

电子数字计算机原理

内存贮器部分

第三册

1002926

北京大学电子仪器厂计算机专业

1975年10月

目 录

前 言	1
第一章 磁 心	
第一节 磁心存贮二进制数码的原理	3
第二节 磁心板与磁心体	5
第三节 磁心的主要参数	8
*第四节 磁心的分层磁化理论简介	16
第五节 磁心的挑选	21
第二章 二度半存贮器	
第一节 二度半存贮器原理	24
第二节 二度半存贮器框图	27
第三节 二度半存贮器的可靠性的分析	33
第四节 二度半存贮器中字与位的安排	39
第三章 二度存贮器	
第一节 二度存贮器原理	46
第二节 二度存贮器框图	51
第三节 二度存贮器的可靠性	52
第四节 部分翻转技术的应用	54
第四章 三度存贮器	
第一节 三度存贮器的工作原理	61
第二节 三度存贮器的框图	62
第三节 三度存贮器的可靠性	64
第四节 三种存取方式的补充	66
第五节 磁心板和磁心体的检测	70
第五章 电流译码方式	
第一节 推一拉式电流译码	74
第二节 均分负载变压器	77
第六章 半导体存贮器和其它存贮器	
第一节 半导体存贮器	88
第二节 其它存贮器	96

前 言

一、存贮器在计算机中的作用

讲计算机框图时,曾讲到计算机主要由控制器、运算器、存贮器、交换器和输出输入设备组成。存贮器在计算机中是存放程序和各种数据的。运算器算题时所用到的数据就从存贮器中取,控制器所用的指令也要从存贮器中取,此外还可以把计算得到的中间结果或最后结果放到存贮器中去。所以有人把存贮器比拟为计算机的“大脑”,计算机要“记忆”数据和程序就靠存贮器。这仅仅是一个形象的比拟,因为真正的大脑不仅有“记忆”的功能,它还可以能动地进行思维活动。而计算机中的存贮器只具有有限的“记忆能力”,而没有能动的思维能力。计算机中直接与控制器和运算器打交道的存贮器又叫内存贮器,还有外存贮器如磁带、磁盘、磁鼓等,一般讲它们与运算器不直接打交道,而与内存贮器直接打交道,它们是内存贮器的扩充,帮助计算机“记忆”更多的东西。这里只讨论内存贮器的有关问题。

二、存贮器的主要指示

(一) 存贮器的容量:存贮器是计算机记忆程序和数据的部件,它能记忆的东西越多,计算机解决问题的能力越强。反映存贮器可以记忆多少东西的指标是存贮器的容量。譬如讲一台中型计算机的存贮器能记忆 32768 个字,每个字为 32 位。那么这样的存贮器的容量的表示方法是 $32768 \text{ 字} \times 32 \text{ 位}$ 。

(二) 存取周期:这是指从存贮器取第一个字到能再取第二个字中间所需要的时间。目前容量为 $32768 \text{ 字} \times 32 \text{ 位}$ 的存贮器存取周期一般要 $1\mu\text{s}$ — $2\mu\text{s}$ 的时间。存取周期的长短和存贮器的容量是有关系的。一般来说容量越大的存贮器它的存取周期较长。反之容量小的周期就短。

(三) 存贮器的可靠性:存贮器是记忆程序和数据的部件,人们希望它的记忆要准确、牢靠、不允许把记忆的东西“忘掉”,更不许把记忆的东西搞乱搞错。这就是通常讲的存贮器的可靠性要高。

(四) 耗电与体积:一般说要求存贮器耗电要少,特别是飞机和人造卫星上用的存贮器不仅要求耗电少,而且体积要少重量要轻,这样便于携带。

三、存贮器概况

随着技术的发展,存贮元件也不断更新。最早的存贮器是用电子管或继电器做成的,后来又改用汞延迟线、镍延迟线或示波管作为存贮元件,以后又改用磁鼓作存贮器,到 1952 年开始用具有矩形磁滞回线的磁心作为存贮元件。

磁心存贮器本身也是不断改进和提高的,在近 20 年的时间中磁心的外形尺寸由外径 2mm 缩小到 0.3mm。磁心存贮器的容量由 1024 个字扩大到 32768 个字或更大,存取周期由几十微秒缩短到几百毫微秒。

目前由于集成电路的迅速发展,半导体存贮器已成批生产,把存贮器的周期缩短到几十

毫微秒。但是目前的大容量较快速度的存贮器仍然是以磁心存贮器为主。

本书以介绍磁心存贮器为主，最后也介绍半导体存贮器和其它存贮器。而且本书主要讨论存贮元件、存贮器的形式和有关问题而不讨论具体电路问题，电路问题在计算机电路书籍中专门讨论。

第一章 磁 心

第一节 磁心存贮二进制数码的原理

磁心存贮元件是由非金属材料铁氧体制成的,外形为环状。磁心外形尺寸用环形的直径 D_1 ,内直径 D_2 ,高 h 表示,简写为 $D_1 \times D_2 \times h$,其单位用毫米。图1-1是一颗磁心的示意图。

物理学的基本知识告诉我们,磁性材料都有磁滞回线,不同的磁性材料有不同形状的磁滞回线。磁滞回线就是描述磁性材料在一缓变的外磁场 H 的作用下,它的磁感应强度 B 随着外磁场强度 H 的变化而变化的曲线,而且有磁滞现象。

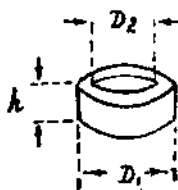


图 1-1

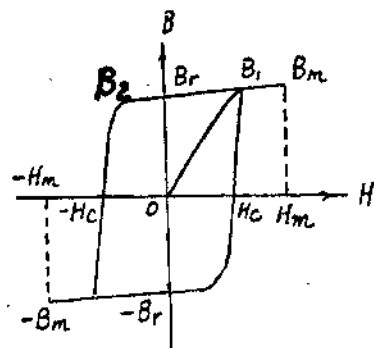


图 1-2

图1-2就是磁心在一缓变的磁场 H 作用下的磁滞回线。

磁心第一次在外磁场 H 作用下,当 H 由0增至 H_c 时,磁感应强度 B 随之由0增大至 B_1 ,若 H 继续增大至 H_m ,磁感应强度 B 随之增大至 B_m 。如果 H 再增大则 B 维持在 B_m 不再增加,出现磁饱和现象。故称 B_m 为饱和磁感应强度。若 H 从 H_m 减小到0, B 从 B_m 经过 B_1 达到 $+B_r$,这就是剩磁现象,虽然这时外场为0但磁心仍保持有 $+B_r$ 的磁感应强度。当外场 H 向反方向增大到 $-H_c$ 时, B 经过 B_2 达到0。这表明在外场 $H=-H_c$ 时,磁心的磁感应强度 $B=0$,这是磁滞现象,即磁感应强度 B 的变化滞后于外场 H 的变化。当 H 变化到 $-H_m$ 时, B 由0变到 $-B_m$,同样 H 在负方向再增大而 B 仍旧保持为 $-B_m$,即负方向的饱和现象,当 H 由 $-H_m$ 回到0时, B 从 $-B_m$ 回到 $-B_r$,出现负方向的剩磁现象,当 H 再次由0到 $+H_c$ 时 B 由 $-B_r$ 到0这也是磁滞现象。 H 由 $+H_c$ 增大到 H_m 时 B 由0到达 B_m 。上述磁化过程绘成曲线就是图1-2的磁滞回线。

