



哈尔滨工业大学

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY



自动控制实践A

5 后半程授课内容简介



目 录

1、自动元件的应用

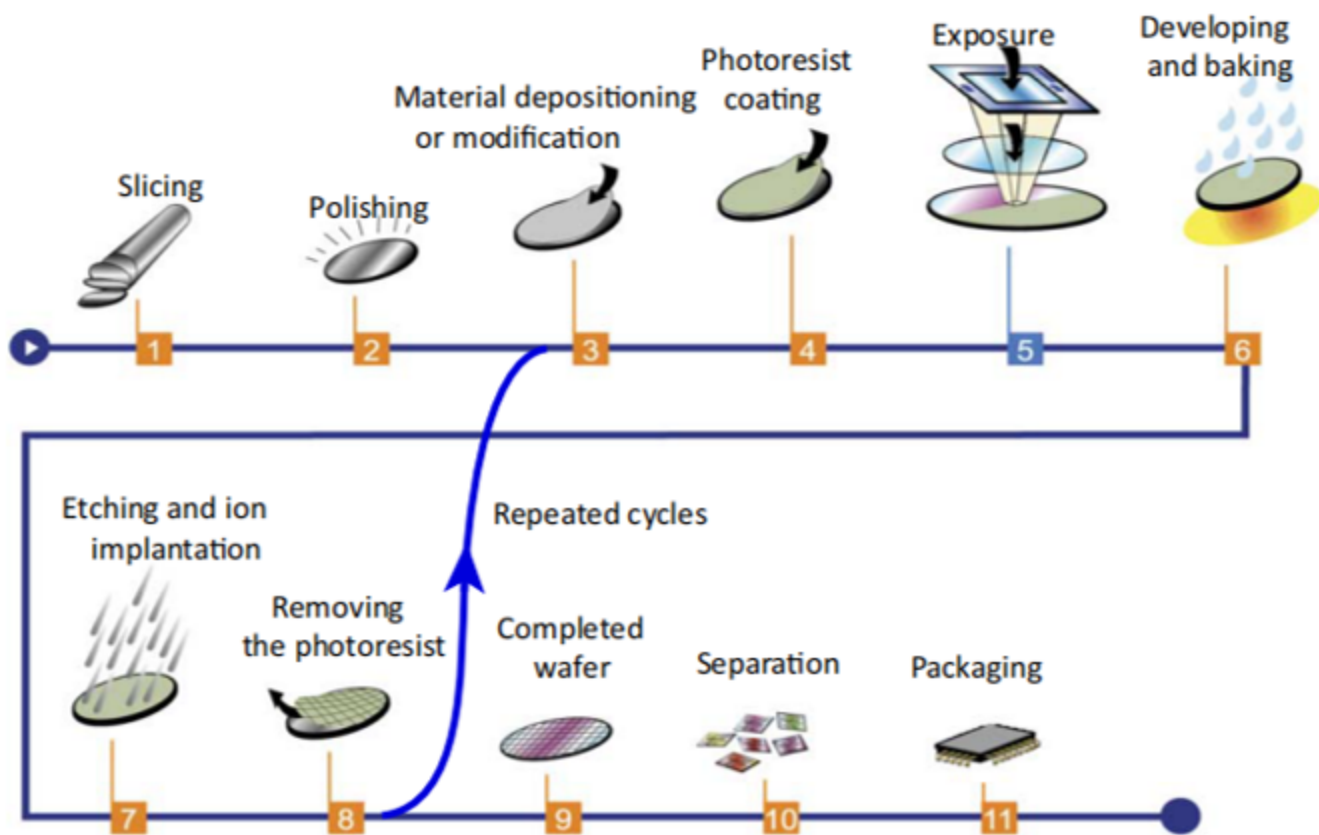
2、课程内容简介

3、基础知识



1. 自动控制元件的应用

芯片制造设备:为适应电子芯片制造的需求,机电一体化技术被广泛应用于Mask Alignment, Wire Bonding, Die Bonding, Trim Forming等高速高精度的芯片制造设备中去。



微电子制造装备

加法工艺	<ul style="list-style-type: none"> 掺杂 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 扩散 ✓ 离子注入 薄膜 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 氧化 ✓ 化学气相淀积 ✓ 溅射 ✓ 外延 	扩散炉 离子注入机 退火炉
	<ul style="list-style-type: none"> 刻蚀 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 湿法刻蚀 ✓ 干法刻蚀 	氧化炉 CVD反应炉 溅射镀膜机 外延设备
减法工艺	<ul style="list-style-type: none"> 抛光及清洗 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 化学机械平坦化 ✓ 清洗 	湿法刻蚀机 反应离子刻蚀机
辅助工艺	<ul style="list-style-type: none"> 图形转移 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 光刻 	CMP抛光机 硅片清洗机
图形转移工艺	<ul style="list-style-type: none"> 测试及封装 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 测试 ✓ 封装 	光刻机 涂胶显影设备
后道工艺		测试设备 划片机 键合机

1. 自动控制元件的应用

光刻机

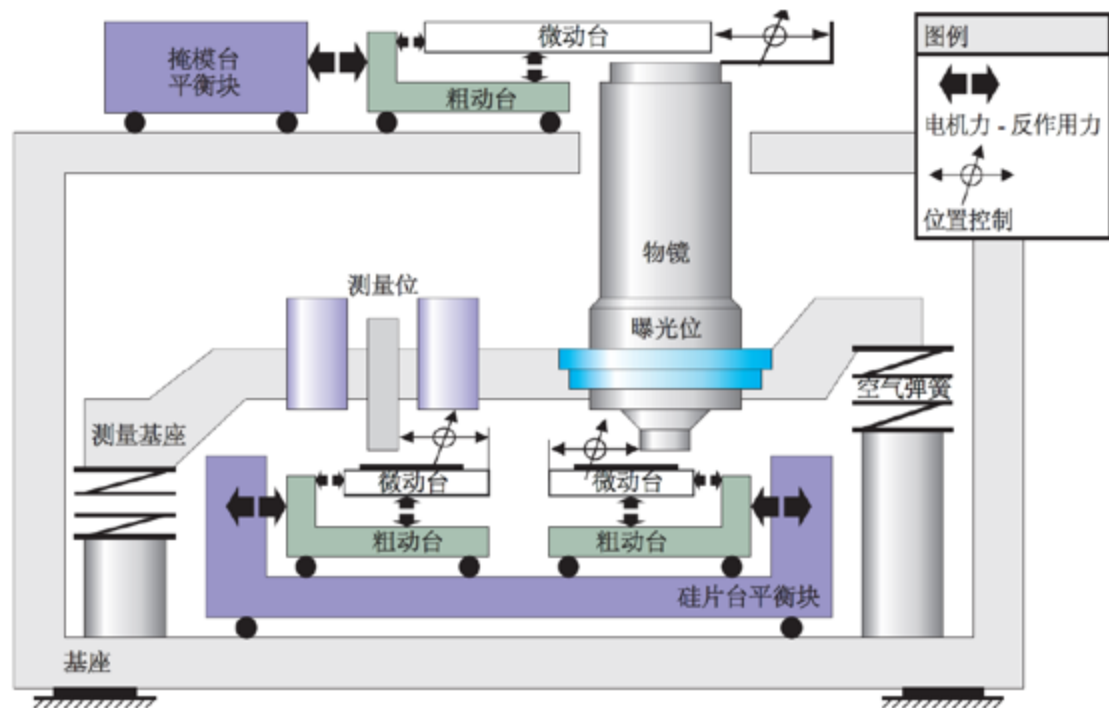
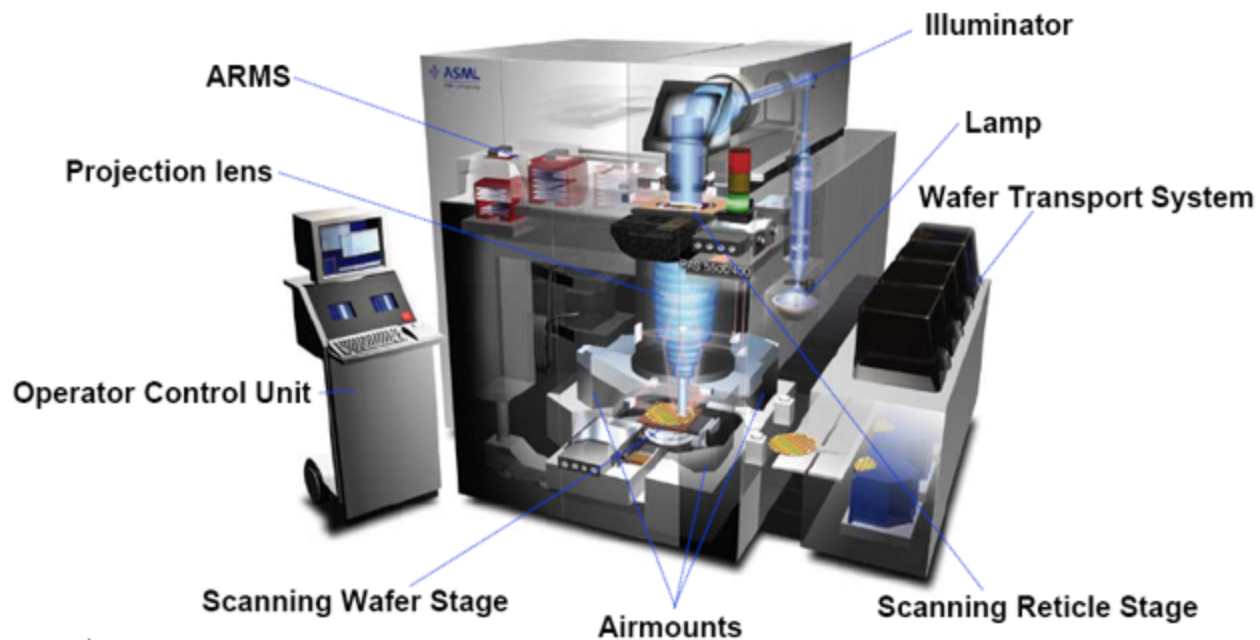
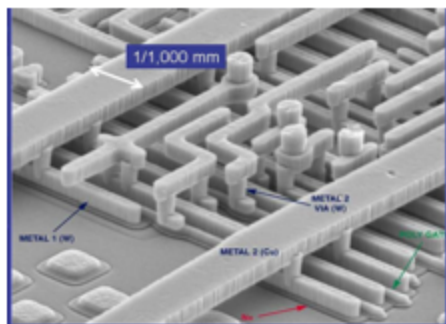


图 1.2 ASML 步进扫描式光刻机 (TWINSCAN 系列) 的结构示意图^[7]



