

2019

第一章

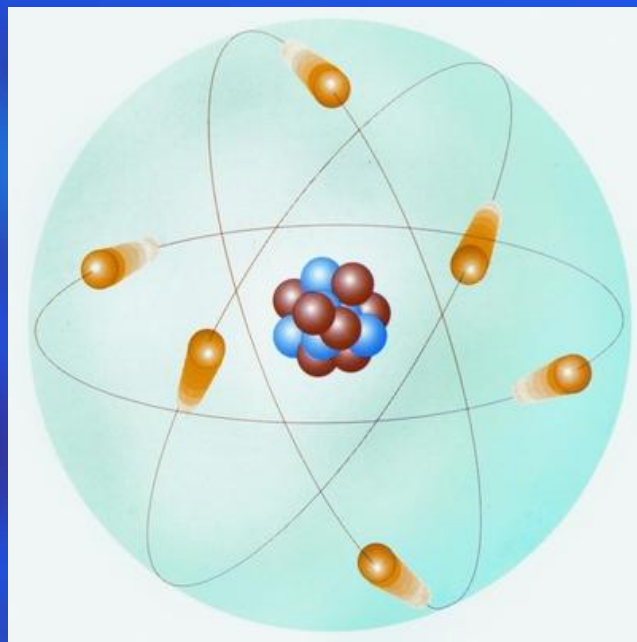
电工与电子基础

第一节 电的基本概念

在日常的生产和生活中，作为电工每天我们都和“电”打交道，对于“电”我们首先应从以下几个方面去理解。

（1）物质的结构

自然界的一切物质都是由原子组成的，而原子又是由原子核和核外电子组成的，原子核带正电荷，电子带负电荷。当物体由于某种原因使得核外电子的数目增大或减少时，物质内部的正负电荷的数量不再相等，物体就会显示出带电性。



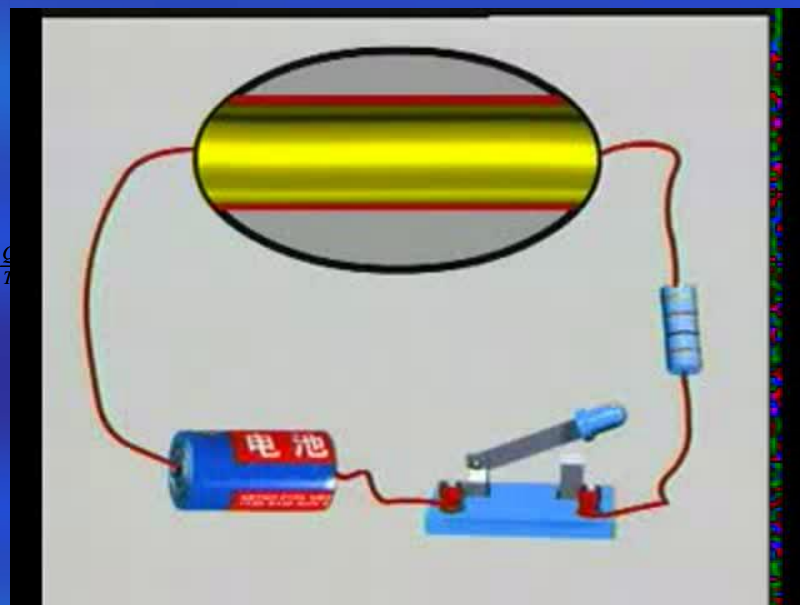
原子的结构示意图

因此，我们可以得出结论：电荷既不能被创造也不能被消灭，它们只能从一个物体转移到另一个物体，或者从物体的一部分转移到另一部分，这就是电荷守恒定律。

（2）电流

电荷有规则的定向运动叫电流。在金属导体中，电流是自由电子在电场力作用下有规则的运动形成的。

电荷的多少即为电量。电流的大小定义为单位时间内通过导体截面的电量，用电流强度来衡量。若在时间**T**秒内，通过导体横截面的电量是**Q**库仑，则电量强度**I**就可以用下式表示，即 $I=Q/T$

