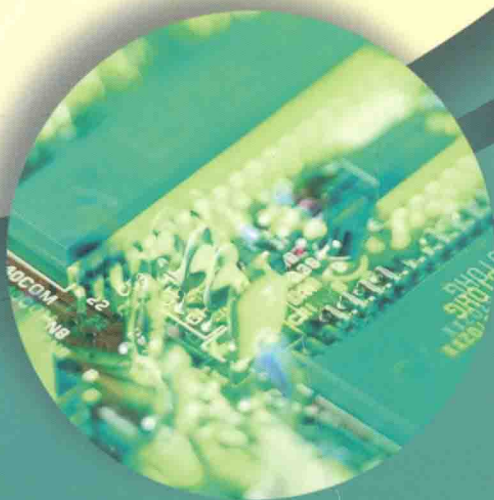




高等职业教育“十二五”规划教材
制造类专业基础平台课系列

电工电子技术

● 主 编 秦常贵 邵 玫



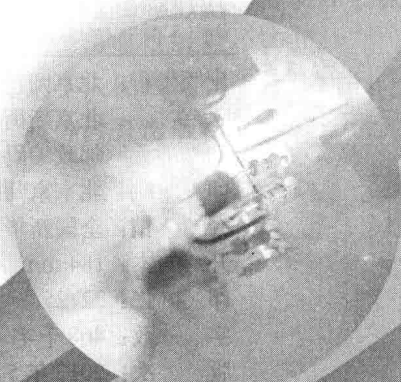
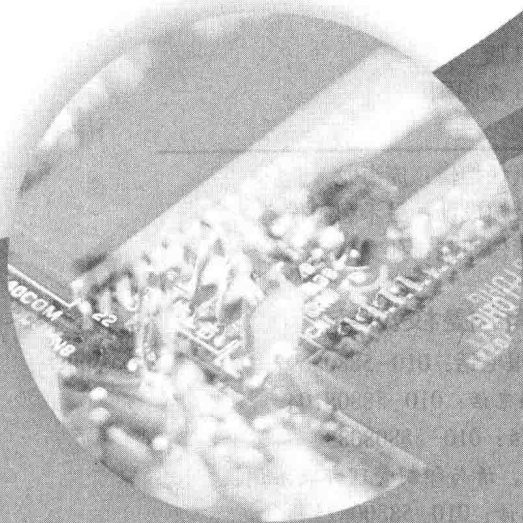
北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社



高等职业教育“十二五”规划教材
制造类专业基础平台课系列

电工电子技术

● 主 编 秦常贵 邵 玫
 副主编 廖春蓝 王海英 徐 超 曾繁玲
 参 编 李 娜 林燕虹 杨秀文 叶坚星
 彭益武



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术 / 秦常贵, 邵玫主编. —北京: 北京师范大学出版社, 2012.5

(高等职业教育“十二五”规划教材)

ISBN 978-7-303-13990-3

I. ①电… II. ①秦…②邵… III. ①电工技术—高等职业教育—教材②电子技术—高等职业教育—教材 IV. ①TM
②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 017275 号

营销中心电话	010-58802755 58800035
北师大出版社职业教育分社网	http://zjfs.bnup.com.cn
电子邮箱	bsdzyjy@126.com

