

# 电机保护培训

Harbour

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

# 序言

电动机是否需要保护其根本的判断依据应该是电动机绕组温度是否超过其绝缘等级温度，但温度保护不能保护大电流过负荷和短路故障，并且直接检测温度前提是必须在电动机制造过程中将传感器装入电动机内部，因而对于现有的没装传感器的电动机就无能为力，另外传感器失效维修十分困难。因此电动机保护器主要是以检测电动机电流的变化（包括三相电流有效值、正序电流、负序电流、零序电流）为原则，模拟电动机各种故障以及发热曲线对其进行保护。一般具有断相保护、过负荷、堵转、短路、漏电、三相不平衡、启动时间过长等保护功能，有些还有欠压、过压保护，当然也可以外接热敏电阻来监测电动机绕组温度实现温度保护。

获取更多资料 微信搜

# 电动机的相关知识和原理

电动机的分类：



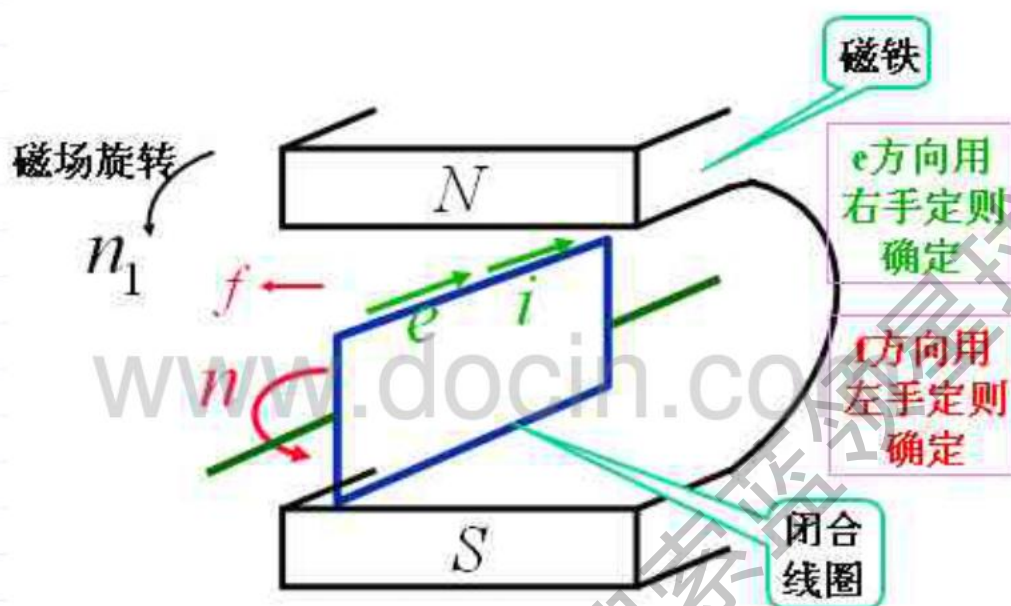
获取更多资料 微信搜索蓝领星球

在电网总负荷中，约有**60%**以上是异步电动机，以电力作原动力的负荷中，有**90%**左右是异步电动机。而异步电动机种类繁多，容量相差也较大，我们只介绍三相交流异步电动机，应用于**1000V**以下小于**75KW**的低压电动机保护。

