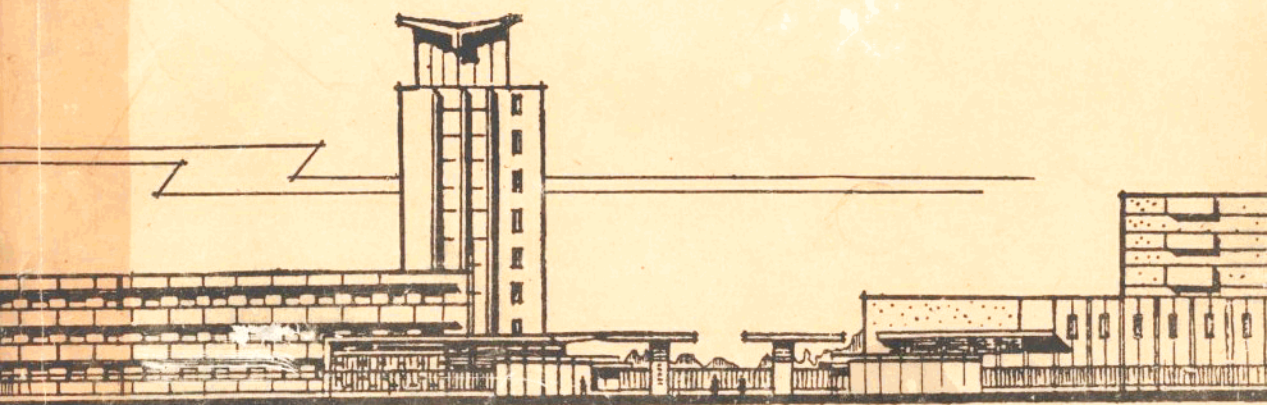


安装工程概预算人员培训教材

电气工程技术

河南省工程建设概预算
人员资格考核认证领导小组 编



中国物价出版社

前 言

根据河南省城乡建设环境保护厅、中国人民建设银行河南省分行联合颁发的豫建定字(1989)第9号文件精神,为了提高概、预算人员的业务技术素质,搞好考核认证前的培训工作,省工程建设概、预算人员资格考核认证办公室组织有关专家、教授编写了这套安装工程概、预算人员培训教材,即《电气工程技术》、《管道工程技术》、《安装工程土建技术》、《建设工程造价与合同管理》、《安装工程定额与预算》共五本。

这套教材原稿经过有关领导、专家、教授审阅并提了修改意见。在审阅的基础上,召开了审定会议,参加审定人员:省考核办主任孙祥升、郑州工学院王占瑞高级工程师、张省吾副教授、郑州航空学院宋文业高级工程师、张中教授、施振洲副教授、刘健之工程师、杨德钦讲师、河南省第五建筑工程公司赵阿凤高级工程师、河南省建设厅定额站代表顾祥庆工程师、刘福平工程师、王仲辉、中国人民建设银行河南省分行代表张伟栋经济师、黄清信工程师、刘建华工程师、华浩、郑州市定额站副站长安建林工程师、朱鸣涛高级工程师、邓明忱工程师。审定人员一致同意,根据所提修改意见进行修改后的教材,作为我省安装工程概、预算人员的资格认证培训教材,正式出版。

这套教材是紧密结合我省现行的安装工程预算定额和实际情况,按600个学时教学编写的,既可以作为初学概、预算编审人员的培训教材,也可供从事概、预算人员自学使用。

本套教材的编写人员:《电气工程技术》张中教授,《管道工程技术》刘健之工程师、杨文杰高级工程师,《安装工程土建技术》宋文业高级工程师,《建设工程造价与合同管理》施振洲副教授、肖明讲师、杨德钦讲师,《安装工程定额与预算》施振洲副教授、张中教授、陈淑媛高级工程师、刘健之工程师、周淑玲同志、顾祥庆工程师。本套教材的编写顾问:孙祥升。

本套教材在编写过程中得到许多单位和同志的大力支持和热情帮助,在此一并表示感谢。本套教材由于是初次编写,难免有不足之处,望发现后及时提出,以便改进完善。

序

本书是由河南省建设工程概预算人员资格认证办公室审定的培训教材。

本书的任务是为提高从事电气设备安装工程概、预算人员的业务水平提供必要的有关电气工程技术知识。

本书主要包括：电气照明工程、电气动力工程、变配电工程、10千伏以下外部线路工程、接地防雷工程，以及电气基础知识和读图技能，并对电气设备安装工程中常用的设备与材料及其安装方法，予以简介。

