

教 案

2025-2026 学年第一学期

课程名称 电工基础

专业班级 数字化设计与制造 251

总学时数 64 学时

任课教师 林 博

课程基本信息

课程名称	电工基础			
课程性质	专业基础课	学分	4	
学时	总学时：64 学时。其中：课堂讲授 48 学时；实训/实验 16 学时；线上教学 0 学时			
开课部门	机电工程系	任课教师	林博	
授课专业、班级	数字化设计与制造技术 251 班	开课学期	2025-2026 第一学期	
成绩评定	平时成绩占 <u>40</u> %；期末成绩占 <u>60</u> %	考核方式	考试	
选用教材	书 名	主 编	出版社	出版日期
	电工基础与技能训练	吕黎	电子工业出版社	2021. 11
本课程在本专业人才培养方案中的地位和作用	本课程是高等职业学校机电类专业的专业基础课程。课程的任务是学生获得电工技术基础方面必要的基本理论、基本知识和基本技术，为学习后续课程以及从事工程技术打下一定基础。			
本课程教学目标	通过本课程的学习使学生了解电路基本定律，掌握电路的基本分析方法和计算方法，学会使用常用的电子仪器，具有安装电路的能力。了解常用电机、电器设备的工作原理、特性，掌握其使用方法，掌握继电器接触器控制电路的基本控制功能。通过实验提高学生的实践能力，加深对理论的理解。			
素质（思政）内容与要求	在《电工基础》课程中融入课程思政内容，旨在培养学生的职业道德、社会责任感、创新精神以及团结协作的能力，同时加深对专业知识的理解与应用。			
学生用主要参考资料	《电工基础与技能训练》			

第一章 电路的基本概念与基本定律（4学时）

学习目标：

- 1、懂得电路的基本概念及电路模型；
- 2、学会电路中各种物理量的概念，充分理解电流、电压、电动势的参考方向及关联方向的概念；
- 3、学会电功率的定义及功率的计算。

1.1 电路和电路模型

教学目标：懂得电路的基本概念及电路模型。

教学重点难点：电路的基本概念及电路模型

素质思政内容与要求：**思政点：**强调理论与实践相结合的重要性，引导学生认识到电路模型是对实际问题的抽象和简化，培养学生面对复杂问题时抽象思维和解决问题的能力。同时，通过介绍电路模型的历史发展，激发学生的爱国情怀和科技创新意识。

教学方法：讲授法

课时数：2学时

教学内容设计：

- 1、（1）电路的概念：电路是由电路器件和电路元件按一定要求相互连接而成，它提供了电流流通的路径。
（2）电路的基本组成：电路必定由电源、负载和中间环节三大部分组成。
<1>电源：把其他形式的能转换成电能的装置，向电路提供能量的设备，如干电池、蓄电池、发电机等。
<2>负载：把电能转换为其它能的装置，即用电器即各种用电设备，如电灯、电动机、电热器等。
<3>中间环节：是把电源与负载连接起来的部分，具有输送、分配、控制电路通断的功能。
如：开关，熔断器，继电器等。
（3）电路的作用（主要功能）：
<1>实现电能与其他形式能量的转换、传输和分配
<2>实现信号的传递和处理

2、实际电路与电路模型：

(1)实际电路元件

构成电路的设备和器件，称为实际电路元件，其中提供电能的设备称为电源，如各种电池、发电机、信号发生器等；吸收电能的设备称为负载，如各种电阻器、电感线圈、电容器、晶体管等。

人们设计制作某种器件是要利用它的主要物理性质，如制造一个电阻器是要利用它的电阻，即对电流呈现阻力的性质。但事实上，不可能制造出理想的器件。一个实际的电阻器有电流流过时，还会产生磁场，因而还兼有电感的性质，因此，必须在一定条件下对实际器件进行理想化，忽略它的次要性质，用一个足以表征其主要性质的模型来表示。

(2)理想电路元件

只显示单一电磁现象的电路元件，称为理想电路元件。包括：

- ① 理想电源元件，包括独立电压源与电流源。
- ② 理想负载元件，包括电阻器、电容器以及电感器。
- ③ 理想耦合元件，包括耦合电感器、理想变压器等。

(3)电路模型

用理想电路元件构成的模型模拟实际电路，使得模型中出现的电磁现象与实际电路中反映出来的现象十分近似的过程称为建模，组成的电路称为电路模型，

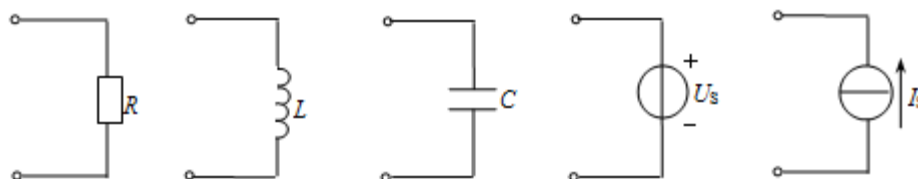


图1 无源与有源的理想电路元件的电路模型

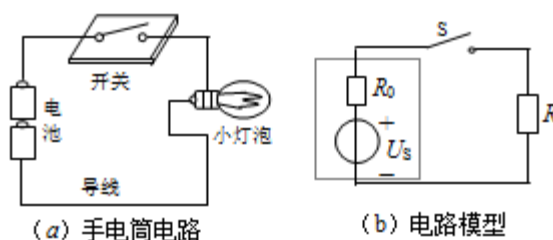


图2 手电筒电路及其电路模型

1.2 电路的基本物理量

学习目标：

- 1、学会电路中各种物理量的概念，充分理解电流，电压，电动势的参考方向与关联参考方向的概念。
- 2、学会电功率的定义及功率计算

教学重点与难点：

- 1、电路各物理量：电流、电压、电动势、电功率
- 2、参考方向与关联参考方向

素质思政内容与要求：结合电流、电压、电阻等基本物理量的学习，强调量纲意识和严谨的科学态度。通过实例讲解，如家庭用电安全，培养学生的安全意识和社会责任感。

教学方法：讲授法

课时数：2 学时

学习内容设计：

电流

1. 电流:单位时间内通过导体横截面的电量。

在稳恒直流电路中，电流的大小和方向不随时间变化；

$$I = \frac{Q}{t}$$

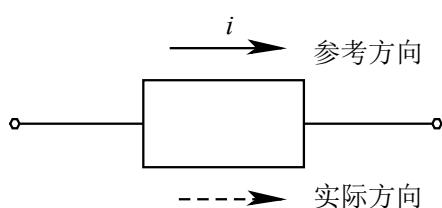
在交流电路中，电流的大小和电荷移动的方向按正弦规律变化。

$$I = \Delta q / \Delta t$$

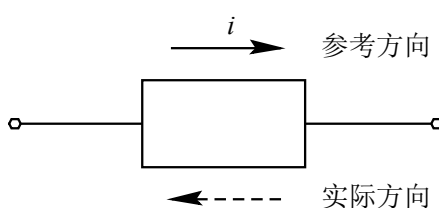
2. 电流单位：安培 (A)， $1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A}$ ， $1\text{kA} = 10^3\text{A}$

3. 电流方向：规定正电荷运动的方向为电流的实际方向。

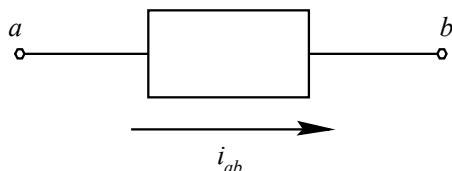
4. 电流的参考方向：人为任意假设的电流的实际方向。在连接导线上用箭头表示，或用双下标表示。当电流的实际方向与参考方向相符时，此电流为正值；相反时，为负值。



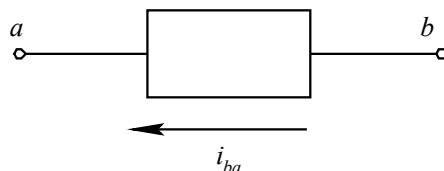
(a)



(b)



(c)



(d)

电压、电位：

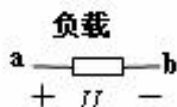
1. 定义：电场力把单位正电荷从电场中 a 点移到 b 点所做的功，称其为 a 点到 b 点间的电压。用 U_{ab} 表示。

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q}$$

2. 电压单位：伏特 (V)， $1\text{V} = 10^3\text{mV} = 10^6\mu\text{V}$ ， $1\text{kV} = 10^3\text{V}$

3. 电压方向：规定把电位降低的方向作为电压的实际方向。

4. 电压的参考方向：人为任意假设的电压的实际方向。



电动势

1. 电源力：在电源内部，由于其他形式能量的作用产生一种对电荷的作用力。
2. 电动势：电源力把单位正电荷从电源的负极移到正极所做的功，用 E 表示。电动势与电压有相同的单位。

