

高等专科学校  
中等专业学校

教学用书

# 电 工 学 基 础

(非电专业适用)

井建康 主编



石油工业出版社

# 前 言

随着石油工业的发展和教学改革不断深入,几年来,全国各石油中专学校在如何改革电工课教学、培养学生动手能力问题上进行了大胆的尝试。胜利石油学校试行了讲练一体化教学模式;新疆石油学校试行了实验教学规范化教学模式;华北、中原、辽河等石油学校试行了电工教学实践周活动等。在加强实践性环节,培养技能型、应用型人才方面,取得了一定的效果,积累了许多宝贵经验。

为了加强非电专业电工及电子学教学改革的深度和力度,对原石油中专教材《电工及电子学》(电工学部分和电子学部分)进行修订,并分别命名为《电工学基础》和《工业电子学基础》。两书仍独立成书,配套使用。

本次修订的教材与第一版教材相比,其内容做了如下调整:

1. 删去了原书中第八章同步电机和控制电机的内容,以及其它章节中的部分内容。

2. 增加了实践环节,该环节以三种形式编入教材:

①课堂演练:该内容可先讲后练或先练后讲,亦可边讲边练,原则上属于用动手演练的形式介绍理论内容。

②基础实验:在原实验的基础上,从实用出发,适当提高了要求,拓宽了知识面,为了便于学生自学和实验前的预习,实验中增加了实验简述,增补了思考题。

③综合实践:介绍所学知识的综合应用,将理论与实践紧密结合,培养学生运用所学知识综合操作、综合分析问题和解决问题的能力。

3. 每一章后面除了有小结和习题、思考题外,还增加了“本章基本要求”和“学习思路流程图”,供学生测试、自学、复习时参考。

4. 增加了部分电工仪器仪表的使用介绍和测试训练;增加了变压器、电动机的选择、维护、使用、检修等基本知识。

本书的绪论第一、五、六章由新疆石油学校井建康编写,第二、三、四章由胜利石油学校李德龙编写,第七、八、九章由辽河石油学校战振营、索长生编写,井建康任主编。

承德石油高等专科学校钱锡源副教授担任本书的主审。华北石油学校电工教研室全体教师审做了全书的习题和思考题。

本书的编写得到了中国石油天然气总公司人教局领导的关怀,得到了重庆石油高等专科学校、大港石油学校,胜利石油学校、石油物探学校领导及有关教研室老师的大力支持,是电工学科组全体成员智慧、经验的结晶,在此一并表示感谢。

本书可供高等专科学校、中等专业学校非电专业师生使用,也可供从事电工及电子技术方面管理工作的人员在进修、培训时参考。

编 者

1995年5月15日

## 绪 论

电工学是研究电能在工程技术领域中应用的一门科学。

随着科学技术的不断发展,电能在各个领域中的应用也日益广泛。现代工业、农业、国防、通信以及日常生活等,无不与电发生着密切的联系。电能的开发与利用、电气化程度已成为衡量一个国家生产技术水平的重要标志之一。

电既可以作为能量来应用,也可以作为信息(即电信号)来应用。通常把电压、电流等电量的变化统称为电信号。在实际工作当中,常把长度、重量、速度、压力、流量、温度、形变等非电量,转换为电信号来进行检测、调节和控制。自动控制系统、电子计算机的应用,就是利用电信号来模拟、存贮、传输、处理和控制在各种数据和信息的。

电能的应用之所以如此广泛,是因为它与其它形式的能量相比具有无可比拟的优点,即:转换容易;输送经济、分配方便;易于控制和测量。因此,非电专业的工程技术人员,不仅要掌握本专业的有关知识,还应具备电工方面的基本理论、基本知识和基本技能,以适应现场实际工作的需要。

电工学基础是一门系统性和实践性较强的课程,非电专业的学时数又较少,为了学好本课程,下面对学习方法的几点建议和要求。

(1) 基本理论部分 必须循序渐进,在物理学的基础上扎扎实实地系统学习。课上认真听讲、积极思考。多提问题、多做习题。对抽象的概念要弄清其物理意义。对基本定律、定理、概念、规律,注意掌握正确的分析方法、计算方法,重在理解和应用,不要死记硬背某些定义、公式。不断改进学习方法,提高学习效率。

(2) 课堂演练部分 通过某些简单的演示、测试拆装,说明某些定理、现象、规律、结构等。要认真观察、认真思考,最好能自己动手(如有条件)进行操作演示、手脑并用。通过操作观察,可加深加快理解、记忆相应的内容。

