

电工实用技术丛书

三相异步电动机 绕组改接与计算

姜孝定 编著

机械工业出版社

电工实用技术丛书

三相异步电动机绕组 改接与计算

姜孝定 编著



机械工业出版社

本书适用于各种感应电机类三相异步电动机的修理和改造。主要内容包括三相异步电动机的基本知识、三相绕组知识、正弦绕组知识、三相绕组改接成正弦绕组的简易计算及其改接实例。书末还附有 Y 系列三相异步电动机三相绕组、正弦绕组的技术数据和常用圆铜线的规格等。经过上述改造后的三相异步电动机,可显著提高功效、节约能源、降低原材料消耗。

图书在版编目 (CIP) 数据

三相异步电动机绕组改接与计算/姜孝定编著. -北京:
机械工业出版社, 1997. 12
(电工实用技术丛书)
ISBN 7-111-05830-5

1. 三… I. 姜… II. 三相电机: 异步电机-绕组
IV. TM343

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 15235 号
机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑:高 科 崔世荣 版式设计:霍永明
责任校对:熊天荣 封面设计:姚 毅
责任印制:何全君
北京交通印务实业公司印刷·新华书店北京发行所发行
2000 年 1 月第 1 版第 3 次印刷
787mm×1092mm 1/32·6.875 印张·149 千字
7 501-10 500 册
定价:11.00 元
凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

11/11/97/06

前 言

本书着重推荐正弦绕组在三相异步电动机修理中的应用。由于此种绕组能消除或削弱电动机中的高次谐波，使电动机功率有所提高、振动和噪声有所减小、损耗和温升有所降低，从而改善了电动机的性能，且节约了电能。

书中简要介绍了三相异步电动机的基本原理、三相绕组的基本知识、正弦绕组的构成原则、三相绕组改接成正弦绕组的简易计算，列举了改接实例，并附有三相绕组改接成正弦绕组的数据简表，以供参考。

本书图形和文字符号均采用现行国家标准，实例中的电动机型号均为 Y 系列电动机。

本书通俗易懂，内容实用，计算简洁，适于广大电机修理工人自学，也可作为电工培训班教学用书。

由于编者理论水平和实践经验所限，书中错误或不妥之处难免，恳切希望读者提出批评指正。

编者

目 录

前言

第一章 三相异步电动机基本知识	1
第一节 三相异步电动机的结构	1
第二节 旋转磁场的形成	5
第三节 三相异步电动机的工作原理	10
第四节 三相异步电动机铭牌数据、额定值	12
第二章 三相绕组	16
第一节 绕组的基本概念	16
第二节 三相绕组的构造原则	18
第三节 三相单层绕组	22
第四节 三相双层绕组	30
第五节 单双层混合绕组	37
第六节 分数槽绕组	40
第三章 正弦绕组	46
第一节 正弦绕组的构成	46
第二节 正弦绕组的排列和联结	53
第四章 三相绕组改成正弦绕组简易计算	75
第一节 串联导体截面的确定	75
第二节 每相匝数和每槽导体数的确定	76
第三节 单双层混合排列绕组计算	81
第五章 三相绕组改制成正弦绕组实例	84
第一节 有铭牌电动机三相绕组改制成正弦绕组	84
第二节 无铭牌电动机三相绕组改制成正弦绕组	168

第三节	改极电动机三相绕组改制成正弦绕组	180
附录 A	三相绕组改制成正弦绕组简易计算程序	190
附录 B	Y 系列三相异步电动机三相绕组、正弦 绕组技术数据表	196
附录 C	常用圆铜线规格表	210

第一章 三相异步电动机基本知识

三相异步电动机^①具有结构简单、运行可靠、维护方便、效率高、重量轻、价格低等特点，是生产中应用最广泛的一种动力机械。在工业方面，它被广泛应用于拖动各种机床、起重机械、水泵等设备；在农业方面，它被应用于拖动排灌机械、脱粒机、粉碎机以及其他农副产品加工机械等。

