



普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
(高职高专教育)

# 电路基本分析

(第3版)

石生 主编  
韩肖宁 副主编



高等教育出版社  
Higher Education Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
(高职高专教育)

# 电路基本分析

(第3版)

石 生 主编  
韩肖宁 副主编

高等教育出版社

## 内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材(高职高专教育),是“十五”国家级规划教材《电路基本分析》(第2版)的修订版。修订提纲经教育部组织的“十一五”规划教材专家评审会讨论通过。

全书共10章,其中第9章动态电路的复频域分析和第10章二端口网络为选修内容,其余8章分别为:电路的基本概念和定律、电路分析的等效变换法、电路分析的网络方程法、正弦交流电路、谐振与互感电路、三相电路、非正弦周期电流电路和动态电路的时域分析。

本次修订与前两版的区别之一是每章均按引言、知识结构和教学要求、教学内容、本章小结和习题五部分安排,并增加了思考与讨论。本书教学要求明确,便于教师安排教学,有利于学生把握学习内容,掌握基本概念。

本书可供高等职业院校、高等专科学校电力技术类、自动化类、电子信息类、通信类和水利水电类相关专业作为教材使用,同时也可供成人高等学校、高等教育自学考试人员选用。本书还可为工程技术人员和其他科技人员提供参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

电路基本分析 / 石生主编. —3版. —北京:高等教育出版社,2008.11

ISBN 978-7-04-024979-8

I. 电… II. 石… III. 电路分析-高等学校:技术学校-教材 IV. TM133

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第165945号

策划编辑 孙杰 责任编辑 王莉莉 封面设计 张志奇 责任绘图 尹莉  
版式设计 王艳红 责任校对 俞声佳 责任印制 毛斯璐

---

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	800-810-0598
邮政编码	100120	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
总 机	010-58581000		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	<a href="http://www.landaco.com">http://www.landaco.com</a>
印 刷	北京宏伟双华印刷有限公司		<a href="http://www.landaco.com.cn">http://www.landaco.com.cn</a>
开 本	787×1092 1/16	畅想教育	<a href="http://www.widedu.com">http://www.widedu.com</a>
印 张	21.25	版 次	2000年8月第1版
字 数	510 000		2008年11月第3版
		印 次	2008年11月第1次印刷
		定 价	26.60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 24979-00

## 第 3 版序言

本书是在普通高等教育“十五”国家级规划教材《电路基本分析》(第 2 版)的基础上修订而成。第 2 版的出版已近五年,五年来,我国的高等职业教育发展迅速,教学改革取得了丰硕成果,以校企合作、工学结合为主导的专业和课程教学改革不断引向深入,对本课程的教学提出了新的要求。五年来,编者不断收集读者的意见,并将其吸纳进第 3 版的修订中,对众多读者的宝贵意见,编者表示深切谢意。

与第 2 版相比,第 3 版主要的修订工作如下:

1. 首先是结构上的变动,每一章都安排了五部分,分别是:引言、知识结构和教学要求、教学内容、本章小结和习题。知识脉络清晰,教学要求明确,便于教师组织教学,便于学生理清思路、把握内容。

2. 在每章适当增加思考与讨论,促进学生对重要概念和容易混淆之处进行深入思考和讨论,边学边巩固所学知识。

3. 增加了端口测试和相量图解题方面的例题,以便更好地联系工程实际。

4. 调整了第 1、2、3、4、5、6、8 章的习题,再次适当降低习题难度。

5. 重新编写了部分章节的内容,目的是更详细地描述了基本概念。

6. 在第 2 版将第 9 章动态电路的复频域分析列入选修内容的基础上,本次修订将第 10 章二端口网络也列为选修内容,以便各校、各专业选用。

本书第 3 版的修订提纲,经教育部组织的“十一五”国家级规划教材专家评审会讨论通过。

与第 1 版、第 2 版一样,第 3 版继承原国家教委“电工电子系列课程改革”课题组的成果,全书突出了直流、交流、暂态三个主体教学模块,注重工程应用,而不过多强调学科理论体系的完整性。

本版修订工作内容,由石生和韩肖宁完成,石生教授对全书的修订工作进行了总体思路方面的把握。

全书经董达生教授仔细审阅,并提出宝贵的修改意见,在此致以衷心感谢。

编者认为,本次修订后,书中一定还存在不足和错误之处,随着全国高等职业教育教学改革的不断深化,对本课程的教学会不断提出新的要求,在此编者将一如既往,恳请兄弟院校同行和广大读者提出批评指正和进一步修改意见。

