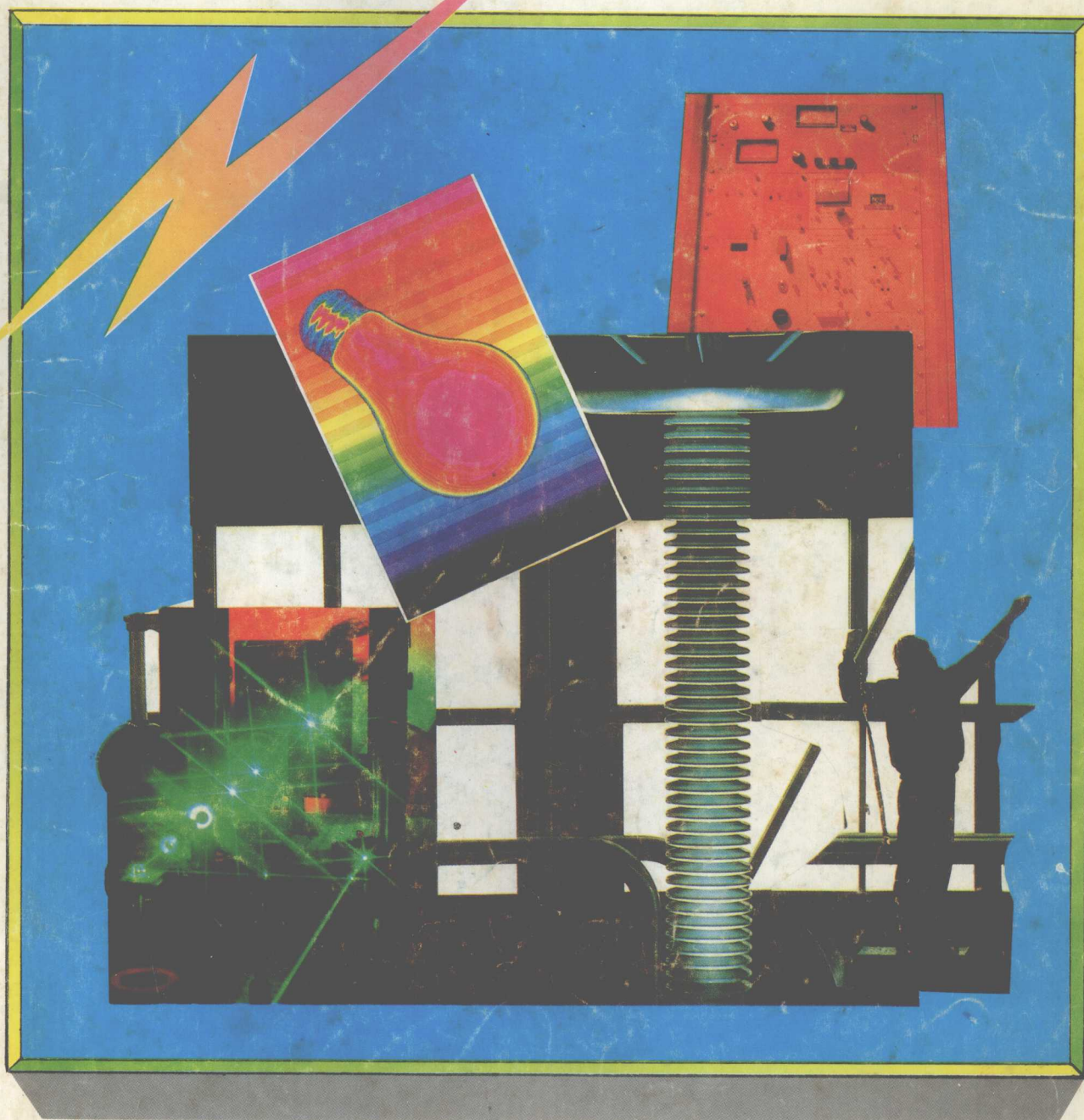


❖ 实用电工基础 ❖

林启瑜 ● 鹭江出版社



实用电工基础

林启瑜 编

鹭江出版社

〔闽〕新登字 08 号

实用电工基础

林启瑜 编

*

鹭江出版社出版

(厦门市莲花新村香莲里 15 号)

福建省新华书店发行

福州郊区文化印刷厂印刷

开本 787×1092 毫米 1/16 10.75 印张 261 千字

1995 年 7 月第 1 版

1995 年 7 月第 1 次印刷

印数: 1—8000

ISBN 7—80610—187—X

TM·1 定价: 8.60 元

如有发现印装质量问题请寄承印厂调换

前 言

本书是编者经过多年的教学实践汇编而成。全书分为七章：第一章“直流电路”，它将与中学物理学过的电学部分相衔接。第三章介绍了电工、电子专业人员必备的仪表——万用表。第四章“磁与电磁”，介绍了磁与电磁的基本知识与重要定理及其应用实例，并通过第一、二、四章学习后，引出了常用的电工、电子元件——电阻器、电容器与电感器。第五章“正弦交流电”不仅是电工学的重点内容之一，而且也是学习电子电路的基础。第六、七章，对变压器、电动机的基本工作原理作了简要介绍，为后续专业课学习打下理论基础。

