

NONGCUN
DIANGONG
BIDU

农村电工 必读

贺红 李国兴 主编



化学工业出版社

NONGCUN
DIANGONG
BIDU

农村电工 必读

贺红 李国兴 主编



化学工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

农村电工必读/贺红, 李国兴主编. —北京: 化学工业出版社, 2009. 8
ISBN 978-7-122-05992-5

I. 农… II. ①贺…②李… III. 农村-电工-基本知识 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 105231 号

责任编辑: 刘 哲

文字编辑: 孙 科

责任校对: 周梦华

装帧设计: 韩 飞

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

850mm×1168mm 1/32 印张 14 字数 422 千字

2010 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究



前言

我国农村现在大约有 70 万电工在从事变电、配电与用电的安装、施工、检修、试验、运行与维护工作，是一支数量庞大的专业技术队伍。本书正是为广大农村电工编写的参考书，既能学会电气运行与管理的知识，又能帮助“取证”。

全书共分 5 篇 26 个单元，分别介绍了电工基础知识、电机使用与维护、输变电线路的安装、变电所的运行与管理、电气照明等内容。

本书语言通俗，摒弃了电工学中的复杂计算，重点对电气设备的结构、使用方法进行了详细说明，可以起到触类旁通、举一反三的作用，对读者提高理论知识和正确使用电气设备的水平都会有很大帮助。当遇到问题时，通过查阅本书，可以对问题有个基本的判断，明确应从哪里入手分析，不至于无所适从。

本书在编写过程中得到胡霞、张强、陈向东、高昌、张莹莹、屈殿银等的支持和帮助，并参与了部分编写工作，在此一并表示感谢。

由于时间及编者水平所限，不当之处敬请读者不吝赐教。

编者



目 录

第一篇 电工基础知识	1
第一单元：日常生活中的电现象	1
第二单元：直流电路基础知识	14
第三单元：单相交流电及三相交流电	22
第四单元：常用电工工具	40
第五单元：常用元器件	48
第六单元：常用电工仪表	56
第七单元：农村电工安全作业规程	70
第二篇 农村常用电机的运行与维修	83
第一单元：三相异步电动机	83
第二单元：单相异步电动机	112
第三单元：电焊机的原理与结构	126
第四单元：农用水泵的使用与维修	140
第三篇 输电线路基础	169
第一单元：接户线和进户线	169
第二单元：导线的连接和绑扎	174
第三单元：低压配电盘和配电箱	195
第四单元：输电线路的安装与维护	214
第四篇 变电所运行与维护	238
第一单元：变电所电气结构原理	238
第二单元：电气安全与仪器测量	251
第三单元：变压器的原理与运行	277
第四单元：常用电气设备故障与维修	300

第五单元：变电所的倒闸操作规范·····	334
第六单元：变配电所的管理与运行技术规范·····	346

第五篇 电气照明 356

第一单元：常用电光源·····	356
第二单元：常用照明电气线路·····	365
第三单元：典型照明灯具的安装·····	370
第四单元：开关和插座的安装·····	389
第五单元：照明线路的安装和维修·····	407

附 录 434

附录一 常用电气图形符号·····	434
附录二 新旧继电器符号对比·····	437

参考文献 438



第一单元 日常生活中的电现象

“电”说起来一点也不会陌生，电灯发光、电炉生热、电机旋转，在现代生活中，电已经成为我们不可或缺的一样东西。就如同阳光、水、空气一样重要。

电是一种自然现象，是物质运动时一种能量表现形式。从实质上讲，电是一种能量，也常称为电能。

一、电路

1. 电路的构成

电路就是电流的流通途径。它是由一些电气设备或元件为了实现某一功能而按一定方式组合起来的电气结构。电路的种类很多，按照电路的作用分类，常见的有两大类。一类是用于电能的传输与转换，如电力系统；另一类是用于信号的传递和处理，如电子电路系统。

