

磁 放 大 器

〔美〕 H.F. 斯托姆著

胡汝鼎 李中藩 高 綸譯

本书共分三部分：第一部分为磁学，叙述磁学理论、磁性材料及磁性试验，第二部分为磁放大器理论，叙述带有电阻负载的饱和电抗器，其特性及运行状态，还叙述带有反馈的饱和电抗器、电器放大器等，第三部分说明元件及其运用。

本书是磁放大器方面的名著，主要供磁放大器的研究人员、设计人员阅读，其他与此专业有关的高等院校和工程技术人员亦能作参考。

H. F. Storm

MAGNETIC AMPLIFIERS

(根据美国 John Wiley 一九五五年版译出)

* * *

磁 放 大 器

[美] H.F. 斯托姆著

胡汝鼎 李中藩 高 綸译

*

机械工业出版社出版 (北京苏州胡同 141 号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 $16 \frac{15}{16}$ · 插页 2 · 字数 417 千字

1965 年 9 月北京第一版 · 1965 年 9 月北京第一次印刷

印数 0,001—4,500 · 定价(科七) 3.10 元

*

统一书号: 15033 · 3747

目 录

磁 学

第一章 磁学理論概述1

1.1 鉄磁学的发展史(1)——1.2 磁量单位(2)——1.3 磁化曲线(5)——1.4 静态磁滞环綫(7)——1.5 动态磁滞环綫(8)——1.6 鉄心損耗(14)——1.7 近代磁学理論概述(15)——1.8 电子的旋轉(15)——1.9 原子的交換力(17)——1.10 晶粒作用力(18)——1.11 微粒的取向(21)——1.12 磁疇和它們的磁化方式(23)——1.13 矩形(方形)磁滞环綫(25)——1.14 磁伸縮現象(25)

第二章 磁性材料26

2.1 材料特性(26)——2.2 微粒取向(各向异性)硅鉄合金(30)——2.3 含鎳50%和鉄50%的微粒取向(各向异性)合金(34)——2.4 磁疇取向的65-坡莫合金(36)——2.5 各向同性的50-50鎳鉄合金(37)——2.6 鉬坡莫合金(38)——2.7 超坡莫合金(39)——2.8 銅坡莫合金(40)——2.9 鉬鉄鎳合金和硅鉄鎳合金(41)——2.10 鉄淪氧(41)——2.11 使用表2.1的一些說明(43)

第三章 磁性試驗45

3.1 概述(45)——3.2 用冲击檢流計測量静态磁滞环綫(46)——3.3 用阴极射綫示波器測量动态磁滞环綫(51)——3.4 用一个同步接点測量动态磁滞环綫(55)

磁放大器的理論

第四章 磁放大器理論概述59

4.1 导言(59)——4.2 飽和电抗器电路的綜述(60)——4.3

带有自由偶次諧波电流的运行和带有抑制偶次諧波电流的运行
(61)——4.4 极性(63)——4.5 飽和电抗器作为同步开关 (或
閘門)(63)

第五章 带有电阻負載的飽和电抗器 具有自由偶次諧波电 流的稳态运行 串联飽和电抗器.....65

5.1 飽和电抗器运行的定性分析(65)——5.2 飽和角 α , 輸出电
压 E_0 以及負載电流 I_L 之間的定量关系式(68)——5.3 控制电路
的方程以及磁通的关系式(70)——5.4 閘門电路的方程(72)
——5.5 以积分形式表示的法拉第法則(72)——5.6 磁通方程
(73)——5.7 等安匝法則(76)——5.8 控制电压和控制功率
(78)——5.9 諧波以及脉冲序列的展开(79)——5.10 偶次諧
波电流的抑制指标(83)——5.11 理想的矩形 $B-H$ 环綫(84)

第六章 带有电阻負載的飽和电抗器 带有自由偶次諧波电 流的稳态运行 并联飽和电抗器.....85

6.1 一般討論(85)——6.2 控制电路的換算电阻比較小的情况
($R'_C \ll R_G$)(85)——6.3 控制电路的換算电阻比較大的情况
($R'_C \gg R_G$)(87)

