

家用电器专业试用教材

家用电器常用电机

贾大义 编

美好的明天
要靠自己创造

郑州轻院家用电器教研室

PDG

目 录

前 言

第一章 单相异步电动机的结构和基本原理.....1

§ 1-1 单相异步电动机的特点与分类.....1

§ 1-2 单相异步电动机的绕组.....5

§ 1-3 单相异步电动机的磁势和磁场.....12

§ 1-4 单相异步电动机的分析与计算方法.....21

第二章 正交双绕组单相异步电动机的运行与调速36

§ 2-1 单相电阻起动异步电动机.....36

§ 2-2 单相电容起动异步电动机.....45

§ 2-3 单相电容运转异步电动机.....50

§ 2-4 单相异步电动机的调速方法.....54

第三章 非正交绕组单相异步电动机71

§ 3-1 罩极式单相异步电动机.....71

§ 3-2 非正交双绕组单相异步电动机.....89

§ 3-3 三绕组电容电动机.....95

第四章 单相串励换向器电动机103

§ 4-1 单相串励换向器电动机的结构.....103

§ 4-2 单相串励换向器电动机的工作原理与特性.....106

§ 4-3 换向过程和改善换向的方法.....110

§ 4-4 单相串励换向器电动机的噪声和无线电干扰及其抑制方法.....114

第五章 永久磁钢和永磁直流电机122

§ 5-1 永久磁钢的特性和永磁材料.....122

§ 5-2 永久磁钢工作点的确定和永磁磁路的计算.....125

§ 5-3 永磁式直流电动机.....137

§ 5-4 永磁式无刷直流电动机.....148

第六章 微型同步电动机163

§ 6-1 磁阻(反应)式同步电动机.....163

§ 6-2 微型磁滞同步电动机.....170

§ 6-3 单相永磁式步进电动机.....179

第一章 单相异步电动机的结构和基本工作原理

§ 1-1 单相异步电动机的特点与分类

单相异步电动机的结构与三相异步电动机相似,可分为定子和转子两大部分。单相异步电动机的转子多为笼型转子,定子通常有两个绕组,由单相交流电源供电。由于这种电机结构简单、价格低廉、运行维护方便,故被广泛用于电动工具、仪器仪表、医疗器械和家用电器等领域。单相异步电动机的气隙磁场通常是椭圆旋转磁场,因而效率和功率因数等要比三相异步电动机差,只宜做成小功率的电动机,功率范围一般为数瓦到数百瓦,过去习惯上称之为分马力电动机。

早在50年代我国就已开始生产各种系列的单相异步电动机,70年代又生产BO、CO、DO三种新系列的单相异步电动机。但总的说来,限于工业用途,品种和数量都有限。进入80年代,家用电器工业迅速发展,单相异步电动机的需要量急剧增加,且因家用电器品种繁多,对电动机的要求各不相同,需要设计制造多种专用的单相异步电动机。80年代初,洗衣机用单相异步电动机已有了国产系列产品(XPD系列),但其它家用电器所需电机仍由各专业厂独立设计制造,或者引进国外技术设备进行生产。事实上我国家用电器工业还处于发展阶段,新产品还会不断出现,它们所需的单相异步电动机完全实现系列化、标准化是很困难的,也未必有此必要。

单就一台家用电器产品来说,消耗的电能和原材料似乎有限,但我国年产的电风扇已达2000万台,洗衣机1400万台,电冰箱也有几百万台,总的电能和原材料的消耗量却是一个巨大的数字。我国能源和原材料供应十分紧张,研制节省电能和原材料的高效能电动机就不仅是个技术问题,而且有着重大的经济意义。近年来,国内一些研究所或高等院校对单相异步电动机做了大量研究工作,无论理论上还是实践上都取得了很大进展,本书将尽可能反映这些新成果。

单相异步电动机的种类很多,但根据起动方式,起动性能和工作性能的区别,通常可分为单相电阻起动异步电动机、单相电容起动异步电动机、单相电容运转异步电动机、单相电容起动和运转异步电动机、单相罩极式异步电动机和单相串励换向器电动机等六类。这种分类方法是从家用电器和电动工具常用的驱动微电机来考虑的,不包括特殊用途的单相异步电动机。下面对各类单相异步电动机作一简要介绍。

一、单相电阻起动异步电动机

这类电机的两个绕组在空间位置上通常相距 90° 电角度,分别称为主绕组 m 和副绕组 a 。副绕组的匝数比主绕组少,线径也较小。起动时,副绕组回路中的开关 k 闭合,主、副绕组同时接到单相电源上。由于副绕组的电阻与电抗之比相对来说比较大,副绕组的电流 I_2 将超前于主绕组电流 I_1 。主、副绕组的合成磁势是一个椭圆旋转磁势,并在电机的气隙中建立起一个椭圆旋

电阻起动的单相异步电机：电冰箱
冰柜

转磁场。在此磁场作用下，笼型转子将沿着副绕组到主绕组的方向旋转。待转子转速达到额定转速的80%左右，开关 k 打开，仅留主绕组单独工作。图1-1表示出这类电机的原理图和它的机械特性曲线。图中 R 表示转子， T/T_N 为输出转矩与额定转矩之比。这类电机的起动和过载能力居各类单相异步电动机的中等水平，适用于小型鼓风机、医疗器械和家用电器等领域，家用电冰箱、冰柜等几乎都采用它来驱动压缩机。

