

# 六孔磁芯及其应用\*

张学石

## 摘 要

本文简要地介绍了六孔磁芯的基本原理及其工作特性。文中主要讨论了由六孔磁芯组成的二进位变换成十进位译码器的指示电路,并介绍了它的设计方法和实验结果。在设计过程中,我们对译码器电路作了较为详细的分析,并设计出完整的译码器指示电路图。采用氖灯作为十进位数字的指示灯。实验证明,该译码器工作是既稳定又可靠的。

近年来,随着自动学、远动学、通讯技术以及计算技术的飞速发展,作为这些装置所使用的新型元件——具有矩形磁滞回线的铁氧体多孔磁芯开始获得了应用<sup>[1]</sup>。因为多孔磁芯不仅具有单孔磁芯的功用,而且往往一个多孔磁芯能够实现几个甚至几十个元件的作用。

六孔磁芯<sup>[1]</sup>是多孔磁芯中的一种。利用它可以完成多种不同的逻辑电路工作,并且具有良好的“记忆”特性和“非破坏”性的读出,组成电路简单,使用寿命长以及工作可靠等等。

## 一、六孔磁芯的基本原理及其特性

六孔磁芯的基本工作原理及其特性已在有关文献中讨论得很多<sup>[2]</sup>,此处仅作简单的介绍。图1a是六孔磁芯的接线原理图, $N_1, N_2$ 分别为磁芯左侧和右侧的输出线圈, $N_3$ 为交流推动线圈, $N_4, N_4'$ 为隔断线圈, $N_5, N_6, N_7, N_8$ 分别为四个边孔的建立线圈(控制线圈)。如果我们首先加入隔断脉冲(见图1a),则磁通分布如图1b所示的状态,这时我们称为“隔断”状态。它的意义就是在输出孔 $O_1$ 和 $O_2$ 周围的磁通分布不成回路,因而在输出线圈 $N_1, N_2$ 中无信号输出。倘若在 $N_5$ 的建立线圈中加入一个脉冲 $A$ ,这时孔 $A$ 周围的磁通形成了回路。在推动线圈中加入交流推动力时,输出线圈 $N_1$ 中就有信号输出,但是在 $N_2$ 的输出线圈中无信号输出,这是因为输出孔 $O_2$ 周围的磁通,并未发生变化。假如我们不在建立线圈 $N_5$ 中加入脉冲 $A$ ,而在建立线圈 $N_6$ 中加入脉冲 $B$ ,则这时 $N_1$ 中亦会有信号输出。前者与后者相比,其大小相等,仅仅它们之间的相位差 $180^\circ$ 而已。

同理,我们在磁芯右侧相应地加入脉冲 $C$ 或 $D$ ,也会得到右边输出线圈 $N_2$ 中的信号输出。即使同时加入两个或三个以至四个建立脉冲,不管它们之间的组合如何不同,其基本原理总是相同的。

六孔磁芯是一种新元件,它与其它元件一样,具有一定的工作特性,主要包括建立特性、推动特性和频率特性等。建立特性就是建立安匝与输出信号的关系曲线。从曲线2

\* 本文曾于1965年7月在中国自动化年会上宣读,修改稿于1965年5月收到。

1) 样品尺寸: 外径23.5毫米,孔径4毫米,厚5.5毫米,孔间最小距2毫米,排孔间距3.75毫米,边孔与外周壁距2毫米,中间孔与外周壁距5.6毫米。

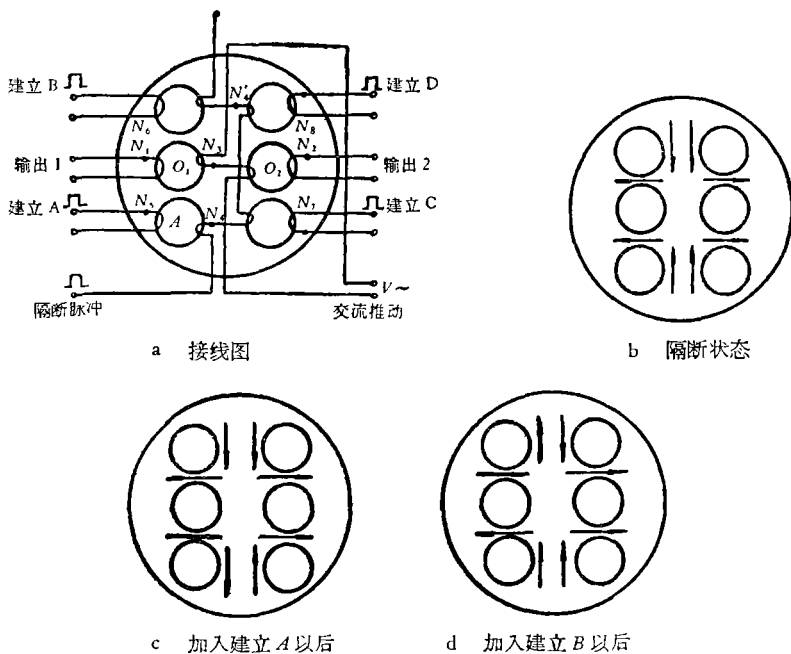


图 1 六孔磁芯的工作原理

中看到：随着建立安匝的增加，其输出也逐渐增加，但是当建立安匝增加到某一值时，建立磁通即已饱和，输出不再增加。

推动特性是根据选定某一稍大于完全的建立值，作出推动安匝与输出的关系特性曲线。当推动安匝从零开始慢慢增加，输出也随着增加。当推动安匝达到最佳值(最佳信号噪声比)后再增加推动，输出量虽有所增加，但是干扰输出也就很快地上升，最后信号与干扰的输出几乎完全相等。从图 3 中看出：在交点 ab 上信号噪声比为 7.4 倍，达到最佳值。