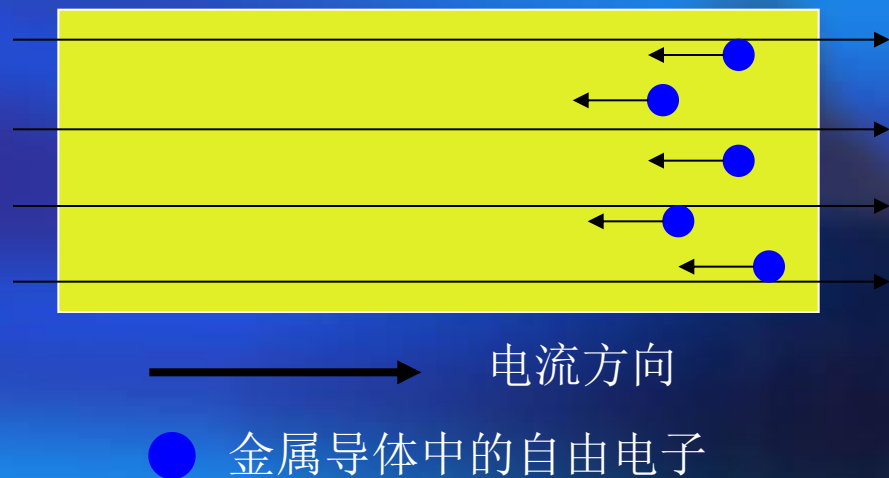
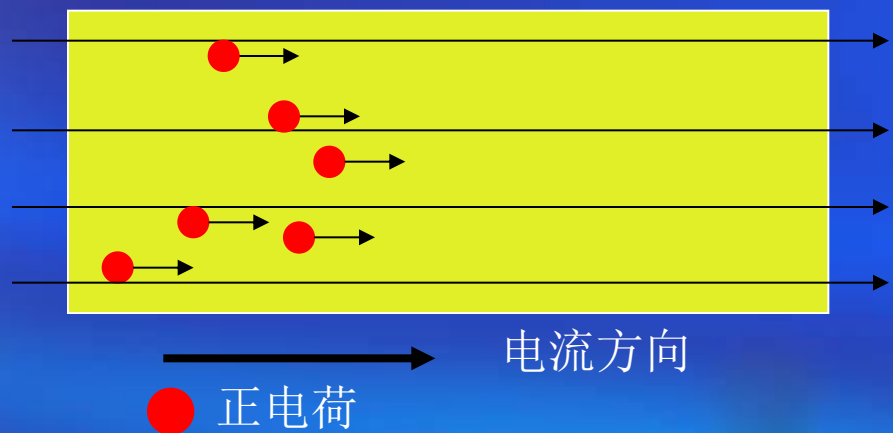


电流形成的原理

注意：电流不但有大小，而且有方向。习惯上规定以电荷运动的方向为电流的正方向。在金属导体中，虽然电流实际上是自由电子定向移动形成的，但其效果和等量的正电荷反向流动完全相同，因此电流方向与电子流方向相反。

(3) 电压

电压又称电位差，是衡量电场做功本领大小的物理量。电压不但有大小，还有方向。对于负载来说，规定电流流进端为电压的正端，电流流出端为电压的负端。电压的方向由正指向负，即负载中电压的实际方向与电流方向一致。



(4) 电位

电位是一个相对量，如果在电路中任选一个参考点，令其为零，则电路中某一点的电位就等于该点到参考点之间的电压，电位差就是电压。

(5) 电动势

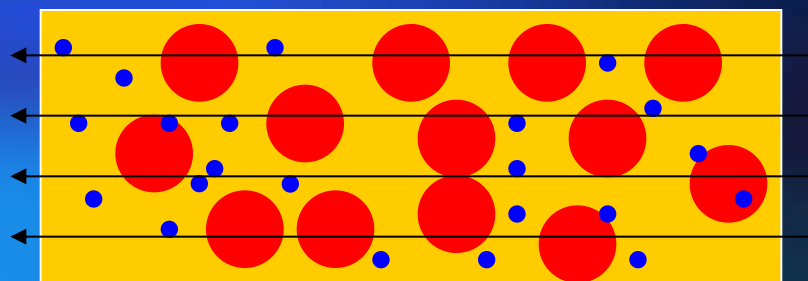
电动势是衡量电源将非电能转换成电能本领的物理量，定义为：在电源内部外力将单位正电荷从电源的负极移到电源正极所做的功。电动势的方向规定为：在电源内部，由负极指向正极，即由低电位指向高电位。

(6) 电阻

当电流通过导体时，由于自由电子在运动中不断与导体内的原子、电子相互碰撞，使其运动受到阻碍，这种导体对电流的阻碍作用。

注意：导体的电阻是客观存在的，它不随导体两端的电压的大小变化。即使没有电压，导体仍然有电阻。

实验证明，在温度一定时，导体的电阻与导体的长度成正比，与导体的截面积成反比，还与导体的材料有关。导体的电阻还与温度有关，通常情况下，金属的电阻都是随温度的升高。



● 原子核 ● 电子 电阻产生的原因

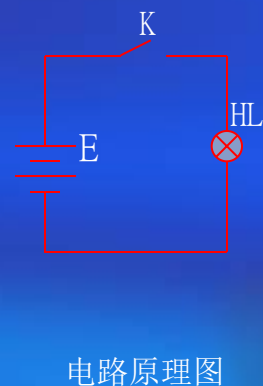
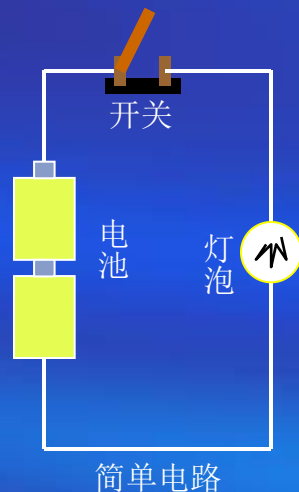
第二节 直流电路

