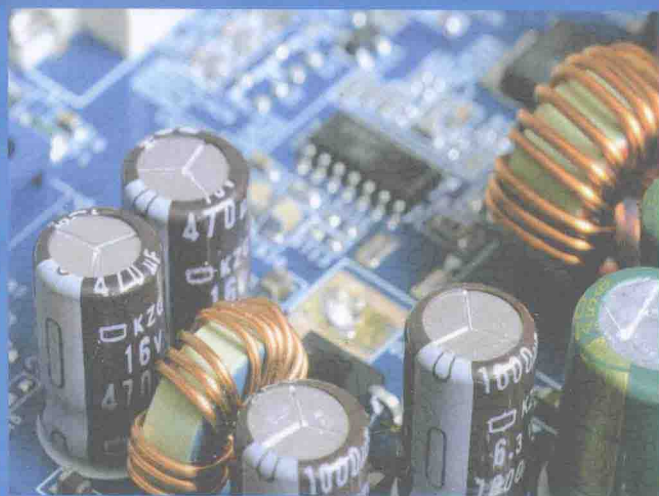


“十三五”普通高等教育规划教材

电工电子技术

(上)

黄金侠 主编



含电子教案



<http://www.cmpedu.com>



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



“十三五”普通高等教育规划教材

电工电子技术

(上)

		黄金侠	主 编
	宋国义	张 炯	副主编
郭庆龙	王越男	张 良	参 编
		李 晶	主



机械工业出版社

本书根据教育部电气电子学科基础课程教学指导委员会制定的“电工技术”“电子技术”课程的最新教学基本要求编写。

全书共 10 章,包括电路的基本概念和基本定律、电路的分析方法、电路的暂态分析、正弦交流电路、三相交流电路、磁路与变压器、电动机、继电器控制、可编程序控制器、电工测量。内容处理详略得当,基本概念讲解清楚,分析方法讲解透彻,难易度适中。各章配有丰富的例题、思考题、练习题及小结,最后提供了部分习题的参考答案,方便学生自学和教师施教。

本书可作为高等学校非电类专业本科生、大专生及成人教育相关专业的教材和教学参考书,也可供工程技术人员参考。

本书提供配套授课电子课件,需要的教师可登录 www.cmpedu.com 免费注册、审核通过后下载,或联系编辑索取(QQ: 308596956, 电话: 010-88379753)。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术. 上/黄金侠主编. —北京:机械工业出版社, 2016.8

“十三五”普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-111-54789-1

I. ①电… II. ①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. ①TM ②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 214337 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:时静 责任校对:张艳霞

责任印制:常天培

唐山市润丰印务有限公司印刷

2016 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm × 260mm · 18 印张 · 431 千字

0001-3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-54789-1

定价: 45.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:(010)88379833

读者购书热线:(010)88379649

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com

前 言

教材是教师实施教育的重要载体和主要依据,是学生获取知识、提升能力的重要渠道。编写一本合适的教材,教与学都可以达到事半功倍的效果。近几年,高校开始进行大类招生,学生在一二年级不分专业,按学科大类统一学习规定的基础平台课程。很多高校已将《电工电子技术》列为基础教学平台课程。加强通识教育,实行宽口径知识培养。为了更好地满足大类招生对课程教学内容的需求,结合目前课程教学改革的标准和要求,以及科学技术的新发展,在多年课程教学改革和实践探索的基础上,总结经验,依据教育部制定的工科高校“电工电子技术”课程教学基本要求,为适应高等学校工科非电类专业“电工电子技术”课程改革的需要而编写的。

本书在编写时立足于“结构新颖,整体贯通,深入浅出,化难为易,好学易懂,重点突出,便于自学,利于教学”。与同类教材相比,本书更加注重基本概念的讲解,解题技能的训练,工程分析、设计与实践能力的培养。这是一本既能满足教学基本要求又有加深拓宽,对非电专业非常适用并且符合实际需要的教材。本教材具有如下特色:

