



# 自动控制实践(A)-12

## 异步电机运行原理1



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



### 附加思考

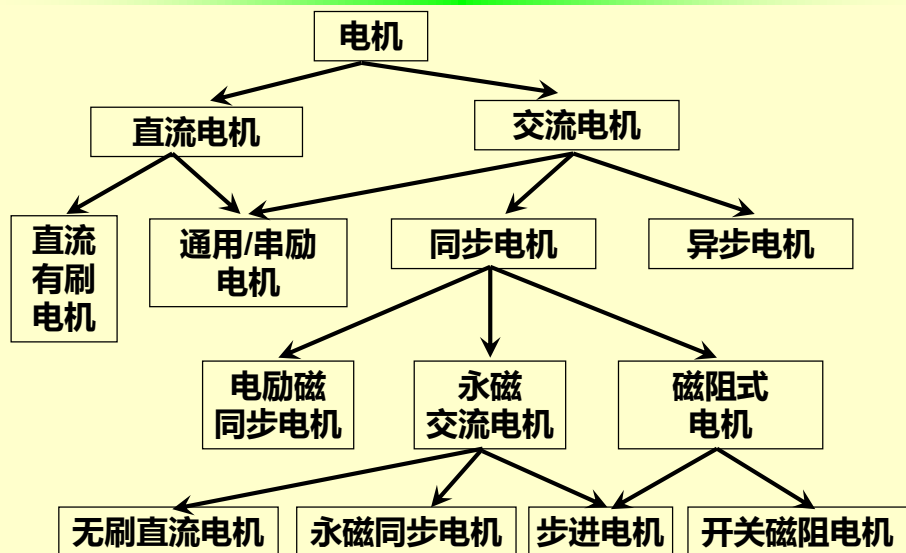
在 Multisim , Pspice/Cadence , MATLAB/Simlink 下Simpowersystem工具箱等仿真软件中选择一个, 构建直流电机模型, 结合PWM驱动, 分析电机启动、驱动电压下降、负载突增等输入条件下的电机响应, 分析电机参数对动态响应的影响, 不同PWM驱动微观续流的差异等。

所分析的直流电机,  $k_e=1\text{V/rad/s}$ ,  $R=1.6\text{ 欧}$ ,  $L=16\text{mH}$ , 驱动电压48V, 轻负载时转动惯量 $0.02\text{kgm}^2$ , 重负载时转动惯量 $0.4\text{kgm}^2$ , 阻力矩 $1.6\text{Nm}$ , PWM开关频率 $16\text{kHz}$ 。

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 电机分类



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 目 录

1. 异步电机运行的基本原理
2. 异步电机的结构
3. 异步电机应用和发展概述
4. 交流绕组产生的旋转磁场(上)

