

电工实用技术丛书

# 家用电器用单相电动机的原理与维修

秦 崎 潘 恬 编

01

机械工业出版社

电工实用技术丛书

# 家用电器用单相电动机的 原理与维修

秦崎 潘恬 编



机械工业出版社

本书主要内容包括单相电动机的基本类型、工作原理、结构、绕组和匝数计算、绕组展开图画法、基本嵌线法、绕线模制作方法、故障分析及检查方法，并介绍了冰箱、空调器、洗衣机、风扇电动机的常见故障与修理方法。本书可供电动机修理人员、家用电器维修人员使用。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

家用电器用单相电动机的原理与维修/秦崎、潘恬编.

—北京：机械工业出版社，1998.2

(电工实用技术丛书)

ISBN 7-111-05982-4

I. 家… I. ①秦…②潘… II. 日用电气器具-单向  
异步电动机-应用 IV. TM925.03

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 22740 号

出 版 人：马九荣（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

责任编辑：高科 荆宏智 版式设计：霍永明 责任校对：张 佳

封面设计：姚 毅 责任印制：路 琳

北京市密云县印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1998 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm<sup>1/32</sup>·5.875 印张·128 千字

0 001—3 500 册

定价：9.50 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

## 前 言

随着家用电器的普及，对家用电器电动机了解与进行维修已十分需要。本书就是为满足读者这方面的需要，在总结我们 30 多年理论与实践经验的基础上编写而成的，希望能给广大读者带来帮助。

本书是电工实用技术丛书之一，书中以家用电器常用的电动机为实例，比较详细地阐述了分相电动机、电容电动机、罩极电动机和小功率交流换向器电动机的构造特点、工作原理、维护方法和常见故障的检查及修理技巧。本书图文并茂，采用了国家最新标准与法定计量单位，既适合专业电动机维修人员，又适合广大家庭对家用电器电动机日常维护的需要，并可作为中专、技校或电动机修理专业培训班的教学参考书。

本书在编写过程中曾得到芜湖机电学院王运哲、华东冶金学院许成厚等教授的指导和支持，在此谨表谢意。

限于我们的水平，书中错误缺点在所难免，请读者批评指正，并真诚希望得到广大读者的关怀和支持，使本书质量不断提高和日臻完善。

编 者

1997 年 8 月

# 目 录

## 前 言

|     |                                    |     |
|-----|------------------------------------|-----|
| 第一章 | 单相异步电动机 .....                      | 1   |
| 第一节 | 单相异步电动机的特点和用途 .....                | 1   |
| 第二节 | 单相异步电动机的工作原理 .....                 | 1   |
| 第三节 | 单相异步电动机的基本类型及其起动方式 .....           | 6   |
| 第四节 | 单相异步电动机的结构 .....                   | 9   |
| 第五节 | 单相异步电动机的绕组和匝数计算 .....              | 10  |
| 第六节 | 单相异步电动机绕组展开图的基本画法与实用快速<br>画法 ..... | 27  |
| 第七节 | 单相异步电动机绕组的基本嵌线法 .....              | 39  |
| 第八节 | 单相异步电动机重换绕组方法 .....                | 41  |
| 第九节 | 单相异步电动机绕线模制作方法 .....               | 51  |
| 第二章 | 分相电动机 .....                        | 57  |
| 第一节 | 分相电动机的结构特点 .....                   | 57  |
| 第二节 | 分相电动机的工作原理 .....                   | 62  |
| 第三节 | 分相电容器的选择 .....                     | 67  |
| 第四节 | 分相电动机故障分析及检查方法 .....               | 68  |
| 第五节 | 常见故障的修理 .....                      | 82  |
| 第六节 | 冰箱电动机 .....                        | 94  |
| 第七节 | 空调器电动机 .....                       | 105 |
| 第三章 | 电容电动机 .....                        | 109 |
| 第一节 | 电容电动机概述 .....                      | 109 |
| 第二节 | 洗衣机电动机 .....                       | 116 |
| 第三节 | 风扇电动机 .....                        | 122 |

