



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

电路与模拟电子技术(第三版)

学习辅导与习题解答

■ 殷瑞祥 主编

高等教育出版社



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

电路与模拟电子技术(第三版)

学习辅导与习题解答

■ 殷瑞祥 主编

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是殷瑞祥主编《电路与模拟电子技术》(第三版)的配套学习辅导与习题解答,也是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。全书共十章,每章均按“内容提要”“重点和难点”“典型例题分析”和“习题详解”四个方面加以阐述,为便于学习和实验,书末安排了附录,包括四套模拟试题及其参考答案和部分电子元器件及主要参数。

本书是编者在电工电子教学实践基础上的总结,内容简明扼要,许多问题的阐述是针对教学过程中学生容易出现的错误而编排的。解题注重阐述方法应用,部分例题和习题采用多种解法,突出解题思路。

本书配套的 Multisim 仿真文件,可通过访问网站 <http://abook.hep.com.cn/12221211> 免费下载获取。

本书不仅可供学习电路与模拟电子技术的本专科学生自学时使用,也可供相关教师参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路与模拟电子技术(第3版)学习辅导与习题解答 / 殷瑞祥主编. -- 3版. -- 北京:高等教育出版社, 2018.1

ISBN 978-7-04-048887-6

I. ①电… II. ①殷… III. ①电路理论-高等学校-教学参考资料②模拟电路-电子技术-高等学校-教学参考资料 IV. ①TM13②TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 280609 号

策划编辑 金春英 责任编辑 金春英 封面设计 于文燕 版式设计 童丹
插图绘制 杜晓丹 责任校对 刘丽娟 责任印制 耿轩

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印 刷 北京市鑫霸印务有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 21.5
字 数 520千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>
<http://www.hepmall.com>
<http://www.hepmall.cn>
版 次 2005年5月第1版
2018年1月第3版
印 次 2018年1月第1次印刷
定 价 39.90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 48887-00

与本书配套的数字课程资源使用说明

与本书配套的数字课程资源发布在高等教育出版社易课程网站，请登录网站后开始课程学习。

1. 注册 / 登录 访问 <http://abook.hep.com.cn/12221211>，点击“注册”。在注册页面输入用户名、密码及常用的邮箱进行注册。已注册的用户直接输入用户名和密码登录即可进入“我的课程”界面。

2. 课程绑定 点击“我的课程”页面右上方“绑定课程”，按网站提示输入教材封底防伪标签上的 20 位数字，点击“确定”完成课程绑定。

3. 访问课程 在“正在学习”列表中选择已绑定的课程，点击“进入课程”即可浏览或下载与本书配套的课程资源。刚绑定的课程请在“申请学习”列表中选择相应课程并点击“进入课程”。

账号自登录之日起一年内有效，过期作废。

使用本账号如有任何问题，请发邮件至：abook@hep.com.cn

易课程
course

电路与模拟电子技术（第三版）学习辅导与习题解答 殷瑞祥 主编

用户名 密码 验证码 8930 进入课程 注册

内容介绍 纸质教材 版权信息 联系方式

电路与模拟电子技术（第三版）学习辅导与习题解答数字课程与纸质教材一体化设计。数字课程涵盖数字课程介绍、电路仿真文件。充分运用多种形式媒体资源，极大地丰富了知识的呈现形式，拓展了教材内容。在提升课程教学效果同时，为学生学习提供思维与探索的空间。

扫描二维码
扫描下载移动版

注册 登录 绑定课程

第一步 点击“注册”按钮，进行用户注册，已注册用户可直接登录。

第二步 用户登录。

第三步 点击页面右上方的“绑定课程”，输入教材封底数字课程标签上的16位防伪码（或20位明码）绑定课程。

第四步 在“我的课程”列表中选择已绑定的数字课程，点击“进入课程”即可。

本课程推荐使用IE以上、360和谷歌浏览器。如有技术问题，请发邮件至 abook@hep.com.cn 或者加入QQ群：333606技术支持（337150096）。

具体操作请参见使用须知

<http://abook.hep.com.cn/12221211>

第三版前言

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,配合主教材第三版的修订而进行了相应的修订,同时对部分解题分析方法进行了修正。

主要修订内容包括:第一章增加了电路模型的相关知识,对电路的理想元件构成进行了必要的说明,将电路理论与实际电子线路建立起联系。第二章对电路的分析方法重新进行了归纳,把基于两类约束方程通过建立电路方程来进行分析方法统一归类为系统分析方法(包括支路电流法、网孔电流法、结点电压法),从而更加清楚地阐明这些方法的来龙去脉,便于学习者掌握。第六章中对于晶体管放大电路分析和场效应管放大电路的分析部分,突出了静态工作点分析结果对动态分析的重要性,修正了对晶体管微变等效模型中参数的不合理计算,确保分析结果更加符合实际情况。第十章增加了电路故障排除的方法介绍。同时配合主教材对各章习题详解作了调整。

由于采用计算机辅助分析电路已经成为工程应用中的普遍选项,本次修订对绝大部分例题和习题都建立了 Multisim 仿真文件,仿真结果都能很好地验证分析计算的正确性,这些电路仿真文件作为数字资源供读者网上免费下载使用,读者也可以在此基础上,学习利用 Multisim 工具进行电路仿真分析的方法。网站地址:<http://abook.hep.com.cn/12221211>

