

电工产品基础知识

试用教材

湖北财经学院国民经济计划教研室选编

1979

说 明

我們选編的机电設備基础知識，是作为我院物資計劃班的試用教材，也可供从事物資管理实际工作的同志参考。

本教材包括《电工产品基础知識》和《机械产品基础知識》两冊。本冊是《电工产品基础知識》，由电工理論、电机、电器、电材四方面的內容組成，共分十二章。前三章选編了一定分量的电工原理知識；第四章至第七章是討論电机，包括直流电机、異步电动机、同步电机和变压器；第八章、第九章分別敘述高压电器、低压电器；第十章簡略地介紹了电焊机；最后两章是分析电綫电纜和絕緣材料。

电工产品繁多，而且不断出現新的品种。作为教材不可能也不必要包罗万象，繁瑣地談到所有产品及其生产和使用的領域。我們从物資計劃管理的教学要求出发，只限于对通用性的典型产品，側重从工作原理、基本結構、主要用途、产品分类和型号編制进行闡述，至于产品的生产工艺，原理上的公式推导及演証，結構的計算等，一般都省略了。这一点，正是本书与其他专业的教材不同之处。

本书在选編过程中，参考应用了兄弟院校的有关教材和資料，并得到国家物資总局、湖北省物資局、湖北省机电設備公司、北京經濟学院等許多单位的热情支持，大力協助，特此深表感謝。由于我們水平有限，缺乏經驗，其中錯誤和不妥之处在所难免，敬請同志們批評指正。

編 者

一九七九年一月

目 录

第一章 直流电路	1
第一节 电路及电路中的几个基本物理量.....	1
第二节 直流电路的基本计算.....	10
第三节 磁和电磁.....	21
第四节 电磁感应和电感.....	27
第二章 交流电路	35
第一节 正弦交流电动势的产生.....	35
第二节 正弦量的相位、初相位和相位差.....	39
第三节 正弦电流的有效值.....	41
第四节 纯电阻电路.....	43
第五节 纯电感电路.....	46
第六节 纯电容电路.....	49
第七节 交流电的向量表示方法.....	52
第八节 电阻电感串联电路.....	55
第九节 电阻和电容串联的交流电路.....	60
第十节 电阻、电感和电容串联的交流电路.....	62
第十一节 三相交流电路.....	66
第三章 磁路的基本理论	75
第一节 铁磁性材料的特性.....	75
第二节 磁路和磁路欧姆定律.....	77
第三节 铁磁性材料的磁饱和现象及磁滞现象.....	79
第四节 磁路和电路的比较.....	83
第五节 交流铁芯线圈电路中的感应电动势及电压.....	85
第六节 交流铁芯线圈电路中电流的波形畸变.....	87
第七节 交流磁路的气隙.....	88
第八节 涡流现象和涡流损失.....	89
第九节 磁滞损失.....	91
第十节 交流磁路与直流磁路的比较.....	91
第四章 直流电机	93
第一节 直流发电机的基本工作原理.....	93
第二节 直流电动机的基本工作原理.....	96
第三节 直流电机的构造.....	97
第四节 直流电机的几个基本物理量.....	101

第五节	直流发电机	104
第六节	直流电动机	107
第七节	直流电机的铭牌和系列	109
第五章	三相异步电动机	115
第一节	异步电动机的工作原理	115
第二节	异步电动机的基本结构	120
第三节	定子和转子的电路分析	122
第四节	三相异步电动机的工作特性	126
第五节	双鼠笼式和深槽式电动机	132
第六节	绕线式异步电动机	134
第七节	异步电动机的型号和系列	136
第六章	同步电机	142
第一节	同步电机的重要意义及工作原理	142
第二节	同步发电机的基本结构	144
第三节	同步发电机的磁路和感应电动势	147
第四节	同步发电机的电枢反应	150
第五节	同步发电机的电路分析	155
第六节	同步发电机的性能	159
第七节	同步发电机的功率	162
第八节	同步电动机	168
第九节	同步电机的额定值和系列	174
第七章	变压器	179
第一节	变压器的用途和分类	179
第二节	变压器是怎样工作的	181
第三节	变压器的基本构造	182
第四节	变压器的电路分析	184
第五节	变压器两边的电压、电流与线圈匝数的关系	186
第六节	变压器的特性	187
第七节	变压器线圈的连接	188
第八节	变压器的温升与冷却	190
第九节	变压器的铭牌值和型号	192
第十节	常用变压器系列	194
第八章	高压电器	198
第一节	主要参数和型号编制方法	198
第二节	高压断路器	202
第三节	高压隔离开关	210
第四节	负荷开关	212
第五节	高压熔断器	216
第六节	避雷器	217

第九章 低压电器..... 220

第一节 低压电器分类及型号编制..... 220

第二节 刀开关和转换开关..... 223

第三节 按钮开关..... 227

第四节 熔断器..... 230

第五节 自动开关..... 235

第六节 接触器..... 242

第十章 手工电弧焊机..... 247

第一节 手工电弧焊机的分类与型号..... 247

第二节 交流弧焊机..... 249

第三节 直流弧焊机..... 251

第四节 焊接整流器..... 252

第五节 交流、直流电弧焊机比较..... 253

第十一章 电线电缆..... 254

第一节 电线电缆的用途和基本结构..... 254

第二节 电线电缆类别和型号编制..... 257

第三节 裸电线..... 268

第四节 电磁线和布电线..... 274

第五节 电缆..... 281

第十二章 绝缘材料..... 292

第一节 绝缘材料的用途、分类及型号编制..... 292

第二节 绝缘材料的性能..... 295

第三节 浸渍纤维和薄膜材料..... 298

第四节 层压制品材料..... 305

第五节 云母及其制品..... 308

第一章 直 流 电 路

作为电工产品的理论基础，我们选编了有关电路的基本理论，分为三章，即直流电路、交流电路、磁路基本理论。

本章重点介绍常用电工物理量的定义和概念，电路的基本定律，直流电路的基本计算，以及电磁感应的基本现象。这些基本概念，虽然都是从直流电路的物理过程中得到的，但是对于分析交流电路和电磁感应的原理，是完全适用的和必要的，对我们掌握一定的电工基础理论和学好电工产品基本知识，也是必要的条件。这一点，我们必须充分注意。