获取更多资料

微信搜索

# 三相异步电动机结构工作原理



获取更多资料

微信搜索

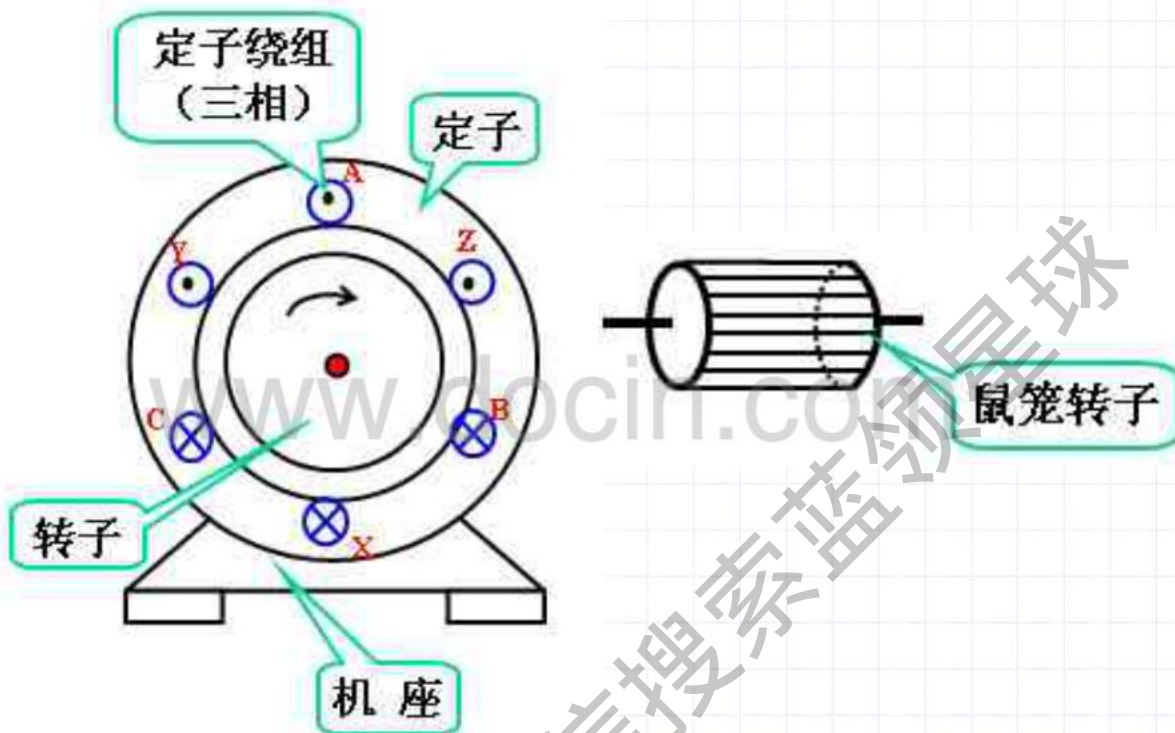
# 电动机基本原理

导体在转速为 $n_1$ 旋转磁场中可以感应出电动势。根据右手定则，感应出电动势 $e = Blv$ ，方向如图所示，同理下边的导线也产生感应电动势，方向相反，从而产生电流  $i$ 。

根据左手定则，通电导线在磁场中受力 $f = Bli$ ，方向如图所示，同理下边的带电导线也在磁场中受力，方向相反，从而产生转速 $n$ ，与磁铁转动方向一致，但 $n < n_1$ ，保证有导体切割磁力线，这样形成了磁场与转子线圈异步旋转。

获取更多资料 微信搜 技成学院

# 三相异步机的结构



获取更多资料 微信搜索蓝领星球

◆ 三相定子绕组：对称的三相绕组，接到三相对称交流电源上，产生旋转磁场。

◆ 转子：在旋转磁场作用下，产生感应电动势或电流。

www.docin.com

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

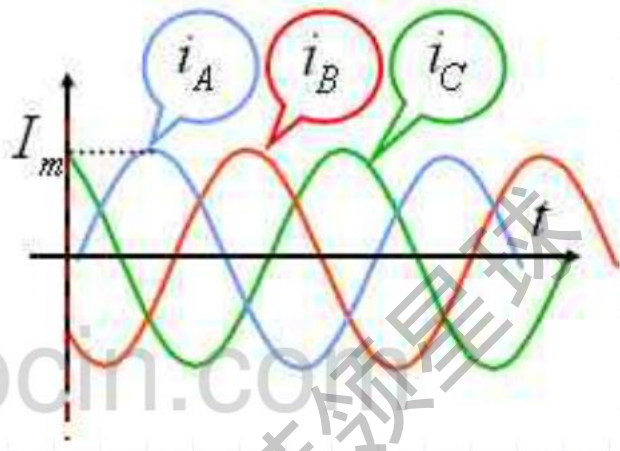
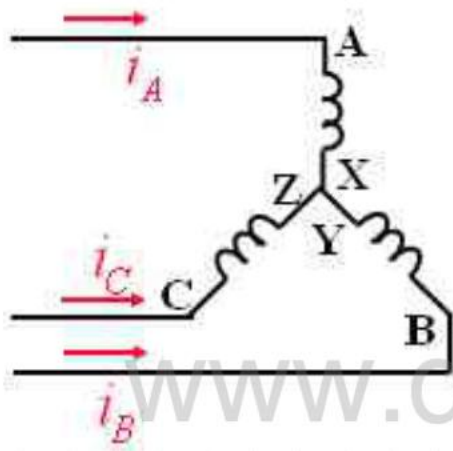