$$E = \frac{W}{Q}$$

3. 电动势的方向：由电源的负极指向正极。
4. 电动势与电压的关系：

按照定义，电动势 E 及其端纽间的电压 U 的参考方向选择的相同，则 $E=-U$ ；如选择的相反，则 $E=U$ 。

关联参考方向：

元件上电流和电压的参考方向取为一致。若不一致则称为非关联参考方向



电功率和电能：

- 1、吸收功率： u, i 方向关联时元件吸收的功率；即电场力做功耗能，其能量被元件吸收，因此元件吸收的功率为

$$p_{\text{吸}} = ui$$

- 2、功率 p 的单位：W（瓦），mW，kW
- 3、电能：实际工程计算中，电能的单位常用千瓦·小时（KW·h）来表示，1 千瓦·小时俗称 1 度电。

1.3 电路的基本定律

教学目标：

- 1、学会欧姆定律、基尔霍夫定律的内容及应用。
- 2、了解电路的各种工作状态

教学重点与难点：

- 1、欧姆定律、基尔霍夫定律
- 2、电路的三种工作状态

素质思政内容与要求：在学习欧姆定律、基尔霍夫定律等基本定律时，强调规律性的认识和尊重科学的精神。通过定律的推导过程，培养学生的逻辑思维能力和探究精神。

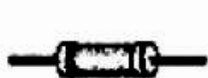
教学方法：讲授法

教学内容设计：

一、电阻

在电路中，电阻主要有分压、分流、负载（能量转换）等作用，用于稳定、调节、控制电路中电压或电流的大小。

常用电阻的外形结构及电路符号如图所示。



金属膜电阻



碳膜电阻



线绕电阻



热敏电阻

定义：导体对电流运动呈现的阻碍作用叫做电阻，用字母“R”表示。

电阻 R 的基本单位：欧姆（ Ω ）。

常用单位：千欧（ $K\Omega$ ）、兆欧（ $M\Omega$ ）、吉欧（ $G\Omega$ ）等。

$$1\Omega = 10^{-3}K\Omega = 10^{-6}M\Omega = 10^{-9}G\Omega$$

二、欧姆定律

1、欧姆定律（不含电源）

（1）内容：流过导体的电流与这段导体两端电压成正比，与导体的电阻成反比

$$U = IR \quad (\text{关联参考方向})$$

$$U = -IR \quad (\text{非关联参考方向})$$

（2）线性电阻：当通过电阻的电流或加在电阻两端的电压发生变化时，电阻的阻值恒定不变（R 为常数），则称该电阻为线性电阻。

2、全电路欧姆定律（含电源电路）

全电路是指包含有电源内电路和电源以外的外电路的闭合电路。

全电路中的电流与电源电压、电阻之间满足以下全电路欧姆定律关系：

$$I = \frac{E}{R_0 + R_L}$$

其中、E \ Us 表示电源电动势，R0 表示电源内阻，RL 表示负载

3、电路的三种工作状态

开路工作状态、短路工作状态、有载工作状态

三、基尔霍夫定律

基尔霍夫定律包括基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律。

基尔霍夫定律描述了电路中各部分电流之间的关系及各部分电压之间的关系，适用于各种线性及非线性电路的分析运算。

**** 电路名词解释 ****

(1) 支路。由一个或一个以上元件组成的无分支电路叫做支路。

(2) 节点。三条或三条以上支路的联接点叫做节点，又称结点。

(3) 回路。电路中任一闭合路径叫做回路。

(4) 网孔。不能再分割的基本回路叫做网孔。

注意：网孔一定是回路，但回路不一定是网孔；同一电路中，回路通常多于网孔。

1、基尔霍夫电流定律（第一定律 KCL）

在任一时刻，流入任一节点的所有电流代数和恒等于零，即

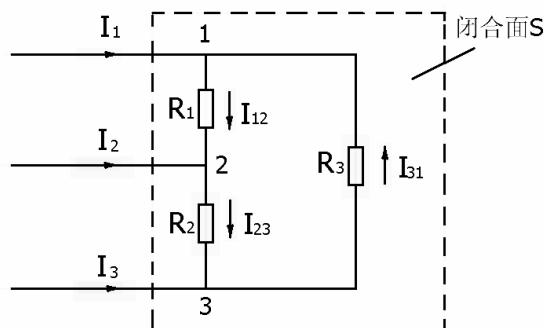
$$\sum I = 0$$

或：在任一时刻，流入任一节点的电流等于流出该节点的电流。

$$\sum I_i = \sum I_o$$

列写基尔霍夫电流方程时，首先要标出各电流的参考方向。

KCL 的推广：在任一时刻，流入任一闭合面的所有电流代数和恒等于零；或者，在任一时刻，流入任一闭合面的电流等于流出该闭合面的电流。



2、基尔霍夫电压定律（第二定律 KVL）

在电路中，沿任一回路的各电压代数和恒等于零。

$$\sum U = 0$$

列写基尔霍夫电压方程的步骤：

① 标出电压参考方向。

② 选择回路绕行方向。若电压参考方向与绕行方向相同，则该电压前取正号；若电压参考方向与绕行方向相反，该电压前取负号。

③ 根据 $\sum U = 0$ 列写基尔霍夫电压方程。

基尔霍夫电压定律的另一种形式是：任一回路中，所有电阻上电压的代数和，等于该回路中所有电动势的代数和。即

$$\sum IR = \sum U_s$$

四、简单电路分析 讲解例题

实训一 基尔霍夫定律的验证

一、实训目的

- 1、验证基尔霍夫定律的正确性，加深对基尔霍夫定律的理解。
- 2、进一步学会使用电压表、电流表。

思政点：通过实验操作，强调实践是检验真理的唯一标准，培养学生的动手能力和实验设计能力。同时，强调团队合作的重要性，培养团队协作精神。

二、实训原理

1、基尔霍夫电流定律（第一定律 KCL）

在任一时刻，流入任一节点的所有电流代数和恒等于零，即

$$\sum I = 0$$

或：在任一时刻，流入任一节点的电流等于流出该节点的电流。

$$\sum I_i = \sum I_o$$

2、基尔霍夫电压定律（第二定律 KVL）

在电路中，沿任一回路的各电压代数和恒等于零。

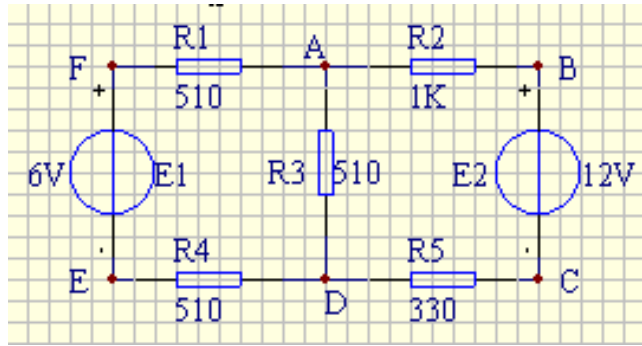
$$\sum U = 0$$

三、实验设备

序号	名称	型号与规格	数量	备注
1	可调直流稳压电源	0~30V	1	
2	直流数字电压表		1	
3	直流数字毫安表		1	
4	电阻	510Ω 330Ω 1000Ω		

四、实验内容

- 1、实验前任意设定三条支路的电流参考方向，
- 2、按原理的要求，分别将两路直流稳压电源接入电路。
- 3、将电流插头的两端接至直流数字毫安表的“+，-”两端。
- 4、将电流插头分别插入三条支路的三个电流插座中，记录电流值于下表。
- 5、用直流数字电压表分别测量两路电源及电元件上的电压值，记录于下表。



被测量	I1 (mA)	I2 (mA)	I3 (mA)	E1 (V)	E2 (V)	UFA (V)	UAB (V)	UAD (V)	UCD (V)	UDE (V)
计算值										
测量值										
相对误差										

五、数据处理与分析

- 1、根据实验数据，验证基尔霍夫定律的正确性
- 2、分析误差所在原因

六、实验结论

实训二 叠加定理的验证

一、实训目的

- 1、验证线性电路叠加原理的正确性，加深对线性电路的叠加性的认识和理解。
- 2、通过实验加深对电位、电压与参考点之间关系的理解。
- 3、通过实验加深对电路参考方向的掌握和运用能力。

思政点：通过验证叠加定理，引导学生理解复杂问题可以分解为简单问题的组合，培养学生的分解思维和解决问题的能力。同时，强调诚实守信的实验态度，培养科学诚信。

二、实训原理

叠加定理：以对于线性电路，任何一条支路的电流，都可以看成是由电路中各个电源（电压源或电流源）分别作用时，在此支路中所产生的电流的代数和。

线性电路的齐次性：是指当激励信号（某独立源的值）增加或减少 K 倍时，电路的响应（即在电路其它各电阻元件上所建立的电流和电压值）也将增加或减少 K 倍。

三、实训仪器

- 5、将 U_2 的数值调至+12V，重复上述第 3 步的测量，并记录数据；
- 6、将 R_5 (330Ω) 换成二极管 IN4007，重复步骤 1-5 的测量过程，将数据计入表 2 中；
- 7、任意按下某个故障设置按钮，重复试验步骤 4 的测量和记录，再根据测量结果判断出故障的性质。

实验前：

根据叠加定理、计算电压源 U_1, U_2 单独作用、以及 U_1, U_2 共同作用，各支路电流电压，并记录到表 3 中。

五、注意事项

- 1、所有需要测量的电压值，均以电压表测量的读数为准，不以电源表盘指示值为准。
- 2、防止电源两端碰线短路。
- 3、若用指针式电流表进行测量时。要识别电流插头所接电流表的“+、-”极性。倘若不接极性，则电表指针可能反偏（电流为负值时），此时必须调换电流表极性，重新测量，此时指针正偏，但读得的电流值必须冠以负号。

六、数据处理与分析

- 1、表 1：叠加定理、齐次性的验证
- 2、表 2：分析非线性情况，叠加定理能否使用
- 3、表 3：误差分析
- 4、故障分析

七、实验总结

实训三 直流电压源、电流源的等效

一、实训目的

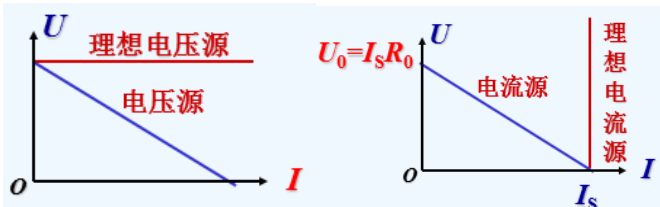
- 1) 掌握电源外特性的测试方法；
- 2) 验证电压源与电流源等效变换的条件。

思政点：通过等效变换的学习，引导学生认识到事物之间的等价性和互换性，培养学生的创新思维和灵活性。同时，强调资源的有效利用和节能意识。

二、实训原理

1. 一个直流稳压电源在一定的电流范围内，具有很小的内阻。故在实用中，常将它视为一个理想的电压源，即其输出电压不随负载电流而变。其外特性曲线，即其伏安特性曲线 $U=f(I)$ 是一条平行于 I 轴的直线。一个实用中的恒流源在一定的电压范围内，可视为一个理想的电流源。

2. 一个实际的电压源（或电流源），其端电压（或输出电流）不可能不随负载而变，因它具有一定的内阻值。故在实验中，用一个小阻值的电阻（或大电阻）与稳压源（或恒流源）相串联（或并联）来模拟一个实际的电压源（或电流源）。



3. 一个实际的电源，就其外部特性而言，既可以看成是一个电压源，又可以看成是一个电流源。若视为电压源，则可用一个理想的电压源 U_s 与一个电阻 R_o 相串联的组合来表示；若视为

电流源，则可用一个理想电流源 I_s 与一电导 g_0 相并联的组合来表示。如果这两种电源能向同样大小的负载供出同样大小的电流和端电压，则称这两个电源是等效的，即具有相同的外特性。

一个电压源与一个电流源等效变换的条件为：

$$I_s = U_s / R_0, \quad g_0 = 1/R_0 \quad \text{或} \quad U_s = I_s R_0, \quad R_0 = 1/g_0 \quad \text{。如图 1 所示}$$

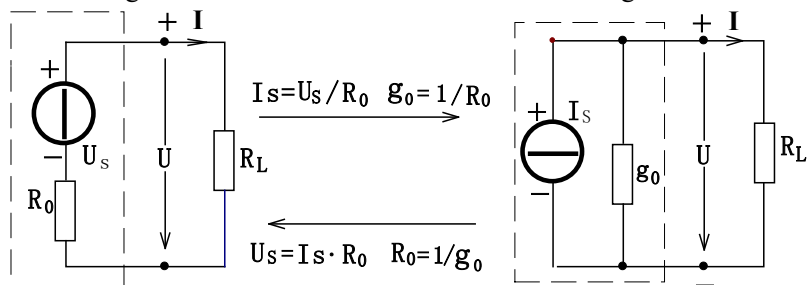


图 1 电压源、电流源等效变换图

三、实验设备

序号	名称	型号与规格	数量
1	可调直流稳压电源	0~30V	1
2	可调直流恒流源	0~200mA	1
3	直流数字电压表	0~500V	1
4	直流数字毫安表	0~2000mA	1
5	万用表		1
6	电阻	120 Ω	1
7		510 Ω	1
8		200 Ω	1
9		1k Ω	1
10	可调电阻	470 Ω	1
11	实验线路		1

