

中等专业学校系列教材

非电专业通用

交流电机及其应用

王占元 编

高等教育出版社

中等专业学校系列教材

非电专业通用

交流电机及其应用

王占元 编

高等教育出版社

(京) 112 号

内 容 简 介

本书是在国家教育委员会职业技术教育司的指导下,根据“全国中等专业学校电工学与工业电子学课程组”与高等教育出版社共同制订的1986~1990教材规划,通过评选择优出版的,可以作为中等专业学校非电类专业师生学习电工学课程的补充教材。

本书从使用角度出发,主要对异步电动机和同步电机的结构和原理特点,以及电磁特性和外部特性进行了论述。介绍了电动机的起动、调速和制动的各种方法,以及对发电机进行电压和功率调节的主要措施。并且介绍了对上述电机的选择、使用和维护的基本知识。书中还特别介绍了一些新型的特种电机的原理和应用。

本书也可供有关中等工程技术人员参考。

中等专业学校系列教材

非电专业通用

交流电机及其应用

王占元 编

*

高等教育出版社出版

新华书店上海发行所发行

上海市印刷三厂印装

*

开本 787×1092 1/32 印张 6.875 字数 145,000

1992年3月第1版 1992年3月第1次印刷

印数 00,001—1,803

ISBN 7-04-003605-3/TM·181

定价 3.35 元

前 言

本书是在国家教育委员会职业技术教育司指导下,根据全国中等专业学校电工学与工业电子学课程组和高等教育出版社共同制订的1986~1990教材规划而编写的系列教材之一。也是有关工程技术人员参考用书。

全书从使用的角度出发,主要对异步电动机和同步电机的结构和原理特点,以及电磁特征和外部工作特性。进行了论述。介绍了电动机的起动、调速和制动的各种方法及对发电机进行电压和功率调节的主要措施。并且介绍了对上述电机的选择、使用和维护的基本知识。书中还特别介绍了一些新型和特种电机的原理和应用。

本书由河北省机电学校王占元编写,由抚顺煤炭工业学校张志明老师审阅。在本书的编写过程中,得到了福建机电学校王喆老师的指导,也得到了河北省机电学校电专业科全体教师的支持和帮助。对此,编者表示衷心的感谢。

由于编者的水平有限,书中难免有不当之处,恳切希望使用本书的师生及其他读者指正。

编 者

1990年10月

本书所用字母的说明

字 母	表 示 的 意 义	字 母	表 示 的 意 义
i	交流电流的瞬时值	s	转差率
I	交流电流的有效值	s_N	额定转差率
I_N	交流电机的额定电流	s_m	临界转差率
u	交流电压的瞬时值	ω	电角速度
U	交流电压的有效值	Ω	机械角速度
U_N	交流电机的额定电压	T	电磁转矩
e	交流电动势的瞬时值	T_L	负载转矩
E	交流电动势的有效值	T_{max}	电磁转矩的最大值
P	有功功率	T_{st}	起动转矩
P_M	电磁功率	T_N	电机的额定电磁转矩
P_a	机械功率	K_m	最大转矩倍数
P_N	电机的额定功率	K_{st}	起动转矩倍数
p_{Cu}	电机的铜损耗功率	F	电磁力
p_{Fe}	电机的铁损耗功率	F_m	磁动势
R	电阻	η	效率
L	电感	t	时间
X	电抗	$\delta(\delta_m)$	功率角
C	电容	m	电机的相数
Z	阻抗	K_N	绕组系数
$\cos\varphi$	功率因数	N	绕组每相串联匝数
Φ	电机每极的磁通	p	电机的磁极对数
Φ_m	电机每极磁通最大值	z_1	定子的槽数
n_1	交流电机的同步转速	z_2	转子的槽数
n	交流电机的转速	D	直径
n_N	电机的额定转速	K	比例常数
f_1	定子电压、电流、电动势的频率	j	旋转矢量的旋转因子
f_2	转子电动势的频率		

