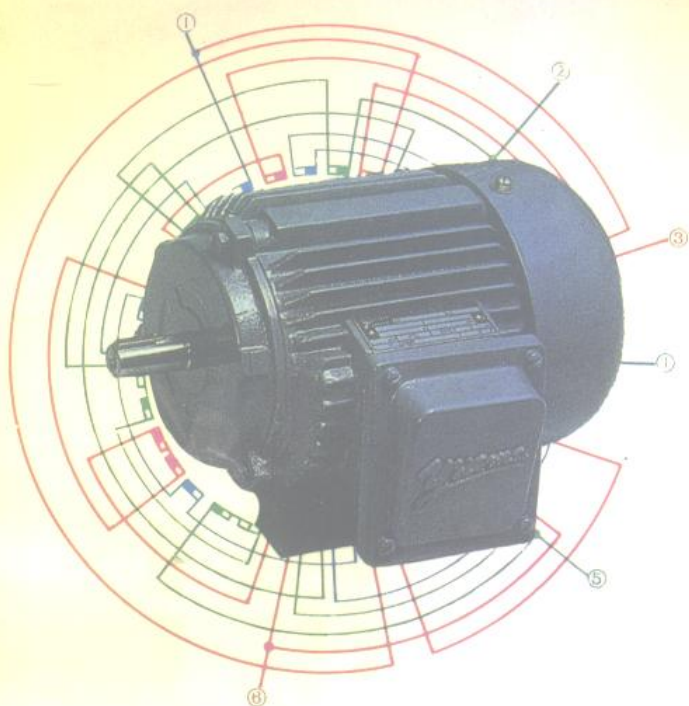




三相鼠笼式 单绕组多速电动机

(第二版)

濮绍文 濮少文 编著

上海科学技术出版社

TM 343

205038

P8P
(2)

三相鼠笼式 单绕组多速电动机

(第二版)

濮绍文 濮少文 编著



上海科学技术出版社

1145.61
内 容 提 要

本书较详细地叙述了三相鼠笼式单绕组多速电动机的变极原理、绕组设计、接线方法及性能特点,并通过大量实例介绍了普通三相鼠笼式单速异步电动机改绕单绕组多速电动机的步骤和计算方法。对改绕中可能会碰到的谐波磁场问题,也较为详细地分析了它的产生、影响和克服方法。书中介绍了39个单绕组多速电动机绕组方案,并汇集了283个各种极数比的国产三相鼠笼式多速异步电动机的技术数据,供读者选用和参考。

本书可供具有中学文化水平和一定实践经验的广大电工参考,也可供大专院校电机专业师生参考。

责任编辑 郭雨水

**三相鼠笼式
单绕组多速电动机
(第二版)**

濮绍文 濮少文 编著

上海科学技术出版社出版、发行

(上海瑞金二路450号)

总发行所上海发行所经销 上海东方印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 15 字数 333,000

1996年12月第1版 1996年12月第1次印刷

印数 1—5,000

ISBN 7-5323-4154-2/TM·100

定价: 15.60 元

前 言

单绕组多速异步电动机是一种只有一套定子绕组，通过外部接线变换获得多种转速的电动机。它属于有级调速设备，具有简单、可靠、高效及易于绕制的优点，在许多工业领域的变速拖动中有着广泛应用。

本书是1976年版的修订本。书中较详细地叙述了单绕组多速电动机的变极原理、绕组设计、接线方法和性能特点，并通过大量实例叙述了普通三相鼠笼式单速异步电动机改绕单绕组多速电动机的步骤和计算方法。对改绕中可能会碰到的谐波磁场问题也较为详细地分析了它的产生、影响和克服方法。为便于读者选用和参考，书中还介绍了39个单绕组多速电动机绕组方案，汇集了283个各种极数比的国产三相鼠笼式多速异步电动机的技术数据。

本书可供具有中学文化水平和一定实践经验的广大电工参考，也可供大专院校电机专业师生参考。

由于水平所限，书中不足和错误之处，请读者批评指正。

编 者

1995年9月

本书符号表

a	——并联路数
B	——磁通密度
B_{md}	——气隙磁通密度最大值
B_{mi}	——齿部磁通密度最大值
B_{mc}	——轭部磁通密度最大值
b_t	——定子铁心齿宽
D	——定子铁心内径
$D_{\text{外}}$	——定子铁心外径
d	——含绝缘在内的导线线径
$d_{\text{裸}}$	——裸导线线径
E	——相电动势
F	——磁动势
f	——频率
h_c	——定子铁心轭高
h_s	——定子槽高
I	——线电流
$I_{\text{相}}$	——相电流
j	——电流密度
K	——功率折扣系数
K_c	——铁心叠压系数
K_E	——压降系数
K_a	——绕组分布系数
K_y	——绕组短距系数
K_{ay}	——基波绕组系数