四、实验内容

1. 测定直流稳压电源与实际电压源的外特性

(1)按图 4-2 接线。 U_s 为 +6V 直流稳压电源（将 R_0 短接）。调节 R_2 ，令其阻值由大至小变化，记录两表的读数于表 1 中

表 1 实验数据记录

R_2 (Ω)	1000						0
U (V)							
I (mA)	10						60

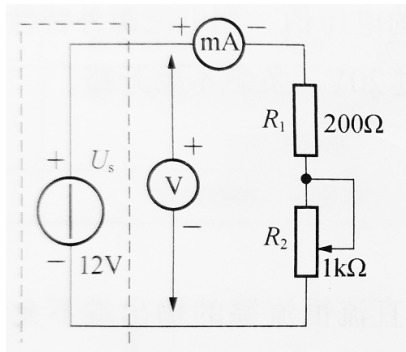


图 2

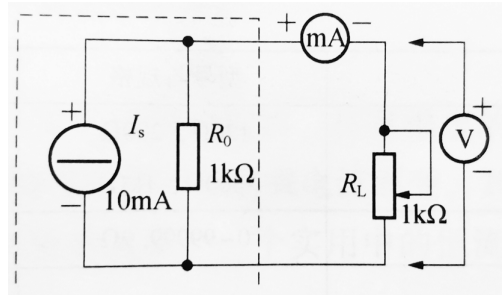


图 3

第二章 直流电路的分析方法（24 学时）

学习目标：

- 1、熟悉电阻元件及它的特性
- 2、理解并掌握电压源和电流源特性及其等效变换
- 3、能熟练、正确列出电路的 KCL, KVL 方程
- 4、会使用电工仪表、特别是数字万量表的使用
- 5、会正确使用电工仪表来测量电路中的电压、电流、电阻等
- 6、能识别常用元器件

2.1 电阻串、并联及等效变换

教学目标：

掌握电阻元件串并联的等效变换

教学重点难点：

电阻串联、并联，及其等效变换

素质思政内容与要求：结合电阻的串并联特性，引导学生理解整体与部分的关系，培养学生的全局观念和系统思维。

教学方法：讲授法

学时数：3 学时

教学内容设计：

一、等效变换

对电路进行分析和计算时，有时可以把电路中某一部分简化，即用一个较为简单的电路替代原电路。

电路的一部分用另一部分替代后，电路其余部分的电压、电流、功率均不发生变化——端钮处外特性不变。（注意电压和电流大小、方向均不变。）

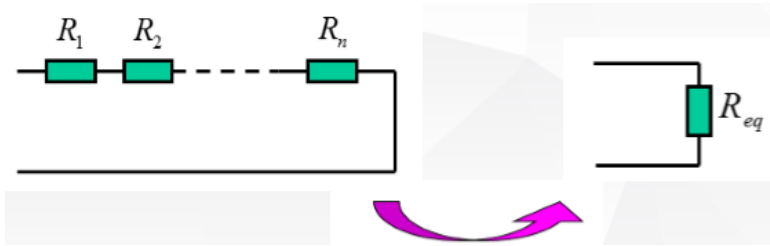
二、电阻串联

- 1、电阻串联时，通过各电阻的电流是同一个电流。

2、等效电阻：

$$R_{eq} = \frac{u}{i} = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$$

$$= \sum_{k=1}^n R_k$$



$$u_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} u \quad , \quad u_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} u$$

3、分压公式：

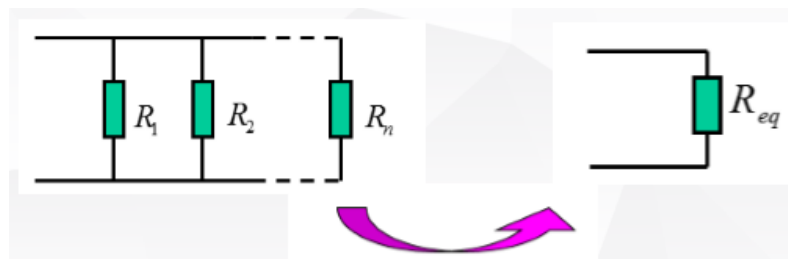
4、电阻串联的作用：分压、限流

三、电阻并联

1、特点：电阻并联时，各电阻上的电压是同一个电压。

2、等效电阻：

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}$$

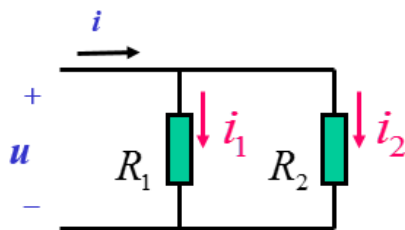


3、分流公式：

$$i_k = \frac{G_k}{\sum_{k=1}^n G_k} i$$

两个电阻并联的分流公式：

$$i_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} i \quad , \quad i_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} i$$



4、电阻并联应用：分流或调解电流

2.2 电压源与电流源的等效变换

教学目标：

掌握电压源与电流源的等效变换

教学重点难点：

电压源与电流源的特性、及其等效变换

素质思政内容与要求：通过等效变换的学习，强调灵活性和变通性，培养学生的创新思维和解决问题的能力。

教学方法：讲授法

学时数：3 学时

教学内容设计：

一、理想电压源、电压源模型

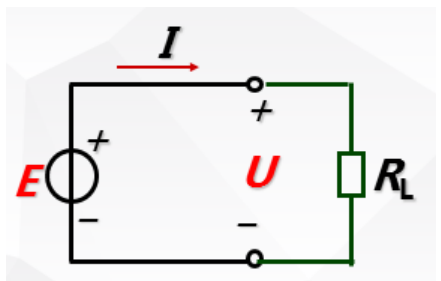
1、理想电压源（恒压源）

概念：无论负载如何变化、在其两端总能保持一定的电压

特点：（1） 输出电压是一定值，恒等于电动势。

（2） 恒压源中的电流由外电路决定

（3） 当电压源的电压值等于 0 时，电压源相当于短路



外特性曲线

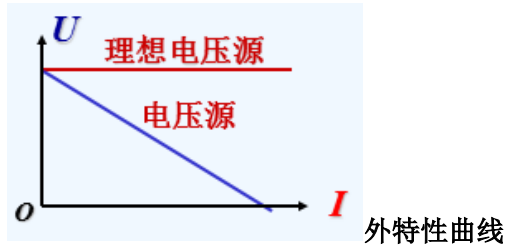
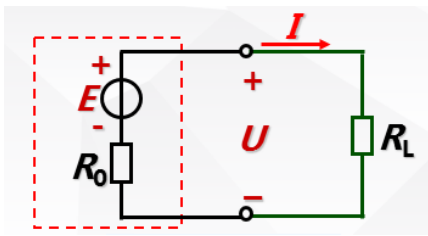
2、电压源模型

概念：电压源是由电动势 E 和内阻 R_0 串联的电源的电路模型。

特点：（1）恒压源中的电流由外电路决定

$$I = \frac{E}{R_0 + R_L}$$

（2）输出电压 $U = E - IR_0$

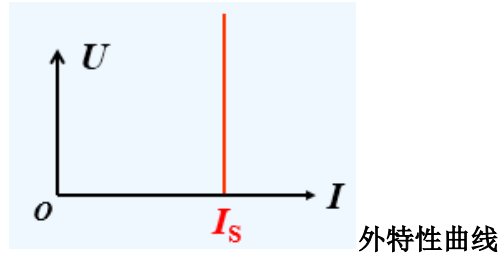
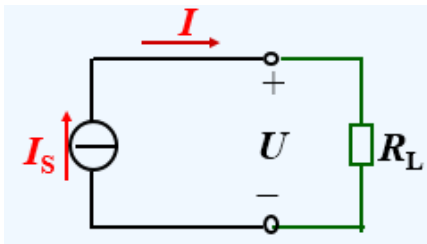


二、理想电流源、电流源模型

1、理想电流源（恒流源）

概念：无论负载如何变化、总能向外提供一定的电流

- 特点：
- (1) 输出电流是一定值，恒等于电流 I_S
 - (2) 恒流源两端的电压 U 由外电路决定。
 - (3) 当电流源的电流值等于 0 时，电流源相当于开路



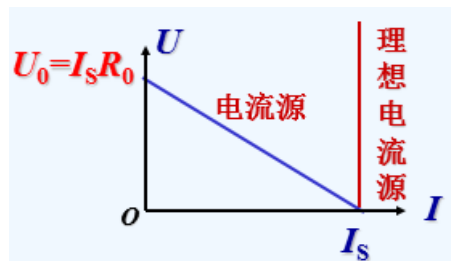
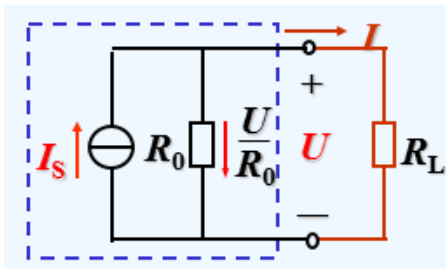
2、实际电流源模型

概念：电流源是由电流 I_S 和内阻 R_0 并联的电源的电路模型。

特点：（1）恒流源中的电压由外电路决定

$$I = I_S - \frac{U}{R_0}$$

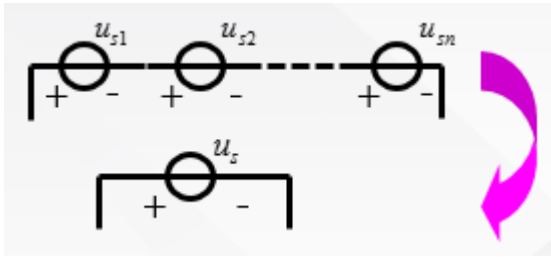
（2）输出电流：



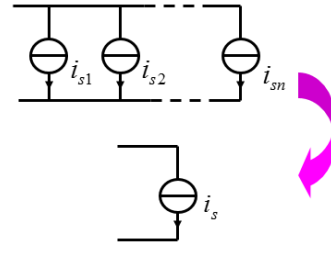
三、电源的串并联

电压源串联：
$$u_s = u_{s1} + u_{s2} + \dots + u_{sn} = \sum_{k=1}^n u_{sk}$$

电流源并联：
$$i_s = i_{s1} + i_{s2} + \dots + i_{sn} = \sum_{k=1}^n i_{sk}$$



电压源串联



电流源并联

四、电压源、电流源的等效变换

等效变换条件： $E = I_s R_0$ 、 $I_s = \frac{E}{R_0}$



注意：1、等效变换时，两电源的参考方向要一一对应。

2、电压源和电流源的等效关系只对外电路而言，对电源内部则是不等效的

3、理想电压源与理想电流源之间无等效关系。

4、任何一个电动势 E 和某个电阻 R 串联的电路，都可化为一个电流为 I_s 和这个电阻并联的电路

2.4 叠加定理

教学目标：

掌握叠加定理分析电路的方法

教学重点难点：

叠加定理分析电路的原理与步骤

素质思政内容与要求：在学习这些定理时，强调科学方法的运用和逻辑推理的重要性，培养学生的科学素养和严谨态度。

教学方法：讲授法

学时数：3 学时

教学内容设计：

一、叠加定理

叠加定理：以对于线性电路，任何一条支路的电流，都可以看成是由电路中各个电源（电压源或电流源）分别作用时，在此支路中所产生的电流的代数和。

注意：

- 1、叠加定理只适用于线性电路（电路参数不随电压、电流的改变而改变）
- 2、不考虑电压源，把电压源短路；
不考虑电流源，把电流源开路；
- 3、解题要标明电流方向。可以与原电路所标方向不同，但最终求代数和时，要注意电流的方向。

