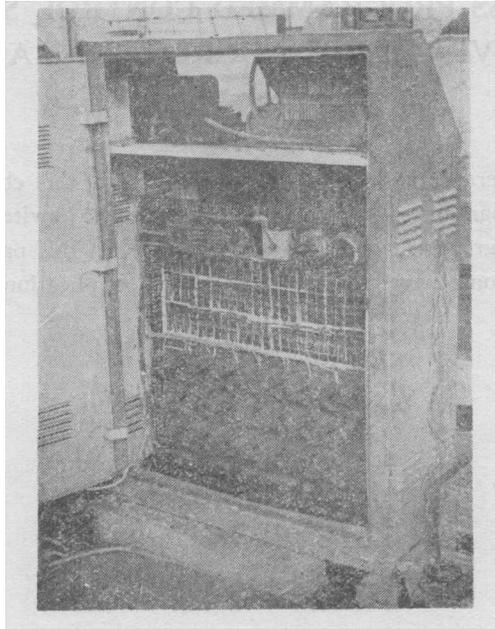


图 25.

五、結 語

系統在运轉中工作可靠, 提高了机床自动化的程度, 使加工一个工件的时间大大得到縮短。

工业試驗指出, 应发展和完善更多的无触点元件, 特别是各种敏感元件, 以便組成各种工业用无触点控制系統。

本系統的試制和調整是在北京第一机床厂林东初, 刘宁海等同志的协助下进行和完

成的。采用了电器科学研究院李培塘同志研制的磁性邏輯元件，参考了张福慧等同志在快速磁放大器方面試制的經驗。机床的刀鼓定位系統另由朱宣信等同志专题进行了試制和总结。

参 考 文 献

- [1] Mathias, R. A., Static Switching Devices, *Control Engineering*, **4** (1957), No. 5, 67—94.
- [2] Shannon, Claude E., A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits, *AIEE*, **57** (1938), 713—23.
- [3] Freilich A., Eliminating Diode Redundancy in Encoding and Decoding Matrics, *Control Engineering*, **7** (1960), No. 6, 110—114.
- [4] Van Nice, R. I., Magnetic Logic Circuit Control System Design Considerations, *AIEE*, pt. I, **75** (1956), 595—600.
- [5] Серых О. А., Расчет МУ на тороидальных сердечника, *Автоматика и Телемеханика*, **17** (1956), No. 5, 445—59.
- [6] Васильева Н. П., Седых О. А., Боярченков М. А., Проектирование Магнитных Усилителей, Госэнергоиздата, Москва, 1959 (Н. П. 华西里耶娃等, 磁放大器設計, 第一机械工业部电器科学研究院自动化研究室譯, 上海科学技术出版社, 1961 年).

CONTACTLESS PROGRAMMED CONTROL SYSTEM FOR THE FIVE-SHAFTS AGGREGATE MACHINE

DAN YANG-TZE

The instruction generator and logic control units are the chief components of the industrial contactless programmed control system (or static switching control systems). Using the five-shafts aggregate machine as an example, in this paper the design methods of these two units and some new circuits for industrial applications are presented.