实际电路的组成方式多种多样，但通常都由电源（或信号源）、负载和中间环节三部分组成，如图 1-1-1（a）所示。

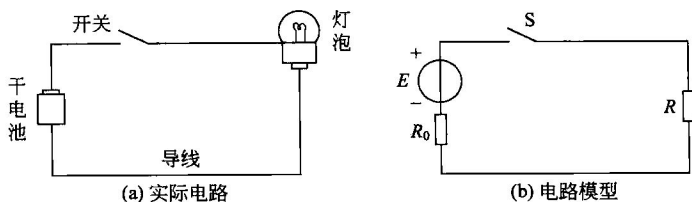


图 1-1-1 实际电路与电路模型

2. 电路模型

为了便于对电路进行分析，往往将电路的实际元件进行简化，将

它们近似看作理想电路元件，并用规定的图形符号表示，即建立电路模型。图 1-1-1 (a) 所示是手电筒的实际电路，其电路元件有干电池、灯泡、开关和导线；图 1-1-1 (b) 所示为其电路模型。在这里，实际元件都用电气符号表示（见表 1-1-1），干电池用理想电压源 E 和电池内电阻 R_0 表示，负载灯泡用电阻 R 表示，导线的电阻忽略不计。

表 1-1-1 常见的几种电气符号

直流电源 E		电容 C		开关 S	
固定电阻 R		电压源		熔断器 FU	
可变电阻 R		电流源		电压表	
电感 L		电灯 EL		电流表	

电源是提供电能的装置。电能可以由其他形式的能量转换而来，也可以由某一种形式的电能转换为另一种形式的电能（如交流电能转换成直流电能）。

负载是取用电能的装置，如电炉、电动机、扬声器等，它们可以将电能转换成其他形式的能量，如热能、机械能等。

中间环节是传输、分配、控制电能的部分，如输电导线、控制元件、开关、保护电器等。对于一个完整的电路来说，电源（或信号源）、负载和中间环节缺一不可。

二、电压、电位与电动势

1. 电压

电荷在电场中要受到电场力的作用。如果在电场力的作用下，电荷沿着力的方向移动了一段距离，那么电场力就对电荷做了功。

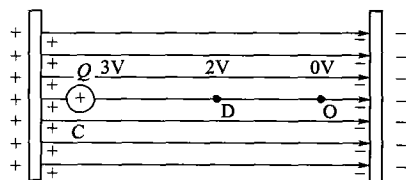


图 1-1-2 均匀电场对电荷做功

在一定的电场中（见图 1-1-2），两点的位置固定的情况下（如从 C 到 D），电荷量 Q 越大，那么把它从 C 点移到 D 点所做的功 A 也越大，但它们的比值是一个固定的数值：

$$\frac{A}{Q} = EL \quad (1-1-1)$$

式中, E 为电场强度; L 为 CD 两点间的距离。

它反映了某一电场中 C 、 D 两点间的一种特定性质。电场的这种特性, 用“电压”这个物理量来表示, 用字母“ U_{CD} ”表示, “ U ”表示电压, 脚注“ CD ”表示从 C 点到 D 点的电压, 即:

$$U_{CD} = \frac{A}{Q} = 1 \text{ 伏特 (V)} \quad (1-1-2)$$

式 (1-1-2) 说明, 单位电荷在电场力的作用下, 从电场中的一点移到另一点时电场力所做的功, 定义为这两点间的电压。单位是伏特, 简称伏, 用“ V ”表示。计量电压的仪表是电压表, 计量小电压时可采用毫伏 (mV)、微伏 (μV), 而计量大一点的电压时采用千伏 (kV)。它们的换算关系是:

$$1kV = 1000V \quad 1V = 1000mV \quad 1mV = 1000\mu V$$

2. 电位

电位表示将电荷从电场中 C 点移动到参考点 D 所要做的功, 即所具有的电压。即称 C 点的电位是 V_C , 单位也是 V 。在同一个电场中只有一个公共参考点, 而且是可任意选定的, 参考点的电位是 0 , 高于参考点的电位是正电位, 低于参考点的电位是负电位。要比较同一电场的两个点的电位高低, 应把它们分别与参考点比较之后才能判断, 如图 1-1-2 中如选“ O ”点为参考点, 则 C 点到参考点“ O ”点为 $3V$, D 点到参考点为 $2V$, 就可知道 C 点电位比 D 点高 $1V$, 即:

$$V_C - V_D = 1V = U_{CD} \quad (1-1-3)$$

从式 (1-1-3) 可见, 从 C 到 D 的电压是 C 点电位和 D 点的电位差, 因此电压也叫电位差, 也就是单位电荷在电场中从 C 点移到 D 点所做的功, 与电压的定义一样。

必须特别注意: 电路中任意点电位的大小与参考点的选择有关。当参考点的选择不同时, 则该点的电位值也随之改变。在图 1-1-3 中, 如果以 A 点为参考点, 则 $V_A = 0$, $V_B = 3V$, $V_C = 9V$, 如以 B 点为参考点, 则 $V_B = 0V$, $V_A = -3V$, $V_C = 6V$ 。可以看出选择不同参考点, 各点的电位是不一样的。