本书文字浅显通俗，尽量避免过多的繁琐理论推导与复杂的数学运算，突出了实用性。适合于电专业初学者学习或自学。本教材还编有实验内容，每章均有例题、思考与练习，书后还附有练习题部分的答案，以供教师教学中参考与学生复习之用。目录标题前有“*”符号者，教师可根据实际情况选择讲授，或作为学生课外自学内容。

本书可供选择作为电子类、电工、电机及其他电专业的基础课教材。它与即将出版的电工类专业课教材《实用电工技术》为姐妹篇。

本教材中使用的电气图用符号，部分已采用国家标准局颁布的最新标准，但部分仍采用旧的国家标准。表1—1列出的部分电气图用符号（摘录），加有新、旧国标对照，以便逐渐过渡。

本书在编写过程中，承蒙廖瑞人教授对书稿作了审阅并提出宝贵意见。陈秋燕、张小菁同志绘制了本书的部分插图，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中错误与不妥之处在所难免，恳请使用本书的师生与广大读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 直流电路	(1)
第一节 电路与电路中的几个基本物理量	(1)
第二节 电阻与电阻器	(6)
第三节 欧姆定律	(10)
第四节 电阻的串联、并联与混联电路	(11)
第五节 电功与电功率	(16)
第六节 几个基本定律、定理	(18)
思考与练习	(21)
实验一 电源的外特性与欧姆定律验证	(21)
第二章 电容器	(24)
第一节 电容器与电容量	(24)
第二节 电容器的主要指标与种类	(25)
第三节 电容器的联接	(30)
第四节 电容器的充放电	(33)
* 第五节 电容器的电场能量	(35)
思考与练习	(36)
实验二 电容器的充电与放电	(36)
第三章 万用表及其使用	(39)
第一节 万用表的基本原理	(39)
第二节 MF-30 型万用表电路原理	(43)
第三节 万用表的使用	(48)
思考与练习	(53)
实验三 万用表的使用及元器件的认识与检查	(53)
第四章 磁与电磁	(54)
第一节 磁与电磁的基本知识	(54)
第二节 电磁中的几个物理量	(56)
第三节 磁场对电流的作用力	(58)
第四节 铁磁性物质的磁性能、分类与用途	(63)
第五节 电磁感应	(67)
第六节 自感与互感	(71)
* 第七节 磁场的能量	(76)
思考与练习	(76)
实验四 单相电度表的接线与校验	(77)
第五章 正弦交流电路	(79)
第一节 正弦交流电的基本概念	(79)
第二节 正弦交流电的矢量表示法	(84)
第三节 纯电阻交流电路	(87)
第四节 纯电感交流电路	(89)

第五节 纯电容交流电路	(92)
第六节 电阻、电感、电容串联的交流电路	(95)
第七节 串联谐振及其应用	(101)
第八节 电阻、电感、电容的并联谐振电路及并联谐振的应用	(104)
第九节 三相交流电路	(108)
* 第十节 安全用电	(114)
思考与练习	(117)
实验五 日光灯的安装与测量	(117)
第六章 变压器	(120)
第一节 概述	(120)
第二节 变压器的工作原理	(123)
第三节 几种常见的特殊变压器	(126)
* 第四节 小型电源变压器的设计与制作	(130)
思考与练习	(138)
第七章 电动机	(140)
第一节 概述	(140)
第二节 三相交流异步电动机的工作原理	(140)
第三节 单相交流异步电动机	(147)
* 第四节 直流电动机	(153)
* 第五节 单相串励式电动机(通用电动机)	(157)
思考与练习	(159)
附录	(159)
附录一 表示(十进制)单位的数量级词头的符号与意义	(159)
附录二 电工学中常用字母及读音	(159)
附录三 常用电学物理量符号及其单位	(160)
附录四 常用下角字母用法	(162)
思考与练习(练习题部分) 答案	(162)

第一章 直流电路

第一节 电路与电路中的几个基本物理量

一、电的产生与电场

在生产与我们日常生活中，几乎到处都要用到电。电究竟是怎么一回事，它又是怎么产生的呢？这首先要从物质结构说起。

自然界的一切物质都是由分子组成的，而分子又是由原子组成的，每一个原子的中心是由带正电的质子和不带电的中子组成原子核，核的周围分层围绕着高速运动的带负电的电子。不同的物质其原子结构是不同的，它们具有的电子数目也是不一样的。例如，铜原子有 29 个电子，铝原子有 13 个电子。图 1—1 是铝原子结构图，13 个电子分三层围绕着原子核作高速旋转。