感谢使用本书第一版和第二版的全国高校教师和同学们为我们反馈的修改建议,感谢高等教育出版社的编辑为本书的修订付出的辛勤劳动。

限于作者水平,书中难免存留错漏,欢迎使用本书的教师和广大读者批评指正。

殷瑞祥

2017年10月于广州

第二版前言

本书第二版配合主教材第二版的修订而进行了较大篇幅的修订。

针对主教材各部分内容的调整,本书相应地调整了各章节内容。增减部分典型例题,更新了习题解答的内容。

主教材第二版已将第一版 A/D 和 D/A 内容列为附录放到书末,与主教材保持一致,本书不再涵盖该部分内容。

本书第二版增加了实验内容,结合实际教学中的需要,本书第二版对实验的基本知识、实验测量方法、测量误差及数据处理和实验中常见故障的分析与处理进行了介绍,以期能帮助学生更好地开展电路与模拟电子技术实验。

修订书稿承蒙清华大学王鸿明教授主审,王教授对全书修订内容布局、内容组织和文字叙述提出了很好的建议,并为书稿纠正了错误,在此向王鸿明教授表示由衷的感谢。

感谢使用本书第一版的全国高校教师和同学们为我们反馈的修改建议。感谢高等教育出版社的编辑同志为本书的修订付出的辛勤劳动。

限于作者水平,书中存留错漏,欢迎使用本书的教师和广大读者批评指正。

殷瑞祥

2010年4月于广州

第一版前言

电路与模拟电子技术课程是面对计算机类专业开设的学科基础课程,其任务是通过讲授电路理论和电路分析方法、电子电路的分析和初步设计方法,使学生获得必要的电路分析和电子技术的基本理论、基本方法和基本技能,了解电子技术发展的概况,初步掌握电子电路的分析、设计方法,为学习后续课程及从事计算机相关硬件接口电路的分析与设计打下基础。本课程在内容组织上,考虑到后续课程的差异,单独设立一章介绍 A/D 和 D/A 转换,使模拟电子电路与数字电子电路能够衔接,对于不设立数字电路课程的专业,可在数字逻辑课程中简单介绍逻辑单元功能电路(逻辑门、触发器)。

本书是配合计算机类专业开设电路与模拟电子技术课程的辅导教材,它与殷瑞祥主编的《电路与模拟电子技术》配套,可供本专科学生自学时使用,也可供相关教师参考。全书共 11 章,主教材的第 12 章“应用 EWB 进行电子电路分析设计”和第 13 章“实验”没有包括在本书中,第 12 章的学习辅导可参考高等教育出版社和高等教育电子音像出版社出版的《电路与模拟电子技术电子教案》。各章均按“内容提要”“重点和难点”“典型例题分析”和“习题详解”四个方面加以阐述。

内容提要是对一章内容的简要归纳,并且指出了学习时应掌握的知识要点。

重点和难点是编者结合教材内容与教学实践中学生容易出现的错误而编排的,对重点和难点内容进行详细阐述,指出学习中的注意事项,各种需要重点掌握的分析方法给出了详尽的解释。

典型例题分析精选了若干具有典型意义的例题,采用教材所介绍的方法进行分析、计算,指导学生如何应用所学的方法分析解决问题,同时指出分析过程中可能出现的错误。

习题详解指导学生如何解题,不仅给出了解题思路,还指出方法的选用,部分习题提供了多种解题方法,力求让学生学会更多解题技巧,同时,也给学生提供了规范的解题步骤示范。

本书符号、名词与教材一致。

参加本书编写的有樊利民(第 1、2、3、4、5 章)罗昭智(第 9、10、11 章和附录)朱宁西(第 6、7、8 章),全书由殷瑞祥修改、统稿。本书由华南理工大学马维祯教授审阅,马教授提出了宝贵的意见和修改建议,华南理工大学张琳副教授也对本书的编写提出建设性意见,在此深表谢忱。

编者

2005 年 1 月

目 录

第 1 章 电路的基本概念与基本定律	1
1.1 内容提要	1
1.2 重点和难点	1
1.2.1 电压、电流的参考方向	1
1.2.2 电路模型与理想电路元件	2
1.2.3 电气设备的额定值与电路的工作状态	2
1.2.4 电源与负载的判别	3
1.2.5 电位的概念与计算	4
1.2.6 基尔霍夫定律	4
1.3 典型例题分析	5
1.4 习题详解	8
第 2 章 电路分析的基本方法	18
2.1 内容提要	18
2.2 重点和难点	18
2.2.1 等效电路分析方法	18
2.2.2 电路分析的系统方法	20
2.2.3 电路定理	23
2.3 典型例题分析	25
2.4 习题详解	33
第 3 章 交流稳态电路分析	57
3.1 内容提要	57
3.2 重点和难点	58
3.2.1 正弦量的三要素	58
3.2.2 正弦量的相量表示法	60
3.2.3 正弦稳态电路的分析方法	62
3.2.4 正弦交流电路中的功率	65
3.2.5 电路的功率因数及其提高	66
3.2.6 正弦交流电路的频率特性	67
3.2.7 三相交流电源	68
3.2.8 负载的连接与计算	69
3.2.9 三相四线制电路中中性线的作用	73
3.2.10 非正弦周期量的有效值和平均值	75
3.2.11 非正弦周期交流电路的功率和分析方法	76
3.3 典型例题分析	77
3.4 习题详解	100
第 4 章 暂态电路分析	132
4.1 内容提要	132
4.2 重点和难点	132
4.2.1 换路定律与电压和电流初始值的确定	132
4.2.2 三要素法分析一阶线性电路的暂态过程	133
4.2.3 微分、积分和耦合电路	134
4.2.4 RLC 串联电路	134
4.3 典型例题分析	134
4.4 习题详解	140
第 5 章 半导体器件基础与二极管电路	154
5.1 内容提要	154
5.2 重点和难点	154
5.2.1 半导体二极管的伏安特性及电路模型	154
5.2.2 稳压二极管的特性及主要参数	156
5.2.3 二极管整流电路	157
5.2.4 二极管其他典型应用电路	158
5.3 典型例题分析	159
5.4 习题详解	163
第 6 章 晶体管放大电路基础	170
6.1 内容提要	170
6.2 重点和难点	170
6.2.1 放大电路模型及主要指标参数	170
6.2.2 晶体管及其特性	170

