

内 容 提 要

这本书主要介绍长途多路载波通信设备自动电平调节系统中应用的记忆磁心自动电平调节器。内容包括磁化概念，磁心的结构、材料及磁化原理和特性，记忆磁心自动电平调节设备方框图，记忆磁心自动电平调节器各单元的典型电路及简单计算。同时还介绍了几种实用的记忆磁心自动电平调节器电路和调测方法。书末还附有磁心参数的测试方法。本书可供从事长途多路载波通信技术的工人、工程技术人员以及通信院校有关专业的工农兵学员、教师阅读参考。

记 忆 磁 心 自 动 电 平 调 节 器

《记忆磁心自动电平调节器》编写组编

*

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

天津市第一印刷厂印刷

新华书店发行

内 部 发 行

*

开本：787×1092 1/32 1975年7月第一版

印张：3 1/4，页数56 1975年7月天津第一次印刷

字数：76千字 印数：1—5,000册

统一书号：15045·总2041—资419

定价：0.29元

前 言

在毛主席革命路线指引下，在无产阶级文化大革命和批林批孔运动的推动下，我国工人和工程技术人员坚持毛主席“独立自主、自力更生”的方针，实行了科研、生产、使用和工人、干部、技术人员两个三结合，经过短短几年的努力，研制出了可供各种多路载波机自动电平调节系统应用、具有“记忆”性能的记忆磁心自动电平调节器。

近年来在国内外长途通信的多路载波机中，对电平自动调节设备提出了具有“记忆”性能的要求，以便在电路导频中断时，系统保持着原来的增益。除了机电式调节系统能达到这个要求外，电子式的电路越来越得到广泛的应用。记忆磁心中的多孔磁心电路曾在国外载波机的自动电平调节设备中应用过，但是由于电路复杂或是由于质量不够好，限制了它的使用和发展。目前有的国家已在大容量的载波机中开始采用场效应管自动电平调节电路。

在伟大领袖毛主席哲学思想指导下，在党的领导和亲切关怀下，我们经过实践和认识的多次反复，不断总结经验教训，战胜了重重困难，试制成功了采用负反馈式记忆磁心自动电平调节器电路，解决了记忆磁心非线性带来的问题。降低了对记忆磁心的要求，电路简单容易实现，自动调节质量也较好。不仅能用多孔磁心，而且首先实现了（国外文献曾认为不可能实现的）在自动电平调节器电路中应用单孔磁心，这对实践和理论都有一定意义。目前这些电路在国内已逐步推广应用，不仅自动电平调节设备可用，还可用于监频自动调节设备。不仅可用于电缆载波机，电路略加修改后也可用于调节范围较大的明线载波机。

为了使这项新的技术，在我国多路载波通信系统中得到进一步应用和改进。同时也为从事载波通信技术工作的工人和工程技术人员了解记忆磁心自动电平调节器知识的需要，我们编写了“记忆磁心自动电平调节器”这本书。本书在内容上，除第一章概述简要地介绍了自动电平调节器的发展概况，以及记忆磁心自动电平调节器的进展和运用外。二、三、四、五章则从讲述分析记忆磁心需要的磁化概念、磁心材料和结构、磁化特性、磁心控制原理和特性等开始，接着叙述记忆磁心自动电平调节设备方框图及工作原理，并依次介绍了记忆磁心电平自动调节器各单元的典型电路及其简单的计算方法。最后分别介绍了适用于电缆载波机和既适于电缆载波机又适用于明线载波的记忆磁心自动电平调节器的实用电路和调测方法，以及这些自动电平调节器单环调节特性试验的实测数据和多环试验结论。并在附录中提供了一种测量记忆磁心参数的方法。

通过这本书，我们希望使读者对记忆磁心自动电平调节器电路和调测方法有一定了解。所以对适合应用于记忆磁心自动电平调节器的单元典型电路，以及几种可供实用的记忆磁心自动电平调节器电路，根据我们的实践分类作了介绍，以便读者在需要制作时参考。同时也迫切希望读者在实践和总结的过程中，对电路不断地完善和改进，充分发挥它的特点和效能。使我们在迅速改变我国通信落后面貌，赶超世界先进水平这一目标下作出共同努力。

这本书是经过有关单位集体审定由杨德知同志执笔编写出来的，由于我们实践经验不够，水平有限，书中的缺点错误及不妥之处，希读者及时提出批评帮助，以便在今后不断实践、总结、提高的基础上，对本书重新加以修订。

《记忆磁心自动电平调节器》编写组 1975.3.