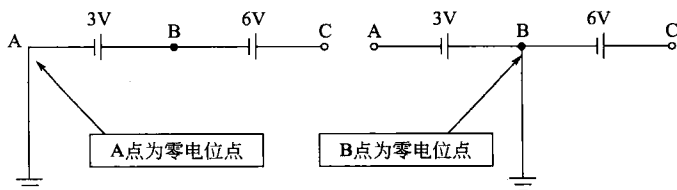


图 1-1-3 不同参考点的比较

电路中任意两点之间的电压值与参考点的选择无关。例如在图 1-1-3 中，若以 A 点为参考点，则：

$$U_{AB} = V_A - V_B = 0 - 3 = -3V$$

若以 B 点为参考点，则：

$$U_{AB} = V_A - V_B = -3 - 0 = -3V$$

测量电压的仪表叫电压表，必须把电压表跨接（并联）在被测电路的两端。测量直流电压时，使用直流电压表，电压表的正端（+）接电路中的高电位端，负端（-）接电路中的低电位端，如图 1-1-4 所示。测量交流电压时，使用交流电压表，无需分正负。

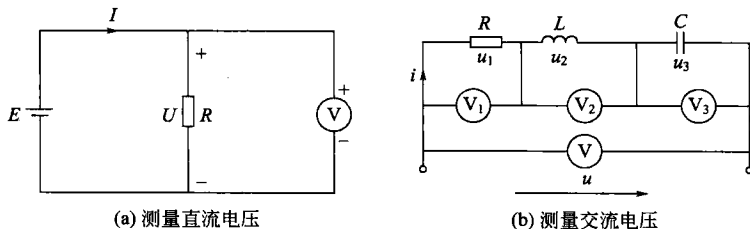


图 1-1-4 电压的测量（电压表在电路中的接法）

规定电压的实际方向是高电位指向低电位。为了计算方便把电压看作是一个代数量，并选一个参考方向，当电压的方向与选定的参考方向一致时为正，反之为负。

电压的方向一般用箭头表示，也可以用“+”“-”极性表示，如图 1-1-5 所示。在进行计算时，如一时无法定电压的实际方向，也可先假设一个电压的参考方向，如计算出来的电压为正，则表示实际方向与假设参考方向一致，如计算出来的电压为负，则表示实际方向与假设参考方向相反。

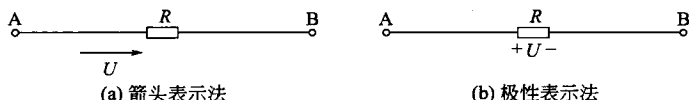


图 1-1-5 电压方向的表示方法

3. 电源电动势

如图 1-1-6 所示，当把灯泡与电源接通后，灯泡就会发光，说明该电路中有电流流过。为了讨论方便，把电路分为两部分。电源以外的部分，连接导线和负载，叫作“外电路”。电源内部叫作“内电路”。电源内部的主要部分是导体，例如：电池的主要部分是电解液和处在电解液中的电极，它们也都是导体。

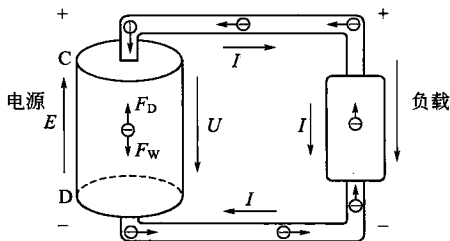


图 1-1-6 电源中的电动势

在外力（由化学反应、电磁感应、光电效应等产生）作用下，电子从导体的 C 端移到 D 端时，是需要做功的（或者正电荷从 D 端移到 C 端也需要做功）。规定在外力作用下，单位正电荷从电源的一端 D 移到另一端 C，克服电场力使导体的正负电荷分离的过程中所做的功“ W_s ”，这个功转换成了正电荷的位能，建立了电场，将非电能转换成电能。此时电源克服电场力所做的功 W_s 与被移动的正电荷 Q 的比值称为电源的电动势，简称“电势”，用字母“ E ”表示即

$$E = \frac{W_s}{Q} \quad (1-1-4)$$

可见电动势“ E ”的单位也是 V，电动势的方向规定为从电源负极指向电源正极，方向与电压相反。电源“电动势”实际上是电场做功的一种特殊形式。式（1-1-4）表明，外力所做的功与电场力所做的功在量值上是等值的，只是方向相反，而且单位都是 V。

