

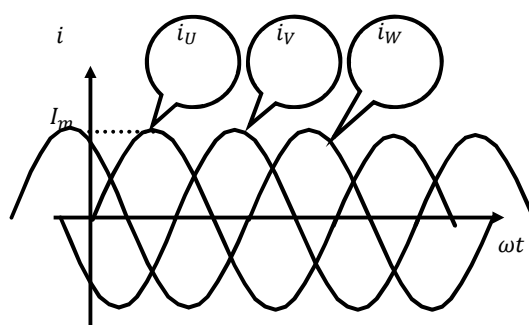
旋转磁场及其应用

关键词：旋转磁场，三相异步电动机

——陈宇霆

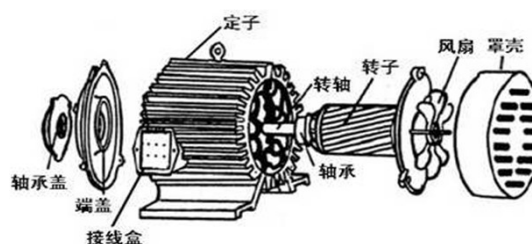
1.三相对称交流电：
频率、幅值相同、空间互差 120° 的三个单相交流电的组合。

$$\begin{cases} i_U = I_m \sin \omega t \\ i_V = I_m \sin(\omega t - 120^\circ) \\ i_W = I_m \sin(\omega t - 240^\circ) \end{cases}$$



2.异步电动机：

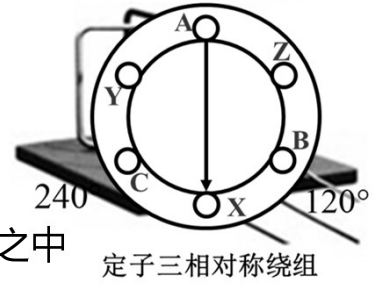
也称感应电动机，是一种将转子置于旋转磁场中，在旋转磁场的作用下获得一个转动力矩使转子转动的装置。



『旋转磁场的产生原理』 1.0

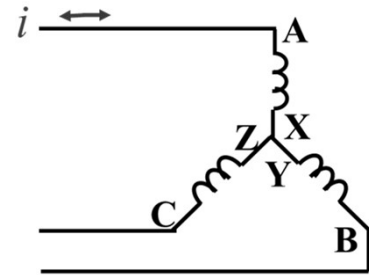
定子结构简介

- 1.三相绕组AX、BY、CZ中，每相绕组一个线圈
- 2.三相绕组空间互差120°，对称分布在6个凹槽之中



电路图

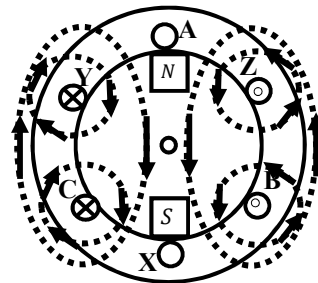
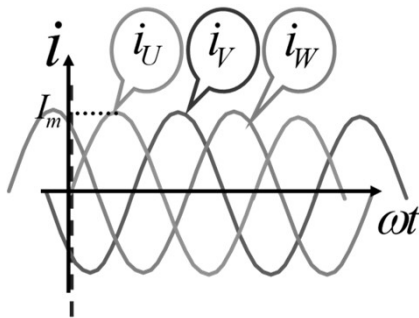
定子的末端 (X、Y、Z) 连接在一起，首端 (A、B、C) 分别接入三相对称电源，三相电源相序为U、V、W，三个绕组中就会产生三相对称电流 i_u 、 i_v 、 i_w



定性分析

$$\begin{cases} i_U = I_m \sin \omega t \\ i_V = I_m \sin(\omega t - 120^\circ) \\ i_W = I_m \sin(\omega t - 240^\circ) \end{cases}$$