6.2.3	基本共射极晶体管放大电路	171	第 10 章 电路与模拟电子技术实验	287	
6.2.4	分压式偏置放大电路	177			
6.2.5	射极输出器	180			
6.2.6	场效应管放大电路	181			
6.2.7	多级放大电路	185			
6.2.8	放大电路中的负反馈	185			
6.2.9	功率放大电路	187			
6.3	典型例题分析	188			
6.4	习题详解	197			
第 7 章 模拟集成电路及其应用电路					223
7.1	内容提要	223	10.1 电路与模拟电子技术实验	287	
7.2	重点和难点	223	基本知识		
7.2.1	集成运算放大器的组成及 结构特点	223	10.1.1 实验的目的和作用		
7.2.2	集成运算放大器的电压传输特 性和等效电路模型	224	10.1.2 实验室安全用电规则		
7.2.3	差分放大电路	226	10.1.3 基本测量方法		
7.2.4	镜像电流源电路	226	10.2 测量误差及数据处理		
7.2.5	集成运算放大器线性应用 的分析方法	227	10.2.1 产生误差的原因		
7.2.6	集成运算放大器非线性应用 的分析方法	229	10.2.2 测量误差的分类		
7.3	典型例题分析	231	10.2.3 误差的表示方法		
7.4	习题详解	238	10.2.4 测量结果的处理		
第 8 章 信号产生电路			294		
8.1	内容提要	255	10.3 实验中常见故障的分析与 处理	299	
8.2	重点和难点	255	10.3.1 常见故障类型及引起的 原因		
8.2.1	正弦波振荡电路	255	10.3.2 故障的预防		
8.2.2	非正弦波振荡电路	258	10.3.3 故障检测		
8.3	典型例题分析	261	10.3.4 电路故障排除的 APM 方法		
8.4	习题详解	263	附录		
第 9 章 直流电源			302		
9.1	内容提要	270	附录 A 模拟试题		302
9.2	重点和难点	270	A.1 模拟试题一		
9.2.1	电源滤波电路	270	A.2 模拟试题二		
9.2.2	直流稳压电路	271	A.3 模拟试题三		
9.3	典型例题分析	274	A.4 模拟试题四		
9.4	习题详解	277	附录 B 模拟试题参考答案		
			317		
			B.1 模拟试题一		
			B.2 模拟试题二		
			B.3 模拟试题三		
			B.4 模拟试题四		
			319		
			320		
			附录 C 部分电子元器件及 主要参数		
			321		
			C.1 电阻器、电容器及其标称值		
			C.2 半导体分立器件型号命名 方法		
			324		
			C.3 部分半导体分立器件的参数		
			325		
			C.4 半导体集成电路型号命名 方法		
			328		
			C.5 常用半导体集成电路的参数		
			331		

第 1 章 电路的基本概念与基本定律

1.1 内容提要

本章介绍电路及其有关的基本概念和基本电路定律。扼要介绍了实际电路的组成及其作用,详细讲述了电路中的基本物理量。在此基础上提出电路模型的概念,给出了组成电路模型的基本单端口理想元件和双端口理想元件。作为电路的应用,介绍了电路的工作状态,并讲解了电气设备的额定值。章末介绍了电路的基本定律——基尔霍夫定律(KCL 和 KVL)及其应用,为下一章介绍电路分析方法打下基础。

本章要着重理解和掌握的内容有:物理量的参考方向、基本理想元件的特性,额定值应用、电源和负载的判别、电位的概念和计算、KCL 和 KVL 的内容及其应用。

本章内容是全课程的基础,应该认真掌握。

1.2 重点和难点

1.2.1 电压、电流的参考方向

物理课程中通常讨论电压、电流的实际方向,它们是客观存在的。电路中,电流的实际方向是正电荷在电场(路)中运动的方向,而电压的实际方向(极性)则从高电位点指向低电位点。在电场力的作用下,正电荷总是从高电位向低电位运动,就好像水总是从高处流到低处。

在分析简单的直流电路时,通常事先就可以看出电流、电压的实际方向;但对于较复杂的直流电路,却往往事先无法判断出电流、电压的实际方向,为了分析方便,需要人为地先假定电流、电压为某一个方向,这个假定的方向被称为参考方向或正方向。参考方向与实际方向两者之间的关系,只有两种可能:相同或相反,因此,可以用电压或电流数值的正负结合参考方向来确定实际方向。电压或电流为正值,表示参考方向和实际方向相同;电压或电流为负值,表示参考方向和实际方向相反。

参考方向的引入,用代数量来表示具有方向的物理量(电压、电流),从而可以方便地采用数学方法分析电路问题。

注意:分析电路前,应首先假定电压、电流的参考方向,然后通过采用一定的电路分析方法求解,最后得出电路的电压、电流数值(代数量)。定义了参考方向,电流、电压才有正负之分。电压、电流的参考方向选取不同,分析时列写方程的每项前正负符号将不同,因此,参考方向一旦设定,在电路分析过程中一般不能再改变。

