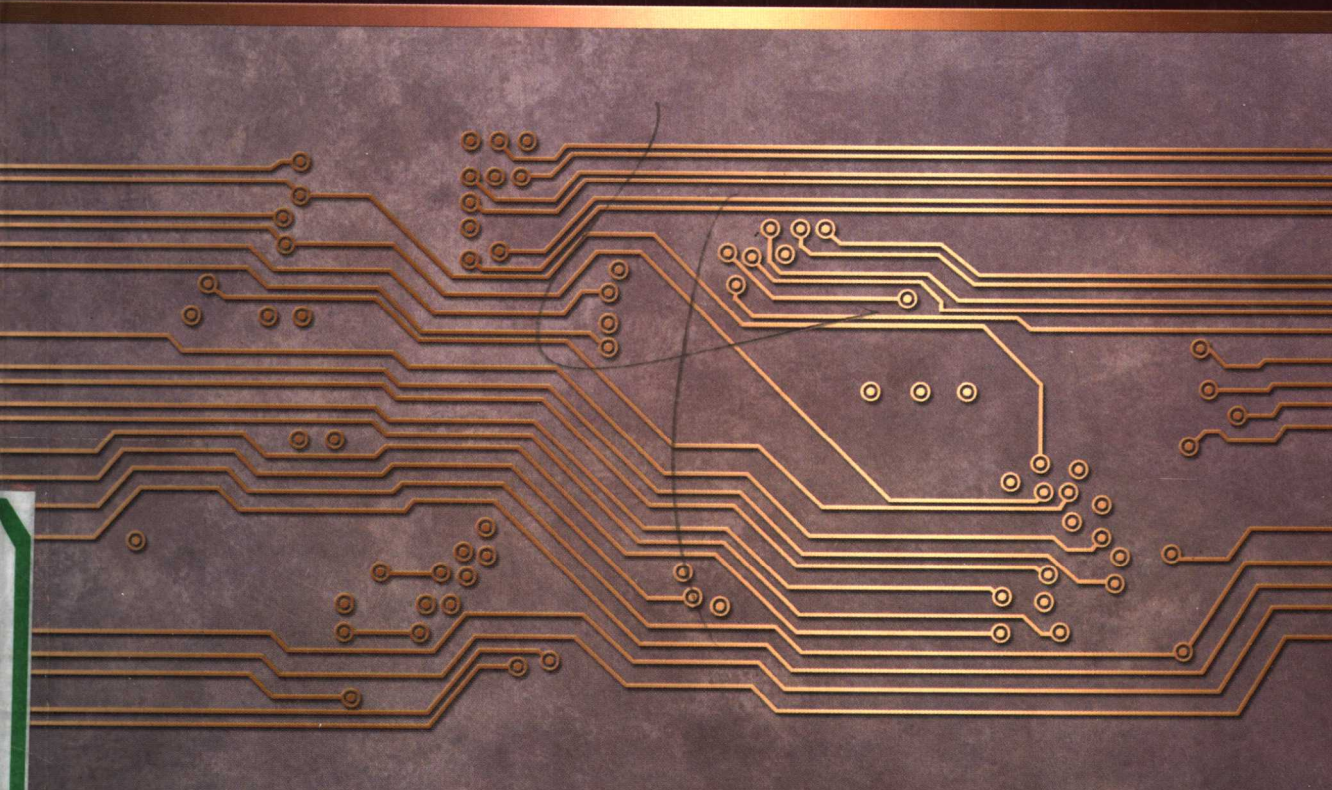


新编电气与电子信息类本科规划教材·电子电气基础课程

# 电路与电子技术

(上册·电路原理)(第2版)

张纪成 主编 李燕荣 李冰 副主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

TN7/92--2

:1

2007

新编电气与电子信息类本科规划教材·电子电气基础课程

# 电路与电子技术

## (上册·电路原理)

(第2版)

张纪成 主编

李燕荣 李冰 副主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本套书分为上、中、下三册,上册为电路原理部分,中册为模拟电子技术部分,下册为数字电子技术部分。上册内容包括:电路的基本概念与定律、电路的一般分析方法、正弦交流电路、非正弦周期量电路分析、动态电路分析、含有耦合电感和理想变压器的电路,共6章。本书内容丰富,语言流畅,通俗易懂,重点突出,保证基础,立足应用。每章都有丰富的例题和习题,各章前有概述、后有小结,书后有部分习题答案。

本书适合作为电子、电气、自动化、通信、计算机、机电一体化等专业本科生、大专生及成人教育多学时教材或参考书,还可供工程技术人员自学使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

电路与电子技术.上册,电路原理/张纪成主编.—2版.—北京:电子工业出版社,2007.9

新编电气与电子信息类本科规划教材·电子电气基础课程

ISBN 978-7-121-04431-1

I. 电… II. 张… III. ①电路理论—高等学校—教材 ②电子技术—高等学校—教材 IV. TM13 TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 081516 号

责任编辑:冉 哲

印 刷:北京市铁成印刷厂  
装 订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编:100036

开 本:787×1092 1/16 印张:15.5 字数:390 千字

印 次:2007 年 9 月第 1 次印刷

印 数:3 000 册 定价:21.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

# 前 言

本书第1版自2002年出版以来,已历时5个春秋。此期间,电子技术发展迅速,新技术、新工艺、新产品日新月异,有些刚刚问世,不久却成了明日黄花;另外,教学内容与课程体系改革进一步深入发展,所以教材内容应该适当取舍、修改,使教材日臻完善,以满足课堂教学的需要,跟上时代的步伐。