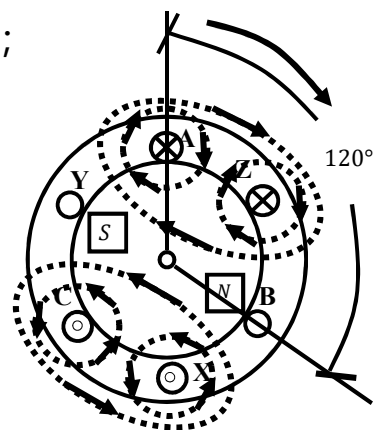
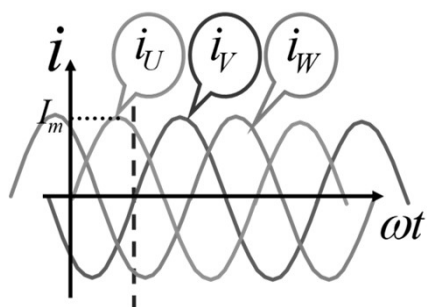
1. 当 $\omega t=0$ 时， $i_u=0$ ， $i_v < 0$ ， $i_w > 0$;



定性分析

$$\begin{cases} i_U = I_m \sin \omega t \\ i_V = I_m \sin(\omega t - 120^\circ) \\ i_W = I_m \sin(\omega t - 240^\circ) \end{cases}$$

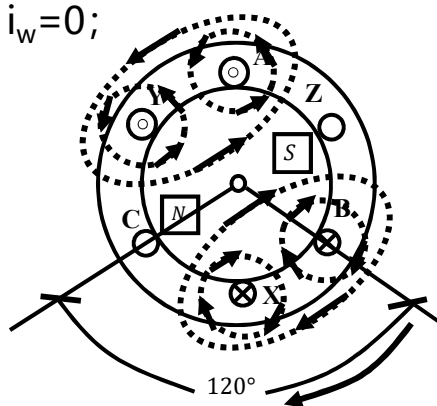
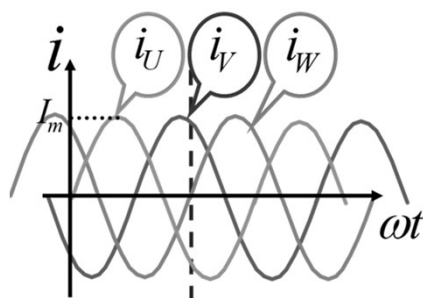
2. 当 $\omega t = 120^\circ$ 时, $i_u > 0$, $i_v = 0$, $i_w < 0$;



定性分析

$$\begin{cases} i_U = I_m \sin \omega t \\ i_V = I_m \sin(\omega t - 120^\circ) \\ i_W = I_m \sin(\omega t - 240^\circ) \end{cases}$$