出版发行: 北京师范大学出版社 www.bnup.com.cn

北京新街口外大街 19 号

邮政编码: 100875

印刷: 北京京师印务有限公司

经销: 全国新华书店

开本: 184 mm × 260 mm

印张: 22.25

字数: 468 千字

版次: 2012 年 5 月第 1 版

印次: 2012 年 5 月第 1 次印刷

定价: 39.00 元

策划编辑: 庞海龙

责任编辑: 庞海龙

美术编辑: 高霞

装帧设计: 弓禾碧工作室

责任校对: 李茵

责任印制: 孙文凯

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话: 010-58800697

北京读者服务部电话: 010-58808104

外埠邮购电话: 010-58808083

本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话: 010-58800825

内容简介

本书根据“以必需、够用为度”的高职教育理念和高职学生的学习认知规律，系统全面地介绍了常用电工技术和电子技术的基本知识和基本技能。本书主要内容包括直流电路、单相正弦交流电路、三相正弦交流电路、磁路与变压器、供电与安全用电、常用半导体器件、基本放大电路、集成运算放大电路、直流稳压电源、门电路与组合逻辑电路、触发器与时序逻辑电路、A/D 和 D/A 转换、电工测量、三相异步电动机、单相异步电动机、直流电动机、控制电机、继电—接触器控制系统和晶闸管及其应用等，每章都提出了明确的“学习目标”，在合适的章节中安排了“技能实训”，切实体现了加强动手能力培养的高职教育特色。每章后面提供了适量的多题型的“试卷型”习题，以供读者检阅和巩固所学重要知识。

本书内容系统、全面，章节编排科学合理，重点要点一目了然，知识讲解化繁为简、化难为易和通俗易懂，技能实训注重实用。

本书可作为高职非电类和部分电类专业的教材；同时也可作为有关教师和工程技术人员参考书。

前言

“电工电子技术”是在进行高职课程教学改革的背景下产生的，是将“电路与磁路”、“模拟电子技术”、“数字电子技术”、“电气测量”、“电机与电气控制技术”等多门课程整合而成的一门非电类专业非常重要的专业基础课。由于整合之后的知识内容多，从而给该课程教材的编写带来了较大的难度：“从简”则容易出现表而不明的问题，同时也体现不出高职应有的“高”；“从繁”则容易出现高职与本科不分的问题，同时也是课程教学课时所不允许的。

本书遵循“以必需、够用为度”的高职教育理念和人的学习认知规律编写而成的。内容上以后续课程“必须”、“够用”出发，同时兼顾知识的完整性、系统性和可持续发展性，且力求化繁为简、化难为易，用通俗易懂的语言来进行阐述。章节上按照知识最合理的逻辑顺序进行科学的编排，使学习更加符合认知规律。

本书每章都提出了明确的“学习目标”，再用授课式的语言对其内容进行了深入浅出的讲解，能让读者快速地掌握重点内容。在绝大多数章节中安排了“技能实训”，切实体现了加强动手能力培养的高职教育特色。每章后面精心提供了适量的多题型的“试卷型”习题，以供读者检阅和巩固所学重要知识。

本书可作为高职和中职院校非电类和部分电类专业的教材。本书内容全面，涵盖了常用电工技术和电子技术的基本知识和基本技能，在使用时可根据实际所需合理选择教学章节。

本书由广东松山职业技术学院秦常贵和广州铁路职业技术学院邵玫担任主编，广州番禺职业技术学院廖春蓝、海南大学机电工程学院王海英、广东交通职业技术学院徐超和罗定职业技术学院曾繁玲担任副主编，广东松山职业技术学院李嫻、林燕虹、杨秀文、叶坚星和罗定职业技术学院彭益武参编。秦常贵负责全书审稿和统稿，编写第6、7章，邵玫编写第4、11、13章，廖春蓝编写第8、9、10章，徐超编写第5、12章，并参与了第6章的编写工作，曾繁玲编写第14、18章，李嫻编写第2、3章，林燕虹编写第1章，杨秀文编写第15、19章，彭益武编写第16、17章，王海英参与了第7、8章的编写工作，叶坚星绘制和处理了部分电路图。

本书提供所有章节的PPT课件和习题参考答案，读者可发邮件到 1114564886@qq.com 索取。

由于编者水平有限，书中出现不妥甚至错误之处在所难免，恳请读者批评指正，以便今后加以改进。

编 者

目 录

第 1 章 直流电路	1
1.1 电路的组成与作用	1
1.2 电路模型	2
1.3 电流和电压的参考方向	3
1.3.1 电流的参考方向	3
1.3.2 电压的参考方向	4
1.4 欧姆定律	4
1.5 基尔霍夫定律	5
1.5.1 基尔霍夫电流定律(KCL)	6
1.5.2 基尔霍夫电压定律(KVL)	6
1.6 电源的工作状态	8
1.6.1 有载工作	8
1.6.2 开路	8
1.6.3 短路	9
1.7 电阻的连接方式及其等效变换	9
1.7.1 串联	9
1.7.2 并联	10
1.7.3 混联	12
1.8 电压源与电流源及其等效变换	13
1.8.1 电压源	13
1.8.2 电流源	13
1.8.3 电压源与电流源的等效变换	14
1.9 支路电流法	16
1.10 叠加原理	18
1.11 戴维宁定理和诺顿定理	19
1.11.1 戴维宁定理	19
1.11.2 诺顿定理	21
1.12 电位的计算	21
1.13 技能实训——基尔霍夫定律和叠加原理的验证	23

