

中国通信学会普通高等教育“十二五”规划教材立项项目

普通高等院校

电子信息类系列教材

DianGong JiShu
JiChu

电工技术 基础

◎ 刘显忠 主编 温海洋 秦淑香 金巨波 副主编

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

中国通信学会普通高等教育“十二五”规划教材立项项目

普通高等院校电子信息类系列教材

电工技术基础

刘显忠 主编

温海洋 秦淑香 金巨波 副主编

人民邮电出版社

北 京

图书在版编目(CIP)数据

电工技术基础 / 刘显忠主编. —北京: 人民邮电出版社,
2009.9
(普通高等院校电子信息类系列教材)
ISBN 978-7-115-20056-3

I. 电… II. 刘… III. 电工技术—高等学校—教材
IV. TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第131538号

内 容 提 要

本书全面、系统地介绍电工技术的基础知识和基本技术,将基础理论与应用紧密结合,注重体现知识的实用性和前沿性。

全书共分8章,分为电路基本理论与基本分析方法、电机与电器、安全用电和电工测量4个部分,主要内容有电路的基本概念和基本定律、电路的分析方法、正弦交流电路、三相正弦交流电路、电路的暂态分析、变压器、三相异步电动机、常用控制电器、可编程控制器、工业企业供电与安全用电和电工测量等。每章设有习题,并配有习题答案。

本书可作为应用型本科院校和高等职业院校的机电、自动化、计算机、汽车、电气、电子信息等专业教材使用,也可供工程技术人员和自学者参考。

中国通信学会普通高等教育“十二五”规划教材立项项目

普通高等院校电子信息类系列教材

电工技术基础

-
- ◆ 主 编 刘显忠
 - 副 主 编 温海洋 秦淑香 金巨波
 - 责任编辑 蒋 亮
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
 - 邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
 - 网址 <http://www.ptpress.com.cn>
 - 三河市海波印务有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
 - 印张: 11.25
 - 字数: 270千字
 - 印数: 1-3 000册
 - 2009年9月第1版
 - 2009年9月河北第1次印刷

ISBN 978-7-115-20056-3

定价: 20.00元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

电工技术是高校电气信息和电子信息类各专业的一门重要的技术基础课程，也是其他理工科专业必修的课程之一。

电工技术涉及的内容较多，本书力求将基本概念、基本规律和基本分析方法讲解透彻，内容精简。本书主要针对应用型本科院校和高等职业院校非电类专业而编写的，在内容编排上注重结合应用型的特点，做到基础理论适当，对公式、定理的推导及证明从简；着重介绍电路的基本概念、基本定律、电路的基本分析方法和常用电工设备的工作原理及应用，并突出理论应用于实践的特色，提高实践能力，为今后的就业和创业打下良好基础。

本书是根据教育部（原国家教育委员会）1995年颁发的高等工业学校电子技术（电工学Ⅰ）课程教学基本要求编写的，既可以和由姜桥主编、人民邮电出版社出版的《电子技术基础》教材（符合电工学Ⅱ的课程教学基本要求）作为上、下册配套使用，也可以单独使用。

本书由刘显忠主编，温海洋、秦淑香和金巨波为副主编。

全书共分8章，其中第1章、第3章由刘显忠编写；第2章、第8章由温海洋编写；第6章由钱庆文编写；第7章由刘洋编写；第5章由秦淑香编写；第4章由金巨波编写；邵文冕编写第8章中部分内容。

