

快速磁放大器与半导体-磁放大器

〔苏联〕 P. A. 李普曼 И. Б. 聶格涅維茨基 著

胡守約等譯 胡汝鼎校

上海科学技术出版社

磁放大器是一种自动化元件。利用磁放大器和无触点磁性元件解决了电信号的放大和轉換的許多課題。曾一度出現过錯誤的見解,认为半导体放大器将排挤磁放大器。事实上不但不是如此,而且磁放大器的生产和应用愈来愈广泛了;同时在这方面所发表的大量著作証明广大科学技术界对这一类放大器的兴趣并没有减低。

当然,一方面是由于磁放大器本身技术的日益完善,另一方面也是由于决定磁放大器的质量指标的磁性材料和半导体器件的不断改进。

磁放大器由于有慣性而阻碍了它的应用。因此,研究磁放大器的最重要的課題之一是提高它的快速作用,更确切地說是提高它的动态品质(功率放大系数对時間常数的比值,或者是放大系数与通頻率的乘积)。

显然,通常所謂内反饋磁放大器的自饱和和磁放大器的动态品质系数較高、簡單、經濟,因而应用較广泛。

近几年来,出現了一种特殊类型的自饱和放大器,即所謂快速磁放大器(簡写为 BMY)。就快速磁放大器而言,工作在整流器載波頻率下的磁放大器的过渡过程持續時間实际上达极小值,約等于电源頻率的 $0.5 \sim 1$ 周。在一定的条件下,快速磁放大器中的过渡过程縮短到等于电源頻率半周的固定时延,这时,在輸入端加上信号之后,經過半周,負載上就出現了对应这信号的电压(电流)。

沒有上述快速作用的磁放大器叫做通常磁放大器。

从动态品质来看，快速磁放大器与通常内反馈磁放大器作比较并没有非常显著的优越性。可是，快速磁放大器的特点是在于它的时间特性和频率特性与线路结构参数、控制信号大小、工作状态(在一定的范围内)以及与其他一些因素无关。对通常磁放大器来说，不正确的设计、外界条件的变化以及其他因素都可能大大影响它的惯性。

由于快速磁放大器有固定时延，不仅可以作为放大器之用，而且还可以作为电气断续控制元件和计算机器元件之用。

快速磁放大器的控制与通常磁放大器有所不同，它可以用直流信号和交流信号(包括电源频率的信号在内)来控制，实际上无放大损失。

从另一方面来看，通常内反馈磁放大器可能有比较大的功率放大系数和较低的“灵敏下限”，自然，继之而带来的就是较大的惯性。此外，在通常磁放大器对于解决若干电气上不相联系的信号进行总和的这种课题，却大为简化了。

因此，与通常磁放大器比较而评论快速磁放大器的优点或缺点时，只能按照具体的技术条件而定。为了在给定的条件下选择最合理的磁放大器类型起见，必须明确各类型磁放大器的性质以及它的主要数量关系。

在现代技术文献里，关于快速磁放大器的理论和实践说明得还是十分不够的。快速磁放大器的个别技术问题在 M. A. Розенблат^[1]、M. A. Боярченко、H. П. Васильева^[4]、W. A. Geyger^[25] ① 等的单行本里都已经说到了。但是，在杂志上的论文里它们之间基本上缺乏应有的有机联系。说明快速磁放大器线路结构原理和讨论它的理论和设计基础的完整的著作还是没有，无疑地，这就会阻碍更广泛的采用这一类型的磁放大器。本书就是企图填补这一空白的一种尝试。