石生 韩肖宁  
2008 年 8 月于太原

## 第 2 版序言

本书系教育部高职高专规划教材《电路基本分析》的修订本,第 1 版于 2000 年出版,2002 年获全国普通高等学校优秀教材二等奖。出版三年来,作者注意收集各方面读者的意见,包括普通高等专科学校、高等职业学校、成人高等学校以及本科院校的二级职业技术学院和民办高等学校的广大读者对原版本提出了许多建设性的意见,在此表示深切的谢意。更为重要的是,三年来,全国高职高专办学规模不断扩大,教学改革不断深化,对本课程的教学提出了新要求,因此本次修订的原则是:一方面要保持本书原有的体系和特色,另一方面要适应高职高专教学内容和体系改革的要求。

与第 1 版相比,第 2 版在以下方面做了较大变动:

(1) 电容、电感元件及其特性由第一章调整到第四章正弦交流电路,目的在于使学生一开始集中精力掌握电路的基本定律和基本分析方法。

(2) 全书降低了对含受控源电路分析的要求,原则上一个电路只出现一个受控源。

(3) 对直流电路、正弦交流电路和动态电路的时域分析等核心内容,加强了典型例题的分析和讲述。第 1 版例题分析讲述概括性强,考虑到读者的要求,第 2 版在这方面描述得较为详细。

(4) 对全书的习题进行了调整,第 1 版基本习题偏少,而有一定难度的习题较多,第 2 版增加了一些与基本内容配合的、较容易的习题,同时适当降低了其他习题的难度。

第 1 版继承了原国家教委“电工电子系列课程改革”的成果,突出主体内容,注重工程应用等特色,仍是本次修订所遵循的。

受编者水平和教学经验所限,修订后,难免还有不足和错误之处,恳请读者指正。

石 生 韩肖宁

2003 年 8 月

# 第 1 版序言

本书在教育部高等工程专科“电工电子系列课程改革”课题组指导下编写而成,课题组多次研讨通过的“电路基本分析方法”课程改革方案和配套的教材编写大纲是起草本书的基本依据。改革方案提出:本课程要注重素质教育,注重应用性人才能力的培养,把立足点放到工程技术应用性上,内容应删繁就简、削枝强干、突出主线、突出重点,作到既为学习后续课程服务,又直接服务于工程技术应用能力的培养。在本书出版之前,相应的初稿(讲义)已在南京动力高等专科学校等五所高工专院校试用,取得了较好的教学效果,同时也征得了对本书的修改意见。在本书修改和统稿之前,作者根据教育部制定的《高职高专教育电工技术基础课程教学基本要求》作了相应的修改,本书在内容体系、深度、广度以及教学的适应性等方面,都能与此“基本要求”相一致。

本书以线性电路最基本的三部分内容:电阻电路分析、电路的正弦稳态分析和动态电路分析为主体,介绍基本电路理论及电路的基本分析方法,力求做到概念准确、内容精炼、重点突出、注重理论联系实际、注重方法论的叙述。在讲解上,力求做到通俗易懂、便于自学。书中给出了较多的例题、习题,以帮助学生掌握和巩固所学知识。

本书可供高等工程专科、高等职业技术学院、成人高等学校电气类、电子类、通信类各专业作为教材使用,也可供有关科技人员和相近专业的本科学生、自学考试者参考。

书中凡是标有(\*)号的章节,属于加宽或加深的内容,供不同学校和专业选用。

本课程的改革方案和教材编写大纲由太原电力高等专科学校李崇贺教授、石生教授起草。第一、二、三章由石生教授编写,第四、五、六章由太原电力高等专科学校韩肖宁副教授编写,第八、九章由南京电力高等专科学校范瑛编写,第七、十章由承德石油高等专科学校赵会军编写。全书由石生、韩肖宁共同统稿,修改和定稿。韩肖宁还负责全书的绘图工作。

本书送审稿承蒙南京电力高等专科学校徐熙文副教授仔细审阅,提出了许多宝贵意见,在此表示深切的感谢。

本书的初稿(讲义)经南京动力高等专科学校、南京电力高等专科学校、郑州电力高等专科学校、山东电力高等专科学校、太原电力高等专科学校试用后,提出了许多宝贵意见,对本书的修改帮助很大,对于所有提出意见的同志,在此表示衷心的感谢。

在本课程的改革方案、教材编写大纲的研讨过程中,得到教育部高等工程专科“电工电子系列课程”改革课题组组长、南京电力高等专科学校原副校长牛维扬,上海理工大学孔凡才教授等许多专家、教授和同行的帮助,在此表示衷心的感谢。