一、电路

1. 电路的组成及电路元件的作用

电路就是电流所流经的路径，它由电路元件组成。电路元件大体可分为四类：电源负载、控制电器和保护电器以及导线。

电路通常有三种状态：通路、开路、短路。

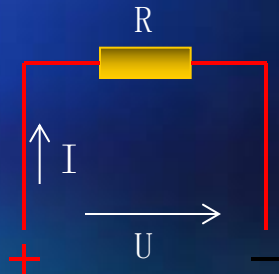


2. 电路的分类

根据通过电路的电流的不同，电路可分为直流电路和交流电路；直流电路又分为简单直流电路和复杂直流电路。

二、电路的欧姆定律

电流、电压和电阻是电路中的三个基本物理量，欧姆定律反映了电路中电阻元件两端的电压与通过该元件的电流和电阻三者之间的关系。其数学表达式为 $I=U/R$
式中 I —电流 (A) U —电压 (V) R —电阻 (Ω)



由上式可知，对于任一段电阻电路，只要知道三个量中的任意两个，就可以由欧姆定律求出第三个量。

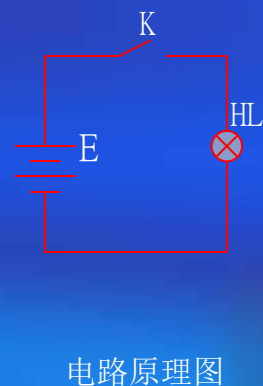
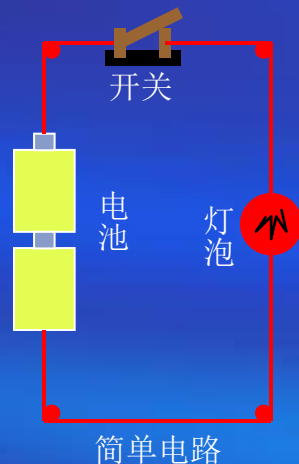
第二节 直流电路

一、电路

1. 电路的组成及电路元件的作用

电路就是电流所流经的路径，它由电路元件组成。电路元件大体可分为四类：电源负载、控制电器和保护电器以及导线。

电路通常有三种状态：通路、开路、短路。

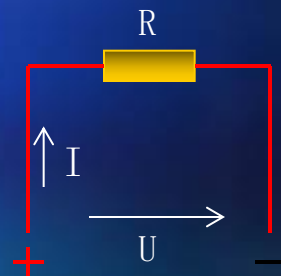


2. 电路的分类

根据通过电路的电流的不同，电路可分为直流电路和交流电路；直流电路又分为简单直流电路和复杂直流电路。

二、电路的欧姆定律

电流、电压和电阻是电路中的三个基本物理量，欧姆定律反映了电路中电阻元件两端的电压与通过该元件的电流和电阻三者之间的关系。其数学表达式为 $I=U/R$
式中 I —电流 (A) U —电压 (V) R —电阻 (Ω)



由上式可知，对于任一段电阻电路，只要知道三个量中的任意两个，就可以由欧姆定律求出第三个量。

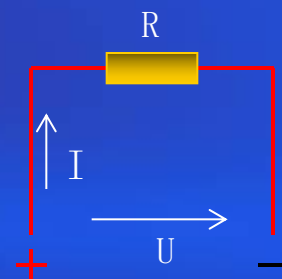
三、电路的功率与电能

1. 电功率

电功率就是单位时间内电场力所做的功，数学表达式为

$P=UI=I^2R=U^2/R$ ，式中 P —电功率（W） U —电压（V）

I —电流（A） R —电阻（ Ω ）



2. 电能

功率只表示设备工作能力的大小，它们所完成的工作量，不仅决定于其功率的大小，还与它们工作的时间长短有关，即 $W=Pt=UIt$ ，其中 W —电能（kW·h）

3. 焦耳—楞次定律

电流通过电阻时使电阻发热的现象叫电流的热效应，即电能转化为热能的效应。焦耳楞次定律描述的就是电阻通过电流后产生的热量与电流、电阻及通电时间的关系。数学表达式为 $Q=I^2Rt$ ，

式中 Q —电阻产生的热量（J） t —时间（s）

4. 电阻的串联电路

在电路中，串联电路是最简单的连接方式，即将电阻依次首尾相连，使各电阻通过同一个电流。

串联电路的特点（见右图）：

(1) 串联电路各处电流相等

$$I=I_1=I_2=I_3=\cdots=I_n;$$

(2) 串联电路两端总电压等于各电阻

两端电压之和 $U=U_1+U_2+U_3+\dots+U_n$

(3) 串联电路的总电阻（即等效电阻）

等于各串联电阻之和

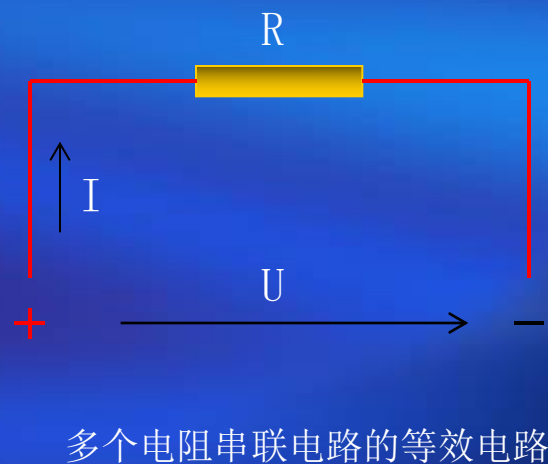
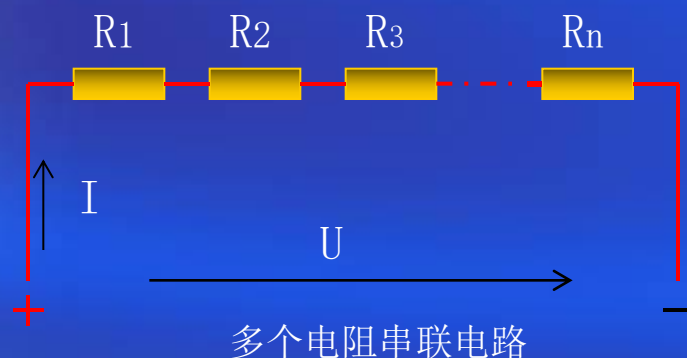
$$R=R_1+R_2+R_3+\cdots+R_n$$