(3) 基础实验部分 一定要亲自动手操作,实验前要认真预习实验指导和课本中的相关内容,查找有关资料、学习仪器仪表的使用,认真对待每一次实验。实验中要理论联系实际,胆大心细,按要求进行操作,认真完成每一步骤,实验结束要按时独立完成实验报告。通过这一环节能进一步巩固所学理论,掌握基本的电工操作技能。

(4) 综合实践部分 实施这一环节要做充分的准备,尽量做到独立操作,提高学生综合应用所学知识分析问题和解决问题的能力。

(5) 总结 每学完一章都应进行认真的自我总结,对照章后“小结”、“习题”、“基本要求”、“学习思路流程图”进行自我检测。

# 目 录

## 绪论

<b>第一章 直流电路</b> .....	( 1 )
第一节 电路及基本物理量.....	( 1 )
第二节 电路的工作状态和电器设备的额定值.....	( 5 )
第三节 电阻和欧姆定律.....	( 7 )
第四节 电阻的连接.....	( 11 )
第五节 电阻元件的测试〔基础实验〕.....	( 19 )
第六节 基尔霍夫定律.....	( 23 )
第七节 复杂电路伏安关系测试〔基础实验〕.....	( 26 )
第八节 电路中的电位及其计算.....	( 29 )
第九节 电压源、电流源及其等效变换.....	( 31 )
第十节 叠加原理.....	( 34 )
第十一节 代维南定理.....	( 37 )
第十二节 直流电路故障检查〔综合实践〕.....	( 40 )
学习指导.....	( 43 )
思考题与习题.....	( 46 )
<b>第二章 电感、电容元件及过渡过程概念</b> .....	( 50 )
第一节 电感元件和电容元件.....	( 50 )
第二节 电路中的过渡过程概念.....	( 55 )
第三节 电阻、电容电路的过渡过程.....	( 56 )
第四节 电阻、电感电路的过渡过程.....	( 59 )
学习指导.....	( 61 )
思考题与习题.....	( 63 )
<b>第三章 单相正弦交流电路</b> .....	( 65 )
第一节 正弦交流电动势的产生.....	( 65 )
第二节 正弦交流电的三要素.....	( 66 )
第三节 交流电的有效值.....	( 71 )
第四节 正弦交流电的矢量表示法.....	( 73 )
第五节 单一元件电路的伏安关系.....	( 76 )
第六节 单一元件电路的功率和能量转换.....	( 80 )
第七节 电阻电感串联电路.....	( 84 )
第八节 日光灯安装与测试〔基础实验〕.....	( 89 )
第九节 电阻、电感、电容串联及并联电路.....	( 92 )
第十节 交流电路测试〔基础实验〕.....	( 99 )
第十一节 交流电路故障检查〔综合实践〕.....	( 102 )

学习指导·····	(112)
思考题与习题·····	(116)
<b>第四章 三相交流电路</b> ·····	(120)
第一节 三相电源·····	(120)
第二节 负载星形连接及中线的作用·····	(123)
第三节 负载的三角形连接·····	(128)
第四节 三相电路的连接与测试〔基础实验〕·····	(131)
第五节 三相电功率·····	(134)
学习指导·····	(136)
思考题与习题·····	(138)
<b>第五章 磁路和变压器</b> ·····	(141)
第一节 磁场的基本物理量·····	(141)
第二节 铁磁材料·····	(143)
第三节 磁路和磁路的欧姆定律·····	(146)
第四节 铁芯线圈交流电路·····	(148)
第五节 单相变压器·····	(152)
第六节 几种常用变压器·····	(158)
第七节 变压器的使用知识·····	(161)
第八节 单相变压器测试〔基础实验〕·····	(165)
第九节 电磁铁简介·····	(168)
学习指导·····	(170)
思考题与习题·····	(173)
<b>第六章 交流异步电动机</b> ·····	(175)
第一节 三相异步电动机的构造·····	(175)
第二节 三相异步电动机的工作原理·····	(177)
第三节 三相异步电动机的铭牌·····	(182)
第四节 三相异步电动机的起动·····	(185)
第五节 三相异步电动机的调速和制动·····	(188)
第六节 三相异步电动机的选用与维修·····	(191)
第七节 三相异步电动机的转矩特性和机械特性·····	(195)
第八节 三相异步电动机的连接与测试〔基础实验〕·····	(200)
第九节 单相异步电动机·····	(204)
学习指导·····	(208)
思考题与习题·····	(210)
<b>第七章 直流电动机</b> ·····	(213)
第一节 直流电动机的构造·····	(213)
第二节 直流电动机的工作原理·····	(215)
第三节 直流电动机的励磁方式及机械特性·····	(216)
第四节 直流电动机的起动和运行操作·····	(218)
学习指导·····	(221)