目 录

第一章 概述	1
第二章 记忆磁心的原理和特性	5
2·1 磁畴和磁化概念	5
2·2 记忆磁心的材料、结构及其应用	8
2·2·1 记忆磁心的材料	8
2·2·2 记忆磁心的结构及其应用	9
2·3 记忆磁心的磁化特性	10
2·4 单孔磁心的控制及特性	12
2·5 多孔磁心的原理及特性	21
第三章 记忆磁心自动电平调节设备的工作原理	25
3·1 单个自动电平调节环路（单环）工作原理	25
3·2 单孔磁心自动电平调节器工作原理	28
3·3 比例—积分式单孔磁心自动电平调节器简介	33
3·4 多孔磁心自动电平调节器简介	34
第四章 自动电平调节器的典型电路	37
4·1 前级直流放大器	37
4·1·1 比较—放大级	37
4·1·2 控制级	38
4·1·3 比较—控制级	39
4·2 脉冲振荡器	42
4·2·1 间歇振荡器	42

4·2·2 再生环式负脉冲振荡器·····	44
4·2·3 再生环式正脉冲振荡器·····	49
4·3 激励振荡器·····	50
4·3·1 变量器耦合式振荡器·····	51
4·3·2 电感三点式振荡器·····	51
4·3·3 电容三点式振荡器·····	52
4·4 输出级电路·····	53
4·4·1 半波整流及直流放大输出电路·····	53
4·4·2 倍压整流及直流放大输出电路·····	54
4·4·3 三极管整流及直流放大电路·····	54
4·4·4 交流放大后整流的输出电路·····	56
4·5 反馈电路·····	57
4·5·1 并联反馈的计算·····	57
4·5·2 反馈环路内包括放大环节及积分环节的公式 推导·····	60
4·5·3 反馈的稳定问题·····	65
4·6 告警及锁定电路·····	65
4·6·1 告警电路·····	66
4·6·2 锁定电路·····	70
4·7 稳压电源电路·····	74
第五章 记忆磁心自动电平调节器电路·····	76
5·1 单孔磁心自动电平调节器·····	76
5·1·1 电路说明·····	76
5·1·2 电路工作过程·····	81
5·1·3 自动电平调节器的调整测试·····	83
5·1·4 自动电平调节环路的调节特性·····	86
5·2 比例—积分式单孔磁心自动电平调节器·····	87

5.2.1 电路说明	87
5.2.2 电路工作过程	90
5.2.3 调整测试	91
5.2.4 自动调节特性	93
5.3 多孔磁心自动电平调节器	94
5.3.1 电路说明	94
5.3.2 电路工作过程	96
5.3.3 调整测试	97
5.3.4 自动调节特性	97
附录1 记忆磁心参数的测量	98
附录2 磁学单位的换算	102
参考文献	102

第一章 概 述

经过伟大的无产阶级文化大革命，我们的社会主义祖国更加繁荣昌盛，工农业日益发展，科学技术水平不断提高，对长途载波通信的需求也越来越增加。一方面是通信路数即数量的增加，另一方面则是对通信质量，主要是对可靠性提出了更高的要求。

自动电平调节设备是载波电话通信系统中的一个重要组成部分，它要保证整个通路的电平稳定，自动电平调节器则是自动电平调节设备控制的中心，它同其它部件一起决定了调节系统的静态误差。同时还决定了系统的各项动态特性。因此，各种载波机在自动电平调节器电路及控制器件上采用了多种方式，并各具特点。

早期的多路载波机自动电平调节设备里，主要是采用电动机带动其它可变器件（如可变电容器、电位计等）。也有采用步进选择器进行调节的。在通信技术的发展过程中，步进选择器受到淘汰，电动机在个别国家至今还在应用，而大多数国家已不采用具有机械磨损的电动机构，而采用无机磨损的、用热敏电阻调节的热电式电路，由于它比较简单，并能满足一般技术要求，所以它已在大小通路载波设备里为许多国家所采用。

在“**鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义**”的总路线指引下，我们以敢想敢干的革命精神和实事求是的科学态度，在我国生产使用的多路载波机自动电平调节设备中，自行研究设计了具有RC校正电路的直流控制式自动电平调节器。由于在自动电平调节环路内引入了RC校正电路，可以由