习题	26
第2章 单相正弦交流电路	29
2.1 正弦交流电的基本概念	29
2.1.1 频率	30
2.1.2 幅值和有效值	30
2.1.3 初相位	31
2.2 正弦量的相量表示法	33
2.2.1 复数及其运算	33
2.2.2 正弦量的相量表示	34
2.2.3 正弦量的相量运算	35
2.3 单一元件的正弦交流电路	36
2.3.1 纯电阻电路	36
2.3.2 纯电感电路	38
2.3.3 纯电容电路	41
2.4 RLC 串联的正弦交流电路	44
2.5 较复杂正弦交流电路	50
2.5.1 阻抗的串联	50
2.5.2 阻抗的并联	52
2.5.3 较复杂正弦交流电路的计算	54
2.6 功率因素的提高	55
习题	57
第3章 三相正弦交流电路	61
3.1 三相电源	61
3.1.1 三相交流电的产生及特点	61
3.1.2 三相电源的连接	63
3.2 三相负载	64
3.2.1 三相负载的星形连接	64
3.2.2 三相负载的三角形连接	67
3.3 三相功率	68
3.4 技能实训	69
习题	71
第4章 磁路与变压器	73
4.1 磁场的基本物理量	73
4.1.1 磁场的基本物理量	73
4.1.2 铁磁物质的磁性能	74
4.2 磁路及其基本定律	75
4.2.1 磁路	75

4.2.2	磁路欧姆定律	76
4.3	交流铁芯线圈电路	77
4.3.1	电磁关系	77
4.3.2	电压电流关系	77
4.3.3	功率损耗	78
4.4	变压器	79
4.4.1	变压器的用途和结构类型	79
4.4.2	变压器的作用	80
4.4.3	变压器的效率及主要技术指标	82
4.4.4	特殊变压器与三相变压器	83
4.5	电磁铁	85
	习题	85
第5章	供电与安全用电	88
5.1	供电概述	88
5.1.1	电力系统	88
5.1.2	工矿企业配电	89
5.2	安全用电	90
5.2.1	触电原因及因素	90
5.2.2	触电方式	91
5.2.3	防止触电的措施	93
	习题	95
第6章	常用半导体器件	97
6.1	半导体	97
6.1.1	本征半导体	97
6.1.2	杂质半导体	99
6.1.3	PN结	100
6.2	半导体二极管	103
6.2.1	半导体二极管的结构	103
6.2.2	半导体二极管的伏安特性	104
6.2.3	半导体二极管的主要参数	105
6.2.4	半导体二极管的应用	105
6.2.5	特殊二极管	106
6.3	半导体三极管	108
6.3.1	半导体三极管的结构	108
6.3.2	半导体三极管的电流分配及放大原理	109
6.3.3	半导体三极管的特性曲线	111
6.3.4	半导体三极管的主要参数	113

6.4 技能实训——用万用表测试二极管和三极管	115
习题	117
第7章 放大电路	119
7.1 放大电路的基本组成	119
7.2 放大电路的静态分析	121
7.3 放大电路的动态分析	122
7.4 放大电路静态和动态的综合分析	128
7.5 放大电路静态工作点的稳定	130
7.6 放大电路中的负反馈	132
7.6.1 反馈的基本概念	132
7.6.2 放大电路中负反馈的判别与分析	133
7.6.3 负反馈对放大电路的性能分析	134
7.7 射极输出器	135
7.8 多级放大电路	137
7.9 差动放大电路	139
7.9.1 差动放大电路的组成及其抑制零漂的工作原理	140
7.9.2 典型差动放大电路	141
7.9.3 信号的差模输入	142
7.10 功率放大电路	143
7.10.1 功率放大电路的分类	143
7.10.2 互补对称功率放大电路	143
习题	144
第8章 集成运算放大器	147
8.1 集成运算放大器概述	147
8.2 集成运算放大器的运算电路	151
8.2.1 比例运算电路	151
8.2.2 加法运算电路	153
8.2.3 减法运算电路	154
8.2.4 积分运算电路	155
8.2.5 微分运算电路	156
8.3 集成运算放大器的应用	156
8.3.1 电压比较器	156
8.3.2 信号滤波器	157
8.3.3 波形发生器	158
8.4 技能实训——集成运算放大器的应用	161
习题	162

