

高等学校通信教材

gaodeng xuexiao tongxin jiaocai

© 史健芳 主编 陈惠英 副主编

DIANLU
JICHU

电路基础

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

高等学校通信教材

电 路 基 础

史健芳 主 编

陈惠英 副主编

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电路基础/史健芳主编. —北京: 人民邮电出版社, 2006. 8

高等学校通信教材

ISBN 7-115-14464-8

I. 电... II. 史... III. 电路理论—高等学校—教材 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 033659 号

内 容 提 要

本书以电路理论的经典内容为核心, 以提高学生的电路理论水平和分析解决问题的能力为出发点, 以培养“厚基础、宽口径、会设计、可操作、能发展”, 具有创新精神和实践能力的人才为目的。

本书内容符合教育部颁布的“高等学校电路课程教学基本要求”, 较全面地阐述了电路的基本理论, 并适当引入电路新技术。本书内容遵从先易后难、由浅入深、循序渐进的原则, 主要包括电路的基本概念、基本定律、基本分析方法、基本定理、等效变换、动态电路分析、稳态电路分析、频率响应、耦合电感和理想变压器、三相电路、双口网络、拉普拉斯变换在电路中的应用、非线性电路、用 EWB 仿真软件分析电路及磁路等, 共 15 章。每章精选适量例题及习题, 以帮助读者进一步加深对理论的理解。本书在叙述中力求文字简练, 通俗易懂。

本书可作为高等院校电子信息、通信、测控技术及仪器、自动化、自动控制、计算机等电类本科专业的教材, 也可供有关专业工程技术人员及夜大、函授学生使用。

高等学校通信教材

电 路 基 础

◆ 主 编 史健芳

副 主 编 陈惠英

责任编辑 邹文波

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京铭成印刷有限公司印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787 × 1092 1/6

印张: 21.25

字数: 512 千字

印数: 1 - 3 000 册

2006 年 8 月第 1 版

2006 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-14464-8/TN · 2728

定价: 28.00 元

读者服务热线: (010) 67170985 印装质量热线: (010) 67129223

高等学校通信教材

编委会

主任：韩 炎

编委：毕满清 陈俊杰 傅丰林 李哲英
柯亨玉 王成华 谢克明 解月珍
杨兆选 张 刚 张雪英 邹文波

编者的话

电路基础是高等理工院校电类专业电子电路系列课程的一门重要技术基础课。为体现培养素质型、能力型人才的教育理念,使教材达到培养“厚基础、宽口径、会设计、可操作、能发展”,具有创新精神和实践能力人才的目的,编者结合多年的教学经验,在现有讲义基础上编写了此书。

本书在内容上注重电路基本概念、基本理论及基本方法的全面性、完整性,突出重点,合理统筹,充分考虑与后续课程的衔接,适度引入新内容,拓宽专业知识面。在内容编排上,遵从先易后难、由浅入深、循序渐进的原则,首先介绍电路的基本概念、基本分析方法、基本定理,再引入动态元件,介绍动态电路的分析方法,最后自然过渡到稳态电路,将难点分散于各章节中,便于学生掌握。在叙述中力求文字简练,通俗易懂。对难点、重点进行深入分析和讨论,每个重要知识点精选适量例题及习题来进一步加深对理论的理解。在例题和习题编排方面,强调基本概念和分析方法,注重培养学生分析问题和解决问题的能力,尽量避免繁琐计算。

本书在注重基本知识和基本内容的同时注重理论联系实际。针对理工科学生理论与实际脱节的情况,加强了电路在实际应用中的内容,如增加了运算放大器、积分电路、微分电路、耦合电路、频率特性、滤波器、安全用电知识等。并且在各章节中精选一定数量的与实际相关的例题和习题,进一步说明基本理论在实际中的应用,增强学生的工程意识与创新能力,更加适应理工科学生的需要。针对电路存在电与磁相互作用和相互转化的实际情况,本书增加了磁路知识,便于学生拓宽知识面。