总体的需要去控制单个及多个自动电平调节环路的动态性能，从而保证了整个通路性能的稳定，使用质量良好。

随着载波机通路数大量增加，使用频率也大大提高，增音段距离缩短，增音站数量大大增加，出现故障的可能性也就更多了。这样除了对载波机各部分电路及元件提出更高的要求外，还要求有“记忆”性能的自动电平调节设备，即因任何故障引起的导频突然变化或中断时，要求整个载波系统增益仍保持原状。这样就可以维持临时通信，便于查找障碍，并可在障碍消除后，使整个系统迅速恢复正常。

目前在一般使用的没有“记忆”性能的自动电平调节设备中，除了自动电平调节电路进行正常的自动调节外，还带有人工转换电路，以便在出现故障使导频突然变化较大或者中断时，将自动调节转换到人工控制步位上去，使系统增益保持一个相应的数值。这就要求人工控制步位应该经常随电路衰耗的变化而变化，以便在转换时使系统增益变化尽量减小。这样做对通路数量较少，在有人站才有自动电平调节设备的载波机来说，是可以应用的。但也存在处理比较麻烦，而且也不准确的缺点，容易造成增益脱节。如果在通路数量较大的载波机中，不单有人站有自动电平调节设备，在更多数量的无人站中也有自动电平调节设备，不可能也不允许经常派人到有自动电平调节设备的无人站中去，将自动调节转换至人工控制步位。这样做既不可靠，也不准确，在增音站数量很多的情况下，出现故障时，增益极易造成脱节。因此，对较大通路的载波机，则需要具有“记忆”性能的自动电平调节设备。当然，在较小通路载波机的自动电平调节设备里，最好也有“记忆”性能。

要使自动电平调节设备具有“记忆”性能，一类是采用机械的方法，如使用电动机或步进选择器等具有机械动作的器

件，利用它们带动电位器，可变电容器，或者可变电感器等进行自动电平调节。这样当导频突然变化较大或者中断时，它们可以立即停止动作，保持住即“记忆”了原来的状态，但这类方式，有机械磨损、体积大、耗电大、成本高。另一类是电子式的，有三种可行方案，一种是场效应管调节器，另一种是数字式调节器，再一种则是记忆磁心调节器。由于场效应管调节器的记忆是靠电容器上电荷产生的电压，这就要求具有极小漏电容的电容器及密封结构，而且需要动作极可靠的继电器元件，这对元件工艺提出了严格的要求。数字式调节器则需用大量的半导体管及大量的阻容元件，只适宜在固体电路中应用。记忆磁心调节器则只用一只记忆磁心就代替了大量的半导体管及阻容元件，用一般的印制电路就可以了。此外，记忆磁心调节器的可靠性较高，受干扰影响也较小，特别是在电源中断后还有记忆作用。由于记忆磁心记忆时间是没有限制的，所以寿命也长。因此，采用记忆磁心调节器是一种较好的方式。

记忆磁心在我国载波机的自动电平调节设备中已有了应用，为了赶超国际先进水平，我们在伟大领袖毛主席“**独立自主、自力更生**”的方针指引下，遵照“**中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平**”的教导，运用毛主席的哲学思想作指导，经过由实践到认识，由认识到实践多次的反复试验，克服了重重技术难关，试制成功了多孔磁心自动电平调节器，这种多孔磁心是采用矩磁材料做成的一个大孔和一个小孔的磁心记忆元件，这种自动电平调节器与国外同类产品比较，调节步位可达几千步以上，实际上是连续调节，而且电路容易实现，对磁心要求也不高，多站调节特性也较国外的为好。

遵照伟大领袖毛主席的关于“**在生产斗争和科学实验范围**

内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。”的教导，在研制成功多孔磁心自动电平调节器的基础上，我们分析了一般磁心的基本原理，认为在自动电平调节电路上不但多孔磁心可以应用，单孔磁心也完全可以应用。经过反复试验，研制成功了单孔记忆磁心自动电平调节器电路。比多孔磁心电路又有了进一步的发展，实现了用单孔磁心作自动电平调节设备记忆元件的电路。由于采用了单孔磁心，磁心元件制造方便，磁心线圈绕制工艺也比较简单，对磁心要求也更低，因此，适宜大量应用，不仅较大通路的载波机可用，通路较少的载波机也可应用。

由于单孔磁心自动电平调节电路已可大量应用，因此，本书介绍的磁心工作原理，主要是以单孔磁心为主，多孔磁心仅作简单的叙述，而两者的电路差别不大，一般的典型电路就一起讨论，不同之处将在各章分别进行研究。

