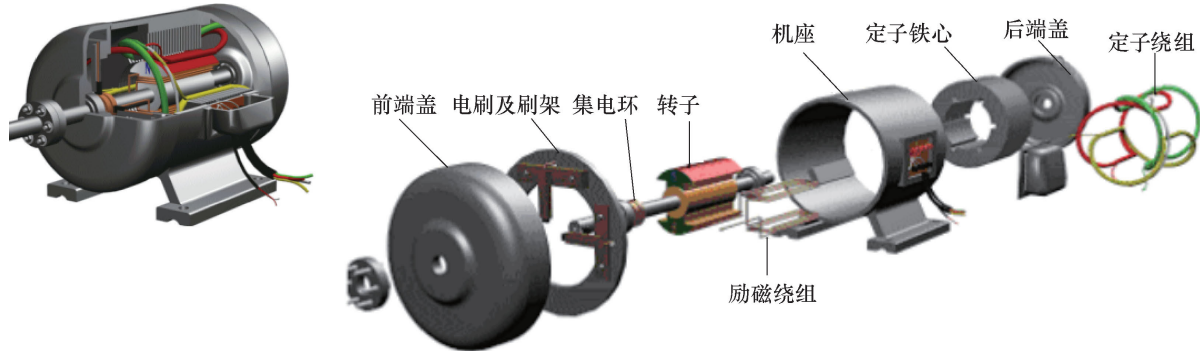


电磁装置设计原理三相感应电机设计

概述

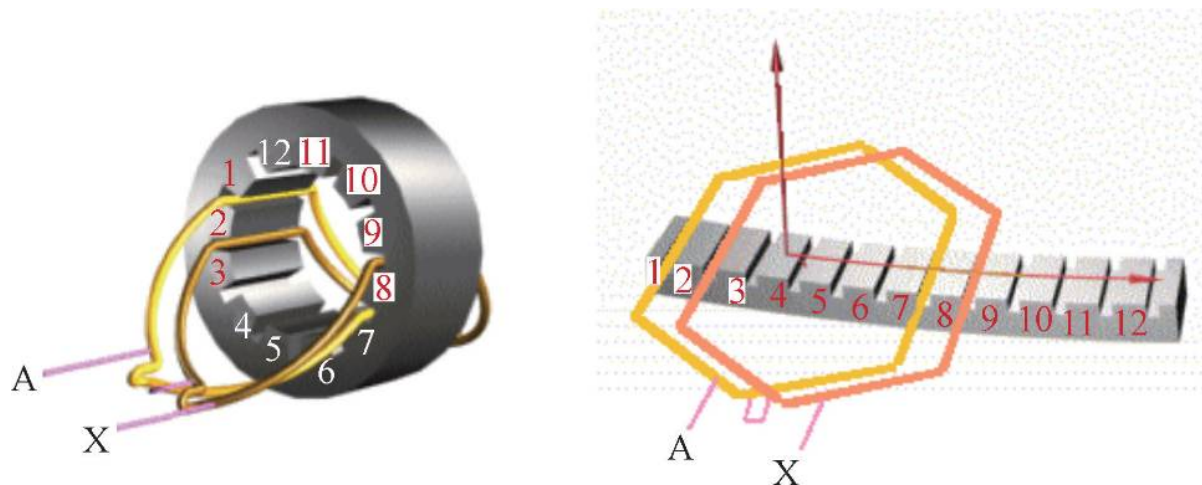
在开始之前，我们先确认一下，我们具体需要做什么呢？设计一个电机！设计一个只要通电就能转的电机！为了设计这个电机，我们要确认我们正在做什么。

什么是三相感应电动机

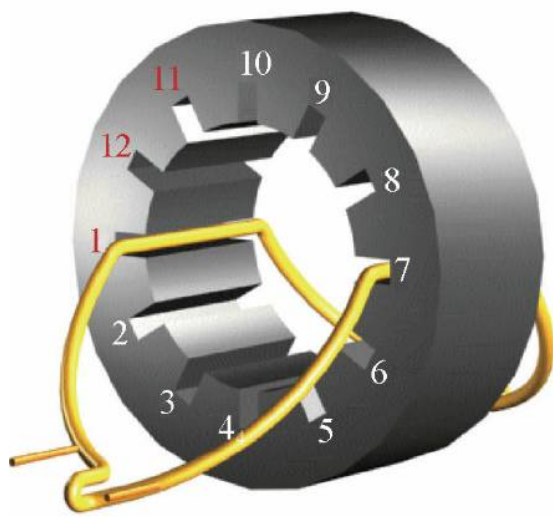


感应，指使用三相电的电流感应出旋转磁动势，相当于一个旋转的磁铁，类似的通过楞次定律（来拒去留）push 转子旋转。对同步电机来说，转子也通励磁，相当于一个磁铁，可以实现同步。

