



浙江省普通高校“十三五”新形态教材

高等教育“十三五”规划教材

高等教育 **新形态** 一体化教材

高等教育应用型人才电子电气类专业规划教材

电路分析基础

卢飒 编著

非外借



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

浙江省普通高校“十三五”新形态教材

高等教育“十三五”规划教材

高等教育新形态一体化教材

高等教育应用型人才电子电气类专业规划教材

电路分析基础

卢 飒 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

内容简介

本书包括电路的基本概念与基本定律、电路的等效变换、电路的基本分析方法、电路的基本定理、正弦稳态电路的分析、耦合电感和理想变压器、三相电路、非正弦周期电流电路、动态电路的时域分析、双口网络和非线性电阻电路共 11 章内容。

本书根据教育部电子电气类基础课程教学指导委员会于 2004 年修订的电路分析基础教学基本要求,结合电气类课程教学改革形势和应用型本科院校具体情况编写。本书基本概念讲解清楚,从培养学生的应用能力出发,注重加强基本理论与实践应用、知识传授与能力培养的有机结合。

本书最大的特点是所有的知识点都配有教学视频、电子课件,每一节配有在线测试,每一章配有综合测试。本书还配有各章的小结视频和各章的测试题讲解视频。通过扫描二维码就可以观看视频、完成在线测试并实时查看测试结果以及参与交流讨论等。本书可作为本科院校和高职院校电气与电子信息类各专业及其他相近专业的教材,也可用于翻转课堂教学或供相关科技人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析基础 / 卢飒编著. —北京: 电子工业出版社, 2017.6
ISBN 978-7-121-31662-3

I. ①电… II. ①卢… III. ①电路分析-高等学校-教材 IV. ①TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 120863 号

策划编辑: 贺志洪

责任编辑: 贺志洪

特约编辑: 杨 丽 徐 堃

印 刷: 三河市兴达印务有限公司

装 订: 三河市兴达印务有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 19.25 字数: 493 千字

版 次: 2017 年 6 月第 1 版

印 次: 2017 年 6 月第 1 次印刷

定 价: 49.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888, (010) 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: (010) 88254609, hzh@phei.com.cn

前 言

本书是浙江省普通高校“十三五”新形态教材建设项目的研究成果，与浙江省精品在线开放课程《电路分析基础》相配套。它以纸质教材为基础，将多种类型的数字化教学资源（微课、课件、题库、在线测试等）通过二维码技术与文本紧密关联，支持学生通过移动终端随时随地进行学习。本书既突出了有关知识点的叙述，又兼顾了课程内容的完整性和系统性，在不增加纸质教材的篇幅和成本的同时，大大丰富和提升了教材的内涵。因此，本书不仅适用于传统方法教学，同时还适用于 MOOC 教学需求。

本教材是为普通本科院校和高职院校电子信息类、电气自动化类、通信类、控制类专业及其他相关专业的本科学生编写，根据应用型院校学生的知识基础和认知规律组织内容。在内容选材上立足于“加强基础、学以致用、突出重点、联系实际”的原则，在文字叙述上力求做到思路清晰、语言通俗易懂，方便学生自学和教师授课。

为满足“应用型人才”的培养需求，本书在编写过程中注重结合工程实践，在每一章的最后都增加一节介绍电路理论的应用实例，将电路理论和实践应用有机结合起来，帮助学生建立起研究实际电路问题的思维模式和兴趣，培养学生的工程意识。本书所配例题具有典型性并能适当兼顾工程实际，还配有一定数量、难易适当的习题，并在书中给出了大部分习题的参考答案，以供读者选用。书中正文、例题、习题密切结合，便于读者自学，以适应启发性教学方法的需要。