|     |                             |     |
|-----|-----------------------------|-----|
| 第四节 | 抽油烟机电动机修理 .....             | 151 |
| 第四章 | 罩极电动机 .....                 | 155 |
| 第一节 | 罩极电动机的用途和结构特点 .....         | 155 |
| 第二节 | 罩极电动机的工作原理 .....            | 157 |
| 第三节 | 罩极电动机旋转方向的改变方法 .....        | 159 |
| 第四节 | 罩极电动机磁极绕组的计算 .....          | 162 |
| 第五节 | 罩极电动机的故障分析与修理 .....         | 166 |
| 第五章 | 小功率交流换向器电动机 .....           | 169 |
| 第一节 | 小功率交流换向器电动机的特点及用途 .....     | 169 |
| 第二节 | 小功率交流换向器电动机的基本结构 .....      | 169 |
| 第三节 | 小功率交流换向器电动机的工作原理 .....      | 171 |
| 第四节 | 单相串励电动机的相量图及特性 .....        | 172 |
| 第五节 | 串励电动机的重绕计算 .....            | 174 |
| 第六节 | 小功率交流换向器电动机的常见故障与处理方法 ..... | 180 |

# 第一章 单相异步电动机

## 第一节 单相异步电动机的特点和用途

单相异步电动机通常只做成小型的，其容量从几瓦到几百瓦。由于只需单相交流 220V 电源电压，故使用方便，应用广泛，并且有结构简单、成本低廉、噪声小、对无线电系统干扰小等优点，因而多用在小型动力机械和家用电器等设备上，如电钻、小型鼓风机、医疗器械、风扇、洗衣机、冰箱、冷冻机、空调机、抽油烟机、电影放映机及家用水泵等，是日常现代化设备必不可少的驱动源。

在工业上，单相异步电动机也常用于通风与锅炉设备以及其他伺服机构上。

## 第二节 单相异步电动机的工作原理

### 一、异步电动机在单相情况下不能自行起动

人们在使用三相异步电动机的实践中，发现并制作了单相异步电动机。如图 1-1 所示，三相异步电动机在运转中，若有一相（如 V 相）断路，则其他两相绕组电流的关系为  $I_U = I_W$ ，即流过单相电流，形同单相异步电动机。如果电动机的负载较大，则会由于电流增大，极易烧毁电动机；如果负载不大，则电动机仍能继续运行。而当电动机停止运转后再接上电源，电动机便不能起动，只是发出嗡嗡声。这说明单相电流不能产生起动转矩，这类电动机在单相情况下是不能自

行起动的, 请看下面的分析。

## 二、单相电流在绕组中产生的磁动势在空间不形成旋转效应

由于单相电流的大小与方向呈周期性变化, 如图 1-2 所示, 即当电流由  $0 \rightarrow$  最大正值 ( $I_M$ )  $\rightarrow 0 \rightarrow$  最大负值 ( $-I_M$ )  $\rightarrow 0$  时, 单相绕组所建立的磁动势, 也是由  $0 \rightarrow$  最大正值  $\rightarrow 0 \rightarrow$  最大负值  $\rightarrow 0$  的脉振磁动势, 在空间并不形成旋转效应, 即磁动势轴线的位置是固定的, 而空间各点磁动势的大小都随着时间的变化而变化 (磁动势轴线是指空间上磁动势最大的地方, 即波幅处)。如果只考虑其中的基波分量, 则在空间任意点  $x$  处的磁动势可用下式表示

$$f_{\varphi 1} = F_{\varphi 1} \cos x \cos \omega t = \frac{1}{2} F_{\varphi 1} \cos(x - \omega t) + \frac{1}{2} F_{\varphi 1} \cos(x + \omega t) = f_1 + f_2 \quad (1-1)$$

上式表明: 一个脉振磁动势  $f_{\varphi 1}$  可以看作两个旋转方向相反的旋转磁动势  $f_1$  和  $f_2$  的合成, 其幅值各为脉振磁动势幅值  $F_{\varphi 1}$  的一