在通常情况下，原子核所带的正电荷和核外电子所带负电荷的总和在数量上相等，所以物体就不显示带电现象。

摩擦起电，这是人们早已知道的现象。那么，当两个物体相互摩擦时，为什么物体能带电呢？原来，两个不同物质的原子核束缚电子的本领不同，当两个物体相互摩擦时，哪个物体的原子核束缚电子的本领较弱，它的一些电子就会转移到另一个物体上。失去电子的物体因缺少电子而带正电，得到电子的物体则因有了多余电子而带等量的负电。如果用丝绸摩擦玻璃棒，两物体相互接触处原子的热运动加

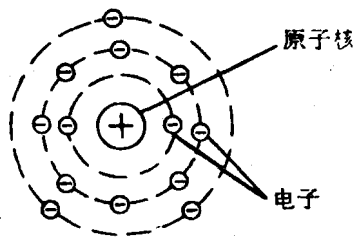


图 1—1 铝原子结构图

剧，使玻璃棒中受束缚较弱的电子从原子中挣脱出来而转移到丝绸上。结果，失去电子的玻璃棒就带上正电，获得电子的丝绸就带负电。物质所带电荷的多少可用电量来表示，电量的符号为“Q”。一个电子所带的电量是天然的最小单位，任何电量都是这个最小电量单位的整数倍。但这个单位实在太小了，为了方便，人们常用一个比它大得多的单位——库仑作电量单位。用库仑作单位时，通过实验可测出一个电子的电量为：

$$e = -1.60 \times 10^{-19} \text{ 库仑}$$

也就是说 6.25×10^{18} 个电子所带的电量才是一库仑。也可以说 625 亿亿个电子所带的总电量就是一个库仑。由于所有带电体只能带电子电量的整数倍，因此，人们把 1.60×10^{-19} 库仑叫做基本电荷。

当电荷积聚不动时，这种电荷称为静电；如电荷处于移动状态称为动电。

实验又证明，两个带电体之间存在着相互作用力。即具有同性电荷互相排斥，异性电荷互相吸引的特性。电荷之间的这种作用力叫做静电力，又叫库仑力。而这种力并不是它们之间直接作用，而是依靠别的媒介而发生的，这种特殊物质称为电场。电场与电一样也是看不见摸不着的东西。电荷与它周围的电场是一个统一的整体，有电荷存在，它的周围就一定有

电场存在。上面所说的电荷与电荷之间的相互作用力（静电力），实际上就是电场对电荷的作用力，所以我们常把静电力叫做电场力。

二、电流与电路

电荷在电场力的作用下有规则地定向运动就形成电流。我们通常需要的是持续的电流，为了得到持续的电流，就必须使电子持续不断地流动。像干电池、发电机这些装置就能保证电流持续存在。我们把这些装置叫做电源。

电流所流经的路径，称为电路。图 1—2 中，把灯泡经过开关用导线和电池的两极连接起来，当开关闭合时，灯泡就会持续发光，这就组成了最简单的电路。

下面我们按图 1—2 所示电路分析一下电荷是怎样沿导线流动（而形成电流）的。

图 1—2 中，电源是干电池（干电池的外壳是一个锌筒，锌筒是干电池的负极，也是干电池的容器，里面装着化学药品，锌筒中央的碳棒是干电池的正极），它是利用化学的方法，用外力强迫原子中部分电子与原子分离，使电子积聚在电池的一端。

由于电子带负电荷，所以这一端称为电源的负极，用符号“—”表示，干电池的负极就是锌皮外壳。失去部分电子的原子积聚在另一端，该端带正电荷称为电源的正极，用符号“+”表示，电池的正极就是中间的碳棒。已经积聚在电源两极的正负电荷，由于同时相斥的特性，将阻碍电荷作进一步的积聚。但是在电池正负极用导线与灯泡接成闭合电路后，电源负极上积聚的电子就会通过金属导线和灯泡的钨丝与电池正极板上失去部分电子的原子相结合，成为不带电的原子，这种现象称为中和。当电源正负两极板上积聚的电荷一减少，阻碍电荷向两极板继续积聚的阻力因而减少，电池通过化学力的作用又不断地使部分电子与原子分离，补充两极板上电荷的减少。这样，当电路接成闭合回路时，导线与灯泡中就不断有电子移动，从而形成电流，电流流过灯泡的钨丝，使钨丝产生高热而发光。

