

王振永編著

自动装置用电机

上海科学技术出版社

自动装置用电机

王振永編著

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本書介紹了自動裝置和遙控技術中應用的幾種特殊電機，包括自激電機放大機、交磁電機放大機、自整角機、回轉變壓器、執行電動機及測速發電機等。着重基本知識的介紹，同時也說明了這幾種電機的結構特點以及蘇聯生產的這幾種電機的一些技術數據，可作為大專學校有關課程的補充讀物，同時對希望了解這幾種特殊電機的技术人員也能有所幫助。

自 動 裝 置 用 電 機

王 振 永 編 著

上海科學技術出版社出版

(上海瑞金二路450號)

上海市書刊出版業營業許可證出093號

新華書店上海發行所發行 各地新華書店經售

上海市印刷五廠印刷

787×1092 1/32 印張3 28/32 字數78,000

(原科技版印3,500冊 1958年6月第1版)

1958年11月新1版 1961年9月第6次印刷

印數21,001—24,000

統一書號: 15119·669

定 價: (十四)0.54元

序

微型电机的用途极为广泛，尤其在自动装置和遥控技术系统中，常为最重要的元件之一。在电机制造发展的现阶段，已是很重要的一部分。目前某些先进国家微型电机的生产，按容量和产值计算已超过汽轮发电机和水轮发电机的总和。

我国微型电机的生产正处在准备和开始阶段，为了适应工业企业，交通运输，国防以及科学研究等方面发展的需要，微型电机生产的发展是指日可期的。

去岁有几位同志来校进修，需要关于电机放大机及自整角机方面的理论知识。已毕业同学及在校同学亦以实际工作及实习或毕业设计上的需要，要求学习这方面的基本理论，为了上述需要曾搜集了一些资料。由于同志们的鼓励和帮助，爰于教学余暇将所搜集的一部分资料整理乃成此书。本书仅介绍自动装置和遥控技术系统用的几种特殊电机的基本知识。关于这些电机在自动装置及遥控技术系统中的应用的理论均未涉及，所以只是一本初入门的书。这些电机虽然已日益广泛的应用于各方面，但还都是比较年青的，讨论这方面的专门书籍还不多见。因此由于资料不全，且限于本人水平，谬误不当之处，定所难免。尚希读者不吝指正幸。

編著者

44126/32

目 录

序

第一章 緒論	1
§ 1-1 引言	1
§ 1-2 各种自动装置用的电机	2
§ 1-3 以追隨傳动系統來說明这些电机的应用	2
第二章 电机放大机	5
§ 2-1 引言	5
§ 2-2 电机放大机概說	7
§ 2-3 他激电机放大机	9
§ 2-4 自激电机放大机	15
§ 2-5 交軸磁場电机	22
§ 2-6 交磁电机放大机的作用原理	28
§ 2-7 交磁放大机的構造和技术数据	31
§ 2-8 交磁放大机的外特性和补偿	38
§ 2-9 交磁放大机的放大系数	41
§ 2-10 交磁放大机的慣性	44
§ 2-11 交磁放大机的稳定	48
§ 2-12 交磁放大机的并联运行	52
第三章 自整角机	55
§ 3-1 引言	55
§ 3-2 自整角机的結構特点和技术数据	56
§ 3-3 自整角机的作用原理	59

§ 3-4 无接触式自整角机	68
§ 3-5 自整角机的基本特性	69
§ 3-6 自整角机的并联运行	73
§ 3-7 自整角机变压器	77
§ 3-8 参差自整角机	80
§ 3-9 自整角机的故障	83
§ 3-10 自整角机的试验	88
第四章 回转变压器	92
§ 4-1 引言	92
§ 4-2 正弦-余弦回转变压器	93
§ 4-3 线性回转变压器	97
第五章 执行电动机	99
§ 5-1 引言	99
§ 5-2 直流执行电动机	99
§ 5-3 交流执行电动机	104
第六章 测速发电机	111
§ 6-1 引言	111
§ 6-2 直流测速发电机	112
§ 6-3 交流测速发电机	114
参考文献	117

