

最新水利水电机电组安装工程 施工工艺与技术标准 实用手册

主编：刘文清

水利水电工程学院教授

安徽文化音像出版社

责任编辑：刘文清
封面设计：幸小红

ISBN7-88413-391-1

定价：798元（全三卷）

最新水利水电机电组安装工程 施工工艺与技术标准实用手册

主编：刘文清

(第三卷)

安徽文化音像出版社

最新水利水电机组安装工程施工工艺与技术标准实用手册

出版发行： 安徽文化音像出版社
光盘生产： 北京市影光光盘厂
出版时间： 2004年4月

光盘出片号 ISBN 7-88413-391-1
定价：798.00元(1CD 赠送配套全书三卷)

第六节 定子绕组的端部连接

一、定子双层叠绕组的接线

在安装、修理电机时,无论是全部更新绕组或是部分更换绕组,都必须先绘出绕组接线图,以便清楚地看出线圈之间的连接方式,下面介绍双层叠绕组接线图的画法。

(一)用槽电动势星形图分析绕组

1. 槽电动势星形图原理

当电机定子槽内导体的电动势随时间作正弦规律变化时,在 \times 槽中的导体的电动势瞬时值为

$$e_x = B_x l v = l v B_m \sin \alpha_x(t)$$

式中 l ——导体在槽中的有效长度,mm;

B_x —— x 槽处的磁通密度,T;

v ——导体切割磁力线的速度,mm/s。

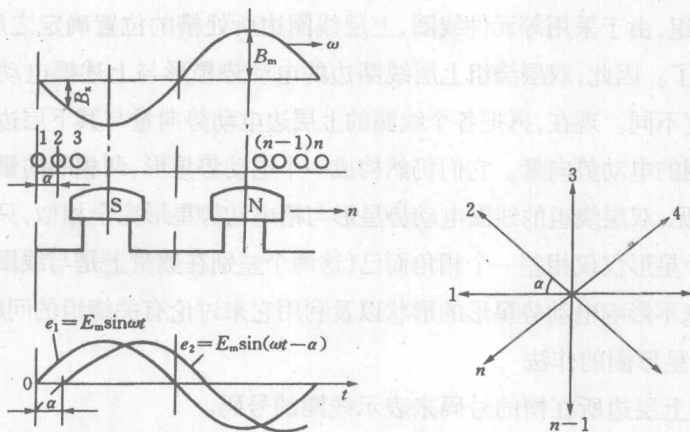


图 7-2-93 槽导体电势及电势星形图

见图 7-2-93,若电机定子铁芯圆周上两槽间的机械角度(即几何角度)为 α_0 ,槽数为

为 2,则

$$\alpha_0 = \frac{2\pi}{Z} = \frac{360^\circ}{Z}$$

因一对极对应于 $2\pi(360^\circ)$ 电角度,因此当电机有 P 对极时,两槽间的电角度为

$$\alpha = \frac{P360^\circ}{Z} = Pa_0$$

a 称为槽距角。如将左边极间中线上的槽定为第一槽,其他的槽与其相距分别为 $a, 2a, 3a, \dots, na$ 电角度。设磁场以 ω 的角速度旋转,若选定第一槽为时间起点,则第 X 槽的导体所处磁场空间电角度为

$$a_x = \omega t - (x - 1)\alpha$$

那么

$$\begin{aligned} e_x &= l v B_m \sin[\omega x - (x - 1)\alpha] \\ &= E_m \sin[\omega x - (x - 1)\alpha] \end{aligned}$$

各个槽中导体电动势瞬时值均可写成

$$\text{第一槽导体电动势 } e_1 = E_m \sin \omega t$$

$$\text{第二槽导体电动势 } e_2 = E_m \sin(\omega t - a)$$

$$\text{第三槽导体电动势 } e_3 = E_m \sin(\omega t - 2a)$$

⋮

$$\text{第 } n \text{ 槽导体电动势 } e_n = E_m \sin[\omega t - (n - 1)d]$$

可见,每槽导体中电动势的振幅都是 E_m ,角频率为 ω ,在时间相位上,与第一槽导体电动势相比,第二槽及以后各槽导体电动势分别落后 $a, 2a, 3a, \dots, (n - 1)a$ 电角度。正弦变量可用一个旋转矢量来表示,因此均可以将槽内导体电动势用一长度为 E_m ,以 $\omega = 2\pi f$ 逆时针旋转的向量表示,这些向量从同一中心出发,两相邻向量相差 a 电角度,如图 7-2-93 所示。这些槽电动势向量像个放射形星形,故称为槽电动势星形。