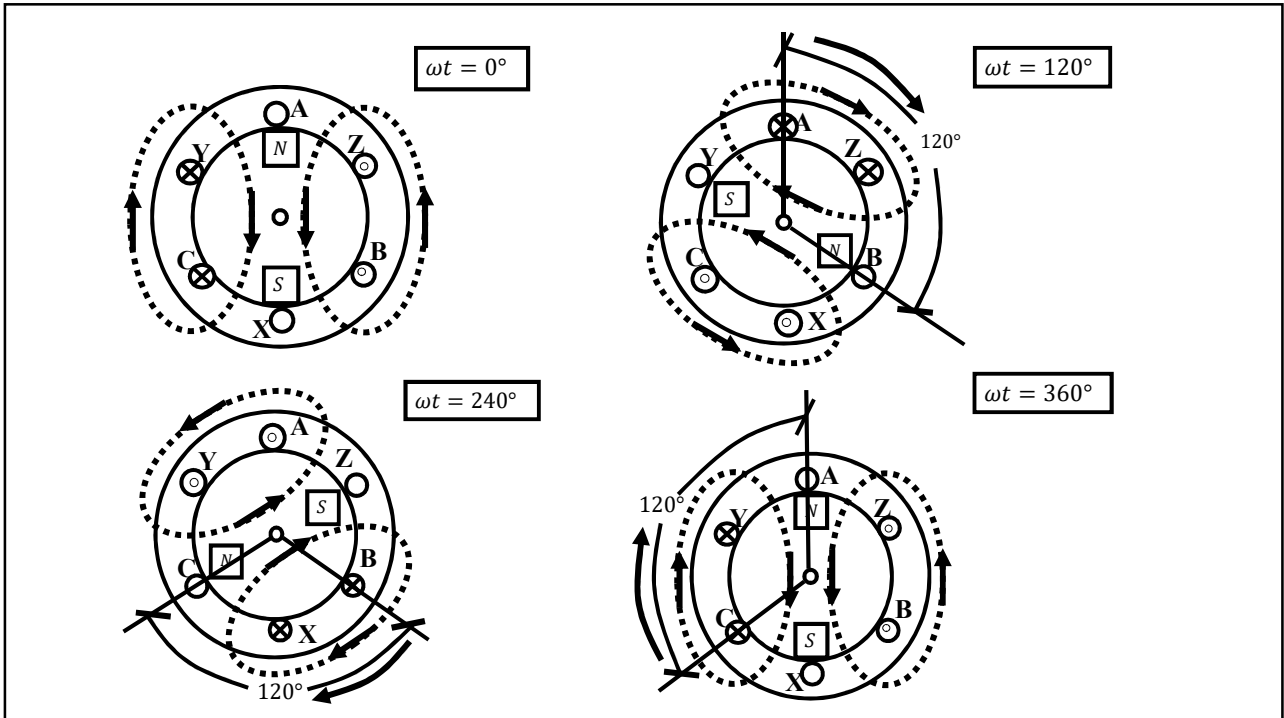
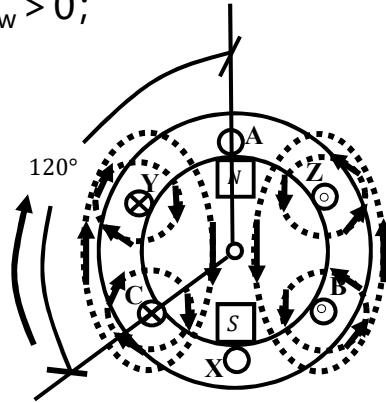
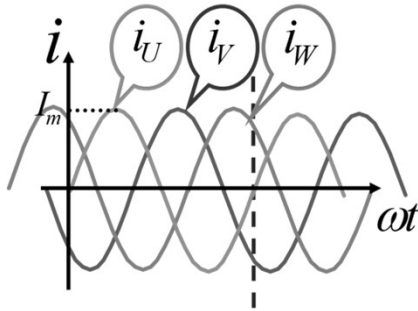
3. 当 $\omega t = 240^\circ$ 时, $i_u < 0$, $i_v > 0$, $i_w = 0$;



定性分析

$$\begin{cases} i_U = I_m \sin \omega t \\ i_V = I_m \sin(\omega t - 120^\circ) \\ i_W = I_m \sin(\omega t - 240^\circ) \end{cases}$$

4.当 $\omega t=360^\circ$ 时, $i_u=0$, $i_v < 0$, $i_w > 0$;



结论

1. 三项对称定子绕组通入三相对称电流后，定子中产生了旋转磁场
2. 电流变化一周期（360°），旋转磁场也旋转一周（360°）
3. 产生的旋转磁场有一对磁极（一个N极，一个S极）
4. 旋转磁场的旋转方向与三相电流相序一致

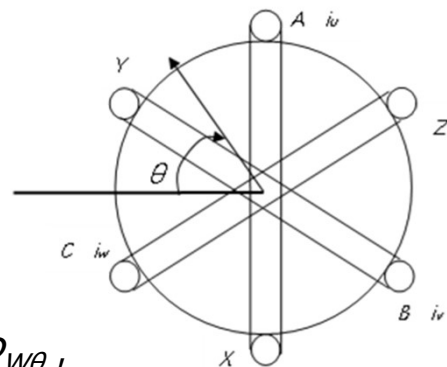
定量分析

假设：

每一相的磁通量在空间按正弦规律变化。

则图示箭头处的磁通量 $\Phi_{\theta} = \Phi_{U\theta} + \Phi_{V\theta} + \Phi_{W\theta}$ ，

其中 $\Phi_{U\theta}$ 、 $\Phi_{V\theta}$ 、 $\Phi_{W\theta}$ 分别是绕组A-X、B-Y、C-Z通入各自的电流产生的。