思考题与习题·····	(222)
<b>第八章 低压电器和基本控制线路</b> ·····	(223)
第一节 常用低压电器·····	(223)
第二节 鼠笼式电动机直接起停控制·····	(229)
第三节 鼠笼式电动机正反转控制和顺序控制·····	(231)
第四节 鼠笼式电动机正反转控制线路的安装〔基础实验〕·····	(234)
第五节 行程控制和时间控制·····	(235)
第六节 应用举例和读图练习〔综合实践〕·····	(240)
学习指导·····	(246)
思考题与习题·····	(247)
<b>第九章 用电常识</b> ·····	(249)
第一节 发电、输电和配电常识·····	(249)
第二节 安全用电·····	(250)
第三节 节约用电·····	(253)
学习指导·····	(253)
思考题与习题·····	(254)
附录 常用电器图形符号新旧对照表·····	(255)
参考书目·····	(258)
部分习题答案·····	(259)

# 第一章 直流电路

本章在已有一些电学知识的基础上，从最简单的直流电路入手，进一步学习电路的基本物理量、基本定律，以及分析计算电路的基本方法。这些方法虽然是针对直流电路提出来的，但对交流及其它电路也同样适用，是分析计算电路的基本理论。

## 第一节 电路及基本物理量

### 一、电路的组成及作用〔课堂演练〕

用一只小灯泡、两节电池、一只开关及导线，按图 1-1 (a) 所示连接成手电筒电路形式，这就是最简单的直流电路。电流表的指示值就是电路中流过的电流。所以，电路就是电流通过的路径。

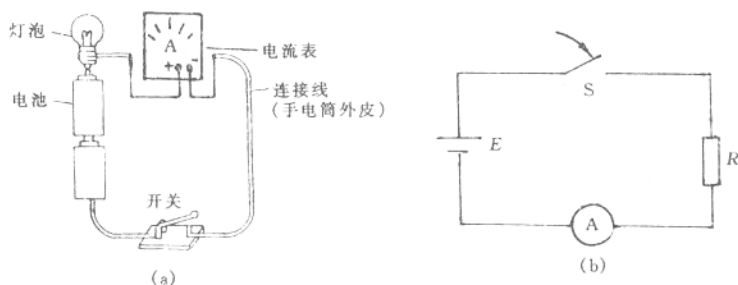


图 1-1 直流电路举例  
(a) 手电筒电路；(b) 电路图

由图 1-1 (a) 可见，电路一般由三部分组成：即电源、负载和中间环节。

**电源：**就是能将其其它形式的能量转换成电能的装置，如电池、发电机等。电池将化学能转换成电能，发电机将机械能转换为电能。

**负载：**一切用电设备统称为负载。它能把电能转换为其它形式的能量，如灯泡、电动机、电炉、扬声器等。

**中间环节：**主要指连接导线以及起控制和保护作用的各种电器元件。它们将电源和负载连接起来，构成可以控制的电流通路，如图 1-1 (a) 所示。

通常把组成电路的实际元件用一些规定的图形及字母表示，画成工程上用的电路图。图 1-1 (b) 就是图 1-1 (a) 的工程电路图。电池用电动势  $E$  表示，负载用电阻  $R$  表示，开关用  $S$  表示。中间环节的电阻与负载电阻相比通常很小，可以忽略，所以，在一般电路中，如无特别说明，中间环节各元件都可以看成是电阻为零的理想状态。

从电路所完成的功能来看，可分为两种类型：即供电电路和信息传递或处理电路。供电电路是指实现电能的传输、分配和转换的电路，如电动机供电系统、照明电路等。电话将声

信号转变为电信号并沿导线传送；电视机、收音机将天线接收下来的信号，经过检波、调谐、放大等一系列处理，然后转换成声音和图像等，都属于信息转换和处理电路。

不论是哪一种电路，在实现其功能转换过程中，都要涉及对电压、电流、电动势等物理量的分析与计算。所以，下面首先学习这些基本物理量。

## 二、电路的基本物理量

### 1. 电流

电荷的定向移动便形成电流。习惯上把正电荷移动的方向规定为电流的实际方向，如图 1-2 (a) 所示。即在外电路中，电流从电源的正极经负载流向负极。而在内电路中（即电源内部），电流从电源的负极流向正极。如图 1-2 (b) 所示。