第一节 三相异步电动机的结构

三相异步电动机主要由静止的定子和旋转的转子两部分组成，外加端盖和风扇等附件。图 1-1 为 Y 系列（IP23）电动机典型结构图，图 1-2 为 Y 系列（IP44）电动机典型结构图。

一、定子

定子由定子铁心、定子绕组和机座 3 部分组成。

定子铁心是电动机磁路的一部分，Y 系列电动机采用 0.5mm 厚的 DR510—50 热轧硅钢片叠压而成，片间涂以绝缘漆，以减少涡流损耗。定子铁心内圆开有定子槽，槽内嵌放定子绕组。容量较大的异步电动机，定子铁心沿轴向分段，段与段之间设有径向通风沟，以利于铁心散热。

定子绕组是电动机的电路部分，由许多线圈联结而成。Y

① 本书所述异步电动机，专指各类感应电机类异步电动机，不包括交流换向器异步电动机、开关磁阻式异步电动机。

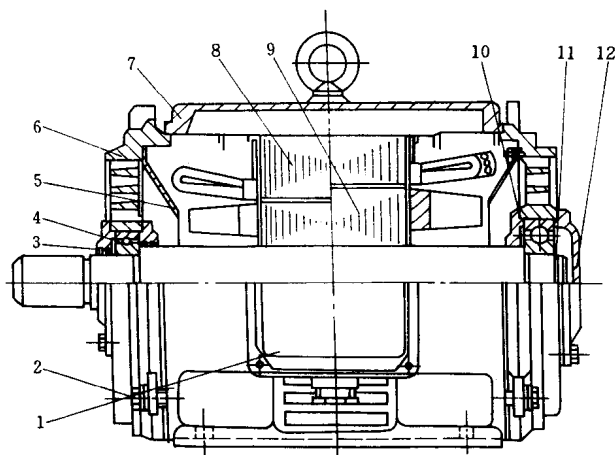


图 1-1 Y 系列 (IP23) 电动机典型结构图

- 1—接线盒 2—紧固件 3、12—轴承外盖 4—轴承
5—挡风板 6—端盖 7—机座 8—定子铁心
9—转子 10—轴承内盖 11—轴用挡圈

系列电动机定子绕组采用温度指数为 155 的聚酯漆包圆铜线 (型号为 QZ-2) 绕制而成。每个线圈有 2 个有效边, 分别嵌放在 2 个定子槽内, 用槽楔固定。Y 系列电动机槽绝缘采用复合绝缘材料 DMDM 或 DMD。绕组端部相间垫入与槽绝缘相同的复合绝缘材料, 作为相间绝缘。当采用双层绕组时, 在槽上、下层线圈之间垫入与槽绝缘相同的复合绝缘材料作为层间绝缘。槽楔可采用成形的 MDB 复合槽楔、新型的引拔槽楔或 3240 环氧酚醛层压玻璃布板, 线圈之间按一定规律联结, 构成三相绕组。

中小型电动机的机座是整个电动机的支承件, 承受运转

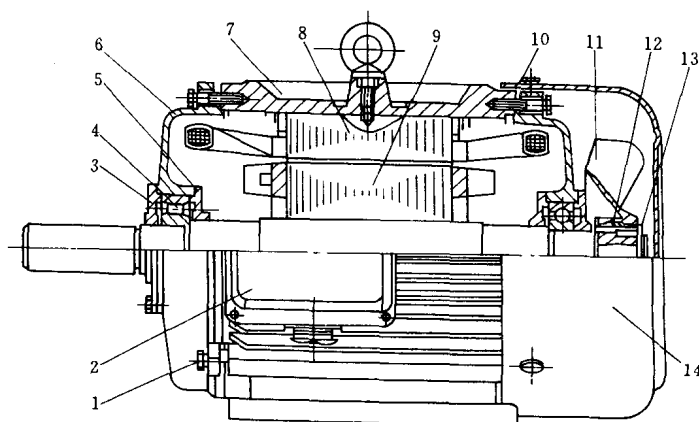


图 1-2 Y 系列 (IP44) 电动机典型结构图

- 1—紧固件 2—接线盒 3—轴承外盖 4—轴承
5—轴承内盖 6—端盖 7—机座 8—定子铁心
9—转子 10—风罩 11—外风扇 12—键
13—轴用挡圈 14—外风扇罩