物理学中主要注重电压、电流的物理概念,不特别强调参考方向,而电路理论注重用数学方法对电路的分析计算,必须强化电路中电压、电流的参考方向,要养成分析电路前对电路图上电

压、电流标示参考方向的习惯。电压、电流的实际方向应在电路求解后由电压、电流数值的正负和它们的参考方向联合确定,千万不要在电路求解前试图去确定电压、电流的实际方向,这样往往会导致错误。牢固树立参考方向的概念,是学习电工电子课程的第一步也是极其重要的一步。

1.2.2 电路模型与理想电路元件

电路模型是从实际电路抽象出来的,描述了实际电路的主要电磁特性,电路模型由理想电路元件连接构成。电路理论研究的对象主要是电路模型。建立电路模型首先要对实际电路元器件寻找由理想元件组合构成的器件模型,器件模型一般由器件制造商提供,以一定精度描述器件的电磁特性,再利用器件模型按照实际电路的连接方式构造电路模型。

理想电路元件是某种原型器件的理想化模型,表达了电路中基本物理量之间的特殊关系,线性电路中理想元件的特性都是线性的。根据对外连接端的不同,理想元件分为单端口(二端)元件和双端口元件。

单端口理想电路元件包括:无源元件(电阻元件 R 、电容元件 C 、电感元件 L)和有源元件(理想电压源、理想电流源)。二端元件的端电压与电流之间的关系称为该元件的 $u-i$ 特性(VCR),电阻元件的 VCR 就是著名的欧姆定律。

实际电源常常用理想电源和电阻元件构成电源模型,实际电源的线性模型有两种:电压源模型——理想电压源(开路电压源)与电阻元件(内阻)串联;电流源模型——理想电流源(短路电流源)与电阻元件(内阻)并联。任一实际电源既可以建立电压源模型也可以建立电流源模型。

双端口理想电路元件包括:理想变压器和受控电源,理想变压器是从耦合电感理想化(全耦合、无损耗、自感无穷大)得到的,只能工作在交变条件下,不能用于直流工作环境。受控电源是理想化的能量转换电路元件,理想受控电源共有四种:电压控制电压源(Voltage Controlled Voltage Source,VCVS)、电流控制电压源(Current Controlled Voltage Source,CCVS)、电压控制电流源(Voltage Controlled Current Source,VCCS)和电流控制电流源(Current Controlled Current Source,CCCS)。

在电路分析中受控电源的输入端口往往省略,只在电路中标出控制电压或电流,因此电路图上只出现受控电源的菱形输出端。受控电源与独立电源不同,它的输出必须由另一个量来激发或控制,这在电路分析中要特别注意。

1.2.3 电气设备的额定值与电路的工作状态

电气设备的额定值是指制造厂为了使产品在规定的条件下正常运行而规定的正常允许值。电气设备的额定值有电压、电流、功率等,通常标在设备的铭牌上。电气设备的额定值是由其制造材料的允许温升、耐压程度、机械强度等所决定的,电气设备制造出来后其额定值也就随之确定,电气设备在电路中的实际电压、电流、功率等如果超过其额定值,将可能造成设备工作不正常甚至损坏。

电路的工作状态有开路、短路、负载状态,开路和短路是其中两种特殊情况。特别要注意的是,在电路中,各电气设备实际的电压、电流、功率等并不一定等于其额定值。例如:标有额定值 220 V、40 W 的白炽灯,在用电高峰期时如果其实际电压只有 210 V,则其实际功率只有约 36.5 W。再如:额定值为 125 kW、220 V 的发电机接一个 220 V、40 W 的白炽灯时,白炽灯在额

定状态(220 V、40 W)下工作,而发电机的实际功率就只有 40 W,远小于其额定值。在电路中,电气设备工作于额定状态为其最佳工作状态,如果其实际值远小于额定值,则设备得不到充分利用;如果其实际值超过额定值许多,则会出现不正常的情况和发生事故。

1.2.4 电源与负载的判别

电源在电路中将其他形式的能量转换为电能,是发出电功率的;负载在电路中将电能转换为其他形式的能量,是取用或吸收电功率的。根据能量守恒原则,电路中各元件发出功率之和等于取用功率之和。

电路元件在电路中究竟是电源还是负载?一般有两种方法判别,一是直接根据电路元件的电压、电流的实际方向来判别;另一个是先假定电路元件电压、电流的参考方向,然后根据电路元件上功率的正负来判别。下面举例说明。

