

职业教育教学用书

电工学与 工业电子学

王华亭 王翔宇 主编

冶金工业出版社

职业教育教学用书

电工学与工业电子学

山西工程职业技术学院 王华亭 王翔宇 主编

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2003

内 容 提 要

全书共分 11 章。内容主要有：直流电路、正弦交流电路、三相交流电路、变压器、电动机、低压电器与控制电路、用电安全技术、整流电路、放大电路、数字电路，以及 12 个基本实验。

本书着眼于基本理论、基本知识的学习，以及基本技能的培养。书中元器件部分突出其应用，实验部分强调常规技能的培养，各章例题、习题、思考题难易适中，偏重于思维开发，并附有部分思考题与习题答案。

本书为职业教育非电专业教学用书，亦可供有关技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工学与工业电子学/王华亭, 王翔宇主编. —北京:
冶金工业出版社, 1999.9 (2003.9 重印)
职业教育教学用书
ISBN 7-5024-2324-9

I. 电… II. ①王… ②王… III. ①电工-理论-职业
学校-教材②工业电子学-职业学校-教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 10653 号

出版人 曹胜利 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 方茹娟 美术编辑 王耀忠 责任校对 栾雅谦 责任印制 李玉山

顺义兴华印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

1999 年 9 月第 1 版, 2003 年 9 月第 2 次印刷

787×1092mm 1/16; 17.75 印张; 405 千字; 266 页; 5501—7500 册

29.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010) 64044283 传真: (010) 64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号 (100711) 电话: (010) 65289081

(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

本教材是根据全国职业教育“电工学与工业电子学”教学大纲编写的，是职业教育非电专业教学用书。

根据培养目标的要求，在编写本教材的过程中注意了以下三点：

(1) 在基本理论部分，本着降深、拓宽、突出应用的原则，以定性分析为主，着眼于基本理论、基本知识和基本技能的培养；在电工、电子元器件部分，以外部特性分析为主，尽量回避内部结构和微观原理，重点突出元、器件的应用。教材结构较紧凑，编写中力求克服内容偏多、偏深、偏散的缺点。

(2) 在实验内容方面，力图摆脱以验证理论为主线的教学模式，强调常规技能的培养，根据教学大纲共编写了 12 个实验，一并编入本书出版，供教师和学生参考使用。

(3) 根据职业学院学生知识基础和理解能力的特点，尽量做到语言规范、文字简练、深入浅出、通俗易懂。习题与例题选编难易适中，数字简单、偏重于智力开发，部分习题并备有答案，以供参考。

按照教学大纲的要求，本教材的内容按 100 教学时数编排，各学校可根据实际教学进程在 $\pm 15\%$ 的范围内进行调节使用，基本课时分配建议作如下安排，供参考：

内 容		讲课	实验	小计
0	绪 论	1		1
1	直流电路	7	2	9
2	正弦交流电路	12	2	14
3	三相交流电路	4	2	6
4	变压器	4	2	6
5	电动机	10	2	12
6	低压电器与控制电路	8	2	10
7	用电安全技术	2		2
8	整流电路	6	4	10
9	放大电路	14	2	16
10	数字电路	8	6	14
合 计		76	24	100

书中部分内容标有“*”，是选学内容，可根据教学需要酌情取舍。书后附录为一些常用符号、技术数据与技术资料，可供读者查阅。

本书由山西工程职业技术学院王华亭、王翔宇任主编，山东工业职业学院钱锦芳任副主编。参加编写的教师有：河北工业职业技术学院薛孟宏、沈翊编写绪论和第 1 章；山东

工业职业学院钱卫钧编写第2章和第7章、钱锦芳编写第3章；山西工程职业技术学院王华亭编写第4章、范晓敏编写第5章；新疆钢铁学校王宝占、贵州省冶金职业技术学院郭文东编写第6章；天津铁厂职工大学黄金侠编写第8章；山西工程职业技术学院王翔宇编写第9章、康玉龙编写第10章；天津市工业学校姜树杰编写实验1~6；黑龙江省理工学校蒋野、山西工程职业技术学院康玉龙编写实验7~12。

山西工程职业技术学院孙域任主审，河北工业职业技术学院薛孟宏任副主审，他们对本书进行了认真的审定，提出了许多宝贵的修改意见和建议；山西工程职业技术学院胡生宁也对本书的最后定稿做了一定的工作，编者在此一并致以深切的谢意。