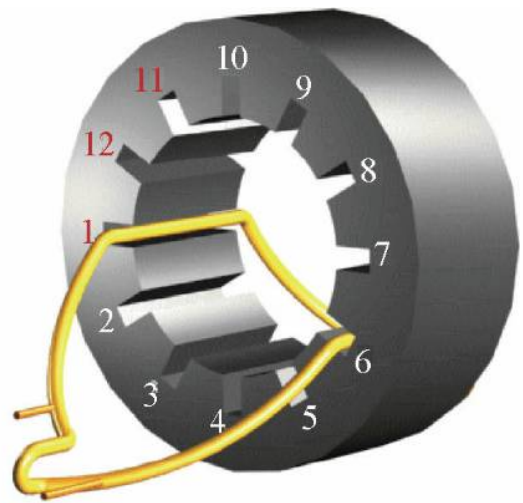
值得注意的是定子磁场感应的办法，由于气隙均匀，忽略铁心磁动势压降，就会感应出矩形磁场分布，三相叠加可以消三次谐波，基波被凸显，从而变成只有基波正弦的行波，其与矩形波之间有一个系数为波形系数 k_B ，既可以理解成其来源正弦波面积分布于矩形的差异性，更可以理解成 $E_{\text{元件有效值}} = \left| \frac{d\Phi}{dt} \right| = |2\pi f \dot{\Phi}| = 2\pi f \Phi_{\text{有效值}} = \sqrt{2}\pi f \Phi_1 = 4k_B f \Phi_1$ ，但是值得关注的是，具体是通过动生电动势算出来的，虽然上式是对的，但是通过数学上的等效构思去思考出来的，物理意义不明显，如果想要真正的物理计算还是需要通过动生计算。



分布参数指因为分布绕组导致的等效线匝数比实际线匝数的比值。因为分布使得磁动势合成是磁动势矢量加和，与直接磁动势绝对值相加有了一个比值，我们称这个参数为分布参数。



a) 整距绕组



b) 短距绕组

短距参数是指由于一个线圈（元件）横跨不是完全等于极距，导致其产生的磁动势基波小于整距对应参数，比例参数为短距参数。

他们两个系数想乘可以得到绕组系数 k_{w1}

$$E_{\text{元件有效值}} = 4k_B k_{w1} f \Phi_1$$

而整个线匝电势为串联匝数乘元件电势，式中 a 为并联匝数， $N_{\text{总元件数}}$ 为总元件数， m 为相数。

$$E_{\Phi_1} = W_{\text{串联匝数}} E_{\text{元件总匝数}} = \frac{N_{\text{总元件数}}}{ma} * 4k_B k_{w1} f \Phi_1$$

每极磁通量

$$\Phi_1 = B_{av} * \tau l_{ef} = \alpha_i B_\delta * \tau l_{ef}$$

α_i 里有 k_B 的系数

当假设气隙磁场分布为正弦分布时

$$E_{\Phi_1} = W_{\text{串联匝数}} E_{\text{元件总匝数}} = \frac{N_{\text{总元件数}}}{ma} * 2\sqrt{2} k_{w1} f \Phi_1$$

电磁功率**电磁功率实际上是视在功率**

$$P_r = m I_r * E_{\Phi_1} = m I_r * 4k_B f * W k_{w1} * \Phi_1 = m I_r * 4k_B f * W k_{w1} * \alpha_i B_\delta \tau l_{ef}$$

分析该式，我们发现 m 为相数， $4k_B f$ 产生于旋转和正弦值和面积的差异， $W k_{w1}$ 来自于绕组，后面来自于磁通。

了解了我们正在做什么，那么我们来思考我们需要做什么，即电机在什么工况下运行，其性能指标要满足什么条件（当然，在满足情况下越便宜越好）。故有电机的主要性能指标和额定数据。

感应电动机的主要性能指标和额定数据

额定数据

P_N ，额定运行时输出的机械功率，(kW)

U_N ，额定运行时定子绕组端的线电压(V)

f_N ，额定运行时定子绕组所接的电源频率(Hz)

n ，根据 $n_1 = 60f_1/p$ 的关系，选取与额定转速最靠近的同步转速 n_1 ，可以得到电动机极对数 $p(\text{rpm})$

主要性能指标（对于笼型三相感应电动机）

η , 额定效率% $\cos \varphi$, 额定功率因数 T_m/T_N , 最大转矩倍数 T_{st}/T_N , 起动转矩倍数 I_{st}/I_N , 起动电流倍数 T_{min}/T_N , 起动过程中最小转矩倍数 ΔT , 绕组和铁芯的温升

基值与标么值

 $U_{N\varphi}$, 额定相电压(V) P_N , 额定功率(kW) $I_{kW}(A)$, 每相额定功电流 $\frac{P_N}{m_1 U_{N\varphi}}$ $Z_N(\Omega)$, $\frac{U_{N\varphi}}{I_{kW}}$