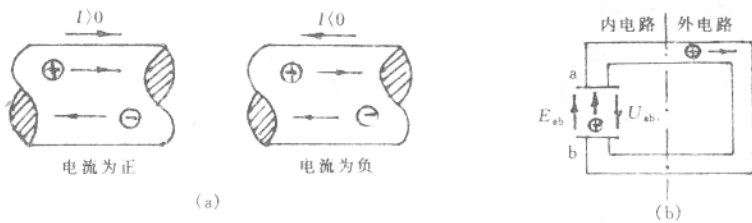


图 1-2 电流的正方向及电荷的移动

(a) 电流的正方向；(b) 电荷的移动

电流的大小用电流强度表示，简称电流，数值上等于单位时间内通过导体横截面的电荷量。即

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

式中  $I$  —— 电流，A；

$q$  ——  $t$  时间内通过导体截面的电荷量。

在国际单位制中，1A 的电流就是每秒通过导体横截面为 1 库仑 (C) 的电荷量。

在简单电路中，电流的方向很容易判定，但在复杂电路中，某一支路中的电流的实际方向，有时很难确定。因此，在分析计算电路前，需任选一方向作为电流的正方向（或称参考方向），并用箭头表示。因为正方向是任意假定的，所以不一定是实际方向。当电流的正方向与实际方向一致时取正值，反之取负值，如图 1-2 (a) 所示。

本书电路图上所标的电流方向均为正方向。在未标明正方向的情况下说电流的正负是没有意义的。电流、电压的正方向也可用双下标表示，如  $I_{ab}$  表示电流的正方向为由 a 点指向 b 点，故  $I_{ab} = -I_{ba}$ 。

如果电流的大小和方向均不随时间而变化，这种电流称为恒定电流，简称直流。

在一段无分支的电路中，在相同时间内流经导体任一横截面的电流都是相等的。因为电荷在移动过程中不可能在某一点堆集或消失，这就是电流的连续性原理。图 1-3 所示电路为无分支电路，所以，图中各处电流均为同一数值。



## 2. 电动势和电压

在内电路中，电源将其它形式的能量转换为局外力对电荷做功，把正电荷从电源的负极移向正极，以提高电荷的电位能。电动势  $E$  就是衡量局外力对电荷做功的能力。在数值上等于局外力把单位正电荷从低电位端经电源内部移到高电位端所做的功。即

$$E = \frac{W}{q} \quad (1-2)$$

在国际单位制中，功的单位为焦耳 (J)，电荷量的单位为库仑 (C)，则电动势的单位为伏特 (V)。

电动势的方向规定为从低电位端 (电源负极)，指向高电位端 (电源正极)，如图 1-3 所示。

在外电路中，电源正负两极间聚积的电荷形成电场，电场力使正电荷从高电位移向低电位，电场力移动电荷所做的功在负载上转换为其它形式的能量。电压就是衡量电场力做功能力的物理量，数值上等于电场力把单位正电荷从高电位端经负载移到低电位端所做的功。即

$$U = \frac{W}{q} \quad (1-3)$$

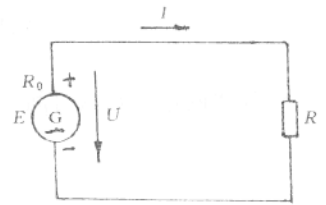


图 1-3 电压、电流、电动势

电压的单位也是伏特 (V)。其方向规定为从高电位端指向低电位端，如图 1-3 所示。

在分析电路时，有时需要在统一标准下比较某些点的电位能的大小，因此，定义某点与参考点之间的电压称为该点的电位。参考点是比较的基准，规定其电位为零。若选  $o$  点为参考点，则  $a$  点的电位为

$$\varphi_a = U_{ao} = \frac{W_{ao}}{q} \quad (1-4)$$

通常选大地作为参考点，各种用电设备的金属外壳或电路的公共点若接地，电位为零，但不一定是真正的接地。在电路中选择不同的参考点，各点的电位也不同，但是任两点间的电压是不变的。关于电位的概念及计算，将在本章第八节中详细介绍。

## 3. 电能和电功率

当电流通过电路的同时，电路内发生了能量的转换。正电荷在电源内获得能量，把非电能转换为电能，然后通过外电路把电能转换为其它形式的能。因此，电荷只是一种传输能量的媒介，它本身并不产生或消耗任何能量，通常所说用电，就是指电荷携带的能量。