(1) 本教材体现电工电子技术课程教学“保基础、重实践、少而精”的特点,整合课程内容,体现科学性,突出实践性和应用性,满足大类招生下学时较少的教学需要。

(2) 教材内容涵盖了电气工程学科的大多数研究领域,满足不同专业学生利用与电气工程学科交叉、渗透、融合来促进其本身学科的学习的需求。

(3) 将新知识、新理论和新技术充实到教材中去,为学生提供符合时代需要的知识体系。每章以内容提要和本章目标开头,使读者能在学习前明确目标;每章结尾部分又有把主要知识点进行梳理的本章小结。

(4) 教材的编写过程中,作者精心设计讲授的内容,精心编辑所讲授内容之间的逻辑关系,采用分层次递进的教、学、练相结合的结构。在教与学的同时多“练”就显得很重要,每小节都有思考与练习。每章都含有多个例题、精选各类选择题、分析题和计算题,这些题目可以进一步测试对教学内容的掌握情况,为后继学习作好铺垫。

(5) 本课程的特点是电路图较多,传统的黑板加粉笔的教学方法难以提供较大的信息量,而且不可避免地要画大量电路图,既费时又费力。为了适应教学改革的需要,我们研究开发了多媒体课件,并引入教学。利用多媒体 PPT 教学,不仅可以大大减少教师的重复性劳动,而且因其图文并茂、形象逼真、信息量大而增强学生注意力,还可集中优秀教师的教学经验,使学生达到最佳学习效果。

(6) 《电工电子技术(下)》的附录中增加了仿真软件 Multisim12 在电路分析中的应用的内容。Multisim 仿真软件逼真的人机交互界面,可以模仿真实的实验环境,使学生产生身临其境的实验环境的感受,使得抽象、晦涩难懂的理论知识变得直观且易于理解。将仿真技术与多媒体应用相结合,在理论教学中直接嵌入仿真实验,将传统教室变为虚拟实验室,实现理论与实践教学一体化。

全书共分为 10 章,包括电路的基本概念和基本定律、电路的分析方法、电路的暂态分

析、正弦交流电路、三相交流电路、磁路与变压器、电动机、继电接触器控制、可编程序控制器、电工测量。各章开始设有学习目标及内容提要，结束设有本章小结。各章配有丰富的例题、习题和思考题，书后提供了部分习题的参考答案，便于教师教学和学生自学。由于非电类专业甚多，对电工电子技术的要求不一，学时也有差别，本书的参考学时为 50 ~ 70 学时。教学内容分为两类：

(1) 共性基本内容：各非电专业所规定的基本教学内容。

(2) 非共性基本内容（标以“△”号）：根据各非电专业本身的需求规定的教学内容。

为方便教师教学，本书配有免费电子教学课件。任课教师可登录 www.cmpedu.com 免费下载或发送邮件至 hjxlcj2006@sina.com 咨询。

本书主要由佳木斯大学信息电子技术学院电工学课程组编写。全书由黄金侠主编，负责定稿和统稿工作。其中黄金侠编写第 1、3 章、宋国义编写第 2、4 章；张炯编写第 5 章、附录；郭庆龙编写第 6、7 章；张良编写第 8、10 章；王越男编写第 9 章。主审李晶教授和李丽敏老师为本书的编写提出了很多宝贵修改意见。在编写过程中，学习和借鉴了大量有关的参考资料，在此向所有作者表示深深的感谢。

由于编者水平有限，书中的错误和不妥之处在所难免，欢迎使用教材的教师、学生和工程技术人员提出意见和建议，以便改进和提高。

编 者
2016. 5

目 录

前言

第1章 电路的基本概念与基本定律	1
1.1 电路的基本概念	1
1.1.1 电路的作用与组成	1
1.1.2 电路模型	2
1.1.3 电流、电压及其参考方向	3
1.1.4 电功率和电能	4
1.2 电路元件	6
1.2.1 无源电路元件	6
1.2.2 有源电路元件	10
1.3 电路的工作状态	14
1.3.1 电路有载工作状态	15
1.3.2 电路开路	16
1.3.3 电路短路	16
1.4 基尔霍夫定律	17
1.4.1 基尔霍夫电流定律	17
1.4.2 基尔霍夫电压定律	18
1.5 电路中的电位	20
本章小结	22
习题1	23
第2章 电路的分析方法	28
2.1 支路电流法	28
2.2 结点电压法	30
2.3 叠加原理	32
2.4 等效电源定理	35
2.4.1 戴维南定理	35
2.4.2 诺顿定理	38
2.5 非线性电阻电路	39
本章小结	41
习题2	42
第3章 电路暂态分析	47
3.1 电路的暂态及换路定则	47

