

肖 军 刘晓志◎主编

电工与电子技术

 科学出版社

电工与电子技术

主 编 肖 军 刘 晓 志



科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是根据电工学课程教学基本要求编写而成, 主要内容包括电路的基本概念和基本定律、电路的分析方法、线性电路的暂态分析、交流电路、三相交流电路、供电配电与安全用电、半导体器件、基本放大电路、集成运算放大器及其应用、门电路和组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、直流稳压电源。

本书可作为高等院校工科非电类专业本科电工学课程的教材或教学参考书, 也可供工程技术人员参考, 还可供对电工电子技术有兴趣的读者自学使用。

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术 /肖军, 刘晓志主编. —北京: 科学出版社, 2018. 11
ISBN 978-7-03-059016-9

I. ①电… II. ①肖… ②刘… 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 (2018) 第 227800 号

责任编辑: 王喜军 张培静 /责任校对: 蒋 萍

责任印制: 师艳茹 /封面设计: 壹选文化

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

石家庄继文印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年11月第一版 开本: 787×1092 1/16

2018年11月第一次印刷 印张: 22 1/4

字数: 528 000

定价: 60.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

电工学课程是高等院校工科非电类专业本科生必修的一门重要的专业技术基础课，是一门体系严谨、理论性和实践性都很强的课程，涵盖了电工电子领域的基本知识、基本理论和基本的实践技能。随着科学技术的发展，各专业对电工学课程提出了越来越高的要求。本教材从适应教学改革的需要和市场经济对人才培养的要求出发，从体系结构及内容的安排上进行了科学规划和调整，精简基本放大电路的内容，增加集成运算放大电路应用和集成数字电路应用的内容，体现了电工学教材要与国际接轨、要面向世界的办学指导思想。本教材内容更加丰富，安排更加合理，可以帮助读者深入地理解和更好地掌握教材中有关电工电子技术的基本概念、分析方法和设计方法，也有利于读者自学。

通过该课程的学习，使学生对电工电子技术的应用和发展概况有比较全面地了解，为学生学习后续专业课程及从事有关的工程技术工作及科学研究工作打下一定的理论基础和实践基础。

本教材是依据国家教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会指定的电工学课程的基本要求，结合高等院校本科学生的实际情况而编写。在编写过程中，我们把内容的重点放在培养学生的分析问题能力、解决问题能力和创新能力上，对于基本概念、基本理论、工作原理、分析方法等都作了必要的阐述和解释，并通过实例及例题从理论上和实际应用上加以说明，便于学生对所学理论能更好地理解和掌握。

全书共 12 章。参加本书编写工作的有肖军、刘晓志、吴春俐、李丹、孙静、李世平、孟令军等，肖军、刘晓志任主编。

由于作者水平有限，书中难免出现不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2018 年 5 月

目 录

前言

第 1 章 电路的基本概念和基本定律	1
1.1 电路及电路模型	1
1.1.1 电路的分类	1
1.1.2 电路的组成及作用	2
1.1.3 电路模型	3
1.2 电路的主要物理量	3
1.2.1 电流、电压及其参考方向	4
1.2.2 电位	5
1.2.3 电动势	6
1.2.4 功率	7
1.3 欧姆定律	8
1.4 电路的基本工作状态	9
1.4.1 通路	9
1.4.2 开路	11
1.4.3 短路	11
1.5 基尔霍夫定律	12
1.5.1 电路结构术语	12
1.5.2 基尔霍夫电流定律	13
1.5.3 基尔霍夫电压定律	14
1.6 电路元件	16
1.6.1 电阻元件	17
1.6.2 电容元件	18
1.6.3 电感元件	19
1.6.4 电压源	19
1.6.5 电流源	21
1.6.6 受控电源	22
习题	23
第 2 章 电路的分析方法	25
2.1 电路的等效变换	25