由式 (1-1)、(1-2) 可知，正电荷从低电位端经电源内部移动到高电位端，局外力做功为

$$W_s = Eq = EIt$$

由式 (1—1)、(1—3) 可知, 正电荷从高电位经负载移到低电位端, 电场力所做的功为

$$W_L = Uq = UIt$$

电荷在电路中移动, 把一部分电能转换为热能, 这是无法利用的热能损耗。损耗的电能为

$$W_0 = (E - U)q = U_0It$$

由能量守恒定律, 得到能量平衡方程式, 即

$$W_s = W_L + W_0 \quad \text{或} \quad EIt = UIt + U_0It \quad (1-5)$$

将等式两边同除以时间  $t$ , 则可得到功率平衡方程式

$$EI = UI + U_0I \quad (1-6)$$

$EI$  为电源向电路提供的功率,  $UI$  为负载消耗的功率,  $U_0I$  为电源内部消耗的功率。若用字母  $P$  表示功率, 则式 (1—6) 可写成

$$P_s = P_L + P_0 \quad (1-7)$$

如将式 (1—6) 两边同除以  $I$ , 即可得到电压平衡方程式

$$E = U + U_0 \quad (1-8)$$

在国际单位制中, 功率的单位为

$$[P] = [U] \cdot [I] = [\text{伏}] \cdot [\text{安}] = [\text{瓦特}](\text{W})$$

常用的电能导出单位为千瓦·时 ( $\text{kW} \cdot \text{h}$ )。它与焦耳 (J) 间的换算关系为

$$1\text{kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$$

例 1—1 有一直流电源的电动势  $E = 125\text{V}$ , 负载端电压  $U = 115\text{V}$ , 电流  $I = 4\text{A}$ , 求  $P_s$ 、 $P_L$ 、 $P_0$  及  $U_0$ 。

解

$$P_s = EI = 125 \times 4 = 500W$$

$$P_L = UI = 115 \times 4 = 460W$$

$$P_0 = U_0I = (E - U)I = (125 - 115) \times 4 = 40W$$

$$U_0 = E - U = 125 - 115 = 10V$$

## 第二节 电路的工作状态和电器设备的额定值

### 一、电路的工作状态 [课堂演练]

电路有三种状态，即通路状态、开路状态和短路状态。可按图 1-4 (a) (b) (c) 连接，分别演示这三种状态下，电路中的电压、电流及功率的特征。

#### 1. 通路状态 (有载工作状态)

按图 1-4 (a) 连接，合上开关 S，电源通过负载形成闭合回路，即电路处于正常工作状态。由电压表、电流表显示的数值可见，电路中的电流符合关系

$$I = \frac{E}{R_0 + R}$$

电源端电压与负载端电压相等，符合关系

$$U = IR = E - IR_0$$

显然，通路状态下，电源的端电压  $U$  总是小于电源电动势  $E$ ，其差值为电源内阻电压降  $IR_0$ ，因为电源内阻一般都很小，当  $R \gg R_0$  时，可认为  $U \approx E$ 。

通路状态下的功率可由例 1-1 所述方法求得，即

$$P_s = EI$$

$$P_L = UI$$

$$P_0 = U_0I$$

#### 2. 开路状态 (断路状态)

按图 1-4 (b) 连接电路，开关 S 打开，不构成闭合回路。此时可见，电流表指示为零，电压表指示为  $E$ ，电路中没有电流通过，这种状态称为开路状态。该情况发生在负载不用电的场合或检修设备、排除故障等时候。因为电流为零，内阻  $R_0$  上没有损耗，电源端电

压等于电源电动势，负载上电压为零。

所以，开路状态可概括为

$$I = 0$$

$$U = E$$

$$P_s = P_L = P_0 = 0$$

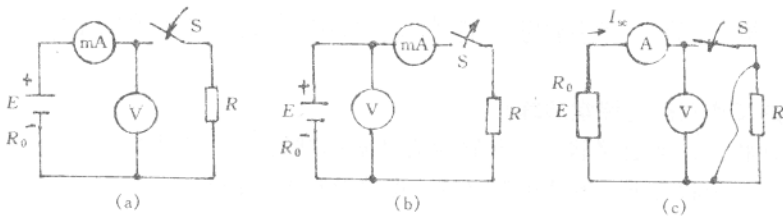


图 1-4 电路的三种状态

(a) 通路状态；(b) 开路状态；(c) 短路状态

### 3. 短路状态

按图 1-4 (c) 接线，合上开关 S，可见电压表指示为零，电流表指示很大，电流经短路点和电源形成通路，负载中没有电流通过，这种状态称为短路状态，该状态属于事故状态。产生短路的原因往往是由于绝缘损坏，或线路接错以及其它原因造成的。

因为电源内阻及导线电阻均很小，所以短路电流  $I_{sc}$  极大， $I_{sc}$  可使电源遭到极严重的破坏，使导线发热、发生火灾等事故。如忽略导线电阻，虽然电流极大，而电源端电压却为零，电动势全部降落在内阻上，电源电功率也全部消耗在内阻上。