定量分析

$$i_U = \sqrt{2}I \cos \omega t, \quad i_V = \sqrt{2}I \cos(\omega t - \frac{2}{3}\pi), \quad i_W = \sqrt{2}I \cos(\omega t + \frac{2}{3}\pi)$$

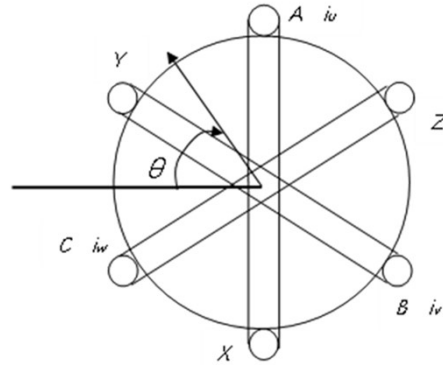
$$\Phi_U = \Phi_m \cos \omega t, \quad \Phi_V = \Phi_m \cos(\omega t - \frac{2}{3}\pi), \quad \Phi_W = \Phi_m \cos(\omega t + \frac{2}{3}\pi)$$

$$\Phi_{U\theta} = \Phi_m \cos \omega t \cos \theta$$

$$\Phi_{V\theta} = \Phi_m \cos(\omega t - \frac{2}{3}\pi) \cos(\theta - \frac{2}{3}\pi)$$

$$\Phi_{W\theta} = \Phi_m \cos(\omega t + \frac{2}{3}\pi) \cos(\theta + \frac{2}{3}\pi)$$

$$\Phi_\theta = \Phi_{U\theta} + \Phi_{V\theta} + \Phi_{W\theta}$$



定量分析

(1) 令 $\theta = \omega t$

$$\begin{aligned} \Phi_\theta &= \Phi_m \cos^2 \omega t + \Phi_m \cos^2(\omega t - \frac{2}{3}\pi) + \Phi_m \cos^2(\omega t + \frac{2}{3}\pi) \\ &= \Phi_m \cos^2 \omega t + \Phi_m [\cos \omega t \cos \frac{2}{3}\pi + \sin \omega t \sin \frac{2}{3}\pi]^2 \\ &\quad + \Phi_m [\cos \omega t \cos \frac{2}{3}\pi - \sin \omega t \sin \frac{2}{3}\pi]^2 \\ &= \Phi_m \cos^2 \omega t + \Phi_m [\frac{1}{4} \cos^2 \omega t + \frac{3}{4} \sin^2 \omega t + \frac{1}{4} \cos^2 \omega t + \frac{3}{4} \sin^2 \omega t] \\ &= \Phi_m \cos^2 \omega t + \Phi_m [\frac{1}{2} \cos^2 \omega t + \frac{3}{2} \sin^2 \omega t] = \frac{3}{2} \Phi_m \end{aligned}$$