在本书编写过程中得到了各参编院校领导和相关系领导、教师的大力指导和帮助，在此表示衷心感谢。王朋对本书进行了整理和校对，在此一并表示感谢。

由于编者的水平有限，书中难免存在错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

编者联系方式：liuxianzhong2008@126.com。

编 者
2009年3月

目 录

第1章 电路的基本概念和基本定律	1	2.5 戴维宁定理和诺顿定理	27
1.1 电路和电路模型	1	2.5.1 戴维宁定理	27
1.1.1 电路	1	2.5.2 诺顿定理	28
1.1.2 电路模型	1	小结	29
1.2 电路的基本物理量及其参考方向	2	习题	30
1.2.1 电流及其参考方向	2	第3章 正弦交流电路	32
1.2.2 电压及其参考方向	3	3.1 正弦交流电的基本概念	32
1.2.3 电位和电动势	4	3.1.1 正弦量	32
1.2.4 电功率和电能	5	3.1.2 正弦交流电的三要素	33
1.3 电阻元件和欧姆定律	6	3.1.3 相位差	34
1.4 理想电压源和理想电流源	7	3.2 正弦量相量表示法	35
1.4.1 理想电压源	7	3.2.1 复数及其运算	35
1.4.2 理想电流源	8	3.2.2 正弦量的相量表示法	37
1.5 工程中的电阻、电源与电路的 状态	9	3.3 电感元件和电容元件	38
1.5.1 电阻	9	3.3.1 电感元件	38
1.5.2 电源	9	3.3.2 电容元件	40
1.5.3 电路状态	10	3.4 单一参数的交流电路	41
1.6 基尔霍夫定律	12	3.4.1 电阻元件的交流电路	41
1.6.1 基尔霍夫电流定律	12	3.4.2 电感元件的交流电路	43
1.6.2 基尔霍夫电压定律	13	3.4.3 电容元件的交流电路	45
小结	15	3.5 RLC 串联交流电路	48
习题	15	3.6 阻抗的串联和并联	51
第2章 电路的分析方法	18	3.6.1 阻抗的串联	52
2.1 电路的等效变换	18	3.6.2 阻抗的并联	53
2.1.1 电阻的连接及其等效变换	18	3.7 功率因数的提高	55
2.1.2 电源的两种模型及其等效 变换	20	3.8 电路中的谐振	57
2.2 支路电流法	23	3.8.1 串联谐振	57
2.3 节点电压法	25	3.8.2 并联谐振	59
2.4 叠加定理	26	小结	60
		习题	61
		第4章 三相正弦交流电路	65
		4.1 三相交流电源	65

4.2 三相电源的星形联结·····	66	6.3.5 复励电动机·····	126
4.3 三相电源的三角形联结·····	67	6.4 低压电器和基本控制电路·····	126
4.4 三相负载的连接·····	68	6.4.1 常用低压电器·····	126
4.5 三相功率·····	72	6.4.2 三相异步电动机继电接触 基本控制电路·····	130
小结·····	73	小结·····	132
习题·····	73	习题·····	133
第5章 电路的暂态分析·····	76	第7章 可编程控制器·····	134
5.1 概述·····	76	7.1 PLC的结构和工作原理·····	134
5.2 换路定理及初始值的确定·····	77	7.1.1 PLC的基本结构·····	134
5.3 一阶电路的零输入响应·····	79	7.1.2 各部分电路介绍·····	135
5.3.1 RC电路的零输入响应·····	80	7.1.3 PLC的主要性能指标·····	138
5.3.2 RL电路的零输入响应·····	82	7.1.4 PLC的基本工作原理·····	139
5.4 一阶电路的零状态响应·····	84	7.2 PLC的基本指令和编程·····	142
5.4.1 RC电路的零状态响应·····	84	7.2.1 基本指令系统特点·····	142
5.4.2 RL电路的零状态响应·····	86	7.2.2 编程语言的形式·····	143
5.5 一阶电路的全响应和三要素法·····	87	7.2.3 编程基本元件·····	144
5.5.1 一阶电路的全响应·····	87	7.2.4 梯形图编程·····	145
5.5.2 三要素法·····	91	7.2.5 梯形图与继电器控制图的 区别·····	147
小结·····	94	7.2.6 梯形图的设计与编程方法·····	147
习题·····	95	7.3 PLC的应用举例·····	148
第6章 电机与电器·····	98	7.3.1 PLC在交通信号灯自动控制 中的应用·····	148
6.1 磁路与变压器·····	98	7.3.2 PLC在液体混合装置控制中 的应用·····	152
6.1.1 磁路的基本知识·····	98	小结·····	155
6.1.2 铁芯线圈电路·····	101	习题·····	155
6.1.3 变压器·····	102	第8章 安全用电与电工测量·····	157
6.2 三相交流异步电动机·····	107	8.1 发电、输电和企业配电·····	157
6.2.1 三相异步电动机的构造和 转动原理·····	107	8.1.1 发电、输电概述·····	157
6.2.2 三相异步电动机的电磁转矩 和机械特性·····	113	8.1.2 工业企业配电·····	158
6.2.3 三相异步电动机的使用·····	116	8.2 安全用电常识·····	158
6.3 直流电动机·····	120	8.2.1 触电·····	158
6.3.1 直流电动机的构造和 工作原理·····	120	8.2.2 低压配电系统的接地 形式·····	159
6.3.2 他励电动机·····	123	8.2.3 保护接地和保护接零·····	160
6.3.3 并励电动机·····	125		
6.3.4 串励电动机·····	126		

8.3 电工测量概述.....	161	8.4.3 电动式仪表.....	166
8.3.1 电工仪表的分类.....	162	小结.....	167
8.3.2 电工仪表的准确度.....	162	习题.....	167
8.4 电工仪表的型式.....	164	部分习题参考答案.....	168
8.4.1 磁电式仪表.....	164	参考文献.....	172
8.4.2 电磁式仪表.....	165		

本章主要介绍电路模型、电路中的基本物理量及其参考方向、电源和电阻的特性、电源的工作状态和基尔霍夫定律。本章内容是分析和计算电路的基础。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路

人们在日常生活中或在生产和科研中广泛地使用着各种电路，如照明电路，收音机、电视机中的放大电路，从不同信号中选取所需信号的调谐电路，各种控制电路，以及生产科研上所需的各种专业用途的电路等。