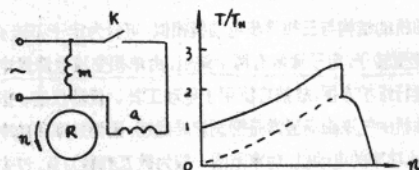


图1-1 单相电阻起动异步电动机的原理图和机械特性

二、单相电容起动异步电动机

此类电机的结构与单相电阻起动异步电动机基本相同，但副绕组回路除了开关 k 外，还串联了一个电容 C_m 。起动时，开关 k 闭合，两绕组同时接到单相电源上。如果电容的大小合适，两绕组的匝数比也合适，副绕组的电流 I_2 将超前主绕组电流 90° ，两绕组的磁势幅值相等，合成磁势为一圆旋转磁势，故其起动性能最佳。当转子的转速达到额定转速的80%左右，可打开开关 k ，

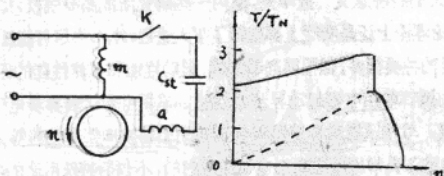


图1-2 单相电容起动异步电动机的原理图和机械特性

仅留主绕组单独工作，从正常运行方面看，这种电机的性能和单相电阻起动异步电动机基本相同。起动电容 C_m 的电容量约为十几微法到数十微法，价格较高，故这类电机仅用于小型空气压

电容起动的单相异步电机：{ 压缩机
粉碎机
空调机

压缩机、粉碎机、空调器等重载起动的场合。起动电容 C_s 是短时工作的，可以使用价格较低的电解电容。图1-2是这类电机的原理图和机械特性曲线。

三、单相电容运转异步电动机 (电风扇、洗衣机)

这类电机的副绕组回路有一个串联的运转电容 C_r ，它和主绕组一起接在单相交流电源上，不需要起动开关。电容 C_r 的作用是使正常运行时的定子合成磁场接近圆旋转磁场，因而效率和功率因数比前两类电机高。 C_r 的电容量比单相电容起动异步电动机所需的电容 C_s 小得多，起动转矩相对说来比较小，故这类电机常用于电风扇、洗衣机等轻载起动的场合。电容 C_r 长期承受高电压，宜选用油浸纸介电容器或金属膜电容器。图1-3是这类电机的原理图和机械特性曲线。

$C_r \ll C_s$ 小得多

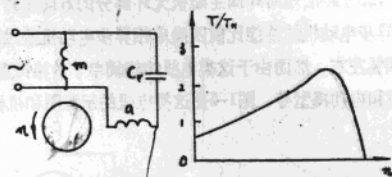
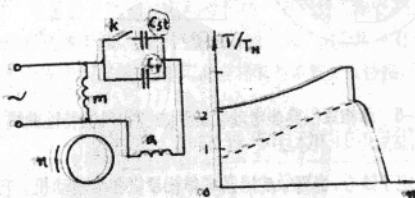


图1-3 单相电容运转异步电动机的原理图和机械特性曲线

四、单相电容起动和电容运转异步电动机

如果希望起动性能和运行性能都能达到最佳水平，可采用本类电机。它的原理图和机械特性



共同特点：

$$Q = \frac{N_a \cdot K_{N1a}}{N_m \cdot K_{N1m}}$$

图1-4 单相电容起动和电容运转异步电动机的原理图和机械特性曲线

性曲线如图1-4所示。起动时，开关 k 闭合起动电容 C_s 和运转电容 C_r 并联，再串入副绕组回路接到单相交流电源上。起动后，开关 k 断开，电容 C_s 被切除，电机进入电容运转状态。但是，由于使用了两个电容，成本较高，仅用于小型机床、泵和空调器等设备中。

应该指出,上述四类单相异步电动机虽然结构相似,但它们的绕组参数却不同,仅靠改变外部接线或增减电容并不能得到四类性能不同的单相异步电动机。上述四类电机的重要差别在于它们各自的主、副绕组有效匝数比 $a = \frac{N_{1s}K_{N1s}}{N_{2s}K_{N2s}}$ 不同。 $N_{1s}K_{N1s}$ 和 $N_{2s}K_{N2s}$ 分别为主、副绕组的匝数与绕组系数的乘积。对于单相电阻起动异步电动机来说, a 值的范围为0.4~0.7;电容起动异步电动机的 a 值范围为0.7~1.4;电容运转异步电动机的 a 值范围为1.0~2.0。