K_{av} —— ν 次谐波绕组系数

l ——定子铁心长度

M ——转矩、输出转矩

m ——相数

N ——并绕根数

n ——转子转速

n_1 ——基波同步转速

n_ν —— ν 次谐波同步转速

P ——输出功率

p ——极对数

q ——每极每相槽数

R ——梨形槽底圆半径

S ——面积

S_f ——槽满率

S_n ——每槽导线数

s ——转差率

T ——周期

t ——定子铁心齿距

U ——线电压

$U_{\text{相}}$ ——相电压

w ——匝数、每相串联匝数

y ——节距

Z_1 ——定子槽数

Z_2 ——转子槽数

α ——相邻两槽之间的电角度

α_b ——极距系数

β ——元件两边较短距所短的电角度

Φ ——磁通量、每极磁通量
 r ——极距
 η ——效率
 $\cos \varphi$ ——功率因数
 ν ——定子谐波次数
 μ ——转子谐波次数
 ν_s ——定子齿谐波次数
 μ_s ——转子齿谐波次数
QS——电源开关
FU——熔断器
FR——热继电器
KM——交流接触器
KA——中间继电器
KT——时间继电器
SB——按钮

下角标:

m	最大值
α	平均值
1	定 子
2	转 子
δ	气 隙
t	定子齿
c	定子轭

目 录

第一章 电工基本知识	1
第一节 交流电的基本知识	1
第二节 磁的基本知识	6
第三节 电磁感应定律	8
第二章 鼠笼式三相异步电动机基本运行原理	10
第一节 三相旋转磁场的产生	10
第二节 转矩的产生及其大小	12
第三节 异步电动机的转矩-转速曲线	14
第三章 定子绕组	16
第一节 绕组构造和绕组图	16
第二节 槽电势矢量图及用槽电势矢量图排列绕组的方法	19
第三节 分布系数、短距系数和绕组系数	25
第四节 槽电流表和绕组磁势图	32
第四章 变极调速的原理和方法	37
第一节 变极调速的原理	37
第二节 反向变极法的原理和绕组排列	38
第三节 反向变极法的接线方法	74
第四节 换相变极法	90
第五节 不同节距变极法	107
第五章 单绕组多速电动机的性能特点	112
第一节 电势公式	113
第二节 单绕组多速电动机的转矩特性和功率特性	115
第三节 特性分析举例	117

第六章 单绕组多速电动机的改绕步骤和计算	123
第一节 改绕步骤	123
第二节 改绕计算公式和方法	135
第三节 改绕实例	149
第七章 单绕组多速电动机控制	181
第一节 双速电动机控制	181
第二节 三速电动机控制	200
第八章 谐波磁场的影响及其克服方法	220
第一节 谐波磁场的产生	221
第二节 不同绕组的谐波磁场	227
第三节 谐波磁场对电动机性能的影响	238
第四节 谐波磁场影响的克服方法	263
第五节 判断和克服谐波磁场影响的措施	277
第九章 单绕组多速电动机绕组方案	280
附录 I 国产多速电动机技术数据表	396
附录 II 常用线规	452
附录 III 三角函数正弦余弦表	467

第一章 电工基本知识

电动机是在电磁理论上发展起来的，单绕组多速电动机又是在单速电动机基础上发展起来的。为了由浅入深地阐明本书的主题——鼠笼式单速三相异步电动机改绕多速（单绕组）的原理和计算，在开头两章我们将回顾一下有关的基本知识——交流电和磁的基本知识以及鼠笼式三相异步电动机的基本运行原理。

第一节 交流电的基本知识

一、什么是交流电

我们知道，电有“直流”和“交流”两大类，方向恒定不变的叫做直流电，方向和大小周期性地变化的叫做交流电。工厂中的动力用电和一般照明用电都是交流电，它的波形见图1-1。由图可知，它的大小和方向是随时间 t 变化的，设 t_0 时为零， t_1 时上升到最大值， t_2 时下降为零；其后方向变负， t_3 时上升到负的最大值， t_4 时又回到零；从 t_0 到 t_4 ，正好变化一周。 t_4 以后不断重复上述过程。