本书考虑到目前概预算人员队伍的实际情况，其中的电气基础部分起点较低，所以在讲授本课程时，可根据学员的文化水平酌情增减其内容。

本书采用了最新国家标准规定的电气制图及图形符号。单位采用国际单位制(SI)。

本书可作为高等院校工程经济类专业及非电工程专业的教材，也可供从事各种基本建设工作人员参考。

本书的第一章至第四章由张劲格执笔，范生太、张白羽、郑胜利为本书绘描了大量插图。

由于编者水平有限，编写时间仓促，加之改革开放以来新设备、新材料、新技术不断涌现，制图标准的更新，书中错误与不当之处在所难免，请批评指正。

张 中

1992年3月于郑州

目 录

前言

序

第一章 电工基础知识

- 第一节 电的基本知识..... (1)
- 第二节 直流电路..... (8)
- 第三节 电磁的基本知识..... (23)
- 第四节 交流电路..... (31)

第二章 电线电缆

- 第一节 裸电线..... (58)
- 第二节 电力电缆..... (62)
- 第三节 电气装备用电线电缆..... (69)

第三章 电瓷

- 第一节 高压电站电瓷..... (78)
- 第二节 高压线路电瓷..... (81)
- 第三节 低压电瓷..... (85)

第四章 常用绝缘材料及电工型材

- 第一节 常用绝缘材料..... (90)
- 第二节 常用电工型材..... (91)

第五章 电气工程识图

- 第一节 识图基本知识..... (98)
- 第二节 电气工程施工图..... (118)
- 第三节 电气工程施工图的识读..... (127)

第六章 室内配线工程

- 第一节 室内配线工程的施工方法..... (128)
- 第二节 低压进户装置..... (138)

第七章 电气照明工程

- 第一节 照明技术的基本知识..... (141)
- 第二节 电光源..... (149)
- 第三节 照明灯具..... (157)
- 第四节 照明器的配置..... (169)
- 第五节 照明计算..... (177)
- 第六节 照明工程中的电气部分..... (183)

第八章 电气动力工程

- 第一节 三相异步电动机..... (187)
- 第二节 低压电器..... (197)
- 第三节 电力拖动的概念..... (222)
- 第四节 低压成套装置..... (227)
- 第五节 起重设备电气工程..... (241)
- 第六节 车间常用配电装置的安装..... (255)

第九章 变、配电工程

- 第一节 电力变压器..... (268)
- 第二节 高压电器..... (281)
- 第三节 高压成套装置..... (299)
- 第四节 变电所内常用设备安装..... (306)
- 第五节 10千伏及以下变(配)电所..... (313)

第十章 外部线路工程

- 第一节 架空线路..... (328)
- 第二节 电缆线路..... (338)

第十一章 接地装置与建筑防雷工程

- 第一节 接地装置..... (347)
- 第二节 建筑防雷..... (355)
- 第三节 安全用电常识..... (362)

附录

附录一	希腊字母.....	(364)
附录二	常用电工名词、计量 单位及符号.....	(365)
附录三	电气图常用图形符号	(366)
附录四	电气系统图(原)图形	

	符号(电力部分).....	(375)
附录五	电力及照明平面图(原) 图形符号.....	(391)
附录六	电工系统(原)文字符 号.....	(401)
附录七	材料损耗率表.....	(405)

第一章 电工基础知识

电工理论是电气设备制造、使用的基础,是电气工程设计、施工的基础。凡从事电气工程设计、安装、技术经济和工程管理的 人员,都必须具备一定的电工基础理论,本章扼要地介绍有关必备的电工基础知识。

第一节 电的基本知识

一、电荷与电量

电是一种普遍存在的物质运动形式。两种不同质的物体,如丝绸和玻璃棒、毛皮和胶木棒,互相摩擦后;便能吸起轻微物体,这就是物体带电的现象。带了电的物体叫做带电体,带电体所带的电称为电荷。

现代化学和物理学告诉我们,物质的电结构决定了电荷只有正电荷和负电荷两种。自然界的一切物质都是由许许多多的分子组成;分子是由原子组成,而原子还可以分裂为一个原子核和一些电子。图1-1是氢和铝的原子结构示意图。