第一章 緒 論

§ 1-1 引 言

周恩來總理說：“現代科學技術正在一日千里地突飛猛進。生產過程正在逐步地實現全盤機械化、全盤自動化和遠距離操縱，从而使勞動生產率提高到空前未有的水平”（周恩來總理關於知識分子問題的報告，見1956年1月30日人民日報）。

生產過程的自動化和遙距控制是我們社會主義社會技術發展的主要方向之一。在國民經濟的各部門以及國防和科學研究等方面都需要運用自動裝置和遙控技術方面的理論以得到迅速的發展。

在生產過程中，部分的或全部的消除了人們直接參與控制某一過程。提高了勞動生產率，改進產品質量，減少電能消耗，提高工作的可靠性，並且還改善了工人的工作條件，把工人從繁重的勞動中解放出來，給消滅體力勞動和腦力勞動之間的本质差別創造了條件。

在交通運輸，國防及科學研究方面，如船艦，飛機和火箭的自動控制，以及實驗工作技術的提高，複雜計算過程的自動化等等，也莫不與自動裝置和遙控技術有密切關聯。

§ 1-2 各种自动裝置用的电机

为了保証自动裝置各个环节的可靠配合和精确控制，必須使用許多各式各样的电气裝置，其中各种特殊电机常是最重要的元件之一。

电机放大机应用于自动裝置系統中，由于大大的减少了各种电器（繼电器、接触器、調整器等），因之簡化了自动裝置系統的綫路，以更为完善的連續作用控制代替了断續的繼电器-接触器控制。不仅用以放大电能以获得相当大的功率，还能自动的控制电力傳动的暫态过程，作为电压、电流、轉速以及其他参数的調整器和稳定器，并限制負載以保护設備等。所以在近代工业企业中以及其他方面已获得极广泛的应用。

近代作为远距离的控制，調整及檢測的同步聯絡系統中，几乎都应用了自整角机。这是一种單相或三相的异步电动机。能使两个或数个机械上不相联系的軸同时发生偏轉以傳送訊号。

回轉變压器也是一种不大的异步电机，它的輸出电压是轉子偏轉角的某种已知函数，用于自动裝置中，使創造完善的計算技术裝置有了新的可能。

执行电动机是一种控制用的微型电动机，广泛的用于自动裝置系統中，將电能轉換成为机械动作以傳送訊号。

測速发电机的輸出电压与其轉速成正比。在自动裝置中用以量測或調整轉速，提高稳定性，以及实现电气微分法等。

§ 1-3 以追隨傳动系統來說明这些电机的应用

現在讓我們用图 1-1 所示的追隨傳动系統为例來說明几种

电机的应用。图中主要組成部分包括:自整角机发送器 1, 自整角机变压器 2, 电子管相敏放大器 $\Pi 1$ 及 $\Pi 2$, 交磁电机放大机 3 和他激执行电动机 5 組成的发电机-电动机組, 交磁放大机的驱动电动机 4, 減速器 6 以及控制对象 7。执行电动机的轉軸經減速器与控制对象及自整角机变压器的轉子作机械的联結。

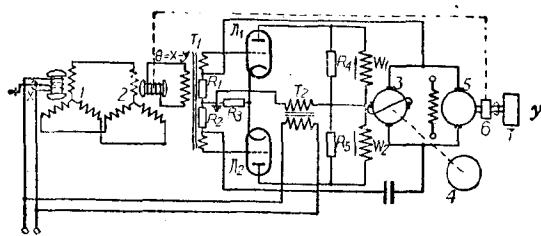


图 1-1

当系统的输入的发送轴(自整角机发送器 1 的轉軸)的位置 x 与输出的工作轴的位置 y 一致(协调)时, 自整角机变压器出线端的电压为零。电子管放大器的阳极电路由变压器 T_2 的交流电供电, 此时两管的阳极电流彼此相等。由于交磁放大机的控制绕组 W_1 及 W_2 互相对接, 流经放大机两控制绕组的电流大小相等而方向相反。所以合成磁通等于零, 其电枢的端电压亦等于零, 因之执行电动机亦将不转动。