第 9 章 直流稳压电源	164
9.1 整流滤波稳压电源	164
9.1.1 整流电路	164
9.1.2 滤波电路	168
9.1.3 稳压电路	171
9.2 串联型稳压电源	171
9.3 集成稳压电源	172
9.4 技能实训——整流滤波稳压电路测试	174
习题	175
第 10 章 门电路与组合逻辑电路	176
10.1 数字电路概述	176
10.1.1 数制及其转换	177
10.1.2 脉冲信号	180
10.2 门电路	181
10.2.1 基本逻辑关系	181
10.2.2 与门电路	182
10.2.3 或门电路	183
10.2.4 非门电路	184
10.2.5 复合门电路	185
10.3 逻辑代数	188
10.3.1 逻辑代数的运算法则	188
10.3.2 逻辑函数的表示方法	189
10.3.3 逻辑函数的化简	192
10.4 组合逻辑电路分析与设计	194
10.4.1 组合逻辑电路分析	195
10.4.2 组合逻辑电路设计	196
10.5 编码器	197
10.6 译码器和数码显示	199
10.7 应用举例	204
10.8 技能实训——组合逻辑电路应用设计	205
习题	206
第 11 章 触发器与时序逻辑电路	208
11.1 双稳态触发器	208
11.1.1 RS 触发器	208
11.1.2 JK 触发器	211
11.1.3 D 触发器	212
11.2 寄存器	213

11.2.1	数码寄存器	214
11.2.2	移位寄存器	214
11.3	计数器	216
11.3.1	二进制计数器	216
11.3.2	十进制计数器	220
11.4	555 定时器	222
11.5	技能实训	226
	习题	228
第 12 章	A/D 和 D/A 转换	231
12.1	A/D 转换器	231
12.1.1	A/D 转换器的基本原理	231
12.1.2	A/D 转换器的类型及特点	233
12.1.3	A/D 转换器的主要技术指标	233
12.2	D/A 转换器	234
12.2.1	D/A 转换器的基本原理	234
12.2.2	D/A 转换器的类型及特点	234
12.2.3	D/A 转换器的主要技术指标	235
	习题	236
第 13 章	电工测量	237
13.1	电工仪表与测量的基本知识	237
13.1.1	电工测量的基本概念	237
13.1.2	电工测量方法分类	237
13.1.3	电工测量仪表分类	238
13.2	电工仪表的组成和基本原理	240
13.2.1	模拟指示仪表的组成和基本原理	240
13.2.2	数字仪表的组成和基本原理	241
13.3	电流、电压和电阻的测量	242
13.3.1	电流的测量	242
13.3.2	电压的测量	243
13.3.3	电阻的测量	244
13.4	万用表	245
13.4.1	模拟万用表	245
13.4.2	数字万用表	247
13.5	电能表	248
13.5.1	感应系电能表	248
13.5.2	电子式电能表	249
13.6	技能实训	251

