

普通高等院校电子信息类“十二五”规划教材

# 工程电路分析

GONGCHENG DIANLU FENXI

主 编 章家岩 郎佳红  
副主编 杨 金 王 彦



國防工業出版社

National Defense Industry Press

普通高等院校电子信息类“十二五”规划

# 工程电路分析

主 编 章家岩 郎佳红  
副主编 杨 金 王 彦

国防工业出版社

·北京·



## 内 容 简 介

本书共分为 13 章,分别是电路模型和电路定律、电阻电路的等效变换、电阻电路的一般分析方法、电路定理、正弦稳态电路分析、三相电路、耦合电感电路、非正弦周期信号电路的稳态分析、动态电路的时域分析、线性动态电路的复频域分析、二端口网络及多端元件、电路方程的矩阵形式、非线性电路分析基础等。各章附有一定例题、习题,书末附有各章主要习题的参考答案。

本书选材新颖、结构合理、时代感强,着力培养学生的分析计算能力、理论联系实际工程思维,既可作为电类工科专业的专业基础课教材,也可作为相关专业工程技术人员的学习和参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程电路分析/章家岩,郎佳红主编. —北京:国防工业出版社,2013.7

普通高等院校电子信息类“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-118-08760-4

I. ①工... II. ①章... ②郎... 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(2013)第 139144 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

涿中印刷厂印刷  
新华书店经售

\*

开本 787 × 1092 1/16 印张 21 $\frac{3}{4}$  字数 498 千字  
2013 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 42.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

# 前 言

“电路理论”是高等院校中电气工程、电子工程、信息工程、控制系统、计算机、微电子系统等专业的一门十分重要的专业基础课,具有较强的理论性、工程应用背景,是工科相关专业本科生必须具备的知识结构。

随着“985工程”和“211工程”的实施,推动了高水平大学和重点学科的建设,然而高校规模的高速扩大,导致不少学校的专业设置、师资队伍、教学实验条件与教材资源、课程教学出现了一定的非适应性。高校教材,作为教学改革成果和教学经验的结晶,其质量问题自然备受关注。目前我国高校使用的一些电路教材,大多是根据传统的教学方法、思维和理念编写的,内容多,信息量大。任课教师需要根据学校、社会需求以及学生特点进行删减和补充教学内容,这在一定程度上影响了电路基础内容的教学,给教学工作带来了一些困难。因此,编写一本基本概念、基本定律和基本方法完整,内容深入浅出、重点突出、详略得当、突出应用,利于教师教学和学生学习的适用性强的教材是十分必要的。在许多高校电路课程学时压缩的情况下,如何在较短的时间内完成电路分析基本知识的学习,对这门课程的教学提出了更高的要求,需要在教学内容、教学方法与手段、教材内容编写等多方面进行改进。为此,我们根据多年教学经验和体会,遵循“以实用为主,理论够用为度”的原则,组织多位长期在高校担任本课程教学的教师参加编写了本教材。

编写的目的就是要通过本课程的学习,使学生更好地掌握电路中的基本概念、基本分析方法,培养学生科学思维能力、分析计算能力和理论联系实际的工程观点,激发学生的学习兴趣,增加理论应用与工程意识,提高创新性思维,为后继课程和将来从事电子技术及相关方面的工作打下良好的基础。

本教材参考学时为72~80学时。其中加“\*”部分为选学内容。为便于教学,每章开首有内容提要 and 基本要求,每章末附有一定数量习题,本书末还附有主要习题的答案,方便学生的参考。

本书由安徽工业大学电子电路教研室章家岩教授负责全书的策划、统审工作,并编写了第十章。另外,参与本书编写的教师还有,安徽工业大学郎佳红(第五章、第六章、第十三章)、王彦(第一章、第四章),任明凡(第二章、第七章);安徽师范大学汪慧兰(第三章、第八章),淮北师范大学杨金(第九章、第十一章、第十二章),另外,安徽工业大学乔莹老师也参与了第九章的编写和全书的校订工作。