第一节 电路及电路中的几个基本物理量

本节从最简单的直流电路谈起，说明电流、电压、电位、电位差、电动势、电阻、电功率、电能的基本定义和基本物理概念，以及与这些物理量相联系的基本公式；同时阐明电压、电流、电阻三者关系的欧姆定律。这些定义、概念、公式、定律，对我们今后的学习将有着重要作用。

1. 电 路

图1—1是一个最简单的电路。电路就是电流所流经的路径。它是由电源、负载(负荷)、连接导线和开关三个基本部分组成的。当电路接通时，灯泡就会发光，这表明在电路中通过了电流。

图中蓄电池是这个电路的电源。在它内部电源力的作用下，可以使电源的两极保持一定的电位差(电压)，使得电路中的电流源源不断。蓄电池内部的电源力来自蓄电池内部的化学能，这种化学能是蓄电池在充电时由电能转换而来的。当蓄电池的两极接上负载时，它就处于放电状态，并将化学能转换为电能输送给负载。工业上常用的发电机，就是把机械能转换为电能供给负载的。所以说，电源是把其它形式的能量转换为电能的设备。

电灯是这个电路的负载。负载是电路中消耗电能的设备。电灯就是把电能转换为光能(以及热能)的一种负载。其它如电炉、电烙铁、电动机等也都是电路的负载。它们分别把电能转换为热能和机械能等多种不同形式的能量。

导线和开关，是电源和负载之间必不可少的连接和控制部分，只有将开关合上把电路接通时，才能有电流通过负载。有时候，在电路中还装置上各种测量仪表，使得我们能够了解电路的工作情况。

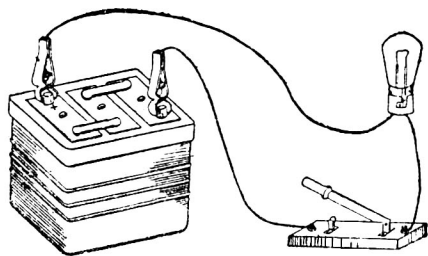


图1—1 由电源、负载、连接导线和开关等组成的最简单电路

当然，在实际工作中所遇到的各种电路要比这个电路复杂得多，但是，不管电路的结构怎样复杂，它们的基本组成部分及工作原理都是相同的。

工程上用的电路图纸，可分为原理接线图和装配图两种。原理接线图只表示线路的接法，并不反映电路的几何尺寸和各种元件的实际形状。装配图除了表示电路的实际接法外，还要画出有关部分的装置与结构，图1—2就是图1—1所画实际电路的原理接线图。

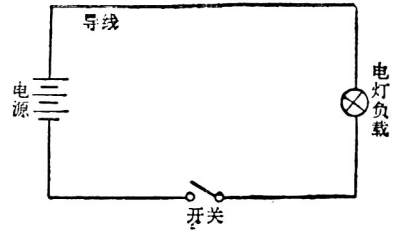


图1—2 用原理接线图表示电路

2. 电 流

什么叫做电流呢？我们知道，金属导体中的自由电子在电场力的作用下，会向电场强度的反方向移动。电荷的有规则的定向运动，就形成了电流。图1—3所表示的就是在电场力的作用下，导线中自由电子的有规则的定向运动所形成的电流。不过，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。所以在AB导线中，电子运动的方向是由A向B，电流的方向则是由B向A。

我们用每秒钟通过导线某一截面的电荷量（电量）的多少来衡量电流的强弱，叫做电流强度（简称电流），用符号 I 表示。如果用符号 Q 表示通过导线某一截面的电量， t 表示通过电量 Q 所用的时间，则电流强度的计算公式是

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-1)$$

电流的单位是安培（简称安），用符号 A 表示。如果每秒钟有1库仑的电量通过线的某一截面，这时的电流就是1安培，即

$$1 \text{ 安培} = \frac{1 \text{ 库仑}}{1 \text{ 秒}}$$

电流很小时，常用毫安（ mA ）或微安（ μA ）做单位（毫表示千分之一，微表示百万分之一）。

$$1 \text{ 毫安} (mA) = \frac{1}{1000} \text{ 安} (A) = 10^{-3} \text{ 安} (A)$$

$$1 \text{ 微安} (\mu A) = \frac{1}{1000000} \text{ 安} (A) = 10^{-6} \text{ 安} (A)$$

电流很大时，常以千安（ KA ）为单位，1千安（ KA ）= 1000安（ A ）= 10^3 安（ A ）。

3. 电压、电位、电位差

当电场力使电荷移动时，我们就说电场力对电荷做了功。图1—4所示的是把一个试验电荷 q_0 放进均匀电场中（均匀电场中各点的电场强度大小相等、方向相同，即试验电荷在各点所受到的电场力的大小相等、方向相同）， q_0 就会在电场力 f 的作用下，沿着电场强度的方向从 a 点移到 b 点，这时电场力做了功。

