

高等学校教材



电路分析基础

何琴芳

 高等教育出版社

高等学校教材

电路分析基础

何琴芳

高等教育出版社

内容提要

本书内容符合教育部高等学校电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会制订的“电路分析基础”教学基本要求。全书共分十一章,内容包括电路的基本概念和定律、电路元件、电阻电路的等效变换分析法、线性电阻电路的一般分析、常用网络定理、线性动态电路的正弦稳态分析、耦合电感及含耦合电感电路的分析、非正弦周期信号的频谱及非正弦周期电流电路分析、正弦稳态网络函数及电路频率特性、双口网络、线性动态电路的时域分析。

本书可作为普通高等学校电子信息类专业本科学生的教材,也可供民办高校、函授大学等有关专业使用。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析基础/何琴芳. —北京:高等教育出版社,
2009.4

ISBN 978 - 7 - 04 - 026142 - 4

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 027077 号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010—58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	400—810—0598
邮政编码	100120	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010—58581000		http://www.hep.com.cn
		网上订购	http://www.landaco.com
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司		http://www.landaco.com.cn
印 刷	北京市鑫霸印务有限公司	畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×960 1/16	版 次	2009 年 4 月第 1 版
印 张	30	印 次	2009 年 4 月第 1 次印刷
字 数	560 000	定 价	35.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 26142—00

前 言

电路分析基础是工科电子信息类专业的一门重要技术基础课,其教学目的是使学生理解电路的基本工作原理,掌握电路的基本分析方法,为学习电子线路等后续有关课程建立必要的基础,本教材就是为此目的而编写的。

本书在体系安排上采用先讨论电阻电路,再讨论正弦稳态分析,最后讨论瞬态分析的体系。这样安排主要是从有利于教学考虑,更符合教学中难点的分散和先易后难、循序渐进的原则。

在编写本教材的过程中,重点考虑了以下几方面的问题。

1. 作为一门技术基础课,基本概念是第一位的,因此,在编写过程中特别强调了电路的普遍规律。对每条规律,力求讲深讲透,并反复运用这些规律,使学生能正确列写电路方程并掌握基本的解题方法。书中列举例题较多,目的就是希望通过例题的训练,帮助学生掌握基本概念和正确的解题方法。

2. 注意协调与其他相关课程内容的关系。电路课程是物理课程与专业工程技术课程之间的桥梁,因此在本教材中,尽量利用学生已掌握的物理、数学知识,同时又主动考虑与后续课程相衔接,对后续课程相关的知识点十分重视。此外还通过对一些实际电路分析结果的讨论,说明该电路的作用及其在专业技术中的应用。这样一来,既起到了理论联系实际的作用,又可提高学生学习的兴趣。

3. 考虑到学生在学习本课程时自学能力还不是很强,在编写教材过程中,文字叙述及数学推导过程都比较详尽,以便使学生容易看懂,感到自己有能力自学,从而增强他们钻研问题的信心。

4. 在习题的选编方面,主要考虑与教学内容配套,难度适中。这样比较有利于使用。

本书初稿曾在三江学院大学本科教学实践中使用过两遍,效果良好。

东南大学夏恭恪教授始终关心着本书的编写,并仔细地审阅了全部书稿,提出了一些修改意见,在此致以衷心的感谢。同时也要感谢三江学院周志祥,是他指导几名同学完成了教材草稿的录入工作,使本书能顺利完成。