电路是由各种电气器件按一定方式用导线连接组成的总体，它提供了电流通过的闭合路径。这些电气器件包括电源、开关、负载等。电源是把其他形式的能量转换为电能的装置，例如，发电机将机械能转换为电能。负载是取用电能的装置，它把电能转换为其他形式的能量，例如，电动机将电能转换为机械能，电热炉将电能转换为热能，电灯将电能转换为光能。导线和开关用来连接电源和负载，为电流提供通路，把电源的能量供给负载，并根据负载需要接通和断开电路。

电路的功能和作用有两类：第一类功能是进行能量的转换、传输和分配；第二类功能是进行信号的传递与处理。例如，扩音机的输入是由声音转换而来的电信号，通过晶体管组成的放大电路，输出的是放大的电信号，从而实现了放大功能；电视机可将接收到的信号，经过处理，转换成图像和声音。

1.1.2 电路模型

实际电路都是由一些起不同作用的实际电路元件或器件组成的，如电池、灯泡、发电机、电动机、变压器、扬声器等，这些实际元器件的电磁性能较为复杂。以白炽灯为例，它除了具有消耗电能的性质（电阻性）外，当电流通过时也会产生磁场，即它具有电感性，但由于它的电感很微小，可以忽略不计，所以可将白炽灯看作是一个电阻性的元件。

为了便于对实际电路进行分析和计算，在一定条件下，把实际元件加以近似化、理想化，忽略其次要性质，用足以表征其主要特征的“模型”来表示，将这种元件称为理想元件。常见的理想电路元件有：电阻元件、电感元件、电容元件、理想电压源和理想电流源，其电路

符号如图 1.1 所示。

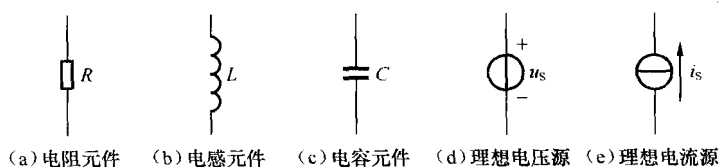


图 1.1 基本理想电路元件电路符号

由理想电路元件构成的电路称为实际电路的“电路模型”，如图 1.2 所示，图 1.2 (a) 为手电筒的实际电路，若把小灯泡看成是电阻元件，用 R 表示，考虑到干电池内部自身消耗的电能，把干电池看成是电阻元件 R_s 和电压源 U_s 串联，连接导线看成为理想导线（其电阻为零）。这样，手电筒的实际电路就可以用电路模型来表示，如图 1.2 (b) 所示。

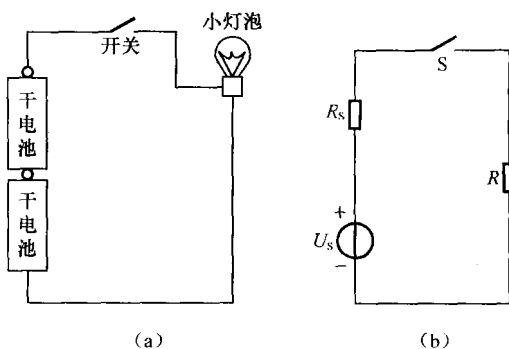


图 1.2 实际电路与电路模型

本书后续内容中分析的都是电路模型，简称电路。在电路图中，各种电路元件用规定的图形符号表示。

1.2 电路的基本物理量及其参考方向

电路的工作特性是以电路中的电压、电流、功率和磁通等物理量来表示，在进行电路分析时不仅要求出电压、电流等物理量的数值还要确定它们的实际方向。电压、电流等物理量的实际方向依靠设定参考方向的方法确定。

1.2.1 电流及其参考方向

电荷的定向移动形成电流。单位时间内通过导体横截面的电荷量为电流强度。电流强度是描述电流大小的物理量，简称为电流，用 i 表示，即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

式中， q 表示电荷量，电荷量的单位为库[仑](C)，简称库； t 表示时间，时间的单位为秒(s)；电流强度的单位为安[培](A)，简称安。计算微小电流时，电流的单位为 mA (毫安)、 μ A (微安)，其换算关系如下

$$\begin{aligned} 1\text{kA} &= 1\,000\text{A} = 10^3\text{A} \\ 1\text{mA} &= 10^{-3}\text{A} \\ 1\mu\text{A} &= 10^{-6}\text{A} \end{aligned}$$