对于双层绕组,由于采用等元件线圈,上层线圈边所处槽的位置确定之后,下层线圈边也就相应地确定了。因此,双层绕组上层线圈边的电动势星形与上述槽电动势星形完全相同,只是向量长度不同。现在,再把各个线圈的上层边电动势向量与其下层边电动势向量相加,便得到各线圈的电动势向量。它们仍然构成一个电动势星形,两相邻向量间的相位差也是 α 电角度。可见,双层绕组的线圈电动势星形与槽电动势星形完全相似,只是两者的向量长度不同,且两个星形仅仅相差一个相角而已(这两个差别在数量上是与线圈的节距 y 密切相关的)。但这毫不影响电动势星形的形状以及利用它来讨论有关绕组的问题。

2. 槽电动势星形图的作法

通常以线圈上层边所在槽的号码来表示线圈的号码。

下面以槽数 $Z = 18$,相数 $m = 3$,极数 $2p = 2$ 的双层叠绕组为例,来说明槽电动势星形图的作法。

$$\text{先计算槽距角 } \alpha = \frac{p360^\circ}{Z} = \frac{1 \times 360^\circ}{18} = 20^\circ$$

然后,将所有定于槽按顺序 $1, 2, 3, \dots$ 编号。以某一点为中心,作出 $n = \frac{360^\circ}{\alpha} = \frac{360^\circ}{20^\circ} = 18$ 根长度相等而相差 α 角度的向量。取任一根定为槽 1 的电动势向量,标上 1,再按顺时针依次给向量编号为 $2, 3, \dots, 18$,见图 7-2-94。

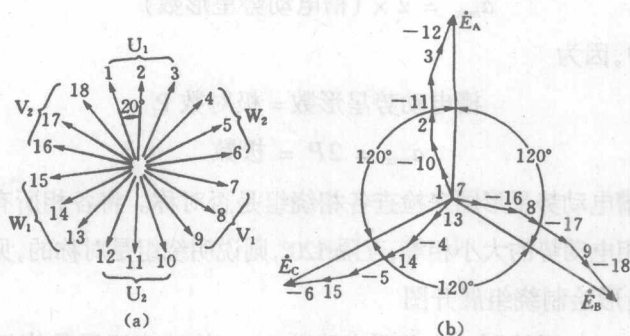


图 7-2-94 电势星形图
a)槽电势星形;b)相电势星形

3. 用槽电动势星形分析绕组

用上述的方法作好电动势星形图后,接着就进行分相,就是确定各个槽属于那一相。分相的原则是使各相合成的电动势最大,并且是对称的。现在电机一般都采用 60° 相带,即把一个极距分为三等分,每部分为 $\frac{180^\circ}{3} = 60^\circ$,因此在槽电动势星形图上来进行分相是很方便的。只要将电动势星形分为 6 个相等的区域,按照 U_1 、 W_2 、 V_1 、 U_2 、 W_1 、 V_2 的顺序标上符号,就可以知道哪些槽该属于哪一相了。本例中为:

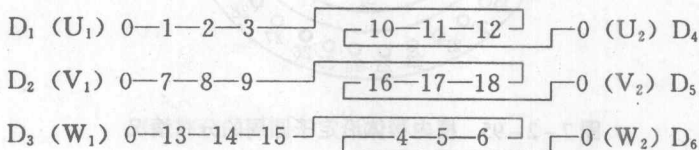
U 相:1,2,3,(1,11,12)

V 相:7,8,9,(1,17,18)

W 相:(4,5,6),13,14,15

每个区域(相带)内的槽数为 3,与每相槽数 $q = \frac{Z}{2mp} = \frac{18}{2 \times 3 \times 1} = 3$ 是一致的。括弧内的槽号表示在不同极性的磁极下。这些,都是指上层边所属的槽,而下层边则根据线圈节距 y 自然地就确定了。

关于各相绕组的连接,根据线圈中电动势相加的原则,不同极性下线圈组应该反接。对于双层整数槽 q 叠绕组,应符合“尾接尾,头接头”的规律循环连接。具体接线的顺序如下:



关于整数槽 q 双层叠绕组的最大可能的并联支路数 α_{\max} ,从槽电动势星形图中可以很清楚地看出。每相在一个槽电动势星形图中占有槽数相等(为 q)而相差 180° 的两个相带,如果把其中一个相带的线圈组反接,则对应于每个槽电动势星形,每相可连两条并联

支路。那么

$$a_{max} = 2 \times (\text{槽电动势星形数})$$

在整数槽 q 绕组中, 因为

$$\text{槽电动势星形数} = \text{极对数 } P$$

所以

$$a_{max} = 2P = \text{极数}$$

最后, 可以用槽电动势星形图来检查各相绕组是否对称。将各相所有支路的槽电动势向量相加, 如果三相电动势的大小相等, 互隔 120° , 则说明绕组是对称的, 见图 7-2-94(b)。