由于编者水平所限，本书难免有不妥之处，恳请使用本书的广大师生提出批评指正，以便再版时修订。

编 者

目 录

绪论	
1 直流电路	3
1.1 电路的基本概念	3
1.2 电路的基本物理量	4
1.3 电路的基本元件	8
1.4 电气设备的额定值和电路状态	13
1.5 电路的基本定律	15
1.6 电路的基本分析方法及其应用	17
思考题与习题	26
2 正弦交流电路	30
2.1 正弦交流电的基本概念	30
2.2 正弦量的相量表示法	34
2.3 电感和电容	36
2.4 单一参数的交流电路	41
2.5 RLC 串联交流电路	47
2.6 RL 串联与 C 并联电路	56
2.7 照明常用电光源	60
思考题与习题	62
3 三相交流电路	65
3.1 三相对称电压	65
3.2 三相对称电路分析	68
3.3 三相不对称电路分析	71
3.4 三相电路的功率	73
3.5 工业企业供电	76
思考题与习题	78
4 变压器	81
4.1 铁心线圈交流电路	81
4.2 变压器的用途及结构	84
4.3 变压器的工作原理	86
4.4 三相变压器与特殊变压器	88
4.5 变压器的运行特性及技术参数	91
思考题与习题	93
5 电动机	94
5.1 三相异步电动机的结构	94
5.2 三相异步电动机的工作原理	96

5.3	三相异步电动机的机械特性	99
5.4	三相异步电动机的启动、调速与制动	103
5.5	三相异步电动机的铭牌与选择	106
5.6	单相异步电动机	109
5.7	直流电动机	111
5.8	三相同步电动机	116
5.9	控制用微电机简介	117
	思考题与习题	120
6	低压电器与控制电路	122
6.1	常用低压电器	122
6.2	鼠笼异步电动机的简单运行控制	126
6.3	鼠笼异步电动机的自动控制	129
6.4	可编程序控制器应用简介	135
	思考题与习题	145
7	安全用电技术	146
7.1	电流对人体的伤害	146
7.2	单相与两相触电	146
7.3	跨步电压	146
7.4	常用的安全用电防护措施	147
7.5	电气火灾预防与扑救常识	149
8	整流电路	150
8.1	半导体的基本知识	150
8.2	半导体二极管	152
8.3	二极管单相整流电路	154
8.4	滤波电路	157
8.5	稳压电路	160
8.6	可控硅整流调压电路	163
	思考题与习题	166
9	放大电路	168
9.1	半导体三极管	168
9.2	基本放大电路	173
9.3	放大电路的微变等效分析方法	178
9.4	多级电压放大器	181
9.5	功率放大电路	184
9.6	放大电路中的负反馈	187
9.7	射极输出器	191
* 9.8	差动放大器	193
9.9	集成运算放大器	196
* 9.10	正弦波振荡器	200

思考题与习题	203
10 数字电路	206
10.1 概述	206
10.2 基本逻辑门电路	207
10.3 组合逻辑电路	211
10.4 集成触发器	220
10.5 寄存器和计数器	224
思考题与习题	227
11 电工学与工业电子学实验	229
实验 1 万用表的使用, 克希荷夫定律验证, 电位的测量	231
实验 2 荧光灯电路的接线及功率因数的提高	233
实验 3 三相电路中负载的联接	235
实验 4 单相变压器与自耦调压器的使用	238
实验 5 三相异步电动机的验收及启动试运行	241
实验 6 三相异步电动机的接触电路	243
实验 7 单相半波及桥式整流电路	245
实验 8 晶闸管交流调压电路	247
实验 9 单管共射放大电路	249
实验 10 门电路功能的测试和转换	251
实验 11 触发器逻辑功能的测试	253
实验 12 计数、译码、显示综合应用	255
附录 1 常用文字符号表	259
附录 2 常用图形符号表	260
附录 3 铜铝导线最大允许持续电流	261
附录 4 三相异步电动机产品名称、用途、型号	262
附录 5 Y 系列 (LP44) 小型三相鼠笼型异步电动机主要技术数据	262
附录 6 炭质电阻阻值、误差及其表示法	264
附录 7 常用半导体器件命名方法	265
附录 8 国产常用半导体器件的主要参数	266
附录 9 国产半导体集成电路的型号组成及其意义 (GB3430—82)	269
部分习题参考答案	270
参考书目	273