2.5 戴维宁定理

教学目标：

- 1、了解二端网络的定义
- 2、掌握戴维宁定理分析电路的方法

教学重点难点：

戴维宁分析电路的原理与步骤

素质思政内容与要求：在学习这些定理时，强调科学方法的运用和逻辑推理的重要性，培养学生的科学素养和严谨态度。

学时数：3 学时

教学方法：讲授法

教学内容设计：

一、二端网络

二端网络：具有两个出线端的部分电路；

无源二端网络：二端网络中没有电源；

有源二端网络：二端网络中含有电源。

二、戴维宁定义

定义：任何一个有源二端线性网络都可以用一个电动势为 E 的理想电压源和内阻 R_0 串联的电源来等效代替。

① 等效电源的电动势 E 就是有源二端网络的开路电压 U_0 ，即将负载断开后 a 、 b 两端之间的电压。

② 等效电源的内阻 R_0 等于有源二端网络中所有电源均除去（理想电压源短路，理想电流源开路）后所得到的无源二端网络 a 、 b 两端之间的等效电阻。

解题步骤：

- 1、确定待求支路和有源二端网络部分；
- 2、断开支路，形成有源二端网络（画图），求有源二端网络的开路电压 U_{oc} ；（欧姆定律、基尔霍夫定律、叠加定理等各种方法求）
- 3、将有源二端网络的电源置 0，保留内阻（画图），求网络的等效电阻 R_{ab} ；（电流源开路，电压源短路）
- 4、画出有源二端网络等效后的电路图，电压 $U_s = U_{oc}$ ，电阻 $R_0 = R_{ab}$ ；
- 5、利用欧姆定律，求待求支路的电流

第三章 交流电路的分析方法（14 学时）

学习目标：

- 1、掌握正弦交流电路的三要素以及正弦函数的相量表示
- 2、掌握正弦交流电路的计算
- 3、掌握三相交流电路的计算
- 4、能提高电路的功率因素
- 5、能测量三相电路的电压与电流

3.1 正弦交流电

教学目标:

掌握正弦交流电路的三要素以及正弦函数的相量表示

教学重点难点:

正弦交流电路的三要素、正弦函数的相量表示

素质思政内容与要求: 结合正弦交流电的特性，引导学生理解周期性和规律性，培养学生的周期观念和节奏感。

教学方法: 讲授法

学时数: 3 学时

教学内容设计:

一、交流电路

直流电路：电压和电流的大小和方向是不随时间变化的。

交流电路：电压和电流的大小和方向随时间作周期性变化的

正弦交流电：电压和电流是按照正弦规律周期性变化的

二、正弦交流电的三要素

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi)$$

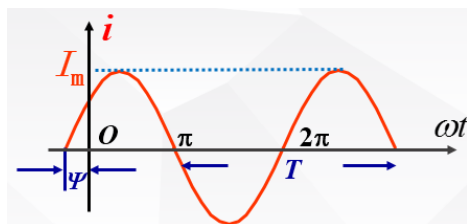
设正弦交流电流：

其中：初相角 ψ ：决定正弦量起始位置

角频率 ω ：决定正弦量变化快慢

幅值 I_m ：决定正弦量的大小

幅值、角频率、初相角称为正弦量的三要素。



三、其他常用物理量

周期 T ：变化一周所需的时间 (s)

频率 f : $f = \frac{1}{T}$ (Hz)

角频率: $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$ (rad/s)

* 电网频率 (工频): 我国 50 Hz, 美国、日本 60 Hz

幅值: I_m 、 U_m 、 E_m

有效值: 与交流热效应相等的直流定义为交流电的有效值。

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$$

相位: $\omega t + \psi$ 反映正弦量变化的进程。

初相位: 表示正弦量在 $t=0$ 时的相角。

相位差: 两同频率的正弦量之间的初相位之差。

注意: 1、两同频率的正弦量之间的相位差为常数, 与计时的选择起点无关。

2、不同频率的正弦量比较无意义。

四、正弦量的相量表示法

一个正弦量可以用旋转的有向线段表示:

有向线段的长度表示正弦量的幅值;

有向线段(初始位置)与横轴的夹角表示正弦量的初相位;有向线段旋转的角速度表示正弦量的角频率。

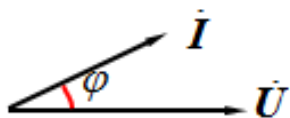
正弦量的瞬时值由旋转的有向线段在纵轴上的投影表示。

正弦量: $u = U_m \sin(\omega t + \psi)$

幅值向量表达式: $\dot{U}_m = U_m e^{j\psi} = U_m \angle \psi$

有效值向量表达式: $\dot{U} = U e^{j\psi} = U \angle \psi = U(\cos \psi + j \sin \psi)$

相量图: 把相量表示在复平面的图形, 只有同频率的正弦量才能画在同一相量图上。



3.2 交流电路的负载作用与特性

教学目标:

掌握交流电路的负载作用与特性

教学重点难点:

交流电路的负载作用与特性

教学方法：讲授法

学时数：3 学时

教学内容设计：

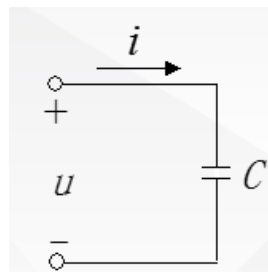
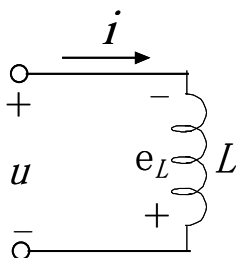
一、电感

对于一个电感线圈，习惯上规定感应电动势的参考方向与磁通的参考方向之间符合右手螺旋定则。

电感中出现的自感电动势表现在电感两端有电压降产生。设一电感元件电路电压、电流及电动势的参考方向如图所示。根据基尔霍夫电压定律：

$$u = -e_L = L \frac{di}{dt}$$

电感元件中存储的磁场能量为： $\frac{1}{2} Li^2$



二、电容

电容元件的电容 C 定义为电容上的电量与电压的比值：

$$C = \frac{q}{u}$$

电容元件的电压与电流的关系：

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt}$$

电容元件中存储的电场能量为： $\frac{1}{2} Cu^2$

三、电阻的负载作用与特性

$$\dot{I} = I \angle 0^\circ$$

$$\dot{U} = U \angle 0^\circ = \dot{I}R$$

(1) 瞬时功率 $p \geq 0$ (耗能元件), 且随时间变化。

(2) 平均功率(有功功率) P : $P = U \times I = I^2 R = \frac{U^2}{R}$

四、电感的负载作用与特性

$$\dot{U} = j\dot{I}\omega L = \dot{I} \cdot (jX_L)$$

- (1) 平均功率 $P=0$ (储能元件)
- (2) 无功功率 $Q>0$

五、电容的负载作用与特性

$$\dot{U} = -j\dot{I}\frac{1}{\omega C} = -j\dot{I}X_C$$

- (1) 平均功率 $P=0$ (储能元件)
- (2) 无功功率 $Q<0$

3.3 单相交流电路特性分析与应用

教学目标:

- 掌握单相交流串联与并联特性
- 掌握功率计算和功率因素提高的方法

教学重点难点:

- 单相交流电路分析、功率因素提高

素质思政内容与要求: 通过分析不同负载的特性, 强调因地制宜、因材施教的原则, 培养学生的适应性和灵活性。

教学方法: 讲授法

学时数: 3 学时

教学内容设计:

一、一般正弦交流电路的解题步骤

- 1、根据原电路图画出相量模型图(电路结构不变)

$$R \rightarrow R, \quad L \rightarrow jX_L, \quad C \rightarrow -jX_C$$

$$u \rightarrow \dot{U}, \quad i \rightarrow \dot{I}, \quad e \rightarrow \dot{E}$$

- 2、根据相量模型列出相量方程式或画相量图
(把电容电感都当成电阻, 用直流学习的方法列方程)

- 3、用相量法或相量图求解(用复数的计算求解)

- 4、将结果变换成要求的形式

讲解串联、并联电路的例题。

二、谐振

在同时含有 L 和 C 的交流电路中，如果总电压和总电流同相，称电路处于谐振状态。此时电路与电源之间不再有能量的交换，电路呈电阻性。

串联谐振：L 与 C 串联时 u、i 同相
并联谐振：L 与 C 并联时 u、i 同相

研究谐振的目的，就是一方面在生产上充分利用谐振的特点，(如在无线电工程、电子测量技术等许多电路中应用)。另一方面又要预防它所产生的危害。

三、功率计算

(1) 瞬时功率 p

(2) 平均功率 P (有功功率) $P = UI\cos\varphi$ 单位: W

(3) 无功功率 Q (有功功率) $Q = UI\sin\varphi$ 单位: var

(4) 视在功率 S $S = UI = |Z|I^2$ 单位: V·A

四、功率因素的提高

1.提高功率因数的意义

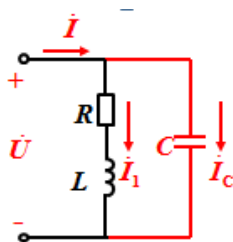
功率因数 $\cos\varphi$:对电源利用程度的衡量。

- (1) 所以提高功率因数可使发电设备的容量得以充分利用
- (2) 所以提高功率因数可减小线路和发电机绕组的损耗。

2、功率因数低的原因：日常生活中多为感性负载

3、提高功率因素的办法

- (1) 提高功率因数的原则：必须保证原负载的工作状态不变。即：加至负载上的电压和负载的有功功率不变。
- (2) 提高功率因数的措施:在感性负载两端并电容



3.4 三相交流电路特性分析与应用

教学目标:

- 掌握三相交流电源的星形连接和三角形连接的特点
- 掌握三相负载的星形连接和三角形连接的方式及其特点

掌握对称三相电路功率的计算

教学重点难点：

三相交流电源、负载的星形连接和三角形连接

素质思政内容与要求：结合实际应用，强调理论与实践的结合，培养学生的应用能力和社会责任感。

教学方法：讲授法

学时数：3 学时

教学内容设计：

一、三相交流电源

1、三相交流电源：

由频率相同、幅值相等、相位彼此互差 120° 电角度的三个单相交流电源按一定的联结方式组合而成。

优点：

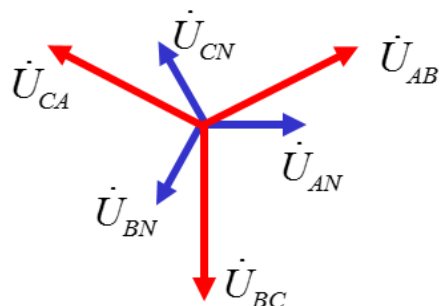
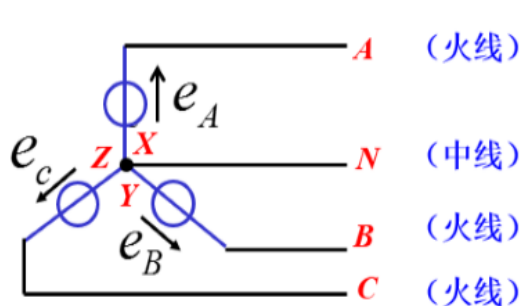
- (1) 发电方面：比单相电源可提高功率 50%；
- (2) 输电方面：比单相输电节省钢材 25%；
- (3) 配电方面：三相变压器比单相变压器经济且便于接入负载；
- (4) 运电设备：结构简单、成本低、运行可靠、维护方便。