4. 槽电动势星形绘制绕组展开图

已知 $Z = 36, 2P = 4$, 要绘制一个并联支路数 $a = 1$ 的三相双层叠绕组展开图。具体的步骤如下:

1. 绘槽电动势星形图

见图 7-2-95, 相邻两槽间的电角度为

$$\alpha = \frac{P360^\circ}{Z} = \frac{2 \times 360^\circ}{36} = 20^\circ$$

由于各槽在空间彼此相差 α 电角度, 因此各导体电动势在时回相位上也彼此相差 α 电角度。于是, 假设 1 号槽的导体电动势以向量 1 表示, 则在图 7-2-95 所示的转子转向下, 2 号槽的导体电动势向量 2 比向量 1 滞后 20° 。同理向量 3 比向量 2 滞后 20° 。依此类推, 就可绘出图 7-2-96 所示的槽电动势星形图。由于 19 槽的槽距角为 $18 \times 20^\circ = 360^\circ$, 即 19 与 1 重合; 同样 20 与 2 重合, 这样类推下去, 直到 36 与 18 重合。事实上, 这时形成了两个重叠在一起的电动势星形图, 每个由 18 根向量组成。

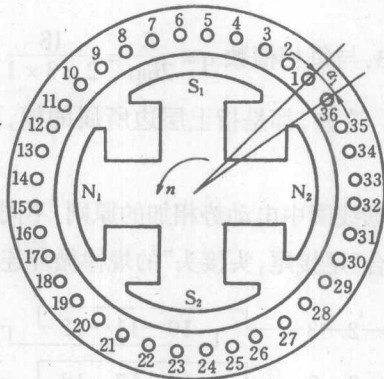


图 7-2-95 槽内导体沿定子圆周的分布情况

2. 分相

分相的原则是使每相电势最大, 而且三相电势对称相等, 每相在每极下应占有相等的

槽数

$$q = \frac{Z}{2pm} = \frac{36}{2 \times 2 \times 3} = 3$$

以 U 相为例, 由于 $q = 3$, U 相在每个极下应占有 3 个槽。在第一对极距范围内, 如果

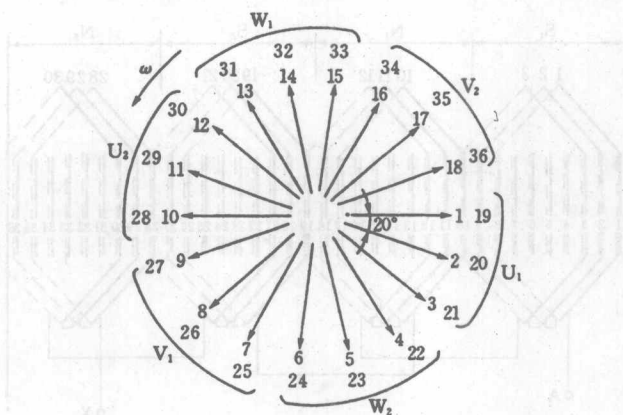


图 7-2-96 槽电势星形图

在 S_1 极下将 1、2、3 三个槽划归 U 相,在旁边标以字母 U_1 。为了使每相合成电动势最大,则应把 N_1 极下的 10、11、12 三个槽也划归 U 相,标以字母 U_2 。类似地把第二对极距范围内的 19、20、21 和 28、29、30 等 6 个槽也划归 U 相。

同理,为了使三相绕组对称,应将距 U 相 120° 处的 7、8、9、16、17、18 和 25、26、27、34、35、36 等划归 V 相。而将距 U 相 240° 处的 13、14、15、22、23、24 和 31、32、33、4、5、6 等槽划归 W 相。

3. 绘绕组展开图

绘绕组展开图,就是根据星形图上分相的结果,把属于各相的导体按一定规律连接起来,组成三相绕组。绘展开图时,把电枢从齿中心沿轴向剖开,展成一平面,磁极在上面,

见图 7-2-97(a)。由于原来编号是沿反时针方向编的,故展开后按自左至右编号。编号的原则是线圈和线圈的上层边所在的槽编为同一号码。绘图时,上层边用实线表示,下层边用虚线表示。其次,把展开图上的槽分为 $2P$ 等分,根据右手定则,标出各槽内导体电势的方向,然后,选择线圈节距,以 y 表示。

设选用短距绕组,取 $y=7$ 槽,则第一槽的上层导体与第八槽的下层导体联接起来构成第一个线圈,其余类推。

根据 U 相所属的线圈向量,把上层边在第一个极下的 1、2、3 三个线圈串联起来(线圈 1 的尾与线圈 2 的头接在一起,其余类推)得到一个线圈组。类似地,把在其他极下属于 U 相的 10、11、12;19、20、21;28、29、30 等线圈分别串联起来构成另外三个线圈组。这样, U 相共有 4 个线圈组,见图 7-2-97(a)。