磁滞回线上的 H_c 叫做磁心的矫顽力, $+H_c$ 为正方向的矫顽力, $-H_c$ 为负方向的矫顽力。

磁心被磁化以后磁心的工作点总是在磁滞回线上, H 和 B 不会同时为0,由磁滞回线可以看到当外场 $H=0$ 时,磁心可能处于 $+B_r$ 状态也可能处在 $-B_r$ 状态,也就是磁心在 $H=0$ 时有两个稳定的状态,我们可以利用这两个稳定状态表示二进制数码,通常把磁心处于 $-B_r$ 状态表示磁心存有“1”,把磁心处于 $+B_r$ 状态表示磁心存有“0”。很显然有了这样的规定以后,一颗磁心就可以存贮一个二进制数码。这一点可以和一个触发器相比拟,一个触发器有两个稳定的状态,它也可以存贮一个二进制数码,如果触发器“1”端为高电位就表示存有“1”信号,它的“0”端为高电位就表示存有“0”信号。从原理上讲任何有两个稳定状态的物理

元件都可以存贮一个二进制数码。

磁心所存贮的二进制数码以什么方式表现出来呢？或者说磁心怎么把它所存的二进制数“告诉”计算机呢？物理学中的电磁感应现象告诉我们磁可以转化为电。磁心就是利用磁转化为电的规律把自己所存的二进制数“告诉”计算机的。具体做法是一颗磁心穿有两条导线如图 1-3(a)，假设磁心原来存有“1”，即磁心处于 $-B_r$ 状态，那么磁心的截面包含的磁通量 $\phi = -\phi_r = -SB_r$ ，其中 S 为磁心的截面积。磁心中磁通量 $-\phi_r$ 是图 1-3(a) 中箭头所指

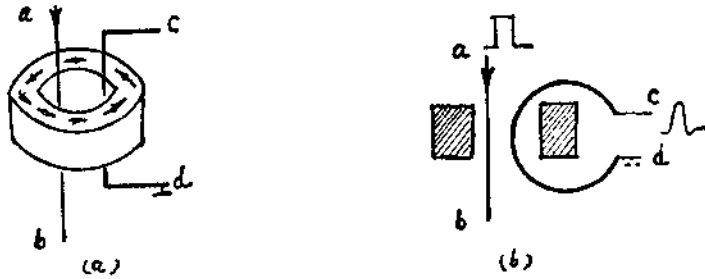


图 1-3

示的逆时针方向。当有电流脉冲 I_m 沿 ab 箭头方向通过导线 ab 时，电流脉冲 I_m 产生一磁场 H ，而且离导线 ab 的距离为 r 处的磁场强度为

$$H = \frac{0.2I_m}{r}$$

H 以奥斯特为单位， I_m 以安培为单位， r 以厘米为单位。此时 H 的方向是顺时针方向。

只要 I_m 的值取得适当可以保证磁心的磁场达到 H_m 的值，磁心在 H_m 的作用下，磁心由 $-B_r$ 状态变为 $+B_m$ 状态，磁心状态的改变也伴随着磁通量的改变，磁心在电流 I_m 作用下它的磁通量由 $-\phi_r$ 改变为 $+\phi_m$ [$\phi_m = SB_m$]，线圈 cd 所包的磁心截面中发生 $\phi_m + \phi_r$ 的磁通量的变化，在 cd 的两端有感应电势存在，感应电势以电压信号的方式表现出来。如图 1-3(b) 所示。通常我们把电流 I_m 叫做读电流，在读电流作用下磁心产生一个相应于磁通改变

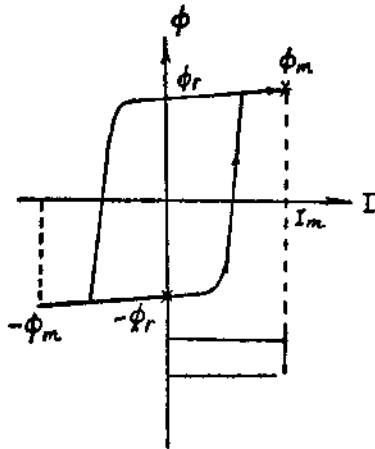


图 1-4

是 $\phi_m + \phi_r$ 的感应电压，这个感应电压就是磁心读出的“1”信号，记为 e_1 。 e_1 就是计算机要的“1”信号。

当电流脉冲 I_m 结束后，磁心回到 $+B_r$ 状态，（注意不是回到原先的 $-B_r$ 状态）。磁心原先存有“1”经读电流 I_m 作用后产生 e_1 ，与此同时磁心的状态也改变了，磁心存有的“1”信号只能使用一次，我们称磁心为破坏性读出的存贮元件。

从上面讲的关于磁心读“1”过程中看到 H 与 B 的对应关系和 I 与 ϕ 的对应关系是完全相同的，只是计算中注意的物理单位有一些不同，所以图 1-2 的 $H-B$ 的磁滞回线也可表示成 $I-\phi$ 的磁滞回线，如图 1-4 所示。以后我们常用 $I-\phi$ 表示的磁滞回线。只要知道 $\phi = SB$ ，

$H = \frac{0.2I}{r}$ 两个对应关系就可以进行两种回线的换算，图 1-4 中的 ϕ_r ， $-\phi_r$ ， I_m ， I_o ， $-I_m$ 与图 1-2 的 B_r ， $-B_r$ ， H_m ， H_o ， $-H_m$ 是一一对应的。图 1-4 就是读电流 I_m 作用于磁心的状态

变化的示意图。

如果磁心原来存有“0”，即磁心处于 $+B_r$ 状态。也就是磁心中磁通量为 $\phi_r = \delta B_r$ ，其方向为图 1-5(a)所示顺时针方向。图 1-5(b)是图 1-5(a)的截面图，当沿导线的箭头方向通以电流 I_m 时，线圈 cd 两端有一很小的感应电压即“0”信号，这是因为磁心原来处于图 1-5(c)的 $+\phi_r$ 点，在读电流 I_m 驱动下，磁心中的磁通改变量为 $\phi_m - \phi_r$ ，由于 $\phi_m - \phi_r$ 值很小所以感应电压也小。当读电流消失以后磁心由 ϕ_m 回到 $+\phi_r$ 。

以上分析可知磁心在读电流 I_m 驱动下以感应电压形式表示它所存放的内容，“1”信号电压值大，“0”信号电压值小，图 1-6 表示了“1”信号和“0”信号。以后我们称图 1-3(a)和图 1-5(a)中线圈 cd 为读出线。