由于编者水平有限,错误和不妥之处恳请广大读者批评指正。

编者

2012年11月

# 目 录

<b>第一章 电路模型和电路定律</b> .....	1
1.1 实际电路和电路模型 .....	1
1.2 电路基本变量 .....	3
1.2.1 电流及其参考方向 .....	3
1.2.2 电压及其参考方向 .....	4
1.2.3 关联参考方向 .....	6
1.2.4 电功率和能量 .....	6
1.3 理想电路元件 .....	8
1.3.1 电阻元件 .....	8
1.3.2 电压源和电流源(独立电源) .....	10
1.4 受控源 .....	12
1.5 基尔霍夫定律 .....	14
1.5.1 几个概念 .....	14
1.5.2 基尔霍夫电流定律(KCL) .....	15
1.5.3 基尔霍夫电压定律(KVL) .....	16
习题 .....	18
<b>第二章 电阻电路的等效变换</b> .....	22
2.1 单端口网络及等效概念 .....	22
2.2 电阻串联—并联和 $\Delta$ —Y的等效变换 .....	23
2.2.1 电阻的串联与并联 .....	23
2.2.2 电阻的Y形与 $\Delta$ 形连接及它们间的相互转换 .....	24
2.3 含受控源单端口网络的等效电阻 .....	27
*2.4 等效电阻的常见解题技巧 .....	28
2.5 有源单端口网络的等效变换 .....	30
习题 .....	32
<b>第三章 电阻电路的一般分析方法</b> .....	35
3.1 电路图论的基本概念 .....	35
3.2 KCL和KVL的独立方程 .....	39
3.3 支路电流法 .....	41
3.4 网孔电流法与回路电流法 .....	45

3.5	节点电压法	51
*3.6	含运算放大器的电阻电路的分析	55
	习题	59
<b>第四章</b>	<b>电路定理</b>	<b>63</b>
4.1	齐性定理	63
4.2	叠加定理	64
4.3	替代定理	66
4.4	戴维南定理和诺顿定理	67
4.4.1	戴维南定理	68
4.4.2	诺顿定理	70
4.5	最大功率传输功率	73
4.6	特勒根定理	75
4.7	互易定理	76
4.8	对偶定理	79
	习题	80
<b>第五章</b>	<b>正弦稳态电路分析</b>	<b>84</b>
5.1	电容元件与电感元件	84
5.1.1	电容元件	84
5.1.2	电感元件	88
5.1.3	电容、电感元件的串联与并联	91
5.2	正弦量有关概念	93
5.2.1	正弦量有关概念	93
5.2.2	正弦量的有效值	95
5.3	正弦量的相量	96
5.3.1	复数及其描述形式	96
5.3.2	相量法基础	98
5.3.3	电工常用仪表	100
5.4	电路定律的相量形式	102
5.5	阻抗与导纳	104
5.6	相量图及其应用	107
5.7	正弦稳态电路相量分析方法	110
5.8	正弦稳态电路的功率分析	112
5.8.1	平均功率	112
5.8.2	无功功率	114
5.8.3	复功率	115
5.8.4	正弦稳态最大功率传输	115
5.9	频率响应与谐振电路	118

5.9.1 频率响应 .....	118
5.9.2 $RLC$ 串联谐振电路 .....	120
5.9.3 $RLC$ 并联谐振电路 .....	122
5.10 工程应用介绍功率因数的提高 .....	124
习题 .....	127
<b>第六章 三相电路</b> .....	<b>133</b>
6.1 三相电路的基本知识 .....	133
6.1.1 三相电源与三相负载 .....	133
6.1.2 线电压(电流)与相电压(电流)关系 .....	136
6.2 对称三相电路的分析计算 .....	137
6.2.1 $Y-Y$ 形对称三相电路 .....	137
6.2.2 $\Delta-\Delta$ 形对称三相电路 .....	139
6.2.3 复杂对称三相电路分析与计算 .....	140
6.3 不对称三相电路的分析计算 .....	142
6.4 三相电路的功率与测量 .....	145
6.5 工程应用介绍 .....	149
习题 .....	150
<b>第七章 耦合电感电路</b> .....	<b>154</b>
7.1 耦合电感的概念 .....	154
7.2 含耦合电感电路的分析 .....	157
7.2.1 耦合电感的串联 .....	157
7.2.2 耦合电感的并联 .....	158
7.2.3 耦合电感的三端连接 .....	159
7.3 空芯变压器电路的分析 .....	162
7.4 全耦合变压器及理想变压器 .....	166
7.5 工程应用介绍 .....	170
7.5.1 自耦变压器 .....	170
7.5.2 电流互感器和电压互感器 .....	171
7.5.3 电焊变压器 .....	172
习题 .....	174
<b>第八章 非正弦周期信号电路的稳态分析</b> .....	<b>178</b>
8.1 非正弦周期信号 .....	178
8.1.1 常见非正弦周期信号及产生原因 .....	178
8.1.2 非正弦周期信号的谐波分析 .....	178
8.1.3 周期信号的频谱 .....	182
8.2 非正弦周期信号的有效值、平均值和平均功率 .....	182
8.2.1 有效值 .....	182