限于编者的水平,本书必然还存在一些缺点和不足,疏漏之处也在所难免,恳请广大同行和读者不吝赐教,提出批评意见。

编 者
2008年10月

目 录

第一章	电路的基本概念和定律	1
§ 1-1	电路和电路模型	1
§ 1-2	电路的基本物理量	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	电功率和电能	7
1-2-4	基本物理量辅助单位	9
§ 1-3	基尔霍夫定律	10
1-3-1	支路、节点、回路及网孔	10
1-3-2	基尔霍夫电流定律	10
1-3-3	基尔霍夫电压定律	13
摘要	16
名词术语	16
习题一	16
第二章	电路元件	21
§ 2-1	引言	21
§ 2-2	电阻元件	22
2-2-1	电阻元件的定义及种类	22
2-2-2	电阻元件的功率和能量	25
2-2-3	实际电阻器简介	26
§ 2-3	电容元件	27
2-3-1	电容元件的定义和种类	28
2-3-2	线性非时变电容元件的电特性	28
2-3-3	电容元件的储能	31
2-3-4	实际电容器简介	33
§ 2-4	电感元件	34
2-4-1	电感元件的定义	34
2-4-2	电感元件及其电特性	36
2-4-3	电感元件的功率和能量	39
2-4-4	实际电感简介	39

§ 2-5	独立电源	41
2-5-1	独立电压源	41
2-5-2	独立电流源	43
2-5-3	实际电源的电路模型	44
§ 2-6	受控源与多端元件	47
§ 2-7	元件的串、并联组合	50
2-7-1	电阻元件的串、并联	51
2-7-2	电容元件的串、并联	55
2-7-3	电感元件的串、并联	57
2-7-4	电源的串、并联	59
	摘要	61
	名词术语	63
	习题二	63
第三章	电阻电路的等效变换分析法	72
§ 3-1	线性无源单口网络的等效变换	72
§ 3-2	无源三端电路的等效变换	76
§ 3-3	有源单口网络的等效变换	79
3-3-1	实际电源串联时的化简	80
3-3-2	实际电源并联时的化简	81
3-3-3	实际电源混联时的等效化简	82
§ 3-4	含受控源的单口网络的等效化简	84
3-4-1	含受控源的无源单口网络的等效	84
3-4-2	含受控源的有源单口网络的等效	87
	摘要	88
	名词术语	89
	习题三	89
第四章	线性电阻电路的一般分析	95
§ 4-1	电路的基本方程	95
4-1-1	电路的线图	96
4-1-2	树的概念	96
4-1-3	独立 KCL 方程	98
4-1-4	独立 KVL 方程	98
§ 4-2	支路电流法	99
§ 4-3	回路电流法与网孔电流法	102
§ 4-4	节点电压法	110
§ 4-5	含有运算放大器的线性电阻电路分析	114
4-5-1	运算放大器及其对外工作特性	115
4-5-2	含理想运放的电阻电路分析	117

	摘要	122
	名词术语	124
	习题四	124
第五章	常用网络定理	132
	§ 5-1 叠加定理	132
	§ 5-2 置换定理	137
	§ 5-3 戴维宁定理和诺顿定理	140
	§ 5-4 最大功率传输定理	152
	摘要	155
	名词术语	156
	习题五	156
第六章	线性动态电路的正弦稳态分析	164
	§ 6-1 动态电路的瞬态和稳态	164
	§ 6-2 正弦交流电的基本概念	166
	6-2-1 交流电的周期和频率	166
	6-2-2 正弦量的三要素	166
	6-2-3 同频率正弦量的相位差	169
	6-2-4 正弦量的有效值	170
	§ 6-3 正弦量的相量表示和相量运算法则	172
	6-3-1 正弦量的相量表示	172
	6-3-2 同频率正弦量的相量加法	173
	6-3-3 同频率正弦量的复数加法	174
	§ 6-4 R 、 L 、 C 元件的正弦交流电特性	178
	6-4-1 电阻元件	178
	6-4-2 理想电感元件	181
	6-4-3 电容元件	184
	§ 6-5 阻抗和导纳	189
	6-5-1 阻抗	189
	6-5-2 导纳	192
	6-5-3 相量形式的欧姆定律	195
	§ 6-6 基尔霍夫定律的相量形式与串、并联电路的正弦稳态分析	195
	6-6-1 相量形式的基尔霍夫定律	195
	6-6-2 串联电路分析	197
	6-6-3 并联电路分析	200
	§ 6-7 复杂正弦交流电路的相量分析法	203
	§ 6-8 正弦交流电路的功率及最大功率传输	205
	6-8-1 瞬时功率	205
	6-8-2 平均功率	207