本书内容丰富，资源充足。所有的知识点都配有微课视频、电子课件，每一节配有在线测试，每一章配有综合测试及讨论答疑区。本书还提供各章的小结视频和各章的测试题讲解视频。本书共有视频 107 个，单元测试 52 个，章节综合测试 11 个（题量超过 500 题）。扫描二维码就可以观看视频、完成在线测试并实时查看测试成绩以及参与线上交流讨论等。因此，该书不仅有助于培养学生的自主学习能力，同时特别适合开展翻转课堂、混合式教学等新型教学模式。

本书在编写过程中，参考了许多教材，这些资料均在参考文献中列出，在此对这些教材的作者表示衷心的感谢。课程组教师潘兰芳老师也对本书提出许多宝贵意见，在此表示感谢。

由于编者水平和能力有限，书中难免有不足或错误之处，敬读者不吝赐教，批评指正。

编者

2017 年 6 月

目 录

第1章 电路的基本概念与基本定律	1
1.1 电路的组成与电路模型	1
1.1.1 电路的组成及其作用	1
1.1.2 电路模型	2
1.2 电路的基本物理量	3
1.2.1 电流	3
1.2.2 电压和电位	5
1.2.3 功率	7
1.3 基尔霍夫定律	8
1.3.1 基尔霍夫电流定律	9
1.3.2 基尔霍夫电压定律	10
1.4 无源元件	12
1.4.1 电阻元件	12
1.4.2 电容元件	14
1.4.3 电感元件	16
1.5 有源元件	18
1.5.1 独立电源	18
1.5.2 受控电源	20
1.6 应用实例	23
1.6.1 电吹风机	23
1.6.2 汽车油箱油量检测电路	25
本章小结	26
习题1	28

第2章 电路的等效变换	32
2.1 二端网络等效的概念	32
2.2 电阻的等效变换	33
2.2.1 电阻的串并联等效变换	33
2.2.2 电阻的Y- Δ 等效变换	35
2.3 电源的等效变换	37
2.3.1 实际电源的两种模型及其等效变换	37
2.3.2 理想电源的串并联等效	39
2.4 电路的等效分析	41
2.5 无源二端网络的等效电阻	42
2.6 应用实例	43
2.6.1 直流电表的设计	43
2.6.2 惠斯通电桥电路	45
本章小结	46
习题2	48
第3章 电路的基本分析方法	52
3.1 支路电流法	52
3.1.1 两类约束和电路方程	52
3.1.2 支路电流方程的列写	53
3.1.3 含受控源的支路电流方程	54
3.2 网孔电流法与回路电流法	55
3.2.1 网孔电流方程的标准形式	55
3.2.2 含电流源的网孔电流方程	56
3.2.3 含受控源的网孔电流方程	57
3.2.4 回路电流法	58
3.3 节点电压法	58
3.3.1 节点电压方程的标准形式	58
3.3.2 含纯理想电压源支路的节点电压方程	61
3.3.3 含受控源的节点电压方程	63
3.4 应用实例	64
本章小结	66
习题3	66
第4章 电路的基本定理	70
4.1 叠加定理	70
4.1.1 叠加定理的基本内容	70
4.1.2 应用叠加定理的注意事项	71

4.1.3 线性电路的齐次性与可加性	72
4.2 替代定理	74
4.3 等效电源定理	75
4.3.1 戴维南定理	75
4.3.2 诺顿定理	79
4.4 最大功率传输定理	81
4.5 特勒根定理和互易定理	83
4.5.1 特勒根定理	83
4.5.2 互易定理	86
4.6 应用实例——数/模转换器	89
本章小结	91
习题 4	92
第 5 章 正弦稳态电路的分析	96
5.1 正弦量的基本概念	96
5.1.1 频率与周期	97
5.1.2 振幅与有效值	97
5.1.3 初相位	98
5.2 正弦量的相量表示法	100
5.2.1 复数及其运算	100
5.2.2 相量的概念	102
5.2.3 相量图	103
5.2.4 相量的运算性质	104
5.3 两类约束的相量形式	105
5.3.1 基尔霍夫定律的相量形式	105
5.3.2 电路元件伏安关系的相量形式	106
5.4 无源单口网络的阻抗	110
5.4.1 阻抗的概念	110
5.4.2 阻抗的串联和并联	112
5.4.3 电路的相量模型	114
5.5 正弦稳态电路的相量法分析	115
5.5.1 简单交流电路的分析	115
5.5.2 复杂交流电路的分析	119
5.6 正弦交流电路的功率	121
5.6.1 瞬时功率	121
5.6.2 平均功率和功率因数	122
5.6.3 无功功率	123
5.6.4 视在功率	124
5.6.5 复功率	127

