

普通高等教育“十二五”规划教材
信息与电子技术类系列教材

电路与模拟电子技术基础

成谢锋 周井泉 主编



免费提供
教学资源



科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材·信息与电子技术类系列教材

电路与模拟电子技术基础

成谢锋 周井泉 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书根据最新的“电路与模拟电子技术”教学基本要求编写。全书分为电路基础理论和模拟电子技术基础两大部分。电路理论部分包括直流电路分析、暂态电路分析和正弦交流电路3章。模拟电子技术部分包括半导体二极管和晶体管、基本放大电路、放大电路中的负反馈、集成运算放大器及应用和直流稳压电源5章。每章均安排了一节应用实例与计算机辅助分析的内容。

本书注重基础，突出应用，基本概念讲述清楚，分析方法讲解透彻，例题、练习题、计算机仿真题配置齐全，难易度适中，便于教师施教和学生自学。

本书可作为普通高等学校计算机、机械、计算数学、传媒技术等相关专业的本科教材，也可作为成人教育及自学考试用教材，亦适合相关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电路与模拟电子技术基础 / 成谢锋, 周井泉主编. —北京: 科学出版社, 2012

ISBN 978-7-03-033036-9

I. ①电… II. ①成… ②周… III. ①电路理论-高等教育-教材 ②模拟电路-电子技术-高等教育-教材 IV. ①TM13 ②TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 262730 号

责任编辑: 赵丽欣 郭丽娜 / 责任校对: 耿 耘
责任印制: 吕春珉 / 封面设计: 东方人华平面设计部

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>

骏立印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年1月第一版 开本: 787×1092 1/16

2012年1月第一次印刷 印张: 20 1/2

字数: 471 000

定价: 35.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈骏杰〉)

销售部电话 010-62142126 编辑部电话 010-62134021 (VP04)

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

“电路分析理论和电子技术”集近百年来科学家、教育家、工程技术人员所获知识之大成，以一种公共认知的文化形式影响着当今高校电类相关专业的基础教育。这类相关教材突出知识的基础性、应用性，强调教学效果的正态分布，在电类专业大学生起步教育阶段力求相通性。本书即是按照这样的指导思想，配合江苏省省级精品课程“电路分析基础”、“电工电子实验”的教学改革，根据最新的“电路与模拟电子技术”教学基本要求编写的。全书分为电路基础理论和模拟电子技术基础两大部分。电路基础理论部分包括直流电路分析、暂态电路分析、正弦交流电路 3 章；模拟电子技术基础部分包括半导体二极管和晶体管、基本放大电路、放大电路中的负反馈、集成运算放大器及应用、信号产生电路和直流稳压电源 5 章，每章都安排了一节应用实例与计算机辅助分析。

从 20 世纪 60 年代中期开始，人们不断地开发出各种计算机辅助设计工具来帮助设计人员进行电子系统的分析和电路仿真，使得熟练掌握计算机辅助分析与设计技术成为工科大学生不可缺少的常规技能。本书不仅提供了一般的仿真例题，而且给出一些编者自己设计的综合应用案例，使学习者能在较短的时间内熟悉电子电路的分析方法和仿真技术。由于篇幅所限，关于 Multisim 10 的基本操作和常用功能的介绍，请参考与本书配套的《电工电子实验》和《现代电子设计技术与综合应用》两本教材。

本书编者通过教材编排次序的变化，教材内容的选择，文字描述的精简来凸显所要强调的基础性和应用性，力求基本概念叙述清楚，分析方法讲述透彻，例题、练习题、计算机仿真题配置齐全，难易度适中，便于教师施教和学生自学。同时本书还强调与电工电子实验配合，使理论教学与实验教学步调一致，通过实验进一步巩固基础理论知识，培养学生的实践技能、动手能力和分析问题及解决问题的能力，启发学生的创新意识及发掘学生的创新思维潜力。