五、单相罩极式异步电动机

这类电机的定子大都做成凸极式,转子仍为笼型。定子磁极上装有线圈,相当于主绕组;定子磁极极面的 $\frac{1}{3}$ 左右处各开一槽,内装一短路的金属环,起副绕组作用。主绕组接通电源后产生主磁通,其中穿过短路环的部分磁通将在短路环中感应电势并产生电流,短路环中的电流必定滞后于主绕组电流。两绕组的合成磁势为椭圆旋转磁势,在电机的气隙中建立一个椭圆磁场。在此磁场作用下,转子将沿短路环向主磁极无环部分的方向旋转。但因旋转磁场的椭圆度比较大,单相罩极式异步电动机的性能比前四类单相异步电动机差,效率仅为20%左右,起动转矩仅为额定转矩的30%左右。然而由于这类电机结构简单、价格低廉,常用于力能指标要求不高的电风扇、电唱机和电动模型等。图1-5是这类电机的示意图和机械特性曲线。

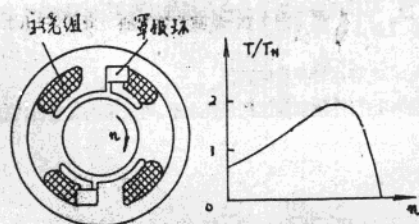


图1-5 单相罩极异步电动机的示意图和机械特性曲线

利用一般多齿槽的定子铁心,也可做成隐极式单相罩极异步电动机。它的主绕组与一般单相异步电动机相同,副绕组则做成匝数不多的短路线圈,且其轴线偏离主绕组轴线的角度应小于90°电角度。显然这种结构没有充分发挥铁心的作用,所以比较少见。

近年来,国内外对这类电机做了不少研究和改进工作,性能在逐渐改善,所以还是有发展前途的。

六、单相串励换向器异步电动机

这类电机的结构与串励直流电动机相似,定子上有主磁极和励磁线圈,转子上有电枢绕组和换向器,励磁绕组通过电刷与电枢绕组串联。根据直流电动机的工作原理可知,当励磁绕组

一、二、三

和电枢绕组的电流方向同时改变时,电磁转矩的方向并不改变,故串励换向器电动机可以交、直流两用。但在交流电压下工作时,励磁绕组和电枢绕组都会产生电抗压降,使得速率电势和转速降低。为了使交、直流运行速度相同,励磁绕组应有两个抽头以适应不同电源。

单相串励换向器异步电动机的额定转速比较高,其范围为4000~25000转/分。由于这类电动机的转速不等于同步速,也将其列为异步电动机。但是这类电机的气隙磁场并非旋转磁场,转子电流也不完全靠电磁感应原理产生,它的工作原理与一般感应式异步电动机是不相同的。这类电机的另一个特点是其机械特性为软特性,过载能力很强。另一方面,这类电机可采用调压、改变主磁通、串联可控硅等多种方法调速,是一般单相异步电动机难以做到的。图1-6是这类电机的原理图和机械特性曲线。

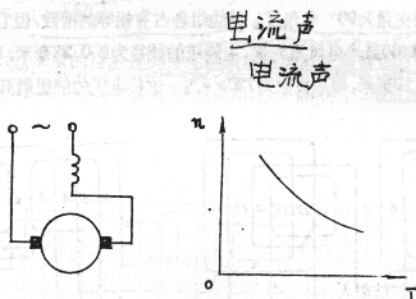


图1-6 单相串励换向器异步电动机的原理和机械特性曲线

由于这类电机的转速高、体积小、调速方便、可交直流两用,故广泛用于电动工具、医疗器械和家用电器。常见的手电钻、电动缝纫机、真空吸尘器等就是这类电机的典型应用实例。这类电机的缺点是效率低、换向性能差、噪音大、对无线电有干扰。此外,这类电机空载或轻载时转速将大大高于额定转速,使用时应将其与负载直接连接,带负载起动。

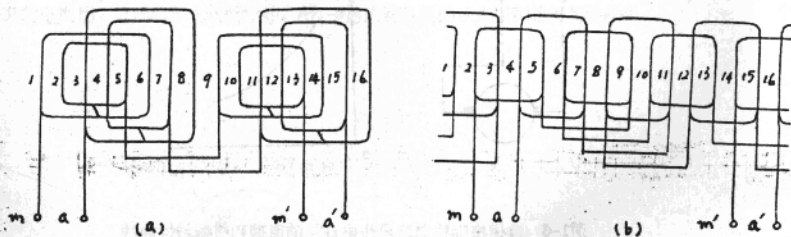
§ 1-2 单相异步电动机的绕组

单相异步电动机定子绕组的构成原理与三相交流电机基本相同,但由于单相异步电动机有其本身的特点,因而其定子绕组也有其特点。首先,单相异步电动机的尺寸较小,定子槽数比较少,难以像三相交流电机那样采用双层分布短距绕组。为便于嵌线和提高槽面积的利用率,绝大多数电风扇和通风机用的单相异步电动机都采用单叶同心式或链式绕组。对于功率很小,性能要求不高的简易电风扇或电唱机用的单相异步电动机则可采用集中绕组。罩极式单相异步电动机的定子线圈就是典型实例。其二,单相异步电动机定子的每极每相槽数 q_1 较小,采用单层