第七章 带有电阻負載以及自由偶次諧波电流时飽和电抗器 的靜特性.....90

7.1 正常化控制特性(90)——7.2 正常激磁、过激磁和欠激磁
(92)——7.3 負載电流和控制电流(94)——7.4 負載电流和供
电电压(95)——7.5 負載电流和供电頻率(97)——7.6 負載电
流和負載电阻(97)——7.7 功率輸出(98)——7.8 极大功率傳
輸(99)——7.9 波形系数(101)——7.10 实效(均方根)閘門电流
(102)——7.11 实效(均方根)控制电流(103)——7.12 效率(103)
——7.13 功率增益(104)——7.14 安匝增益(105)——7.15 电流
增益(106)——7.16 各种电抗器的装配(106)

第八章 带有电阻負載和抑制偶次諧波电流时飽和电抗器的 靜特性110

8.1 概述(110)——8.2 交流电路中帶有零电阻 ($R_0=0$) 的运行
(110)——8.3 对于 $R_0=0$ 的磁通方程(115)——8.4 带有有限負

載电阻的运行(116)——8.5 运行方式 1 (比例区)(116)——8.6 运行方式 2(119)——8.7 运行方式 3(120)——8.8 运行方式 4 (121)——8.9 供电电压波动的效应(122)	
第九章 并联负载的饱和电抗器	122
9.1 导言(122)——9.2 电阻限制区(123)——9.3 比例区(124) ——9.4 过激磁区(125)——9.5 控制特性(125)——9.6 饱和变 压器(126)	
第十章 带有电阻负载时饱和电抗器的暂态应答	127
10.1 概述(127)——10.2 在激磁间隔期间的暂态应答(128) ——10.3 当控制电路电阻为零($R_c=0$)时的暂态应答(130)—— 10.4 当 $R_o=0$ 时推动电压的上升速度(132)——10.5 当 $R_c=0$ 时的 传递函数(135)——10.6 当 $R_c \neq 0$ 时在饱和间隔期间的暂态 应答(136)——10.7 当 $R_c \neq 0$ 时确定 SR 暂态应答的图解法(139) ——10.8 应答的一般分析(141)——10.9 指数函数的性质(143) ——10.10 串联 SR 的时间常数(144)——10.11 在欠激磁区里 的运行完全延时(147)——10.12 在过激磁区里的运行(148) ——10.13 伺服方框图(148)——10.14 对于供电电压突然变化时 的暂态应答(152)——10.15 负载电阻突然变化的暂态应答(154) ——10.16 带有多个控制绕组的暂态应答(155)——10.17 并联 SR 的暂态应答(159)——10.18 动态功率增益(161)——10.19 直 流互感器(163)	
第十一章 带有电感直流负载时饱和电抗器的稳态运行	165
11.1 导言(165)——11.2 激磁间隔(166)——11.3 饱和间隔(168) ——11.4 等安匝法则(169)——11.5 正常化的控制特性(172)—— 11.6 其他特性(174)——11.7 功率输出(175)——11.8 安匝增益 (176)——11.9 功率增益(177)——11.10 整流器逆向电压(177)	
第十二章 带有电感直流负载时饱和电抗器的暂态运行	179
12.1 传递函数(179)——12.2 过阻尼应答($\xi > 1$)(182)——12.3 临界阻尼的应答($\xi = 1$)(183)——12.4 欠阻尼(振荡)应答 ($\xi < 1$)(183)	

第十三章 带有外反馈的饱和电抗器187

- 13.1 引言(187)——13.2 磁反馈(189)——13.3 电气反馈(191)
 ——13.4 带有磁外反馈时确定正常化控制特性的作图法(191)
 ——13.5 无限增益(193)——13.6 带有电阻负载的继电作用
 (194)——13.7 带有电感直流负载的继电作用(196)——13.8 放
 大器带有磁外反馈时增益的分析确定(198)——13.9 从一个反馈
 系数到另一个反馈系数的一般转移规则(200)——13.10 整流器的
 逆向电流(202)——13.11 当 $h_e=1$ 时影响磁放大器增益的因素
 (204)——13.12 电气反馈的进一步讨论(207)

