



电气与信息学科精品课程系列教材

# 电路基础理论

DIANLU JICHU LILUN

黄冠斌 胡冬全 宋玉阶 / 主编



华中科技大学出版社  
<http://www.hustp.com>

电气与信息学科精品课程系列教材

# 电路基础理论

主 编 黄冠斌 胡冬全 宋玉阶  
参 编 张 霞 周裕鸿 方奕乐

华中科技大学出版社  
中国·武汉

## 内 容 简 介

本书分 13 章,按电阻电路(直流稳态电路)分析 正弦稳态电路分析 动态电路分析的顺序分别介绍了电路基本定律二端电阻性元件、简单电阻电路的等效变换、多端电阻性元件、电路分析的一般方法、电路定理、二端储能元件、正弦稳态电路分析、耦合电感和理想变压器、三相电路、非正弦周期电流电路、电流暂态过程的时域分析、电路暂态过程的复频域分析、二端口网络等方面的内容。

本书的特点是将严谨的电路理论与工程实际相结合,在论述重要概念、分析方法或得出某一结论以后,都有结构比较简单同时又能说明问题的例题,以帮助读者理解、巩固所学内容。本书可作为高等学校电气与信息学科各专业电路理论基础课程教材,也可作为相关专业工程技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

电路基础理论/黄冠斌 胡冬全 宋玉阶 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2010.8  
ISBN 978-7-5609-6435-5

I. 电… II. ①黄… ②胡… ③宋… 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(2010)第 142592 号

电路基础理论

黄冠斌 胡冬全 宋玉阶 主编

策划编辑:谢燕群

责任编辑:谢燕群 刘万飞

封面设计:刘 卉

责任校对:李 琴

责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉佳年华科技有限公司

印 刷:通山金地印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:20.75

字 数:549千字

版 次:2010年8月第1版第1次印刷

定 价:36.00元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换  
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务  
版权所有 侵权必究

电气与信息学科精品课程系列教材

## 编审委员会

主 任 尹项根

副主任 秦实宏

委 员 (按姓氏笔画排列)

毛 哲 吴文辉 宋玉阶 李忠明 李德骏

殷小贡 容太平 唐永奇 梅秋燕 谭文群

# 前 言

电路理论是高等学校电气与信息学科各专业的一门重要的学科基础课程,是电气与信息学科各专业学生在大学期间接触到的第一门系统论述电路基本概念、电路基本规律、电路基本分析方法的课程,对相关各专业学生许多后续课程的学习极为重要,同时对学生以后从事与电相关专业的工作也有着深远的影响。本书定名为“电路基础理论”,编者的初衷是想让读者通过对本书的学习,掌握电路理论中最基本的知识,确保对后续课程学习“够用”,同时也要有一定的拓展空间。

本书的第一个特点体现在内容体系的安排上。本书按电阻电路(直流稳态电路)分析→正弦稳态电路分析→动态电路分析的顺序编写。与目前流行的一些教材中的体系——电阻电路(直流稳态电路)分析→动态电路分析→正弦稳态电路分析的顺序比较,编者根据在教学实践中的体会,认为本教材的内容顺序安排有以下好处:(1)有利于读者在电阻电路部分学习到的电路分析方法和电路定理尽早在正弦稳态电路分析中进一步得到训练,达到举一反三、温故知新的目的;(2)有利于在动态电路分析部分的学习中加强正弦波激励下暂态分析的内容,例如拓展求解一阶电路的三要素法;(3)有利于不同专业对教学内容的选择和安排。

本书的第二个特点是尽可能将严谨的电路理论与工程实际结合。电路理论的讨论对象是由理想电路元件互相连接组成的电路模型,与实际电路有一定的距离。当今的大学教育是大众化教育,因此教学活动中更加注重实际动手能力和创新能力的培养。为了使培养的学生在走入工作岗位后尽快上手,适应社会对人才的需求,因而在学科基础课的教材中缩小理论与实际的差距是很有必要的。本书在这方面的体现有:(1)建立各种理想电路元件的概念时,比较详细地介绍了与该种理想元件有着一定对应关系的实际电路器件,如实际电路器件的结构、性能、技术参数及在电路中的主要应用等,使理想电路元件建立在丰富、厚实的实物背景上,过渡自然平滑;(2)一些例题、练习思考题也是选自一些实际的电路问题。