内反馈磁放大器已经是大家熟悉的了，本书一开始(第1章)就更严格地讨论这一类型磁放大器中的过渡过程，说明产生惯性

① 原文作[15]。——校注

的原因以及消除慣性的方法，并且使讀者了解快速磁放大器的結構原理，作者认为这样做还是适宜的。此外，这里还取得了許多新的成果。

书中強調指出，內反饋磁放大器的工作正如被控电势的电源。同时，在穩定状态下，工作回路（負載回路）的参数对控制回路并没有显著的影响。磁放大器的輸出电压只取决于給定控制信号所引起的磁感应变化而且又与鉄心的磁特性有关。第2章致力于搞清楚鉄心磁特性究竟怎样来确定內反饋磁放大器的特性，并致力于論述取得所需磁特性的計算或实验方法。在同一章里，也討論了本书所采用的鉄心磁感应和磁場强度之間的近似动态关系（磁滯回綫和局部磁滯回綫）。

本书給出了輸入-輸出基本特性以及放大系数等的分析計算，并推导了单拍（第3章和第5章）、双拍（第7章）和多級快速磁放大器在各种控制信号下对信号发总器內阻与磁放大器輸入电阻的最佳匹配条件。在电阻負載和阻抗負載情况下的过渡过程在第4章和第6章中作了研討。

經驗証明，磁放大器和半导体放大器的配合常能最好地解决制造輸出功率充分大的快速作用磁放大器的課題。第9章和第10章对于組合式半导体-磁放大器作了闡述。

最后一章里，給出了快速磁放大器的扼流圈（鉄心和繞組）簡易工程計算法。

我們不得不同意 Storm 的意見^[3]，即“磁放大器从外表来看非常简单，但是它里面所发生的过程却非常复杂，从事于磁放大器的工作就要求更多的深思熟慮以及注意实验技巧”。

磁放大器中过程的复杂性使得用数理描述这些过程时导致相应的困难。作者力求对所研究的問題进行完整而严肃的分析說明。可是对讀者來說，并不排除略去一些数学計算的可能性，他們也可只注意到最終結果及其解釋。

本书中分析快速磁放大器綫路时主要采用折綫近似来表示动态磁滯回綫和局部磁滯回綫。这在大多数情况下可以求得一般形

式表达的课题解答,并且可以阐明各参数对磁放大器特性的影响。分析照例是按照相对值进行的;这样有时会使阅读本书有所困难,但结果可以得到最普遍的关系式,而且可以使今后计算具体磁放大器特性的工作缩减到最小限度。

就一定的意义而言,内反馈磁放大器可以列入于断续作用装置的这一类。同时,应用了有限差分方程的方法可以严格而较简单地解决一系列内反馈磁放大器的动态特性的问题。

作者自己也看得很清楚,本书书名比它的内容所包括的问题范围更为广泛。本书对于稳定性的问题、几个信号的总和等问题、继电状态以及其他重要问题,还没有予以充分的注意,而且完全没有讨论到三相快速磁放大器^[71]。同时,本书所述及的极大部分材料(第1、2、5、6、10和11章)对于快速磁放大器和通常磁放大器是共同的。

第9和第10章是由P. A. 李普曼写的,其余各章是作者共同写的,第3-9节、第6-1节和第7章是根据Л. Л. 沙姆丽娜的学位论文写成的,她亲切地提供这些材料,作者表示深厚的谢意。

作 者

前 言

第 1 章 内反馈磁放大器中的过渡过程以及快速磁放大器的构成原理	1
1-1 引言	1
1-2 磁放大器的“快速作用”条件	2
1-3 “通常”内反馈磁放大器中的过渡过程	6
1-4 交流输出的通常内反馈磁放大器中过渡过程的特点	20
1-5 组成快速磁放大器线路的原理	26
1-6 内反馈磁放大器作为电势被控制的电源	36
1-7 快速磁放大器中的能量关系	40
第 2 章 内反馈磁放大器铁心特性	45
2-1 引言	45
2-2 当考虑到涡流以及矩形的静磁滞回线时铁心的磁特性方程	47
2-3 直流电源控制的半波磁放大器线路中铁心的局部磁滞回线族	50
2-4 去磁曲线和输入-输出特性	60
2-5 测得去磁曲线的方法	64
2-6 $B(H)$ 曲线的近似关系和扼流圈的参数	68
第 3 章 电阻负载的单拍快速磁放大器	74
3-1 半波磁放大器的基本原理线路及计算线路	74
3-2 基本假定	76
3-3 以半波电压控制铁心有矩形磁滞回线特性时的稳定状态	77
3-4 用正弦电压控制, 铁心有矩形磁滞回线特性时的稳定状态	82
3-5 以直流电压控制, 铁心具有矩形磁滞回线特性时的稳态情况	84
3-6 控制回路中无整流器及不同偏移电势下磁放大器的工作	87
3-7 输入-输出特性	90
3-8 有直流偏移时磁放大器的工作情况	96
3-9 $B(H)$ 近似关系的一般情况	101