过程中的各种作用力,为此,必须有足够的强度和刚度。Y 系列电动机机座材料采用灰铸铁,底脚设有加强肋,机座壁厚为 7mm~15mm。Y 系列 (IP23) 电动机机座考虑了径向通风,在机座两侧开设出风口,通风效果较好。Y 系列 (IP44) 电动机机座有辐射形分布的散热片,定子铁心紧贴在机座的内壁,电动机在运转时由损耗产生的热量通过铁心传给机座,再由机座散发到空气中去,机座表面的散热片增大了机座的散热面积,散热效果较好。

二、转子

三相异步电动机的转子分为笼型和绕线转子两种类型，均由转子铁心、转子绕组和转轴 3 部分组成。

转子铁心也是电动机磁路的一部分，同样也由 0.5mm 厚的硅钢片叠压而成。铁心是压装在转轴上的，较大的电动机，转子铁心压在支架上，支架再装在转轴上。转子铁心外圆开有转子槽，槽内放置转子绕组。

笼型转子的槽内放置裸导体，两端分别焊接在两个铜环（称为端环）上，这种转子绕组形似鼠笼，通称笼型转子。中小容量异步电动机的转子一般用熔化的铝铸满转子槽，同时铸出两端的端环和风扇叶片。

绕线转子的绕组和定子绕组一样，也为三相绕组。转子绕组嵌放在转子槽内，接成星形（Y），3 根引出线分别接到非轴伸端互相绝缘的 3 个集电环上，可以通过电刷将转子各相绕组与外接启动电阻或调速电阻联接，见图 1-3。中等容量以上的电动机装有提刷短路装置，在电动机启动完毕而又不需要调速时，可扳动手柄，将电刷提起，并将 3 个集电环短路，这样可以减少摩擦损耗和电刷磨损。

转轴由成形圆钢加工而成，其作用是支承转子铁心并传递转矩，需要有一定的强度和刚度。

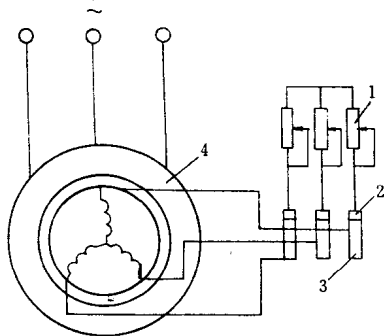


图 1-3 绕线转子异步电动机
转子串接电阻

1—外接可变电阻 2—电刷 3—集电环 4—绕线转子异步电动机

三、端盖及其他附件

中小型异步电动机上有由灰铸铁铸成的端盖，其上设有加强肋，以保证足够的机械强度。端盖内装有球轴承或滚子轴承，用以支承转子，保证定子、转子之间有均匀的气隙。为了减小电动机磁路的磁阻，从而减小励磁电流，提高功率因数，异步电动机定子与转子之间的气隙应尽可能做得小些，但考虑到机械加工误差、轴承磨损和单边磁拉力等因素，气隙也不能太小，一般中小型异步电动机的气隙为 $0.2\text{mm} \sim 2\text{mm}$ 。

为了使轴承中的润滑脂不受污染和外溢，前、后轴承均设有内、外轴承盖。Y 系列 (IP44) H80~132 电动机机座的端盖与外轴承盖铸成一体，具有装配方便，节省工时等优点。

封闭式异步电动机后端盖外装有风扇和外风罩，风扇随转子旋转时，风由风罩上的进风孔进入，由风扇扇向散热片，以加强冷却。

第二节 旋转磁场的形成

三相异步电动机定子绕组接通三相电源后，即能在空间形成以一定转速旋转的旋转磁场。由于旋转磁场与转子导体之间有相互切割作用，转子导体中便产生感应电动势和电流。转子导体中的电流与磁场相互作用，产生电磁力和电磁转矩，使转子能按旋转磁场的方向转动，因此，旋转磁场是异步电动机工作的基础。

