

文章编号: 1007-6492(1999)04-0044-04

## 旋转变压器的设计特点

辛小南<sup>1</sup>, 贾生平<sup>2</sup>

(1. 郑州工业大学电气信息工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 平顶山炼焦化学工业(集团)有限公司, 河南 平顶山 467021)

**摘要:** 由于旋转变压器的输出电压与转速无关, 且无电刷和滑环, 故适用于可控硅调速的同步电动机的励磁系统。利用电路分析和磁路分析的方法, 分析了旋转变压器的结构特点, 推导出当定子铁心和转子铁心表面对轴心的夹角满足一定的条件, 即可保证旋转变压器旋转时的磁阻不变; 当气隙比  $k=2$  时, 三相电压对称。

**关键词:** 变压器; 磁通; 励磁电流

**中图分类号:** TM 402 **文献标识码:** A

### 0 引言

同步电机可以通过调节励磁电流来改变其功率因数, 因此, 在大中型企业中, 对于不需要调速的大型电动机, 一般采用同步电动机以改善企业的功率因数。但同步电动机的转速与电流的频率保持严格的同步关系, 限制了同步电动机的应用。近年来, 可控硅技术的发展, 为同步电动机的广泛应用, 展现了广阔的前景。

同步电机的励磁系统可分为 2 大类: 一类为采用直流发电机作为励磁机的直流励磁系统; 另

一类为采用整流装置将交流电流变为直流电流, 然后送入同步电动机的励磁绕组的交流励磁系统。这两种系统中的励磁机发出的励磁电压均与转速成正比。若装于可控硅调速的同步电动机, 则当电动机的转速改变时, 励磁电压以及励磁电流也随之改变。因此, 对于这种系统还要有专门的设备以控制励磁电流。

本文介绍一种输出电压与转速无关且完全无刷式的励磁装置——旋转变压器<sup>[1]</sup>。旋转变压器构成的励磁系统图如图 1 所示。

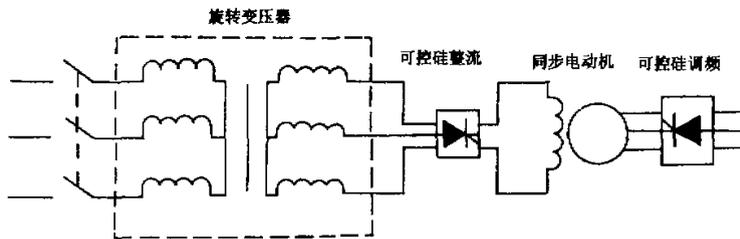


图 1 旋转变压器构成的励磁系统原理图

### 1 旋转变压器的结构特点

旋转变压器的基本作用原理与普通的静止变压器完全一样, 但结构却迥然不同。旋转变压器的铁芯分为定、转子两部分, 原、副绕组分别装于定、

转子铁芯上, 如图 2 所示。

旋转变压器的定子和转子铁芯做成若干块, 而不是如交流电机的定子和转子铁芯那样布满整个圆周, 这样做是为了便于下线, 否则, 原、副绕组将无法嵌入槽内。将定、转子铁芯做成几块, 可先

收稿日期: 1999-02-30; 修订日期: 1999-06-01

作者简介: 辛小南(1963-), 女, 河南省南阳市人, 郑州工业大学讲师, 硕士, 主要从事电机设计与控制方面的研究。

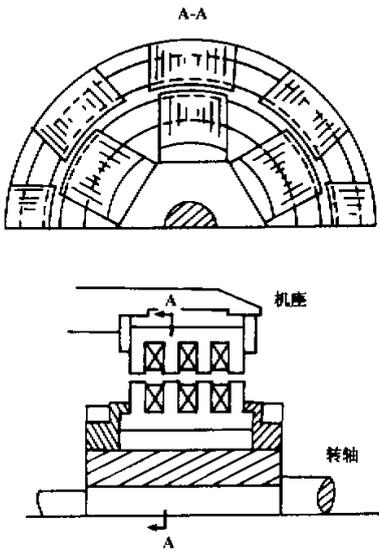


图2 旋转变压器的结构图

将一部分铁芯固定在机座或转轴上,再把绕组安放好,最后将其余的铁芯块固定好。

由于定子和转子铁芯不是布满整个圆周,因此,当电机旋转从而带动旋转变压器旋转时,磁阻可能发生变化。为了保证旋转变压器旋转时,磁路的磁阻不变,旋转变压器定、转子铁芯的块数与铁芯表面圆弧对轴心所张的角度之间需要满足关系