这个功究竟有多大呢？设图1—4中 a 点和 b 点之间的距离是 l_{ab} ，则电场力 f 将 q_0 由 a 点移到 b 点所做的功是 $A_{ab} = f l_{ab}$



图1—3 在电场力的作用下，自由电子的有规则的定向运动形成了电流

如果电荷的电量增加一倍,那么作用在电荷上的电场力也增加一倍,电场力所做的功也就相应地增加一倍。也就是说,在一个已知的电场内,电场力 f 所做的功 A_{ab} 与电荷量是成正比的。因此,在这个电场内,比值 $\frac{A_{ab}}{q_0}$ 是一个恒定不变的量。当 a 点和 b 点的位置给定时,这个比值只和电场本身的性质有关,因此可以用这个比值来反映电场的性质,通常把它叫做 a 点和 b 点之间的电压,用符号 U_{ab} 来表示,即

$$U_{ab} = \frac{A_{ab}}{q_0} = \frac{f l_{ab}}{q_0} \quad (1-2)$$

所以,电场中 a 、 b 两点间电压的大小,等于电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点时所做的功。

电压的单位是伏特(简称伏),用符号 V 表示。

在需要测量很低的电压时,用毫伏(mV)或微伏(μV)做单位

$$1 \text{ 毫伏 (mV)} = \frac{1}{1000} \text{ 伏 (V)} = 10^{-3} \text{ 伏 (V)}$$

$$1 \text{ 微伏 } (\mu V) = \frac{1}{1000000} \text{ 伏 (V)} = 10^{-6} \text{ 伏 (V)} = 10^{-3} \text{ 毫伏 (mV)}$$

需要测量很高的电压时,用千伏(KV)做单位

$$1 \text{ 千伏 (KV)} = 1000 \text{ 伏 (V)} = 10^3 \text{ 伏 (V)}$$

电压又叫做电位差,它表示电场中两点间电位的差别。那么什么叫做电位呢?

我们比较一下,在图1—5所示的均匀电场中,电场力 f 把电荷 $+q_0$ 从 a 点移到 o 点和从 b 点移到 o 点所做的功。

假设 a 点与 o 点之间的距离是 l_{ao} , b 点与 o 点之间的距离是 l_{bo} ,则电场力 f 将 $+q_0$ 从 a 点移到 o 点所做的功,是 $A_{ao} = f l_{ao}$; 电场力 f 将 $+q_0$ 从 b 点移到 o 点所做的功,是 $A_{bo} = f l_{bo}$ 。

前面已经说过,电场力对电荷做功的大小和电荷的电量成正比。因此,比值 $\frac{A_{ao}}{q_0}$ 和 $\frac{A_{bo}}{q_0}$ 都代表电场力移动单位正电荷所做的功。如果我们拿 o 作为参考点(或者叫做基准点)来比较,那么由于 l_{ao} 比 l_{bo} 大,所以 A_{ao} 比 A_{bo} 大,也就是 $\frac{A_{ao}}{q_0}$ 比 $\frac{A_{bo}}{q_0}$ 大。我们把比值 $\frac{A_{ao}}{q_0}$ 叫做 a 点的

电位,用符号 φ_a 表示,则 $\varphi_a = \frac{A_{ao}}{q_0}$; 同样的道理, b 点的

电位可以表示为 $\varphi_b = \frac{A_{bo}}{q_0}$ 所以,电场力将单位正

电荷从电场中的某点移到参考点(参考点的电位规定为零)所做的功,叫做该点的电位。

a 、 b 两点电位的差别,叫做这两点之间的电位差,即

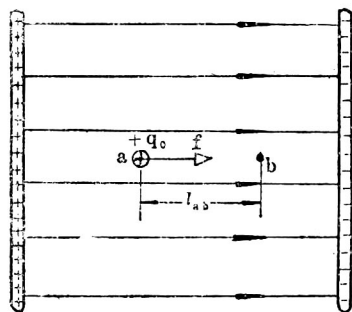


图1—4 在均匀电场中,电场力把电荷 $+q_0$ 从 a 点移到 b 点,电场力做了功

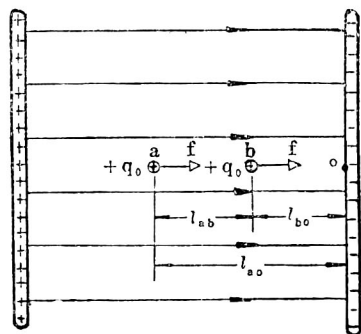


图1—5 在均匀电场中,电场力 f 把电荷 $+q_0$ 从 a 点移到 o 点和从 b 点移到 o 点所做的功

$$\varphi_a - \varphi_b = \frac{A_{a0}}{q_0} - \frac{A_{b0}}{q_0} = \frac{fl_{a0}}{q_0} - \frac{fl_{b0}}{q_0} = \frac{f}{q_0} (l_{a0} - l_{b0})$$

