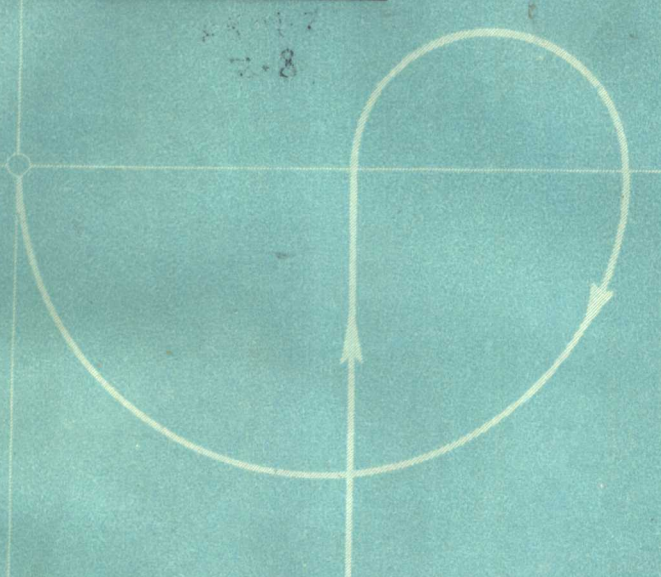


自动化丛书



# 无触点磁继电器

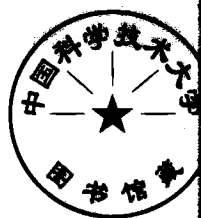
〔苏联〕H. M. 季申科著 李鼎年译

上海科学技术出版社

# 无触点磁继电器

〔苏联〕H. M. 季申科 著

李鼎年 译 赵安泰 校



上海科学技术出版社

## 內 容 提 要

本书是“自动化丛书”之一。丛书内容包括自动学及远动学的理論,自动装置、元件和仪器的结构及应用等。丛书选题主要取自苏联及其他国家的有关資料,也包括国内編写的专题論著。本丛书由“自动化丛书編輯委员会”主編。

本书闡述在继电状态下工作的磁放大器的理論和設計問題;介紹无触点磁继电器的一些基本綫路,包括自动装置中所用的无触点時間继电器綫路。并介紹无触点磁继电器工程計算法和計算实例。

本书可供自动化工程技术人員及大专学生参考。

## БЕСКОНТАКТНЫЕ МАГНИТНЫЕ РЕЛЕ

Н. М. Тищенко

Госэнергоиздат • 1961

自动化丛书(17)

## 无 触 点 磁 继 电 器

李鼎年 譯 赵安泰 校

自动化丛书編輯委员会主編

---

上海科学技术出版社出版 (上海瑞金二路 450 号)

上海市书刊出版业营业許可証出 093 号

---

商务印书館上海厂印刷 新华书店上海发行所发行

开本 787×1092 1/32 印張 4 8/32 排版字數 92,000

1963 年 7 月第 1 版 1963 年 7 月第 1 次印刷 印數 1—4,300

統一書号 15119·1740 定价(十二) 0.50 元

## 前 言

继电器是輸入参数連續变化时引起輸出参数跃变的一种装置,已經广泛地在自动、远动和通訊技术中应用。

除一般有触点继电器(如电磁继电器)外,无触点磁继电器最近也应用很广。

无触点磁继电器由于沒有触点及可动部分,所以它的主要优点为:可靠性与灵敏度高,吸合与释放参数不受冲击、振动及加速度的影响,并与所处空間的位置无关,也沒有引起火灾爆炸的危險。

无触点磁继电器就是一个有深度正反饋的磁放大器。当正反饋系数大于1时,磁放大器特性曲綫中出現一个回綫,就是說,发生继电工作状态。

无触点磁继电器与电磁继电器相比,有吸合功率小、使用期限长、无需檢視、吸合电流稳定度高以及慣性(吸合和释放時間)小等特点。例如,在同样的灵敏度下,无触点磁继电器的吸合時間要比电磁继电器小10~20倍。