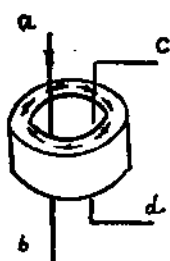


图 1-5(a)

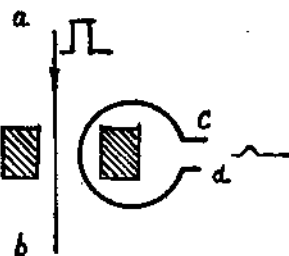


图 1-5(b)

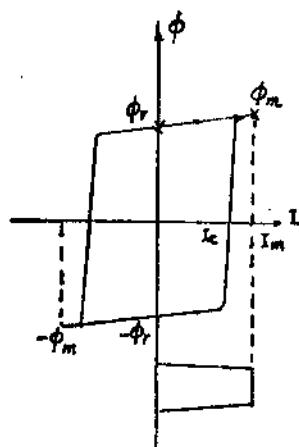


图 1-5(c)

磁心的写“1”：

在两种情况下都需要对磁心进行写“1”，原来磁心中没有存“1”，现在要存入“1”，另外是磁心中原来虽存有“1”，由于读出“1”信号后原来的内容遭到破坏需要重新写入“1”以备将来用。写“1”动作是沿图 1-7(a)的导线 ab 箭头的相反方向通以电流 I_m ，显然这个电流与读电流方向相反，所以在图 1-7(b)中以 $-I_m$ 表示，磁心在写电流 $-I_m$ 驱动下其工作点由 $+\phi_r$ 转变成 $-\phi_m$ ，当 $-I_m$ 结束后再回到 $-\phi_r$ 状态。这就是磁心的写“1”。在写“1”时有磁通改变量 $-(\phi_m + \phi_r)$ ，在 cd 两端有一负感应电压信号，这个信号在计算机中没有用处。



图 1-6

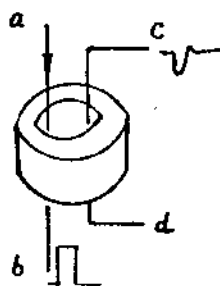


图 1-7(a)

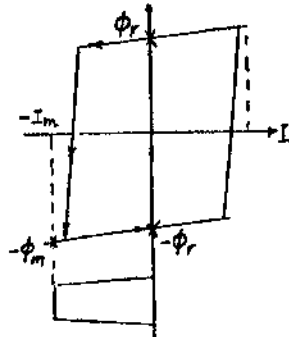


图 1-7(b)

一颗磁心的写“0”动作是很简单的，给磁心通以读电流 I_m 就可以达到磁心写“0”目的。

第二节 磁心板与磁心体

计算机中通常总是把很多磁心穿织成磁心板，再把许多磁心板装成磁心体。而且存贮

器中磁心的读写过程比一颗磁心的读写过程要复杂。

计算机中常用一串二进制数码组成一个字,一个字既可以代表一个数,也可以代表一条指令。一个长度为 64 位的字,常以下列形式表示

$$a_1 a_2 a_3 \cdots a_{63} a_{64} \quad (1-1)$$

a_1 是字的第一位, a_2 是第二位, $\cdots$, a_{64} 是字的第 64 位。很显然,要记忆一个(1-1)式所代表的字,需要 64 颗磁心。因为一颗磁心只能记忆一个二进制数码。如果存贮器容量为 4096 个字,每个字 64 位,这样的存贮器需用的磁心数目是

$$4096 \times 64 = 262,144 \text{ 颗}$$

把 262,144 颗磁心,按一定规律排列起来,方可能分清哪些磁心组成第一个字,哪些磁心组成第二个字, $\cdots$ 哪些磁心组成第 4096 个字,每一个字也要排列好,以便认出谁是第一位谁是第二位。这就是存贮器字和位的排列问题。

一种常用的字位排列方法是把所有字的第一位的磁心共 4096 颗按排成一个方阵,这个方阵就是第一块磁心板。同理所有字的第 κ 位的磁心共 4096 颗也排成一方阵,成为第 κ 块磁心板。这种磁心板共有 64 块如图 1-8(a)所示。

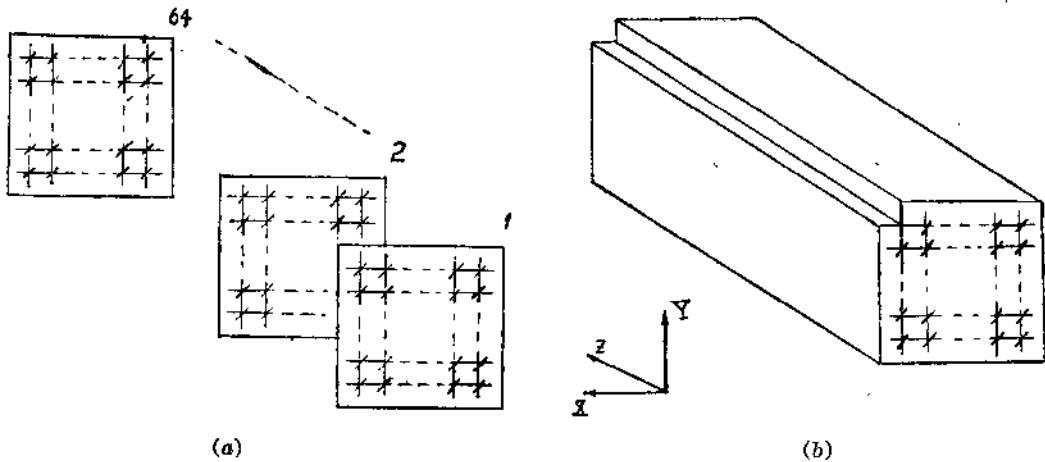


图 1-8

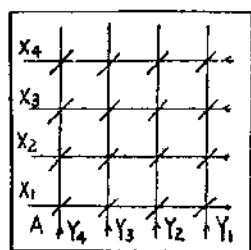
图 1-8(a)是 64 块磁心板,每块磁心板是一个 XY 平面,每个 XY 平面上有 $64 \times 64 = 4096$ 颗磁心的方阵,图中一个短斜线表示一颗磁心。

图 1-8(b)是 64 块磁心板迭在一起构成一磁心体。可以规定图 1-8(b)的磁心体中具有同样 X, Y 坐标的磁心组成一个字,图 1-8(b)中挖出一细长条,正好是一个字的全部磁心共 64 颗。这些磁心的 X 坐标都是 64, Y 坐标都是 64,但是它们的 Z 坐标各不相同,它们的 Z 坐标分别是 1, 2, 3, $\cdots$, 63, 64。

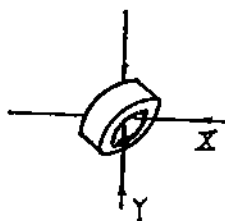
把磁心按图 1-8 的方式排列起来主要是为了从存贮器中寻找所要的字带来方便。同时又能准确地辨认出字的第一位,第二位。在以后各章中可看到磁心的排列方法是多种多样的。