$$\theta = k \cdot \frac{2\pi}{p}, \quad (1)$$

式中: $\theta$  为每块定子(或转子)铁芯表面圆弧与轴心的张角; $p$  为定子块数与转子块数的最小公倍数; $k$  为正整数。

设定子块数为  $m$ , 转子块数为  $n$ , 定、转子每块铁芯表面与轴心的张角分别为  $\theta_1, \theta_2$ , 正整数  $k$  还应满足

$$0 < \theta_1 < \frac{2\pi}{m}; \quad 0 < \theta_2 < \frac{2\pi}{n}. \quad (2)$$

只要  $\theta_1$  和  $\theta_2$  有一个能满足式(1)和式(2), 另一角度可为满足式(2)的任意值, 即可满足当旋转变压器旋转时磁阻不变的要求。

## 2 工作原理

旋转变压器的基本工作原理与一般的静止变压器的基本工作原理相同: 当原方接到交流电源上时, 在外施电压的作用下, 原绕组中有交流电流流过, 并在铁芯中产生交变磁通, 其频率和外施电压一样。这个交变磁通同时交链原、副方绕组, 并同时在原、副方绕组中感应电势, 原、副方绕组电

势之比等于原、副绕组的匝数之比。

旋转变压器可看成是壳式变压器的变种, 因此, 同三相壳式变压器相同, 旋转变压器原、副方绕组的中间一相必须反接<sup>[2]</sup>。如果中间的 B 相不反接, 则两边铁芯的磁通为  $\Phi_A$  和  $\Phi_B$ , 而 A 相与 B 相及 B 相与 A 相相邻的处齿的磁通为  $(\Phi_B - \Phi_A)$  和  $(\Phi_B - \Phi_C)$ , 则中间两齿的磁通为边上两齿的磁通的  $\sqrt{3}$  倍。如欲使 4 齿中的磁密相同, 中间两齿的宽度需为两个边齿的  $\sqrt{3}$  倍。如果 B 相反接, 则中间两齿中的磁通为  $(\Phi_A + \Phi_B)$  和  $(\Phi_B + \Phi_C)$  (如图 3(a) 所示)。由相量图可知,  $|\Phi_A| = |\Phi_A + \Phi_B| = |\Phi_B + \Phi_C| = |\Phi_C|$  (如图 3(b) 所示)。因此 4 齿宽度相等即可满足磁密相等的要求, 节约了原材料。

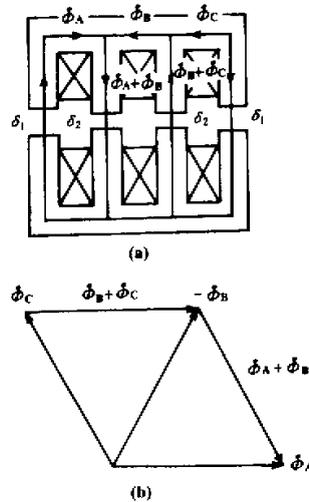


图3 旋转变压器的磁通及相量图

## 3 电流分析与磁路分析

在壳式变压器中, 由于三相磁路不对称, 三相励磁电流也不对称, 但负载时励磁电流仅占原边电流的很小一部分, 故其不对称性可不予考虑。而对旋转变压器就不同了, 旋转变压器中存在气隙, 因此励磁电流很大。气隙不等, 使励磁电流的不对称性更加大, 因此对原边负载电流的影响较大。

A, C 两相在磁路上对称, 故可知 A, C 两相的激励电流相等。

设空载时,

$$I_A = I_m;$$

$$I_B = h I_m e^{j\beta};$$

$$I_C = I_m e^{j\beta}.$$

由基尔霍夫定律可得

$$i_A + i_B + i_C = 0, \quad (3) \quad \text{设}$$

解方程组可得  $h = -2\cos\alpha$ ;

$$\beta = 2\alpha.$$

旋转变压器的磁路图如图4所示.在图示所设参考方向下,磁通与电流之间符合右手螺旋定律.