2、星型连接的方式

相电压：火线对零线间的电压。

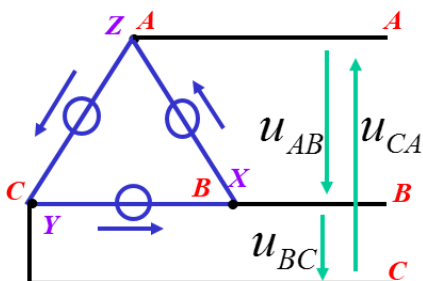
线电压：火线间的电压。

线电压与相电压的关系：
$$\dot{U}_{AB} = \sqrt{3}\dot{U}_{AN} \angle 30^\circ$$



3、三角形连接方式

线电压与相电压的关系：线电压=相电压

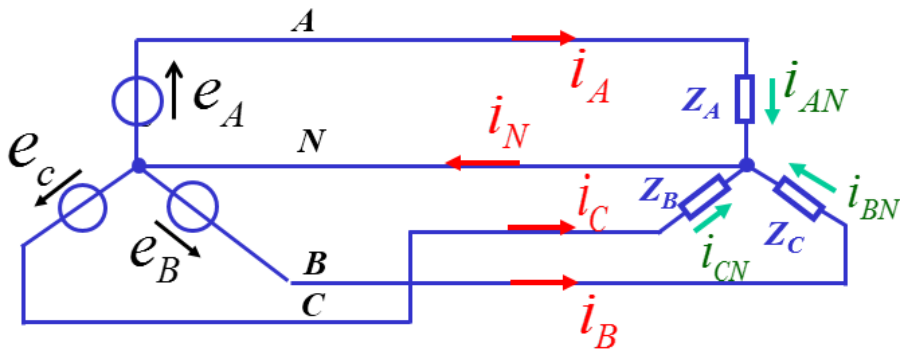


二、三相交流负载

1、星形连接方式

相电流=线电流

$$\text{线电压} = \text{相电压} \times \sqrt{3}$$



2 负载星形接法时的一般计算方法

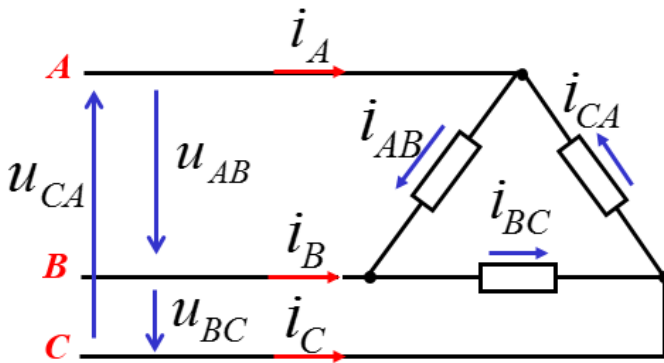
一般线电压为已知，然后根据电压和负载求电流。

1. 负载不对称时，各相单独计算。
2. 负载对称时，只需计算一相。

相完全对称时，零线可以取消。称为三相三线制。

3、三角形连接方式

负载相电压=线电压



三、三相电路的电功率

$$\text{三相总有功功率: } P = \sqrt{3} U_l I_l \cos \varphi$$

第四章 变压器 (3 学时)

学习目标:

- 1、了解变压器的各种应用
- 2、掌握变压器的分类、结构与工作原理

- 3、掌握变压器绕组的极性判别与连接方法
- 4、了解变压器运行特性与参数测量

4.1 变压器的应用

教学目标：

了解变压器在不同场合的各种应用与分类

教学重点难点：

变压器在不同场合的各种应用与分类

素质思政内容与要求：通过三相交流电路的学习，强调团队协作和集体智慧的重要性，培养学生的团队协作精神和创新意识。

教学方法：讲授法

学时数：3 学时

教学内容设计：

一、变压器在电力系统中的应用

变压器功能：

变电压：例如电力系统（从发电厂到用户一般经过一升四降。）

变电流：例如电流互感器（如电流表）

变阻抗：电子电路中的阻抗匹配（如喇叭的输出变压器）

电力系统：



二、变压器的其他应用

常见类型：

- 1、电源用变压器
- 2、自耦调压器
- 3、全密封配电变压器
- 4、整流变压器
- 5、自耦变压器
- 6、电压互感器：用低量程的电压表测高电压
- 7、电流互感器：用低量程的电流表测大电流

(1) 按用途分类

前面所述的应用就是按用途分类，如电力变压器

(2) 按绕组构成分类

双绕组、三绕组、多绕组、自耦变压器。

(3) 按相数分类

有单相变压器、三相变压器、多相变压器。

(4) 按冷却方式分类

干式变压器、油浸自冷变压器、油浸风冷变压器等。

三、铭牌与额定值

为了使变压器安全、经济、合理地运行，每一台变压器都安装了一块铭牌，上面标明了变压器型号及各种额定数据，只有理解铭牌上的各种数据的含义，才能正确、安全地使用变压器。

开关位置		高压		产品型号		标准代号	
位置	电压 V	电流 A	额定容量	额定电压 (10±1×5%) / 0.4kV	产品代号	出厂序号	制造日期
1	10500	2.89	50 kVA	50 Hz	1GB.710.217.1		年 月
2	10000						
3	9500						
低压		冷却方式		ONAN	油重	80 kg	
电压 V	电流 A	使用条件		户外	总重	375 kg	
400	72.2	绝缘水平: h.v. 线路端子		LI/AC	75/35 kV		
短路阻抗	4.2%	I.v. 线路端子		AC	5 kV		

X X 变 压 器 有 限 公 司

变压器负荷运行状态称额定运行。额定运行时各电量值为变压器的额定值。

额定电压 U_{1N} 、 U_{2N} ：

U_{1N} ：加在一次绕组上的正常工作电压。

U_{2N} ：一次侧施加额定电压时的二次侧空载电压。

额定电流 I_{1N} 、 I_{2N} ：

变压器满载运行时，原、副边绕组允许通过的电流值。

额定容量 S_N ：

变压器传送电功率的最大能力。

4.2 变压器的结构与工作原理

教学目标：

通过电磁感应的物理现象，学习掌握单相变压器的工作原理与结构

教学重点难点：

单相变压器的工作原理与结构

素质思政内容与要求：通过分析变压器的结构和工作原理，强调细节决定成败的道理，培养学生的细致观察和严谨思考的习惯。

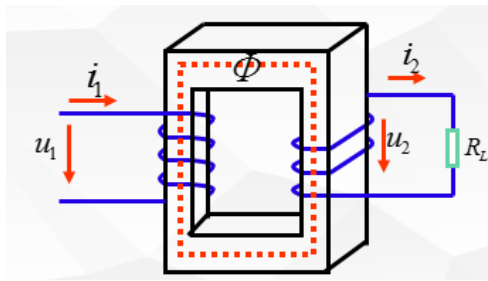
教学方法：

讲授法

教学内容设计：

一、变压器的结构

变压器的组成：铁心、线圈(又称绕组),包括高、低压线圈。



铁心变压器的铁心用具有绝缘层的 0.35~0.5mm 厚的硅钢片叠成,减少铁损。大、中型变压器的铁心,一般先将硅钢片裁成条形,然后采用交错叠片的方式叠装而成。交错叠片的目的是使各层磁路的接缝互相错开,以减小接缝处的气隙和磁路的磁阻,从而减小励磁电流。

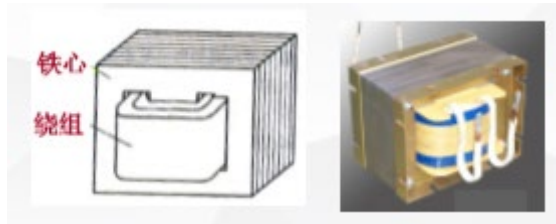
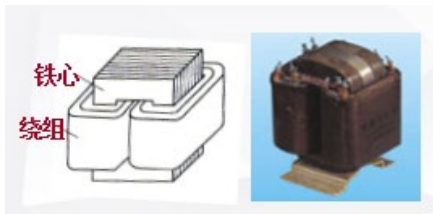
线圈:小容量变压器多用高强度漆包线绕制。

大容量变压器可用绝缘铜或铝线绕制。

变压器的主要结构:

心式结构:变压器的铁心被绕组包围。多用于电力变压器

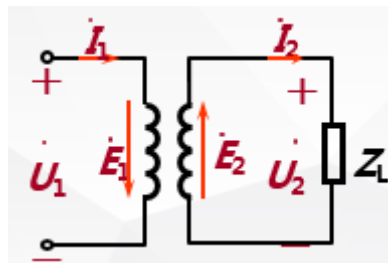
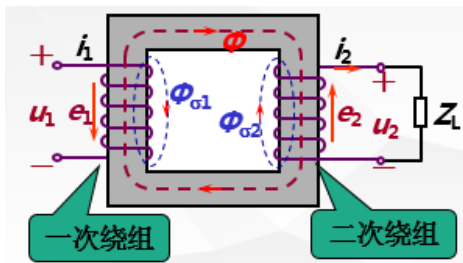
壳式结构:变压器的铁心包围绕组。常用于小容量变压器



二、变压器的工作原理

电磁关系:

用图形符号表示的变压器电路



电磁感应定律关系:

$$u \rightarrow i \rightarrow Ni \rightarrow \Phi \rightarrow e = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

设 $\Phi = \Phi_m \sin \omega t$

则 $e = -N\omega \Phi_m \cos \omega t$
 $= N\omega \Phi_m \sin(\omega t - 90^\circ)$

$$E_m = N\omega \Phi_m$$

$$= 2\pi f N \Phi_m$$

$$E = 4.44 f N \Phi_m$$

1. 一次侧电压方程：
$$U_1 = 4.44 f N_1 \Phi_m$$

2. 二次侧电压方程：
$$U_{20} = 4.44 f N_2 \Phi_m$$

结论：原、副边电压与匝数成正比：
$$\frac{U_1}{U_{20}} = \frac{N_1}{N_2} = k$$

副边带负载后对磁路的影响：在副边感应电压的作用下，副边线圈中有了电流 i_2 。此电流在磁路中也会产生磁通，从而影响原边电流 i_1 。

根据 $P_1=P_2$, 可得

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{K}$$

三、变压器的极性判断

同名端是指在同一交变磁通的作用下任意时刻两（或两个以上绕组中）都具有相同电势极性的端点彼此互为同名端。

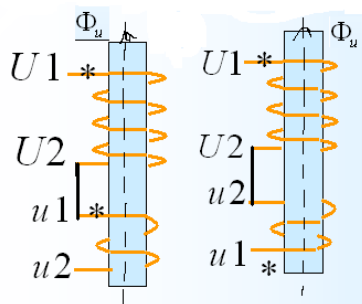
识别：当电流从两个同极性端流入（或流出）时，铁心中所产生的磁通方向是一致的
极性判断：