本次修订除满足课程基本需要外,还充分考虑了培养21世纪人才所具备的条件——基础扎实、知识面宽、能力强、素质高等,所以修订中仍注意保持第1版的特色:突出基本理论、基本知识、基本技能;反映现代电子技术中的新发展、新成果、新产品及新技术;加强电子技术应用,重点介绍常用的集成电路芯片的功能及使用方法;配以适量例题及习题,以求理论联系实际;将“电路与电子技术”一书分成上、中、下三册,即“电路原理”、“模拟电子技术”和“数字电子技术”。除此之外,本次修订更重视创新能力的培养,为此,我们进行了精心策划、精心设计、精心取材,力求定义准确、概念明确、阐述清楚、深入浅出、图文并茂,增强可读性,便于读者自学。

本册具体修改如下。

(1)第2章“电路的一般分析方法”中增加了互易定理的内容。

(2)第3章“正弦交流电路”中增加了复杂电路分析与计算、复功率、带通滤波电路、正弦交流电路的最大功率传输、非对称三相交流电路等内容。

(3)删除或修改了其他章节的部分内容。

参加本书修订编写工作的有张纪成(第1章、第2章部分内容、第5章部分内容、第6章)、李冰(第3、4章)、张兴会(第2章部分内容)、许景春(第2章部分内容、第5章部分内容)、李燕荣(习题、部分习题答案)。魏永继负责本书一部分的校对、统稿工作。张纪成任主编,负责全书的策划、组织、统稿工作。李燕荣、李冰任副主编,协助主编工作。

在本书的修订过程中,得到了电子工业出版社高等教育分社编辑的指导与帮助,在此表示诚挚的感谢。另外,也对几年来关心、支持我们的读者深表谢意。

由于时间仓促,水平有限,本书虽经修改但可能还会有疏漏或错误之处,恳请读者批评指正。

编 者

2007年7月

# 目 录

<b>第 1 章 电路的基本概念与定律</b> .....	(1)
1.1 电路的组成与模型 .....	(1)
1.1.1 实际电路 .....	(1)
1.1.2 理想电路 .....	(1)
1.2 电路中常用的物理量 .....	(2)
1.2.1 电荷和电流 .....	(2)
1.2.2 电压和电位 .....	(3)
1.2.3 电动势 .....	(5)
1.2.4 功率 .....	(6)
1.3 欧姆定律 .....	(7)
1.4 电压源与电流源 .....	(8)
1.4.1 电压源 .....	(8)
1.4.2 电流源 .....	(9)
1.4.3 受控源 .....	(10)
1.5 电路的开路、短路及有载工作状态 .....	(11)
1.5.1 开路 .....	(11)
1.5.2 短路 .....	(11)
1.5.3 有载工作状态 .....	(12)
1.6 基尔霍夫定律 .....	(13)
1.6.1 基尔霍夫电流定律 .....	(13)
1.6.2 基尔霍夫电压定律 .....	(14)
1.7 简单电路分析与计算 .....	(15)
本章小结 .....	(17)
习题 1 .....	(18)
<b>第 2 章 电路的一般分析方法</b> .....	(21)
2.1 等效电路分析 .....	(21)
2.1.1 电阻的串联、并联与等效二端网络 .....	(21)
2.1.2 电阻星形连接与三角形连接的等效变换 .....	(24)
2.1.3 电压源与电流源的串联、并联 .....	(26)
2.1.4 戴维南等效电路与诺顿等效电路 .....	(28)
2.2 电路的基本分析方法 .....	(30)
2.2.1 支路电流法 .....	(30)
2.2.2 网孔分析法 .....	(31)
2.2.3 节点电压分析法 .....	(35)

2.3	网络定理	(42)
2.3.1	叠加定理	(42)
2.3.2	戴维南定理	(47)
2.3.3	诺顿定理	(53)
2.3.4	最大功率传输定理	(57)
* 2.3.5	互易定理	(58)
* 2.4	含有受控源电路分析方法	(61)
2.5	非线性电阻电路分析方法	(65)
2.5.1	非线性电阻元件	(65)
2.5.2	分析方法	(66)
	本章小结	(71)
	习题 2	(73)
<b>第 3 章</b>	<b>正弦交流电路</b>	<b>(79)</b>
3.1	正弦电压与电流	(79)
3.1.1	频率与周期	(79)
3.1.2	幅值与有效值	(80)
3.1.3	相位与初相位	(81)
3.2	正弦量的相量表示法	(82)
3.3	电阻、电容与电感元件	(85)
3.3.1	电阻元件	(85)
3.3.2	电容元件	(86)
3.3.3	电感元件	(87)
3.4	电阻、电容与电感元件的交流电路	(88)
3.4.1	电阻元件的交流电路	(89)
3.4.2	电容元件的交流电路	(90)
3.4.3	电感元件的交流电路	(92)
3.5	电阻、电容与电感元件串联交流电路	(94)
3.6	阻抗的串联、并联与复杂交流电路	(97)
3.6.1	阻抗串联的交流电路	(97)
3.6.2	阻抗并联的交流电路	(98)
* 3.6.3	复杂交流电路的分析与计算	(100)
3.7	正弦交流电路的功率	(104)
3.7.1	二端网络的功率	(104)
* 3.7.2	正弦交流电路的最大功率传输	(107)
3.8	正弦交流电路的频率特性	(109)
3.8.1	RC 串联电路的频率特性	(109)
3.8.2	串联谐振	(112)
3.8.3	并联谐振	(116)
* 3.9	功率因数的提高	(118)
3.10	三相正弦交流电路	(119)