交流电的这种波形和三角学中的正弦($\sin$)曲线一样，所以常叫做“正弦波”。

图1-1中横坐标除用来表示时间 t 之外，还常用来表示电角度(ωt)，交流电变化一周的时间相当于 2π (360°)电角

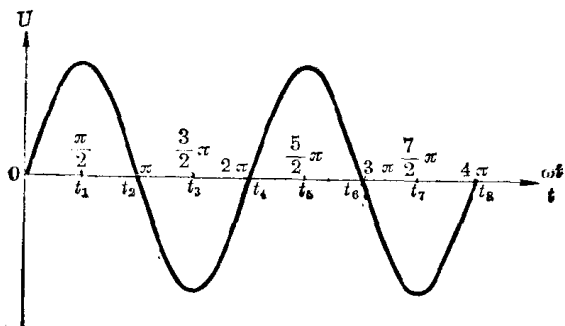


图 1-1 交流电的波形

度,半周即为 $\pi(180^\circ)$ 电角度,余类推。

二、交流电的主要参数

任何运动形式,其内部都具有区别于他事物的特殊的本质。交流电这种运动形式也如此,它的特殊的本质可以用所谓“参数”来描述。交流电的主要参数有:振幅、平均值、有效值、周期、频率和初相角(位)。

1. 振幅、平均值和有效值

交流电变化所达到的最大值称为“振幅”。电流、电压等的振幅,一般在其代表符号右下角加上角标“ m ”来表示,例如

I_m 、 U_m 等。

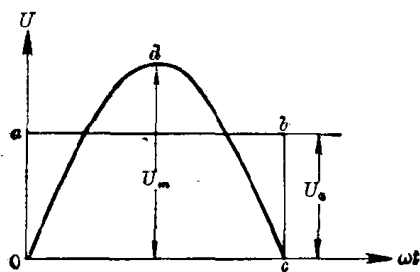


图 1-2 交流电平均值的图示

平均值系对半周而言,在代表符号右下角加角标“ a ”来表示,如图 1-2 中的 U_a 。从面积上看,四边形 $Oabc$ 和半周 Odc 面积正好相等。

有效值是等效于某一
直流而言的。一个交流电通过一个电阻,如果单位时间内,它

所产生的热量和某一直流电通过同一电阻所产生的热量相等(即它们的热效应相等),这个直流电的数值就是交流电的有效值。电流、电压等一般代表符号 I 、 U , 凡右下角不加角标的都代表有效值。

振幅、平均值、有效值是从不同角度表示交流电大小的三个参数,其中有效值用得最多。一般情况下交流电的数值不加特别说明时都指有效值,例如照明用的 220 伏,动力用的 380 伏等都是。振幅、平均值、有效值三者之间在数量上有一定关系,对于正弦波根据数学计算有:

$$U_0 = \frac{2}{\pi} U_m = 0.637 U_m$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0.707 U_m$$

$$U = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} U_0 = 1.11 U_0$$

2. 周期和频率

周期和频率是用来表示交流电变化快慢的两个参数。周期(符号 T)是交流电变化一周所需的时间。频率(符号 f)是一秒钟内交流电完成周期变化的次数。周期和频率两者互为倒数: $f = \frac{1}{T}$ 。我国工业用交流电标准频率是 50 赫,周期为 0.02 秒。

3. 初相角(位)与相位差

交流电的特征除了大小和变化快慢之外,还有很重要的一个方面——初相角(位)。图 1-3 画出了异步电动机普遍用的三相交流电波形。图中 i_{L1} 、 i_{L2} 、 i_{L3} 三个交流电它们的振幅和频率相同,但是它们到达幅值或某一规定值的电角度不同,所以三者是有区别的。为了表示这个区别就要用到初相角

(位)这个参数。前面提到的交流电的电角度，实际上就是交流电的相位角，简称相位。 $t=0$ 时的相角(位)就叫作交流电

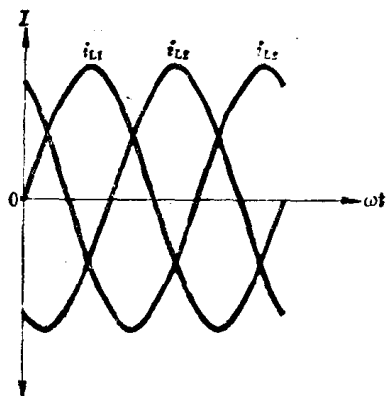


图 1-3 三相交流电波形

的初相角(位)。交流电之间初相角(位)之差就叫作交流电的相位差。用这个概念来比较图 1-3 中的交流电 i_{L1} 、 i_{L2} 、 i_{L3} 就知道它们之间的区别仅在于依次有 $\frac{2\pi}{3}$ (120°) 的相位差， i_{L3} 超前于 i_{L1} ， i_{L1} 超前于 i_{L2} 。

