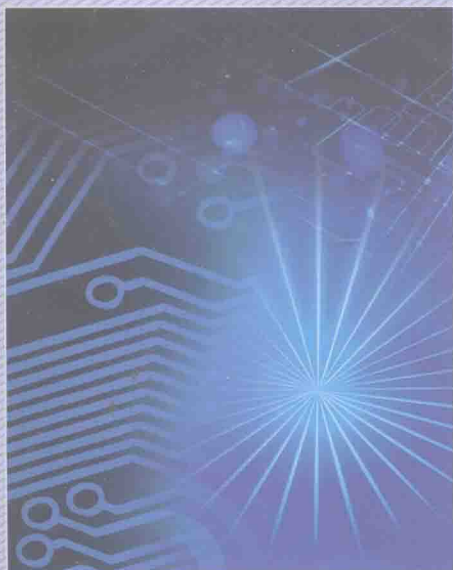


电工电子技术

DIANGONG DIANZI JISHU

(第3版)

主 编 凌艺春 黄 东
副主编 李仕游 刘昌亮



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

电工电子技术

(第3版)

主 编 凌艺春 黄 东
副主编 李仕游 刘昌亮

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书主要内容包括：直流电路、单相交流电路、三相交流电路、模拟电子电路、数字电路基础、电力电子电路、变压器、电动机、电动机控制电路、可编程序控制器、电工测量、供电与用电。

本书以应用为目的，以必需、够用为度，把握适用性、科学性、先进性、应用性，并采用最新国家标准。在选材和内容编排上，为体现该课程与工程的紧密联系，采用项目编排，每一章作为一个项目，注重项目的过程行为导向。在使用文字语言和插图上尽量做到简明易懂。每章书后附上填空题、选择题、判断题、问答题、计算题等多种类型习题来帮助学生巩固所学内容。

本书在内容上涵盖了较全面的电工电子技术基本知识，可作为“非电类”工科专业的高等教材，也可作为爱好电工电子技术知识的广大读者的参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子技术/凌艺春, 黄东主编. —3 版. —北京: 北京理工大学出版社, 2014. 8
ISBN 978 - 7 - 5640 - 9377 - 8

I. ①电… II. ①凌…②黄… III. ①电工技术 - 高等学校 - 教材②电子技术 - 高等学校 - 教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 126934 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

82562903 (教材售后服务热线)

68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京泽宇印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 20.25

字 数 / 475 千字

版 次 / 2014 年 8 月第 3 版 2014 年 8 月第 1 次印刷

定 价 / 47.00 元

责任编辑 / 张慧峰

文案编辑 / 张慧峰

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前 言

本书根据教育部有关人才培养要求编写而成。每一章都体现为项目实施，编写上力求突出特色，教材以应用为目的，以必需、够用为度，把握适用性、科学性、先进性、应用性，并采用最新国家标准。在选材和内容编排上为了体现该课程与工程的紧密联系，在每一章节的开头都插有一幅与该章节内容相同的电路实物图，都含有一个导读，都安排有一个任务训练模块和一个实践活动模块。每章后附有填空题、选择题、问答题、计算题（判断题分析）等多种类型习题来帮助学生巩固所学内容。

本书共分为12章。第1章为直流电路，第2章为单相交流电路，第3章为三相交流电路，第4章为模拟电子电路，第5章为数字电路基础，第6章为电力电子电路，第7章为变压器，第8章为电动机，第9章为电动机控制电路，第10章为可编程序控制器，第11章为电工测量，第12章为供电与用电。

本书由凌艺春任第一主编，黄东担任第二主编。第1章、第2章、第6章由凌艺春编写，第4章、第5章由刘惠娟编写，第3章、第7章、第8章由李仕游编写，第9章、第10章由刘昌亮编写，第11章、第12章由黄东编写。