图 1-4 为一最简单的三相定子绕组，每相只有一个线圈。分别以 U_1 、 U_2 、 V_1 、 V_2 、 W_1 、 W_2 表示，它们在空间彼此相隔 120° 。若将三相绕组按 Y 形联结后接到三相电源上，三相绕组内就会流过三相对称电流，其波形见图 1-5。三相电流

的数学表达式为

$$\left. \begin{aligned} i_u &= I_m \sin \omega t \\ i_v &= I_m \sin(\omega t - 120^\circ) \\ i_w &= I_m \sin(\omega t - 240^\circ) \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

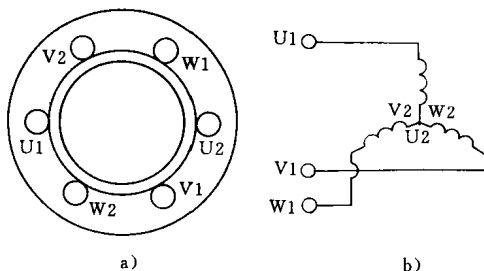


图 1-4 三相定子绕组

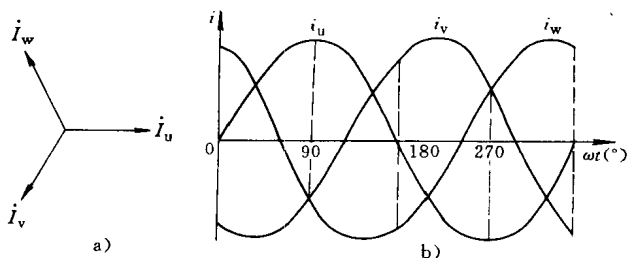


图 1-5 三相正弦交流电流

a) 相量图 b) 波形图

每相绕组电流都将产生磁场，三相绕组电流将共同形成一个合成磁场。下面将以几个特殊的时刻为例子用作图的方法来证明此合成磁场是一旋转磁场。

为分析方便，假定每相绕组电流的正方向是从首端 U1、

V1、W1 流入（用⊗表示），从尾端 U2、V2、W2 流出（用⊙表示）。当电流为正值时，表示电流的实际方向与假定的正方向相同；电流为负值时，表示电流的实际方向与假定的正方向相反。磁场的方向则根据电流的流向按右手螺旋定则来确定。

当 $\omega t = 0$ 时，由式(1-1)或图 1-5 可知： $i_u = 0$ 、 $i_v = -\sqrt{3}/2I_m$ 、 $i_w = \sqrt{3}/2I_m$ ，将各相电流方向表示在各相线圈的剖面上，V 相电流为负值，从 V2 流入，由 V1 流出；W 相电流为正值，从 W1 流入，由 W2 流出，如图 1-6a 所示。按右手螺旋定则，可以确定合成磁场的方向向右。用同样的方法，可以作出 $\omega t = 90^\circ$ 、 $\omega t = 180^\circ$ 、 $\omega t = 270^\circ$ 这 3 个特定瞬间的电流和合成磁场的方向，分别见图 1-6b、c、d。

分析比较图 1-6a、b、c、d 可以看出，三相绕组电流形成的合成磁场是随时间在空间旋转的，故称为旋转磁场。每当 ωt 变化了 90° ，磁场就按顺时针方向在空间转过 90° ；当 ωt 变化了 360° 时，电流变化了一个周期，磁场也就重新回到原来的位置。这说明在 2 极电动机中，电流变化一个周期，旋转磁场在空间也正好转过一圈，即 360° 。电流每秒钟变化 f 周（称为电流的频率），则旋转磁场每秒钟在空间也转过 f 圈。我国交流电的频率为 $f = 50\text{Hz}$ ，所以 2 极异步电动机旋转磁场的转速为

$$n_1 = f = 50 \quad \text{r/s}$$

或

$$n_1 = 60f = 3000 \quad \text{r/min}$$

如果将三相绕组按图 1-7 安排，图 1-7a 画出了 $\omega t = 0$ ， $i_u = 0$ 、 $i_v = -\sqrt{3}/2I_m$ 、 $i_w = \sqrt{3}/2I_m$ 时的电流和磁场的分布情况，它为一个 4 极磁场。当 ωt 每经过 90° ，从图中可以看出