5.6.6 电路功率因数的提高	128
5.6.7 正弦交流电路中的最大功率传输	130
5.7 电路的频率响应	132
5.7.1 网络函数和频率特性	132
5.7.2 RC 低通滤波电路	133
5.7.3 RC 高通滤波电路	134
5.8 谐振电路	135
5.8.1 串联谐振	135
5.8.2 并联谐振	138
5.9 应用实例	140
5.9.1 日光灯电路	140
5.9.2 收音机调谐电路	141
5.9.3 按键式电话机	142
5.9.4 交叉网络	143
本章小结	144
习题 5	147
第 6 章 耦合电感和理想变压器	151
6.1 耦合电感	151
6.1.1 互感	151
6.1.2 耦合电感的伏安关系	152
6.1.3 耦合电感的同名端	153
6.1.4 耦合电感的等效电路模型	155
6.2 含耦合电感的正弦稳态电路的分析	156
6.2.1 直接列写方程法	156
6.2.2 去耦等效分析法	157
6.3 空心变压器	162
6.4 理想变压器	164
6.4.1 理想变压器的基本性质	164
6.4.2 含理想变压器的电路分析	166
6.5 应用实例	167
6.5.1 变压器用做隔离装置	167
6.5.2 变压器用做阻抗匹配器	168
本章小结	169
习题 6	170
第 7 章 三相电路	174
7.1 三相电源	174
7.1.1 三相电源的产生	174

7.1.2 三相电源的连接	175
7.2 对称三相电路	177
7.2.1 负载 Y 形连接	177
7.2.2 负载 Δ 形连接	179
7.3 不对称三相电路	181
7.3.1 负载 Y 形连接	181
7.3.2 负载 Δ 形连接	183
7.4 三相电路的功率	184
7.4.1 平均功率	184
7.4.2 无功功率	184
7.4.3 视在功率	185
7.4.4 瞬时功率	185
7.4.5 三相功率的测量	186
7.5 应用实例	187
7.5.1 相序测定电路	187
7.5.2 家庭电路	188
7.5.3 三相电路实例分析	189
本章小结	190
习题 7	192
第 8 章 非正弦周期电流电路	194
8.1 非正弦周期信号及其傅里叶级数展开	194
8.1.1 非正弦周期信号	194
8.1.2 非正弦周期信号的傅里叶级数展开	195
8.2 非正弦周期信号的有效值和平均功率	196
8.2.1 非正弦周期信号的有效值	196
8.2.2 非正弦周期电流电路的平均功率	197
8.3 非正弦周期电流电路的分析	199
8.4 应用实例	201
本章小结	203
习题 8	204
第 9 章 动态电路的时域分析	206
9.1 动态电路的暂态过程及换路定则	206
9.1.1 动态电路的基本概念	206
9.1.2 换路定则与电路初始值的确定	207
9.2 一阶电路的零输入响应	209
9.2.1 一阶 RC 电路的零输入响应	209
9.2.2 一阶 RL 电路的零输入响应	211

