

电力电子与交流传动系统仿真

第 6 章 交流电机的数学模型及参数关系	1
6.1 三相异步电动机的数学模型	2
6.2 三相同步电动机的数学模型	5
6.3 永磁同步电动机的数学模型	8
6.4 无刷直流电动机的数学模型	14
6.5 交流电机的参数计算	17
6.5.1 笼型绕组的多回路模型	17
6.5.2 电感参数的解析计算	19
6.5.3 磁路饱和问题的处理	25

第6章 交流电机的数学模型及参数关系

在第5章坐标变换与电机统一理论的基础上，本章针对现代交流传动控制系统中常用的三相异步电动机、三相同步电动机、永磁同步电动机和无刷直流电动机进行数学建模和参数分析，为后续的系统仿真奠定基础。下面首先阐述电机建模的三个共性问题。

1. 正方向的规定 交流电机的数学模型由电机绕组的电压方程（包括磁链方程）和电机转子的运动方程（包括转矩方程）组成。由于是对电力传动系统进行分析，考虑的都是电动机，所以采用电动机惯例列写电压方程和运动方程，即在电磁系统方面，以外加电压 u 为正，线圈流入正向电流 i 时，产生正值磁链 ψ ；同时，在机械系统方面，电机的电磁转矩 T_{em} 为驱动性质，与转子转速 Ω 同向，而外加负载转矩 T_L 为制动性质，与转子转速 Ω 反向，如图6-1所示。

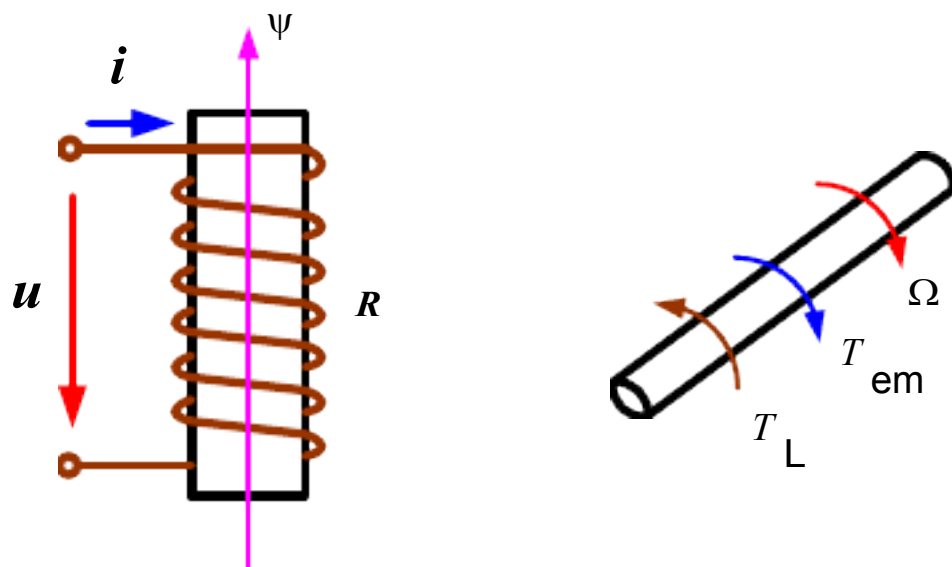


图 6-1 正方向的规定

2. 基本假设 交流电机的定子一般采用三相对称绕组，为简化问题，同时又不影响数学模型的精度，常作如下假设：

- 1) 定子内壁、转子外表面光滑，不计齿槽效应。
- 2) 气隙磁密按正弦规律分布，不计空间高次谐波。
- 3) 铁芯磁路为线性，不计磁饱和效应。

3. 转子运动方程 各类交流电机的转子运动方程都是一样的，即

$$\begin{cases} T_{em} = T_L + R \Omega + J \frac{d\Omega}{dt} \\ p_0 \Omega = \frac{d\theta}{dt} \end{cases} \quad (6-1)$$

式中， Ω 为转子机械角速度， θ 为转子位置角， p_0 为电机极对数， J 为转动部分的转动惯量， R 为机械阻尼系数。其区别仅在于电磁转矩 T_{em} 的不同计算。

6.1 三相异步电动机的数学模型

1. 基本结构 按照转子结构型式不同，三相异步电动机可分为绕线型和笼型两种。绕线转子异步电动机的转子绕组和定子绕组一样，也是按一定规律分布的三相对称绕组，可以联结成Y形或 Δ 形。一般小容量电动机联结成 Δ 形，大、中容量电动机联结成Y形。转子绕组的3条引线分别接到3个滑环上，用一套电刷装置引出来，其目的是把外接的电阻或电动势串联到转子回路，用以改善电机的调速性能及实现能量回馈等，如图6-2所示。