原子核内有质子和中子。中子不带电,质子带有正电荷,电子带有负电荷。质子和电子是最小的带电质点,也就是最小的电荷(单位电荷)。

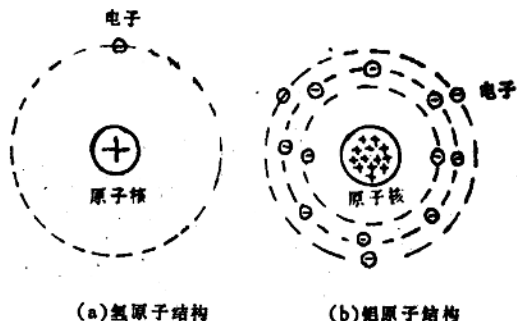


图1-1 原子结构示意图

正常情况下,任何原子里的质子数和电子数相等,而每个质子和电子的电量又是相等的,所以原子带有的正、负电荷数量相等,整个原子呈中性。

电子围绕原子核运动着,并受到原子核的束缚。有些物质(金属)的原子里,最外层的电子与原子核结合较松,很容易脱离原子核的束缚而自由运动,称这样的电子为自由电子。本来是中性的原子在失去电子之后,便会显示出正电性。反之,中性的原子获得了电子时,也会显示出负电性。这就是前文所说的物体带电现象。

带电体所带电荷的多少,称为电量,电量的单位是库仑[C]*。1库仑电量约等于 6.25×10^{18} 个电子的电量,电子的电量常用符号e表示, $e = 1.6 \times 10^{-19}$ 库仑。

二、电场

带电体周围存在着电力作用的空间,这个空间称为电场。电场是一种特殊物质,它虽然

* [] 用以表示国际单位制(SI)单位的国际代号,下同。

不是由分子、原子等构成的，但在与其它物体作用时，却表现出它具有物质的基本属性——力和能的特性。同性电荷互相排斥，异性电荷互相吸引，这种带电体间的相互作用力，就是通过电场来传递的，也就是一个电荷的电场对另一个电荷的作用。

1. 电场强度

电场作用在电荷上的力，叫做电场力。

在电场中引入一个试验点电荷，通过实验可知，试验电荷所受的电场力与试验电荷的电量之比，是一个常数，而与试验电荷的电量无关。即电荷在电场中某点所受到的电场力，取决于该点的电场性质。由此可见，电荷在电场中某点所受到的电场力与其电量之比，反映了该点电场的强弱，我们称这一比值为电场强度，简称场强，用E表示。即

$$E = \frac{F}{q}$$

式中 F——电荷在电场中所受的电场力，单位是牛顿[N]；

q——电荷的电量，库仑。

电场强度是一个有方向的矢量，我们规定正试验点电荷在电场中某点所受电场力的方向，为该点的电场方向。

比较常见的一种电场是均匀电场。所谓均匀电场，是指在该电场区域内的各点电场强度大小相等，方向相同的电场。平行板电容器两极板之间所构成的电场就是均匀电场。

2. 电位能

众所周知，由于重力的作用，物体从高处下落，该过程中重力将做功，所以物体具有重力位能。同样，置于电场中的电荷在电场力的作用下移动时，电场力也做功，所以电荷也具有位能，这种位能叫电位能，用W表示。

在重力场中，物体的位置改变时，位能的变化量等于重力所作的功。同样，置于电场中的电荷移动时，电位能的变化量，也等于电场力所做的功。例如，在图1-2所示的均匀电场中，电荷从A点移到B点时，电场力作了功，电荷的位能减少，其减少量为：

$$W_A - W_B = F l_{AB} = E q l_{AB}$$

当外力克服电场力，把电荷从B点又移回A点时，电场力作负功，电荷的位能增加，其增加量为：

$$W_A - W_B = F l_{BA} = E q l_{BA}$$

为了比较电荷在电场各点所具有的电位能，必须选择一个参考点作为比较的标准，即认为电荷在参考点上的电位能为零。这样，电荷在电场中任一点的电位能，都可用电场力将电荷从该点移到参考点时所作的功来表示。例如，若选图1-2中O点为参考点，那么电荷在电场中A点和B点时的电位能，便可分别表示为：

$$W_A = F l_{AO} = E q l_{AO}$$

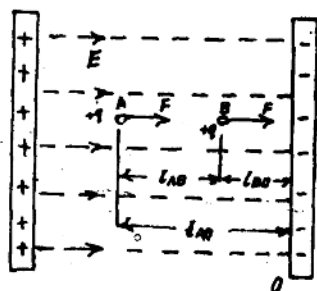


图1-2 电场力移动电荷做功

$$W_B = Fl_{BO} = Eq l_{BO}$$

三、电位、电压与电动势

1. 电位与电压

从式 $W_A = Eq l_{AO}$ 可以看出，电位能与电荷的电量成正比。我们称这个比值 $\frac{W_{AO}}{q}$ 为电场中 A 点的电位，用 U_A 来表示，则