最基本的电路必须由电源、负载（用电设备）、连接导线、控制与保护装置等部分组成，并组成闭合的回路。

电源：是产生电能和设备，它的作用是将其他形式的能量（如化学能、热能、机械能、原子能等）转变成电能，并向用电设备（负载）供给能量。

负载：负载就是各种用电设备，它将电能转化为我们所需要的其他形式的能量。

连接导线：它把电源、负载以及开关控制设备等连成一个闭合的通路。

控制与保护装置：其作用是控制（开、关）或保护电气设备。

电路通常有三种工作状态：开关接通构成的闭合回路叫通路；开关断开或闭合回路中某一处断开，使电路中无电流通过，这叫断路（或称开路）；电路中负载被短接或部分负载被短接，这叫短路。短路时流过电流比正常电流大得多，可能烧毁电路元件设备，这是绝对要避免的。

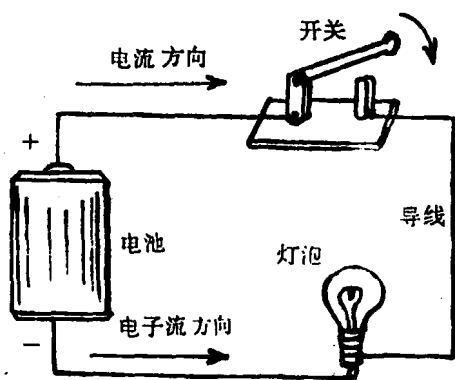


图 1—2 简单的电路及电流与电子流方向

三、电路图

图 1—2 所示，把电源、负载、开关、导线等按一定规律连接起来的图就叫电路图。任何

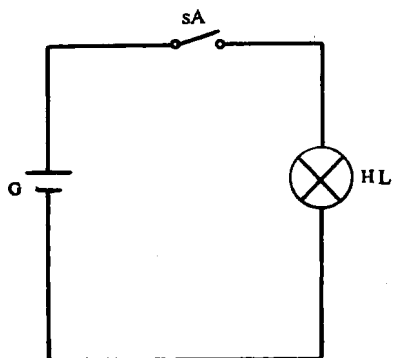


图 1—3 简单电路图

电路都可以用电路图来表达。电路图一般不用图 1—2 这样的实物表示，因为这样虽然直观，但画起来很麻烦，而且没有突出电路的本质。电路图上各元件均采用国家规定的统一标准符号表示（简称国标）。用国家统一符号表示后，图 1—2 电路的电路图为图 1—3 所示。表 1—1 列出了部分常用的电气图用符号（摘录）。电气图用符号包括图形符号与文字符号两部分。表 1—1 中同时列出了国家标准局 1964 年发布的老国标（GB314—64）与 1985 年发布的新国标（GB4728—85）（1986 年实施）的电气图用符号，以便对照。这仅仅是电气图符号的一小部分，还有很多的电气图用符号，我们要逐渐熟记它，这样，才能学会看电路图、看懂电路图，会画电路图。

四、电路中的几个物理量

（一）电流强度（电流）

前面已经引出了电流的概念，那么如何衡量它的大小与方向呢？

电流的大小用单位时间内在导体截面上移过的电量多少来度量，称为电流强度，通常用符号 I 表示，习惯上电流强度也简称为电流。这时电流这个概念不仅代表一种物理现象，而且代表一种物理量。

习惯上规定：正电荷流动方向为电流方向或为电子流的反方向（参见图 1—2），而且把电流都看成是正电荷流动形成的。电流大小与方向不随时间而变化的电流，称为直流电流。电流强度大小和方向随时间作周期变化的电流叫做交变电流，也叫交流电流，简称交流。

对于直流电流，若用 Q 表示在时间 t 内移过导体截面的总电量，则电流强度为：

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

电流的单位是安培，简称安，记为 A 。当每秒钟通过导体截面的电量为 1 库仑时，电流即为 1 安培（ A ）。在不同场合下，根据需要，还可用千安（ kA ）或毫安（ mA ）、微安（ μA ）为计量单位。它们之间关系是：

$$1 \text{ 千安 (kA)} = 1000 \text{ 安 (A)} = 10^3 \text{ 安 (A)}$$

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

$$1 \text{ 毫安 (mA)} = 1000 \text{ 微安 (}\mu A\text{)} = 10^3 \text{ 微安 (}\mu A\text{)}$$

一般晶体管收音机的工作电流为几十毫安至上百毫安；手电筒的电流为 0.2—0.3 安培；一台 12 英寸黑白电视机整机工作电流约为 1 安培；解放牌汽车发电机的额定电流是 18 安；无轨电车主电动机的工作电流约为一百多安培；雷电中一次闪电电流可达几十万安培。对于初学者，对电流强度的数量级，先要有个初略的概念。

表 1—1 常用的电气图用符号 (摘录)

名称	老 国 标		新 国 标	
	图 形 符 号	文字符号	图 形 符 号	文字符号
电阻		R		R
电位器				RP
电容		C		C
极性电容		C		C
可变电容		C		C
电感线圈		L		L
按钮开关		A		SB
接触器		C		KM
中间继电器		ZJ		KA
欠电压继电器		QYJ		KV
限位开关		XWK		SQ
限位开关		XWK		SQ