纵然如此,本书受编者学识水平和教学经验的限制,难免有疏漏和错误之处,恳请读者批评指正。

石 生 韩肖宁

2000年3月

# 目 录

<b>第 1 章 电路的基本概念和定律</b> .. 1	
1.1 引言 .. 1	
1.2 知识结构和教学要求 .. 1	
1.3 教学内容 .. 2	
1.3.1 实际电路和电路模型 .. 2	
1.3.2 电路的基本物理量 .. 4	
思考与讨论 .. 8	
1.3.3 电阻元件及其特性 .. 8	
1.3.4 电路中的独立电源 .. 11	
1.3.5 基尔霍夫定律 .. 14	
思考与讨论 .. 18	
本章小结 .. 18	
习题 .. 19	
<b>第 2 章 电路分析的等效变换法</b> .. 22	
2.1 引言 .. 22	
2.2 知识结构和教学要求 .. 22	
2.3 教学内容 .. 23	
2.3.1 电阻的串、并联等效变换 .. 23	
2.3.2 电阻星形联结与三角形 联结的等效变换 .. 27	
2.3.3 电源的等效变换 .. 29	
2.3.4 受控源及其等效变换 .. 32	
思考与讨论 .. 35	
2.3.5 叠加定理与替代定理 .. 36	
2.3.6 戴维宁定理与诺顿定理 .. 40	
思考与讨论 .. 47	
本章小结 .. 48	
习题 .. 48	
<b>第 3 章 电路分析的网络方程法</b> .. 52	
3.1 引言 .. 52	
3.2 知识结构和教学要求 .. 52	
3.3 教学内容 .. 53	
3.3.1 $2b$ 方程法 .. 53	
*3.3.2 电路的拓扑结构 .. 55	
3.3.3 支路(电流)法 .. 57	
3.3.4 节点分析法 .. 58	
3.3.5 网孔分析法 .. 64	
*3.3.6 回路分析法 .. 67	
思考与讨论 .. 69	
本章小结 .. 69	
习题 .. 70	
<b>第 4 章 正弦交流电路</b> .. 73	
4.1 引言 .. 73	
4.2 知识结构和教学要求 .. 73	
4.3 教学内容 .. 74	
4.3.1 正弦量 .. 74	
4.3.2 正弦量的相量表示 .. 82	
思考与讨论 .. 88	
4.3.3 电容元件和电感元件 .. 89	
4.3.4 电路基本定律的相量 形式 .. 94	
4.3.5 阻抗与导纳 .. 101	
思考与讨论 .. 113	
4.3.6 正弦交流电路的相量图 法求解 .. 114	
4.3.7 正弦交流电路中的 功率 .. 118	
4.3.8 正弦交流电路的相量法 求解 .. 130	
思考与讨论 .. 136	
本章小结 .. 137	
习题 .. 139	
<b>第 5 章 谐振与互感电路</b> .. 146	
5.1 引言 .. 146	

5.2	知识结构和教学要求	146	习题	223
5.3	教学内容	147	<b>第8章 动态电路的时域分析</b>	226
5.3.1	串联谐振电路	147	8.1 引言	226
5.3.2	并联谐振电路	153	8.2 知识结构和教学要求	226
	思考与讨论	157	8.3 教学内容	228
5.3.3	互感与互感电压	157	8.3.1 电路的动态过程与动态响应	228
5.3.4	含互感的正弦交流电路分析	163	8.3.2 电路初始条件的确定	229
5.3.5	理想变压器	170	8.3.3 求解一阶电路动态响应的三要素法	231
	思考与讨论	172	思考与讨论	238
	本章小结	172	8.3.4 一阶电路响应的分类	239
	习题	173	8.3.5 一阶电路的阶跃响应	246
<b>第6章 三相电路</b>		177	*8.3.6 一阶电路的冲激响应	249
6.1	引言	177	思考与讨论	255
6.2	知识结构和教学要求	177	8.3.7 二阶 $RLC$ 电路的零输入响应	255
6.3	教学内容	178	本章小结	265
6.3.1	三相电源与三相负载	178	习题	266
6.3.2	三相电路的功率	185	<b>*第9章 动态电路的复频域分析</b>	270
	思考与讨论	190	9.1 引言	270
6.3.3	对称三相电路的计算	190	9.2 知识结构和教学要求	270
6.3.4	不对称三相电路的特点及分析	194	9.3 教学内容	271
	思考与讨论	198	9.3.1 拉普拉斯变换及其基本性质	271
	本章小结	199	9.3.2 拉普拉斯反变换的部分分式展开法	277
	习题	199	思考与讨论	282
<b>第7章 非正弦周期电流电路</b>		202	9.3.3 电路基本定律的复频域形式及运算电路	282
7.1	引言	202	9.3.4 线性电路的复频域法求解	286
7.2	知识结构和教学要求	202	思考与讨论	292
7.3	教学内容	203	本章小结	292
7.3.1	非正弦周期电流	203	习题	294
7.3.2	有效值、平均值和平均功率	208	<b>*第10章 二端口网络</b>	298
7.3.3	非正弦周期电流电路的分析	212	10.1 引言	298
*7.3.4	对称三相电路中的高次谐波	217		
	思考与讨论	222		
	本章小结	223		