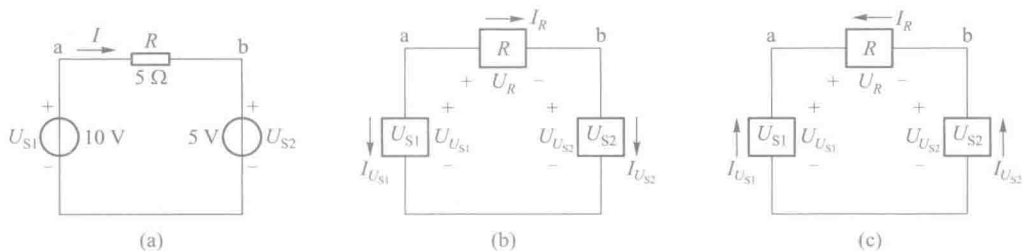


图 1-1 电源和负载的判别

在图 1-1(a)中, $I = \frac{10-5}{5} \text{ A} = 1 \text{ A}$, 参考方向就是其实际方向。对 U_{S1} , 电流实际从其“+”端流出, 发出功率, 其值为 $P_{U_{S1}} = 10 \times 1 \text{ W} = 10 \text{ W}$, 为电源; 对 R , 其两端电压 $U_{ab} = IR = 5 \text{ V}$, 实际极性 a 为“+”而 b 为“-”, 电流从其“+”端流入, 取用功率, 其值 $P_R = I^2 R = 5 \text{ W}$, 为负载; 对 U_{S2} , 实际电流从其“+”端流入, 取用功率, 其值 $P_{U_{S2}} = 5 \times 1 \text{ W} = 5 \text{ W}$ 。电路中各元件发出功率之和等于取用功率之和, 本电路 $P_{U_{S1}} = P_R + P_{U_{S2}}$ 。这种判别方法的前提是已经确切知道各元件两端电压的实际极性和其电流的实际方向。按这种方法判断电源和负载, 最后电路的功率平衡式形式为: $\sum P_{\text{发出}} = \sum P_{\text{取用}}$, 各元件功率均为正值。这种方法需要确知每个元件的电压电流实际方向, 然后判断出元件是发出还是取用功率, 对于很简单的电路容易做到, 而一旦电路复杂, 这就很难实现。

在图 1-1(b)中, 先假定各元件电压、电流的参考方向, 这里将两者的参考方向取为一致, 即采用关联的参考方向。根据图 1-1(a)的结果, 对 U_{S1} , $U_{U_{S1}} = 10 \text{ V}$, $I_{U_{S1}} = -1 \text{ A}$, $P_{U_{S1}} = U_{U_{S1}} \times I_{U_{S1}} = -10 \text{ W}$, 其功率为负值, 是电源, 发出功率; 对 R , $U_R = 5 \text{ V}$, $I_R = 1 \text{ A}$, $P_R = U_R I_R = 5 \text{ W}$, 其功率为正值, 是负载, 取用功率; 对 U_{S2} , $U_{U_{S2}} = 5 \text{ V}$, $I_{U_{S2}} = 1 \text{ A}$, $P_{U_{S2}} = U_{U_{S2}} \times I_{U_{S2}} = 5 \text{ W}$, 其功率为正值, 是负载, 取用功率。电路中各元件功率代数之和为零, 本电路 $P_{U_{S1}} + P_R + P_{U_{S2}} = 0$ 。按这种方法判断电源和负载, 最后电路的功率平衡式形式为: $\sum P = 0$, 各元件功率有正、有负。

注意: 在第二种方法中, 如果各元件电压、电流采用非关联参考方向, 即将两者的参考方向取为相反, 如图 1-1(c)所示, 则功率计算式需要加负号。为了使电路分析更加一致, 一般都采取关联参考方向。

1.2.5 电位的概念与计算

在电路分析中,为了简化分析过程,通常对具有恒定电位的点直接用其电位值来标志。要理解电位的概念并能求解电路中各点的电位,在电路中必须指定某一个点为电位参考点,参考点的电位为零,其他各点的电位分别等于这些点到参考点之间的电压,电压的参考方向从所求点指向参考点。例如,设A为电位参考点,则B点电位 V_B 就等于B点到A点之间的电压 U_{BA} (参考方向由B指向A),即 $V_B = U_{BA}$ 。

参考电位的概念类似于“海平面”,其余各点的电位相当于“海拔高度”,任何两点间的电压相当于“绝对高度”。原则上参考电位点是可以任意选取的,当参考电位点选取不同时,各点电位的数值随之而改变,但任何两点之间的电压值是不变的。

利用电位的概念,可以将电路图简化表示,这在电子电路中很常见。如图1-2(a)所示采用电位的表示法,虽然图上没有标出零电位参考点,但实际上等同于图1-2(b)所示电路。

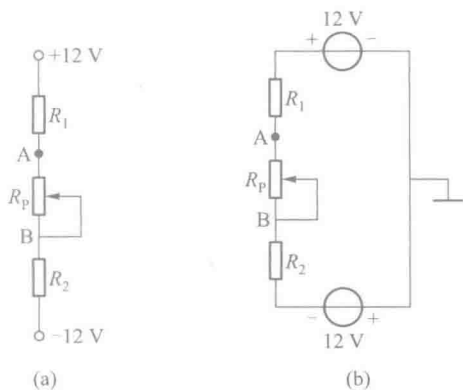


图 1-2 借助电位概念简化作图

1.2.6 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律描述电路中各元器件之间相互连接所构成的约束关系,包括两个方面:基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律。

基尔霍夫电流定律描述的是汇集到电路中任一结点处的各支路电流之间的制约关系:

$\sum I_A = \sum I_B$, 流入某结点的电流之和等于流出该结点的电流之和;或 $\sum I = 0$, 流入(或流出)某结点支路电流的代数和为零。

