



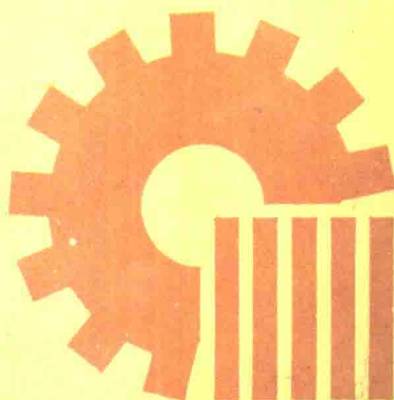
中央广播电视大学教材

电机与拖动

下册

DIAN JI YU
TUO DONG

周绍英 牛秀岩 编



中央广播电视大学出版社

电机与拖动

下 册

周绍英 牛秀岩 编

中央广播电视大学出版社

(京)新登字 163 号

图书在版编目(CIP)数据

电机与拖动 下册 / 周绍英 牛秀岩编. —北京:中央广播电视大学出版社,1994.6

ISBN 7-304-01040-1

I. 电…II. 周…III. ①电机②电力拖动 IV. ①TM3②TM921

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 06975 号

电机与拖动

下 册

周绍英 牛秀岩 编

中央广播电视大学出版社出版

社址:北京西城区大木仓39号北门 邮编:100032

北京联华印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

开本787×1092 1/16 印张12.25 千字281

1994年2月第1版 1994年6月第1次印刷

印数1—26000

定价7.15元

ISBN 7-304-01040-1/TM·25

主持教师：周远程
主 编：周绍英
编 者：牛秀岩

目 录

第七章 三相异步电动机	(1)
内容提要.....	(1)
§ 7-1 概述.....	(1)
§ 7-2 三相异步电动机的基本工作原理.....	(6)
§ 7-3 异步电动机转子静止时的电磁关系.....	(8)
§ 7-4 异步电动机转子旋转时的电磁关系.....	(18)
§ 7-5 异步电动机对称运行的等值电路及相量图.....	(23)
§ 7-6 异步电动机的功率和转矩.....	(33)
§ 7-7 异步电动机的机械特性和工作特性.....	(38)
§ 7-8 异步电动机的参数测定.....	(42)
小 结.....	(46)
思考题及习题.....	(47)
第八章 三相异步电动机的电力拖动	(49)
内容提要.....	(49)
§ 8-1 三相异步电动机机械特性分析.....	(49)
§ 8-2 三相异步电动机的起动.....	(54)
§ 8-3 三相异步电动机的制动.....	(73)
§ 8-4 三相异步电动机的调速.....	(86)
§ 8-5 异步电动机应用实例.....	(102)
小 结.....	(104)
思考题及习题.....	(106)
第九章 电力拖动系统中电动机的选择	(108)
内容提要.....	(108)
§ 9-1 概 述.....	(108)
§ 9-2 电动机的发热和冷却.....	(111)
§ 9-3 按发热观点对电动机工作方式的分类.....	(114)
§ 9-4 连续工作制电动机的容量选择.....	(115)
§ 9-5 短时工作制电动机的容量选择.....	(126)
§ 9-6 重复短时工作制电动机的容量选择.....	(128)

• 4 •

§ 9-7 鼠笼异步电动机每小时允许的接电次数	(131)
§ 9-8 电动机容量选择的工程方法	(132)
小 结	(133)
思考题及习题	(134)
第十章 微控电机	(136)
内容提要	(136)
§ 10-1 单相异步电动机	(136)
§ 10-2 伺服电动机	(145)
§ 10-3 力矩电动机	(155)
§ 10-4 微型同步电动机	(158)
§ 10-5 步进电动机	(161)
§ 10-6 自整角机	(168)
§ 10-7 测速发电机	(177)
§ 10-8 直线电动机	(183)
小 结	(186)
思考题	(189)
参考书目	(190)

第七章 三相异步电动机

内 容 提 要

本章首先介绍三相异步电动机的基本结构和工作原理。异步电动机通过电磁感应作用,把能量由定子传递到转子,这与变压器通过电磁感应将能量由原绕组传递到副绕组的工作过程有一定相似之处。

异步电动机的运行情况可用转差率予以表示。转子电路的有关电参量是转差率的函数,因此,转差率是分析异步电动机的重要参数。

本章的重要内容是异步电动机的电磁耦合关系。异步电动机的定、转子之间是通过气隙旋转磁场耦合的,在分析时,先讨论转子静止时,再介绍转子旋转时的电磁关系,导出其磁势、电压平衡方程式。在此基础上,将有关方程式加以综合,经过对转子电路的频率折算、绕组折算,引出异步电动机的等值电路。可以说等值电路是分析异步电动机电磁耦合关系的归纳。