	6-8-3 提高功率因数的措施	207
	6-8-4 视在功率与复功率	209
	6-8-5 最大功率传输	210
	§ 6-9 三相电路基本知识	213
	6-9-1 三相电路的一般概念	213
	6-9-2 三相电路负载与电源的连接方式	214
	6-9-3 对称三相电路中线电压与相电压、线电流与相电流的关系	215
	6-9-4 对称三相电路的计算	218
	6-9-5 三相电路的功率	220
	6-9-6 三相电路功率的测量	222
	摘要	223
	名词术语	225
	习题六	225
第七章	耦合电感及含耦合电感电路的分析	240
	§ 7-1 耦合电感元件的电压、电流关系	240
	§ 7-2 含耦合电感电路的正弦稳态分析	245
	§ 7-3 耦合电感电路的去耦等效	251
	7-3-1 耦合电感串联连接时的去耦等效	251
	7-3-2 耦合电感并联连接时的去耦等效	252
	7-3-3 耦合电感三端连接时的去耦等效	253
	§ 7-4 互感耦合电路分析	257
	§ 7-5 全耦合变压器与理想变压器	260
	摘要	269
	名词术语	271
	习题七	271
第八章	非正弦周期信号的频谱及非正弦周期电流电路分析	277
	§ 8-1 非正弦周期信号及其频谱	277
	8-1-1 非正弦周期信号分解为正弦谐波分量的叠加	278
	8-1-2 非正弦周期信号的波形与谐波成分的关系	281
	8-1-3 非正弦周期信号的频谱	284
	8-1-4 周期性非正弦电流和电压的有效值	286
	§ 8-2 非正弦周期信号作用于线性电路的计算	287
	8-2-1 电路中电压和电流的计算	287
	8-2-2 非正弦周期电流电路中功率的计算	289
	摘要	294
	名词术语	295
	习题八	296
第九章	正弦稳态网络函数及电路频率特性	299

§ 9-1 正弦稳态网络函数	299
9-1-1 网络函数的定义及计算方法	299
9-1-2 网络函数与电路频率特性的关系	303
§ 9-2 RC 电路的频率特性	306
9-2-1 一阶 RC 低通滤波电路	306
9-2-2 一阶 RC 高通滤波电路	311
§ 9-3 LC 网络的频率特性	314
9-3-1 RLC 串联谐振电路及其谐振特性	315
9-3-2 GLC 并联谐振电路及其谐振特性	329
摘要	343
名词术语	345
习题九	346
第十章 双口网络	351
§ 10-1 双口网络及其描述方法	351
§ 10-2 双口网络方程和参数	354
10-2-1 导纳参数	354
10-2-2 阻抗参数	358
10-2-3 混合型参数	360
10-2-4 传输参数	362
§ 10-3 双口网络参数的计算	364
§ 10-4 双口网络的网络函数	369
§ 10-5 双口网络的等效电路	374
10-5-1 Z 参数等效电路模型	375
10-5-2 Y 参数等效电路模型	377
10-5-3 H 参数等效电路	379
摘要	379
名词术语	380
习题十	381
第十一章 线性动态电路的时域分析	386
§ 11-1 线性动态电路的瞬态过程及其分析的一般法则	386
§ 11-2 动态电路的初始条件	389
11-2-1 独立初始条件的求取	389
11-2-2 非独立初始条件的求取	394
11-2-3 电容电压和电感电流的强迫跃变现象	396
§ 11-3 一阶 RC 电路的瞬态过程	401
11-3-1 RC 电路接通恒定电压	401
11-3-2 电容器通过电阻的自由放电	405
11-3-3 RC 电路充、放电现象的应用实例	411

