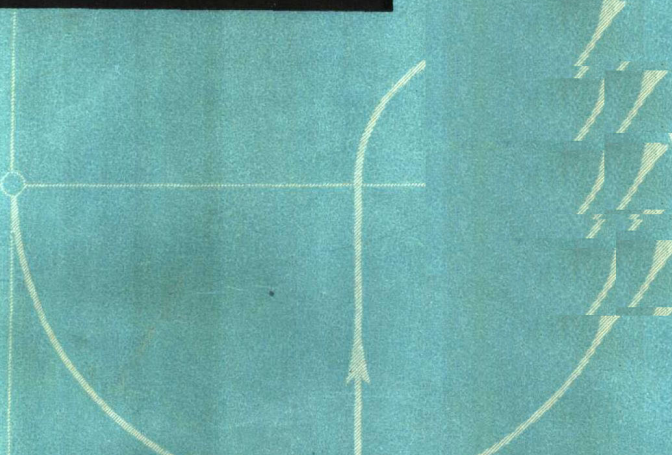


53.66

LYJ

自动化丛书



磁放大器在直流 自动电力拖动中的应用

〔苏联〕C. C. 罗依津 И. И. 梅德尼科娃著 吳增謙譯

上海科学技术出版社

磁放大_不期_直流 自动电力拖动中的应用

〔苏联〕C. C. 罗依津, И. И. 梅德尼科娃 著

吴增谦 译 赵安泰 校

上海科学技术出版社

内 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论,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资料,也包括国内编写的专题论著。本丛书由“自动化丛书编辑委员会”主编。

本书概述磁放大器在自动电力拖动中应用的最通常的情况,特别是用磁放大器在发电机-电动机系统中作发电机激磁及控制直流电动机的激磁,作复式激磁和限流等。对用半波磁放大器作汞弧整流器栅控的自动电力拖动作了详细的分析。

本书供工业自动电力拖动的工程技术人员参考。

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ЭЛЕКТРОПРиводе ПОСТОЯННОГО ТОКА

С. С. Ройвен, И. И. Медникова

Госэнергоиздат • 1961

自动化丛书(21)

磁放大器在直流自动电力拖动中的应用

吳增謙 譯 趙安泰 校

自动化丛书编辑委员会主编

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许可証出 093 号

商务印书馆上海厂印刷 新华书店上海发行所发行

开本 787×1092 1/32 印张 3 24/32 排版字数 81,000
1963 年 8 月第 1 版 1963 年 8 月第 1 次印刷 印数 1—4,500

统一书号 15119·1744 定价(十二) 0.44 元

譯 者 序

磁放大器在直流自动电力拖动中的应用，是一門很新的学科，过去虽然在杂志和书刊上也发表过一些文章，但象作者这样有系統地介紹这方面內容的专著还很少。本书从磁放大器的基本概念讲起，介紹不少实用的綫路，列举了各种应用磁放大器的直流拖动方案，加以分析比較，从而提出作者自己的見解和建議。有时为更清楚地說明某些論点，还提出了計算的实例。因此本书不但对一般需要熟悉磁性拖动技术的讀者有益，同时对本专业的工作人員也很有参考的价值。在作者提出的这些意見中，例如建議生产一些与饱和电抗器、磁放大器工作电压相匹配的非标准电压电机，以及采用可接成桥式綫路的双激磁繞組电机等，是我国从事于本专业的人員所希望解决的問題。书中所介紹的部分产品容量規格和技术数据，自原书出版以来的几年中已有所更改，例如 IIMV 系列成套拖动装置以及 YM3II 系列三相磁放大器的技术数据都已不是最新的情况，而附录 1 中所介紹的 TYM 系列磁放大器的系列数据也过于簡略，为此，根据苏联“电气工业公报”所发表的資料，分別摘譯补充于附录。至于本书所涉及的技术水平，近年来国外也有了新的发展，从收集到的資料来看，商品性的单个硅整流器已达 1200 伏、1000 安，工頻磁放大器的系列等級已扩大到 100 千瓦以上，而磁放大器成套拖动装置也已出現了 2.8~187 千瓦的系列产品。这里提出来供讀者参考。

本书因篇幅关系，不可能对书中每个細節都詳加論述，因此，讀者要全面掌握更多的知識，还須閱讀有关的参考文献。原书可能由于排印仓促，因此在文字、符号、数字、公式、編号、

