# 电机学学习方法

电机之所以让同学们感觉不好学，主要原因是结构比较复杂，涉及到的知识点较多，但归结起来，电机学是交流电路电压方程（U=IZ）、电磁感应定律（，简化形式为）和电磁力定律（，简化形式为）三个基本知识点的实际运用。所以，学好电机学的首先是要对三个基本知识点烂俗于心，并灵活运用。建议知识建构及学习方法为如图1所示。



图1电机学知识架构及学习方法

**1磁路**

**重点：磁路欧姆定律及计算，铁磁材料的特性。**

1. 磁路的概念是什么？**磁路的基本定律包括哪些？列出各自基本的数学表达式。**
2. 做表列出磁路和电路物理量的对比关系（包括相似的公式与定律）

例如：



3）铁磁材料的三个磁性能是？

4）电机变压器常用铁磁材料是？

5）何为铁耗，包含哪两种损耗？如何减小铁耗？

6）掌握直流磁路的计算。

**教材1.3磁路计算只要求掌握第一点直流磁路的计算。**

思考：1-1、2、3、4、6、7。（不上交）

作业：（上交）

习题：1-8

补充分析题1：请查阅电机和变压器用的硅钢片，列出几种型号，并解释其型号（牌号）的

含义。绘制其中一种材料的磁化和损耗曲线。指出电机和变压器工作磁通密度通常选择在那

个范围内？为什么？

**2.1变压器Ⅰ**

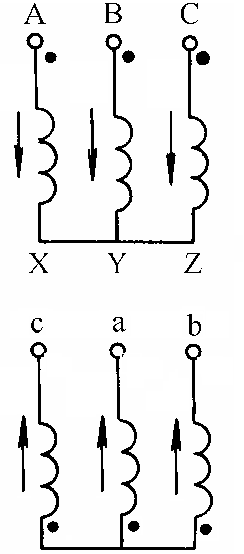
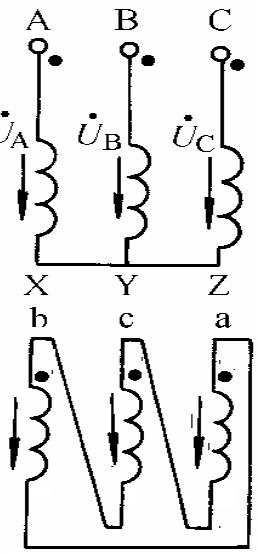
**重点：变压器的变压原理，变压器的数学模型，等效电路，变压器参数测试，三相变压器的联结组号，变压器的运行特性、变压器的并联运行的负载分配。**

1. 变压器定义是什么？
2. 分析变压器惯例原则是？
3. 列出变压器原理的三个变换公式：电压变换，电流变换，阻抗变换。
4. 简述变压器的基本结构
5. 理解场化路的思想，看懂变压器从空载运行到负载运行的物理过程，画出变压器T型等效电路，并说出每个物理量的含义？等效电路的折算包含了几个步骤？（书上图2-13具有指导性意义，一定看懂）
6. 等效电路参数分别由哪些实验测出。写出实验过程或步骤？

**2.2变压器Ⅱ**

7）三相组式变压器和三相心式变压器的特点和应用场合？

8）何为同名端？如何用时钟表示法判断变压器联结组别?判断下图的联结组别号？画出相量图。

Y,y10 Yd7

9）为什么三相变压器组不能接成Yy运行？为什么三相芯式变压器可以采用Yy联结，但容量不宜过大？为什么电力变压器通常采用Yd联结？

10）标么值概念是什么？一般如何选取基值？

11）什么是变压器外特性？不同负载的影响是什么？

12）什么时候变压器达到最大效率？

13）变压器理想并联运行的条件是什么**？并联运行后负载如何分配？**

14）自耦变压器的结构特点？电压电流互感器的使用注意事项是？

15）教材例题：2-1/4/6。

**教材2.10,2.11,2.13不要求掌握**

思考：2-1、2-2、3、10、12、13、14（不上交）

作业：（上交）

习题：2-17、19、20、26

补充分析题1：变压器在不同性质负载时的外特性差别较大，绘制感性、阻性和容性时变压器外特性曲线。试分析变压器负载运行时引起二次电压变化的原因是什么？当二次侧带什么性质负载时有可能使电压变化率为零？（2022年考题）