3.10.1	三相电源	(119)
3.10.2	三相负载的星形连接	(122)
3.10.3	三相负载的三角形连接	(124)
3.10.4	三相功率	(126)
	本章小结	(127)
	习题 3	(129)
<b>第 4 章</b>	<b>非正弦周期量电路分析</b>	<b>(134)</b>
4.1	非正弦周期量的分解	(134)
4.2	非正弦周期量的有效值与平均值	(137)
4.3	非正弦周期电流的线性电路计算	(139)
4.4	非正弦周期电流电路的平均功率	(141)
	本章小结	(144)
	习题 4	(145)
<b>第 5 章</b>	<b>动态电路分析</b>	<b>(147)</b>
5.1	动态元件	(147)
5.1.1	概述	(147)
5.1.2	动态元件的有关特性	(148)
5.1.3	动态元件的串联、并联电路	(154)
5.1.4	换路定则和初始值的确定	(157)
5.2	零输入响应	(159)
5.2.1	RC 电路的零输入响应	(159)
5.2.2	RL 电路的零输入响应	(164)
5.3	零状态响应	(167)
5.3.1	RC 电路的零状态响应	(167)
5.3.2	RL 电路的零状态响应	(171)
5.4	一阶电路完全响应	(174)
5.4.1	RC 电路一阶完全响应	(174)
5.4.2	RL 电路一阶完全响应	(177)
5.5	一阶线性电路动态分析的三要素法	(179)
5.6	阶跃函数与阶跃响应	(185)
5.6.1	阶跃函数	(185)
5.6.2	延时阶跃函数	(186)
5.6.3	阶跃响应	(186)
5.7	微分电路与积分电路	(188)
5.7.1	微分电路	(189)
5.7.2	积分电路	(191)
* 5.8	RLC 电路的响应分析	(191)
5.8.1	RLC 电路的零输入响应——过阻尼	(192)
5.8.2	RLC 电路的零输入响应——临界阻尼	(194)
5.8.3	RLC 电路的零输入响应——欠阻尼	(194)

5.8.4 RLC 电路的零输入响应——无阻尼等幅振荡 .....	(197)
* 5.9 GCL 并联电路的零输入响应 .....	(198)
本章小结 .....	(200)
习题 5 .....	(201)
<b>第 6 章 含有耦合电感和理想变压器的电路</b> .....	<b>(208)</b>
6.1 耦合电感 .....	(208)
6.2 耦合电感线圈的连接 .....	(211)
6.2.1 串接 .....	(211)
6.2.2 并接 .....	(212)
6.2.3 一端相连 .....	(215)
6.3 空心变压器电路分析 .....	(217)
6.4 理想变压器 .....	(220)
6.5 理想变压器折合阻抗 .....	(223)
* 6.6 实际变压器与模型电路 .....	(225)
本章小结 .....	(230)
习题 6 .....	(231)
<b>附录 A 部分习题答案</b> .....	<b>(234)</b>

注:加“\*”号的酌情选读



# 第 1 章 电路的基本概念与定律

在科学技术高速发展的今天,电得到了广泛应用,凡是用到电的各种领域中,都是通过电路实现其功能的,以便完成不同的任务。虽然电路种类繁多,结构有异同,但是各种电路都遵循着共同的规律。其基本规律就是电路基本理论及分析电路的方法。

本课程主要研究线性、非时变电路的基本理论及分析方法,它是电子计算机、自动控制、通信、仪器仪表、电气工程及机电一体化等专业必修的专业基础理论及分析方法。

本章主要介绍分析电路时常用的物理量及电路的基本定律,以便于后续章节的学习。

## 1.1 电路的组成与模型

### 1.1.1 实际电路

用于完成各种特定任务的电路中常常含有电源和电阻器、电容器、电感器及半导体等元器件。根据不同的要求将它们组合连接起来,形成电流的通路,称为电路。

电路的种类繁多,如日常的照明、电炉发热、电动机转动、计算机中的数据及程序的存储和自动控制中的闭环系统等,都是用导线把电源和电气设备连接起来所构成的电路。不论多么复杂,形式如何变化,电路都是由一些最基本的部分组成的,如图 1.1 所示。

由图 1.1 可见,电路是由电源、负载及中间环节组成的。

电源:在电路中用干电池示意代表,表示电路的能源,其本质是将其他形式的能量转换成电能。例如,干电池将化学能转变成电能,发电机将机械能转变成电能,光电池将光能转换成电能,等等。

负载:取用电的设备,它能将电能转换成其他形式的能量。例如,手电筒中的灯泡将电能转换成光能。直流电路中的负载  $R$  主要是电阻性的,它将电能转换成热能。

中间环节:由电路中的导线和控制电路通断的开关  $S$  组成。用它们将电源及负载连接起来,构成电流的通路。为了保证电路安全,中间环节也常包含电器保护装置。

上述的电源、负载、中间环节也是组成电路的三要素。所以说,电路是由电源、负载及中间环节等组成的总体,它是电流的闭合通路。

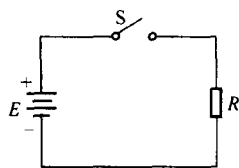


图 1.1 电路组成

### 1.1.2 理想电路

组成电路的实际部件在工作过程中都与电磁现象有关,如电阻器及呈现电阻性的各种用电器,它们对电流呈现阻力,消耗电能。当电流流过时,其周围产生磁场,因而具有电感性。各种电感线圈具有存储磁场能量的性质,但是由于线圈导线多少总有些电阻,因而兼有电阻的性质。各种电容具有存储电场能量的性质,也有电阻的次要性质,甚至还有电感性。各种电源其内部总有一定量的内阻,不可能总保持不变的恒定电压。即使导线也总有些电阻,甚至还

