



全国教育科学“十一五”规划课题研究成果

电路与电子技术

主 编 毕淑娥

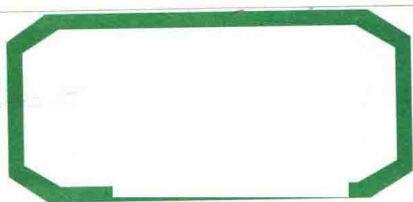
副主编 徐秀平

主 审 丁继盛

高等教育出版社



全国



课题研究成果

电路与电子技术

主 编 毕淑娥

副主编 徐秀平

主 审 丁继盛

高等教育出版社·北京

内容简介

本书系统地阐述了电路与电子技术的基本理论、分析方法和应用。

全书共9章,分三个部分。第一部分为电路基础,内容包括交、直流电路分析、三相电路等。第二部分为模拟电子技术,内容包括电子器件、放大电路、集成运算放大器。第三部分为数字电子技术,内容包括组合逻辑电路和时序逻辑电路等。

全书各章开头有引例,结尾有引例分析,每节有思考题。每章例题和习题数量与难易度适中,书后有附录及答案,以二维码形式给出,读者可用手机或其他终端设备扫码查看。

本书可作为高等学校非电类专业“电路与电子技术”课程的教材,也可作为其他院校“电路与电子技术”课程的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

电路与电子技术/毕淑娥主编.--北京:高等教育出版社,2016.12(2017.1重印)

ISBN 978-7-04-046706-2

I. ①电… II. ①毕… III. ①电路理论-高等学校-教材②电子技术-高等学校-教材 IV. ①TM13②TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第266338号

策划编辑 金春英 责任编辑 杨希 封面设计 于文燕 版式设计 杜微言
插图绘制 杜晓丹 责任校对 刘丽娟 责任印制 朱学忠

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400-810-0598
社址	北京市西城区德外大街4号	网址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印刷	北京鑫海金澳胶印有限公司	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
			http://www.hepmall.com
开本	787mm×1092mm 1/16		http://www.hepmall.cn
印张	12.5	版次	2016年12月第1版
字数	300千字	印次	2017年1月第2次印刷
购书热线	010-58581118	定价	23.20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 46706-00

前 言

“电路与电子技术”课程是高等学校工科非电类专业的必修基础课之一。本书参照教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会制定的电工学课程教学基本要求,根据我国高校实际的教与学情况编写。

本书是按照精心选材,精心编写,遵循教学规律,实现好教好学,节省课时,节省篇幅,使用面广的编写宗旨进行编写的。所以,本书内容精练、紧凑,叙述通俗易懂,各章是按照引例开头、引例分析回应、结论、思考的顺序编排的。本书具有以下特色:

1. 每章开头有引例,用以唤起读者的求知欲望。
2. 教材内容注重理论联系实际,力求与工程应用贴近。
3. 教材内容取舍方便,适合多层次教学。
4. 教材内容叙述深入浅出,便于读者自学。
5. 教材配套的电子课件容易修改,便于教学。
6. 书后有附录及答案的二维码,附录内容有:部分常用器件的型号、主要参数、引脚图等,读者可用手机或其他终端设备扫码查看。

本书的例题和习题数量及难易程度适中。教材中加*号的章节,教师可根据学时和专业要求灵活选用。

本书是高等学校“电路与电子技术”课程的教材,可供非电类专业使用;按36~60学时组织教学(不含实验),也可以作为其他各类院校“电路与电子技术”课程的教材或参考书。

参加本书编写的教师有华南理工大学广州学院刘希(第1、2章);华南理工大学毕淑娥(第3、4、5、6、7章);广东五邑大学徐秀平(第8、9章)。全书由毕淑娥统稿。哈尔滨工业大学丁继盛教授审阅了全书,并提出了许多具体的指导性意见,编者在此表示衷心的感谢。

编者邮箱:youbse@126.com。

编 者

2016年6月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010)58581999 58582371 58582488

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法律事务与版权管理部

邮政编码 100120

目 录

第一部分 电路基础

第 1 章 电路模型与基本定律	1	3.3.2 功率和能量	51
1.1 电路的组成与电路模型	1	3.4 电感元件的正弦交流电路	52
1.2 电压、电流的参考方向	3	3.4.1 电感元件的定义	52
1.3 欧姆定律	5	3.4.2 电压、电流的大小和相位关系	53
1.4 电位的概念与电位计算	9	3.4.3 功率和能量	54
1.5 电路的功率	11	3.5 电容元件的正弦交流电路	56
1.6 基尔霍夫定律	13	3.5.1 电容元件的定义	56
习题一	16	3.5.2 电压、电流的大小和相位关系	56
第 2 章 电路的分析方法	19	3.5.3 功率和能量	58
2.1 电阻电路的等效变换	19	3.6 RLC 串、并联电路的分析	59
2.2 实际电源两种模型的等效变换	23	3.6.1 基尔霍夫定律的相量形式	59
2.3 支路电流法	28	3.6.2 阻抗及其串、并联	59
2.4 结点电压法	30	3.6.3 正弦交流电路分析举例	63
2.5 叠加原理	33	3.7 正弦交流电路的功率	66
* 2.6 戴维宁定理	36	* 3.8 正弦交流电路中的串联谐振	70
习题二	40	习题三	72
第 3 章 正弦交流电路	43	* 第 4 章 三相电路	75
3.1 正弦量的三要素	44	4.1 三相电路的组成	75
3.1.1 正弦量	44	4.1.1 三相电源	75
3.1.2 正弦量的三要素	44	4.1.2 三相负载	78
3.2 正弦量的相量表示法	47	4.2 三相电路的分析	79
3.2.1 正弦量的相量表示	47	4.2.1 三相四线制电路的分析	79
3.2.2 正弦量的相量表示公式	49	4.2.2 三相三线制电路的分析	82
3.3 电阻元件的正弦交流电路	50	4.3 三相电路的功率计算	85
3.3.1 电压、电流的大小和相位关系	50	习题四	86