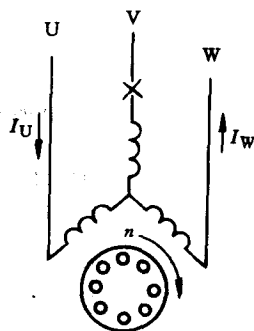


图 1-1 三相异步电动机运转中缺一相形成单相运行的情形

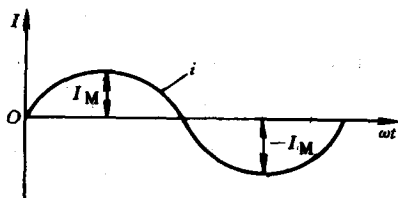


图 1-2 单相电流变化曲线

半。如图 1-3 所示,  $\dot{f}_1$  代表一个顺时针方向旋转的磁动势,  $\dot{f}_2$  代表一个逆时针方向旋转的磁动势, 它们的相量和就是合成磁动势  $\dot{f}_{\varphi 1}$ 。依次顺序观察图 1-3 中各图, 不难看出, 在不同的时刻,  $\dot{f}_1$ 、 $\dot{f}_2$  虽转到不同的位置, 但合成磁动势  $\dot{f}_{\varphi 1}$  始终在垂直位置, 只是  $\dot{f}_{\varphi 1}$  的大小在发生变化。这就证明了两个旋转方向相反的旋转磁动势可以合成为一个脉振磁动势, 或者说, 一个单相绕组的脉振磁动势可以分解成两个大小相等而旋转方向相反的旋转磁动势。

### 三、单相异步电动机的转矩为零

从产生磁动势的观点看, 我们可以把单相绕组看成是由两套三相定子绕组串接而成, 如图 1-4 所示。这两套绕组的匝数完全一样, 并流过同一电流, 因而它们产生的旋转磁动势幅值相等。但由于这两套绕组的相序不同, 所以产生的旋转磁场的转动方向正好相反。

当转子静止不转时, 这两个

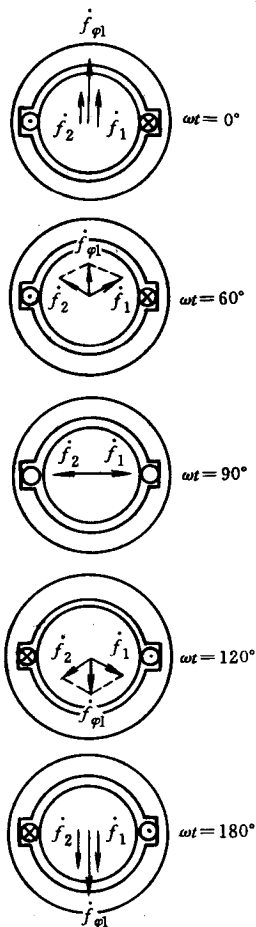


图 1-3 脉振磁动势的分解

大小相等、方向相反的旋转磁动势分别产生旋转磁场切割转子导线，并分别在转子导体中感应出电动势及电流，产生转矩。顺时针方向的旋转磁场在转子中产生的转矩  $M_1$  企图使转子沿顺时针方向旋转，逆时针方向的旋转磁场所产生的转矩  $M_2$  企图使转子沿逆时针方向旋转。这两个磁场的大小相等，相对于转子的转速都是同步转速，它们在转子中产生的转矩大小相等，方向相反，其合成转矩为零。所以，当三相异步电动机缺相运转时，停止后就不能再起。由此而知，单相异步电动机是不能够自行起动的。

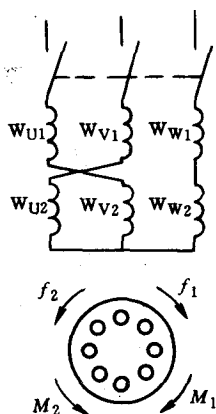


图 1-4 相序不同的两套三相绕组串联时产生的合成转矩

#### 四、单相异步电动机的转动特点

如果用足够的外力推动单相异步电动机转子，例如沿顺时针方向推动转子，则电动机就会产生一个顺时针方向的转动力矩，转子就会沿顺时针方向继续旋转，并逐步加速到稳定运行状态；如果用外力沿逆时针方向推动转子，则电动机就会产生一个逆时针方向的转动力矩，使转子沿逆时针方向继续旋转，并逐步加速到稳定运行状态。这是单相异步电动机的一个显著特点，下面作进一步的分析。

对于单相异步电动机，一般把与转子同方向（图 1-4 中是顺时针方向）旋转的那个磁动势定为正向，称之为正序磁动

势，用  $f_1$  表示；把与转子反方向旋转的那个磁动势称为负序磁动势，用  $f_2$  表示。转子相对于正序磁动势的转差率为

$$s_1 = \frac{n_1 - n}{n_1} = s \quad (1-2)$$

转子相对于负序磁动势的转差率则为

$$s_2 = \frac{n_1 + n}{n_1} = \frac{n_1 - (-n)}{n_1} = \frac{2n_1 - (n_1 - n)}{n_1} = 2 - s \quad (1-3)$$