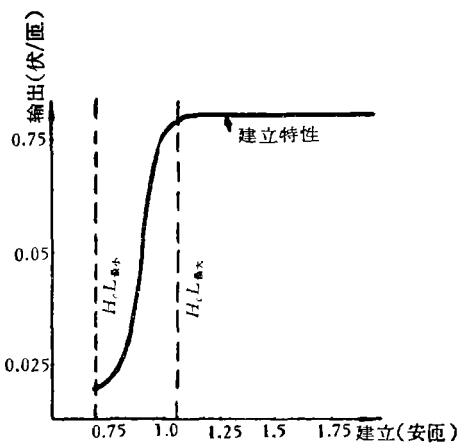


图 2 建立特性曲线

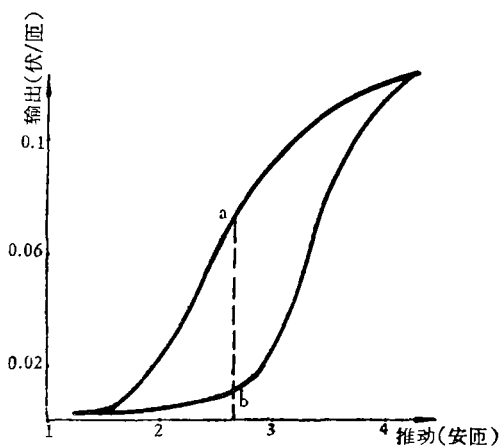


图 3 推动特性曲线

频率特性也是六孔磁芯的工作特性之一，它是指推动磁化力的频率与输出之间的关系，即  $e_{\text{输出}} = F(f)$ 。在求得频率特性时，首先选择建立和推动安匝的最佳值，而后逐渐改

变推动力的频率, 读取输出信号。从图 4 中看出: 推动频率与输出信号基本上成直线关系。

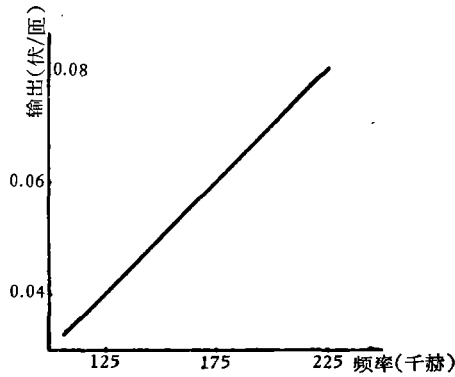


图 4 频率特性曲线

## 二、六孔磁芯的应用

六孔磁芯的应用十分广泛<sup>[3]</sup>, 它可以作成调制器, 二进位半加法器, “11” 逻辑器以及译码器等等。这里主要介绍由六孔磁芯组成的二进位变换成十进位的译码器指示电路。

### 1. 译码器电路简介与分析

应用六孔磁芯组成的二进位变换成十进位的译码器, 能够做到结构紧凑, 消耗功率小, 工作稳定可靠等。

为了简明起见, 兹将二进位与十进位对应关系分别列于表 1 中。磁芯的号数( $N_0$ )表示十进位的数字, 控制(建立)脉冲的拉丁符号和次序, 表示二进位的电码。这样, 根据表

表 1 二进位与十进位对应关系

| 十进位 ( $N_0$ ) (即六孔磁芯的号数) | 1                  | 2               | 3           | 4           | 5           | 6           | 7           | 8            | 9        | 10             |
|--------------------------|--------------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|----------|----------------|
| 二进位电码                    | 0001               | 0010            | 0011        | 0100        | 0101        | 0110        | 0111        | 1000         | 1001     | 0000           |
| 二进位拉丁符号 (即表示控制脉冲)        | $A^+B^-C^-D^{-1)}$ | $A^-B^+C^{-2)}$ | $A^+B^+C^-$ | $A^-B^-C^+$ | $A^+B^-C^+$ | $A^-B^+C^+$ | $A^+B^+C^+$ | $A^-D^{+3)}$ | $A^+D^+$ | $A^-B^-C^-D^-$ |

1) “+”表示有脉冲, “-”表示无脉冲。

2) 磁芯 No 2, 3, 4, 5, 6, 7 中因无脉冲  $D$  通过的线圈, 故拉丁符号  $D$  未写出。

3) 磁芯 No 8, 9 中, 因无脉冲  $B, C$  通过的线圈, 故拉丁符号  $B, C$  亦未写出。

1 中的  $A, B, C, D$  四组脉冲, 可以得出: 磁芯 No 1—0001 ( $A^+B^-C^-D^-$ ), No 2—0010 ( $A^-B^+C^-$ ), No 4—0100 ( $A^-B^-C^+$ ), No 8—1000 ( $A^-D^+$ ) 的四个数码, 只需一个控制脉冲, 即能鉴出相应的十进位数字, 它们之间的区别, 仅仅在于所加入的脉冲位置不同而已。对于磁芯 No 3—0011 ( $A^+B^+C^-$ ), No 5—0101 ( $A^+B^-C^+$ ), No 6—0110 ( $A^-B^+C^+$ ), No 9—1001 ( $A^+D^+$ ) 的四个数码, 需要二个控制脉冲才能鉴出相应的十进位数字。另有磁芯 No 7—0111 ( $A^+B^+C^+$ ) 的数码, 则要求同时有三个控制脉冲来鉴出。磁芯 No 10—0000 ( $A^-B^-C^-D^-$ ) 的数码是在没有脉冲加入时鉴出。所谓“鉴出”即指有输出并能点燃指示灯。