本书由冯守汉教授和黄必均教授主审，两位教授对书稿进行了详细的审阅，并提出了许多宝贵意见。在此对他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，时间仓促，书中必有疏漏及不妥之处，殷切希望使用本书的师生和读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 直流电路	(1)
1.1 电路的基本概念	(2)
1.2 电阻、欧姆定律及电阻连接	(8)
1.3 基尔霍夫定律及其应用	(11)
1.4 电气设备的额定值、电路的几种状态	(13)
任务训练：单股导线连接与绝缘层恢复	(16)
本章小结	(17)
思考与练习	(18)
第 2 章 单相交流电路	(21)
2.1 基本概念	(22)
2.2 纯电阻、纯电感、纯电容正弦电路	(30)
2.3 电阻、电感串联电路	(34)
2.4 正弦交流电路的功率及功率因数	(36)
任务训练：单股导线 T 形分支连接与绝缘层恢复	(43)
本章小结	(44)
思考与练习	(45)
第 3 章 三相交流电路	(49)
3.1 基本概念	(51)
3.2 三相电源绕组的连接	(52)
3.3 三相负载的连接	(55)
3.4 三相电路的功率	(61)
任务训练：三相电度表的连接	(62)
本章小结	(64)
思考与练习	(64)

第4章 模拟电子电路	(68)
4.1 基本概念	(69)
4.2 直流稳压电源	(75)
4.3 信号放大电路	(82)
4.4 功率放大电路	(94)
4.5 集成运算放大器及其应用电路	(98)
任务训练: 利用万用表判定三极管的好坏	(103)
本章小结	(103)
思考与练习	(105)
第5章 数字电路基础	(108)
5.1 基本概念	(110)
5.2 逻辑函数	(112)
5.3 逻辑门电路	(119)
5.4 组合逻辑电路	(122)
5.5 触发器	(129)
5.6 时序逻辑电路	(135)
5.7 脉冲波形的产生、整形及分配电路	(140)
5.8 应用实例——数字电子钟	(142)
任务训练: 用万用表检查 TTL 系列电路	(146)
本章小结	(147)
思考与练习	(148)
第6章 电力电子电路	(151)
6.1 晶闸管基本知识	(152)
6.2 晶闸管的典型应用	(158)
任务训练: 单向晶闸管的判定	(164)
本章小结	(164)
思考与练习	(165)
第7章 变压器	(166)
7.1 铁磁材料	(167)
7.2 磁路基本知识	(169)
7.3 交流铁芯线圈	(171)

7.4	变压器的基本知识	(173)
7.5	单相变压器	(175)
7.6	三相变压器	(178)
7.7	其他常用变压器简介	(181)
	任务训练: 变压器的检修	(184)
	本章小结	(188)
	思考与练习	(188)
第8章	电动机	(191)
8.1	三相异步电动机结构和工作原理	(193)
8.2	三相异步电动机的运行特性	(200)
8.3	三相异步电动机的启动	(201)
8.4	三相异步电动机的调速、反转和制动	(203)
8.5	单相异步电动机	(207)
8.6	直流电动机	(208)
8.7	控制电动机	(211)
	任务训练: 三相异步电动机的拆装	(215)
	本章小结	(218)
	思考与练习	(218)
第9章	电动机控制电路	(221)
9.1	常用低压电器	(223)
9.2	直接启动控制电路	(230)
9.3	三相异步电动机降压启动控制电路	(234)
9.4	三相异步电动机电气制动控制电路	(235)
9.5	三相异步电动机调速控制电路	(238)
9.6	直流电动机控制电路	(240)
	任务训练: 能耗制动控制电路的安装接线	(241)
	本章小结	(241)
	思考与练习	(242)
第10章	可编程序控制器	(245)
10.1	PLC 的结构	(253)
10.2	S7-200 系列 PLC 的常用指令	(256)

10.3	PLC 的编程方法	(260)
10.4	PLC 的应用实例	(263)
	任务训练: 电动机正反转的 PLC 控制系统设计	(267)
	本章小结	(268)
	思考与练习	(269)
第 11 章 电工测量 (270)		
11.1	电工仪表的基本知识	(271)
11.2	电流与电压测量	(275)
11.3	电阻的测量	(279)
11.4	万用表	(284)
11.5	电功率及电能的测量	(286)
	任务训练: 用单相功率表测量三相电路的功率	(289)
	本章小结	(290)
	思考与练习	(292)
第 12 章 供电与用电 (296)		
12.1	发电、输电与配电	(297)
12.2	常用照明电路	(298)
12.3	安全用电	(303)
	任务训练: 触电急救	(309)
	本章小结	(309)
	思考与练习	(309)
参考文献 (311)		