所以，短路状态可概括为

$$U = 0$$

$$I = I_{sc} = \frac{E}{R_0}$$

$$P_s = P_0 = R_0 I_{sc}^2$$

$$P_L = 0$$

需要说明的是：刚才是用一节电池演示短路现象的，由于电压较低，电池又有一定的内阻，所以，电流  $I_{sc}$  还不是极大。在平时工作中电压较高，是不能随便演示短路现象的。

为了防止因短路带来的严重后果，通常在电路中接入保护装置，一旦发生短路，保护装置便迅速切断电路，从而保护了电源、线路及用电设备的安全。电路中安装熔断器、自动断

路器等就是起这个作用的。熔断器安装在开关负载一侧，如图 1-5 所示。在换接熔丝时，须拉开开关，使其与电源隔离，以确保工作人员的安全。

在实际工作中，有时需用电阻很小的导线把电路中电位差不大的两点短路起来。当然这种短路决不能发生危险事故。为了和电源短路相区别，通常把这种短路称为短接。在图 1-5 所示电路中，为了防止电动机 M 的起动电流冲击电流表，起动时先用开关将电流表短接，待起动完毕，再打开开关。这时安培表指示的就是电动机正常运转取用的电流，这种短接非但没有危险，而且是有利的。

## 二、电气设备的额定值和电路额定工作状态

任何电气设备及元件，它们所能承受的电压、电流都有一定的限度。当电压过高、电流过大时，导体就会过热，影响设备、元件的使用寿命，甚至发生击穿烧坏设备以及造成人身事故。为了使各种用电设备安全可靠地工作，需规定一限额，如额定电压、额定电流、额定功率等，称为电气设备的额定值。

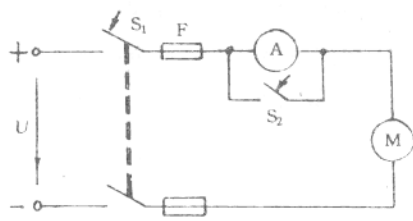


图 1-5 熔断器的安装及安培表的短接

额定电压是指电气设备正常工作时的端电压。

额定电流是指电气设备在一定的环境温度下，长期连续工作或按规定时间工作所容许通过的最大电流。

额定功率是指电气设备在额定电压、额定电流下工作时，输出功率或输入功率。

电源一般不用额定功率，而用额定容量来表示，如发电机、变压器均标额定容量。

各种电气设备的额定值都标在铭牌上，电阻、电容等元件有的直接标在元件上。也可以根据其规定型号从产品目录中查得，如白炽灯上标有 220V、60W，就表示额定电压为 220V、额定功率为 60W。有的电气设备额定值往往不全部标出，如刚才的 220V、60W 灯泡，其电流就未标出。但说明它接在 220V 电源上消耗的功率为 60W，不难知道其电流为 0.273A。如果把它错接到 380V 电源上，它的功率就不是 60W 了，灯丝将很快被烧断。

电气设备在额定值下工作称为额定工作状态（亦称满载）。使用设备时尽可能使之工作在额定状态，这时是最经济合理地充分利用设备，以保证设备的正常运行及使用寿命。由于某种原因，电流超过了额定值，这时称为过载。电气设备短时间内少量过载，一般不会导致设备的损坏，因温度上升需要一段时间。但长时间过载是不允许的，故在实际电路中采用一定的保护装置，使过载时能自动切断电源。设备的电压或电流小于额定值，称为欠载。欠载下工作设备利用率低，不经济。

## 第三节 电阻和欧姆定律

### 一、电阻元件

电阻是用来表示电流通过导体时所受到的阻碍作用大小的物理量。当导体两端电压为 1V，通过导体的电流为 1A 时，导体的电阻值为 1Ω。较大的电阻可用千欧（kΩ），或兆欧（MΩ）作为单位。其换算关系为

$$1\text{k}\Omega = 10^3\Omega$$

$$1\text{M}\Omega = 10^6\Omega$$

实验证明：导体的电阻不仅与其材料有关，还与其尺寸有关。一根均匀截面的金属导体，在一定的温度下，其电阻与其长度  $l$  成正比，与横截面积  $S$  成反比，与材料的导电能力有关，即

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-9)$$

$\rho$  是反映金属材料导电性能优劣的系数，称为电阻率。电阻率的倒数称为电导率，用  $\gamma = \frac{1}{\rho}$  表示。 $l$  单位用米 (m)， $S$  单位为平方米 ( $m^2$ )， $\rho$  的单位为欧·米 ( $\Omega \cdot m$ )。