绪 论

电能的应用与特点

现代工业、农业、交通、通信、国防以及日常生活中，电的应用极为广泛。电技术的发展水平和电气化的程度，在一定意义上，已成为衡量一个国家是否发达的主要标志。

电的应用有两大方面：一是作为一种能量——电能来应用；另一是作为一种信息——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）。

电能之所以得到如此广泛的应用，是因为它具有无可比拟的优点。其优点主要有以下三方面。

(1) 转换容易

如图 1 所示，电能可以很方便地由水能、热能、化学能、原子核能等转换而来；同时电能又很容易转换成人们需要的其它各种形式的能量。作为信息，电信号与各种非电信号（如温度、压力、流量等的变化）之间的相互转换也很容易实现。

(2) 传输方便

高电压远距离输送电能时，损失小、效率高；并且容易分配到各个用电设备上去。作为电信号，不但可在线路中迅速、稳定、准确地传输，而且也可用电磁波的形式在空间传播。

(3) 便于控制和测量

电能或电信号的有关量值便于准确而迅速地进行控制和测量，利用电信号还可对电量以及各种非电量进行遥控和遥测，这些都为自动化生产提供了必要的有利条件。尤其是电子计算机的飞速发展和大量应用，使电能控制的方便灵活性变得更为显著。

作为电能的应用，电动机、电热器、电光源、电焊、电解与电镀等等，在生产和生活中早已十分普及。作为电信号的应用，生产检测与控制，科技实验与探测、通信与广播、电影与电视等等，也日益广泛。

我国 1949 年的发电能力仅 $1.85 \times 10^6 \text{kW}$ ，年发电量为 $4.3 \times 10^9 \text{kW} \cdot \text{h}$ 。到 1987 年底，总装机容量达 $1.0 \times 10^8 \text{kW}$ ，年发电量达 $4.8 \times 10^{11} \text{kW} \cdot \text{h}$ ，跃居世界第 5 位。根据“十年规划”（1991~2000 年），到 2000 年，我国年发电量将达 $1.1 \times 10^{12} \text{kW} \cdot \text{h}$ （11000 亿度）。

课程的性质、任务与内容

电工学与工业电子学是工科非电各专业必修的技术基础课。它的任务是：使学生掌握

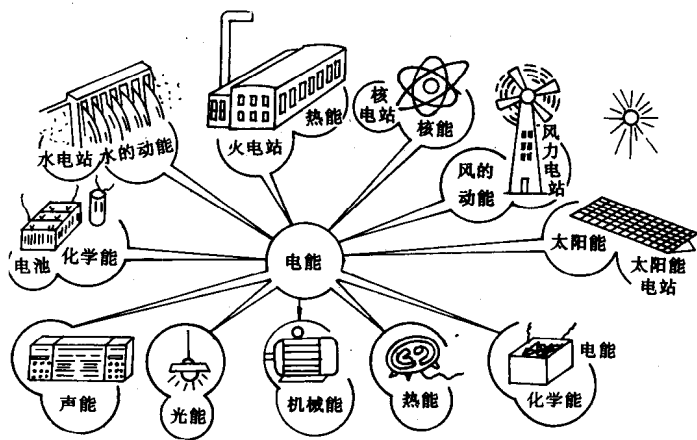


图 1 电能与其它形式能量之间的相互转换

中等专业技术人材必备的电工、电子技术的基本理论、基本知识和基本实践技能；为学习专业知识,从事生产第一线的技术工作以及进一步提高科学技术知识水平打下一定基础；同时,结合本课程特点,逐步培养学生的辩证唯物主义观点和分析、解决实际问题的能力。

电工学与工业电子学是一门理论性和实用性都比较强、与生产实际有密切联系的课程,根据中专非电专业的要求与特点,本书将讲述以下几个方面的内容。

(1)电工基础理论。包括电路的基本定律、基本分析方法及直流电路和交流电路的基本知识和简单应用。

(2)电机与控制。包括变压器、电动机以及常用控制电器与控制电路的基本原理。

(3)模拟电子技术。包括二极管、晶闸管、三极管以及整流、滤波电路,稳压、调压电路和放大电路。

(4)数字电子技术。包括逻辑门电路、复合门电路、集成触发器、计数器、译码与显示,结合本专业的数字电路应用举例。

学习本课程应注意的问题

本课程内容广泛,既有系统理论,又有实际应用,且对物理、数学知识有较高的要求。因此,在学习中有时感到对内容的理解不深刻、甚至前后混淆。为了学好本课程,下面对学习方法的几点建议。