表1是无触点磁继电器、电磁式极化与非极化继电器的

表 1

| 参 数                                                     | 无 触 点 磁<br>继 电 器                    | 电 磁 继 电 器                          |                    |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------|
|                                                         |                                     | 非 极 化 的                            | 极 化 的              |
| 吸合功率,瓦                                                  | 10 <sup>-9</sup> ~10 <sup>-10</sup> | 10 <sup>-1</sup> ~10 <sup>-2</sup> | 10 <sup>-4</sup>   |
| 經 10 <sup>5</sup> ~10 <sup>6</sup> 次吸合后, 吸合电流<br>的变化, % | 1~2                                 | 10~25                              | 50~150             |
| 保証使用期限(吸合次数)                                            | 实际不限                                | 10 <sup>4</sup> ~10 <sup>6</sup>   | 10 <sup>6</sup> 以下 |

一些参数,可供比较。

无触点磁继电器的缺点是:一般型式无触点磁继电器仅有一个“触点”,即只有一个输出;在相当于“触点”打开的“断开”位置时,负载回路内有电流通过;与有触点继电器比较,它的效率较低(一般对扼流式无触点磁继电器为60~70%,而变压器式则为8~10%);当电源频率较低时,外形尺寸也较大。因此往往将无触点磁继电器与有触点继电器配合应用,可使两者相互取长补短,最为适宜。

# 目 录

## 前 言

|                       |           |
|-----------------------|-----------|
| <b>第1章 用作继电器的磁放大器</b> | <b>1</b>  |
| 1. 作用原理               | 1         |
| 2. 无触点磁继电器的静特性曲线      | 6         |
| 3. 理想的磁放大器            | 9         |
| 4. 理想无触点磁继电器的静特性常数    | 11        |
| 5. 有偏移的无触点磁继电器        | 12        |
| 6. 双拍式无触点磁继电器         | 14        |
| 7. 变压器式无触点磁继电器        | 16        |
| 8. 带并联负载的无触点磁继电器      | 18        |
| 9. 扼流-变压器式无触点磁继电器     | 19        |
| 10. “多触点”的无触点磁继电器     | 21        |
| <b>第2章 实际的无触点磁继电器</b> | <b>23</b> |
| 11. 基本关系              | 23        |
| 12. 磁性材料的特性           | 28        |
| 13. 半导体二极管的特性         | 35        |
| 14. 直流输出的磁放大器         | 41        |
| 15. 负载电阻电抗分量的计算       | 43        |
| 16. 有反馈的磁放大器          | 45        |
| 17. 实际无触点磁继电器的静特性常数   | 46        |
| 18. 导出关系式的分析          | 47        |
| 19. 无触点磁继电器的时延        | 49        |
| <b>第3章 无触点磁继电器的设计</b> | <b>54</b> |
| 20. 导磁体型式和尺寸的选择       | 54        |
| 21. 绕组匝数的计算           | 64        |
| 22. 导线直径的计算           | 66        |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 23. 减小无触点磁继电器重量和尺寸的方法 ..... | 67         |
| 24. 提高继电器稳定度的方法 .....       | 69         |
| 25. 饱和扼流圈的结构计算 .....        | 72         |
| 26. 无触点磁继电器时延的计算 .....      | 76         |
| 27. 无触点磁继电器的计算方法 .....      | 78         |
| 28. 无触点磁继电器的结构 .....        | 82         |
| 29. 计算实例 .....              | 86         |
| <b>第4章 无触点磁性时间继电器 .....</b> | <b>101</b> |
| 30. 无触点磁性时间继电器的几种主要变型 ..... | 101        |
| 31. 时间发生继电器 .....           | 107        |
| 32. 磁性热敏电阻式脉冲发生器 .....      | 111        |
| 33. 有短路绕组的无触点磁性时间继电器 .....  | 113        |
| 34. 提高吸合时间稳定度的方法 .....      | 118        |
| 35. 有短路绕组的时间继电器的计算 .....    | 119        |
| 36. 时间继电器的计算实例 .....        | 123        |
| <b>参考文献 .....</b>           | <b>125</b> |