<b>10.2</b>	<b>知识结构和教学要求</b> .....	298	思考与讨论 .....	316
<b>10.3</b>	<b>教学内容</b> .....	299	本章小结 .....	317
10.3.1	二端口网络的方程和 参数 .....	299	习题 .....	317
10.3.2	二端口网络的等效 电路 .....	312	<b>部分习题答案</b> .....	320
10.3.3	二端口网络的级联 .....	314	<b>参考书目</b> .....	327

# 第 1 章

## 电路的基本概念和定律

### 1.1 引言

#### 1. 本课程的性质和任务

“电路”课程是电力技术类、电子信息类和自动化类各专业的第一门专业基础课,它与先修课程“高等数学”、“电磁学”密切相关,它是后续的专业基础课,如“电子技术”、“电机”、“信号与系统”、“自动控制原理”的基础,同时也是各专业的专业课,如“电力系统分析”、“现代通信技术”、“自动控制系统”的基础。

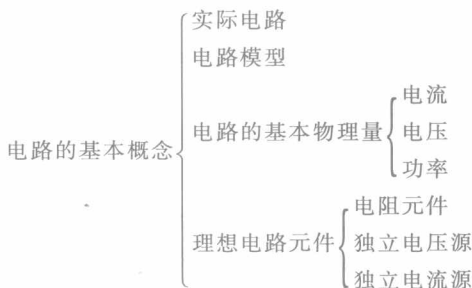
本书主要讨论电路的基本规律和基本分析方法。通过本课程的学习,使学生掌握电路的基本知识、电路的基本分析方法和基本实验技能,一方面为学习后续课程奠定基础,同时培养学生重实践、重技能、重工程应用的观念和分析计算能力、故障判断和排除能力、实验和工程实践能力。

#### 2. 本章提要

本章从实际电路入手,介绍电路和电路模型、电路的基本物理量、电流电压及其参考方向的概念,定义理想电路元件:电阻、独立电压源和独立电流源并讨论各自的属性。最后介绍电路分析中最重要的定律——基尔霍夫电流定律(KCL)和基尔霍夫电压定律(KVL),这些内容是全书的基础知识,贯穿全书。

### 1.2 知识结构和教学要求

#### 1. 知识结构



电路的基本定律  $\left\{ \begin{array}{l} \text{欧姆定律} \\ \text{基尔霍夫定律} \left\{ \begin{array}{l} \text{KCL} \\ \text{KVL} \end{array} \right. \end{array} \right.$

## 2. 教学要求

- ① 理解电路模型的概念。
- ② 理解电流、电压、功率的定义。
- ③ 掌握电流、电压参考方向的概念,掌握功率的计算方法。
- ④ 理解电阻元件、独立电压源、独立电流源的属性和端口对外特性(伏安关系)。
- ⑤ 理解基尔霍夫电流定律(KCL)和基尔霍夫电压定律(KVL)的实质;掌握依据 KCL、KVL 列方程的方法。

# 1.3 教学内容

## 1.3.1 实际电路和电路模型

### 1. 实际电路

实际电路在人们的生产生活中处处可见,它是由各种电气、电子器件(如电阻器、电容器、线圈、变压器、电机、开关、电池、晶体管等)按一定方式相互连接而成的。大到电力网络、通信网络、控制系统,小到家庭照明都是实际电路的范例。图 1-1 所示的日光灯电路实体,是一个常见的实际电路,其中, $L$  是镇流器,它是一个铁心线圈, $R$  是日光灯管,实际上是将电能转换为光和热的耗能元件电阻器, $C$  是电容器, $Q$  是启辉器, $S$  是开关,另外还有 220 V 交流电源以及将这些器件连接起来的导线。