(二) 电压 (电位、电位差) 与电动势

为了更好地理解电压、电位与电动势等的含义,可以把电路比作水路。图 1—4 中,当 U 型管 AB 左面的水位高于右面的水位,即在水管两端有水位差时,在重力作用下,形成水压,水管中将有水从左向右流动。随着水的流动,右面水位逐渐升高,而左面水位逐渐降低。当左、右水位一致而无水压时,水将停止流动。要想使水持续流动,需要用水泵将水从低水位抽送到高水位,始终维持左面和右面有水位差,从而产生水压。在水泵外部,水总是从高水位流向低水位;在水泵内部,由于水泵的作用,水由低水位流向高水位。这样,水就在包括水管、水泵的水路中持续流通了。

与此相类似,电路中要有电流,必须使电路两端有电位差,这样电流才能从高电位点流向低电位点,而要使电路中电流持续流动,就要始终维持电路两端有电位差。电路任意两点之间的电位差称为两点间的电压。电压通常用符号 U 表示。

从物理意义上说,电压是衡量电场做功本领的物理量。在电路中电场力将单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功,在数值上等于 a 点至 b 点间的电压,表达式为

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} \quad (\text{V})$$

电压的单位是伏特,简称伏,记作 V 。很高的电压可以用千伏 (kV) 作单位。很小的电压则可用毫伏 (mV) 或微伏 (μV) 作单位。它们之间的关系是:

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

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

$$1 \text{ 毫伏 (mV)} = 1000 \text{ 微伏 (}\mu V\text{)} = 10^3 \text{ 微伏 (}\mu V\text{)}$$

上面已提到电位这个概念,在电路中电位与电压是密切联系而又不同的两个概念。电位是相对的,某点电位数值的与零电位如何选择有关;而电压是绝对的,不管零电位如何选择,总是两点之间电位之差。

因零电位点选择不同,电路中某点的电位可能是正电位,也可能是负电位。

还要指出,用水位、水压来比喻电位、电压虽然形象,但两者有本质的不同。水位、水压与高度有关,而电位、电压与高度无关。绝没有离地高的电线电压比离地低的电线电压高的道理。

怎样来维持电路两端有电压呢?上面提到的像干电池、发电机这类的电源,都具有维持电路两端有电压的作用,它的功能与上述的水泵相仿。电源是将非电能转换为电能的装置。衡量电源转换本领大小的物理量称为电源的电动势。对电源来讲,电位高的一端称为正极,电位低的一端称为负极。电动势的方向在电源内部是负极到正极,和电源两端电压方向相反。

电位、电动势的单位与电压相同,都是伏特。

从电视接收天线接收下来的电视信号大约为 $50\mu V$ 到 $50mV$; 手电筒的电池,每节的电压为 $1.5V$; 各种汽车的电路直流电压有 $6V$ 、 $12V$ 、 $24V$ 不等; 照明电路电压为交流 $220V$; 黑白电视机显像管高压嘴加入的阳极高压高达 $9-17kV$; 彩色电视机的阳极电压高达 $20-$

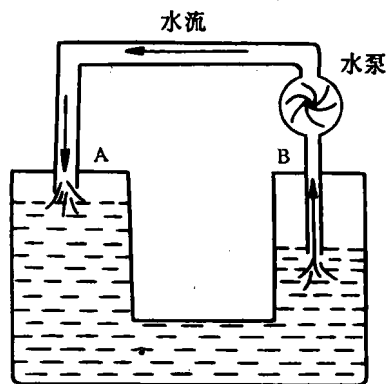


图 1—4 水泵维持水的流通示意图

27kV；发生闪电的云层间电压可达 10^8V （伏）。我们刚接触电压这个物理量，对电压大小数量级，与电流一样，也先要有个初略的概念。

第二节 电阻与电阻器

一、电阻

由于自由电子在金属导体中作定向运动时，会对金属中其它电子与原子核发生碰撞，所以电流在导体中流动要受到一定阻力。有的导体对电流的阻力小，我们说导电能力好；有的导体对电流的阻力大，我们说导电能力差，这种对于通电所表现的阻力，称为导体的电阻。电阻用“R”表示，单位是欧姆，简称欧，用 Ω 表示。常用的单位还有千欧（k Ω ）或兆欧（M Ω ）为单位。

$$1 \text{ 千欧} = 1000 \text{ 欧} = 10^3 \text{ 欧}$$

$$1 \text{ 兆欧} = 1000000 \text{ 欧} = 10^6 \text{ 欧}$$

实验表明，导体的长度 L 愈长，导体的电阻愈大；导体的截面愈大，导体的电阻愈小。因此，在一定温度下，导体的电阻与导体截面成反比，与导体长度成正比，还与导体的材料有关。用公式表示如下：