3.1.1	电路的暂态	47
3.1.2	换路定则	48
3.2	RC 电路的响应	50
3.2.1	RC 电路的零输入响应	50
3.2.2	RC 电路的零状态响应	52
3.2.3	RC 电路的全响应	53
3.3	RL 电路的响应	55
3.3.1	RL 电路的零输入响应	55
3.3.2	RL 电路的零状态响应	57
3.3.3	RL 电路的全响应	57
3.4	一阶线性暂态电路分析的三要素法	58
3.5	微分与积分电路	61
3.5.1	微分电路	61
3.5.2	积分电路	62
	本章小结	63
	习题 3	64
第 4 章	正弦交流电路	70
4.1	正弦量的基本概念	70
4.1.1	正弦量变化的快慢	70
4.1.2	正弦量变化的大小	71
4.1.3	正弦量变化的进程	71
4.2	正弦量的相量表示	73
4.3	单一参数的交流电路	75
4.3.1	电阻元件的正弦交流电路	75
4.3.2	电感元件的正弦交流电路	77
4.3.3	电容元件的正弦交流电路	79
4.4	电阻、电感与电容组合的交流电路	81
4.4.1	电阻、电感与电容串联的交流电路	81
4.4.2	阻抗的串联与并联	84
△4.4.3	复杂正弦交流电路的分析与计算	86
4.5	功率因数的提高	87
4.6	交流电路的频率特性	90
4.6.1	RC 滤波电路	90
4.6.2	电路中的谐振	93
△4.7	非正弦周期电压和电流	98
	本章小结	100
	习题 4	102
第 5 章	三相交流电路	107
5.1	三相电源	107

5.1.1	三相电动势的产生	107
5.1.2	三相电源的连接	108
5.2	三相负载的连接	111
5.2.1	三相负载的星形联结	111
5.2.2	三相负载的三角形联结	113
5.3	三相电路的功率	115
△5.4	供配电与安全用电	116
5.4.1	发电和输电概述	116
5.4.2	安全用电	118
5.4.3	节约用电	122
	本章小结	123
	习题5	123
第6章	磁路与变压器	126
6.1	磁路及其分析方法	126
6.1.1	磁场的基本物理量	126
6.1.2	磁性材料的磁性能	127
6.1.3	磁路的分析方法	128
6.2	交流铁心线圈电路	132
6.2.1	电磁关系	132
6.2.2	电压与电流的关系	132
6.2.3	功率损耗	133
6.3	变压器	134
6.3.1	变压器的分类与结构	135
6.3.2	变压器的工作原理	136
6.3.3	变压器的使用	139
6.3.4	特殊变压器	142
6.4	电磁铁	144
	本章小结	145
	习题6	146
第7章	电动机	148
7.1	电动机概述	148
7.2	三相异步电动机的结构和工作原理	149
7.2.1	三相异步电动机的结构	149
7.2.2	三相交流异步电动机的转动原理	151
7.3	三相交流异步电动机的电磁转矩与机械特性	154
7.3.1	三相交流异步电动机的电磁转矩	154
7.3.2	三相交流异步电动机的机械特性	156
7.4	三相交流异步电动机的起动	158
7.4.1	起动性能	158