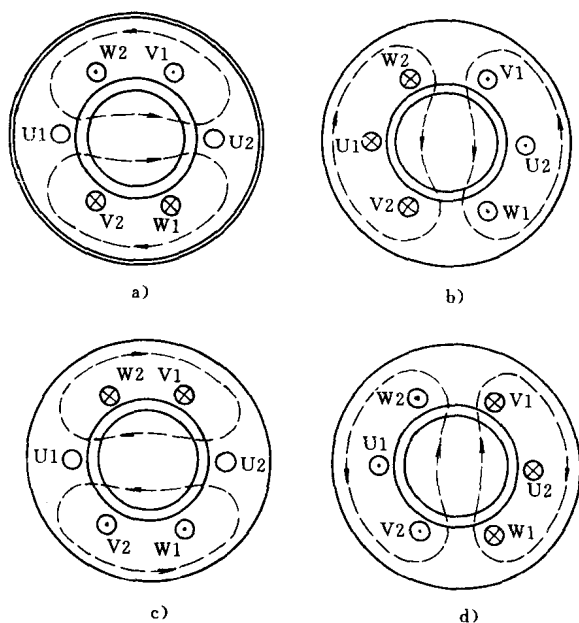


图 1-6 三相异步电动机的旋转磁场

a) $\omega t = 0$	b) $\omega t = 90^\circ$	c) $\omega t = 180^\circ$	d) $\omega t = 270^\circ$
$i_u = 0$	$i_u = I_m$	$i_u = 0$	$i_u = -I_m$
$i_v = -0.866I_m$	$i_v = i_w = -0.5I_m$	$i_v = 0.866I_m$	$i_v = i_w = 0.5I_m$
$i_w = 0.866I_m$		$i_w = -0.866I_m$	

磁场相应地在空间按顺时针方向转过 45° 。电流变化了一个周期(即 ωt 经过 360°)，磁场在空间旋转了半圈。对于频率 $f = 50\text{Hz}$ 的电流，4 极电动机旋转磁场的转速 $n_1 = f/2 = 25\text{r/s}$ 或 $n_1 = 60f/2 = 1500\text{r/min}$ ，它是 2 极旋转磁场转速的一半。

只要适当地安排绕组，便可得到 3 对极、4 对极或 p 对极的旋转磁场。按照前述的方法分析，同样可以求得它们的转

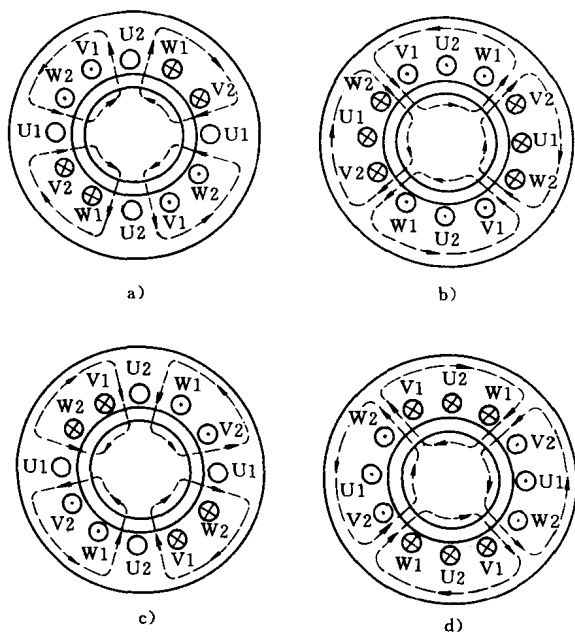


图 1-7 4 极电动机的旋转磁场

a) $\omega t = 0$ b) $\omega t = 90^\circ$ c) $\omega t = 180^\circ$ d) $\omega t = 270^\circ$

速。3 对极时， $n_1 = 60f/3 = 1000\text{r/min}$ ；4 对极时， $n_1 = 60f/4 = 750\text{r/min}\cdots\cdots$ 。当电动机为 p 对极时，其旋转磁场的转速为