本书的编写得到学校教改项目（项目编号：JG03310JX52，JG03311JX12）的支持。

本书电路部分由周井泉老师负责编写，模拟电子技术部分由成谢锋老师负责编写，参加本书编写工作的同志还有吴晓晓、张正、刘伟、陈泓、赵进、汪玉培等。

由于时间仓促，编者能力有限，书中存在的不妥之处，恳请读者多提宝贵意见。

目 录

前言

第 1 篇 电路基础理论

第 1 章 直流电路分析	3
1.1 电路与电路模型	3
1.1.1 电路	3
1.1.2 电路模型	3
1.1.3 线性与非线性电路	4
1.1.4 时变与非时变电路	5
1.2 电路中的基本物理量	5
1.2.1 电流及其参考方向	5
1.2.2 电位、电压及其参考方向	6
1.2.3 电功率和电能	7
1.3 电阻与电源	9
1.3.1 电阻元件与欧姆定理	9
1.3.2 电压源	11
1.3.3 电流源	11
1.4 电路的工作状态	12
1.4.1 开路	13
1.4.2 短路	13
1.4.3 负载状态	13
1.5 基尔霍夫定律	13
1.5.1 基尔霍夫电流定律	14
1.5.2 基尔霍夫电压定律	15
1.6 电阻电路的等效变换	16
1.6.1 电路等效变换的概念	16
1.6.2 电阻的串并联等效变换	17
1.6.3 含独立电源电路的等效变换	20
1.6.4 实际电源的两种模型及其等效转换	22
1.7 电阻电路的一般分析法	25
1.7.1 支路分析法	26
1.7.2 网孔分析法	28
1.7.3 节点分析法	31

1.8	电路定理	34
1.8.1	叠加定理	34
1.8.2	替代定理	36
1.8.3	等效电源定理	38
1.9	受控源及含受控源电路的分析	42
1.9.1	受控源	42
1.9.2	含受控源电路的分析	44
1.10	直流电路的应用与计算机辅助分析	46
1.10.1	串联电阻的分压效果仿真	48
1.10.2	复杂电路分析仿真	48
	习题 1	49
第 2 章	暂态电路分析	55
2.1	储能元件	55
2.1.1	电容元件及其伏安关系	55
2.1.2	电感元件	59
2.1.3	电容、电感的串并联	62
2.2	换路定则及初始值计算	64
2.2.1	换路定则	64
2.2.2	初始值的计算	65
2.3	一阶电路的零输入响应	67
2.3.1	一阶 RC 电路的零输入响应	68
2.3.2	一阶 RL 电路的零输入响应	70
2.3.3	一阶电路零输入响应解的一般公式	72
2.4	一阶电路的零状态响应	73
2.4.1	一阶 RC 电路的零状态响应	73
2.4.2	一阶 RL 电路的零状态响应	75
2.4.3	一阶电路电容电压、电感电流零状态响应的一般公式	76
2.5	一阶电路的全响应及三要素分析	77
2.5.1	全响应与暂态响应、稳态响应	77
2.5.2	一阶电路的三要素法	79
2.6	一阶电路的阶跃响应	83
2.6.1	阶跃函数	83
2.6.2	单位阶跃响应	84
2.7	二阶电路的基本暂态特性	86
2.8	计算机辅助分析直流激励下电路的暂态特性	90
2.8.1	电路的响应仿真	90
2.8.2	创新型仿真实验	93
	习题 2	94

第 3 章 正弦交流电路	99
3.1 正弦交流电的基本概念	99
3.1.1 正弦交流电的三要素	99
3.1.2 正弦交流电的有效值	100
3.1.3 同频率正弦交流电的相位差	101
3.2 正弦量的相量表示	102
3.2.1 复数及其四则运算	102
3.2.2 正弦量的相量表示法	103
3.3 正弦交流电路中的电阻、电感、电容元件	104
3.3.1 电阻元件的伏安关系及相量形式	104
3.3.2 电感元件的伏安关系及相量形式	105
3.3.3 电容元件的伏安关系及相量形式	106
3.4 基尔霍夫定律的相量形式	107
3.4.1 基尔霍夫电流定律 (KCL) 的相量形式	107
3.4.2 基尔霍夫电压定律 (KVL) 的相量形式	108
3.5 阻抗与导纳	108
3.5.1 阻抗	108
3.5.2 导纳	109
3.5.3 阻抗与导纳的串并联	110
3.5.4 阻抗与导纳的等效变换	111
3.6 正弦稳态电路的相量分析法	111
3.7 正弦交流电路的功率	113
3.7.1 平均功率和功率因数	114
3.7.2 无功功率和视在功率	114
3.7.3 功率因数的提高	116
3.8 谐振电路	118
3.8.1 串联谐振	118
3.8.2 并联谐振	119
3.8.3 通频带与选频特性分析	120
3.9 三相电路	122
3.9.1 三相电源	122
3.9.2 对称三相电路的计算	124
3.9.3 不对称三相电路的计算	125
3.9.4 三相电路的功率	126
3.10 非正弦周期电路的稳态分析	127
3.11 交流电路的应用与计算机辅助分析	129
习题 3	132