第1章

直流电路

导读

在传统的各类电路中直流电路最为简单，但是在实际应用中，由于直流电源大多不是电池或直流发电机，而是能将交流电转换成直流电的电子整流装置，故直流电路也变得相当复杂。本章节只讨论含有电池或直流发电机的直流电路。

知识目标

1. 了解电路模型及电路连接。
2. 掌握描述电路的基本物理量及相关定理定律。
3. 掌握电路故障分析的基本方法。

技能目标

1. 能阅读电路图。
2. 能使用电工仪表测量直流电流、直流电压和直流功率。

直流电路应用图如图 1-1 所示。

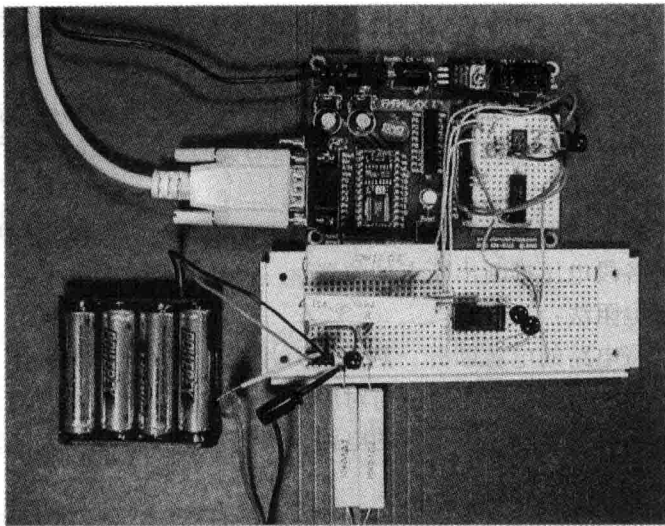


图 1-1 直流电路应用图

实践活动：电路故障性断路判断

1. 实践活动任务描述

如图 1-2 所示, 电源电动势 E 为 12V, 当电路接通后, 发现电压表的读数为 12V, 电流表的读数为零, 外电路断路, 试确定电路的断点。

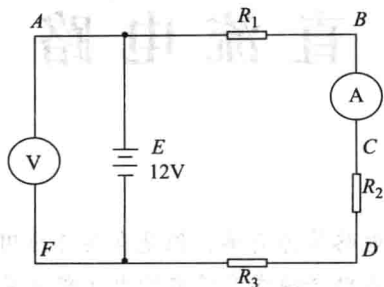


图 1-2 故障性电路判断

2. 实践仪器与元件

电池组、元器件及连线、直流电压表、直流电流表、万用表。

3. 活动提示

在实际应用中, 电路运行久了就会出现这样或那样的故障。一般来说, 电路最常见的故障是由接触不良引起的断路。分析和判断这类故障的方法有两种。

电压法:

将电路保持通电状态, 然后用万用表电压挡测量电路中各段实际电压, 最后根据实际测量的各段电压推断出断点的位置。

电阻法:

将电路的电源断开, 然后将万用表置于 $R \times 100\Omega$ 挡, 分别测量电路中各段电路的电阻值, 接着将测出的电阻值与对应电路段的实际状况相比较, 推断出该段电路是否正常, 正常的电路段可排除, 不正常的电路段挑出来。按照这一方法, 最终可找出故障点。

1.1 电路的基本概念

1.1.1 电路及电路模型

1. 实际电路

电路是电流的流通过径, 它是由一些电气设备和元器件按一定方式连接而成的。复杂的

电路呈网状，又称网络。在电工电子学中，电路和网络这两个术语是通用的。电路的作用有两种，一种是实现电能的传输和转换；另一种是实现信号的处理。电路中提供电能或信号的器件称为电源，电路中吸收电能的器件称为负载。在电源和负载之间引导和控制电流的导线和开关等是传输控制器件。图1-3和图1-4所示的就是两个实际电路的例子。