由于不同极性下的线圈组电动势方向相反,为了使整个绕组的电动势相加,线圈组串联时应采用“尾接尾、头接头”的规律。这样就连成了 U 相绕组,这时 U 相所包括的 12 个线圈的串联次序如下所示:

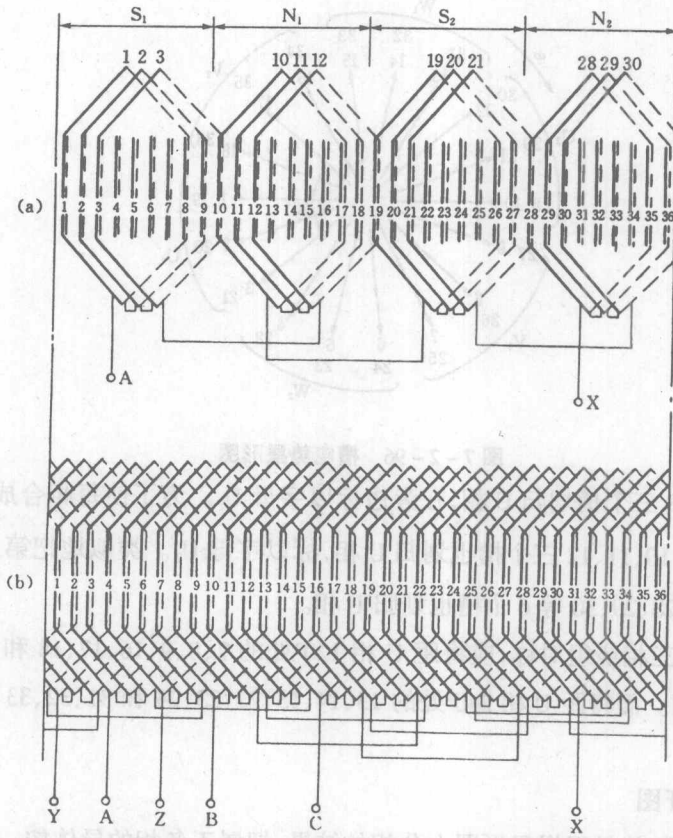
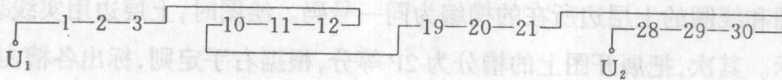


图 7-2-97 三相双层叠绕组展开图

(a) A 相展开图; (b) 三相展开图

$$2p=4 \quad Z=36 \quad a=1$$



同理,根据星形图上划分的 V 相和 W 相所属线圈向量按同样规律连接起来,便构成 V 相和 W 相绕组。这样,可得三相绕组的展开图,见图 7-2-97。

槽电动势星形图是分析电机绕组的最基本的方法,无论对于整数槽 q 或分数槽 q 绕组,叠绕组或波绕组,对称或不对称绕组都是适用的。但是,对于定子槽数很多,极数也很多, q 又为分数的电机,如果采用作槽电动势星形图的方法,就比较烦琐。因此,在长期的生产实践中,总结了一些简便实用的分析绕组连接的方法,后面将分别予以叙述。

(二) 分数槽绕组的连接法

前面,用槽电动势星形图对整数槽 q 绕组进行了分析。现在,用槽电动势星形图来分析分数槽 q 绕组的连接法。槽电动势星形图的绘法与整数槽 q 绕组的槽电动势星形图的

画法相同,只要将各槽依次编号并求出槽距角

$$\alpha = \frac{p360^\circ}{Z}$$

便能依次绘出对应于各槽由磁场基波所产生电动势的向量而构成槽电动势星形。设槽数 Z 和极对数 p 间有一最大公约数 t , 则电机全圆可分割为相等的 t 段, 每一段内包含有整数的极对数 $P_t = P/t$ 和整数的槽数 $Z_t = Z/t$ 。如此, 对应于每一段的槽数可绘得一个包含 Z_t 个向量的均匀分布槽电动势星形, 称为基本星形。由于 t 段的情况完全一样, 全体槽电动势星形包含 t 个完全相同而叠合在一起的基本星形, 因此分析时只需观察基本星形便可以。

双层绕组是现代最通用的绕组, 所有线圈的节距都相同并可灵活选择, 绕组的线圈数和槽数相等。因此, 槽电动势星形中的向量也可看作是线圈电动势的向量。这说明双层绕组的每个槽电动势向量可以独立存在, 因此, 构成双层 m 相平衡绕组的对称条件是: 槽电动势的基本星形能够被 m 平分, 即

$$\frac{Z_t}{m} = \frac{Z_t}{mt} = Z' \text{ 整数}$$

下面就 Z' 为奇数和偶数两种情况, 利用实例来说明分数槽绕组的连接法。

1. Z' 为奇数

当 $Z_t/m = Z' = \text{奇数}$ 时, 此时每相在每个基本星形中所占的向量数为奇数, 可将其分为大小两组。两组相差一个向量, 一组居 N 极底下, 而另一组居 S 极底下。