本书的第三个特点是例题丰富。在论述重要概念、分析方法或得出某一结论以后,一般都紧接着列举一些结构比较简单同时又能说明问题的例题,以帮助读者理解、巩固所学内容。

本书由黄冠斌、胡冬全、宋玉阶主编,负责全书编写提纲的制定,分工校定书稿的相关部分。参加编写的还有张霞、方奕乐、周裕鸿。具体分工为:黄冠斌(第1、4章)、胡冬全(第5、11、12章)、周裕鸿(第6章)、宋玉阶(第7、8、9、10章)、张霞(第3、13章)、方奕乐(第2章)。限于编者的水平,考虑不周或错误不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2010年5月

# 目 录

<b>第 1 章 电路基本定律与二端电阻性元件</b> .....	(1)
1.1 电路的基本组成和电路模型 .....	(1)
1.1.1 电路的基本组成部分 .....	(1)
1.1.2 理想电路元件和电路模型 .....	(1)
1.2 电压及其参考方向 .....	(3)
1.2.1 电压的概念 .....	(3)
1.2.2 电压的参考方向 .....	(4)
1.3 电流及其参考方向 .....	(6)
1.3.1 电流的概念 .....	(6)
1.3.2 电流的参考方向 .....	(6)
1.3.3 电流和电压的关联参考方向 .....	(7)
1.4 电功率和能量 .....	(7)
1.4.1 电功率 .....	(7)
1.4.2 电能量 .....	(8)
1.5 基尔霍夫定律 .....	(9)
1.5.1 有关的电路术语 .....	(9)
1.5.2 基尔霍夫电流定律 .....	(10)
1.5.3 基尔霍夫电压定律 .....	(11)
1.6 电阻元件 .....	(12)
1.6.1 实物背景和电阻器的主要电磁性质 .....	(12)
1.6.2 线性电阻元件 .....	(13)
1.7 独立电源 .....	(15)
1.7.1 独立电源的实物背景 .....	(15)
1.7.2 电压源 .....	(15)
1.7.3 电流源 .....	(17)
本章小结 .....	(19)
练习与思考 .....	(19)
习题 .....	(20)
<b>第 2 章 简单电阻电路的等效变换</b> .....	(23)
2.1 等效电路的概念 .....	(23)
2.2 线性电阻元件的串联、并联与混联 .....	(24)
2.2.1 线性电阻元件的串联 .....	(24)
2.2.2 线性电阻元件的并联 .....	(25)

2.2.3	线性电阻元件的混联 .....	(27)
2.3	含独立电源的串联和并联电路 .....	(29)
2.3.1	戴维南电路与诺顿电路及其等效变换 .....	(29)
2.3.2	其他连接的一些电路 .....	(31)
2.4	平衡电桥电路,线性电阻元件的 Y- $\Delta$ 连接等效变换 .....	(34)
2.4.1	平衡电桥电路 .....	(34)
2.4.2	线性电阻元件的 Y- $\Delta$ 连接等效变换 .....	(35)
	本章小结 .....	(39)
	练习与思考 .....	(39)
	习题 .....	(40)
<b>第3章</b>	<b>多端电阻性元件 .....</b>	<b>(43)</b>
3.1	运算放大器 .....	(43)
3.1.1	实际器件简介 .....	(43)
3.1.2	理想运算放大器 .....	(45)
3.1.3	含理想运算放大器电路的分析 .....	(46)
3.2	受控电源 .....	(49)
3.2.1	四种形式的受控电源 .....	(50)
3.2.2	受控电源与独立电源的比较 .....	(53)
3.3	二端电路的输入电阻 .....	(55)
	本章小结 .....	(58)
	习题 .....	(58)
<b>第4章</b>	<b>电路分析的一般方法 .....</b>	<b>(62)</b>
4.1	电路的 2b 方程 .....	(62)
4.1.1	独立的 KCL 方程数 .....	(62)
4.1.2	独立的 KVL 方程数 .....	(63)
4.1.3	支路方程 .....	(66)
4.2	支路电流分析法 .....	(67)
4.2.1	支路电流方程 .....	(67)
4.2.2	含受控电源电路的支路电流方程 .....	(69)
4.3	节点电压分析法 .....	(70)
4.3.1	不含受控电源电路的节点电压方程 .....	(70)
4.3.2	含受控电源电路的节点电压方程 .....	(72)
4.3.3	节点电压分析法中对无伴电压源支路的一些处理方法 .....	(74)
4.4	网孔电流分析法与回路电流分析法 .....	(76)
4.4.1	网孔电流分析法 .....	(76)
4.4.2	回路电流分析法 .....	(78)
4.4.3	含受控电源电路的回路电流方程 .....	(80)
4.4.4	回路电流分析法中对无伴电流源支路的一些处理方法 .....	(81)