# 第 1 章

## 用作继电器的磁放大器

### 1. 作用原理

一般在继电状态下工作的正反饋磁放大器称为无触点磁继电器。

图 1a 是最简单的磁放大器，是一个与負載电阻串联于交流电源的可变电感（饱和扼流圈）。其电感随輸入（控制）訊号的大小而变，因此負載电流也跟着变化。从图 1a 可以看出，負載电流  $I_n$  为

$$I_n = \frac{U_c}{\sqrt{(\omega L_{\text{np}})^2 + R_n^2}}$$

式中  $L_{\text{np}}$ ——扼流圈的电感；

$R_n$ ——負載电阻；

$U_c$ ——电源电压。

由于扼流圈的电感是輸入訊号的函数，即  $L_{\text{np}} = f(I_{\text{bx}})$ ，所以負載电流也决定于  $I_{\text{bx}}$  值。

为了使扼流圈的感抗  $X_{\text{np}} = \omega L_{\text{np}}$  改变时，負載电流跟着起必要的变化，这个感抗就必须比負載电阻大得多。事实上，只有在这个条件下，負載电流才基本上决定于扼流圈的感抗。



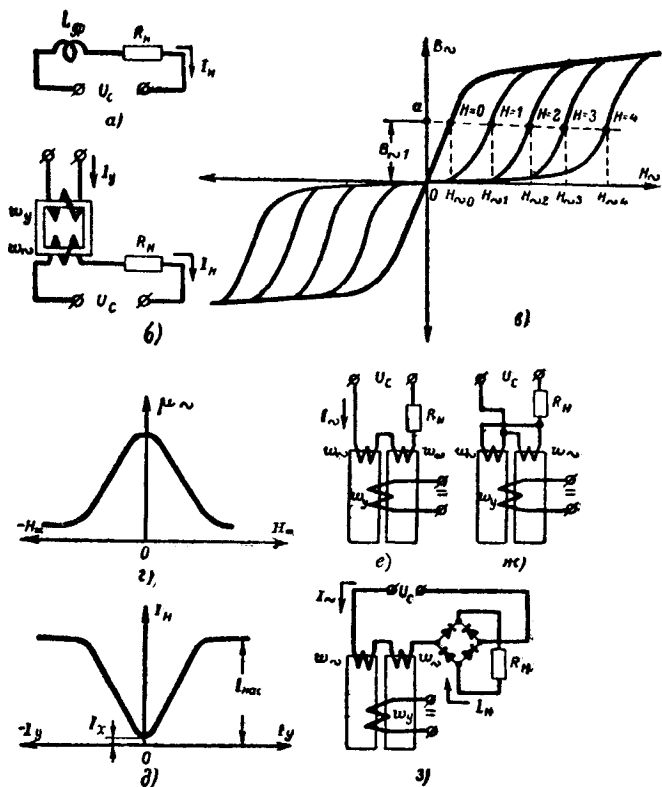


图1 最简单磁放大器的线路和特性曲线

a—负载回路原理图； b—单铁心的最简单磁放大器； c—交直流磁场同时磁化曲线族； d—导磁率与控制（迭加磁化）磁场间的关系曲线； e—磁放大器的静特性曲线； f— $w_1$  串联的最简单磁性装置实际应用的线路； g—同 e，但  $w_1$  并联； h—直流输出的磁放大器

为了得到大的电感，磁放大器的扼流圈用铁磁铁心做成，并采用导磁率尽可能高的材料。这是由于当其他条件相同时，扼流圈的电感与导磁率  $\mu$  成比例，并用下列关系式来确定

$$L_{\text{np}} = \frac{0.4\pi w^2 Q}{l} \mu$$

式中,  $w$ 、 $Q$  和  $l$  分别为扼流圈的匝数、铁心的截面积和磁力线的平均长度。

磁放大器接输入讯号的绕组, 通常称为控制绕组  $w_y$  或输入绕组 (图 16)。接到负载回路的绕组, 通常称为交流绕组, 也称为工作或输出绕组。

因此, 图 16 所示最简单的磁放大器就是一个变压器, 它的初级绕组上接控制讯号  $I_y$ , 而次级绕组接到负载回路。实质上这时次级绕组的电感由控制讯号的大小来决定。