等值电路的参数可通过试验测定。等值电路较全面地反映了异步电动机内部电势、电流、磁势、功率的相互关系,从而为分析机械特性和工作特性提供了有效方法。

§ 7-1 概 述

在第六章中已介绍过,当电源频率一定时,同步电动机的转速是固定的同步转速,不随负载大小的波动而变化。异步电动机的转速与电源频率之间没有严格的比例关系。换句话说,其转速与同步转速之间总存在着差别,这正是同步电动机和异步电动机的根本不同。

异步电动机在工农业生产中有着广泛的应用。一般生产机械大多采用三相异步电动机拖动。据统计,异步电动机的生产总量约占电机制造业生产总容量的一半以上。由此可看出异步电动机应用的广泛性及其在国民经济中的重要地位。

异步电动机的结构简单、制造容易,运行可靠,价格低廉,并具有良好的使用性能。其缺点是调速特性和功率因数较差。对于普通的生产机械,采用异步电动机,再辅以机械变速装置,一般都可满足要求。

异步电动机运行时,定子绕组接入三相交流电源,转子绕组短路。这样,转子绕组中产生的电势、电流都是由于电磁感应关系产生的。转子产生电磁转矩,实现电能与机械能之间的转换。基于这一工作原理,异步电动机又称为感应电动机。

一、异步电动机的结构

三相异步电动机由静止的定子和旋转的转子两个主要部分组成。定子和转子之间有一定的

气隙,图 7-1 表示绕线式转子三相异步电动机的结构。下面对其主要部件作一简要介绍。

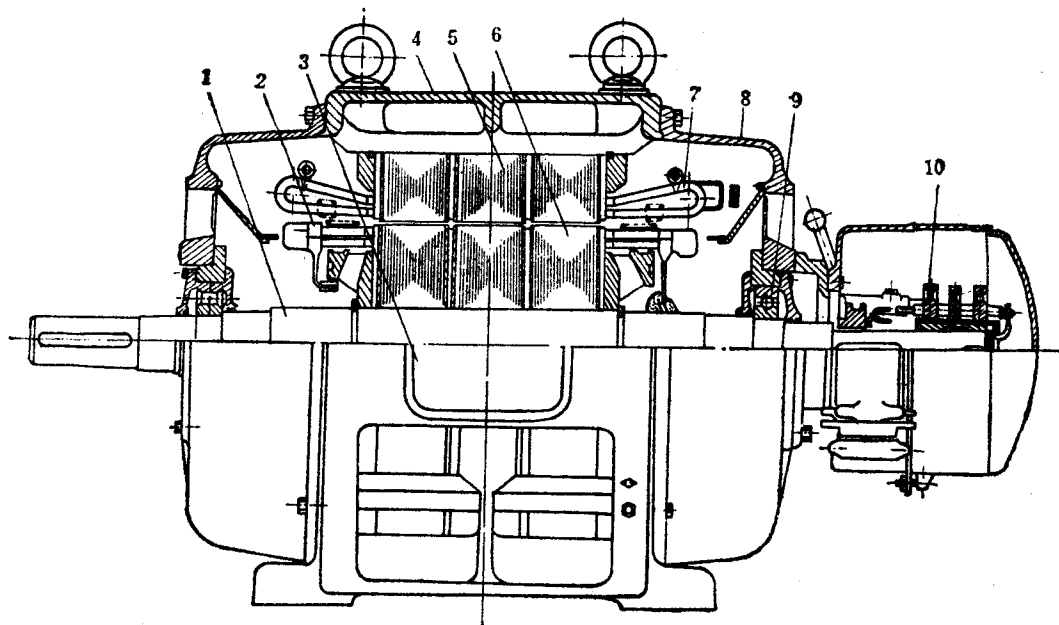


图 7-1 绕线式异步电动机的结构

1—轴；2—转子绕组；3—出线盒；4—机座；5—定子铁心；6—转子铁心
7—定子绕组；8—端盖；9—轴承；10—集电环

1. 定子

异步电动机的定子由定子铁心、定子绕组和机壳(包括机座、端盖等)构成,机座只作为支撑电机各部分部件之用,并不是磁路的一部分。中、小型电机两端的端盖可支承转子,保护线圈端部。机座和端盖通常由铸铁铸造,小型的则用铝合金压铸成形,大型的可用钢板焊接。

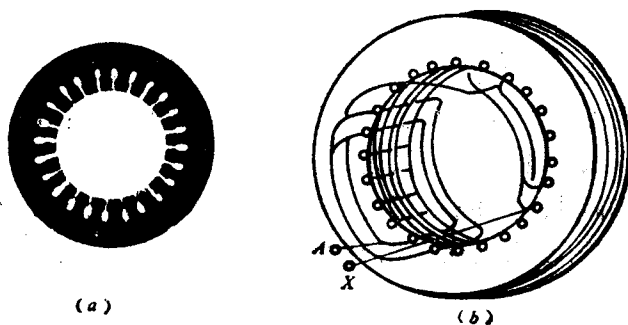


图 7-2 定子冲片及绕组

a—定子冲片；b—绕组嵌置示意图

定子铁心用 0.5 mm 厚的硅钢片冲压成冲片,再经叠装压紧制成。小型电机冲片冲成整圆,如图 7-2 所示。中、大型则冲成扇形,再将扇形冲片叠压成整圆的铁心。冲片之间涂有绝缘漆,