本书注重反映电路的发展方向,引入现代电路新技术。如引入 EWB 仿真软件对电路进行分析,使读者初步熟悉现代电路的分析手段,提高应用计算机分析电路的能力,并能增强学生学习的主动性与求知欲,可以有效地解决学时少、内容多的矛盾,为以后的学习、工作和科学研究打下扎实的理论和实践基础。

为便于学生参阅同类国外原版教材及相关资料,了解国内外电路新技术,增强学习的主动性,书中对第一次出现的术语都标有英文,书末附有书中术语的中英文对照表。

为方便教师备课,提高教学效果和教学效率,本教材提供电子课件。

目录上标以 * 号的部分,可供学生拓宽知识面或根据不同专业需要选用。

本书共分 15 章,由史健芳任主编,陈惠英任副主编,并由史健芳进行统稿。其中,第 1 至 4 章由史健芳执笔,第 5、12、13、14 章由陈惠英执笔,第 6 至 8 章由李凤莲执笔,第 9 至 11 章由赵永强执笔,第 15 章由杨新艺执笔,附录由陈惠英整理。谢克明教授审阅了全书。在此,我们谨向谢克明教授、人民邮电出版社、书后所列参考文献的各位作者以及给我们支持和帮助的领导和同事表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中难免存在缺陷和疏漏,恳请读者批评指正。

编者

2006 年 3 月

目 录

第1章 电路的基本概念及基本元件	1
1.1 电路与电路模型	1
1.1.1 电路的组成和作用	1
1.1.2 电路与电路模型	1
1.2 电路的基本变量	2
1.2.1 电流	2
1.2.2 电压	3
1.2.3 关联参考方向	4
1.2.4 功率	5
1.3 基尔霍夫定律	6
1.3.1 基尔霍夫电流定律	7
1.3.2 基尔霍夫电压定律	9
1.4 电阻元件	11
1.5 电压源与电流源	13
1.5.1 电压源	14
1.5.2 电流源	15
1.6 实际电源的模型	16
1.7 受控源	17
本章小结	20
习题	20
第2章 电路的等效变换	23
2.1 等效变换的概念	23
2.2 电阻的串联、并联和混联	23
2.2.1 电阻的串联	23
2.2.2 电阻的并联	25
2.2.3 电阻的混联	28
2.3 Δ 形电阻网络与Y形电阻网络的等效变换	29
2.4 电压源和电流源的联接	33
2.4.1 电压源的联接	33
2.4.2 电流源的联接	34
2.5 电压源串联电阻与电流源并联电阻的等效变换	35
本章小结	37
习题	38
第3章 电路的基本分析方法	41

3.1 图论基础	41
3.1.1 图的基本概念	41
3.1.2 树的基本概念	42
3.2 基尔霍夫方程的独立性	44
3.3 支路电流法和支路电压法	45
3.3.1 2b 法	45
3.3.2 支路电流法	46
3.3.3 支路电压法	46
3.4 网孔分析法	47
3.5 节点分析法	51
3.6 回路分析法	55
*3.7 割集分析法	59
3.8 含运算放大器的电阻电路的分析	65
本章小结	68
习题	69
第4章 电路的基本定理	72
4.1 叠加定理和齐次定理	72
4.1.1 叠加定理	72
4.1.2 齐次定理	75
4.2 替代定理	77
4.3 戴维南定理和诺顿定理	79
4.3.1 戴维南定理	79
4.3.2 诺顿定理	87
4.4 最大功率传递定理	90
*4.5 特勒根定理	91
*4.6 互易定理	94
4.7 对偶原理	99
本章小结	100
习题	101
第5章 直流动态电路的分析	105
5.1 动态元件	105
5.1.1 电容元件	105
5.1.2 电感元件	110
5.2 微分方程的求解	114
5.3 一阶电路的分析	117
5.3.1 一阶电路的零输入响应	117
5.3.2 一阶电路的零状态响应	121
5.3.3 一阶电路的全响应	124
*5.4 一阶电路的阶跃响应和冲激响应	130