14m78103

制图和表格中都发现有疏忽之处，譯文已尽可能地根据自己的見解来加以更正，但限于譯者水平，遺誤之处尚希讀者指正。

吳增謙

1963年5月

前 言

磁放大器是一种利用飽和电抗器^①与其他元件配合来放大或变换各种电訊号的装置。

磁放大器的作用是以飽和电抗器在迭加磁場的影响下变化它本身电感的特性为基础的，因此它也就有賴于鉄磁材料磁化曲綫的非綫性特征。

磁放大器有使用年限长、可靠、耐冲击和耐震动性强、易于綜合多个訊号的优点，因此在各种技术領域內，特别是在控制各种生产过程的工业电力拖动中，应用很广。

現今所用的磁放大器綫路很多。磁放大器按負載特性的类型分，有可逆的和不可逆的。按反饋的方法分，有外反饋和內反饋。半波的，直流輸出和交流輸出的，单相、三相以及多相的磁放大器都各有区别。

所謂內反饋是将整流器接入工作回路的反饋，而外反饋把經過整流的工作电流送入与控制繞組同样接法的专用繞組中。

在工业的电力拖动中采用的磁放大器綫路有很多式样。如可逆的和不可逆的，半波的和直流輸出的，单相和三相的等等。在这些綫路中又各有其保証最佳运行指标的应用范围。至于正反饋，現在几乎都采用內反饋。这是由于这两种反饋形式，从对电抗器工作的作用观点来看，完全相同，然而在采用外反饋时，工作繞組內的銅耗，在其他相等的条件下，大約要增加一倍，不但如此，实现反饋需要的整流元件数量也增加

① 最简单的飽和电抗器是鉄磁材料制成的鉄心加上交直流两种繞組。
——原注

一倍。最近有以三相磁放大器代替全波磁放大器的趋势，因为在电感负载时前者有較小的輸出电压脉动和較大的整流平均值。

本书討論磁放大器在自动化的工业直流电力拖动中应用的一些問題。在許多磁放大器綫路中，选取实际已应用的綫路来研究和比較，并作举例和推荐。为了更好地理解这些綫路，也叙述了磁放大器过渡过程物理本质的簡要知識。

目 录

譯者序

前 言

第1章 直流电力拖动中的磁放大器綫路	1
1. 无反饋磁放大器	1
2. 半波不可逆磁放大器	3
3. 半波可逆磁放大器	12
4. 全波不可逆磁放大器	14
5. 全波可逆磁放大器	18
6. 三相不可逆磁放大器	22
7. 三相可逆磁放大器	24
第2章 磁放大器基本参数的选择	26
8. 多級磁放大器的电源綫路	26
9. 多輸入級及中間級的級数	32
10. 輸出級	36
第3章 用磁放大器激磁的发电机-电动机拖动系統	44
11. 发电机激磁繞組的两种綫路接法	44
12. 磁放大器 Γ - Π 系統的簡化綫路	48
13. 人造的静态特性	49
14. Γ - Π 电力拖动系統用磁放大器綫路的选择	53
15. 用于按电流函数調节的磁放大器	55
第4章 磁放大器对直流电动机电樞供电的电力拖动	61
16. 基本特性和应用范围	61
17. 电力拖动的机械特性	62
18. ΠMY 的电力拖动	64
19. 在測速发电机反饋情况下两段調速的电力拖动	67
第5章 磁放大器用于直流电动机激磁回路的电力拖动	70

20. 轉速調節方法	70
21. 磁放大器与激磁繞組及直流电源串联而分流調節器	71
22. 磁放大器与激磁繞組及直流电源串联而分流調節器与 整定电位器相連接	76
23. 激磁繞組的桥接綫路	80
24. 在激磁繞組桥式連接情况下自动电力拖动的机械特性	83
25. 实例	85
第 6 章 用半波磁放大器作栅控的汞弧整流器和直流电动机的 电力拖动	88
26. 单相綫路	88
27. 栅极电阻的計算和电压的选择	89
28. 鉄心和工作繞組的計算	94
29. 半波綫路中的傳遞特性和延迟	95
30. 多相整流器的控制	98
31. 用半波磁放大器控制汞弧整流器的不可逆自动电力拖 动	103
附 录	104
参考文献	111
补充参考文献	111