也可经氧化处理形成氧化膜,以减小铁心损耗。在铁心槽内嵌置定子绕组。小型电机常用高强度漆包线绕制的散下线圈嵌入半闭口槽内,槽内绝缘采用聚脂薄膜及青壳纸(图 7-3c);大、中型则用高强度漆包线或玻璃丝包扁铜线绕制的成型线圈嵌入开口槽或半开口槽内(图 7-3a、b)。三相异步电动机多采用双层短距叠绕组。

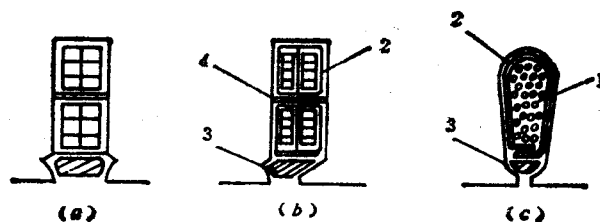


图 7-3 定子槽形

1—导体; 2—槽绝缘; 3—槽楔; 4—层间绝缘

高压大、中型异步电动机定子绕组常采用 Y 接,只有三条引出线。而低压中、小容量电动机,通常把定子三相绕组的六个出线端都引出来,根据使用电源情况,接成 Y 形或 Δ 形。

2. 转子

转子铁心也用 0.5 mm 厚的硅钢片冲成转子冲片,迭压制成。转子冲片如图 7-4 所示。转子除铁心及转子绕组外,还有轴、风扇等。转子由轴承支承在端盖或轴承座上。异步电动机按转子绕组形式不同,可分为绕线式和鼠笼式两种。

绕线式转子绕组的相数和极数应与定子绕组相同,大多采用双层波绕组。绕组元件先做成半个线圈插入槽中后,再弯成波形线圈,用焊接工艺联成全部绕组。各相绕组的尾端接成中点,首端分别接到集电环(也称滑环)上。集电环用钢或青铜制成。三相集电环的环与环之间,环与转轴之间,都互相绝缘。集电环上放置电刷,经电刷接到起动装置或调速用的变阻器上,如图 7-5 所示。从图中可以看出,绕线式转子绕组为 Y 形接法。

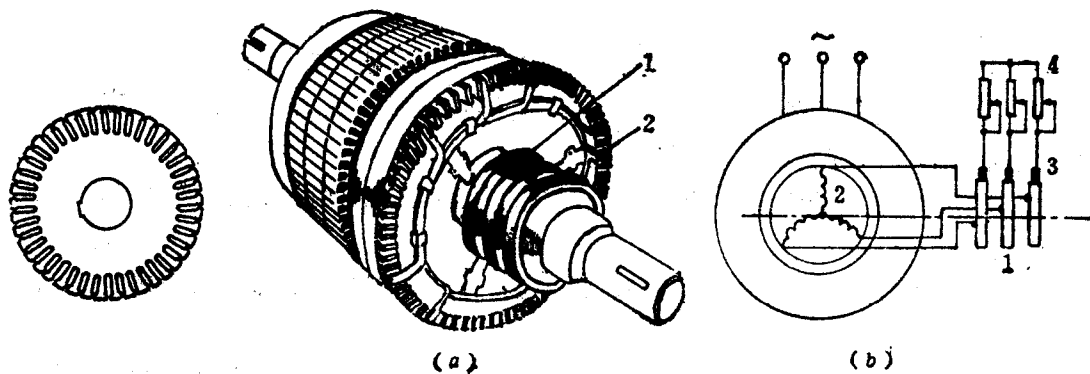


图 7-4 转子冲片

图 7-5 绕线式电动机转子外形及接线

1—集电环; 2—转子绕组; 3—电刷; 4—变阻器

鼠笼式转子绕组可在铁心槽内插入铜条,将全部铜条两端焊在两个铜端环上,如图7-6b所示;也可用铝浇铸制作,把叠好的铁心放置在模具内,将转子导条、端环及内风扇一次浇铸而成,如图7-6a所示。如果把转子铁心去掉,则可看出,剩下的绕组形状呈笼形,因此称为鼠笼绕组。目前小型异步电动机转子大多为铸铝的鼠笼绕组。