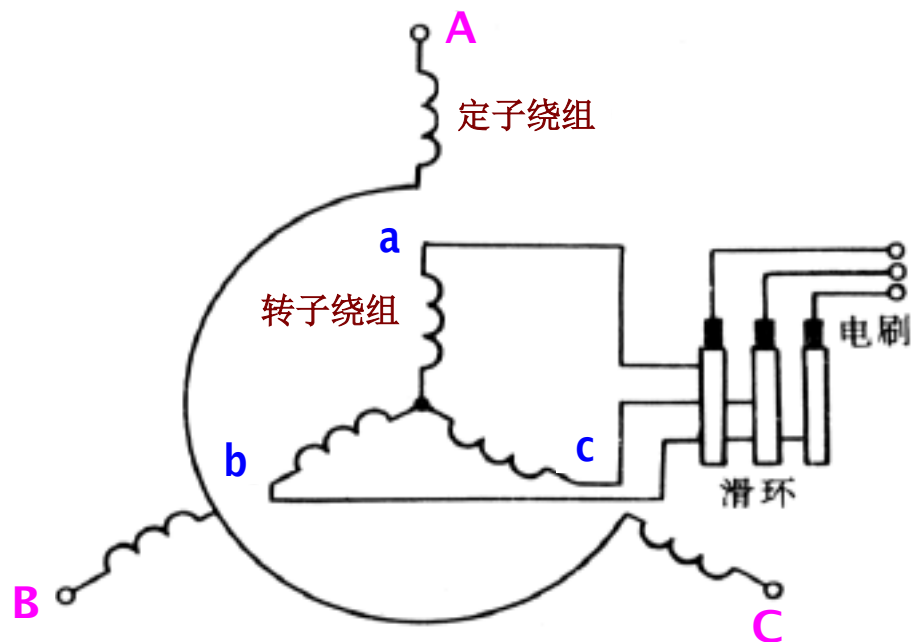


图6-2 绕线转子异步电动机的定、转子绕组

笼型转子异步电动机的转子绕组则与定子绕组大不相同，它是一个自行短路的绕组。在转子的每个槽里放置一根导体，每根导体都比转子铁心长，在铁心的两端用两个端环把所有的导条都短路起来，形成一个短路的绕组。如果把转子铁心去掉，则剩下的绕组其形状象一个松鼠笼子，如图6-3a所示，因此又叫笼型转子。导条材料有用铜的，也有用铝的。如果导条用的是铜材料，就需要把事先做好的裸铜条插入转子铁心上的槽里，再用铜端环套在伸出两端的铜条上，最后焊接在一起。如果导条用的是铝材料，就用熔化了的铝液直接浇铸在转子铁心的槽里，连同端环、风扇一次铸成，如图6-3b所示。

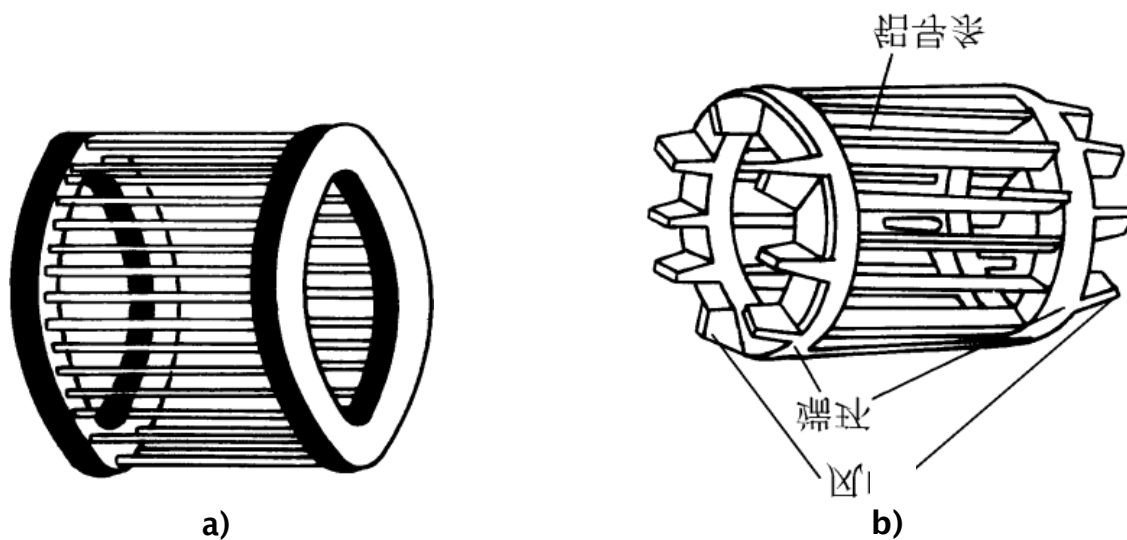


图6-3 笼型转子

a) 铜条绕组 b) 铸铝绕组

笼型转子的绕组结构较为特殊，其数学建模比较复杂，在本章6.5节将做专门介绍。这里先建立绕线转子异步电动机的数学模型。图6-4所示是一台绕线转子三相异步电动机的定、转子绕组分布示意图，定子三相绕组分别用 A 、 B 、 C 表示，转子三相绕组分别用 a 、 b 、 c 表示，定子 A 相绕组轴线与转子 a 相绕组轴线间的夹角为 θ ，转子以电角速度 ω 逆时针旋转， ω_1 表示定子旋转磁场的同步角速度。