三、电流、电阻

1. 导体中的电流

(1) 电流的大小 日常生活中，只要拉一下开关，电灯就亮

了。这说明开关一合上，电灯里就有电流通过且在“做功”（发光）了。

怎样来表示电流的大小（或强弱）呢？是用单位时间内通过导体某一横截面电荷量的多少来衡量电流的大小的，称作“电流强度”，简称“电流”。用字母“ i ”表示（直流用 I ），即

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (1-1-5)$$

式中 i ——电流，A；

q ——电量，C；

t ——时间，s。

1秒内通过1库仑的电荷量时的电流强度为1安培。计算微量电流时常用毫安（mA）、微安（ μA ）为单位，而计量大电流时则采用千安（kA）。它们的换算关系是：

$$1\text{kA} = 1000\text{A} \quad 1\text{A} = 1000\text{mA} \quad 1\text{mA} = 1000\mu\text{A}$$

(2) 电流的方向 大量自由电子的有规则移动便形成了电流，电

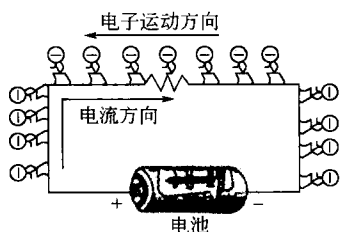


图 1-1-7 电流的方向

流的方向习惯上规定为正电荷的运动方向（即在电源外电路由电池的正极到负极），见图 1-1-7。

为了计算和说明问题方便，把电流看成一个代数量，选定其中一个方向为“正方向”，也叫“参考方向”，如图 1-1-8 中选定电流的参考方向从 A 到 B，而这时电流的实际方向正好也是从 A 到 B，则电流 I_{AB} 为正。如果电流的实际方向是从 B 到 A，尽管电流的数值可能相等，但电流的标号为负，即：

$$I_{AB} = -I_{AB} \quad (1-1-6)$$

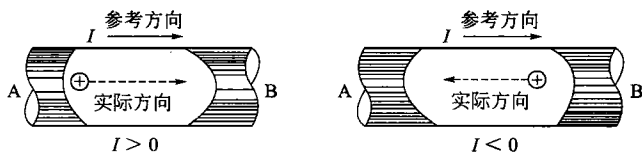


图 1-1-8 电流参考方向

测量电流的仪表叫“电流表”，由于量程不同还可分别叫安培表、毫安表等。测量电流时必须把电流表串接（串联）在被测电路中，测量直流电时使用直流电流表，电流表的正端（+）接电路中的电流流进端，电流表的负端（-）接电路中的电流流出端，如图 1-1-9 所示。测量交流电时使用交流电流表，不需分正负，串接（串联）在被测电路中就可以了。

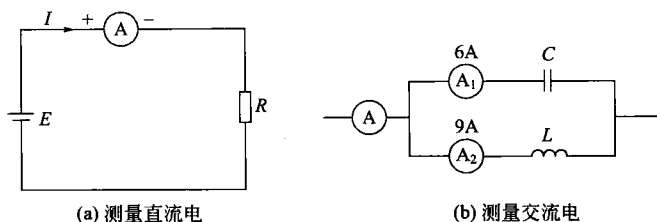


图 1-1-9 电流的测量

2. 导体电阻

(1) 导体、绝缘体与半导体 并不是所有的物体都能很好地导电，对电流都有一定的阻力，而不同的物质导电能力是不同的，衡量物质导电能力的量值是电阻。

像铜、铝或铁这样的一些物质是很容易导电的，把它们叫作导体；而像玻璃、云母、陶瓷之类的物质就很不容易导电，被称为绝缘体。绝缘体并不是绝对不导电，只是它的导电能力与导体相比相差得非常悬殊而已。

像“硅”与“锗”这些物质，它们的导电能力介于导体与绝缘体之间，称为半导体。半导体有很多特殊的性能，尤其是当往纯硅、纯锗中掺入适量的其他杂质之后，其导电能力将会成百万倍地增加。例如当掺有铟、铝、镓或硼等这样的杂质之后就形成了 P 型半导体，而当掺了锑、磷或砷等杂质之后即成为 N 型半导体。利用 P 型及 N 型半导体制成的各种晶体管，是电子设备的基本元件之一。