例 1 已知 $Z = 30, 2P = 4, m = 3$, 试绘制双层分数槽绕组展开图。

解 按定义, 每极每相槽数为

$$q = \frac{Z}{2pm} = \frac{30}{2 \times 2 \times 3} = 2 \frac{1}{2}$$

槽距电角为

$$\alpha = \frac{p360^\circ}{Z} = \frac{2 \times 360^\circ}{30} = 24^\circ$$

根据 Z 和 α 绘制槽电动势星形图, 见图 7-2-98。

由于 Z 和 p 的最大公约数 $t = 2$, 故槽电动势星形包含两个叠合的基本星形。每个基本星形有 $Z_t = \frac{Z}{t} = \frac{30}{2} = 15$ 个向量, 而每相分得 $Z_t/m = 15/3 = 5$ 个向量。由于 $q = 2 \frac{1}{2}$, 当按 60° 相带分相时, 每相带只能占 2.5 个槽, 但可将其分为一大、一小两组, 大组包含 3 个向量, 而小组包含 2 个向量。即每相正相带(顺接相带)取 3 个槽, 负相带(反接相带)取 2 个槽(或反之), 其平均相带为 60° 见图 7-2-98。三相电动势大小相等, 相位相差 120° , 是

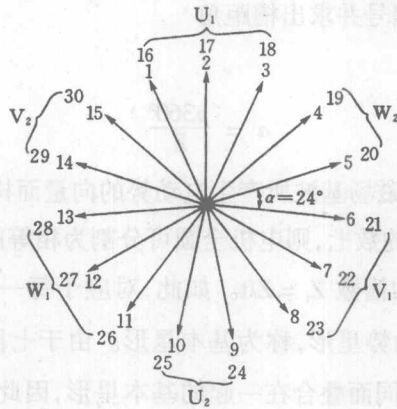


图 7-2-98 $Z=30, 2P=4, m=3$ 的槽电势星形

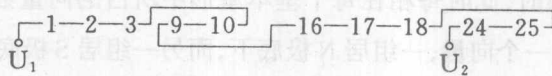
一个对称三相绕组,各相所占的槽号分别为:

U相 1、2、3、9、10 和 16、17、18、24、25

V相 6、7、8、14、15 和 21、22、23、29、30

W相 11、12、13、4、5 和 26、27、28、19、20

从槽电动势星形图可知,每相分为两组,每组有 5 个向量,可以把它们并联成两条支路,也可以串联成一条支路。当采用节距 $y=6$ 时,U 相绕组的展开图,见图 7-2-99。图中两组串联成一条支路,串联的规律与双层整数槽 q 叠绕组相同。U 相各线圈的连接规律如下所示:



根据例中接线表和槽电动势星形,可绘出相电动势星形图,见图 7-2-100。这时,三相的电动势是平衡的。

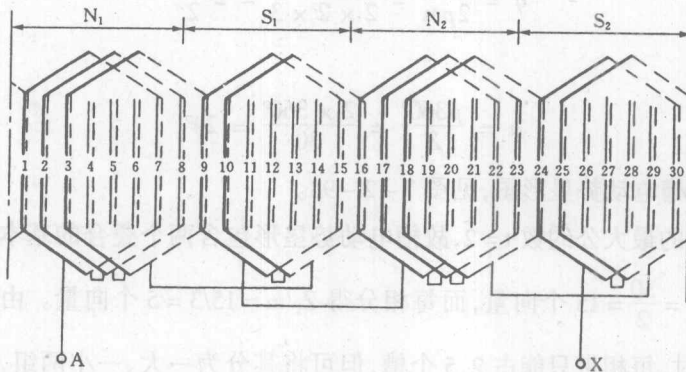


图 7-2-99 $Z=30, 2P=4, q=2^1/2, a=1$ 时 A 相叠绕组展开图

2. Z' 为偶数

当 $Z'/m = Z' =$ 偶数时,此时每相在每个基本星形中所占的向量数可平分为两半,一半在 N 极底下,而另一半在 S 极底下。

例 2 已知 $Z = 36, 2P = 20, m = 3$, 试绘制双层分数槽绕组展开图。

解 按定义,每极每相槽数为

$$q = \frac{Z}{2pm} = \frac{36}{2 \times 10 \times 3} = \frac{3}{5}$$

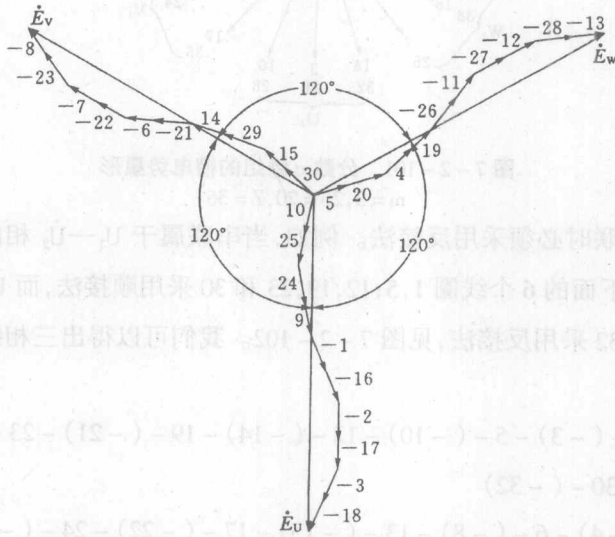


图 7-2-100 图 7-2-98 的分数 q 的相电动势星形图

槽距电角为

$$\alpha = \frac{p360^\circ}{Z} = \frac{10 \times 360^\circ}{36} = 100^\circ$$

根据 Z 和 α 绘制槽电动势星形图,见图 7-2-101。

由于 Z 和 P 的最大公约数 $t = 12$, 故槽电动势星形包含两个叠合的基本星形, 每个基本星形有 $Z_1 = Z/t = 36/2 = 18$ 个向量。现将每个基本星形所包含的 18 个向量平分为三相, 是每相得 6 个 ($Z_1/m = Z' = Z/mt = 36/3 \times 2 = 6 =$ 偶数) 向量。可再平分于 N 和 S 极下, 每极 3 个向量, 见图 7-2-101, $U_1-U_2, V_1-V_2, W_1-W_2$ 。显然, 这样分法三相电动势能够平衡。如此便确定了各槽上层线圈边应属何相, 即第 1、3、5、10、12、14、19、21、23、28、30、32 槽的上层线圈边应属 U_1-U_2 , 而第 13、6、17、31、24、35、4、15、8、22、33、26 槽属 V_1-V_2 相, 剩下的 12 个槽则属 W_1-W_2 相。至于各线圈的下层边居于什么位置, 则由所选的线圈节距决定而没有限制。

当属于同一相各线圈所占的槽确定之后, 下一步工作就是如何将这线圈连接起来以构成相绕组。为了使各串联线圈的电动势是相加而不是相消, 当将 N 极底下的线圈与

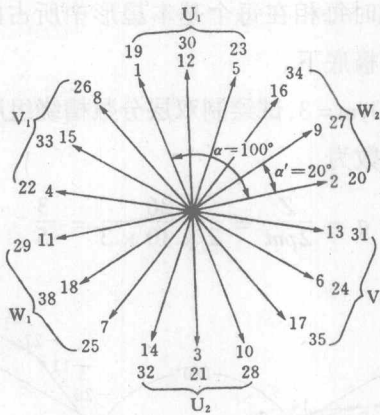


图 7-2-101 分数 q 绕组的槽电动势星形
 $m=3, 2p=20, Z=36$

S极底下的线圈串联时必须采用反接法。例如,当串联属于 U_1-U_2 相的 12 个线圈时,槽电动势星形中 U_1 下面的 6 个线圈 1, 5, 12, 19, 23 和 30 采用顺接法,而 U_2 下面的 6 个线圈 3, 10, 14, 21, 28 和 32 采用反接法,见图 7-2-102。我们可以得出三相线圈的串联次序如下:

$$U_1-U_2 \text{ 相: } 1 - (-3) - 5 - (-10) - 12 - (-14) - 19 - (-21) - 23 - (-28) \\ - 30 - (-32)$$

$$V_1-V_2 \text{ 相: } (-4) - 6 - (-8) - 13 - (-15) - 17 - (-22) - 24 - (-26) - 31 \\ - (-33) - 35$$

$$W_1-W_2 \text{ 相: } 7 - (-9) - 11 - (-16) - 18 - (-20) - 25 - (-27) - 29 - (-34) \\ - 36 - (-2)$$

具有负号的线圈表示串联时应采用反接法。

已知绕组连接法便可利用槽电动势星形图绘出相电动势的星形图,见图 7-2-103。为简便,绘图时可当作是全距绕组(这并不影响三相电势向量的相对关系)。因而顺接时,线圈电动势的方向可看作与相应的槽电动势向量的方向平行。而反接的线圈电动势向量的方向则必须与相应的槽电动势向量的方向相反。从图 7-2-103 中我们看到,这时三相电动势的大小相等而相互位移 120° ,因此三相电动势平衡。