第 2 篇 模拟电子技术基础

第 4 章 半导体二极管和晶体管	141
4.1 半导体物理基础知识	141
4.1.1 本征半导体	141
4.1.2 杂质半导体	143
4.1.3 PN 结	144
4.2 二极管	147
4.2.1 二极管的结构与伏安特性	147
4.2.2 二极管的主要参数	149
4.2.3 稳压二极管	150
4.2.4 变容二极管	152
4.2.5 光电二极管	152
4.2.6 发光二极管	152
4.3 晶体管	154
4.3.1 晶体管的结构及类型	154
4.3.2 晶体管的电流放大原理	155
4.3.3 晶体管的特性曲线	157
4.3.4 晶体管的主要参数	159
4.4 二极管电路的应用与计算机辅助分析	161
习题 4	162
第 5 章 基本放大电路	166
5.1 放大器的组成及其性能指标	166
5.1.1 放大电路的基本概念	166
5.1.2 共射放大电路的组成及工作原理	167
5.1.3 放大电路的分析方法	168
5.1.4 共集放大电路	179
5.1.5 共基放大电路	181
5.1.6 静态工作点的稳定	183
5.2 多级放大电路	190
5.2.1 多级放大电路的耦合	190
5.2.2 多级放大电路的动态分析	195
5.3 差分放大电路	197
5.3.1 差分放大电路的组成	197
5.3.2 长尾式差分放大电路	199
5.3.3 差分放大电路的接法	202
5.3.4 恒流源式的差分放大电路	205
5.4 功率放大电路	207

5.4.1	功率放大电路的特点	207
5.4.2	功率放大电路的组成	208
5.4.3	OCL 电路的组成及工作原理	212
5.4.4	OCL 电路的输出功率及效率	213
5.4.5	OCL 电路中晶体管的选择	215
5.5	集成运算放大器	217
5.5.1	集成运放的组成	217
5.5.2	集成运放的主要参数与分类	218
5.5.3	理想运放及其特点	221
5.6	放大电路的应用与计算机辅助分析	222
	习题 5	224
第 6 章	放大电路中的负反馈	229
6.1	反馈的基本概念与分类	229
6.1.1	反馈的基本概念	229
6.1.2	反馈的分类	230
6.1.3	负反馈放大器的框图及 4 种组态	232
6.1.4	负反馈放大电路的基本方程	235
6.2	负反馈对放大电路性能的影响	236
6.2.1	提高放大倍数的稳定性	236
6.2.2	减小非线性失真和抑制干扰	237
6.2.3	展宽频带	238
6.2.4	改变输入、输出电阻	238
6.3	深度负反馈放大器的分析和近似计算	241
6.4	负反馈电路的应用与计算机辅助分析	244
	习题 6	245
第 7 章	集成运算放大器及应用	249
7.1	基本运算电路	249
7.1.1	比例运算电路	249
7.1.2	加法运算电路	252
7.1.3	减法运算电路	253
7.1.4	微分和积分运算电路	254
7.1.5	对数和指数运算电路	256
7.1.6	乘法和除法运算电路	257
7.2	集成运放在电压比较器电路中的应用	258
7.2.1	过零比较器	259
7.2.2	单限比较器	259
7.2.3	滞回比较器	260
7.2.4	窗口比较器	262

7.3	有源滤波电路	263
7.3.1	滤波电路概述	263
7.3.2	低通滤波器	263
7.3.3	高通滤波器	266
7.3.4	带通滤波器	266
7.3.5	带阻滤波器	266
7.4	信号产生电路	267
7.4.1	产生正弦波振荡的条件	267
7.4.2	LC 振荡电路	269
7.4.3	石英晶体振荡电路	273
7.4.4	矩形波产生电路	275
7.5	集成运算放大器在信号处理中的应用与计算机辅助分析	277
	习题 7	278
第 8 章	直流稳压电源	283
8.1	直流稳压电源的组成	283
8.2	整流电路	284
8.2.1	单相半波整流电路	285
8.2.2	单相全波整流电路	285
8.2.3	单相桥式整流电路	286
8.3	滤波电路	288
8.3.1	电容滤波电路	288
8.3.2	电感滤波电路	290
8.3.3	复合型滤波电路	290
8.4	稳压电路	291
8.4.1	稳压电路的主要指标	291
8.4.2	线性串联型直流稳压电路	292
8.4.3	开关型直流稳压电路	298
8.5	直流稳压电路的应用与计算机辅助分析	300
8.6	一个计算机辅助分析的综合应用案例	302
	习题 8	305
	部分习题参考答案	309
	参考文献	317