9.3 一阶电路的零状态响应	213
9.3.1 一阶 RC 电路的零状态响应	213
9.3.2 一阶 RL 电路的零状态响应	215
9.4 一阶电路的全响应和三要素法	217
9.4.1 一阶电路的全响应	217
9.4.2 一阶电路的三要素法	218
9.5 阶跃函数和阶跃响应	222
9.5.1 阶跃函数	222
9.5.2 阶跃响应	223
9.6 冲激函数和冲激响应	225
9.6.1 冲激函数	225
9.6.2 冲激响应	226
9.7 二阶电路的零输入响应	229
9.7.1 二阶电路方程的建立	230
9.7.2 二阶电路零输入响应的形式	230
9.8 应用实例	236
9.8.1 冰箱延时保护电路	236
9.8.2 积分电路和微分电路	236
9.8.3 方波发生电路	237
9.8.4 闪光灯电路	238
本章小结	240
习题 9	242
第 10 章 双口网络	245
10.1 双口网络的基本概念	245
10.2 双口网络的参数方程	246
10.2.1 阻抗方程与 Z 参数	246
10.2.2 导纳方程与 Y 参数	249
10.2.3 传输方程与 T 参数	251
10.2.4 混合方程与 H 参数	252
10.3 含双口网络的电路分析	256
10.3.1 含双口网络的电路	256
10.3.2 双口网络的连接	257
10.4 线性双口网络的等效电路	261
10.4.1 互易双口网络的等效电路	261
10.4.2 非互易双口网络的等效电路	263
10.5 应用实例	264
10.5.1 放大电路等效模型	264
10.5.2 阻抗匹配电路	265

本章小结	266
习题 10	268
第 11 章 非线性电阻电路	272
11.1 非线性电阻	272
11.1.1 非线性电阻概述	272
11.1.2 非线性电阻的静态电阻和动态电阻	273
11.1.3 非线性电阻的串联和并联	274
11.2 非线性电阻电路的分析	275
11.2.1 解析法	275
11.2.2 图解法	276
11.2.3 分段线性化法	277
11.2.4 小信号分析法	279
11.3 应用实例	282
11.3.1 限幅电路	282
11.3.2 整流电路	283
本章小结	283
习题 11	284
习题答案	286
参考文献	295



第一章讨论区



第一章综合资源

第 1 章 电路的基本概念与基本定律

本章包含的主要内容有：电路的基本概念；电路基本物理量（电流、电压、功率）；电路元件（无源元件、有源元件）以及电路的基本定律（基尔霍夫定律）。基尔霍夫定律与元件的伏安关系是电路分析的基本依据，所以本章是本课程最基础的部分。

1.1 电路的组成与电路模型



电路的组成与
电路模型视频



电路的组成与
电路模型课件

1.1.1 电路的组成及其作用

电路是由各种电气元件和设备连接而形成的电流通路。在现代工业、农业、国防建设、科学研究及日常生活中，人们使用不同的电路来完成各种任务。小到手电筒、大到计算机、通信系统和电力网络，都可以看到各种各样的电路。可以说，只要用电的物体，其内部都含有电路。

实际电路种类繁多，特性和功能也各不相同，但从组成上讲，任何实际电路都由电源、负载和中间环节三部分组成。其中供给电能的电气装置为电源；消耗电能的电气装置为负载；中间环节则将电源和负载连接起来从而使电路能够正常工作，主要是连接导线、开关、变压器、保护装置等一些辅助设备。

从宏观的角度来看，电路的作用主要体现在能量处理和信号处理两个方面。

所谓的能量处理，就是通过电路实现电能的产生、传输、分配与转换。

典型的例子是电力系统中的输电线路。发电厂的发电机把热能、原子能等转换成电能，通过变压器、输电线等输送给各用户（如电灯、电炉、电动机等），在用户那里又把电能转换成光能、热能、机械能等其他形式的能量。在该电路中发电机提供电能，作为电源；各用户消耗电能，作为负载；变压器、输电线、开关、保护装置等则是中间环节。