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

式中 L——导体长度（米）；

S——导体截面积（毫米²）；

ρ ——电阻系数，决定于材料性质（欧·毫米²/米或欧·米）。

导体材料在摄氏 20℃、截面为 1 平方毫米、1 米长的电阻数值，即为该导体的电阻系数（或叫电阻率）。

表 1—2 所列是常用金属材料在温度 20℃ 时的电阻系数。银、铜、铝的电阻系数较小，所以常用铜、铝作为导电材料。近几年来，广泛采用铝线，虽然铝的导电能力及机械强度不及铜，但比铜轻，并且资源丰富，价格便宜，在电气工业中已被广泛应用。

表 1—2 常用金属的电阻系数（20℃）

材 料	电阻系数（欧·毫米 ² /米）
银	0.016
铜	0.017
铝	0.029
铸铁	0.5
黄铜（铜锌合金）	0.065
康铜（铜镍合金）	0.5
镍铬合金	1.1

例 1—1 一条铝电线，长 100 米，截面积为 10 平方毫米，求电线电阻。

解：

$$R = \rho \frac{L}{S} = 0.029 \times \frac{100}{10} = 0.29 \text{ 欧}$$

如电线长度增为 1000 米，则电阻值增为 2.9 欧；如导线截面缩小为 1 平方毫米，则电阻值也增为 2.9 欧

导体的电阻还与温度有关，一般金属导体，温度升高时，电阻值也增大。例如一只 40 瓦白炽灯泡，冷态时电阻是 85 欧左右，热态时（灯丝热发亮时）电阻高达 1210 欧姆。普通的铜导线当环境温度每增加 10°C ，电阻值增加 4%，所以在准确测量或计算电阻值时，还必须考虑到温度的影响。

对温度很敏感的电阻叫做热敏电阻，热敏电阻在一些电气设备中可起自动调节和补偿作用。随温度升高电阻值明显变大的热敏电阻叫正温度系数热敏电阻；随温度升高电阻值明显下降的热敏电阻叫负温度系数热敏电阻。

二、导体、绝缘体与半导体

（一）导体

容易传导电流的物体叫做导体。常见的导体是金属，如铜、铝、银、铁等。金属之所以能很好传导电流，是因为在金属原子中，最外层的电子与原子核的结合比较松弱，因此这部分电子很容易脱离自己的原子，在组成金属的各原子中间运动。这样的电子，称为自由电子。在平常情况下，金属中虽有大量的自由电子，但他们只作无规则的运动，不会产生电流。当接上电源并且电路成通路时，金属导体中的自由电子在电源电动势的作用下，作定向运动，形成电流。所有金属（包括水银）及其合金都是导体。除此以外，大地、人体、石墨以及酸、碱、盐溶液也都是导体。导体的电阻系数约在 $1\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 以下。

（二）绝缘体

传导电流的能力非常差，几乎不能通过电流的物体称为绝缘体。也叫电介质，简称介质。常用的绝缘材料有：橡胶、塑料、云母、石棉、纸、绝缘漆、干燥的木材、陶瓷等。绝缘体的电阻系数高达 $10^{12}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 以上。

导体与绝缘体之间没有绝对的界限。一定条件下，绝缘体也可转化为导体。例如绝缘材料使用时间长久，其性能会变坏，温度过高或湿度增大时，绝缘能力会变差，我们常见的漏电现象就是绝缘能力下降所造成的。当绝缘材料受潮、或承受过高的温度、或加上过高的电压时，就会完全失去绝缘能力而导电，这种现象称为绝缘击穿或者绝缘破坏。因而电器设备长期搁置时都要定期用兆欧表（俗称摇表）来检查其绝缘性能，一般低压电器设备的绝缘电阻不得低于 0.5 兆欧，移动电器如手电钻、台扇对外绝缘不得低于 1 兆欧。一般家用电器，也可用万用表 $R \times 10K$ 档测量其绝缘电阻，以保证安全。

（三）半导体

半导体的导电性能介于导体和绝缘体之间。所以，它的电阻率约在 $10\Omega\text{mm}^2/\text{m} \sim 10^{12}\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ 之间。它容易受温度、杂质、电磁场、压力、光照等外加条件影响。