三、交流电的矢量图示法

交流电既具有一定数量，又具有一定的初相角(位)，这种情况和物理学中的“力”既具有一定大小，又具有一定方向相似。我们把这种量叫作“矢量”，可形象地画一根带箭头的直线来表示。在交流电中，通常以直线的长短表示它的振幅，以箭头的方向表示它的初相角(位)。

在同时画几个具有不同初相角(位)的交流电矢量时，通常以某一个矢量为基准(0°)，规定反时针旋转为超前，顺时针旋转为滞后。

图 1-4 即是图 1-3 三个交流电的矢量图。由图可清楚地看出三者的相位依次相差 120° 。

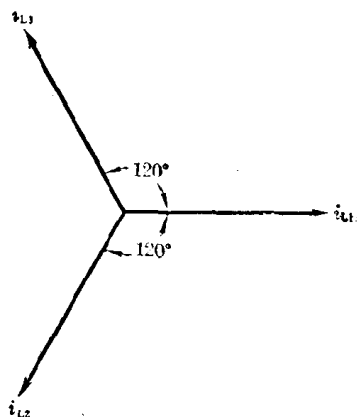


图 1-4 三相交流电的矢量图

四、三相交流电路

图 1-3 已画出了三相交流电的波形, 并介绍了它的特点是三个交流电的振幅和频率相等, 仅相位依次相差 120° 。

工业用电力电源都是三相交流电。异步电动机接在三相电网上, 其基本接法通常有 Υ 和 $\triangle$ 两种, 如图 1-5 所示。图中 L1、L2、L3 表示电源的三个相号。任意两根电源线之间的电压叫作“线电压”, 流过任意一根电源线的电流叫做“线电流”。对于异步电动机来说, 每个相绕组两端的电压叫做“相电压”, 通过每个相绕组的电流叫做“相电流”。对照图 1-5 可明显看出, 在 Υ 接法中相电流就等于线电流, 相电压则小于线电压; 对于三相对称电路(异步电动机三相总是对称的)可证明 Υ 接法时 $U_{\text{线}} = \sqrt{3} U_{\text{相}}$ 。在 $\triangle$ 接法中相电压就等于线电压, 而相电流则为线电流的 $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 。

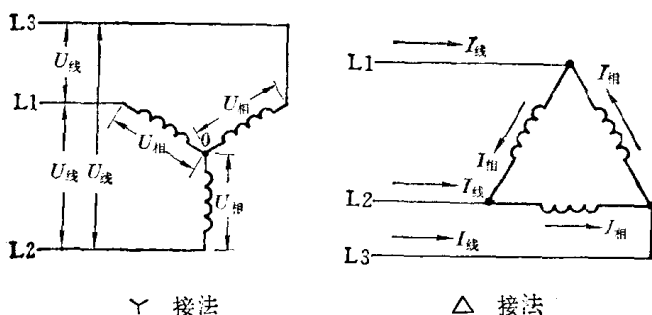


图 1-5 三相电动机绕组的两种基本接法

异步电动机铭牌上所标的额定电压和额定电流都指的是线电压和线电流的有效值。当电动机以 Υ 接法接在线电压为 380 伏的三相电网时, 其相电压正好是 220 伏; $\triangle$ 接法时相电压则为 380 伏。

第二节 磁的基本知识

一、磁场和磁力线

“磁场”这个概念对电工来说是比较熟悉的。大家知道，一个线圈如果通上电流，线圈的周围就会产生磁场；磁场的存在可以用磁力线来表示。磁力线是有方向的，通常规定，在磁体的外部，磁力线的方向是从北极指向南极；在磁体内部则从南极指向北极。

导线中通以电流，周围就产生磁场，如果导线中电流的方向一定，那末磁力线方向也就一定，这可以用下述方法来判定：以右手握住导线，拇指指向电流方向，其余四指就是指的磁力线方向，见图 1-6。