(1)学习时对基本概念一定要搞清楚,必须循序渐进、温故知新,注意各部分知识的内在联系。尤其是对那些经常用到的、几乎贯穿于全课程的基本概念和基本定律,更要深入钻研,达到充分理解和熟练掌握的程度。

(2)在学习时要注意进行总结对比,课后要及时复习并仔细阅读教科书和有关参考书,遇到不理解的问题时,应及时解决,不要使问题越积越多,以致最后理不出个头绪来。对抽象的概念要弄清其物理意义;作数学推演和运算时,注意掌握推算和运算过程的物理含义及分析方法,不要死记硬背。

(3)电工学与工业电子学是一门实践性很强的课程,实验是一个重要的教学环节。实验课前要认真地阅读实验指导书,搞懂实验原理,拟出实验电路与具体的操作步骤,实验时要认真仔细,动手动脑,遵守规章,注意安全。对一些常用电工仪表、电子仪器一定要学会熟练操作。在整个学习过程中,随时注意培养和提高自己分析问题、解决问题以及自学的能力。

1 直流电路

本章首先从电工学的角度介绍电路的基本概念和基本物理量，然后重点讲授克希荷夫定律和几种常用的电路分析方法。

本章所介绍的基本概念、定理、定律和分析方法，虽然是由研究直流电路时而提出的，但只要适当加以扩展，也适用于交流电路。因此，这一章是本课程的理论基础。

1.1 电路的基本概念

通俗地说，电路就是电流流通的路径。它是为了达到某种需要，由若干电气设备和元件按一定方式连接起来的集合体。

图 1-1 所示的手电筒电路就是一个最简单的实用电路。它由一个干电池，一个小灯泡，一个开关和连接导线（手电筒金属壳体）组成。当开关闭合时，电池、导线和灯泡构成电流通路，电路中有电流流动，灯泡发光。当开关打开时，切断了电流流通的路径，电路中没有电流，灯泡熄灭。

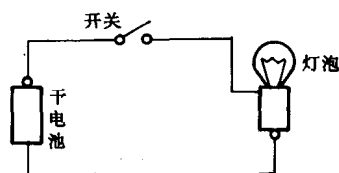


图 1-1 手电筒电路

由这个简单电路我们可以看出，作为一个完整电路，一般由以下三个基本部分组成：

(1)电源 电源是电路中提供电能的设备。它把其它形式的能量转换成电能。如干电池把化学能转变成电能；发电机把机械能转变成电能。

(2)负载 负载是电路中取用电能的设备，即各种用电设备。它把电能转换成其它形式的能，达到用电的目的。如电灯将电能转变成光能；电动机将电能转变成机械能。

需要指出的是，某些电气设备在电路中可能是电源也可能是负载。如把蓄电池与灯泡接成电路时，蓄电池是电源，它为电路提供电能；而当蓄电池接到充电设备上充电时，它将电能转变成化学能贮存起来，这时蓄电池就成为了负载。

(3)中间环节 中间环节指介于电源与负载之间的设备，如连接导线、控制电器（如开关等）、保护电器（如熔断器等）、测量仪表（如电流表等）。它们在电路中起传输、分配和控制电能以及测量、保护等作用。

图 1-1 是电路的实物示意图，为便于分析，工程上广泛采用的是原理接线图，构成电路的实际部件都用一定的图形符号来表示。图 1-2 就是手电筒的原理接线图。

各种电路元件的电路符号国家都有一定的规定，画电路图时必须按照规定来使用。

电路的种类繁多，由直流电源供电的称为直流电路；由交流电源供电的称为交流电路；由晶体管构成能将电信号放大的称为放大电路等等。

此外，在电工学中对于一个完整的电路（又称全电路），通常把电源内部的那段电路称为内电路；而把电源外部的那段电路称为外

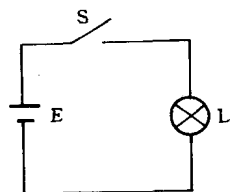


图 1-2 手电筒的电路图

在今后的学习中，常常会遇到一些与电路有关的名词术语，现分述如下。

(1)支路 一段无分叉的电路称为一条支路。同一条支路中的电流处处相等。如图 1-3 中 CABD、CD、CGFD 都是支路，其中支路 CABD 和 CGFD 中包含电源称为含源支路；支路 CD 中没有电源称为无源支路。