这类电路电压往往比较高，电流比较大，通常称为“强电”电路。工程上一般要求这类电路在电能的传输和转换过程中，电能损耗尽可能小，效率尽可能高。

所谓的信号处理，就是通过电路实现电信号的获取、传递、变换与处理。

以常见的收音机为例，一台简单的收音机由输入电路（包括天线及调谐电路）、检波电路、放大电路以及扬声器组成。输入电路的功能是接收由各个发射台发出的不同信号，从中选择

所需信号；检波电路的功能是将调谐电路选择出来的高频信号作适当处理，从中取出发射台发送的音频信号；放大电路将微弱的音频信号放大再送入扬声器。由此可见，此电路的作用是实现电信号的获取、传递、变换与处理，即将激励信号处理成为所需要的响应。

这类电路电压往往比较低，电流比较小，通常称为“弱电”电路。工程上一般要求这类电路在信息的传递与处理过程中，尽可能地减小信号的失真，以提高电路工作的稳定性。

实际的电路元器件、连接导线以及由它们组成的实际电路都有一定的外形尺寸，占有一定的空间。若实际电路的几何尺寸 d 远小于电路工作时电磁波的波长 λ 时（即 $d \ll \lambda$ ），可以认为电流同时到达实际电路的各个点，此时电路尺寸可以忽略不计，整个实际电路可以看成是电磁空间的一个点，这种电路为集总参数电路。不满足上述条件的电路则为分布参数电路。

举例说，我国电力系统交流电的频率为 50Hz，电磁能量的传播速度为 $c=3 \times 10^8 \text{m/s}$ ，其所对应的波长为 6000km。对以此为工作频率的用电设备来说，其尺寸与这一波长相比可以忽略不计，因此可按集总参数电路处理。而对于上千公里的远距离输电线路来说，显然不满足 $d \ll \lambda$ ，不能按集总参数电路处理，分析此类电路时必须考虑到电场、磁场沿线分布的现象。又如在微波电路（如电视天线、雷达天线和通信卫星天线）中，由于信号频率特别高，波长 λ 的范围为 0.1~10cm，此时电路尺寸和波长属于同一数量级，因此为分布参数电路。本书只讨论集总参数电路，因为工程中所遇到的大量电路都可作为集总参数电路处理。

电路除了可以分为集总参数电路和分布参数电路外，还可以分为线性电路和非线性电路（按照电路是否含有非线性元件来划分）、时变电路和非时变电路（按照电路是否含有时变元件来划分）。本书重点讨论线性非时变的集总参数电路。

1.1.2 电路模型

作为电路组成部分的器件或设备，如电阻、线圈、电容、变压器、晶体管等，种类繁多，其工作时的物理过程也很复杂，不便于一一进行分析，但是在电磁现象方面却又有着许多相同之处。为了便于电路的分析，我们定义了各种理想的电路元件。每一种理想电路元件只表示一种电磁特性，并且用规定的符号表示。例如，用电阻元件来表征具有消耗电能特性的各种实际电器件；用电感元件来表征具有存储磁场能量的各种实际电器件；用电容元件来表征具有存储电场能量的各种实际电器件；用电源元件来表征具有提供电能特性的各种实际电器件，可分为电压源和电流源两种。上述理想电路元件的图形符号如图 1-1 所示。

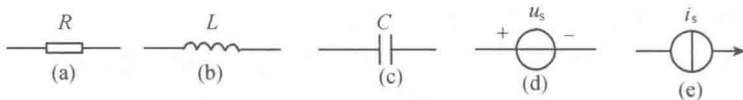


图 1-1 各种理想电路元件的图形符号

工程上各种实际电器件根据其电磁特性可以用一种或几种理想的电路元件来表示，这个过程称为建模。不同的实际电器件，只要具有相同的电磁特性，在一定条件下可以用同一个模型来表示。例如，电炉、白炽灯的主要电磁特性是消耗电能，可用电阻元件表示；干电池、发电机的主要电磁特性是提供电能，可用电源元件表示。

需要注意的是，建模时必须考虑工作条件。同一个实际电器件在不同应用条件下所呈现的电磁特性是不同的，因此要抽象成不同的元件模型。例如一个电感线圈，在低频条件下工作时，