5.4.1 一阶电路的阶跃响应	130
5.4.2 一阶电路的冲激响应	131
5.5 二阶电路的分析	134
5.5.1 二阶串联电路的零输入响应	134
5.5.2 二阶串联电路的完全响应	139
5.5.3 二阶并联电路的响应	141
5.6 动态电路的应用	143
5.6.1 微分电路	143
5.6.2 积分电路	144
5.6.3 耦合电路	145
本章小结	146
习题	147
第6章 交流动态电路的分析	153
6.1 正弦量	153
6.1.1 时变电压和电流	153
6.1.2 正弦电压和电流	154
6.1.3 有效值	154
6.1.4 同频率正弦量的比较	155
6.2 正弦激励下一阶动态电路的分析	157
6.3 复数	159
6.4 相量法基础	161
6.5 用相量法求动态电路的特解	165
本章小结	168
习题	168
第7章 正弦稳态电路的分析	170
7.1 基尔霍夫定律的相量形式	170
7.1.1 基尔霍夫电流 (KCL) 定律的相量形式	170
7.1.2 基尔霍夫电压 (KVL) 定律的相量形式	171
7.2 基本元件的伏安关系式的相量形式	172
7.2.1 线性电阻元件	172
7.2.2 线性电感元件	173
7.2.3 线性电容元件	174
7.3 阻抗、导纳和相量模型	176
7.3.1 阻抗	176
7.3.2 导纳	177
7.3.3 相量模型	178
7.4 正弦稳态电路的分析	180
7.4.1 一般正弦稳态电路的分析	181
7.4.2 单口网络相量模型的等效	183

7.5 正弦稳态电路的功率	188
7.5.1 电阻的平均功率	189
7.5.2 电容的平均功率和平均储能	189
7.5.3 电感的平均功率和平均储能	190
7.5.4 单口网络的有功功率、无功功率、功率因数、视在功率和复功率	191
7.6 最大功率传输	199
本章小结	201
习题	202
第8章 电路的频率响应	207
8.1 多个正弦激励下稳态电路的响应	207
8.2 非正弦周期激励下稳态电路的响应	209
8.3 正弦稳态的网络函数	213
8.4 RLC 电路的频率响应	215
8.5 并联谐振和串联谐振	218
8.5.1 并联谐振	218
8.5.2 串联谐振	219
* 8.6 波特图	221
* 8.7 滤波器	224
8.7.1 低通滤波器	225
8.7.2 高通滤波器	227
8.7.3 带通滤波器	228
8.7.4 带阻滤波器	228
本章小结	229
习题	229
第9章 含有耦合电感的电路分析	233
9.1 耦合电感的伏安关系式	233
9.1.1 耦合电感	233
9.1.2 耦合电感的电路模型以及伏安关系	234
9.1.3 耦合电感的相量形式	236
9.2 含有耦合电感电路的分析	236
9.2.1 耦合电感的串联	236
9.2.2 耦合电感的并联	238
9.3 空心变压器	238
9.4 理想变压器的伏安关系式	240
9.4.1 理想变压器的理想极限条件	240
9.4.2 理想变压器的电路模型及伏安关系	240
9.5 含理想变压器电路的分析	242
9.6 理想变压器的实现	243
本章小结	244

习题	244
第 10 章 三相电路	247
10.1 三相电路	247
10.2 三相电路的连接	248
10.2.1 三相电源的连接	248
10.2.2 三相负载的连接	250
10.3 对称三相电路的计算	251
10.4 不对称三相电路的计算	253
10.5 三相电路的功率	254
* 10.6 安全用电技术简介	255
10.6.1 人体所受伤害的分类	255
10.6.2 触电事故	256
10.6.3 保护接地与保护接零	257
10.6.4 静电防护和电气防火墙防爆	259
本章小结	260
习题	260
第 11 章 双口网络	263
11.1 双口网络	263
11.2 双口网络的伏安关系式	263
11.2.1 双口网络的导纳矩阵和阻抗矩阵及其相互关系	264
11.2.2 双口网络的混合矩阵和传输矩阵	265
11.2.3 各参数矩阵之间的关系	268
11.3 双口网络的等效电路	269
11.3.1 双口网络的等效电路	269
11.3.2 含有受控源的双口网络的等效电路	270
11.4 双口网络的连接	271
11.4.1 双口网络的串联	271
11.4.2 双口网络的并联	272
11.4.3 双口网络的串并联和并串联	272
11.4.4 双口网络的级联	273
本章小结	273
习题	273
* 第 12 章 拉普拉斯变换在电路中的应用	276
12.1 拉普拉斯变换	276
12.1.1 拉普拉斯变换的定义	276
12.1.2 常用信号的拉普拉斯变换	277
12.1.3 拉普拉斯变换的性质	278
12.2 拉普拉斯反变换	279
12.3 线性电路的复频域解法	282