第 1 章

直流电力拖动中的磁放大器线路

1. 无反饋磁放大器

由于无反饋磁放大器的放大系数很低，所以现代工业的电力拖动中通常都采用有正反馈的磁放大器。然而在大功率负载情况下，特别是用来对异步电动机调压，也同样应用无反饋磁放大器，或即通常称之为“饱和电抗器”的。这是因为在大功率负载下需要相当数量的整流元件来作反馈，因此设备的尺寸和成本就大为增加。

无反饋磁放大器按照负载的接法主要可分为两类。

第一类磁放大器的特征是负载与工作绕组串联，而第二类磁放大器为并联。这两类磁放大器的负载可以经整流器——解调器而接入，也可以直接接入无整流器的交流回路。

无反饋的磁放大器一般都有两个铁心或一个多柱铁心，因此，交流绕组可以接得使直流绕组内不会感应出基波电动势。

图 1a 和 b 是用于与交流绕组串联的单相和三相负载的无反饋不可逆磁放大器线路。

最简单的无反饋磁放大器的作用原理是这样：由于铁心

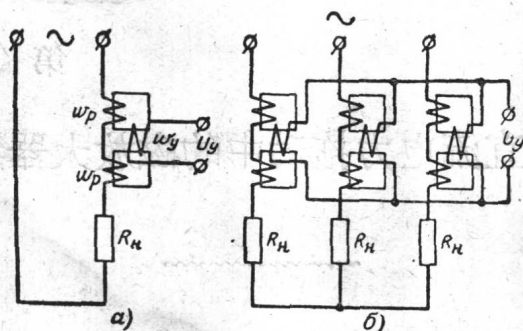


图1 无反饋的磁放大器

a—(饱和电抗器)用于单相负载; б—用于三相负载

材料磁化曲线的非线性特征, 在铁心以直流电选加磁化的情况下, 它的动态导磁率(亦即交流导磁率) μ_{π} 减小了, 因而电抗器工作绕组的电感也相应地减少, 电感与导磁率 μ_{π} 的关系如式(1)所示。

$$L = \frac{0.4\pi\mu_{\pi}Sw_p^2 \cdot 10^{-8}}{l} \quad (1)$$

式中 w_p ——工作绕组的匝数;

l ——铁心长度;

S ——铁心截面积。

随着工作绕组电感的减小, 工作电流 I_p 增加, 其数值由下式决定

$$I_p = \frac{U}{\sqrt{(\omega L)^2 + R_H^2}}$$

式中, R_H 为负载电阻。

在实用中, 无反饋磁放大器大都应用于三相电路。

在图 1б 的三相电路中, 磁放大器每一相的工作与单相磁放大器一样。所有三相的控制绕组可以并联联接如图 1б

所示,或亦可串联。

哈尔科夫电机制造厂(XЭМЗ)生产以Э-42 变压器鋼制成 III 型鉄心的 YMC 型单相磁放大器。YMC 型磁放大器的負載功率为 0.75~3.8 千瓦,并有一个控制繞組。

2. 半波不可逆磁放大器

用直流控制的綫路

图 2a 是內反饋半波磁放大器最簡單的綫路。按图 2a 的綫路构成的磁放大器系由帶直流迭加激磁的电抗器及与工作繞組串联的反饋整流器所組成。

这种环节是绝大多数比較复杂的磁放大器綫路的基本单元。因此一定先要把它里面所发生的过渡

过程研究清楚,以便在以后只要闡明一些个别綫路的特点就行了。

在叙述半波磁放大器的作用原理时,采用簡單的图解方法,能使我們对所经历的过程构成一个图形的概念而无需数学分析。

現在我們采取以下的一些假定:

(1) 鉄心材料的磁滯回綫如图 2б 所示。

(2) 控制回路的电阻很大并且对工作回路在工作半周期

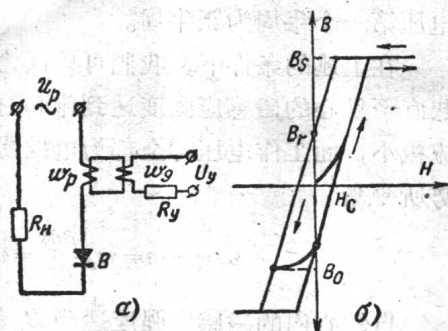


图 2 內反饋半波磁放大器

a—磁放大器綫路; б—鉄心的近似磁滯回綫

間所發生的過程不起作用。

(3) 在電抗器未飽和期間，其感抗比負載電阻大得多，因此全部工作電壓均施加於電抗器。

(4) 在電抗器飽和期間，其感抗比負載電阻小得多，因此全部工作電壓均施加於負載。

(5) 反饋整流器在電源電壓的正半周時導電，而在負半周時不通。

其次我們假定電抗器的鐵心已經去磁，而磁放大器的工
作電壓 $u_p = U_{p.m} \sin \omega t$ 正在它通過零點的瞬間接入，且工作
電壓第一個半周為正半周。