**3. 直流电机**

## 3.1 本章介绍

本章开始进入旋转电机的学习，学习要求是：了解直流电流的结构、掌握直流电机的绕组的构成方法和原则，会绘制绕组展开图，掌握直流电动机和发电机的电压方程、转矩方程，并会运用两大方程进行直流电动机和发电机的运行特性分析。本章重点是掌握直流电动机和直流发电机的内部磁场分布规律，电枢反应，直流电机的电压方程、转矩方程、直流电动机和发电机的运行特性、直流电动机的调速。本章的教学范围是3.1到3.8，3.9节换向不要求，也不用看。

## 3.2 知识点及要求

1. 直流电机的工作原理和基本结构

本节会涉及到直流电机的重要结构——换向器和电刷。需要掌握为什么在直流电机中要采用换向器和电枢和直流电机的励磁方式。其余部分了解。（通过学习教材和ppt总结直流电动机和直流发电机结构和原理的区别）

1. 直流电枢绕组

重点了解叠绕组的画法，本节换向器的放置为重点内容，需要掌握。

1. 空载及负载时的直流电机的磁场.

本节是直流电机的重点和难点，需要掌握。重中之重是空载及负载时的磁场分布、负载电枢反应对主磁场的影响（考虑饱和及不考虑饱和两种情况）。本节请同学们在看完视频后多研读教材。

1. 电枢的感应电动势和电磁转矩

本节是直流电机的重点部分，要掌握感应电动势和电磁转矩的表达式（重点是掌握最后的公式，计算经常用，推导过程理解即可）。

1. 直流电机的基本方程

本节是直流电机的重点部分，要结合感应电动势和电磁转矩的表达式，并结合不同的励磁方式掌握直流电机的电压平衡方程，电磁功率方程。（可参考ppt上面对电动机和发电机基本方程的对比进行理解记忆）

1. 直流发电机的运行特性

本节了解外特性、调整特性和效率特性的定义，掌握他励发电机和并励发电机的外特性，他励发电机的调整特性，并励发电机的起励条件。要求绘制他励发电机、并励发电机的外特性曲线，并对比。

1. 直流电动机的运行特性

本节要了解工作特性、机械特性的定义，电力拖动系统稳定运行的条件。要求绘制他励，并励和串励直流电机的工作特性曲线、机械特曲线并对比原因。

8）直流电动机的起动、制动和调速（ppt有部分补充内容，需要仔细自学）

本节要掌握直流电动机有哪些起动、制动和调速方法，掌握直流电动机的起动要求，思考为什么直流电动机起动电流大，起动转矩也大。本部分会常作简单题和分析题出现。也要求掌握类似书上例题3-1，3-2，3-3的计算。

思考：3-1，3，6，7（不上交）

作业：（上交）

习题：3-13，17

补充作业1：请总结直流电机电枢反应的性质是什么（有2点）

补充作业2：一台他励直流电动机，PN=22KW，IN=115A，UN=220V，nN=1500r/min电枢回路总电阻Ra=0.1Ω（包括电刷回路接触电阻），拖动恒转矩负载运行，要求把转速降到1000r/min，计算：1）采用电枢串电阻调速需串入的电阻值；2）采用降低电源电压调速，电源电压应为多大。（2022年考题）

补充作业3：有一台并励电动机，额定值：，电枢回路电阻（包括电刷接触电阻），励磁回路电阻，铁芯损耗，机械损耗。试求：（1）额定负载时的输出功率和效率;（2）额定负载时的输出转矩;（3）画出功率流程图。（2021年考题）

# 交流电机理论的共同问题

# （本章是电机学内容中骨灰级难点）

## 4.1 本章介绍

本章时是后续感应电机和同步电机两大机种的共同问题介绍，虽然两种电机在转子结构和工作原理上有所不同，但定子结构却是完全相同的。本章就是对定子绕组共同问题的介绍，也是交流电机为什么可以转动，而变压器不可以运动的回答。重要知识点是脉振磁动势和旋转磁场相关部分。4.5，4.8和4.9不在教学范围内，也不要求掌握。