当电流的大小和方向不随时间变化时， dq/dt 为定值，这种电流称为直流电流，简称直流(DC)。直流电流用大写字母 I 表示，即

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.2)$$

习惯上,规定正电荷的移动方向表示电流的实际方向。在外电路,电流由正极流向负极;在内电路,电流由负极流向正极。

在简单电路中,电流的实际方向可由电源的极性确定,在复杂电路中,电流的方向有时事先难以确定。为了满足分析电路的需要,引入了电流的参考方向的概念。

参考方向是假定的方向,电流的参考方向可以任意选定。在一段电路或一个电路元件中事先选定一个电流方向作为电流的参考方向。本书中用虚线箭头表示电流的实际方向,用箭头直接标在电路上表示电流的参考方向,也可以用双下标表示,如 I_{ab} 表示其参考方向由 a 指向 b。参考方向是任意选定的,而电流的实际方向是客观存在的。因此,所选定的电流参考方向并不一定就是电流的实际方向。当选定电流的参考方向与实际方向一致时, $I > 0$; 当选定电流的参考方向与实际方向相反时, $I < 0$ 。

电流的参考方向与实际方向如图 1.3 所示。

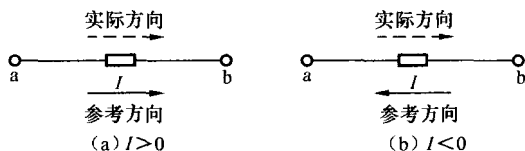


图 1.3 电流的参考方向与实际方向

电流的实际方向是实际存在的,它不因其参考方向选择的不同而改变,即存在 $I_{ab} = -I_{ba}$ 。本书中不加特殊说明时,电路中的公式和定律都是建立在参考方向的基础上的。

1.2.2 电压及其参考方向

电流是电荷受电场力的作用运动而形成的。将电荷由电场中的 a 点移至 b 点时电场对电荷做功,为衡量电场力做功的大小引入电压这一物理量。电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功称为 a、b 两点间的电压,用 u_{ab} 表示,即

$$u_{ab} = \frac{dW_{ab}}{dq} \quad (1.3)$$

式中, W_{ab} 表示电场力将电荷量为 q 的正电荷从 a 点移到 b 点所做的功。

电压的单位为伏[特](V),简称伏,计算较大的电压时用 kV (千伏),计算较小的电压时用 mV (毫伏)。其换算关系为

$$1\text{kV} = 10^3\text{V}, 1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}$$

在直流电路中,式(1.3)可写成

$$U_{ab} = \frac{W}{Q} \quad (1.4)$$

电压的实际方向规定为从高电位点指向低电位点,即由“+”极指向“-”极,因此,在电压的实际方向上电位是逐渐降低的。和电流类似,在比较复杂的电路中,两点间电压的实际方向往往很难预测,所以也要事先选择一个参考方向。若参考方向与实际方向相同,则电压为正;若参考方向与实际方向相反,则电压为负,如图 1.4 所示。

电压的参考方向可用箭头表示,也可以用“+”、“-”号表示,“+”表示高电位,“-”表示低电位。符号可用 U_{ab} 表示。

一个元件的电压、电流的参考方向可以任意选定,若元件的电压、电流参考方向的选择如图 1.5 (a) 所示,即电流从电压的“+”端流入,从电压的“-”端流出,这样选取的参考

方向称为 U 、 I 的关联参考方向。相反,若 U 、 I 参考方向选取如图 1.5 (b) 所示,则称参考方向非关联。

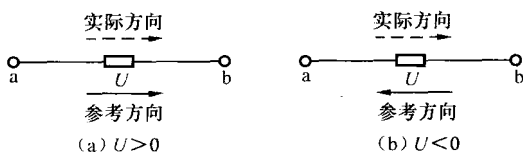


图 1.4 电压的参考方向与实际方向

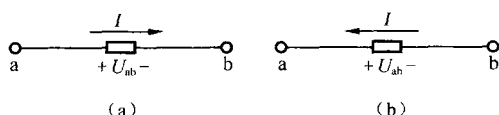


图 1.5 关联参考方向与非关联参考方向

1.2.3 电位和电动势

在电气设备的调试和检修中,经常要测量各点的电位,看其是否符合设计要求。在复杂电路中,经常用电位的概念来分析电路。所谓电位是指在电路中任选一点作为参考点,则该电路中某一点到参考点的电压叫做该点的电位,电位用 V 表示,电路中 a 点的电位可表示为 V_a 。参考点的电位为零,参考点又称为零电位点。

电路中其他各点的电位可能是正值,也可能是负值,某点的电位比参考点高,该点的电位是正值,反之则为负值。

如果已知 a 、 b 两点的电位分别为 V_a 、 V_b ,那么 a 、 b 两点间的电压为:

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1.5)$$

两点间的电压等于两点的电位差,所以,电压又叫电位差。

为了简化电路,有时往往不画出理想电压源,而只标出各点的电位值。如图 1.6 (a) 所示,若选 d 点为参考方向(即零电位点),则 $V_a = -15V$, $V_b = +20V$,所以电路可简化为图 1.6 (b) 所示。