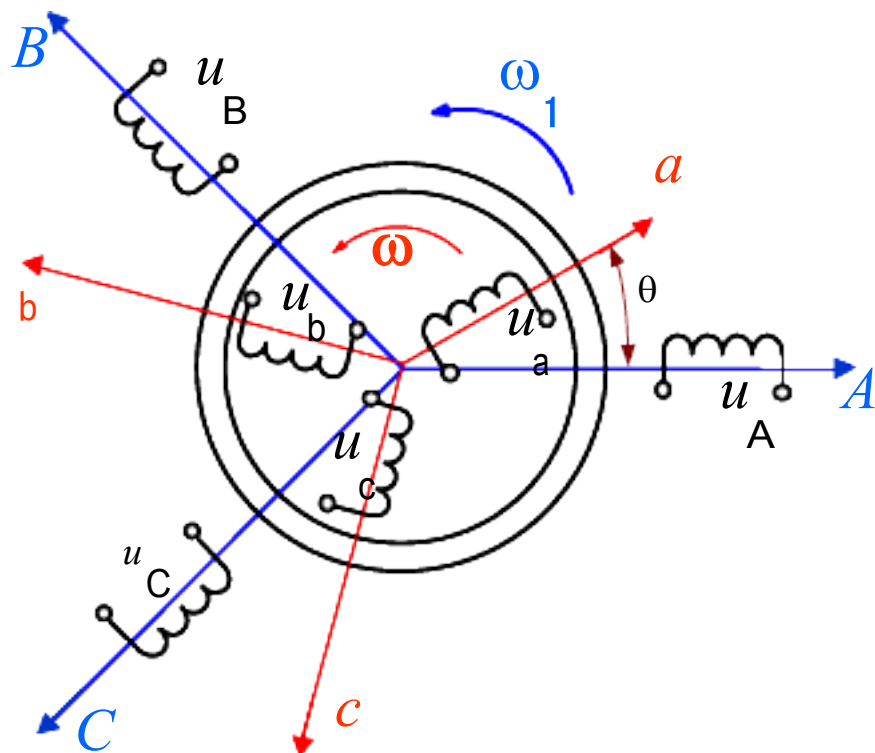


图 6-4 三相异步电动机的绕组分布图

1. 电压方程 三相异步电动机各绕组的电压平衡方程为

$$\begin{bmatrix} \mathbf{u}_{ABC} \\ \mathbf{u}_{abc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_s & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{R}_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{i}_{ABC} \\ \mathbf{i}_{abc} \end{bmatrix} + p \begin{bmatrix} \mathbf{L}_s & \mathbf{M}_{sr} \\ \mathbf{M}_{rs} & \mathbf{L}_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{i}_{ABC} \\ \mathbf{i}_{abc} \end{bmatrix} \quad (6-2)$$

式中， \mathbf{u}_{ABC} 和 \mathbf{u}_{abc} 为定、转子绕组的电压向量， \mathbf{i}_{ABC} 和 \mathbf{i}_{abc} 为定、转子绕组的电流向量。

$$\mathbf{u}_{ABC} = \begin{bmatrix} u_A \\ u_B \\ u_C \end{bmatrix}, \quad \mathbf{u}_{abc} = \begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} \quad (6-3)$$

$$\mathbf{i}_{ABC} = \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix}, \quad \mathbf{i}_{abc} = \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (6-4)$$

\mathbf{R}_s 、 \mathbf{R}_r 为定、转子的电阻矩阵，设定子每相电阻为 R_1 ，转子每相电阻为 R_2 ，则

$$\mathbf{R}_s = \begin{bmatrix} R_1 & 0 & 0 \\ 0 & R_1 & 0 \\ 0 & 0 & R_1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{R}_r = \begin{bmatrix} R_2 & 0 & 0 \\ 0 & R_2 & 0 \\ 0 & 0 & R_2 \end{bmatrix} \quad (6-5)$$

L_s 、 L_r 为定、转子的电感矩阵，对于对称的隐极电机，各绕组的自感以及定子各绕组间的互感和转子各绕组间的互感均为常值。设定子绕组的自感为 L_1 ，转子绕组的自感为 L_2 ，定子各绕组间的互感为 M_1 ，转子各绕组间的互感为 M_2 ，则

$$L_s = \begin{bmatrix} L_1 & M_1 & M_1 \\ M_1 & L_1 & M_1 \\ M_1 & M_1 & L_1 \end{bmatrix}, \quad L_r = \begin{bmatrix} L_2 & M_2 & M_2 \\ M_2 & L_2 & M_2 \\ M_2 & M_2 & L_2 \end{bmatrix} \quad (6-6)$$

M_{sr} 、 M_{rs} 为定、转子绕组间的互感矩阵，不计气隙谐波磁场时，各个互感系数均是 θ 角的余弦函数。设定、转子绕组轴线重合时其互感为 M_{12} ，则

$$M_{sr} = M_{rs} = M_{12} \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos\theta & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos\theta \end{bmatrix} \quad (6-7)$$

可见，三相异步电动机的电压方程（6-2）是一组变系数的微分方程，该方程亦可以简写为

$$u = R i + p(Li) \quad (6-8)$$

式中， u 、 i 为整个电机的电压向量和电流向量，

$$u = \begin{bmatrix} u_{ABC} \\ u_{abc} \end{bmatrix}, \quad i = \begin{bmatrix} i_{ABC} \\ i_{abc} \end{bmatrix} \quad (6-9)$$

R 、 L 为整个电机的电阻矩阵和电感矩阵，

$$R = \begin{bmatrix} R_s & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & R_r \end{bmatrix}, \quad L = \begin{bmatrix} L_s & M_{sr} \\ M_{rs} & L_r \end{bmatrix} \quad (6-10)$$

2. 转矩方程 根据式（5-61），电磁转矩 T 可按下式计算

$$T_{em} = \frac{p}{2} i^T \frac{\partial L}{\partial \theta} i = \frac{p}{2} \begin{bmatrix} i_{ABC} & i_{abc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial M_{sr}}{\partial \theta} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \frac{\partial M_{rs}}{\partial \theta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ i_{ABC} \\ i_{abc} \end{bmatrix} \quad (6-11)$$

由式（6-1）和式（6-11）不难看出，转子运动方程（6-1）也是一个非线性的微分方程。

6.2 三相同步电动机的数学模型

1. 基本结构 就基本结构而言，三相同步电动机的定子与三相异步电动机的定子没有什么区别，也是由定子三相对称绕组、定子铁心、机座及端盖等附件所组成。

同步电机的转子有两种结构形式，一种是有明显的磁极，称为凸极式，如图 6-5a 所示。这种结构的磁极是用钢板叠成或用铸钢铸成，磁极上套有串联线圈，构成励磁绕组。在励磁绕组中通入直流电流，使磁极产生极性，其极性呈 N、S 交替排列。励磁绕组两个出线端连接到两个集电环上，通过与集电环相接触的静止电刷向外引出；另一种是无明显的磁极，转子为一个圆柱体，表面上开有槽，称为隐极式，如图 6-5b 所示。这种结构的励磁绕组嵌于转子表面的槽中，下线较为困难，但比较坚固。同步发电机的转子可以采用凸极式，也可以采用隐极式。对于水轮发电机，由于水轮机的转速较低，把发电机的转子做成凸极式的；对于汽轮发电机，由于汽轮机的转速较高，为了很好地固定励磁绕组，把发电机的转子做成隐极式的。