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



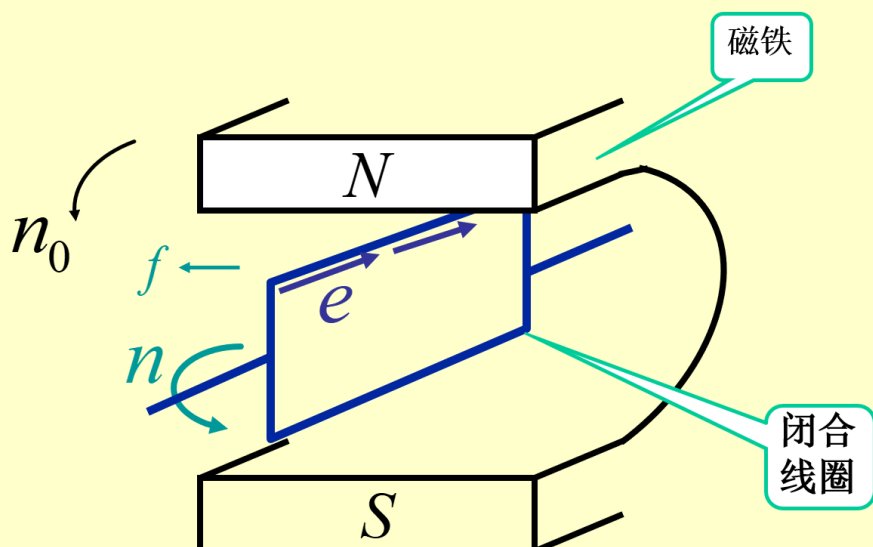
## 1.异步电动机运行的基本原理



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 1.异步电动机运行的基本原理



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 1.异步电动机运行的基本原理

磁极旋转 → 导线切割磁力线产生感应电动势

$$e = B \cdot l \cdot v \quad (\text{右手定则})$$

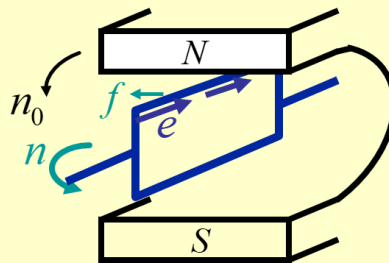
磁感应强度

导线长

切割速度

- 闭合导线产生电流  $i$
- 通电导线在磁场中受力

$$f = B \cdot l \cdot i \quad (\text{左手定则})$$



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心

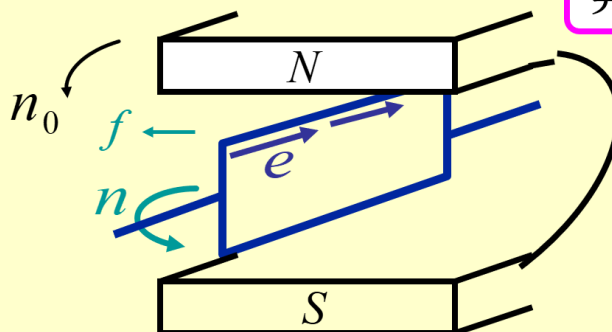


## 1.异步电动机运行的基本原理

结论: 1. 线圈跟着磁铁转 → 两者转动方向一致

2. 线圈比磁场转得慢  $n < n_0$

异步转速



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 1.异步电动机运行的基本原理

### 电动机转速和旋转磁场转速的关系

电动机转速:  $n$

电机转子转动方向与磁场旋转的方向一致,

但  $n < n_0$

如果  $n = n_0$

→ 转子与旋转磁场间没有相对运动

→ 无转子电动势 (转子导体不切割磁力线)

→ 无转子电流 → 无转距

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 1.异步电动机运行的基本原理

### 旋转磁场是交流电机工作的基础

**机械旋转磁场:** 通过原动机拖动磁极旋转可以产生机械旋转磁场;

**电气旋转磁场:** 多相对称的交流绕组通入多相对称的交流电流时, 可在电机的气隙空间产生电气旋转磁场。

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心

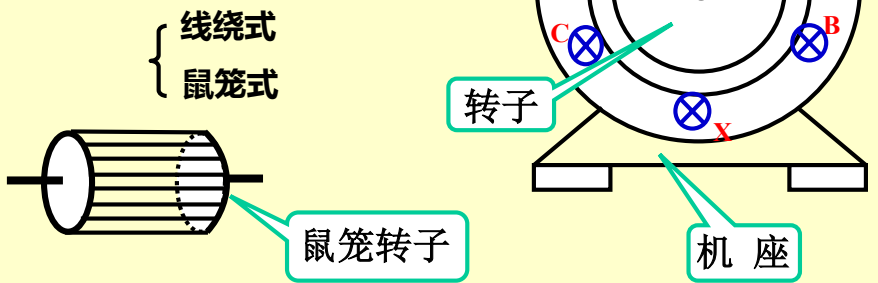


# 1.异步电动机运行的基本原理

## 三相异步机原理

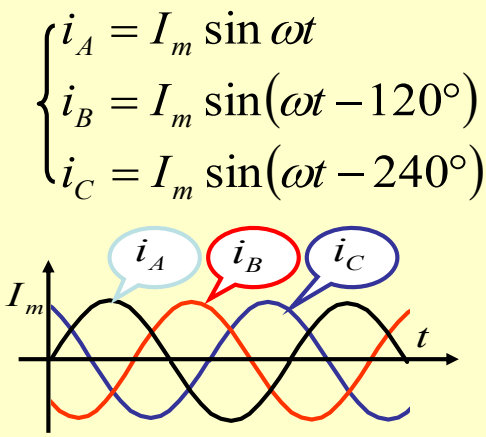
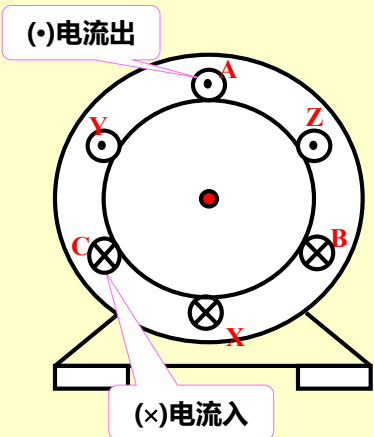
定子绕组：产生旋转磁场。