§ 11-4 一阶 RL 电路的瞬态过程	416
11-4-1 零输入响应	417
11-4-2 零状态响应	418
11-4-3 全响应	418
§ 11-5 分析一阶电路的三要素法	425
§ 11-6 二阶电路瞬态过程分析	432
11-6-1 二阶电路的零输入响应	432
11-6-2 RLC 串联电路的零状态响应★	441
摘要	447
名词术语	449
习题十一	449
参考书目	460
部分习题答案	461

第一章 电路的基本概念和定律

本章介绍电路模型的概念、电路分析的基本物理量以及电路的基本定律。这些内容是进行电路分析的依据,是全书的基础。

§1-1 电路和电路模型

在日常生活中,人们经常接触到各种用电设备,简单的如手电筒,复杂的如电视机、计算机、通信机等。这些设备都是由一些电气器件(如电阻器、电容器、线圈、变压器、晶体管、运算放大器等),用导线连接起来构成电的通路——电路。简单的电路只由一两个零件构成,复杂的电子设备由成千上万个器件连接而成,构成的电路密如蛛网,所以有时电路也称为电网络。

不同的电路具有各不相同的特性和功能,归结起来可以分成两大类:第一类电路的作用是实现电能的传输和转换,例如电力网络将电能从各发电厂输送到工厂、农村和千家万户,供各种电气设备使用;第二类电路的作用是实现电信号的传输、处理和存储,例如在有线电视接收时,含有声音和图像信息的高频电视信号,通过高频电缆才能送到电视机中,这个信号经过电视机的处理便能恢复出原来的声音和图像信息,从而在扬声器中发出声音,在显像管屏幕上呈现图像。

分析一个电路,就是在已知电路中各个器件的电性能及其相互连接关系的情况下,分析计算电路中的电流流通、功率传输以及各个器件中的电流、电压和功率等工作状况,从而确定电路的全部工作,了解电路的工作特性和功能。

实际电路是由电气器件通过导线连接组成的。实际器件中的电磁现象往往比较复杂,比如金属膜电阻,它是由绝缘瓷管镀上螺旋状的金属薄膜组成的,除电阻效应外,当电流流过螺旋状导体时,在周围就会产生磁场,因此还存在磁场效应,另外当电阻安装在印制电路板上时,其与印制板的基底之间还存在电场效应,而且这些效应与器件的尺寸、结构及器件的工作状态都有关系,如果全面加以考虑,就会使讨论的问题很复杂。为了简化分析,就必须抓住其主要的电磁特

性而忽略其次要的电磁特性,亦即将器件理想化。例如上述的金属膜电阻器,在工作频率不很高时,可认为该器件只有电阻效应而无相关的磁场与电场效应。

对于实际器件而言,保留其主要的电磁特性而忽略其次要的电磁特性,并用一个规范的符号与图形表示这一主要的电磁特性,就构成了实际器件的理想化元件模型。所有器件用理想化的元件模型(简称电路元件)表示,并用理想化的导线连接起来,就形成了电路的模型——电路图。

在对电路分析之前,首先要将被研究的实际电路画成电路图(即模型化),用电路图代替实际电路来进行分析研究,否则会被实际电路中各方面的复杂因素弄得毫无头绪而无法研究,也就谈不上什么科学分析了。下面略举两例来说明实际电路是如何模型化为电路图的,以及用电路图代替实际电路进行分析究竟有什么优点。

图 1-1 所示是蓄电池对白炽灯供电的实际电路,蓄电池产生电能(由化学能变换而来),经两根连线传输给负载白炽灯,变换为热能和光能。图 1-2 所示是用热电偶测量温度的电路,左边的热电偶虽然能将热能变换为电能,但数量很微小,所产生的温差电动势仅可以作为反映热端温度的信号,因此是一个信号源,右边的毫伏表是接收信号的负载,它能指示温差电动势,从而间接指示热电偶所测量的温度。这两个实际电路所用的电气器件和作用完全不同,前者是传输电能,后者是传递信号,但是它们都可以用图 1-3 所示的同样性质的理想模型来表示,其中 U_s 串联 R_s 为蓄电池或热电偶的模型电路, R_L 代表白炽灯或毫伏表,区别只是对这两种实际电路,模型电路中的 U_s 、 R_s 和 R_L 的数量差别很大而已。