为了要弄清楚输入讯号怎样来改变交流绕组的电感, 我们来研究一下图 16 所示的特性曲线族。

这个曲线族表示磁放大器扼流圈铁心中磁感应强度交流分量与磁场强度间的关系, 这个磁场是由绕组  $w_{\sim}$  中的交流电流, 以及绕组  $w_y$  中的直流电流共同建立的, 故称为交直流磁场同时磁化曲线族。

图 16 上曲线族的粗线相当于没有控制讯号 ( $I_y=0$ ) 时的特性曲线。由于  $H_{\sim} = \frac{0.4\pi I_y w_y}{l}$ , 所以这时  $H_{\sim}$  也等于零。

再研究一下, 随着控制讯号 (也就是  $H_{\sim}$ ) 的增大, 磁感应强度交流分量的导磁率将起怎样的变化。

选择  $a$  点相当于铁心起始磁感应强度  $B_{\sim 1}$ , 通过  $a$  点作一直线平行于  $H_{\sim}$  轴。计算出这条直线与曲线族各特性曲线交点处铁心磁通交流分量的导磁率  $\mu_{\sim}$ 。按照定义

$$\mu_{\sim} = \frac{B_{\sim}}{H_{\sim}}$$

从图 16 可以看出, 随着控制讯号 ( $H_{\sim}$ ) 的增大,  $H_{\sim}$  值

也跟着增大,如  $B_{\sim}$  仍保持不变,即相当于  $\mu_{\sim}$  在减小。

根据上述結果,可画出如图 1*ν* 所示的  $\mu_{\sim}$  与  $H_{\sim}$  間的关系曲綫。应该注意,这条曲綫  $\mu_{\sim}=f(H_{\sim})$  是对称的,就是說,导磁率的减小与控制磁場的极性(控制訊号的符号)无关。因此,上述磁放大器的  $I_{\sim}$  与  $I_y$  間的关系曲綫(靜特性曲綫)也将是对称的,并具有图 1*θ* 所示的形状。

图 1*δ* 所示单鉄心的最简单磁放大器实际上是不用的,因为繞組  $w_{\sim}$  的交流电流反映到繞組  $w_y$  中将产生感应电动势,这一电动势迭加在控制訊号上,并使它发生畸变。为了消除这一影响,最简单的磁放大器是用两个扼流圈組成,交流繞組的接法必須使一个繞組产生的磁通交流分量  $\Phi_{\sim}$  和另一个繞組的  $\Phi_{\sim}$  方向相反,这样就不会在繞組  $w_y$  中产生感应电动势。

交流繞組可接成串联(图 1*e*),也可接成并联(图 1*ж*)。这两种綫路的特点是負載电阻中通过的都是电源頻率的交流电流。这类磁放大器称为交流输出的磁放大器。

在負載电流必須是直流的情况下,磁放大器綫路中要加进整流电桥(图 1*з*)。这类磁放大器称为直流输出的磁放大器。

但实际应用最广的則是一些有反饋的磁放大器。在这些磁放大器中,迭加磁化磁場的大部分是由反饋磁場組成,而只有較小部分是由控制訊号产生的磁場組成。

反饋磁場可利用在一个专用反饋繞組  $w_{o.c}$  中通入負載电流来产生,这种反饋称为外反饋。如果反饋磁場的方向与控制磁場的方向相同,就称为正反饋,反之則为負反饋。很明显,正反饋使放大系数增加,而負反饋則使之减小。因此,有反饋的磁放大器的靜特性曲綫就变为不对称了。譬如图 2*б*

的  $ab$  段相当于正反馈，而  $ca$  段相当于负反馈。目前广泛应用的则是所谓内反馈（图 2  $\theta$ ）。反馈磁场是在交流绕组中产生的。因为在这些绕组的电路内接有二极管  $A_1$  和  $A_2$ ，所以绕组  $w_{\sim}$  中通过的是脉动电流，反馈磁场就是由它的直流分量产生的。