本章小结 .....	(82)
练习与思考 .....	(83)
习题 .....	(84)
<b>第 5 章 电路定理 .....</b>	<b>(88)</b>
5.1 叠加定理 .....	(88)
5.1.1 引例和定理 .....	(88)
5.1.2 叠加定理的证明 .....	(89)
5.1.3 叠加定理应用举例 .....	(90)
5.2 替代定理 .....	(92)
5.2.1 引例 .....	(92)
5.2.2 替代定理的内容和证明 .....	(93)
5.2.3 应用举例 .....	(94)
5.3 戴维南定理和诺顿定理 .....	(95)
5.3.1 引例 .....	(95)
5.3.2 戴维南定理与诺顿定理的内容和证明 .....	(96)
5.3.3 应用举例 .....	(97)
* 5.4 特勒根定理和互易定理 .....	(104)
5.4.1 特勒根定理 .....	(104)
5.4.2 互易定理 .....	(107)
本章小结 .....	(111)
习题 .....	(113)
<b>第 6 章 二端储能元件 .....</b>	<b>(119)</b>
6.1 电容元件 .....	(119)
6.1.1 实际电容器 .....	(119)
6.1.2 电容元件 .....	(122)
6.1.3 电容元件的串联和并联 .....	(128)
6.2 电感元件 .....	(131)
6.2.1 实际电感器 .....	(131)
6.2.2 电感元件 .....	(132)
6.2.3 电感元件的串联和并联 .....	(136)
本章小结 .....	(137)
习题 .....	(138)
<b>第 7 章 正弦稳态电路分析 .....</b>	<b>(142)</b>
7.1 正弦量的基本概念 .....	(142)
7.1.1 正弦量的三要素 .....	(142)
7.1.2 同频率正弦量的相位差 .....	(144)
7.1.3 正弦电压和正弦电流的有效值 .....	(145)
7.2 相量法的数学基础 .....	(146)



7.2.1	复数	(146)
7.2.2	同频率正弦量的相量表示	(148)
7.2.3	正弦量的相量运算	(150)
7.3	基尔霍夫定律的相量形式	(153)
7.3.1	KCL 的相量形式	(153)
7.3.2	KVL 的相量形式	(153)
7.4	电阻、电感和电容元件的电压相量与电流相量的关系	(154)
7.4.1	电阻元件的电压相量与电流相量的关系	(154)
7.4.2	电感元件的电压相量与电流相量的关系	(155)
7.4.3	电容元件的电压相量与电流相量的关系	(156)
7.5	阻抗和导纳	(158)
7.5.1	阻抗	(158)
7.5.2	导纳	(159)
7.5.3	导纳和阻抗的关系	(160)
7.5.4	正弦交流电路的性质	(161)
7.5.5	阻抗或导纳的串联与并联	(164)
7.6	正弦稳态电路分析	(164)
7.6.1	正弦稳态电路的分析方法	(164)
7.6.2	相量图	(166)
7.6.3	分析示例	(167)
7.7	正弦稳态电路的功率	(172)
7.7.1	各种功率的概念	(172)
7.7.2	功率因数及其提高	(175)
7.7.3	复功率	(178)
7.8	最大功率传输定理	(179)
7.9	谐振电路	(182)
7.9.1	RLC 串联谐振电路	(182)
7.9.2	并联谐振电路	(185)
7.9.3	电感线圈和电容器并联谐振	(187)
	本章小结	(188)
	练习与思考	(190)
	习题	(192)
<b>第 8 章</b>	<b>耦合电感和理想变压器</b>	<b>(199)</b>
8.1	耦合电感元件	(199)
8.1.1	互感现象	(199)
8.1.2	同名端	(201)
8.1.3	耦合系数	(203)
8.2	含耦合电感元件电路的分析	(203)