### 2. 译码器电路的设计

(1) 电码 0001, 0010, 0100, 1000 相应地鉴出磁芯 No 1, 2, 4, 8 的逻辑电路设计

上述四个磁芯 No1, 2, 4, 8 要求一个控制脉冲便能将电路鉴出。但是这样的考虑是不完全的,因为除了考虑到所加入的脉冲位置不同以外,还要注意到 A, B, C, D 四组脉冲不是单独地加入回路中,而是串联地加入回路中。例如: 0001 ( $A^+B^-C^-D^-$ )不能认为它仅仅通过脉冲 A 所需的一个线圈,因为 0011 ( $A^+B^+C^-$ ), 0101 ( $A^+B^-C^+$ )...等亦均有脉冲 A 通过。可见磁芯 No 1 所通过的控制脉冲不仅与脉冲 A 有关,而且与脉冲 B, C, D 均有关,但要求只有脉冲 A 通过时磁芯 No 1 才有输出(鉴出),若以波连公式写出,则

$$\begin{cases} A^+B^-C^-D^- = e^+, & (1) \\ A^-B^+C^-D^- + A^-B^-C^+D^- + A^-B^-C^-D^+ + A^+B^+C^-D^- + A^+B^-C^+D^- + \\ \quad + A^-B^+C^+D^- + A^+B^+C^+D^- + A^+B^-C^-D^+ + A^-B^-C^-D^- = e^-. & (2) \end{cases}$$

根据方程(1),(2)便能作出如图 5 所示的逻辑结构方框图和接线图。

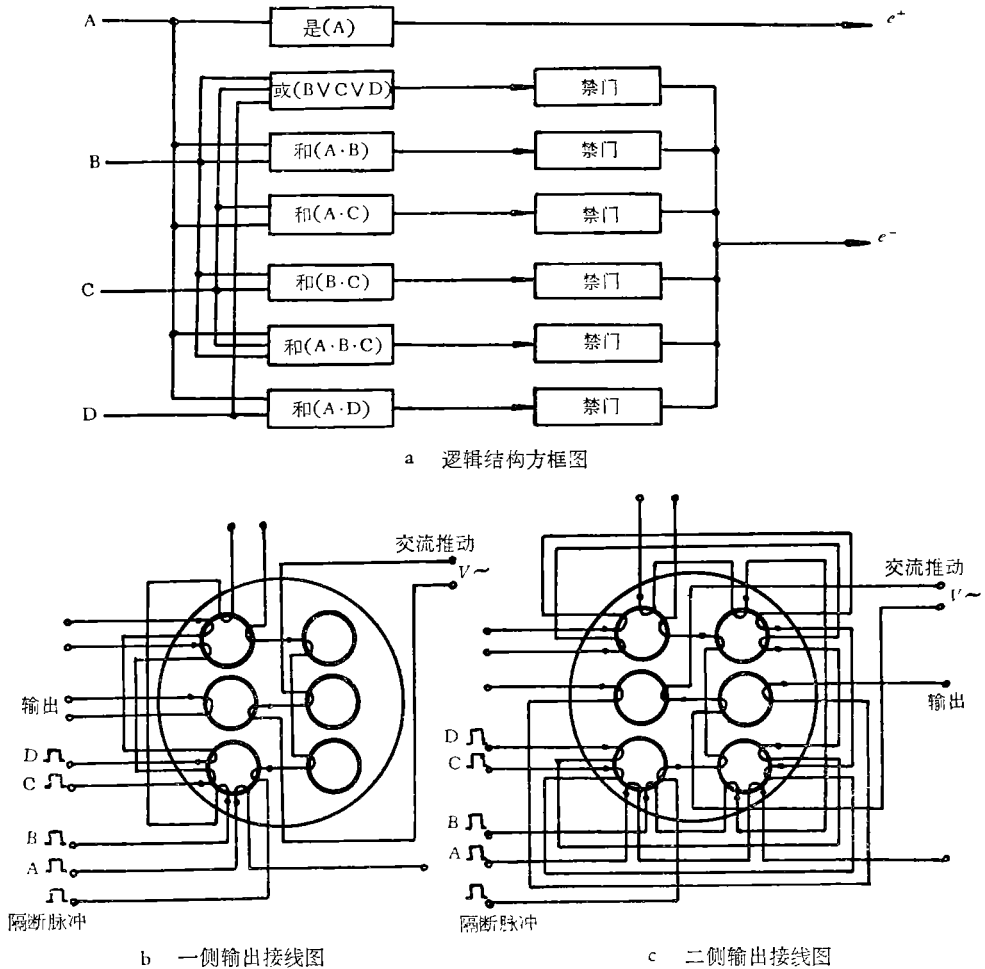


图 5 电码 0001 鉴出磁芯 No 1 的逻辑电路图

同理可以写出对应于磁芯 No 2, 4, 8 的波连公式:

对于磁芯 No 2:

$$\begin{cases} A^-B^+C^- = e^+, & (3) \end{cases}$$

$$\begin{cases} A^+B^-C^- + A^-B^-C^+ + A^+B^+C^- + A^-B^+C^+ + A^+B^-C^+ + A^+B^+C^+ + \\ + A^-B^-C^- = e^-. & (4) \end{cases}$$

由方程(3),(4)可作出如图 6 所示的逻辑结构方框图和接线图。

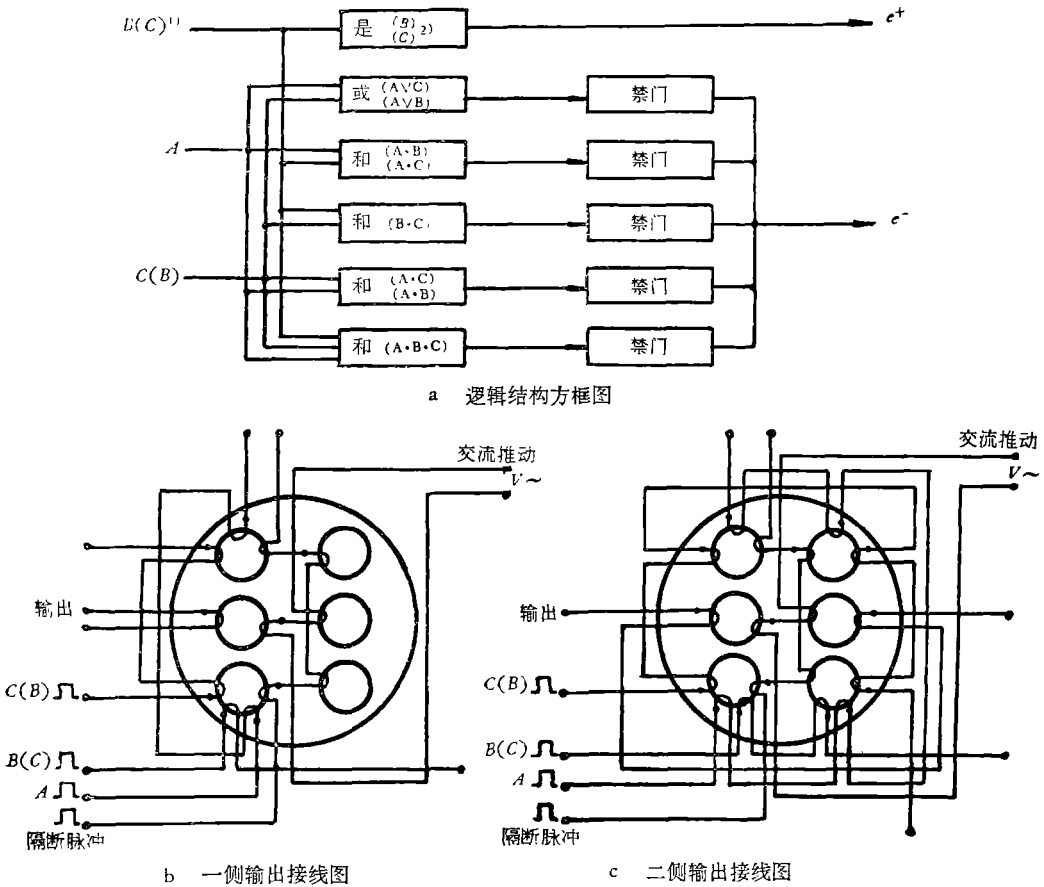


图 6 电码 0010, 0100 鉴出磁芯 No 2, 4 的逻辑电路图

- 1) 方块图和接线图中打括号的 B, C 表示对应于磁芯 No4 的情况, 不打括号的 B, C 表示对应于磁芯 No2 的情况。
- 2) 方块图中的第一行拉丁符号表示对应于磁芯 No2, 第二行表示对应于磁芯 No4。

对于磁芯 No4:

$$\begin{cases} A^-B^-C^+ = e^+, & (5) \end{cases}$$

$$\begin{cases} A^+B^-C^- + A^-B^+C^- + A^+B^-C^+ + A^-B^+C^+ + A^+B^+C^- + A^+B^+C^+ + \\ + A^-B^-C^- = e^-. & (6) \end{cases}$$

显见,从波连公式(3),(4)和(5),(6)的两组方程比较得知,两者的区别仅仅在于脉冲 B 和 C 的位置不同而已,即将脉冲 B 和 C 调换(见图 6 中括号的脉冲符号)后,图 6 便符合于磁芯 No4 的要求,因为它们的情况是完全相似的。

对于磁芯 No8:

$$\begin{cases} A^-D^+ = e^+, & (7) \\ A^+D^- + A^+D^+ + A^-D^- = e^-. & (8) \end{cases}$$

公式(7),(8)比较简单,这是因为磁芯 No8 已出现了脉冲  $D$  (见图 7)。图 5b, 6b, 7b 表示仅有一侧输出。为了提高输出电压,可以连接成如图 5c, 6c, 7c 所示的具有二侧输出的电路图。