$$U_A = \frac{W_{AO}}{q} = \frac{Eq l_{AO}}{q} = El_{AO}$$

可见，电场中某点的电位，就是单位正电荷在该点所具有的电位能。

电场内两点间的电位差，称为两点间的电压。A、B 两点间的电压用 U_{AB} 表示，则

$$U_{AB} = U_A - U_B = \frac{W_A}{q} - \frac{W_B}{q} = \frac{W_A - W_B}{q}$$

由式可以看出，电场中两点间电压的大小，等于电场力将单位正电荷从一点移到另一点时所做的功。

电位和电压的单位为伏特，简称伏[V]。其辅助单位在电工技术中常用的有千伏和毫伏，换算关系为：

$$1 \text{ 千伏 [kV]} = 1000 \text{ 伏 [V]}$$

$$1 \text{ 伏 [V]} = 1000 \text{ 毫伏 [mV]}$$

电压的正方向，规定为从高电位点指向低电位点，即电位降的方向。

2. 电源的电动势

电池将化学能转化为电能，发电机将机械能转换为电能，我们把将非电能转化为电能的装置，统称为电源。

在电源中，有一种非静电的力叫电源力，它可将电源内部的正负电荷分离，并将正电荷移送至电源正极，负电荷移送至电源负极，从而在电源两极建立起电场，如图 1-3 所示。

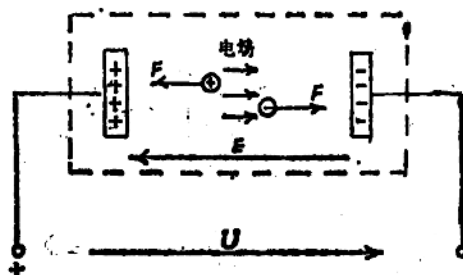


图1-3 电源原理示意图

从图中可以看出，电源内这个电场的电场力与电源力的方向相反，即电场阻碍电荷的分离。并且，两极积聚的电荷越多，电场越强，对电荷分离的阻碍越大。直到两极上的异性电荷达到一定值时，电场力的作用与电源力平衡，电荷便不再向两极移动，电源两极间也就建立起一定的电压。

在上述过程中，电源力反抗电场力作功，使电荷具有了电位能。电源力作功的过程，就是电源将非电能转化为电能的过程。我们把电源力将单位正电荷从电源负极移送至正极所做的功，称为电源的电动势。用 E 表示，则

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

式中 W_E ——电源力做的功，焦耳[J]；

Q ——被移送到两极的电量，库仑；

E ——电动势，伏。

必须注意，电动势只存在于电源内部，其方向是电位升的方向，即从低电位的负极指向高电位的正极。

四、电流

电荷有规则的定向移动，称为电流。在金属导体中，带正电荷的原子核并不移动，电流是由带负电荷的自由电子移动形成的。

金属导体中的大量自由电子总是在金属导体内作不规则的热运动，不会形成电流。但是，如果受到外力(电场力或电源力)的作用时，自由电子就会向一定方向移动而形成电流。也就是说，产生电流的条件是导体两端存在电位差。例如将开关、导线、干电池和电灯相互接通，如图1-4所示，金属导体内的自由电子就能在干电池作用下定向移动，形成电流而使电灯发光。

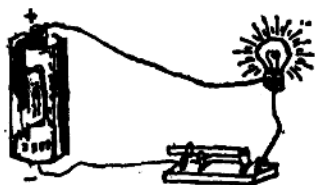


图1-4 电流的形成

电流的大小，用单位时间内通过导体横截面的电量来表示，称为电流强度，简称电流，用符号 I 表示。即：

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

式中 Q ——电量，库仑；

t ——时间，秒[s]；

I ——电流强度，安培[A]。

安培的辅助单位有千安、毫安和微安，其换算关系如下：

$$1 \text{ 千安[kA]} = 1000 \text{ 安[A]}$$

$$1 \text{ 安[A]} = 1000 \text{ 毫安[mA]}$$

$$1 \text{ 毫安[mA]} = 1000 \text{ 微安[} \mu\text{A]}$$

关于电流的方向，长期以来，人们习惯规定以正电荷运动的方向作为电流的方向。这恰好和电子的移动方向相反。但这样规定并不影响对电流的分析和计算，也不影响对电流的测量，所以现在仍把正电荷运动的方向作为电流的方向。