8.2.2	平均值	183
8.2.3	平均功率	184
8.3	非正弦周期信号电路的分析计算	185
	习题	186
<b>第九章</b>	<b>动态电路的时域分析</b>	188
9.1	动态电路暂态过程的基本概念	188
9.2	动态电路方程的建立及初始条件的计算	189
9.2.1	电路微分方程	190
9.2.2	换路定则	190
9.2.3	独立与非独立初始值的计算	191
9.3	一阶电路的零输入响应	193
9.3.1	一阶 $RC$ 电路的零输入响应	193
9.3.2	一阶 $RL$ 电路的零输入响应	196
9.4	一阶电路的零状态响应	199
9.4.1	直流激励下 $RC$ 电路的零状态响应	199
9.4.2	直流激励下 $RL$ 电路的零状态响应	201
9.5	一阶电路的全响应及三要素公式法	203
9.5.1	全响应及其分解	203
9.5.2	三要素法	205
9.5.3	正弦激励下一阶电路的响应	210
9.6	一阶电路的阶跃响应	213
9.6.1	阶跃函数	213
9.6.2	阶跃响应	215
9.7	一阶电路的冲激响应	216
9.7.1	冲激函数	216
9.7.2	冲激响应	217
9.8	二阶动态电路的时域分析	221
9.8.1	二阶电路的零输入响应	221
9.8.2	二阶电路的零状态响应	226
9.8.3	二阶电路的全响应	227
9.9	工程应用介绍	229
<b>第十章</b>	<b>线性动态电路的复频域分析</b>	234
10.1	拉普拉斯变换与拉普拉斯逆变换	234
10.2	拉普拉斯变换的基本性质	235
10.3	拉普拉斯逆变换的部分分式展开法	238
10.4	元件方程及电路定律的运算形式	241
10.5	动态电路暂态响应复频域分析	243



习题	245
<b>第十一章 二端口网络及多端元件</b>	<b>249</b>
11.1 二端口网络基本概念	249
11.2 二端口网络的参数及方程	250
11.2.1 $Z$ 参数方程(开路阻抗参数方程)	250
11.2.2 $Y$ 参数方程(短路导纳参数方程)	254
11.2.3 $T$ 参数方程(传输参数及方程)	256
11.2.4 $H$ 参数及方程(混合参数及方程)	258
11.3 二端口网络的等效电路	260
11.3.1 互易二端口的等效电路	260
11.3.2 非互易二端口的等效电路	262
11.4 端接二端口网络的分析	263
11.4.1 输入阻抗	264
11.4.2 输出阻抗	265
11.4.3 开路电压	265
11.4.4 电压增益函数	266
11.4.5 电流增益函数	266
11.5 复合二端口网络	269
11.5.1 二端口网络的级联	269
11.5.2 二端口网络的串联	270
11.5.3 二端口网络的并联	271
*11.5.4 二端口网络有效性连接的判定方法	274
*11.6 回转器和负阻抗变换器	275
11.6.1 回转器	275
11.6.2 负阻抗变换器	276
习题	277
<b>第十二章 电路方程的矩阵形式</b>	<b>281</b>
12.1 电路拓扑矩阵	281
12.1.1 割集	281
12.1.2 关联矩阵	282
12.1.3 回路矩阵	284
12.1.4 割集矩阵	286
*12.1.5 矩阵 $A, B_f, Q_f$ 的关系	288
12.2 节点电压方程的矩阵形式	289
12.3 回路电流方程的矩阵形式	296
12.4 割集电压方程的矩阵形式	298
习题	300