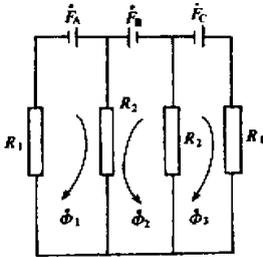


图4 旋转变压器的磁路图

设对应于  $\delta_1$  的气隙的磁阻为  $R_1$ , 对应于  $\delta_2$  的气隙的磁阻为  $R_2$ . 因变压器铁芯的磁阻较低, 铁芯中的磁阻可不考虑. 假定磁势全部降落在气隙上, 由磁路的基尔霍夫定律可得

$$\begin{cases} (R_1 + R_2)\phi_1 + R_2\phi_2 = \dot{F}_A = \dot{F}_1 = i_m W_1; \\ R_2\phi_1 + 2R_2\phi_2 + R_2\phi_3 = \dot{F}_B = h i_m e^{j\alpha} W_1 = 2\cos\alpha e^{j\alpha} \dot{F}_1; \\ R_2\phi_2 + (R_1 + R_2)\phi_3 = \dot{F}_C = e^{j2\alpha} \dot{F}_1. \end{cases} \quad (4)$$

其中:

$$R_1 = \frac{\mu_0 \delta_1}{S}, R_2 = \frac{\mu_0 \delta_2}{S}.$$

$$k = \frac{R_1}{R_2} = \frac{\delta_1}{\delta_2}.$$

代入以上方程组,并解之,得

$$\begin{cases} \phi_1 = \frac{\dot{F}_1}{R_2} \cdot \frac{1}{2k(k+1)} [3k+2+(2+k)e^{j2\alpha}] = \dot{\phi}_R \cdot \frac{1}{2k(k+1)} [3k+2+(2+k)e^{j2\alpha}]; \\ \phi_2 = \frac{\dot{\phi}_R}{2k} \cdot (4+2k)\cos\alpha e^{j2\alpha}; \\ \phi_3 = \frac{\dot{\phi}_R}{2k(k+1)} [2+k+(3k+2)e^{j2\alpha}]. \end{cases} \quad (5)$$

对应于线电势的磁通为

$$\begin{cases} \phi_1 - \phi_2 = \frac{\dot{\phi}_R}{2k(k+1)} [(k+2)^2 + 2k + (k+2)^2 e^{j2\alpha}]; \\ \phi_2 - \phi_3 = \frac{\dot{\phi}_R}{2k(k+1)} [(k+2)^2 + [(k+2)^2 - 2k] e^{j2\alpha}]; \\ \phi_3 - \phi_1 = \frac{\dot{\phi}_R}{2k(k+1)} (2k e^{j2\alpha} - 2k). \end{cases} \quad (6)$$

因变压器的原边接于三相对称的电源上,故三线电势对称,而三线电势所对应的磁通也对称.

令  $|\phi_1 - \phi_2| = |\phi_2 - \phi_3|$ , 可得

$$\cos\alpha = \sqrt{\frac{3k^2}{4k^2 + (2+k)^2[(2+k)^2 + 2k]}}.$$

当三线电压对称时,  $\alpha$  自然满足上式, 对应关系见表1.