2.1.1	二端网络及等效的概念	25
2.1.2	电阻串联、并联的等效变换	26
2.1.3	电阻星形联结与三角形联结的等效变换	28
2.1.4	电压源串联、电流源并联的等效变换	30
2.1.5	电压源与电流源的等效变换	31
2.2	电源等效变换法	33
2.3	支路电流法	35
2.4	结点电压法	37
2.4.1	双结点电路	37
2.4.2	多结点电路	38
2.5	叠加原理	41
2.6	等效电源定理	43
2.6.1	戴维宁定理	44
2.6.2	诺顿定理	46
2.7	受控电源电路的分析	47
2.8	非线性电阻电路的分析	49
	习题	50
第3章	线性电路的暂态分析	55
3.1	电路的暂态过程及换路定律	55
3.1.1	暂态过程	55
3.1.2	换路定律	56
3.2	初始值与稳态值的计算	56
3.2.1	初始值的计算	56
3.2.2	稳态值的计算	57
3.3	RC 一阶电路暂态过程的微分方程分析法	58
3.3.1	零输入响应	58
3.3.2	零状态响应	61
3.3.3	全响应	63
3.4	RL 一阶电路暂态过程的微分方程分析法	67
3.4.1	零输入响应	67
3.4.2	零状态响应	69
3.4.3	全响应	71
3.5	一阶线性电路暂态分析的三要素法	72
3.6	暂态过程的应用	75
3.6.1	微分电路	75
3.6.2	积分电路	76
	习题	77

第 4 章 交流电路	81
4.1 正弦交流电的基本概念	81
4.1.1 正弦量的三要素	82
4.1.2 正弦量的相量表示法	86
4.2 单一参数的正弦交流电路	89
4.2.1 电阻电路	89
4.2.2 电感电路	91
4.2.3 电容电路	93
4.3 简单正弦交流电路的分析	95
4.3.1 电阻、电感与电容元件串联的交流电路	95
4.3.2 复阻抗的串联、并联与混联	102
4.4 复杂交流电路的分析	109
4.5 功率因数的提高	112
4.5.1 提高功率因数的意义	112
4.5.2 提高功率因数的方法	112
4.6 交流电路中的谐振	114
4.6.1 串联谐振(电压谐振)	115
4.6.2 并联谐振(电流谐振)	118
4.7 非正弦周期信号的交流电路	121
习题	124
第 5 章 三相交流电路	128
5.1 三相交流电源	128
5.1.1 对称三相电动势的产生	128
5.1.2 电源三相绕组的连接	129
5.2 三相电路中负载的连接	131
5.2.1 负载的星形联结	132
5.2.2 负载的三角形联结	137
5.3 三相电路的功率	140
习题	142
第 6 章 供电配电与安全用电	145
6.1 供电配电系统概况	145
6.1.1 电力系统简介	145
6.1.2 工业企业配电基本知识	146

6.2 安全用电常识	146
6.2.1 人体触电状况	146
6.2.2 电流对人体的伤害	147
6.2.3 触电形式及危害	148
6.2.4 安全电压	149
6.3 接地与接零保护	149
6.3.1 接地与接零的基本知识	149
6.3.2 保护接地	151
6.3.3 保护接零	151
6.3.4 重复接地	153
6.3.5 接地装置	153
习题	154
第7章 半导体器件	155
7.1 半导体的基本知识及 PN 结的单向导电性	155
7.1.1 半导体的基本知识	155
7.1.2 PN 结及其单向导电性	156
7.2 半导体二极管	158
7.2.1 二极管的符号和种类	158
7.2.2 二极管的伏安特性	159
7.2.3 二极管的主要参数	160
7.3 稳压二极管	162
7.3.1 稳压管的伏安特性	163
7.3.2 稳压管的主要参数	163
7.4 发光二极管与光电二极管	164
7.5 双极型晶体管	165
7.5.1 晶体管的基本结构	165
7.5.2 晶体管的电流放大作用	166
7.5.3 晶体管的特性曲线	168
7.5.4 晶体管的主要参数	171
7.6 绝缘栅场效应晶体管简介	172
习题	174
第8章 基本放大电路	177
8.1 放大电路的概念和主要性能指标	177
8.1.1 放大电路的概念	177
8.1.2 放大电路的主要性能指标	178