在上述的條件下，我們可以認為從工作電壓接入的瞬間
起直至鐵心的磁感應強度達到飽和時為止，電抗器的工作電
流極小，而工作電壓卻全部為電抗器工作繞組內感應的電動
勢所平衡

$$u_p = -e = w_p \frac{d\Phi}{dt} = w_p S \frac{dB}{dt} \quad (2)$$

自鐵心內的磁感應強度達到 B_s 值之後，電抗器的電感實
際上變為零，而全部電壓均加於負載電阻 R_n 。此時電抗器
的工作電流急劇增長（圖 3），并按正弦波變化直至工作電壓
的第一個正半周結束，其振幅則取決於負載的電阻。

當工作電流減退時，在正半周的末尾將達到 i_{p2} （圖 3）
的數值，這時鐵心的飽和終止，而磁感應強度開始下降。如果
忽略控制電流的影響，可以認為磁感應強度在 $i_p = 0$ 時將達剩
磁 B_r 。

這一半周以電流流經工作繞組及鐵心的磁通增長為特征
即稱之為“工作半周”，而對應於電流升高瞬間的工作電壓相
位角則稱之為飽和角。

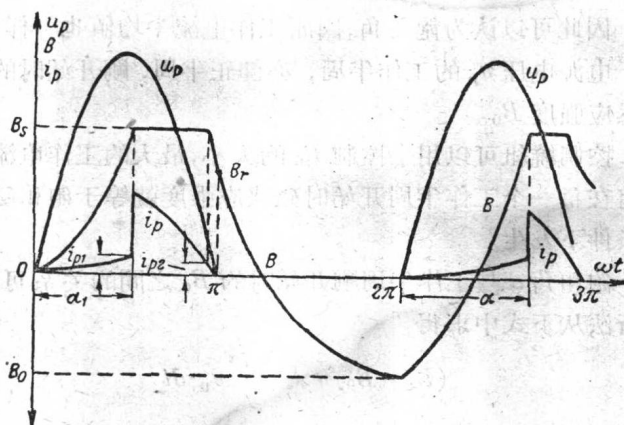


图3 半波磁放大器的工作电压、电流和磁感应强度曲线

按照以上一次近似的假定，可以认为在电源电压的负半周期间，由于工作回路内有整流器，所以工作绕组内的电流不通，铁心就单处于控制电流的作用下。电抗器工作的这一半周即称之为“控制半周”。

处于控制电流作用下的半周期间，铁心（沿磁滞回线下降的分支）去磁，并于其间建立一个新的磁感应强度 B_0 ，它取决于控制半周结束时的控制电流值。

在第二个及所有以后的工作半周期间，过渡过程的图形将与第一个工作半周期间的图形一样，所不同的仅磁感应强度的变化不是从零起始，而是从磁感应强度 B_0 开始。 B_0 值的大小取决于前一个控制半周结束时的控制电流值。在第二个工作半周内，饱和角与工作电流平均值都相应地起了变化。若 B_0 的数值大于零，则饱和角减小，而工作电流平均值增加，但若 B_0 的数值小于零，则饱和角增加，而工作电流平均值减小。

因此可以认为饱和角,因而工作电流平均值也一样,将取决于电源电压 u_p 的工作半周,亦即正半周,刚开始时的铁心磁感应强度 B_0 。

控制绕组可以用来控制 B_0 的大小,最大的工作电流平均值将在每一个工作半周开始时磁感应强度就等于饱和磁感应的条件下发生。

饱和角 α 与工作半周刚开始时的 B_0 之间的关系可以用解析法从下式中求得

$$(B_s - B_0)w_p S = \int_0^\alpha u_p \cdot dt \quad (3)$$

解之则得

$$\alpha = \arccos \left[1 - \frac{S(B_s - B_0)w_p \omega}{U_{p.m}} \right] \quad (4)$$