* 第十三章 非线性电路分析基础 .....	303
13.1 非线性元件 .....	303
13.1.1 非线性电阻元件 .....	303
13.1.2 非线性电容元件 .....	305
13.1.3 非线性电感元件 .....	307
13.2 非线性电阻电路分析 .....	308
13.2.1 非线性电路方程 .....	308
13.2.2 小信号分析法 .....	310
13.2.3 分段线性化分析 .....	312
13.3 二极管电路分析 .....	313
13.3.1 二极管电路分析 .....	313
13.3.2 二极管折线段模型 .....	314
13.3.3 二极管小信号等效模型 .....	315
13.4 工程应用介绍 .....	316
习题 .....	318
附录 A E-24 系列和 E-96 系列电阻标称值 .....	322
附录 B 部分习题答案 .....	325
参考文献 .....	336

# 第一章 电路模型和电路定律

## ◇——基本要求——◇

- ◇ 理解电压、电流参考方向的概念。
- ◇ 熟练应用关联和非关联参考方向下电压电流的约束关系,计算电路吸收或发出功率。
- ◇ 掌握电阻、独立源、受控源等电路元件特点、伏安特性。
- ◇ 牢固掌握基尔霍夫定律,熟练应用基尔霍夫定律分析基本电路。

## ◇——内容提要——◇

本章首先通过实际电路应用引出电路模型的概念,接着介绍了电压、电流参考方向的概念及其表示形式,电路元件吸收、发出功率的表达式及其计算方法。其后介绍了主要电路元件及其伏安特性。最后介绍了分析电路元件或元件间的约束关系,主要有:电压电流关系 VCR;集总参数电路的基本定律,即基尔霍夫定律,其包括基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律,并应用相关约束关系解析相关电路。

## 1.1 实际电路和电路模型

俗话说,“有了电,真方便”。如今电的运用遍及到日常生活、工农业生产、科学研究、国防等方方面面。在人们的日常生活中难免会遇到这样那样的实际电路,针对实际电路的共同属性不难得出它们一般的共同点。实际电路是为完成某种实际需要而设计、安装、运行的,由电路元器件通过导线连接而成,具有电能传输、处理信号与计算、测量与控制、信息存储等功能。电路虽然多种多样,功能也各不相同,但它们是受到共同的基本规律支配的。正是在这样共同规律的基础上,形成了“电路理论”这一学科。

实际电路中使用各种电气、电子元器件,如干电池、蓄电池、发电机、电阻器、电感线圈、电容器、晶体管、MOS 管以及用电负载等。虽然实际电路元件种类繁多,技术指标、大小尺寸、形状特性千差万别,但它们在电磁方面有许多的共性。比如,电阻器、白炽灯、电炉等,它们主要消耗电能;其电流变化时周围伴随有微弱的电磁场的变化;各种电容、电感主要储存电场能量,也会消耗少许热量;各种干电池、蓄电池、信号发生器,主要维持稳定的电压,但是内部也会因发热而消耗少量能量。

为了能够用数学方法从理论上分析电路的主要性能,需要在一定条件下按电路元件主要性质理想化,使得每一种理想电路元件具有单一的严格的数学定义,体现单一的电磁

现象。用理想电路元件或它们的组合模拟实际电路,按照不同准确度的要求把给定工作情况下的实际电路的主要物理现象和功能反映出来,这个过程就是为实际电路建模,从而得到电路模型。在不同的工作情况下,同一实际器件可能有不同的模型。模型选取恰当,对电路进行分析计算结果就与实际情况接近。模型选取不恰当,则会致使分析计算结果出现很大误差,甚至出现错误。理想的电路元件主要有以下几类,如图 1-1 所示。