基尔霍夫电流定律实质是电流连续性的体现——电荷在结点不能堆积。基尔霍夫电流定律还可扩展到包围电路中某一部分的任一闭合面。在图1-3(a)中,点画线闭合面有三条支路穿过,由基尔霍夫电流定律可列出

$$I_A + I_B = I_C \quad \text{或} \quad I_A + I_B - I_C = 0$$

即可以把闭合面看成广义的结点。

应用基尔霍夫电流定律前,必须设定电流的参考方向,所谓“流入”、“流出”都是在已经规定各电流参考方向的前提下。在图1-3(a)中,按 $\sum I_A = \sum I_B$ 可列出 $I_A + I_B = I_C$;按 $\sum I = 0$ 可列出 $I_A + I_B - I_C = 0$ 或 $-I_A - I_B + I_C = 0$ 。注意按 $\sum I = 0$ 列式子时,有两套正负号。一套正负号表示各支路电流参考方向的不同,有的流入结点、有的流出结点;若假设流入为正、流出为负,则式子为 $I_A + I_B - I_C = 0$,当然也可假定流入为负、流出为正,则式子为 $-I_A - I_B + I_C = 0$ 。另一套正负号是表示各个电流参考方向与其实际方向的异同。各电流最后计算出来的结果本身有正有负,正值表示其实际方向与假定的参考方向相同,负值表示其实际方向与假定的参考方向相反。

基尔霍夫电压定律反映的是电路任一回路中各部分电压之间的制约关系:

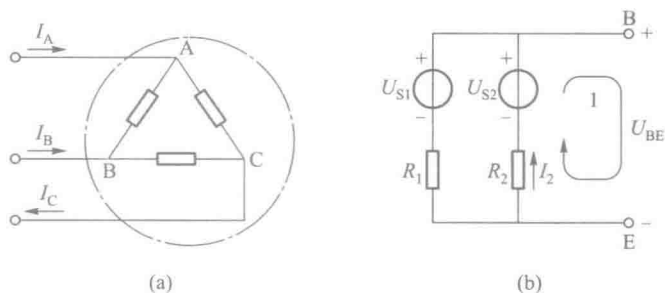


图 1-3 基尔霍夫定律的扩展

$\sum U_{升} = \sum U_{降}$, 绕行回路一周电压升之和等于电压降之和; 或 $\sum U = 0$, 回路中按选定方向绕行一周回路所有支路电压(降)的代数和为零。

基尔霍夫电压定律实质上是能量守恒原理, 体现在电路中表现为电位的唯一性, 即任一瞬时从回路中任意一点出发, 沿回路绕行一周, 回到原出发点时, 该点的电位是不会发生变化的。基尔霍夫电压定律还可以扩展到不闭合的部分电路或开口电路。在图 1-3 (b) 中, 回路 1 是开口电路, 但只要假定 B、E 之间的电压为 U_{BE} , 则依据基尔霍夫电压定律就可以得出: $U_{S2} = U_{BE} + I_2 R_2$ 或 $U_{S2} - U_{BE} - I_2 R_2 = 0$ 。

应用基尔霍夫电压定律前, 也必须设定电路中各部分电压的参考方向; 对电阻, 通常把电压和电流的参考方向按关联参考方向假定, 所以一般只标出其电流的参考方向。在回路中绕行一周, 即从某点出发最后又回到该点, 可按顺时针或逆时针方向绕行, 也必须事先确定并标示于电路中。如图 1-3 (b) 所示, 在回路 1 中按顺时针方向绕行即从 B 点出发又回到 B 点, 则依据 $\sum U_{升} = \sum U_{降}$, 可列式子 $U_{S2} = U_{BE} + I_2 R_2$; 按 $\sum U = 0$, 可列式子 $U_{S2} - U_{BE} - I_2 R_2 = 0$ 或 $-U_{S2} + U_{BE} + I_2 R_2 = 0$ 。注意按 $\sum U = 0$ 列式时, 也有两套正负号。一套正负号表示电压或电流参考方向与回路绕行方向的关系(运算符号), 两者一致为正(加)、相反为负(减), 则列出 $-U_{S2} + U_{BE} + I_2 R_2 = 0$; 另一套正负号则是表示电压或电流的参考方向与其实际方向的异同(数值符号), 参考方向与其实际方向一致为正、相反为负。

基尔霍夫定律是电路的基本定律, 适用于任意集中参数电路, 包括线性和非线性电路, 具有普遍适用性, 读者应该牢记并能熟练应用。

1.3 典型例题分析

[例 1.3.1] 电路如图 1-4 所示, 已知 $U_S = 2 \text{ V}$ 、 $R = 1 \Omega$, 问: 当 U 分别为 3 V 和 1 V 时, 求 $I_R = ?$ 并说明其实际方向。

解: 按图 1-4 中所示电压电流的参考方向, 列出方程如下

$$U = U_R + U_S, U_R = I_R R$$

所以

$$I_R = \frac{U - U_S}{R}$$

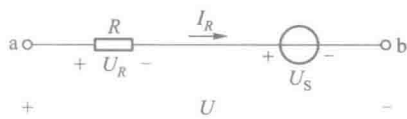


图 1-4 例 1.3.1 图

当 $U = 3 \text{ V}$ 时, $I_R = \frac{U - U_s}{R} = \frac{3 - 2}{1} \text{ A} = 1 \text{ A}$ 。 I_R 为正值, 说明其实际方向与参考方向一致, 所以 I_R 的实际方向就是由 a 流向 b。

当 $U = 1 \text{ V}$ 时, $I_R = \frac{U - U_s}{R} = \frac{1 - 2}{1} \text{ A} = -1 \text{ A}$ 。 I_R 为负值, 说明其实际方向与参考方向相反, 所以 I_R 的实际方向是由 b 流向 a。

必须注意, 分析电路前, 首先要设定电压电流的参考方向, 电路方程的列写与电压电流的参考方向有关。

[例 1.3.2] 如图 1-5 所示电路, 白炽灯 EL 的额定电压 U_N 和额定电流 I_N 分别为 12 V 和 0.3 A , $R_1 = 12 \Omega$, $R_2 = 10 \Omega$, $R_3 = 20 \Omega$, $R_4 = 15 \Omega$ 。问 U_s 为多大时能使白炽灯正常发光?