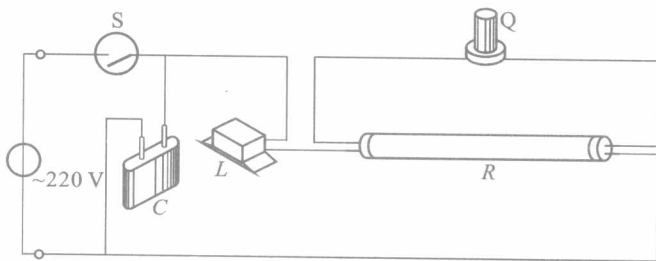


图 1-1 日光灯实际电路

实际电路的组成方式很多,功能也各不相同。但就其主要功能可概括为两个方面:其一,进行电能的产生、传输、分配与转换,这方面的典型实例是电力系统,发电机将其他形式的能源转换为电能,再通过变压器和输电线路将电能输送给工厂、农村和千家万户的用电设备,这些用电设备再将电能转换为机械能、光能、热能或其他形式的能量。实际电路的另一个主要功能是实现信号的产生、传递、变换、处理与控制,如电话机、收音机、电视机和数据传输设备等。

由此可见,实际电路是电流的通路,主要由电能的提供者——电源、电能的消耗者——负载和各种各样的传输环节构成。或者是由信号的提供者、信号的接收者和传输环节构成。

## 2. 理想电路元件、电路模型

对各种各样的实际电路进行分析的方法有两种：一种是用电气仪表对实际电路进行测量；另一种更主要的办法是将实际电路抽象为电路模型，而后用电路理论进行分析计算。

将实际电路抽象为电路模型，需要将实际电路及其中的每一个实际电路器件的主要电磁性质进行科学的抽象与概括，即在一定条件下对实际器件加以理想化，只考虑其中起主要作用的某些电磁现象，而将其他的次要现象忽略。理想电路元件正是将实际电路器件的主要电磁属性进行科学抽象后得到的。此处科学抽象的方法是：定义一些理想化的电路元件来近似地模拟电气器件的电磁特性。例如无论是照明用电灯、加热用电炉，还是将电能转换为机械能的电动机等电路器件，其消耗电能这一电磁特性在电路模型中均可用理想电阻元件  $R$  来表现；定义电容元件是一种只储存电场能量的理想元件；电感元件是一种只储存磁场能量的理想元件。用电阻、电容、电感等理想电路元件来近似模拟实际电路中每个电气器件和设备，再根据这些器件的连接方式，用理想导线将这些电路元件连接起来，就得到该实际电路的电路模型。图 1-2(c) 所示就是图 1-2(a) 所示的电路模型。图 1-2(b) 所示电路是图 1-2(a) 所示的电原理图。表 1-1 是部分电气图用图形符号。

表 1-1 部分电气图用图形符号(根据国标 GB4728—2000)

名称	符号	名称	符号	名称	符号
导线		传声器		电阻器	
连接的导线		扬声器		可变电阻器	
接地		二极管		电容器	
接机壳		稳压二极管		线圈,绕组	
开关		隧道二极管		变压器	
熔断器		晶体管		铁心变压器	
灯		运算放大器		直流发电机	
电压表		电池		直流电动机	
独立电流源		独立电压源		回转器	

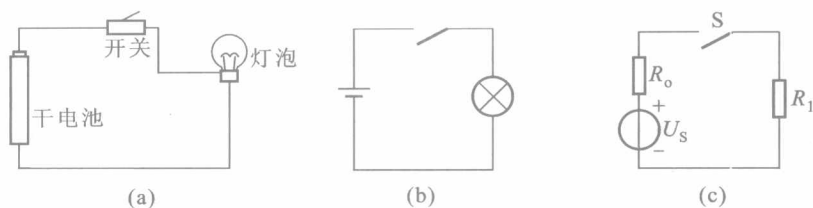


图 1-2 实际电路与电路模型

表 1-2 是部分电路元件的图形符号。

表 1-2 部分电路元件的图形符号

名称	符号	名称	符号	名称	符号
独立电流源		理想导线		电容	
独立电压源		连接的导线		电感	
受控电流源		电位参考点		理想变压器 耦合电感	
受控电压源		理想开关		回转器	
电阻		开路		理想运放	
可变电阻		短路		二端元件	
非线性电阻		理想二极管		非线性电感	

### 3. 集总参数电路与分布参数电路

当实际电路的几何尺寸  $l$  远小于其使用时最高频率所对应的波长  $\lambda$  时,在分析电路时可以忽略元件和电路本身的几何尺寸,所抽象出的电路称为集总参数电路,如工频 50 Hz 时,波长  $\lambda = 6\ 000\ \text{km}$ ,因而在工频情况下,大多数电路满足  $l \ll \lambda$ ,均可认为是集总参数电路。分布参数电路是指电路的几何尺寸相对于工作波长不可忽略的电路。集总参数电路又按其元件参数是否为常数,分为线性电路和非线性电路,本书重点讨论集总参数线性电路的分析方法。