当輸入軸与輸出軸的位置不一致(失調)时,自整角机变压器的出綫端即呈現电压,其頻率与网络頻率相同,而大小則与两軸位置差异的角度(失調角)的正弦成比例。当失調角不大时,即可認為电压的大小与失調角成正比。此偏差电压(訊号)經变压器 T_1 进入电子管的栅极,而两管栅极上的电压互相异相

180°。根据失調的符号(自整角机发送器偏轉方向),使一电子管栅极上的偏差电压与其阳极电压同相,而另一管中則反相。因此,一电子管阳极电流將增加,而另一管中电流將减小。由这两电子管阳极电路电流的差数而产生交磁放大机的激磁磁通,且有一定的方向。交磁放大机电樞上产生电压,而执行电动机也旋轉起来,并經過减速器使控制对象及自整角机(变压器轉子)偏轉,以抵偿失調的偏轉角度。

第二章 电机放大机

§ 2-1 引言

放大器是借外源能量將輸入参量放大的一种裝置，放大前后的参量(即輸入参量与輸出参量)是同一类的。

在自动裝置和远距离控制系統中常須將訊号放大，以使后面的元件足以动作。

放大器按作用原理可分为：a) 电子管放大器，б) 离子管放大器，в) 磁放大器，г) 电机放大机，д) 电气机械放大器，e) 水力放大机等。

这些形式的放大器每种都有各种不同的結構类型。任何类型的电放大器的品質均可由下列特性决定：

a) 放大系数：輸出参量与輸入参量之比

$$k_y = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} \quad (2-1)$$

由其所放大的信号的物理量不同，可供給以功率、电压及电流等；因之放大器可分为功率放大器、电压放大器及电流放大器等。

所以放大系数分为功率放大系数、电压放大系数等。

б) 工作特性：放大器在稳态时輸出量与輸入量之間的关系

$$U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}}) \quad (2-2)$$

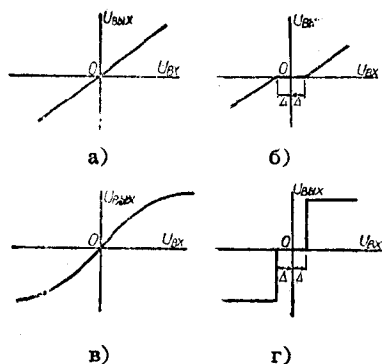


图 2-1

图 2-1 表示各种典型的工作特性。若放大器的输出量与输入量之间有正比例的关系，即其工作特性是线性的，则称为线性放大器，其工作特性如图 2-1a) 所示。在此情况，工作特性即由放大系数决定。输入量在不大范围变化时，工作特性可认为

是线性的。

图 2-1б) 表示有不灵敏区的放大器的工作特性，其值为 2Δ 。在此情况，仅当 $|U_{ax}| > \Delta$ 时，输出信号才能出现。图 2-1в) 表示有饱和现象的放大器的特性。图 2-1г) 的放大器特性的形状叫做是具有“继电器”特性的。

Б) 传递函数：放大器的传递函数是在暂态时输出量对输入量的比值

$$k(t) = \frac{U_{bix}}{U_{ax}} \quad (2-3)$$

放大器的主要参数为功率放大系数 k_p 及时间常数 T 。

放大系数对时间常数之比称为放大器的品质因数

$$k_d = \frac{k_p}{T} \quad (2-4)$$

自动装置系统中常要求有较大的放大系数及较小的时间常数，亦即较高的品质因数。

表 2-1 列出各式放大器的放大系数、时间常数及品质因数

的平均值。

表 2-1 放大器的主要参数

放大器的形式	k_p	T (秒)	$k_d\left(\frac{1}{\text{秒}}\right)$
电子管單級放大器	10^6	$10^{-3}\sim 10^{-2}$	$10^8\sim 10^9$
磁放大器	$10^3\sim 10^4$	$5\times 10^{-2}\sim 0.5$	2×10^4
电机放大机	$10^3\sim 10^4$	$5\times 10^{-2}\sim 0.5$	2×10^4
水力放大机	$10^3\sim 10^4$	$10^{-3}\sim 10^{-2}$	10^6