### 1. 理想的负载元件

电阻元件,只消耗电磁能量,将电能转换为其他形式的能量。其符号如图 1-1(a) 所示。

电容元件,只存储电场能量,不存储磁场能量,也不消耗电磁能量。其符号如图 1-1(b) 所示。

电感元件,与理想电容元件一样,只存储磁场能量,不存储电场能量,也不消耗电磁能量。其符号如图 1-1(c) 所示。

### 2. 理想的电源元件

独立电压源,两端的电压不因所接负载的多少而变化,始终保持规定值。其电路符号如图 1-1(d) 所示。

独立电流源,其提供的电流不因所接负载的多少而变化,始终保持规定值。其电路符号如图 1-1(e) 所示。

### 3. 理想的耦合元件

此类元件包括受控源、耦合电感、变压器和回转器。

理想负载元件和理想电源元件皆为二端子元件,理想耦合元件为四端子元件。

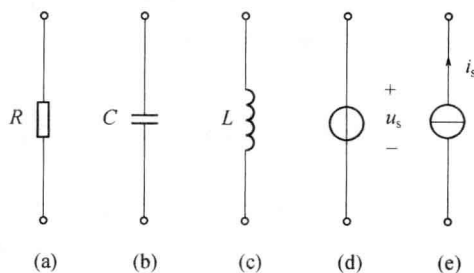


图 1-1 电路元件

在电路理论中,用电阻、电感、电容、电压源、电流源等理想电路元件组成的电路称为电路模型,这种电路模型又称为集总参数电路。由电路模型分析计算结果是实际电路情况的近似,但一定要把实际电路的主要性质和功能要反映出来。图 1-2(a) 所示为干电池、小灯泡、开关和实际导线组成的照明电路,图 1-2(b) 则是该照明电路的电路模型。

建立电路模型时,应当根据电路的实际工作条件和工程精度要求,对实际元件选取合适的电路模型。一个用金属导线绕制而成的实际线圈在不同的条件下其理想模型是不一样的,例如在低频电路中,其所表现的电磁性能主要是储存磁能,其电路模型为理想电感;若应用在高频电路中,需要考虑到线圈的电能消耗,此时可以选取理想电感和理想电阻的串联作为模型;若应用在超高频的电路中,还需考虑线圈表现的电容效应,此时选取理想电感与理想电阻串联再与理想电容并联的模型,具体情况如图 1-3 所示。

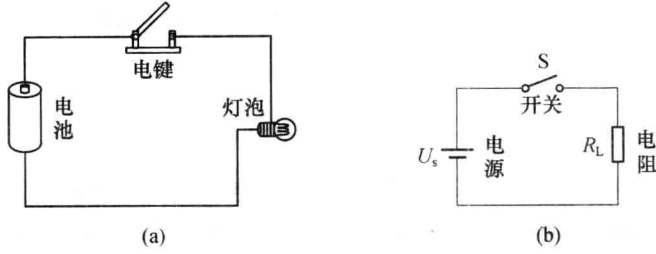


图 1-2 实际电路与电路模型

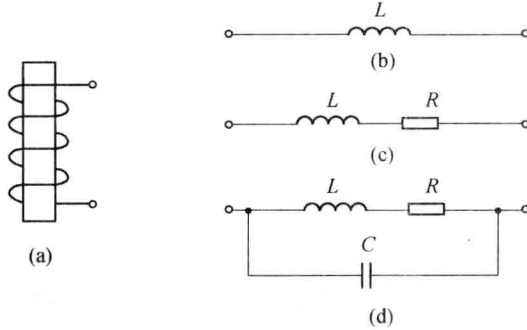


图 1-3

(a) 实际电感; (b) 低频模型; (c) 高频模型; (d) 超高频模型。

本书讨论的对象不是平时所看得见,切实感受到其功能或作用的实际电路(装置),而是对实际电路经过抽象所得的由理想元件连接而成的模型电路。实际电路的电路模型取得恰当,对电路的分析和计算结果就与实际情况接近。当然如果模型太复杂就会造成分析的困难;如果模型太简单,又不足以反映所需求解的真实情况。

## 1.2 电路基本变量

电路理论中涉及的物理量主要有电流( $I$ )、电压( $U$ )、电荷( $Q$ )、磁通( $\Phi$ )、电功率( $P$ )和电磁能量( $W$ )。这几个主要物理量的单位见表 1-1。

表 1-1 主要物理量单位与换算关系

变量名称	主要单位	单位换算关系
电流	$\mu\text{A}$ 、 $\text{mA}$ 、 $\text{A}$ 、 $\text{kA}$	$1\text{kA} = 10^3\text{A}$ 、 $1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$ 、 $1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$
电压	$\mu\text{V}$ 、 $\text{mV}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{kV}$	$1\text{kV} = 10^3\text{V}$ 、 $1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}$ 、 $1\mu\text{V} = 10^{-6}\text{V}$
功率	$\text{mW}$ 、 $\text{W}$ 、 $\text{kW}$	$1\text{kW} = 10^3\text{W}$ 、 $1\text{mW} = 10^{-3}\text{W}$ 、 $1\mu\text{W} = 10^{-6}\text{W}$
磁通(链)	$\text{Wb}$ 、 $\text{V}\cdot\text{s}$ 、 $\text{Mx}$	$1\text{Wb} = 1\text{V}\cdot\text{s}$ 、 $1\text{Wb} = 10^8\text{Mx}$