#### 1.3.2 电路的基本物理量

电荷的概念是描述所有电现象的基础,无论是用电路的观点还是电磁场的观点,所有电现象的本质来自电荷的定向运动和对电荷作功。为了便于描述电路,从电荷和对电荷作功引入电路的基本物理量:电流、电压、功率和能量。四个变量中,能量是功率对时间的积分,而功率可由电

流和电压求得,因此,首先讨论电流和电压。

### 1. 电流及电流的参考方向

电荷或带电粒子的定向运动形成电流,因而,电流这一物理量用来描述带电粒子(电荷)运动的强弱程度。电流在数值上等于单位时间内通过某一截面的电荷量,它实际上是电流强度的简称,用等号  $i$  表示,即

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

在国际单位制(SI)中,时间  $t$  的单位为秒,符号为 s,电荷量  $q$  的单位为库[仑],符号为 C,电流  $i$  的单位为安[培],符号为 A。由式(1-1)可见,当电路中某一截面在 1 s 时间内通过 1 C 电荷量时,电路中该处的电流为 1 A。

根据实际需要,电流的单位还可用 kA(千安)、mA(毫安)、 $\mu$ A(微安)等,它们与 SI 单位 A 的关系是

$$1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A} \quad , \quad 1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A} \quad , \quad 1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$$

关于电流的方向,人们把正电荷运动的方向规定为电流的实际方向。当负电荷或电子运动时,电流的实际方向就是负电荷运动方向的相反方向。

电流的实际方向是客观存在的,但在分析复杂电路时,很难用实际方向进行分析计算,原因之一是分析计算之前很难事先判定某支路中电流的实际方向;原因之二是当电流是交流量时,电流的实际方向随时间不断变化,也无法用一个固定方向来表示它的实际方向。解决的方法是引入参考方向的概念,对于电流这种具有两个可能方向的物理量,可以任意选定一个方向作为某支路电流的参考方向,用箭头表示在电路图上,以此参考方向作为电路计算的依据,计算完毕后,对于某一条支路,若在设定的参考方向下算出  $i > 0$ ,表明电流的实际方向与设定的参考方向一致;反之,若算出  $i < 0$ ,表明电流的实际方向与所选的参考方向相反。图 1-3(a)和(b)表明参考方向与实际方向的关系,图的上方为实际方向,下方为参考方向。

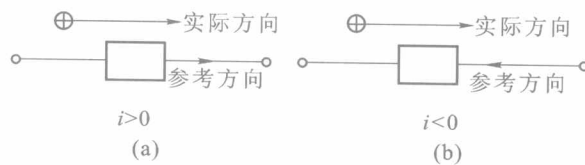


图 1-3 电流实际方向和参考方向的关系

可见,电流值的正、负只有在设定参考方向的前提下才有意义,在未规定参考方向的前提下,电流的正、负号是没有意义的。因为从电流的参考方向和其代数值来判断电流的实际方向,故今后在电路图中标出的电流方向都认为是参考方向。

### 2. 电压、电位及电压的参考方向

电荷在电路中流动,就必然有电场力对其做功,也就是说必然发生能量交换。引入电压这一物理量,正是对电场力做功或作功能力进行研究的需要。

单位正电荷从 a 点移到 b 点时电场力所作的功称为 a、b 两点间的电压,又称为 a、b 两点间的电位差,用符号  $u$  来表示,因此

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

式中,  $dA$  是移动过程中电场力所作的功。如果  $u_{ab} > 0$ , 当  $dq > 0$  时,  $dA > 0$ , 表明电场力作正功, 做功的结果是正电荷在  $a$  点具有的电位能  $W_a$  减小为其在  $b$  点的电位能  $W_b$ 。差值  $W_a - W_b$  等于这段电路吸收的能量。

再讨论电位, 在电路中, 某点的电位是将单位正电荷沿任一路径移动到参考点(任选的电路中的某一点)电场力所作的功。参考点可以任意选定, 工程上常选大地、设备外壳或接地点为参考点。将参考点  $O$  的电位定为  $0$ , 则电路中的某点  $a$  到参考点  $O$  的电压  $u_{aO}$  称为  $a$  点的电位  $V_a$ 。

电压与电位的关系为:  $a$ 、 $b$  两点之间的电压等于这两点之间的电位差, 即

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

参考点选得不同, 各点的电位也随之而异, 但不会影响两点间的电位差。在电路分析计算中, 参考点一经选定, 则不再改变。

在 SI 中, 电压(电位)的单位是伏[特], 符号为  $V$ 。与电流一样, 电压的常用单位也有  $kV$ (千伏)、 $mV$ (毫伏)等, 它们与  $V$  之间的关系是