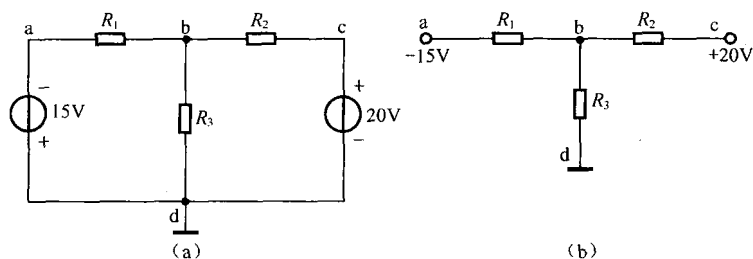


图 1.6 电路的简化

【例 1.1】如图 1.7 所示电路,求下列两种情况下各点的电位以及电压 U_{ab} 和 U_{bc} : (1) 以 a 点为参考点; (2) 以 b 点为参考点。

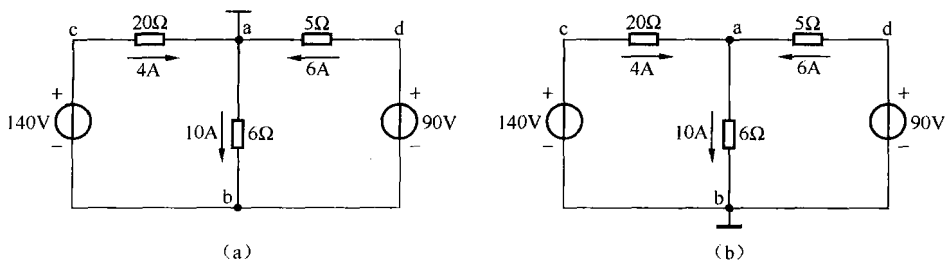


图 1.7 例 1.1 图

解：(1) 以 a 为参考点，即 $V_a = 0 \text{ V}$, $V_b = U_{ba} = -10 \times 6 = -60 \text{ V}$, $V_c = U_{ca} = 4 \times 20 = 80 \text{ V}$ 。

$$V_d = U_{da} = 6 \times 5 = 30 \text{ V}$$

$$U_{ab} = V_a - V_b = 0 - (-60) = 60 \text{ V}$$

$$U_{bc} = V_b - V_c = -60 - 80 = -140 \text{ V}$$

(2) 以 b 为参考点，即 $V_b = 0 \text{ V}$, $V_a = U_{ab} = 10 \times 6 = 60 \text{ V}$, $V_c = U_{cb} = 140 \text{ V}$, $V_d = U_{db} = 90 \text{ V}$ 。

$$U_{ab} = V_a - V_b = 60 - 0 = 60 \text{ V}$$

$$U_{bc} = V_b - V_c = 0 - 140 = -140 \text{ V}$$

从上述计算结果可以看到，电位与参考点的选取有关，参考点不同，各点电位不同；而电压与参考点的选取无关，参考点不同，两点之间的电压不变，但电压的参考方向不同，则符号不同。

电动势是描述电源力做功大小的一个物理量，电源力在电源内部把单位正电荷从电源的负极移到正极所做的功称为电源的电动势。电动势用 e 表示，即

$$e = \frac{dW}{dq} \quad (1.6)$$

式中， W 表示电源力所做的功， q 表示电荷量。电动势与电压的单位相同，也是伏[特] (V)。

电源力是一种非静电力，不同种类的电源有着不同的电源力，例如在发电机中，导体在磁场中运动，磁场能转换为电源力；在电池中，电源力由化学能转换而成。

电动势的方向是电源力克服电场力移动正电荷的方向，是从低电位到高电位的方向。对于一个电源设备，若其电动势 e 的方向和电压 u 的参考方向选择的相反，则

$$u = e \quad (1.7)$$

1.2.4 电功率和电能

在电路的分析和计算中，能量和功率的计算是十分重要的。这是因为：一方面，电路在工作时总伴随有其他形式能量的相互交换；另一方面，电气设备和电路部件本身都有功率的限制，在使用时要注意其电流值或电压值是否超过额定值，过载会使设备或部件损坏，或是不能正常工作。

单位时间内电路吸收或释放的电能定义为电功率，它是描述电能转化速率的物理量，用 p 表示，即

$$p = \frac{dW}{dt} \quad (1.8)$$

式中， W 表示电能，单位为焦[耳] (J)，简称焦； t 表示时间，时间的单位为秒 (s)。功率的单位为瓦[特] (W)，简称瓦，常用的单位还有千瓦 (kW)、毫瓦 (mW) 等。