§ 2-2 电机放大机概說

一般应用的放大器以电子管及离子管式为最多，但近来磁放大器及电机放大机也得到很广泛的应用。

电机放大机，这一名称仅仅說明它的一个基本特性，那就是在自动装置綫路里由原动机驱动(輔助能源)用以放大功率。但并未概括它所有的功能，它还可以作为电压，电流，速率等的調节器，作为激磁机，副激磁机以及主发电机(或同时又起調节作用)等等。所以电机放大机还可按几个参量来进行調节。

电机放大机应用于自动装置系統中不仅大大的簡化了电路系統，减少了繼电器、接触器以及調节器的数量，并且降低了系統的慣性，提高了灵敏度，而且用更完善的連續控制的形式代替了断續的控制形式。

按激磁方式，电机放大机可分为：(1)他激式，(2)自激式，(3)交軸磁場式。

他激放大机通常是一正常的直流发电机而用作为放大机的，例如一大型发电机用以供电給軋鋼机的电动机。而軋鋼机电动机的控制是借发电机的激磁繞組中的电流变化来控制的。

因之,这发电机即起着放大机的作用。

實質上,任何一台发电机都可当作放大机来看。因为若发电机在未飽和状态下运行时,其輸出功率与激磁功率成比例。在激磁电路中功率的任何变化,輸出功率均随之变化。若設計使激磁电路中銅損耗为滿載时輸出功率的1%,則发电机即可將功率放大100倍,功率放大系数即为100。图2-2表示謂二級放大,

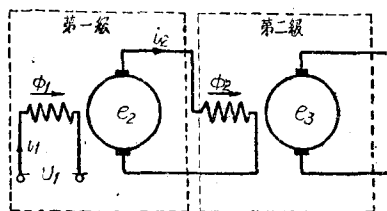


图 2-2

放大,若每一級放大系数为100,則总的放大系数即为10,000。

普通直流发电机用作电机放大机时,对放大机的主要参数來說,放大

系数太小,且慣性較大。

普通正常发电机的激磁功率約为其額定功率的1~5%,所以功率放大系数常不超过20~100。为了提高放大系数,其磁路应具有較小的磁阻和微弱的飽和。所以用作放大机的电机須具有小的空气隙和不飽和的磁路。磁路通常用高导磁的優質电工鋼片制成。此外,电机放大机还要尽可能有高的轉速以使最少的磁通感应出最大的电势,某些特殊形式的电机放大机轉速可高达每分鐘10,000轉。不过增高轉速和减小空气隙一样都受到一定条件的限制。

放大机的慣性指反应控制訊号的快慢,主要由激磁的速度或控制电路的时间常数决定。正常結構的电机,时间常数約达数秒,故电磁慣性太大。为减小其慣性,可减小激磁电路的电感或增大其电阻,但这又减小了放大系数。

自激电机放大机的特征是利用自激现象以增大功率放大系数及电压放大系数。因有自激绕组(即电压正反馈)与电枢并联或串联,故其激磁的能量几乎全部由放大机输出端沿正反馈线路而得。因之,在稳态时理论上的放大系数可能达到无限大。

交轴磁场放大机(或简称交磁电机放大机)是一种利用电枢交轴磁场激磁的电机,故其主磁场即为交轴磁场而非直轴磁场。其负载电流所生直轴电枢反应可被完全补偿,故有较大的放大系数。在结构上说来,交磁放大机则是有共同磁路系统的两机串级的单枢发电机,故其时间常数亦较小。