式中  $n_1$ ——旋转磁场的同步转速；

$n$ ——转子转速。

在图 1-4 中，假定  $W_{U1}$ 、 $W_{V1}$ 、 $W_{W1}$  三相绕组产生正序旋转磁动势，它与转子组成的三相异步电动机，便产生正序转矩  $M_1$ ；另一套三相绕组  $W_{U2}$ 、 $W_{V2}$ 、 $W_{W2}$  产生负序旋转磁动势，它与转子组成的三相异步电动机，便产生负序转矩  $M_2$ 。正序转矩  $M_1$  与转差率  $s$  的关系曲线与三相异步电动机的  $M$ - $s$  关系曲线类似；负序转矩  $M_2$  与转差率  $s$  的关系曲线相当于将  $M_1 = f(s)$  曲线转过  $180^\circ$ ，如图 1-5 所示。

当  $s_1$  在  $0 \sim 1$  的范围内时， $M_1$  为动力转矩，这时  $s_2$  在  $2 \sim 1$  的范围内， $M_2$  为制动转矩；若电动机反向旋转时， $s_2$  在  $0 \sim 1$  的范围内， $M_2$  为动力转矩， $s_1$  在  $2 \sim 1$  的范

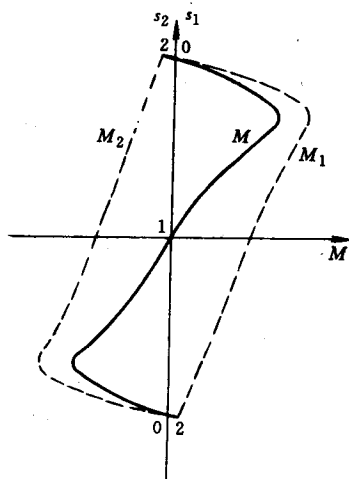


图 1-5 转矩  $M$  与  $s$  的关系曲线

围内,  $M_1$  为制动转矩。

图 1-5 中画出了单相异步电动机的合成转矩  $M$  与转差率  $s$  的关系曲线,  $M$  为  $M_1$  与  $M_2$  的代数和。根据图中  $M=f(s)$  曲线可以看出, 单相异步电动机有下列特点:

1) 在  $s=1$  时, 正负转矩大小相等、方向相反, 恰好相互抵消, 其合成转矩  $M=0$ , 因此, 单相异步电动机没有起动转矩。

2) 在  $s=1$  点的两侧合成转矩是对称的, 因此, 单相异步电动机没有固定的转向, 它的转动方向决定于起动时外加作用力矩的方向。起动后有一定转速 (即  $s \neq 1$ ), 它自身就能产生一定的合成转矩。

### 第三节 单相异步电动机的基本类型及其起动方式

我们已经知道, 单相电流不能产生起动转矩, 因此单相异步电动机不能自行起动。为了使单相异步电动机起动, 必须设法使其在起动时形成一个圆形旋转磁场效应, 或者产生一个使正序旋转磁场增强、负序旋转磁场削弱的椭圆形磁场, 如图 1-6 所示。为此, 人们采取了几种不同的措施, 如设置辅助绕组, 使主绕组、辅助绕组中流过不同相位的电流, 形成两相旋转磁场效应, 而达到使其起动的目的。根据起动方法的不同, 单相异步电动机分成了

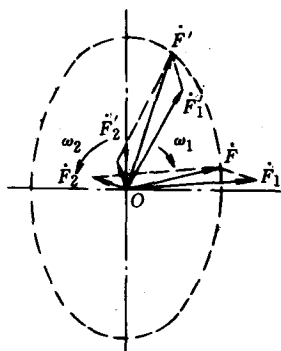


图 1-6 单相异步电动机气隙合成椭圆磁场

不同的类型，常见的有以下几种。

### 一、电阻起动分相电动机

辅助绕组串联电阻器或本身具有必要的电阻值，使主绕组与辅助绕组的电流有相位差而起动的分相电动机。当电动机达到适当转速时，辅助绕组即行断开。

电阻起动分相电动机起动时，电流相位差 ( $\theta_{\pm} - \theta_{\text{主}}$ ) 为  $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ ，见图 1-7a，椭圆旋转磁场较扁平，因此，具有中等起动转矩和较大的起动电流。