解: 要使白炽灯正常发光, 必须保证其工作于额定状态, 也就是使其获得 12 V 电压、 0.3 A 电流, 则

$$U_N = 12 \text{ V} \quad I_N = 0.3 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{U_N}{R_3} = \frac{12}{20} \text{ A} = 0.6 \text{ A} \text{ (欧姆定律)}$$

$$I_2 = I_N + I_3 = 0.9 \text{ A} \text{ (KCL)}$$

$$U_{AB} = I_2 R_2 + U_N = (0.9 \times 10 + 12) \text{ V} = 21 \text{ V} \text{ (KVL)}$$

$$I_4 = \frac{U_{AB}}{R_4} = \frac{21}{15} \text{ A} = 1.4 \text{ A} \text{ (欧姆定律)}$$

$$I_1 = I_2 + I_4 = (0.9 + 1.4) \text{ A} = 2.3 \text{ A} \text{ (KCL)}$$

$$U_s = R_1 I_1 + U_{AB} = (12 \times 2.3 + 21) \text{ V} = 48.6 \text{ V} \text{ (KVL)}$$

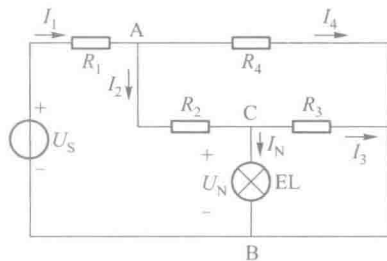


图 1-5 例 1.3.2 图

[例 1.3.3] 图 1-6 所示电路中, 已知 $U_{s1} = 15 \text{ V}$, $U_{s2} = 5 \text{ V}$, $I_s = 1 \text{ A}$, $R = 5 \Omega$ 。求电路中各元件上的功率, 指出哪些元件是电源, 哪些是负载; 并验证功率平衡关系。

解: $I = \frac{U_{s1} - U_{s2}}{R} = \frac{15 - 5}{5} \text{ A} = 2 \text{ A}$, 因 I 为正值, 所以其实际方向和参考方向一致。

U_{s1} 的功率: $P_{U_{s1}} = -U_{s1}(I_s + I) = -15 \times (1 + 2) \text{ W} = -45 \text{ W}$, 功率小于 0, U_{s1} 是电源。

U_{s2} 的功率: $P_{U_{s2}} = U_{s2} I = 5 \times 2 \text{ W} = 10 \text{ W}$, 功率大于 0, 所以 U_{s2} 是负载。

I_s 两端的电压就是 U_{s1} , 即其实际极性上“-”下“+”, I_s 的功率:

$$P_{I_s} = U_{s1} I_s = 15 \times 1 \text{ W} = 15 \text{ W}, \text{ 功率大于 0, } I_s \text{ 是负载。}$$

R 的功率: $P_R = I^2 R = 2^2 \times 5 \text{ W} = 20 \text{ W}$, 任何情况下电阻元件都是负载。

因此, 在电路中 U_{s1} 是电源, 发出功率 45 W ; U_{s2} , I_s 和 R 均为负载, 总吸收功率为 45 W , 电路中总的功率达到平衡。

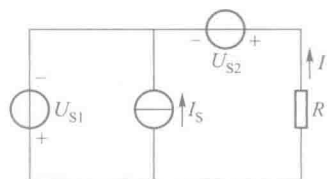


图 1-6 例 1.3.3 图

功率平衡式为

$$P_{U_{S1}} + P_{U_{S2}} + P_{I_S} + P_R = 0$$

[例 1.3.4] 在图 1-7 所示电路中, 已知 $U_{S1} = 6 \text{ V}$ 、 $U_{S2} = 10 \text{ V}$ 、 $R_1 = 4 \Omega$ 、 $R_2 = 2 \Omega$ 、 $R_3 = 1 \Omega$ 、 $R_4 = 4 \Omega$ 、 $R_5 = 10 \Omega$ 。求电路中 A、B、C 三点的电位 V_A 、 V_B 、 V_C 。

解:
$$I_1 = I_2 = \frac{U_{S1}}{R_1 + R_2} = \frac{6}{4 + 2} \text{ A} = 1 \text{ A}$$

$$I_3 = I_4 = \frac{U_{S2}}{R_3 + R_4} = \frac{10}{1 + 4} \text{ A} = 2 \text{ A}$$

因 A、B 之间不能构成电流通路, 所以 $I_5 = 0 \text{ A}$, 则

$$V_A = I_2 R_2 = 1 \times 2 \text{ V} = 2 \text{ V}$$

$$V_B = V_A - U_{AB} = 2 - I_5 R_5 = 2 \text{ V}$$

$$V_C = V_B - U_{BC} = 2 - I_4 R_4 = (2 - 2 \times 4) \text{ V} = -6 \text{ V}$$

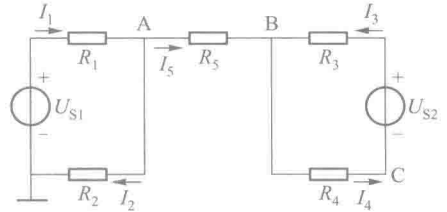


图 1-7 例 1.3.4 图

[例 1.3.5] 图 1-8(a) 所示电路中, 已知 C 点电位 $V_C = 45 \text{ V}$ 、 $I_{S1} = 5 \text{ A}$ 、 $I_{S2} = 2 \text{ A}$ 、 $R_3 = 20 \Omega$ 、 $R_4 = 10 \Omega$ 、 $R_5 = 30 \Omega$ 。用基尔霍夫定律求电流 I_1 。