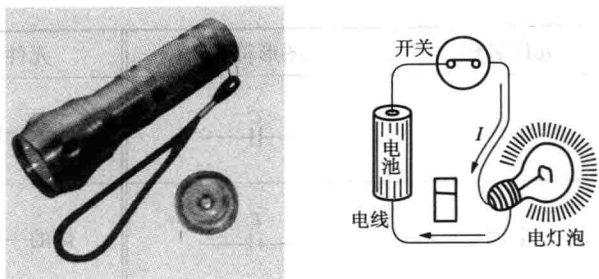


图1-3 手电筒及其电路

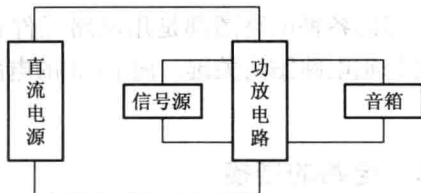
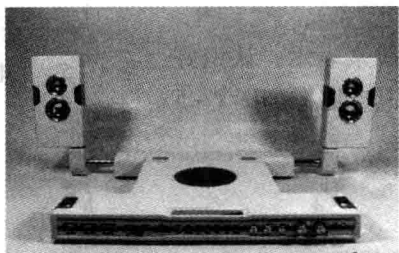


图1-4 功放机、音箱及其相应电路框图


2. 电路模型

为了便于研究各类具体的电路，电工技术中，在一定条件下对实际器件加以理想化，只考虑其中起主要作用的电性能，这种电路元件简称为理想电路元件。其中，电阻元件是一种只表示消耗电能的元件；电感元件是表示其周围空间存在着磁场而可以储存磁场能量的元件；电容元件是表示其周围空间存在着电场而可以储存电场能量的元件，等等。表1-1列出了几种常用的电路元件及其图形符号。

表1-1 常用的几种电路元件及其图形符号

元件名称	图形符号	元件名称	图形符号
电阻		理想电压源	
电感		理想电流源	

续表

元件名称	图形符号	元件名称	图形符号
电容		开关一般符号	
电池		灯的一般符号	

(1) 负载不是理想电路元件,但在电路图中通常用电阻符号来表示。

(2) 电池是具体实物,不是理想电路元件,如果不考虑内阻,可视为理想直流电压源。

今后学习的各种电路图都是用电路元件和连线来表示,认识好电路元件是识别电路图的关键。图 1-3 的电路,其电路图如图 1-5 所示。

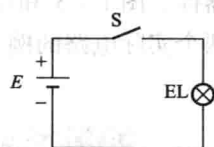


图 1-5 手电筒电路

1.1.2 电路的连接

在实际应用中,常将许多电路按不同的方式连接起来,组成一个电路网络。本章借助中学物理课程学习过的串联电路、并联电路及由串并联电路组成的混联电路引出常用的简单电路连接,其余复杂的电路连接留在后面的章节介绍。

1. 负载的串联

由若干个负载按顺序地连接成一条无分支的电路,称为串联。图 1-6 所示电路是由三个负载串联组成的。

2. 负载的并联

将几个负载都接在两个共同端点之间的连接方式称为并联。图 1-7 所示电路是由三个负载并联组成的。

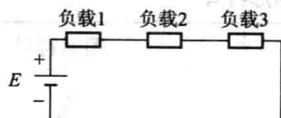


图 1-6 三负载串联电路

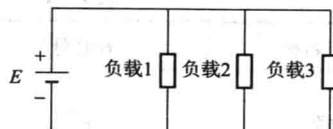


图 1-7 三负载并联电路

3. 负载的混联

如图 1-8 所示的电路,有的负载采用串联,有的负载采用并联,这种在同一电路中既

有负载串联又有负载并联的电路连接方式被称为负载混联。

负载串联和负载并联的特点与电阻串联和电阻并联的特点相同,这一内容将在下一节介绍,在这里只介绍负载连接的概念。

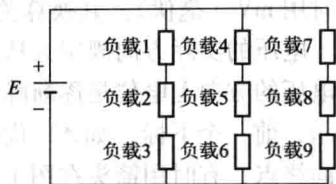


图 1-8 负载混联电路

1.1.3 电路的基本物理量

1. 电流、电压与电动势

1) 电流

电流是由电荷的定向移动而形成的。当金属导体处于电场之内时,自由电子要受到电场力的作用,逆着电场的方向做定向移动,这就形成了电流。

大小和方向均不随时间变化的电流叫恒定电流,简称直流。

电流的强弱用电流强度来表示,对于直流,电流强度 I 用单位时间内通过导体截面的电量 Q 来表示,即:

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

电流的单位是 A (安 [培])。在 1 s 内通过导体横截面的电荷为 1 C (库仑) 时,其电流则为 1 A。计算微小电流时,电流的单位用 mA (毫安)、 μA (微安) 或 nA (纳安),其换算关系为: $1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$, $1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$, $1 \text{ nA} = 10^{-9} \text{ A}$ 。

习惯上,规定用正电荷的移动方向表示电流的实际方向。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。为了分析电路的需要,我们引入电流的参考正方向的概念。在进行电路计算时,先任意选定某一方向作为待求电流的正方向,并根据此正方向进行计算,若计算得到结果为正值,说明电流的实际方向与选定的正方向相同;若计算得到结果为负值,说明电流的实际方向与选定的正方向相反。图 1-9 表示电流的参考正方向(图中实线所示)与实际方向(图中虚线所示)之间的关系。

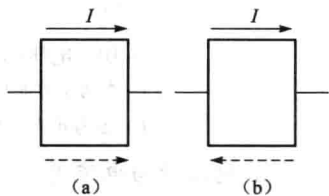


图 1-9 电流的方向

- (a) 参考正方向与实际方向一致;
(b) 参考正方向与实际方向相反

2) 电压

电场力把单位正电荷从电场中点 A 移到点 B 所做的功 W_{AB} 称为 A 、 B 间的电压,用 U_{AB} 表示。即:

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (1-2)$$

电压的单位为 V (伏 [特])。如果电场力把 1 C 电荷从点 A 移到点 B 所做的功是 1 J (焦耳),则 A 与 B 两点间的电压就是 1 V。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: $1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}$, $1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V}$ 。

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, 在电压的方向上电位是逐渐降低的。电压总是相对于两点之间的电位而言的, 所以用双下标表示, 前一个下标 (如 A) 代表起点, 后一个下标 (如 B) 代表终点。电压的方向则由起点指向终点, 有时用箭头在图上标明。当标定的参考方向与电压的实际方向相同时 [图 1-10 (a)], 电压为正值; 当标定的参考方向与实际电压方向相反时 [图 1-10 (b)], 电压为负值。

3) 电动势

为了使电路中有持续不断的电流, 必须有一种外力, 把正电荷从低电位处 (如负极 B) 移到高电位处 (如正极 A)。在电源内部就存在着这种外力。如图 1-11 所示, 外力克服电场力把单位正电荷由低电位 B 点移到高电位 A 点, 所做的功称为电动势, 用 E 表示。电动势的单位也是 V 。如果外力把 1 C 的电荷从点 B 移到点 A , 所做的功是 1 J , 则电动势就等于 1 V 。电动势的方向规定为从低电位指向高电位, 即由“-”极指向“+”极。

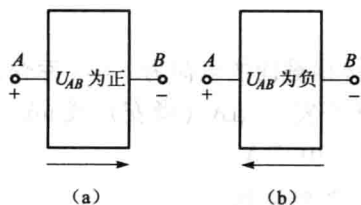


图 1-10 电压的正负与实际方向

(a) 参考正方向与实际方向一致;

(b) 参考正方向与实际方向相反

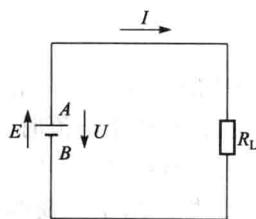


图 1-11 电动势

2. 电压源与电流源

1) 电压源

铅蓄电池及一般直流发电机等都是电源, 它们是具有不变的电动势和较低内阻的电源, 我们称其为电压源, 如图 1-12 (a) 所示。如果电源的内阻 $R_0 \approx 0$, 当电源与外电路接通时, 其端电压 $U = E$, 端电压不随电流变化而变化, 电源外特性曲线是一条水平线。这是一种理想情况, 我们把具有不变电动势且内阻为零的电源称为理想电压源或恒压源, 如图 1-12 (b) 所示。