转子：在旋转磁场作用下，产生感应电动势或电流。

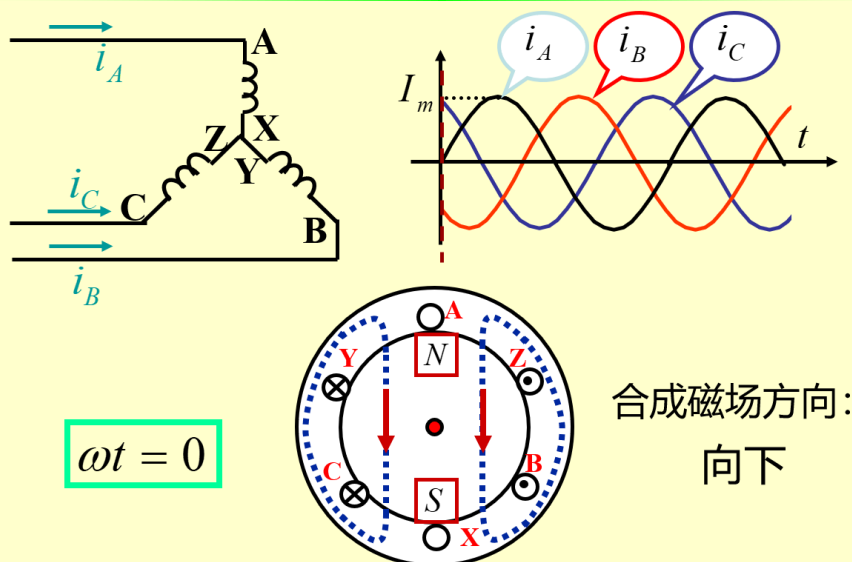


# 1.异步电动机运行的基本原理

异步机中,旋转磁场代替了旋转磁极



# 1.异步电动机运行的基本原理

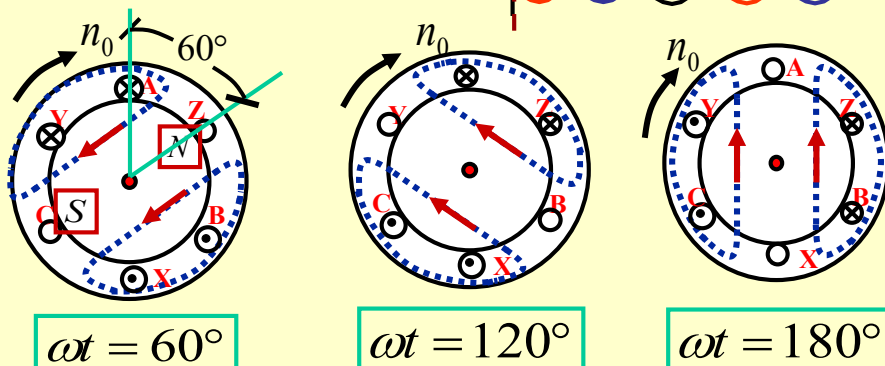


哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



# 1.异步电动机运行的基本原理

同理分析，可得其它电  
流角度下的磁场方向：

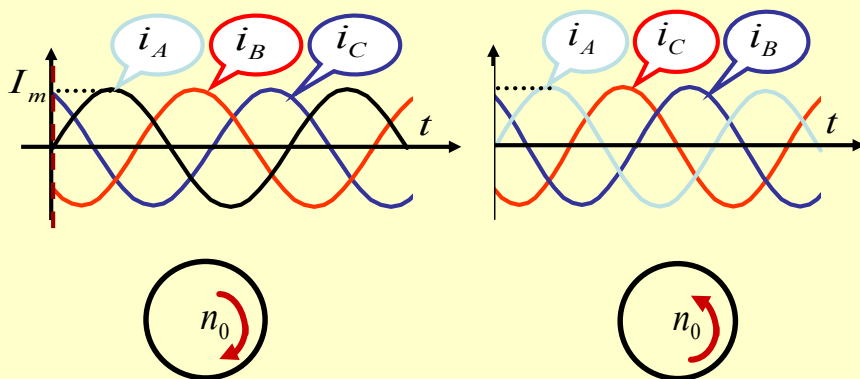


哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 1.异步电动机运行的基本原理

**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

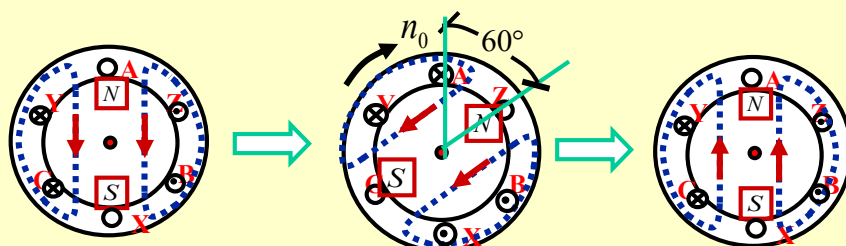
哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 1.异步电动机运行的基本原理