3-10	用交流电压控制矩形静态回綫及快速磁放大器在渦流下的工作分析	109
3-11	实验結果及其分析	112
3-12	用輸入电压相位及不同波形和频率的信号控制	119
3-13	全波快速磁放大器	124
3-14	工作回路中整流器反向电流的影响	126
第 4 章	电阻負載情况下的过渡过程及频率特性	129
4-1	过渡过程的类型	129
4-2	第一类过渡过程	131
4-3	第二类过渡过程	133
4-4	第三类过渡过程	137
4-5	在电阻負載和飽和的扼流圈具有有限数值的电感时的过渡过程	138
第 5 章	放大系数、輸入和輸出功率及匹配問題	145
5-1	电压放大系数	145
5-2	控制回路电流	150
5-3	功率放大系数	152
5-4	磁放大器参数与扼流圈結構参数及鉄心磁性能間的关系, 信号发送器以及負載与磁放大器的匹配問題	158
5-5	磁放大器完全控制时的控制功率和匹配条件	160
5-6	輸入功率电平	164
5-7	快速磁放大器的輸出功率	166
5-8	快速磁放大器与一般內反饋磁放大器的比較	169
第 6 章	电阻-电感負載时的稳定状态和过渡过程	171
6-1	阻-感負載下的半波磁放大器	171
6-2	阻-感負載下的桥式全波磁放大器	183
6-3	用反向整流器分路的阻-感負載	190
第 7 章	双拍快速磁放大器	191
7-1	双拍快速磁放大器的基本綫路	191
7-2	交流信号控制、电阻負載、交流輸出的双拍快速磁放大器	204
7-3	交流信号控制、阻-感負載、交流輸出的双拍快速磁放大器	219
第 8 章	快速磁放大器的串級接法	228
8-1	引言	228
8-2	級間耦合綫路	229
8-3	半波輸入和全波輸出的快速磁放大器綫路	234
8-4	兩級快速磁放大器工作情况的分析	241

8-5	輸入-輸出特性	249
8-6	放大系数	255
8-7	實驗結果	259
第9章	用半导体三极管控制快速磁放大器	263
9-1	引言	263
9-2	用半导体三极管控制快速磁放大器的綫路	264
9-3	半导体-磁放大器的工作状态	275
9-4	輸入-輸出特性及放大系数	282
9-5	三极管集电极消耗的功率及匹配条件	291
第10章	用半导体三极管控制的一般內反饋磁放大器中的过渡过程	296
10-1	引言	296
10-2	增大控制信号时的过渡过程	297
10-3	减小控制信号时的过渡过程	308
第11章	快速磁放大器扼流圈的計算	311
11-1	任务的提法	311
11-2	环形扼流圈几何尺寸的关系	312
11-3	按給定的負載功率决定扼流圈参数	318
11-4	按給定的控制功率决定扼流圈参数	331
参考文献	335

內反饋磁放大器中的过渡过程以及 快速磁放大器的构成原理

1-1 引 言

快速磁放大器是內反饋磁放大器(亦称自飽和磁放大器)的一种变形。因此,在直接討論快速磁放大器之前,最适宜的还是先着手分析通常內反饋磁放大器中的过渡过程,并且尽可能搞清产生慣性的原因。通过这样的分析可以更明确地論証各种快速磁放大器綫路的工作原理及其构成原則。