第 1 篇

电路基础理论

第 1 章 直流电路分析

无论在日常生活、工农业生产还是在科学研究中，人们经常使用各种电路实现对电能或电信号的产生、传输、转换和处理。由于所实现的功能各不相同，实现这些功能的电路结构和种类也各不相同。尽管如此，这些电路都遵循着共同的规律，这些规律构成了电路基本理论。本课程着重讨论线性、时不变、集总参数电路的分析方法，属于电路理论学科。

本章首先介绍电路的基本概念、电路分析的基本变量、电路元件；然后介绍电路的基本定律——基尔霍夫定律；接着介绍电阻电路的分析方法，包括等效变换法、一般分析法和电路定理；最后给出了一个直流电路的应用与计算机辅助分析案例。

1.1 电路与电路模型

1.1.1 电路

实际电路是由若干电源和电阻器、电容器、电感器及半导体等器件（device）按一定的方式互相连接而构成的电流的通路。例如，常用的荧光灯照明电路由灯管、镇流器、辉光启动器（简称启辉器）、开关和交流电源相互连接而成；收音机由电阻器、电容器、电感器、半导体器件（或集成电路）、扬声器和直流电源相互连接而成。

实际电路的主要功能是实现电能或电信号的产生、传输、转换和处理。例如，电力电路实现电能的产生、传输和转换（如转换成照明用的光能、取暖用的热能等）；日常使用的收音机和电视机，能把接收到的微弱的无线电信号进行各种加工处理，最后输出人们需要的声音和图像；计算机可对输入的数据进行指定的计算、储存和控制等。总之，实际电路种类繁多、千差万别，电路的各部分及其周围空间伴随着各种电磁现象和能量交换，从而形成一个复杂的物理系统。

1.1.2 电路模型

当电路工作时，各种电路元器件所发生的电磁现象相当复杂，如果一起考虑，就会给电路分析带来困难，甚至变成不可能。因此，必须将构成实际电路的各种电工或电子元器件理想化和模型化。理想化就是保留所发生电磁现象的主要方面而忽略微不足道的方面；模型化就是用一种抽象的电路元器件来表征所发生的某种电磁特征。例如，理想电阻元件仅表征消耗电能并转变成非电能的特征；理想电容元件仅表征储存或释放电场能量的特征；理想电感元件仅表征储存或释放磁场能量的特征。它们分别是实际电路中电阻器、电容器和电感器在一定条件下的近似化、理想化。

上述 3 种理想电路元件均具有 2 个端子，称为二端元件。除二端元件外还有多端元

件，以后还要讲到四端元件，如受控源、耦合电感、变压器等。

由理想元件组成的电路称为电路模型。今后所提到的电路，除特别指明外均系电路模型，所提到的元件均为理想元件。

应该指出，实际电路用电路模型来近似表示是有条件的。一种电路模型只有在一定条件下才是适用的，条件变了电路模型也要作相应的改变。

当电路元件的尺寸 l 远小于电路最高工作频率所对应的波长 λ 时，可以认为元件的参数“集总”于一个点上，形成所谓的集总元件。

理想元件是抽象的模型 (model)，没有体积大小，是集总参数元件 (lumped parameter element)。由集总参数元件构成的电路称为集总参数电路，简称集总电路。在集总电路中，任何时刻该电路任何地方的电流、电压都是与其空间位置无关的确定值。

例如，我国电力系统照明用电的频率为 50Hz，其波长为 6000km。对于大多数用电设备来说，其元件尺寸与之相比可忽略不计，采用集总参数概念是合适的。而对远距离的通信线路和电力输电线路则不满足上述条件，就不能用集总参数来分析。又如在微波电路中，信号的波长 $\lambda=0.1\sim 10\text{cm}$ ，此时波长与元件尺寸属同一数量级，信号在电路中传输时元件尺寸不能忽略；电路中的电流、电压不仅是时间的函数，也是空间位置的函数；某一时刻从电路或器件一端流入的电流不一定等于另一端流出的电流，此时集总参数模型失效，应当采用分布 (distributed) 参数或电磁场理论来分析。有关这部分内容将在后续课程中学习。