第二章 记忆磁心的原理和特性

2.1 磁畴和磁化概念

磁铁是我国首先发现的，远在四千多年以前，我国就开始应用磁性材料了。在我国发明指南针和罗盘很久以后才传到欧洲，这些器件都是利用磁学原理制成的。虽然磁铁应用很早，但是有很长一段时间，磁学理论发展缓慢，直到近二百年左右才开始迅速发展，出现了很多新材料，新理论，目前还在继续发展，一些新的材料和理论尚在继续探索和完善。对于我们从事应用磁性器件的人来说，要从磁学理论上作深入的研究是不现实的。但是如果对于磁性器件的概念不清楚，也是不能很好地掌握磁性器件应用的。在这里仅对我们应用的磁性器件的原理作一简单介绍，如需要深入了解可参阅有关专门的磁性器件及磁学方面的书籍。（见参考文献目录）

按现代物理学理论，认为物质的基本成分——原子，是由带正电的原子核及环绕原子核旋转带负电的电子组成。电子沿轨道运动产生一定的磁矩，这些磁矩是很小的，对一般材料来说是杂乱的，对外显不出磁性。而对于磁性材料来说，它是由千万个看不见的微小的集合体构成，这些微小的集合体叫做磁畴。每个磁畴都包含着若干数量的原子，并且具有平行的电子旋转，它们各自都按一定的方向磁化而达到饱和。对于一般没有磁化的磁性材料来说，这些磁畴产生的自发磁化矢量是闭合的，彼此相消的，对外也显不出磁性来，下面简要地介绍一下

磁化过程。

图 2—1 为磁性材料的典型起始磁化曲线，当由外界对磁性材料施加一个小的磁场时，与外加磁场方向近乎一致的那些磁畴就会稍有增长，发生了磁畴畴壁的可逆移动（即可逆壁移），这相当于图 2—1 的 0—1 段曲线。

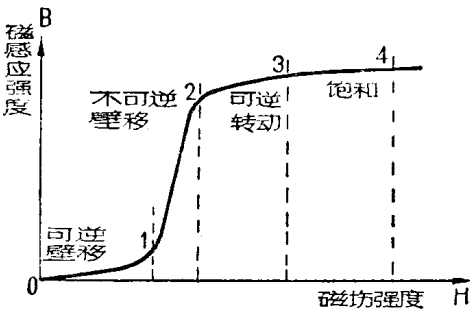


图 2—1 典型起始磁化曲线

当外加磁场增加时，就发生了另一种磁化方式，这就是大部分磁畴的磁矩在外加磁场相近的方向逐渐排齐，使磁化急剧增加，磁畴畴壁发生了不可逆移动（即不可逆壁移），这段过程是不可逆的，相当于图 2—1 的 1—2 段曲线。如材料磁化状态进入这段曲线后将外加磁场去掉，就会有剩磁存在，只不过材料不同剩磁不同罢了。

如果外加磁场继续增强，磁畴则再旋转到与外加磁场更加一致的方向，磁畴发生可逆转动，磁化继续增加，这相当于图 2—1 的 2—3 段曲线。这时如使外加磁场再继续增加，磁性材料就达到饱和，这相当于图 2—1 的 3—4 段曲线，这段曲线实际上已是直线。

从图 2—1 可见：曲线的 1—2 段特别陡峭，说明变化很快，这是由于在这段曲线内磁畴不断产生能级的变化，由一较低能级跃变到一新的能级。每产生一次能级的跃变，就使磁感应强度 B 也跃变一次，所以磁感应强度的增加实际上是不连续的，曲线则是由许多跃变的阶梯所组成。由于磁畴的变化在微

观上与原子相比虽然很大，但从宏观上看却又很小，因此在 1—2 段范围内磁感应强度的变化曲线表面上看起来还是很平滑的。曲线的 0—1 段、2—3 段、及 3—4 段则显得比较平坦，它们的变化主要是可逆的过程。

下面我们来讨论在磁化过程中，磁畴是怎样进行变化的。现用图 2—2 所示的例子来加以说明。(a) 图表示无外加磁场作用时，四个体积相同的磁畴，由于它们的取向不同，四个磁畴产生的磁矩互相抵消，对外显不出磁性。当加上外磁场时，如果磁场强度 H 比较弱，磁畴的自发磁化矢量与 H 成较小角度的