在大多数情形之下,用任何一种方法,把在电源頻率半周(或一周)之內的磁放大器輸出电压(或电流)的平均值作为磁放大器的輸出量。特別对于內反饋磁放大器这样的做法是正确的,因为对于这种磁放大器來說,照例控制信号波形并不影响到在电源頻率半周範圍內的輸出量波形。在电源頻率半周内不变的阶梯時間函数而且用差分方程来描述磁放大器的动特性,是适当的。

利用差分方程可以求得比較簡單的、同时又是充分严格的磁放大器过渡过程的表达式,并且可以把快速磁放大器与通常內反饋磁放大器的过渡过程进行明确的比較。

按以上所述,本章将分析內反饋磁放大器的过渡过程(利用差分方程),說明其慣性产生的原因,簡述快速作用的条件,并討論快速磁放大器綫路的构成原理。同时也对快速磁放大器的基本特性

进行定性的分析。

1-2 磁放大器的“快速作用”条件

首先討論一下內反饋磁放大器的工作回路(图 1-1 a)。这个回路是由扼流圈 L 的工作繞組 w_p 、整流器 B_p 、频率为 f 的交流电源 e 及負載电阻 r_n 所組成。

按照电源电势 e 对整流器 B_p 的极性,把扼流圈的工作划分为两个半周。对应于电源电势正极性的半周称为工作半周,而另一半周(电势方向与整流器的导电方向相反的半周)叫作控制半周。

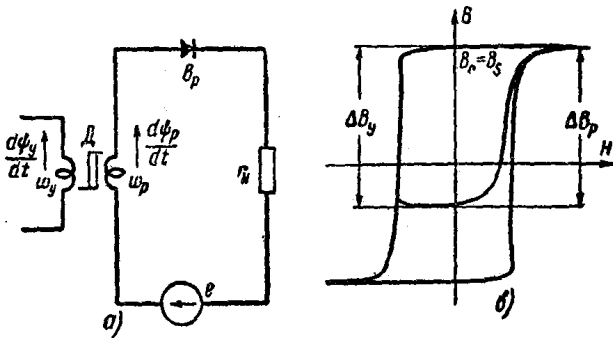


图 1-1

a—內反饋磁放大器的工作回路; б—电源频率一个周期內鉄心磁状态变化的动磁滯回綫和局部磁滯回綫

为了簡化以后的論述,采用以下的假設:

1. 鉄心磁性能取决于矩形系数为 1 的磁滯回綫(图 1-16)

$$k_n = \frac{B_r}{B_s} = 1 \quad (1-1)$$

換言之,当鉄心飽和达 $+B_s$ 之后,鉄心只在負的磁化力(н.с.)作用下才可能去磁。同时式(1-1)还意味着,在鉄心飽和之后鉄心磁化特性曲綫的斜率为零。

2. 适当地选择綫路参数,使鉄心中的磁感应在工作半周內一定能达到飽和值。

3. 工作半周內鉄心中磁通变化的速度总是正的。假如电源

电势在工作半周内不改变极性,而且铁心中的总和磁场强度为正,又与控制绕组产生的磁势的大小和方向无关,则这一条件就可以实现。换言之,在工作半周中工作绕组产生的磁势超过了控制绕组的负磁势。

在上述假定之下,在工作半周的终点(控制半周的始点)铁心中的磁感应总是等于饱和磁感应 $+B_s$ 。电源频率从控制半周的始点到工作半周的终点的一个周期之内,铁心磁状态的变化是沿着闭合局部回线(图 1-16)而进行;在电源频率一个周期之内,磁感应的总变化为零。