$$i_A = I_m \sin \omega t$$

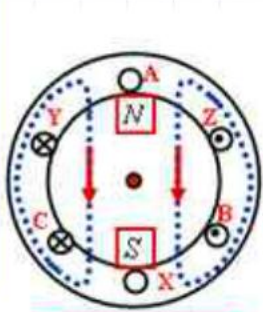
$$i_B = I_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$i_C = I_m \sin(\omega t - 240^\circ)$$

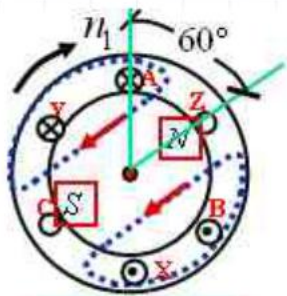
获取更多资料 微信搜索蓝领星球



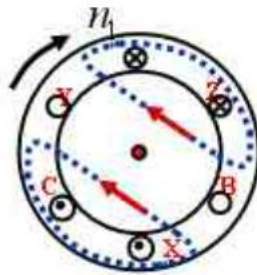
获取更多资料 微信搜索 蓝领星球



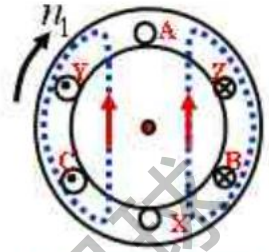
$$\omega t = 0^\circ$$



$$\omega t = 60^\circ$$



$$\omega t = 120^\circ$$



$$\omega t = 180^\circ$$

获取更多资料 微信搜索蓝领工程师

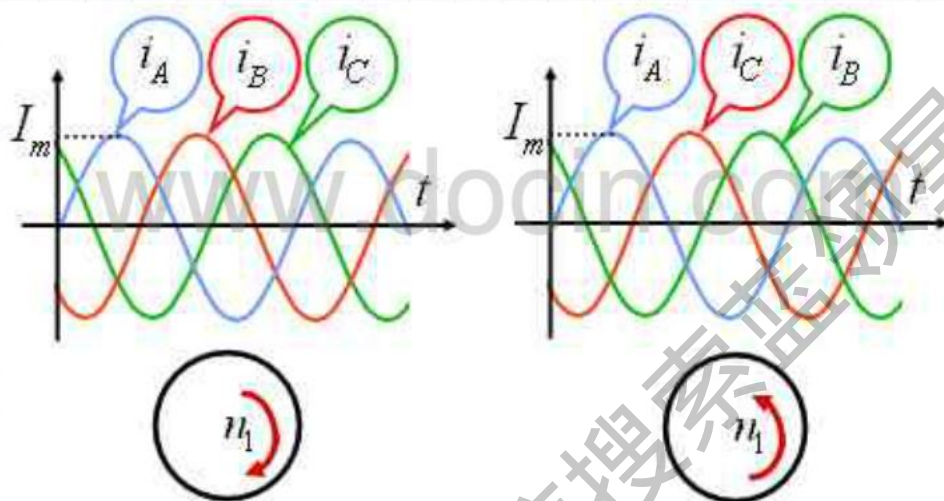
当  $\omega t = 0^\circ$ ，根据右手螺旋定则可知，三相线圈中电流产生的磁场方向是从上向下。同样， $\omega t = 60^\circ$ 、 $\omega t = 120^\circ$ 、 $\omega t = 180^\circ$ 时的电流及磁通的方向，分别如图所示。当  $\omega t$  变化  $360^\circ$ ，磁场的方向就转回到起始位置，也就是说电流在时间上变化一个周期，磁场在空间也正好转一周。