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}, 1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V}$$

由高电位点指向低电位点的方向, 是电压的实际方向。从式(1-3)可见, 当  $a$  点到  $b$  点的指向与电压实际方向一致时,  $a$  点到  $b$  点的电压  $u_{ab} > 0$ 。在电路图上, 电路两点间电压的实际方向常用一种表明极性的方法来表示: 在高电位点标以“+”号并称此点为“正”极, 反之, 在低电位点标以“-”号并称之为“负”极。这种按两点电位的实际高、低所标的极性称为电压的实际极性。

同电流需要选择参考方向的道理一样, 电压也只有选择了参考方向之后, 才能用具有正、负值的代数数量, 去判断电路中某处、某一时刻电压的实际方向。

电路中两点之间电压的参考方向或参考极性可以任意选择, 也就是说, 任意选定某一点的极性为“+”, 另一点的极性为“-”, 这样就选择了两点间电压的参考极性。从正极指向负极的方向就是电压的参考方向。习惯上还常用双下标的方法来表示电压的参考方向, 如  $u_{ab}$  表示电压的参考方向由  $a$  指向  $b$ 。上述三种方法, 都可以用来表示电压的参考方向。图 1-4 说明电压的参考方向与参考极性的关系, 图的上部为参考方向, 下部为参考极性。图中的两种表示方法与双下标  $u_{ab}$  的含义一致。

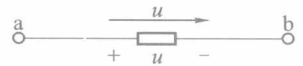


图 1-4 电压参考方向和参考极性的关系

在选定参考方向以后, 若计算结果为  $u > 0$ , 表明实际方向同参考方向一致; 若  $u < 0$ , 实际方向与参考方向相反。

若  $a$ 、 $b$  两点间电压的计算结果为  $u_{ab} = 0$ , 表明  $a$ 、 $b$  两点间等电位。若两等电位点之间原无导线连接, 则用导线连接这两点之后, 此导线中仍无电流流过。高压带电作业时, 要求人与导体间等电位、人体的各部位等电位, 这样, 人体无电流流过, 不会造成触电事故。

下面再讨论电动势, 在电场力作用下, 正电荷从高电位点向低电位点运动, 为了形成连续电流, 在电源中必须有将正电荷从低电位点移到高电位点的功能, 这就是电源力的作用。在电源内

部,用电动势  $e$  来表示单位正电荷在电源内部移动时所增加的电能。增加电能体现为电压的升高,所以电动势的实际方向与正电荷在电源内部移动的方向一致,是从低电位点指向高电位点的。电动势同样可以选择参考方向。

电动势与电压两者都选定参考方向后,两者的代数关系如图 1-5 所示,图(a)和图(b)满足  $u = e$ ,而图(c)满足  $u = -e$ 。直流电路中,电动势用大写  $E$  表示。

一般来讲,同一段电路电流和电压的参考方向可以各自选定,不必强求一致,但为了分析方便,常选定同一段电路电流的参考方向与电压的参考方向一致,即电流从电压的正极性端流入而从负极性端流出。这样选择的参考方向,称为电流、电压相关联的参考方向。图 1-6(a)、(b)为关联参考方向的示例。

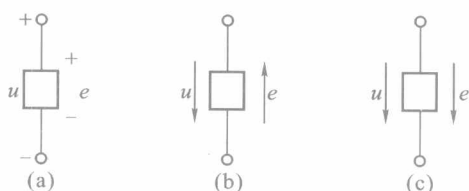


图 1-5 电压和电动势的参考方向

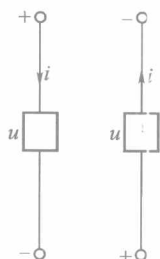


图 1-6 电压电流的关联参考方向

### 3. 电功率

电场力推动正电荷在电路中运动时,电场力作功,同时电路吸收能量,电路在单位时间内吸收的能量称为电路吸收的电功率,简称功率。

图 1-7 所示 ab 电路段,电流和电压的参考方向一致,在  $dt$  时间内通过电路段的电荷量为  $dq = idt$ ,  $dq$  的电荷量由 a 端移到 b 端,电场力作功为  $dW = u \cdot dq$ ,即在此过程中,电路段吸收的能量为

$$dW = u \cdot i \cdot dt \quad (1-4)$$

吸收的功率为

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

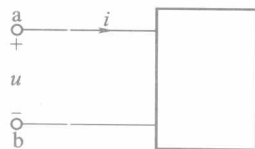


图 1-7 电路的功率

这说明,当电流、电压取相关联的参考方向时,电路段吸收的功率等于  $u$  与  $i$  两者的乘积。由此可见,当  $u$ 、 $i$  参考方向一致时,若求得  $p > 0$ ,则电路实际吸收功率,若  $p < 0$ ,则电路吸收负功率,即实际发出功率;当  $u$ 、 $i$  参考方向不一致时,若求得  $p > 0$ ,则电路实际发出功率,若  $p < 0$ ,则电路实际吸收功率。