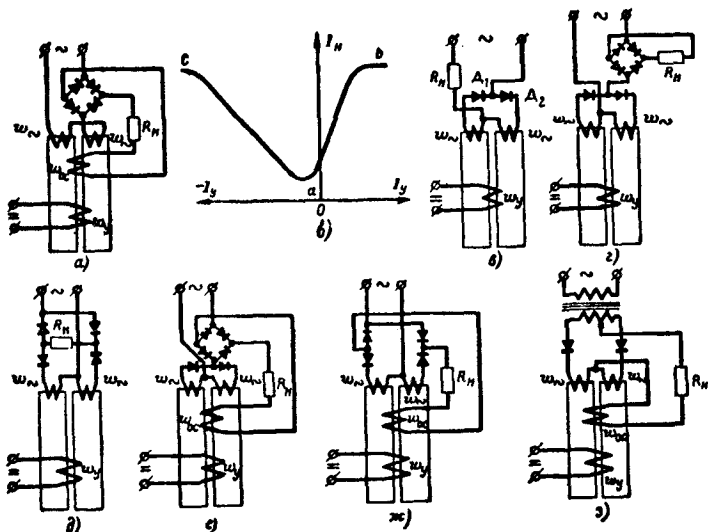


图 2 有反馈的磁放大器

$a$ —交流绕组串联的外反馈磁放大器（无触点磁继电器）； $b$ —有反馈的磁放大器的静特性曲线； $c$ —交流输出的内反馈磁放大器； $d$ —同  $c$ ，但为直流输出； $e$ —同  $c$ ，但二极管的数量减少； $f$ —有混合反馈（内反馈和外反馈）的无触点磁继电器； $g$ —同  $e$ ，但二极管数量减少； $h$ —同  $g$ ，但采用了变压器

图 2  $c$  线路的缺点是通过负载电阻的仍为交流电流。要把它整平为直流可用整流电桥（图 2  $f$ ），或用图 2  $d$  的线路以减少二极管的数量。

反饋系数是表征反饋强度的重要标志。就外反饋綫路而言，反饋系数由輸出值（在图 2 a 綫路中指負載电流）中加于磁放大器輸入端（在图 2 a 綫路中指反饋繞組）的那一部分来决定。

磁放大器的反饋系数在一般情况下等于反饋磁場强度与交流繞組产生的磁場强度之比，即

$$K_{o.c} = \frac{H_{o.c}}{H_{\sim}} = \frac{I_{o.c} w_{o.c}}{I_{\sim} w_{\sim}} \quad (1)$$

在外反饋綫路中， $w_{o.c}$  可以任意选择，故可保証获得任意的  $K_{o.c}$  值，而在內反饋綫路中  $K_{o.c} \leq 1$ 。为了获得較大的  $K_{o.c}$  值，在內反饋綫路中可另加反饋繞組（图 2 e）。在这种情况下由于磁放大器中既有內反饋作用，又有外反饋作用，故常被称为混合反饋綫路。应该注意，混合反饋綫路照例总是最为合理，因为它可以大大减少反饋繞組匝数，从而使繞綫必需的鉄心窗口也相应减小，因此往往减小了无触点磁继电器的尺寸和重量，同时又簡化了制造过程和降低了成本。

下面将証明，当  $K_{o.c} > 1$  时，磁放大器的靜特性曲綫中就出現一个回綫，就是說磁放大器过渡到继电器的工作状态。

图 2 a、e、x 及 3 是单拍扼流式无触点磁继电器的几种綫路。

## 2. 无触点磁继电器的靜特性曲綫

利用无反饋磁放大器的特性曲綫，可用图解法作出有反饋磁放大器（包括无触点磁继电器）的靜特性曲綫。

图 3 系对扼流式磁放大器的理想直綫化特性曲綫作出的无触点磁继电器的理想靜特性曲綫。图中  $c''b''a'b'c'$  为无反饋磁放大器的特性曲綫，而直綫  $OK$  則为反饋特性曲綫。