主要有存储磁场能量和消耗电能的作用，所以把它抽象成电阻和电感的串联，如图 1-2 (a) 所示；随着工作频率的升高，线圈还具有存储电场能量的作用，因此必须考虑其电容效应，其等效元件模型如图 1-2 (b) 所示。其中电阻 R 表示其消耗电能的作用，电感 L 表示其存储磁场能量的作用，电容 C 表示其存储电场能量的作用。

又如一个实际电容，当它的发热损耗很低时，可以等效成一个理想的电容元件，如图 1-3 (a) 所示；而要考虑其发热损耗时，则将电容抽象成电阻和电容的并联（或串联），如图 1-3 (b) 所示。

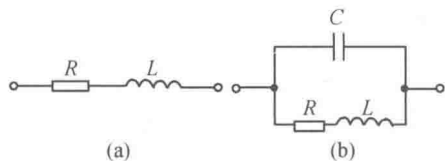


图 1-2 电感线圈的元件模型

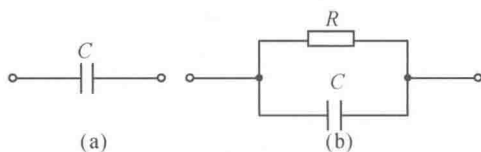
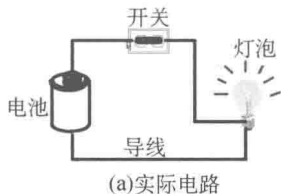
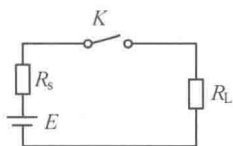


图 1-3 电容器的元件模型

把组成实际电路的各种电器件用理想的电路元件及其组合来表示，并用理想导线将这些电路元件连接起来，就可得到实际电路的电路模型。图 1-4 (a) 所示的手电筒电路，灯泡可以用电阻元件来表示；干电池如果考虑其内阻的话，可以用理想电压源与电阻的串联组合来表示，再用理想导线将这些电路元件连接起来，这样就得到手电筒电路的电路模型，如图 1-4 (b) 所示。电路模型一旦正确地建立，我们就能用数学的方法深入地分析电路。注意，电路分析的对象是电路模型，而不是实际电路。如果不是特别指出，今后所说的“元件”、“电路”均指理想的电路元件和电路模型。



(a) 实际电路



(b) 电路模型

图 1-4 手电筒电路



1.1 测试题

1.2 电路的基本物理量

电路的特性是由电路的物理量来描述的，主要有电流、电压、电荷、磁链、功率和能量。其中电流、电压和功率是电路的基本物理量，电路分析的基本任务就是计算电路中的电流、电压和功率，下面分别加以介绍。

1.2.1 电流

带电粒子的定向运动形成电流。电流的大小用电流强度表示。电流强度定义为单位时间内通过导体横截面的电荷量。电流强度简称电流，用字母 i 表示，即



电流视频



电流课件

$$i(t)=\frac{dq}{dt}$$

(1.2.1)

在国际单位制中，电流的单位为安培（A），简称安。实际应用中，可以加上表 1-1 所列的国际单位制（SI 单位）的词头，构成 SI 的十进制倍数或分数单位。如：1mA=10⁻³A，1μA=10⁻⁶A，1nA=10⁻⁹A。

表 1-1 部分国际单位制前词头

因数	10 ⁹	10 ⁶	10 ³	10 ⁻³	10 ⁻⁶	10 ⁻⁹	10 ⁻¹²
名称	吉	兆	千	毫	微	纳	皮
符号	G	M	k	m	μ	n	p

如果电流的大小和方向不随时间变化，称为直流电流，简称为 DC，如图 1-5（a）所示。直流电流可以用大写字母 *I* 或用小写字母 *i* 表示。如果电流的大小和方向随时间变化，称为时变电流，如图 1-5（b）所示。如果时变电流的大小和方向均作周期性变化且平均值为零时，称为交流电流，简称为 AC。最常见的交流电流为正弦交流电流，如图 1-5（c）所示。时变电流和交流电流通常用小写字母 *i* 表示。