绕组时高次谐波磁势的幅值比较大，其中三次谐波合成磁势也不为零，会对电机的性能带来许多不利影响。因此，对性能要求比较高，容量相对来说比较大的单相异步电动机大都采用所谓正弦绕组。这种绕组的每个线圈匝数是不相等的，部分槽内是双层的。正弦绕组的绕制和嵌线虽然比较复杂，但对削弱高次谐波磁势有很大好处。其三，单相异步电动机采用单相电源供电，为了解决起动问题和改善运行性能，通常有主、副两个绕组，但二者的串联匝数和所占槽数往往是不相同的，它们的轴线空间夹角可以是 90° 电角度或任意电角度。也就是说主、副绕参数不一定相等，电势和磁势也未必对称。因此，单相异步电动机的分析计算要比三相异步电动机复杂。下面介绍单相异步（感应）电动机常用的几种绕组。

一、单层绕组

国产400毫米台式电风扇所用的单相异步电动机，一般都采用16槽、4极单层绕组，主绕组和副绕组轴线的空间夹角为 90° 电角度。两绕组各占有相等的槽数，但它们的线径和串联匝数却不相同。以钻石牌400毫米电风扇为例，主绕组的线径为 $\phi 0.23$ 毫米，串联匝数为 570×4 匝；副绕组的线径为 $\phi 0.19$ 毫米，串联匝数为 720×4 匝。这种电机的绕组展开图如图1-7所示，图的



(a) 同心式 (b) 链式

图1-7 $Z_1=16$ 、 $2p=4$ 的单层绕组

左方为同心式，右方为链式。图中为了清晰起见把主、副绕组画得长短不等，实际上是一样大小。从原理上讲，两种形式是等效的，但链式端部比较短，空间分布均匀，实际生产中多采用这种形式。嵌线的顺序一般是先主绕组，后副绕组。上面所举的实例是基本原理图。有些实际产品，在主绕组或副绕组还有一些抽头，用于调速或装指示灯，详见后续章节。国产华生牌电风扇用电机采用8槽、4极的单层绕组，见图1-8。同一槽内虽有两个线圈边，但却属于同一绕组，电位差不大，无需使用层间绝缘，故仍可视作单层绕组。由于定子槽数由16个减少为8个，铁心冲片模具大为简化，使用寿命延长，降低了成本。从性能对比来看，采用8槽的电机和16槽的电机并无明显差别。

在一些电阻起动或电容起动的单相异步电动机中，副绕组只占用总槽数的 $\frac{1}{3}$ ，而主绕组

正弦绕组: ① 主绕组每个线圈的匝数相等, 都分槽内数又倍

② 主绕组串联匝数和所占槽数是不相同的

③ 正弦绕组有有效抑制谐波谐波

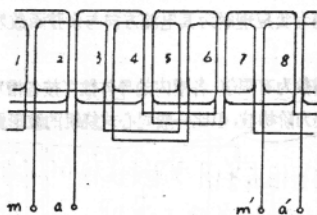


图1-8 $Z_1=8, 2p=4$ 的单层绕组

主绕组的槽数不等

50% 槽数 (11/12)

占用总槽数的 $\frac{2}{3}$ 。(这样做的目的是为使主绕组的磁势波形更接近正弦波, 从而提高运行性能。图1-9是定子槽数 $Z_1=24$, 极对数 $p=2$ 的单层绕组, 主、副绕组都做链式。但主绕组占用总

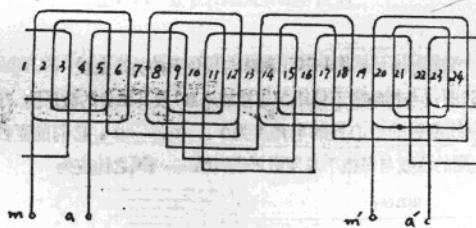


图1-9 $Z_1=24, 2p=4$ 的单层绕组

槽数的比例也不宜过大, 否则分布系数过小, 用铜量增多, 成本增加。

关于单层绕组的绕组系数, 电势和磁势的计算方法已在交流电机的基本理论中讲过, 这里不再重复。

二、正弦绕组

1. 正弦绕组的构成

在直流电机部分曾介绍过线负荷的概念, 它表示沿电枢表面单位长度上的安培导体数, 通常用 $A(x)$ 表示, 变量 x 是气隙圆周各点的空间位置。根据安培全电流定律, 线负荷 $A(x)$ 与磁势 $f(x)$ 之间有下列关系

$$f(x) = \int_0^x A(x) dx \quad (1-1)$$

之间有下列关系

欲使磁势 $f(x)$ 按正弦规律变化, 则 $A(x)$ 当按余弦规律变化, 见图1-10。而欲使 $A(x)$ 按余弦规律变化则应使定子槽数为无穷多个, 且绕组在各槽中的导体数按连续的余弦变化。应说明, 当某点余弦函数值为负应理解为其电流方向与余弦函数为正点的电流方向相反, 并非导体数为负值。

实际的定子槽数为有限值, 各槽内的导体数可按各槽对应的余弦函数成正比地来确定。此时磁势的波形虽仍为阶梯波, 但比一般同心式绕组的波形更接近正弦波, 图1-11是一个极距下