在电路分析中，当某一支路的电压、电流实际方向一致时，电场力做功，该支路吸收功率。当支路电压、电流实际方向相反时，该支路发出功率。当某一支路或元件中的电压、电流已知时

$$p = \frac{dW}{dt} = \frac{dW}{dq} \times \frac{dq}{dt} = ui \quad (1.9)$$

即任一支路或元件的功率等于其电压和电流的乘积。直流时，式 (1.9) 改写为

$$P = UI \quad (1.10)$$

在计算功率时,若电压、电流为关联参考方向,计算所得功率为正值时,表示电路实际吸收功率;计算所得功率为负值时,表示电路实际发出功率。同理,若电压、电流为非关联参考方向,计算所得功率为正值时,表示电路实际发出功率;计算所得功率为负值时,表示电路实际吸收功率。

根据式(1.8),在 t_0 到 t_1 的一段时间内,电路消耗的电能为

$$W = \int_{t_0}^{t_1} p dt \quad (1.11)$$

在直流时,则为

$$W = P(t_1 - t_0) \quad (1.12)$$

电能的单位焦耳(J),表示功率为1W的用电设备在1s时间内所消耗的电能。在实际生活中还采用千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$)作为电能的单位,它等于功率为1kW的用电设备在1h内所消耗的电能,简称为1度电,则

$$1 \text{ 度电} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

在电路中,一个电路的电源产生的功率与负载、导线及电源内阻上消耗的功率总是平衡的,遵循能量守恒和转换定律。

1.3 电阻元件和欧姆定律

电阻元件是从实际电阻器中抽象出来的,反映电路元件消耗电能的物理性能的一种理想的二端元件。电阻元件根据其电压、电流关系曲线的不同分为两类:若作用与电阻元件两端的电压与通过的电阻的电流成正比,即该电压、电流的比值为常数时,这样的电阻元件称为线性电阻;若电压、电流比值不为常数时则称为非线性电阻。

欧姆定律:导体中的电流 I 与加在导体两端的电压 U 成正比,与导体的电阻 R 成反比。

当电阻元件的电压 U 、电流 I 的参考方向为关联参考方向时(如图1.8(a)所示),其电压 U 、电流 I 的关系式为

$$U = IR \quad (1.13)$$

若电阻元件的电压 U 、电流 I 的参考方向为非关联参考方向时(如图1.8(b)所示),其电压 U 、电流 I 的关系式为

$$U = -IR \quad (1.14)$$

在国际单位制中,电阻的单位是欧姆(Ω),此外还有千欧($\text{k}\Omega$)、兆欧($\text{M}\Omega$)等单位,换算关系为

$$1\text{k}\Omega = 10^3\Omega, \quad 1\text{M}\Omega = 10^6\Omega$$

电阻的倒数称为电导,用 G 表示,即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1.15)$$

电导的单位为西门子(S)。

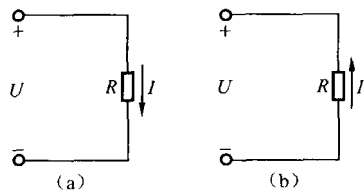


图 1.8 欧姆定律

电阻 R 反映电阻元件对电流的阻力, 电导 G 反映电阻元件的导电能力。

反映元件的电压、电流关系的曲线叫做元件的伏安特性曲线。线性电阻元件的伏安特性曲线是一条通过原点的直线, 如图 1.9 所示。实际应用中的电阻器、电炉、白炽灯等元器件, 它们的伏安特性曲线在一定程度上都是非线性的, 但在一定范围内其电阻值变化很小, 可以近似地看作线性电阻元件。后续内容中讨论的电阻元件, 如无特别说明, 均为线性电阻。

电阻是消耗电能的元件, 将所消耗的电能转变成热能。单位时间内电阻消耗的电能, 即功率为

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R} \quad (1.16)$$

一段时间内所消耗的电能为

$$W = Pt = UIt$$

【例 1.2】 求图 1.10 所示电路中的电压 U_{ab} 。

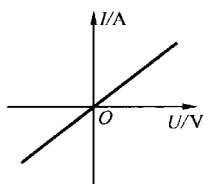


图 1.9 电阻元件的伏安特性曲线

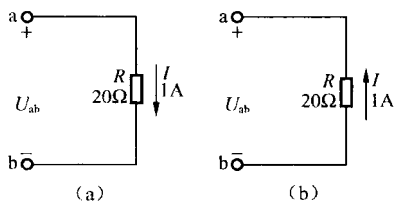


图 1.10 例 1.2 图

解: 图 1.10 (a) 中 U_{ab} 、 I 是关联参考方向, 则

$$U_{ab} = IR = 1 \times 20 = 20 \text{ V}$$

图 1.10 (b) 中 U_{ab} 、 I 是非关联参考方向, 则

$$U_{ab} = -IR = -1 \times 20 = -20 \text{ V}$$

【例 1.3】 一只 100W、220V 的白炽灯, 在额定值条件下工作, 求电流 I 和白炽灯在通入电流 I 值时的电阻 R 的值, 若这只白炽灯每天使用 5h, 一天用电多少度?