第十四章 带有反馈的饱和电抗器暂态运行208

- 14.1 具有理想矩形 $B-H$ 线的通常 SR(208)——14.2 带有激磁
 电流的通常饱和电抗器(210)——14.3 饱和电抗器带有外反馈时
 的正反馈传递函数以及反馈传递函数(212)——14.4 饱和电抗器带
 有外反馈时的总传递函数(215)——14.5 从静态特性确定时间常
 数(217)——14.6 漂移(219)——14.7 带有外反馈和带有电感直
 流负载的饱和电抗器(220)——14.8 完全延时(224)

第十五章 带有外反馈的饱和电抗器和带有阻塞内反馈的饱和电抗器 (交流电器放大器) 之间的关系227

- 15.1 矩形磁滞环线(227)——15.2 激磁间隔(228)——15.3 饱和
 和间隔(230)——15.4 饱和电抗器带有外磁反馈 $h_e=0.4$ 时的波
 形(232)——15.5 带有外磁反馈 $h_e=1$ 的饱和电抗器在正区中运
 行时的波形(233)——15.6 带有外磁反馈 $h_e=1$ 的饱和电抗器在
 负区中运行时的波形(233)——15.7 带有阻塞内反馈的饱和电抗
 器 (电器放大器) (233)——15.8 电器放大器的激磁间隔(241)
 ——15.9 电器放大器的饱和间隔(245)——15.10 带有外反馈
 $h_e=1$ 的饱和电抗器和带有阻塞内反馈 $h_i=0$ 的饱和电抗器 (电器
 放大器) 两者间的比较(248)——15.11 桥式电器放大器(249)
 ——15.12 中心抽头式电器放大器(251)——15.13 三种类型的
 电器放大器控制特性的比较(253)——15.14 通常饱和电抗器的
 控制特性(254)——15.15 饱和电抗器带有外磁反馈时的控制特
 性(255)——15.16 电器放大器的控制安匝(256)——15.17 安匝
 增益(256)

第十六章 带有总反馈为零 ($h=0$) 的电器放大器257

16.1 概論(257)——16.2 控制特性(258)——16.3 无因次的(正常化的)控制特性(259)——16.4 安匝增益(261)——16.5 功率增益(263)——16.6 时间常数(263)——16.7 电器放大器的方框图(267)——16.8 动态功率增益(268)——16.9 激磁电流(269)——16.10 方形环綫的导磁率(269)——16.11 鉄心性质的评价(271)——16.12 相似法則(273)

第十七章 带有有限总反馈的电器放大器 ($h \neq 0$)278

17.1 概述(278)——17.2 反馈繞組(279)——17.3 对于各种不同的电器放大器連接法的整流器逆向电压(281)——17.4 整流器的逆向电流(283)——17.5 整流器逆向电流对电器放大器控制特性的效应(287)——17.6 在飽和間隔期間里帶有有限平均控制电流的电器放大器(290)——17.7 鉄心有平行四边形成动态磁滯环綫的电器放大器(292)

第十八章 带有电阻負載时电器放大器的特性294

18.1 概論(294)——18.2 供电电压的效应(294)——18.3 閘門电流的波形(294)——18.4 漏磁电抗和飽和电抗的效应(295)——18.5 頻率(297)——18.6 負載电阻(298)——18.7 极大的持續負載电流(299)——18.8 飽和角(300)——18.9 极大的綫性負載电压(300)——18.10 一个閘門繞組的伏安定額(300)——18.11 功率輸出和功率增益(300)——18.12 运行温度的效应(301)——18.13 相对的窗孔空間(302)——18.14 效率(302)——18.15 整流器逆向电流增大的效应(302)

第十九章 带有抑制的控制电流交流成分的电器放大器304

19.1 概論(304)——19.2 不帶有渦流耦联的运行(305)——19.3 控制特性(308)——19.4 渦流耦联的效应(309)——19.5 半波电器放大器的控制方法(312)——19.6 全波电器放大器(313)

第二十章 带有电感直流負載的磁放大器314

20.1 概論(314)——20.2 負載电感的外部影响(315)——20.3 在单閘門运行时閘門电流的波形(317)——20.4 在 $\omega t = \pi + 0$ 时第二个閘門的效应(318)——20.5 激磁間隔($0 < \omega t < \alpha, \pi < \omega t < \pi + \alpha$)