有电感性质等。因此,实际部件的电磁性质很难用数学式加以描述。若不分主次,把实际部件的次要性质也一起考虑,会使问题变得相当复杂,从而给分析带来较大的难度。为此,在一定条件下,常常把实际部件加以理想化,忽略次要性质,用表达各种部件主要性质的模型加以表示,以便对电路进行分析、计算。就是说,模型是由理想化元件构成的。理想化元件性质单纯,可以用数学式精确描述。在后面的电路分析中所涉及的各种元件都是理想化的。

理想化元件可以用数学式加以精确描述,它能够方便地建立描述电路模型的数学关系式,从而掌握电路的特性。图 1.1 所示的电路就是电路模型。

理想化电路模型是从实际电路中抽象出来的。更确切地说,研究电路及分析电路的对象是电路模型,它在理论研究及工程实践中获得了广泛应用。通过电路模型的分析,可以预测实际电路的特性,以便设计更优化的电路。但是,电路模型只能近似地反映实际电路的特性,经过不断修改模型,可以使之接近于实际电路的特性。

## 1.2 电路中常用的物理量

### 1.2.1 电荷和电流

#### 1. 电荷

根据原子理论,物质是由原子组成的,原子又是由原子核和围绕原子核高速运动的电子组成的。原子中的质子带正电荷,中子不带电荷,电子带负电荷。在正常情况下,电子的负电荷与质子的正电荷平衡,原子呈中性。

带电粒子所带的电荷数称为电量或电荷量。电荷的单位是库仑,国际单位制(SI)用 C 表示。1 库仑的电量等于  $6.24 \times 10^{18}$  个电子所带的电量。

#### 2. 电流

金属中的原子,其最外层的电子受原子核的吸引力较小,容易从原子中挣脱出来,成为自由电子,在金属内部做不规则自由运动。在电场的作用下,自由电子沿着与电场力相反的方向运动,从而形成电流。金属中有大量电子,因而是良导体。由此可见,电流是电荷(或带电粒子)在外电场的作用下,做有规则移动形成的。

在数量上衡量电流大小的量是电流强度。电流强度简称电流,用  $I$  或  $i$  表示。电流强度是指在单位时间内通过导体横截面的电荷量。如果电流是随时间而变化的,则可用微变量表示,电流强度是电荷对时间的变化率,即

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

式中,电荷量  $q$  的单位是库仑(C);电流单位是安培(A);时间单位是秒(s)。安培是国际单位制(SI)中的基本单位之一,即在 1 秒内,通过导体横截面的电荷量为 1 库仑时,电流为 1 安培。

如果电流的大小和方向不随时间变化,则称为恒定电流,简称电流,用  $I$  表示。电流单位除了用安培(A)表示外,小电流可用毫安(mA)、微安( $\mu$ A)作为单位,它们之间的关系是

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

#### 3. 电流方向

电流的大小可以用电流强度衡量,那么电流的方向如何确定呢?物理学中有关电流方向的规定是适用的,即历史上把正电荷的运动方向作为电流方向。例如,在一段金属导体中,自由电子在电场力的作用下,由 B 端向 A 端运动,效果上与等量正电荷自 A 端向 B 端运动是相

同的。因此,导体中从 A 向 B 是电流的实际方向。但是在电路中,常常难以判定电流的真实方向。为了分析和计算电路,需要引入一个重要的概念——参考方向,即假设的电流正方向。

在一般电路中,电流可能有两种不同的方向,任选一种作为标准方向或参考方向。当实际的电流方向与它相同时,电流是正值;相反时,电流是负值,如图 1.2 所示。图中用实线箭头表示选定的正方向,即参考方向;虚线箭头表示该电路中电流的真实方向。其中,图 1.2(a)表示电流真实方向与参考方向一致,电流  $I$  为正值;图 1.2(b)表示电流真实方向与参考方向相反,电流  $I$  为负值。

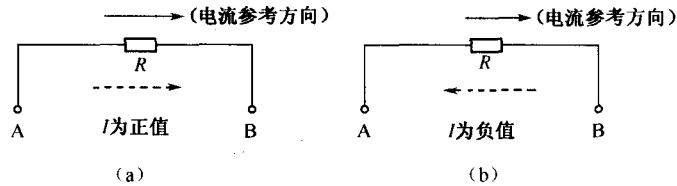


图 1.2 电流的参考方向

由此可见,在求解电路时,首先任意假定一个参考电流方向,并在电路图上表示出来;然后,再根据已经假定的参考方向分析计算,得出计算结果的正负值,连同假设的参考方向一起用于判断电流的实际方向。必须注意:不标出电流的参考方向,谈论电流的正负是没有意义的。一旦确定参考方向,就不要在电路中再改动。