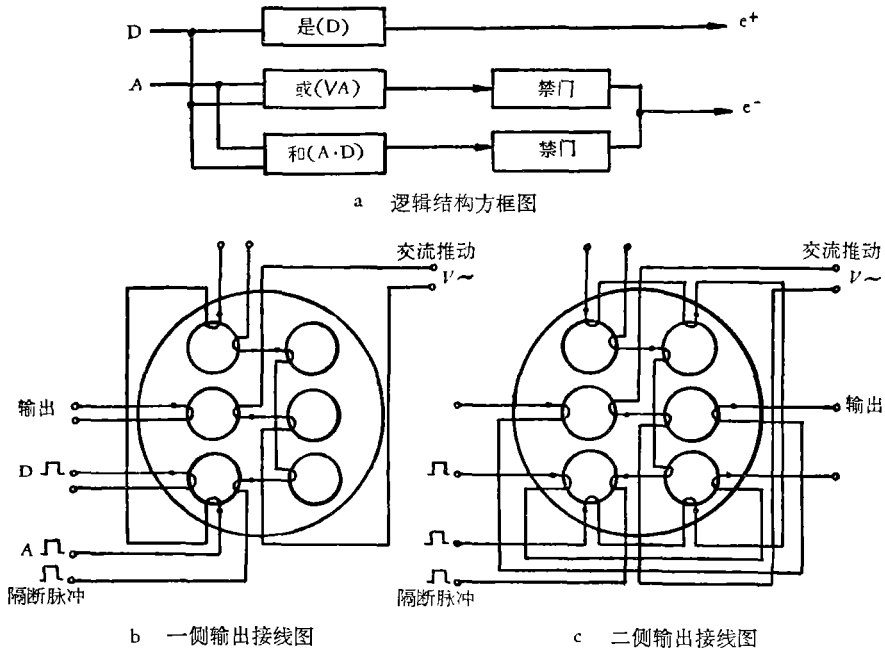


图 7 电码 1000 鉴出磁芯 No8 的逻辑电路图

(2) 电码 0011, 0101, 0110, 1001 相应地鉴出磁芯 No 3, 5, 6, 9 的逻辑电路设计

根据表 1 中的分析得知,此四个磁芯 No 3, 5, 6, 9 是需要同时加入两个脉冲才能将电路鉴出的。如前所述,首先写出它们的波连公式。

对于磁芯 No3:

$$\begin{cases} A^+B^+C^- = e^+ & (9) \\ A^+B^-C^- + A^-B^+C^- + A^-B^-C^+ + A^+B^-C^+ + A^-B^+C^+ + A^+B^+C^+ + \\ \quad + A^-B^-C^- = e^-. & (10) \end{cases}$$

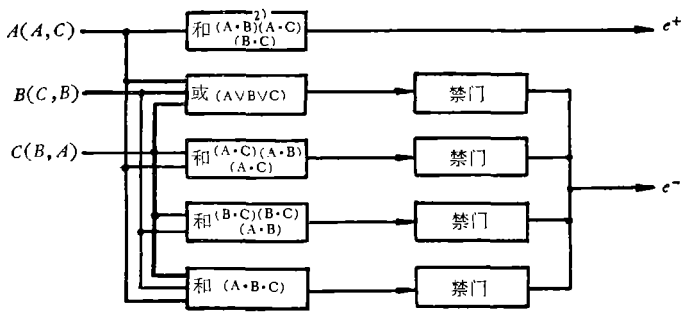
其逻辑结构方框图和接线图如图 8 所示。

对于磁芯 No5:

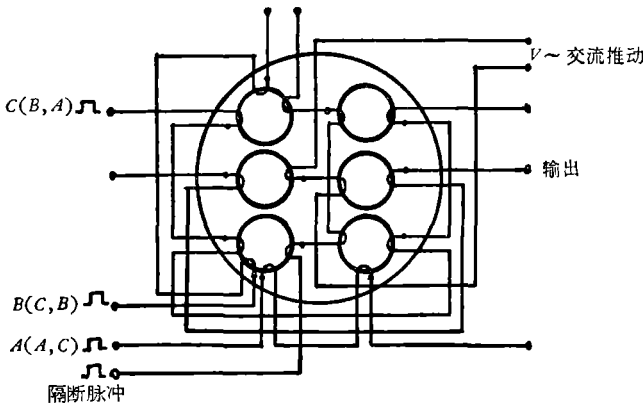
$$\begin{cases} A^+B^-C^+ = e^+, & (11) \\ A^+B^-C^- + A^-B^+C^- + A^-B^-C^+ + A^+B^-C^+ + A^-B^+C^+ + A^+B^+C^+ + \\ \quad + A^-B^-C^- = e^-. & (12) \end{cases}$$

对于磁芯 No6:

$$\begin{cases} A^-B^+C^+ = e^+, & (13) \\ A^+B^-C^- + A^-B^+C^- + A^-B^-C^+ + A^+B^-C^+ + A^+B^+C^- + A^+B^+C^+ + \\ \quad + A^-B^-C^- = e^-. & (14) \end{cases}$$



a 逻辑结构方框图



b 接线图

图 8 电码 0011, 0101, 0110 鉴出磁芯 No 3,5,6 的逻辑电路图

- 1) 方块图和接线图中无括号的脉冲系列  $A, B, C$  表示对应于磁芯 No3; 括号中前排脉冲系列  $A, C, B$  表示对应于磁芯 No 5; 括号中后排脉冲系列  $C, B, A$  表示对应于磁芯 No6.
- 2) 方块图中拉丁符号, 依次表示对应于磁芯 No 3,5,6 的情况, 只有一行的拉丁符号表示公用.