1、直观法：右手螺旋法进行判别

如图所示，如从绕组的某端通入直流电，产生的磁通方向一致的这些端点就是同名端（右手螺旋法则判别）

(1) 电动势越串越大，则把两个线圈的异名端连接

(2) 电动势越串越小，则把两个线圈的同名端连接



2、电表法：（无法直接观察）

(1) 电压表法

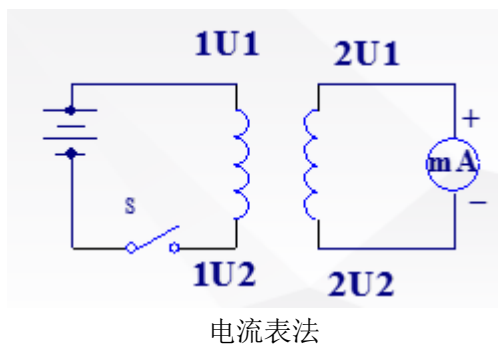
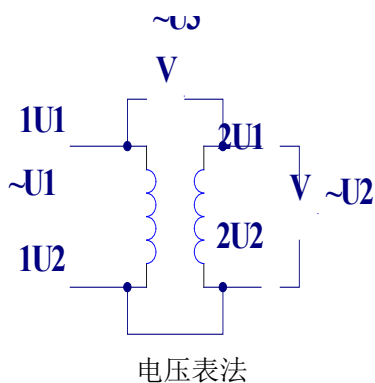
如图测出电压 U_2 和 U_3

如果 $U_3=U_1+U_2$ ，则是异名端相连，即 1U1 和 2U1 是异名端。

如果 $U_3=U_1-U_2$ ，则是同名端相连，即 1U1 和 2U1 是同名端。

(2) 电流表法：

当合上开关 S，如直流毫安表量程调试，指针反应明显，说明 1U1 和 2U1 都处于高电位，则 1U1 与 2U1 是同名端



4.3 变压器特性与应用

教学目标：

通过学习了解变压器的各种工作状态，能够分析变压器的各种运行特性。

教学重点难点：

变压器的运行特性。

素质思政内容与要求：结合变压器的特性，强调适应性和灵活性在解决问题中的重要性，培养学生的适应能力和创新思维。

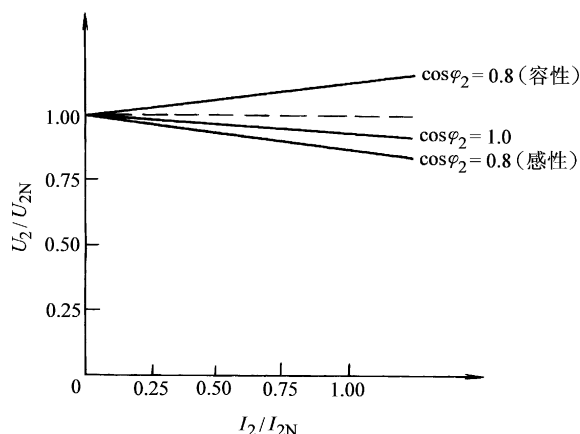
教学方法：讲授法

教学内容设计：

一、变压器的外特性与电压变化率

由于变压器内部存在电阻和漏电抗，因此负载运行时，当负载电流流过二次侧时，变压器内部将产生阻抗压降，使二次侧端电压随负载电流的变化而变化，这种变化关系是用变压器的外特性来描述的。

外特性：输出电压随负载电流的大小而变化
负载的功率因素对变压器的外特性影响很大



电压变化率：(反映了供电电压的稳定性)

变压器负载运行时，二次侧端电压的变化程度通常用电压变化率 $\Delta U\%$ 来表示

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_{2N}} \times 100\% = \frac{U_{20} - U_2}{U_{2N}} \times 100\% = \frac{U_{2N} - U_2}{U_{2N}} \times 100\%$$

提高企业供电的功率因素，有减小电压波动的作用。

二、变压器的损耗与效率

变压器的损耗：变压器在能量传递的过程中会产生损耗，由于变压器是静止的电器，因此变压器的损耗仅有铜损耗 p_{Cu} （可变损耗）和铁心损耗 p_{Fe} （不变损耗）两类。

磁滞损耗 P_h 、涡流损耗 P_e ：铁损耗使铁心发热。

减小铁损耗的方法：

- ① 使用软磁材料减小 P_h ；
- ② 增大铁心的电阻率，
减小涡流及其损耗；
- ③ 用很薄的硅钢片叠成铁心，
减小涡流及其损耗。

变压器的效率 η ：反映变压器运行的经济性能好坏

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% = \frac{P_2}{P_2 + P_{Fe} + P_{Cu}} \times 100\%$$

其中， P_2 为输出功率， P_1 为输入功率

小型变压器的效率通常在 80% 疑似

一般电力变压器的效率在 95%

大型变压器的效率可达 99% 以上

不变损耗等于可变损耗时，变压器的效率最高。由于电力变压器常年接在电网上运行，铁耗总是存在，而铜耗随负载的变化而变化，同时变压器不可能一直在满载下运行，因此，为了使总的经济效果良好，铁耗应相对小些。

第五章 电动机的结构与应用（18 学时）

学习目标：

- 1、了解三相、单相异步电动机的应用
- 2、掌握三相、单相异步电动机的结构
- 3、掌握三相、单相异步电动机的工作原理与工作特性
- 4、了解同步电动机的应用、结构、原理与特性
- 5、掌握常用低压电气的特点及作用
- 6、掌握常用电动机的起动、反转方式

5.1 三相异步电动机的结构与应用

教学目标：

了解三相异步电动机的应用与分类；

掌握三相异步电动机的结构、工作原理以及工作特性。

教学重点难点：

三相异步电动机的结构、工作原理、工作特性。

素质思政内容与要求：通过分析三相异步电动机的结构和工作原理，强调团队合作和集体智慧在技术创新中的重要性，培养学生的团队协作精神和创新意识。

教学方法：讲授法

教学内容设计：

一、三相异步电动机的应用

交流旋转电机的分类：

1、异步电机：转子转速与磁场转速不相等

(1) 异步发电机：用于风力发电机等特殊场合

(2) 异步电动机：

三相异步电动机：在各种电动机中应用最广、需要量最大。工业生产、农业机械化、交通运输、国防工业等电力拖动装置中，有 90%采用三相异步电动机。

单相异步电动机：用于家用电器和医疗仪器中

2、同步电机：转子转速与磁场转速相等

二、三相异步电动机的结构

三相异步电动机的结构的不同分为笼型和绕线型异步电动机两大类。

1.定子

定子铁心：由内周有槽的硅钢片叠成。

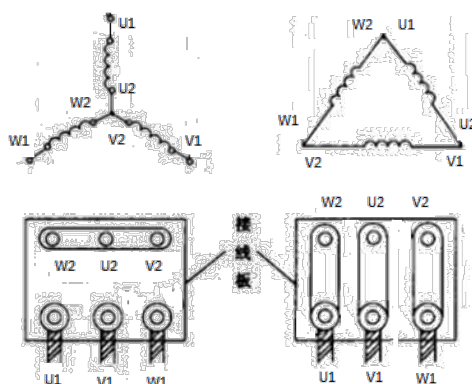
定子绕组：绝缘铜线或铝线绕制；嵌放在定子槽中

机座：铸钢或铸铁

三相定子绕组可连接成星形或三角形

各相绕组的额定电压是 220V，定子绕组必须接成星形；

若各相绕组的额定电压是 380V，定子绕组必须接成三角形。



2、转子

转子铁心：由外周有槽的硅钢片叠成。

(1) 鼠笼式转子：铁芯槽内放铜条，端部用短路环形成一体或铸铝形成转子绕组。

(2) 绕线式转子：同定子绕组一样，也分为三相，并且接成星形。

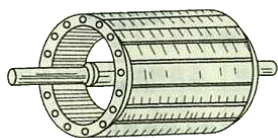
绕线式转子的特点是可以通过滑环和电刷在转轴上的三个铜环上，通过一组电刷把转子绕组从三个接线端引出来并与外电路相连接。

鼠笼式电动机与绕线式电动机的比较：

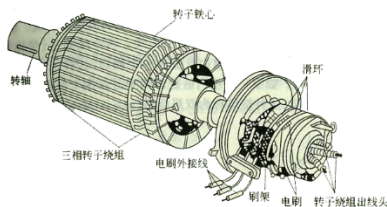
鼠笼式：结构简单、价格低廉、工作可靠；不能人为改变电动机的机械特性。

绕线式：结构复杂、价格较贵、维护工作量大；转子外加电阻可人为改变电动机的机械特性

转子的作用：在旋转磁场作用下，产生感应电动势或电流。



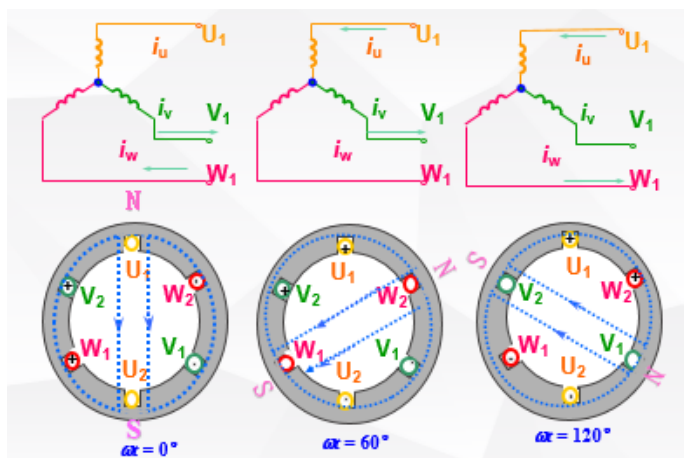
鼠笼式转子



绕线式转子

三、三相异步电动机的原理

三相异步电动机的定子铁心中放入三相定子绕组。接入三相对称电源。



分析可知：三相电流产生的合成磁场是一旋转的磁场。即：一个电流周期，旋转磁场在空间转过 360° 。

空间相差 120° 角的三相绕组，通入对称三相电流时，产生的是一对磁极的旋转磁场，磁场的旋转方向与绕组中电流的相序一致。如果电流的相序为 U-V-W-U，则旋转磁场为顺时针方向。如果改变流入三相绕组的电流相序，就能改变旋转磁场的旋转方向，三相异步电动机的旋转方向也就跟着改变。

反转方法：将电源任意两相互换相接 (改变相序)，就可实现反转。

旋转磁场的极对数 P:

当三相定子绕组按图示排列时，产生一对磁极的旋转磁场，即： $p=1$;

若定子每相绕组由两个线圈串联，绕组的始端之间互差 60° ，将形成两对磁极的旋转磁场，极对数 $p=2$;

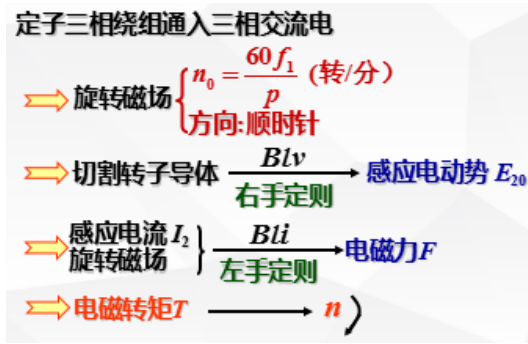
旋转磁场的转速:

$$p=1 \text{ 时, } n_0 = 60 f_1 \text{ (转/分)}$$

$$n_0 = \frac{60 f_1}{p} \text{ (转/分)}$$

旋转磁场转速 n_0 与极对数 p 的关系:

1、转动原理:



三相异步电动机转子在旋转磁场的作用下转动起来，其转向与旋转磁场的转向相同。

“异步”转动原理:

异步电动机的定子和转子之间能量的传递是依靠电磁感应实现的，故有称感应电动机。

转子转速 n_2 与旋转磁场的转速 n_1 不同

因为一旦转子转速和旋转磁场的转速相同，二者便无相对运动，转子也就不可能产生感应电动势和电流，也就没有电磁转矩了。只有当两者转速有差异时，才能产生电磁转矩了。

2、转差率

旋转磁场的同步转速和电动机转子转速之差与旋转磁场的同步转速之比称为转差率。

$$s = \frac{\Delta n}{n_1} = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

转差率 s :

转差率是分析异步电动机运行情况的一个重要参数。

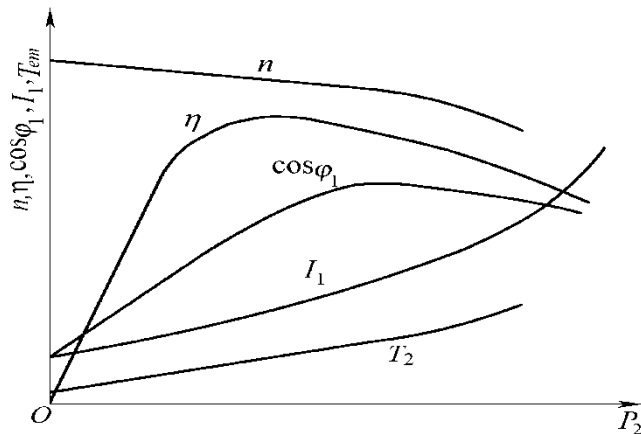
在电动机起动时，转子转速 $n_2=0$ ， $s=1$ ，转差率最大。随着 n_2 的逐步上升， s 将不断下降

异步电动机运行中: $0 < s \leq 1$ ，一般转差率很小，额定工作状态下为 $0.015 \sim 0.06$

四、三相异步电动机的工作特性

异步电动机的工作特性是指定子的电压及频率为额定时，电动机的转速 n 、定子电流 I_1 、功

率因数 $\cos \varphi_1$ 、电磁转矩 T_{em} 、效率 η 等与输出功率 P_2 的关系曲线。



三相异步电动机的工作特性曲线

1、转速特性 $n=f(P_2)$

三相异步电动机空载时，转子的转速 n 接近于同步转速 n_1 。随着负载的增加，转速 n 要略微降低，这时转子电动势 $E_{2s} = sE_2$ 增大，从而使转子电流 I_{2s} 增大，以产生较大的电磁转矩来平衡负载转矩。因此，随着 P_2 的增加，转子转速 n 下降，转差率 s 增大。

2、转矩特性 $T_{em}=f(P_2)$

空载时 $P_2 = 0$ ，电磁转矩 T_{em} 等于空载制动转矩 T_0 。随着 P_2 的增加，已知 $T_2 = \frac{9.55P_2}{n}$ ，如 n 基本不变，则 T_2 为过原点的直线。考虑到 P_2 增加时， n 稍有降低，故 $T_2=f(P_2)$ 随着 P_2 增加略向上偏离直线。在 $T_{em} = T_0 + T_2$ 式中， T_0 之值很小，而且认为它是与 P_2 无关的常数。所以 $T_{em} = f(P_2)$ 将比平行上移 T_0 数值

3、定子电流特性 $I_1=f(P_2)$

当电动机空载时，转子电流 近似为零，定子电流等于励磁电流 I_0 。随着负载的增加，转速下降 (s 增大)，转子电流增大，定子电流也增大。当 $P_2 > P_N$ 时，由于此时 $\cos\varphi_2$ 降低， I_1 增长更快些。

4、功率因数特性 $\cos\varphi_1=f(P_2)$

三相异步电动机运行时，必须从电网中吸取感性无功功率，它的功率因数总是滞后的，且永远小于 1。电动机空载时，定子电流基本上只有励磁电流，功率因数很低，一般不超过 0.2。当负载增加时，定子电流中的有功电流增加，使功率因数提高。接近额定负载时，功率因数也达到最高。超过额定负载时，由于转速降低较多，转差率增大，使转子电流与电动势之间的相位角 φ_2 增大，转子的功率因数下降较多，引起定子电流中的无功电流分量也增大，因而电动机的功率因数趋于下降

5、效率特性 $\eta=f(P_2)$

电动机空载时 $P_2 = 0$ ， $\eta = 0$ ；随着输出功率的增加，效率 η 也增加。在正常运行范围内，因主磁通变化很小，所以铁损耗变化不大，机械损耗变化也很小，合起来称不变损耗。定、转子铜损耗与电流平方成正比，随着负载而变化，称可变损耗。当不变损耗等于可变损耗时，电动机的效率达最大。对于中、小型异步电动机，大约 $P_2 = (0.75 \sim 1)P_N$ 时，效率最高。如果负载继续增大，可变损耗增加的较快，效率反而降低。

固有机械特性(自然机械特性):在额定电压和额定频率下,定子和转子电路中不接任何电阻或电抗时,转速 n 与电磁转矩 T 之间的关系为电动机的机械特性.

机械特性上有 4 个特殊点:

(1)理想空载转速点 n_0

$$T=0, n=n_0, S=0;$$

(2)额定工作点

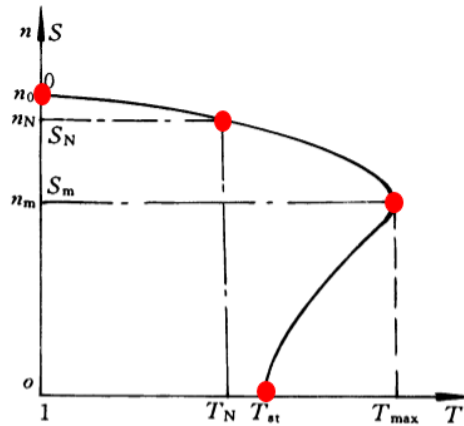
$$T=T_N, n=n_N, S=S_N;$$

(3) 起动工作点

$$T=T_{st}, n=0, S=1;$$

(4)临界工作点

$$T=T_{anm}, n=n_m, s=S_m$$



固有机械特性

三个重要转矩:

额定转矩 T_N : 电机在额定电压下, 以额定转速 n_N 运行, 输出额定功率 P_N 时, 电机转轴上输出的转矩。

$$T_N = \frac{P_N}{\frac{2\pi n_N}{60}} = 9550 \frac{P_N(\text{千瓦})}{n_N(\text{转/分})}$$

最大转矩 T_{max} : 电机带动最大负载的能力。

注意: 工作时, 一定令负载转矩 $T_L < T_{max}$, 否则电机将停转。致使电机发热烧毁。

起动转矩 T_{st} : 电机起动时的转矩。

T_{st} 体现了电动机带载起动的能力。若 $T_{st} > T_L$ 电机能起动, 否则将起动不了。

5.2 单相异步电动机的结构与应用

教学目标:

了解单相异步电动机的结构特点, 优、缺点及应用情况;

掌握单相异步电动机的工作原理；
掌握单相感应电动机的起动方法与类型。

教学重点难点：

单相异步电动机的工作原理

素质思政内容与要求：结合单相异步电动机的应用，强调实用性和经济性在工程设计中的重要性，培养学生的实用主义精神和经济意识。

教学方法：讲授法

教学内容设计：

一、单相异步电动机的应用

1、单相异步交流电动机

采用单相交流电源供电的电动机称为单相异步电动机

2、应用情况

通常广泛应用在小容量的场合，如家用电器（电风扇、电冰箱、洗衣机等）、空调设备、电动工具（如油泵、砂轮机）、医疗器械及轻工设备中。

优缺点：

优点：结构简单，成本低廉，噪音小。

缺点：与同容量三相感应电动机相比较，体积较大，功率因数及过载能力都较低。

故单相感应电动机只能作成小容量：

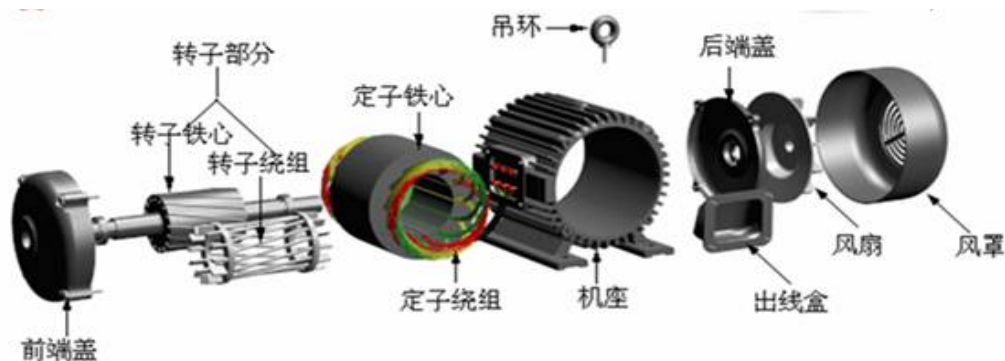
微型：几瓦~750瓦；

小型：550瓦~3700瓦。

二、单相异步电动机的结构

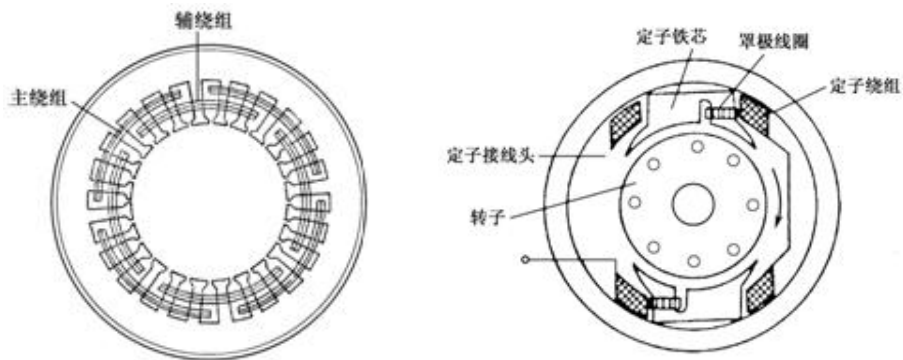
与三相感应电动机相似，包括定子和转子两大部分。转子结构都是笼型的，定子铁心由硅钢片叠压而成。定子铁心上嵌有定子绕组，定、转子之间的气隙。

电动机多为电容运转交流异步电动机，体积小，重量轻，结构简单，拆装容易。



单相异步电动机的定子：

- 1、定子铁芯
- 2、定子绕组



三、单相异步电动机的工作原理

结构：定子放单相绕组（其中通 220V 单相交流电）

转子一般用鼠笼式。

定子绕组：主绕组是一单相绕组，加正弦交流电→气隙→产生脉振磁场 F_0

当定子绕组产生的合成磁场增加时，根据右手螺旋定则和左手定则，可知转子导条左、右受力大小相等方向相反，所以没有起动转矩。但是，转子借助其它力量转动后，外力去除后仍按原方向继续转动。