8.2 固定偏置共发射极放大电路	180
8.2.1 固定偏置共发射极放大电路的组成	180
8.2.2 固定偏置共发射极放大电路的工作原理	181
8.2.3 直流通路与静态分析	183
8.2.4 交流通路与动态分析	184
8.3 分压式偏置共发射极放大电路	191
8.3.1 静态工作点的计算	192
8.3.2 静态工作点的稳定原理	192
8.3.3 动态参数的分析计算	193
8.4 共集电极放大电路——射极输出器	196
8.4.1 静态工作点的计算	197
8.4.2 动态参数的分析计算	197
8.5 多级放大电路	200
8.5.1 多级放大电路的组成及耦合方式	200
8.5.2 多级放大电路动态参数的分析	202
8.5.3 阻容耦合两级放大电路的计算	203
8.6 差动放大电路	205
8.6.1 差动放大电路对零点漂移的抑制	205
8.6.2 差动放大电路的工作原理	206
8.7 功率放大电路	207
8.7.1 功率放大电路概述	207
8.7.2 互补对称式功率放大电路	208
8.7.3 功率放大电路的输出功率和效率	209
8.8 场效应管放大电路	210
8.8.1 场效应管放大电路的静态偏置方式	210
8.8.2 动态分析	210
习题	211
第9章 集成运算放大器及其应用	216
9.1 集成运算放大器	216
9.1.1 集成电路简介	216
9.1.2 集成运算放大器的电路组成	217
9.1.3 集成运算放大器的主要技术指标	219
9.2 理想运算放大器	221
9.2.1 理想运放的技术指标	221
9.2.2 理想运放工作在线性区时的特点	222
9.2.3 理想运放工作非线性区时的特点	223

9.3	集成运算放大电路中的反馈	223
9.3.1	有无反馈的判断	223
9.3.2	交流反馈和直流反馈的判断	224
9.3.3	正反馈和负反馈的判断	224
9.3.4	反馈类型的判断	224
9.4	基本运算电路	225
9.4.1	比例运算电路	225
9.4.2	加减运算电路	228
9.4.3	积分和微分运算电路	231
9.5	非正弦波信号发生器	235
9.5.1	方波发生器	235
9.5.2	三角波发生器	236
9.5.3	锯齿波发生器	237
9.6	信号处理电路	238
9.6.1	有源滤波器	238
9.6.2	电压比较器	240
9.7	正弦波振荡电路	243
9.7.1	正弦波振荡电路的基本原理	244
9.7.2	RC 正弦波振荡电路	244
9.7.3	LC 正弦波振荡电路	246
9.8	集成运放应用中的注意事项	248
9.8.1	集成运放的选择	248
9.8.2	消振	248
9.8.3	调零	248
9.8.4	保护措施	248
	习题	249
第 10 章	门电路和组合逻辑电路	254
10.1	引言	254
10.2	基本门电路	255
10.2.1	与逻辑 (AND)	255
10.2.2	或逻辑 (OR)	257
10.2.3	非逻辑 (NOT)	258
10.2.4	复合运算	259
10.3	数字集成逻辑电路	260
10.3.1	TTL 与非门电路	261
10.3.2	三态输出与非门	264