显然,公式(9),(10);(11),(12);(13),(14)三组方程十分相似,因此我们只需画出一个电路图即可. 图 8b 中两输出线圈串联反接(相反的极性连接在一起),故若单独加入一组脉冲,磁芯将呈反建立,或呈两侧同时建立使感应电势正好彼此抵消,而无输出. 只有当符合的两个脉冲同时加入,磁芯才有输出.

对于磁芯 No9:

$$\begin{cases} A^+D^+ = e^+, & (15) \\ A^+D^- + A^-D^+ + A^-D^- = e^-. & (16) \end{cases}$$

其逻辑电路图如图 9 所示. 从这里可以看到,该电路中亦出现脉冲  $D$ ,因而电路的结构变得比较简单,但其工作原理与图 8 相类似.

(3) 电码 0111 鉴出磁芯 No7 的逻辑电路设计

磁芯 No7 是需要  $A, B, C$  三个脉冲同时加入才能将电路鉴出,其波连公式如下:

$$A^+B^+C^+ = e^+, \quad (17)$$

$$\begin{aligned} & A^+B^-C^- + A^-B^+C^- + A^-B^-C^+ + A^+B^+C^- + A^+B^-C^+ + A^-B^+C^+ + \\ & + A^-B^-C^- = e^-. \end{aligned} \quad (18)$$

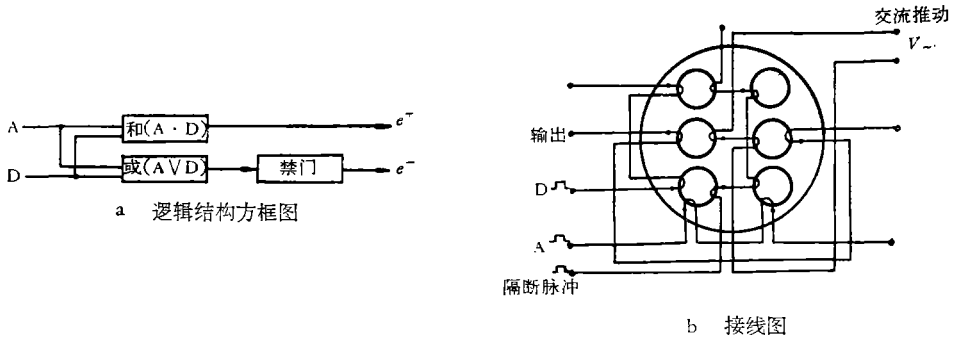


图 9 电码 1001 鉴出磁芯 No9 的逻辑电路图

其逻辑电路图如图 10 所示。在图 10b 和 10c 中,线圈  $N_a$  与  $N_b, N_c$  的两个线圈绕法是相反的(见图中线圈中黑点的方向),孔 1(2) 中  $N_a$  的匝数为  $N_b, N_c$  的 2.5 倍,孔 3(4) 中  $N_a$  的匝数为  $N_b, N_c$  的 1.4 倍。这样当加入脉冲  $A, A, B$  或  $A, C$  时,磁芯将呈隔断状态而无输出;当加入脉冲  $B, C$  或  $B, C$  时,磁芯呈反建立,亦无输出。只有当同时加入脉冲  $A, B, C$  时,输出线圈中才出现信号。