XT : 激光干涉仪测量

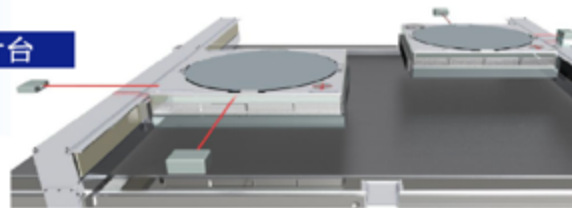
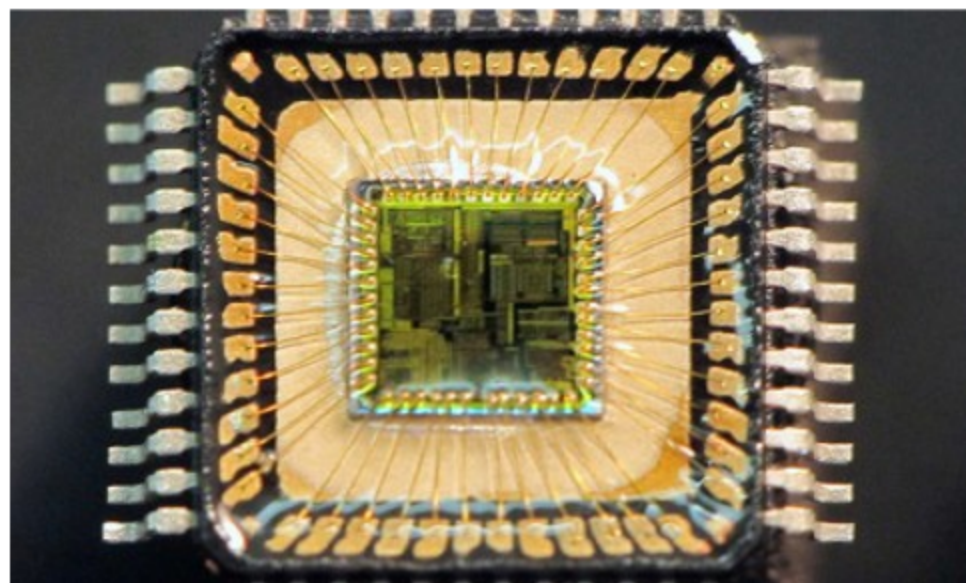
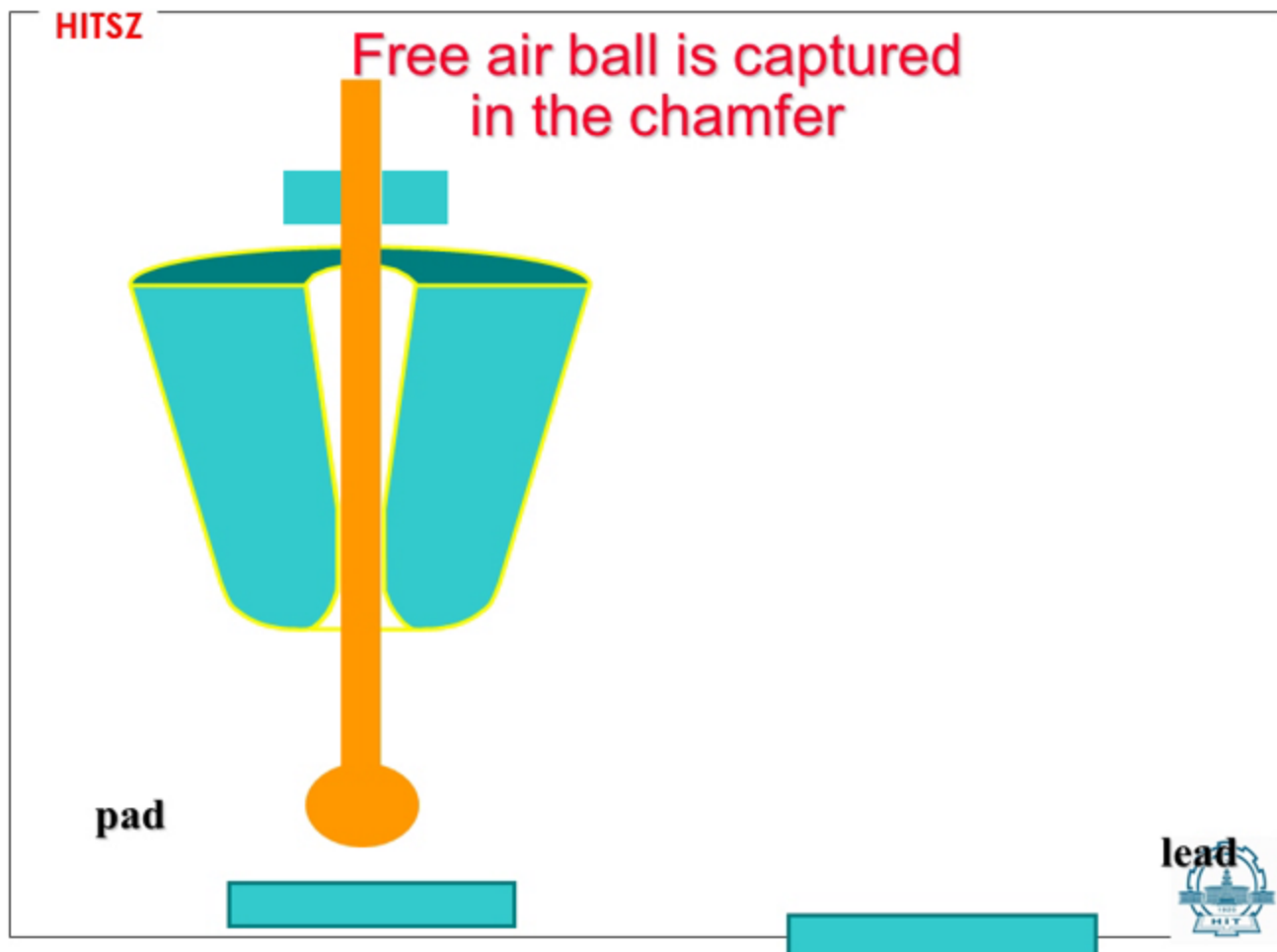


图 1.4 ASML TWINSCAN XT 系列光刻机硅片台的结构示意图^[8]

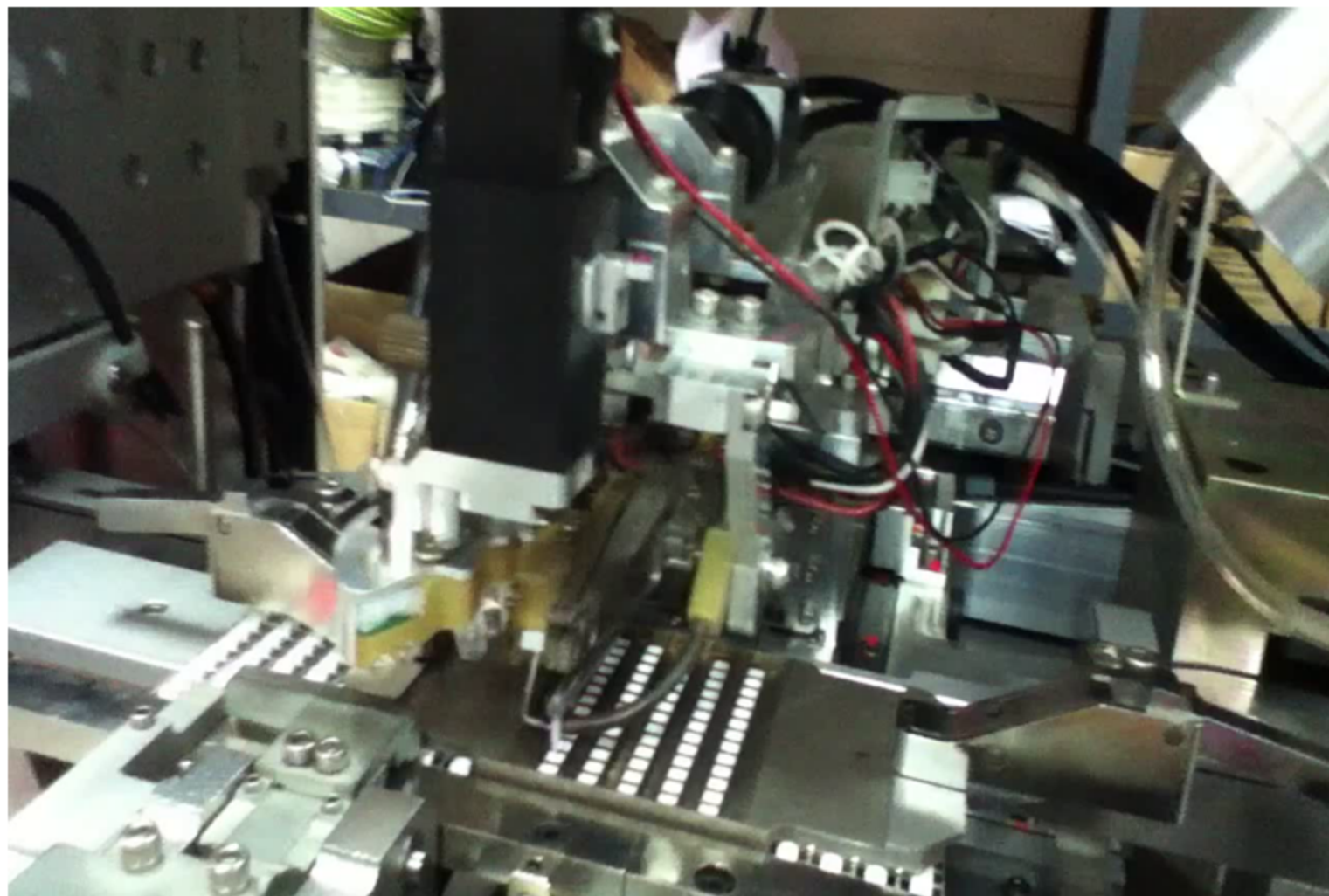
1. 自动控制元件的应用

IC封装中引线焊接机



1. 自动控制元件的应用

IC封装中引线焊接机



焊线机用到的主要电机:

交流伺服旋转电机, 交流伺服直线电机, 步进电机, 音圈电机等;

焊线机用到的传感部件:

旋转变压器或者光电编码器 (电机用), 直线光栅, 视觉传感器等;