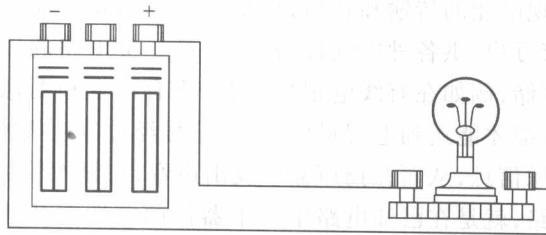


图 1-1 蓄电池对白炽灯供电电路

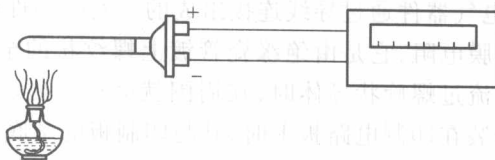


图 1-2 热电偶测温电路

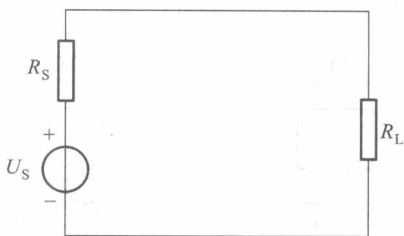


图 1-3 实际电路图 1-1 和图 1-2 的电路模型图

可以看到,实际电路画成电路图以后,就变得非常的简洁,让人一看就明白,利于分析计算。更为有利的是,一些功能结构完全不同的器件,却具有相同的电特性,从而可以用同样的理想化电路元件来描述。这意味着:尽管存在许许多多不同的电气器件,但就电特性而言,仅仅需要少数理想化电路元件就能加以描述。这样,在电路图上就只会出现种类不多的理想化元件,不同特性的电路常常只是元件的连接方式不同、元件的参数及数量不同而已。电路元件种类不多,这无疑是非常有利于进行分析的。

必须指出:将实际电路抽象为一个简单而精确的电路模型的工作,有时是十分复杂和困难的,本书对此不作介绍。本书的主要任务是研究电路模型图(以下简称电路)的各种分析计算方法,其目的是通过对电路的分析研究来预测实际电路的电气特性,以便为今后从事改进实际电路、设计制作新电路以及维修被损坏的实际电路等工作打下一个良好的基础。

§ 1-2 电路的基本物理量

电流、电压及电功率是电路工作的三个基本物理量,是电路工作的描述,它们一般都是时间的函数,这里对这三个物理量作简略的介绍。

1-2-1 电流及其参考方向

电流为描述电荷(有序)流动的物理量。导线中的电流定义为每单位时间通过导线横截面的电量,称为电流,用符号 i 或 I 表示,则

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

电流的 SI(国际单位制)单位是 A(安[培])。

电量有正负,电流有流向,习惯上把正电荷移动的方向(负电荷流动的反方向)规定为电流的方向(实际方向),并用箭头标出电流的方向,也可用双下标表

示电流方向(参见图1-4)。

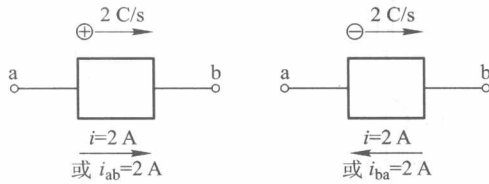


图 1-4 电流的方向

如果电流是恒定的,即其量值和方向均不随时间变化,则称为恒定电流,简称直流(DC或dc),一般用大写字母 I 表示。对于量值和方向随时间改变的电流,则称为时变电流,应描述为时间的函数 $i(t)$,有时为简便就略去函数形式,直接表示为 i 。量值和方向随时间作周期性变化的时变电流,特称为交流电流(AC或ac)。其中平均值为零的交流电流为纯交流电流。