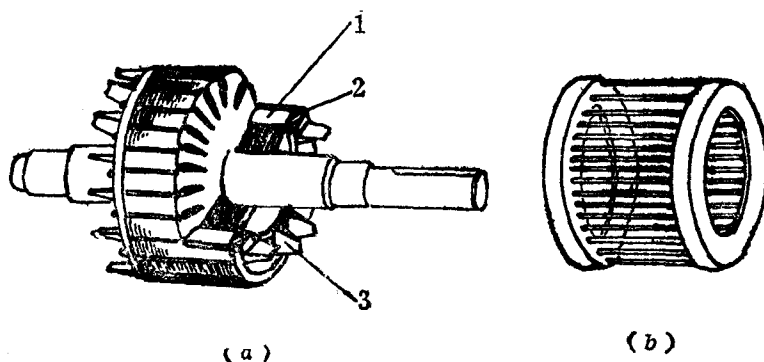


图 7-6 鼠笼式转子
1—导条; 2—端环; 3—风扇叶片

3. 气隙

异步电动机定、转子之间的气隙是很小的,气隙与容量的关系如下表所示。

电机容量(kW)	10以下	10~100	100~1500
气隙 (mm)	0.20~0.45	0.50~0.80	0.85~1.50

气隙的大小对异步电动机的运行性能有很大影响。气隙大则磁阻大,要产生同样大小的旋转磁场,需要较大的励磁电流。励磁电流是无功电流,会使电机的功率因数降低。气隙愈小,则定子和转子之间的相互感应作用就愈好,可以降低电机的空载电流,提高电机的功率因数。但是,气隙过小,将引起装配困难,并导致运行不可靠。

二、异步电动机的结构形式

异步电动机的结构形式可分为防护式、封闭式、防爆式和开启式四种。

1) 防护式 能防止外界杂物落入电机内部,并防止与垂直线成 45° 角的任何方向的水滴等掉入电机内部。图 7-7 为防护式电机外形。

2) 封闭式 能防止水滴、尘土、铁屑等从任意方向落入电机内部。其结构如图 7-8 所示。这种电机多用于灰尘较多的场所。电动机内部的空气和机壳外面的空气相互隔开,内部的热量通过机壳的外表面散出。轴的一端装有外风扇,运行时,空气经风罩吹向机座外表面铸出的散热片,以提高冷却效果。

3) 防爆式 它将电机内部和外界的易燃、易爆气体隔开,是一种全封闭的电动机,专门用在有可燃性气体的场所,其外形如图 7-9 所示。

4) 开启式 电机除具有必要的支撑结构外,转动部分及其绕组没有专门的防护设施,与外

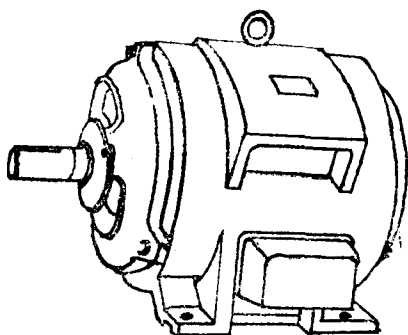


图 7-7 防护式电动机

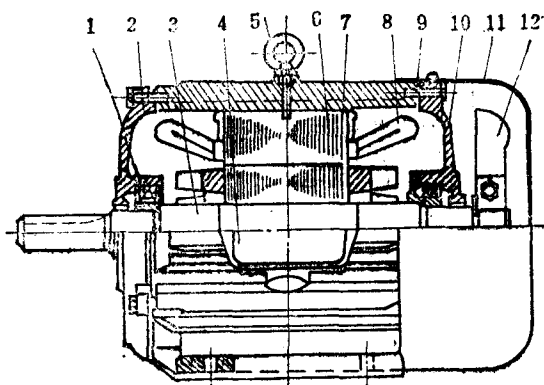


图 7-8 封闭鼠笼式三相异步电动机的结构

- 1—轴承；2—后端盖；3—转轴；4—出线盒；5—吊攀；
6—定子铁心；7—转子；8—定子绕组；9—机座；
10—前端盖；11—风罩；12—外风扇

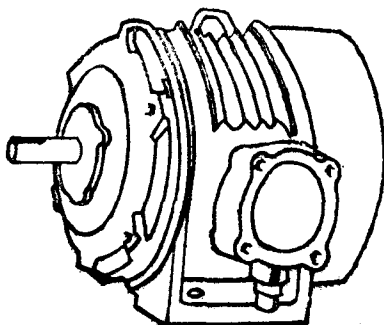


图 7-9 防爆式交流电动机

界空气直接接触,因而散热良好。

三、额定值、铭牌数据

异步电动机的额定值在机座铭牌上标出,其主要额定数据有:

- 1) 额定功率 P_e ——电动机额定运行时轴上输出的机械功率,单位是 kW。
- 2) 额定电压 U_{1e} ——额定运行时加在定子绕组上的线电压,单位为 V。
- 3) 额定电流 I_{1e} ——对应额定电压,轴端输出额定功率时,电源供给异步电动机定子绕组的线电流,单位为 A。
- 4) 额定频率 f_{1e} ——我国工业用电频率(工频)为 50 Hz。
- 5) 额定转速 n_e ——电动机在额定电压和额定频率下,轴端有额定功率输出时转子的转速,单位为 r/min。