(2)节点 三条或三条以上支路的交汇点称为节点。图 1-3 中的 C、D 都是节点，而 A、B、F、G 是单一支路上的点。

(3)回路 电路中任一闭合路径称为回路。图 1-3 中 CDBAC、CGFDC 和 ACGFDBA 都是回路。

(4)网孔 内部不含支路的回路称为网孔。图 1-3 中 CDBAC 和 CGFDC 是网孔，回路 ACGFDBA 不是网孔，因其内部含有 CD 支路。

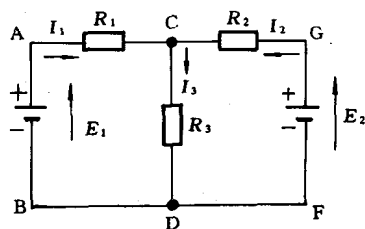


图 1-3 电路名词定义用路

1.2 电路的基本物理量

1.2.1 电流

电荷的定向移动形成电流。电流的大小等于单位时间内通过导体横截面的电荷量，电荷量一般用字母 Q 或 q 表示。

大小和方向均不随时间而变化的电流称为直流电流。在直流电路中，电流用大写字母 I 表示。即

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

式中 Q ——电荷量，库 (C)；

t ——时间，秒 (s)；

I ——电流，安 (A)。

习惯上把正电荷移动的方向规定为电流的实际方向。

对于简单电路，电流的实际方向可由电源的极性很容易地确定出来，即在外电路中电流从电源正极流向负极，而在内电路中电流从电源的负极流向正极。

对于复杂电路，电流的实际方向往往很难事先判定。为了解决这一困难，我们引入参考方向这一概念。参考方向又称为正方向。

电流的参考方向是任意选定的，在电路图中用箭头表示。规定当电流的实际方向与所标的参考方向一致时，则电流 I 的数值为正；反之，如果电流的实际方向与所标的参考方向相反时，则电流 I 的数值为负。如图 1-4 所示。

在求解电路中的电流时，首先需要为电流选定一个参考方向，并在图上用箭头表示出来。然后根据已经选定好的参考方向进行分析计算，由计算结果的正负，结合假定的参考方向就可判定出电流的实际方向。显然，不标出电流的参考方向，谈论电流的正负是没有意义的。必须养成在着手分析电路时先标出参考方向的习惯。

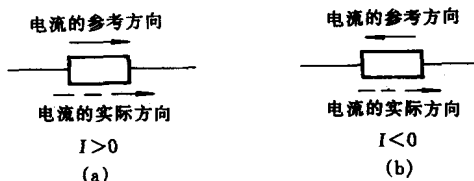


图 1-4 电流的正负

例 1-1 每秒 10C 的正电荷在导线中由 a→b 转移

(1)若电流的参考方向为由 a→b, 求 I ;

(2)若电流的参考方向为由 b→a, 求 I 。

解: (1)因为电流的参考方向和正电荷运动的方向 (电流的实际方向) 一致, 都是由 a→b, 故电流为正值, 即 $I=10\text{A}$ 。

(2)因为电流的参考方向是由 b→a, 而正电荷运动的方向是由 a→b, 两者方向相反, 故电流为负值, 即 $I=-10\text{A}$ 。

若电荷是负电荷, 以上两种情况下, 结果又将如何? 请同学们自行分析解答。

测量电流的仪表叫电流表。使用直流电流表时, 必须把电流表串接在被测电路中, 表的正端 “+” 接电流的流入端, 表的负端 “-” 接电流的流出端, 如图 1-5 所示。

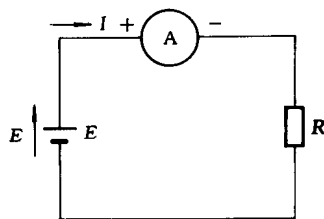


图 1-5 电流表的接法

1.2.2 电压

电压是衡量电场力作功大小的物理量。在直流电路中电压用大写字母 U 表示。

电压又称为电位差。如图 1-6 所示, 正电荷被电场力推动, 从 a 端移到 b 端, 损失了电势能, 因此 a 端为高电位, 用 V_a 表示, b 点为低电位, 用 V_b 表示。这时 a 端为正极, 用 “+” 号表示, b 端为负极, 用 “-” 号表示。则电压 U_{ab} 为