在分析电路时,往往不能事先确知电路中各电流的实际方向,而且时变电流的实际方向又随时间不断变动,不能在电路图上标出适合任何时刻的电流实际方向,于是只能任意假定一个电流方向(称为参考方向)标在电路图上,作为列写电路方程的依据。这样做的结果有两种可能:一是电流的实际方向与参考方向相同,则电流为正值;二是电流的实际方向与参考方向相反,则电流为负值。因此,根据电流的参考方向和电流量值的正负,就能确定电流的实际方向。电流的参考方向除用箭头表示外,有时也可用代表起点和终点的“双下标”表示。如 i_{ab} 表示参考方向是从a流向b,而 i_{ba} 则表示参考方向是从b流向a。显然, $i_{ab} = -i_{ba}$ 。

今后在分析电路时,必须事先设定各电流变量的参考方向,所列电流 i 的任何数学表达式必须与参考方向相符合。

1-2-2 电压及其参考方向

电荷是电能的携带者,它通过电路元件时会发生能量的交换,有时电荷会获得能量,有时则将电能转换为其他形式的能量。例如电流流过电烙铁时,使烙铁发热,电能就转变成热能,使电荷携带的电能减少。又如电流流过于电池时,因电池中的化学反应,化学能转化为电能,使电荷携带的电能增加。电压是用来定量描述电荷通过元件时能量交换多少的一个物理量,用符号 u 或 U 表示。单位正电荷由电路中a点移动到b点所失去的能量(即电场力所作的正功)称为a、b两点间的电压 u_{ab} ,写作

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

其中 dq 为 a 点移动到 b 点的正电荷量,单位为 C(库), dW 为正电荷移动过程中所失去的电能,单位为 J(焦[耳]),电压的单位为 V(伏[特])。如果正电荷从 a 点移动到 b 点获得电能,则 $dW < 0$, u_{ab} 为负。

通常,电荷携带电能的多少用电位的高低来描述,则电荷从 a 点移动到 b 点时与电路元件间发生的能量交换就表现为 a 点与 b 点电位的变动,正电荷从 a 点移动到 b 点失去电能,则 a 点电位高于 b 点,反之,则 b 点电位高于 a 点。

与电流一样,电压也是有方向的,电压的实际方向是从高电位指向低电位的。例如图 1-5 为一节 1.5 V 的干电池与白炽灯连接形成的电流通路,在外电路(白炽灯)中,正电荷受电场力作用,从 a 点经白炽灯移动到 b 点,其间电场力作正功,电能转变为光能和热能,正电荷失去电能,电位降低,故 a 点电位高于 b 点。在电源内部,化学能转变成电能,正电荷从 b 点经电源移动到 a 点时,外力作正功(电场力作负功),正电荷携带的电能增加了,故 a 点电位高于 b 点。 a 、 b 间电压的实际方向是 a 指向 b ,记作 U_{ab} (下标的起点表示高电位点,下标的终点表示低电位点),也可以在电路图上 a 点标以“+”号, b 点标以“-”号,电压的方向就是从“+”指向“-”。

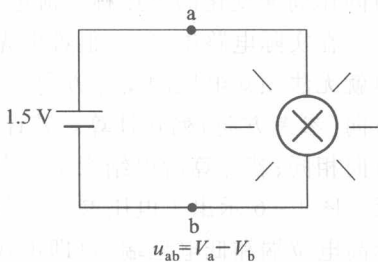


图 1-5 电压与电位

电位(用字母 V 表示)是衡量电路中各点电位能大小的物理量,其值等于单位正电荷从给定点移动到零电位点(参考点)电场力所作的功,当电场力作正功时,该点电位为正,若是外力作功(电场力作负功),则该点电位为负。在进行电路分析时,允许选择电路中任意一点为参考点,其余各点的电位,实际上就是该点与参考点之间的电压。