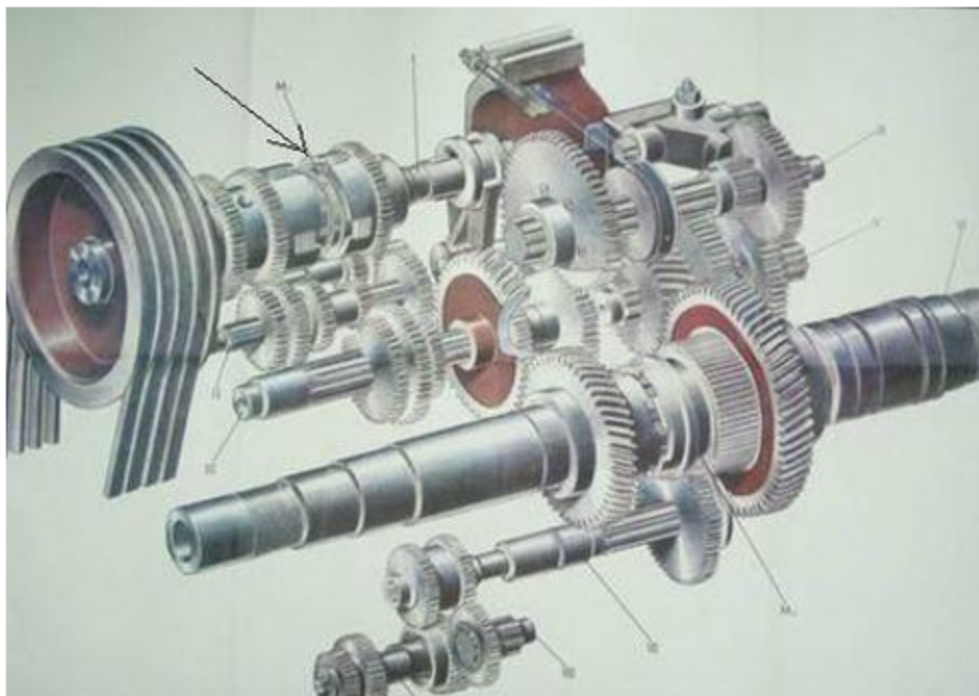
1. 自动控制元件的应用

20世纪开始，各种机械式机床被广泛应用。

机械式机床一般只有一个电机，通过齿轮箱实现机床不同部件（轴）相对运动，因而，齿轮制造水平代表着一个国家的工业水平。



机械式车床



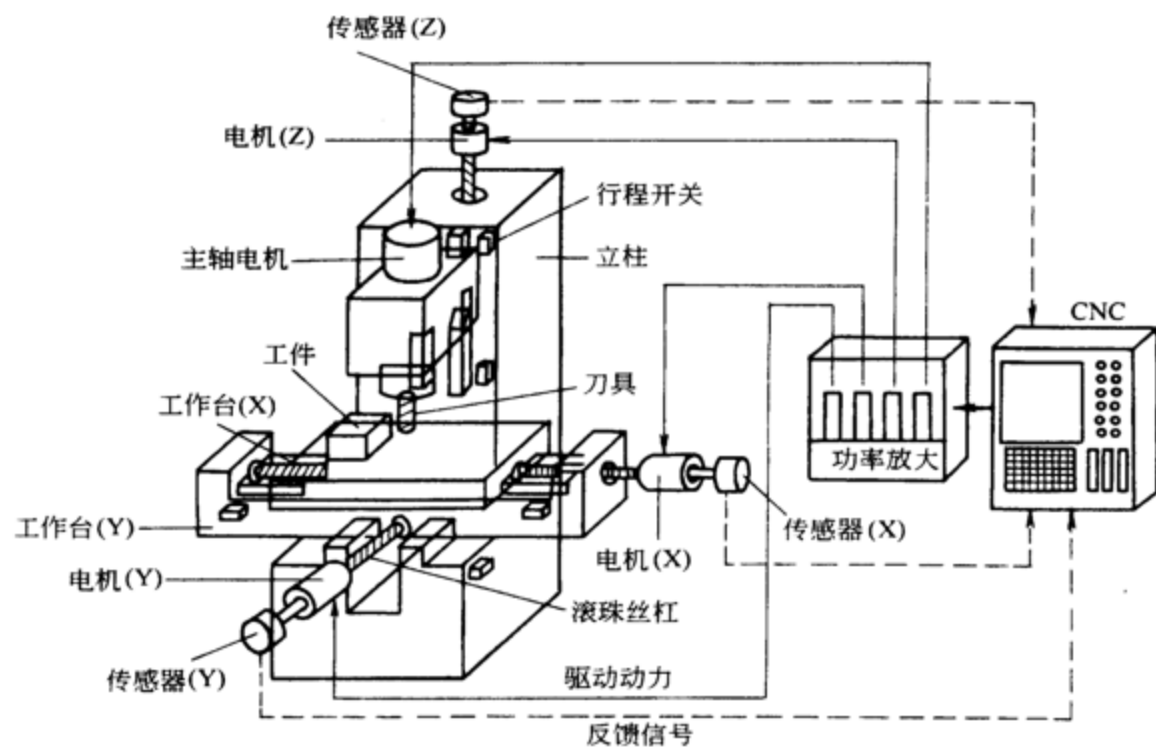
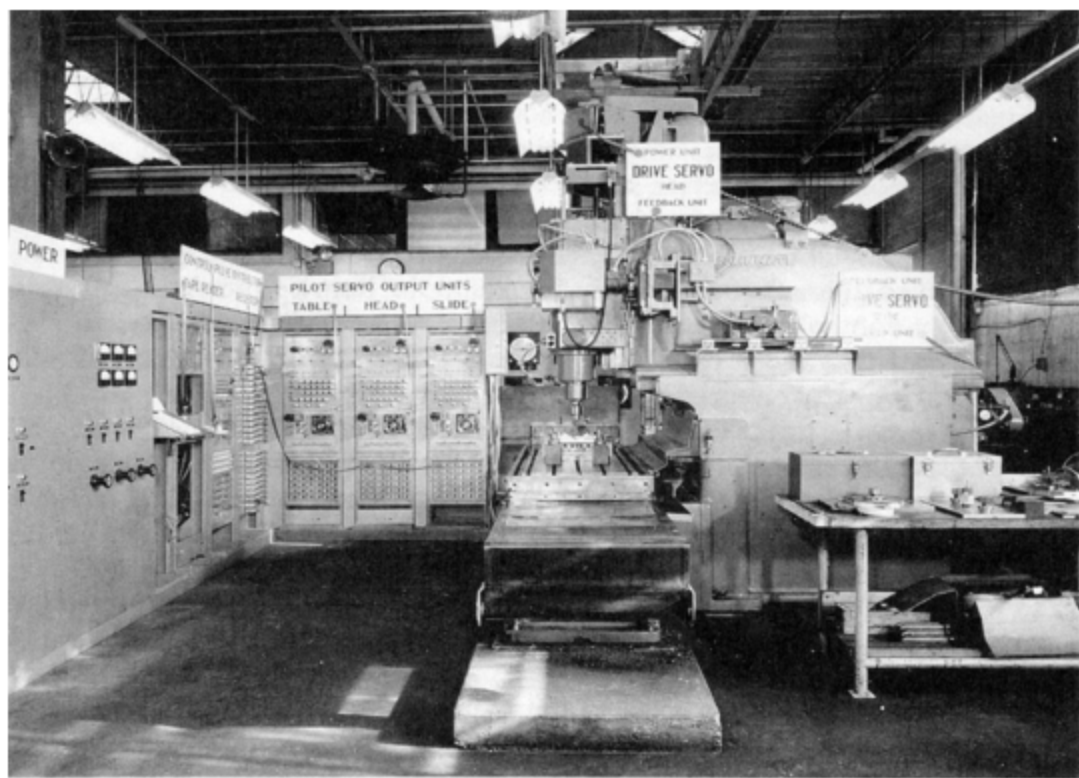
车床传动系统



1. 自动控制元件的应用

1952年，为解决飞机发动机叶片的仿形加工问题，美国帕森斯公司与麻省理工学院伺服机构实验室合作研制成功电子管控制的第一台三坐标联动的铣床；从此开创了数控加工时代。

数控机床结构和功能示意图—每一根运动轴上有独立电机来控制。



1. 自动控制元件的应用

五轴数控机床(实训中心)

JD 北京精雕集团
BEIJING JINGDIAO GROUP



整机外观展示



1. 自动控制元件的应用

五轴数控机床

箱中箱左右对称结构



图1 DHP80II机床的外观和结构

数控机床用到的主要电机：

交流伺服旋转电机，交流伺服直线电机，直接驱动旋转电机，步进电机，异步电机，同步电机；

数控机床用到的传感部件：

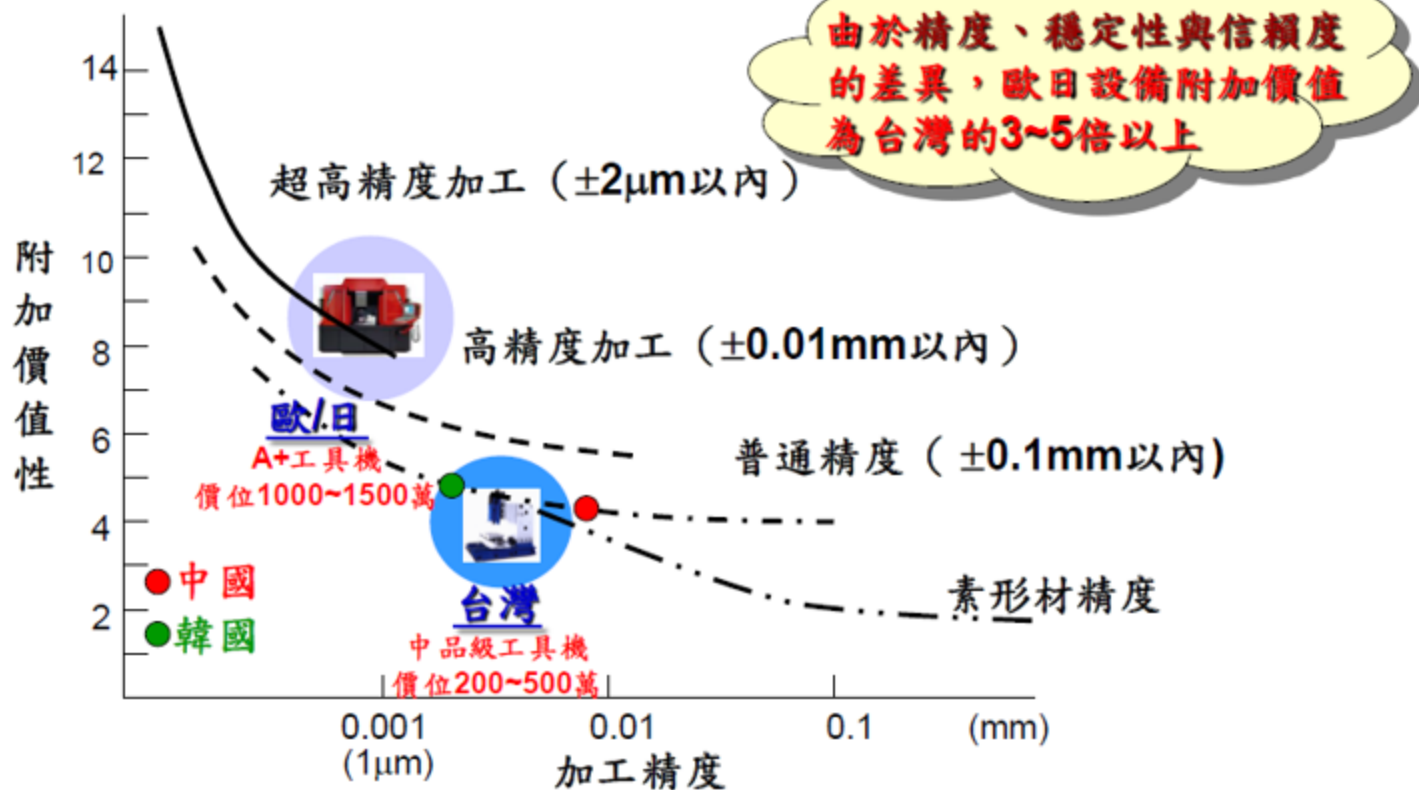
旋转变压器或者光电编码器（电机用），直线光栅，圆光栅，直线感应同步器，旋转感应同步器，压力传感器，温度传感器，振动传感器等等。

1. 自动控制元件的应用



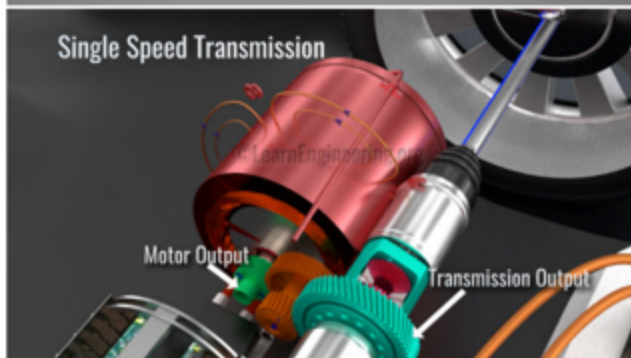
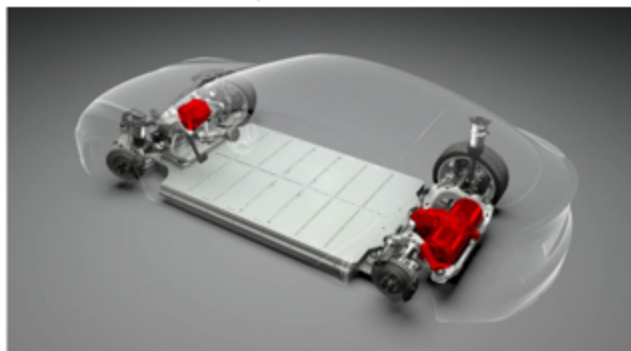
精度與價值關係

□ 附加價值之提昇(以工具機為例)



1. 自动控制元件的应用

电动汽车



Audi RS e-tron GT
Antriebsstrang
Onsetrain
02/21



电动汽车用到的主要电机:

直流电机（初期是主流），开关磁阻电机（曾经被看好），异步电机，永磁同步电机；

电动车用到的传感部件:

根据传感器的作用，可分类为测量温度、压力、流量、位置、气体浓度、速度、光亮度、干湿度、距离等功能的传感器，它们各司其职，一旦某个传感器失灵，对应的装置就会工作不正常甚至不工作。



目 录

1、自动元件的应用

2、课程内容简介

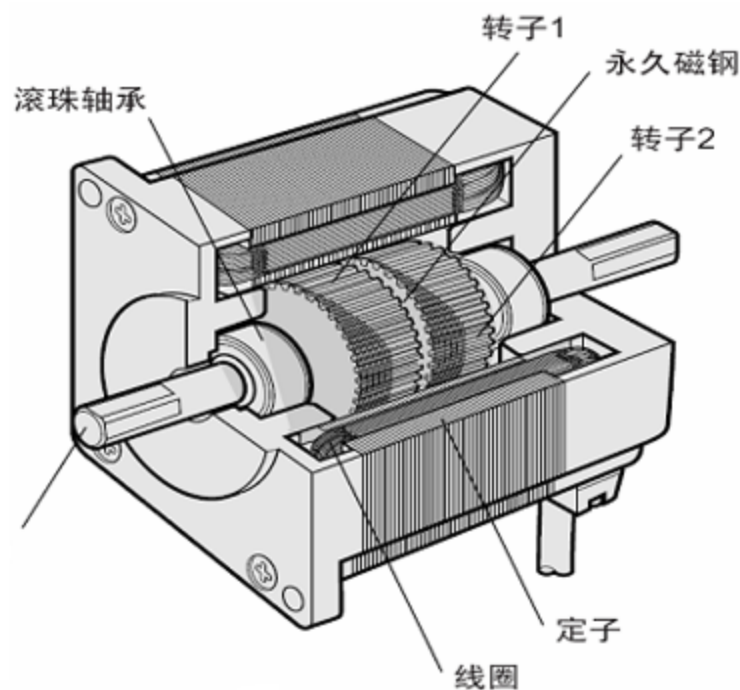
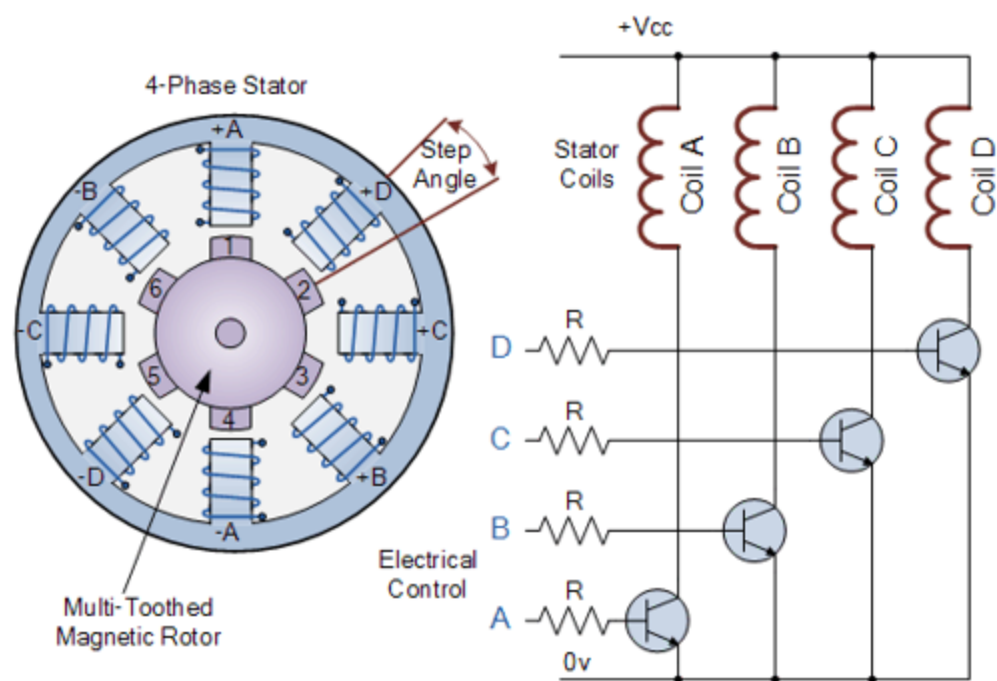
3、基础知识