为了计算方便，有时采用电阻的倒数—— $G$  来表示，电导的单位为西门子，简称西 ( $S$ )。

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-10)$$

有些物体的电阻率很大，电流很难通过，如云母、塑料、玻璃等，这类物质称为绝缘体，又称电介质。常用的铜芯、铝芯电线，外面都包裹着橡皮或塑料等绝缘体，以防漏电保证安全。如果电压太高，绝缘体将被击穿而失去绝缘性能。

导体的电阻还与温度有关，多数的金属导体的电阻率随温度的升高而增大；碳、电解液、绝缘体的电阻率，随着温度的升高而减小。

一般的金属导体温度在  $0 \sim 100^\circ\text{C}$  范围内，可认为其电阻的相对增量与温度的变化量成正比关系，即

$$\frac{R_2 - R_1}{R_1} = \alpha(t_2 - t_1)$$

或 
$$R_2 = R_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (1-11)$$

式中  $\alpha$  ——电阻的温度系数， $1/^\circ\text{C}$ ；

$R_1, R_2$  ——温度  $t_1$  和  $t_2$  时刻的电阻值。

表 1-1 为几种常用的导电材料的电阻率和温度系数。其中银、铜、铝电阻率小，导电性好，因此常用来制造导线等导电材料。镍铬及铁铬铝电阻率很大，常用来制造电阻丝等电热元件。康铜、锰铜温度系数很小，常用来做标准电阻，如电工仪表中的分流电阻、附加电阻等。铂的温度系数较大且熔点高，常用做热电偶或电阻温度计，其测温范围在  $-120 \sim +500^\circ\text{C}$ 。

以上讨论的是导体电阻，从广义来讲，凡在电路中消耗电能的元器件，都可以用一个等效电阻来代替它。

有些物质在低温状态下，其阻值会突然大幅度地下降至零。具有该性质的物体称为超导体。当材料处于超导状态，由于电阻为零，导体没有热损耗，在超导体中一经激起电流之后，即使取消外电场，电流也能长时间地维持下去。

表 1-1 常用导电材料的电阻率和温度系数

名称	20℃时电阻率 $\rho$ $\Omega \cdot m$	电阻温度系数 $\alpha$ (0-100℃) 1/℃
银	$1.65 \times 10^{-8}$	0.0038
铜	$1.75 \times 10^{-8}$	0.00393
铝	$2.83 \times 10^{-8}$	0.00424
钨	$5.48 \times 10^{-8}$	0.0045
铁	$9.78 \times 10^{-8}$	0.005
铂	$10.5 \times 10^{-8}$	0.003
锡	$11.4 \times 10^{-8}$	0.0042
铅	$21.9 \times 10^{-8}$	0.0039
康铜	$44 \times 10^{-8}$	0.000005
锰铜	$42 \times 10^{-8}$	0.000006
镍铬	$108 \times 10^{-8}$	0.00013
铁铬铝	$135 \times 10^{-8}$	0.00005

随着超导技术的不断发展,获得超导的温度也在不断地提高。目前,用铌钒钙铜氧化物做材料的超导体,温度已提高到绝对温度一百多度。已可以用便宜的液氮取代昂贵的液氦作为降温的冷却剂。现在超导技术已经比较广泛地应用于电子计算机、原子能、航空探测、临床诊断等领域,并将在发电、输电、贮电以及交通运输等方面得到应用。

## 二、欧姆定律 [课堂演练]

电阻中电流  $I$  的大小与加在电阻两端的电压  $U$  成正比,与其阻值  $R$  成反比,这就是欧姆定律。

### 1. 一段电阻电路的欧姆定律

按图 1-6 连接电路,即将电阻两端加一电压,就构成了不含电动势的一段电阻电路。给定的电压及电阻值和电流表指示值,符合关系

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

或 
$$U = IR \quad (1-12)$$

与欧姆定律相吻合。式 (1-12) 被称为一段电阻电路的欧姆定律表达式。如果用电导表示,即为

$$I = GU$$

或 
$$U = \frac{1}{G}I \quad (1-13)$$

在图 1-6 所示电路中,把电阻换成康铜、锰铜或碳膜电阻,加在电阻两端的电压从零开始缓慢上升,记录每一电压对应的电流值,在直角坐标系上描画电压与电流的关系曲线,如图 1-7 (a) 所示,称为电阻的伏安特性。由图可见电流与电压为直线关系。符合这一关系的电阻称为线性电阻。

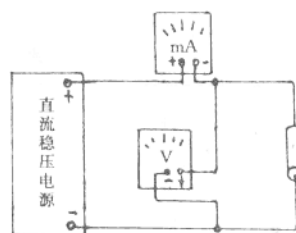


图 1-6 一段电阻电路连接与测试

在上述电路中,把电阻再换接成一只晶体二极管,重复上述过程,将流过二极管中的电流随着二极管两端电压变化而变化的关系画在图 1-7 (b) 所示的坐标上。由图可见电流与电压之间不是线性关系,符合这样关系的电阻称为非线性电阻。