如果反饋特性曲線  $OK$  的陡度小于特性曲線  $a'b'$  (如图 3 所示), 則將直線  $OK$  向左平移到某一位置时, 將与特性曲線  $a'b'c'$  交于兩点。图 3 a 用虛綫表示发生两个交点时直綫  $OK$  的两个极限位置。这时极限点  $d'$  是稳定的, 而  $a'$  和其余中間各点都不稳定。因此, 如假定磁放大器工作在  $a'$  点 (图 3 6), 則因某些不可避免的波动, 磁放大器輸出端的电流也将改变——增大到  $I_{H1}$ 。由于反饋作用, 这个电流將产

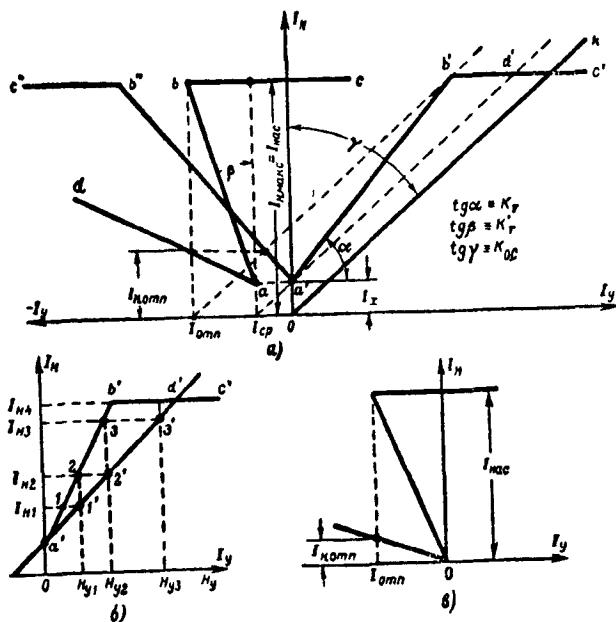


图 3 无触点磁继电器的理想特性曲线①

a—单拍扼流式无触点磁继电器静特性曲线的图解作法; 6—无触点磁继电器从不稳定状态  $a'$  到稳定状态  $d'$  的过渡过程的说明; c—理想无触点磁继电器的静特性曲线

① 原图  $ad$  线角度有誤, 已更正。——譯注

生控制磁場  $H_{y1}$ ，与此对应的輸出電流  $I_{u2} > I_{u1}$ ，這樣將使反饋磁場更強，從而又使磁放大器的輸出電流增加。這個過程將一直繼續到  $I_H$  值達到相當於  $d'$  點的數值為止。

用直線  $dabc$  表示理想直綫化的繼電特性曲綫。在特性曲綫的  $a$  點電流躍升至  $I_{H. \text{ макс}}$  值，等於飽和電流  $I_{\text{нас}}$ 。在  $b$  點電流跳躍地下降到  $I_{H. \text{ отн}}$  值。相當於  $a$  點的控制繞組內的電流值(控制電流)稱為無触点磁繼電器的吸合電流  $I_{cp}$ ，而相當於  $b$  點的則稱為釋放電流  $I_{отн}$ 。

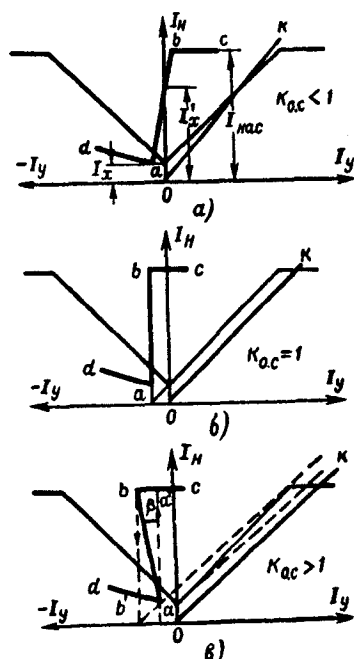


圖 4 在不同反饋系數下的  
磁放大器特性曲綫

當反饋系數  $K_{ac} < 1$  時，磁放大器的特性曲綫是單值的(圖 4 a)，而當  $K_{ac} > 1$  時，特性曲綫中將出現回綫  $aa'bb'$  (圖 4 б)，也就是說，不等式  $K_{ac} > 1$  相當於磁放大器的繼電器工作狀態。