如果电流频率  $f_1 = 50\text{Hz}$ ，则磁场的转速  $n_1 = f_1 = 50\text{r/s}$ ，即  $n_1 = 60f_1 = 3000\text{r/min}$ 。

获取更多资料

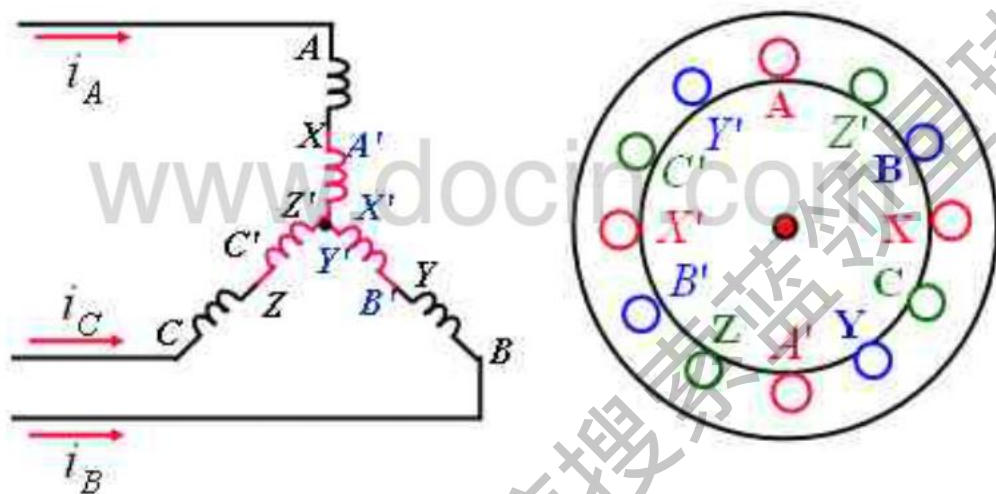
微信搜

旋转方向：取决于三相电流的相序。改变电机的旋转方向：换接其中两相即可。

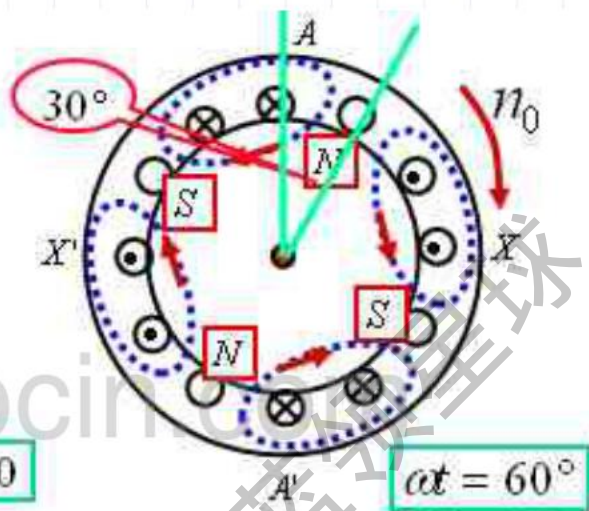
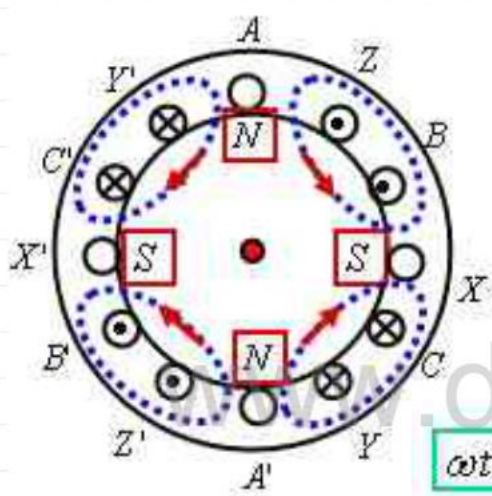