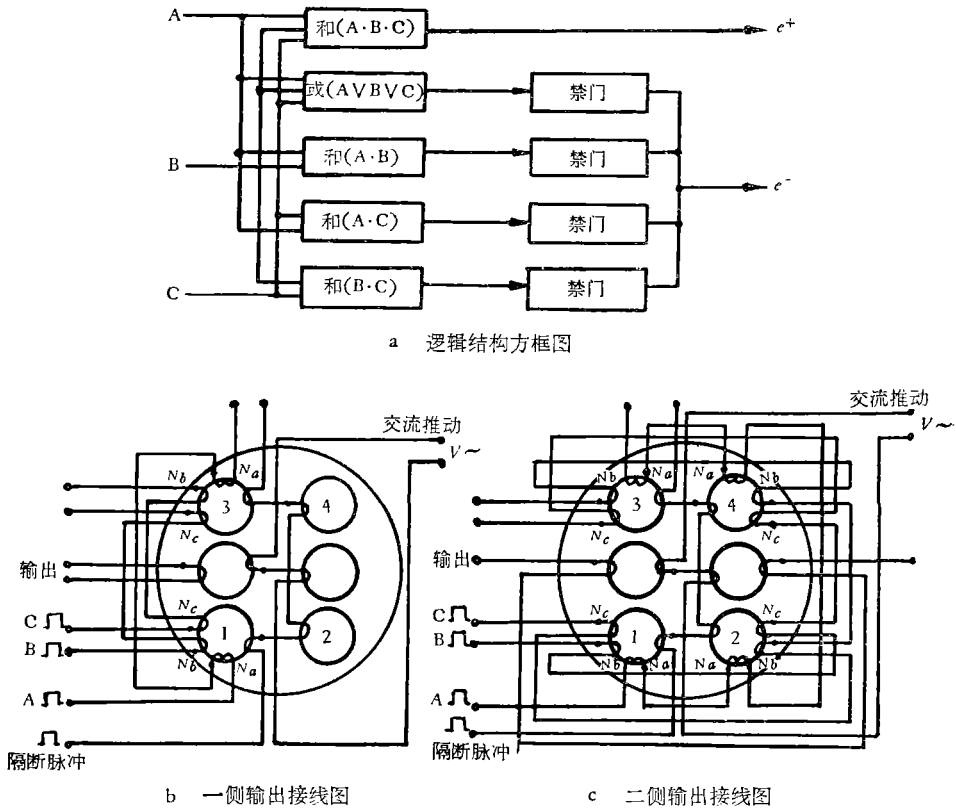


图 10 电码 0111 鉴出磁芯 No7 的逻辑电路图

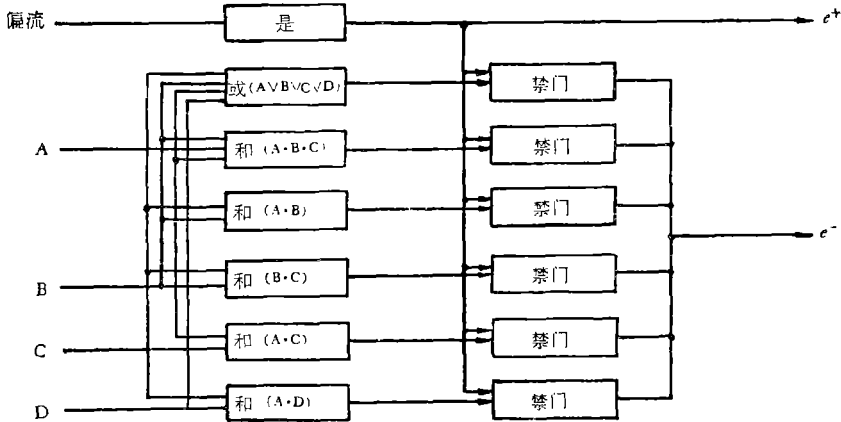
(4) 电码 0000 鉴出磁芯 No 10 的逻辑电路设计

在这个电码中,表示在无任何脉冲加入情况下磁芯应有输出,它的波连公式为:

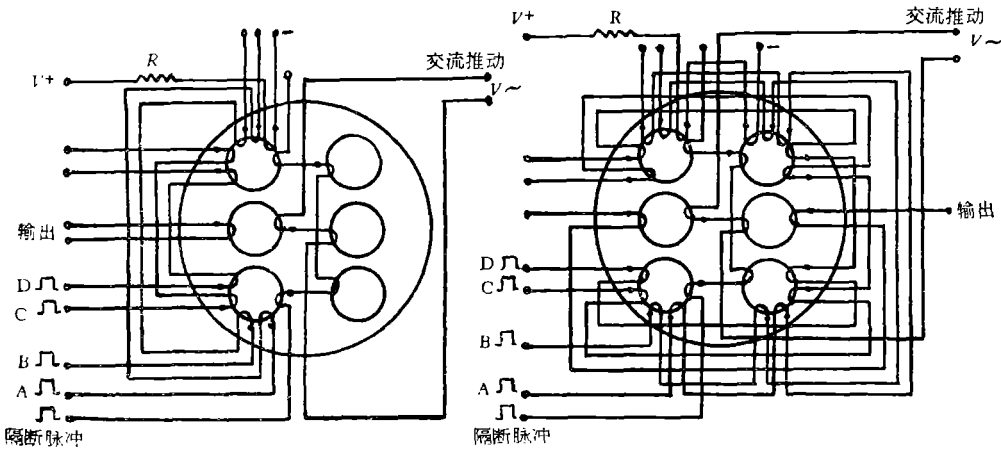


$$\begin{cases} A^-B^-C^-D^- = e^+, & (19) \\ A^+B^-C^-D^- + A^-B^+C^-D^- + A^-B^-C^+D^- + A^-B^-C^-D^+ + A^+B^+C^+D^- + \\ \quad + A^+B^+C^-D^- + A^-B^+C^+D^- + A^+B^-C^+D^- + A^+B^-C^-D^+ = e^-. \end{cases} (20)$$

由公式(19), (20)可作出图 11. 实际上满足这个要求是采用偏流来实现的. 偏流通常一直使磁芯建立(开启),故没有脉冲加入时,磁芯便一直有输出信号. 但是当加入任何一组脉冲时,磁芯重新又形成了反建立,因而就没有输出.



a 逻辑结构方框图



b 一侧输出接线图

c 二侧输出接线图

图 11 电码 0000 鉴出磁芯 No 10 的逻辑电路图

### 3. 译码器的综合设计和实验结果

根据上述译码器各环节的设计要求,依次地将电路连接起来,便综合成完整的译码器电路图(如图 12 所示). 在每个磁芯的输出线圈上均接有一个氖灯,作为十进位的指示. 由于氖灯的点燃电压较高,故除了使用辅助电压外,对于磁芯 No 1, 2, 4, 7, 8, 10 均采取二侧输出线圈串联,而对磁芯 No 3, 5, 6, 9, 则采用适当增加输出线圈匝数. 线圈上标有 1, 2, 3, 4 分别表示通过控制脉冲 A, B, C, D. 线圈上的点«·»表示绕在磁芯上侧,无点者表示绕在磁芯下侧.