从图1—5可以看出 $l_{a0} - l_{b0} = l_{ab}$

所以
$$\varphi_a - \varphi_b = \frac{fl_{ab}}{q_0}$$

根据a、b两点间的电压,
$$U_{ab} = \frac{A_{ab}}{q_0} = \frac{fl_{ab}}{q_0}$$

所以
$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b \quad (1-3)$$

从此可以知道, a、b两点之间的电位差就是a、b两点之间的电压。也就是说, 电压又叫做电位差, 它表示电场中两点间电位的差别。因此, 我们也可以说, 电场中的某点和参考点(零电位点)之间的电压, 就是该点的电位。如图1—5中的a点与参考点o点之间的电压是

$$U_{a0} = \varphi_a - \varphi_0$$

由于 $\varphi_0 = 0$, 所以 $U_{a0} = \varphi_a$, 即a点与参考点o点之间的电压, 就是a点的电位。电位的单位也是伏特。

4. 电 动 势

当我们把电灯或电烙铁接到任何一个电源(干电池、蓄电池、发电机等)上去的时候, 电灯就会发光, 电烙铁就会发热, 说明它们中间有电流流过。前面已经讲过, 电流是由电位差(即电压)引起的。这就说明, 电源的两极之间存在着电位差。那么, 电源两极之间的电位差是怎样产生的呢?

在各种不同的电源中, 产生电位差的原因是不同的。例如, 在电池中是由于电池内部电解液和极板之间的化学作用; 在发电机中是电磁感应作用; 在热电偶中是两种不同金属连接处的热电效应; 在光电池中是光电效应等等。但是, 它们都具有一个共同点, 就是能把电源内部导体中所存在的正、负电荷分别向两极推动, 使得一个极具有一定量的正电荷, 另一个极具有一定量的负电荷, 于是在两极之间就形成了电场, 出现了一定的电位差。我们把电源内部这种能推动电荷移动的作用力, 统称为电源力。

电源力既然能使电荷移动, 就说明它能够做功。电源力将单位正电荷从电源负极移到正极所做的功, 就叫做电源的电动势, 见图1—6, 用符号E来表示, 即

$$E = \frac{A_{BA}}{q_0} \quad (1-4)$$

式中 A_{BA} 代表电源力将电荷 q_0 从负极B移到正极A所做的功。所以电动势是衡量电源力作功能力的一个物理量。这和用电压来衡量电场力作功的能力是类似的。它们的区别是, 电场力能够在外电路(即电源以外的电路)中把正电荷从高电位点(正极)移向低电位点(负极), 而电源力却能把电源内部的正电荷从低电位点(负极)移向高电位点(正极)。

从图1—6所示的蓄电池来说, 在它内部电源力的作用下, 正极板A上堆积了大量的正电荷, 负极板B上堆积了大量的负电荷。由于正极板A的电位高于负极板B的电位, 所以在两极之间接入负载(图中未画出负载电路)时,

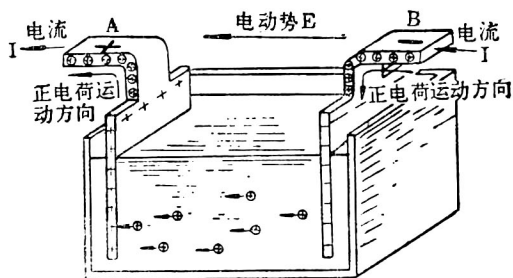


图1—6 电源的电动势

正电荷就在电场力的作用下，从正极经过负载流向负极。这时两极板上的电荷会不会减少呢？不会的。因为当正电荷在电场力的作用下从正极经负载向负极移动时，在电源内部正电荷在电源力的作用下，将会源源不断地从负极补充到正极上去，这样就保持了两极间的电位差不变，从而维持了电流持续不断地通过负载。由此可见，在电源内部电流是从负极（低电位端）流向正极（高电位端）；而在电源外部的电路中，电流是从正极（高电位端）通过负载流向负极（低电位端）。

5. 电阻和电阻率

当把不同的负载接到电源上去的时候，负载中通过的电流大小是不相同的。例如，在一根铜棒的两端和一根铁棒的两端加上同样的电压，在这两棒中的电流将会相差很大，这是因为不同材料对于电流具有不同阻力的缘故。我们把加在导体两端的电压和通过导体的电流的比值，叫做电阻。

衡量电阻大小的单位是欧姆（简称欧），用符号 Ω 表示。如果在导体两端加上1伏的电压，通过导体的电流是1安，那么，这个导体的电阻就是1欧姆，即

$$1\text{欧姆}(\Omega) = \frac{1\text{伏特}(\text{V})}{1\text{安培}(\text{A})}$$

实用上有时嫌欧姆这个单位太小，可以用千欧（ $\text{K}\Omega$ ）和兆欧（ $\text{M}\Omega$ ）做单位

$$1\text{千欧}(\text{K}\Omega) = 1000\text{欧}(\Omega) = 10^3\text{欧}(\Omega)$$

$$1\text{兆欧}(\text{M}\Omega) = 1000\text{千欧}(\text{K}\Omega)$$

$$= 1000000\text{欧}(\Omega) = 10^6\text{欧}(\Omega)$$

导体的电阻不仅和导体的材料种类有关，而且还与导体的尺寸有关。实验证明，同一材料导体的电阻和导体的截面积成反比，而和导体的长度成正比。也就是说，导体的截面积愈大，电阻就愈小；导体愈长，电阻就愈大。这种情况和水在水管中流动时所遇到的阻力是类似的，管子愈细愈长，阻力就愈大。用公式表示就是

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-5)$$

式中 l ——导线长度，单位是米；

S ——导线截面积，单位是平方毫米；

ρ ——比例常数，叫做导体的电阻率，单位是 $\frac{\text{欧} \cdot \text{毫米}^2}{\text{米}}$ ，电阻率 ρ 是指长1米，