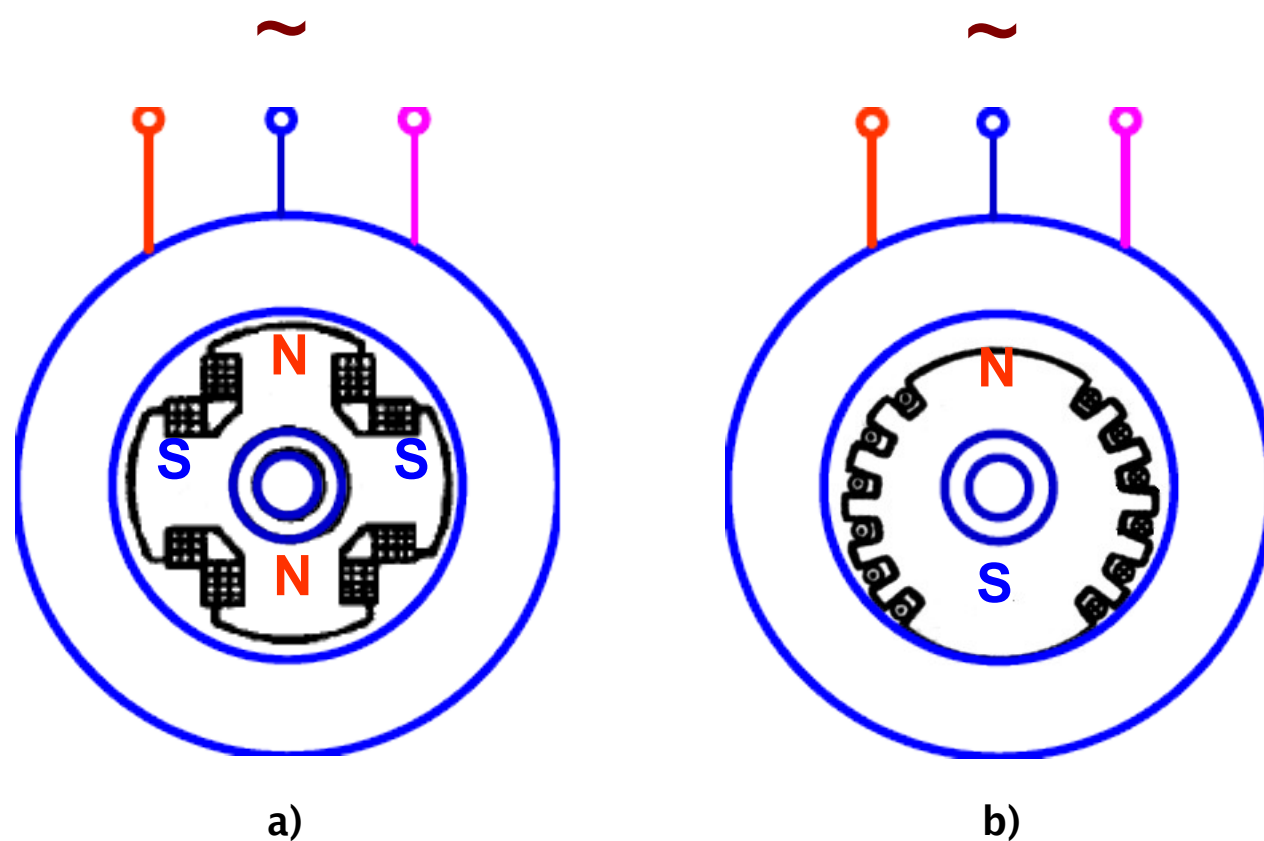


图 6-5 同步电机的基本结构

a) 凸极式 b) 隐极式

同步电动机大都做成凸极式的，在结构上与凸极式同步发电机相近，为了能够自起动，一般还在转子磁极的极靴上装设类似于异步电动机的笼型起动绕组。图 6-6 所示是一台凸极式三相同步电动机的定、转子绕组分布示意图，定子三相绕组分别用 A 、 B 、 C 表示，转子上有励磁绕组 f ，定子 A 相绕组轴线与转子 d 轴方向间的夹角为 θ ，转子以电角速度 ω 逆时针旋转， ω_1 表示定子旋转磁场的同步角速度，在稳态运行时 $\omega = \omega_1$ （为简便计，此处暂不考虑笼型起动绕组）。