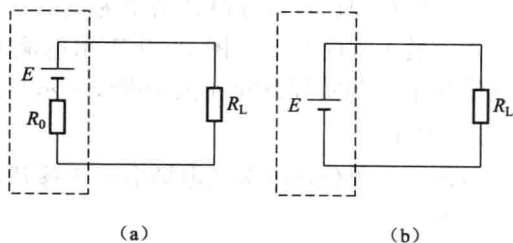


图 1-12 电压源

(a) 电压源与负载连接; (b) 恒压源与负载连接

理想电压源是实际电源的一种理想模型。例如, 在电力供电网中, 对任何一个用电器

(如一盏灯)而言,整个电力网中,该用电器以外的部分,就可以近似地看成是一个理想电压源。

当电源电压稳定在它的工作范围内,该电源就可认为是一个恒压源。例如,如果电源的内电阻远小于负载电阻 R_L ,那么随着外电路负载电流的变化,电源的端电压可基本保持不变,这种电源就接近于一个恒压源。

2) 电流源

对实际电源,可以建立另一种理想模型,叫电流源。如果电源输出恒定的电流,即电流的大小与端电压无关,这种电流源叫理想电流源。对于直流电路来说,理想电流源输出恒定不变的电流 I_S ,它与外电路负载大小无关,其端电压由负载决定。理想电流源简称电流源或恒流源,如图 1-13 所示。

当电流源与外电路接通时,回路电流是恒定的。实际的电流源即使没有与外电路接通,其内部也有电流流动;与负载接通后,电源内部仍有一部分电流流动,另一部分电流则通过负载,因此,实际电流源可以用理想电流源 I_S 与一个电阻 R_i 并联表示,如图 1-14 所示。

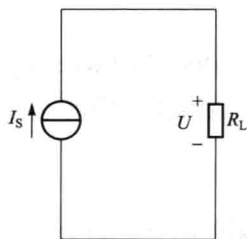


图 1-13 恒流源与负载连接

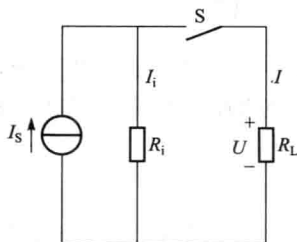


图 1-14 实际的电流源与负载连接

空载时, S 断开,通过 R_i 的电流 I_i 等于 I_S ,端电压为 $I_S R_i$,外电路电流 $I=0$;外电路短路时,端电压等于 0, $I=I_S$, $I_i=0$;有负载时, $U=I_i R_i=I R_L$, $I_i+I=I_S$,即

$$I = I_S - I_i \quad (1-3)$$

$$I = I_S - \frac{U}{R_i} \quad (1-4)$$

由上式可知:① 负载电流 I 总是小于恒流源的输出电流 I_S ;② 负载电流增大,端电压增大;③ 负载电流愈小,内阻上的电流就愈大,内部损耗也就愈大,所以,电流源不能处于空载状态。

3. 电功率与电能

1) 电功率

在直流电路中,根据电压的定义,电场力所做的功是 $W=QU$ 。把单位时间内电场力所做的功称为电功率,则有

$$P = \frac{QU}{t} = UI \quad (1-5)$$

功率的单位是 W (瓦 [特])。对于大功率,采用 kW (千瓦) 或 MW (兆瓦) 为单位,对于小功率则用 mW (毫瓦) 或 μW (微瓦) 为单位。在电源内部,外力做功,正电荷由低电位移向高电位,电流逆着电场方向流动,将其他能量转变为电能,其电功率为

$$P = EI \quad (1-6)$$

若计算结果 $P > 0$, 说明该元件是耗能元件; 若计算结果 $P < 0$, 则该元件为供能元件。

2) 电能

当已知设备的功率为 P 时, 在 t 秒内消耗的电能 $W = Pt$, 电能就等于电场力所做的功, 单位为 J (焦 [耳])。在电工技术中, 往往直接用 $\text{W} \cdot \text{s}$ (瓦特秒) 为单位, 实际生活中则用 $\text{kW} \cdot \text{h}$ (千瓦时) 为单位, 俗称 1 度电。 $1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ W} \cdot \text{s}$ 。