第二部分 模拟电子技术

第 5 章 常用半导体器件	89	5.1.2 N 型半导体和 P 型半导体	91
5.1 半导体的导电特性	89	5.1.3 PN 结	92
5.1.1 半导体的导电方式	90	5.2 二极管	94

5.3 稳压二极管	96	* 6.4 共集电极交流电压放大电路 (射极输出器)	117
5.4 晶体管	98	* 6.5 多级电压放大电路	120
习题五	102	6.5.1 阻容耦合电压放大电路	120
第 6 章 基本放大电路	105	6.5.2 直接耦合电压放大电路	122
6.1 基本放大电路的组成与工作原理 ..	105	习题六	125
6.1.1 晶体管发射结的线性工作区 ..	105	第 7 章 集成运算放大器及其应用	129
6.1.2 放大原理	107	7.1 集成运算放大器的组成、传输特性 及主要参数	130
6.1.3 各元件作用与电路简化	108	7.2 集成运算放大器的分析方法	131
6.2 放大电路的分析方法	109	7.3 集成运放的基本运算电路	133
6.2.1 放大电路分析的主要指标	109	7.4 电压比较器	139
6.2.2 放大电路的静态分析	110	* 7.5 集成运放应用电路举例	141
6.2.3 放大电路的动态分析	112	习题七	144
6.3 工作点稳定的分压式偏置交流 电压放大电路	115		
第三部分 数字电子技术			
第 8 章 组合逻辑电路	148	* 8.4.2 编码器	164
8.1 基本逻辑门	148	8.4.3 译码器	165
8.1.1 基础逻辑门	148	习题八	169
8.1.2 逻辑门的应用	151	第 9 章 时序逻辑电路	172
8.2 逻辑函数及其化简方法	152	9.1 触发器	172
8.2.1 逻辑函数的定义及描述	152	9.1.1 基本 RS 触发器	172
8.2.2 逻辑函数的化简	154	9.1.2 时钟控制的触发器	174
8.3 组合逻辑电路的分析与设计	160	9.2 时序逻辑电路的分析	178
8.3.1 组合逻辑电路的分析	160	* 9.2.1 寄存器	178
8.3.2 组合逻辑电路的设计	161	9.2.2 计数器	180
8.4 常用中规模组合逻辑电路	163	习题九	185
* 8.4.1 加法器	163		
附录	189		
习题答案	190		
参考文献	191		

第一部分 电路基础

第 1 章 电路模型与基本定律

本章主要内容

本章主要介绍电路模型、电压与电流参考方向、电路的工作状态、功率计算、电路的基本定律及电位的计算。

【引例】

电路在现代生活中非常普及,照明系统、通信系统、计算机系统、控制系统、电力系统和信号处理系统等各个领域都离不开电路。如图 1.0.1 所示的手电筒就是一个非常简单的照明电路,如何对这个电路进行分析?它的作用如何?通过本章的学习便能得到解答。

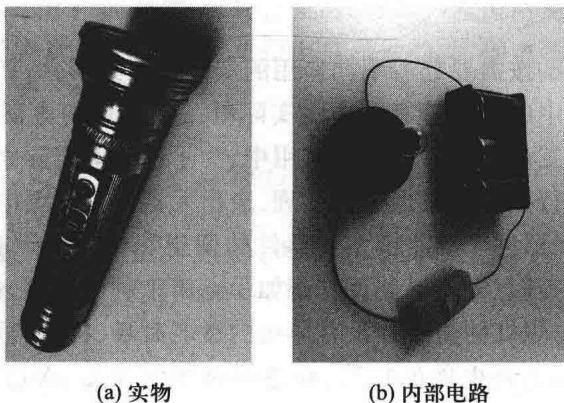


图 1.0.1 手电筒照明电路

1.1 电路的组成与电路模型

电路是由电气设备或元器件通过导线按照一定的目的和方式连接而成的电荷流动的通路。无论电路的结构多么复杂、电路的种类如何,它们都是由电源、负载和中间环节三个基本部分组成的。最典型的例子是电力系统,其电路示意图如图 1.1.1 所示,它的作用是实现电能的传输和转换。电力系统由核电站、水电站及热电站(煤、油或气燃烧)等发电站发出电能,这些发电站的发电机是电源;经过升压变压器升压,通过跨越全国的电力网传输和分配,再经过降压变压器降压供用户使用,其中的变压器和输电线路是中间环节;用户端的不同用电设备如电灯、电动机、电