截面为1平方毫米导体的电阻值。

例如，铜的电阻率 $\rho = 0.0175 \frac{\text{欧} \cdot \text{毫米}^2}{\text{米}}$ ，就是指一根1米长，截面为1平方毫米的铜棒的电阻值为0.0175欧。

导体的电阻与温度有关，一般来说，温度上升，电阻增加。导体温度从 0°C 升到 100°C ，每平均上升1度电阻的改变值与 0°C 时电阻之比，叫平均温度系数，用“ α ”表示，单位为 $1/^\circ\text{C}$ 。如果知道导体的平均电阻温度系数（简称电阻温度系数），我们就可以算出温度变化时的电阻。例如， R_1 是温度 t_1 时的电阻， R_2 是温度 t_2 时的电阻， α 是电阻温度系数，当温度变化 1°C 时，电阻的改变量是 αR_1 。当温度变化 $(t_2 - t_1)$ 度时，电阻的改变量是 $\alpha R_1 (t_2 - t_1)$ 。把这个改变量加上 t_1 时的电阻 R_1 ，就是 t_2 时的电阻值 R_2 ，即

$$R_2 = R_1 + \alpha R_1 (t_2 - t_1)$$

$$= R_1 [1 + \alpha (t_2 - t_1)]$$

几种常用材料在20°C时的电阻率，列在表1—1中。

表 1-1* 材料的电阻率和电阻温度系数

用 途	材 料 名 称	电 阻 率 ρ (20°C) (欧·毫米 ² /米)	平均电阻温度系数 α (0~100°C) (1/°C)
导电材料	碳	10.0	-0.0005
	银	0.0165	0.0036
	铜	0.0175	0.004
	铝	0.0283	0.004
	低 碳 钢	0.13	0.006
电阻材料	锰 铜	0.42	0.000005
	康 铜	0.44	0.000005
	镍 铬 铁	1.0	0.00013
	铝 铬 铁	1.2	0.00008
	铂	0.106	0.00389

* 表1—1 给出的是近似值。这些数值随着材料纯度和成分的不同而有所变化。表中碳的电阻温度系数前有负号，表示碳的电阻值随着温度的升高而降低

从表1—1可以看出，在这些常用的导电材料中，除了银之外，铜的电阻率最小，导电性能最好，铝的导电性能次之。由于我国铝的储藏量非常丰富，价格比铜低得多，所以目前输电线多数采用铝线；电机及变压器的绕组也大量采用铝导线。

电阻率比较高的材料主要用来制造各种电阻元件。例如，镍铬合金的电阻率较高，并有长期承受高温的能力，因此常用来制造电热器的发热电阻丝。常见的线绕电阻和金属膜电阻，也多半是用镍铬合金制造的。碳可以制造电机的电刷、电弧炉的电极，以及常见的碳膜电阻等。

6. 欧 姆 定 律

我们知道，当电阻的两端有电位差（电压）时，在电阻中就有电流通过。那么，电流的大小和电压的高低有什么关系呢？

我们先做一个简单的实验。把电池组、电阻、伏特表和安培表按图1—7所画的实验电路连接起来。图中连接导线的一端可以经过转换开关在A、B、C、D、E各点上移动，以便用来调节电源电压为2伏、4伏、6伏、8伏及10伏。保持电

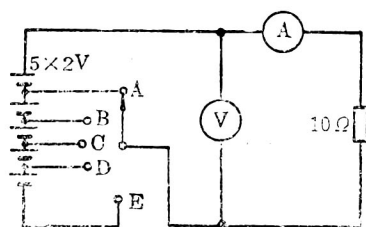


图1—7在固定电阻中测量电压与电流关系的实验电路

路的电阻不变，改变电压的数值，观察电流的变化。把测量所得的电压、电流数据列入表1—2中。分析这些数据即可看出，在电阻不变时，电流随电压成正比例地增加。

表1—2 在固定电阻中电压与电流的关系

位 置	U(伏)	I(安)	R(欧)
A	2	0.2	10
B	4	0.4	10
C	6	0.6	10
D	8	0.8	10
E	10	1.0	10

我们再按图1—8的实验电路接线，保持电路的电压不变，改变电阻的数值，观察电流的变化。将所得的电阻、电流数据列入表1—3中。分析这些数据，可以看出，在电压不变时，电流的大小是和电阻的阻值成反比例的。

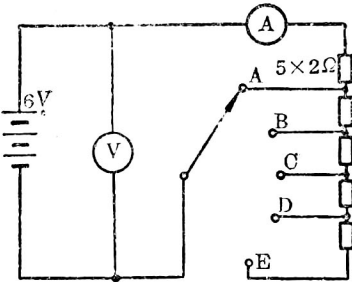


图1—8 在固定电压下测量电流与电阻关系的实验电路

表1—3 在固定电压下电流与电阻的关系

位 置	U(伏)	I(安)	R(欧)
A	6	3	2
B	6	1.5	4
C	6	1	6
D	6	0.75	8
E	6	0.6	10

通过实验，我们可以得到一个重要结论：在电阻电路中，电流的大小与电阻两端电压的高低成正比，而与电阻的阻值大小成反比。这就是欧姆定律。它是电路中的一条很重要的基本定律。我们用符号U表示电压、I表示电流、R表示电阻，那么欧姆定律可以用一个简单的公式表示出来 $I = \frac{U}{R}$ (1—6)