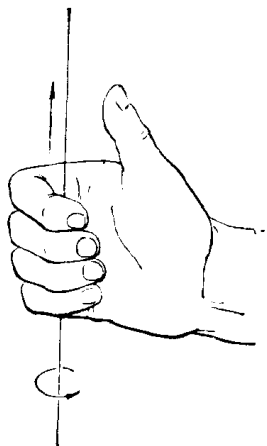


图 1-6 磁力线方向与
电流方向的关系

二、磁通量和磁通密度

在磁场内任意取定一块面积，该面积内必有一定数量的磁力线通过；垂直通过这块面积的磁力线总数就叫作这块面积的“磁通量”。

磁通量用符号 Φ 表示。它的单位是“韦伯”(Wb)，简称“韦”。过去老单位曾用“麦克斯韦”(Mx)，简称“麦”。 $1 \text{ 韦伯} = 10^8 \text{ 麦克斯韦}$ 。

单位面积的磁通量叫作“磁通密度”(也叫作“磁感应强度”)，用符号 B 表示。很明显， B 和 Φ 之间有如下关系：

$$B = \frac{\Phi}{S}$$

式中, S 表示面积。

磁通密度的常用单位是“特斯拉”(T), 简称“特”。

$$1 \text{ 特} = \frac{1 \text{ 韦}}{\text{米}^2}$$

过去用的旧单位是高斯(Gs)。1 特 = 10^4 高斯。

磁通密度的大小实际上反映了磁场的强弱。磁场内某一处磁通密度愈大, 该处磁力线分布愈密, 也就是磁场愈强。在异步电动机中, 磁通密度沿气隙圆周的分布基本上是正弦形。因此, 像交流电一样, 它也有最大值、平均值和有效值的区分。

三、磁动势

磁动势简称磁势, 用符号 F 表示, 它和电学中的电动势相似。大家知道, 电动势可以理解为电路中产生电流的原动力, 磁动势则可以理解为磁路中产生磁通的原动力。

一只线圈通上电流, 它就产生磁势。在磁势的作用下, 磁路中产生一定的磁通。电工学中证明: 通电线圈产生的磁势, 其数量等于线圈中电流 I 与线圈匝数 w 的乘积。即

$$F = Iw$$

磁势的常用单位是“安匝”。

四、磁场对电流的作用

把通电导线放在磁场之中, 导线会受到一定的作用力而产生运动, 这是磁场对导线中电流产生作用的结果。

电动机的基本工作原理就是利用磁场对电流的作用。电动机转子所以能够转动就是因为电机气隙中的磁场和转子电流相互作用

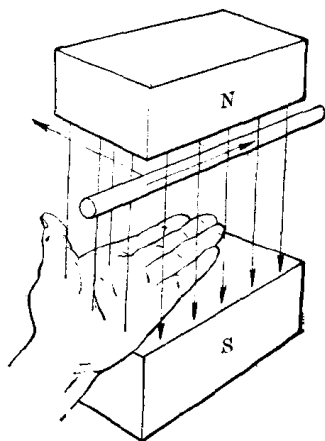


图 1-7 左手定则

用的结果。

电工学中证明, 通电导线在磁场中受到的作用力, 与导线中的电流强度、导线长度以及该处磁通密度成正比。作用力的方向可用左手定则来判定: 伸开左手, 如图 1-7, 手心正对磁力线方向, 四指指向电流方向, 拇指所指的就是作用力的方向。

第三节 电磁感应定律

导线切割磁力线, 导线上就有感应电动势, 这是大家都熟悉的电磁感应现象。导线切割磁力线, 实际就是指导线和磁场之间有相对运动。对于线圈来说, 只要穿过线圈中的磁通量发生变化, 线圈中就会产生感应电动势。如果电路接通, 线圈中就会产生感应电流。

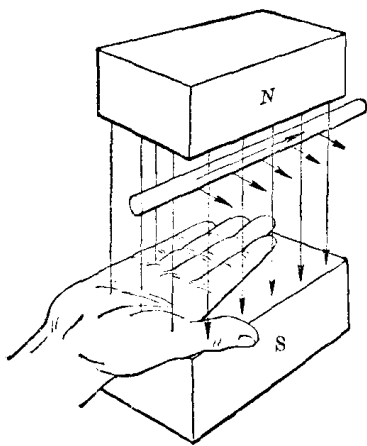


图 1-8 右手定则

中就会产生感应电流。

电磁感应定律说明了由电磁感应产生的电动势的大小及其方向。对于单根导线, 感应电动势与单位时间内导线切割磁力线的根数成正比; 对于线圈, 感应电动势与单位时间内线圈中磁通的变化量和线圈的匝数成正比。如果在时间 Δt 内, 一个 w 匝的线圈, 穿过线圈的磁通变

化量为 $\Delta\Phi$, 根据电磁感应定律, 线圈的感应电动势

$$E = w \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

由电磁感应在导线中产生的感应电流方向(也就是感应