炉等将电能转换为光能、机械能、热能等,消耗电能的这些设备是负载。

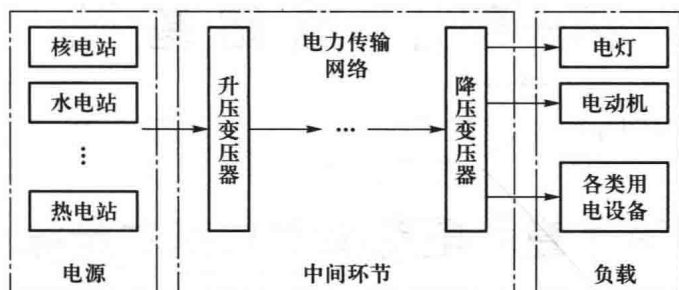


图 1.1.1 电力系统示意图

再如图 1.1.2 所示的扩音机电路,它的作用是实现信号的转换、传递和处理。首先由话筒把声音信号转换为微弱的电信号,话筒转换得到的电信号是扩音机电路的信号源,相当于电路的电源,信号源不同于发电机和蓄电池产生的一般能源,它的电压信号或电流信号中携带着各种非电的信息(如文字、声音、图像和温度等);放大电路对电信号进行放大并传递至扬声器,放大电路是中间环节;扬声器是接收和转换信号的设备,将放大后的电信号还原为声音信号,扬声器是负载。

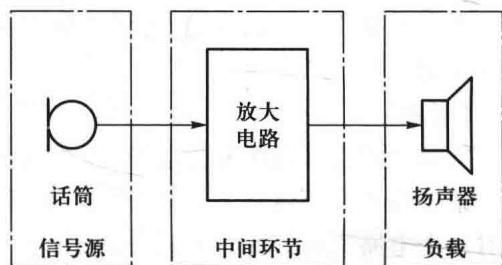


图 1.1.2 扩音机电路示意图

组成实际电路的是一些按需要起着不同作用的实际电路元器件,如前两个例子中的发电机、变压器、扬声器、放大电路中的晶体管等。这些实际电路元器件的电磁特性比较复杂,无法用简单的数学模型表示它们的工作特性。在工程应用中,为了便于对实际电路进行描述和分析,用数学的方法将实际元器件进行模型化或理想化处理,突出元器件的主要电磁特性,忽略次要电磁特性,构造一系列电路模型元器件。电路模型元器件的期望特性与实际电路元器件的实际特性相近,电路模型元器件也称为理想电路元器件。例如手电筒中的白炽灯,白炽灯在点亮时除了消耗电能外,周围还会形成对白炽灯的亮度并没有影响的微弱磁场,构造白炽灯的电路模型元器件时可以突出白炽灯阻碍电流、消耗电能的特性,而忽略磁场的作用,将白炽灯看成一个电阻元件。实际电路中的连接导线和闭合的开关,它们都是良好的导体,电阻值很小,均可以看成是电阻为零的理想导体。由理想电路元器件和理想导体所构成的电路,就称为实际电路的电路模型。

引例中的手电筒,由干电池、白炽灯、开关和连接导体等实际电路元器件组成。白炽灯的理想化模型为电阻元件 R ;干电池的理想化模型为理想电压源 U_s (其内阻 $R_s = 0$);连接导体和闭合的开关 S 均为理想导体。如图 1.1.3 所示,由这些理想元器件和理想导体组成的电路就是手电筒的电路模型。本书后续章节所画电路,均属电路模型。

引入电路模型意味着可以用数学方程式来描述元器件自身特性、元器件之间的互连关系特性。通过数学方程式描述元器件特性、元器件之间的互连关系时,必须按测量的参量来书写,这些参量就是电压和电流。电路分析需要理解如何用电压和电

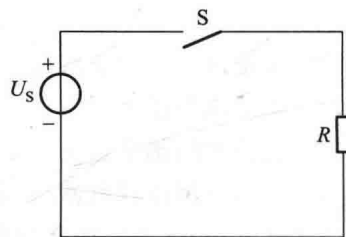


图 1.1.3 手电筒电路模型

流来表示理想电路元器件的特性,以及理想元器件的互连会对电压和电流有何影响。在电路模型中,推动电路工作的电源、信号源,称为激励,由激励在电路各部分产生的电压和电流称为响应。电路分析,就是在已知电路的结构和元器件参数的条件下,定量分析电路的激励和响应之间的关系。

【思考题】

1.1.1 能否在实际电气设备中,列举出既含有输送电能的电路,又含有传递电信号的电路的有机整体?

1.2 电压、电流的参考方向

1. 电路的基本物理量

电荷有正电荷和负电荷两种极性,电现象可归结为电荷的移动和电荷的分离。

电荷定向移动形成电流,电流是用来表征电荷流动速率的物理量,量值上等于单位时间内通过导体横截面的电荷量,用 $i(t)$ 表示,即

$$i(t) = \frac{dq}{dt} \quad (1.2.1)$$

其中, q 表示电荷量,单位为 C(库[仑]); t 表示时间,单位为 s(秒);电流的单位为 A(安[培])。当电流的方向和大小均不随时间而变化,保持常量时,称其为直流电流,一般用大写字母 I 表示。

电荷被分离需要消耗能量,电压是分离单位电荷所做的功,即电场力将单位正电荷由电场中一点移动到另一点所做的功,用 $u(t)$ 表示,即

$$u(t) = \frac{dw}{dq} \quad (1.2.2)$$

其中, w 表示分离电荷所做的功,单位为 J(焦[耳]); q 表示电荷量,单位为 C(库[仑]);电压的单位为 V(伏[特])。当电压的方向和大小均不随时间而变化,保持常量时,称其为直流电压,一般用大写字母 U 表示。