8.2.1	几种连接情况下的去耦等效电路 .....	(203)
8.2.2	空芯变压器的分析 .....	(206)
8.3	理想变压器 .....	(209)
8.3.1	变压器的原理与应用 .....	(209)
8.3.2	理想变压器的理想条件与特性方程 .....	(209)
8.3.3	理想变压器的阻抗变换性质 .....	(210)
	本章小结 .....	(213)
	思考与练习 .....	(214)
	习题 .....	(216)
<b>第9章</b>	<b>三相电路</b> .....	<b>(221)</b>
9.1	三相电路的基本概念 .....	(221)
9.1.1	对称三相电源及其连接方式 .....	(221)
9.1.2	对称三相负载及其连接方式 .....	(223)
9.1.3	三相电路的连接方式 .....	(224)
9.2	对称三相电路的分析 .....	(224)
9.2.1	对称三相电路中线电压与相电压、线电流与相电流的关系 .....	(224)
9.2.2	对称三相电路的分析计算 .....	(226)
9.3	不对称三相电路简介 .....	(231)
9.4	三相电路的功率及功率的测量 .....	(233)
9.4.1	对称三相电路的瞬时功率 .....	(233)
9.4.2	对称三相电路的有功功率和无功功率 .....	(234)
9.4.3	三相电路功率的测量 .....	(234)
	本章小结 .....	(235)
	思考与练习 .....	(236)
	习题 .....	(237)
<b>第10章</b>	<b>非正弦周期电流电路</b> .....	<b>(239)</b>
10.1	傅里叶级数提要 .....	(239)
10.1.1	非正弦周期信号 .....	(239)
10.1.2	周期函数分解为傅里叶级数 .....	(240)
10.2	有效值、平均值和平均功率 .....	(242)
10.2.1	非正弦周期量的有效值 .....	(242)
10.2.2	非正弦周期量的平均值 .....	(243)
10.2.3	非正弦周期电流电路的平均功率 .....	(244)
10.3	非正弦周期电流电路的计算 .....	(245)
10.4	对称三相非正弦周期电流电路简介 .....	(247)
	本章小结 .....	(249)
	思考与练习 .....	(249)
	习题 .....	(250)

<b>第 11 章 电路暂态过程的时域分析</b> .....	(252)
11.1 一阶电路的零输入响应 .....	(253)
11.1.1 RC 电路的零输入响应 .....	(253)
11.1.2 RL 电路的零输入响应 .....	(256)
11.2 一阶电路的零状态响应 .....	(259)
11.2.1 直流激励作用下的零状态响应 .....	(259)
11.2.2 正弦激励作用下的零状态响应 .....	(264)
11.3 一阶电路的全响应 .....	(266)
11.3.1 全响应的两种分解方式 .....	(266)
11.3.2 求解一阶电路的三要素法 .....	(269)
11.4 二阶电路分析 .....	(274)
11.4.1 RLC 串联电路的零输入响应 .....	(274)
11.4.2 二阶电路的零状态响应 .....	(278)
11.4.3 RLC 串联电路的全响应 .....	(280)
本章小结 .....	(281)
习题 .....	(283)
<b>第 12 章 电路暂态过程的复频域分析</b> .....	(288)
12.1 拉普拉斯变换 .....	(288)
12.1.1 拉普拉斯变换的定义 .....	(288)
12.1.2 常用函数的拉普拉斯变换 .....	(289)
12.1.3 拉普拉斯变换的一些主要性质 .....	(293)
12.2 拉普拉斯反变换——部分分式法 .....	(296)
12.2.1 $A(s)=0$ 的根为单实根 .....	(296)
12.2.2 $A(s)=0$ 的根为共轭复根 .....	(298)
12.2.3 $A(s)=0$ 的根为重实根 .....	(299)
12.3 复频域分析——运算法 .....	(300)
12.3.1 KCL、KVL 方程的运算形式 .....	(300)
12.3.2 基本电路元件的运算模型 .....	(301)
12.3.3 运算法举例 .....	(302)
12.4 网络函数 .....	(307)
12.4.1 网络函数的定义与分类 .....	(307)
12.4.2 网络函数的求取 .....	(308)
12.4.3 网络函数与频率响应 .....	(311)
本章小结 .....	(312)
习题 .....	(313)
<b>第 13 章 二端口网络</b> .....	(318)
13.1 二端口网络的概念 .....	(318)
13.2 二端口网络的 $Z$ 、 $Y$ 、 $H$ 、 $T$ 参数方程 .....	(319)