12.3.1 电路元件的复频域形式	282
12.3.2 基尔霍夫定律的复频域形式	284
12.3.3 线性动态电路的复频域分析法	284
本章小结	287
习题	288
* 第13章 非线性电路简介	290
13.1 非线性电阻元件	290
13.1.1 非线性电阻元件的伏安特性曲线	290
13.1.2 非线性电阻元件的串联和并联	292
13.2 非线性电容元件和电感元件	294
13.2.1 非线性电容元件	294
13.2.2 非线性电感元件	295
13.3 非线性电阻电路的分析	295
13.3.1 非线性电阻电路方程的列写	296
13.3.2 非线性电阻电路常用的分析方法	296
本章小结	300
习题	301
第14章 仿真软件 EWB 在电路中的应用	303
14.1 仿真软件 EWB 简介	303
14.1.1 EWB 仿真软件的特点	303
14.1.2 EWB 软件的安装和使用	303
14.1.3 EWB 的主窗口和菜单	304
14.1.4 EWB 软件的仿真方法	306
14.2 EWB 的虚拟仪器	306
14.3 EWB 在电路教学中的应用	308
* 第15章 磁路	316
15.1 磁路的基本物理量	316
15.2 磁路的基本概念	317
15.3 磁路的基本定律	317
15.4 简单磁路的计算	319
本章小结	320
习题	320
附录 中英名词对照	322
参考文献	328

第 1 章 电路的基本概念及基本元件

本章主要内容：本章首先介绍电路模型、电压、电流、功率的概念以及集中电路中电压、电流应遵循的基本定律，然后介绍电阻、电压源、电流源和受控源等电路元件及其电压、电流之间的关系。

1.1 电路与电路模型

1.1.1 电路的组成和作用

电路 (circuit) 是指电流流经的通路，是为了某种需要由一些电气设备或器件按一定的方式连接起来构成的通路。电路种类繁多，应用广泛，在电子信息、通信、自动控制、电力、计算机等领域用来完成各种各样的任务。如电力系统中发电、输电、配电、电力拖动、电热、电气照明等用来完成电能传输和转换的电路；再如电子信息、通信工程等领域中用来对语音、文字、图像等信号进行传输、处理和接收的电路；还有用来完成控制、存储等复杂功能的大规模及超大规模集成电路等。虽然电路形式多种多样，但从电路本质来说，都由电源 (source)、负载 (load) 和中间环节 3 个最基本的部分组成。电源是将化学能、机械能等非电能转换成电能的供电设备，如干电池、蓄电池和发电机等；负载是将电能转换成热能、光能、机械能等非电能的用电设备，如电热炉、白炽灯和电动机等；连接电源和负载的部分，称为中间环节，如导线、开关等。比如我们熟悉的手电筒电路，由电池、灯泡和导电外壳组成；电池把化学能转换成电能供给灯泡，灯泡把电能转换成光能作照明之用，电池和灯泡通过外壳连接起来。

组成电路的器件、设备种类繁多，实际电路的类型以及工作时发生的物理现象千差万别，电路基础课程不探讨每一个实际器件和电路，而是讨论在一定的条件下能准确地反映实际电路及其器件的主要电磁性能的抽象模型 (model)。