习题	251
第 14 章 三相异步电动机	253
14.1 三相异步电动机的基本结构	253
14.2 三相异步电动机的转动原理	255
14.3 三相异步电动机的起动、制动与调速	259
14.3.1 三相异步电动机的起动	259
14.3.2 三相异步电动机的制动	262
14.3.3 三相异步电动机的调速	263
14.4 三相异步电动机的铭牌数据	266
14.5 技能实训——三相异步电动机定子绕组的连接和首末端 判别	268
习题	270
第 15 章 单相异步电动机	272
15.1 单相异步电动机的工作原理与机械特性	272
15.2 电容分相式异步电动机	273
15.3 罩极式异步电动机	274
习题	275
第 16 章 直流电动机	276
16.1 直流电动机的基本结构	276
16.2 直流电动机的工作原理	278
16.3 直流电动机的调速	280
16.3.1 改变电枢回路电阻调速	281
16.3.2 降低电枢电压调速	282
16.3.3 减弱磁通调速	283
16.4 技能实训	284
习题	286
第 17 章 控制电机	287
17.1 伺服电动机	287
17.1.1 交流伺服电动机	288
17.1.2 直流伺服电动机	290
17.2 测速发电机	291
17.2.1 交流测速发电机	292
17.2.2 直流测速发电机	293
17.3 步进电动机	294
17.4 同步电动机	297
习题	298

第 18 章 继电-接触器控制系统	300
18.1 常用低压控制电器	300
18.1.1 按钮	301
18.1.2 开关	302
18.1.3 接触器	307
18.1.4 继电器	308
18.2 三相异步电动机的单向点动与连续运行控制线路	315
18.3 三相异步电动机的正反转控制线路	318
18.4 三相异步电动机的 Y/ Δ 降压起动控制线路	321
18.5 三相异步电动机的能耗制动控制线路	323
18.6 三相异步电动机的双速控制线路	325
18.7 技能实训(1)——三相异步电动机的正反转控制线路实际操作	327
18.8 技能实训(2)——三相异步电动机的 Y/ Δ 降压起动控制线路实际操作	328
习题	328
第 19 章 晶闸管及其应用	331
19.1 晶闸管的基本结构与工作原理	331
19.1.1 晶闸管的基本结构	331
19.1.2 晶闸管的基本工作原理	332
19.1.3 伏安特性	332
19.1.4 主要参数	333
19.2 晶闸管的应用	334
19.2.1 单相半波可控整流电路	334
19.2.2 单相半控桥式整流电路	336
19.2.3 晶闸管调光、调温电源	338
19.2.4 晶闸管的保护	338
习题	340
参考文献	341



学习目标

直流电路是学习电工技术和电子技术最基本的重要知识,同时也是后续章节学习的重要基础。本章将详细介绍直流电路的基本概念、基本定律和常用的电路分析方法等。

1. 理解电路的组成与作用、电路模型、电流和电压的参考方向。
2. 熟悉电源的工作状态、电阻的联接方式及其等效变换。
3. 熟悉电压源和电流源及其等效变换、支路电流法和诺顿定理。
4. 掌握欧姆定律、基尔霍夫定律、叠加原理、戴维宁定理及电位的计算。

1.1 电路的组成与作用

电路是电流流经的闭合路径,是为了某种需要由若干个电工设备或电子器件按一定方式组合而成。

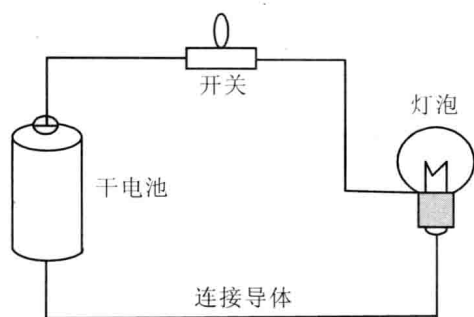
在日常的生产生活中,广泛应用着各种各样的电路,因实际需要的不同,电路的形式和结构有多种多样,但电路一般都由电源、负载和中间环节等三个部分组成。

电源是电路中电能的提供者,是将其他形式的能量转化为电能的装置,如干电池是将化学能转化为电能;发电机是将热能、水能等转代为电能。当电路中的电源为直流电源时,这样的电路叫直流电路。常见的直流电源有干电池、蓄电池、直流发电机等。负载(即用电设备)是将电源供给的电能转换为其他形式的能量。中间环节是将电源和负载联成一个通路,起着传输和分配电能的作用,如连接导体、控制和保护设备等。