由此可见,在第 n 个工作半周内的磁感应的变化量 $\Delta B_p(n)$ 总是等于它之前的第 $(n-1)$ 个控制半周内的磁感应的变化量(按绝对量)。

$$\Delta B_p(n) = \Delta B_y(n-1) \quad \text{①} \quad (1-2)$$

这里应该强调指出,在一般情况下,只有当控制半周发生在工作半周之前的条件下式(1-2)才是正确的。

在稳定工作状态下,在电源频率的一个周期内,铁心磁状态的变化总是形成一个闭合回线,而与周期始点的选择无关。但在一般情况下,当研究过渡过程时,在一个周期内闭合回线的形成只有在所研究的始点与控制半周的始点符合一致的条件下才能出现。

式(1-2)也可写成如下形式

$$\Delta \Psi_p(n) = \frac{w_p}{w_y} \Delta \Psi_y(n-1) \quad (1-2a)$$

式中 $\Delta \Psi_p(n)$ ——第 n 个工作半周内工作绕组中磁链变化的绝对量;

$\Delta \Psi_y(n-1)$ ——前一个的半周[即第 $(n-1)$ 个控制半周]内控制绕组中磁链变化的绝对量。

下面讨论工作半周内磁放大器输出电压平均值与在它之前的

① 按绝对量而言式(1-2)才成立,实际上 $\Delta B_y(n-1)$ 和 $\Delta B_p(n)$ 的符号相反。因此建议:式(1-2)用绝对量写是 $|\Delta B_p(n)| = |\Delta B_y(n-1)|$; 用代数量写应写成 $\Delta B_p(n) + \Delta B_y(n-1) = 0$ 。——校注

控制半周內磁鏈变化量之間的关系。

第 n 个工作半周內輸出电压^①的平均值等于电源电势和扼流圈工作繞組中的感应电压分量之差的平均值

$$U(n) = 2f \int_{(p, n)} \left(e - \frac{d\Psi_p}{dt} \right) dt \quad (1-3)$$

其中標記 (p, n) 說明取第 n 个工作半周內的积分。

在純电阻負載的情况下, 輸出电压与負載电压 U_n 是用下列关系式联系起来的

$$U_n = U \frac{r_n}{r_n + r_p} = U \frac{r_n}{R_p} = \eta U \quad (1-4)$$

式中 r_n —— 負載电阻;

r_p —— 工作繞組电阻、整流器 B_p 的順向电阻和电源內阻之和;

R_p —— 工作回路的全部电阻;

$\eta = \frac{r_n}{R_p}$ —— 磁放大器工作回路的效率。

把式(1-3)予以积分, 則得

$$U(n) = E - 2f \Delta\Psi_p(n) \quad (1-5)$$

从式(1-5)和(1-2a), 則得

$$U(n) = E - 2f \frac{w_p}{w_y} \Delta\Psi_y(n-1) \quad (1-6)$$

上面所求得的关系式表明, 假如电源电势以及繞路的其他参数不变, 則每一个工作半周內輸出电压的平均值完全取决于在它之前的控制半周中扼流圈的磁鏈变化量。必須強調指出, 在所采用的假設条件下, 無論对稳定状态或者对过渡过程來說, 这一关系式都是正确的, 而且与磁滯回綫和局部回綫的任何近似表示方式无关。

輸出电压平均值的大小单值地取决于工作半周的始点的磁感应值, 而与工作半周中 $B(H)$ 的变化規律(图 1-16 右边的局部回

① 这里以及此后, 电流和电压的平均值一概用不带特殊標記的大写字母表示。——原注

线形状)无关。在工作半周中, $B(H)$ 的变化特性仅影响输出电压的波形(图 1-2)。

关系式 (1-6) 也与工作半周中的控制信号值以及电源电势的波形无关。

这与闸流管放大器有些相似: 在控制半周中磁心磁状态进行“准备”(磁链变化 $\Delta\Psi_y$) 之后, 假如控制信号不过份大, 则工作半周的进行与控制回路的工作状态无关。