(4) 在串联电路中，各电阻上的电压
与电阻的大小成正比
其中 $i=1, 2\cdots n-1$

$$\frac{U_i}{U_n} = \frac{R_i}{R_n}$$

(5) 串联电路中，各电阻消耗的功率与电阻的大小成正比。

由以上电阻串联的特点，我们可知电阻串联在实际工作中常用于分压和限流。



5. 电阻的并联电路（右图）

把几个电阻的一端连接在一个节点上，另一端连接在另一个节点上，这种连接方式叫做电阻²的并联。

并联电路的特点：

（1）并联电路中各电阻两端电压相等，且等于电路两端的电压。

$$U_1=U_2=U_3\cdots=U_n$$

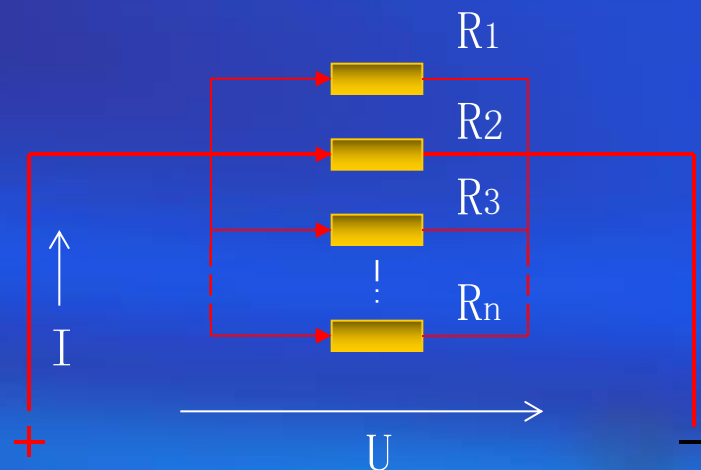
（2）并联电路的总电流为各电阻支路电流之和。

$$I=I_1+I_2+I_3+\cdots+I_n$$

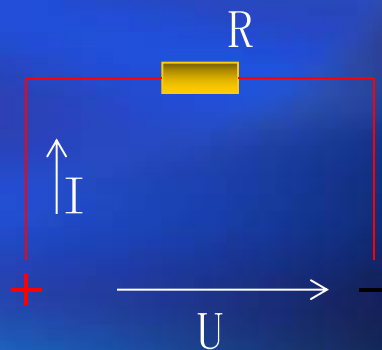
（3）并联电路总电阻（等效电阻）的倒数为各电阻的倒数之和。

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots + \frac{1}{R_n}$$

根据并联电路的特点可知，在并联电路中，电流的分配与电阻大小成反比，即阻值越大的电阻所分配到的电流越小；反之电流越大。



多电阻并联电路



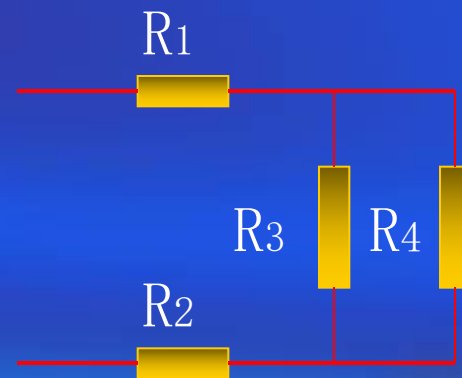
多电阻并联电路等效电路

6. 电阻的混联电路

电阻的串联与并联是电路最基本的连接形式。在一些电路中，既有电阻的串联，又有电阻的并联，这种电路就叫做电阻的混联。（见右图）

分析、计算混联电路的方法如下：

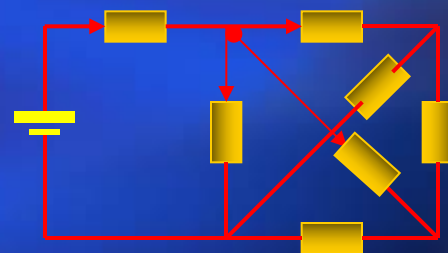
- (1) 应用电阻的串联、并联特点，逐步简化电路，求出电路的等效电阻。
- (2) 由等效电阻和电路的总电压，根据欧姆定律求出电路的总电流。
- (3) 由总电流根据欧姆定律和电阻串并联的特点求出各支路的电压和电流。