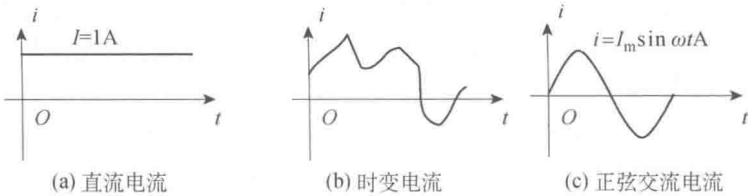


图 1-5 电流

电流是有方向的，通常规定正电荷运动的方向为电流的实际方向。但在分析电路时，电流的实际方向往往难以预先确定，而且交流电流的实际方向又随时间变化，因此在电路中很难标明电流的实际方向。为此，我们在进行电路分析时，往往先设定电流的正方向，称之为电流的参考方向。电流的参考方向可以任意选定，在电路图中用箭头“→”表示，如图 1-6 所示，也可以用双下标表示，记为 *i*_{ab}，代表电流参考方向从 a 流向 b。

按设定的电流参考方向进行电路计算，若计算得到的电流数值为正，则表示电流的实际方向和所设的参考方向一致；若电流数值为负，则表示电流的实际方向和所设的参考方向相反。图 1-6 说明了参考方向的含义，图中虚线箭头表明电流的实际方向。图 1-6（a）中电流的参考方向与实际方向一致，故电流数值为正；图 1-6（b）中电流的参考方向与实际方向相反，故电流数值为负。



图 1-6 电流的参考方向

显然，在未标明电流参考方向的情况下，计算得出的电流正负值毫无意义。今后在电路图中只标明参考方向，分析电路也都以参考方向为依据。

例 1.2.1 图 1-7 中的电流 $i=1\text{A}$ ，问电流的实际方向如何？

解：在图示参考方向下 $i>0$ ，说明电流的实际方向与所设的参考方向一致，即电流的实际方向从 a 流向 b。

若将电流的参考方向改为从 b 流向 a，则

$$i' = -1\text{A}$$



图 1-7 例 1.2.1 图

1.2.2 电压和电位

电路中 a、b 两点间的电压定义为把单位正电荷从 a 点移到 b 点电场力所做的功，即

$$u_{ab} = \frac{dW}{dq} \quad (1.2.2)$$

式中， u_{ab} 表示电路 a、b 两点间的电压（降）， dW 表示移动电荷为 dq 时电场力所做的功。若电场力将正电荷从 a 点移到 b 点时做正功，则电压 u_{ab} 大于零；若电场力将正电荷从 a 点移到 b 点时做负功，则电压 u_{ab} 小于零。

在国际单位制中，电压的单位为伏特（V），简称伏。此外，电压还可以用千伏（kV）、毫伏（mV）、微伏（ μV ）等表示。

如果电压的大小和方向不随时间变化，称为直流电压，否则为时变电压。如果时变电压的大小和方向均做周期性变化且平均值为零时，称为交流电压。例如，日常生活中最常见的工频电压就是指有效值为 220V、频率为 50Hz 的正弦交流电压。

电路中规定电压的实际方向是电位降低的方向，即由高电位端指向低电位端，所以电压又称电压降。

与电流的参考方向类似，分析电路时，有必要先设定电压的参考方向。电压的参考方向也是任意假定的，它有三种表示方法：一是用箭头“→”表示，如图 1-8（a）所示；二是用“+”、“-”极性表示，如图 1-8（b）所示。其中“+”表示假定的高电位端，“-”表示假定的低电位端；三是用双下标表示，如 u_{ab} 表示电压的参考方向从 a 指向 b。