## 1.2.2 电压和电位

### 1. 电压

金属导体在外加电场的作用下,电场力迫使自由电子做定向运动,从而形成电流,在此过程中,电场力移动电荷做功。为了衡量电场力做功的本领,引入了一个物理量——电压,这是电路中的又一个基本物理量。

所谓电压,是指电场力把单位正电荷从 A 点移到 B 点所做的功,称为 A、B 两点之间的电压,即

$$u = \frac{d\omega}{dq} \quad (1-2)$$

电压用符号  $u$  或  $U$  表示。电荷从 A 点移到 B 点,写成  $u_{AB}$  或  $U_{AB}$ 。A 端为正,B 端为负,表明是电压降,其值为“+”;反之,写成  $u_{BA}$  或  $U_{BA}$ ,其值为“-”。

在国际单位制(SI)中,电荷的单位是库仑(C),功的单位是焦耳(J),电压的单位是伏特(V)或千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏( $\mu\text{V}$ )。

$$1\text{kV} = 10^3\text{V} \quad 1\text{mV} = 10^{-3}\text{V} \quad 1\mu\text{V} = 10^{-6}\text{V}$$

不随时间变化的电压是直流电压,用  $U$  表示。若电压写成  $u$ ,则表示是交流电压。

### 2. 电位

物理学中电位称为电动势,表示电场中某一点性质的物理量,它是相对参考点而言的。电场中某点 A 的电位,在数值上等于电场力将单位正电荷自该点沿任意路径移动到参考点所做的功,用  $U_A$  表示。可见,电场中某点的电位就是该点到参考点间的电压。

电位的单位是伏特(V),与电压的单位相同。通常规定参考点的电位为零,所以参考点又叫零电位点。参考点的确定是非常重要的,因为电位是相对的物理量,所以,不确定参考点,讨论电位是没有意义的。在同一电路中,选择不同的参考点,对同一点的电位是不同的。因此,

物理学中常常选择无限远处或大地作为参考点。大地容纳电荷的能力很大,电位稳定,不会因为局部电荷的变化而影响大地电位值,所以选择大地为零电位。而电路中,常常把若干支路的

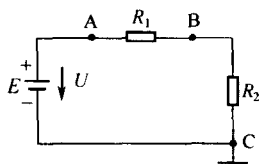


图 1.3 电压与电位

交汇点或机壳作为电位的参考点。但是参考点一经确定,其余各点的电位也就确定了,不能再改动,而且各点的电位值是唯一的,具有单值性。

引入电位概念后,应该注意电位与电压之间的区别。电路中两点之间的电压是两点的电位之差。如图 1.3 所示电路中,A、B 两点的电位分别为  $U_A$  和  $U_B$ ,都以 C 点为参考点,A、B 两点之间电压是

$$U_{AB} = U_A - U_B$$

因此,电压又称为电位差,电压或电位差与参考点的选择无关。

### 3. 电压的参考极性

电压及电位都是描述电场力对电荷做功能力的物理量,它们与能量密切相关。在电路中,正电荷从某点移动到另一点,或者吸收能量,或者消耗能量,因此,有必要引入电压的参考极性的概念。

电路中,正电荷从 A 点移动到 B 点,电场力做功,表明电路是吸收能量的。正电荷在 A 点比 B 点具有更高的能量,A 点是高电位,B 点是低电位。规定电压的实际方向是高电位点指向低电位点的,正电荷沿着这个方向,将失去能量。若正电荷通过元件失去能量,则该元件吸收(或消耗)能量,它把电能转换成其他形式能量,如热能或光能等。若正电荷通过元件时得到(或消耗)能量,则该元件产生(或释放)能量。该元件能够将其他形式能量,如化学能或机械能,转换成电能。

分析电路时,常常难以事先判断元件两端真实的电压极性。因此,在分析电路时事先要为电压假设参考极性,用“+”、“-”号表示,如图 1.4(a)所示;也可以用箭头由高电位指向低电位,如图 1.4(b)所示;或者写出脚标  $U_{AB}$ ,表示 A 点的电位高,B 点的电位低。三种表示方法通用,可任选一种。

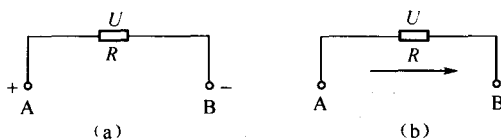


图 1.4 电压的参考极性

电压的参考极性可以任意假设,一旦确定就按假设极性进行计算。算出的结果为正值,说明电压的真实极性与假设的参考极性相同,否则电压极性与真实极性相反。同理,研究电路时不标出电压的参考极性,谈论电压的正负是没有意义的。根据前面叙述,分析电路时,电流和电压都要假设参考方向和参考极性,它们互不相关,可以任意假设。为了分析方便,常常采用关联的参考方向,即把元件上电压参考极性与电流参考方向取得一致。如图 1.5(a)所示,电流从电压的“+”极性流入。关联的参考极性与参考方向也可以用图 1.5(b)和图 1.5(c)表示。