电流变化一周期，旋转磁场在空间转过 $360^\circ$ 。所以旋转磁场在每秒钟的转速，等于电流的频率，**由于同步转速（旋转磁场的速度）通常是指每分的转速，因此转速为：**

$$n_0 = 60f \text{ (转/分)}$$



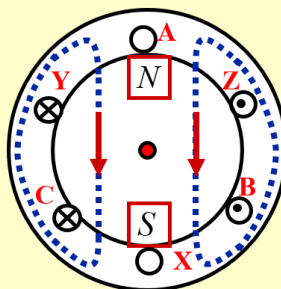
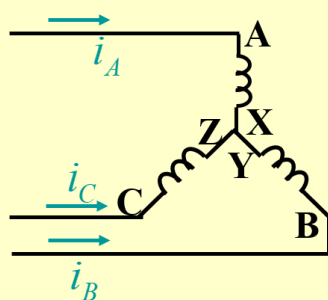
哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心





## 1.异步电动机运行的基本原理

### 极对数 (P) 的概念



此种接法下，合成磁场只有一对磁极，则极对数为1。

即：

$$p = 1$$

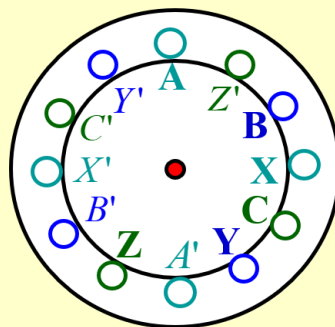
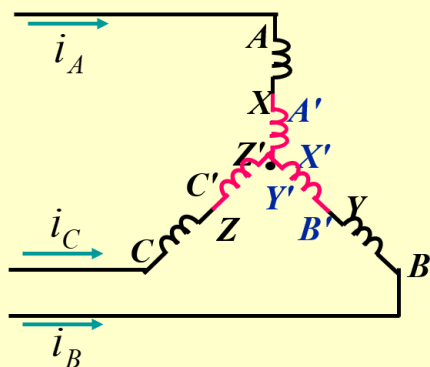
哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 1.异步电动机运行的基本原理