混联电路

四、基尔霍夫定律

掌握欧姆定律和电阻的串并联的特点及其计算公式只能对简单直流电路进行具体分析，但是在实际中遇到的很多复杂电路类似右图，这样还必须掌握基尔霍夫定律。



复杂电路

1. 基尔霍夫第一定律（又称节点电流定律）

对于电路中的任一节点，流入节点的电流之和必等于流出该节点的电流之和。

2. 基尔霍夫第二定律（又称回路电压定律）

对任一回路，沿任一方向绕行一周，各电源电动势的代数和等于各电阻上电压降的代数和。

第三节 电磁感应

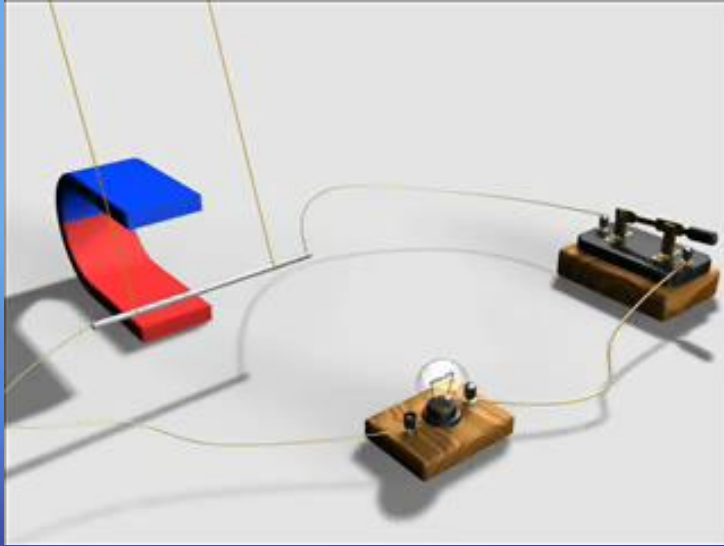
什么是电磁感应？我们先看一下有关实验。

当导体相对于磁场运动而切割磁力线，或线圈中的磁通发生变化时，在导体或线圈中都会产生感生电动势，若导体或线圈是闭合电路的一部分，则在导体或线圈中产生电流。

从本质上讲，这两种现象都是由于磁场发生变化而引起的。我们把变化的磁场在导体中引起电动势的现象称为电磁感应。



一、直导体中产生的感应电动势



通过实验我们可知直导体在切割磁力线的过程中产生的感应电动势与磁场的强度、导体的长度和金属导体切割磁力线的速度有关。产生的感应电动势的大小为 $e = Blv \sin \alpha$ 。

当导体垂直切割磁力线感生电动势达到最大值 $E_m = Blv$ 。

二、闭合线圈中产生的感生电动势 楞次定律内容：

感生电流产生的磁场总是阻碍原磁通的变化。

判断电动势和感生电流方向的方法：

- (1) 判定原磁通的方向及其变化趋势。
- (2) 根据楞次定律确定感生电流磁场
- (3) 根据右手定则确定感生电动势和电流方向。

优酷

三、法拉第电磁感应定律

线圈中感生电动势的大小与线圈中磁通的变化速度（即变化率）成正比。

法拉第电磁感应定律的数学表达式为：
$$\mathbf{e} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

式中 $\mathbf{e}$ —在 Δt 时间内感生电动势的平均值（V）；

N —线圈匝数； $\Delta \Phi$ —磁通的变化量； Δt —磁通变化所需要的时间
上式中负号表示感生电动势的方向永远和磁通变化的趋势相反。

四、自感

线圈中磁通量（ Φ ）、电感（ L ）和流过线圈的电流（ i ）满足

$$L = \Phi / i$$

由于自感也属于电磁感应，所以必然遵从法拉第电磁感应定律，

将 $\Phi = Li$ 代入

$$\mathbf{e}_L = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

得出自感电动势的大小为

$$\mathbf{e}_L = -N \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

结论:

- (1) 自感电动势是通过线圈本身的电流发生变化而产生的。
- (2) 对于线性电感，当 L 一定时，流过线圈的电流变化越快，自感电动势 e_L 越大。
- (3) 自感电动势的方向是：流过线圈的外电流 i 增大时，感生电流 i_L 方向与 i 相反；外电流 i 减小时，感生电流 i_L 与 i 的方向相反。

五、互感

第四节 单相交流电路

一、交流电的概念

1. 什么是交流电

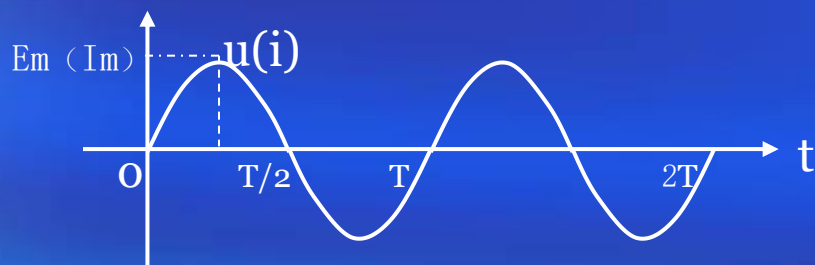
所谓交流电是指大小和方向都随时间做周期性变化的电动势（电压或电流）。

交流电可分为正弦交流电和非正弦交流电两大类,其中非正弦交流电波形包括矩形波（方波）和三角波等。（见右图）

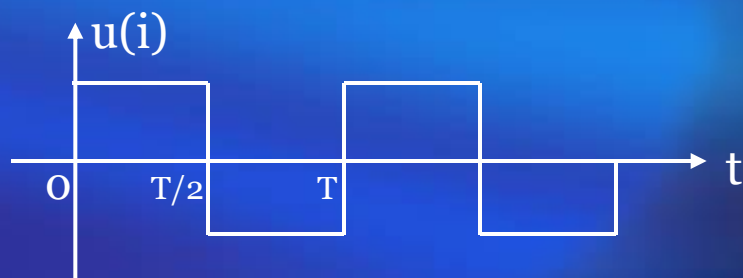
交流电应用广泛，在现代工农业生产中，几乎所有电能都是以交流形式产生出来的。主要原因：