6) 额定功率因数 $\cos \varphi_e$ ——电动机在额定电压、额定功率下工作时,定子绕组每相中相电压与相电流的相位差(即阻抗角)的余弦值。对于三相异步电动机,其额定功率可用下式计算

$$P_e = \sqrt{3} U_{1e} I_{1e} \eta_e \cos \varphi_e$$

式中 η_e ——额定效率,即额定工作时输出功率与输入功率之比,在铭牌上标出。

根据上式,输入功率 P_1 为

$$P_1 = \sqrt{3} U_{1e} I_{1e} \cos \varphi_e$$

对绕线式异步电动机,还要标明转子绕组的额定数据,包括:

7) 转子绕组额定电压——指定子绕组加额定电压、转子绕组开路时,集电环之间的线电压,单位为 V。

8) 转子额定电流——转子绕组短路、额定运行状态下,集电环之间流过的线电流,单位为 A。

此外,铭牌上还标明定子绕组的相数、接法、温升及绝缘等级等。

四、国产异步电动机主要系列

国产电机的型号一般由汉语拼音字母及阿拉伯数字组成。拼音字母表示电机的类型、结构特征和使用范围。例如 Y 系列三相异步电动机

Y315M1—6

其中 Y 代表异步电动机;

315——机座中心高;

M——机座长度代号,有 L(长)、M(中)、S(短)三种规格;

1——铁心长度代号,一般有 1、2、3 三种规格;

6——极数,表明该电机同步转速为 1000 r/min。

Y 系列三相鼠笼式异步电动机,符合国际电工协会(IEC)标准,具有国际互换性。适用于拖动无特殊要求的各种机械设备,如机床、风机、泵类等负载。主要的派生系列有:

YR 系列,是三相绕线式异步电动机,主要用于冶金和矿山企业。

YQ 系列,是高起动转矩异步电动机。

YZ、YZR 系列,是起重和冶金机械用的三相异步电动机。YZ 为鼠笼式,YZR 为绕线式。

YD 系列,是多速异步电动机。利用一套定子绕组,改变接线方法,获得双速或利用两套定子绕组获得四速,是一种有级的调速用鼠笼式异步电动机。

此外,还有多种国产的异步电动机产品系列。关于各种异步电动机的型号、规格、容量、安装尺寸及使用要求等,可查阅产品目录。

§ 7-2 三相异步电动机的工作原理

异步电动机实现能量变换的前提是在定、转子空间建立旋转磁场。有关旋转磁势和旋转磁场的基本知识在第五章中已作了说明,下面来分析其工作原理。

一、基本工作原理

异步电动机的三相绕组通入三相对称电流后,即产生了旋转磁场。旋转磁场在定、转子之间的气隙里以同步转速 n_0 旋转。根据电磁感应定律,转子导条受到旋转磁场的磁力线切割,导条

内会产生感应电势。依据右手定则,可判定转子导条感应电势的方向。图 7-10 中示出磁场按逆时针方向旋转的感应电势方向。因转子导条已构成闭合回路,则出现感应电流。若暂不考虑导条中电流与电势的相位差,电势的瞬时方向就是电流的瞬时方向。根据电磁力定律,载流导条在旋转磁场中会受到力 f 的作用,受力方向由左手定则确定。所有导条受到的电磁力产生与 n_0 方向一致的电磁转矩,转子就会随着旋转磁场同方向旋转。电磁转矩克服轴上的负载转矩做功,以实现电能对机械能的转换。这就是三相异步电动机的工作原理。

二、转速、转差率

异步电动机带负载运行时,其转速不可能达到气隙旋转磁场的转速。因为转子的转速若达到了同步转速 n_0 ,转子导条与旋转磁场之间便没有了相对运动,转子导条中不会感应出电势和电流,也就不可能产生推动转子旋转的电磁力。这就是说,异步电动机负载运行的转速,总是低于同步转速 n_0 ,两者之间总是存在着差异。这就是“异步”名称的由来。

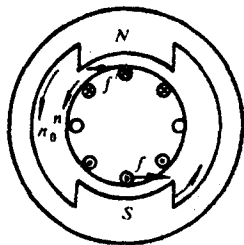


图 7-10 三相异步电动机工作原理

气隙中旋转磁场的同步转速 n_0 与转子的转速 n 之差,称为转差。转差 $(n_0 - n)$ 的存在是异步电动机运行的必要条件,将转差 $(n_0 - n)$ 用同步转速 n_0 的相对值表示,称为转差率,记作 s

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} \quad (7-1)$$

转差率 s 是异步电机运行状态的重要参量。转子转速愈接近磁场转速,转差率愈小。由于三相异步电动机的额定转速与同步转速相近,所以额定转差率很小。通常异步电动机在额定负载时的转差率约为 $0.015 \sim 0.06$,而空载转差率小于 0.005 。