定量分析

$$\begin{aligned}
 & \text{令 } \theta = \omega t + \alpha \\
 \Phi_{\theta} &= \Phi_m \cos \omega t \cos(\omega t + \alpha) + \Phi_m \cos(\omega t - \frac{2}{3}\pi) \cos(\omega t - \frac{2}{3}\pi + \alpha) + \Phi_m \cos(\omega t + \frac{2}{3}\pi) \cos(\omega t + \frac{2}{3}\pi + \alpha) \\
 &= \Phi_m \cos \omega t [\cos \alpha \cos \omega t - \sin \alpha \sin \omega t] + \Phi_m \cos(\omega t - \frac{2}{3}\pi) [\cos \alpha \cos(\omega t - \frac{2}{3}\pi) - \sin \alpha \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi)] \\
 &+ \Phi_m \cos(\omega t + \frac{2}{3}\pi) [\cos \alpha \cos(\omega t + \frac{2}{3}\pi) - \sin \alpha \sin(\omega t + \frac{2}{3}\pi)] \\
 &= \Phi_m \cos^2 \omega t \cos \alpha - \Phi_m \sin \alpha \sin \omega t \cos \omega t + \Phi_m \cos \alpha \cos^2(\omega t - \frac{2}{3}\pi) - \Phi_m \sin \alpha \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi) \cos(\omega t - \frac{2}{3}\pi) \\
 &+ \Phi_m \cos \alpha \cos^2(\omega t + \frac{2}{3}\pi) - \Phi_m \sin \alpha \sin(\omega t + \frac{2}{3}\pi) \cos(\omega t + \frac{2}{3}\pi) \\
 &= \Phi_m [\cos^2 \omega t \cos \alpha - \sin \alpha \sin \omega t \cos \omega t + \cos \alpha (-\frac{1}{2} \cos \omega t + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \omega t)^2 \\
 &- \sin \alpha (-\frac{1}{2} \sin \omega t + \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \omega t)(-\frac{1}{2} \cos \omega t + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \omega t) + \cos \alpha (-\frac{1}{2} \cos \omega t - \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \omega t)^2 \\
 &- \sin \alpha (-\frac{1}{2} \sin \omega t + \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \omega t)(-\frac{1}{2} \cos \omega t - \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \omega t)] = \frac{3}{2} \Phi_m \cos \alpha \quad \text{故 } \Phi_{\theta} \text{ 为常数与 } \theta \text{ 无关}
 \end{aligned}$$

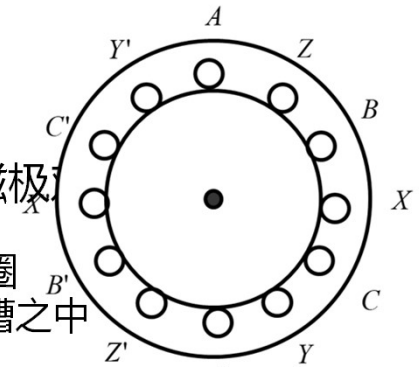
结论

1. 三项对称定子绕组通入三相对称电流后，定子中产生了旋转磁场，且磁场大小与 θ 无关，即产生的磁场为圆形磁场
2. $\Phi_{\theta} = \frac{3}{2} \Phi_m \cos \alpha = \frac{3}{2} \Phi_m \cos(\omega t - \theta)$, 故电流变化一周期 (2π) , 旋转磁场也旋转一周 (2π)
3. 要改变旋转磁场的旋转方向 (亦即改变电动机的旋转方向) 时, 只要把定子绕组接到电源的三根导线中的任意两根对调即可