7.4.2	7.4.2 启动方法	158
7.5	7.5 三相交流异步电动机的调速	160
7.5.1	7.5.1 变频调速	161
7.5.2	7.5.2 变极调速	161
7.5.3	7.5.3 变转差率调速	162
7.6	7.6 三相交流异步电动机的制动	162
7.6.1	7.6.1 能耗制动	162
7.6.2	7.6.2 反接制动	162
7.6.3	7.6.3 回馈制动	163
7.7	7.7 三相交流异步电动机的铭牌数据	163
7.8	7.8 三相异步电动机的选择	164
△7.9	△7.9 三相同步电动机	166
△7.10	△7.10 单相异步电动机	167
7.10.1	7.10.1 单相电容分相式启动异步电动机	167
7.10.2	7.10.2 单相罩极式异步电动机	168
△7.11	△7.11 直流电动机	169
7.11.1	7.11.1 直流电动机的基本结构和工作原理	169
7.11.2	7.11.2 直流电动机的工作特性	170
7.11.3	7.11.3 直流电动机的启动和调速	171
△7.12	△7.12 控制电动机	172
7.12.1	7.12.1 交流伺服电动机	173
7.12.2	7.12.2 步进电动机	174
	本章小结	175
	习题 7	177
第 8 章	第 8 章 继电接触器控制	181
8.1	8.1 常用控制电器	181
8.1.1	8.1.1 刀开关和组合开关	181
8.1.2	8.1.2 按钮与行程开关	183
8.1.3	8.1.3 交流接触器	184
8.1.4	8.1.4 继电器	185
8.1.5	8.1.5 熔断器	187
8.1.6	8.1.6 空气断路器	188
8.2	8.2 三相异步电动机的直接启动控制	188
8.2.1	8.2.1 点动控制	188
8.2.2	8.2.2 连续控制	189
8.3	8.3 三相异步电动机的正反转控制	189
8.4	8.4 三相异步电动机的顺序控制	191
8.5	8.5 行程控制	191
8.6	8.6 时间控制	192

本章小结	194
习题 8	194
第 9 章 可编程序控制器	198
9.1 PLC 概述	198
9.1.1 PLC 的硬件组成和工作原理	198
9.1.2 PLC 的应用、特点和分类	203
9.1.3 PLC 的编程语言和存储器区域	204
9.2 PLC 基本指令与编程	207
9.2.1 位逻辑指令	207
9.2.2 计数器和定时器	214
9.2.3 PLC 的编程规则	219
9.3 顺控指令	221
9.3.1 功能图简介	221
9.3.2 顺序控制指令介绍	221
9.3.3 顺序控制指令举例	221
9.4 功能指令	224
9.4.1 传送类指令	225
9.4.2 移位与循环指令	226
9.4.3 子程序	228
9.4.4 中断操作指令	229
9.4.5 功能指令应用	232
本章小结	237
习题 9	237
第 10 章 电工测量	240
10.1 电工测量仪表的分类	240
10.1.1 电工仪表的基本原理及组成	240
10.1.2 电工仪表的分类	240
10.2 电工测量仪表的型式	242
10.2.1 磁电式仪表	243
10.2.2 电磁式仪表	245
10.2.3 电动式仪表	246
10.3 电流的测量	247
10.4 电压的测量	248
10.5 万用表	249
10.5.1 磁电式万用表	249
10.5.2 数字式万用表	254
10.6 功率的测量	256
10.6.1 单相功率表	256
10.6.2 三相功率的测量	257

△10.7 非电量的电测法	258
10.7.1 应变电阻传感器	259
10.7.2 电感式传感器	260
10.7.3 电容式传感器	262
本章小结	263
习题 10	263
附录	265
附录 A 参考答案	265
附录 B 电阻器和电容器的命名方法及性能参数	275
参考文献	278

第1章 电路的基本概念与基本定律

【内容提要】 本章首先介绍了电路的作用与组成、电路模型、电压、电流及其参考方向的概念，给出了电路元件（电阻、电感、电容、电压源、电流源、受控源）模型及其伏安特性，重点论述了基尔霍夫电压定律和电流定律；最后介绍了电路工作状态及电位的计算。本章内容是所有章节的基础，学习时要深刻理解，熟练掌握。

【本章目标】 理解电压与电流参考方向的意义；理解电路元件的概念及伏安特性；理解电路的基尔霍夫定律并能正确应用；了解电路的工作状态，理解电功率和额定值的意义；会计算电路中各点的电位。