13.2.1	二端口网络的 $Z$ 参数方程	(319)
13.2.2	二端口网络的 $Y$ 参数方程	(322)
13.2.3	二端口网络的 $H$ 参数方程	(325)
13.2.4	二端口网络的 $T$ 参数方程	(327)
13.3	二端口网络的等效电路	(330)
13.3.1	$Z$ 参数表示的等效电路	(330)
13.3.2	$Y$ 参数表示的等效电路	(331)
13.3.3	$H$ 参数表示的等效电路	(332)
13.4	二端口网络的级联	(332)
13.5	有端接二端口网络的分析	(334)
13.5.1	端口电压、电流的计算	(334)
13.5.2	二端口网络的输入阻抗和输出阻抗	(336)
	本章小结	(337)
	习题	(338)
	习题参考答案	(343)
	参考文献	(350)

# 第 1 章 电路基本定律与二端电阻性元件

本章讨论电路的两个基本物理量(也称电路变量)——电流和电压,侧重它们的参考方向。电路中电流、电压的约束关系包括对一个电路的整体和电路元件个体两个方面。关于电路元件个体的约束关系,本章仅限于二端电阻性元件的讨论。二端电阻性元件的电压和电流关系可在  $u-i$  平面上描述。电路这两个方面的约束关系是电路分析的基本依据。

## 1.1 电路的基本组成和电路模型

### 1.1.1 电路的基本组成部分

当今时代,电气科学技术迅猛发展,各种各样的电路比比皆是。电路的功能各异,结构的复杂程度也千差万别。图 1-1 所示的普通照明电路,其结构就十分简单,而像大型电网、彩色电视机内部、计算机内部的电路等结构就相当复杂。无论电路的功能是什么,也不管其结构是简单还是复杂,电路一般都由三个基本部分组成。

(1) 电源,如电池、发电机、电力部门提供给用户的交流电源等。要使一个电路能连续而稳定地运行,电源是不可缺少的。

(2) 负载,各种用电设备统称为负载。人们设计一个电路并付诸实施都是为了让电路完成一定的功能,功能是通过负载具体实现的,例如灯泡内的灯丝在通电后被加热至发光,电动机通电后可带动机械设备运转,电视显像管将电的信号转换成图像等。

(3) 中间环节,指从电源到负载的部分。图 1-1 所示中的导线和开关是一个极为简单的中间环节;在一些大型复杂电路中,中间环节本身可能也是由一个比较复杂的电路组成的。中间环节起着传输、分配、处理和控制电能或电信号等作用。因此,电路是由电源、负载和中间环节互相连接起来的总体,电流能在其中流通。电路也常称为电网络或网络。



图 1-1 一个简单电路

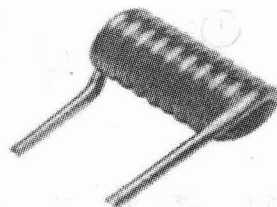


图 1-2 电感线圈

### 1.1.2 理想电路元件和电路模型

凡能维持电流流动并能在其端钮间保持电压的物体称为(实际)电路器件。电路器件繁多,如图 1-1 中的电池、灯泡等就是简单的电路器件。在电路中,即使一个很简单的电路器

件,如图 1-2 所示的电感线圈,其中进行的电磁过程都相当复杂,一般都伴有电能的消耗、磁场能量的存储和电场能量的存储等三种过程(或现象)。这些过程或现象互相缠绕在一起,不可分离。这样,要直接对由实际电路器件组成的电路进行理论分析是极为困难的,甚至是不可能的。另一方面在一个电路器件上这些过程或现象所表现的强弱程度并不是均衡的,在一定条件下,某一过程或现象表现得比较强,处于主导地位,决定事物的本质;另外的过程或现象表现得比较弱,处于次要地位,即使将其忽略也无碍大局。例如上面所提到的电感线圈,当电源的频率比较低、通过的电流比较小时,线圈的磁场效应是主要的,将另外两种效应忽略也不会使理论分析结果与实际情况相差太远。这就说明,在一定条件下可对实际电路器件加以近似。