为了方便分析,物理学中对电流和电压的实际方向进行了规定。电流的实际方向规定为正电荷定向移动的方向或负电荷定向移动的相反方向。电压的实际方向规定为从高电位指向低电位,即电位降低的方向。

一般情况下,在只有一个电压源作用的电路中,若电源的极性已知,则电压和电流的实际方向可以通过电源的极性确定。我们通过一个最简单的电路来看看在电源和负载中的电流和电压的实际方向。在图 1.2.1 所示电路中, U_s 为电压源,用“+”表示电源正极,用“-”表示电源负极; R 为负载电阻。正电荷从电源正极出发,经过负载电阻 R ,回到电源的负极,再由电源将堆积在电源负极的正电荷经由电源内部送至电源正极,保持正电荷能够不断地由正极流出。图中箭头所示的方向是电流 I 的实际方向,电阻 R 中的电流实际方向为从 a 点流向 b 点;在电源 U_s 的内部,电流实际方向为从电源负极流向

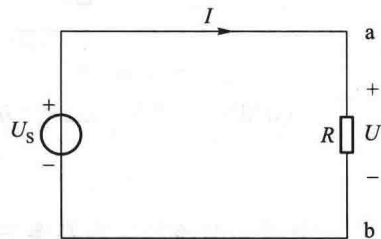


图 1.2.1 电流与电压的实际方向

电源正极。电压的实际方向为电位降低的方向,因此电压源 U_S 的电压实际方向为由电源正极指向电源负极,上“+”下“-”;负载电阻 R 的 a 点与电源正极相连, b 点与电源负极相连,因此负载电阻 R 两端电压的实际极性也是上“+”下“-”,即电阻 R 的电压实际方向为 a 点指向 b 点。

由这个例子可以看出:电流流经负载时,电压源发出能量,电场力做功,电流的实际方向是由负载的高电位到低电位(与负载两端电压的实际方向相同);电流流经电压源时,外力做功,电流的实际方向是由电压源的负极到正极(与电源两端电压的实际方向相反)。此结论可以作为判断电路中的各元件是电源还是负载的依据。

2. 电流和电压的参考方向

对于图 1.2.1 所示的简单电路来说,根据电源的极性很容易确定电流和电压的实际方向。可是,当我们遇到比较复杂的电路时,即便所有电源的极性都是已知的,电路中某些支路电流的实际方向和某两点间电压的实际方向仍然难以判断。例如图 1.2.2 所示的电路,图中“+”和“-”分别表示两个直流电压源 U_{S1} 和 U_{S2} 的正极和负极,我们很难判断电阻 R_3 的电流实际方向是从 a 点流向 b 点,还是从 b 点流向 a 点。在这种情况下,为了方便对复杂电路进行分析和计算,可以任意选取某一方向为电流的方向,称其为参考方向或正方向,根据选取的电流参考方向对电路进行分析。当然,所选的电流参考方向不一定与电流的实际方向一致。当电流的参考方向与实际方向一致时,电流数值为正值;当电流的参考方向与实际方向相反时,电流数值为负值。电路图中所标的电流的方向(用箭头标记)均为电流的参考方向,在选定了参考方向以后,电流就变成代数数值了,有了正值和负值的区别。

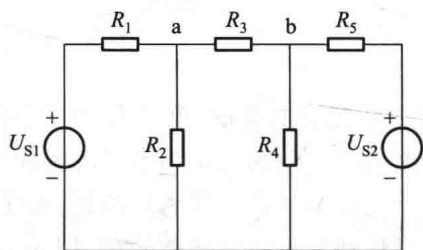
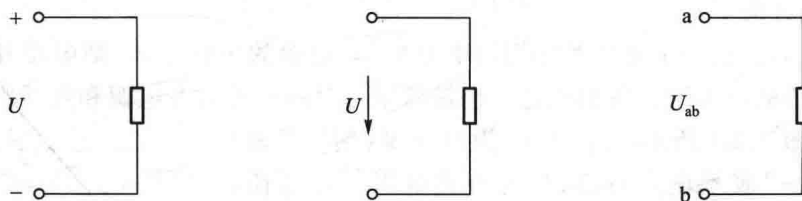


图 1.2.2 复杂电路

与电流类似,我们也可以在电路中任意假设电压的正、负极性作为电压的参考方向。电压的参考方向是从“+”极(高电位)指向“-”极(低电位)。若求解出的电压值为正值,表明参考方向与实际方向一致;若求解出的电压值为负值,表明参考方向与实际方向相反。

两点间电压的参考方向除用极性“+”、“-”表示外,还可以用箭头表示电位降低的方向,或者用双下标表示,例如 a 、 b 两点间的电压 U_{ab} ,表示电压参考方向是从 a 到 b 。电压参考方向的常用表示方法如图 1.2.3 所示。电路图上标出的电流和电压的方向,一般都是参考方向。



(a) 用“+”“-”号表示电压参考方向 (b) 用箭头表示电压参考方向 (c) 用双下标表示电压参考方向

图 1.2.3 电压参考方向的三种表示方法

3. 电压和电流的关联参考方向

对同一个电路元件而言,电流和电压参考方向的指定是任意的,相互独立的。但为了分析和

计算方便,常选取一致的电流和电压参考方向,即电流的参考方向是从电压参考方向的“+”极流向“-”极,称为关联参考方向,如图 1.2.4(a)所示。如果电流和电压的参考方向相反,即电流的参考方向是从电压参考方向的“-”极流向“+”极,称为非关联参考方向,如图 1.2.4(b)所示。以后的分析常采用关联参考方向,在取关联参考方向的前提下,电流和电压相关的表达式中一般使用正号。