电流分为直流电流和交流电流两种。电流的方向固定不变的称为直流电流。电流的大小和方向随时间作周期性变化的称为交流电流。

五、电阻及电阻率

1. 导体

比较容易传导电流的物体称为导体。常见的导体有银、铜、铝、铁等金属。由于金属中存在大量的自由电子，所以导电性能好。另外，酸、碱、盐类(例如硫酸、熟石灰、食盐等)的溶液里也有许多带正电或带负电的离子，离子能在溶液里自由运动，因此这些溶液也具有好的导电性能。所以，铜、铝等金属和酸、碱、盐类的溶液称为良导体。

含有杂质的水，人体，潮湿的土壤、墙壁、水泥电杆以及其它潮湿的物体也能导电，但是导电性能比较差，不是良导体。

2. 导体的电阻与电阻率

当导体内的自由电子在电场力的作用下定向运动时，会不断地和导体内原子、电子相碰撞，使自由电子的移动受到阻碍。这种阻碍作用叫做导体的电阻。用符号 R 或 r 表示，单位是欧姆，简称欧 $[\Omega]$ 。欧姆的辅助单位有千欧和兆欧，其换算关系如下：

$$1 \text{兆欧} [M\Omega] = 1000 \text{千欧} [k\Omega]$$

$$1 \text{千欧} [k\Omega] = 1000 \text{欧} [\Omega]$$

一般所说的导体是指用各种金属材料制成的导线。导线电阻的大小主要决定于导线的材料性质、长度、截面积和环境温度。

不同材料导线的导电性能优劣，用材料的电阻率来表述。在环境温度为 20°C 时，截面积为1平方毫米，长为1米的一根导体所具有的电阻数值，称为该导体的电阻率。用符号 ρ 表示，单位是欧姆·毫米²/米 $[\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}]^*$ 。电阻率越小，导电性能越好。

同一材料的导线电阻与导线的截面积成反比，和导线的长度成正比。用公式表示

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

式中 L ——导线长度，米；

S ——导线截面积，毫米²；

ρ ——导线电阻率，欧·毫米²/米。

上式说明导线越粗，即导线的截面积越大，电阻就越小；导线越长，电阻就越大。

表1-1中列出几种常用的导体材料在 20°C 时的电阻率。

表1-1 常用导体材料的电阻率

用途	材料名称	电阻率 $\rho(20^{\circ}\text{C})$ 欧·毫米 ² /米	用途	材料名称	电阻率 $\rho(20^{\circ}\text{C})$ 欧·毫米 ² /米
导 电 材 料	碳	10.0	电 阻 材 料	锰 铜	0.42
	银	0.0165		康 铜	0.44
	铜	0.0175		镍 铬 铁	1.0
	铝	0.0283		铝 铬 铁	1.2
	低碳钢	0.13		铂	0.106

* 在SI中，电阻率的单位为欧姆米 $[\Omega \cdot \text{m}]$ ， $1 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} = 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ 。

3. 绝缘体

导电能力非常差, 电流几乎不能通过的物体称为绝缘体。绝缘体具有极少量的自由电子, 当接通电源时, 电流很难通过, 因此就认为它们是不导电的。

常见的绝缘材料有橡胶、电工塑料; 云母、石棉、陶瓷; 绝缘布、纸; 绝缘油、漆; 干燥的木材等。不同的绝缘材料有不同的绝缘性能, 各种绝缘材料的电阻率介于 $10^7 \sim 10^9$ 欧姆·米(等于 $10^{13} \sim 10^{26}$ 欧姆·毫米²/米)之间。

绝缘材料也叫做电介质。

六、电功与电功率

在生产中我们可以看到, 电流通过不同的用电设备能使电能转换为其它形式的能量。例如, 电流通过电动机会带动机器转动, 电能转换成机械能; 电流通过电炉会发热, 电能转换成热能等等。在这些能量转换过程中, 电流做了功。电流所做的功, 称为电功。用符号 W 表示, 单位是焦耳[J]。

我们知道, 电流的形成是电荷受到电源力或电场力作用的结果, 因此, 电流做功的实质就是电源力和电场力所做的功。

电源力或电场力在单位时间内所做的功, 称为电功率, 即:

$$P = \frac{W}{t}$$

式中, 若功的单位用焦耳, 时间单位用秒, 则功率的单位是焦耳/秒, 称为瓦特, 简称瓦[W]。

在实际应用中, 功率的单位还常用千瓦来表示, 其换算关系为:

$$1 \text{ 千瓦} [kW] = 1000 \text{ 瓦} [W]$$

功率与功的关系可改写为下式

$$W = Pt$$

因此, 如功率单位用千瓦, 时间单位用小时, 则功的单位为千瓦小时, 即我们常说的“度”

$$1 \text{ 度} = 1 \text{ 千瓦小时} [kWh] = 1000 \text{ 瓦} \times 3600 \text{ 秒} = 3.6 \times 10^6 \text{ 焦耳}$$