（1）交流电机比直流电机结构简单、成本低、工作可靠；

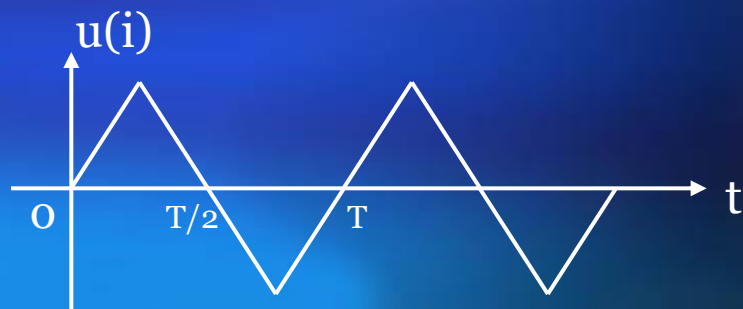
（2）更重要的是可用变压器来改变交流电的大小，便于远距离输电和提供各种不同等级的电压。



交流电正弦波



交流电矩形波



交流电三角波

第四节 单相交流电路

一、交流电的概念

1. 什么是交流电

所谓交流电是指大小和方向都随时间做周期性变化的电动势（电压或电流）。

交流电可分为正弦交流电和非正弦交流电两大类,其中非正弦交流电波形包括矩形波（方波）和三角波等。（见右图）

交流电应用广泛，在现代工农业生产中，几乎所有电能都是以交流形式产生出来的。主要原因：

（1）交流电机比直流电机结构简单、成本低、工作可靠；

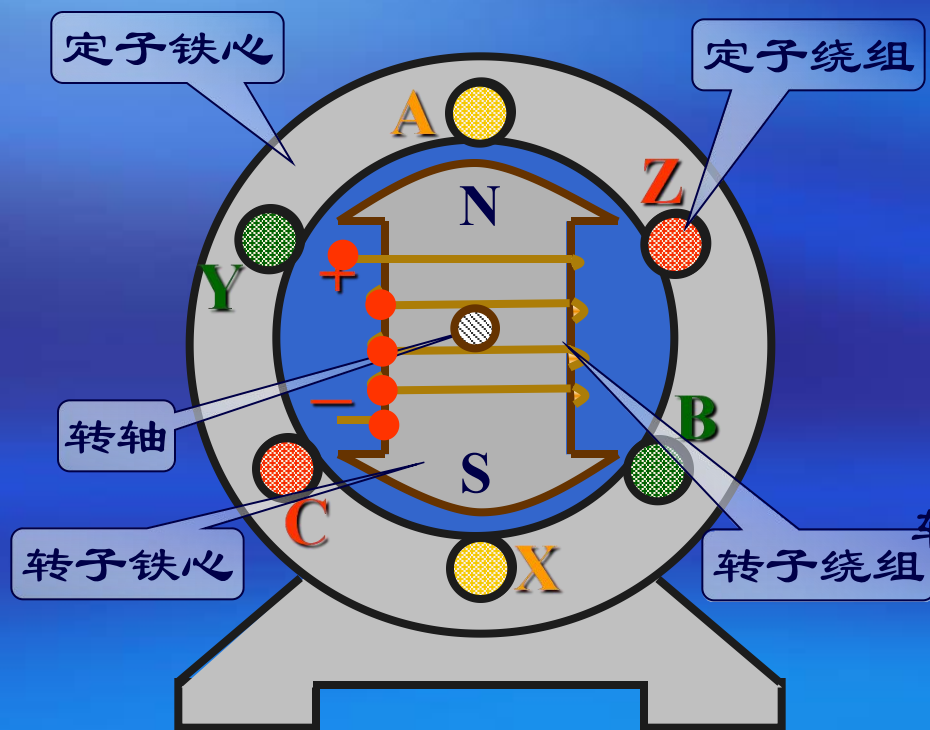
（2）更重要的是可用变压器来改变交流电的大小，便于远距离输电和提供各种不同等级的电压。

