

感 应 子 发 电 机

[苏联] B. C. 沙洛夫 著



国防工业出版社

感 应 子 发 电 机

[苏联] B. C. 沙洛夫著

王志云、杨帅民 合译

国防工业出版社

1965

内 容 简 介

本书阐述了感应于发电机的基本原理及其电磁计算的主要问题。近二十几年来，这种发电机广泛地用于金属的高频热处理和感应加热，航空工业、无线电工业、自动学运动学以及高速电力拖动等方面。

书中研究了中国、苏联以及其它国家制造的感应于发电机的结构。根据参考文献和工厂的技术资料，提供了感应于发电机的运行特性和波形图；列举了各种感应于发电机的电枢绕组接线图及其构成原理。

本书可供电机制造，飞机和船舶电力装备，高频热处理、高速电力拖动及自动学运动学等专业的大学生阅读；也可供从事感应于发电机的设计、制造和运行的工程技术人员阅读。

ЭЛЕКТРОМАШИННЫЕ ИНДУКТОРНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

[苏联] В. С. Шаров

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ 1961

*

感 应 于 发 电 机

王志云、杨帅民 合译

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 $\frac{1}{32}$ 印张 4 $\frac{13}{16}$ 100 千字

1965年2月第一版 1965年2月第一次印刷 印数：0,001—4,200册

统一书号：15034·755 定价：(科七)0.70元

目 录

序言	5
第一章 总論	9
1-1 感应子发电机的应用范围	9
1-2 感应子电机的作用原理	11
1-3 各类感应子发电机的結構和工作特点	15
1-4 感应子发电机电樞繞組的构成原理	25
1-5 感应子发电机的电樞电势	33
1-6 感应子电机使用的电工材料	37
1-7 高频率下的鉄損耗	42
第二章 主要尺寸的确定	47
2-1 电磁負載的选择	47
2-2 定子内徑和有效长度的确定	48
2-3 气隙	51
2-4 定子和轉子的齿和槽的选择	52
第三章 磁路計算	59
3-1 气隙磁导和气隙磁通的确定	59
3-2 感应子电机的磁路計算	64
3-3 定子槽磁导	73
第四章 参数和电樞反应	76
4-1 电樞繞組的参数	76
1) 电樞繞組的感抗	76
2) 电樞繞組的电阻	76
4-2 感应子发电机的电樞反应	79

1) 概述	79
2) 物理現象	80
3) 電樞反反應法	82
4) 電樞反應的定量的計算	86
4-3 空載和負載時的電壓波形圖	88
第五章 感應子發電機的特性	91
5-1 空載特性	91
5-2 第一類和第二類感應子發電機的矢量圖	95
5-3 感應子發電機負載時的特性	98
1) 短路特性	99
2) 外特性	100
3) 調節特性	102
4) 負載特性	104
第六章 激磁繞組、損耗和效率的計算	105
6-1 激磁繞組的計算	105
6-2 損耗和效率	107
第七章 感應子發電機的結構	110
7-1 單極式發電機	119
7-2 多極式發電機	121
7-3 梳齒式感應子發電機	131
7-4 具有封閉式通風系統的感應子發電機	136
7-5 火箭裝置用的感應子發電機	137
7-6 感應子電機的幾種變型	140
第八章 感應子發電機的使用和並聯運行	141
8-1 並聯運行	141
8-2 感應子發電機的使用	143
1) 發電機的過載防護	143
2) 感應子變頻機組的維護	146
8-3 標準試驗	148
結束語	149
參考文獻	152

序 言

感应子发电机广泛地应用在工业装置中。制造这种电机的工厂計有：“Электросила”（电力）工厂、“Электрик”（电工）工厂、哈尔科夫电机制造厂（ХЭМЗ）、弗拉基米尔·伊里奇（Владимир Ильич）工厂、“Электронасос”（电泵）工厂等等。