1. 电源的功率

在电源中, 电源力将单位正电荷从负极移送到正极所做的功为电动势, 若电源力移送的电荷量为 Q 时, 则电源力所做的功为

$$W_E = EQ$$

由前文所述, 可知此功就是电源将非电能转换成的电能。

电源在单位时间内所做的功

$$P_E = \frac{W_E}{t} = E \frac{Q}{t} = EI$$

即电源的功率等于电源的电动势和电流的乘积。

2. 负载的功率

用电设备称为电源的负载，简称负载。

我们知道，电场力将单位正电荷从一点移至另一点时所做的功，就是电压，那么在负载中，电场力移动电荷所做的功即为

$$W = UQ$$

式中 U ——负载两端的电压，伏；

Q ——被移送的电量，库仑。

在单位时间内，电场力在负载中所做的功(实际是消耗的电能)即为

$$P = \frac{W}{t} = U \frac{Q}{t} = UI$$

即负载的功率等于负载两端的端电压与负载电流的乘积。

电源和负载在正常工作时，它们的功率都有一定的限值，即电源有允许长期送出的最大功率值，负载有允许长期消耗的最大功率值，我们称这种长期工作时允许的最大功率数值为额定功率。

七、电流的热效应与效率

1. 电流的热效应

当电流通过导体时，由于电子不断地与导体中的原子相碰撞，并把它们在定向运动时所具有的动能传递给这些原子，结果使金属导体中原子的不规则热运动加剧，这时电能就转变成热能，使导体温度升高，这种现象就是电流的热效应。

大量的实验证明，电流通过导体时所产生的热量 Q ，与导体中电流强度的平方，导体的电阻及通电的时间成正比。即

$$Q = I^2 R t$$

式中 I ——电流，安；

R ——电阻，欧；

t ——时间，秒；

Q ——热量，焦耳。

电流的热效应是一种不可避免的自然现象。在生产上，利用电流的热效应，人们制造了各种各样的电热设备和电光源。但是，电流的热效应也有其有害的一面。例如，使输电线路、电器设备发热而损失电能；加速了绝缘材料老化变质而缩短电气设备及材料的寿命，甚至烧毁。

为了保证电气设备不致因电流的热效应而使工作温度异常，对电气设备都规定了其工作电流的最高限值，称为额定电流。

关于额定值，除上述的额定功率、额定电流外，还有额定电压等各种额定值。额定值是制造厂保证产品的使用年限和安全运行的技术条件，也是用户正确使用电气设备的主要依据，所以电气设备的各种额定值有其极重要的意义。

2. 效率

电气设备在能量转换过程中，总要有一部分能量损失掉，我们把电气设备的输出能量与输入能量的比值，称为效率。用 η 表示。

$$\eta = \frac{W_2}{W_1} = \frac{P_2 t}{P_1 t} = \frac{P_2}{P_1} \times 100\%$$

式中 W_1 、 P_1 ——输入的能量与功率；

W_2 、 P_2 ——输出的能量与功率。

效率恒小于1，效率越高表明能量利用越好。

第二节 直流电路

一、电路的组成和作用

电能是一种中间形式的能，人们总是尽可能地将其它形式的能量转换成电能再加以利用。而要完成上述任务，就必须通过各种形式的电路才能实现。

1. 电路的作用

就使用目的的不同，电路的作用大致可以分为如下两个方面：

(1) 电能的输送和变换

解决这方面的问题，就是通常所说的电力工程，它包括发电、变电、输电、配电、电力和照明用电，以及交直流电之间的整流和逆变等等。对于这些电路来说，一般要求具有尽可能小的能量损耗和尽可能高的效率。

(2) 信息的传递和处理

在现代化的生产和科学技术领域中，还会遇到另一些以传递和处理信息为主要目的的电路，例如语言、音乐、文字、图象的广播和接收，生产过程中的自动调节，各种输入数据的数值处理，信息的存贮等等。在这一类电路中，虽然也有能量的输送和变换问题，但其量值很小，人们所关心的是如何准确地传递和处理信息，例如保证信息不失真等问题。