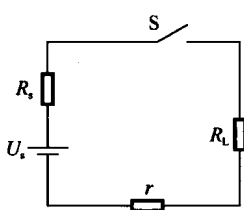


图 1.1.1 手电筒电路模型

本书只对集总参数电路进行分析，集总参数的条件即集总假设是电路分析的重要假设。当满足集总参数条件时，就可以采用由分立元件模型组成的集总参数电路模型。图 1.1.1 所示电路就是一个手电筒电路的集总参数电路模型。图中电源元件 U_s 与电阻元件 R_s 的组合表示干电池，是提供电能的能源；电阻元件 r 表示手电筒金属壳体的电阻；电阻元件 R_L 表示灯泡，是用电设备，称为负载；图中连线为理想导线。

1.1.3 线性与非线性电路

由独立源和线性元件组成的电路称为线性电路。线性元件（如电阻、电感、电容等）的参数 R 、 L 、 C 都是不随其电流、电压（或电荷、磁链）而改变的常量。

含非线性元件的电路为非线性电路。非线性元件的参数是电流、电压（或电荷、磁链）的函数。

严格来说，实际电路都是非线性的。不过，有些实际电路的工作电流、电压都限制在一定范围之内，在正常工作条件下所有元件的非线性程度比较微弱，可以忽略其非线性特性，把它们当成线性元件处理不会带来很大的差异。然而，对于另一些电路，其元件的非线性较为显著，就不能忽视其非线性特征，否则，将使分析计算结果与实际量值相差过大，无法解释其中的物理现象。

本章主要讨论线性电路的分析方法；非线性电路的分析方法，包括较常见的解析法、图解法、分段线性法与小信号分析法等在后续章节中介绍。

1.1.4 时变与非时变电路

由非时变元件组成的电路称为非时变电路。非时变元件的参数都是不随时间而变化的。

含时变元件的电路为时变电路。时变元件的参数是时间的函数。

本书只讨论非时变电路的分析方法，并且主要讨论线性非时变电路的分析方法，非线性非时变电路的分析方法只在第四章以后才有所涉及。

1.2 电路中的基本物理量

电流、电压、电荷、磁链、功率和能量是描述电路工作状态和元件工作特性的6个变量，一般都是时间的函数。其中电流和电压是电路分析中最常用的2个基本变量，本节着重讨论电流、电压的参考方向，以及电路功率和能量的计算。

1.2.1 电流及其参考方向

1. 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，用符号 i 表示，即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.2.1)$$

习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的方向。

大小和方向都不随时间改变的电流称为恒定电流，简称直流（direct current, DC），用大写字母 I 表示，否则称为时变（time varying）电流。若时变电流的大小和方向都随时间作周期性变化，则称为交变电流，简称交流（alternating current, AC）。

在国际单位制（SI）中，电流、电荷和时间的单位分别为安[培]（简称安，符号为A）、库[仑]（简称库，符号为C）和秒（符号为s）。1安=1库/秒。在通信和计算机技术中常用毫安（mA）、微安（ μA ）作为电流单位。它们的关系是

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

2. 电流的参考方向

在电路分析中，电流的大小和方向是描述电流变量不可缺少的两个方面。但是对于一个给定的电路，要直接给出某一电路元件中的电流真实方向是十分困难的，如交流电路中电流的真实方向经常在改变。即使在直流电路中，要指出复杂电路中某一电路元件的电流真实方向也不是一件容易的事。为此，引入电流参考方向（reference direction）的概念。

对于连接电路 a、b 两点间的二端元件，流经它的电流 i 的参考方向常用箭头表示，

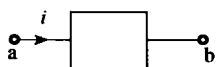


图 1.2.1 电流参考方向

如图 1.2.1 所示。电流的参考方向可以任意选定，但一经选定，就不再改变，以此作为分析计算的依据。如经过计算其电流值为正值，表示参考方向与电流真实方向一致；如电流值为负值，表示参考方向与真实方向相反。

电流参考方向亦可用字符 i 的双下标表示。图 1.2.1 中的电流可以用 i_{ab} 表示电流参考方向由 a 指向 b。

电流是代数量，既有数值又有与之相应的参考方向才有明确的物理意义。只有数值而无参考方向的电流是没有意义的。所以在求解电路时，必须首先选定电流的参考方向。

今后，电路图中箭头所标电流方向都是电流的参考方向。电流的参考方向又称电流的正方向。

1.2.2 电位、电压及其参考方向

1. 电位

电场中某点 A 的电位，在数值上等于电场力将单位正电荷由该点 A 沿任意路径移到参考点时所做的功，用 U_A 表示。电位的单位是伏 [特] (简称伏，符号为 V)。