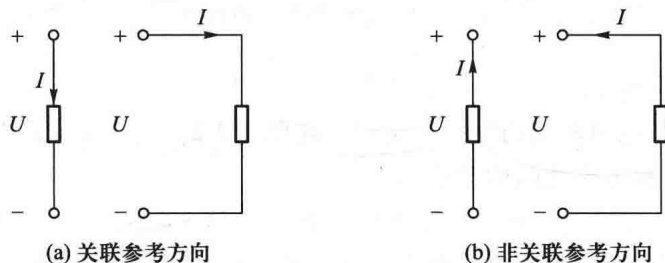


图 1.2.4 关联参考方向与非关联参考方向

【例 1.2.1】 A、B 为两个元件,其电压、电流参考方向如图 1.2.5 所示,请判断元件 A、B 的电压、电流参考方向为关联参考方向还是非关联参考方向。

【解】 对元件 A 而言,电流参考方向由电压参考方向的“-”极流向“+”极,电压、电流参考方向不一致,因此元件 A 的电压、电流参考方向为非关联参考方向。对元件 B 而言,电流参考方向由电压参考方向的“+”极流向“-”极,电压、电流参考方向一致,因此元件 B 的电压、电流参考方向为关联参考方向。

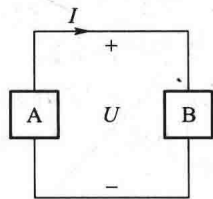


图 1.2.5 例 1.2.1 图

【思考题】

1.2.1 电流和电压的实际方向是如何规定的? 电流和电压的关联参考方向和非关联参考方向是什么?

1.2.2 U_{ab} 是否表示 a 端的实际电位高于 b 端的实际电位?

1.3 欧姆定律

1. 电阻元件

电阻是实际电路中应用最广泛的一种元件,理想电阻元件是从实际电阻抽象出来的电路模型,用来表示各种实际电阻的电磁特性。电流通过电阻时,一些电能被转化为热能并且以热的形式消耗掉,这种消耗也许是不受欢迎的,然而一些电器的工作原理恰恰是利用电阻发热的特点,比如电炉、电熨斗和空气对流加热器等。

电阻用 R 表示,其阻值不随外加电流或电压改变,而是由其制作材料、介质的长度和横截面等因素决定,这样的电阻称为线性电阻。在国际单位制中,电阻的单位是 Ω (欧[姆]),在计量高阻值电阻时,还可以以 $k\Omega$ (千欧) 或 $M\Omega$ (兆欧) 为单位。电阻的类型和符号如图 1.3.1 所示。

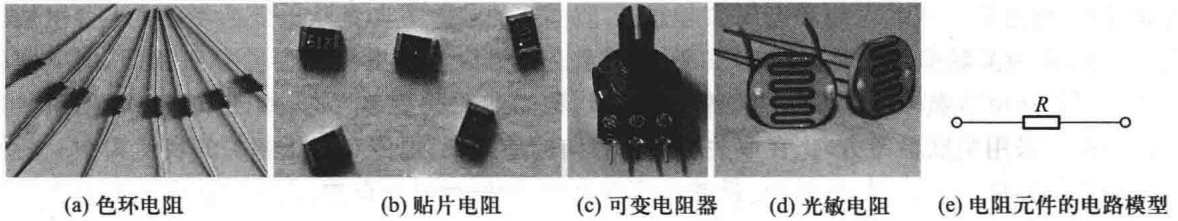


图 1.3.1 电阻的类型和符号

2. 欧姆定律

流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比。在图 1.3.2(a) 所示电路中,电压和电流取关联参考方向,电阻的电压和电流之间的关系为

$$U = IR \quad (1.3.1)$$

在图 1.3.2(b) 所示电路中,电压和电流取非关联参考方向,式(1.3.1)中出现负号,即

$$U = -IR \quad (1.3.2)$$

式(1.3.1)和式(1.3.2)统称为欧姆定律,该定律以德国物理学家欧姆的名字命名。电阻元件的伏安特性如图 1.3.3 所示,电阻的伏安特性曲线是一条过原点的直线,直线上每一点都遵循欧姆定律。由欧姆定律可知,当电阻两端所加电压 U 一定,电阻 R 愈大,电流 I 愈小,说明电阻具有阻碍电流(或电荷流动)的能力。

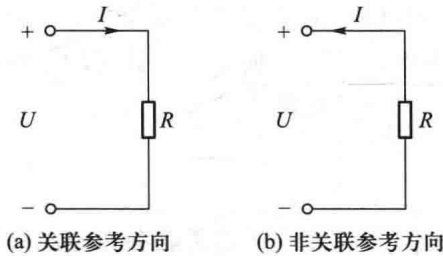


图 1.3.2 欧姆定律

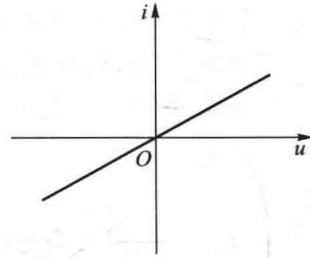


图 1.3.3 电阻元件的伏安特性

3. 开路与短路

在电路模型中,电阻值有两种特殊值:无穷大和零。如图 1.3.4(a) 所示, a、b 两点间断开,电流恒为零,两点间的电压任意,称为开路,此时认为 a、b 两点间的电阻值为无穷大;如图 1.3.4(b) 所示, a、b 两点由导线连接,两点间的电压恒为零,电流任意,称为短路,此时认为 a、b 两点间的电阻值为零。