如锗、硅、硒等都是半导体材料。它是制造各种电子器件的重要材料。

三、电阻器

在电器电子设备中，需要各种阻值的元件，这种元件称为电阻器，简称电阻。它的电路

图元件符号，如图 1—5 所示。

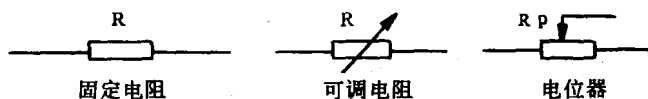


图 1—5 电阻器的符号

(一) 电阻的种类

实际使用的电阻根据材料及结构来分，有碳膜电阻、金属膜电阻及线绕电阻等，图 1—6 中示出了这几种电阻和电阻器的外形图。

碳膜电阻是在瓷管或瓷棒上覆一层结晶碳膜构成的，用刻槽的方法来控制电阻值，这种电阻的阻值比较稳定，价格低廉，应用较广泛。

金属膜电阻具有较高的稳定性和精密度，而且本身噪音小，体积小，受温度影响也小，但价格较高。这种电阻常用在要求较高的场合。

线绕电阻是用电阻丝绕在瓷管上而成。常用的电阻丝有镍铬合金和康铜丝两种。这种电阻精密度较高，功率较大。

电位器实际上是阻值可调的电阻，主要分为线绕电位器和碳膜电位器两种。线绕电位器的特点是误差小，功率大，阻值变化范围小。碳膜电位器的稳定性较高，阻值变化范围大。有的电位器本身还带开关。目前又出现几种新式电位器，如直滑式碳膜电位器，它是靠一滑动杆在碳膜上滑动来改变电阻值的。其特点是调整方便、寿命长、节省安装位置。

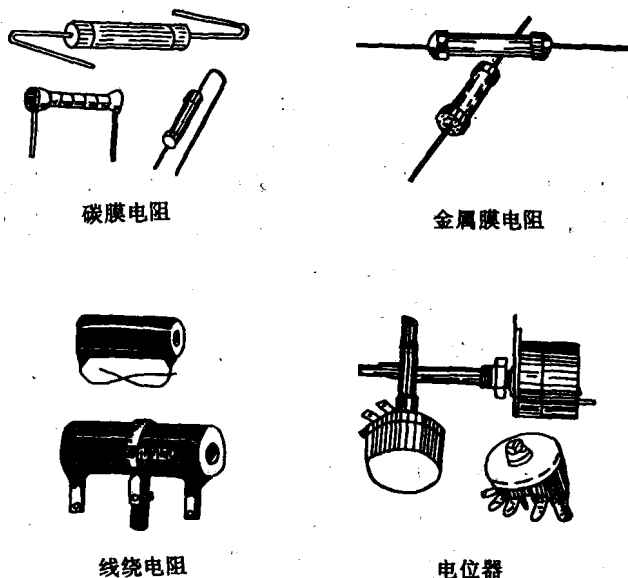


图 1—6 电阻器外形图

(二) 电阻的误差及额定功率

电阻的标称阻值和实际值有一定的误差。根据误差的大小可分为三级，即Ⅰ级：误差 $<\pm 5\%$ ；Ⅱ级：误差 $<\pm 10\%$ ；Ⅲ级：误差 $<\pm 20\%$ 。误差有直接用百分数表示的，也有以误差等级来表示的。

当电阻有电流通过时，电阻会因消耗电能而发热，也就是要消耗一定的功率。电阻消耗功率不能超过一定值，否则电阻会因过热而烧毁。这个不致于把电阻烧坏的最大功率值就是电阻的额定功率。电阻的额定功率通常有 $\frac{1}{8}$ 、 $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{1}{2}$ 、1、2、3、5、10、20W等。在电路中的符号如图1—7所示，大于5W的电阻一般常在图中直接标明功率数。

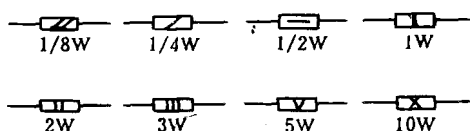


图1—7 电阻器功率表示符号

在选用电阻时，必须考虑电阻值和额定功率两方面。在要求较高的场合，还要考虑误差。

(三) 电阻的型号标志

电阻的种类、形状、性能等一般都用印在电阻上的字母符号标志说明。最左边的字母为第一位，其余类推。各字母所代表的意义，见表1—3。

表1—3 电阻型号标志用字母代表的意义

顺 序	类 别	名 称	简 称	符 号
第一位	主 称	电 阻 器 电 位 器	阻 位	R W
第二位	导体质料	碳 膜 金 属 膜 金属氧化膜 线 绕	碳 金 氧 线	T J Y X
第三位	形状性能	大 小 精 密 测 量 高 功 率	小 精 量 高	X J L G

例如RT表示碳膜电阻，WXX表示小型线绕电位器。

(四) 阻值色环识别法

有些小碳膜电阻，为了便于识别，常用色环来表示阻值。在电阻的一端画有三道或四道色环，如图1—8所示，紧靠电阻边缘的色环为第一色环。



图1—8 色环电阻

三道色环中第一道色环表示阻值的第一位数字，第二道色环表示阻值的第二位数字，第三道色环表示阻值第二位数字后零的个数，第四道色环表示阻值的误差。色环颜色所代表数及数字意义，见表1—4。