电路的一个作用是实现电能的传输和转换。例如手电筒电路,如图 1-1(a)所示,它由电池、导线(筒体)、开关和灯泡组成。当开关接通时,灯泡将电能转换为光能和热能。

电路的另一个作用是传递和处理信号。常见的例子如扩音机,其电路示意图如图 1-1(b)所示,它由话筒、放大器和扬声器三个部分组成。先由话筒将声音(通常称为信息)转换为相应的电压或电流(称为电信号)。再通过电路传递到扬声器,把电信号还原为声音。由于从话筒输出的电信号比较微弱,不足以推动扬声器发出声音,所以中间再利用放大器来进行放大,即进行信号的处理。

在图 1-1(b)中,话筒是输出信号的装置,称为信号源,它将声音转换成电信号;放大器是中间环节,用来放大电信号;扬声器是负载,它将放大后的电信号还原成声音。



(a) 简单的手电筒电路



(b) 扩音机电路

图 1-1 电路示意图

在电力工程中，常见的电路多数是图 1-1(a)所示形式的电路，而在电子线路中，大多数是图 1-1(b)所示的电路。

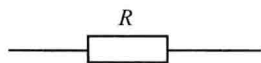
无论电能的传输和转换，或者信号的传递和处理，其中电源或者信号源的电压或者电流称为激励，它推动电路工作；由激励在电路各部分产生的电压和电流称为响应。所谓电路分析，就是在已知电路的结构和元件参数的条件下，讨论电路的激励与响应之间的关系。

1.2 电路模型

任何实际电路都是由一些按需要起不同作用的电器元件组成的，如发电机、电动机、电池、变压器、晶体管以及各种电阻器、电容器和电感器等，它们的特性比较复杂，往往在实际电路中同时有耗能效应(热效应)、电磁效应和电场效应。如制作一个电阻器是要利用它对电流呈现阻力的性质，然而当电流通过时它还会产生磁场。要在数学上精确描述这些现象相当困难。为了用数学的方法从理论上判断电路的主要性能，必须对实际器件在一定条件下，忽略其次要性质，按其性质加以理想化，从而得到一系列理想化元件。

这种理想化的元件称为实际器件的“器件模型”。用理想化元件表示实际元件，并按实际电路的连接方式连接起来的电路图称为电路模型。

以下介绍几种常见的理想化元件(器件模型)，其符号如图 1-2 所示。



理想电阻模型符号



理想电容模型符号



理想电感模型符号

图 1-2 理想电路元件

理想电阻元件：只消耗电能，如电阻器、灯泡、电炉等，可以用理想电阻来反映其消耗电能的这一主要特征；

理想电容元件：只储存电能，如各种电容器，可以用理想电容来反映其储存电能的

特征;

理想电感元件: 只储存磁能, 如各种电感线圈, 可以用理想电感来反映其储存磁能的特征。

如图 1-1(a)所示的手电筒, 用电路模型表示如图 1-3 所示。灯泡是电阻元件, 其参数为电阻 R ; 干电池是电源元件, 其参数为电动势 E ; 筒体是联接干电池与灯泡的中间环节(包括开关), 其电阻忽略不计, 认为是无电阻的理想导体。

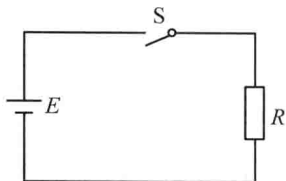


图 1-3 手电筒的电路原理图

今后我们所讨论分析的电路都是电路模型, 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。

1.3 电流和电压的参考方向

1.3.1 电流的参考方向

电流是由电荷的定向移动形成的。习惯上规定正电荷移动的方向作为电流的实际方向。我们把单位时间内通过某一导体横截面的电荷量定义为电流强度, 它是衡量电流强弱的物理量。设在 dt 时间内通过导体横截面的电荷为 dq , 则通过该截面的电流为

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

式中, i 表示随时间变化的电流在某一瞬时的瞬时值。如果电流不随时间变化, 即 $dq/dt =$ 常量, 则这种电流就称为恒流电流, 简称直流, 用大写字母 I 表示, 它所通过的路径就是直流电路。在直流电路中, 式(1-1)可写成

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

式中, Q 是在时间 t 内通过某一导体截面的电荷量, 电流的单位是安[培](A)。除安培外, 常用的电流单位还有千安(kA)、毫安(mA)和微安(μA)。它们之间的换算关系是 $1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A}$, $1 \text{ A} = 10^3 \text{ mA}$, $1 \text{ A} = 10^6 \mu A$ 。