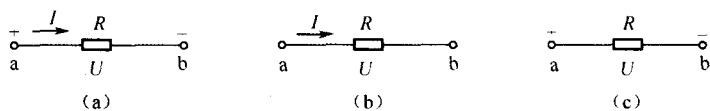


图 1.5 关联的参考极性与参考方向

**【例 1.1】** 如图 1.6 所示,算出 a、b 之间的电压,其中  $R_1 = R_2 = 2\Omega, I = 1A$ 。

解:图 1.6(a),  $U_{ab} = -(U_b - U_a) = -U_{ba} = -110V$

图 1.6(b),  $U_{ab} = IR_1 + IR_2 = 1 \times 2 + 1 \times 2 = 4V$

**【例 1.2】** 试分别说明图 1.7(a)、(b)、(c) 所示电路中:(1)电流实际方向与电压实际的极性;(2)电流与电压是关联的还是非关联的?

解:图 1.7(a), 电流的实际方向为  $a \rightarrow b$ ; 电压的实际极性 a 端为“+”, b 端为“-”; 电压与电流相关联。

图 1.7(b), 电流的实际方向为  $b \rightarrow a$ ; 电压的实际极性 a 端为“-”, b 端为“+”; 电压与电流相关联。

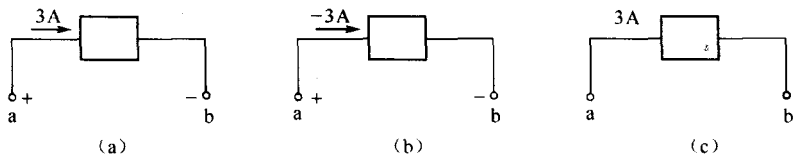


图 1.6 例 1.1 图

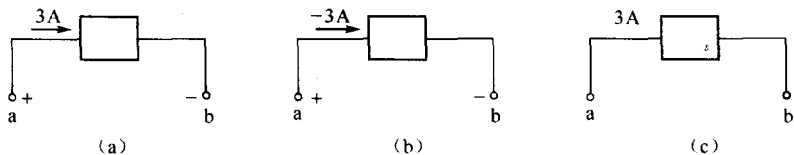


图 1.7 例 1.2 图

图 1.7(c), 电流的实际方向不能确定; 电压实际极性不能确定; 电压参考极性与电流参考方向是否关联不能确定。

### 1.2.3 电动势

图 1.8 中示出了一个闭合电路, 正电荷总是从电源  $E$  的正极流出, 最后流到电源负极, 电场力对电荷做了功。为了使电流  $I$  流动, 正电荷从电源  $E$  的负极经过电源内部移动到电源正极。否则正电荷在电源负极逐渐增多, 电位逐渐升高, 使电源正负极电位差减小到零, 电路中的电流  $I$  等于零。因此, 电源内部存在着一种非电场力, 例如, 电池内部因化学作用而产生的化学力, 发电机内部因电磁感应而产生的电磁力。这种非电场力称为局外力或电源力。这种力能够使正电荷由电源的负极移动到正极, 从而把电源其他形式的能量转换成电能。可见, 在电源内部, 正电荷从低电位到高电位, 电源力做功; 在电源外部, 正电荷从高电位流向低电位, 电场力做功。为了表征电源内部电源力对正电荷做功的本领, 引入了电动势这一概念。电动势在数值上等于电源力把单位正电荷从负极经电源内部移动到正极时所做的功。

电动势的单位是伏特(V)。

图 1.9(a) 所示是一般直流电源符号, 用  $E$  表示, 正、负极分别用“+”号和“-”号标出, 其电动势方向如图中箭头所示。

电动势与电压是两个不同的概念。它们既可以用正负极之间的电动势表示, 也可以用其间的电压表示, 但要注意两者的区别。图 1.9(b) 中, 电动势  $E$  与电压  $U_{AB}$  表示同一电源, A 点电位比 B 点电位高, 所以  $E = U_{AB}$ 。在许多情况下, 常常用一个与电源的电动势大小相等、方向相反的电压等效, 表示电动势对外电路的作用效果。

**【例 1.3】** 试用图 1.10 给定的电源极性, 求解电动势与电压之间的表达式。

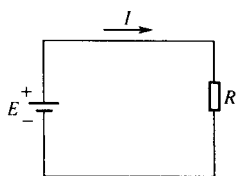


图 1.8 电动势电路

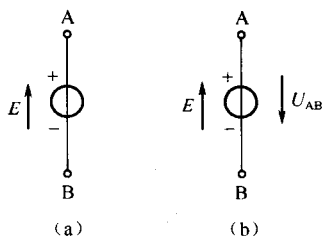


图 1.9 电动势符号

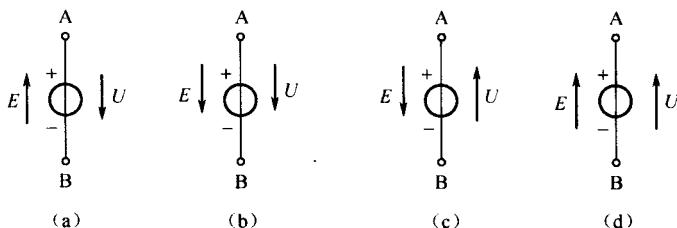


图 1.10 例 1.3 图

解: 图 1.10(a),  $E=U$ ; 图 1.10(b),  $-E=U$ ; 图 1.10(c),  $-E=-U$ ; 图 1.10(d),  $E=-U$ 。

### 1.2.4 功率

电路的基本功能之一是实现能量的传输, 所以常用到功率这个物理量。

电路中有的元件吸收电能并将电能转换成其他形式的能量, 有的元件将其他形式能量转换成电能, 即元件向电路提供电能。在单位时间内, 某段电路所吸收或放出的能量称为该段电路的功率, 即

$$P = \frac{d\omega}{dt} \quad (1-3)$$

若  $d\omega$  为吸收的能量, 则称这段电路吸收功率; 若  $d\omega$  为释放的能量, 则称这段电路释放功率。

一个二端网络所吸收的功率与端电压、电流的关系为

$$P = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d\omega}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-4)$$