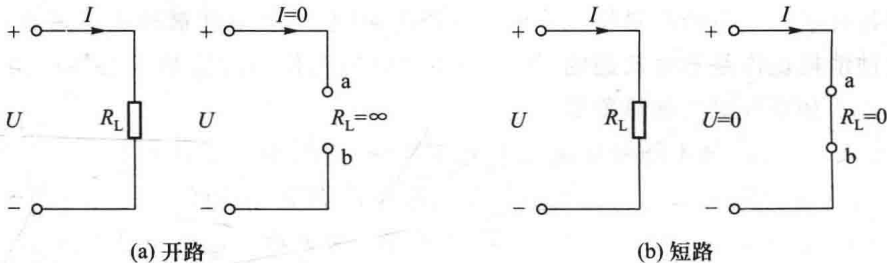


图 1.3.4 开路与短路

若电路中出现某处断开的现象,则断开处电阻等于无穷大,电流为零,断开处两端的电压一般不等于零(断开处两端的电压称为开路电压),开路现象对电路无太大损害。而如果电路中的电源未经过负载而出现图 1.3.4(b)中所示被导线直接接通形成短路的现象,会导致电路中电流过大,造成电源烧毁甚至发生火灾,短路通常是一种事故,应避免发生!

【例 1.3.1】 在图 1.3.2(a)、(b)所示电路中,已知 $U=10\text{ V}$, $R=10\ \Omega$ 。求电阻 R 的电流 I 。

【解】 在图 1.3.2(a)所示电路中,电压和电流取关联参考方向,由式(1.3.1)可得

$$I = \frac{U}{R} = \frac{10}{10}\text{ A} = 1\text{ A}$$

在图 1.3.2(b)所示电路中,电压和电流取非关联参考方向,由式(1.3.2)可得

$$I = -\frac{U}{R} = -\frac{10}{10}\text{ A} = -1\text{ A}$$

此时电流为负值,说明电流的实际方向与选取的电流参考方向相反。

4. 【扩展阅读】电阻元件的分类及表示法

实际电阻元件类型多种多样,总的来说可以分为三大类:固定电阻、可变电阻及特种电阻(如热敏电阻、光敏电阻等)。

(1) 固定电阻

固定电阻是由工厂成批加工、阻值无法改变的电阻,可提供从几欧姆到几十兆欧姆范围内的各种阻值。固定电阻在电路中常作为分流器、分压器或者负载使用。

不同种类的固定电阻由不同的方法和材料制成,如碳膜电阻、金属膜电阻、绕线电阻等。其中碳膜电阻和金属膜电阻是在高级陶瓷棒上分别镀了一层碳(碳膜)和镍铬(金属膜)。碳膜电阻制作成本较低,但稳定性差、误差大,多用于精度和稳定性要求不高的电路场合。金属膜电阻比碳膜电阻体积小、噪声小、稳定性好,但成本较高,多应用在精度要求较高的场合。绕线电阻阻值精确、工作稳定、温度系数小、耐热性能好、功率较大,但其电阻值较小,制作成本也较高,一般用在需要较高额定功率的电路中。

对于固定电阻,通常可以通过数字表示法和色环表示法两种方法来表示其电阻值和阻值偏差。

① 数字表示法

数字表示法,根据不同的精度,分为三位数字表示法和四位数字表示法。这种类型的标记方法常用于贴片电阻。如图 1.3.1(b)所示电阻称为贴片电阻。

三位数字表示法通过三位有效数字表示电阻的阻值,前两位数字给出阻值的两位有效数字,第三位数字给出倍乘数(即前两位有效数字之后 0 的个数)。四位数字表示法常用于阻值误差为 1% 精密电阻系列中,前三位数字代表电阻值的有效数字,第四位表示在有效数字后面应添加 0 的个数。字母“R”用于标记阻值有效数字中小数点的位置。图 1.3.5 所示标记为电阻的数字表示法的示例。

$$\boxed{1\ 5\ 5} = 15 \times 10^5 \Omega = 1.5\text{ M}\Omega \quad \boxed{5\ 1\ 0\ 2} = 510 \times 10^2 \Omega = 51\text{ k}\Omega \quad \boxed{3\ 0\ \text{R}\ 0} = 30\ \Omega$$

图 1.3.5 电阻的数字表示法

② 色环表示法

在色环电阻中,根据色环的环数可以判断电阻的阻值,色环表示法分为四色环表示法和五色环表示法。如图 1.3.1(a)所示电阻称为色环电阻。

允许偏差为 $\pm 5\%$ 或 $\pm 10\%$ 的定值电阻用四环表示法,图 1.3.6 为四色环表示法电阻示意图,其中第一道色环是第一位有效数字;第二道色环是第二位有效数字;第三道色环代表倍乘数,即第二位有效数字后面 0 的个数;第四道色环代表允许的偏差。