当转子转速 $n=0$ 时(即起动初始瞬间), $s=1$ 。

由式(7-1)可知,转子转速

$$n = n_0(1 - s)$$

例 7-1 有一台三相异步电动机,额定转速 $n_e = 975 \text{ r/min}$ 。空载转差率为 0.00215 ,试求电动机的极数、空载转速及额定负载时的转差率。

解 因为电源频率为 50 Hz ,所以同步转速

$$n_0 = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \times 50}{p} = \frac{3000}{p} \quad (\text{r/min})$$

同步转速对应于不同的极对数有一系列固定的数值,详见第五章的说明。由于电动机的额定转速接近而略小于同步转速,显然与 975 r/min 最相近的同步转速 $n_0 = 1000 \text{ r/min}$,则极对数

$$p = \frac{3000}{n_0} = \frac{3000}{1000} = 3$$

极数

$$2p = 2 \times 3 = 6$$

空载转速

$$n'_0 = n_0(1 - s_0) = 1000 \times (1 - 0.00215) = 997.85 \text{ r/min}$$

额定转差率

$$s_e = \frac{n_0 - n_e}{n_0} = \frac{1000 - 975}{1000} = 0.025$$

§ 7-3 异步电动机转子静止时的电磁关系

异步电动机的基本工作原理,是通过电磁感应作用,把能量由定子传递到转子。这与通过电磁感应,将能量由原绕组传递到副绕组的变压器的工作原理,是很相似的。因此,可以借助对变压器的运行分析,来讨论异步电动机的磁势及电势平衡方程式,导出等值电路,进而分析其电磁转矩及运行性能。

为便于理解,以绕线式异步电动机为例,首先分析异步电动机转子静止时的电磁关系。

异步电动机转子静止有两种情况。一种是转子绕组开路,此时转子不转;另一种是转子绕组短接,轴端被卡住不能转动(即堵转状态)。下面对这两种情况分别讨论:

一、转子绕组开路状态

1. 建立分析条件

为简化分析,将绕线式异步电动机定子三相绕组接成Y形并接入电源,转子三相绕组的首端(即三个集电环)开路,如图7-11a所示。由于三相对称,只分析一相即可。对于A相来说,电的物理量可以简化为相电压 $\dot{U}_1$ 、相电流 $\dot{I}_0$ 、相电势 $\dot{E}_1$,并且假定:电流的正方向从一相绕组首端流入而从尾端流出,即从A端流向X端,电势 $\dot{E}_1$ 的正方向与电流正方向一致。键绕一相绕组的磁通正方向与其电流的正方向满足右手螺旋定则。在图7-11b中,已将定子A相绕组磁势轴线 $+\alpha_1$ 与对应的转子a相绕组磁势轴线 $+\alpha_2$ 重合。这样, $+\alpha_1$ 、 $+\alpha_2$ 轴线也就表示了定、转子该相磁通的正方向。

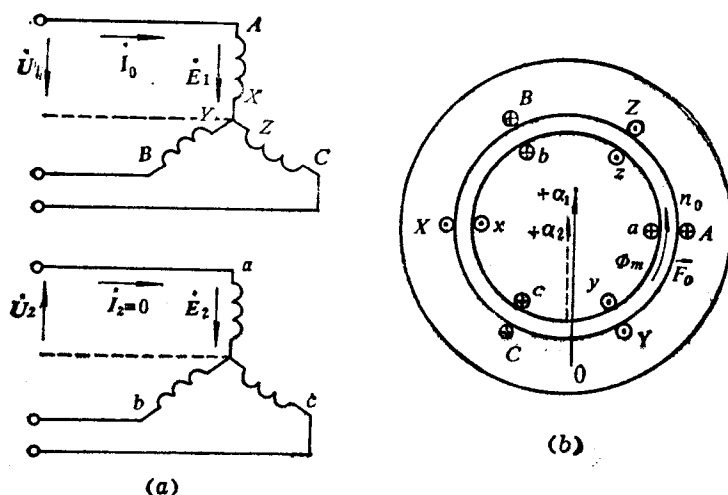


图 7-11 转子绕组开路时的异步电动机

从对交流绕组产生磁势的分析中可知,三相对称电流流过三相对称绕组,将产生合成的基波

旋转磁势及谐波磁势。基波旋转磁势的转速为同步转速 n_0 ，转向由电流的相序及三相绕组在空间的排列位置来决定。以图 7-12 中绕组的排列为例，若定子电流的相序为 $A \rightarrow B \rightarrow C$ ，则基波旋转磁势矢量 $\vec{F}_0$ 以逆时针方向旋转。