10.3.3	集电极开路的与非门	264
10.3.4	CMOS 逻辑门电路	266
10.3.5	TTL 与 CMOS 电路的连接	267
10.4	逻辑函数及其化简	268
10.4.1	逻辑代数运算规则	268
10.4.2	逻辑函数的表示方法	270
10.4.3	逻辑函数的化简	271
10.5	组合逻辑电路	275
10.5.1	组合逻辑电路的分析	275
10.5.2	组合逻辑电路的设计	276
10.6	组合逻辑电路应用	278
10.6.1	加法器	279
10.6.2	编码器	281
10.6.3	译码器	283
	习题	285
第 11 章	触发器和时序逻辑电路	289
11.1	双稳态触发器	289
11.1.1	基本 RS 触发器	289
11.1.2	同步 RS 触发器	290
11.1.3	主从型 JK 触发器	291
11.1.4	维持阻塞型 D 触发器	292
11.1.5	触发器逻辑功能的转换	294
11.2	时序逻辑电路分析	294
11.3	寄存器	295
11.3.1	数码寄存器	295
11.3.2	移位寄存器	296
11.4	计数器	297
11.4.1	二进制计数器	297
11.4.2	十进制计数器	300
11.4.3	环形计数器	302
11.5	数字电路应用	304
11.5.1	施密特双稳态触发器	304
11.5.2	555 集成定时器	305
11.6	模拟量和数字量的转换	307
11.6.1	数/模 (D/A) 转换器	307
11.6.2	模/数 (A/D) 转换器	309

11.7 可编程逻辑器件简介	312
11.7.1 可编程逻辑器件的逻辑表示	313
11.7.2 可编程通用阵列逻辑器件简介	318
11.7.3 复杂可编程逻辑器件	320
11.7.4 现场可编程门阵列	322
习题	323
第 12 章 直流稳压电源	328
12.1 整流电路	328
12.1.1 单相半波整流电路	328
12.1.2 单相全波整流电路	330
12.1.3 单相桥式整流电路	331
12.1.4 倍压整流电路	333
12.2 滤波电路	334
12.2.1 电容滤波电路	334
12.2.2 电感滤波电路	336
12.2.3 π 形滤波电路	337
12.3 稳压管稳压电路	337
12.4 串联式稳压电路	339
12.5 集成稳压电源	340
习题	341
参考文献	343

第 1 章 电路的基本概念和基本定律

电能因具有易于变换、传输及控制的特点而在社会各个领域中得到广泛应用。电的应用要通过各种电器件 (electric device) 构成电路来实现。为了正确、合理和更有成效地利用电能, 就必须具备有关电路的基本知识。

本章讨论电路的基本概念和基本定律, 主要内容包括: 电路组成及电路模型; 电流、电压和功率等电路主要物理量; 电源的工作状态; 欧姆定律及基尔霍夫定律; 理想电路元件。本章内容是分析与计算电路的基础。虽然本章的内容一般都以直流电路为例, 但这些电路理论同样适用于交流电路。

1.1 电路及电路模型

1.1.1 电路的分类

顾名思义, 电路 (electric circuit) 是电流流经的路径。电路种类繁多, 简单的如电阻串、并联电路、照明电路等, 而较复杂的电路常称为网络。

依据供电电源的形式, 电路可分为直流 (direct current, DC) 电路和交流 (alternating current, AC) 电路: 直流电一般指大小和方向都不随时间变化的电压或电流, 即恒定直流, 有时也泛指单方向脉动或缓慢变化的电量; 交流电泛指大小和方向随时间做周期性变化的电压或电流。

依照国家标准, 用大写字母表示直流物理量, 如电压 U 、电流 I 、电动势 E 、功率 P 等; 用小写字母表示大小或方向随时间变化的物理量, 如电压 u 、电流 i 、电动势 e 、功率 p 等。如图 1.1 所示的电流波形中, 图 1.1 (a) 是恒定直流; 图 1.1 (b) 是脉动直流; 图 1.1 (c) 是正弦规律变化的交流电流; 图 1.1 (d)、图 1.1 (e) 是非正弦波形的交流电流。

按照电路中元件的性质, 电路可分为线性电路 (linear circuit) 和非线性电路 (nonlinear circuit): 线性电路可用线性代数方程或线性微分 (积分) 方程来描述; 非线性电路无法用线性方程来描述, 如大部分含半导体电子元件的电路就属于非线性电路。