### 极对数 (P) 增加

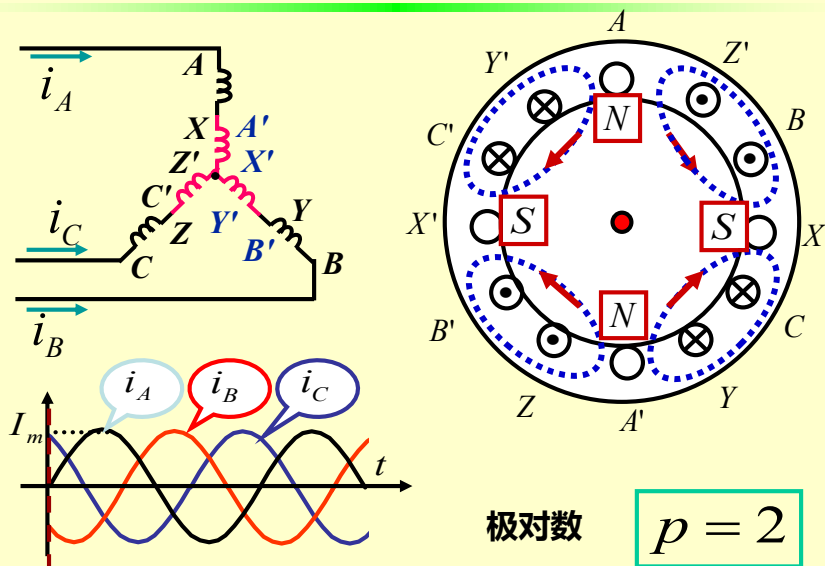
将每相绕组分成两段，按右下图放入定子槽内。形成的磁场则是两对磁极。



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



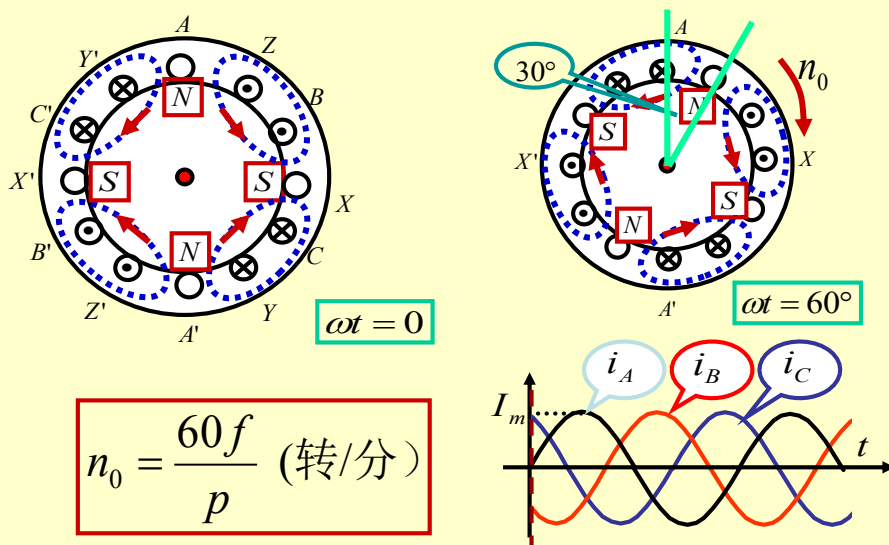
# 1.异步电动机运行的基本原理



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



# 1.异步电动机运行的基本原理



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



# 1.异步电动机运行的基本原理

三相异步电动机的同步转速

$$n_0 = \frac{60f}{p} \text{ (rpm)}$$

极对数	每个电流周期 磁场转过的空间角度	同步转速 $n_0$ ( $f = 50Hz$ )
$p = 1$	$360^\circ$	3000 (转/分)
$p = 2$	$180^\circ$	1500 (转/分)
$p = 3$	$120^\circ$	1000 (转/分)



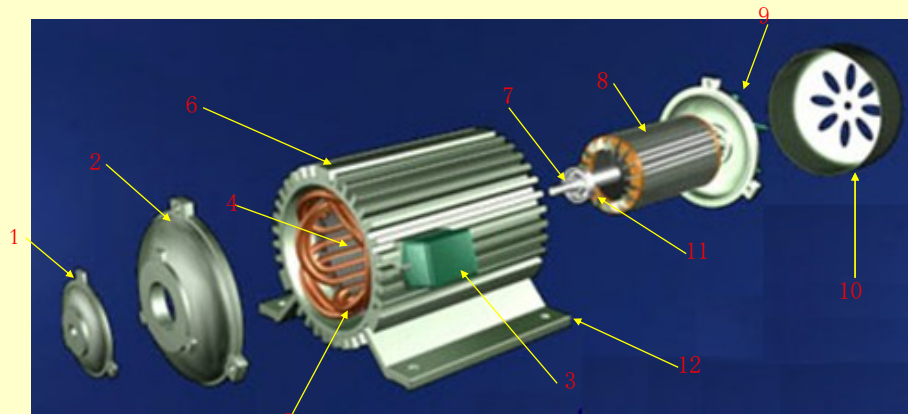
## 目 录

- 1. 异步电机运行的基本原理
- 2. 异步电机的结构
- 3. 异步电机应用和发展概述
- 4. 交流绕组产生的旋转磁场(上)



## 2.异步电动机结构

### 异步电动机交流电机的结构



三相异步电动机的结构图

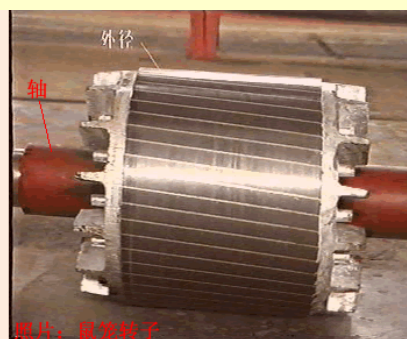
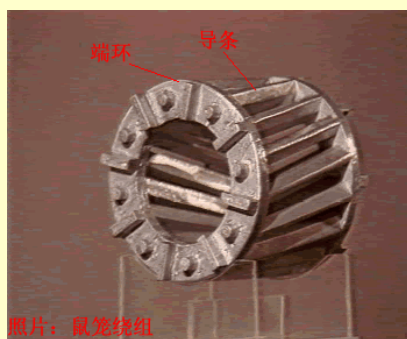
1-轴承盖；2-端盖；3-接线盒；4-定子铁心；5-定子绕组；6-散热筋；7-转轴；  
8-转子；9-风扇；10-罩壳；11-轴承；12机座