已經累积了大量的說明这种电机的技术文献。在苏联和国外有关这种电机的許多文献中，必須指出苏联学者В. П. 沃洛格金（Вслогдин）教授的科学著作。他是第一批感应子发电机的許多創造者之一。这些电机开始用于无綫电技术中，后来，在工业中用于金屬的感应加热。他和 М. А. 斯比岑（Спицын）在 1935 年合著的“高频发电机”●一书，是当时唯一的专题著作。在这部著作中，阐述了感应子发电机的理論，并反映了当时苏联和国外制造感应子发电机的經驗。

这部著作出版后 25 年以来，感应子发电机的应用范围显著地扩大了。創造了一系列新的电机，这些电机很成功地使用在各种工业装置中。建立了高频电流工业应用科学研究所●。

● 指 В. П. Вологдин 和 М. А. Спицын 合著的“Генератор высокой частоты”一书，ОНТИ 1935 年版，无中譯本。——譯者

● 这个研究所是 1947 年 4 月，根据苏联部长會議的决定，在列宁格勒建立的。該所第一任所长是 В. П. 沃洛格金教授。——譯者

在上述期間里，“Электрик”工厂和电机科学研究所（НИИ ЭМ）推导出感应子发电机的计算公式，国内外发表了許多著作（見書末文献目录）。应当指出 М. М. 阿列克謝耶夫（Алексеев），他在工业中很有成效地从事感应子发电机的設計工作。М. М. 克拉斯諾沙普卡（Красношанка）等在創造航空感应子发电机及其理論研究方面完成了很多著作。Т. Г. 索罗克尔（Сорокер）和 Н. Я. 阿里別尔（Альпер）拟定了計算感应子发电机的独創方法；根据他們的計算方法拟定了与普通凸极式同步电机的系数相类似的各种系数。在国外的作者中，R. 波尔（Pohl）和 J. 瓦克（Walker）的著作比較出色。

与此同时，却缺乏一些广大讀者感兴趣的有关感应子发电机原理和計算方面的書籍。

在本书中，试图把現有技术文献中感应子发电机的电磁計算方法进行綜合。考虑到本书是供大学生閱讀的，因此，作者首先力求明确地闡述感应子发电机中所发生的現象。

在本书中，列举出苏联工厂和外国公司最近制造的感应子发电机的結構，并加以討論。作者在莫斯科动力学院及軸承工业科学研究所从事了数年的感应子发电机理論、設計和实验研究工作。

在編写本书时，除了利用文献目录中所列的苏联及国外杂志上的文献和学术論文外，还利用下列各单位有关感应子发电机設計及結構方面的資料和經驗。这些单位是：列宁格勒“Электрик”工厂、“Электросила”工厂、弗拉基米尔·伊里奇工厂、电机科学研究所和莫斯科“Электронасос”工厂。

由于本书的篇幅有限，在这里沒有研究感应子脉冲发电

机、感应子参量发电机及发电机的原动机。在本书中，只論述了梳齿式感应子发电机的作用原理。

最后，作者对俄罗斯苏維埃联邦社会主义共和国科学技术功勛活动家 Г. Н. 彼德罗夫 (Петров) 教授和苏联科学院通訊院士 А. И. 拉里奥諾夫 (Ларионов) 教授表示真摯的謝意，感謝他們在本书写作过程中給予的关怀和建議。

Н. Я. 阿里別尔仔細地評閱了本书的手稿，为此对他表示深深的感謝。

作者欢迎对本书內容提出意見和建議，并将在本书再版时，对这些意見和建議加以采納。

第一章 总 論

1-1 感应子发电机的应用范围

目前，在工业上与使用 50 赫芝电机的同时，也广泛地使用着高频发电机。

使用异步变频机能产生频率为 200 赫芝以下的电流。这样的变频装置用于林业和采矿业中。这一频率范围的电流，也可以由普通凸极式同步发电机获得。要把普通凸极式同步发电机制造成更高的频率受到两个因素的限制：轉子的容許圓周（綫）速度和实际可能的最小极距。因此，对频率为 800 赫芝以下的許多設備，就制造成各种形式的永磁式发电机。当频率再高时，发电机的极距将更小，这时由于磁极的漏磁很大以及由于在高周速下的强度条件，就不可能再采用永久磁鉄。