根据电路所处理的信号性质, 电路又可分为模拟电路 (analog circuit) 和数字电路 (digital circuit): 模拟电路处理随时间连续变化的模拟信号; 数字电路处理脉冲数字信号, 是不随时间连续变化的跃变信号。

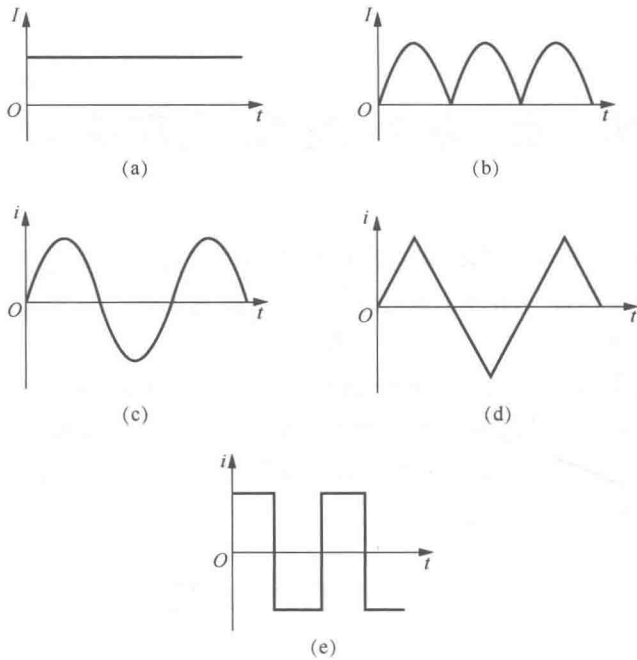


图 1.1 不同电路中电流的波形

1.1.2 电路的组成及作用

实际电路是由各种电工设备或元器件按一定方式连接而构成的。不论是简单的还是复杂的电路，一般由电源（source）、负载（load）和中间环节三个部分组成。

电源：电源提供电能，是将热能、核能、水能、化学能等其他形式的能量转换成电能的设备，如发电机、蓄电池等。除此之外，能够产生和输出电信号的各种信号源也统称为电源，信号源是将声音、温度、压力等物理量转换为相应的电信号（电压、电流或其他电参数）的设备，如话筒、接收天线等。

负载：吸收或转换电能，是取用电能并将其转换成机械能、热能、光能等其他形式能量的设备，如电动机、电炉和照明灯等。扬声器和显像管等一类接收和转换信号的设备也是负载。

中间环节：是连接电源和负载的部分，对电能进行输送和分配，对信号进行传递和处理，对电路进行保护等。中间环节最简单的可以是两根导线，也可以是由输电线路、变压器和开关等设备组成，复杂的中间环节可以包括一个庞大的控制系统。

电路的一个作用是实现电能的传输、转换与分配。如电力系统中的电路，发电机作为电源，将热能或原子能转换成电能，经中间环节（输电线和变压器等）升压传输到各变电站，再经变电站变压器降压后送到用户的各种取用电能的设备，各用户负载将电能分别转换成光能、机械能、热能等。

电路的另一个作用是完成信号的传递和处理。如无线电接收设备的电路，收音机的天线把接收到的载有语言、音乐的电磁波转换成相应的电信号，通过中间的放大电路等

对信号进行传递与处理，送到扬声器还原为声音信号。

电路中电源或信号源推动电路工作，称为电路的激励（excitation）；由激励在电路各部分产生的电压和电流称为响应（response）。在已知电路结构及电路元器件参数的条件下，分析电路的激励和响应之间的关系就是电路分析的内容。

1.1.3 电路模型

构成实际电路的电工设备或元器件的电磁性质比较复杂，大多数元器件同时存在多种电磁效应，不易于分析理解。为了便于分析实际电路问题并用数学描述，对实际电路元器件进行抽象、简化，突出其主要电磁性质而忽略次要因素，将其本质特征用理想化的电路元件近似代替。