三相合成基波旋转磁势的幅值，依照第五章所做的分析，可表示为

$$F_0 = \frac{m_1}{2} 0.9 \frac{W_1 k_{w1}}{p} I_0$$

式中 m_1 ——定子绕组相数；

W_1 ——定子每相绕组串联匝数；

k_{w1} ——定子绕组系数；

I_0 ——转子绕组开路时，定子三相绕组接入电源时的一相电流。

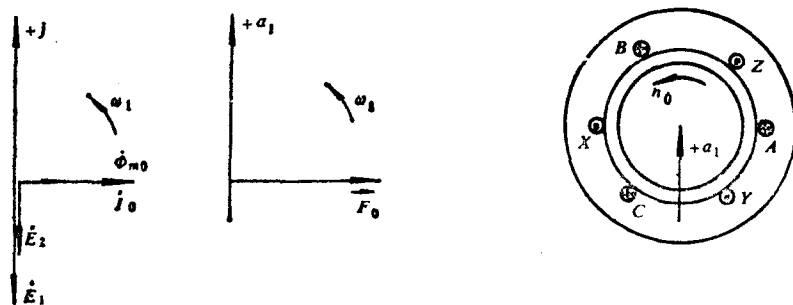


图 7-12 定子电流相量 $\vec{i}_0$ 与基波旋转磁势矢量 $\vec{F}_0$ 的时空关系

某一瞬时， $\vec{F}_0$ 在气隙空间所在的位置，可根据定子三相电流在该瞬时的大小及方向来确定。例如，当某相电流为正最大值时，三相合成基波旋转磁势在此瞬时的空间分布，其正的幅值也刚好位于该相绕组的磁势轴线上。从图 7-12 中可以看到，当 $t=0$ 时，A 相电流 $i_0=0$ ，则时间相量 $\vec{i}_0$ 再经过 $\omega_1 t = 90^\circ$ (ω_1 为定子电流角频率) 时间电角度将转到 $+j$ 轴上，即再经 $1/4$ 周期达到正最大值；与此同时，三相合成基波磁势矢量在空间也转到与 A 相绕组磁势轴线重合，即转到 $+a_1$ 轴线上。这表明，在选取时间与空间参考轴一致的条件下，时间相量 $\vec{i}_0$ 与空间矢量 $\vec{F}_0$ 具有‘同相’的性质。应该强调的是：时间相量的相位是指时间电角度，而空间矢量的角位移是指空间电角度，在分析交流电机的电磁过程时，建立时间相量(电流)与空间矢量(磁势)的时空对应关系是十分必要的。这也是进行分析的前提条件。

2. 主磁通、漏磁通

当转子绕组开路时，转子绕组中不存在电流，因而不产生转子磁势。在这种情况下，磁路上只有定子三相电流产生的磁势并建立磁通。类似对变压器所作的分析，把通过气隙同时链绕着定、转子两个绕组的磁通称为主磁通，气隙中每极的主磁通用 Φ_{m0} 表示；而不链绕着转子绕组只链绕着定子绕组本身的磁通，则称为定子绕组漏磁通，并用 $\Phi_{\sigma 1}$ 表示(参见图 7-13)。

定子电流产生的漏磁通包括槽漏磁通(图 7-14a)、端部漏磁通(图 7-14b)和谐波漏磁通三部分。定子绕组端接部分流过电流时产生的磁通，实质上是与三相绕组通入三相电流有关的。由

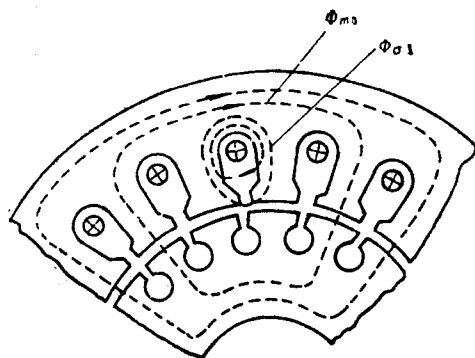
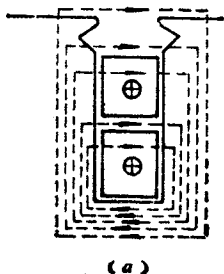
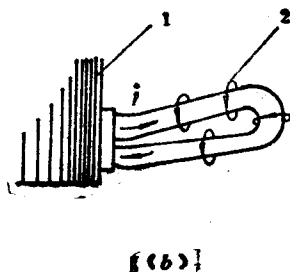


图 7-13 转子绕组开路时的主磁通与漏磁通



(a)



[(b)]

图 7-14 槽漏磁及端部漏磁

1—铁心；2—端接漏磁

于距转子气隙大,其中的绝大部分不会与转子绕组链绕,因此归为漏磁通。此外,定子三相合成磁势中的高次谐波磁势产生的高次谐波磁通也归为漏磁通,即谐波漏磁通。严格说来,它是通过气隙与转子相链绕的磁通,与槽漏磁通、端部漏磁通是有区别的。鉴于存在这种差别,也将高次谐波磁通称为差别漏磁通。总的来看,漏磁通并不是只由一相绕组单独的磁势产生的。将其归入一相电流的漏磁来处理,在计算上是较为简便的。