图 1-8 中一块磁心板上有 4096 颗磁心,现在我们要求只对其中某一颗磁心进行读写,其它磁心的原有状态不允许破坏。为叙述方便把图 1-8 的磁心板缩小成 $4 \times 4 = 16$ 颗磁心,这种缩小不影响问题的讨论。

图 1-9(a) 是 4 条 X 线 4 条 Y 线交织成 $4 \times 4 = 16$ 的方阵, 它们有 16 个交叉点, 每个交叉点穿一颗磁心, 如图 1-9(b) 所示。我们把 X 线和 Y 线都叫选择线。



(a)



(b)

图 1-9

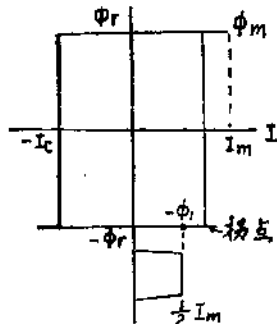


图 1-10

现在对其中磁心 A (其座标是 $X=1, Y=4$) 进行读的动作。在选择线 X_1 和 Y_4 上沿箭头方向分别通以大小为 $\frac{1}{2}I_m$ 的电流 [$\frac{1}{2}I_m$ 电流叫半选电流, 沿箭头方向通过的半选电流又叫读半选电流。]。

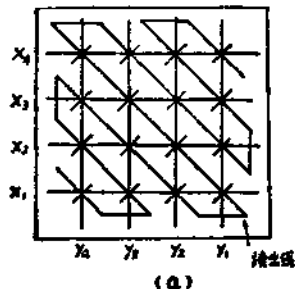
很明显, 磁心 A 受到 X 方向和 Y 方向的两个读半选电流的共同作用, 根据磁场迭加的原理, 磁心 A 受到 I_m 的作用, 所以磁心 A 在全选电流 I_m 的作用下产生读出信号。

如果磁心 A 处于 $-\phi_r$ 状态, 那么产生读“1”的信号 e_{1i} 。而且磁心 A 状态由 $-\phi_r$ 变为 $+\phi_r$ 。

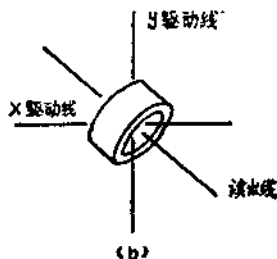
座标为 (2, 4), (3, 4), (4, 4) 的三颗磁心也在选择线 Y_4 上, 它们只受半选读电流的作用。座标为 (1, 1), (1, 2), (1, 3) 的三颗磁心都在选择线 X_1 上, 它们也只受半选读电流的作用。当记忆磁心具有理想的矩形回线时, 如图 1-10 所示, 半选读电流不会改变磁心的状态。因半选读电流不可能把磁心工作点推过拐点, 只要磁心的工作点没有越过回线的拐点, 在半选读电流消失以后磁心工作点能自动从 $-\phi_l$ 回到 $-\phi_r$ 。这是磁心的在一定范围内的可逆性质决定的。而全选电流 I_m 可以把磁心从 $-\phi_l$ 推到 $+\phi_m$ 处, 由于工作点越过回线的拐点, 在 I_m 消失后磁心便回到 $+\phi_r$ 。这又是由磁性材料的磁滞效应决定的。在存储器中又把只受半选电流 $\frac{1}{2}I_m$ 作用的磁心叫做受干扰磁心。

其它九颗磁心既不在选择 X_1 上也不在 Y_4 上, 它们根本不受电流的作用, 所以它们也不会改变原来状态。

在以上读出过程中只有磁心 A 产生读出信号, 我们称磁心 A 为被选磁心, 其它 15 颗磁心为未选磁心。为了得到磁心 A 的读出信号还需要在磁心板上穿一条读出线, 如图 1-11(a)



(a)



(b)

图 1-11

所示,图 1-11(b)是图 1-11(a)中一颗磁心穿线的放大图。

关于磁心写入动作在以后各章详细讨论。

第三节 磁心的主要参数

一、磁心的矩形系数

磁心存贮器在读写过程中有很多未选磁心,其中有一部分未选磁心要受到半选电流的干扰,我们要求受到半选干扰的未选磁心不改变自己的原来状态,磁心要满足这种要求它必须有矩形的或者近似矩形的磁滞回线。在前一节曾提到具有理想矩形回线的磁心。在实际生产中具有图 1-10 的理想矩形回线的磁心是不存在的,而只有接近理想矩形回线的磁心。接近理想矩形的回线是一种定性的对回线的描述。科学工作和生产实际则要求对磁心回线的矩形性作定量描述。磁心的矩形系数是描述磁心矩形性的量。

记忆磁心矩形系数的定义:在记忆磁心的回线上,对应于磁场强度 $-\frac{1}{2}H_m$ 的磁感应强度 B_1 与对应于磁场强度 H_m 的磁感应强度 B_m 的比值叫做记忆磁心的矩形系数 β ,以下式表示

$$\beta = \frac{B_1}{B_m} \quad (1-2)$$

B_1 是对应于磁场强度 $-\frac{1}{2}H_m$ 的磁感应强度。

一般说记忆磁心具有图 1-12(a)的回线。由图 1-12(a)的回线可以看到有

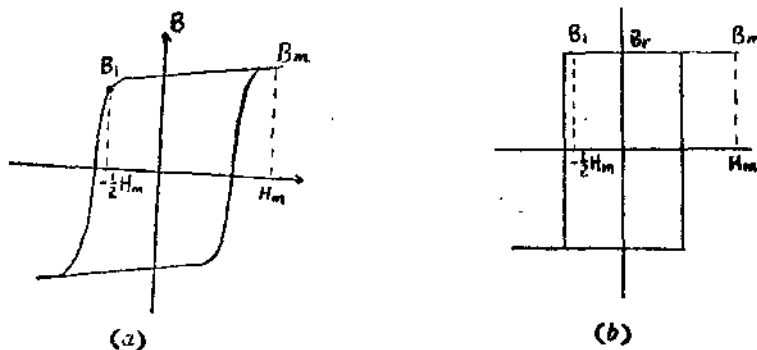


图 1-12

$$B_1 < B_m$$

因此

$$\beta = \frac{B_1}{B_m} < 1$$

一般的说记忆磁心的 β 值总是小于 1。但是对于具有图 1-12(b)的理想回线的磁心来讲,因 $B_1 = B_r = B_m$, 所以 $\beta = \frac{B_1}{B_m} = \frac{B_m}{B_m} = 1$ 。目前工厂生产的记忆磁心的 β 通常在下列范围之内

$$0.8 < \beta < 1 \quad (1-3)$$

β 值越是小于 1 表明磁心的矩形性越坏,反之 β 越是接近于 1, 它的矩形性就好。

图 1-12(a)的回线是在一缓慢变化的磁场驱动下测得的,我们称之为磁心的准静态回线或静态回线。因此 β 值是磁心的静态矩形系数。

二、磁心的温度特性

铁氧体磁心的性能和温度有密切关系。温度升高时,磁心的矫顽力 H_c 随之变小,剩磁感应强度 $+B_r, -B_r$ 的绝对值也随之变小,磁滞回线的矩形性随着变坏。当温度升高到某一个值时,磁心完全失去磁性,这时磁滞回线也消失了,这个温度叫做“居里温度”或叫“居里点”。也就是温度上升到磁心的居里温度时磁心没有两个稳定的剩磁状态,磁心不能作存贮元件。一般以镁锰铁氧体为材料的磁心的居里点为 $200^{\circ}\text{C} \sim 300^{\circ}\text{C}$ 。而以锂锰铁氧体为材料的磁心的居里点为 $300^{\circ}\text{C} \sim 500^{\circ}\text{C}$ 。