为了对电路进行理论分析(建立电路的数学模型),就有必要对实际电路器件加以理想化,建立理想电路元件的概念。所谓理想电路元件(简称电路元件),是指只具备单一的电磁性质的元件,例如元件只具有电能的消耗性质,或只具有磁场能量的存储性质,或只具有电场能量的存储性质等。理想电路元件便于用数学严格定义。

按与外部电路连接的端子数目的多少,电路元件可分为二端元件和多端元件,如图 1-3 所示。二端元件通过两个端子与外部电路相连接,也称为一端口元件或单口元件。具有 3 个和 3 个以上端子的元件统称为多端元件。

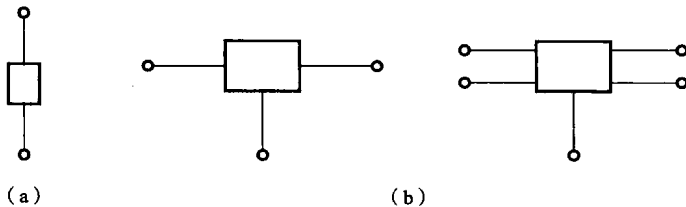


图 1-3 二端电路元件和多端电路元件示意图

建立各种理想电路元件的模型以后,对于实际的电路器件,可以根据其具体的运行条件、用恰当的理想电路元件的组合去逼近。例如,图 1-1 所示的普通照明电路,电池的主要特性是通过维持其正、负极间一定的电压来为电路提供电能,再考虑到电池两极间的电压在

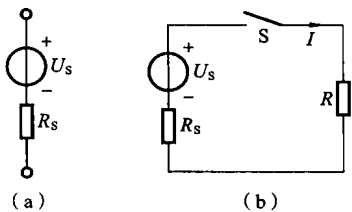


图 1-4 图 1-1 电路的电路模型

带上负载后比未带负载时有所下降,这样电池的特性可以用一称为电压源的理想电路元件和一理想电阻元件的串联近似表示,如图 1-4(a)所示。灯泡的主要特性是电流通过灯丝时使灯丝发热至白炽状态,可以用一理想电阻元件近似表示。连接导线和开关主要是构成电路的通路,可用理想导线和理想开关表示。这样图 1-1 所示的实际电路就可以用图 1-4(b)所示的由理想电路元件互相连接的电路近似表示。这种由理想电路元件互相连接组成的电路称为电路模型。由于理想电路元件都是通过数学加以定义的,所以就能对电路模型建立相应的数学模型,例如对图 1-4(b)所示电路,标注电流  $I$  的方向后可写出电路的方程为  $RI + R_s I = U_s$ 。

以上从图 1-1 所示的实际电路得出了它的电路模型,但反过来,对图 1-4(b)所示的电路模型的理论分析结果,就不仅仅只说明图 1-1 所示的实际电路的情况,也能用于讨论其他简

单耗能实际电路的问题。

电路理论中讨论的电路都是电路模型。

## 1.2 电压及其参考方向

一个电路的特性是通过电荷、电流、电压、磁通链、功率和能量等物理量来描述的,这些物理量统称为电路变量。在这些电路变量中,电压和电流是两个基本变量。这是因为电路的基本定律所叙述的就是电路中的电流或电压的关系;电路中的电流和电压是比较容易观察到的两个变量(可分别用电流表和电压表测量);一旦求得了电流和电压,再求功率或能量就简单了。

### 1.2.1 电压的概念

(库仑)电场力将单位正电荷由电场中的  $a$  点移动到  $b$  点所做的功,称为  $a$ 、 $b$  两点的电压。图 1-5 表示电场力将电量为  $dq$  的正电荷从  $a$  点沿某个路径移动到  $b$  点,设在这一过程中电场力做的功为  $d\tau$ ,用  $u$  表示电压,则

$$u = \frac{d\tau}{dq} \quad (1-1)$$

通常,电压是时间的函数。如果电压不随时间变化则为直流电压,用相应的大写字母  $U$  表示。电压的基本单位为伏[特],符号为  $V$ 。

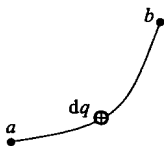


图 1-5 电压的定义

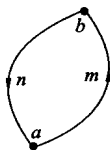


图 1-6 电压与路径无关

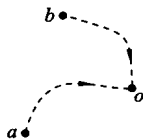


图 1-7 电位的概念

电场力移动单位正电荷沿任一路径从某点出发又返回到原出发点所做的功为零。如图 1-6 所示,单位正电荷沿路径  $a-m-b-n-a$  所做的功为 0,即  $u_{amb} + u_{bna} = 0$ 。由于  $u_{bna} = -u_{anb}$ ,所以  $u_{amb} - u_{anb} = 0$ ,即  $u_{amb} = u_{anb}$ ,这表明两点间的电压与所经过的路径无关。