示波器 显示各 种波形

第五节 三相交流电路

一、三相交流电

三相交流电是由三相发电机产生的。发电机主要由定子和转子两大部分构成。



三相定子绕组与旋转磁场相切割，感应对称三相电动势。

首端：A B C

↓ ↓ ↓
尾端：X Y Z

三相定子绕组**对称**嵌放在定子铁心槽中。

转子绕组通电后产生磁场。

原动机带动转子绕轴旋转，形成气隙旋转磁场。

$$e_A = E_m \sin \omega t$$

$$e_B = E_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$

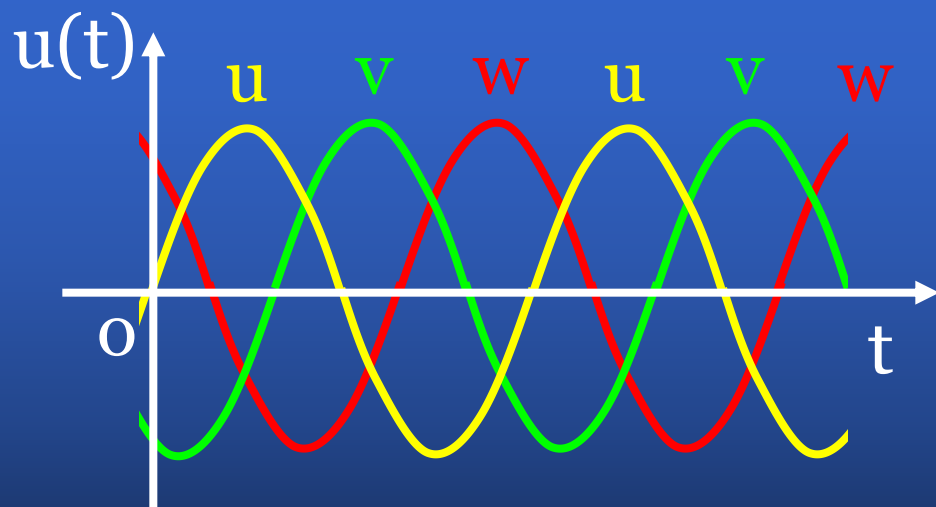
$$e_C = E_m \sin(\omega t + 120^\circ)$$

电路分析中很少用电动势，通常用电压来表示。以A相绕组的感应电压为参考正弦量，则发电机感应的对三相电压分别为：

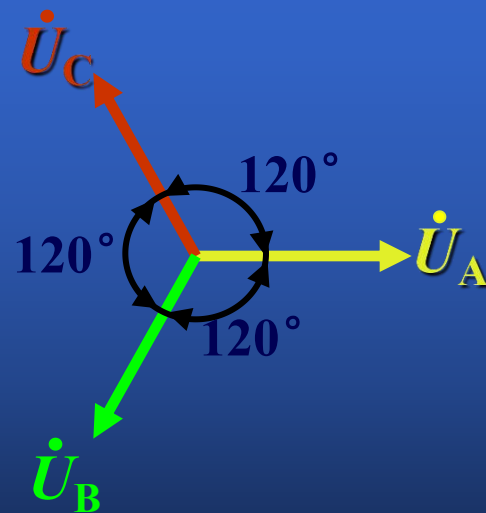
$$u_A = U_m \sin \omega t$$

$$u_B = U_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$u_C = U_m \sin(\omega t + 120^\circ)$$



交流电正弦波



对称三相交流电最大值相等，频率相同，相位互差 120° 。

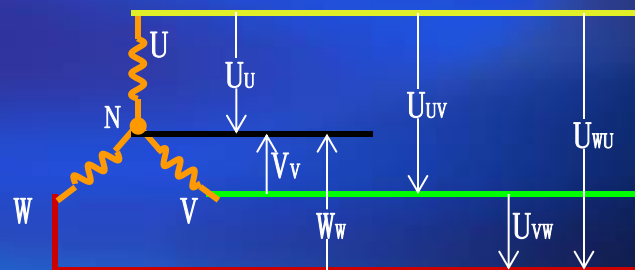
由上图，我们把U、V和W三相交流电动势达到最大值的先后次序称为相序。图中按照U—V—W的顺序称为正序，任意两相对调后称为负序，如V—U—W的顺序为负序。在发电厂中，三相母线的正相序依次用黄、绿、红来表示。

二、三相电源的接法

产生三相电源的发动机或变压器都有三相绕组，在向负载供电时，三相绕组通常接成星形或三角形。

1. 电源的星形连接

将电源的三相绕组的末端连接成一个公共点，始端分别用导线引出接负载，这种连接方式叫做星形连接或称Y接。如右图所示。



三相电源星形连接

三相绕组末端联成的公共点叫做电源的中性点，在电路中用N表示，从中性点引出的导线叫做中性线。当中性线接地时，又叫地线或称零线。

从绕组的始端引出的三根导线称为相线和一根零线组成的供电方式叫做三相四线制，常用于低压配电系统；星形连接的电源也可不引出中性线，由三根相线供电，称为三相三线制，多用于高压输电。

在星形连接的电源中可以获得两种电压，即相电压和线电压。理论和实践都表明，对称三相电源作为星形连接时，线电压的有效值是相电压的 $\sqrt{3}$ 倍。即

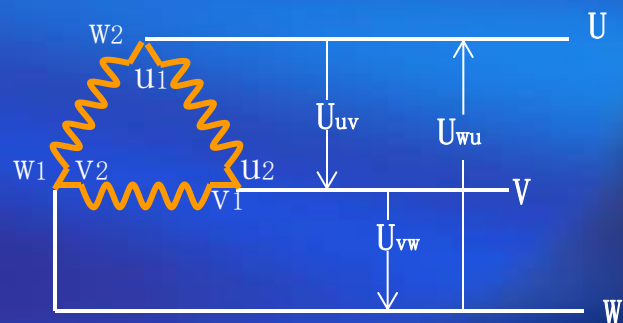
$$U_{\text{线}} = \sqrt{3} U_{\text{相}}$$