### 二、电容起动电动机

只是在起动期间，辅助绕组和与之串联的电容器才接入电路的电容电动机。

电容起动电动机起动时，电流相位差 ( $\theta_{\pm} - \theta_{\text{主}}$ ) 接近  $90^{\circ}$ ，见图 1-7b，旋转磁场近似圆形，因此，有较大的起动转矩倍数和较小的起动电流。

### 三、电容运转电动机

电容运转电动机是与辅助绕组串联的电容器在起动和运转时是相同的电容电动机。电动机参数的选择保证了额定负载时的磁场近似于圆形，起动时磁场为椭圆，因此，电动机效率和功率因数较高，而起动转矩较低。电容运转电动机的电流相量图参见图 1-7c。

### 四、双值电容电动机

双值电容电动机是与辅助绕组串联电容器的电容值在起动和运转时是不相同的电容电动机。

双值电容电动机克服了电容运转电动机的缺点，即起动时因辅助绕组回路串入大容量电容器而使磁场也近似于圆形，所以，电动机效率、功率因数和起动转矩都较高。

### 五、罩极异步电动机

罩极异步电动机是极上具有短路辅助绕组的单相异步电动机。这些绕组在磁场位置上相对于主绕组偏移一个角度。所有的这些绕组都在初级铁心上，通常是在定子上。其中主绕组与短路辅助绕组的轴线在空间相差  $45^\circ$  电角，其绕组电流与磁通的相量图如图 1-7d 所示。图中  $I_K$  为短路辅助绕组中的感生电流， $\Phi_B$  是短路辅助绕组中的合成磁通， $\theta$  即为主磁

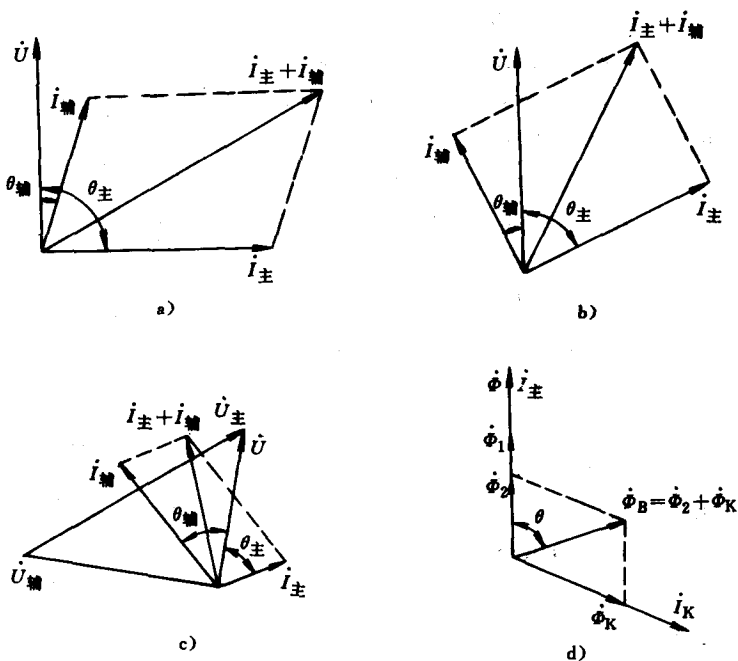


图 1-7 单相异步电动机的相量图

- a) 电阻起动电动机起动时电流相量图    b) 电容起动电动机起动时电流相量图  
c) 电容运转电动机额定负载时电流相量图    d) 罩极异步电动机相量图

通  $\Phi$  与短路辅助绕组磁通的相位差。

#### 第四节 单相异步电动机的结构

单相异步电动机的主要结构与三相异步电动机差不多，主要由以下几部分组成。

##### 一、定子

定子结构有两种形式，容量较大的单相异步电动机采用和三相异步电动机相似的结构，定子铁心也是用硅钢片叠压而成，铁心槽内嵌装有两套绕组。一套是主绕组，也称工作绕组或运行绕组；一套是辅助绕组，俗称起动绕组。两种绕组的中轴线应错开一定的电角。