$K_{ac} = 1$  時稱為臨界反饋(圖 4 в)。由於在這種情況下磁放大器的特性曲綫是不穩定的，所以實際上一般都不採用。

由圖 4 б 可以看出，用作繼電器的磁放大器的特點是特性曲綫  $ab$  段的放大系數(即特性曲綫的斜率)為負值。因此，這一段的電流放

大系数  $K'_r = \frac{\Delta I_n}{\Delta I_y} = \operatorname{ctg} \beta < 0$ ①, 这样就形成了回綫。

反饋系数愈大, 也就是决定反饋直綫斜率的  $\gamma$  角愈大, 則回綫的寬度愈寬, 因此磁放大器放大系数的絕對值就愈小 ( $\operatorname{tg}(\beta + 90^\circ)$  值随  $\beta$  角的增大而减小)。

继电特性曲綫的寬度  $\Delta = I_{\text{orn}} - I_{\text{cp}}$  决定无触点磁继电器的返回系数

$$K_{\text{вз}} = \frac{I_{\text{orn}}}{I_{\text{cp}}}$$

因此

$$\Delta = I_{\text{cp}}(K_{\text{вз}} - 1)$$

### 3. 理想的磁放大器

理想磁放大器是指用具有理想磁化曲綫 (图 5 a) 的鉄心和有理想伏-安特性曲綫 (图 5 б) 的整流器所做成的磁放大器。

对无反饋的理想磁放大器而言, 下式是正确的

$$I_n w_n = I_c w_c = I_y w_y \quad (2)$$

式中  $I_n, I_c$ ——分别为經过整流的負載电流和交流負載电流的平均值;

$I_y$ ——控制电流;

$w_n, w_y$ ——分别为交流繞組和控制繞組的匝数。

由式(2)可見, 理想磁放大器的电流放大系数为

$$K_r = \frac{I_n}{I_y} = \frac{w_y}{w_n} \quad (3)$$

由于  $K_r$  只决定于匝数, 而匝数在运行条件下并无变化,

① 原文为  $K_r = \frac{\Delta I_n}{\Delta I_y} = \operatorname{tg} \beta < 0$ . ——譯注



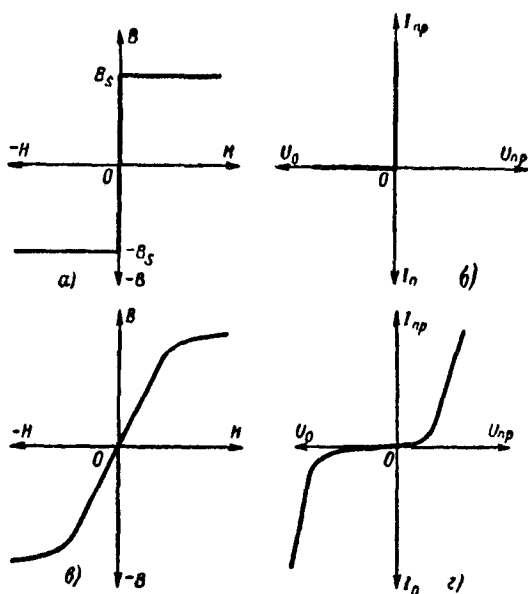


图5 饱和扼流圈的理想磁化曲线(a)和实际磁化曲线(b), 整流器的理想伏-安特性曲线(c)和实际伏-安特性曲线(d)

所以理想磁放大器的特征是放大系数绝对稳定。

理想磁放大器的反馈系数同样也决定于匝数比

$$K_{o.c} = \frac{H_{o.c}}{H_{\sim}} = \frac{w_{o.c}}{w_{\sim}} \quad (4)$$

式中,  $w_{o.c}$  为反馈绕组的匝数。

有反馈磁放大器的电流放大系数为

$$K'_r = \frac{K_r}{1 \mp K_{o.c}} = \frac{w_y}{w_{\sim} \mp w_{o.c}} \quad (5)$$

式中的负号相当于正反馈, 正号相当于负反馈。