目前使用的记忆磁心按温度特性可分为两类:一类是常温磁心,另一类是宽温磁心。

常温磁心:是以镁锰铁氧体或铜锰铁氧体为材料的磁心,它们的居里点较低约为 $200^{\circ}\text{C} \sim 300^{\circ}\text{C}$,而且它的磁滞回线对温度比较敏感也就是它的温度系数大。

温度系数的定义:温度每升高 1°C , H_c 的变化值叫做磁心的温度系数。例如一种镁锰铁氧体磁心,温度每上升 1°C , H_c 的变化值为 $-0.0084H_c$ 。这种磁心的温度系数为 $-0.0084H_c/^{\circ}\text{C}$ 或者写成 $-8.4 \times 10^{-3}H_c/^{\circ}\text{C}$ 。温度系数前面的负号表示温度上升时 H_c 的值变小,如果温度下降 H_c 的值是增加,温度的变化方向与 H_c 的变化方向相反,所以又称这种磁心是负温度系数的磁心。各生产厂生产的常温磁心在温度系数上稍有差异,大概有三种,即 $-12.5 \times 10^{-3}H_c/^{\circ}\text{C}$; $-8.4 \times 10^{-3}H_c/^{\circ}\text{C}$ 和 $-5 \times 10^{-3}H_c/^{\circ}\text{C}$ 。常温磁心虽然有对温度敏感的缺点,但是它的优点是开关时间短,工作速度快。

宽温磁心:以锂铁氧体或者以锂镍铁氧体为材料的磁心叫宽温磁心。它的居里点在 600°C 以上,磁心对温度不敏感,但是严重缺点是开关时间长,工作速度慢,不能满足计算机速度的要求。后来研制出一种介于常温和宽温之间的一种磁心,它以锂锰铁氧体为材料。这种磁心的居里点在 $300^{\circ}\text{C} \sim 500^{\circ}\text{C}$ 之间,其温度系数比常温磁心的要小。约为 $-3.3 \times 10^{-3}H_c/^{\circ}\text{C} \sim -2 \times 10^{-3}H_c/^{\circ}\text{C}$ 。其开关时间比较短能适应目前计算机速度的需要。目前计算机的工作人员就把锂锰铁氧体磁心称为宽温磁心。

使磁心温度升高有两方面的原因:第一是磁心所在的环境温度升高使磁心的温度也升高。第二是磁心存贮器工作速度很快时,由于磁心的磁滞损耗在单位时间内增加了很多。[所谓磁滞损耗,是指磁心的工作点沿磁滞回线走一圈所消耗的能量。]这种磁滞损耗的能量转变为热能使磁心自身的温度上升。可以用一个例子说温度系数的大小对存贮器工作的影响。

例 1 今有一磁心体其温度由 0°C 上升为 60°C ,磁心体的磁心的温度系数 $-8.4 \times 10^{-3}H_c/^{\circ}\text{C}$ 。在温度为 0°C 时磁心的 $H_c = 1.5$ 奥斯特,当温度为 60°C 时磁心的 $H_c = 0.996$ 奥斯特。如果存贮的半选电流 $\frac{1}{2}I_m$ 不随温度变化

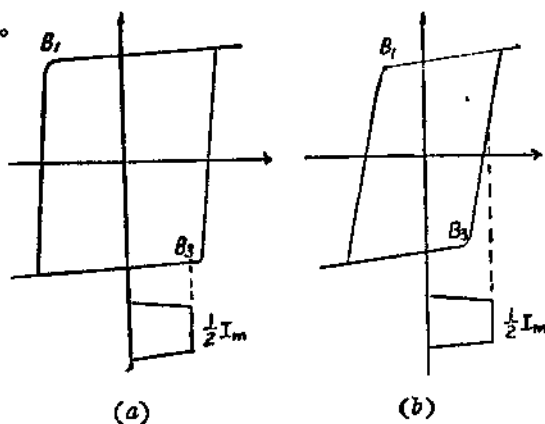


图 1-13

而变化。由图 1-13(a)可看到在 0°C 时因为回线 $H_0=1.5$ 奥斯特, $\frac{1}{2}I_m$ 作用于磁心时磁心工作点不会越过拐点 B_1 , 或者 B_3 , 因而不会改变磁心原来状态。图 1-13(b)表明在 60°C 时, 磁心的 $H_0 \approx 0.996$ 奥斯特, $\frac{1}{2}I_m$ 的电流作用于磁心时它的工作点越过点 B_1 或者 B_3 , 这时要改变磁心的原来剩磁状态。本来要求磁心在 $\frac{1}{2}I_m$ 作用下不改变原来状态。出现图 1-13(b)的情况是因为磁心的温度系数偏大, 使得磁心体在高温时不能正常工作。

三、磁心开关时间 T_s

一般规定磁心由 $-B_r$ 状态磁化翻转到 $+B_r$ 状态 (或者反过来由 $+B_r$ 到 $-B_r$) 所需要的时间, 叫做磁心的开关时间或叫磁心的磁化翻转时间, 以 T_s 表示。 T_s 的大小对存贮器工作速度有直接的影响。譬如讲要研制存取周期为 $2\mu\text{s}$ 的大容量存贮器, 则要求磁心的 T_s 小于 $1\mu\text{s}$ 。

开关时间的测量: 简单的测量是用脉冲电流驱动磁心, 在示波器上观测磁心的读出信号的宽度。为了提高测量的精确度要求电流脉冲的上升时间 t_r 远远小于磁心的 T_s (一般情况有 $t_r \approx 0.1T_s$); 电流脉冲的幅度 I_m 所产生的磁场强度 $H_m = 1.5H_0 \sim 3H_0$; 电流脉冲顶部宽度 $T_p > T_s$ 。这三个条件的第一条是保证磁心在翻转磁化时不受外部驱动脉冲上升边的影响, 可以把电流脉冲近似地看成一个跃阶的磁场, 磁心的开关时间 T_s 只由磁心内部磁化翻转过程决定。第二条是保证磁心在 H_m 驱动下能达到 $+B_m$ 或 $-B_m$ 的值。第三条是在时间上保证磁心的磁化翻转是充分的完全的。图 1-14 是示波器上测得的磁心的读出信号波形。从图 1-14 的波形可以得到磁心的 T_s , 磁心在磁化翻转的一段时间 Δt 内产生 $\Delta\phi$ 的磁通的变化量。那么在读出线上有感应电势 $\varepsilon = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$, 这个感应电势就是测得的电压波形。电压