1.1.2 电路与电路模型

实际电路工作时，随着电流的流动，电路中总是进行着电能与其他形式能量的相互转换。电路中有电压 (voltage) 就有电场 (electric field)，有电流 (current) 就有磁场 (magnetic field)。电路工作时，电路中和电路周围存在电场和磁场，电场和磁场具有能量，反映

电场储能性质和磁场储能性质的参数 (parameter) 分别是电容 (capacitance) 和电感 (inductance), 反映电路中能量损耗的电路参数 (circuit parameter) 是电阻 (resistance)。由于电场储能、磁场储能以及能量损耗具有连续分布的特性, 所以反映这 3 种能量过程的参数是连续分布的, 存在于电路的任何部分, 即每个实际电路器件都与能量的消耗及电能、磁能的存储现象有关。但电路中在电压和电流频率 (frequency) 不太高的条件下, 即在电路的部件及电路的尺寸远小于电路周围电磁波的波长时, 可忽略电路参数的分布性对电路性能的影响, 近似认为能量损耗、电场储能和磁场储能这 3 种过程分别集中在电阻、电容和电感中进行。这种将实际器件理想化 (模型化), 忽略其次要因素, 只考虑其主要物理性质的理想化元件称为集中 (总) 参数元件 (lumped element), 简称元件。如集中电阻元件 (简称电阻元件或电阻) 反映能量损耗性质 (不储存电场能量和磁场能量); 集中电容元件 (简称电容元件或电容) 反映电场储能性质 (不消耗能量、不储存磁能); 集中电感元件 (简称电感元件或电感) 反映磁场储能性质 (不消耗能量、不储存电能)。集中元件的电磁过程都集中在元件内部进行。将对外具有两个端钮 (如电阻、电容、电感), 在任何时刻从一个端钮流入的电流恒等于从另一个端钮流出的电流, 且流过元件的电流与元件两端的电压具有确定数值关系的元件称为二端元件 (two-terminal element)。

由集中参数元件构成的电路称为集中参数电路 (lumped circuit), 或电路模型, 简称电路。较复杂的电路称为电网络, 简称网络 (network)。在本书中, “电路” 和 “网络” 通用。将集中参数元件用模型符号表示, 画出的图称为电原理图 (电路图)。电路图和元件的尺寸与实际电路和实际器件的尺寸无关。本书只研究集中参数电路。如不特别声明, 本书中提到的电路指集中参数电路, 元件指集中参数元件。

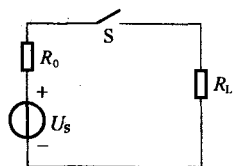


图 1.1 手电筒电路模型

例如我们前面提到的手电筒电路的电路模型如图 1.1 所示。灯泡看成电阻元件 R_L , 干电池看成电压源 U_s 和电阻元件 (内阻) R_0 的串联。

电路模型是实际电路的科学抽象。采用电路模型来分析电路, 不仅计算过程大为简化, 而且能更清晰地反映电路的物理实质。

1.2 电路的基本变量

电路分析的主要目的是分析电路模型, 得出电路的电性能, 电性能常用一组随时间变化的量——变量 (variable) 来描述。电流、电压和功率是最基本的变量。因此, 分析求解这些变量成为电路分析的主要任务。

1.2.1 电流

1. 电流的概念

带电粒子有秩序地移动形成电流。电流的大小用电流强度来衡量。电流强度 (简称电流) 指单位时间内通过导体横截面的电量。电流用 i 或 I 表示。

$$i = dq/dt \quad (1-1)$$

式中, q 表示电量, 单位为库仑 (用字母 C 表示)。电流的单位是安培 (简称安, 用 A 表示), $1\text{A} = 1\text{C/s}$ 。

电流的方向规定为正电荷移动的方向。大小和方向都不随时间的变化而变化的电流称为恒定电流 (直流电流), 简称直流 (direct current, dc 或 DC)。大小或方向随时间变化而变化的电流称为交变电流, 简称交流 (alternating current, ac 或 AC)。电路中一般用小写字母笼统地表示直流或交流变量, 而用大写字母表示直流量。