节点 a 到节点 b 的电压 u_{ab} ,等于单位正电荷从 a 点移动到 b 点时,电场力所作的功,也等于单位正电荷从 a 点移动到参考点,再从参考点移动到 b 点,电场力作功之和,根据电位的定义即可知道,电压 u_{ab} 等于 a 点电位(V_a)减去 b 点电位(V_b),即

$$u_{ab} = V_a - V_b \quad (1-3)$$

例 1-1 2 C 电荷由 a 点移动到 b 点时,电场力作功 2 J,试求:(1) 当电荷为正时,电压 $u_{ab} = ?$ (2) 电荷为负时, $u_{ab} = ?$

解: (1) 电荷为正时,由于电场力作正功,电能减少,正电荷从 a 点移动到 b 点时电位降低,所以电压的方向是 a 指向 b 。

$$u_{ab} = \frac{W}{q} = \frac{2 \text{ J}}{2 \text{ C}} = 1 \text{ V}$$

(2) 负电荷从 a 点移动到 b 点, 相当于正电荷从 b 点移动到 a 点, 电场力作正功, 则 b 点电位高于 a 点, 所以电压的实际方向是 b 指向 a, 有

$$u_{ba} = \frac{W}{q} = \frac{2 \text{ J}}{2 \text{ C}} = 1 \text{ V}$$

或

$$u_{ab} = -u_{ba} = -1 \text{ V}$$

量值和方向恒定的电压称为直流电压, 用大写字母 U 表示。量值和方向随时间变化的电压称时变电压用 $u(t)$ 表示, 或者简单地用 u 表示。量值和方向随时间作周期变化的电压称交流电压, 其中平均值为零的电压称纯交流电压。

在实际电路中, 往往很难事先知道二端元件哪一端电位高, 哪一端电位低, 也就无法预知电压的实际方向。为了分析计算的需要, 只能任意假设一个电压方向(参考方向)列式计算。若计算所得结果为正, 表明电压的实际方向与参考方向相同; 若计算所得结果为负值, 则表明电压的实际方向与所设参考方向相反。图 1-6 示出了电压参考方向的三种表示方法: 图(a)用“+”和“-”分别表示高电位端和低电位端, 也即电压方向是从“+”指向“-”; 图(b)用箭头的方向表明电压的参考方向(箭头所指的方向即表示高电位指向低电位的方向); 图(c)则用双下标的次序先后表示电压的参考方向(下标中前面的字母代表高电位点)。图 1-6(a)、(b)和(c)所示电压的参考方向均是从 a 指向 b 的。

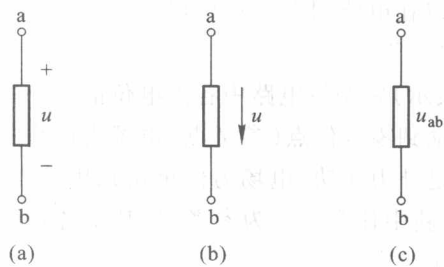


图 1-6 电压参考方向的三种表示法

一般在分析电路时, 必须对所有元件的电压、电流变量都预先标明其参考方向, 然后根据所标明的参考方向写出相关的数学表达式进行求解。对于同一个元件, 如果假定电压和电流的参考方向相同(如图 1-7(a)、(b)所示), 则称它们为关联参考方向, 相反地, 若所设电压和电流的参考方向相反(如图 1-7(c)、(d)所示), 则称它们为非关联参考方向。有时在一个元件上只画一个箭头, 那就表示该元件电压和电流的参考方向为关联方向, 二者的方向都如箭头所示。如果因某种原因一定要采用非关联方向, 则在图上必须同时标出二者的参考方向, 此时为避免混淆, 通常用箭头表示电流的参考方向而用极性(正、负号)表示电压的参考方向。