在国际单位制(SI)中, 功率用瓦特(W)表示, 1 瓦特等于 1 伏安, 也可以用千瓦(kW)、毫瓦(mW)表示。

$$1\text{kW} = 10^3 \text{W} \quad 1\text{mW} = 10^{-3} \text{W}$$

在电压和电流为关联参考方向下, 式(1-4)得出的功率  $P > 0$  或  $p > 0$ , 该元件吸收功率; 若  $P < 0$  或  $p < 0$ , 该元件产生功率。当电压和电流为非关联参考方向时, 则计算功率的公式为

$$p = -ui \quad (1-5)$$

$$P = -UI \quad (1-6)$$

计算结果: 若  $p > 0$  或  $P > 0$ , 为吸收功率; 若  $P < 0$  或  $p < 0$ , 为产生功率。

【例 1.4】如图 1.11 所示, 计算图中电路元件功率, 说明该元件是产生功率还是吸收功率。

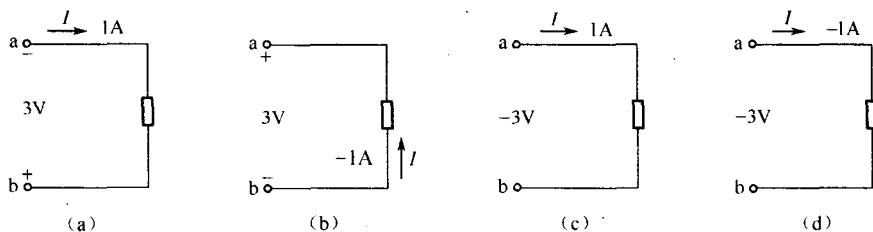


图 1.11 例 1.4 图

解:图 1.11(a),电压与电流为非关联

$$P = -UI = -3 \times 1 = -3 \text{ W (产生功率)}$$

图 1.11(b),电压与电流为非关联

$$P = -UI = -3 \times (-1) = 3 \text{ W (吸收功率)}$$

图 1.11(c),电压与电流为关联

$$P = UI = (-3) \times 1 = -3 \text{ W (产生功率)}$$

图 1.11(d),电压与电流为关联

$$P = UI = (-3) \times (-1) = 3 \text{ W (吸收功率)}$$

### 1.3 欧姆定律

电阻元件是电路的基本元件之一。它是从实际元件中抽象出来的模型,在电路中对电流呈现阻力。

欧姆定律是电路的基本定律之一,表示通过电阻的电流与电阻两端的电压成正比关系,可以用下式表示

$$R = \frac{U}{I} \quad \text{或} \quad U = IR \quad (1-7)$$

式中, $R$  为电路中的电阻。式(1-7)是电压  $U$  和电流  $I$  在关联方向下的关系式。若电压与电流的方向是非关联的,则应为

$$R = -\frac{U}{I} \quad \text{或} \quad U = -IR \quad (1-8)$$

在国际单位制(SI)中,电阻的单位是欧姆( $\Omega$ ),即当电路两端的电压为 1V、通过的电流为 1A 时,该电路的电阻为  $1\Omega$ 。阻值较高时可用千欧(k $\Omega$ )、兆欧(M $\Omega$ )为单位。

电阻元件或电阻值与其自身的材料性质及几何尺寸有关,还与外界温度有关。

电阻元件的特性可以用另一个参数加以表示,即电导  $G$ ,它表示元件传导电流的能力。

电导与电阻的关系是

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-9)$$

国际单位制(SI)中,电导的单位是西门子(S)。

$$1 \text{ S} = \frac{1 \text{ A}}{1 \text{ V}}$$

用电导表示欧姆定律时,可以表示为

$$U = \frac{I}{G} \quad \text{或} \quad I = UG \quad (1-10)$$

电阻元件对电流呈现阻力,即消耗电能,将电能转换成热能。利用这一特点可以制成各种电热器,但有时也会在传输中因电流的热效应造成能量损失,引起设备的损坏。应尽量减少电阻消耗的功率,其功率为

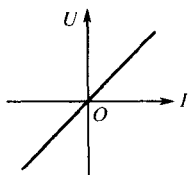


图 1.12 线性电阻的伏安特性曲线

$$P = UI \quad \text{或} \quad P = \frac{U^2}{R} = I^2 R \quad (1-11)$$

欧姆定律可以用伏安特性曲线表示,如图 1.12 所示,它是一条过原点的直线。具有这种伏安特性的元件称为线性电阻元件。显然,欧姆定律仅适用于线性电阻元件,不适用于非线性元件。

需要指出的是,凡是电阻元件,它在任何时刻的电压值或电流值都是由该时刻的电压或电流决定的。因此,电阻元件是“无记忆元件”。

【例 1.5】 求图 1.13 所示电路的  $U_{ab}$ 。

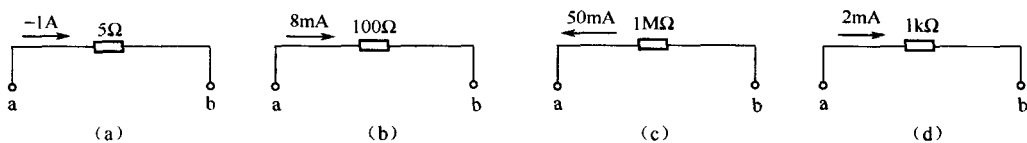


图 1.13 例 1.5 图

解:图 1.13(a),  $U_{ab} = IR = (-1) \times 5 = -5 \text{ V}$ ;