上述内容可概括为:主磁通 Φ_{m0} 是由三相绕组通入三相对称电流建立的合成基波旋转磁势产生的,主磁通穿过定、转子铁心,同时链绕着定、转子各相绕组,受磁路饱和程度的影响较大;漏磁通 $\Phi_{\sigma 1}$ 是归算为一相绕组的漏磁,认为只链绕着定子一相绕组,受磁路饱和程度的影响较小。主磁通与漏磁通的这种不同性质,对异步电机的电磁分析,具有重要意义。

3. 定、转子绕组感应电势

转子绕组开路时,气隙中以 n_0 同步转速旋转的主磁通 Φ_{m0} , 总量值是不变的。但对于定子一相绕组来说,与该相绕组交链的磁通却是变量。例如对于定子 A-X 绕组,依照第五章的分析,其交链磁通为

$$\phi = \Phi_{m0} \sin \omega_1 t$$

规定 e, ϕ 的正方向满足右手螺旋定则。

于是

$$\begin{aligned} e_1 &= -W_1 k_{w1} \frac{d\phi}{dt} = -W_1 k_{w1} \frac{d}{dt} \Phi_{m0} \sin \omega_1 t \\ &= -W_1 k_{w1} \omega_1 \Phi_{m0} \cos \omega_1 t = W_1 k_{w1} \omega_1 \Phi_{m0} \sin (\omega_1 t - 90^\circ) \end{aligned}$$

考虑到 $\omega_1 = 2\pi f_1$, $\Phi_{m0} = \Phi_{m0}/0^\circ$, 以相量表示

$$\dot{E}_1 = -j \frac{2\pi f_1}{\sqrt{2}} W_1 k_{w1} \Phi_{m0} = -j 4.44 f_1 W_1 k_{w1} \Phi_{m0} \quad (7-2)$$

同理,对转子上相对应的一相绕组 a-x, 其轴线 $+\alpha_2$ 与 $+\alpha_1$ 一致时,感应电势

$$\dot{E}_2 = -j4.44f_1 W_2 k_{w2} \Phi_{m0} \quad (7-3)$$

式中 $W_2 k_{w2}$ ——转子一相绕组的有效匝数；

$$f_1 = \frac{n_0 p}{60}, p \text{——绕线式转子的极对数。}$$

由于定、转子绕组具有相同的极对数，所以定、转子绕组中感应电势频率相同。两者有效值为

$$E_1 = 4.44f_1 W_1 k_{w1} \Phi_{m0}$$

$$E_2 = 4.44f_1 W_2 k_{w2} \Phi_{m0}$$

定、转子每相绕组感应电势之比

$$k_e = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1 k_{w1}}{W_2 k_{w2}} \quad (7-4)$$

k_e 称为电势变比，因而

$$E_1 = k_e E_2$$

令

$$E'_2 = k_e E_2$$

则

$$E_1 = E'_2$$

上式说明，如果把异步电动机转子绕组每相串联的有效匝数，由原来的 $W_2 k_{w2}$ 换成与定子绕组完全相同的串联有效匝数 $W_1 k_{w1}$ ，则转子每相绕组感应电势的有效值就是 E_1 。

定子漏磁通 $\Phi_{\sigma 1}$ ，在定子绕组中感应漏感电势 $\dot{E}_{\sigma 1}$ 。在设 $\dot{E}_{\sigma 1}$ 与 I_0 正方向一致的条件下， $\dot{E}_{\sigma 1}$ 的相位滞后电流 I_0 相位 90° 电角度。与对变压器所作的分析相似，将其看作定子电流 I_0 在定子漏电抗 x_1 上的压降，则

$$\dot{E}_{\sigma 1} = -jI_0 x_1 \quad (7-5)$$

式中 $x_1 = 2\pi f_1 L_{\sigma 1}$ ， $L_{\sigma 1}$ ——定子绕组漏感系数。

定子一相绕组的电阻压降

$$\dot{U}_{r1} = I_0 r_1 \quad (7-6)$$

式中 r_1 ——定子绕组每相电阻。

根据上述分析，可得定子绕组一相电路的电压平衡方程式

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 - \dot{E}_{\sigma 1} + \dot{U}_{r1}$$

将式(7-5)、式(7-6)代入，得

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 - I_0 r_1 + jI_0 x_1 = -\dot{E}_1 + I_0 Z_1 \quad (7-7)$$

式中 $Z_1 = r_1 + jx_1$ ——定子绕组的漏阻抗。

在作定性分析时，因漏阻抗压降很小，通常可认为

$$\dot{U}_1 \approx -\dot{E}_1$$

因此

$$U_1 \approx E_1 = 4.44f_1 W_1 k_{w1} \Phi_{m0}$$

上式表明，当漏阻抗压降的影响很小时，三相异步电动机的电势 E_1 近似等于外加电压，而产生 E_1 的主磁通量值基本不变。在这种情况下，可以说外加电压的大小就决定了异步电机气隙