1.2 电阻、欧姆定律及电阻连接

1.2.1 电阻

电流在导体中流动通常要受到阻碍作用, 反映这种阻碍作用的物理量称为电阻。在电路图中常用理想电阻元件来表示物质对电流的这种阻碍作用。电阻元件的图形符号和文字符号如表 1-1 所示。

1. 线性电阻

在温度一定的条件下, 把加在电阻两端的电压与通过电阻的电流之间的关系称为伏安特性。一般金属电阻的阻值不随所加电压和通过的电流的改变而改变, 即在一定的温度下其阻值是常数, 这种电阻的伏安特性是一条经过原点的直线, 如图 1-15 所示。这种电阻称为线性电阻。

2. 非线性电阻

电阻的阻值随电压和电流的变化而变化, 其电压与电流的比值不是常数, 这类电阻称之为非线性电阻。例如, 半导体二极管的正向电阻就是非线性的, 它的伏安特性如图 1-16 所示。

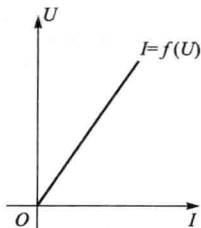


图 1-15 线性电阻的伏安特性

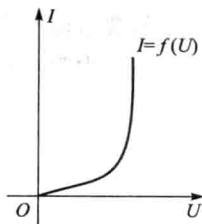


图 1-16 二极管正向伏安特性

1.2.2 欧姆定律

欧姆定律指出：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。

1. 一段电路的欧姆定律

图 1-17 所示电路，是不含电动势，只含有电阻的一段电路。

若 U 与 I 方向一致，则欧姆定律可表示为：

$$U = IR \quad (1-7)$$

若 U 与 I 方向相反，则欧姆定律表示为：

$$U = -IR \quad (1-8)$$

电阻的单位是 Ω (欧 [姆])，计量大电阻时用 $k\Omega$ (千欧) 或 $M\Omega$ (兆欧)。其换算关系为 $1 k\Omega = 10^3 \Omega$, $1 M\Omega = 10^6 \Omega$ 。

电阻的倒数 $1/R = G$ ，称为电导，它的单位为 S (西 [门子])。

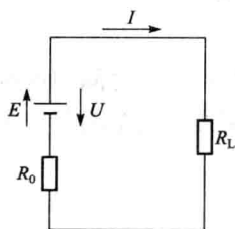


图 1-18 简单闭合电路

2. 全电路的欧姆定律

图 1-18 所示是简单的闭合电路， R_L 为负载电阻， R_0 为电源内阻，若导线电阻不计，则此段电路用欧姆定律可得

$$I = \frac{E}{R_L + R_0} \quad (1-9)$$

公式的意义是：电路中流过的电流，其大小与电动势成正比，与电路的全部电阻之和成反比。电源的电动势和内电阻一般认为是不可变的，所以，改变外电路电阻，就可以改变回路中的电流大小。

1.2.3 电阻连接

1. 电阻的串联

由若干个电阻按顺序地连接成一条无分支的电路，称为串联电路。如图 1-19 所示。

电阻元件串联有以下几个特点：

- (1) 流过串联各元件的电流相等，即 $I_1 = I_2 = I_3 = I$ ；
- (2) 等效电阻 $R = R_1 + R_2 + R_3$ ；
- (3) 总电压 $U = U_1 + U_2 + U_3$ ；
- (4) 总功率 $P = P_1 + P_2 + P_3$ ；
- (5) 电阻串联具有分压作用，即

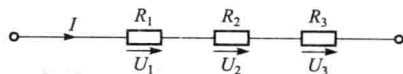


图 1-19 电阻的串联

$$U_1 = \frac{R_1 U}{R} \quad (1-10)$$