课程内容简介- 1. 步进电机

步进电机作为**重点内容**讲授。（教材第**5**章）

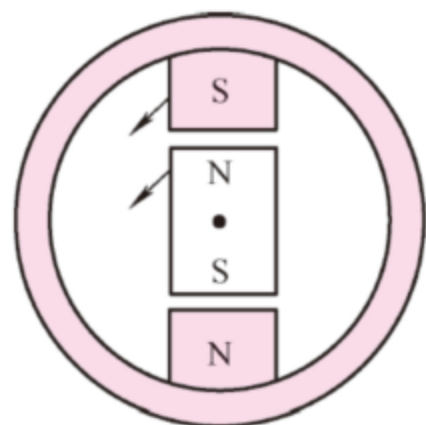
步进电机分类和原理，步进电机矩角特性等。



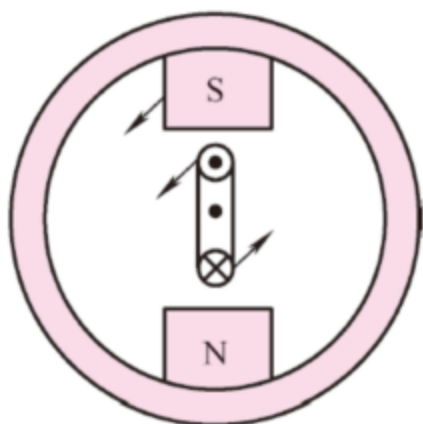
课程内容简介- 2.交流电机概述

交流电机概述重点讲授基本原理和概念。（教材第3章）

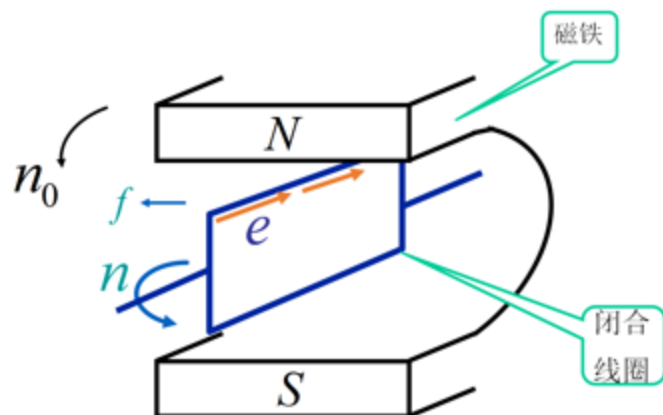
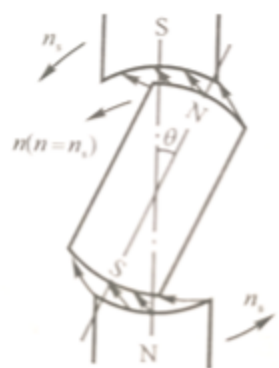
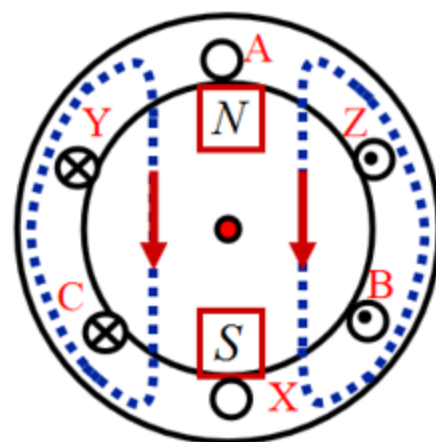
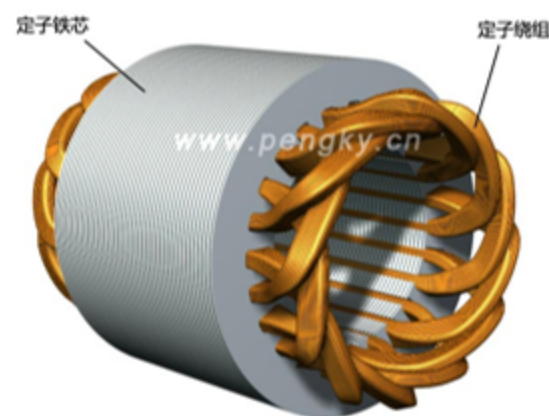
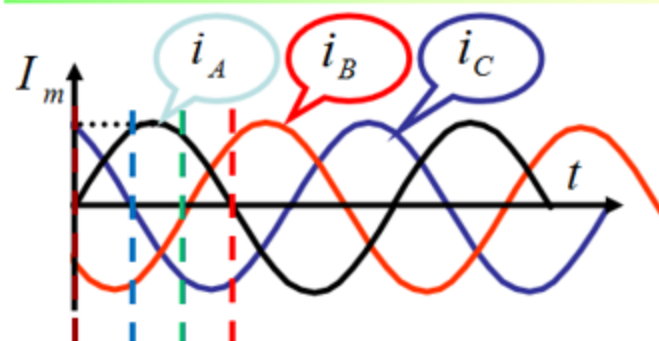
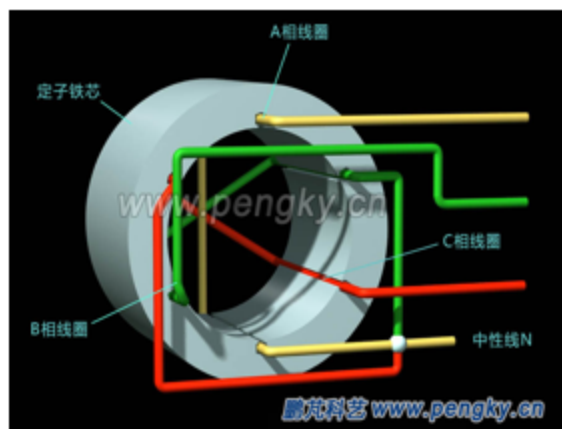
交流电机的基本工作原理、交流绕组的基本工作原理、交流绕组的基本参数



a) 同步电机模型

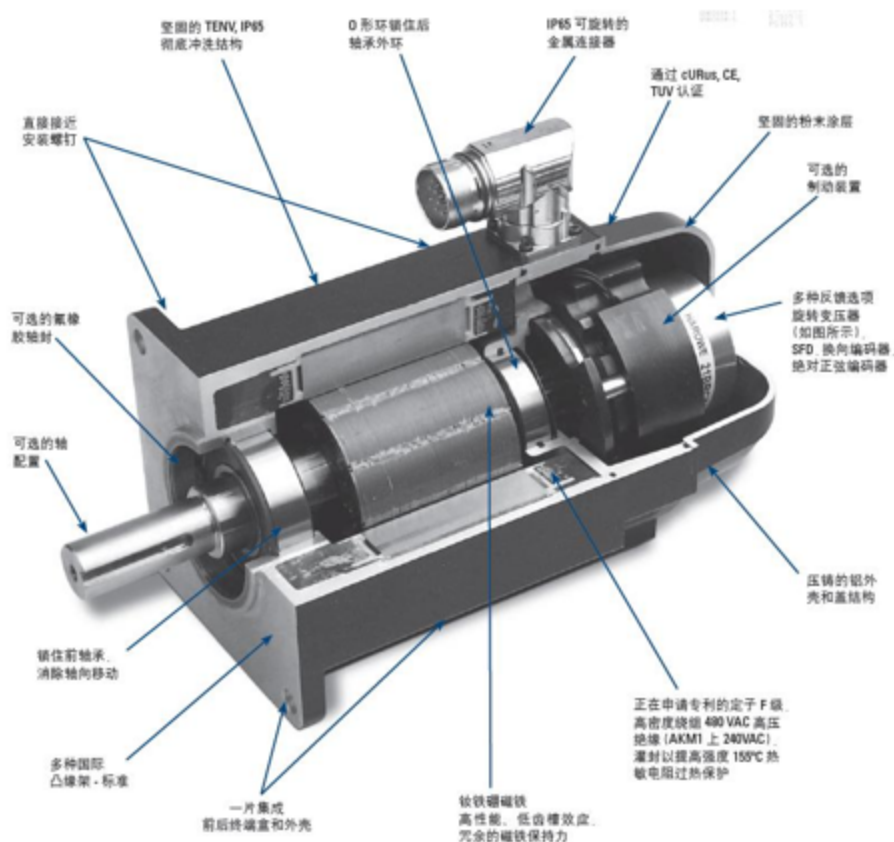


b) 感应电机模型



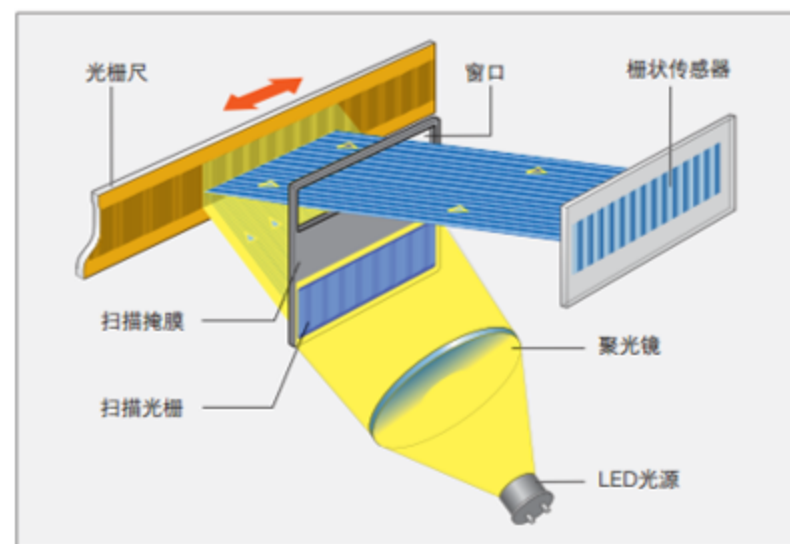
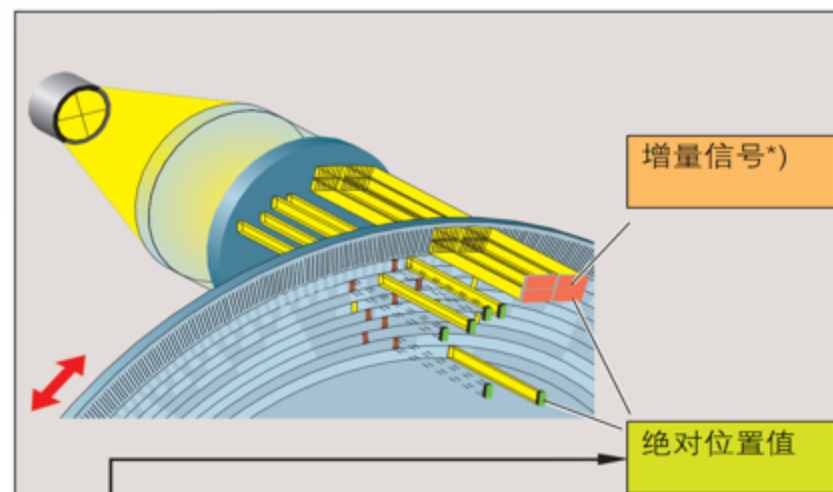
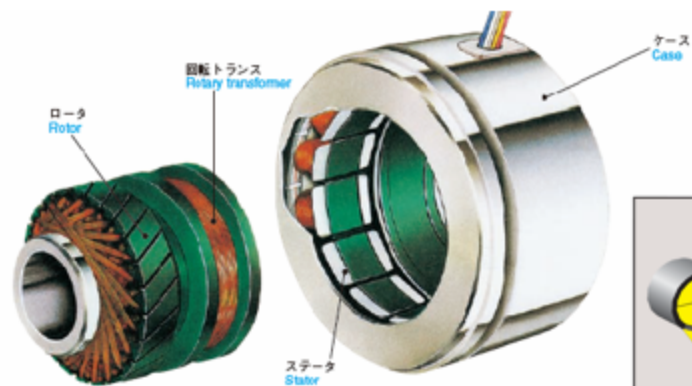
课程内容简介- 3. 无刷直流电机和伺服电机