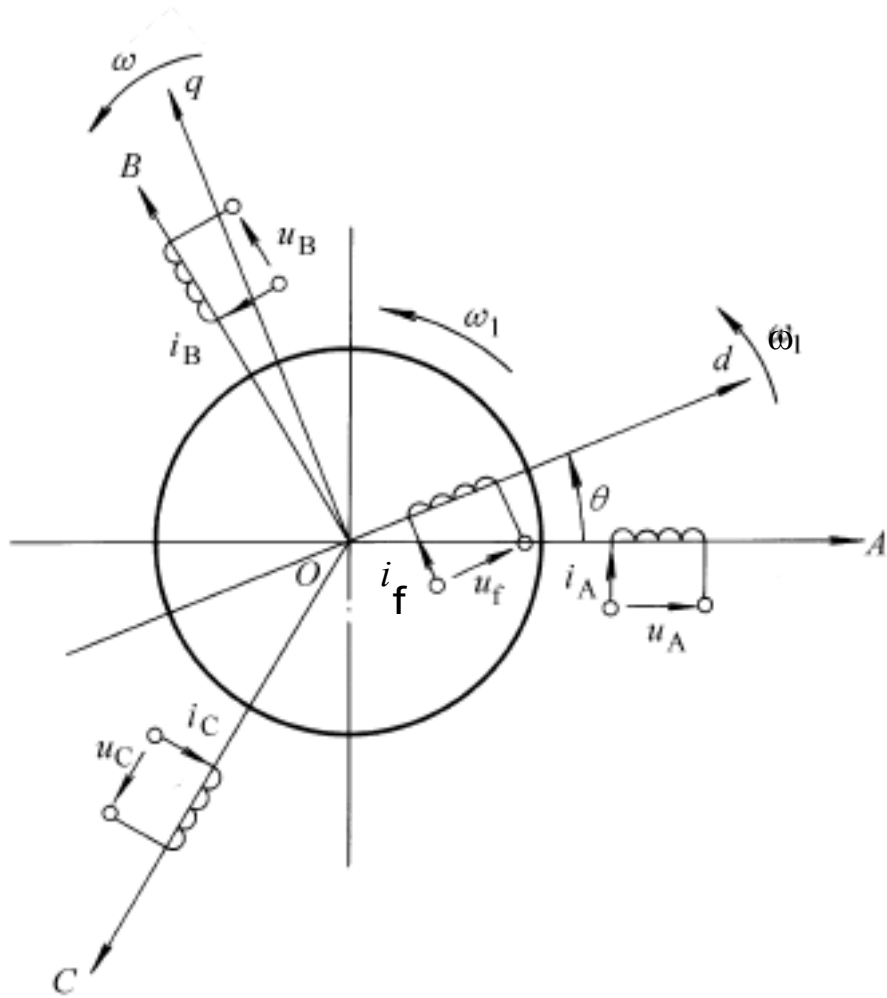


图 6-6 三相同步电动机的绕组分布图

1. 电压方程 三相同步电动机各绕组的电压平衡方程为

$$\begin{cases} u_A = R_{sA} i_A + \frac{d\psi_A}{dt} \\ u_B = R_{sB} i_B + \frac{d\psi_B}{dt} \\ u_C = R_{sC} i_C + \frac{d\psi_C}{dt} \end{cases} \quad (6-12)$$

$$\begin{cases} u_f = R_{ff} i_f + \frac{d\psi_f}{dt} \end{cases}$$

式中， ψ_A 、 ψ_B 、 ψ_C 为定子各相绕组的磁链， ψ_f 为转子励磁绕组的磁链， R_s 为定子每相绕组的电阻， R_f 为励磁绕组的电阻。

对于定子三相绕组和转子励磁绕组，磁链方程为

$$\begin{cases} \psi_A = L_{AA} i_A + M_{AB} i_B + M_{AC} i_C + M_{Af} i_f \\ \psi_B = M_{BA} i_A + L_{BB} i_B + M_{BC} i_C + M_{Bf} i_f \\ \psi_C = M_{CA} i_A + M_{CB} i_B + L_{CC} i_C + M_{Cf} i_f \\ \psi_f = M_{fA} i_A + M_{fB} i_B + M_{fC} i_C + L_{ff} i_f \end{cases} \quad (6-13)$$

式中，定子各相绕组的自感 L_A 、 L_B 、 L_C 和定子各相绕组间的互感

M_{AB} 、 M_{AC} 、 M_{BA} 、 M_{BC} 、 M_{CA} 、 M_{CB} 均为转子角位移 θ 的函数，即

$$\left\{ \begin{array}{l} L_A = L_{s0} + L_{s2} \cos 2\theta \\ L_B = L_{s0} + L_{s2} \cos 2(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ L_C = L_{s0} + L_{s2} \cos 2(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ M_{BC} = M_{CB} = -M_{s0} + M_{s2} \cos 2\theta \\ M_{CA} = M_{AC} = -M_{s0} + M_{s2} \cos 2(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ M_{AB} = M_{BA} = -M_{s0} + M_{s2} \cos 2(\theta + \frac{2\pi}{3}) \end{array} \right. \quad (6-14)$$

其中, L_{s0} 和 M_{s0} 分别是定子绕组自感和互感的恒值分量, L_{s2} 和 M_{s2} 分别是定子绕组自感和互感二倍频分量的幅值。

L_f 为转子励磁绕组的自感, 当不计齿槽效应时, 定子铁心内圆为光滑圆柱, 故无论转子转到什么位置, 转子磁动势所遇磁阻不变, 因而 L_f 的大小与转子位置无关, 为常值。

M_{Af} 、 M_{Bf} 、 M_{Cf} 、 M_{fA} 、 M_{fB} 、 M_{fC} 是励磁绕组与定子绕组间的互感, 按气隙磁场为正弦分布的假定, 应有

$$\left\{ \begin{array}{l} M_{Af} = M_{fA} = M_{Afm} \cos \theta \\ M_{Bf} = M_{fB} = M_{Bfm} \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ M_{Cf} = M_{fC} = M_{Cfm} \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \end{array} \right. \quad (6-15)$$

式中, M_{Afm} 为励磁绕组轴线与定子相绕组轴线重合时的互感。

可见, 三相同步电动机的电压方程 (6-12) 也是一组变系数的微分方程, 该方程可以简写为

$$\mathbf{u} = \mathbf{R} \mathbf{i} + p\boldsymbol{\psi} = \mathbf{R} \mathbf{i} + p(\mathbf{L} \mathbf{i}) \quad (6-16)$$