波的底部宽度就是感应电势产生到结束所需要时间, 感应电势产生到结束的时间也就是磁心中产生 $\Delta\phi$ 的磁通改变量的时间 Δt , 而 Δt 就是磁心由一个剩磁状态翻转到另一个剩磁状态的开关时间 T_s 。所以说图 1-14 的电压波的底部宽度就是开关时间 T_s 。但是在实际测量中, 大家又规定 T_s 的计算是从感应电势开始上升到感应电势下降到它的峰值的 10% 处所需要的时间为磁心的开关时间 T_s , 如图 1-14 中所指示的一段时间。

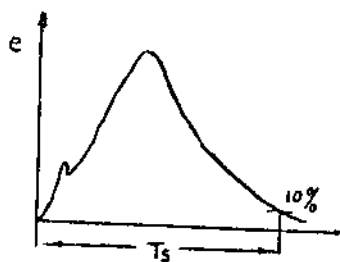


图 1-14

另外, 根据磁学理论分析和实验证明告诉我们磁心的 T_s 不仅仅和磁心材料、制作工艺有关, 而且和外加磁场 H_m 的大小有关。当 H_m 满足关系

$$1.5H_0 \leq H_m \leq 3H_0$$

而且, 磁场 H_m 的上升时间远小于 T_s 时, 有下列关系成立。

$$(H_m - H_0)T_s = S \quad (1-4)$$

(1-4) 式中的 S 叫做开关常数, 以镁锰铁氧体为材料的磁心开关常数 S 约为 0.6 奥斯特——微秒, 以锂锰铁氧体为材料的磁心的 S 值约为 0.3~0.5 奥斯特——微秒。式中 H_0 是临界磁场, 它近似等于 H_c 。所以(1-4)式可以改写成

$$(H_m - H_0)T_s = S \quad (1-5)$$

或者是

$$T_s = \frac{S}{H_m - H_0} \quad (1-6)$$

我们可以把 H_m 改写成 $H_m = mH_0$, m 是大于 1 的数。(1-6)式可改写成

$$T_s = \frac{S}{(m-1)H_0} \quad (1-7)$$

分析(1-6)式可以知道对一种磁心, 当外加磁场 H_m 增大时, 磁心的开关时间 T_s 随之减小。图 1-15 是磁心的 T_s 和 H_m 的关系曲线。从 $T_s - H_m$ 曲线也可以看到 H_m 值越小 T_s 的值越大。当 $H_m = H_0$ 时, 磁心几乎不可能翻转磁化, 或者说 $H_m = H_0$ 时, 磁心的开关时间 T_s 趋向于无穷值。

从(1-7)式我们还可以看到当 H_0 的值比较大的时候, T_s 也会减小, 这是说磁心本身的 H_0 的大小对开关时间 T_s 有影响, 一般说开关时间比较短的磁心, 它的 H_0 值都比较大。

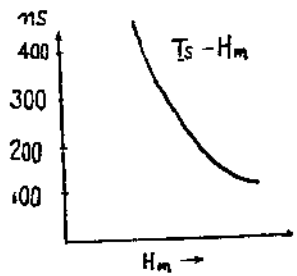


图 1-15

四、磁心的破坏“0”信号, 破坏“1”信号

前面曾经分析过, 磁心存储器工作时其中的磁心分为三种情况, 一种是被选磁心, 它受全选电流驱动产生读出信号, 第二种是未选磁心中一部分受半选电流的作用, 又叫受半选电流干扰的磁心, 一般说要求受半选电流干扰的磁心不改变其剩磁状态。第三种是未选磁心的另外一部分磁心, 它不受任何电流的作用。

从磁心存储器稳定可靠工作的角度考虑问题, 人们特别注意那些受半选电流干扰的磁心。特别注意这些磁心的原因有三个, 一是磁心的回线不是理想矩形回线时受半选电流干扰的磁心的原来状态是否保持不变。二是磁心存储器中的半选电流时面变大时面变小时, 对受干扰磁心有什么影响。三是一颗磁心先受到变大了的半选电流干扰, 后来这颗磁心又被选中时, 它的读出信号有什么特点。

根据上述分析, 要研究磁心在存储器中受半选电流干扰情况, 为研究的方便, 人们模拟这种情况设计了图 1-16(a) 的电流波形组, 用这一组电流波驱动一颗磁心, 得到图 1-16(b) 的读出信号。根据电流波形组的各电流大小和各种读出信号的大小来研究磁心的性质, 这也叫做磁心的脉冲测量。

图 1-16(a) 的电流波形组共 33 个波形, 其中有 3 个全选读电流, 2 个全选写电流, 14 个正向对“1”信号的干扰电流, 14 个负向对“0”信号干扰电流。从图 1-16(a) 中看到干扰电流不是全选读电流和全选写电流的一半, 而是它们的 60%。干扰电流取大于 50% 的全选电流主要考虑是存储器中半选电流有时变大, 全选电流有时变小, 为了知道磁心在最坏情况下能否稳定可靠地工作。设全选电流为 I_m , 那么半选电流应为 $0.5I_m$ 。若是全选电流因其它原因变成 $0.9I_m$, 而半选电流又因其它原因变成 $0.55I_m$ 。那么这两种情况刚好先后碰到一起, 出现一个磁心先受 $0.55I_m$ 电流的干扰然后又受全选电流 $0.9I_m$ 的驱动, 这种情况下作用于磁心的两种电流的比值是

$$\frac{0.55I_m}{0.9I_m} = 0.61$$

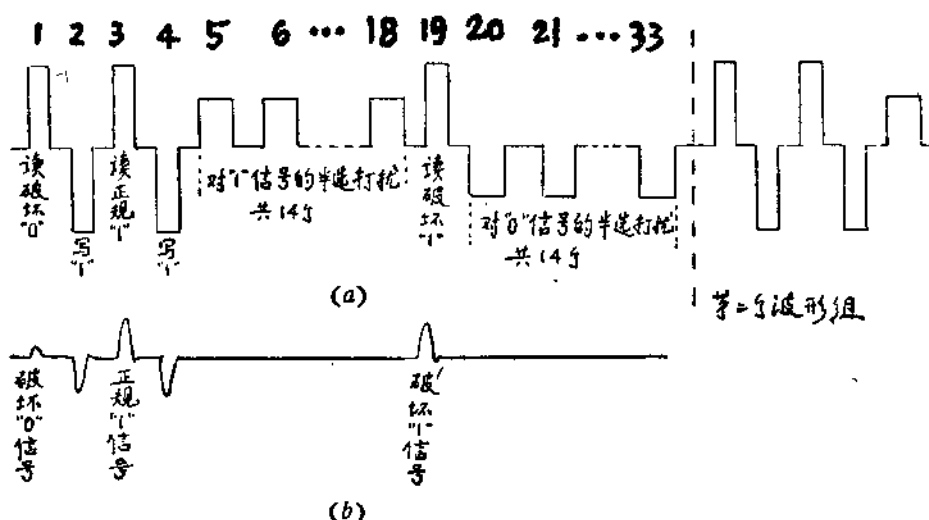


图 1-16

在实际工作中就取比值为 0.6, 这个比值又叫做干扰比, 常以 δ 表示。

从图 1-16(a) 中还看到 28 个干扰电流的宽度比全选电流的宽度大, 这也是考虑最坏情况让磁心受干扰的时间长, 受干扰的情况严重。一般情况下全选电流宽度稍大于磁心的开关时间 T_s , 而干扰电流宽度为全选电流的 2 倍。干扰电流的个数越多对磁心的干扰越严重, 目前生产磁心的质量较好, 又为了便于示波器的测量一般情况干扰电流个数为十几个到 30 几个。