(三) 分数槽绕组的对称条件与并联主路

分数槽 q 绕组最基本的对称条件是每一个基本星形中各相的向量数相等,即

$$Z_i/m = Z/mt = Z' = \text{整数}$$

这一对称条件可转化为其他形式,最通常的是利用分数 $q = N/d$ 公式中的分母 d 来判断,

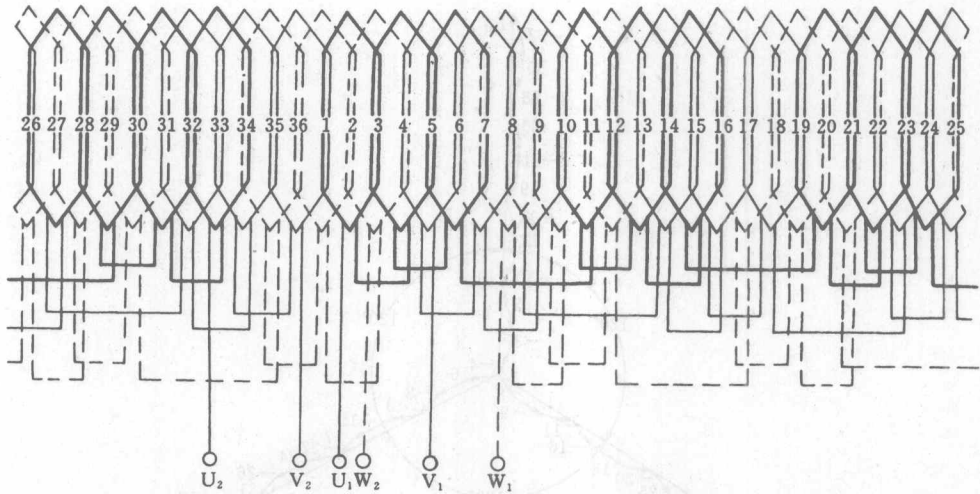


图 7-2-102 a=1 时分数槽绕组展开图

$$m=3, 2p=20, Z=36, q=\frac{3}{5}$$

即 d 中不能有 m 的公因子, d 与 m 不可约分。因为每一轮换数中线圈组的数目等于 d , 而线圈组中又有 $(b+1)$ 个线圈的大组和 b 个线圈的小组之分。如果 d 与 m 之间有公因子, 那么有些相在每一轮换数中总是占有大线圈组, 而有些相则总是占有小线圈组。这样, 每相所占的总槽数不相等, 绕组必然是不对称的。例如, $q=2\frac{1}{3}$, 轮换数为 $(2, 2, 3)$, 按相带来分则

$$(U_1, W_2, V_1), (U_2, W_1, V_2), (U_1, W_2, V_1), (U_2, W_1, V_2), \dots$$

$$(2, 2, 3), (2, 2, 3), (2, 2, 3), (2, 2, 3), \dots$$

很明显, U 相和 W 相总是占有 2 个线圈的小线圈组, 而 V 相则总是占有 3 个线圈的大线圈组。如果 $2p=28, m=3$, 则

$$Z = 2pmq = 2 \times 14 \times 3 \times \frac{7}{3} = 196$$

$$\frac{Z}{m} = \frac{196}{3} = 65\frac{1}{3} \neq \text{整数}$$

$t=2$, 则

$$Z_t = \frac{Z}{t} = \frac{196}{2} = 98$$

$$\frac{Z_t}{m} = \frac{98}{3} = 32\frac{2}{3} \neq \text{整数}$$

可见, d 中含有 m 的因子的分数槽 q 绕组必定是不对称的。

其次, 由于绕组对称时每相所占槽数即线圈数必须相等, $2pq = 2p \frac{N}{d} = \text{整数}$, 因 N 与 d

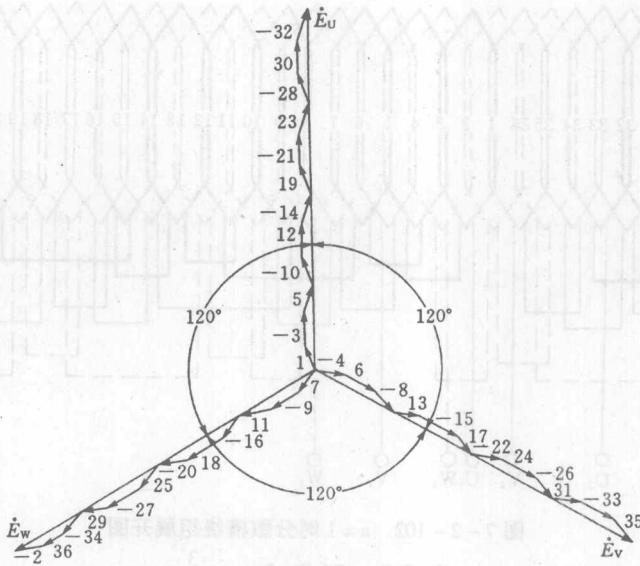


图 7-2-103 图 7-2-101 所示分数 q 绕组的相电动势星形

没有公约数,可见必须是 $\frac{2p}{d} = \text{整数}$ 。

对于整数槽 q 的双层绕组,每相可能的最大并联支路数等于电机的极数 $2p$,即 $a_{\max} = 2p$;而在分数槽 q 双层绕组中,每相可能的最大并联支路数等于 $\frac{2p}{d}$,即