『旋转磁场的产生原理』 2.0

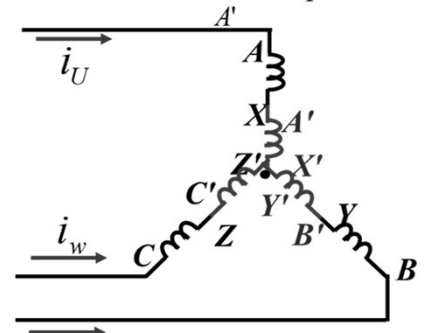
如果改变线圈缠绕方式从而增加产生的磁极对数，会对旋转磁场的转速产生什么影响呢？

1. 三相绕组AX、BY、CZ中，每相绕组两个线圈
2. 三相绕组空间互差60°，对称分布在12个凹槽之中



电路图

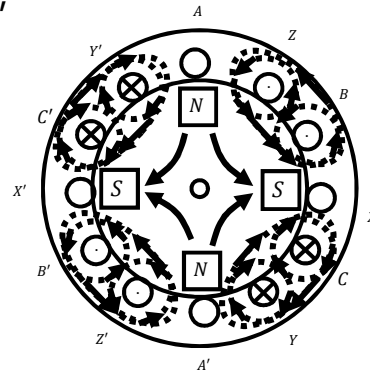
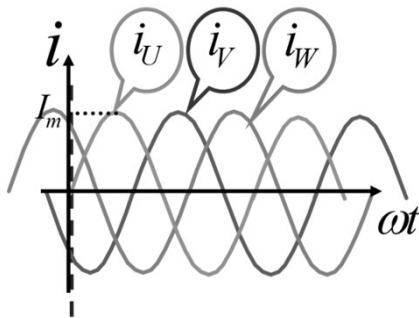
定子的末端连接在一起，首端分别接入三相对称电源，三相电源相序为U、V、W，三个绕组中就会产生三相对称电流 i_u 、 i_v 、 i_w



定性分析

$$\begin{cases} i_U = I_m \sin \omega t \\ i_V = I_m \sin(\omega t - 120^\circ) \\ i_W = I_m \sin(\omega t - 240^\circ) \end{cases}$$

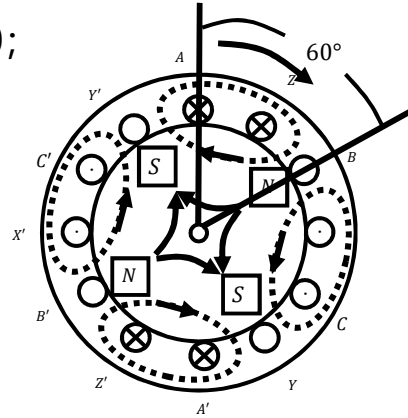
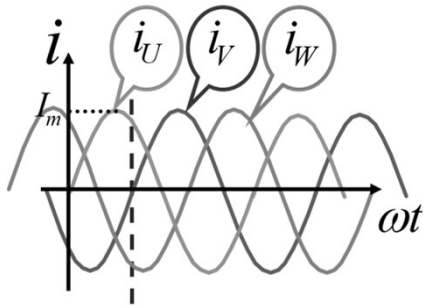
1. 当 $\omega t=0$ 时， $i_u=0$ ， $i_v < 0$ ， $i_w > 0$;



定性分析

$$\begin{cases} i_U = I_m \sin \omega t \\ i_V = I_m \sin(\omega t - 120^\circ) \\ i_W = I_m \sin(\omega t - 240^\circ) \end{cases}$$

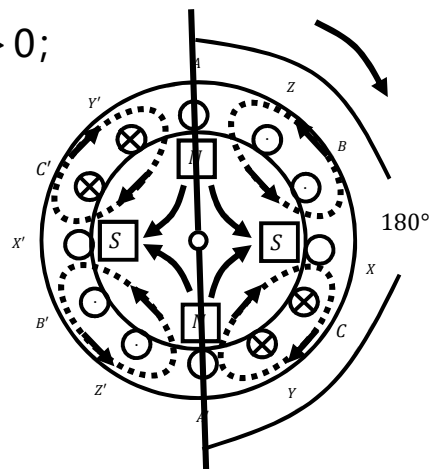
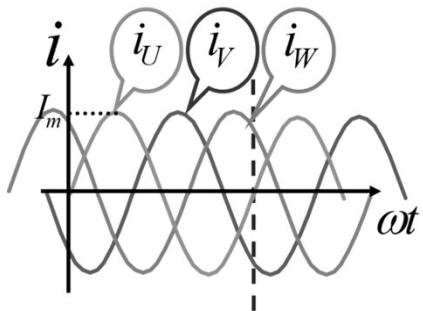
2. 当 $\omega t = 120^\circ$ 时, $i_u > 0, i_v = 0, i_w < 0$;



定性分析

$$\begin{cases} i_U = I_m \sin \omega t \\ i_V = I_m \sin(\omega t - 120^\circ) \\ i_W = I_m \sin(\omega t - 240^\circ) \end{cases}$$

3. 当 $\omega t = 360^\circ$ 时, $i_u = 0, i_v < 0, i_w > 0$;