2. 电流的参考方向

电流的方向是客观存在的, 但在分析较复杂的直流或交流电路时, 事先难以确定电流的真实方向。所以分析计算时, 在计算之前先任意选定某一方向作为电流的参考方向 (reference direction) (假设方向、标出方向), 将参考方向用带方向的箭头标于电路图中, 在参考方向之下计算电流。若电流的计算结果为正值, 表明电流的真实方向与参考方向一致; 若计算结果为负值, 表明电流的真实方向与参考方向相反。

例如, 图 1.2 (a) 是电路的一部分, 方框用来泛指元件。计算流过元件的电流时, 先假设参考方向为 $a \rightarrow b$, 如图 1.2 (b) 所示, 在此参考方向之下计算电流, 若值为 1A , 表明实际方向与参考方向一致, 即电流的实际方向由 a 流向 b ; 若计算的电流值为 -1A , 表明实际方向与参考方向相反, 即电流的实际方向由 b 流向 a 。若假设参考方向为 $b \rightarrow a$, 如图 1.2 (c) 所示, 计算结果将正好与图 1.2 (b) 的计算结果相差一个负号。

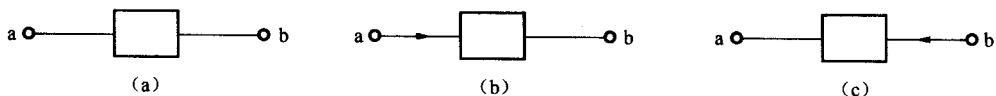


图 1.2 电流的计算

参考方向一经设定, 在计算过程中便不再改变。参考方向与电流的正、负号相结合可表明电流的真实方向。所以在参考方向之下计算出结果后不必另外指明真实方向。在没有假设参考方向的前提下, 直接计算得出的电流值的正、负号没有意义。

1.2.2 电压

1. 电压的概念

电压也叫电位差, 如图 1.3 所示, 图中 M 为部分电路, a 、 b 两点之间的电压为单位正电荷由高电位点 a 转移到低电位点 b 时电场力所做的功, 用 u 或 U 表示。

$$u = dw/dq \quad (1-2)$$

式中, w 代表能量, 单位为焦耳 (用字母 J 表示)。正电荷从 a 点转移到 b 点过程中电场力做功时, u 为“正”, 即 a 点为高电位“+”端, b 点为低电位“-”端。正电荷从 a 点转移到 b 点过程中外力做功时, u 为“负”, 即 a 点为低电位“-”端, b 点为高电位“+”端。电压的单位是伏特 (简称伏, 用字母 V 表示)。

电压的极性 (方向) 规定为电压降低的方向, 即由高电位 (“+”极性) 端指向低电

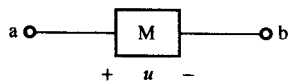


图 1.3 电压的定义

位（“-”极性）端。如果电压的大小和方向不随时间变化而变化，这样的电压称为恒定电压（直流电压）；如果电压的大小或方向随时间变化而变化，这样的电压称为交变电压（交流电压）。

2. 电压的参考极性

同样，电压的真实极性在计算之前也很难确定，与电流的参考方向类似，电压也可以假定参考极性（参考方向）。计算之前，在电压参考极性的高电位端标“+”号，在参考极性的低电位端标“-”号，如图 1.4 所示。为了图示方便，也可用一个箭头表示电压的参考极性，如图中由 a 指向 b 的箭头，箭头方向表示电压降的参考方向。另外还可用双下标形式，如 u_{ab} 表示 a、b 之间的电压降，即 a 为参考“+”端，b 为参考“-”端，显然有 $u_{ab} = -u_{ba}$ 。在参考极性下计算电压时，若计算值为正，说明实际极性与参考极性相同，若计算值为负，说明实际极性与参考极性相反。