容量较小的单相异步电动机则制成有凸极形状的铁心，磁极的一部分被短路辅助绕组罩住。凸板凹处装有主绕组，一般为集中式绕组。

##### 二、转子

单相异步电动机的转子与三相异步电动机的转子相同，转子铁心用硅钢片叠压而成，转子铁心槽内装有笼型绕组。

##### 三、起动元件

起动元件串联在辅助绕组线路中，它的作用是在电动机起动完毕后，切断辅助绕组的电流。以往普遍采用离心开关，当转速达到 70%~80% 同步转速时，离心开关切断，使辅助绕组断电。现也有采用起动继电器的，它是利用流过继电器线圈的起动电流大小的变化，使继电器动作，将触点闭合或切断，从而达到接通或切断辅助绕组电源的目的。这种方法比离心开关可靠。最简单的起动元件是按钮，将按钮接在辅助绕组与电源的线路中，利用按钮触点的通断使辅助绕组通电或断电。也有使用转换开关起动的。

最新式的起动元件是“PTC”，它是一种能“通”或“断”的热敏电阻，预设在压缩机电动机等各类电动机绕组中，作起动、停止及过热保护用。

## 第五节 单相异步电动机的绕组和匝数计算

### 一、单相异步电动机分布绕组的形式及正弦绕组匝数分配计算

1. 单层同心式绕组 由于单相异步电动机的功率和定子内径都比较小，因此，常采用单层同心式绕组。它在制造、嵌线方面都比双层绕组简便。

对于分相电动机，有时，让主绕组占总槽数的  $2/3$ ，辅助绕组占总槽数的  $1/3$ ，参见图 1-10c，图中  $D_1$ 、 $D_2$  为主绕组， $F_1$ 、 $F_2$  为辅助绕组。当主绕组占总槽数  $Q$  的  $2/3$  时，磁动势曲线中的三次谐波被自行消除，但其他高次谐波，如五次、七次等，显得特别突出。如果设计不妥，在电动机起动过程中，往往会因谐波引起转矩陡降，使电动机“胶着”在某一较低的转速上运行，而达不到正常转速。

单层同心式绕组的电动机起动性能较差，但由于它绕线和嵌线方便，所以，凡容量较小、定子内径较小的电动机，由于嵌线困难，仍采用这种形式的绕组。

电容电动机，由于辅助绕组在起动后并不切断电源，仍在工作，所以，主绕组、辅助绕组所占的槽数应基本上相等。

单层绕组一般都是采用整距的，虽然有的绕组形式上是短距线圈，但实质上却是整距的。

2. 双层绕组 为了更有效地改善两相旋转磁场的波形，从而改善电动机的起动性能，与三相异步电动机一样，单相异步电动机也可以采用双层绕组。一般是采用缩短  $1/3$  极距

的短距绕组，即  $y = (2/3) \tau$ ，参见图 1-12c。

3. 正弦绕组 正弦绕组是一种高精度绕组，现在出厂的单相异步电动机大多数采用的是正弦绕组，参见表 1-1b 中 JY 系列单相异步电动机正弦绕组排列方法、表 1-2b 中 JZ 系列单相异步电动机正弦绕组排列方法、表 1-3b 中 JX 系列单相异步电动机正弦绕组排列方法。它是将单相异步电动机每极匝数按正弦规律分配到每极下的各个槽中，如图 1-8、图 1-9 所示。这种接法可以使磁动势分布曲线接近于正弦波形。采用正弦绕组的单相异步电动机，由于气隙中磁场波形接近正弦曲线，因此，可以消除或削弱单相异步电动机的附加转矩，大大改善单相异步电动机的起动性能。此外，还可以减少电磁噪声和附加损耗，从而使单相异步电动机的其他性能也获得改善。

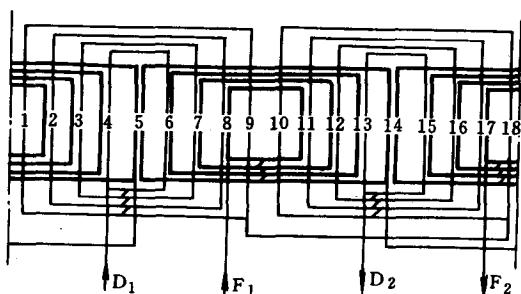


图 1-8 单相两极正弦绕组展开图

采用正弦绕组时，定子铁心槽数基本上按主绕组和辅助绕组对等分配，而且把两种绕组的导体按不同数量分布在定子各槽中。一般将主绕组各线圈边放在各槽的底层，辅助绕组各线圈边放在各槽的上层，上、下层间垫以层间绝缘，这