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-2)$$

a、b 两端的电压 U_{ab} 在数值上等于单位正电荷从 a 端移到 b 端时电场力所做的功。即

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} \quad (1-3)$$

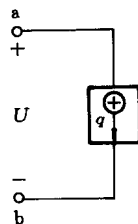


图 1-6 电场力作功示意图

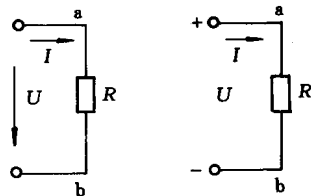
式中 W_{ab} ——电场力所做的功, 焦 (J);

Q ——电荷量, 库 (C);

U_{ab} ——电压, 伏 (V)。

电压的实际方向规定为由高电位指向低电位, 故电压又称为电压降。

与电流一样, 在分析计算电路时, 也要给电压假定一个参考方向 (正方向)。电压的参考方向也是任意选定的, 一旦选定后, 就应根据选定的参考方向进行计算, 如果算得的电压为正值, 说明电压的实际方向和参考方向一致; 如果算得的电压为负值, 则说明电压的实际方向和参考方向相反。同样, 不标出电压的参考方向, 谈论电压的正负是没有意义的。



在电路图中电压的参考方向通常用实线箭头或一对 “+”、“-” 号两种方法表示, 如图 1-7 所示。

测量电压的仪表叫电压表, 使用直流电压表时, 必须把它跨接 (并联) 在被测电路的两端, 表的正端 (+) 接高电位, 表的负端 (-) 接低电位。如图 1-8 所示。

电流和电压的参考方向是个很重要的概念。分析计算电路时既要为电流假定一个参考方向, 又要为电压假定一个参考方向, 原则上两者可任意假定, 互不相关。但为了方便起

见，通常采用关联的参考方向（又称关联正方向）。

所谓关联参考方向，即是把元件上的电压参考方向与电流参考方向取为一致，如图 1-9 所示。

电压和电流的参考方向不符合上述条件的称为非关联参考方向（又称非关联正方向），如图 1-10 所示。

需要强调的是，本书若无特别说明，一般都采用关联参考方向。

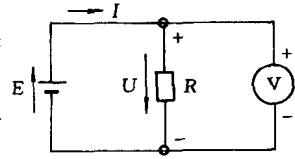


图 1-8 电压表的接法

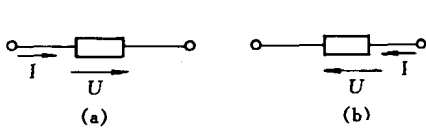


图 1-9 关联参考方向

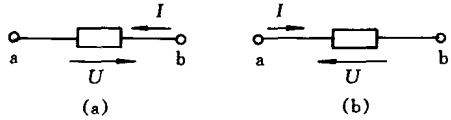


图 1-10 非关联参考方向

1.2.3 电动势

电路中，电源是提供电能的设备。电源的作用就是利用它内部的电源力（又称非静电力，如电池中的化学力），将正电荷从电源负极移到电源正极，如图 1-11 所示。

电动势是衡量电源力做功大小的物理量，在数值上等于电源力所做的功 W_s 与被移动的正电荷 q 的比值。在直流电路中，电源的电动势用大写字母 E 表示。即

$$E = \frac{W_s}{q} \quad (1-4)$$

式中 W_s ——电源力所做的功，焦 (J)；

q ——电荷量，库 (C)；

E ——电动势，伏 (V)，与电压的单位相同。

电动势的实际方向规定为从电源的负极（一极）指向电源的正极（+极），或者说，从低电位端指向高电位端。

电动势和电压是两个不同的概念，但都可以表示电源正负极之间的电位高低。显然，对于同一个电源来说，二者大小相等，方向相反。由于电压便于测量，故分析电路时大都用电源电压来表示。直流电源电压用 U_s 表示，如图 1-12 所示。