正弦波

同心式绕组, 采用主副绕组所占的槽数不同, 目的是使主绕组磁势波形接近正弦波。

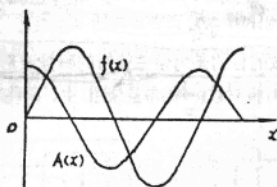


图1-10 磁势与线负荷的关系曲线

的正弦绕组展开图 (与相邻极下绕组的连接线未画) 及其磁势的波形图。设线圈 $11'$ 、 $22'$ …… $55'$ 的线圈边距线圈组的中心线的电角度为 α_1 、 α_2 …… α_s , 它们的匝数分别为 N_1 、 N_2 …… N_s 。那么, 各线圈的匝数与每极下总匝数 $N=N_1+N_2+\dots+N_s$ 之比应为

$$\frac{N_1}{N} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2 + \dots + \sin \alpha_s}$$

$$\frac{N_2}{N} = \frac{\sin \alpha_2}{\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2 + \dots + \sin \alpha_s}$$

(1-2)

$$\frac{N_s}{N} = \frac{\sin \alpha_s}{\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2 + \dots + \sin \alpha_s}$$

由图1-11和式(1-2)可知, 线圈的跨距越小, 其匝数也越少, 对磁势波形的影响也减小。所以靠近线圈组中心线附近的一些槽可以不安排线圈。通常正弦绕组占用的槽数约为总槽数的 $\frac{2}{3}$ 左右, 这样做可以提高绕组系数, 节省铜线, 磁势中的高次谐波也不会超过允许的限度。另一方面, 靠近线圈组中心线的一些槽恰好是另一个绕组中匝数较多的线圈应占的位置。采取上述措施可减少同一槽中有两个线圈边的情况, 有利于嵌线。

在图1-11中最大线圈的跨距比极距少一槽,这是构成正弦绕组的一种方法,另一种方法是使最大线圈的跨距为整距。为使每个线圈组在结构上对称,可把这个整距线圈分成匝数相等的

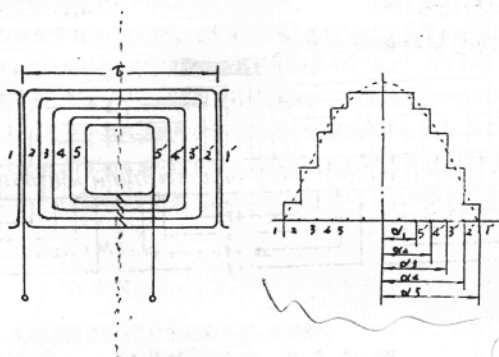


图1-11 正弦绕组及其磁势波形

两部分,使之分属相邻的两个线圈组。图1-12是这种正弦绕组的展开图和磁势波形图,在计算

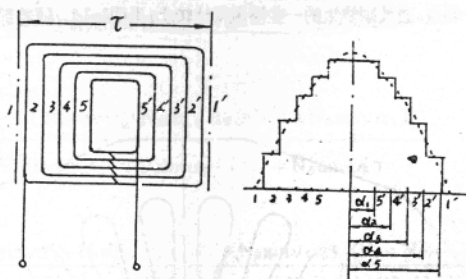


图1-12 正弦绕组的另一种构成方法及其磁势波形图

各线圈所占比例时,式(1-2)中 $\sin\alpha$ 项均应以 $0.5\sin\alpha$ 代之。后一种方法可使绕组系数有所提高,但做线时比较麻烦。

按照一般绕组展开图的画法绘制正弦绕组展开图不仅复杂而且各线圈的匝数,以及主、副绕组的相对位置都不好表示。实际生产中采用图1-13的形式来表示正弦绕组。图中小方格中的数字代表槽号,上方为主绕组,下方为副绕组,同时还标出了各线圈的匝数。此图是广州冰箱

压缩机厂生产的90瓦冰箱压缩机电机的定子绕组图。

从图1-13这个实例中可看出，它的线圈匝数并未按式(1-2)严格计算，而是作了适当调整。

1. 图1-13 改为标准正弦绕组 (原匝数不变)

计算绕组匝数

按图设计的绕组匝数

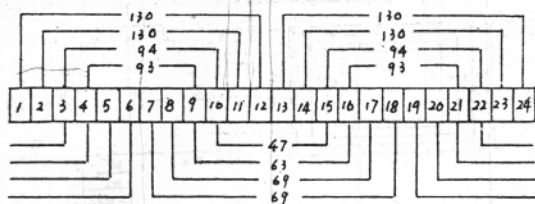


图1-13 Z-24. 2p-2的正弦双绕组

这样做的目的是使各槽的槽满率基本相等，从而提高槽面积的利用率。但是这种调整也不是任意的，需要对谐波磁势进行计算，只有高次谐波的幅值不超过允许限度时才是可行的。

图1-13所举的电机是单相电阻起动异步电动机，它的主绕组线径为0.55毫米，副绕组的线径为0.26毫米，且前者的匝数远大于后者，因此，副绕组每个线圈所需要的槽面积也比较小，为了适应这个特点，嵌放副绕组的一些槽做得比较小，见图1-14。随着部分槽形变小，冲片的长度