在两点间的电压与路径无关的前提下,在电场中任意选择一点作为参考点,如图 1-7 中的  $o$  点,则各点到参考点  $o$  都有确定的电压,设

$$u_{ao} = \varphi_a, \quad u_{bo} = \varphi_b$$

各点到指定参考点的电压称为各点的电位,显然参考点的电位

$$\varphi_o = u_{oo} = 0$$

各点电位的大小因选择的参考点不同而不同。为了使各点电位有确定的大小,在同一问题中只能选择一个电位参考点。

建立了电位概念后,再来考虑两点间的电压。图 1-7 中  $a$  点到  $b$  点的电压  $u_{ab}$ ,当然可以选取路径  $a-o-b$ ,即

$$u_{ab} = u_{ao} + u_{ob} = u_{ao} - u_{bo} = \varphi_a - \varphi_b$$

这表明,两点的电压等于这两点的电位差。

(库仑)电场力对正电荷施力试图使正电荷由高电位移向低电位,所以电压的(真实)方向规定为从高电位(正极)到低电位(负极)。图 1-8 中虚线箭头表示的是电阻两端电压的真实方向。

按照电场的来源,电场分库仑电场和非库仑电场两类。非库仑电场也能对正电荷施力做功,例如,在电池内部由化学力引起的非库仑电场将正电荷从电池的负极推向正极。在电源内部,由非库仑电场移动单位正电荷从负极到正极所做的功称为电源的电动势。本书在讨论电源时仅涉及电源的外部特性,即采用沿电源外部的任意路径所得的电源两端电压(端电压)表征电源,而不用电动势表征。

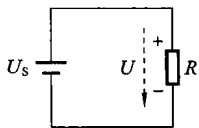


图 1-8 电压的真实方向

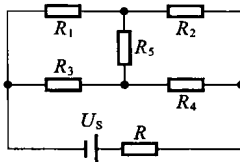


图 9 电压的参考方向问题示例图

### 1.2.2 电压的参考方向

上面提到的电压真实方向的规定,对于除了图 1-7 那样极简单、无须分析计算一眼就能看出电压的真实方向的电路外,对于复杂一点的电路,如图 1-9 所示电路中电阻  $R_5$  两端电压的真实方向就不是一眼可以看出来的。还有对那些大小和方向随时间不断变化的电压,例如日常应用的交流电,在 1 s 内变化 50 次,要想在电路图上标注出它们的真实方向简直是不可能的,也是没有实际意义的。然而电路分析计算时又必须涉及电压的方向,如何解决这一问题呢?

鉴于两点间电压的真实方向只有两种可能,这样就可以给电压先假定一个方向,此假定的方向称为参考方向。通常采用下述方法表示电压的参考方向。

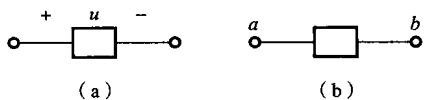


图 1-10 电压的参考方向

(1) 如图 1-10(a)所示,在二端元件(或电路)两端分别标以电压  $u$  的“+”号(表示高电位)和“-”号(表示低电位),故参考方向也称为参考极性。参考方向是指从“+”到“-”的方向。

(2) 如二端元件(或电路)两端带有文字符号,如图 1-10(b)所示,可不在电路图上加任何标记,而在分析计算中标以  $u_a$ (或  $u_b$ ),下角标的第一个字符对应的端子假定为电压的正极,第二个字符对应的端子假定为电压的负极。

(3) 如果问题中应用了电位,则将参考点默认为公共的负极,其他各点相对于参考点都假定为正极。

根据参考方向对电路进行分析计算时,若分析计算结果  $u > 0$ ,则表示该电压的真实方向与参考方向相同;若  $u < 0$ ,表示该电压的真实方向与参考方向相反。可见这里电压数值的正、负与普通正数和负数的概念是不同的。这里的正或负,只表示电压的真实方向与参考方向是否相同。