式中, \mathbf{u} 、 \mathbf{i} 、 $\boldsymbol{\psi}$ 分别为电压向量、电流向量和磁链向量,

$$\mathbf{u} = \begin{bmatrix} u_A \\ u_B \\ u_C \\ u_f \end{bmatrix}, \quad \mathbf{i} = \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \\ i_f \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{\psi} = \begin{bmatrix} \psi_A \\ \psi_B \\ \psi_C \\ \psi_f \end{bmatrix} \quad (6-17)$$

\mathbf{R} 、 \mathbf{L} 分别为电阻矩阵和电感矩阵,

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_f \end{bmatrix}, \quad \mathbf{L} = \begin{bmatrix} L & M & M & M \\ M_{BA} & L_{AB} & M_{AC} & M_{Af} \\ M_{CA} & M_{CB} & L_C & M_{Cf} \\ M_{fA} & M_{fB} & M_{fC} & L_f \end{bmatrix} \quad (6-18)$$

2. 转矩方程 根据式 (5-61), 电磁转矩 T_{em} 可按下式计算

$$T_{em} = \frac{p}{2} \sum_{i,j} i_i \frac{\partial L_{ij}}{\partial \theta} \quad (6-19)$$

式中, 电感矩阵 \mathbf{L} 的偏导数 $\frac{\partial L}{\partial \theta}$ 中仅 $\frac{\partial L_f}{\partial \theta} = 0$, 其余元素仍为转子角位移 θ 的函数。

6.3 永磁同步电动机的数学模型

1. 基本结构 永磁同步电动机的定子与一般电励磁同步电动机的定子相同, 定子铁芯通常由带有齿和槽的冲片叠成, 在槽中嵌入交流绕组。当三相对称电流通入三相对称绕组时, 在气隙中产生同步旋转磁场。转子部分则采用永磁体励磁。

永磁同步电动机毋需再由直流电源提供励磁电流, 不仅无励磁损耗以及与集电环、电刷有关的损耗, 而且可以提高功率因数, 使电动机的效率和功率因数大为提高, 具有显著的节能效果。永磁同步电动机的无刷结构又是另一个突出的优点, 与一般电励磁同步电动机相比, 永磁体宛如一个集成块, 集励磁电源、引入装置 (集电环、电刷) 和励磁绕组于一体, 使转子结构得以简化。不仅如此, 采用性能优良的永磁材料可以减小永磁体体积, 并使转子磁路结构灵活多样, 以适应不同技术要求的需要。图6-7分别列举了永磁同步电动机两种典型的转子结构, 其中径向结构极间漏磁较少, 可采用导磁轴, 不需要隔磁衬套, 因而转子零件较少, 工艺也较简单; 切向结构每极磁通由两块永磁体并联提供, 可产生较大的气隙磁通。

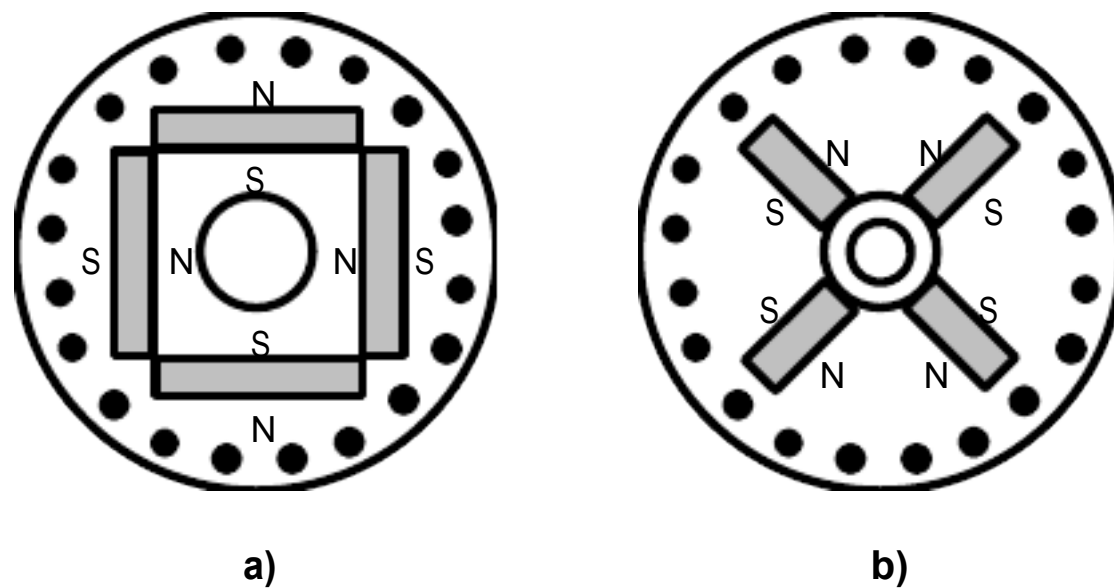


图 6-7 永磁同步电动机的转子结构
a) 径向结构 b) 切向结构

从几何结构上看，永磁同步电动机转子外径表面均匀，应属于隐极电机。但是，从电气性能上看，永磁同步电动机却属于凸极电机。这是因为同步电机的主要参数直、交轴电枢反应电抗 X_{ad} 、 X_{aq} 分别决定于直、交轴电枢反应磁路的磁导，在电励磁同步电动机中， $X_{ad} > X_{aq}$ ；但在永磁同步电动机中，情况有所不同，因为在直轴磁路中有永磁体，永磁体的磁导率很低，其导磁性能与空气相似，因而大大减小了直轴电枢反应的作用，表现为 X_{ad} 较小，如图 6-8a 所示；而在交轴磁路中，主要是软铁极靴和套环类的磁性材料，导磁性能较好，交轴电枢反应的作用较大， X_{aq} 较大，如图 6-8b 所示。因此，在永磁同步电动机中 $X_{ad} < X_{aq}$ 。