目 录

本书所用字母的说明	1
绪论	1
第一章 异步电机	3
§1-1 异步电机概述	3
§1-2 异步电动机的电磁关系	14
§1-3 异步电动机的电磁转矩和机械特性	23
§1-4 异步电动机的运行特性和条件	33
§1-5 异步电动机的起动	42
§1-6 专用起动异步电动机	54
§1-7 异步电动机的调速	61
§1-8 专用变速和减速异步电动机	68
§1-9 异步电动机的制动	82
§1-10 专用自制动异步电动机	90
§1-11 异步电动机的选择	94
§1-12 特种结构的异步电动机	100
§1-13 单相异步电动机	108
§1-14 单相交流串激电动机	122
§1-15 异步电动机运行中的故障分析	131
§1-16 异步电动机的维护	140
第二章 同步电机	149
§2-1 同步电机概述	149
§2-2 同步发电机	156
§2-3 同步电动机及调相机	166
§2-4 中频发电机及变频器	172
§2-5 微型同步电动机	177

§2-6 同步电机的励磁方式	186
§2-7 中小型同步电机运行中常见的故障及排除方法	191
§2-8 异步电动机的运行同步化	198
附录 I	202
附录 II	207
附录 III	209
参考书目	211

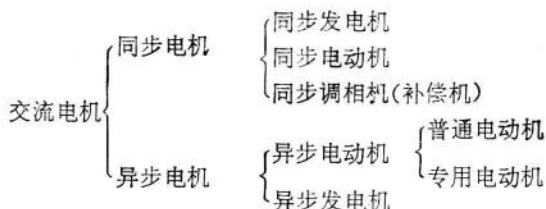
绪 论

交流电机是交流电能和其它能量相互转换的旋转机械。它分为发电机和电动机。

随着四化建设的发展，国民经济各部门对交流电机的需要量日益增长。例如，交流发电机是电力部门的主要设备。它将各种形式的能量转换为电能，已成了我们使用的主要能源。交流电动机作为工农业生产中的动力机械，占电力拖动的90%左右。在电网的总负荷中，交流电动机的用电量占60%以上。在日常生活中，家用电器用的交流电机也大幅度增加。可见，交流电机在整个国民经济中起着相当重要的作用。

为了使交流电机这个重要电气设备充分发挥作用，我们必须掌握它的原理和特性，学会对它的正确选择、使用和维护。

生产实际中，应用的交流电机型号和种类繁多。通常对它们作如下分类：



尽管各类交流电机特点不同，但是它们的原理都是建立在以下几个基本定律基础之上的：

(1) 法拉第电磁感应定律：当导体和磁场发生相对切割运动或者导体线圈包围的磁通发生变化时，导体内均产生感应电动势。

(2) 毕-萨电磁力定律：载有电流的导体处在磁场中的适当位置时，导体将受到电磁力的作用。

(3) 能量守恒定律：能量只能从一种形式转换为另一种形式，它即不能被创造也不能被消灭。

熟悉和牢固掌握这几个定律，对学习和理解交流电机的工作原理和性能十分有用。

本书对上述各类交流电机分别予以介绍。介绍的主要内容包

(1) 从使用角度出发，阐明它们各自的原理和运行特点。重点是它们的外部特性。

(2) 对发电机的电压稳定和负载的调节，对电动机的启动、调速、制动等，分别介绍其特点和方法。

(3) 介绍对各种交流电机的选择，使用及运行维护的方法，并分析电机在运行中常见的主要故障、故障原因及处理措施。

读者参阅此书时，对各种交流电机要着重理解它们的原理本质和特点；懂得其使用方法；知道分析运行故障的原因和使用它们的先进技术。这样，才能丰富自己的专业知识。为解决实际问题打下基本的理论基础。

第一章 异步电机

§1-1 异步电机概述

异步电机，又叫感应电机，有三相电机和单相电机之分。它主要作为电动机使用。

异步电动机是工农业生产中使用最多的一种动力设备。例如，在工业方面，用于拖动中小型轧钢设备，各种金属切削机床、轻工机械、矿山机械等；在农业方面，用于拖动水泵、脱粒机、粉碎机以及其它农副产品的加工机械等；在民用电器方面，电风扇、洗衣机、空调机、电冰箱等也都是用异步电动机拖动的。