获取更多资料

将每相绕组分成两段，按右下图放入定子槽内。形成的磁场则是两对磁极。



获取更多资料 微信搜 球



获取更多资料 微信搜索蓝蓝星球

如果电流频率 $f_1=50\text{Hz}$ ，则磁场的转速

$$n_1=f_1/2=25\text{r/s, 即}$$

$$n_1=60f_1/2=1500\text{r/min。}$$

同样分析可以知道， $n_1=60f_1/p$  式中

$p$  ——磁极对数

获取更多资料 微信搜索蓝领星球



## 三相异步电动机的工作原理

当三相异步电动机接到三相电源上，定子绕组就能够产生一个旋转磁场，该磁场切割转子绕组，在转子绕组中感应电动势，如果转子绕组电路闭合，则会产生转子电流，按电流与定子旋转磁场相互作用，使转子绕组导体受到电磁力的作用，从而使转子跟着定子旋转磁场同方向旋转，异步电动机就能拖动机械负载。

获取更多资料 微信搜

这样感应方式注定转子的转速 $n$ 总是略小于旋转磁场的转速 $n_1$ ，转差率 $s = (n_1 - n) / n_1$ ，一般在空载时， $s$ 约在0.5%以下；额定负载时， $s$ 约在2%~5%以下；而在起动时， $s$ 最大为1。

转子绕组内感应电动势的频率 $f_2 = f_1 * s$ ，其中 $f_1$ 为三相电源频率，由于转子频率的变化，转子电路中与频率相关的量都要发生变化；

获取更多资料

微信搜索

转子旋转时转子绕组电动势 $e' = s \cdot e_0$ ，其中 $e_0$ 为转子不动时的感应电动势，转动时当 $s$ 变小时 $e'$ 也减小；

转子绕组的电抗 $x' = s \cdot x_0$ ，其中 $x_0$ 为转子不动时的转子电抗，转动时当 $s$ 变小时 $x'$ 也减小；转子绕组的阻抗就为 $r_2 + jx'$ ；

获取更多资料

微信搜索

转子绕组的电流  $i_2 = \frac{e'}{r_2 + jx'}$

则转子绕组电流有效值  $I_2 = \frac{e'}{\sqrt{r_2^2 + x'^2}} = \frac{s^* e_0}{\sqrt{r_2^2 + (s^* x_0)^2}}$

www.docin.com

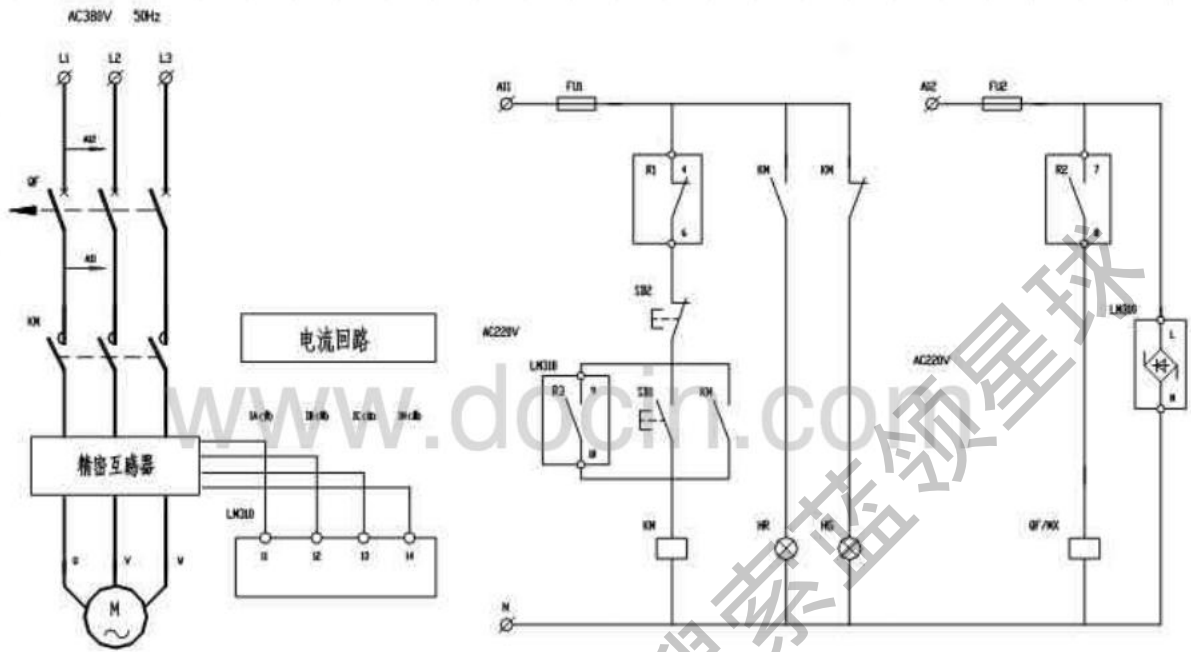
获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