讲授无刷直流电机和伺服电机原理，电机的矢量控制原理。（教材第**6**章）



课程内容简介- 4. 测量元件

测量元件概述，重点讲授旋转变压器与感应同步器（电磁式），编码器和光栅（光电式）。（教材第8，9，11章）



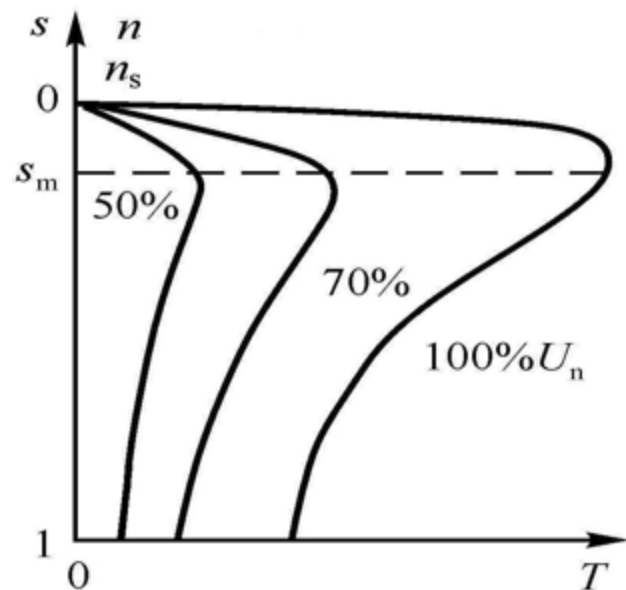
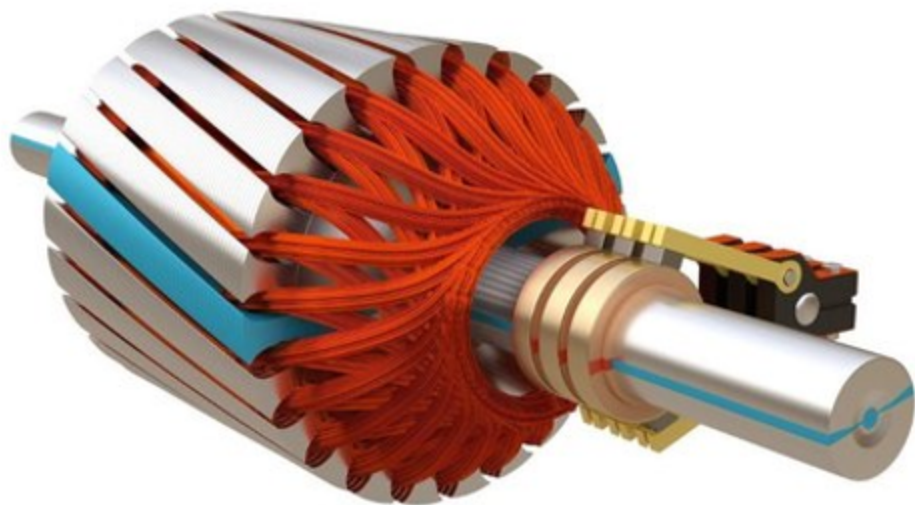
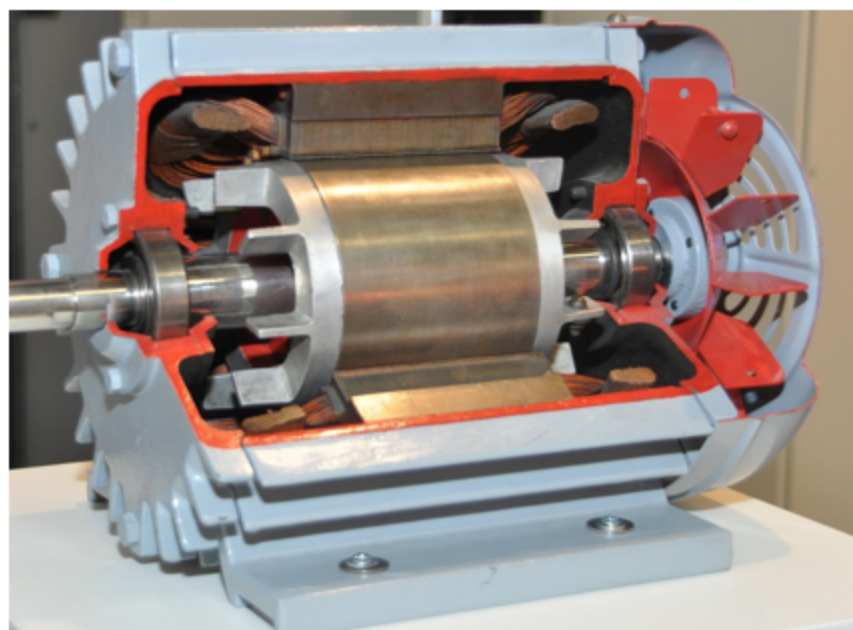
钢带光栅尺和单场成像扫描原理的光电扫描



课程内容简介- 5.异步电机

异步电机作为电机部分的**重点内容**讲授。（教材第**3**章）

电机原理、电机结构、旋转磁场、等效电路、转矩特性等



(a) 普通鼠笼转子的特性

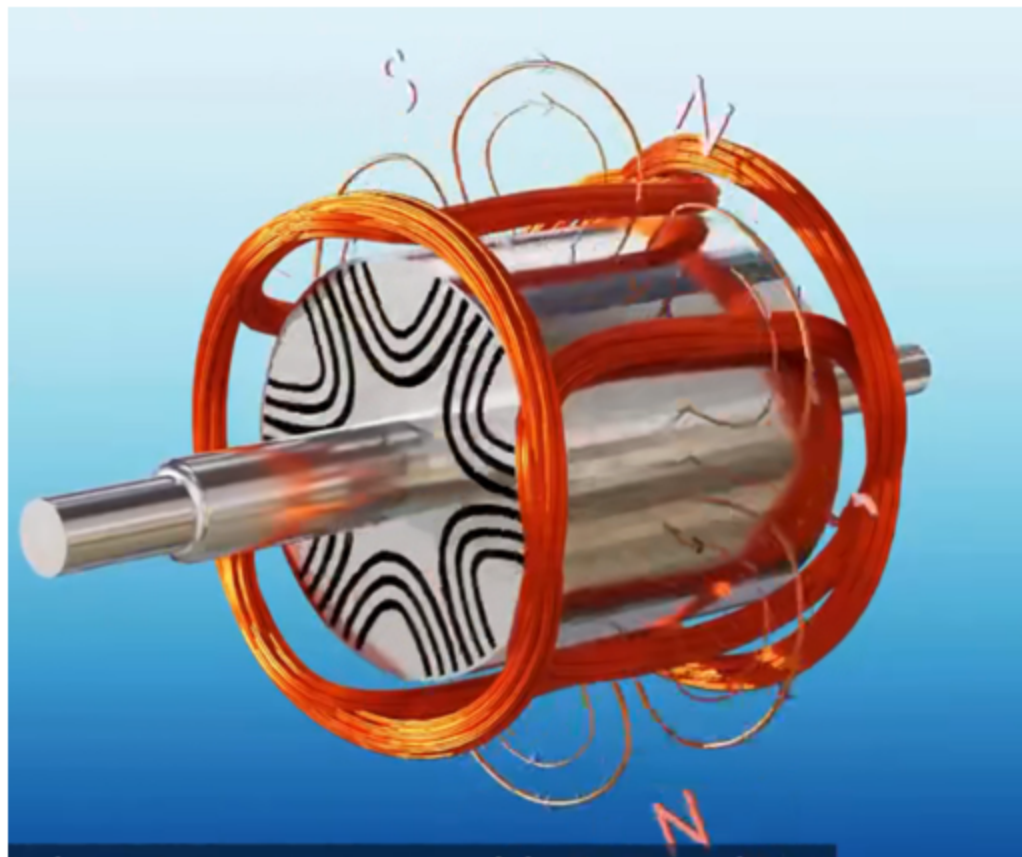
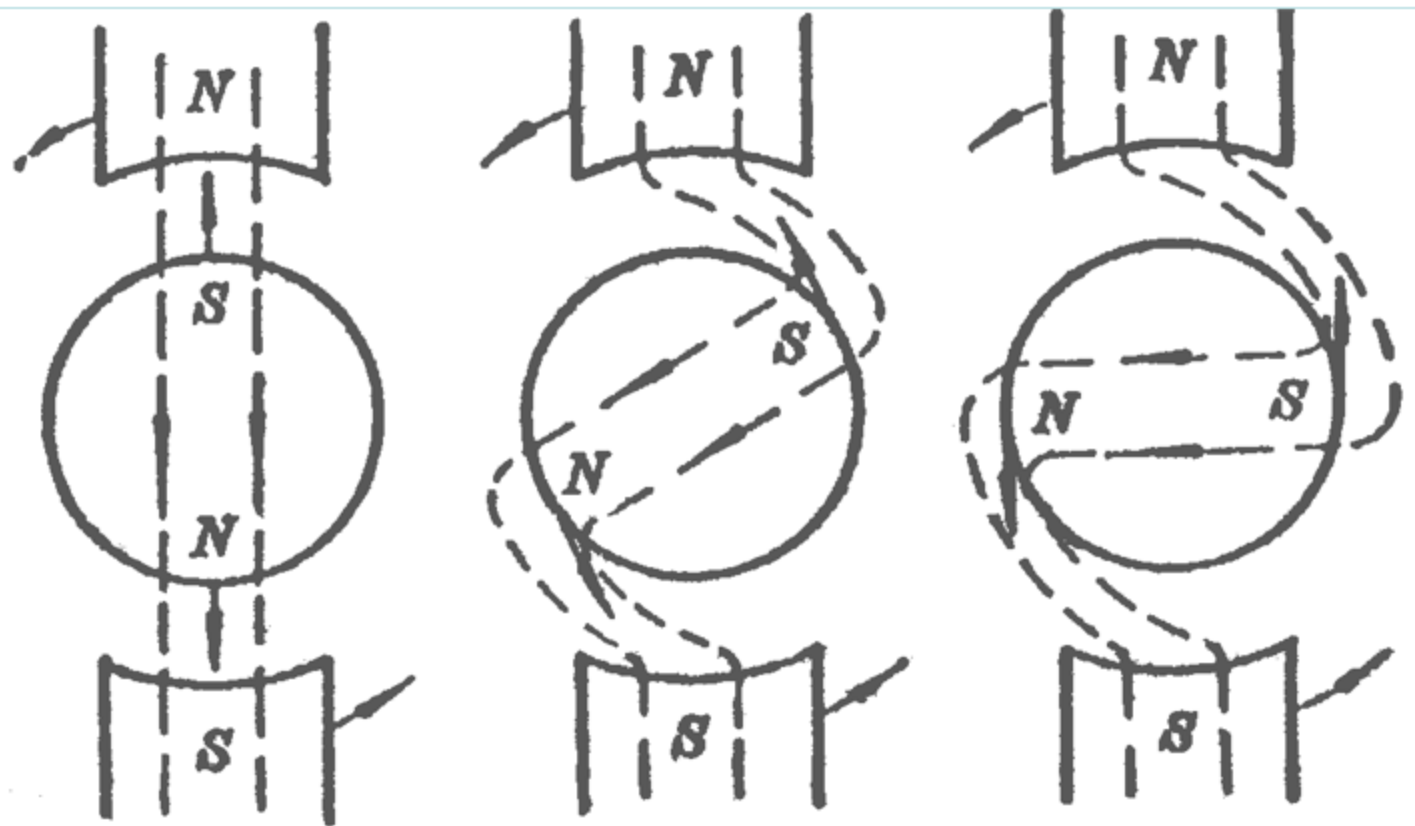
参考资料:

- [1] 戈宝军, 梁艳萍, 温嘉斌, 电机学 (第三版) [M], 北京: 中国电力出版社, 2016.
- [2] 刘慧娟主编, 电机学 [M], 北京: 机械工业出版社, 2021.