这个公式表达了电路中电压、电流和电阻的相互关系，它说明：

1.如果保持电阻不变，当增加电压时，电流与电压成正比例地增加，即电压增大多少倍，电流增大多少倍；当降低电压时，电流与电压成正比例地减小，即电压减小多少倍，电

流也减小多少倍。

2. 如果保持电压不变, 当增加电阻时, 电流与电阻成反比例地减少, 即电阻大, 电流就小; 当减小电阻时, 电流与电阻则成反比例地增加, 即电阻小, 电流就大。

根据欧姆定律所表示的电压、电流与电阻三者之间的相互关系, 我们可以从两个已知的数量中, 求出另一个未知的数量。所以欧姆定律可以用三种不同的形式来表示

(1) 已知电压、电阻求电流

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

(2) 已知电流、电阻求电压

$$U = I R$$

(3) 已知电压、电流求电阻

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

上述(2)式说明, 当电流流过电阻时, 在电阻上将会产生电位的下降(习惯上叫做电压降或电位降)。电压降的大小等于电流和电阻的乘积。(3)式说明, 电阻两端电压与电流的比值等于一个常数, 这个常数就等于电阻的阻值。

以上三个公式, 是从不同的角度出发来应用欧姆定律的。为了帮助记忆, 上面三个公式可用图1—9来表示。计算时, 用手指遮住要求的数值, 剩下的就是运算公式。

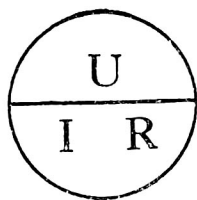


图1—9 欧姆定律图示

7. 电 功 率

电场力(或电源力)在单位时间内所做的功, 就叫做电功率, 用公式表达就是 $P = \frac{A}{t}$

在上式中, P 代表电功率, A 代表电场力(或电源力)移动电荷所做的功, t 代表时间。电功 A 的单位一般用焦耳(J), 这时电功率 P 的单位就是焦耳/秒(J/s), 或者叫做瓦特(简称瓦, 用符号W表示)。实用上常嫌瓦特太小, 而用千瓦(kW)作单位。它们换算关系的系是 1千瓦(kW)=1000瓦(W)。

瓦特与马力都是功率的单位, 瓦特是电功率的单位, 马力是机械功率的单位。千瓦、马力换算是 1公斤力·米(kgf·m)=9.8焦耳(J)

$$1 \text{ 马力 (PS)} = 75 \text{ 公斤力} \cdot \text{米} / \text{秒} (\text{kgf} \cdot \text{m} / \text{s}) = 736 \text{ 瓦 (W)} = 0.736 \text{ 千瓦 (kW)}$$

$$1 \text{ 千瓦 (kW)} = 1000 \text{ 瓦 (W)} = 1.36 \text{ 马力 (PS)}$$

由电源力在单位时间内移动电荷所做的功, 叫电源的功率。前面已经说过, 电源力移动单位正电荷所做的功, 叫做电源的电动势 E 。在图1—1中, 如果电源力移动的正电荷量是 q , 它所做的功 A_1 就应该是 $A_1 = qE$, 电源的功率就应该是

$$P_1 = \frac{A_1}{t} = \frac{q}{t} E$$

我们知道, 单位时间内通过导线截面的电荷量叫做电流, 即

$$I = \frac{q}{t}, \text{ 所以 } P_1 = EI \quad (1-7)$$

也就是说, 电源的功率等于电源的电动势和电流的乘积, 如图1—10所示。

由电场力在单位时间内移动电荷所做的功，叫负载的功率。同样的道理，电场力移动电荷量 q 所做的功，是 $A_2 = qU$

式中 U 是外电路中负载两端的电压，这部分功在外电路中被负载吸收，负载的功率是

$$P_2 = \frac{A_2}{t} = \frac{q}{t} U = UI \quad (1-8)$$

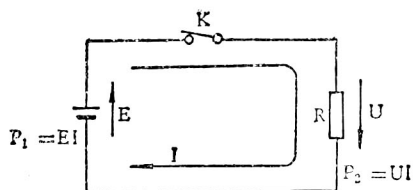


图1—10 电源和负载的功率

所以，负载功率等于负载两端的电压和通过负载的电流的乘积，如图1—10所示。

根据欧姆定律可知 $U = IR$ 或 $I = \frac{U}{R}$

所以负载功率也可以写成 $P_2 = IU = I(IR) = I^2 R$

或 $P_2 = IU = \left(\frac{U}{R}\right) U = \frac{U^2}{R}$

8. 电 能

电路的主要任务是进行电能的传送、控制和转换。在图1—1（见第1页）所示的最单筒的电路中，当有电流通过时，电源要输出电能；在外电路中，负载 R 要消耗电能。根据能量守恒定律，如果不考虑电源内部和导线中的能量损失，那么电源输出的电能就应该等于负载所消耗的电，即 $W_1 = W_2$ 式中 W_1 代表电源输出的电能， W_2 代表负载吸收（消耗）的电能。

我们要注意电能和电功率的区别。电能是指一段时间内电场力（或电源力）所做的功，电功率是指单位时间内电场力（或电源力）所做的功。它们之间的关系是 $W = Pt$ ，电能的单位是千瓦·小时（ $kW \cdot h$ ），简称度。1千瓦·小时是指功率为1千瓦的电源（或负载）在1小时内所输出（或消耗）的电能。电功率用瓦特表测量，电能用瓦时表测量。