每一种理想电路元件只表示一种电磁特性，如用电阻元件表示消耗电能的电磁特性；用电容元件表示存储电场能量的电磁特性；用电感元件表示存储磁场能量的电磁特性。每种理想电路元件均有各自精确的数学定义形式，因此使得用数学方法分析电路成为可能。本书常用的理想电路元件主要有电阻元件、电容元件、电感元件和理想电源元件（电压源、电流源）等，后面将逐一加以介绍。

电路模型（circuit model）就是用理想电路元件及其组合代替实际电路的电工设备或元器件，把实际电路的本质特征抽象出来所形成的理想化的电路。以后电路分析、研究的对象都是指电路模型，简称电路。用规定的电路图形符号表示各种理想电路元件，得到的电路模型图就是电路图。

图 1.2 (a) 就是一个简单的实际电路，其中，干电池（电源）经导线（中间环节）向灯泡（负载）供电。相应的电路模型可由如图 1.2 (b) 所示的电路图表示，其中，电池理想化后可用内阻为 R_S 、源电压为 U_S 的电压源代替；灯泡可用电阻值为 R 的电阻元件代替，连线是理想化的导线（电阻值为零）。

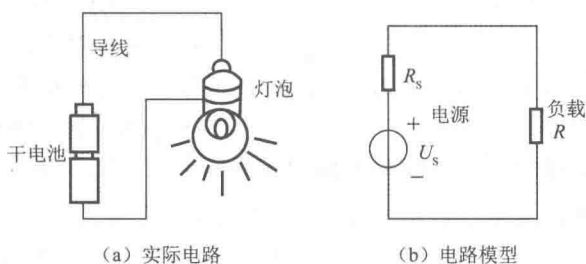


图 1.2 简单的实际电路及其电路模型

建立电路模型是电路分析的基础，无论是简单的还是复杂的实际电路，都可以抽象成理想电路元件组成的电路模型。

1.2 电路的主要物理量

电路分析中常用到的主要物理量包括电流(current)、电压(voltage)、电位(potential)、电动势(electro motive force, EMF)、电功率(power)等，它们的定义在物理学中描述得很清楚，在此仅简要说明其基本概念。

1.2.1 电流、电压及其参考方向

1. 电流

电路中电荷的定向有规则运动形成电流。单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流强度，简称电流，用 i 表示。如果电流强度不随时间变化，则这种恒定电流简称为直流，用大写字母 I 表示。

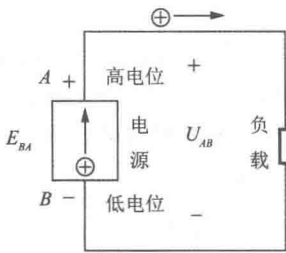
在国际单位制 (SI) 中，电流单位为安培，简称安 (A)，有时还用千安 (kA)、毫安 (mA)、微安 (μA) 等单位，各单位间换算关系为

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

物理学中，电流的实际方向规定为正电荷运动的方向。

2. 电压

电压是衡量电场力移动电荷做功的能力的物理量。如图 1.3 所示，电场力把单位正电荷从 A 点移到 B 点所做的功就是 A 点到 B 点间的电压，用 u_{AB} 表示；直流时表示为 U_{AB} 。



在国际单位制中，电压的单位为伏特，简称伏 (V)，有时还用千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 (μV) 等单位，各单位间换算关系为