(321)——20·6 飽和間隔 ($\alpha < \omega t < \pi$, $\pi + \alpha < \omega t < 2\pi$)(322)——
 20·7 附加的控制电流(323)——20·8 控制特性的左移(323)——
 20·9 不稳定性的原因(324)——20·10 带有純电阻負載时的不稳定
 性(324)——20·11 激磁間隔($0 < \omega t < \alpha$, $\pi < \omega t < \pi + \alpha$)(325)
 ——20·12 飽和間隔($\alpha < \omega t < \pi$, $\pi + \alpha < \omega t < 2\pi$)(325)——20·13
 控制特性(327)——20·14 继电作用的消除(329)——20·15 放大
 器在不稳定区以外的运行(330)——20·16 防止附加控制电流
 (330)——20·17 防止附加控制电流的产生(331)——20·18 带分
 流整流器的中心抽头式电器放大器(331)——20·19 桥式电器放
 大器(335)

元 件

第二十一章 鉄心及繞組結構337

单相結構、环形鉄心(圓环) 337

21·1 迭裝的鉄心(337)——21·2 卷繞的鉄心(337)——21·3 鉄
 心絕緣(338)——21·4 綫圈繞制(339)——21·5 安裝(340)

矩形鉄心 341

21·6 迭裝的鉄心(341)——21·7 繞制的鉄心(346)——21·8 繞
 綫与絕緣(348)——21·9 絕緣处理(351)——21·10 安裝(352)

三相結構 354

21·11 鉄心布置(354)——21·12 安裝(356)——21·13 設計要点
 及主要数据(358)

第二十二章 金屬整流器359

22·1 概述(359)——22·2 近代的金屬整流器(360)——22·3 扩
 大面結合型整流器(361)——22·4 点接触型整流器(365)——
 22·5 电气特性(365)——22·6 温度的效应(369)——22·7 大气
 条件的效应(370)——22·8 老化与寿命期限(371)——22·9 整流
 器的电容(372)——22·10 退化(372)——22·11 金屬整流器的額
 定值(373)——22·12 效率(374)——22·13 正确設計的一般原則
 (375)

应 用

第二十三章 磁放大器在无线电中的应用377

23.1 历史概况(377)——23.2 用于紐約州斯堪內史特 城 与 紐約
城之間无线电联系中的磁放大器(378)——23.3 橫跨大西洋用 磁
放大器的无线电(379)——23.4 阿累克桑德逊发电机的轉速控
制(380)

第二十四章 飽和电抗器的应用382

24.1 概述(382)

作功率控制用 383

24.2 剧院灯光控制(383)——24.3 用磁放大器控制电气广告
(387)——24.4 “顏色灯”无线电調諧 指示器(389)——24.5 电
阻炉控制(390)——24.6 用飽和电抗器 控制 蓄 电 池 充 电(391)
——24.7 卷綫机电动机的控制(392)——24.8 飽和电 抗 器 控制
風扇速度(393)

移相应用 394

24.9 閘流管的控制电路(394)

高次諧波的发生 396

24.10 微小直流电压——如热电偶电动 势——的 放 大(396)——

24.11 磁放大器在计算机电路中(397)——24.12 磁通-閘門式罗
盘(397)——24.13 磁性頻率倍增器(399)

作测量仪器之用 400

24.14 直流互感器(400)——24.15 磁性恒电流标准元件(402)

第二十五章 单拍式电器放大器的基本应用403

25.1 概述(403)——25.2 直流电器放大器中 电 感 負 載 的 效 应
(405)——25.3 用并激磁場控制法的直流电动机 轉 速 控 制(407)

——25.4 用电樞控制法的直流电动机轉速控制(408)——25.5 直

流发电机用的电压調节 器(410)——25.6 高频交流发电机用的电

压調节器(411)——25.7 匹配阻抗的偏移 电 路(413)——25.8 直

流发电机用的电流調节器(415)——25.9 綫路电压 調 整 器(416)

——25.10 轉速調节器(418)——25.11 温度控制(420)