式中, ω 为角频率。

角度 α 的调节范围视铁心的材料而定。在采用坡莫合金时 α 可以自 $20^\circ \dots 30^\circ$ 一直变化至 180° 。

有了计算饱和角的公式,欲求在一个半波内的工作电流平均值是很容易的。

$$I_{p.ep} = \frac{\sqrt{2}}{2\pi} \cdot \frac{U_{p.m}}{R_H} (1 + \cos \alpha) \quad (5)$$

将式(4)中的 $\cos \alpha$ 代入式(5)后,则 $I_{p.ep}$ 与磁感应强度 B_0 的关系

$$I_{p.ep} = \frac{\sqrt{2}}{2\pi} \cdot \frac{U_{p.m}}{R_H} \left[2 - \frac{S(B_s - B_0)w_p \omega}{U_{p.m}} \right] \quad (6)$$

上面所作半波磁放大器工作的分析,带有简化的性质,因为在讨论的过程中有许多因素都没有加以考虑。然而这却能一目了然地表示出电抗器的控制机理,足以使能了解更为复

杂的线路工作。

下面从半波磁放大器的快速性和放大系数的观点来弄清楚图 2a 的线路。

前面已经确定,磁放大器工作电流的平均值,在其他相等的条件下,决定于前一个控制半周结束时的控制电流 i_0 。

由此可以得出结论:在给定的控制电压下, i_0 的大小将决定电流的放大系数,而达到其最大值所经历的时间就是磁放大器的延迟。

因为半波磁放大器在工作半周结束时铁心必定是饱和的,所以在每一个控制半周期间,控制电流稳定的过程总是重新开始,而控制电流在控制半周结束时将达到它自己最大的,以后在第一个控制半周之后(或第二个控制半周,视控制电压接入的瞬间而定)就又重复的数值,这就把磁放大器的惯性约束得小到电源电压的 0.5~1.5 周左右。

半波磁放大器的电压放大和功率放大系数甚至在采用狭窄矩形磁化回线的铁心时还是比较小的。这因为首先,控制电压值在控制半周内要减少一个控制绕组的自感应电势值,同时,必须在控制回路内接入很大的有效电阻。后者的目的就在于抑制控制回路内所感生的电流,以阻止铁心的反复磁化。该电流系在工作半周中,当铁心尚未饱和时,由工作回路在控制回路内所感生。

半波磁放大器在铁心不饱和的情况下就是普通的变压器,控制回路即其二次绕组。在控制回路的电阻很小时,电抗器在铁心未饱和这段时间内的工作电流将非常之大,铁心将不反复磁化,而磁放大器也就失去控制。为了避免这种情况,当讯号电源的内阻很小时,在控制回路内接入大的附加有效电阻或电抗器,这样除将抑制工作回路当工作半周期间在控

制回路內所感生的电流之外，同时也显著地降低了电压和功率放大系数。

在所研究的半波磁放大器綫路內，控制电流的磁化力比工作电流的磁化力小得多，因此控制电流在工作半周期間对电抗器的工作并没有多大的影响。如此同样頻率的交流电压甚至就是供电电源經移相后也可以用来控制。通常的相移为 180° ，然而在相移小于 180° 时也将同样地起控制作用。

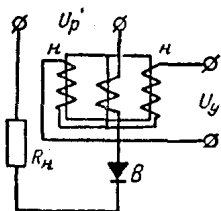


图4 用訊号电压相位控制的半波磁放大器

Г. И. 斯米尔諾夫曾經建議过一种用訊号电压的相移来控制的半波磁放大器綫路(图4)。在此种綫路中，工作回路在控制回路內所感生的电势就是靠外面两个心柱上控制繞組适当的联接来进行全部或部分的补偿。

半波磁放大器的綫路有許多种变型，在这些綫路中采用了許多不同的方法来控制起始磁感应强度 B_0 值。

用可变电阻控制的綫路

現在来研究一种磁放大器，它沒有专门的控制繞組，而是靠分接反饋整流器的办法来实现其可变电阻控制。

在分析前面的綫路(图2a)时，假定反饋整流器是理想的，即反向电阻为无穷大，因此工作回路在控制半周期間沒有电流。

实际上在控制半周內整流器的反向电流并不等于零，因此即使在沒有控制电流的情况下，工作半周开始时的磁感应强度 B_0 也会小于剩余磁感应强度 B_r 。

如果用可变电阻将反饋整流器分接，从而改变电抗器在