异步电动机之所以被广泛的应用，是因为它具有结构简单、坚固耐用、运行可靠、效率较高、维护方便和适用的工作特性等一系列优点。当然，异步电动机的工作也有缺点，例如它的调速性能不如直流电动机，功率因数低于同步电动机等。但是，单绕组多速异步电动机和可控硅无级调速装置的出现，使其调速性能逐步得到改善；异步电动机运行同步化的措施使大功率异步电动机的功率因数也得到较大的提高。这就为异步电动机的广泛应用，提供了有利条件。

异步电机也可作为发电机，但工作性能差，用的不多。

本章主要介绍三相异步电动机及单相异步电动机。异步发电机在此不再分析和叙述。

一、异步电动机的原理特点

异步电动机是由两大部分组成：定子和转子，如图 1-1 所示。定子固定不动，当它上面的三相定子绕组 U_1U_2 、 V_1V_2 、 W_1W_2 分别通入三相交流电流

$$\left. \begin{aligned} i_A &= \sqrt{2} I \sin \omega t \\ i_B &= \sqrt{2} I \sin (\omega t - 120^\circ) \\ i_C &= \sqrt{2} I \sin (\omega t + 120^\circ) \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

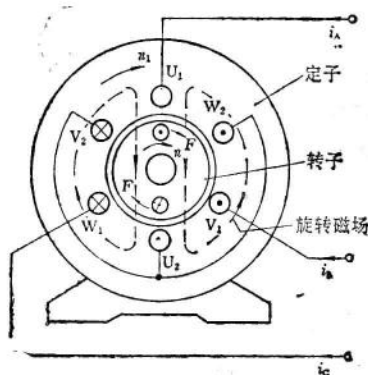


图 1-1 异步电动机原理图

以后，电机内便产生一个沿圆周方向旋转、转速为 n_1 的磁场，通常称它为旋转磁场。这个旋转磁场和转子上的绕组导体发生相对切割运动，使短接着的转子绕组产生感应电动势及感应电流。转子上的载流导体与旋转磁场相互作用产生电磁力 F ，这个力对转子轴形成了电磁转矩，驱使转子沿着旋转磁场转动的方向旋转起来。这就是异步电动机的基本旋转原理。

1. 异步电动机旋转磁场形成的条件和特征

异步电动机的定子固定不动，而形成的磁场却是旋转的。它必须具备两个条件：

(1) 定子上必须嵌放三相或两相对称的定子绕组。对三相异步电动机来说，所谓三相对称定子绕组，就是三相定子绕组的尺寸、形状、匝数完全相同，并在定子圆周上的空间位置各相要互差 120° 的电角度^[1]。单相异步电动机的两相对称定子绕组在定子圆周上的空间位置要互差 90° 的电角度。

(2) 定子绕组中必须通入三相或两相对称的正弦交流电流。对三相异步电动机，定子绕组中要有三相对称的正弦交流电流流过。单相异步电动机的定子绕组中要有两相对称的正弦交流电流流过。

上述的条件(1)，一般在电动机制造时即可保证。对于条件(2)，三相电动机内只要在三相绕组中施加三相对称的正弦交流电压即可实现。

电机内形成的旋转磁场有三个主要特点：

(1) 旋转磁场的磁极对数 p 由定子三相绕组的结构及接线来决定，一般在设计制造时就确定了。

(2) 旋转磁场旋转的方向由通入三相绕组的电流相序来确定。例如：定子的三相绕组 U_1U_2 、 V_1V_2 、 W_1W_2 依次分别流入式(1-1)所示的三相电流 i_A 、 i_B 、 i_C 时，若旋转磁场是逆时针方向旋转，那末将它们流入的电流相序改为 i_A 、 i_C 、 i_B 后，旋转磁场一定会顺时针方向旋转。旋转磁场旋转方向的规律总是从超前相绕组转向滞后相绕组。