2. 电路的组成

所谓电路，就是电流流通的路径。由于电路完成的功能不同，电路的复杂程度也就不同，但不论其结构的复杂程度如何，都可以归纳为如下三个基本组成部分。

(1) 电源

电源是把其它形式的能转换为电能的装置，如发电机、各种电池等。

(2) 负载

负载是把电能转化为其它形式能量的装置，即利用电能的用电设备，如电动机、电炉和电灯等。

(3) 中间环节

中间环节起传递、分配和控制电能的作用。最简单的中间环节就是开关和连接导线，开关起控制(接通或断开)作用，导线是电流的通道，一般含有保护和测量装置，更为复杂的中

间环节可能是由各种电路元件组成的网络系统，电源接在它的输入端，负载接在它的输出端。

电路有内电路和外电路之分。所谓内电路是指电源内部的电路，其电流方向是从负极到正极；而外电路是指电源外部的电路，其电流方向是从正极指向负极。

3. 电路图

在设计、安装或维修各种实际电路时，经常要画出表示电路连接情况的图。如果画如图1-4所示的实物电路连接图，虽然直观，但很麻烦。所以很少画实物图，而是画电路图。所谓电路图就是用国家规定的电工符号来表示电路的连接情况。表1-2所列是几种常用的电工符号。图1-5是图1-4的电路图。

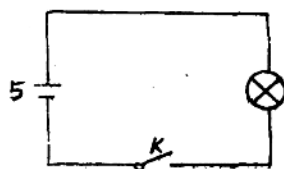


图1-5 电路图

表1-2 电路图中几种常用的电工符号

名 称	符 号	名 称	符 号
电 池		电 容	
导 线		电 灯	
开 关		电 流 表	
保 险 丝		电 压 表	
电 阻		接 地	

4. 电路的状态

电路在工作中，可能处于三种状态，即负载状态、空载状态和短路状态。

(1) 负载状态

观察图1-5所示电路，当开关K闭合时，电路被接通，有电流流过电灯，电灯发光，这种状态称为负载状态。负载状态是电路的工作状态。电路中的电流称为负载电流，是电路的正常工作电流。在一般情况下，负载电流不允许超过电气设备的额定电流。

必须指出，对于诸如白炽灯、电炉之类的用电设备，只要在额定电压下使用，其电流和功率都将达到额定值。但是，对另一些电气设备，如电动机、变压器等，虽然在额定电压下工作，但电流和功率都不一定是额定值。这是因为电动机的电流及其输出功率还要取决于它所带的机械负荷；变压器的电流及其输出功率还要取决于它所带的电负荷。如果它们所带的机械负荷或电气负荷较大时，其负载电流可能超过额定电流，其输出功率可能超过额定功率。这种电流和功率超过额定值工作，叫做过载或过负荷运行。

(2) 空载状态

如果将图1-5所示电路中的开关K断开，则电路不通，电路的这种状态称为空载状态。

或称开路状态。此时，电流为零，电路不输出功率，电源的端电压等于电源的电动势，称此端电压为开路电压，用 U_0 表示。

空载状态电路的主要特征可归纳为

$$\left. \begin{array}{l} U = U_0 = E \\ I = 0 \\ P = 0 \end{array} \right\}$$

(3) 短路状态

短路状态是指电源或负载的两端被导体连接到一起。此时，电源所提供的电流称做短路电流，通常用 I_s 来表示。电路短路时的短路电流要比负载电流大出许多倍，会使电源的温度急剧上升以致烧毁。一般来说，短路是事故状态。

二、欧姆定律

1827年德国物理学家欧姆在实验室中发现了欧姆定律，欧姆定律是电路的最重要的基本定律。

1. 部分电路欧姆定律

所谓部分电路，是指不包括电源在内的外电路，如图1-6所示。

实验证明，导体中的电流强度与加在这段导体两端的电压成正比，与这段导体的电阻成反比。这个关系称为部分电路欧姆定律。用公式表达为

$$I = \frac{U}{R}$$

式中 U ——导体两端的电压，伏；

R ——导体的电阻，欧；

I ——导体中的电流，安。

利用公式，已知其中两个量，就可以求出第三个未知量。

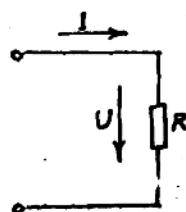


图1-6 部分电路

例：一台电阻炉、在220伏电压作用下，通过电阻丝的电流为5安，求电阻丝的电阻。

解：由公式 $I = \frac{U}{R}$ ，得

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{5} = 44 \text{ 欧}$$

即电阻丝的电阻为44欧。

2. 全电路欧姆定律

(1) 电源的内电路

电源产生电动势，当电源通过外电路将正负电极连通时，便有电流在电源内部流过，电

流在电源内部所受到的阻力，叫做电源的内电阻，简称电源内阻，通常用 r 表示。可见，电源在电路中表现出两个特性：电动势和内阻。因此，在分析电路（求电流和电压之间关系）时，常用一个电动势 E 和一个串联内阻 r 来表示一个电源的内电路。如图1-5所示电路的电灯负载用电阻 R 表示，该电路便表示成如图1-7所示的电路图。