根据上述, 可以得出结论: 控制信号对输出电压的有效作用只有在控制半周中实现。在工作半周中控制信号的值实际上不影响输出电压。

显然, 输出电压平均值的变化对控制信号的变化至少滞后电源频率(载波频率)半周^①。

现在假定我们采取任何办法来保证下述条件, 即: 在这条件下, 任意的第 n 个控制半周中的磁链变化 $\Delta\Psi_y(n)$ 只能被在这半周中的控制信号所引起, 而且也只被它所确定, 这种控制信号例如控制半周中的控制信号电势的平均值 $E_y(n)$, 就是说

$$\Delta\Psi_y(n) = \Delta\Psi_y[E_y(n)] \quad (1-7)$$

那末, 按照式(1-6), 在第 $(n+1)$ 个(工作)半周中的输出电压只取决于第 n 个(控制)半周中的控制信号的数值

$$U(n+1) = U[E_y(n)] \quad (1-8)$$

因而, 在这种情况下, 磁放大器的惯性只有在输出电压滞后

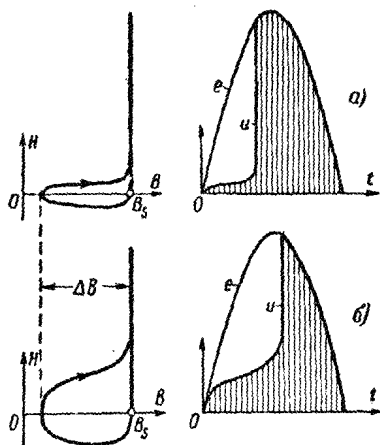


图 1-2 $B(H)$ 的关系(局部磁滞回线的上升部分)对工作半周内输出电压波形的影响。对于“窄的”和“宽的”局部磁滞回线, 输出电压平均值是相等的, 并且仅取决于值 ΔB

①至多为全周, 可参阅 М. А. Боярменков, Н. П. Васильева: «Выпродействующие магнитные усилители» 第 1 章, 第 1-1 节。——校注

(延滯)于輸入电压表现为电源頻率半周^①。

假如磁放大器滿足式(1-7)的条件,因而式(1-8)也正确,那末它就可以称为快速磁放大器(BMY);它与通常磁放大器不同之处在于后者并不遵守这些条件。

在快速磁放大器中,依靠采用特殊控制回路的綫路,来保証上述条件的实现。在大多数情况下,快速磁放大器的工作回路与通常內反饋磁放大器的工作回路相似。但,有时为了保証快速作用,也必須改变磁放大器的工作回路(第1-4和1-5节)。

在討論快速磁放大器綫路之前,先討論一下通常內反饋磁放大器中产生慣性的原因及其过渡过程的特性。

1-3 “通常”內反饋磁放大器中的过渡过程

图1-3示三种应用最广的內反饋单拍磁放大器綫路。所有这三种綫路中,扼流圈 L_1 和 L_2 上的控制繞組的联接,应保証工作回路所引起的基頻感应电势互相抵消。这就可以减小控制信号电源的功率,但同时正是破坏第1-2节中所闡述的快速作用条件的原因(将在下面証明)。

、当沒有控制信号时,在电源頻率的整个周期內两只鉄心都保持饱和状态,因而,根据式(1-6),則輸出电压达极大值而等于 E 。

当加上极性如图1-3所示的直流控制信号 e_y 时,在相对应的控制半周內引起两只鉄心的去磁。一个扼流圈的控制半周与另一扼流圈的工作半周相对应,或者相反。在稳定工作状态下,一定的控制信号电势值与一定的磁通变化量相对应,在每一只鉄心中: $\Delta\Phi_y = \Delta\Phi_p$,因而有一定的輸出电压值[式(1-5)]。

下面我们討論一下控制信号电势变化时在图1-3a和b的綫路中所发生的过渡过程。这里只討論电压和电流在半周中的平均值以及在半周內鉄心中的磁通变化值,而不討論在半周範圍內这些数量的变化規律。为此,我們取之作为基本量的是:图1-3a和b示磁放大器的輸出量在大多数情形下是电流和电压的平均