结论

- 1.磁极对数 $p=1$ 时，两极旋转磁场的转速 $n=60f$
- 2.磁极对数 $p=2$ 时，两极旋转磁场的转速 $n=30f$
- 3.同理分析可知，
 当 $p=3$ 时，旋转磁场的转速 $n=15f$
 当 $p=4$ 时，旋转磁场的转速 $n=7.5f$
 当 $p=x$ 时，旋转磁场的转速 $n=\frac{60}{x}f$
- 4.由此可知，旋转磁场的转速与电源频率成正比，与磁极对数成反比

『旋转磁场的产生原理』 3.0

普通三相电流的不对称情况较多的场合，如每相化选择两相电流进行分析得到参考性结果。为了利用三相异步电机圆形旋转磁场的分析方法，这里采用椭圆旋转磁场的分解法，把椭圆旋转磁场分解成两个圆形旋转磁场。

$$\left. \begin{aligned} f_f &= F_{fm} \sin(\omega t - 90^\circ) = \left(\frac{1+\alpha}{2}\right)F_{fm} \sin(\omega t - 90^\circ) + \left(\frac{1-\alpha}{2}\right)F_{fm} \sin(\omega t - 90^\circ) \\ f_c &= F_{cm} \sin \omega t = \alpha F_{fm} \sin \omega t = \left(\frac{1+\alpha}{2}\right)F_{fm} \sin \omega t + \left(\frac{1-\alpha}{2}\right)F_{fm} \sin(\omega t - 180^\circ) \end{aligned} \right\}$$

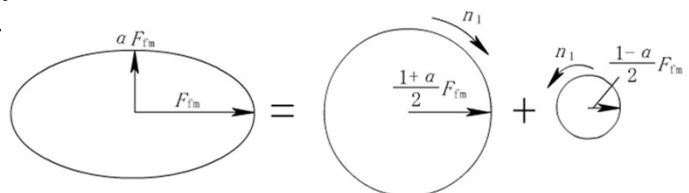
$$\left. \begin{aligned} f_{f1} &= \left(\frac{1+\alpha}{2}\right)F_{fm} \sin(\omega t - 90^\circ) \\ f_{c1} &= \left(\frac{1+\alpha}{2}\right)F_{fm} \sin \omega t \end{aligned} \right\} \quad \left. \begin{aligned} f_{f2} &= \left(\frac{1-\alpha}{2}\right)F_{fm} \sin(\omega t - 90^\circ) \\ f_{c2} &= \left(\frac{1-\alpha}{2}\right)F_{fm} \sin(\omega t - 180^\circ) \end{aligned} \right\}$$

f_1 与 c_1 两个磁动势幅值相等而相位相差 90° ,形成一个与原来椭圆形同方向的圆形旋转磁场 $F^+ = \frac{1+\alpha}{2} F_f$

f_2 与 c_2 两个磁动势幅值相等而相位相差 -90° ,形成一个与原来椭圆形反方向的圆形旋转磁场 $F^- = \frac{1-\alpha}{2} F_f$

椭圆旋转磁场可用两个转速相同、转向相反、大小不等的圆形旋转磁场来代替。 F^+ 和 F^- 分别是圆形旋转磁场，一个的幅值是 $\frac{1+\alpha}{2} F_f$,另一个是 $F^- = \frac{1-\alpha}{2} F_f$,它们的旋转方向相反，如图所示

$$\left\{ \begin{aligned} f_{f1} &= \left(\frac{1+\alpha}{2}\right)F_{fm} \sin(\omega t - 90^\circ) \\ f_{c1} &= \left(\frac{1+\alpha}{2}\right)F_{fm} \sin \omega t \\ f_{f2} &= \left(\frac{1-\alpha}{2}\right)F_{fm} \sin(\omega t - 90^\circ) \\ f_{c2} &= \left(\frac{1-\alpha}{2}\right)F_{fm} \sin(\omega t - 180^\circ) \end{aligned} \right.$$