第二十六章 双拍式(推挽式)电器放大器的应用422

- 26.1 概述(422)——26.2 以饱和电抗器构成的磁差电路(422)
 ——26.3 以电器放大器构成的磁差电路(423)——26.4 以饱和
 电抗器构成的电差电路(424)——26.5 以电器放大器构成的电差
 电路(425)——26.6 高效率的推挽式电路(429)——26.7 定位系
 统(431)——26.8 热电偶温度控制(432)——26.9 火焰检测器
 (434)——26.10 光电放大器(435)——26.11 可变增益的电器
 放大器(436)——26.12 电器放大器式鉴别器(437)——26.13 伺
 服电动机的控制(438)——26.14 关于放大级间的一些问题
 (439)——26.15 推挽式电器放大器的设计(442)

第二十七章 专用设备443

- 27.1 概述(443)——27.2 反馈控制系统的概括的要求(444)——
 27.3 伺服放大器(446)——27.4 二次谐波变频器(449)——27.5
 引燃管-整流器的控制(450)——27.6 频率控制系统(452)——
 27.7 磁通检测器(454)——27.8 稳定电路(458)——27.9 磁性
 记忆装置(460)

第二十八章 交流发电机电压调节器461

- 28.1 带有两级磁放大器、电机放大机及励磁机的交流发电机电
 压调节器(461)——28.2 带有三级磁放大器及励磁机的交流发电
 机电压调节器(465)——28.3 交流发电机用的静止磁性励磁机
 (467)——28.4 飞机用的静止磁性电压调节器(470)

非线性电感器

第二十九章 非线性交流电抗器作为电路的元件474

- 29.1 概述(474)——29.2 非线性电感器在机械整流器中作为一
 个换流用的电抗器(474)——29.3 非线性电感器与线性电感器的
 串联(谐振变压器)(480)——29.4 基本的非线性谐振电路(电压
 及电流检测器)(482)——29.5 带有电阻的非线性谐振电路(486)
 ——29.6 并联非线性谐振电路附有较小的串联线性电感器(交
 流供电电压稳定器)(488)

符号494

参考文献501

汉英名词对照527

磁 学

第一章 磁学理論概述

1.1 鉄磁学的发展史

根据历史記載，远在 4600 多年以前，古代中国首次出現了类似磁效应的事例^[1]；所以磁学这一門学术比其它基础科学发展得更早些。

傳說，紀元前 2637 年，中国黃帝的軍隊在中原追击一位叛乱的諸侯时，在濃厚大雾中迷失了路程的方向。黃帝看到这个情况，就創造了一辆馬車，車上站立着一个女像，不論馬車朝哪个方向前进，这女像总是面向南方。

虽然有遺迹表明，希腊人在包圍小亚細亚的特罗里 (Troy) 时采用了磁石，但是直到 11 或 12 世紀，历史文献上才出現了海洋航行中使用罗盘的記載。在这个期間內，磁学的发展史就和罗盘以及它在海洋航行中的应用密切联系着的。之后，罗盘的使用知識才从中国傳到阿剌伯，在第一次十字軍的期間，又由阿剌伯人傳給欧洲人^[2]。

虽然磁的学术和它的应用是很早的，但是磁学作为科学还是近代的事情，而且还正在发展着。从黃帝以后的 45 个世紀中，鉄磁学始終沒有为理論研究者完全攻克，直到今天它还是物理科学中理解得最少的一門学科。

在絕大部分的这些年代中，在美国的焦西非·亨利 (Joseph Henry) 和英国的米恰厄耳·法拉第 (Michael Faraday) 发现鉄磁感应的原理以前，由于已經有了硬磁性材料 (永久磁性材料)，因而阻碍了这門科学的发展。60 多年以前，随着电气时代的开

始，軟磁性材料的应用范围扩大了，因此终于鼓舞了理論研究者对鉄磁学进行新的探索。

从 1935 年以来，由于各部门提出需要更多的、各式各样的軟磁性材料的要求，促使磁学理論有了很大的进展。最近由于磁放大器的发展，促使磁性材料和磁学科学更趋完善。现代科学在磁性材料新品种方面的发展为我們的时代創造出許許多多新穎設備。

1.2 磁 量 单 位

磁量常用厘米·克·秒制絕對电磁单位 (emu) 来表示。可是由于工程上习惯采用英制单位 (mEu) 和米·千克·秒制实用单位 (mks)，因此下面的表 1.1 和 1.2 中列出了这些单位之間的换算关系。有关磁学术語的詳細說明可參閱文献 3~6。