1.1 电路的基本概念

1.1.1 电路的作用与组成

人们生活在电气化、信息化的社会里，广泛地使用着各种电子产品和设备，它们中有各种各样的电路。例如，传输、分配电能的电力电路；转换、传输信息的通信电路；控制各种家用电器和生产设备的控制电路；交通运输中使用的各种信号的控制电路等等。这些电路都是由各种电器元件按照一定方式连接而成，它可提供电流流通的路径。实际电路是为完成某种预期目的而设计、安装、运行的，由电路元器件（如电源、电阻器、电感线圈、电容器、变压器、仪表、二极管、晶体管等）相互连接形成电流的通路，具有传输电能、处理信号、电子测量、自动控制、分析计算等功能。如果某个电路元器件数目很多且电路结构较为复杂时，通常又把这个电路称为电网络。

现实中电路样式非常多，但从其作用来看，有两类：一是实现能量的传输、分配和转换；二是实现信号的传递和处理。从电路的组成来看，实际电路总可以分为三个部分：一是向电路提供电能或信号的电器元件，称为电源或信号源；二是用电设备，称为负载；三是中间环节，如导线、开关、控制器等。电路在电源或信号源作用下，才会产生电压、电流，因此在某种场合又把电源或信号源称为激励，由激励所产生的电压和电流称为响应。如图1-1a所示的手电筒实际照明电路是由一个电源（干电池）、一个负载（小灯泡）、一个开关和若干导线组成的最简单电路。当开关闭合后，形成了通路，在这个闭合通路中就会有电流通过，于是灯泡发光。干电池是电源，向电路提供能量；灯泡是用电设备，在电路中称为负载，实际上是

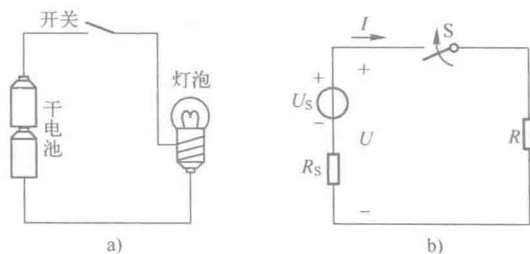


图1-1 手电筒实际电路与电路模型
a) 手电筒实际电路 b) 手电筒电路模型

由电阻丝构成的电阻器；开关和连接导线可使电流构成通路，是传输和控制的中间环节。

1.1.2 电路模型

当接触实际电路时，就会发现情况非常复杂。比如从电路的几何尺寸来看，大的可达数千公里，甚至连接全世界，如电力网、通信网、因特网；而小到集成电路，虽然只有指甲那么大，却是由千千万万个小电路集合而成的一个电路系统。从电路中所进行的电磁运动来看，一个最简单的线绕式电阻器，通电时电能转化为热能，这种转换与流过电流的大小有关而且不可逆转。因此，电阻器是一个消耗电能的器件，但是通电的导线周围有磁场，于是一部分电能转换为磁能。再进一步分析，会发现该磁场随着流过的电流频率不同而不同。任何一个实际电路器件在电压、电流作用下，总是同时发生多种电磁效应，但电阻主要消耗电能，电感线圈主要储存磁场能量，电容器主要储存电场能量，电池和发电机等主要提供电能。为了便于对电路进行分析和计算，常把实际的元件加以理想化，在一定条件下忽略其次要电磁性质，用足以表征其主要电磁性质的理想化的电路元件来表示。例如，电阻元件 R 是实际电阻器的理想化模型，表示消耗电能的性质；电感元件 L 是实际电感器的理想化模型，它只具有储存磁场能量的性质；电容元件 C 是实际电容器的理想化模型，它只具有储存电场能量的性质。有两种理想化电源元件能提供电压和电流，称为有源元件：电压源 U_s （或 u_s ）是实际电源的一种理想化模型，它只具有提供恒定电压或给定函数电压的性质；理想电流源 I_s （或 i_s ）是实际电源的另一种理想化模型，它只具有输出恒定电流或给定函数电流的性质。理想电路元件具有精确的数学定义和数学表达式。这就奠定了对电路进行分析计算的基础。任何一个实际的电路元器件，都可以用一个或多个理想电路元件来模拟，表征它的主要电磁性质。在电路图中，各种电路元件用规定的图形符号表示。如图 1-2 所示。