### 1.2.1 电流及其参考方向

带电粒子有规则的定向运动形成电流,所以,它是既有大小又有方向的物理量,并规

定正电荷的运动方向为电流的实际方向。电流强度是指单位时间内通过导体横截面的电荷量,其表达式如下:

$$i(t) = \lim_{\Delta t} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt} \quad (1-1)$$

为了便于对电路的分析和相关计算,需要假定电流的流向,即参考方向。该方向不是实际方向,可能与实际方向相同,也可能与实际方向相反。如果在假定方向下,电流为正值,则表明电流参考方向与实际方向一致;电流为负值,则表明与实际方向相反。

电流参考方向的表示,主要有两种,一种是箭头法,见图 1-4(a),另一种是下标法,见图 1-4(b)。

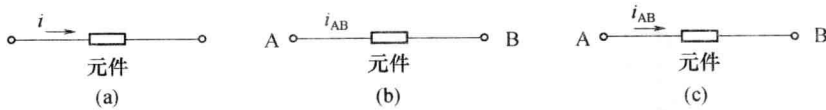


图 1-4 电流参考方向表示方法

若用箭头表示,电流的参考方向为箭头的所指方向;用双下标表示,如  $i_{AB}$ , 电流的参考方向是 A 指向 B 的方向。有时是这两种方法混合表示电流的参考方向,如图 1-4(c) 所示。

需要指出的是,电流的参考方向是假定的,指定参考方向的用意是把电流看成代数量。在指定的电流参考方向下,电流值的正和负就可以反映出电流的实际方向。

### 1.2.2 电压及其参考方向

电压  $U$ , 物理含义表示单位正电荷  $q$  从电路中一点移至另一点时电场力做功 ( $W$ ) 的大小,即两点之间的电位之差。即

$$U = \frac{dW}{dq} \quad (1-2)$$

比如,电场中某两点 A、B 间的电压(降)  $U_{AB}$  等于将正电荷  $q$  从 A 点移至 B 点电场力所做的功  $W_{AB}$  与该电荷  $q$  的比值。电压的实际方向就是电压真正降低的方向。但是在电压的分析和计算中,并不知道电压真正降低的方向,那么假定电压参考方向就显得很必要。电压参考方向的表示主要有三种方法,如图 1-5 所示。

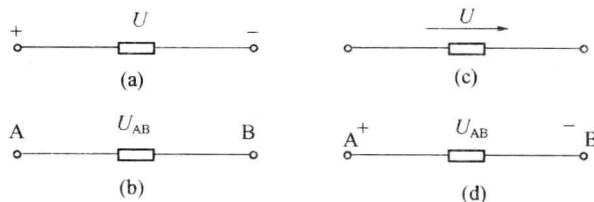


图 1-5 电压参考方向表示方法

- (1) 用正负极性表示,表示电压参考方向由 + 指向 -, 如图 1-5(a) 所示。
- (2) 用双下标表示,如  $U_{AB}$ , 表示电压参考方向由 A 指向 B, 如图 1-5(b) 所示。