表 1.1 适用于鉄磁計算的換算表

厘米 $\times 0.3937 =$ 吋	吋 $\times 2.540 =$ 厘米
厘米 ² $\times 0.1550 =$ 吋 ²	吋 ² $\times 6.452 =$ 厘米 ²
厘米 ³ $\times 0.0610 =$ 吋 ³	吋 ³ $\times 16.39 =$ 厘米 ³
克/厘米 ³ $\times 0.03613 =$ 磅/吋 ³	磅/吋 ³ $\times 27.68 =$ 克/厘米 ³
微欧/厘米 ³ $\times 0.3937 =$ 微欧/吋 ³	微欧/吋 ³ $\times 2.540 =$ 微欧/厘米 ³
吉柏 $\times 0.7958 =$ 安匝	安匝 $\times 1.257 =$ 吉柏
奥斯特 $\times 2.021 =$ 安匝/吋	安匝/吋 $\times 0.4947 =$ 奥斯特
奥斯特 $\times 0.7958 =$ 安匝/厘米	安匝/厘米 $\times 1.257 =$ 奥斯特
安匝/厘米 $\times 2.540 =$ 安匝/吋	安匝/吋 $\times 0.3937 =$ 安匝/厘米
高斯 $\times 6.452 =$ 綫/吋 ²	綫/吋 ² $\times 0.1550 =$ 高斯
麦克斯威 $\times 1 =$ 綫	瓦/磅 $\times 0.2762 =$ 瓦/吋 ³ (比重 = 7.65)
瓦 $\times 10^7 =$ 尔格/秒	瓦/吋 ³ $\times 3.621 =$ 瓦/磅 (比重 = 7.65)

磁动势 (单位——吉柏 Gb)。建立磁場所必需的作用力称为磁动势，以后縮写为 mmf。它可以由于电流通过一根导綫或由于一个磁化物体的作用力而产生。在絕對电磁单位中，磁动势以

表1.2 厘米·克·秒制绝对电磁单位和英制单位
以及米·千克·秒制实用单位之间的换算表

名称和符号	绝对电磁单位	英 制 单 位	实 用 单 位
磁动势(F)	吉柏	$\times 0.7958 = \text{安匝}$	
磁场强度(H)	吉柏 奥斯特	$\times 2.021 = \text{安匝/吋}$	$\times 0.7958 = \text{安匝}$
磁通(Φ)	麦克斯威 麦克斯威	$\times 1 = \text{綫}$	$\times 10^3/4\pi = \text{安匝/米}$
磁感应(B)	高斯	$\times 6.452 = \text{綫/吋}^2$	$\times 10^{-8} = \text{韦伯}$
导磁率(μ)	高斯 高斯/奥斯特		$\times 10^{-4} = \text{韦伯/米}^2$ $\times 4\pi/10^7 = \text{亨利/米}$

吉柏表示，并按下列公式计算：

$$F = 0.4\pi IN \quad \text{Gb} \quad (1.1)$$

式中 I 是导体中的激磁电流，以安表示； N 是围绕在磁路四周的导体匝数。

磁通（单位——麦克斯威 Mx ）。和电路的欧姆定律相似，磁路中的磁通 Φ 是

$$\Phi = \frac{F}{R} \quad \text{Mx} \quad (1.2)$$

式中 F 是磁路的磁动势， R 是磁阻，它与磁路的几何尺寸以及导磁率有关。磁通是由于磁动势的作用而存在的，当磁通量改变时，被它所包围的电路中感应而产生了电压。在绝对电磁单位中，磁通以麦克斯威表示，并由法拉第定律求得：

$$e = - \frac{d\Phi}{dt} N 10^{-8} \quad \text{V} \quad (1.3)$$

式中 e 是感应电动势， $d\Phi/dt$ 是磁通量（麦克斯威）在每秒钟内的变化率， N 是被磁通包围着的导体数。

自感（单位——亨利 H ）。如果绕组中有电流 i 通过时产生磁通 Φ ，由这磁通感应而产生的电动势 e 可由下式表示

$$e = -L \frac{\partial i}{\partial t} \quad \text{V} \quad (1.4)$$

从方程 1.3 和 1.4 求得

$$L = \frac{\partial \Phi}{\partial i} N 10^{-8} \quad \text{H} \quad (1.5)$$

式中 Φ 以麦克斯威表示, i 以安表示, N 是匝数, L 称为自感系数, 简称自感。

磁場强度 (单位——奥斯特 Oe)。磁路中任何一点的磁場强度 H 由磁动势在空間中的变化率求得:

$$H = \frac{\partial F}{\partial l_{Fe}} \quad \text{Oe} \quad (1.6)$$

由于磁場强度的绝对电磁单位是奥斯特, 因此在均匀磁場中, 磁場强度是

$$H = \frac{F}{l_{Fe}} \quad \text{Oe} \quad (1.7)$$

式中 F 是磁动势, 以吉柏表示; l 是磁路长度, 以厘米表示。

磁感应 (单位——高斯 Gs)。在绝对电磁单位中, 磁感应以高斯表示, 在均匀磁場中, 它是

$$B = \frac{\Phi}{A} \quad \text{Gs} \quad (1.8)$$

式中 Φ 是在磁路的面积 A 中通过的磁通, 以麦克斯威表示; A 是与磁通方向相垂直的面积, 以平方厘米表示。

真空中的导磁率 (单位——高斯/奥斯特 Gs/Oe)。在绝对电磁单位中, 磁場强度 H 和磁感应 B 之间的相互关系是: 每一奥斯的磁場强度在真空中产生一高斯的磁感应。比率 B/H 称为导磁率, 在真空中 (实际上在空气中也是如此):

$$B = \mu_v H \quad \text{Gs} \quad (1.9)$$

式中 μ_v 是真空中导磁率, 它的定义是每一奥斯特时一高斯的磁感应。

1.3 磁化曲綫^[7]

鉄磁材料中表現一种經常处于内部磁飽和的情况，不論外加的激磁程度如何。这种内部磁飽和称为固有磁化。外加了磁場以后，扰乱了固有磁化，以致在某些部分从外面可能觉察出磁場强度。

下面研究一完全去磁后的磁性材料，就是說它的外表上不显示出固有的磁化。假如外加以磁場，并使磁場强度从零值开始增大到某个极大值，那末这材料中的磁感应也将增加为极大值。如果以測得的磁感应值和相应的外加磁場强度值作为座标，画出曲綫，就得到这材料的磁化曲綫。

图 1.1 表明典型的磁化曲綫。可以看到，当磁場强度从零值开始增大时，磁感应 B 也就增加，起初緩慢地增加，經過第一弯折段 1 以后，就非常迅速地增加。到第二弯折段 2 以后，磁化曲綫的斜率急剧减小。在此以后，磁感应基本上随着磁場强度的进一步增大而綫性地增加，但增加的速度很小。

图 1.1 中所表明的磁感应是这材料的总磁感应，它包括二种成分：

1. 磁感应 $\mu_0 H$ ，它是当材料不具有鉄磁性质时出現的；

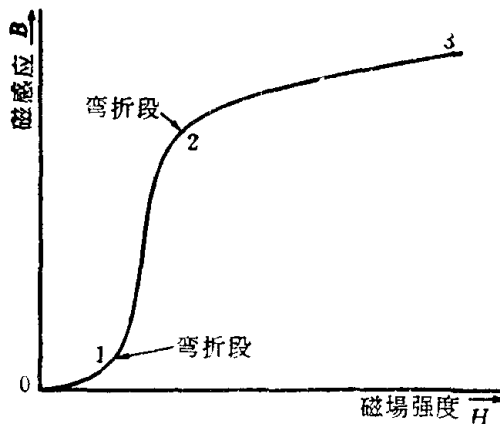


图1.1 典型的磁化曲綫。

2. 磁感应 B_i , 它是由于铁磁材料的固有磁化而产生的。用数学的方式可以表示如下:

$$B = \mu_0 H + B_i \quad \text{Gs} \quad (1.10)$$

式中 B 是铁心中的总磁感应。

外加在铁磁材料上的磁场强度增大时, 固有磁感应 B_i 并不是无限制地增加, 而是达到一个极限值, 这称为材料的饱和磁感应 B_s 。它的大小随着材料的固有特性而不同。但是总磁感应仍是缓慢增加着, 这是因为总磁感应中与铁磁性质无关的一个成分 $\mu_0 H$ 继续增加的缘故。图 1.2 中表明了这个现象。