允许偏差为 $\pm 2\%$ 、 $\pm 1\%$ 或更小偏差的定值电阻用五色环表示法,图 1.3.7 为五色环表示法电阻示意图,其中第一道色环是第一位有效数字,第二道色环是第二位有效数字,第三道色环是第三位有效数字,第四道色环代表倍乘数,第五道色环代表允许的偏差。

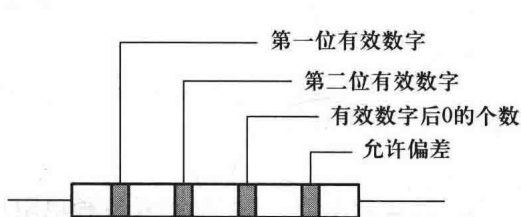


图 1.3.6 电阻的四色环表示法

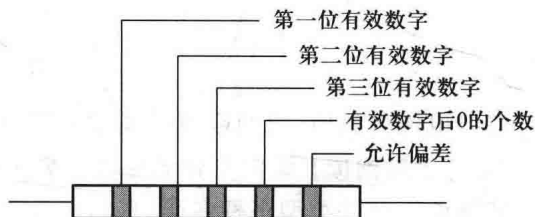


图 1.3.7 电阻的五色环表示法

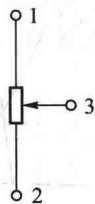
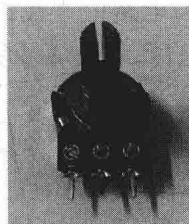
无论是四色环表示法,还是五色环表示法,都是以最靠近电阻边缘端的色环作为起始色环。色环电阻的颜色与阻值的关系如表 1.3.1 所示。若图 1.3.6 所示的四色环电阻上的色环颜色依次为黄、紫、橙、金,代表该电阻标称阻值为 $47 \times 10^3 \Omega = 47 \text{ k}\Omega$,允许偏差为 $\pm 5\%$ 。若图 1.3.7 所示的五色环电阻上的色环颜色依次为红、紫、黑、金、红,代表该电阻标称阻值为 $270 \times 0.1 \Omega = 27 \Omega$,允许偏差为 $\pm 2\%$ 。

表 1.3.1 色环电阻的色环对照表

色环颜色	色环代表的意义		
	有效数字	倍乘数	允许偏差(%)
黑	0	$\times 10^0$	—
棕	1	$\times 10^1$	1
红	2	$\times 10^2$	2
橙	3	$\times 10^3$	—
黄	4	$\times 10^4$	—
绿	5	$\times 10^5$	0.5
蓝	6	$\times 10^6$	0.25
紫	7	$\times 10^7$	0.1
灰	8	$\times 10^8$	—
白	9	$\times 10^9$	—
金	—	$\times 10^{-1}$	5
银	—	$\times 10^2$	10
无色环	—	—	20

(2) 可变电阻器

可变电阻器,也称电位器,通过人为或自动调节可以改变其阻值,在电路中常用来起分压和控制电流的作用,可变电阻器及其符号如图 1.3.8 所示。可变电阻器有三个接线端,如图 1.3.8(b)所示,1 端和 2 端之间的阻值是固定的,3 端为可变电阻器游标,转动或移动 3 端即可改变 1 点和 3 点之间、2 点和 3 点之间的电阻值。



(a) 可变电阻器

(b) 可变电阻器符号

图 1.3.8 可变电阻器

(3) 特种电阻

特种电阻也称敏感电阻,常见的特种电阻有热敏电阻、光敏电阻和压敏电阻等,其电阻值随外界特定环境的变化而发生改变。热敏电阻的典型特点是对外界温度敏感,不同的温度下表现出不同的电阻值。热敏电阻在一些设备的温度保护中起着至关重要的作用,热敏电阻与被保护器件紧密结合在一起,从而使两者之间充分进行热交换,一旦过热,热敏电阻阻值发生变化从而触发相应保护作用。光敏电阻是一种电阻值随外界光照强弱变化而发生改变的元件,外界光照越强,光敏电阻的阻值越小,外界光照越弱,光敏电阻的阻值越大。利用光敏电阻这一特性可以制作出一些光控小电路,例如道路、街道上路灯的点亮和熄灭的自动控制电路。

【思考题】

1.3.1 流过某 $2\text{ k}\Omega$ 电阻的电流为 2 mA ,试问该电阻两端的电压是多少?

1.4 电位的概念与电位计算

在对电路进行分析和计算时,经常会用到电位的概念。在电路中任取一点 O 作为参考点,规定参考点 O 点的电位为零,并且在电路图中用接地符号“ \perp ”表示,电路中 A 点到参考点的电压就是 A 点的电位。 A 点的电位用 V_A 表示,电位的单位和电压一样,也是 V (伏[特])。

在实际工程应用中,为方便分析,常选用大多数电子设备连接的公共点作为参考点。测量设备中常用的电压表和示波器正是通过测量电位来对电路进行检测。如图 1.4.1 所示,电压表的负极表笔(黑色)连接电路公共点,将正极表笔(红色)连接其他待测点以测量待测点的电位。与此类似,将示波器黑色夹子连接公共点,探头连接被测点,示波器屏幕上显示探头接触点相对参考点的电位随时间变化的波形,如图 1.4.2 所示。