(3) 用箭头表示,箭头的指向为电压的参考方向,如图 1-5(c)所示。

电压的参考方向也可以用以上三种表示方法的组合来表示电压参考方向,如图 1-5(d)所示,采用了极性和下标的混合方式表示电压参考方向。

电压参考方向是人为假定的方向,不代表实际方向,与实际方向可能一致,也可能相反。当两者方向相同时,电压大于零,反之电压小于零,如图 1-6 所示。

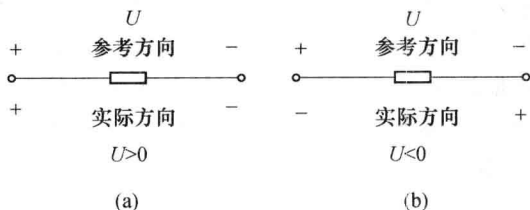


图 1-6 电压参考方向与实际方向关系

需要说明的是,电压的参考方向可以任意指定;指定参考方向的用意是把电压看成代数量。在指定的电压参考方向下,电压值的正和负就可以反映出电压的实际方向。

在电路理论分析中,有时用到电位的概念。为了电路分析的方便,常在电路中选定某一点为参考点,电路中任一点到参考点的电压就称为该点的电位。参考点的电位为零,所以,参考点也称为零电位点,电位的单位与电压一样,为伏特(V)。电路中电位参考点可任意选择;参考点一经选定,电路中各点的电位值就是唯一的;当选择不同的电位参考点时,电路中各点电位值将改变,但任意两点间电压保持不变。需要指出的是,若某两点为等电位点,在电路分析中,该两点可以看成短路也可以看成开路,这样处理既不影响电路计算的结果,而且非常方便。

**【例 1-1】**如图 1-7 所示,已知 4C 正电荷由 a 点均匀移动至 b 点电场力做功为 8J,由 b 点移动到 c 点电场力做功为 12J。求:(1) 若以 c 点为参考点,求 a、b、c 点的电位和电压  $U_{ac}$ 、 $U_{bc}$ ; (2) 若以 b 点为参考点,再求以上各值。

解:由题意得

$$U_{ab} = \frac{dW}{dq} = \frac{8}{4} = 2V, U_{bc} = \frac{dW}{dq} = \frac{12}{4} = 3V$$

(1) 以 c 点为电位参考点:

$$U_{ac} = U_{ab} + U_{bc} = 2 + 3 = 5V, U_{bc} = 3V$$

a、b、c 三点相对于参考点的电位分别为  $U_a = 5V$ 、 $U_b = 3V$ 、 $U_c = 0V$ 。

(2) 以 b 点为电位参考点:

$$U_{ac} = U_{ab} + U_{bc} = 2 + 3 = 5V, U_{bc} = 3V$$

a、b、c 三点相对于参考点的电位分别为  $U_a = U_{ab} = 2V$ 、 $U_b = 0V$ 、 $U_c = U_{cb} = -U_{bc} = -3V$ 。

对于电位的分析和计算不难得出两个结论:①电位参考点可任意选择,参考点一旦确定,电路中各点的电位值就是唯一的;②选择不同的电位参考点时,电路中各点电位值将改变,任意两点间电压保持不变。

在电路工程理论分析中,有时用到电动势的概念。电动势是指克服电场力把单位正

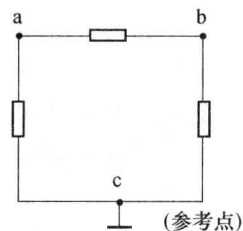


图 1-7

电荷从电源负极经电源内部移到正极所做的功。电动势的参考方向是指电位升高的方向,与电压的参考方向相反。

### 1.2.3 关联参考方向

对于同一元件,如果该元件流过的电流的参考方向与电压参考方向一致,则电压电流参考方向称为关联参考方向;当两者不一致时,称为非关联参考方向。图 1-8(a)、(c)电压电流参考方向为关联方向,图 1-8(b)、(d)电压电流参考方向为非关联方向。电压和电流参考方向关联还是非关联,电压和电流之间的关系方程前有正负号之别。电压和电流参考方向相关联,关系方程前为正号;反之,为负号。为了使得关系方程为正号,在假定参考方向时,一般选定关联参考方向。

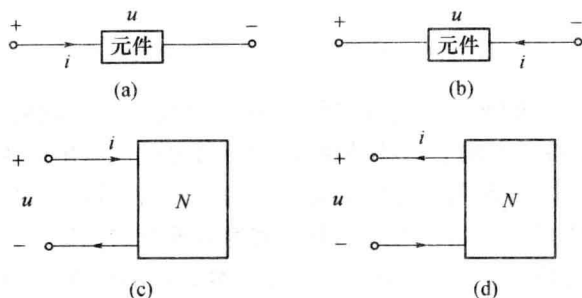


图 1-8 关联方向

需要说明的是,在电路的分析时,必须要假定有关支路电压和电流的参考方向,并在相应支路上加以标注。一旦假定了参考方向,在计算过程中,参考方向不得任意改变。以后电路的分析,在没有特别说明的情况下,均是在参考方向下进行讨论和计算。