解: 设各电流的参考方向如图 1-8(b) 所示。

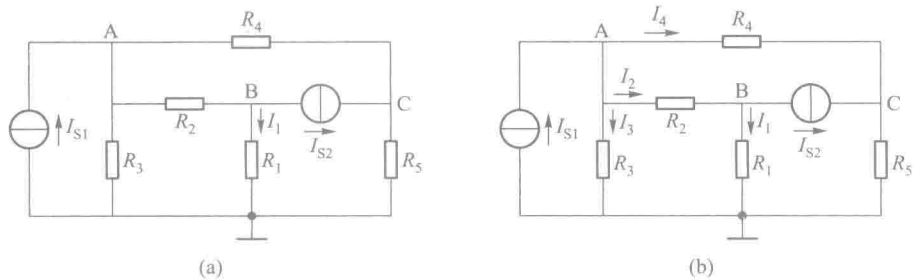


图 1-8 例 1.3.5 图

$$I_4 = \frac{V_C}{R_5} - I_{S2} = \left(\frac{45}{30} - 2 \right) \text{ A} = -0.5 \text{ A}$$

$$V_A = V_C + R_4 I_4 = [45 + 10 \times (-0.5)] \text{ V} = 40 \text{ V}$$

$$I_3 = \frac{V_A}{R_3} = \frac{40}{20} \text{ A} = 2 \text{ A}$$

列结点 A 的基尔霍夫电流方程(设流出结点为正)

$$I_2 + I_3 + I_4 - I_{S1} = 0$$

$$I_2 = I_{S1} - I_3 - I_4 = (5 - 2 + 0.5) \text{ A} = 3.5 \text{ A}$$

列结点 B 的基尔霍夫电流方程(设流入结点为正)

$$I_2 - I_1 - I_{S2} = 0$$

$$I_1 = I_2 - I_{S2} = (3.5 - 2) \text{ A} = 1.5 \text{ A}$$

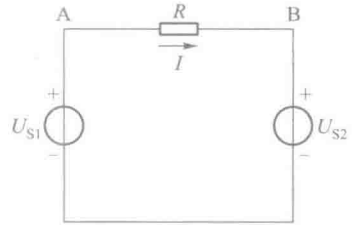
1.4 习题详解

E1-1 电路如题图 E1-1 所示,已知 $R=3\ \Omega$ 。在下列两种情况下,求流过电阻 R 的电流 I 和 R 两端的电压 U_{AB} ,并说明其实际方向。

(1) $U_{S1}=6\text{ V}, U_{S2}=9\text{ V};$

(2) $U_{S1}=9\text{ V}, U_{S2}=6\text{ V}。$

解: (1) $I = \frac{U_{S1} - U_{S2}}{R} = \frac{6 - 9}{3}\text{ A} = -1\text{ A}$



题图 E1-1

结果是负值,表示实际方向与参考方向相反,即电流实际上是由 B 流向 A。

$U_{AB} = IR = -1 \times 3\text{ V} = -3\text{ V}$,实际上 A 点电位比 B 点电位低 3 V。

(2) $I = \frac{U_{S1} - U_{S2}}{R} = \frac{9 - 6}{3}\text{ A} = 1\text{ A}$

结果是正值,表示实际方向与参考方向相同,即电流实际上是由 A 流向 B。

$U_{AB} = IR = 1 \times 3\text{ V} = 3\text{ V}$,实际上 A 点电位比 B 点电位高 3 V。

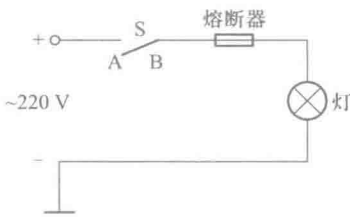
E1-2 电路如题图 E1-2 所示,在开关 S 合上与打开这两种情况下,求 A、B 两点的电位。

解: 开关 S 闭合, A、B 两点电位相等, $V_A = V_B = 220\text{ V};$

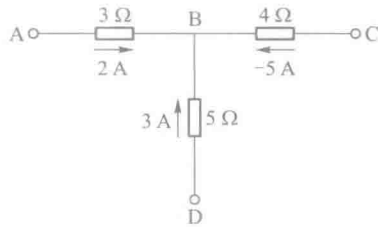
开关 S 断开, 电路中电流为 0, $V_A = 220\text{ V}, V_B = 0\text{ V}。$

E1-3 求题图 E1-3 所示电路中的 $U_{AB}, U_{BD}, U_{AD}。$

解: $U_{AB} = 3 \times 2\text{ V} = 6\text{ V}$ $U_{BD} = (-5 \times 3)\text{ V} = -15\text{ V}$ $U_{AD} = U_{AB} + U_{BD} = -9\text{ V}$

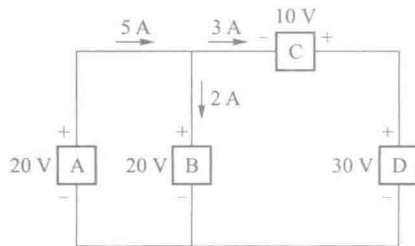


题图 E1-2



题图 E1-3

E1-4 电路如题图 E1-4 所示,求各元件的功率,并说明哪些元件是电源,哪些元件是负载。检查电源发出的功率和负载吸收的功率是否平衡?



题图 E1-4