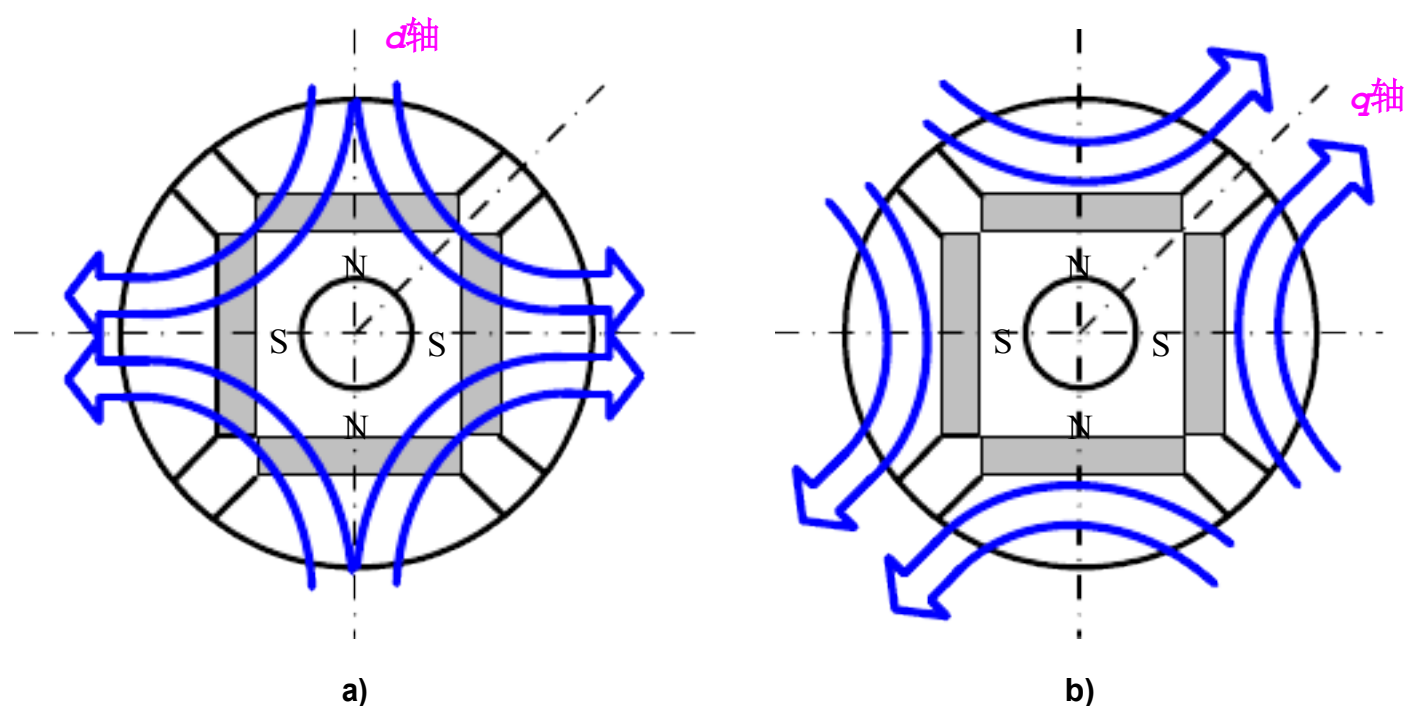


图6-8 永磁同步电动机的电枢反应磁路

a) 直轴磁路 b) 交轴磁路

为具一般性，这里讨论的永磁同步电动机转子上装设有类似笼型转子异步电动机的笼型绕组（如图 6-7 所示），使电动机具有自启动能力。当由三相交流电源供电时，笼型绕组可以提供启动转矩，同时保护永磁体免于去磁，所以也称为启动绕组。

图 6-9 所示是一台三相自启动永磁同步电动机定、转子的绕组分布示意图，定子上有 A、B、C 三相绕组，转子上有永磁体 m 和笼型启动绕组。定子 A 相绕组轴线与转子 d 轴方向间的夹角为 θ ，转子以电角速度 ω 逆时针旋转，转子 q 轴沿逆时针方向超前 d 轴 90° 电角度。为简明起见，笼型启动绕组用 d 轴和 q 轴方向上各自短路的绕组 kd 和 kq 来代替，并且已将启动绕组的参数折算到定子方，同时设永磁体交链于定子相绕组磁链的幅值保持不变。