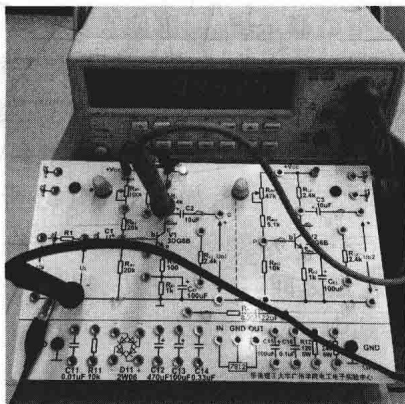


图 1.4.1 电压表测电位示意图

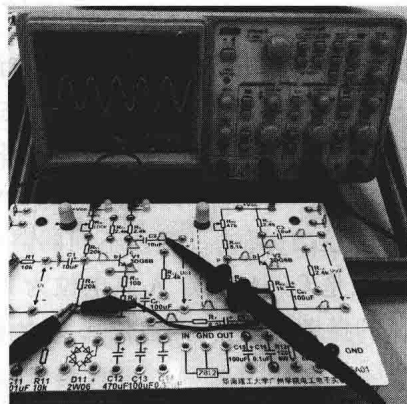


图 1.4.2 示波器测电位示意图

由电位的定义可知,电路中 A 点的电位就是 A 点到参考点 O 点间的电压,即 $V_A = U_{AO}$,而电路中 A、B 两点之间的电压,就是 A 点到 B 点之间的电位之差,即

$$U_{AB} = V_A - V_B \quad (1.4.1)$$

下面通过图 1.4.3 所示的电路来分析电位、电压的区别和联系。在图 1.4.3 所示的电路中,若选取 A 点作为参考点,则 $V_A = 0 \text{ V}$, $V_B = -30 \text{ V}$, $V_C = 60 \text{ V}$, $V_D = 80 \text{ V}$;若选取 B 点作为参考点,则 $V_A = 30 \text{ V}$, $V_B = 0 \text{ V}$, $V_C = 90 \text{ V}$, $V_D = 110 \text{ V}$ 。而无论选取哪个点作为参考点,都有 $U_{AB} = 30 \text{ V}$, $U_{AC} = -60 \text{ V}$, $U_{AD} = -80 \text{ V}$ 。由此可见,电位是相对的,而电压是绝对的。电路中各点的电位将随选取的参考点的变化而变化,但两点之间的电压是不会随参考点的变化而改变的。

引入电位的概念后,可以简化电路图。把电源省去不画,只需将电源所提供的电位值在电源端标出,如图 1.4.3 所示电路可以简化成如图 1.4.4 所示电路。

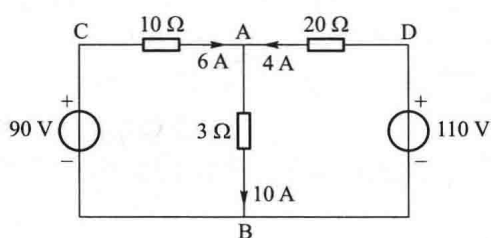


图 1.4.3 电位和电压之间的区别和联系

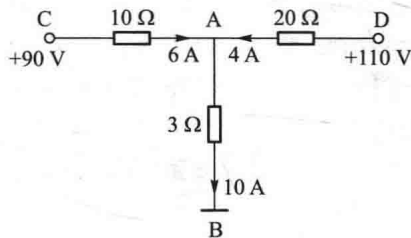


图 1.4.4 利用电位简化电路

【例 1.4.1】 电路如图 1.4.5(a) 所示。已知 C 点开路, $R_1 = 1.2 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 1.8 \text{ k}\Omega$ 。根据电位简化的理论,画出图 1.4.5(a) 所示电路简化前的电路,并计算 A 点、B 点和 C 点的电位。

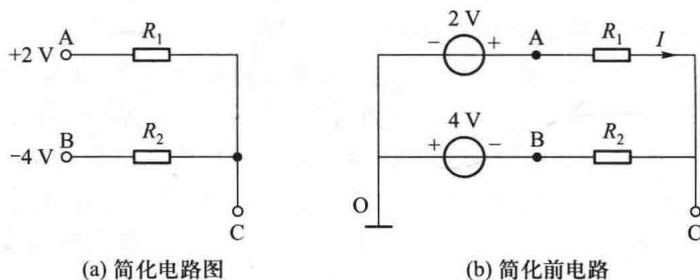


图 1.4.5 例 1.4.1 图

【解】 根据电位简化的理论可知:A 点的电位为 $+2 \text{ V}$,意味着 A 点与参考点之间有一大小为 2 V 的电压源, 2 V 电压源的“+”极连接在 A 点,“-”极连接在 O 点。B 点的电位为 -4 V ,意味着 B 点与参考点之间有一大小为 -4 V 的电压源, 4 V 电压源的“-”极连接在 B 点, 4 V 电压源的“+”极连接在 O 点。由此画出如图 1.4.5(a) 所示电路简化前的电路,如图 1.4.5(b) 所示。

计算 C 点电位时,可通过两条不同的路径计算,即

第一条路径是 C—A—O。A 点电位为 2 V ,C 点和 A 点之间有一电阻 R_1 ,根据图 1.4.5(b) 中标出的电流 I 的参考方向,A 点电位比 C 点电位高 IR_1 ,其中

$$I = \frac{4+2}{R_1+R_2} = \frac{6}{1.2+1.8} \text{ mA} = 2 \text{ mA}$$