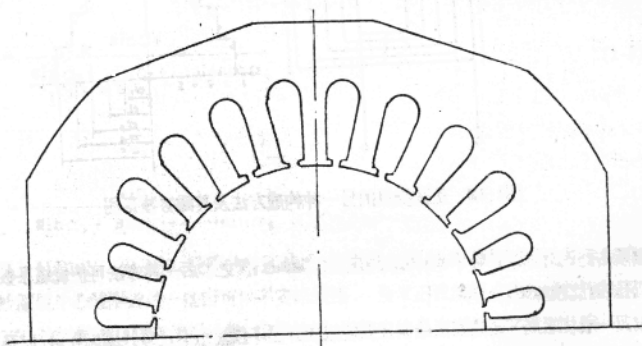
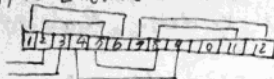


图1-14 异形槽定子冲片

2. 国产 80 瓦电动机白 2P=4, 采用下圈绕组. 材料 1.35 / 大绕组示谐波谐波



和宽度也不相同, 可以节省钢材. 这种槽形不同、长宽各异的冲片叫做异形槽冲片. 在单相异步电动机中, 类似异形槽冲片的结构变异, 以后还会遇到.

2. 正弦绕组的绕组系数和谐波强度

一个正弦绕组共有 $2p$ 个线圈组, 它们在空间上依次移过一极距. 当有电流流过绕组时, 会产生极对数为 p 的脉振磁势, 其幅值应位于各线圈组的中心线上. 由于各极下的情况相同, 因此在计算绕组系数时, 只需对一个线圈组进行分析就够了. 从线圈的中心线看, 两侧的导体分布是对称的, 每个线圈产生的基波磁势的幅值都位于线圈组的中心线上, 所以计算基波磁势时只需考虑矩距的影响, 而不必考虑分布问题. 现在仍以图 1-11 所示的正弦绕组为例, 各线圈的匝数分别为 $N_1, N_2, \dots, N_6$, 对应的跨距为 $2\alpha_1, 2\alpha_2, \dots, 2\alpha_6$, 故正弦绕组的基波绕组系数应为

$$K_{N1} = \frac{N_1 \sin \alpha_1 + N_2 \sin \alpha_2 + \dots + N_6 \sin \alpha_6}{N_1 + N_2 + \dots + N_6} \quad (1-3)$$

式中的 $\sin \alpha$, 实际上就是线圈 11' 的矩距系数, 余类推.

对于 v 次谐波来说, 应有 $\alpha_{v1} = v \alpha_1, \alpha_{v2} = v \alpha_2, \dots, \alpha_{v6} = v \alpha_6$, 故 v 次谐波的绕组系数应为

$$K_{Nv} = \frac{N_1 \sin v \alpha_1 + N_2 \sin v \alpha_2 + \dots + N_6 \sin v \alpha_6}{N_1 + N_2 + \dots + N_6} \quad (1-4)$$

为了衡量谐波磁势的大小, 现在介绍谐波强度的概念. 设 v 次谐波磁势的幅值为 F_v , 它与基波磁势的幅值之比称为 v 次谐波的谐波强度 h_v , 即

$$h_v = \frac{\frac{4}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} I (N_1 \sin v \alpha_1 + N_2 \sin v \alpha_2 + \dots + N_6 \sin v \alpha_6)}{\frac{4}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} I (N_1 \sin \alpha_1 + N_2 \sin \alpha_2 + \dots + N_6 \sin \alpha_6)}$$

$$= \frac{1}{v} \frac{(N_1 \sin v \alpha_1 + N_2 \sin v \alpha_2 + \dots + N_6 \sin v \alpha_6) / (N_1 + N_2 + \dots + N_6)}{(N_1 \sin \alpha_1 + N_2 \sin \alpha_2 + \dots + N_6 \sin \alpha_6) / (N_1 + N_2 + N_6)}$$

$$= \frac{K_{Nv}}{v K_{N1}} \quad (\text{单相单绕组}) \quad (1-5)$$

3. 单相电阻异步电动机 $P=1, R_1=20.3, X_1=19.2, R_2=17.1, X_2=33.8$
 $X_m=490, P_{mec}=5.8W, P_{Fe1}=15.5, P_{Fe2} \approx 0$

求: $S=0.02104, P_{mec}, P_2, P_1, \eta, \cos \phi$.

4. 单相电容运转异步电机 $2p=4$ $P=250W$ $n_N=1443 \text{ 转/分}$
 $R_1=19.61$, $X_1=7.45$ $R_2=10.76$ $X_2=14.67$ $X_{\mu 1}=138.1$, $R_{1\sigma}=38.9$
 $X_{1\sigma}=19.29$ $R_c=13$, $X_c=-398$ $P_{Fe}+P_{Fe\sigma}=12W$, $P_{Fe}=20.5$
 <正反双绕组>

现在观察一台单相电容运转异步电动机, 它的额定容量 $P_N=250W$, 极数 $2p=4$, 定子槽数 $Z=24$ 。主、副绕组均为正弦绕组, 其结构及各线圈的匝数如图1-15所示。经计算, 本例的绕组系数和谐波强度如表1-1所示。从这些数据可以看出, 正弦绕组可以有效地抑制高次谐波磁势, 其它形式的绕组是达不到这样的水平的。