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 2.异步电动机结构

### 转子结构



铁芯槽内放铜条，端部用短路环形成一体。或铸铝形成转子。

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 2.异步电动机结构

### 交流绕组的构成原则和分类

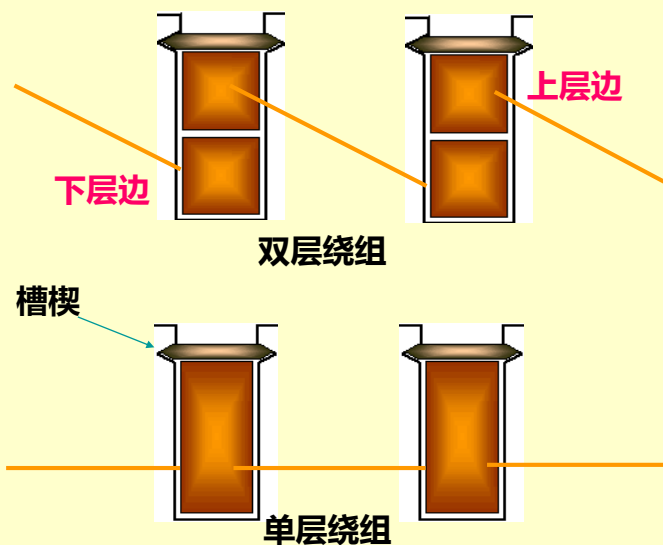
#### 交流绕组的分类

- ① **相数**：单相和多相绕组；
- ② 根据槽内**层数**：单层绕组和双层绕组；
- ③ 根据**绕法**：叠绕组和波绕组；

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 2.异步电动机结构



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 2.异步电动机结构

### 三相双层绕组

$P_N \geq 10kW$  的三相交流电机，其定子绕组大多采用双层绕组。

特点：绕组的线圈数等于槽数

#### 主要优点：

- 1) 可以选择最有利的节距，并同时采用分布绕组，以改善电动势和磁动势的波形；
- 2) 所有线圈具有相同的尺寸，便于制造；
- 3) 端部形状排列整齐，有利于散热和增强机械强度。

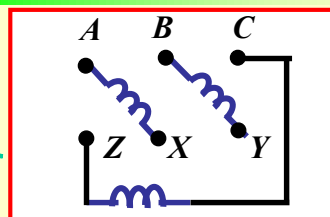
哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



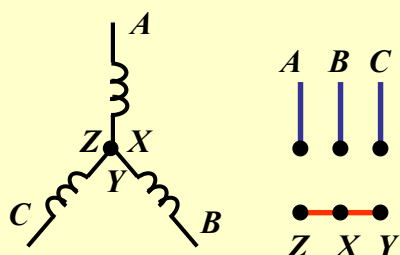
## 2.三相异步电动机的接线

联接方式：Y/Δ接法

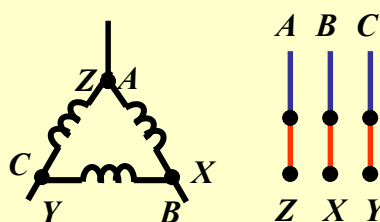
接线盒：



Y 接法：



Δ 接法：

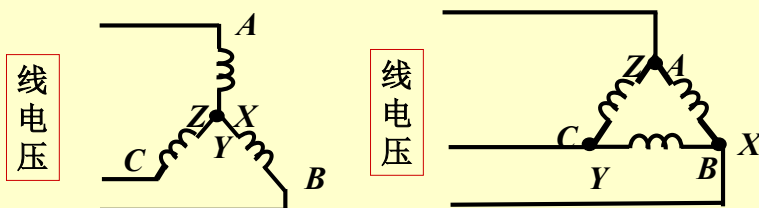


哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 2.三相异步电动机的接线

**额定电压：**定子绕组在指定接法下应加的线电压。



例：380/220 Y/Δ是指：线电压为380V时采用Y接法；  
当线电压为220V时采用Δ接法。

说明：一般规定异步电动机的运行电压不能高于或低于额定值的 5 %。

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 目 录

1. 异步电机运行的基本原理
2. 异步电机的结构
3. 异步电机应用和发展概述
4. 交流绕组产生的旋转磁场(上)

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



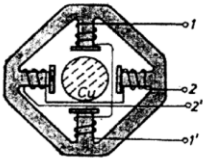
### 3.异步电机应用与发展概述

- 异步电机在结构简单、坚固耐用方面，在所有电动机中首屈一指。具备使用寿命长、易于维修、以及价格低廉等极为突出的优点，使它在整个电力拖动领域独占鳌头。
- 在20世纪的大部分时间里，约占整个电力拖动容量70%以上的**不变速拖动**系统多采用异步电动机。
- 随着交流异步电机调速系统性能的逐步提升，在工业应用中，在一般性能（调速比约在100:1范围）调速应用领域，变频异步电动机调速系统的应用日益普及。