### 1.2.4 电功率和能量

在电路的分析和计算中,功率和能量的分析和计算也是常常遇到的。电功率与电压和电流密切相关。当正电荷经元件从电压的“+”极性端运动到“-”极性端时,与此电压相应的电场力要对电荷做正功,元件吸收能量;反之,正电荷经元件从电压的“-”极性端运动到“+”极性端时,与此电压相应的电场力要对电荷做负功,元件要释放能量。如果在  $dt$  时间内,有  $dq$  电荷经元件从电压的“+”极性端运动到“-”极性端,电场力做功,即元件吸收能量  $W$ 。若元件电压为  $u$ ,则该能量  $W$  可以表示为

$$dW = udq \quad (1-3)$$

若元件电压与电流参考方向为关联方向,式(1-3)可以改写成

$$dW = uidt \quad (1-4)$$

功率  $p$  是能量的导数,故元件吸收的功率为

$$p = \frac{dW}{dt} = ui \quad (1-5)$$

在  $t_0$  到  $t$  的时间内,元件吸收的能量可以表示为



$$W(t) = \int_{q(t_0)}^{q(t)} u dq = \int_{t_0}^t u(\zeta) i(\zeta) d\zeta \quad (1-6)$$

在一定电压和电流参考方向下,元件实际上是吸收能量,还是发出能量,对于这个问题的讨论,需要注意两个要点:一是电压和电流参考方向是否关联;二是在给定的参考方向下,电压和电流的值的正负。

1.  $u, i$  参考方向为关联方向

$u, i$  参考方向为关联方向,如图 1-9(a) 所示。功率  $p = ui$ , 表示元件吸收的功率,若  $p > 0$  表示元件实际上是吸收功率,为负载;若  $p < 0$  表示元件实际上是发出功率,为电源。

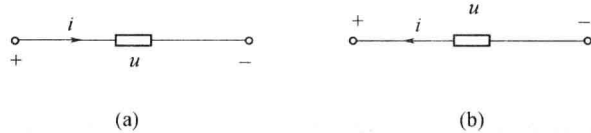


图 1-9  $u, i$  参考方向

2.  $u, i$  参考方向为非关联方向

$u, i$  参考方向为非关联方向,如图 1-9(b) 所示。功率  $p = ui$ , 表示元件发出的功率,若  $p > 0$  表示元件实际上是发出功率,为电源;若  $p < 0$  表示元件实际上是吸收功率,为负载。

【例 1-2】电路如图 1-10(a) 所示,已知  $U_1 = 5V$ ,  $U_2 = 10V$ , 电阻  $R = 5\Omega$ , 分别求电源  $U_1, U_2$  及电阻  $R$  可能吸收或发出的功率。

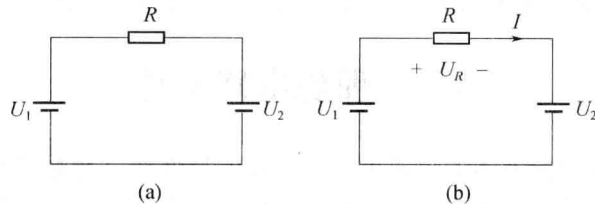


图 1-10

解:由题意可以求出电路中的电流  $I$ , 电路如图 1-10(b) 所示。

$$I = \frac{U_1 - U_2}{R} = \frac{5 - 10}{5} = -1A$$

则电阻  $R$  上功率为

$$P = I^2 R = (-1)^2 \times 5 = 5W$$

电源  $U_1$ , 其电压与电流  $I$  为非关联方向, 则  $P = U_1 I$  表示发出功率。

发出功率为  $P = U_1 I = 5 \times (-1) = -5W$ , 因为小于零, 所以实际上电源  $U_1$  为吸收功率, 是负载。

电源  $U_2$ , 其电压与电流  $I$  为关联方向, 则  $P = U_2 I$  表示吸收功率。

吸收功率为  $P = U_2 I = 10 \times (-1) = -10W$ , 因为小于零, 所以实际上电源  $U_2$  为发出功率, 是电源。

【例 1-3】试求图 1-11 所示电路中各方框所代表的元件消耗或产生的功率。