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

如果将接入定子绕组的三相电源任意两相对调 1 次，例如将 V、W 两相对调，见图 1-8，原来磁场按顺时针方向旋转（图 1-6），现在便按逆时针方向旋转了（图 1-8），即改变了磁场的旋转方向。

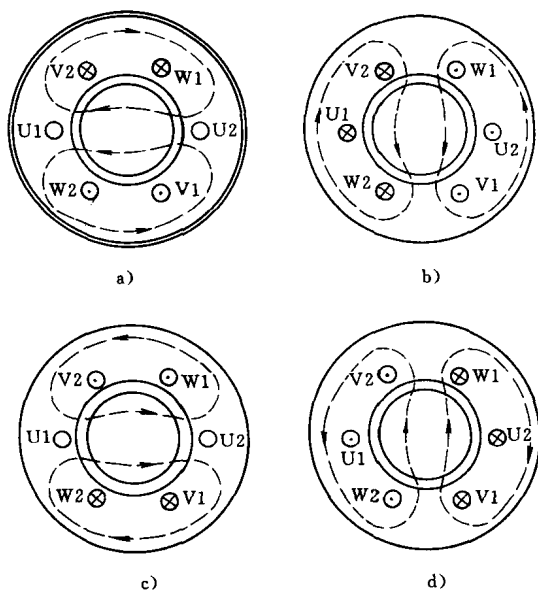


图 1-8 改变磁场的旋转方向

a) $\omega t=0$ b) $\omega t=90^\circ$ c) $\omega t=180^\circ$ d) $\omega t=270^\circ$

第三节 三相异步电动机的工作原理

将三相异步电动机的三相定子绕组接通三相电源，流过三相电流，在电动机中便形成转速为 n_1 的旋转磁场，如图 1-9 所示。

当磁场以 n_1 的转速逆时针方向旋转时，转子对磁场具有反方向的相对转速，使得转子导体切割磁力线产生电动势，其方向按右手定则判断，在 N 极下转子导体电动势方向为 $\otimes$ ，而在 S 极下为 $\odot$ ，如图 1-9 所示。由于转子绕组自成闭合回路，在转子导体中便有电流流过，其方向与电动势方向相同。

转子导体中的电流与气隙中的磁场作用，产生电磁力，形成电磁转矩，带动异步电动机的转子旋转。电磁力的方向按左手定则判断，在N极下，转子导体产生的电磁力向左，而在S极下则向右。此电磁力对转轴产生一逆时针方向的电磁转矩，转子则在电磁转矩的作用下，沿逆时针方向即沿着旋转磁场的方向转动。

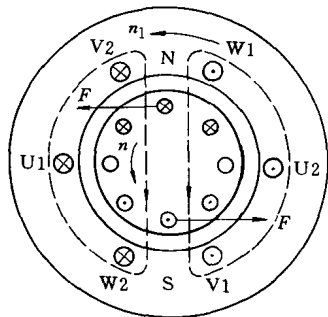


图 1-9 三相异步电动机的工作原理

转子的旋转速度 n 越快，转子导体与定子旋转磁场的相对转速 $(n_1 - n)$ 就越小，转子导体因切割旋转磁场的磁力线而产生的电动势和电流也就越小。若转子转速 n 正好等于旋转磁场的同步转速 n_1 ，转子导体与旋转磁场之间便没有了相对运动，于是转子导体上就不会产生电动势和电流，也就不会产生电磁力和电磁转矩了。但是，电动机即使在没有外加负载的情况下（空载运行时），它的风扇和轴承也有一定的摩擦阻力，转子铁心和转子绕组都要损耗一定功率，损耗的功率将产生阻力转矩，迫使转子转速 n 必须略低于同步转速 n_1 ，以便转子导体中产生一定的电动势和电流，形成一定的转矩来克服阻力转矩。这种转速之差通常用同步转速 n_1 的百分率表示，称为转差率，以 s 表示。

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \times 100\% \quad (1-3)$$

异步电动机空载时，由于空载阻力矩很小，转差率 s 一般只有 $0.4\% \sim 0.7\%$ ，因此转子转速非常接近同步转速。