图 1.13(b),  $U_{ab} = IR = 8 \times 10^{-3} \times 100 = 0.8 \text{ V}$ ;

图 1.13(c),  $U_{ab} = -IR = (-50) \times 10^{-3} \times 1 \times 10^6 = -5 \times 10^4 \text{ V}$ ;

图 1.13(d),  $U_{ab} = IR = 2 \times 10^{-3} \times 1 \times 10^3 = 2 \text{ V}$ 。

【例 1.6】 有一个  $100\Omega, \frac{1}{4} \text{ W}$  的碳膜电阻,使用时,电流不得超过多大数值? 该电阻能否接在 110V 电源上?

解:由于  $P = I^2 R$ , 所以  $I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{1}{4 \times 100}} = \frac{1}{20} \text{ A} = 50 \text{ mA}$

又  $U = RI = 100 \times 50 \times 10^{-3} = 5 \text{ V}$

使用时,电流不能超过 50mA,电压不能超过 5V。若接在 110V 电源上,则远远超过电阻所允许的最大电压,会使元件烧坏。

## 1.4 电压源与电流源

电源是电路的三个组成部分之一,它是提供能量的元件。若电路中无电源存在,只有消耗能量的元件,则电路中不可能有电流流动,更没有能量的转换。

根据电源特点,可分为独立源和受控源。凡是能独立地对电路提供能量的电源称为独立源。它有电压源和电流源两种类型,这是从实际中抽象出来的电路模型,即理想元件。

### 1.4.1 电压源

电压源是一个两端元件,在任何情况下,接入电路后其两端电压总能保持恒定不变的电压,而与通过它的电流大小无关,故称为电压源或恒压源。若电压源随时间  $t$  变化,则用  $u_s$  表



示;若电压源不随时间  $t$  变化,为一个常数,则用  $U_S$  表示。电压源符号如图 1.14 所示。

由电压定义可知,电压源有以下两个特性:

(1)电压源有恒定电压值  $u_S(U_S)$ ,与通过它的电流大小无关,这意味着与外电路无关;

(2)通过电压的电流只能由外电路决定。

理想电压源是不存在的。在电压源内部总有一定的电阻值,称为内阻,用  $R_0$  表示,如图 1.15(a)所示。把实际的电压源接入电路中,然后调整电阻  $R$ ,可测得伏安特性曲线,如图 1.15(b)、图 1.15(c)所示。随着电流  $I$  的逐渐增加,电压稍有下降。当实际电压源中  $R_0$  变小以至于  $R_0=0$  时,就是理想的电压源。

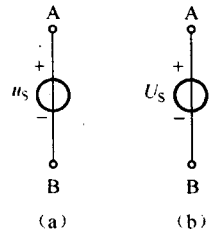


图 1.14 电压源符号

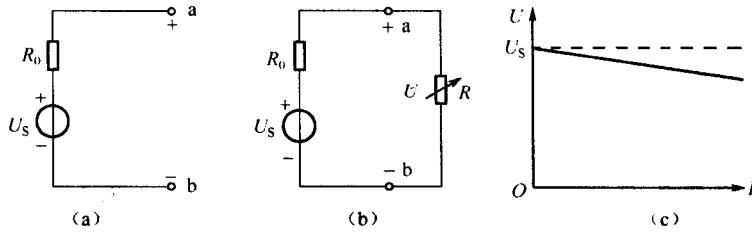


图 1.15 实际电压源及伏安特性曲线

### 1.4.2 电流源

电路中除有电压源外,还经常应用另一种独立的电流源。

电流源是一个两端元件,接入任一电路中后,流入电路的电流保持不变,与两端电压无关。这种元件称为电流源或恒流源,用  $i_S$  或  $I_S$  表示。

例如,硅光电池在光线照射下被激发产生电能,在光线的照度一定时,光电池就能向外提供确定的电流。它与外电路的电阻无关,与光照度成正比。根据定义可知,电流源具有如下的特性:

(1)电流源的电流是恒定的,与两端电压无关;

(2)电流源的端电压由连接的外电路决定。

电流源的图示符号如图 1.16(a)所示。电流源的伏安特性曲线如图 1.16(c)所示,它是一条平行于电压  $U$  轴的直线,表明输出电流  $I=I_S$  不变,与端电压无关,与图 1.16(b)中的电阻  $R$  无关。所以当图 1.16(b)中的电阻  $R=0$  时,电源两端短路, $U=0$ ;当  $R$  增大时,端电压  $U$  也随之增大。

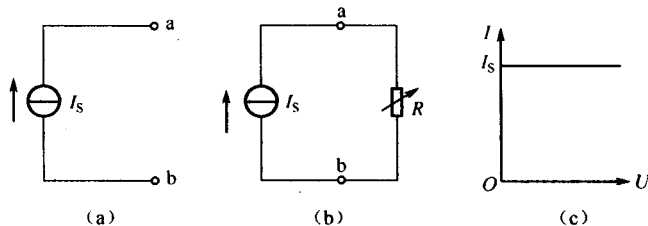


图 1.16 电流源及其伏安特性曲线