转动时转子电流随着 $s$ 变化而变化，启动时 $s = 1$ ，电流最大，约为额定电流的4~7倍，启动后，转速逐渐上升， $s$ 减小， $I_2$ 也随着减小。

由于定子电流大部分是励磁电流，用来产生主磁通，当 $I_2$ 增加时， $I_1$ 也相应的增加。

获取更多资料 微信搜索 益盘星球

# 电动机保护系统图



获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

通过上面分析可以知道在电动机堵转时，转速减慢甚至停止不动，则 $s$ 增大， $I_2$ 和 $I_1$ 也随着增大，这样会导致绕组过热，产生危险，所以有堵转保护；对于增安型电动机，还有 $tE$ 反时限保护；由于电动机电源电压过低，可能会导致堵转或停转，可以采用低电压保护。

过大的起动电流将会使绕组产生大量热能，如果起动时间过长或者频繁起动都会导致绕组过热，产生危险，所以有起动时间过长保护，以及起动次数限制保护。

获取更多资料 微信搜索

发电机在正常运行方式下，其定子电流为一稳定的正序电流——三相对称的正弦交流电流。当发电机承受不对称负载时其电枢电流和机端电压将出现不对称现象，即出现三相不平衡现象。三相不平衡系统中负序分量的方向是逆时针的，所以由负序电流感生出的旋转磁场以同步转速逆时针方向旋转，这与正序分量产生的同步旋转磁场方向相反，而转子也以 $n$ 同步转速顺时针旋转，则负序电流产生的旋转磁场以相对于转子的 $2n$ 速度截切转子绕组，并在转子绕组阻尼绕组及转子表面产生感应电流，

获取更多资料 微信搜索



当工频为50Hz，磁极对数为1的电动机，其频率为100Hz，由于产生的电流频率较高，集肤效应严重，从而使得转子表层的电流密度很大，产生大量热量，另外，由于定子负序电流产生的旋转磁场和转子磁场间有100Hz的相对运动，这也将产生100Hz的交变电磁转矩，该转矩作用于定子机座(包括定子铁心和绕组)和转子轴上，而产生100Hz的振动，对定子、转子的结构稳定性构成威胁。可以肯定同样大小的负序电流产生的热能会比正序电流的大很多。

获取更多资料 微信搜索

断相、反相、三相不平衡等均会造成负序电流的产生，统称为负序过流保护。考虑了电动机正序、负序电流所产生的综合热效应、热积累过程和散热效应，可模拟出各种反时限特性曲线对电动机进行过热保护/热过载保护。

获取更多资料

微信搜索蓝领学术

热过载保护的動作方程和热等效电流如下：  
电动机发热等效电流：

$$I_{eq} = \sqrt{K_1 I_1^2 + K_2 I_2^2}$$

其中 $I_1$ 为正序电流， $I_2$ 为负序电流。  
启动过程中 $K_1=0.25$ ,启动完毕 $K_1=1$ ； $K_2=4$ 。

获取更多资料 微信搜索 领星球

跳闸时间曲线：

$$t = \frac{35 TL}{\left( I_{eq} / I_e \right)^2 - 1.05^2}$$

其中TL为电动机在冷态 6 倍额定电流下所允许的过载时间，可通过选择 TL 确定运行的特性曲线。

获取更多资料 微信搜索蓝球

以上所有保护可根据负荷的特点动作于信号或跳闸，系统中采用磁力启动器或者接触器进行保护，保护装置用一个继电器进行控制磁力启动器或者接触器的供电回路，由于磁力启动器或接触器的保持线圈在低电压时能自动释放，可以不需要另设低电压保护。