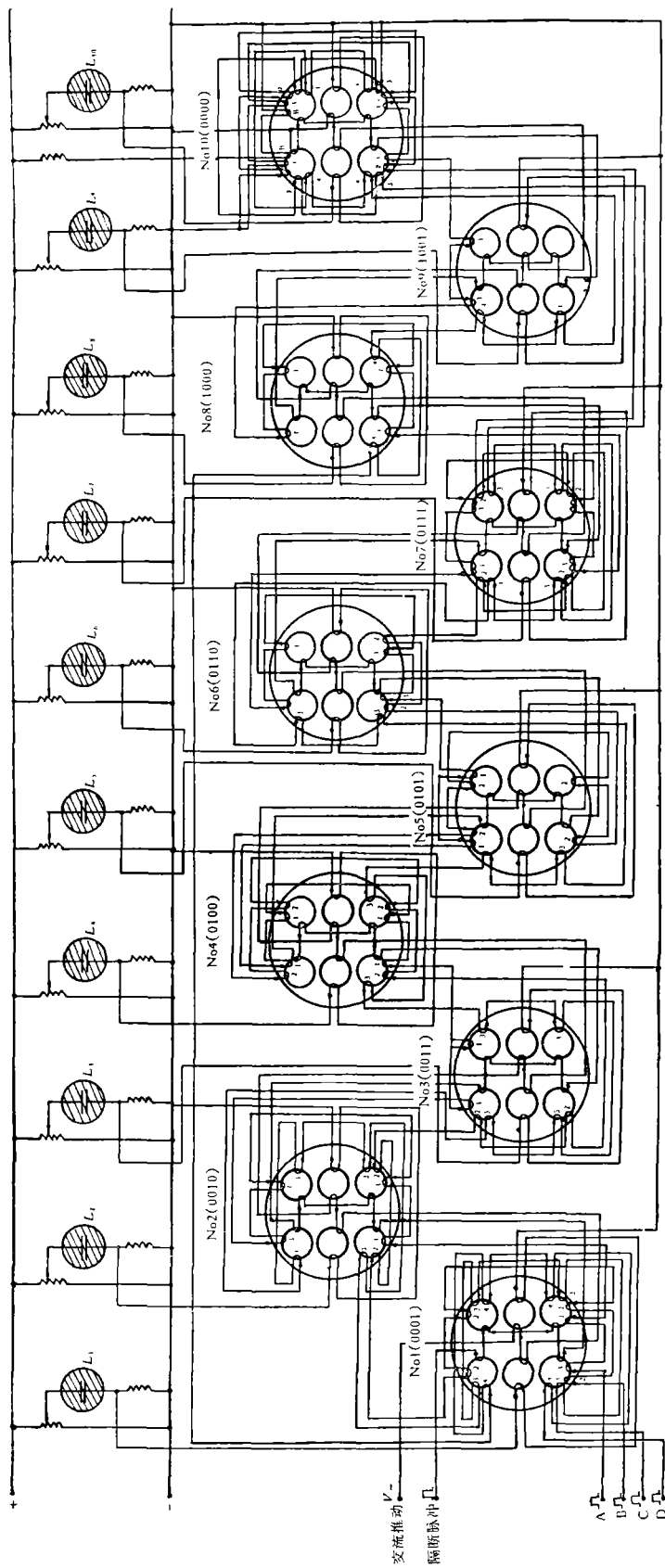


图 12 采用六孔磁芯组成的二进制变换成十进制译码器的指示电路综合图

由于六孔磁芯在制造时各个之间难免存在一些差异,因此在译码器调试过程中,必须特别注意调整推动安匝。一般将推动电流作为常量,仅对推动线圈的匝数,适当地加以改变,以达到一致为止。经过努力,我们初步试制成功了由二进制变换成十进制译码器指示电路的模型。实验证明,这种译码器工作是稳定可靠的。现将实验中的一些数据列于表 2 中。

表 2 译码器电路参数

| 磁芯号数(No)                 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 建立安匝                     | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    |
| 推动安匝 <sup>1)</sup>       | 0.81 | 0.81 | 0.81 | 0.81 | 0.81 | 0.81 | 0.81 | 0.81 | 0.81 | 0.81 |
| 隔断安匝                     | 4    | 4    | 4    | 4    | 4    | 4    | 4    | 4    | 4    | 4    |
| 输出(伏) <sup>2)</sup> 300匝 | 100  | 100  | 90   | 110  | 90   | 80   | 75   | 120  | 80   | 120  |
| 信号噪声比                    | 5    | 3.5  | 4.5  | 5    | 4.5  | 7.0  | 3.1  | 5    | 5.5  | 3.2  |

1) 由于磁芯不够均一,推动安匝各个之间略有差异,这里取平均值。

2) 输出电压取峰值。

上述译码器只是六孔磁芯应用的一例。实际上六孔磁芯应用十分广泛,此处不拟多述。

在译码器模型试制过程中,曾得到于兆林同志的大力协助。此外潘长淮、王先盛等同志也给予很大的帮助,作者在此一并致谢。

### 参 考 文 献

- [1] Scheafet, E., Bewertung magnetischer schalskeise, *Elektronische Rundschau*, Feb. 1963.
- [2] Abbott, H. W. and Suran, J. J., Multi-hole Ferrite Core Configurations and Applications, *Proceedings of the IRE*, August, 1957.
- [3] Morris, D. J., The Performance and the Flux Patterns of a Special Shape Multi-aperture Device, *Radio and Electronic Engineer*, 27, 1964.

## SIX-HOLE FERRITE CORE AND ITS APPLICATION

CHANG SHE-SHI

In this paper a brief description on the fundamental theory and operational features of the six-hole ferrite core is given. Emphasis is given on an indicating circuit for a binary-decimal decoder made of such cores. A detailed analysis was made on the decoding circuit. Neon bulbs were used for the indicating lamps of the decimal numbers. The results of test have shown that the operation of the decoder is stable and reliable.