(2) 导线的电阻、电阻率 拿一根普通的导线来说，由于其长度、截面积以及导线本身的材料不同，就具有不同的电阻。电阻小说明电流容易通过，反之，电阻大电流就不易通过。绝缘体之所以能隔断电的材料，就是因为它有很大的电阻，使电流很难在其中通过。

电阻的单位是欧姆，简称为欧，用符号“ Ω ”表示。计量比较大的电阻可用千欧（ $k\Omega$ ）或兆欧（ $M\Omega$ ）表示。它们之间的关系是：

$$1k\Omega=1000\Omega \quad 1M\Omega=1000k\Omega$$

导体电阻的大小主要由两个因素来确定：一是导体材料的导电性能的好坏；二是与导体的尺寸大小有关。实验证明，同一材料的导体，其电阻与导体的长度成正比，与导体的横截面积成反比。用公式表示为

$$R=\rho \frac{l}{S} \quad (1-1-7)$$

式中 R ——电阻， Ω ；

l ——导线长度， m ；

S ——导体的横截面积， m^2 ；

ρ ——电阻率， $\Omega \cdot m$ 。

一般金属都是导体，铜、铝的电阻率比较小，所以是较好的导电材料，广泛地用来制作导线。

(3) 电阻与温度的关系 导体的电阻不只和导体自身的因素（长度、截面积和材料）有关，还和它以外的其他事物互相联系着和互相影响着。例如温度影响就是这种互相影响的因素之一。

通过实验可以发现，导体的温度变了，电阻值也跟着起变化。一般的金属材料，温度升高后导体的电阻值增加。一般金属材料的电阻温度系数近于 $0.0041\Omega/^\circ C$ 。这个数值是很小的，因此，在温度变化不大时，金属材料的电阻可以近似地认为不变。例如一般使用的电阻器电阻，在温度为 $0\sim 100^\circ C$ 之间，近似地认为不变化。钨丝的电阻温度系数虽然也不大，但是白炽灯中的钨丝，由于工作温度高达 $1800^\circ C$ 左右，所以它的电阻随温度的上升而增加的现象很显著。

标准电阻、电阻箱、安培表的分流器以及电压表的附加电阻等，常选用电阻温度系数很小的合金材料，如康铜、锰铜等，使之受温度变化的影响小。

也有一些导体，如炭、电解液及大多数半导体等，随着温度增加，电阻反而减小，即温度系数为负值。热敏电阻的电阻值对温度是很敏感的。

在生产中常限定导线穿管的根数、电机的工作温度等，就是因为电

阻有随温度变化的规律，使导线工作在安全温度下，确保电气安全。

随着温度的降低，导体的电阻也在减小。某些金属的电阻随着温度的下降而不断地减小，当温度降到一定值（称为临界温度）以下时，此金属的电阻突然变为零，这种现象叫作超导（电）现象，电阻为零的导体称为超导体。

（4）绝缘体（又称电介质） 导电性能很差、电阻系数很大的这类材料称为“绝缘体”。它的电阻常以兆欧计算，称为“绝缘电阻”。

常用绝缘材料有橡胶、塑料、树脂、玻璃、云母、陶瓷、绝缘漆、变压器油等。通常情况下，空气中的自由电子和离子都很少，所以也是绝缘的。

绝缘体并不是绝对不导电的，绝缘体不导电是有条件的。这个条件通常是指电场的强弱或电压的高低。当电压高到一定的数值，绝缘体就发生了质变，变成了导电体。这种情况称为“绝缘击穿”。

绝缘物的击穿分两种情况。一种是击穿后绝缘性能不再恢复，如橡胶、塑料等固体材料，击穿后绝缘物被烧焦了，变成导体。另一种是绝缘击穿后，当击穿电压消失后，它的绝缘性能还可恢复，如空气、绝缘油。

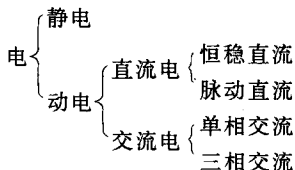
应当指出，绝缘物的绝缘性能除由它的内因决定外，还受外因的影响，例如干燥的空气是绝缘的，潮湿的空气却可导电，干燥的木材是绝缘的，受潮的木材其绝缘性能就显著降低，这是因为水分溶解了可导电的杂质。

另外，使用绝缘材料时，还要注意环境温度的高低。温度过高会使绝缘物变质，影响绝缘物的寿命。所以绝缘物都规定一定的使用温度，并以使用温度（或允许温升）的数值来划分绝缘材料的等级。