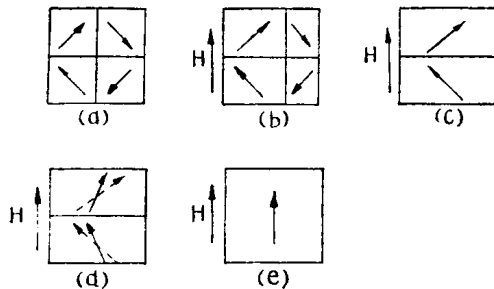


图 2—2 磁化过程中磁畴变化的示意图

磁畴体积则略有增加，而自发磁化矢量与 H 成较大角度的磁畴体积将会减小，磁感应强度有一定程度的增加，如图 2—2

(b) 所示，这相当于图 2—1 磁化曲线的可逆壁移 0—1 段。如外加磁场 H 继续增强时，则取向与 H 成较大角度的磁畴将全部消失，磁感应强度会急剧增加，如图 2—2 (c) 所示，这相当于图 2—1 磁化曲线不可逆壁移的 1—2 段。在这一过程中，如前所述是各磁畴在不同时间产生能级的跃变，因而过程是不可逆的。如果外加磁场再继续增强，则磁畴将发生旋转，使其自发磁化矢量旋转到与外磁场方向逐渐接近一致，磁感应强度

会有一定程度的增加，但已变得比较平坦，如图 2—2 (d) 所示，这相当于图 2—1 曲线可逆旋转的 2—3 段。如果外加磁场再进一步增强，则所有的磁畴都将旋转到与外加磁场强度 H 完全一致的方向，磁感应强度几乎不会进一步增加，材料磁化达到饱和，如图 2—2 (e) 所示，这相当于图 2—1 曲线的 3—4 饱和段。

上面所讨论的图 2—1 的磁化曲线及图 2—2 的磁畴变化情况是一般的形式。在讨论时虽然分为四段，实际上不能截然分开，每一段内也并不只发生一种过程，只是以一种过程为主，其它过程也有。磁化过程与磁性材料的成分有很大关系，对某些材料来说，图 2—1 曲线的 1—2 段是以磁畴畴壁不可逆壁移为主，也有磁畴旋转的过程。而对另一些材料则可能是磁畴不可逆壁移及磁畴旋转都占相当比例。另外对于一般应用作电感及变量器的软磁材料来说，磁化过程主要是可逆的过程，不可逆过程仅占较小成分。而对应用于记忆元件的矩磁材料来说，既有可逆过程，也有不可逆过程，而不可逆过程是占主要的成分。

2.2 记忆磁心的材料、结构及其应用

2.2.1 记忆磁心的材料

记忆磁心是用具有矩形磁滞回线的磁性材料做成的矩磁器件，早期是用金属磁性材料制成。但是金属磁性材料制造工艺比较复杂，用在高频率、高速度方面也有困难，近年来由于铁氧体迅速发展，在一些尖端技术上已大量采用了铁氧体矩磁材料制成的器件。因为铁氧体器件制造方便，可大量生产，而且

铁氧体不是导体几乎没有涡流损失，所以在高频率、高速度条件下应用质量良好，并已在自动控制及计算技术中大量采用。

铁氧体矩磁材料在一般常温下用的是由镁锰铁氧体制成的常温矩磁材料。而在温度变化范围较大的地方，则用锂锰铁氧体或其它材料制成的宽温矩磁材料。

2.2.2 记忆磁心的结构及其应用

记忆磁心最早只是环形单孔磁心，这种磁心现在也还是应用最普遍的一种。随着科学技术的发展，又出现了各种不同结构的磁心见图 2—3，除了最早的单孔磁心外(图 2—3(a))，还出现了双孔以上的多孔磁心，如一大孔一小孔的双孔磁心(图 2—3(b))，一大孔二小孔的三孔磁心(图 2—3(c))，一大孔四小孔的五孔磁心(图 2—3(d))。还有其它各种形状的磁心，不仅有平面穿孔的，还有各种立体结构的，这里就不多叙述了。

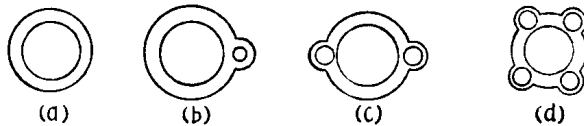
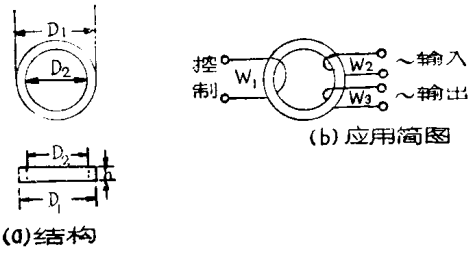