$$a_{\max} = \frac{2p}{d}$$

因此,在选取并联支路数 a 时,必须要使 $\frac{a_{\max}}{a} = \text{整数}$,即 a 是 a_{\max} 的因子。那么,对于任意支路数 a 时,则

$$\frac{a_{\max}}{a} = \frac{2p}{ad} = \text{整数}$$

这时绕组才是对称的。

(四)线圈组循环数序及确定循环数序的实用方法

应用槽电动势星形图可以确定分数槽 q 绕组、每槽所属相及其连接顺序、检查对称情况等,但对于槽数很多的电机,这是很烦琐的工作。因此,在实际中,通常用确定线圈组轮换数的方法,来简便地确定每槽所属相及绕组连接。所谓线圈组轮换数,就是在一般情况下,用以表示在整个定子绕组中线圈组的各个特征数的总和,是周期性的,而每个周期中的线圈组的轮换数序是一样的。通常,把这样的—个周期叫做“线圈组轮换数”或者叫做“循环数列”。

现将 $Z=54, 2P=8, m=3$ 的双层叠绕组按槽的顺序列出线圈组的排列情况及其相属表示如下:

相属	$U_1 U_1 U_1 W_2 W_2 V_1 V_1 U_2 U_2 W_1 W_1 W_1 V_2 V_2$
槽号	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14
线圈组中	$\underbrace{\hspace{2em}} \quad \underbrace{\hspace{2em}} \quad \underbrace{\hspace{2em}} \quad \underbrace{\hspace{2em}} \quad \underbrace{\hspace{2em}} \quad \underbrace{\hspace{2em}}$
线圈数	3 2 2 2 3 2
相属	$U_1 U_1 W_2 W_2 V_1 V_1 V_1 U_2 U_2 W_1 W_1 V_2 V_2 \dots$
槽号	15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 ...
线圈组中	$\underbrace{\hspace{2em}} \quad \underbrace{\hspace{2em}} \quad \underbrace{\hspace{2em}} \quad \underbrace{\hspace{2em}} \quad \underbrace{\hspace{2em}} \quad \underbrace{\hspace{2em}}$
线圈数	2 2 3 2 2 2

可见,线圈组分为两种,一种是3个小线圈的大线圈组,一种是2个线圈的小线圈组,它们是按“3222”的规律轮换下去,因此,称“3222”为这种绕组线圈组的轮换数。对于 60° 相带的绕组,相序按 $U_1 W_2 V_1 U_2 W_1 V_2$, 当绕组的轮换数已知时,就可确定每个线圈组属于哪相及占哪些槽了。

因 $q = b + \frac{c}{d} = \frac{bd + c}{d} = \frac{N}{d}$, 在上例中, $q = \frac{Z}{2pm} = \frac{9}{4}$, 即 $N = 9, d = 4$, 对照线圈组的轮换数可以看出, $N = 3 + 2 + 2 + 2 = 9$, 即 N 为每一轮换数中线圈的总数目; 而 $d = 1 + 1 + 1 + 1 = 4$, 即 d 为每一轮换数中线圈组的总数目。各种不同的 q 值均符合这个规律。但是,在轮换数中仅知道线圈组的总数 d 和线圈总数 N 是不够的,还必须确定大线圈组和小线圈组的数目以及它们在轮换数中的排列。在生产实践中,积累了许多解决这些问题的实用方法,常用的几种如下:

1. 直观快速排列法

当 $q = b + \frac{c}{d}, c=1$ 或 $c=d-1$ 时,每一循环数列中有 d 个线圈组,共 $bd + c = N$ 个线圈,其中, c 个大线圈组,每组是 $(b+1)$ 个线圈及 $(d-c)$ 个小线圈组,每组 d 个线圈;对于 $c=1$ 的情况,循环数列中线圈组排列的顺序一般前面是 $(d-c)$ 个小线圈组,最后为 $c=1$ 个大线圈组。例如:

$q = 1\frac{1}{4}$ 的循环数列为 $(1, 1, 1, 2) \dots$

$q = 2\frac{1}{4}$ 的循环数列为 $(2, 2, 2, 3) \dots$

$q = 1\frac{1}{5}$ 的循环数列为 $(1, 1, 1, 1, 2) \dots$