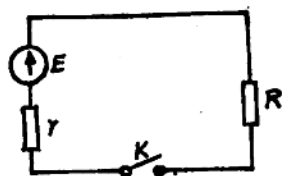


图1-7 简单的全电路

(2) 全电路欧姆定律

全电路是指含有电源的闭合电路，图1-7中的电路就是一个简单的全电路，它包括了内电路和外电路。

在全电路中，电源电动势、电源内阻、外电路负载电阻和电流之间的关系是

$$I = \frac{E}{R + r}$$

式中 E ——电源电动势，伏；

R ——外电路电阻，欧；

r ——内电路电阻，欧；

I ——电路中的电流，安。

上式中的关系，称为全电流欧姆定律，可以叙述如下：全电路中的电流强度与电源的电动势成正比，与整个电路的电阻成反比。

将上式变换后得到

$$E = IR + Ir = U + Ir$$

或 $U = E - Ir$

后式称为电路的电压平衡方程式。式中， U 是外电路电压，是指电路处于负载状态时电源两端的电压，简称端电压； Ir 是内电路电压，简称内阻压降。

例：如图1-7所示的电路，电源电动势 $E=48$ 伏，电源内阻 $r=2$ 欧，负载电阻 $R=18$ 欧，求电路中的电流、电源的端电压、负载上电压降和电源的内阻压降。

解：根据全电路欧姆定律，电路中的电流

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{48}{18 + 2} = 2.4 \text{ 安}$$

根据电路电压平衡方程式，电源的端电压

$$U = E - Ir = 48 - 2.4 \times 2 = 43.2 \text{ 伏}$$

根据部分电路欧姆定律，负载电压降

$$U_R = IR = 2.4 \times 18 = 43.2 \text{ 伏}$$

同理，电源内阻压降

$$U_r = Ir = 2.4 \times 2 = 4.8 \text{ 伏}$$

三、电阻的串联与并联

电阻(负载)由于连接方式不同，可以得到不同的电路形式。电阻的串联与并联是负载的

最基本的连接方式。下面我们来讨论这两种电路的特点。

1. 电阻的串联

把若干个电阻依次相连接，使电流只有一条通路，电阻的这种连接称为电阻串联，如图1-8所示。

(1) 电阻串联的性质

在串联电路中，由于电流只有一条通路，所以流过各电阻的电流为同一电流。即

$$I_1 = I_2 = I_3 = I$$

在串联电路中，从图1-8的电路中不难看出，电路两端的总电压等于各部分电路两端的电压之和。即

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

在串联电路中，若将串联电路的总电阻用 R 表示，根据公式 $U = IR$ ，可以导出。

$$\begin{aligned} R &= \frac{U}{I} = \frac{U_1 + U_2 + U_3}{I} \\ &= \frac{U_1}{I} + \frac{U_2}{I} + \frac{U_3}{I} = R_1 + R_2 + R_3 \end{aligned}$$

即，串联电路的总电阻等于各串联电阻之和。

对任意 n 个电阻串联，则有 $R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$ 。

电路的总电阻称为电路的等效电阻，串联电路的等效电阻大于其中的任一电阻。

(2) 串联电路的电压比

根据电阻串联的等效关系，电路中的电流

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$\text{所以 } U_1 = IR_1 = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_3} \cdot R_1 = \frac{R_1}{R} U$$

$$U_2 = IR_2 = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_3} \cdot R_2 = \frac{R_2}{R} U$$

$$U_3 = IR_3 = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_3} \cdot R_3 = \frac{R_3}{R} U$$

可见，在串联电路中，任一电阻上分得的电压取决于该电阻与总电阻的比值。这些比值

$\frac{R_1}{R}$ 、 $\frac{R_2}{R}$ 、 $\frac{R_3}{R}$ 称为分压比。

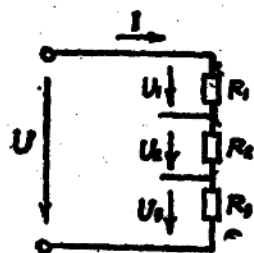


图1-8 电阻串联电路