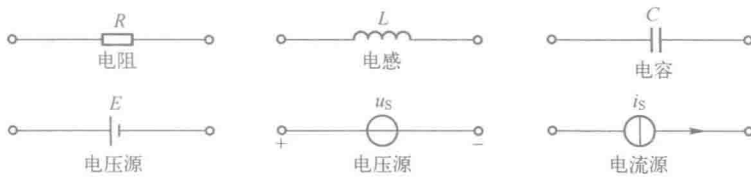


图 1-2 理想电路元件的符号

我们将实际电路器件理想化而得到的只具有某种单一电磁性质的元件，称为理想电路元件，简称为电路元件。电路模型是由理想电路元件取代每一个实际电路器件而构成的电路。根据国家标准绘制的电路模型图称为电路图。例如，在图 1-1a 所示的手电筒实际电路中，由于干电池对外提供电能的同时，内部也有电阻消耗能量，于是用理想电压源 U_s 和理想电阻元件 R_s 的串联组合表示干电池；灯泡除了具有消耗电能的性质（电阻性）外，通电时还会产生磁场，具有电感性。但电感微弱，可忽略不计，灯泡用理想电阻元件 R 表示；连接电池与灯泡的开关 S 和金属导线看成没有电阻的理想开关和导线，则可获得与之对应的电路模型，如图 1-1b 所示。电路模型只反映实际电路的作用及其相互连接的方式，不反映实际电路的内部结构、几何形状及相互位置。

1.1.3 电流、电压及其参考方向

1. 电流及其参考方向

单位时间内通过导体横截面的电荷[量]定义为电流，电流的大小用电流强度来衡量，电流强度简称为电流。用公式表示为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

电流的大小和方向不随时间变化，即 $\frac{dq}{dt} = \text{常数}$ ，这种电流称为直流电流，用大写字母 I 表示。大小和方向随时间变化的电流称为交变电流，用小写字母 i 表示。

在国际单位制中，电流的单位是安[培] (A)。实际应用中，大电流用千安培 (kA) 表示，小电流用毫安培 (mA) 表示或者用微安培 (μA) 表示。它们的换算关系为

$$1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A} = 10^6 \text{ mA} = 10^9 \mu\text{A}$$

在外电场的作用下，正电荷将沿着电场方向运动，而负电荷将逆着电场方向运动，习惯上规定：正电荷运动的方向为电流的方向。

简单电路中，电流从电源正极流出，经过负载，回到电源负极；在分析复杂电路时，一般难于判断出电流的实际方向，而列方程、进行定量计算时需要电流有一个约定的方向；对于交流电流，电流的方向随时间改变，无法用一个固定的方向表示，因此引入电流的参考方向，或称为正方向。

参考方向可以任意设定，如用一个箭头表示某电流的假定正方向，就称之为该电流的参考方向。当电流的实际方向（图 1-3 虚线箭头）与参考方向（图 1-3 实线箭头）一致时，电流的数值就为正值（即 $i > 0$ ），如图 1-3a 所示；当电流的实际方向与参考方向相反时，电流的数值就为负值（即 $i < 0$ ），如图 1-3b 所示。



图 1-3 电流参考方向与实际方向

a) 电流实际方向与参考方向一致 b) 电流实际方向与参考方向相反

电流的参考方向标记方法有两种：一是在电路中，画一个实线箭头，并标出电流名称；二是用双下标表示，如 i_{ab} 表示电流由 a 流向 b。

2. 电压及其参考方向

电压又称电势差或电位差。电场力把单位正电荷从 a 点经外电路（电源以外的电路）移送到 b 点所做的功，叫做 a、b 两点之间的电压，记作 U_{ab} 。因此，电压是衡量电场力做功本领大小的物理量。

若电场力将正电荷 dq 从 a 点经外电路移送到 b 点所做的功是 dw ，则 a、b 两点间的电压为

$$u_{ab} = \frac{dw}{dq} \quad (1-2)$$

电压的实际方向规定由高电位到低电位，即电位降低的方向。在国际制单位中，电压的单位为伏特，简称伏（V）。实际应用中，高电压用千伏（kV）表示，低电压用毫伏（mV）表示或者用微伏（ μV ）表示。它们的换算关系为