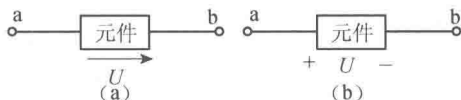


图 1-8 电压的参考方向

按设定的电压参考方向进行电路计算，若计算得到的电压数值为正，表示电压的实际方向和所设的参考方向一致；若电压数值为负，则表示电压的实际方向和所设的参考方向相反。在未标明电压参考方向时，计算出的电压正负值毫无意义。

除了电压，电路中还有一个重要的“电位”概念。电路中通常先假设一个零电位点，用符号“ $\perp$ ”表示，称为参考点。电路中某一点的电位就是将单位正电荷从这一点移到参考点时电场力所做的功。因此，电路中某一点的电位就是这一点到参考点的电压降。电位用符号 V 表示，其单位也为伏特。

用 V_a 、 V_b 分别表示电路中 a 点、b 点的电位，则 a、b 两点之间的电压 U_{ab} 就等于这两点



电压视频



电压课件

的电位差, 即

$$U_{ab}=V_a-V_b \quad (1.2.3)$$

注意, 在计算电位时, 必须先选定某一点作为参考点。参考点可以任意选择, 但是同一个电路中不可以同时设定两个或两个以上不同的参考点。

引入电位的概念后, 电路图中可以省去电压源支路, 直接将电压源的极性在图中标出, 并标明其电位值, 如图 1-9 (a) 所示电路可以改画成图 1-9 (b) 所示电路。在后续的电子电路课程中, 经常会出现这种画法。

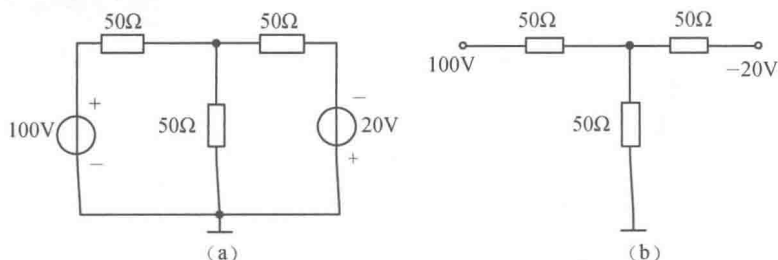


图 1-9

例 1.2.2 电路如图 1-10 所示, 已知 $U_{ac}=10V$, $U_{bc}=5V$, 求 V_a 、 V_b 和 U_{ab} 。若以 a 点为参考点, 重新计算 V_b 、 V_c 和 U_{ab} 。

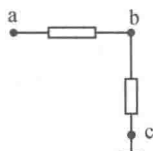


图 1-10 例 1.2.2 图

解: 图中以 c 为参考点, 则 $V_c=0V$, 根据电位的定义可得:

$$V_a = U_{ac} = 10V$$

$$V_b = U_{bc} = 5V$$

$$U_{ab} = V_a - V_b = 5V$$

若以 a 点为参考点, 则 $V_a=0V$

$$V_b = U_{ba} = U_{bc} - U_{ac} = -5V$$

$$V_c = U_{ca} = -U_{ac} = -10V$$

$$U_{ab} = V_a - V_b = 5V$$

由例 1.2.2 可以看出: 电路中各点的电位值是相对的, 取决于参考点的选择; 而电路中任意两点间的电压值是绝对的, 和参考点的选择无关。

电动势用来衡量非电场力对电荷做功的能力, 即非电场力将单位正电荷从一点移到另一点所做的功。与电压相比, 电动势的实际方向规定为电源内非电场力的方向, 即由低电位端指向高电位端, 或者说成是电位升高的方向。电动势用符号 “E” 表示, 其单位也是伏特。

例 1.2.3 如图 1-11 所示, $E=5V$, a 点与 b 点哪点电位高? $U=?$

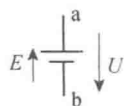


图 1-11 例 1.2.3 图