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

实际上只要存在电场，电场中两点之间就有电压，而是否存在受力电荷无关。

在电路中如有接地点 (零电位点)，则电路中任一点 A 到接地点之间的电压称为 A 点的电位，用 u_A 表示；直流时表示为 U_A 。 A 点到 B 点间的电压又可以表示为 A 、 B 两点的电位之差，即

$$u_{AB} = u_A - u_B \text{ 或 } U_{AB} = U_A - U_B \text{ (直流电路中)} \quad (1.1)$$

电压的实际方向规定为电场力移动正电荷的方向，是由高电位端指向低电位端，即电位降低的方向。

3. 参考方向

电路中电流、电压的实际方向是客观存在的，对于一些一目了然的简单电路可以直接确定。但在分析计算较为复杂的电路时，往往很难事先直接判断出某一段电路或某一元件上电流、电压的实际方向；而且对于大小和方向都随时间变化的交流电，在电路图中更是无法直接表示出电流、电压的真实方向。因此，在分析计算电路时，可先任意选定电流、电压的一个方向作为“参考方向”，或称为假定正方向。

在电路图中用箭头来标出电流的参考方向；用“+”“-”极性来表示电压的参考方向，“+”极性端称为高电位端，“-”极性端称为低电位端。图 1.4 是设定的电路元件中电流 i 及其两端电压 u 的参考方向。

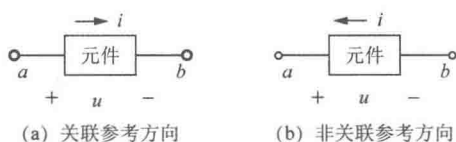


图 1.4 参考方向的表示方法

电路中电流和电压的参考方向在设定时都具有任意性，二者彼此独立。如果将一段电路中电流和电压的参考方向选为一致，称为关联的参考方向。如图 1.4 (a) 所示电路中电压 u 参考方向与电流 i 参考方向相同（都是从 a 到 b ），因此，电压与电流的参考方向是关联参考方向。如图 1.4 (b) 所示电路中电压 u 参考方向与电流 i 参考方向相反，因此是非关联参考方向。

由于所选的电流、电压的参考方向不一定与实际的方向一致，所以有如下规定：如果电流、电压的实际方向与参考方向一致，则电流、电压的值为正；反之，如果实际方向与参考方向相反，则值为负。因此，在参考方向设定好之后，电流、电压成为代数量，其值有正负之分，并且根据电流、电压的正负值也能反映出电流、电压的实际方向。

例如，在图 1.4 (a) 中，若 $i > 0$ ，表明电流的实际方向与参考方向是一致的，即从 a 流向 b ；若 $u < 0$ ，则表明电压的实际方向与参考方向是相反的，即从高电位 b 点（实际“+”极性）指向低电位 a 点（实际“-”极性）。

电压、电流的参考方向还可以用双下标表示，例如 U_{ab} 表示 a 、 b 两点之间电压的参考方向是从 a 指向 b ，也就是 a 点的参考极性为“+”、 b 点的参考极性为“-”；而 U_{ba} 表示参考方向选为由 b 指向 a ，因此 $U_{ab} = -U_{ba}$ 。

以后在进行电路分析时，完全不必先考虑电流、电压的实际方向如何，而一定要先设定出它们的参考方向，根据参考方向求解电路，计算结果的正负值与设定的参考方向相结合，就能明确地表示出电路任何时刻的电流、电压的大小和实际方向。

1.2.2 电位

电位是电路中非常重要的概念。在分析某些复杂电路时，应用电位的概念，可使计算简单方便。在电子电路中，更是常用电位的概念来分析问题，例如通过晶体管三个电极的电位高低来分析晶体管的工作状态。

前文中提过，电路中任一点到接地点（零电位点）之间的电压称为该点的电位。在分析计算电路时，常常假定电路中某一点的电位为零，该点称为参考点，则电路中任一点到参考点间的电压即为该点的电位。电路中参考点（设定的零电位点）也可以称为接地点（并非真与大地相接），用符号“ \perp ”表示。

需要说明的是，电路中参考点是可以任意选定的，一经确定之后，电路中其他各点的电位就确定了。但是如果参考点改变，其他各点的电位亦随之改变。在电路中不指明参考点而谈某点的电位是没有意义的。

例 1.1 电路如图 1.5 所示，已知 $U_{AC} = 5V$ ， $U_{AB} = 2V$ ，试分别以 A 点和 B 点为参考