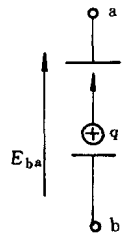


图 1-11 电源示意图

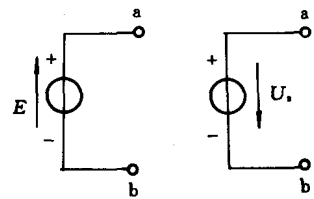


图 1-12 电源电动势与电源电压

1.2.4 电能

由能量转换和守恒定律可知，电场力移动正电荷 q 所做的功即是电流流过负载时所消耗的电能。由式 (1-3) 可得，电流流过负载时所消耗的电能为

$$W = Uq = UI t \quad (1-5)$$

式中 U ——电压，伏 (V)；

I ——电流，安 (A)；

t ——时间，秒 (s)；

W ——电能，焦 (J)。

实际应用时,电能的单位常取千瓦·时(kW·h),如供电部门按用户耗电的千瓦·时(kW·h)数来计算电费时,1千瓦时俗称1度电。

1千瓦·时(kW·h) = 3.6×10^6 焦(J)。

1.2.5 电功率

电功率是指电能的变化率,即单位时间内电能的变化量。电工学中电功率又简称功率,在直流电路中电功率用大写字母 P 表示。即

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Uq}{t} = UI \quad (1-6)$$

式中 U ——电压,伏(V);

I ——电流,安(A);

P ——功率,瓦(W)。

可以证明,当电流、电压为关联参考方向时,用公式 $P=UI$ 算得的功率 $P>0$,表示该元件为负载, P 为元件吸收(消耗)的功率;如果用公式 $P=UI$ 算得的功率 $P<0$,则表示该元件为电源, P 为该电源产生(提供)的功率。

当电流、电压为非关联参考方向时,计算功率的公式应改为

$$P = -UI \quad (1-7)$$

按上式算得的功率仍然是

$P>0$ 为吸收(消耗)功率

$P<0$ 为产生(提供)功率

例 1-2 计算图 1-13 中各元件的功率,指出是产生功率还是消耗功率。

解: (a)图: 电流、电压为关联参考方向,由公式 $P=UI$, 得

$$P = 2 \times (-3) = -6\text{W}, \quad P<0 \text{ 产生功率。}$$

(b)图: 电压、电流为关联参考方向,由 $P=UI$ 得

$$P = (-2) \times (-5) = 10\text{W}, \quad P>0 \text{ 吸收功率。}$$

(c)图: 电压、电流为非关联参考方向,用 $P=-UI$ 计算,得

$$P = -4 \times 1 = -4\text{W}, \quad P<0 \text{ 产生功率。}$$

1.2.6 倍数单位

前面我们复习了电流、电压、电动势、电能及功率这几个用来描述电路的基本物理量。它们的单位——安、伏、焦及瓦都是国际单位制(SI)中所采用的单位。在实际应用中,有时会感到它们太大或太小,使用起来不方便。因此,常在这些单位前面加上词头,形成或大或小的倍数单位。

部分国际制(SI)词头如表 1-1。

例如:

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

$$5 \text{ 毫安(mA)} = 5 \times 10^{-3} \text{ 安(A)}$$

$$2 \text{ 兆瓦(MW)} = 2 \times 10^6 \text{ 瓦(W)}$$

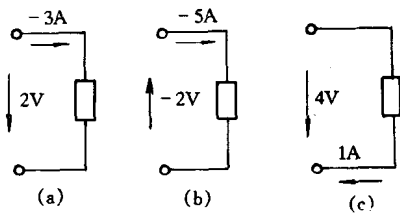


图 1-13 例 1-2 电路图

表 1-1 部分国际制词冠

词 冠	符 号		因 数
	中 文	国 际	
吉咖 (giga)	吉	G	10^9
兆 (mega)	兆	M	10^6
千 (kilo)	千	k	10^3
毫 (milli)	毫	m	10^{-3}
微 (micro)	微	μ	10^{-6}
纳诺 (nano)	纳	n	10^{-9}
皮可 (pico)	皮	p	10^{-12}

1.3 电路的基本元件

完成特定任务的各种实际电路都是由电源、电阻器、电容器、电感器、变压器和半导体管等电路元、部件构成的。根据需要本节仅介绍电阻、电压源和电流源三个基本元件。其它元、部件将在后面的各章中陆续介绍。