结论

- 1.若通入的两相交流电不对称，会产生椭圆形旋转磁场
- 2.依此类推，若通入的三相交流电不对称（时间上或空间上），会产生椭圆形旋转磁场
- 3.椭圆形旋转磁场 = 正向圆形旋转磁场 + 反向圆形旋转磁场

旋转磁场的应用

旋转磁场是电能和转动机械能之间相互转换的基本条件，广泛应用于交流电机、测量仪表等装置中，其中三相异步电动机十分常见。

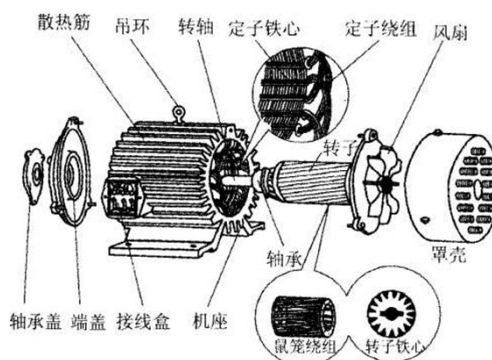
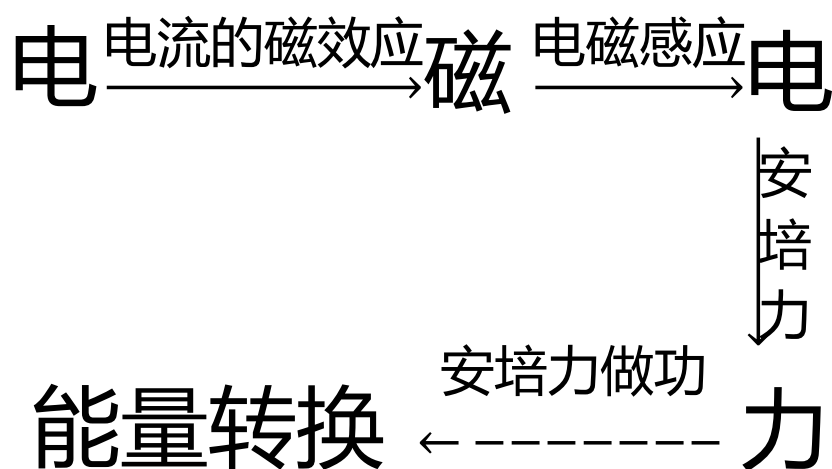


图 1 (a) 三相鼠笼式电动机的结构示意图

工作原理

当向定子三相对称绕组中通入对称的三相交流电流时，在电动机气隙圆周上就会产生一个旋转磁场（类似于一对旋转的磁极）。由于转子上的导条被这种旋转磁场切割，根据电磁感应定律，转子导条内会感应产生感应电动势，感生电动势的方向可用右手定则判定。因为转子上的导条为闭合的，在感应电动势的作用下转子导体中将产生与感应电动势方向基本一致的感应电流。有感应电流的转子导体在旋转磁场中将受到电磁力的作用，电磁力的方向可用左手定则判定。作用于转子导体上的电磁力对转子轴产生的电磁力矩与旋转磁场的方向是一致的，从而驱动转子沿着旋转磁场的转动方向旋转。如果转子和生产机械连接，则转子上受到的电磁转矩将克服负载转矩而做功，从而实现能量转换。

工作原理



小结

1. 三项对称定子绕组通入三相对称电流后，定子中产生了旋转磁场，且磁场大小与 θ 无关，即产生的磁场为圆形磁场
2. 磁极对数 $p=x$ 时，旋转磁场的转速 $n=60/xf$ 。由此可知，旋转磁场的转速与电源频率成正比，与磁极对数成反比
3. 若通入的三相交流电不对称（时间上或空间上），会产生椭圆形旋转磁场，椭圆形旋转磁场 = 正向圆形旋转磁场 + 反向圆形旋转磁场
4. 三相异步电动机工作原理：电~磁~电~力~能量转换



——化院一班陈宇霆
指导老师：林宣滨