表 1—4 色环颜色代表的数字和意义

色 别	第一色环 (第一位数)	第二色环 (第二位数)	第三色环 (零的个数)	第四色环 (误差)
棕	1	1	1	
红	2	2	2	
橙	3	3	3	
黄	4	4	4	
绿	5	5	5	
蓝	6	6	6	
紫	7	7	7	
灰	8	8	8	
白	9	9	9	
黑	0	0	0	
金			一位小数	±5%
银			二位小数	±10%
无色				±20%

例如，有一只电阻有四道色环，其顺序为绿、棕、红、银，则这只电阻的阻值为 5100Ω ，误差为 $\pm 10\%$ 。另有一只电阻标有黄、紫、金三道色环，其阻值为 4.7Ω ，误差为 $\pm 20\%$ 。

第三节 欧姆定律

电路中的电流、电压、电阻这三者互相联系，可通过欧姆定律反映出来。欧姆定律包括部分电路欧姆定律和全电路欧姆定律。

一、部分电路欧姆定律

部分电路欧姆定律也叫一段电路欧姆定律。实验证明，在一段不含电动势只有电阻的电路中，流过电阻的电流大小和加在电阻两端的电压成正比，而与电阻成反比，这个结论叫做一般电路的欧姆定律。可用下列数学表达式表示：

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

根据欧姆定律，电流、电压、电阻三个物理量中，只要知道其中任意两个量，就可以计算出第三个量。当电流的单位为安培、电压单位为伏特时，电阻的单位则为欧姆。

二、全电路的欧姆定律

在实际工作中有时遇到直流发电机或蓄电池等作电源供给负载的电路。如图 1—9 所示。

这种电路有内电路和外电路。内电路和外电路组成全电路，或叫完整电路电源。内部具有的电阻，称为内电阻，通常用 r 表示。

实验证明，在只有一个电源的无分支闭合电路中，电流 I 与电源电动势 E 成正比，与外电路电阻和内电路电阻之和 $(R+r)$ 成反比。这就是闭合电路的欧姆定律，可用下式表示：

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

或

$$E = IR + Ir$$

在外电路中，根据 $U = IR$ ，则 $I = \frac{E}{R+r}$ 可以写成

$$E = U + Ir$$

或

$$U = E - Ir$$

在此式 U 是负载两端的端电压，称路端电压。若不计导线的电阻，也就是电源两端的端电压， Ir 称为电源内部电压降。电路闭合时电源的端电压等于电源电动势减去电源电压降。

在通常情况下，可以认为电源电动势和内电阻是常数。而且 R 比 r 大得多，外电路的端电压非常接近于电源电动势。因此，有时也将电源内部电压降 Ir 略去不计。

式 $U = E - Ir$ 可以看成 U 是 I 的一次函数。如以 I 为横坐标，以 U 为纵坐标，可描绘出该函数的曲线，如图 1—10 所示。这曲线就叫做电源的外特性曲线。

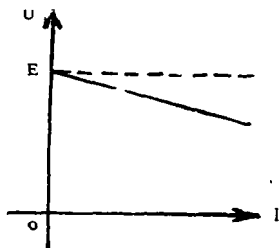


图 1—10 电源的外特性曲线

从此曲线可以看出，当外电路开路，即 $I=0$ 时，电源两端电压最高且等于电源的电动势 E ；当电路中电流增大时，电源内部的电压降 Ir 随着增加，端电压 U 将减小。

电源端电压的高低不但与电路电流大小（即负载大小）有关，而且与电源的内电阻大小有关。在负载电流不变的情况下，内电阻增大，端电压就下降；反之，内电阻减小，电源端电压就上升。当内电阻为零时，电源端电压为电源的电动势，它将不随电流而变化，如图 1—10 中的虚线所示。这就是理想的情况，这时的电

源称为理想电源。实际上用的电源多少都有一定的内电阻。如收音机上装的干电池，使用一段时间后其内电阻往往是随着放电时间的增加而增大，电池内电阻也就增大，开路时测好像两端电压低不了多少，但接通电路，端电压明显下降，致使晶体管收音机无法正常发声。

第四节 电阻的串联、并联与混联电路

前面我们只讨论一个电阻的电路。在实际电路中，往往不只用一个电阻作为负载，而根据需要按一定方式接到电源上去，其基本的联接方式有串联与并联两种。下面我们用电阻最基本联接为代表进行研究。

一、电阻的串联电路

两个或两个以上的电阻，将它们的首尾分别连接起来，这种连接的方法叫电阻的串联。图

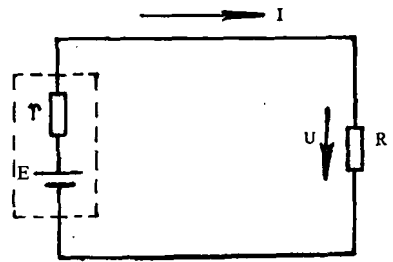


图 1—9. 有电源电路示意图