1.3.1 电阻元件

电阻元件是电路的基本元件之一，它是根据对电流呈现阻力这一特性，从实际部件中抽象出来的一种模型。

凡在电路中对电流呈现阻力并消耗一定电能的元、部件都可以用一个等效电阻来代替，如滑线变阻器、电灯、电炉、电烙铁等。

电流流过电阻时需要克服阻力消耗电能。因此，沿着电流流动的方向，电阻两端就必然出现电压降，即电阻上的电压和电流的实际方向总是一致的。

如果电阻元件的电阻为 R ，则电阻两端的电压 U 与通过其中的电流 I 之间的关系为

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

式中 U ——电压，伏 (V)；

I ——电流，安 (A)；

R ——电阻，欧 (Ω)。

这一关系，是在 19 世纪 (1827 年) 由德国科学家欧姆通过大量实验而总结出来的，故称为欧姆定律。

应该特别指出的是，由于电阻上的电压和电流的实际方向总是一致的，故式 (1-8) 只有在关联参考方向前提下才可运用。若为非关联参考方向，则欧姆定律应改为

$$U = -IR \quad (1-9)$$

图 1-14 表示了参考方向和欧姆定律形式之间的关系。

将 $U = IR$ 代入 $P = UI$ ，可得出电阻元件的功率计算公式，即

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-10)$$

由式 (1-10) 可见， P 总为正值，说明电阻元件总是消耗功率的。

凡遵循欧姆定律的电阻称为线性电阻。线性电阻的阻值 R 是一个常数，与通过其中的电流 (或加在其两端的电

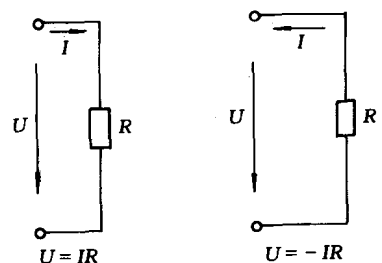


图 1-14 参考方向与欧姆定律

压)的大小无关。

电阻两端的电压 U 和流过它的电流 I 的关系曲线称为电阻的伏安特性。线性电阻的伏安特性是一条通过原点的直线,如图 1-15 所示。

不遵循欧姆定律的电阻称为非线性电阻。非线性电阻的阻值不是一个常数,它随着电压或电流的变化而改变。非线性电阻的伏安特性是一条曲线。晶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。

本书如无特别说明,涉及到的电阻均为线性电阻。

图 1-15 线性电阻的伏安特性

电阻的倒数称为电导。电导是表征材料导电能力的一个参数,用符号 G 表示。

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-11)$$

电导的单位名称为西门子,其中文符号为西,其 SI 单位符号为 S。

用电导来表征电阻元件时,在关联参考方向下,欧姆定律为

$$I = GU \quad (1-12)$$

在非关联参考方向下,欧姆定律为

$$I = -GU \quad (1-13)$$

在一定的温度下,对于材料均匀截面也均匀的金属导体,其电阻的大小由它的长度、截面积和材料性质决定,计算公式为

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (1-14)$$

式中 L ——导体长度, (m);

A ——导体截面积, (m²);

ρ ——导体材料的电阻率, 欧·米 ($\Omega \cdot m$)。

导体的电阻大小还与温度有关,一般金属导体的电阻会随温度的升高而增大,它们的关系可用下式表示

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha (t_2 - t_1)] \quad (1-15)$$

式中 R_1 ——导体对应于温度 t_1 时的电阻;

R_2 ——导体对应于温度 t_2 时的电阻;

α ——导体的电阻温度系数。

此式常用来测量电机及变压器的温升。

表 1-2 为常用金属材料的电阻率和电阻温度系数。

例 1-3 有一洗衣机的电动机,在 20℃ (室温) 时铜制激磁线圈的电阻为 100Ω,运行一段时间后,测得电阻为 120Ω,问此时线圈的温度及温升。

解: 由表 1-2 中查得: 铜的电阻温度系数 $\alpha = 0.004$

由式 (1-15) 得

$$t_2 = \frac{R_2 - R_1}{\alpha R_1} + t_1 = \left(\frac{120 - 100}{0.004 \times 100} + 20 \right) ^\circ\text{C} = 70^\circ\text{C}$$

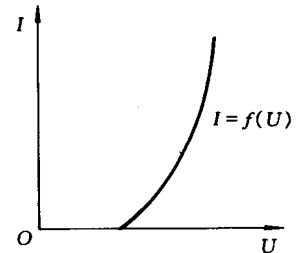
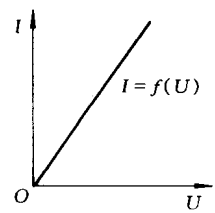


图 1-16 晶体二极管的正向伏安特性