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V} = 10^6 \text{ mV} = 10^9 \mu\text{V}$$

在比较复杂的电路中，往往不能事先知道电路中任意两点间的电压方向，为了分析和计算的方便，在分析电路时同电流一样，电压也要设定参考方向。如图 1-4 所示，实线箭头代表参考方向，虚线箭头代表实际方向。按照所设定的参考方向分析电路，得出的电压为正值（ $u > 0$ ），表明电压的实际方向与参考方向一致，如图 1-4a 所示；反之，若得出的电压为负值（ $u < 0$ ），则表明电压的实际方向与参考方向相反，如图 1-4b 所示。



图 1-4 电压的参考方向与实际方向

a) 电压实际方向与参考方向一致 b) 电压实际方向与参考方向相反

电路中电压的参考方向除了用箭头和双下标表示之外，还可以用极性“+”“-”符号表示。例如 a、b 两点间的电压 u_{ab} ，它的参考方向是由 a 指向 b；用极性“+”“-”符号表示，若 a 点标“+”，b 点标“-”，则参考方向也是由 a 指向 b。

对任何电路进行分析时，应先标出各处电流的参考方向、电压的参考极性。一个元件的电流或者电压的参考方向可以任意指定，对于一个元件来说，如果电流的参考方向是从电压的“+”极性流入、从电压的“-”极性流出，即两者采用相同的参考方向，则称它们的电压和电流的参考方向为关联参考方向，如图 1-5a 所示；否则称为非关联参考方向，如图 1-5b 所示。

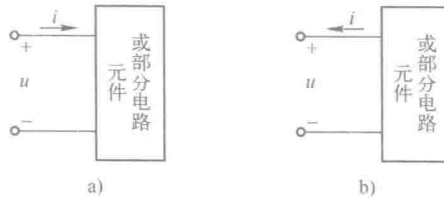


图 1-5 元件的关联参考方向和非关联参考方向

a) 关联参考方向 b) 非关联参考方向

1.1.4 电功率和电能

在电路分析和计算中，能量和功率的计算是十分重要的。一方面电路工作时总会有电能与其他形式的能量进行转换，另一方面，电器设备和电路部件本身都要有功率的限制，在使用中需要注意其电流或者电压是否超过额定值。

1. 电功率

电流在单位时间内做的功，称为电功率。可表示为

$$p(t) = \frac{dw}{dt} \quad (1-3)$$

由于 $u(t) = \frac{dw}{dq}$, $i(t) = \frac{dq}{dt}$

则 $p(t) = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \frac{dq}{dt} = ui$ (1-4)

可见, 元件吸收或发出的功率等于元件上的电压乘以元件上的电流。

在国际单位制中, 电功率的单位是瓦特, 简称瓦 (W)。常用的功率单位还有千瓦 (kW), $1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$ 。

由于电功率为电压与电流的乘积, 当电压与电流实际方向相同时 p 是元件吸收的功率, 当电压与电流实际方向相反时 p 是元件发出的功率。在电路分析时, 可引入电压和电流参考方向与关联的概念, 则电功率计算式 (1-4) 就可以表示为以下两种形式:

当 u 、 i 为关联参考方向时

$$p = ui \text{ (直流功率 } P = UI) \quad (1-5)$$

当 u 、 i 为非关联参考方向时

$$p = -ui \text{ (直流功率 } P = -UI) \quad (1-6)$$

无论关联与否, 只要计算结果 $p > 0$, 则该元件就是在吸收功率, 即消耗功率, 该元件是负载; 若 $p < 0$, 则该元件是在发出功率, 即产生功率, 该元件是电源。

根据能量守恒定律, 对一个完整的电路, 发出功率的总和应正好等于吸收功率的总和。

【例 1-1】 计算图 1-6 中各元件的功率, 指出是吸收还是发出功率, 并求整个电路的功率。已知电路为直流电路, $U_1 = 4 \text{ V}$, $U_2 = -8 \text{ V}$, $U_3 = 6 \text{ V}$, $I = 2 \text{ A}$ 。