频率从 400 到 10000 赫芝的电流，可以从感应子发电机获得。这种发电机在結構和制造工艺上都比較簡單，使用很方便，根据发电机功率和电流频率的不同效率可达 70~85%。

频率更高（大于 10000 到 50000 赫芝）的电流，也可以从感应子发电机获得，但是，对許多工业装置來說，由其它高频电源供应这种电流显得更为經濟。根据文献[19]，图1-1中示出了效率和电流频率的关系曲线，以及各种类型发电机

(振荡器)的应用范围。

感应子发电机首先用于无线电技术装置中〔文献9a〕, 从三十年代, 特别是四十年代以后, 它被成功地用作金属感应加热和表面淬火装置的电源。这种先进的工艺, 广泛地应用在工厂的熔炼车间, 铸造车间, 锻造车间, 热处理车间和焊接车间中, 使生产的文明程度提高, 并且带来了很大的经济效益。如上所指出: B. И. 沃洛格金教授是这个方法的创造者之一。表面感应淬火、金属透热到可锻温度, 以及其它形式的热处理, 都可靠地用于生产中, 促进了生产过程的机械化和自动化, 并提高了劳动生产率。

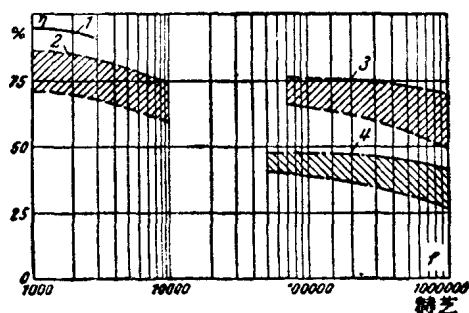


图1-1 发电机(振荡器)的效率和电流频率的关系,

以及各利类型发电机(振荡器)的应用范围。

1—离子高频振荡器; 2—高频发电机; 3—电子管高频振荡器; 4—火花式高频振荡器。

目前, 在工业中, 金属感应加热应用的规模, 要求在某些工厂里装设功率为数千千瓦的高频发电机。感应子发电机也用于雷达装置中; 在现代飞机中, 它可作无线电和仪器设备的电源; 它还用于交流电焊中。用高频交流焊接薄壁构

件，可使小功率焊弧引燃容易，并易于保持其燃烧。必须指出：在自动学运动学领域内，在化学工业中，均应用着高频感应子发电机。

目前，高速电力拖动蓬勃地发展着。在很多情况下，高速是正常工艺过程的必要条件。例如：高速电动机用于研磨滚珠轴承圈，用于各种形式的离心机上，以及吸水仪器中；随着速度的提高，仪器工作的精确度和可靠性也增高。通常都采用感应子发电机作这种高速电动机的电源。

随着 50 赫芝工业频率的巨型汽轮发电机的制造，产生了制造这种汽轮发电机用的可靠激磁系统的问题。目前，开始用高频感应子发电机来作大型同步电机的激磁机。用这种高频感应子发电机经过半导体整流器对大型同步电机的激磁绕组供电。感应子激磁机比换向器型激磁机工作可靠，因为在感应子激磁机中，转子上没有绕组，因而不需要换向器，没有滑动接触。

航空事业的高速发展，尤其是无人驾驶对象的出现，要求自动装置各个元件（包括电机）的可靠性大大提高，重量减轻，并要求结构简单、成本低廉。因此，对无人驾驶对象以及飞机的一些特种装置，采用特殊结构型式的感应子发电机就特别合适。这种电机可由转速为 20000~120000 转/分的空气轮机或燃气轮机来拖动。

1-2 感应子电机的作用原理

感应子电机通常是在发电机状态下工作的电机。感应子电机的结构型式是多种多样的。

先研究最简单的感应子发电机（图 1-2）的作用原理。

这种发电机由两个主要部分——定子和轉子构成。在定子上，有两段由电工鋼片叠成的鉄芯 c 和 d ，在叠片上冲有嵌电樞繞組 A 用的槽。以一定的节距嵌入鉄芯槽中的电樞繞組綫圈叫做元件。激磁繞組 F 作成环形，装在上述两段定子鉄芯之間。轉子沒有繞組，而是作成齿状的。轉子可以用实体鋼制成，也可以用冲制的鋼板在轉軸上叠成。感应子电机是依靠激磁繞組中通过的直流电流来激磁，激磁繞組可以由外界电源供电，也可以經過整流器接到感应子发电机本身的电樞繞組上。