人们经常说“火表走了一个字”，是说瓦时表的指示数码移动了一度，就是指消耗了一度电，或1千瓦·小时的电能。若有一个60瓦的灯泡，是指灯泡的功率是60瓦，不是电能。电功率和电能的概念不要混淆，瓦（千瓦）和度的概念不要混淆。

9. 电流的热效应

从生产实践和科学实验中我们知道，当电流通过电阻时，电阻的温度会逐渐升高。这是因为电阻所吸收的电能转换成了热能的缘故，这种现象叫做电流的热效应。电炉、电烙铁等电热设备，就是利用这种性能来产生我们所需要的热量的。在白炽灯中，由于钨丝温度升得很高，达到白热的程度，并将一部分热能转化为光能而发出亮光。这是利用电流的热效应为生产和生活服务的一个方面。

另一方面，在电机、变压器等电气设备中，电流通过绕组时所产生的热量，对于这些设备是不利的。这些热量如果不设法从电机及变压器内部散发出去，经过长时间运行后，就会使设备的温度升得很高，严重时甚至会烧坏设备。所以必须严密监视设备的温升（即设备温度比周围环境温度高多少），采取各种方法进行冷却散热。

人们经过长期的实践和实验，发现电流通过导体时所产生的热量和电流值的平方、导体本身的电阻值以及电流通过的时间成正比。用公式表达就是

$$Q = 0.24 I^2 R t \quad (1-9)$$

上式所表示的关系式又叫做楞次-焦耳定律。

式中 Q ——电流在电阻上产生的热量，单位是卡；

I ——通过导体的电流，单位是安；

R ——导体的电阻，单位是欧；

t ——电流通过的时间，单位是秒；

0.24——热功当量，它相当于电阻为 1 欧姆的导体中通过 1 安培电流时，每秒钟产生的热量。

为了避免设备过度发热，根据绝缘材料的允许温度，对于各种导线规定了不同截面下的最大允许电流（有时叫做安全电流），可以从手册中查得。表 1—4 中列出了部分铜芯橡皮导线明敷时的最大允许电流值。

表 1—4 铜芯橡皮导线明敷时最大允许电流值（单位：安）

周围空气 温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	截 面 (毫米 ²)								
	1	2.5	6	10	25	50	95	120	185
25	20	33	55	80	140	215	325	385	515
30	19	31	51	74	130	200	302	358	479
35	17	28	47	68	119	183	276	326	438
40	15	25	42	61	106	163	247	292	391

从表中可以看出，由于导线的电阻和它的截面积成反比，所以导线愈粗，允许通过的电流也就愈大；周围空气温度愈高，愈不利于散热，所以允许通过的电流愈小。

第二节 直流电路的基本计算

什么叫做电路，在第一节已作了明确的回答。电路按电源分为直流电路和交流电路。交流电路将在第二章讨论。至于直流电路及其特点，直流电路中的电磁感应等，将在本节和第三、第四节分别叙述。

在这一节着重阐述简单电路计算方法。主要内容有：分析与计算电路的另外两条很重要的基本定律——克希荷夫第一、第二定律；串联和并联电阻的简化；电源的外特性；电位和功率的计算方法以及直流电路中电容的特徵。

1. 克希荷夫第一定律

图 1—11 是由一个电源和两个负载组成的电路。在这个电路里，ad、bc、ef 三条没有分支的电路叫做支路。b 点和 e 点是三条支路相汇合的交点，叫做节点。克希荷夫第一定律就是说明连接在同一节点上的几条支路中电流间的关系。

我们按图1—11所示的电路做一个实验。在各支路中分别接入安培表，各安培表的极性（就是它的“+”、“-”端）如图所示。如果电源的电动势 $E = 30$ 伏，负载电阻 $R_2 = 30$ 欧， $R_3 = 10$ 欧。那么，三块安培表的指示分别为 $I_1 = 4$ 安， $I_2 = 1$ 安， $I_3 = 3$ 安。由于直流安培表的指针只有在电流从“+”端流入，从“-”端流出时才能向右偏转，指出读数，所以，根据安培表的极性可以判断各支路电流的实际方向。

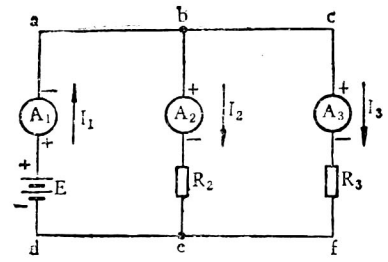


图1—11分析节点上电流关系的电路

根据各支路电流的实际方向可以看出，电流 I_1 是流入节点b的，而电流 I_2 和 I_3 是从节点b流出的。从所测得的数据可以看出 $I_1 = I_2 + I_3$

从这里我们可以得到一个结论：流入节点的电流，等于从该节点流出的电流。这就是克希荷夫第一定律。

把上式加以变换，可以得到 $I_1 - I_2 - I_3 = 0$

这个式子说明，如果把流入节点b的电流 I_1 看作是正的（在 I_1 前面加正号），那么从节点b流出的电流 I_2 及 I_3 就应该是负的（在 I_2 、 I_3 前面加负号）。这样就可以把克希荷夫第一定律用一个普遍的公式表达出来，把它表述为：在电路的任一节点上，流入（或流出）节点的电流的代数和恒等于零。用公式表示就是 $\sum I = 0$ (1—10)

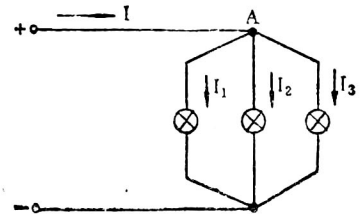
式中符号 $\sum$ 是“和”的意思，“代数和”就是相加的各项之中有正数也有负数。