[1] 电角度是指空间电角度。以在电机内形成一对磁极所占的圆周空间位置为 360° 而划分。

(3) 旋转磁场的转速 n_1 ，通常也称同步转速，由下面公式决定，即

$$n_1 = \frac{60f_1}{p} \quad (1-2)$$

式中： n_1 ——同步转速 (r/min)；

f_1 ——交流电流的频率(Hz)；

p ——电动机形成的磁极对数。

2. 异步电动机转子旋转的条件和特点

由于转子是靠载流导体和磁场作用产生电磁转矩而旋转的，因此，转子旋转的条件是：旋转磁场的存在和转子绕组必须是闭合回路。这个道理从上述原理中显而易见。此外，当转子沿旋转磁场转动的方向转起来以后，它的转速始终必须低于同步转速 n_1 ，这是转子维持长期稳定运转的必要条件。如果转子转速 n 和旋转磁场的同步转速 n_1 相等，转子导体和磁场则没有相对切割运动，转子绕组中也就没有电流存在，电磁转矩为零，转子转速此时必然减慢。只有转子转速低于旋转磁场的转速，存在一定的转速差时，转子才能有导体切割磁场产生电磁转矩维持旋转。异步电动机的名称也由此而得。

异步电动机转子旋转的特点有两个：

(1) 转子旋转的方向一直和旋转磁场旋转的方向一致。

根据这一特点，实践中若使异步电动机反转，只要调换电机的任意两相电源进线，改变旋转磁场的转向即可达到目的。

(2) 转子的转速低于同步转速，即 $n < n_1$ ， $n_1 - n$ 称为转差。

通常，工程上表达异步电动机的转速都用转差率 s 。 s 的

定义为

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad (1-3)$$

即

$$n = n_1(1 - s)$$

s 是一个没有单位的量值。从它的定义中可以看出,它的大小反映出电动机的转速。例如: $n=0$ 时, $s=1$; $n=n_1$ 时, $s=0$; n 从 0 变化到 n_1 , s 则由 1 变到 0。转差率 s 是异步电动机的一个重要参数。

正常运行的异步电动机, 转子转速 n 接近于同步转速 n_1 , 因此转差率 s 很小。额定运行的异步电动机, 转差率一般为 $0.02 \sim 0.06$ 。