## 4.2 知识点及要求

1. 交流绕组的构成原则和分类

本节要求了解交流绕组的构成原则。

1. 三相双层绕组

要求掌握三相双层绕组展开图的画法，槽电势星型图的画法，会对一个具体的三相电机进行双层绕组进行槽电势星型图和相带划分。涉及的概念有机械角度、电气角度以及两者之间的关系、叠绕组的并联支路数，相带的概念。

1. 三相单层绕组

本节仅要求了解三相单层绕组的了解方式。

1. 气隙磁场正弦分布时交流绕组的感应电动势

本节是本章的难点和重点内容。需要掌握电频率计算方法，节距因数、分布因数和绕组因数、相电动势的计算方法。提示：按照下列交流绕组构成顺序

导体--线圈--线圈组--一相绕组--三相绕组

搞清每一部分的感应电动势，研究规律。

1. 通有正弦电流时单相绕组的磁动势

本节为重点内容。需要掌握单相绕组磁动势的画法以及磁动势的表达式以及空间分布波形，波形的时间变化，其中涉及到时间和空间的概念，请同学们多思考。

1. 通有对称三相电流时三相绕组的磁动势

本节为重点内容。需要掌握三相合成磁动势的推导方法以及合成磁动势的表达式以及空间分布波形，基波波形的时间变化，合成磁动势的性质（取决于大小，方向，转速，位置）（并搞清磁动势与电流大小、相序、频率的关系），旋转磁动势与脉振磁动势的关系。

思考：4-3，5，8，9，16，17，18，22，27（不上交）

作业：（上交）

习题：4-11

补充分析题1：三相异步电动机起动前断线，若绕组有D、Y和YN三种接法，试分析：

1）若一根电源断线，哪些接法不能起动， 哪些接法能起动？

2）若一相绕组断线，哪些接法不能起动， 哪些接法能起动？

# 感应电机

## 5.1 本章介绍

本章开始进入交流电机的世界。作为交流电机的重要类型，感应电机广泛应用于社会生活的方方面面，通常作为电动机运行，在少数场合如风里发电机中也作为发电机。本章介绍感应电机的结构、运行原理、数学模型、等效电路以及工作特性。本章重要知识点是感应电动机的定转子磁场速度的理解，等效电路、电磁转矩方程，转矩-转差率曲线等，涉及到的重点小节是5.2、5.3、5.4、5.7、5.10。5.11和5.13不在教学范围内，可以不看。

感应电机与变压器有很多类似之处（包括等效电路和电磁耦合关系）请同学们思考为什么感应电机可以转动，而变压器却不能运动（提示：结合第四章中脉振磁场和旋转磁场进行分析）。

## 5.2 知识点及要求

1. 三相感应电机的结构和运行状态

本节要求熟悉三相感应电机的基本结构，尤其是对转子笼型绕组有清晰概念。掌握三相感应电机运行状态的判定方法，会计算转差率，会根据给定转速判断电机极数。

1. 三相感应电动机的磁动势和磁场

理解三相感应电机空载和负载时的磁场、掌握定转子磁动势的相对运动关系。掌握空载时定子的电压方程。理解主磁通、激磁阻抗、定子漏磁通和漏抗，转子漏磁通和漏抗、理解转子反应、负载时的磁动势平衡方程。

1. 三相感应电动机的电压方程和等效电路

理解定子和转子绕组电流—磁通——感应电动势之间的形成关系，进一步理解感应电动机定转子之间的耦合关系；理解等效电路形成过程中的绕组归算和频率归算（重中之重），掌握归算的物理意义并与等效电路进行联合理解。理解等效电路的形成过程、掌握T型等效电路和近似等效电路。

1. 感应电动机的功率方程和转矩方程

掌握功率方程、电磁功率、电磁转矩的数学表达式，掌握电磁功率、转子铜耗、总机械功率之间的关系掌握等效电路中相应电阻元件所对应的功率，掌握感应电动机的功率流图。结合等效电路，掌握给定参数下感应电机相关性能的计算方法，如例题5-3所示。