〔例1—1〕 在一条供电线上并联着三盏电灯，已知通过各电灯的电流分别是0.27安、0.18安和0.07安，问供电线路中的总电流是多少？

解：先画出如例1—1图所示的电路，分别标出各支路电流和总电流的方向。根据克希荷夫第一定律，流入节点的电流等于从节点流出的电流，对于节点A可以写出

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 0.27 + 0.18 + 0.07 = 0.52 \text{ A}$$

供电线路中的总电流是0.52安。



例1—1 图示

2. 克希荷夫第二定律

在电路图上，任何一个闭合的电路，都叫做回路。图1—12是由两个电源和两个负载组成的回路。克希荷夫第二定律就是说明回路中各部分电压之间相互关系的一条基本定律。

为了说明克希荷夫第二定律，我们按图1—13的电路做一个实验。电路中 $E_1 = 12$ 伏、 $E_2 = 20$ 伏、 $R_1 = 3$ 千欧、 $R_2 = 5$ 千欧。

我们知道，伏特表的“+”端应该和高电位点（譬如电源的正极）相接，“-”端应该和低电位点（譬如电源的负极）相接，这时伏特表的指针才能向右偏转。因此，我们可以利用伏特表的极性来判断电路中各点电位的高低。

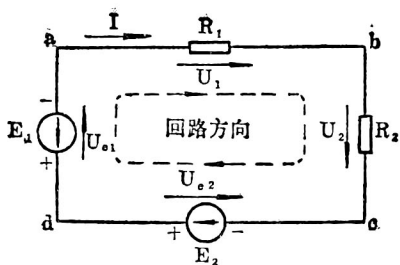


图 1—12 电路中的闭合电路叫做回路

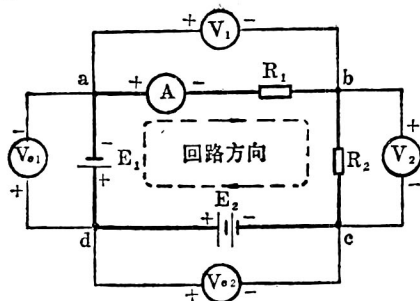


图 1—13 分析回路中电压关系的电路

实验测得电流是1毫安,各部分电压是: $U_1 = 3$ 伏、 $U_2 = 5$ 伏、 $U_{e2} = 20$ 伏、 $U_{e1} = 12$ 伏。根据安培表和伏特表的极性,我们按顺时针方向来看这个回路中各点的电位,从a点出发,b点比a点的电位低3伏,c点比b点的电位低5伏,d点比c点的电位高20伏,a点比d点的电位低12伏。我们从a点出发,又回到了a点,由于a点的电位值是一定的,所以我们可以得出这样的结论:从回路任意一点出发,沿回路循行一周,电位升的和应该等于电位降的和,这就是克希荷夫第二定律。对于图1—12这个电路来说,就是 $U_{e2} = U_{e1} + U_1 + U_2$

对于图1—13所示的电路来说,伏特表 V_{e1} 和 V_{e2} 的读数,代表电动势 E_1 和 E_2 的大小,即 $U_{e1} = E_1$, $U_{e2} = E_2$; 伏特表 V_1 , V_2 的读数代表电阻 R_1 、 R_2 上的电压降,即 $U_1 = I R_1$, $U_2 = I R_2$ 。所以上式可以写为 $E_2 = E_1 + I R_1 + I R_2$

$$\text{移项后得到 } E_2 - E_1 = I R_1 + I R_2 \quad \text{或} \quad \sum E = \sum I R \quad (1-11)$$

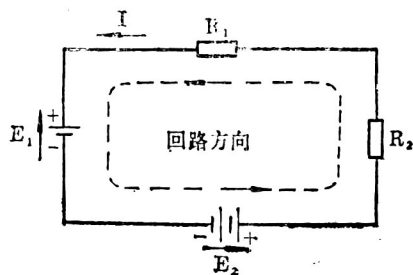
即回路中电动势(电位升)的代数,等于电阻上电压降(电位降)的代数。这是克希荷夫第二定律的另一种表达方式。

在根据(1—11)式写方程式的时候,电动势列在方程式的一边,电压降列在方程式的另一边,并且首先要选择一个回路方向。例如图1—13中,选择顺时针方向为回路方向。拿这个回路方向作标准,当电动势的方向与回路方向一致时,电动势取正号,方向相反则取负号;当电流(或电压)的方向与回路方向一致时,电压降取正号,方向相反则取负号。根据这个规定,上式中的 E_1 、 $I R_1$ 和 $I R_2$ 都取正号, E_2 是负号。

应该注意的是,在应用克希荷夫第二定律分析或计算电路时,首先一定要选一个回路方向,作为判断电压、电动势正负的标准。回路方向可以任意选择,并不影响计算结果。回路方向可以用顺时针或逆时针的箭头表示,也可以用回路中各点的符号表示。例如图1—13中,顺时针方向也可以用“abcda方向”表示。

【例1—2】已知例1—2图中 $E_1 = 12$ 伏, $E_2 = 15$ 伏, $R_1 = 20$ 千欧, $R_2 = 10$ 千欧,求电路中的电流。

解: 由于 $E_2 > E_1$, 所以电路中电流的方向如图所示。在这种情况下,选定回路方向为逆时针方向比较方便。



例1—2图示