求: $2f, 2b, 2m, 2a$ $P_{me}, P_2, \eta, \cos\phi$
 T_0

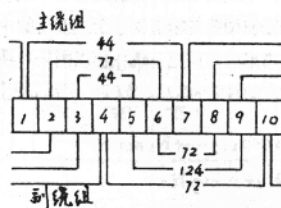


图1-15 $Z=24$, $2p=4$ 的正弦绕组

表1-1 下例的绕组系数和谐波强度

v		1	3	5	7	9
主绕组	K_{Nv}	0.8041	0	0.0041	0.0041	0
	h_N		0	0.001	0.0007	0
副绕组	K_{Nv}	0.8037	0	0.0024		0
	h_v		0	0.0006	0.0004	0

为了计算方便, 人们已将标准正弦绕组应占用的槽数、匝数分配比例、绕组系数和谐波强度等数据汇总成表格形式, 编入电机设计书籍供查阅。

§ 1-3 单相异步电动机的磁势和磁场

单相异步电动机运行时, 可以仅有主绕组单独工作, 也可以是主、副绕组同时工作。一般而言, 单相异步电动机的定子基波合成磁势为椭圆旋转磁势(包括脉振磁势), 且运行中合成磁

势的椭圆度是随负载变化的,因而分析计算工作要比三相异步电动机复杂。另一方面,虽然有一些单相异步电动机采用了正弦绕组,高次谐波磁势的影响比较小,但是还有大量单相异步电动机采用单层绕组,其高次谐波磁势的含量与幅值远比三相异步电动机大。此外,不论绕组的形式如何,电机的气隙磁场总会受到定、转子齿槽的影响,产生齿谐波磁场。所有这些因素都会对单相异步电动机的性能产生很大影响。因此,在研究单相异步电动机的原理和性能之前必须对其磁势和磁场有一个全面的认识。

一、基波磁势

1. 脉振磁势

单相电阻起动或电容起动异步电动机正常运行时,只有主绕组单独工作,定子基波磁势为脉振磁势,它可以分解为两个幅值相同,转速相等而转向相反的圆旋转磁势,即

$$f_1(x, t) = F_1 \cos \frac{\pi}{\tau} x \cos \omega t = \frac{F_1}{2} \cos \left(\frac{\pi}{\tau} x - \omega t \right) + \frac{F_1}{2} \cos \left(\frac{\pi}{\tau} x + \omega t \right) \\ = f_{1f}(x, t) + f_{1b}(x, t) \quad (1-6)$$

式中 $f_{1f}(x, t) = \frac{F_1}{2} \cos \left(\frac{\pi}{\tau} x - \omega t \right)$ 称为正序磁势;

$f_{1b}(x, t) = \frac{F_1}{2} \cos \left(\frac{\pi}{\tau} x + \omega t \right)$ 称为负序磁势。

现在可根据迭加原理分别考虑正、负序磁势的作用。

定子的正序磁势建立起正转的正序磁场,它和转子感应电流产生的正序磁场迭加形成正序合成磁场,并产生正序的电磁转矩 T_f 。它和转差率 s 的关系如图 1-16 中上方曲线所示。与此同时,定子的负序磁势建立起负序磁场,它和转子感应电流产生的负序磁场迭加形成负序的合成磁场,并产生负序的电磁转矩 T_b 。但因转子对负序磁场的转差率为 $2-s$,故 T_b 与 s 的关系曲线如图 1-16 中下方曲线所示。正、负序电磁转矩之和称为合成电磁转矩,

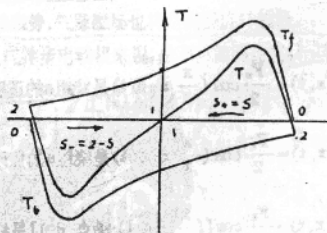


图1-16 单相单绕组运行时的 $T-s$ 曲线

它与转差率 s 之间的关系如图1-16中曲线T所示。

从图1-16看出,单绕组的异步电动机的起动转矩为零。这是因为 $n=0$ 时正、负序磁场切割转子导条的速度相等、转子中感应的正、负序电势和电流相等,正、负序电磁转矩相等,但方向相反。为了使单相异步电动机实现自起动,需要再加一个起动绕组,即副绕组。

2. 椭圆旋转磁势

单相异步电动机的定子上通常装有两个绕组:主绕组 m 和副绕组 a ,它们的轴线之间空间夹角为 θ 电角度,副绕组的电流 i_a 一般超前于主绕组电流 i_m 一角度 ϕ 。选取副绕组的轴线 a 为参考轴,气隙圆周各点的位置为 x ,并规定顺着转子旋转的方向为正,见图1-17。