通常规定参考点的电位为零，所以参考点又称零电位点。参考点的确定是非常重要的，因为电位是相对物理量，如果不确定参考点，讨论电位是没有意义的。在同一电路中，即使同一点，在选择不同的参考点时，该点的电位也是不同的。在电路中，常常把若干支路的交汇点或机壳作为电位的参考点。参考点一经确定，其余各点的电位就随之而定了，不能再改动，而且各点的电位值是唯一的，具有单值性。

2. 电压

单位正电荷由 a 点移到 b 点时电场力所做的功称为 a、b 两点间的电压，用符号 u 表示，即

$$u = \frac{dw}{dq} \tag{1.2.2}$$

习惯上把电位降落的方向 (高电位指向低电位) 规定为电压的方向。通常电压的高电位端标为“+”极，低电位端标为“-”极。

大小和方向都不随时间改变的电压称为恒定电压或直流电压，用大写字母 U 表示。

在国际单位制中，电压、能量 (功) 的单位分别为伏 (V) 和焦 [耳] (J)。1 伏 = 1 焦 [耳]/库。在通信和计算机技术中常用毫伏 (mV)、微伏 (μ V) 作为电压的单位，它们的关系是

$$1V = 10^3 mV = 10^6 \mu V$$

电路中任意两点之间的电压就是这两点的电位差。如图 1.2.2 所示电路中，若 A、B 两点的电位分别是 U_A 和 U_B ，它们都是以 C 点为参考点的，则 A、B 两点的电压是 $U_{AB} = U_A - U_B$ 。因此，电压又称电位差，电压与参考点的选择无关。

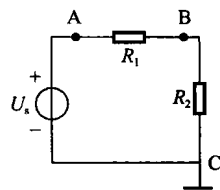


图 1.2.2 电位与电压

3. 电压参考方向

像需要为电流选定参考方向一样，也需要为电压选定参考方向（也称参考极性）。在电路图上用“+”表示参考极性的高电位端，“-”表示参考极性的低电位端，如图 1.2.3 (a) 所示。电压的参考极性同样是任意选定的。如经过计算，电压值为正值，表示电压的参考极性与真实极性一致；如电压值为负值，则表示电压的参考极性与真实极性相反。

电压参考方向亦可用字符 u 的双下标表示，对于图 1.2.3 (a)，可用 u_{ab} 表示 a 点为参考正极性端“+”，b 点为参考负极性端“-”。当 $u > 0$ 时，从 a 到 b 为电位降或电压降；当 $u < 0$ 时，从 a 到 b 为电位升或电压升。

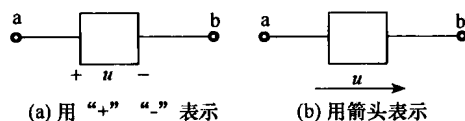


图 1.2.3 电压的参考方向

有时也可用箭头表示电压的参考方向。如图 1.2.3 (b) 箭头的方向是电位降落的方向。

与电流参考方向类似，不标注电压参考方向的情况下，电压的正负是毫无意义的。所以在求解电路时必须首先选定电压的参考方向。

4. 关联参考方向

在电路分析中，电流与电压的参考方向是任意选定的，两者之间独立无关。但是为了方便起见，对于同一元件或同一段电路，习惯上常采用“关联”（associated）参考方向，即电流的参考方向与电压参考方向（“+”极到“-”极）选为一致，如图 1.2.4 (a) 所示。关联参考方向又称为一致参考方向。

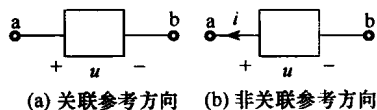


图 1.2.4 参考方向

当电流、电压采用关联参考方向时，在电路图上只需标电流参考方向和电压参考极性中的任意一种即可。

电流和电压的参考方向选为相反时称为非关联参考方向，如图 1.2.4 (b) 所示。

1.2.3 电功率和电能

1. 电功率

正电荷从电路元件上电压“+”极经元件移到“-”极是电场力对电荷做功的结果，这时元件吸收能量；反之，正电荷从电路元件上电压“-”极经元件移到“+”极，必须由外力（化学力、电磁力等）对电荷做功以克服电场力，这时元件释放能量。

单位时间内电场力所做的功，称为电功率（简称功率，power），用字符 p 表示，即

$$p = \frac{dw}{dt} \quad (1.2.3)$$

对于如图 1.2.4 (a) 所示的二端电路，当电压、电流参考方向关联时，由式 (1.2.1) 和式 (1.2.2) 可得