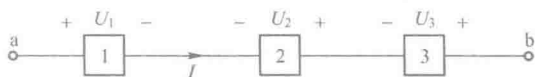


图 1-6 例 1-1 的图

【解】 在图中, 元件 1 电压与电流为关联参考方向, 由式 (1-5) 得

$$P_1 = U_1 I = 4 \times 2 \text{ W} = 8 \text{ W}$$

故元件 1 吸收功率。

元件 2 和元件 3 电压与电流为非关联参考方向, 由式 (1-6) 得

$$P_2 = -U_2 I = -(-8) \times 2 \text{ W} = 16 \text{ W}$$

$$P_3 = -U_3 I = -6 \times 2 \text{ W} = -12 \text{ W}$$

故元件 2 吸收功率, 元件 3 发出功率。

整个电路功率为

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = 8 + 16 - 12 \text{ W} = 12 \text{ W}$$

本例中, 元件 1 和元件 2 的电压与电流实际方向相同, 二者吸收功率; 元件 3 的电压与电流实际方向相反, 发出功率。由此可见, 当电压与电流实际方向相同时, 电路一定是吸收功率, 反之则是发出功率。实际电路中, 电阻元件的电压与电流的实际方向总是一致的, 说明电阻总在吸收 (消耗) 能量; 而电源则不然, 其功率可能正也可能为负, 这说明它可能作为电源发出 (提供) 电能, 也可能被充电, 吸收功率。

2. 电能

电路在一段时间内消耗或提供的能量称为电能。根据式 (1-3), 电路元件在 t_0 到 t 时间

内消耗或提供的能量为

$$w = \int_{t_0}^t p dt \quad (1-7)$$

直流时

$$W = P(t - t_0) \quad (1-8)$$

在国际单位制中,电能的单位是焦耳(J)。通常电业部门用“度”作为单位测量用户消耗的电能,“度”是千瓦时(kWh)的简称。1度(或1千瓦时)电等于功率为1千瓦的元件在1小时内消耗的电能。即

$$1 \text{ 度} = 1 \text{ kWh} = 10^3 \times 3600 = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

【思考与练习】

1.1.1 U_{ab} 是否表示a端的电位高于b端的电位?

1.1.2 电压与电动势有何区别?对于一个电源来说,它的电动势和它的端电压有何关系?

1.2 电路元件

1.2.1 无源电路元件

电阻元件、电感元件、电容元件都是理想的电路元件,它们均不发出电能,称为无源元件。它们有线性与非线性之分,线性元件的参数为常数,与所施加的电压和电流无关。

1. 电阻元件

电阻元件的特性常用元件两端的电压与通过的电流之间的关系曲线表示,这种曲线称为伏安特性,如图1-7所示。若电阻值不随电压、电流变化而变化的电阻称为线性电阻,线性电阻的电阻值是常数,即

$$R = \frac{U}{I} \quad (1-9)$$

伏安特性曲线是通过坐标原点的一条直线,如图1-7a所示。

若电阻值随电压、电流变化而变化的电阻则称为非线性电阻,非线性电阻的电阻值不是常数,可通过实验的方法测得其伏安特性曲线,如图1-7b所示,此为非线性电阻半导体二极管的伏安特性曲线。

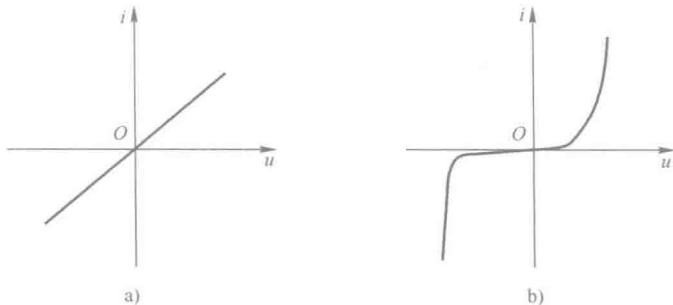


图1-7 电阻元件的伏安特性

a) 线性电阻的伏安特性 b) 半导体二极管的伏安特性