依照上述条件可得出主、副绕组基波磁势的表达式

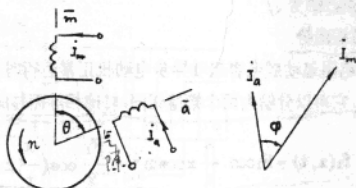


图1-17 单相双绕组异步电动机的原理图和电流相位关系

$$f_a(x, t) = F_a \cos \frac{\pi}{\tau} x \cos \omega t = \frac{F_a}{2} \cos \left(\frac{\pi}{\tau} x - \omega t \right) + \frac{F_a}{2} \cos \left(\frac{\pi}{\tau} x + \omega t \right)$$

$$= f_{ar}(x, t) + f_{ab}(x, t) \quad (1-7)$$

$$f_m(x, t) = F_m \cos \left(\frac{\pi}{\tau} x - \theta \right) \cos (\omega t - \phi)$$

$$= \frac{F_m}{2} \cos \left[\left(\frac{\pi}{\tau} x - \omega t \right) + (\phi - \theta) \right] + \frac{F_m}{2} \cos \left[\left(\frac{\pi}{\tau} x + \omega t \right) - (\phi + \theta) \right]$$

$$= f_{mr}(x, t) + f_{mb}(x, t) \quad (1-8)$$

式中

$$f_{ar}(x, t) = \frac{F_a}{2} \cos \left(\frac{\pi}{\tau} x - \omega t \right) \text{ 是绕组 } a \text{ 的正序磁势;}$$

$$f_{ab}(x, t) = \frac{F_a}{2} \cos \left(\frac{\pi}{\tau} x + \omega t \right) \text{ 是绕组 } a \text{ 的负序磁势;}$$

$$f_{mr}(x, t) = \frac{F_m}{2} \cos \left[\left(\frac{\pi}{\tau} x - \omega t \right) + (\phi - \theta) \right] \text{ 是绕组 } m \text{ 的正序磁势;}$$

$$f_{mb}(x, t) = \frac{F_m}{2} \cos \left[\left(\frac{\pi}{\tau} x + \omega t \right) - (\phi + \theta) \right] \text{ 是绕组 } m \text{ 的负序磁势。}$$

定子的合成磁势为

$$f(x, t) = \underbrace{f_a(x, t)}_{\text{两个正序}} + \underbrace{f_m(x, t)}_{\text{两个正序}} = f_{af}(x, t) + f_{ab}(x, t) + f_{mf}(x, t) + f_{mb}(x, t)$$

$$= f_r(x, t) + f_b(x, t)$$

(1-9)

式中

$$f_r(x, t) = \underbrace{f_{af}(x, t) + f_{mf}(x, t)}_{\text{两个正序}} = \frac{F_a}{2} \cos\left(\frac{\pi}{\tau} x - \omega t\right) + \frac{F_m}{2} \cos\left[\left(\frac{\pi}{\tau} x - \omega t\right) + (\Phi - \theta)\right]$$

(1-10)

为两绕组的合成正序磁势

$$\underbrace{f_b(x, t) = f_{ab}(x, t) + f_{mb}(x, t)}_{\text{两个反序}} = \frac{F_a}{2} \cos\left(\frac{\pi}{\tau} x + \omega t\right) + \frac{F_m}{2} \cos\left[\left(\frac{\pi}{\tau} x + \omega t\right) - (\Phi + \theta)\right] \quad (1-11)$$

为两绕组的反序合成磁势。

从式(1-10)可看出,如果满足下列条件

$$F_m = F_a \quad (I_m = a I_a)$$

$$\theta + \Phi = 180^\circ$$

$$F_m = F_a \quad (I_m = a I_a)$$

$$\theta + \Phi = 180^\circ$$

(1-12)

则可使 $f_b(x, t) = 0$ 。常见的双绕组单相异步电动机,两绕组轴线的空间夹角 θ 大都为 90° , 如能设法使两绕组电流相差 $\Phi = 90^\circ$, 且它们的磁势大小相等就可实现圆旋转磁场运行。单相电容起动或运转异步电动机就是按式(1-12)选择有效匝比 a 和电容 C 实现起动或额定运行时圆旋转磁场的。

但是,当转子转速(或转差)不同于 $n=0(s=1)$ 或 $n=n_m(s=s_m)$ 时,转子感应电势和电流的大小和频率都会改变,定子两绕组的电流大小和相位随之改变,式(1-12)的条件不再成立,正、反序合成磁势同时存在,定子的合成磁势为椭圆旋转磁势,气隙磁场也将是椭圆旋转磁场。

对于单相电阻起动异步电动机和单相罩极式异步电动机来说,是不可能满足式(1-12)限定的条件的,它们的气隙磁势和磁场总是椭圆的。

式(1-10)、(1-11)还可进一步写为

$$f_r(x, t) = \frac{F_a}{2} \cos\left(\frac{\pi}{\tau} x - \omega t\right) + \frac{F_m}{2} \cos\left[\left(\frac{\pi}{\tau} x - \omega t\right) + (\Phi + \theta)\right]$$

$$= F_r \cos\left[\left(\frac{\pi}{\tau} x - \omega t\right) - \alpha\right]$$

(1-13)

当正向旋转磁势 F_+ 和反向旋转磁势 F_- 不相等时, $F_+ \neq F_-$ 时, F_+ 和 F_- 不相等, 当 $F_+ = F_-$ 时, 便是圆旋转磁势。当 $F_+ \neq F_-$ 时, 便是椭圆旋转磁势。