用图 1-16(a) 的波形组测量一颗磁心时, 总是很多个这种波形组连续作用于磁心, 现在我们说明在这一组波形连续作用下磁心的工作情况。

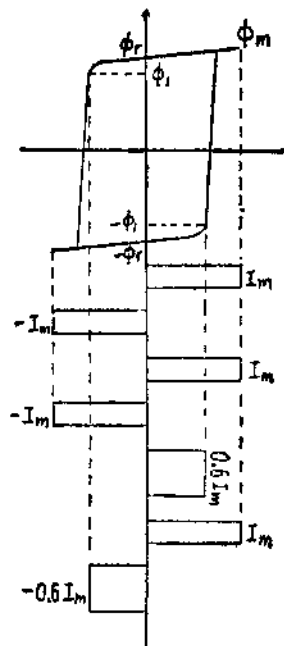


图 1-17

图 1-16 (a) 波形组中第二个脉冲 $-I_m$ 使磁心写“1”, 如图 1-17 所示, 使磁心处于 $-\phi$ 状态, 第三个脉冲 I_m 又使磁心产生读“1”信号, 处于 $+\phi$ 状态, 由于在第二个脉冲写“1”之后紧接着就由第三个脉冲产生读“1”信号, 这中间磁心没有受过干扰所以把这种“1”信号叫做正规“1”信号以 e_i 表示。第四个脉冲 $-I_m$ 又使磁心写“1”回到 $-\phi$ 状态。紧接着 14 个正向半选打

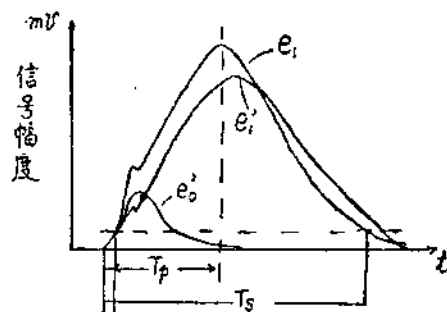


图 1-18

扰脉冲作用于磁心,使得磁心由 $-\phi$,移到 $-\phi_1$ 状态,这就是干扰脉冲对磁心的“1”状态 $-\phi$,的破坏作用。第19个脉冲 I_m 是全选电流它使磁心由 $-\phi_1$ 磁化翻转到 $+\phi_m$ 并产生读出信号这个信号叫做破坏“1”信号,以 e'_1 表示。这时读的 e'_1 是不同于前面的正规“1”信号 e_1 的,产生 e'_1 信号时磁心的磁通的改变量是 $\phi_r + \phi_m$,而产生 e'_1 时,磁心的磁通的改变量是 $\phi_1 + \phi_m$,由于 $(\phi_1 + \phi_m) < (\phi_r + \phi_m)$ 所以 $e'_1 < e_1$ 。如图1-18所示。

第19个脉冲有两个作用,其一是使磁心产生 e'_1 信号,其二是使磁心回到 $+\phi$ 状态,这又等效于使磁心写“0”。在第19个脉冲之后,紧接着有14个负向半选干扰脉冲,对磁心的“0”状态有破坏作用,由于它们的干扰使磁心的工作点由图1-17的 $+\phi$,移到 $+\phi_1$ 。当第二个波形组的第一个脉冲作用于磁心时,磁心产生读出信号记作 e'_0 ,这个信号所对应的磁通改变量不是 $\phi_m - \phi_r$,而 e'_0 是经过14个干扰脉冲破坏以后的“0”信号,它对应的磁通改变量是 $\phi_m - \phi_1$ 。由于 $\phi_r > \phi_1$ 所以有 $(\phi_m - \phi_r) < (\phi_m - \phi_1)$ 因而有 $e_0 < e'_0$ 。图1-18是用图1-16(a)的波形组测量磁心时得到的磁心的三个信号 e_1 、 e'_1 、 e'_0 的波形。其中 T_P 是 e_1 信号的峰值出现的时间, T_S 是磁心的开关时间。

五、磁心的K值与最佳电流

磁心的K值是指在图1-16(a)的脉冲波形组作用于磁心时磁心的 e'_0 信号幅度与 e'_1 信号幅度的比值即

$$K = \frac{e'_1}{e'_0}$$

K值反应了一颗磁心的破坏“0”信号 e'_0 和破坏“1”信号 e'_1 的相对大小。一般说磁心的矩形性越好K值越大,所以有人把K值叫做磁心的脉冲情况下的矩形系数。但是要指出,K值大小与干扰比 δ 的取值有关, $\delta=0.5$ 时K值大, $\delta=0.6$ 时K值会减小。

在选定 δ 值,例如 $\delta=0.6$,用几种不同全选电流幅度的图1-16(a)的波形组作用于同一颗磁心,发现全选电流的幅度不同,磁心的K值也不同。所谓磁心的最佳电流是指当K值为最大值时的那个全选电流。

表1-1列出了对某一颗 $0.8 \times 0.56 \times 0.3$ (单位为毫米)的磁心用9种不同的全选电流,(注意 δ 值始终是0.6)测得的9种不同的 e_1 、 e'_1 、 e'_0 和K的值。

表 1-1

$I_m(mA)$	600	650	700	725	750	775	800	840	900
$\delta I_m(mA)$	360	390	420	435	450	465	480	504	540
$e_1(mV)$	33	43	52.5	57.5	62.6	67.5	71	80	90
$e'_1(mV)$	31	40	50	53.8	57.5	56.7	51.3	40	25
$e'_0(mV)$	6	7	8	8.5	10	17.5	26.3	39	60
$K = \frac{e'_1}{e'_0}$	5.1	5.7	6.3	6.3	5.8	3.2	2	1	0.4