课程内容简介- 6. 小功率同步电机（选讲）

介绍小功率同步电机原理、几种典型同步电机。（教材第4章）



目 录

1、自动元件的应用

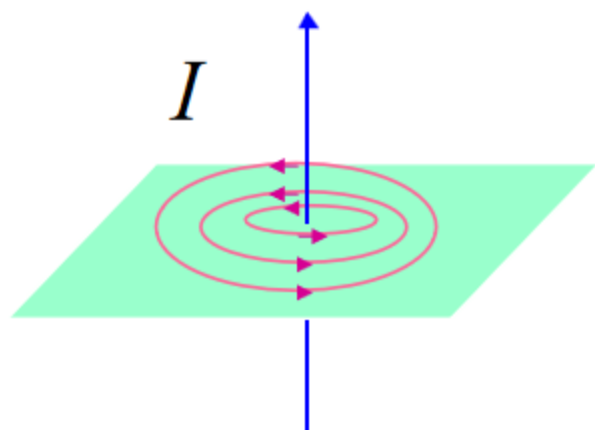
2、课程内容简介

3、基础知识

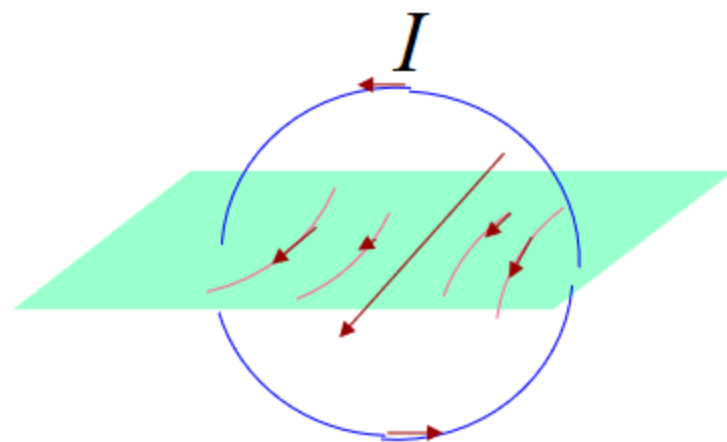


3. 课程基础知识——磁路部分

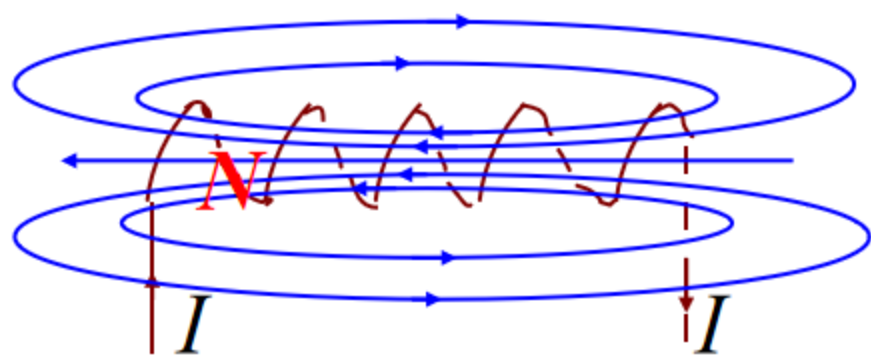
常见的磁力线



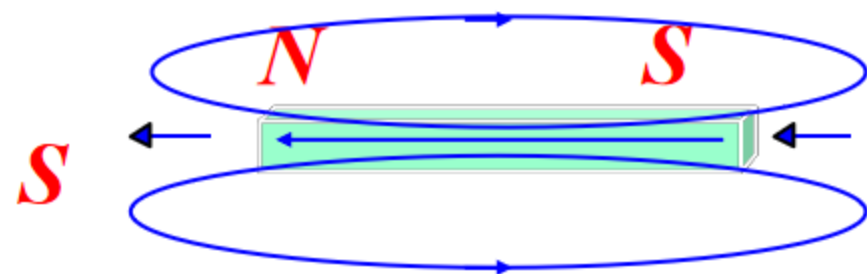
(a) 直线电流磁力线



(b) 圆电流磁力线



(c) 螺线管电流的磁力线

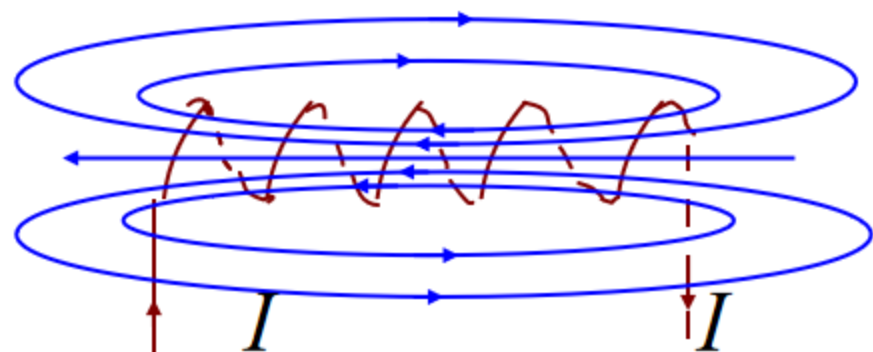


(d) 永久磁铁的磁力线

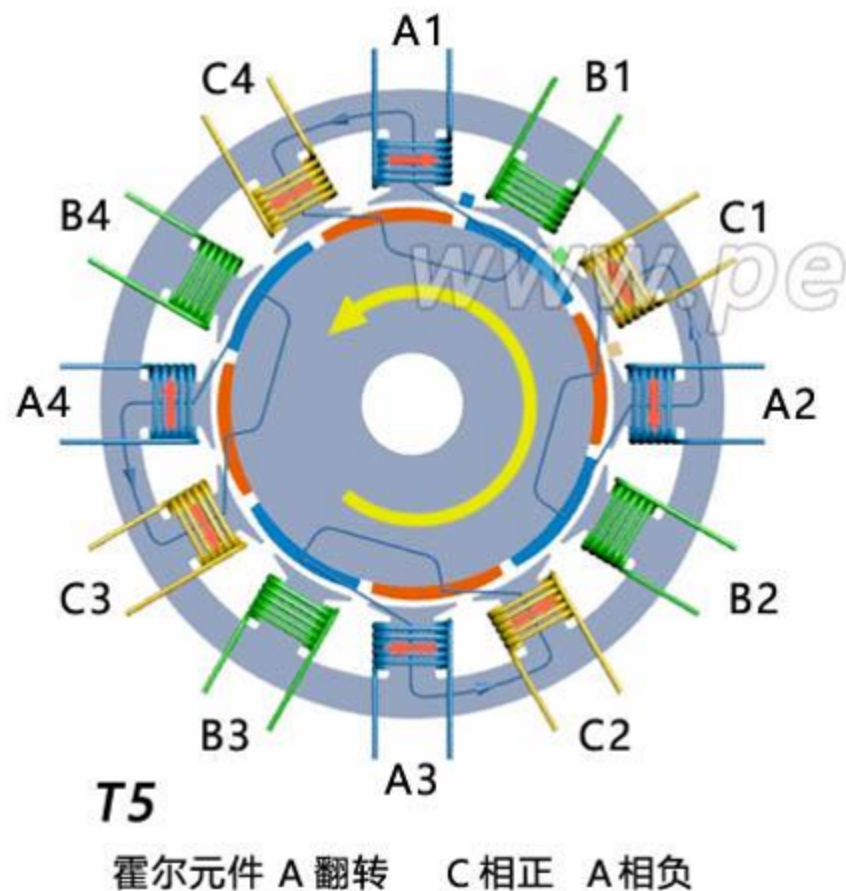
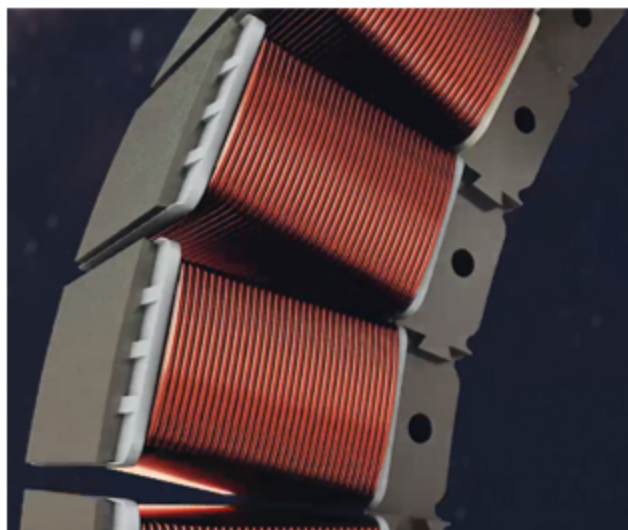