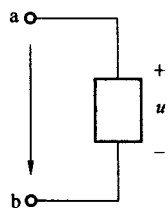


图 1.4 电压参考极性的表示方法

例如，如图 1.5 (a) 所示是电路的一部分，方框用来泛指元件，计算元件两端电压时，首先标出电压的参考极性。参考极性可以任意假定，设 a 为参考极性“+”端，b 为参考极性“-”端，如图 1.5 (b) 所示，在此参考极性之下计算电压，若计算得出电压 $u = 1V$ ，表明实际极性与参考极性相同，若计算得出 $u = -1V$ ，表明实际极性与参考极性相反。

若 b 为参考极性“+”端，a 为参考极性“-”端，如图 1.5 (c) 所示，计算得出的数值将与图 1.5 (b) 参考极性之下的值相差一个负号。

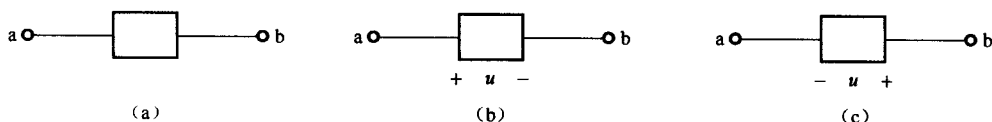


图 1.5 电压的计算

与电流的参考方向类似，电压的参考极性一经设定，在计算过程中便不再改变。同样，参考极性与电压的正、负号相结合可以表明电压的真实极性。所以计算出结果后不必另外指明真实极性。同样，在没有假设参考极性的前提下，直接计算得出的电压值的正、负号没有意义。

1.2.3 关联参考方向

电压和电流的参考方向可以独立地任意假定，当电流的参考方向从标以电压参考极性的“+”端流入而从标以电压参考极性的“-”端流出时，如图 1.6 (a) 所示，称电流与电压为关联参考方向（associated reference directions）；而当电流的参考方向从标以电压参考极

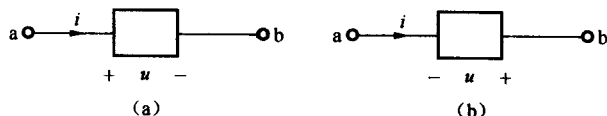


图 1.6 参考方向的关联

性的“-”端流入，而从标以电压参考极性的“+”端流出时，如图1.6(b)所示，称电流与电压为非关联参考方向。为了计算方便，常采用关联参考方向。

1.2.4 功率

功率(power)和能量是电路中的重要变量，电路在正常工作时常伴随着电能与其他形式能量的相互转换。器件或设备在使用时都有功率的限制，不能超过额定值，否则会损坏。

如图1.7所示，方框表示一段电路，当正电荷从该段电路的电压“+”端a运动到“-”端b时，电场力对电荷做功，电路吸收能量；当正电荷从电压“-”端b运动到“+”端a时，电场力对电荷做负功，电路向外释放能量。

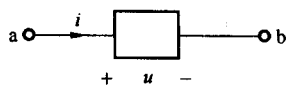


图1.7 电路的功率

在 $t_0 \rightarrow t$ 时间内，电路吸收的能量为

$$w = \int_{q(t_0)}^{q(t)} u dq$$

单位时间内电路所吸收或释放的能量称为功率。如图1.7所示的电路吸收的功率为

$$p(t) = \frac{dw(t)}{dt} = u(t) \frac{dq(t)}{dt}$$

再由式(1-1)得

$$p(t) = u(t)i(t) \quad (1-3)$$

当电压的单位为伏特(V)、电流的单位为安培(A)时，功率的单位为瓦特(W)。

式(1-3)系按实际方向推导得出，又由图1.7可见，实际方向符合电压、电流关联参考方向。在应用时， u 、 i 可任意单独假设方向，当 u 、 i 为关联参考方向时， $p(t) = u(t)i(t)$ 表示电路(或元件)吸收的功率，若实际计算出 $p > 0$ ，表示确实吸收功率，若 $p < 0$ ，表示实际产生功率(释放功率)。当 u 、 i 为非关联参考方向时，功率表示式 $p(t) = u(t)i(t)$ 表示电路(或元件)产生的功率，若实际计算出 $p > 0$ ，表示元件确实产生功率，若计算出 $p < 0$ ，表示元件实际吸收功率。若一段电路(或元件)吸收的功率为10W，也可说产生的功率为-10W，两种说法等效。