表1 激励电流及磁通与气隙比的关系

$k$	$h$	$\alpha/(^\circ)$	$\sigma/(^\circ)$	$ \phi_1/\phi_2 $	$ \phi_1/\phi_3 $	$ \phi_1/\phi_R $
0.2	0.1372	-93.93	110.50	1.4229	1	1.0775
0.4	0.2236	-96.42	111.77	1.3468	1	0.9035
0.6	0.2796	-98.04	113.01	1.2783	1	0.7748
0.8	0.3168	-99.11	114.19	1.2205	1	0.6764
1.0	0.3414	-99.83	115.28	1.1702	1	0.594
1.2	0.3576	-100.30	116.32	1.0893	1	0.5374
1.4	0.3678	-100.60	117.31	1.0893	1	0.4866
1.6	0.3740	-100.78	118.25	1.0558	1	0.4443
1.8	0.3770	-100.87	119.15	1.0470	1	0.4086
2.0	0.3780	-100.89	120.00	1.0000	1	0.3779
2.2	0.3772	-100.87	120.81	0.9764	1	0.3515
2.4	0.3754	-100.82	121.56	0.9546	1	0.3285

说明:  $\sigma$  为  $\phi_1, \phi_2$  之间的时间相位角.

从表1可以看出:

(1) 当  $k$  逐渐增大时, 三相磁通只有在  $k=2$  时达到对称;  $k < 2$  时,  $|\phi_1/\phi_2| > 1, \sigma < 120^\circ$ ;  $k >$

2 时,  $|\phi_1/\phi_2| < 1, \sigma > 120^\circ$ .

(2) 随着  $k$  逐渐增大,  $|\phi_1|, |\phi_3|$  随着减小. 若  $\delta_2$  不变,  $\delta_1$  逐渐增大时, 若要达到一定的

磁通量,磁势  $F = I_m W_1$  需要增大.无论是增大  $W_1$  或是增大  $I_m$ ,都势必会使变压器的铜耗增加.因变压器与电动机同轴相连,在选择最小气隙时,还要考虑到机械上的限制.因此在选择气隙时,要统筹兼顾.

(3) 当  $k < 1$  时,  $h$  随  $k$  的增加而变化的速度较快,当  $k = 2$  时,  $h$  达到最大值.当  $k < 2$  时,  $-\alpha$  随  $k$  增加而增加;当  $k > 2$  时,  $-\alpha$  反而减小,但  $\alpha$  变化并不很大;当  $k$  从 0.2 变到 2.0 时,  $\alpha$  仅从  $-93.93^\circ$  变到  $-100.89^\circ$ . 故气隙比  $k$  的变化主要影响 B 相与 A, C 相激磁电流比的变化,而对角度  $\alpha$  的影响不大.

#### 4 结束语

由于旋转变压器的输出电压与电动机的转速

无关,且可以做到完全无刷化,故特别适用于可控硅调速的同步电动机,即可控硅电动机的励磁系统.前面已经提到旋转变压器的基本工作原理与普通的静止变压器的基本工作原理相同,普通变压器的许多分析方法在这里仍然适用.分析旋转变压器的运行性能可参阅普通变压器的分析方法<sup>[3]</sup>.

#### 参考文献:

- [1] 上山直彦.可控硅电动机的原理与运行[M].杨熨文,龚向阳,译.北京:机械工业出版社,1983.
- [2] 陈世坤.电机设计[M].北京:机械工业出版社,1982.
- [3] 夫兰克林 A C,夫兰克林 D P.变压器全书[M].崔立君,译.北京:机械工业出版社,1990.

### Characteristics of Design of Revolving - transformer

XIN Xiao - nan<sup>1</sup>, JIA Sheng - ping<sup>2</sup>

(1. College of Electrical & Information Engineering, Zhengzhou University of Technology, Zhengzhou 450002, China; 2. Pingdingshan Coking Chemical Industry (Group) Ltd. Co., Pingdingshan 467021, China)

**Abstract:** The revolving - transform is suitable for exciting system of speed - changeable synchronous motors by conversing frequency because the output voltage of revolving - transformer has nothing to do with the motor's speed and it has no brush and sliding ring. This paper presents the designing characteristics of revolving - transformer with circuit analysis and magnetic flux analysis. It draws a conclusion that when the angle of the stator core surface to axle center or of the rotor core surface to axle center satisfies certain condition it is sure that the flux resistance of the revolving transformer does not change and when the air - gap rate  $k = 2$ , the three - phase voltages are symmetrical.

**Key words:** transformer; magnetic flux; exciting - current