转子借助其它力量转动后，外力去除后仍按原方向继续转动。

原理分析如下：

1、交变脉动磁场可分解为两个以相同转速、旋转方向互为相反的旋转磁场，当转子静止时，这两个旋转磁场在转子中产生两个大小相等、方向相反的转矩，使得合成转矩为零，所以电动机无法旋转。

2、我们用外力使电动机向某一方向旋转时（如顺时针方向旋转），这时转子与顺时针旋转方向的旋转磁场间的切割磁力线运动变小；转子与逆时针旋转方向的旋转磁场间的切割磁力线运动变大。这样平衡就打破了，转子所产生的总的电磁转矩将不再是零，转子将顺着推动方向旋转起来。

四、单相异步电动机的起动

单相异步电动机正常工作时，一般只需要单相绕组即可，但单相绕组通以单相交流电时产生的磁场是脉动磁场，单相运行的电动机没有起动转矩。

为使电动机能自行起动和改善运行性能，除工作绕组（又称主绕组）外，在定子上还安装一个辅助的起动绕组（又称副绕组）。两个绕组在空间相距 90° 或一定的电角度。

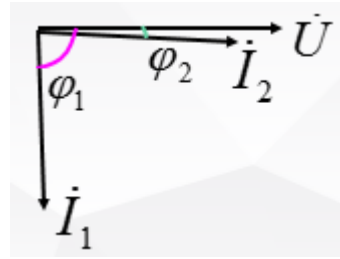
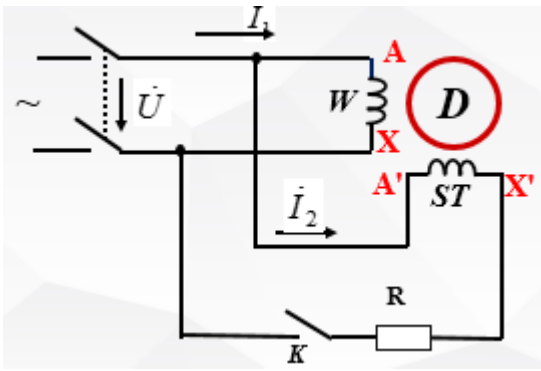
1、电阻起动电动机：

主绕组：匝数多，导线粗

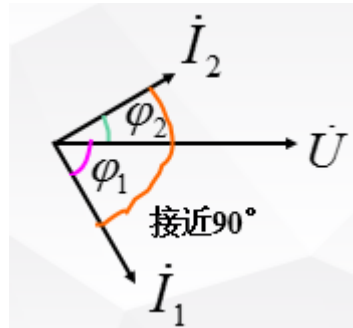
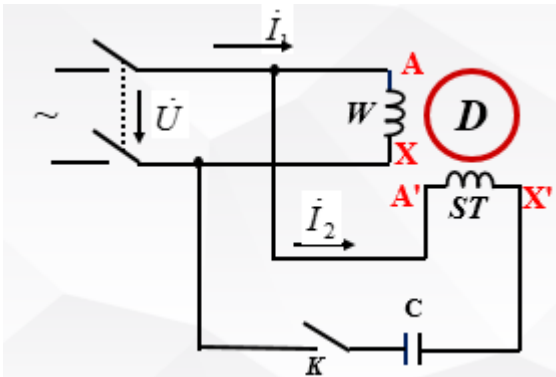
副绕组（起动绕组）：

匝数少、导线细，串电阻

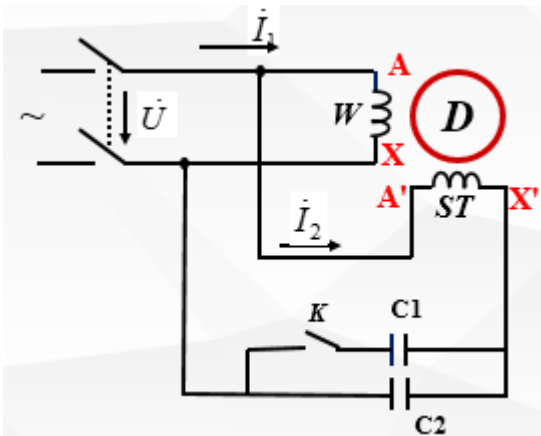
特点：起动转矩不大，易于空载起动



2、电容起动电动机



3、单相电容起动运转异步电动机



4、罩极式单相异步电机

定子通入电流以后，部分磁通穿过短路环，并在其中产生感应电流。短路环中的电流阻碍磁通的变化，致使有短路环部分和没有短路环部分产生的磁通有了相位差，从而形成旋转磁场，使转子转起来。



5.3 同步电动机的结构与应用

教学目标：

了解同步电动机的各种实际应用；掌握同步电动机的结构、工作原理以及工作特征。

教学重点难点：

同步电动机的结构与工作原理

素质思政内容与要求：通过分析同步电动机的特性，强调稳定性和可靠性在电力系统中的重要性，培养学生的责任感和使命感。同时，强调持续学习和终身学习的理念，培养学生的自我提升和持续发展的能力。

教学方法：讲授法

教学内容设计：

一、同步电机的应用

同步电机的优点：

①同步电动机的功率因数可以调节，在不要求调速的场合，应用大型同步电动机可以提高运行效率。

②运行效率高

③稳定性好

④转速恒定

主要应用：主要用作发电机，也用于大型机械如轧钢机、压缩机、鼓风机、球磨机等驱动电机。此外也用作电网的调相机调节电网无功功率。

二、同步电动机的结构

与直流机、异步电动机一样，同步电动机也是由定子和转子两大部分组成。

1、定子

同步电动机的定子与异步电动机定子一样。由于尺寸太大，硅钢片常制成扇形，然后对接成圆形。

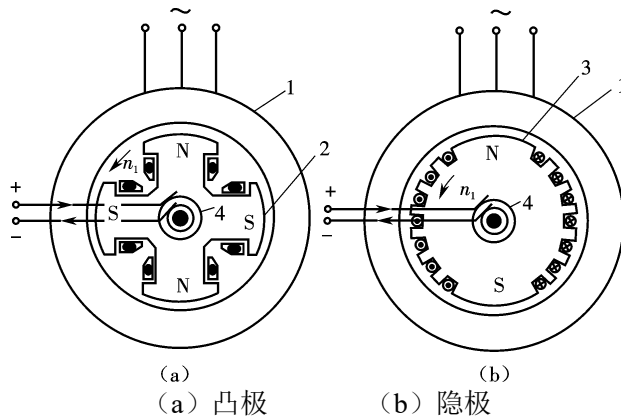
2、转子

由磁极、转轴、阻尼绕组、滑环、电刷等组成，在电刷和滑环通入直流电励磁，产生固定磁极。

根据容量大小和转速高低转子结构分凸极和隐极两种。

凸极特点：有明显凸出的成对磁极和集中励磁绕组，气隙不均匀，适用于极对数大于等于3的电动机（转速小于1000r/min）

隐极特点：本体表面有开槽，槽中嵌放励磁绕组，气隙均匀，适用于极对数小于等于 2 的电动机（转速大于 1500r/min）



三、同步电动机的工作原理

当同步电动机的定子三相绕组通入三相交流电流时，将产生旋转磁场，如果在转子绕组内通入直流励磁电流则形成固定的磁极。根据磁极异性相吸原理，这时转子磁极就会被旋转磁场的磁极所吸引，而作同步旋转，故称为同步电动机。

由于同步电动机的转子的转矩是旋转磁场与转子磁场不同极性间的吸引力所产生的，所以转子的转速始终等于旋转磁场转速，不因负载改变而改变。

同步电动机的转速 n 恒等于同步转速。电源频率为 50Hz，故当 $p=1$ 时， $n=3000r / \text{min}$ ， $p=2$ ， $n=1500r / \text{min}$ ， $p=3$ ， $n=1000r/\text{min}$ 等。可见，同步电动机转子转速不随负载而变化，其机械特性是一条水平直线，属于绝对硬特性。

1、同步电动机自身无起动转矩：转子绕组加入直流励磁以后，在气隙中生成静止的转子磁场。当在定子绕组中能入三相交流电以后，在气隙中则产生旋转磁场。定、转子磁场之间存在有相对运动，转子上的平均转矩为零，所以同步电动机不产生起动转矩。

2、同步电动机的起动：

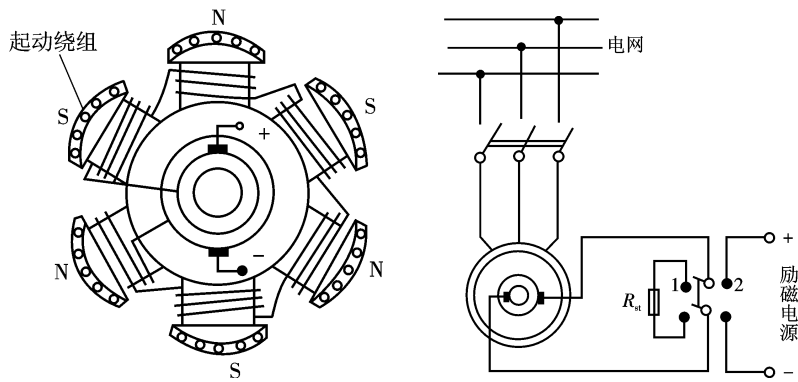
(1) 异步起动法：

采用感应电动机工作原理.在转子极靴上加装起动绕组（发电机称为阻尼绕组），起动时，励磁绕组不能开路（以免产生过大的感应电势，击穿绝缘），亦不能直接短路（对起动不利），需串入阻值约为 10 倍的电阻。当异步起动使转子转速上升，转接近同步速，加入直流励磁，进入同步电机运行状态。

步骤：<1>按感应电机方式起动，使转子转速接近同步速；

<2>加直流励磁，使转子拉入同步。

由于磁阻转矩的影响，凸极式同步电动机很容易拉入同步。甚至在未加励磁的情况下，有时转子也能拉入同步。因此，为了改善起动性能，同步电动机绝大多数采用凸极式结构。



(2) 辅助电动机起动法:

辅助电动机起动法是选用一台与同步电动机极数相同的小型异步电动机作为辅助电动机, 起动时, 先起动辅助电动机将同步电动机拖动到异步转速, 然后将同步电动机投入电网, 加入励磁, 利用同步转矩把同步电动机转子牵入同步, 同时切除辅助电动机电源, 这种方法适用于同步电动机的空载起动。

(3) 变频起动: 起动时定子电流频率 f_1 较低, $n_1 = \frac{60f}{p}$ 同步转速也较低, 使平均电磁转矩不为零。

优点: 耗能少, 起动平稳

缺点: 不足之处是需要一个变频电源

同步电动机与异步电动机的区别:

1、定子结构一致、转子结构不同

(异步: 短路绕组; 同步: 励磁绕组+励磁电源)

2、转速

(转子转速与定子旋转磁场的转速 异步: 不同; 同步: 一致)

(转速是否受负载影响 异步: 受影响; 同步: 不影响)

四、同步电机的工作特性

同步电机的三种运行方式:

1、发电机状态: 原动力输入的机械功率通过电机内部的电磁作用而转换为电功率输出。(最主要的运行方式)

2、电动机状态: 将电功率变为机械功率输出。(变频调速系统)

3、同步调相状态: 转子上未带任何负载, 则同步电机将工作在同步调相机状态。此时, 通过调节转子的直流励磁, 便可改变向电网输出无功功率的大小和性质。