由给定的材料组成一定形状的铁心, 它的磁化曲线饱和区域的斜率对磁放大器的运行是很重要的, 这是因为这斜率对于一定负载电阻时所能得到的极大输出电流有关系。斜率愈大, 所谓饱和电感 (与负载电阻串联的) 也愈大, 因之, 负载电流就愈小。

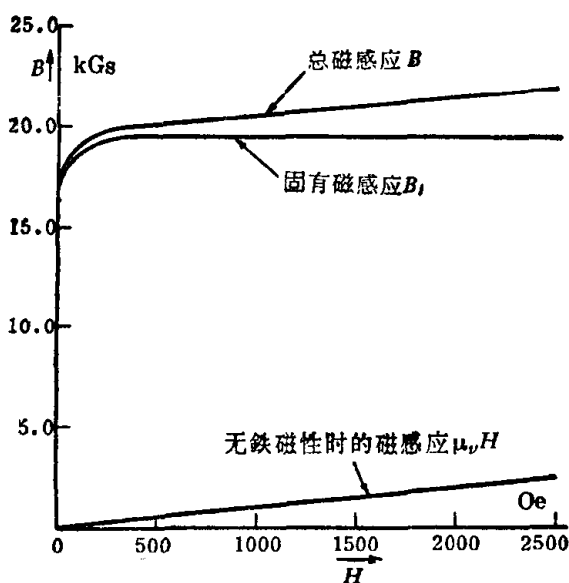


图1.2 固有磁感应和总磁感应。

1.4 静态磁滞环线^[3, 9]

现在再来研究完全去磁后的磁性材料。如果外加磁场 H ，并且使它的强度从零值开始向正值增大，那末这材料中的磁感应 B 也将增加， B 值和 H 值的这种相互关系将如图 1.3 中曲线 0-1 所示。

如果从图 1.3 中的点 2 起把磁场强度减小一些，那末可以看到，当 H 减小时的磁化曲线与 H 增大时的原来磁化曲线不一致。这里，磁感应并不是以原先增加时那样的速度在减小的。

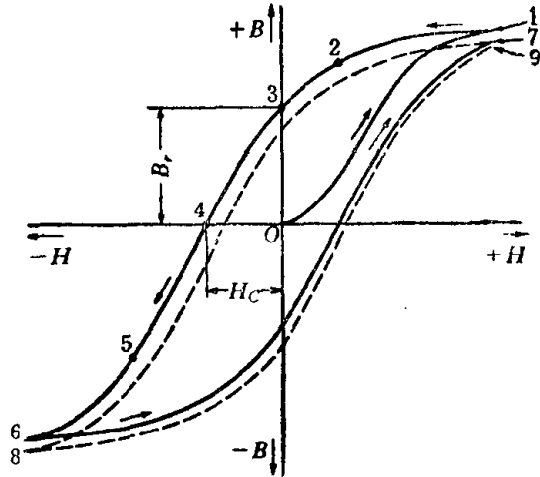


图1.3 原先未磁化过的铁磁材料的 B - H 曲线。

如果把磁场强度减小到零值，可以看到磁感应并不变为零值，而是保持在 B_r 值，这称为剩余磁感应，它就是图 1.3 中点 3 所表示的磁感应。

把外加磁场强度反方向增大到 H_c 值，如图 1.3 中点 4，铁心中的磁感应可以减少到零值。把磁感应减少到零值所需要的磁场强度 H_c 称为矫顽磁力。

把磁场强度在反方向中进一步增大，磁感应也在反方向中增加，如图 1.3 中曲线 4-5-6 所示。如果把磁场强度又减小到零值，然后再以相反的方向增大到和原来一样的极大值，如图 1.3 中曲线 6-7 所示，那末环线不闭合。在点 7 的磁感应略小于在点 1 的磁感应。假如把这循环重复一次，可以看到点 9 和点 7 是比点 7 和点 1 靠近一些，但是环线仍然不闭合。