参考方向是为了对电路进行分析计算而人为假定的,它是任意的,但两点间电压的真实方向是一定的,绝不因为参考方向的改变而改变。在电路的分析计算中,要确定某个电压的真实方向,就应根据该电压的参考方向和计算结果的正负来加以确定。

**例 1-1** 图 1-11(a)所示二端电路元件,已知电压在图示参考方向下, $u=5\text{ V}$ ,说明此二端电路元件两端电压的真实方向。同样的条件,仅改变电压的参考方向,如图 1-11(b)所示中的 $u'$ ,求 $u'$ 。

**解** 对图 1-11(a)所示电路,因为给定的 $u>0$ ,所以电压的真实方向与参考方向相同。对图 1-11(b)所示电路,电压的真实方向未变,即与参考方向相反,所以 $u'=-5\text{ V}$ ,或 $u'=-u=-5\text{ V}$ 。

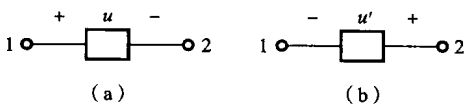


图 1-11 例 1-1 图

**例 1-2** 在图 1-11(a)所示电路中,若 $u(t)=220\sqrt{2}\sin(314t+30^\circ)\text{ V}$ ,试说明 $t=0$ 和 $t=\frac{1}{60}\text{ s}$ 两个时刻电压的真实方向。

**解**  $u(0)=220\sqrt{2}\sin 30^\circ\text{ V}=110\sqrt{2}\text{ V}$ ,因为 $u(0)>0$ ,此时电压的真实方向与参考方向相同。

$$u(1/60)=220\sqrt{2}\sin\left(314\times\frac{1}{60}\times\frac{180^\circ}{\pi}+30^\circ\right)\text{ V}=220\sqrt{2}\sin 330^\circ\text{ V}=-110\sqrt{2}\text{ V}$$

因为 $u(1/60)<0$ ,故此时电压的真实方向与参考方向相反。

**例 1-3** 在图 1-12 所示电路中,已知 $U_1=5\text{ V}$ , $U_2=-3\text{ V}$ , $U_3=2\text{ V}$ ,求图中的电压 $U$ 。

**解** 选取路径 A—C—D—B 计算。

$$\begin{aligned} U &= U_{AC} + U_{CD} + U_{DB} \\ U &= U_1 - U_2 + U_3 \\ U &= [5 - (-3) + 2]\text{ V} = 10\text{ V} \end{aligned}$$

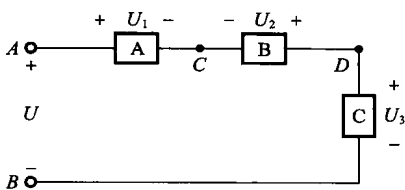


图 1-12 例 1-3 图

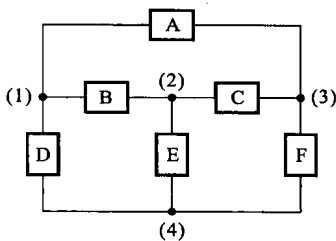


图 1-13 例 1-4 图

**例 1-4** 在图 1-13 所示电路中,当选择(4)为参考点时,(1)、(2)、(3)各点电位分别为 $5\text{ V}$ 、 $3\text{ V}$ 、 $-6\text{ V}$ 。求电压 $U_{12}$ 、 $U_{23}$ 、 $U_{31}$ ;若将参考点改为(2),求其他各点的电位。

**解**

$$\begin{aligned} U_{12} &= \varphi_1 - \varphi_2 = (5 - 3)\text{ V} = 2\text{ V} \\ U_{23} &= \varphi_2 - \varphi_3 = [3 - (-6)]\text{ V} = 9\text{ V} \\ U_{31} &= \varphi_3 - \varphi_1 = (-6 - 5)\text{ V} = -11\text{ V} \end{aligned}$$

令 $\varphi_2=0$ ,因为两点间的电压与参考点的选择无关,故

$$\varphi_1 = U_{12} + \varphi_2 = (2 + 0)\text{ V} = 2\text{ V}$$