一些基础定义定义

 m , 相数, 三相 $m = 3$ W , 线圈 (元件) 串联数 I , 每相电流 D , 电枢直径 l_{ef} , 电枢计算长度或铁芯有效长度 τ , 极距 k_{w1} , 绕组系数 k_B , 波形系数 B_δ , 气隙磁密最大值 $\alpha_i = \frac{B_{av}}{B_\delta} = \frac{b_i}{\tau}$ A_s , 线负荷, $A_s = \frac{m * 2W * I}{\pi D} = \frac{2mWI}{\pi D} = \frac{Z_1 S_{n1} I_1}{\pi D_{il} a_1}$ J_1 , 定子绕组电流密度 $A_s J_1$, 热负荷, 定子内圆周单位面积上的绕组电阻损耗 λ , 主要尺寸比, $\lambda = \frac{l_{ef}}{\tau}$

一些公式

我们要根据额定数据设计一个电机，然后验证其性能指标是否满足要求，如果不满足就重新设计电机。

主要尺寸和电磁负荷选择

主要尺寸

由式子[电磁功率](#)和线负荷[定义](#)我们可以得到感应电动机主要尺寸

$$D^2 l_{ef} = \frac{1}{\pi^2 \alpha_i k_B k_{w1} B_\delta A_s} \frac{P_r}{f}$$

值得注意的是这里 f 是由于动生感应产生的在**定子**上的电动势， f 是同步转速对应的频率 f 。故 $f = 60n_1/p$ 。 $P_r = m_1 E_1 I_1$ ，为电磁功率，**电磁功率实际上是视在功率**，其中 $E_1 = (1 - \epsilon_L) U_{N\varphi}$ ，其中 $1 - \epsilon_L$ 为满载电动势系数，取决于**定子绕组漏阻抗**降压。

《电磁装置设计原理》p18写了许多对此式的分析，写的很好，请去阅读。

装置的比体积与其运行频率（交流）或转速（旋转电机）成反比。

装置的比体积与电磁负荷 A_s B_δ 成反比

对于频率相同、电磁负荷一样的装置，容量大的必然要求大的体积

电磁负荷的选择与所用的有效材料的特性，以及绝缘材料与结构有关

在设计电磁装置时，选取电磁负荷也应该考虑到装置所采用的冷却条件与冷却方式。

由于感应电动机额定功率

$$P_N = m_1 U_{N\varphi} I_i \eta \cos \varphi$$

可得

$$P_r = (1 - \epsilon_L) \frac{1}{\eta \cos \varphi} P_N$$

故

$$D^2 l_{ef} = \frac{1}{\pi^2 \alpha_i k_B k_{w1} B_\delta A_s} \frac{(1 - \epsilon_L) \frac{1}{\eta \cos \varphi} P_N}{f}$$

效率和功率因数可以预取任务书要求值， $1 - \epsilon_L$ 假设值，经验公式（见p133）进行估算。

电磁负荷

$$E_{\Phi_1} = W_{\text{串联匝数}} E_{\text{元件总匝数}} = W * 4k_B k_{w1} f \alpha_i B_\delta * \tau l_{ef}$$

p134 设计原则， 好

当E一定时， B_δ 增加时，可以减小串联匝数W，减小绕组匝数。

选择较高的 B_δ ,定子铁心损耗增加，此时可以减小 A_s ,定子绕组的铜耗可以降低

选择较高 A_s 或 J_1 ,绕组铜耗将增加。

选高 B_δ 低 A_s ，励磁电流增加，功率因数下降。

选高 B_δ 低 A_s ，漏抗减小，起动转矩和最大转矩增加，起动电流也增加

主要尺寸比的选择

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{\tau}$$

设计前常选参数

$$D_{i1} = \sqrt[3]{\frac{2p}{\lambda \pi} V}$$
$$l_{ef} = \lambda \tau = \lambda \frac{\pi D_{i1}}{2p}$$

p135

α_i	α_i	kB	kB	kw1	kw1	D1	Di2
铁芯不饱和	一般	铁芯不饱和	一般	双层短矩绕组	单层短矩绕组	与极数相关	转轴外径
2/pi=0.637	0.66~0.71	1.11	减小	0.92	0.96		Di1/3

气隙

气隙一般越小越好，以提高 L_m ，降低空载电流提升功率因数。但过小影响机械可靠性并使得谐波磁场漏抗增大，使得起动转矩和最大转矩下降，谐波附加损耗增加，噪声增大。

有气隙推荐值表6-7， p135

槽数选配和绕组设计

定子槽数和定转子槽配合

槽数增加可以获得较好磁动势波形，减小谐波磁场。

转子和定子槽数有相关条件。p137

定子绕组设计