二、异步电动机的结构特点

异步电动机种类繁多, 结构均有差别。这里仅介绍它们共同的结构特点。

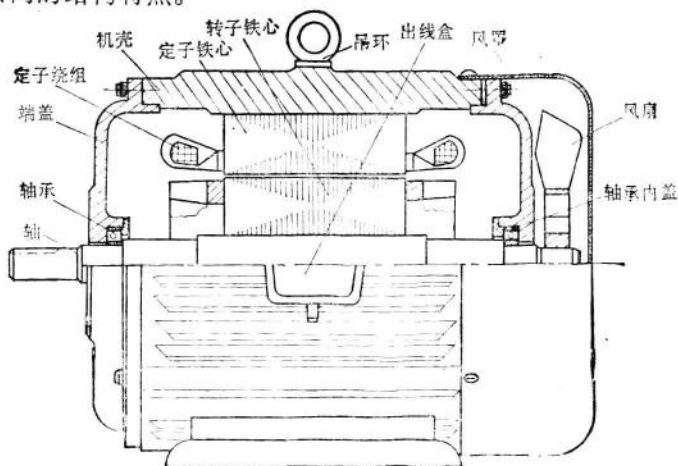


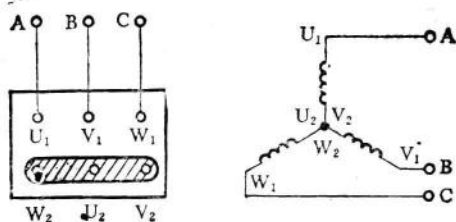
图 1-2 异步电动机的结构图

图 1-2 是三相普通鼠笼式异步电动机的结构图。电机的各零部件名称在图中已标出。

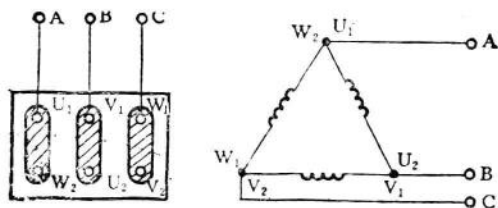
为适应异步电动机的工作条件，它的结构特点主要有：

1. 定、转子的铁心由于是旋转磁场的主要路径，为了减少磁通在铁心内的磁滞和涡流损耗，并获得较强的磁场，一般均用导磁性能很高的硅钢片冲制成一定形状后叠压而成。

2. 定子绕组是电动机接受交流电能的电路部分，而且它还要产生一个理想的旋转磁场。因此，它用高强度漆包圆形或扁形铜(或铝)线绕制成规定的三相多匝线圈，以一定的方式嵌放在定子铁心槽内。各相绕组之间，绕组与铁心之间都用绝缘材料隔开。三相绕组的出线端在接线盒处引出，按



(a) 星形连接



(b) 三角形连接

图 1-3 定子绕组出线端的接线方法

一定的接法去接电源。常见的有两种接法：星形接法(Y接)和三角形接法(Δ 接)，如图 1-3 所示。

3. 转子绕组是产生感应电流和电磁转矩的重要部件。考虑到提高电动机的性能和工艺上的简单，一般有两种结构型式，各有特点。

一种结构是鼠笼型。它是在铁心的每槽内只放一根导体，用两个端环分别将所有槽的导体两端短接起来，绕组形如鼠笼，故称鼠笼型，如图 1-4 所示。对中小型普通电动机一般为铸铝转子。

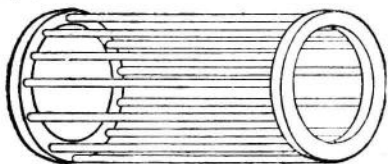


图 1-4 鼠笼型转子绕组

另一种结构为绕线型。和定子绕组相似，在转子铁心槽内嵌放三相对称绕组。其出线端一般采用星形接法。三相引出线分别接在轴上的三个彼此绝缘的集电环上(也称滑环)，再通过电刷引出，串接附加电阻形成回路。如图 1-5 所示。

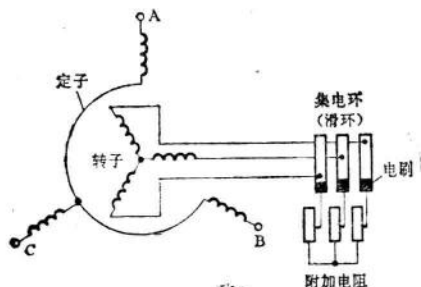


图 1-5 绕线式电机的定子和转子绕组接线示意图

4. 定、转子之间的气隙是异步电动机结构中的重要组成部分。它是为了保证转子在定子内自由转动而设置的。但是，这气隙不能过大。否则，产生同样大小的旋转磁场，需要的定子励磁电流要过大。这个电流是无功电流，不仅影响电动机的功率输出，也使电动机的功率因数降低。因此，在制造时，保证转子运转安全的情况下，气隙应尽量减小。一般气隙长约为 $0.2 \sim 2 \text{ mm}$ 。

三、国产异步电动机的产品系列及分类

鉴于异步电动机产量大、品种多、使用面广的情况，为便于生产、选择和维修，我国已实行电机的标准化、系列化、通用化，形成了统一的系列产品。各种电机用不同的型号来代表，参看附录(I)。

国产异步电动机产品共分三大系列：

1. 产量最多、使用最广的一般普通用途三相异步电动机系列，称为基本系列。例如：原来使用的老产品 J_2 、 JO_2 、 JR_2 、 JK 等，现在已被淘汰，正在被新产品 Y 、 YR 、 YK 等系列所代替。最近，又研制出 YX 系列高效率电动机。它是以 Y 系列电机为基础改进而成的，其效率比 Y 系列电机平均提高 3% ，是节约能源的先进产品。

2. 为适应拖动系统和环境条件的某些需要，在基本系列的基础上作部分改变而导出的系列，称为派生系列。如： YZ 系列、 YA 系列等。

3. 为适应某些机械的特殊要求而设计制造的特殊结构系列电机，称为专用系列。如： YQS 系列、 YP 系列等产品。

在各系列中，根据电机的大小、防护型式、安装条件、