解: 由 $P = UI$ 可知白炽灯电流为

$$I = \frac{100}{220} \approx 0.45 \text{ A}$$

白炽灯的电阻为

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{0.45} \approx 489 \Omega$$

每天的用电为

$$W = 4 \times 0.1 = 0.4 \text{ kW} \cdot \text{h} = 0.4 \text{ 度}$$

1.4 理想电压源和理想电流源

1.4.1 理想电压源

理想电压源其图形符号如图 1.1 (d) 所示, 其中 u_s 为理想电压源的电压, “+”、“-”号

表示参考极性。理想电压源具有以下两个基本性质：(1) 电压 u_s 是一个恒定值或一定的时间函数，与通过的理想电压源的电流无关；(2) 通过理想电压源的电流由与它连接的外电路决定。

如果理想电压源的电压是恒定值 U_s ，称之为理想直流电压源，如图 1.11 (a) 所示，图 1.11 (b) 所示为理想直流电压源的伏安特性曲线，它是一条与电流轴平行的直线，其端电压恒等于 U_s ，与电流的大小无关。

例如，如图 1.12 所示电路，3V 理想直流电压源连接一负载电阻 R_L 。

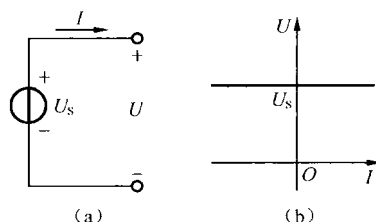


图 1.11 直流电压源及其伏安特性曲线

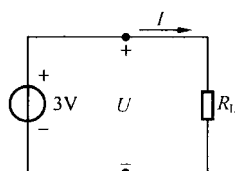


图 1.12 电路举例

当 $R_L = 1\Omega$ 时， $I = \frac{3}{1} = 3\text{ A}$ ， $U = 3\text{ V}$ ；

当 $R_L = 30\Omega$ 时， $I = \frac{3}{30} = 0.1\text{ A}$ ， $U = 3\text{ V}$ ；

当 $R_L = \infty$ 时， $I = 0\text{ A}$ ， $U = 3\text{ V}$ ；

由此可见，理想电压源供出的电流随负载电阻而变化，其端电压不变。

1.4.2 理想电流源

理想电流源其图形符号如图 1.1 (e) 所示，其中 i_s 为理想电流源的电流，箭头表示电流参考方向。理想电流源具有以下两个基本性质：(1) 电流 i_s 是一个恒定值或一定的时间函数，与其端电压的大小和方向无关；(2) 理想电流源的端电压由与它连接的外电路决定。

如果理想电流源的电流是恒定值 I_s ，称之为理想直流电流源，如图 1.13 (a) 所示，图 1.13 (b) 所示为理想直流电流源的伏安特性曲线，它是一条与电压轴平行的直线，其输出电流恒等于 I_s ，与端电压无关。若电压等于零，表示电流源短路，它发出的电流仍为 I_s 。

例如，如图 1.14 所示电路，10A 理想直流电流源连接一负载电阻 R_L 。

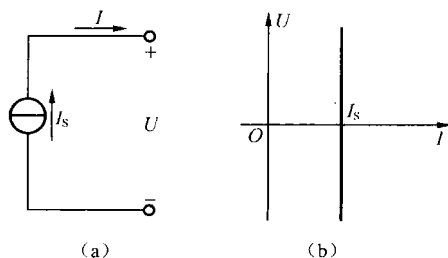


图 1.13 理想直流电流源及其伏安特性曲线

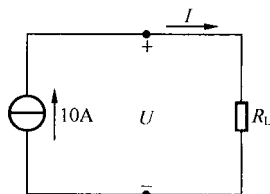


图 1.14 电路举例

当 $R_L = 1\Omega$ 时， $I = 10\text{ A}$ ， $U = 10\text{ V}$ ；

当 $R_L = 30\Omega$ 时， $I = 10\text{ A}$ ， $U = 300\text{ V}$ ；

当 $R_L = 0$ 时, $I = 10\text{ A}$, $U = 0\text{ V}$ 。

由此可见, 无论 R_L 如何变化 ($R_L = \infty$ 除外), 理想电流源供给 R_L 的电流 $I = 10\text{ A}$ 不变, 但其端电压将随负载电阻 R_L 的变化而变化。

1.5 工程中的电阻、电源与电路的状态

1.5.1 电阻

工程中的电阻称为电阻器, 是一种耗能元件, 在电路中主要用于控制电压、电流的大小, 或与其他元件一起构成具有特殊功能的电路。

电阻器的种类很多, 按外形结构可分为固定式和可变式两类, 固定式电阻器的电阻值不能变动, 可变式电阻器的阻值在一定范围内可以改变。按制造材料可分为膜式 (金属膜、碳膜) 和线绕式两类, 膜式电阻器的电阻值可从零点几欧姆到几十兆欧, 但功率较小, 一般在几瓦以内, 绕线式电阻器的阻值范围相对较小, 而功率较大。