### 3.异步电机应用与发展概述

1885年3月，费拉里斯(G.Ferraris)发现两相旋转磁场现象，制成两相感应电动机模型(图7-1,左)，并进行了试验。



1885年8月，特斯拉(N.Tesla)制成一台两相感应电动机模型(图7-1,右)。

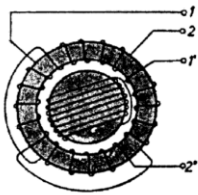


图7-1 费拉里斯两相感应电动机(左)和特斯拉两相感应电动机(右)的原理图

1887年，特斯拉两相感应电动机发明获得英国专利(No. 6481)。

1887年8月，特斯拉制成一台两相感应电动机。

1888年3月，费拉里斯在都灵科学院的演讲中，宣布发现旋转磁场并制成两相感应电动机。

1888年5月1日，特斯拉的两相电机发明获得美国专利(No.381968和No.382280)。

1888年5月，特斯拉在美国电气工程师学会上发表著名论文“采用交流电动机和变压器的新电力系统”，提出了3种电动机结构。

1888年7月，西屋公司购买特斯拉在美国申请的电机专利。

1888年10月，布拉德利(C.S.Bradley)的两相电动机获得美国专利(No.390439)。

1888年秋，多利沃-多布罗夫斯基开始进行三相电流产生旋转磁场的研究。

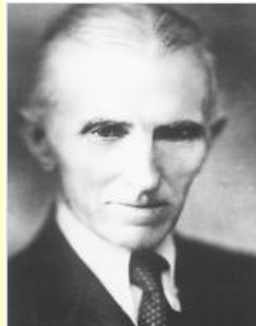
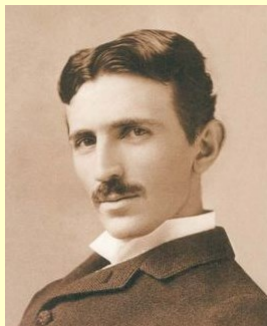
1889年春，多利沃-多布罗夫斯基制成首台三相鼠笼式电动机。

1889年3月，多利沃-多布罗夫斯基的三相鼠笼式电动机发明获得德国专利(No.51083)。





### 3.异步电机应用与发展概述



Никола Тесла/Nikola Tesla/尼古拉·特斯拉

1856年 - 1943年

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 目 录

1. 异步电机运行的基本原理
2. 异步电机的结构
3. 异步电机应用和发展概述
4. 交流绕组产生的旋转磁场(上)

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 4.交流绕组产生的旋转磁场

--交流绕组简介

--整距绕组产生的磁动势

--单相绕组产生的脉振磁势



## 4.交流绕组产生的旋转磁场

研究电机必须分析电机中磁场的分布及性质,不论是定子磁动势还是转子磁动势,它们都取决于产生它们的电流的类型及电流的分布,而气隙磁通则不仅与磁动势的分布有关,还和所经过的磁路的性质和磁阻有关。

异步电机的定、转子绕组均为交流绕组,而它们中的电流则是随时间变化的交流电,因此,交流绕组的磁动势及气隙磁通既是时间函数,又是空间的函数。



## 4.交流绕组产生的旋转磁场

为了简化分析过程，我们作出下列假设：

- (1) 绕组中的电流随时间按正弦规律变化（实际上就是只考虑绕组中的基波电流）；
- (2) 槽内电流集中在槽中心处；
- (3) 转子呈圆柱形，气隙均匀；
- (4) 铁心不饱和，铁心中磁压降可忽略不计（即认为磁动势全部降落在气隙上）。

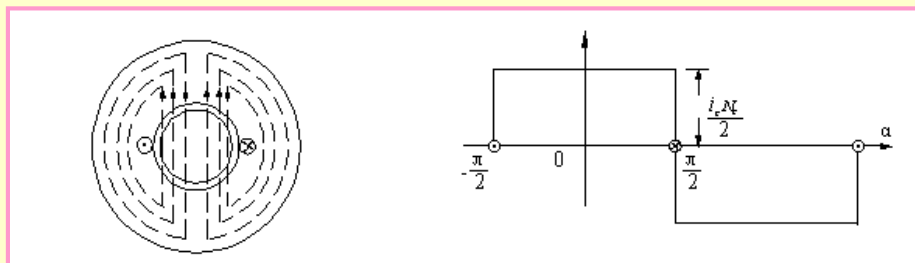
哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 4.交流绕组产生的旋转磁场