3. 课程基础知识——磁路部分

常见的磁力线



螺线管电流的磁力线

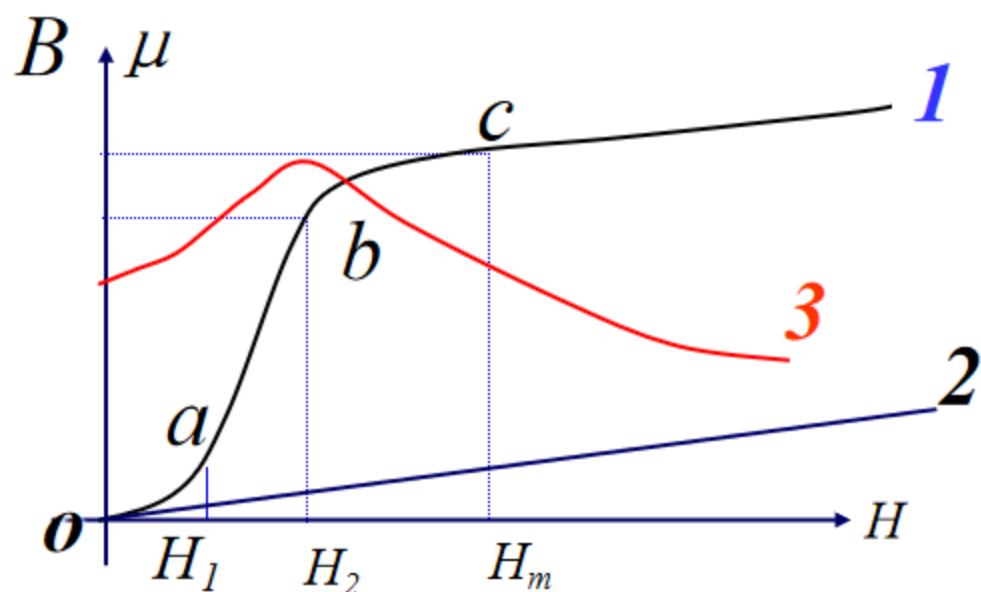


3. 课程基础知识——磁路部分

《电路理论基础》（电路B）

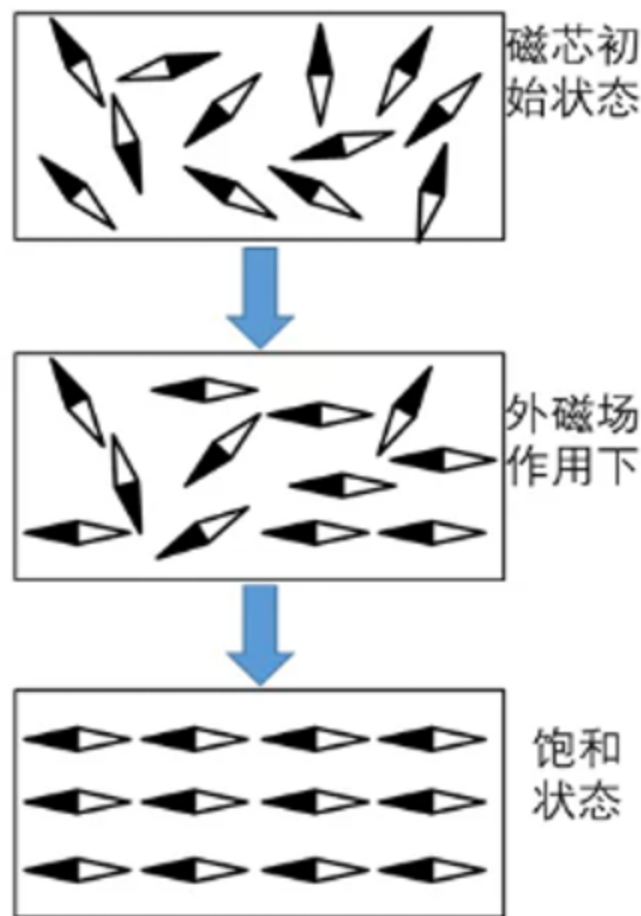
铁磁材料的导磁性能

铁磁材料中的磁感应强度 B 随外磁场强度 H 变化。



$$B = \mu H$$

- 1 — 铁磁材料的磁化曲线
- 2 — 真空磁化曲线
- 3 — 铁磁材料的导磁率曲线



铁磁材料的磁导率不是常数, 而是随外磁场的变化而变化。

铁磁材料的磁畴

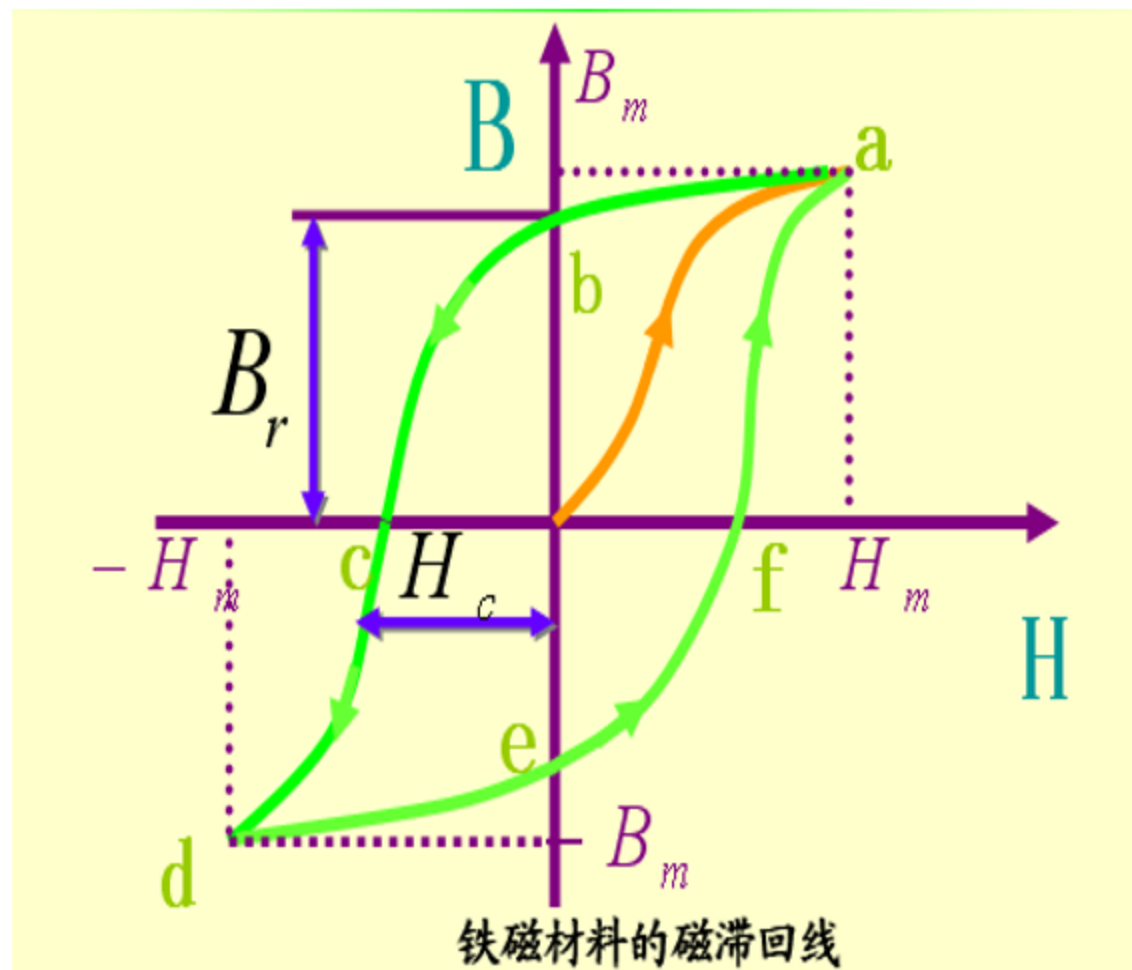


3. 课程基础知识——磁路部分

磁滞现象与磁滞回线

磁感应强度 B 的变化总是落后于外磁场 H 的变化，称磁滞现象。

B_r — 铁磁材料的剩余
感应强度，剩磁
 H_c — 铁磁材料的矫顽力



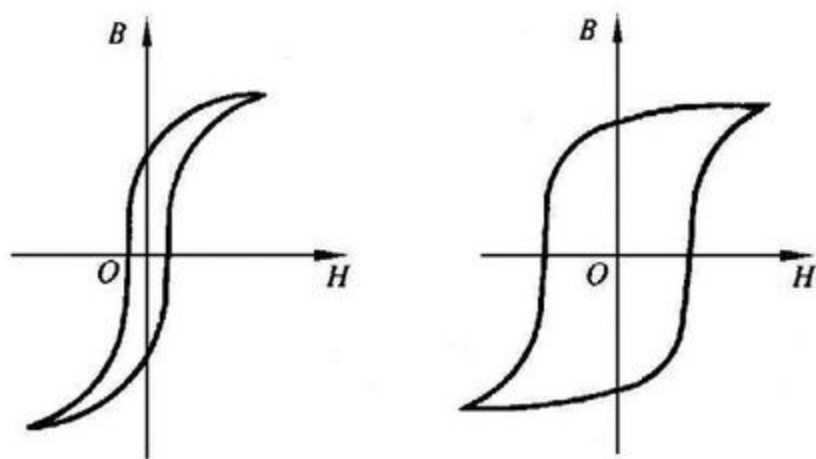
3. 课程基础知识——磁路部分

软磁材料 : B_r , H_c 较小, 磁滞回线较窄, 磁滞损耗小

如: 纯铁、铸铁、电工钢、坡莫合金

硬磁材料: B_r , H_c 较大, 磁滞回线较宽, 磁滞损耗大

如: 钨钢、钴钢、镍钴合金、稀土合金



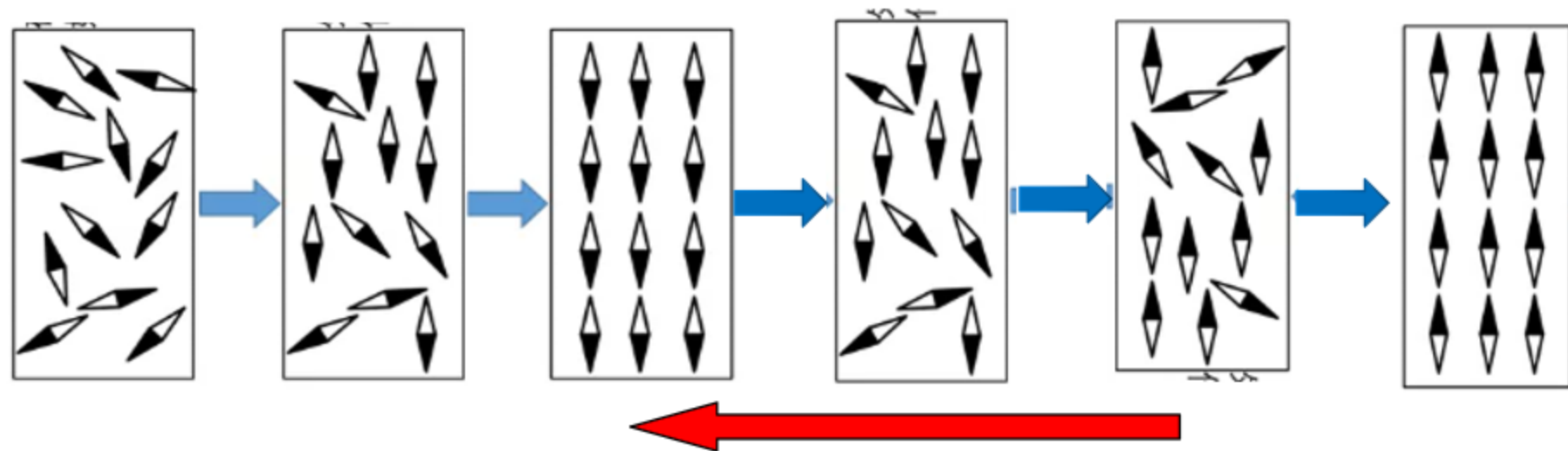
(a) 软磁材料

(b) 硬磁材料

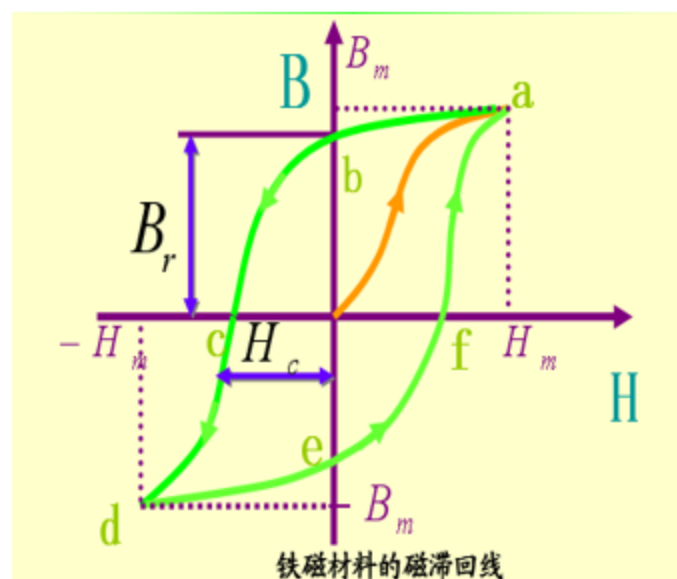
工程上铁磁材料的基本磁化曲线可用数据表或曲线表达。

3. 课程基础知识——磁路部分

铁心损耗包括磁滞损耗和涡流损耗。



铁磁材料在交变磁场中,其内部的磁畴在不断改变排列方向而造成的能量损耗称为磁滞损耗

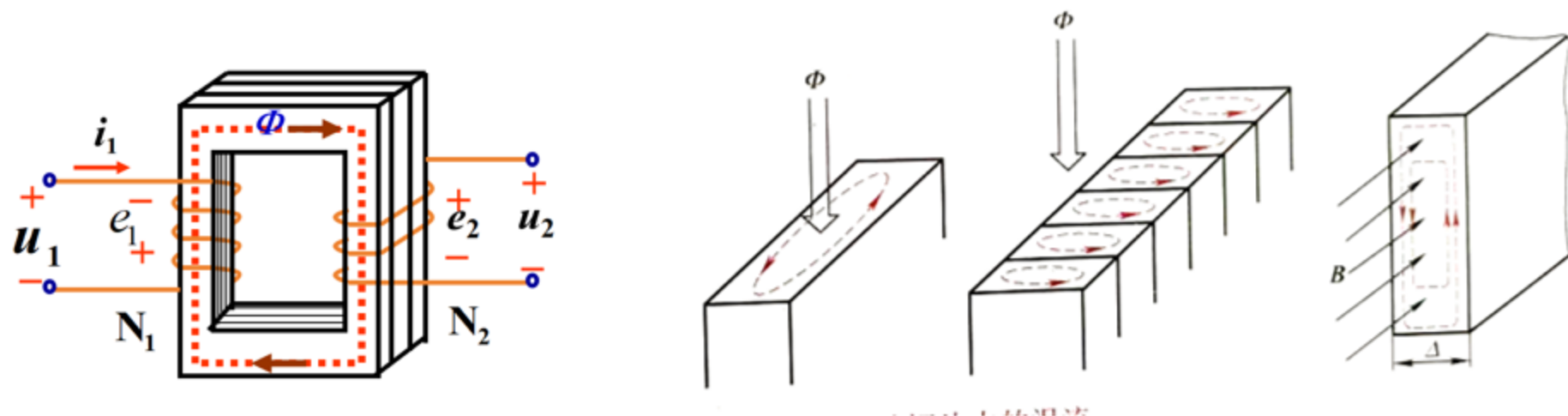


矫顽力和剩余磁感应强度越大,磁滞回线面积就越大,磁滞损耗就越大。

对于同一种铁磁物质,最大磁感应强度 B_m 越大,磁滞回线面积越大,磁滞损耗也越大。

3. 课程基础知识——磁路部分

铁心损耗包括磁滞损耗和涡流损耗。



铁磁物质交变磁化时,在磁感应线所穿过的回路内要产生感应电动势,并形成电流称为涡流。

涡流通过铁心电阻产生的功率损耗称为涡流损耗。

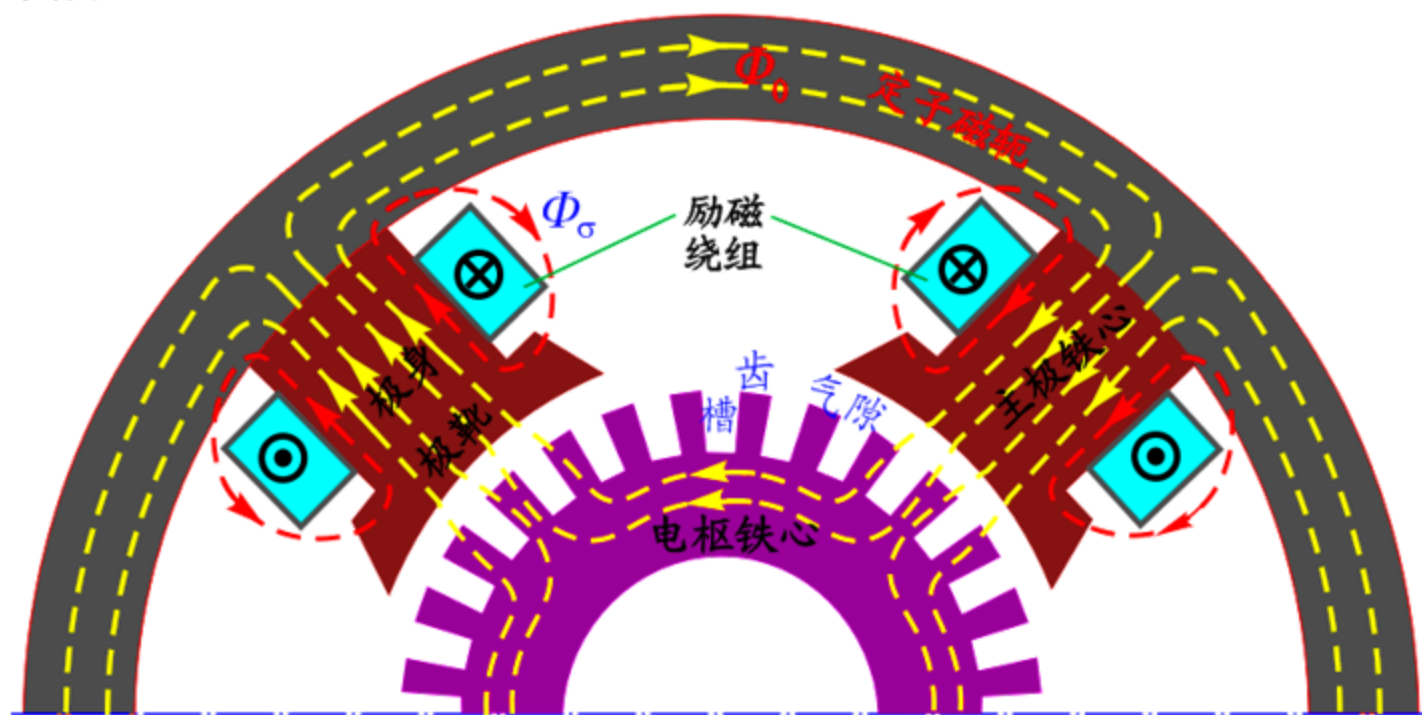
最常用的减少涡流损耗方法:

- 1、减少截面积;
- 2、增加电阻率;

3. 课程基础知识——磁路

磁路：电磁元件中，磁通所经过的闭合回路称为磁路。

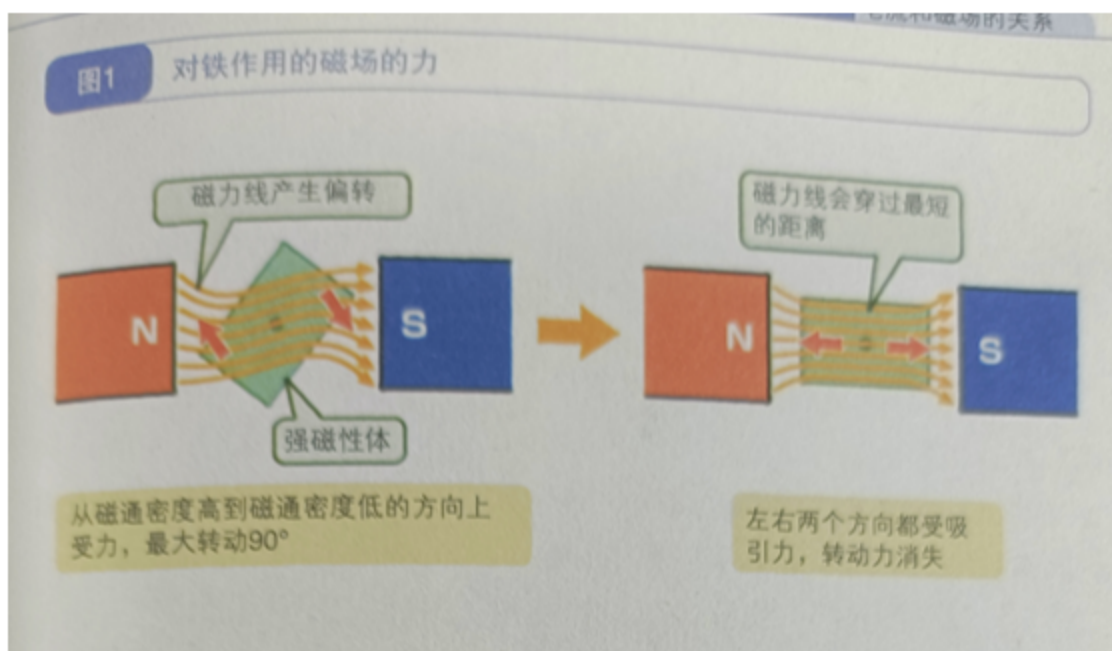
通过电磁元件工作磁路路径的磁通称为主磁通，另外还有少量的磁通不在此路径通过，称为漏磁通。



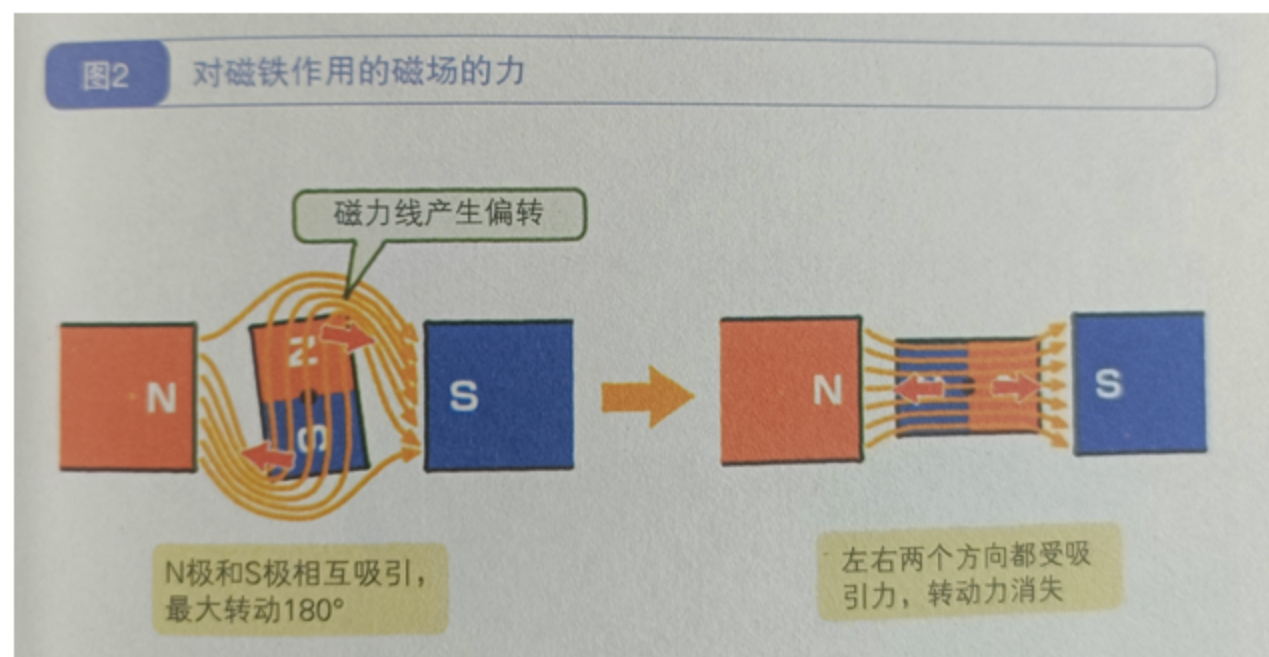
一台四极直流电机中的空载磁场分布(1/2模型)

3. 课程基础知识——磁路

电动机的转动原理：磁场内的铁和磁铁受到力的作用



如图1所示，磁极中间放入铁等强磁性体，磁通会在容易通过的方转向，磁极间的磁通的分布会发生变化。并且磁通倾向于穿过最短距离（磁力线总是要通过磁阻最小的路径闭合）。



如图2所示，这次代替磁性体在磁极间放入磁铁，磁极间的磁通分布被相互的磁极变得非常复杂，受到磁力线一致的方向上的力而转动。

3. 课程基础知识——交流电

对称三相电压

角频率，最大值相等
相位互差 120°

(1) 瞬时值

$$u_A(t) = \sqrt{2}U \sin \omega t$$

$$u_B(t) = \sqrt{2}U \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$u_C(t) = \sqrt{2}U \sin(\omega t + 120^\circ)$$

(2) 相量表示

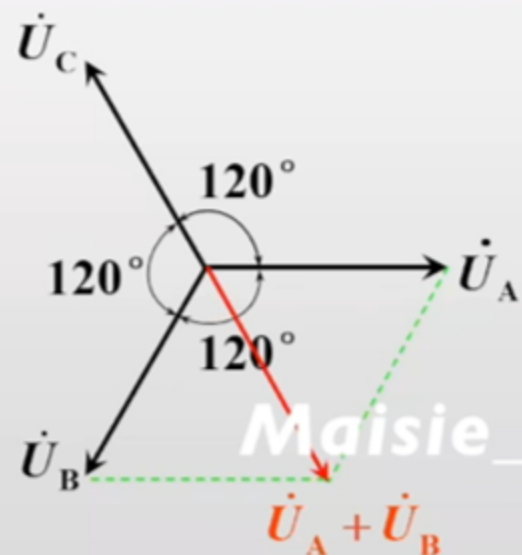
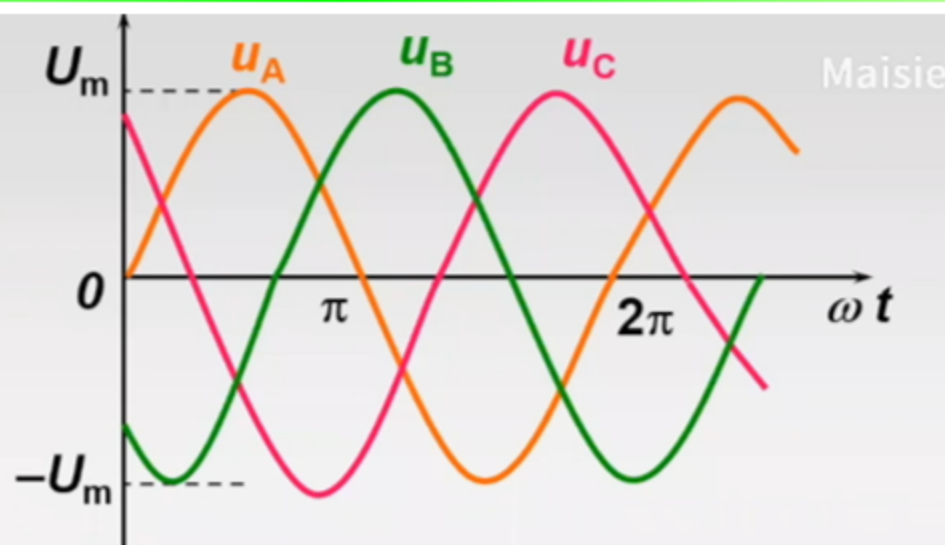
$$\dot{U}_A = U \angle 0^\circ$$

$$\dot{U}_B = U \angle -120^\circ$$

$$\dot{U}_C = U \angle -240^\circ = U \angle 120^\circ$$

(3) 特点

$$\begin{cases} u_A + u_B + u_C = 0 \\ \dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C = 0 \end{cases}$$



3. 课程基础知识——交流电

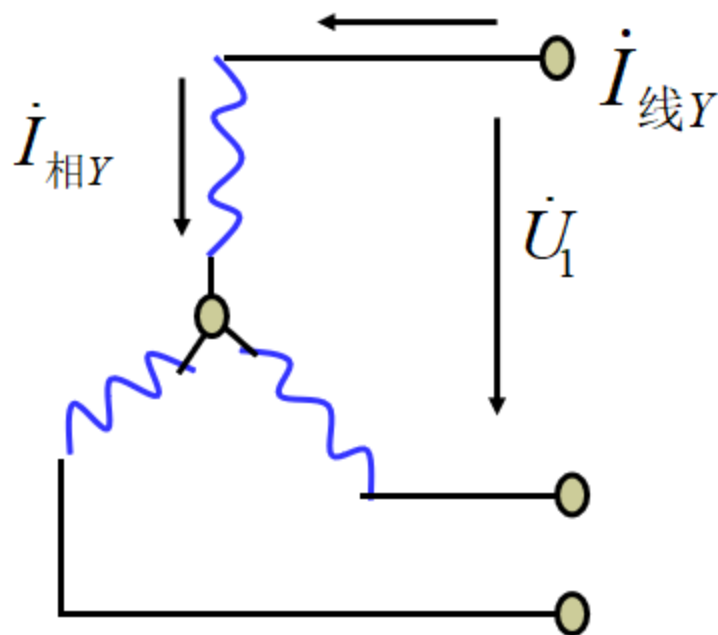
三相对称交流电，接入对称三相负载

星形 (Y) 接法:

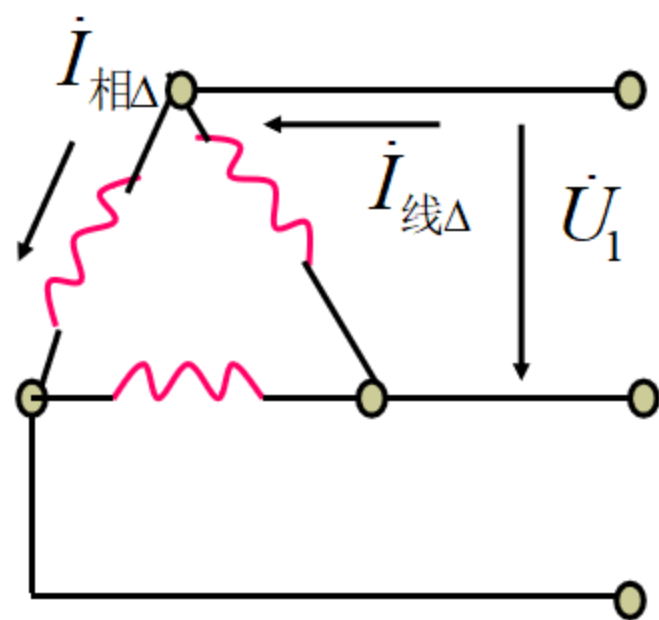
$$I_{\text{线}Y} = I_{\text{相}Y} \quad U_{\text{线}Y} = \sqrt{3}U_{\text{相}Y}$$

三角形接法:

$$I_{\text{线}\Delta} = \sqrt{3}I_{\text{相}\Delta} \quad U_{\text{线}\Delta} = U_{\text{相}\Delta}$$



星形 (Y) 接法



三角形接法

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。