为方便起见，当 u 、 i 为非关联参考方向时，功率表示式可用 $p(t) = -u(t)i(t)$ 计算。计算出 $p > 0$ ，表示实际吸收功率，计算出 $p < 0$ ，表示实际产生(释放)功率。

例1-1 电路如图1.8所示，(1)如图1.8(a)中，若 $i = 1\text{A}$ ， $u = 3\text{V}$ ，求元件吸收的功率 p ；(2)如图1.8(b)中，若 $i = 1\text{A}$ ， $u = 3\text{V}$ ，求元件吸收的功率 p 。

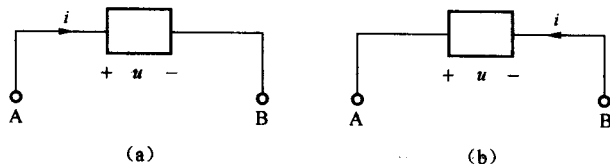


图1.8 例1-1图

解 (1) 由图1.8(a)知，元件的电压与电流为关联参考方向，吸收的功率为

$$p = ui = 3\text{W}$$

(2) 由图1.8(b)知，元件的电压与电流为非关联参考方向，产生的功率为

$$p = ui = 3\text{W}$$

表明吸收的功率为 -3W 。

吸收的功率也可用下式计算：

$$p = -ui = -3\text{W}$$

例 1-2 在图 1.9 所示电路中，已知： $U_1 = 20\text{V}$ ， $I_1 = 2\text{A}$ ， $U_2 = 10\text{V}$ ， $U_3 = 10\text{V}$ ， $I_3 = -3\text{A}$ ， $I_4 = -1\text{A}$ ，试求图中各元件的功率。

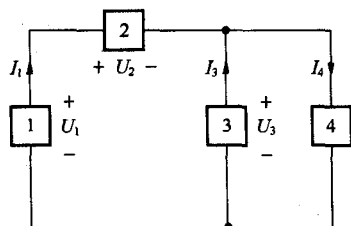


图 1.9 例 1-2 图

解 元件 1 的电压与电流为非关联参考方向，吸收的功率为

$$P_1 = -U_1 I_1 = -20 \times 2\text{W} = -40\text{W}$$

元件 2 的电压与电流为关联参考方向，吸收的功率为

$$P_2 = U_2 I_2 = 10 \times 2\text{W} = 20\text{W}$$

元件 3 的电压与电流为非关联参考方向，吸收的功率为

$$P_3 = -U_3 I_3 = -10 \times (-3)\text{W} = 30\text{W}$$

元件 4 的电压与电流为关联参考方向，吸收的功率为

$$P_4 = U_4 I_4 = 10 \times (-1)\text{W} = -10\text{W}$$

元件 1 和元件 4 吸收的功率为负，说明它们实际产生功率；元件 2 和元件 3 吸收功率为正，实际确为吸收功率。可见，元件产生的功率之和等于元件吸收的功率之和，此结论对所有的电路均成立，符合能量守恒定律，称为功率守恒，记为

$$\sum P = 0$$

上面介绍了电压、电流、功率等变量，使用的都是国际单位制 (SI)，在实际使用这些单位时，有时太大，有时太小。为了方便，常常在这些单位之前加上一个以 10 为底的正幂次或负幂次的词头，构成辅助单位。常用的国际单位制规定的词头如表 1.1 所示。

表 1.1 部分常用国际制词头

倍 率	词 头 符 号	词 头 名 称	
		法 文	中 文
10^9	G	giga	吉
10^6	M	mega	兆
10^3	k	kilo	千
10^{-3}	m	milli	毫
10^{-6}	μ	micro	微
10^{-9}	n	nano	纳
10^{-12}	p	pico	皮

1.3 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律 (Kirchhoff's Law) 是集中电路的基本定律，包括基尔霍夫电流定律