1. 笼型转子的极数、相数和参数的归算

本节内容不是重点，不要求参数归算，了解章节中黑色加点文字，和公式5-50即可。

1. 感应电动机参数的测定

本节内容不是重点，了解测试过程，并思考与变压器参数测试的区别和联系。

1. 感应电动机的转矩—转差率曲线

本节是重点。要求掌握感应电动机的电磁转矩表达式，会绘制转矩—转差率曲线。掌握最大转矩以及达到最大转矩时的转差率表达式，会分析电机参数对转矩和转差率的影响。理解转矩—转速特性中的稳定区和不稳定区。

1. 感应电动机的工作特性

本节内容不是重点。掌握相关特性的定义，理解曲线形状即可。

1. 感应电动机的起动、深槽和双笼电动机

本节内容需要掌握感应电动机的起动方法以及对电流和转矩的影响。会分析感应电动机的起动转矩、电流问题（为什么起动电流大而起动转矩小），并与直流电机进行对比。深槽和双笼电动机要有所了解。

1. 感应电动机的调速

本节是重点，要求掌握感应电动机的三种调速方法以及每种调速方法的指标对比，重点是变频调速。

11.单相感应电机

了解单相感应电机的结构，了解单绕组的异步电动机为何没有起动转矩，如何解决起动转矩，以及单相感应电机的起动方法。12.感应电机的制动

12.了解三相异步电动机的制动方法。

思考：5-1，3，4，5，6，7，9，17，20，23，29，31，32（不上交），

作业：（上交）

习题：5-14，15，30

补充分析题1：绕线异步电动机转子串适当电阻调速，随着电阻增大，下列参数如何变化，并分析原因。①转速n ②P2，P1 ③、 ④cos ⑤ ⑥η

补充作业1：一台三相异步电动机的输入功率，定子铜耗，铁耗，转差率，求：（1）电磁功率;（2）转子铜耗;（3）总机械功率。（21年的考试题）

解：(1)电磁功率 image087（4分）

（2）转子铜耗  image088（3分）

（3）总机械功率 image089（3分）

补充作业2：一台三相六极绕线式异步电动机，，，，，，△接。试求：（1）同步转速，，，（2）若此电动机过载能力=2，带80%额定负载运行，电网电压下降到230V，计算在此负载下电动机能否继续运行？（22年的考试题）

# 同步电机

**重点：同步发电机基本结构，对称负载时的电枢反应，同步电抗，隐极机和凸极机等效电路，同步发电机的并联运行（并网条件，准同期法，自同期法），同步发电机的有功功率功角特性及有功调节，静态稳定，同步发电机的无功功率功角特性及U形曲线，调相机（1.目的：补偿无功功率的不足；2.调相运行实质：运行于同步电动机（空载）状态；3.同步调相机（同步补偿机）定义：是一种专门设计的无功功率发电机，更确切地说是一种不带机械负载（即空载运行）的同步电动机。）**

几个概念

①内功率因数角Ψ：空载电动势E0和电枢电流Ia之间的夹角，与电机本身参数和负载性质有关；

②外功率因数角φ：与负载性质有关；

③功率角（功角）δ：E0和U之间的夹角；且有Ψ=φ+δ（电感性负载）

④直轴（d轴）：主磁极轴线（纵轴）；

⑤交轴（q轴）：转子相临磁极轴线间的中心线为交轴（横轴）

思考：6-1，2，4，13，17（不上交）

作业：（上交）

习题：6-8，27

补充分析题1：一台并联在无穷大电网上运行的汽轮发电机，输出电流为额定电流，功率因数为cos=0.5(>0)。若保持输出额定电流不变，并使功率因数增加到cos=0.8 (>0)，试问有功功率与励磁电流如何变化？

补充分析题2：同步发电机并网运行时，如果发电机电压Ug大于电网电压Us，其他条件都符合，那么合闸后发电机输出滞后无功电流还是超前无功电流，为什么？

补充作业1：三相隐极发电机，滞后，，Y接法，同步电抗，不计定子电阻。试求当发电机输出额定负载时，发电机的额定电流，电磁功率、功角及静态过载能力。（20年的考试题）

补充作业2：正常运行时并联运行在无穷大电网的隐极同步发电机的相量图如图2所示。请绘出分析有功功率从零逐渐增大过程中发电机的相量图，并分析无功功率性质的变化规律。（忽略电阻）（20年的考试题）

图2