§ 2-3 他激电机放大机

如上所述,他激电机放大机就是普通的直流他激发电机,其线路图如图 2-3 所示。图中 W , 为放大机的控制绕组, 在此即为激磁绕组。

他激电机放大机的输出功率即为供给负载的功率:

$$P = UI$$

负载电流可用放大机的感应电势表示为

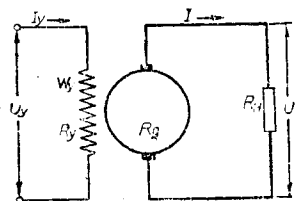


图 2-3

$$I = \frac{E}{R_a + R_l}$$

输入功率即为控制绕组内所消耗的功率

$$P_{Bx} = I_y^2 R_y$$

若放大机的磁路系统未饱和, 则

$$E = c_1 I_y$$

$$\text{式中} \quad c_1 = \frac{0.4\pi W_y \cdot p N n}{R_p \cdot 60a} \quad (2-5)$$

因之, 功率放大系数为

$$k_p = \frac{c_1^2 I_y^2 R_n}{I_y^2 R_y (R_s + R_n)^2} = \frac{c_1^2 R_n}{R_y (R_s + R_n)^2} \quad (2-6)$$

由式 (2-6) 知他激电机放大机的功率放大系数为放大机的参数及负载的参数的函数。由式 (2-5) 还知, 系数 c_1 包含放大机的转速及磁路的磁阻等。因此, 欲提高放大系数可增高转速, 减小磁阻。还可增加控制绕组匝数 W_y 和减小其电阻 R_y , 但同时却又增大了放大机的电磁惯性及尺寸。

提高放大系数亦可借选择适当的负载电阻来得到。由式 (2-6), 若其他数值不变, 对 R_n 言 k_p 的最大值可求得如下:

$$\frac{dk_p}{dR_n} = \frac{c_1^2}{R_y} \frac{(R_s + R_n)^2 - 2R_n(R_s + R_n)}{(R_s + R_n)^4}$$

$$\text{或} \quad R_s + R_n - 2R_n = 0$$

$$\text{即} \quad R_n = R_s$$

故当负载电阻与电枢电阻相等时, 放大系数有极大值:

$$k_{p\max} = \frac{c_1^2}{4R_y R_s} \quad (2-7)$$

实际上, 为了经济起见, 常使负载电阻较电枢电阻大很多, 即 $R_n \gg R_s$ 。

电压放大系数为输出电压与输入电压(控制电压)的比值

$$k_u = \frac{U}{I_y R_y} \quad (2-8)$$

但输出电压 U 可用电枢内的感应电势表示

$$U = \frac{R_u}{R_u + R_s} E$$

且对未饱和电机 $E = c_1 I_y$, 故电压放大系数为

$$k_u = \frac{ER_u}{I_y R_y (R_u + R_s)} = \frac{c_1 R_u}{R_y (R_u + R_s)} \quad (2-9)$$

由式 (2-9) 可见, 若 R_u 越大则 k_u 将越大。而当 $R_u \gg R_s$, $\frac{R_u}{R_u + R_s} \approx 1$ 时, 电压放大系数 k_u 最大。他激放大机电压放大系数的平均值为 1~10。

图 2-4 表示他激电机放大机稳定运行时的特性曲线。在初始部分特性曲线是线性的, 此后由于放大机磁路饱和, 线性即遭破坏, 电压放大系数亦急剧降低。因之, 所设计的控制电路应有足够的电压储备, 这对暂态过程中运行时是必须的; 其时线路中的电流及电压可能超过

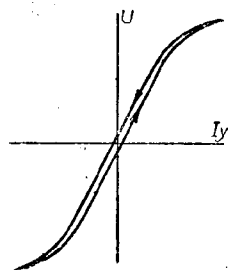


图 2-4

额定值颇多。又由于磁路的磁滞现象, 所以有一狭窄的磁滞回环, 底下的曲线是当控制绕组电流增加时形成的, 而电流减小时则为上面的一条。由此可知, 在控制(输入)电压增加及减少时, 可能发生误差。在某些情况下, 此误差可达到额定输出电压的 10~20%。

电机放大机的另一重要参数是控制电路的时间常数, 它表征放大机反应的快慢。当他激电机放大机的控制绕组电压 U , 突然发生变化时, 则输出电压将逐渐达到其稳定值, 其增长的情