## 2. 全电路欧姆定律

按图 1-8 (a) 连接电路,这是一个最简单的闭合电路,因为直流稳压电源内阻太小,可用一适量电阻与直流稳压电源串联来代替直流电源。合上开关,由电压表和电流表指示及其它已知参数,可得到关系

$$U = IR$$

$$U_0 = IR_0$$

$$E = U + U_0$$

由实验测试或公式推导都可证明

$$I = \frac{E}{R + R_0} \quad (1-14)$$

式 (1-14) 就是全电路欧姆定律,它表示:电路中的电流与其电动势成正比,与电路的全部电阻成反比。

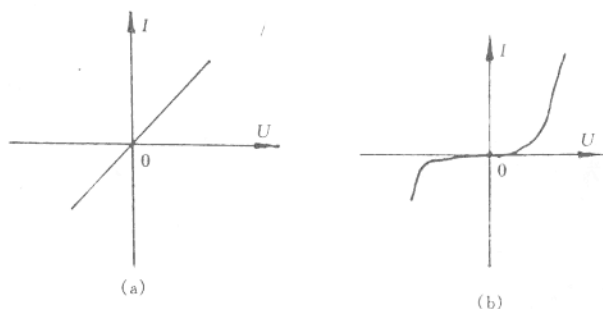


图 1-7 电阻元件的伏安特性  
(a) 线性电阻; (b) 非线性电阻

在一般情况下,电源电动势和内电阻可以认为是不变的,那么外电路电阻的改变就是影响电流大小的唯一因素。把图 1-8 (a) 电路中的电阻改用一可变电阻,当把电阻值由大到小改变时,将发现电流表的指示对应地由小到大,电源的端电压 ( $U = E - IR_0$ ) 将略有下降。将这一对应关系画在图 1-8 (b) 所示的坐标上,就得到了  $U = f(I)$  曲线,称为电源的外特性曲线。



如果电源的端电压随着电流的增大而下降很少，这说明电源具有较好的外特性。反之，则外特性较差。电源的外特性通常为一条稍下倾的直线，电源的内阻越小，直线越接近水平，在负载变动时端电压越稳定。

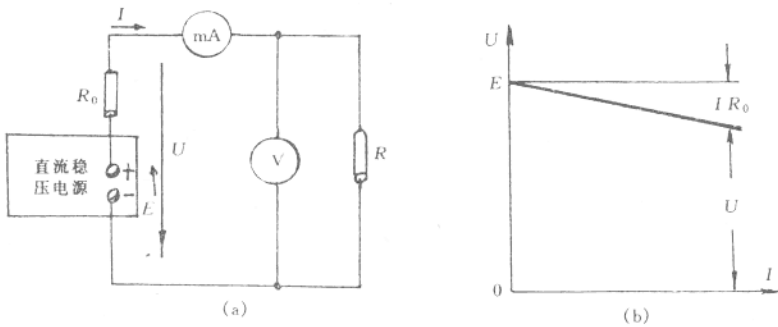


图 1-8 闭合电路及电源外特性

例 1—2 如图 1-8 (a) 所示，已知  $E = 110\text{V}$ ， $U = 100\text{V}$ ， $R_0 = 1\Omega$ ，求电流  $I$ 、负载电阻  $R$  及电源内部电压降。

解 据已知条件和欧姆定律得

$$I = \frac{U_0}{R_0} = \frac{E - U}{R_0} = \frac{110 - 100}{1} = 10\text{A}$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{100}{10} = 10\Omega$$

$$U_0 = IR_0 = 10 \times 1 = 10\text{V}$$

例 1—2 是属于一段含源电路，若外部是一段电阻电路， $E$ 、 $R_0$  和  $U$  数值已知，由欧姆定律不难从内电路来计算电流。我们常把关系式  $I = \frac{E - U}{R_0}$  称为一段含源电路的欧姆定律。即电源的输出电流等于其电动势与其端电压之差再除以电源的内阻。

欧姆定律是分析计算电路的基本定律，在分析计算具体电路时要根据所给条件，正确灵活地运用。

#### 第四节 电阻的连接

在简单的直流电路中，外电路常常是由许多电阻串联、并联或混联组成的。下面将通过演练和推导总结出这些电路的特点。

##### 一、电阻的连接 [课堂演练]

##### 1. 电阻的串联和分压电路

按图 1-9 连接电路，这种电阻一个接一个地连接且没有分岔的连接方式，称为串联。