电阻器的主要参数有标称电阻值、允许误差和额定功率。电阻器的标称电阻值是按国家规定的电阻值系列标注的, 体积较大的电阻其阻值一般标注在电阻器的表面, 而体积较小的则用色环或数字表示其电阻值。选用电阻器时必须按标称电阻值范围进行选用。

电阻器的允许误差, 是指实际电阻值与标称电阻值之间的差除以标称值所得的百分数。体积小的电阻器一般用色环表示。电阻器的色环通常有五环, 其中相距较近的四环为电阻值, 另一环距前四环较远, 表示误差, 如图 1.15 所示。电阻器色环颜色与所表示的数字对照如表 1.1 所示, 电阻器色环颜色与允许误差对照如表 1.2 所示。

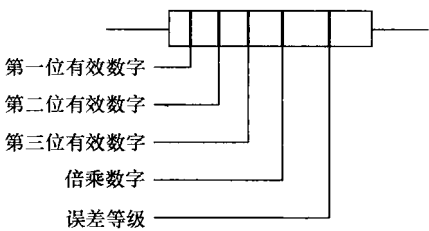


图 1.15 电阻的色环表示法

表 1.1 电阻器色环颜色与所表示的数字对照表

颜色	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	黑
数字	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0

表 1.2 电阻器色环颜色与允许误差对照表

颜色	棕	紫	金	银	无色
允许误差	$\pm 1\%$	$\pm 0.1\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$

第一环、第二环和第三环各代表一位数字, 第四环代表零的个数。例如, 一个电阻上的第一环为棕色, 第二环为红色, 第三环为黑色, 第四环为橙色, 表示该电阻器的电阻值为 $120\text{k}\Omega$ 。

电阻器的额定功率是指在规定的电压、温度条件下, 电阻器长期工作所允许承受的最大功率。一般情况下, 所选用的电阻器的额定功率应大于其实际消耗的最大功率, 否则, 电阻器可能因温度过高而烧毁。

1.5.2 电源

工程中的电源种类繁多, 但一般可分为两大类。一类是发电机, 它是利用电磁感应原理,

把机械能转换为电能；另一类是电池，它是把化学能、光能等其他形式的能通过一定的方式转换为电能的装置。下面主要介绍电池。

电池是将物质在化学反应或物理变化时放出的能量直接转换成电能的装置。将化学能转换成电能的电池称为化学电池。

1. 化学电池的分类

化学电池分为原电池（一次电池）和蓄电池（二次电池）两种。

（1）原电池：原电池由正极活性物质、负极活性物质、电解质、隔膜和容器等 5 部分组成。工作时，负极活性物质发生氧化反应、释放电子并由负极经外电路传递到正极。正极活性物质接受电子发生还原反应。在电池内借助电解质的离子导电作用使两电极间传输电子（从正极到负极），形成闭合回路，完成化学能与电能的转换。电池电极活性物质在反应过程中不断消耗，当它充分放电后将不再释放电子，且不能再充电只能丢弃，故称为一次电池。

（2）蓄电池：蓄电池可将电能转变为化学能储存于电池中（充电），使用时再将化学能转变为电能（放电）。这个转变是可逆的，且可重复循环多次，故称二次电池。

蓄电池主要由正、负极板、电解液和电槽（容器）等组成。根据极板所用材料和电解液的不同，分为铅—酸蓄电池（酸性蓄电池）和铁—镍或镉—镍蓄电池（碱性蓄电池）。

2. 化学电池的主要性能

（1）开路电压：外电路断开时，两电极间的电压。

（2）工作电压：向负载供电时，两电极间的电压，该电压值与输出电流有关，且随工作时间增加而下降。

（3）容量：电池以一定的电流，在一定的温度下能释放的电荷量，用安时（A·h）表示。电池单位质量包含的电荷量称为质量比能量，用瓦时/千克（W·h/kg）表示，或单位体积包含的电荷量称体积比容量，用瓦时/升（W·h/L）表示。质量比能量和体积比能量通称比容量，是评价电池性能的重要指标。

1.5.3 电路状态

根据电源和负载连接的不同情况，电路可分为通路、开路和短路 3 种基本状态。下面以简单的直流电路为例讨论电路状态的电流、电压和功率。

1. 通路

将图 1.16 中的开关 S 合上，接通电源和负载，称为通路或有载状态。通路时，应用欧姆定律可求出电源向负载提供的电流为

$$I = \frac{U_S}{R_S + R_L} \quad (1.17)$$

电源的端电压 U 和负载端电压相等，即

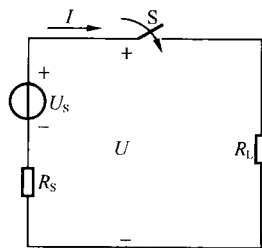


图 1.16 电路通路状态