① 至多为一个全周。——校注

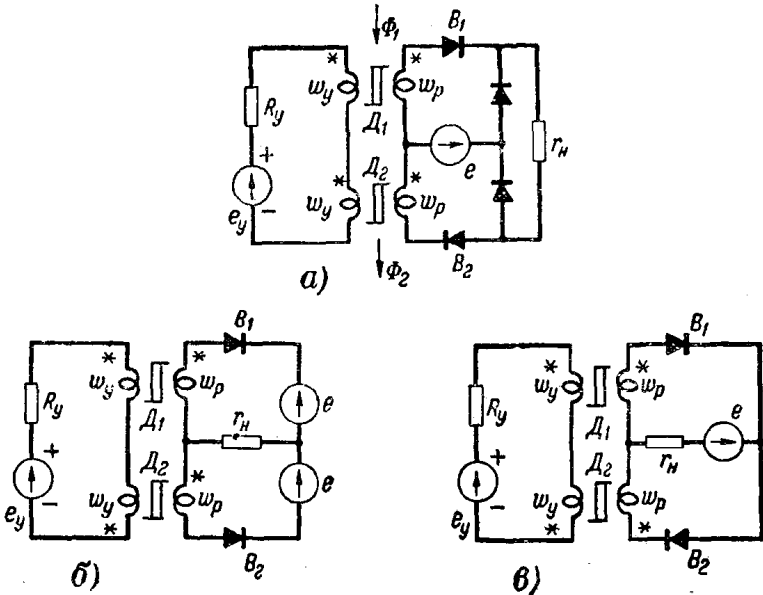


图 1-3 内反馈单拍磁放大器线路

a—工作回路采用桥式整流的直流输出线路；b—工作回路采用中心抽头变压器整流的直流输出线路；e—交流输出线路

值(参照第 1-1 节)。

对图 1-3 线路的控制回路可写出下式

$$e_y = i_y R_y + w_y \left(\frac{d\Phi_1}{dt} + \frac{d\Phi_2}{dt} \right) \quad (1-9)$$

我们来研究从控制信号变化瞬间起的第 n 半周。假设这个第 n 半周是扼流圈 L_1 的控制半周(扼流圈 L_2 的工作半周)。电源电势 e 的正方向如图所示,这正与上述情形相对应。

在第 n 半周内对式(1-9)逐项积分,则得

$$E_y(n) = R_y I_y(n) + 2f w_y [\Delta\Phi_{y1}(n) + \Delta\Phi_{p2}(n)] \quad (1-10)$$

式中 $E_y(n)$ ——第 n 个半周内控制信号电势的平均值;

$I_y(n)$ ——第 n 个半周内控制信号电流的平均值;

① 式(1-9)、(1-10)和(1-11)都是按代数值得出,假如按照绝对值而写出,则式(1-9)和(1-10)右边括弧内的正号改为负号,并且把式(1-11)右边的负号改为正号。参照式(1-2)、(1-6)、(1-6a)、(1-6b)以及第 1-2 节的假设。——校注

$\Delta\Phi_{y1}(n)$ ——第 n 个半周内第一个鉄心中磁通的变化量,对这个鉄心而言是控制半周;

$\Delta\Phi_{p2}(n)$ ——第 n 个半周内第二个鉄心中磁通的变化量,对这个鉄心而言是工作半周。

因为在每一个工作半周中鉄心都达到饱和,所以

$$\Delta\Phi_{p2}(n) = -\Delta\Phi_{y2}(n-1) \quad (1-11)$$

将式(1-11)代入式(1-10),則得

$$2fw_y[\Delta\Phi_{y1}(n) - \Delta\Phi_{y2}(n-1)] + R_y I_y(n) = E_y(n) \quad (1-12)$$