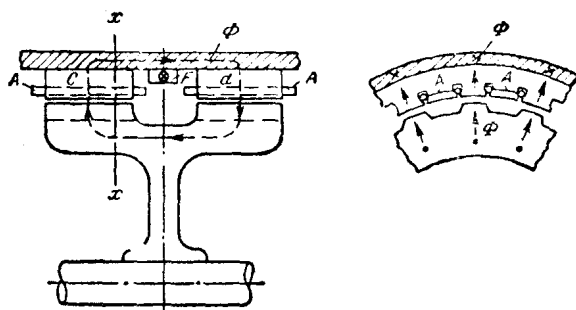


图1-2 双段鉄芯单极式感应子发电机的結構簡图。

当直流电流沿图 1-2 所示的方向通过激磁繞組时，便产生磁通，其路徑及方向如虚綫和箭头所示。这时，激磁繞組右边的轉子鉄芯上各齿具有一种极性（这里是南极）；而左边的轉子鉄芯上各齿具有另一相反的极性（这里是北极）。轉子同一段鉄芯上各齿的极性相同，因此，把这种电机叫做单极式电机或同极式电机。有时也把它叫做具有纵軸磁通的感应子电机。

在这种情况下，左边的定子鉄芯和轉子鉄芯可以視为一

个发电机，而右边的定子铁芯和转子铁芯可视为另一个发电机。这两个发电机有共同的激磁绕组。现在来研究两个电机之一（例如左边的）中发生的现象

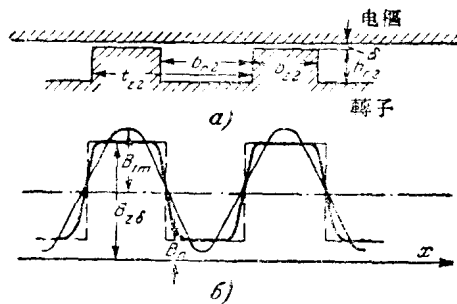


图1-3 感应子发电机的作用原理。

α —转子； δ —气隙磁场简图。

由激磁绕组磁势产生的磁通，主要地由转子齿上通过，只有很少的一部分由转子槽上通过。当气隙很小、定子槽为闭口式、转子齿为矩形时，在一个转子齿距上的气隙磁感应分布如图1-3所示。假设磁感应曲线近似为矩形，则其基波

$$B_{\delta 1} = B_{1m} = \frac{4P_m}{\pi}, \quad (1-1)$$

式中 $B_m = \frac{B_{\delta\delta} - B_{\Pi}}{2}$;