对于简单电路, 电流的实际方向根据电源极性很容易判断, 可以直接标出, 但在电路分析中, 实际电路往往比较复杂, 某一电路中电流的实际方向在分析计算前很难判断出来, 因此很难在电路中标明电流的实际方向, 因此, 引入了电流“参考方向”的概念。

在计算前先任意选定某一个方向作为电流的参考方向, 根据参考方向进行电路的相关计算, 如计算结果电流为正值($I > 0$), 则电流的参考方向与它的实际方向一致; 如电流为负值($I < 0$), 则电流的参考方向与它的实际方向相反, 如图 1-4 所示。

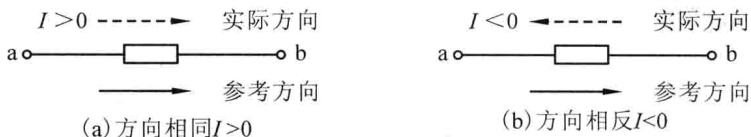


图 1-4 电流的参考方向与实际方向的关系

因此,在指定的电流参考方向下,由电流值的正和负,就可以反映出电流的实际方向。

电流的参考方向是任意指定的,在电路中一般用箭头表示。也可以用双下标来表示,如 I_{ab} ,其参考方向是由 a 指向 b。

1.3.2 电压的参考方向

在图 1-5 所示电源的两个极板 a 和 b 上分别带有正、负电荷,这两个极板间就存在一个电场,其方向是由 a 指向 b。当用导线和负载将电源的正负极连接成为一个闭合电路时,正电荷在电场力的作用下由正极 a 经导线和负载流向负极 b (实际上是自由电子由负极经负载流向正极),从而形成电流。电压是衡量电场力做功能力的物理量,即 a 点至 b 点间的电压 U_{ab} 在数值上等于电场力把单位正电荷由 a 点经外电路移到 b 点所做的功。

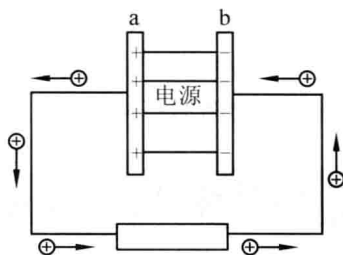


图 1-5 电场力对电荷做功

当电荷的单位为库仑(C),功的单位为焦耳(J)时,电压的单位为伏特,简称伏(V)。在工程中还可用于千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏(μV)为计量单位。它们之间的换算关系是 $1\text{ kV}=10^3\text{ V}$, $1\text{ V}=10^3\text{ mV}=10^6\text{ }\mu V$ 。

正电荷流经负载(电源)的方向为电压(电动势)的实际方向。与电流一样,在电路也常引入电压的参考方向,电压的参考方向也是任意指定的。在电路中,电压的参考方向可以用一个箭头来表示,如图 1-6(a)所示;也可以用正(+)、负(-)极性来表示,如图 1-6(b)所示;还可以用双下标表示,如 U_{AB} 表示 A 和 B 之间的电压的参考方向由 A 指向 B,如图 1-6(c)所示。同样,在指定的电压参考方向下计算出的电压值的正和负,就可以反映出电压的实际方向。

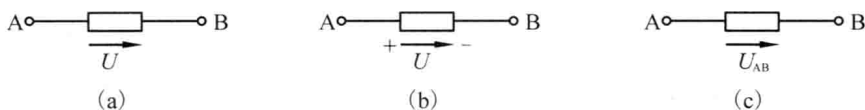


图 1-6 电压的参考方向表示法

在电路中某一元件上电流的参考方向和电压的参考方向可以独立地加以任意指定。如果参考电流从参考电压“+”极流入,从“-”极流出,则电流的参考方向与电压的参考方向一致。把电流和电压的这种参考方向称为关联参考方向;反之,称为非关联参考方向。

1.4 欧姆定律

流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比,这就是欧姆定律,其表达式为

$$R = \frac{U}{I} \quad (1-3)$$