从求得的方程看出,在第 n 个控制半周内鉄心 \mathcal{A}_1 中磁通变化量 $\Delta\Phi_{y1}(n)$ 不仅取决于这个半周内控制信号的值,而且还取决于鉄心 \mathcal{A}_2 中磁通变化量 $\Delta\Phi_{p2}$ (对鉄心 \mathcal{A}_2 是工作半周)[式(1-10)]。由于 $\Delta\Phi_{p2}$ 与綫路的前一个的半周的工作状态有关[式(1-11)],所以快速作用条件式(1-7)被破坏了。从式(1-9)中看出,这是由于扼流圈 \mathcal{A}_1 和 \mathcal{A}_2 之間通过控制繞組互相联系的结果。这种联系在某种意义上是希望有的,那就是在这情况下可使鉄心之一依靠另一鉄心控制繞組中感应电动势来增加这一个鉄心中的磁通变化量。显然,有这种联系存在的情况下,控制信号的作用对输出电压的效应是增大了(有較大的放大系数)。但是,这种联系的存在也就是这种綫路产生惯性的原因。

要解算式(1-12); 必須拥有在控制半周内鉄心中的磁通变化量与控制电流平均值之間的关系曲綫。在稳定工作状态下,通过磁放大器輸入-輸出靜特性曲綫把 $\Delta\Phi_y$ 与 I_y 单值地联系起来。根据式(1-6),磁放大器的輸出电压取决于鉄心中磁通的变化量,对于稳定状态,式(1-6)可写成

$$U = E - 2fw_p \Delta\Phi_y \quad (1-13)$$

另一方面,輸出电压是控制电流平均值的函数(輸入-輸出特性)

$$U = U(I_y) \quad (1-14)$$

从式(1-13)和(1-14),則得

$$\Delta\Phi_y = \Delta\Phi_y(I_y) = \frac{E - U(I_y)}{2fw_p} \quad (1-15)$$

表达式(1-15)是通过輸入-輸出靜特性^①表示鉄心中磁通变化量与控制电流平均值之間的未知关系式,因此,式(1-15)只对线路的稳定工作状态才是正确的。

但是,假如控制信号平均值的变化与电源頻率半周的时间比較起来是相当地緩慢时,則可近似地认为式(1-15)对过渡过程也是正确的。这种假設意味着,磁放大器工作回路中整流器(图1-3)的整流情况在过渡状态中象在稳定过程中一样。在图1-3 θ 的磁放大器中,当控制电流的变化充分快的时候(例如,在控制电流跳跃的情况下),工作回路中整流器整流情况的变化根本地改变过渡过程的特性。这种情况将在下面(第1-4节)单独地进行討論。

于是,我們將略去磁放大器工作回路所产生的时延,并假設在該半周中控制电流的平均值单值地确定了下一个半周内輸出电压的平均值。采取这一假設之后,根据式(1-15)可以写出

$$\Delta\Phi_{y1}(n) = \frac{E - U[I_y(n)]}{2fw_p} \quad (1-16a)$$

$$\Delta\Phi_{y2}(n-1) = \frac{E - U[I_y(n-1)]}{2fw_p} \quad (1-16b)$$

將式(1-16a)和(1-16b)代入式(1-12),則得

$$U[I_y(n-1)] - U[I_y(n)] + \frac{w_p}{w_y} R_y I_y(n) = \frac{w_p}{w_y} E_y(n) \quad (1-17)$$

当控制信号 $E_y(n)$ 的变化規律已給定而且輸入-輸出靜特性为已知时,式(1-17)完全确定着控制电流平均值作为时间函数(以半周的数目表示)的变化規律。

当輸入-輸出特性是非綫性的时候,式(1-17)是一个一阶非綫性有限差分方程式,在一般情况下对于 $I_y(n)$ 只能用数字來解算。

由式(1-17)所得的图形,不难确定控制信号跳跃变化所引起的过渡过程。

作图所需原始数据为:以磁放大器輸出电压与控制电流的关

① $\Delta\Phi_y$ 与 I_y 或 ΔB_y 与控制磁場强度 H_y 之間的直接联系取决于所謂鉄心去磁曲线(第2章)。——原注