图 2—3 记忆磁心几种典型结构

对于应该选用哪种磁心，这要看需要和条件而定。各种磁心有各自适用的范围和用途，图 2—3(b)、(c)、(d) 图所示的多孔磁心已在有关文献中讨论过它们在自动电平调节电路中的应用。图 2—3(a) 所示的单孔磁心在一般需要两个稳态的控制电路中，已经得到普遍的应用，但是应用于需要很多个稳态的自动电平调节电路，目前世界各国尚无先例。我们遵照伟大领袖毛主席关于“中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，

赶上和超过世界先进水平”的教导，不仅将多孔磁心应用于自动电平调节电路，而且首先将单孔磁心应用于自动电平调节电路。由于单孔磁心是最基本的，而且我们也已在自动电平调节电路中大量采用，因此在介绍记忆磁心工作原理时，将比较详细地讨论单孔磁心的原理，而对多孔磁心仅作一简要介绍。



2.3 记忆磁心的磁化特性

环形单孔记忆磁心的结构及应用简图如图 2—4 所示。

图 2—4 单孔磁心结构及应用简图 2—4 所示。

在磁心圆环上均匀地绕一线圈，匝数为 W ，在线圈上加一电流 I （单位为安）， I 与 W 的乘积就是磁动势 F （单位为安匝）。

$$F = IW \quad \text{安匝} \quad (2-1)$$

磁场强度 H 是单位长度上的磁动势。

$$\text{即 } H = \frac{F}{l} = \frac{IW}{\pi D} \quad \text{安匝/米} \quad (2-2)$$

式中 I ——磁化电流（安）； W ——线圈匝数；
 l ——磁路长度（米）； D ——磁心圆环直径（米）。

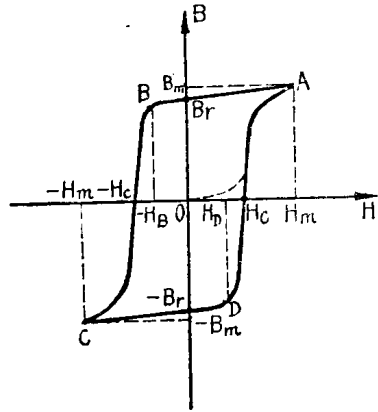
在磁心宽度极窄时，即 $D_1 \approx D_2$ 时， $D \approx D_1 \approx D_2$ ，在 D_1 与 D_2 不等的情况下， D 为平均直径， l 为平均磁路长度。

$$D = \frac{D_1 + D_2}{2} \quad (2-3)$$

$$l = \pi D = \frac{\pi(D_1 + D_2)}{2} \quad (2-4)$$

由磁场强度 H 的公式(2-2)可见,在磁心线圈中加上一定的磁化电流 I 时,产生的磁场强度 H 正比于电流 I 。随着电流的加大,磁场强度 H 也不断加大,结果就使磁心磁畴畴壁由可逆壁移过程到不可逆壁移过程,一直达到饱和。对于我们常用的具有矩形磁滞回线的记忆磁心来讲,不论是 D_1 接近 D_2 ,或者 D_1 与 D_2 有较大差别,它们的静态特性见图2-5。

如图2-5所示,当磁心未被磁化时,磁化状态是处于原点 O 的位置。当外加磁化电流 I 使磁场强度 H 增加时,磁感应强度(磁通密度) B 即沿 O A虚线增加,这相当于图2-1的典型起始磁化曲线,当 H 增加到最大值 H_m 时,磁心达到饱和,磁感应强度 B 达到最大值 B_m 。当外加磁化电流



I 减到 0 ,使磁场强度 H 减到 0 时,磁感应强度并不由 B_m 沿起始磁化曲线返回到 0 ,而是经另一曲线回到剩磁感应强度 B_r 的位置,磁心出现了剩磁。对于一般常用的软磁材料来讲, B_r 非常小,接近于 0 。而对于我们所用的记忆磁心来讲, B_r 则是很大的,接近于 B_m ,比值 B_r/B_m 一般在 90% 以上。

当外加电流反方向增加,使磁场强度反方向增加时,磁感应强度 B 开始变化很小,这是因为磁畴的不可逆过程并未改变,仅作很小的可逆变化。当 H 继续反向加大到 $-H_B$ 点时,相应于曲线的 B 点以后,磁场强度大到使磁心磁畴畴壁开始反方向的不可逆壁移,磁感应强度 B 开始急剧下降。当磁场强度 H