获取更多资料 微信搜索 蓝盾

对于电动机三相之间短路，电流均会超过正常运行电流和堵转电流，应该采取速断保护；对于电动机单相接地故障，可以通过检测零序互感器或者通过三相电流计算零序电流实现接地/漏电保护，对于以上两种短路保护，系统中采用熔断器（价格很便宜，但参数不好设定，还会造成断相运行烧毁电动机）或者断路器进行保护，目前智能保护装置采用一个独立的继电器进行控制，瞬时动作于断路器跳闸。

获取更多资料 微信搜公众号

# 对称分量法

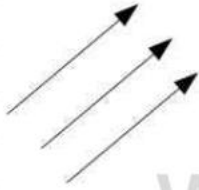
计算正序、负序、零序电流时一般采用对称分量法，将一个三相不对称系统分解成三个对称系统。如下图：

[www.docin.com](http://www.docin.com)

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

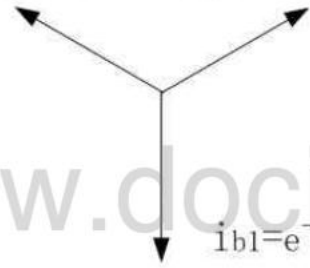


$$i_{a0} = i_{b0} = i_{c0}$$



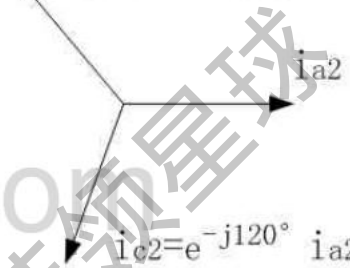
零序分量

$$i_{c1} = e^{j120^\circ} i_{a1}$$



正序分量

$$i_{b2} = e^{j120^\circ} i_{a2}$$



负序分量

www.docin.com

获取更多资料 微信搜索蓝星星球



$$i_a = i_{a1} + i_{a2} + i_{a0}$$

$$i_b = i_{b1} + i_{b2} + i_{b0}$$

$$i_c = i_{c1} + i_{c2} + i_{c0}$$

其中:

$$i_{a0} = i_{b0} = i_{c0}$$

$$i_{b1} = e^{-j120^\circ} i_{a1}; \quad i_{c1} = e^{j120^\circ} i_{a1}$$

$$i_{b2} = e^{j120^\circ} i_{a2}; \quad i_{c2} = e^{-j120^\circ} i_{a2}$$

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

经过转换

$$ia_0 = 1/3 (ia + ib + ic)$$

$$ia_1 = 1/3 (ia + e^{j120^\circ}ib + e^{-j120^\circ}ic)$$

$$ia_2 = 1/3 (ia + e^{-j120^\circ}ib + e^{j120^\circ}ic)$$

www.docin.com

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

# 电动机各种起动方式

起动时 $s=1$ ， $f_2 = f_1$ ，转子电抗 $x_0 \gg r_2$ ，使转子功率因数角 $\phi$ 接近 $90^\circ$ ，所以尽管 $I_2$ 很大，但其有功分量 $I_2 \cos \phi$ 却不大，导致起动转矩并不很大。异步电动机起动时，应该有足够大的起动转矩和尽可能小的起动电流。除采用直接起动外可采用降压起动，其中降压起动方式中有定子阻抗降压、自耦变压器降压起动、星—三角换接降压起动、转子阻抗降压等等，在高档的综合保护测控装置中会考虑电动机的各种启动方式。

获取更多资料 微信搜索

**It's The End !**

**Thank  
You!**

Harbour—2007.05.24

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球