四、电的分类

1. 电的分类

根据电子流动与否及是否随时间变化可将电分为以下几种类型：



静电是由于摩擦引起的，是两种相关物体发生自由电子的得失而产生的。这样的电由于它不能在带电物体内“流动”，所以称为“静电”。例如在冬天夜里脱毛衣时，会看到有亮光，这就是产生了静电。

动电是由“电池”、“蓄电池”、“发电机”产生的。电池内的化学反应（化学能）、发电机的机械能提供了使“电”不断地“流动”的原动力，故常称其为电源。由于动电具有能够持续不断地产生与流动的这一特性，使得它的应用范围越来越广。

2. 直流电与交流电

(1) 直流电 凡电流方向不随时间改变的电称为直流电。其中方向和大小均与时间无关、始终保持不变的叫恒稳直流，见图1-1-10(a)；方向不变而大小随时间发生规律性变化的称脉动直流，见图1-1-10(b)

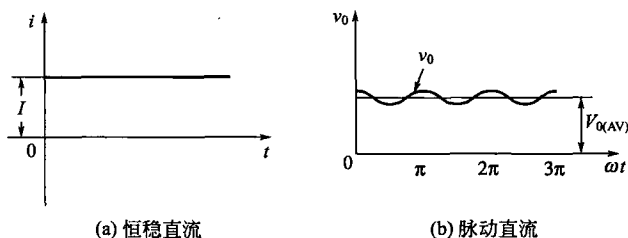


图 1-1-10 直流电

直流电的英文是 Direct Current，简称“DC”。直流电的电荷在一个电路中沿着单一方向流动。日常生活中，电池、蓄电池与手机充电器、直流稳压器提供的电流就是直流电。

(2) 交流电 电流的方向随时间发生周期性交替变化的则称为交流电。交流电一般指大小和方向随时间作周期性变化，且在一个周期内平均值为零的电压或电流。交流电随时间变化的形式可以是多种多样的。不同变化形式的交流电其应用范围和产生的效果也是不同的。以正弦波形变化的电流与电压是正弦交流电，一般所说的交流电就是指正弦交流电。正弦交流电如图 1-1-11(b) 所示。

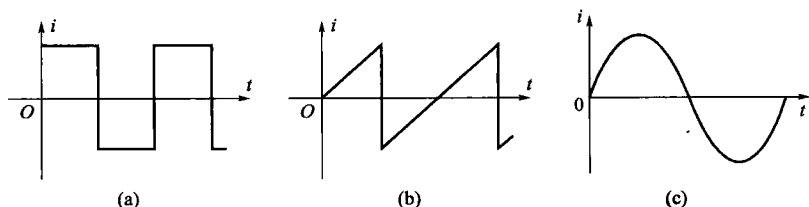


图 1-1-11 交流电

交流电的英文是 Alternating Current, 简称“AC”。正弦交流电应用最为广泛, 交流电通常又有单相交流与三相交流之分。日常生活中, 照明电路、家用电器都使用单相交流电, 工业用电、三相电机都使用三相交流电。

实际电网中大都是采用按正弦规律变化(即具有正弦波形)的交流电。

当交流电采用正弦波后, 则电路电压、电流及电势都将按正弦规律变化, 有利于电路计算及实际测量; 且按正弦规律变化的电流, 变动时无突变现象, 可由此避免因突变而导致的过电压等不利因素。

将含交流电源的电路称为交流电路, 其特征是电路内的电动势、电压与电流是随时间变化而交变的, 故在表达或描述它时, 除了用“大小”之外, 还必须表示出它变化的“快慢”以及初始位置。能够清楚地表明上述三方面变化特征的“最大值”、“频率”以及“初相位”, 称作交流电的“三要素”。

(3) 交流电的“三要素”

① 最大值。它是交流电各不同瞬时值中最大的一个量值。对交流电的正弦波形来讲, 最大值就表示其振幅。由于它表征了正弦曲线的最高(或最低)点对水平中心轴的位移程度, 故也称“峰值”。

② 频率(周期)。正弦交流电每秒内周期性交变的次数, 称为频率, 常用 f 表示, 单位为周/秒或赫兹(简称赫, 并用 Hz 表示)。正弦交流电变化一周所需的时间, 称为交流电的周期, 常用 T 表示, 单位为 s。显然, 交流电的频率与周期是互为倒数关系 ($f=1/T$)。

③ 相位与初相位。“相位”是某一物理量随时间(或空间位置)作周期性交变时, 决定该物理量在任一时刻(或位置)所处状态的一