### 4.1 单个线圈（元件）的磁动势：

线圈是构成绕组的最基本单位，所以磁动势的分析首先从线圈开始。由于整距线圈的磁动势比短距线圈磁动势简单，因此我们先来分析整距线圈磁动势。如图所示



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 4.交流绕组产生的旋转磁场

- 图中，电机中每条磁力线路径所包围的电流都等于  $N_c i_c$ ，其中  $N_c$  为线圈匝数， $i_c$  为导体中流过的电流。忽略铁心上的磁压降，所以总的磁动势  $N_c i_c$  可认为是全部降落在两段气隙中，每段气隙磁动势的大小为  $N_c i_c / 2$ 。
- 将电机沿气隙予以展开，可得到图 (b) 所示的磁动势波形图。可见，整距线圈的磁动势在空间中的分布为一矩形波，其最大幅值为  $N_c i_c / 2$ 。当线圈中的电流随时间按正弦规律变化时，矩形波的幅值也随时间按照正弦规律变化。



## 4.交流绕组产生的旋转磁场

- 这个磁动势既和空间位置有关，又和时间有关。我们把这种空间位置不变，而幅值随时间变化的磁动势叫做脉振磁动势。
- 若线圈流过的电流为

$$i_c = I_{cm} \sin \omega t = \sqrt{2} I_c \sin \omega t$$

- 则气隙中的磁动势为：

$$F_\delta = \frac{1}{2} N_c i_c = \frac{\sqrt{2}}{2} N_c I_c \sin \omega t = F_{cm} \sin \omega t$$



## 4.交流绕组产生的旋转磁场

一般每一相线圈组总是由放置在相邻槽内的 $q$ 个线圈组成。如果把 $q$ 个空间位置不同的矩形波相加，合成波形就为阶梯波，这将给分析带来困难。

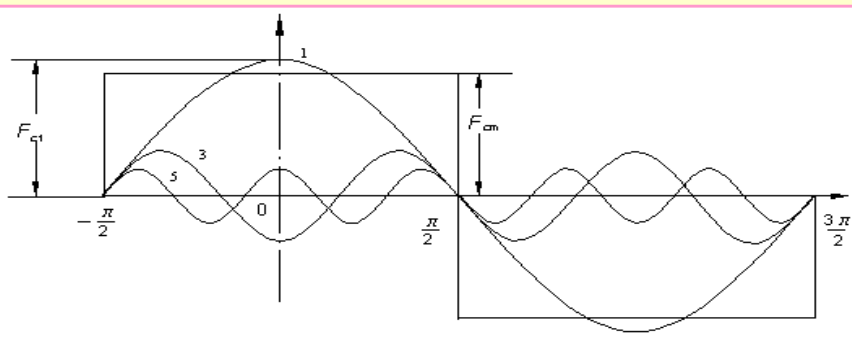
为便于分析，我们将矩形磁动势波形通过傅立叶级数将其进行分解，化为一系列正弦形的基波和高次谐波，然后将不同槽内的基波磁动势和谐波磁动势分别相加，由于正弦波磁动势相加后仍为正弦波，所以可简化对磁动势的分析。

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 4.交流绕组产生的旋转磁场

矩形波的傅立叶级数分解，若坐标原点取在线圈中心线上，横坐标取空间电角度 $\alpha$ ，可得基波和一系列奇次谐波（因为磁动势为奇函数），如图所示。其中基波和各奇次谐波磁动势幅值按照傅立叶级数求系数的方法得出，其计算如下



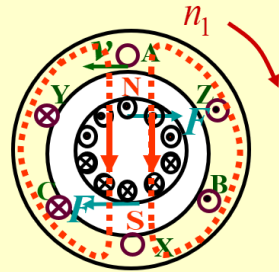
哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 小结

定子三相对称绕组通入三相对称交流电流

旋转磁场  $\left\{ \begin{array}{l} n_1 = \frac{60f_1}{p} \text{ (转/分)} \\ \text{方向: 电流时序决定} \end{array} \right.$



切割转子导体  $\xrightarrow[B\text{右手定则}]{Blv}$  感应电动势  $E_{20}$

感应电流  $I_2$  旋转磁场  $\left\{ \begin{array}{l} \text{电磁力 } F \\ B\text{左手定则} \end{array} \right. \xrightarrow{Bli}$

电磁转矩  $T \longrightarrow$  转子转速  $n$

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 小结

电动机转子转动方向与定子所产生的同步磁场旋转的方向一致，但转子转速  $n$  不可能达到与旋转磁场的转速相等，即

$$n < n_1 \Rightarrow \text{异步电动机}$$

因此，转子转速与旋转磁场转速间必须要有差别。而异步电动机之所以被冠以“异步”二字，是因为其转子的转速  $n$  永远也跟不上旋转磁场的转速  $n_1$ 。两者存在转速差。

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 致 谢

本文档所引用的许多素材，来源于互联网上国内外的课件、科技论文、文章、网页等。本文引用只是为了给学生提供更好的教学素材，非商业目的。对这些所引用素材的原创者，在此表示深深的谢意。