2. 电源的三角形连接

将三相电源的绕组首尾依次相连构成闭合回路，在引出导线接负载，这种连接方式叫做三角形连接（如右图）。

电源为三角形连接时，线电压等于相电压，即 $U_{\text{线}} = U_{\text{相}}$ 。

当发电机绕组接成三角形时，在三个绕组构成的回路中总电动势为零，因此在该回路中不会产生环流。但需要注意的是当一相绕组接反时，回路中的电动势不再为零，由于发电机绕组的阻抗很小，会产生很大的环流，可能烧毁发电机绕组。



电源的三角形连接

三、三相负载的连接

在三相供电系统中三相负载的连接与三相电源的连接方法类似。

1. 三相负载的星形连接

通常我们把三相负载接成如右图的三相四线制，把流过各相负载的电流叫做相电流，各相线中的电流叫做线电流，由图可知

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

(1) 三相对称负载

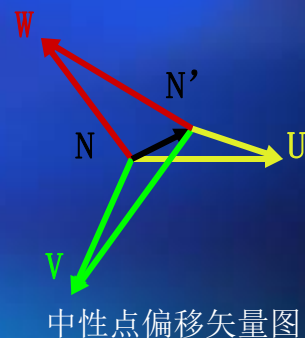
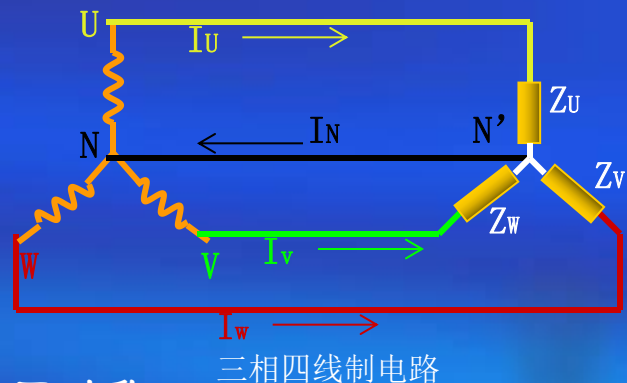
三相负载对称，即阻抗 $Z_U = Z_V = Z_W$ ，由于三相电压对称，所以三相电流对称，根据基尔霍夫电流定律，即有 $\vec{I}_N = \vec{I}_U + \vec{I}_V + \vec{I}_W = 0$

由上述可得出结论：对称负载星形连接时，中线电流为零，所以可以将中线去掉，构成“三相三线制”。

(2) 三相不对称负载

三相负载不对称，只要中线存在，负载的相电压总等于电源的相电压，因此电压仍然是对称的，可以保证负载正常工作。但由于阻抗不完全相等，导致中性线电流 $I_N \neq 0$ 。

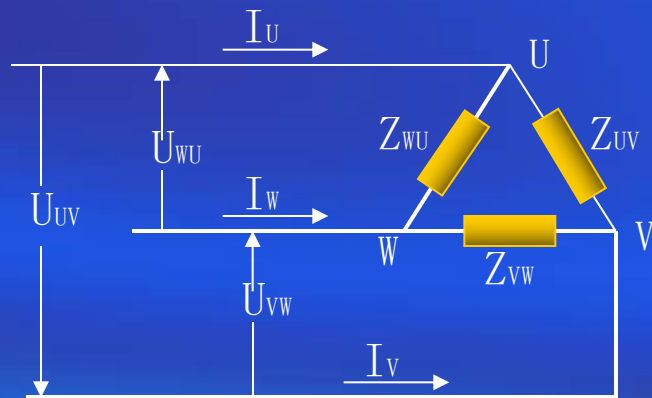
当中线不存在时，由于 NN' 之间产生电压，造成中性点偏移（中性点由 N 移动到 N' ），偏移严重时，由矢量图可知负载电压严重不对称，甚至超过电源相电压，可能造成负载烧毁。



2. 三相负载的三角形连接

三相负载首尾依次相连，构成闭合回路，再把三个连接点与电源三根相线相接，构成负载的三角形连接。（见右图）

在负载的三角形连接中，各相负载两端的相电压和流过的相电流与线电压、线电流的关系如下：



负载的三角形连接

四、三相电路的功率

三相交流电路可以看成是三个单相交流电路的组合，当三相电路中三相负载对称，则有三相总功率为 $P=3U_{\text{相}}I_{\text{相}}\cos\Phi$ 。

在三相对称电路中，不论负载做三角形连接还是做星形连接，其三相电路的功率还可用线电压和线电流来表示。

$$\text{三相有功功率} \quad P = \sqrt{3}U_{\text{线}}I_{\text{线}}\cos\Phi$$

$$\text{三相无功功率} \quad P = \sqrt{3}U_{\text{线}}I_{\text{线}}\sin\Phi$$

$$\text{三相视在功率} \quad P = \sqrt{3}U_{\text{线}}I_{\text{线}}$$

第六节

晶体管与晶闸管