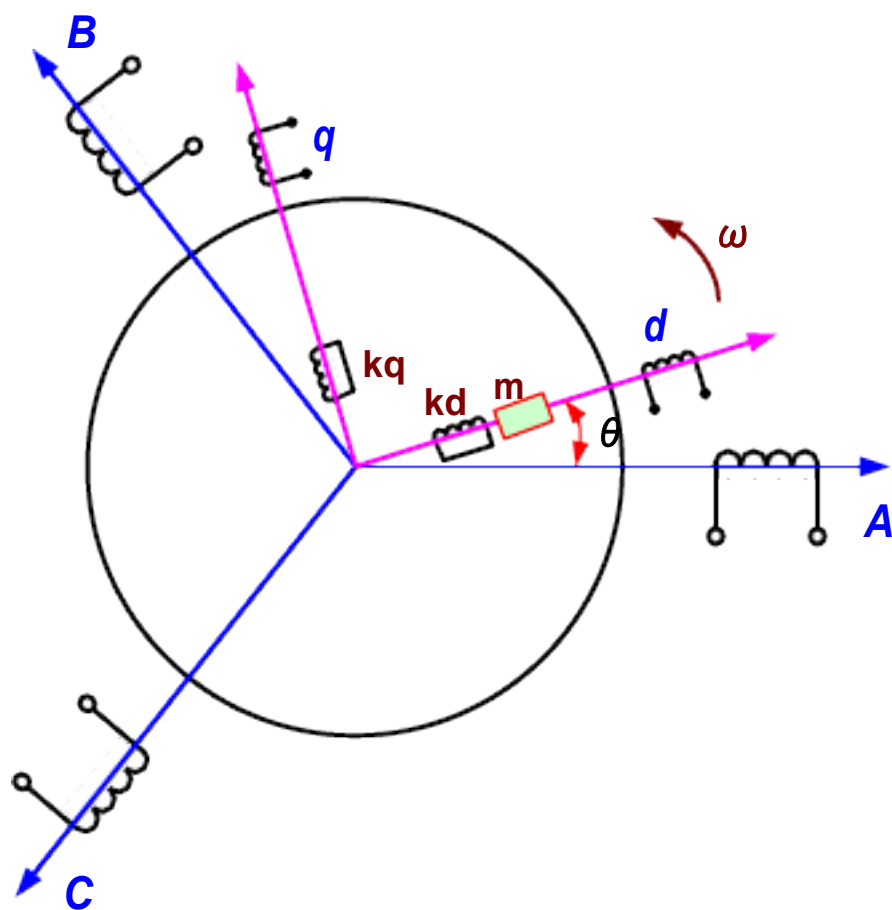


图 6-9 永磁同步电动机的绕组分布图

1. 相坐标系统中的数学模型

(1) 电压方程。永磁同步电动机各绕组的电压平衡方程为

$$\begin{cases} u_a = R_{sa} i_a + \frac{d\psi_a}{dt} \\ u_b = R_{sb} i_b + \frac{d\psi_b}{dt} \\ u_c = R_{sc} i_c + \frac{d\psi_c}{dt} \end{cases} \quad (6-20)$$

$$\begin{cases} u_{kd} = R_{kd} i_{kd} + \frac{d\psi_{kd}}{dt} \\ u_{kq} = R_{kq} i_{kq} + \frac{d\psi_{kq}}{dt} \end{cases} \quad (6-21)$$

式中， R_s 为定子相绕组电阻， R_{kd} 、 R_{kq} 为转子直、交轴起动绕组电阻。

(2) 磁链方程。定、转子绕组的磁链方程为

$$\begin{bmatrix} \psi_a \\ \psi_b \\ \psi_c \\ \psi_{kd} \\ \psi_{kq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_a & M_{ab} & M_{ca} & M_{akd} & M_{akq} \\ M_{ab} & L_b & M_{bc} & M_{bkd} & M_{bkq} \\ M_{ca} & M_{bc} & L_c & M_{ckd} & M_{ckq} \\ M_{akd} & M_{bkd} & M_{ckd} & L_{kd} & 0 \\ M_{akq} & M_{bkq} & M_{ckq} & 0 & L_{kq} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \\ i_{kd} \\ i_{kq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos\theta \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \psi_m \quad (6-22)$$

式中， L_a 、 L_b 、 L_c 为定子相绕组自感， M_{ab} 、 M_{bc} 、 M_{ca} 为定子相绕组间的互感，

L_{kd} 、 L_{kq} 为转子直、交轴起动绕组的自感， M_{akd} 、 M_{bkd} 、 M_{ckd} 转子直轴起动绕组

与定子相绕组间的互感， M_{akq} 、 M_{bkq} 、 M_{ckq} 转子交轴起动绕组与定子相绕组间的

互感， ψ_m 为永磁体交链于定子相绕组磁链的幅值。

各电感系数由下式计算

$$\begin{cases} L_a = L_{s0} + L_{s2} \cos 2\theta \\ L_b = L_{s0} + L_{s2} \cos 2(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ L_c = L_{s0} + L_{s2} \cos 2(\theta + \frac{2\pi}{3}) \end{cases} \quad (6-23)$$

$$\begin{cases} M_{bc} = -M_{s0} + M_{s2} \cos 2\theta \\ M_{ca} = -M_{s0} + M_{s2} \cos 2(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ M_{ab} = -M_{s0} + M_{s2} \cos 2(\theta + \frac{2\pi}{3}) \end{cases} \quad (6-24)$$

$$\begin{cases} L_{kd} = L_{aad} + L_{kd\sigma} \\ L_{kq} = L_{aaq} + L_{kq\sigma} \end{cases} \quad (6-25)$$

$$\begin{cases} M_{akd} = L_{aad} \cos \theta \\ M_{bkd} = L_{aad} \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ M_{ckd} = L_{aad} \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ M_{akq} = -L_{aaq} \sin \theta \end{cases} \quad (6-26)$$

$$\begin{cases} M_{bkq} = -L_{aaq} \sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ M_{ckq} = -L_{aaq} \sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) \end{cases} \quad (6-27)$$

式中， L_{s0} 和 M_{s0} 分别是定子相绕组自感和互感的恒值分量， L_{s2} 和 M_{s2} 分别是定

子相绕组自感和互感的二倍频分量的幅值， $L_{kd\sigma}$ 、 $L_{kq\sigma}$ 分别是转子直、交轴起动

绕组的自漏感， L_{aad} 、 L_{aaq} 分别是同步电机的直、交轴激磁电感。

激磁电感 L_{aad} 、 L_{aaq} 分别与通过气隙进入转子的定子磁链相对应，前者是定子

相绕组轴线与直轴重合时相应的相绕组自感，而后者是定子相绕组轴线与交轴重

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：
<https://d.book118.com/366211130001010133>