我们把表1-1的数据绘成图1-19的四条曲线。其中第一条曲线是正规“1”信号 e_1 和全

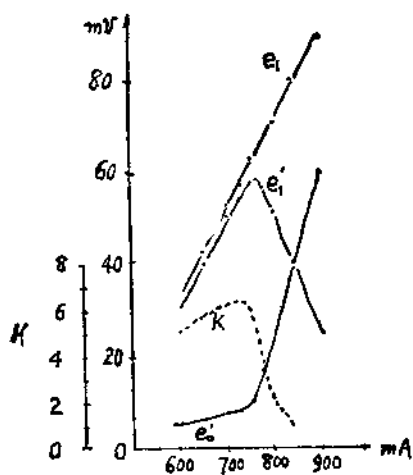


图 1-19

760mA 以后, I_m 增大, 干扰电流 $0.6I_m$ 也增大, 磁心被破坏的程度越来越严重, 如图 1-20 所表示的, 干扰电流由 m_1 增大到 m_2 再增大到 m_3 时, 磁心的“1”状态由 $-\phi_r$ 破坏到 $-\phi'_r$ 或者破坏到 $-\phi''_r$ 或者破坏到 $+\phi''_r$ 。这时决定 e'_1 大小的主要因素是干扰电流 $0.6I_m$, 所以这时 e'_1 信号表现为随 I_m 增加而减小。〔因为 $(\phi_m - \phi''_r) < (\phi_m + \phi''_r) < (\phi_m + \phi_1) < (\phi_m + \phi_r)$, 所以对应的 e'_1 也是减小的〕。

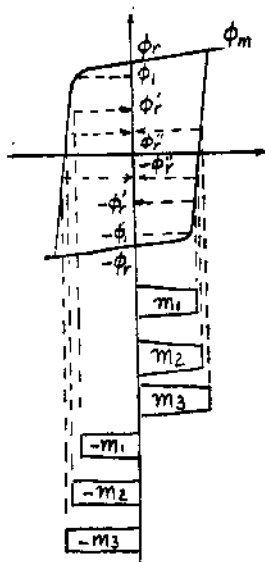


图 1-20

第四条曲线是破坏“0”信号 e'_0 和 I_m 的关系曲线。当 $I_m < 750mA$ 时 e'_0 随 I_m 的增大而缓慢地增加, 这是因为这时干扰电流 $-0.6I_m$ 的值还比较小, 干扰作用存在但不严重, 当 I_m 值大于 750mA 以后, 干扰电流增大。如图 1-20 所示干扰电流增大到 $-m_1$ 或者 $-m_2$ 或者 $-m_3$ 时, 磁心的“0”状态由 $+\phi_r$ 移到 $+\phi'_r$ 或者移到 $+\phi''_r$ 或者是 $-\phi''_r$, 这种情况出现时, e'_0 急剧的随 I_m 增大而增大。〔因为 $(\phi_m - \phi_r) < (\phi_m - \phi_1) < (\phi_m - \phi'_r) < (\phi_m - \phi''_r) < (\phi_m + \phi''_r)$ 所以 e'_0 是依次增大〕。

很明显当干扰电流增加到 m_3 和 $-m_3$ 时, 干扰电流已经接近磁心正常情况下的全选电流。所以正干扰电流 m_3 已经把磁心的 $-\phi_r$ 状态破坏到 $+\phi''_r$, 当下一个全选读电流驱动磁心时磁心的破坏“1”信号 e'_1 的大小由磁通改变量 $(\phi_m - \phi''_r)$ 决定。另外, 若磁心在“0”状态负干扰电流 $-m_3$ 已经把磁心的 $+\phi_r$ 状态破坏到 $-\phi''_r$, 当下一个全选读电流驱动磁心时磁心的破坏“0”信号 e'_0 的大小由磁通改变量 $(\phi_m + \phi''_r)$ 决定。由于 $(\phi_m - \phi''_r) < (\phi_m + \phi''_r)$ 因此有时出现磁心的破坏“0”信号 e'_0 大于破坏“1”信号 e'_1 的现象。这种现象在图 1-19 中是 I_m 大于 840mA 以后出现。

第三条曲线即图 1-19 中虚线, 它是 K 值与 I_m 的关系曲线, 在 $I_m = 725mA$ 时 K 值为最大值, 也就是 725mA 为这颗磁心的最佳电流。前面所讲的测得表 1-1 的数据的方法就是寻找一颗磁心的最佳电流的方法。现在把这颗磁心的脉冲参数归纳列入表 1-2。

一颗磁心的主要参数是 B_m, B_r, H_0, β , 温度系数, $e_1, e'_1, e_0, e'_0, K, T_P, T_S$ 和最佳电流等

$$\delta=0-6$$

表 1-2

$D_1 \times D_2 \times h(mm)$	$e_1(mV)$	$e'_1(mV)$	$e'_0(mV)$	K	T_P	T_S	最佳电流
$0.8 \times 0.5 \times 0.3$	57.5	53.8	8.5	6.3	180ns	400ns	725mA

13 个参数。现在把它们对存贮器的影响列成表 1-3。

表 1-3

名 称	单 位	影 响 什 么 因 素	存贮器的希望
B_r, B_m	高 斯	B_r, B_m 值大 e_1 的值也大	B_r, B_m 值大
H_C	奥斯特	H_C 值大驱动电流大, T_S 就小	不延长 T_S 的条件下, H_C 要小
β		决定回线矩形性, 影响磁心抗干扰能力。	接近于 1
e_1, e'_1	毫 伏	e_1, e'_1 的值大, 便于存贮器鉴别	大
e_0, e'_0	毫 伏	e_0, e'_0 值小, 便于存贮器鉴别	小
K		K 值大, 便于存贮器鉴别	大
T_P, T_S	毫微秒	影响存贮器工作周期	视存贮器速度而定
温度系数	$H_C/^\circ C$	影响存贮器的稳定性和可靠性	小
最佳电流	毫 安	电流小存贮器耗电小	小

我们把搜集到的部分工厂生产的部分磁心的参数列入表 1-4。供学习时 对各参数有一点具体数量的概念。

表 1-4

材料	$D_1 \times D_2 \times h(mm)$	$H_C(Oe)$	$B_m(GS)$	B_r/B_m	$e_1(mV)$	e'_0	$T_P(\mu s)$	$T_S(\mu s)$	驱动电流	温 度 系 数
Mg-Mn	$1.6 \times 1.4 \times 0.65$	$1.57 \sim 2$	≥ 2300	≥ 0.9	≥ 61			1.4	530mA	
铁氧体	$1.2 \times 0.88 \times 0.53$			≥ 0.9	≥ 45		0.44	1	525mA	
Li-Mn	$1.2 \times 0.88 \times 0.53$			≥ 0.9	≥ 53.5			0.6	750mA	$\leq -2 \times 10^{-3} H_C/^\circ C$
铁氧体	$0.8 \times 0.56 \times 0.3$			≥ 0.9	≥ 45	≤ 15		0.34	720mA	$\leq -2 \times 10^{-3} H_C/^\circ C$
	$0.6 \times 0.4 \times 0.2$			≥ 0.9	≥ 40	≤ 10		0.22	800mA	$\leq -2 \times 10^{-3} H_C/^\circ C$

目前外国常用的磁心的部分参数列入表 1-5。国外的磁心尺寸通常用“密尔”为单位, (1 密尔 = 10^{-3} 英寸 = 0.0254 毫米)