$B_{\delta\delta}$ ——转子齿上的磁感应；

B_{Π} ——转子槽上的磁感应，

或

$$B_{1m} = \frac{2}{\pi} (B_{\delta\delta} - B_{\Pi}). \quad (1-2)$$

转子的基波磁场在转子槽上为一种符号，在转子齿上为另一种符号。因而，感应子电机转子的齿和槽，对气隙磁场基波来讲，可以看做不同极性的磁极。

当轉子轉过一个轉子齿距时，感应子发电机电樞元件中的电势变化为一个周期，因此，在这种电机中，磁极对数就等于轉子的齿数：

$$p = z_2 \quad (1-3)$$

轉子齿距等于：

$$t_{z2} = \frac{\pi D}{z_2} = 2t_{z1}mq, \quad (1-4)$$

式中 $q = \frac{z_1}{2z_2m}$ ——半个轉子齿距上每相定子槽数[⊙]；

m ——相数；

t_{z1} ——电樞（定子）齿距；

z_1 ——电樞齿数。

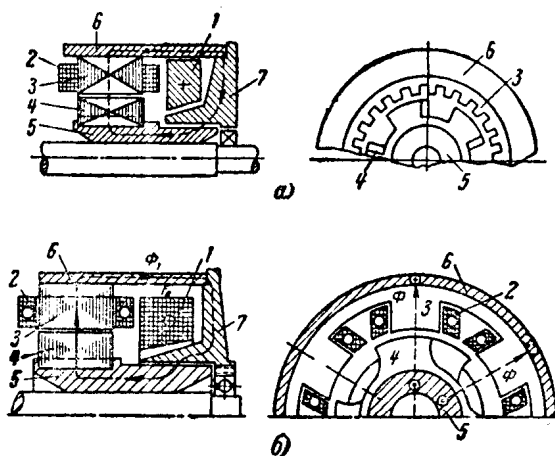


图1-4 单段铁芯单极式感应子发电机的结构简图。

1—激磁绕组；2—电枢绕组；3—电枢叠片铁芯；4—轉子叠片铁芯；5—轉子套筒；6—定子外壳；7—法兰盘。

⊙ 即每极每相槽数。——譯者

如用原动机拖动感应子发电机的轉子旋轉，当直流电流通过激磁繞組时，則在电樞繞組元件中感应出电势，其频率为

$$f = \frac{z_2 n}{60} \text{ (赫芝)}, \quad (1-5)$$

式中 n —— 发电机轉子的轉速 (转/分)。

由于定子齿距 $t_{z1} = \frac{\pi D}{z_1}$ ，則由 (1-4) 式得出定子齿数和轉子齿数之間的关系为：

$$z_1 = 2z_2 m q_c \quad (1-6)$$

单段鉄芯的单极式感应子发电机如图 1-4 所示。

1-3 各类感应子发电机的結構 和工作特点

感应子电机可以分成三类。如图 1-2 所示，磁通順着轉子軸向通过的感应子电机属于第一类。这种电机是单极式的。

在第二类感应子电机中，磁通在垂直于轉子軸綫的平面通过。梳齿式感应子电机属于第三类。第二类和第三类电机都是多极式的。現在我們来分別研究各类电机。图 1-5 是一种最简单的第二类电机。在这种电机中，激磁繞組綫圈 F 嵌在定子叠片上沿軸向冲出的专用槽內。当沿激磁綫圈通过直流电流时，每个激磁綫圈的磁势，在其寬度的範圍內，建立起磁通，磁通的方向与軸綫垂直。一个綫圈的寬度决定一个磁极。磁极的极性是交替的：C、Ю、C、Ю● 等等。因此，这种电机叫做多极式电机或异极式电机。由激磁綫圈磁势形

● 即北极、南极、北极、南极 (N, S, N, S) 等等。——譯者

成的电机磁极数，决定于嵌在定子槽内的线圈数。根据激磁电源的电压大小，可以把激磁线圈串联，或联成几个并联的线圈组。

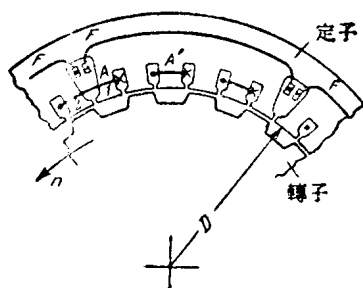


图1-5 多极式感应子发电机的结构简图。

电枢绕组元件 A 嵌置在定子铁芯的槽中。转子没有绕组，是齿状的。

分析一下一个激磁线圈所包括的有效区间中的现象，便可以了解这种电机的作用原理。

像在单极式电机中一样，在这种电机中，对一个转子齿距内的磁场基波来讲，转子的齿和槽也可以看作不同极性的磁极。电枢绕组元件的宽度等于转子齿距的一半。像在单极式电机中一样，转子齿距与电枢齿距及相数之间的关系，也是用方程式 (1-4) 表示。

转子齿数

$$z_2 = \frac{\pi D_2}{t_{z2}} \quad (1-7)$$

当用原动机推动发电机的转子旋转时，气隙磁感应最大值 B_m 和最小值 B_n 之间脉动，电枢绕组元件的磁链发生变