在 SI 中,功率的单位是瓦[特],符号为 W,由式(1-5)可知,  $1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A}$ ,工程上常用的功率单位还有 MW(兆瓦)、kW(千瓦)和 mW(毫瓦)等,它们与 W 的关系分别是

$$1 \text{ MW} = 10^6 \text{ W}, \quad 1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}, \quad 1 \text{ mW} = 10^{-3} \text{ W}$$

能量是功率对时间的积分,由  $t_0$  至  $t$  时间内电路吸收的能量,由下式表示

$$W = \int_{t_0}^t p dt = \int_{t_0}^t u i dt \quad (1-6)$$



当式(1-6)中 $p$ 的单位为W时,能量 $W$ 的单位为焦[耳],符号为J,它等于功率为1W的用电器在1s内消耗的电能。工程和生活中还常用千瓦时( $\text{kW}\cdot\text{h}$ )作为电能的单位,1 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 俗称1度(电)。

$$1\text{ kW}\cdot\text{h} = 10^3\text{ W}\times 3\ 600\text{ s} = 3.6\times 10^6\text{ J} = 3.6\text{ MJ}$$

各种电气设备常在铭牌上给出电压、功率或电流的额定值,电气设备在额定电压下能正常、安全地工作,超过额定电压有可能引发绝缘损坏,电压过低时功率不足(如电灯变暗),超过额定功率或额定电流时,会引起设备因过热而损坏。

还需要说明的是,一般意义上的电流和电压是时间的函数,因此用小写字母 $i$ 和 $u$ 表示,当电流、电压不随时间变化时,电流、电压用大写字母 $I$ 和 $U$ 表示,相应的电路称之为直流电路。

**例 1-1** 图 1-8 所示直流电路,电流 $I$ 和电压 $U_2$ 、 $U_3$ 的参考方向已给出,已知 $P_1 = 8\text{ W}$ , $U_2 = -8\text{ V}$ , $U_3 = 6\text{ V}$ , $I = 2\text{ A}$ ,试标出 $U_1$ 的参考方向并求 $P_2$ 、 $P_3$ 和整个电路的功率。

**解:** 电流、电压的参考方向相关联时, $P = UI$ ,由 $P_1 = 8\text{ W}$ , $I = 2\text{ A}$ ,可知电压的参考方向为左正右负。

$U_2$ 的参考方向与 $I$ 相反,因此,元件2吸收的功率为

$$P_2 = -U_2I = -(-8)\times 2\text{ W} = 16\text{ W}$$

$U_3$ 的参考方向与 $I$ 相反,由此,元件3吸收的功率为

$$P_3 = -U_3I = -6\times 2\text{ W} = -12\text{ W}(\text{供出功率 } 12\text{ W})$$

整个电路吸收的总功率为

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = (8 + 16 - 12)\text{ W} = 12\text{ W}$$

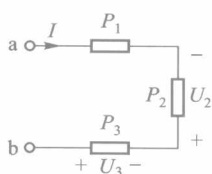


图 1-8 例 1-1 图

## 思考与讨论

- 1.3.1-1 一个实际电路器件是否只能由一个理想电路元件来抽象?为什么?试举例说明之。
- 1.3.1-2 为什么同一个实际电路器件在不同的工作频率时可能有不同的电路模型?
- 1.3.2-1 为什么在电路分析计算之前,要标出各处电流、电压的参考方向?
- 1.3.2-2 电路中,电压、电位、电位差、电动势的关系如何?试举例说明。
- 1.3.2-3 一个完整的电路中,有的元件吸收功率,有的元件发出功率,各元件吸收的功率与发出的功率应满足什么关系?为什么?
- 1.3.2-4 同样传输一定功率的电能,为什么远距离时,要提高电压等级?

### 1.3.3 电阻元件及其特性

电路元件是实际电路器件某一主要电磁属性的抽象结果,电路模型由电路元件连接而成,掌握电路元件的特性是分析电路的基础,下面先介绍最基本的无源元件——电阻。

有两个端子与外部相连的元件称为二端元件,若一个二端元件在任意时刻,其伏安特性可用 $u-i$ 平面上的一条曲线确定,则称此二端元件为电阻元件。