



普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套参考书

电路与模拟电子技术(第二版)

学习辅导与习题解答

■ 殷瑞祥 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套参考书

电路与模拟电子技术(第二版)

学习辅导与习题解答

Dianlu yu Moni Dianzijishu (Di2ban) Xuexi Fudao yu Xiti Jieda

■ 殷瑞祥 主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是殷瑞祥主编的普通高等教育“十一五”国家级规划教材《电路与模拟电子技术》(第二版)的配套学习辅导与习题解答,全书共十章。理论部分各章按“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,包括四份模拟试题及其参考答案和部分电子元器件及主要参数。

全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方法,突出解题思路。

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(第二版)学习辅导与习题解答/
殷瑞祥主编.—2版.—北京:高等教育出版社,2010.11
ISBN 978-7-04-030328-5

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(2010)第175281号

策划编辑	金春英	责任编辑	曲文利	封面设计	于文燕
责任绘图	尹莉	版式设计	马敬茹	责任校对	刘莉
责任印制	陈伟光				

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

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京市鑫霸印务有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 21
字 数 510 000

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.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2005年5月第1版
2010年11月第2版
印 次 2010年11月第1次印刷
定 价 30.70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 30328-00

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,增减了部分典型例题,更新了习题解答的内容。

主教材第二版已将第一版 A/D 转换和 D/A 转换内容列为附录放到书末,为与主教材保持一致,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,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反馈给我们的修改建议。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。

限于编者水平,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

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、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 物理量的参考方向	1
1.2.2 电气设备的额定值与电路的工作状态	2
1.2.3 电源与负载的判别	2
1.2.4 电位的概念与计算	3
1.2.5 基尔霍夫定律	3
1.3 典型例题分析	5
1.4 习题详解	7
第2章 电路分析的基本方法	16
2.1 内容提要	16
2.2 重点和难点	16
2.2.1 等效电路分析方法	16
2.2.2 网孔电流分析法	18
2.2.3 结点电压分析法	19
2.2.4 电路定理	20
2.3 典型例题分析	22
2.4 习题详解	30
第3章 交流稳态电路分析	54
3.1 内容提要	54
3.2 重点和难点	55
3.2.1 正弦量的三要素	55
3.2.2 正弦量的相量表示法	57
3.2.3 正弦稳态电路的分析方法	59
3.2.4 正弦交流电路中的功率	60
3.2.5 电路的功率因数及其提高	64
3.2.6 正弦交流电路的频率特性	64
3.2.7 三相交流电源	65
3.2.8 负载的连接与计算	66
3.2.9 三相四线制电路中中性线的作用	70
3.2.10 非正弦周期量的有效值和平均值	72
3.2.11 非正弦周期交流电路的功率和分析方法	73
3.3 典型例题分析	73
3.4 习题详解	96
第4章 暂态电路分析	128
4.1 内容提要	128
4.2 重点和难点	128
4.2.1 换路定律与电压和电流初始值的确定	128
4.2.2 三要素法分析一阶线性电路的暂态过程	129
4.2.3 微分、积分和耦合电路	129
4.2.4 RLC 串联电路	130
4.3 典型例题分析	130
4.4 习题详解	135
第5章 半导体器件基础与二极管电路	152
5.1 内容提要	152
5.2 重点和难点	152
5.2.1 半导体二极管的单向导电性、伏安特性及电路模型	152
5.2.2 稳压二极管的特性及主要参数	154
5.2.3 二极管整流电路	155
5.2.4 二极管典型应用电路	156
5.3 典型例题分析	157
5.4 习题详解	162
第6章 晶体管放大电路基础	169
6.1 内容提要	169
6.2 重点和难点	169
6.2.1 受控电源与放大电路模型	169
6.2.2 晶体管及其特性	171
6.2.3 基本共射极放大电路	172

6.2.4	分压式偏置放大电路	177	第 10 章	电路与模拟电子技术实验	285
6.2.5	射极输出器	179	10.1	电路与模拟电子技术实验	
6.2.6	多级放大电路	181		基本知识	285
6.2.7	放大电路中的负反馈	181	10.1.1	实验的目的和作用	285
6.2.8	功率放大电路	183	10.1.2	实验室安全用电规则	285
6.2.9	场效应管及场效应管放大 电路	184	10.1.3	基本测量方法	285
6.3	典型例题分析	187	10.2	测量误差及数据处理	291
6.4	习题详解	197	10.2.1	产生误差的原因	291
第 7 章	模拟集成电路及其应用电路	223	10.2.2	测量误差的分类	292
7.1	内容提要	223	10.2.3	误差的表示方法	292
7.2	重点和难点	223	10.2.4	测量结果的处理	294
7.2.1	集成运算放大器的组成及 结构特点	223	10.3	实验中常见故障的分析 与处理	296
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	10.3.1	常见故障类型及引起的 原因	296
7.2.3	差分放大电路	225	10.3.2	故障的预防	297
7.2.4	镜像电流源电路	226	10.3.3	故障检测	297
7.2.5	集成运算放大器线性应用的 分析方法	227	附录		299
7.2.6	集成运算放大器非线性应 用的分析方法	229	附录 A	模拟试题	299
7.3	典型例题分析	231	A.1	模拟试题一	299
7.4	习题详解	238	A.2	模拟试题二	302
第 8 章	信号产生电路	254	A.3	模拟试题三	306
8.1	内容提要	254	A.4	模拟试题四	310
8.2	重点和难点	254	附录 B	模拟试题参考答案	314
8.2.1	正弦波振荡电路	254	B.1	模拟试题一	314
8.2.2	非正弦波振荡电路	256	B.2	模拟试题二	315
8.3	典型例题分析	259	B.3	模拟试题三	316
8.4	习题详解	261	B.4	模拟试题四	317
第 9 章	直流电源	269	附录 C	部分电子元器件及 主要参数	318
9.1	内容提要	269	C.1	电阻器、电容器及其标称值	318
9.2	重点和难点	269	C.2	半导体分立器件型号命名 方法	321
9.2.1	电源滤波电路	269	C.3	部分半导体分立器件的参数	322
9.2.2	直流稳压电路	270	C.4	半导体集成电路型号命名 方法	325
9.3	典型例题分析	273	C.5	常用半导体集成电路的参数	328
9.4	习题详解	275			

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,在此基础上提出电路模型的概念,并介绍了组成电路模型的理想有源、无源元件;详细讲述了电路中的基本物理量,包括电路中电位的概念与计算;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、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,应该熟练掌握。

1.2 重点和难点

1.2.1 物理量的参考方向

在物理课程中学习了电压、电流的实际方向,它们是客观存在的。电流的实际方向是正电荷在电场(路)中运动的方向,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,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,往往事先无法判断出电流、电压的实际方向。这时我们就先任意假定电流、电压为某一个方向,这个假定的方向被称为是参考方向或正方向。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,表示参考方向与实际方向相反。

注意:分析电路时,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,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正常工作条件下正常运行而规定的正常容许值。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其额定值,则设备得不到充分利用;如果其实际值超过其额定值许多,则会出现不正常的情况甚至发生事故。

1.2.3 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。根据能量守恒定律,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。下面举例来说明。

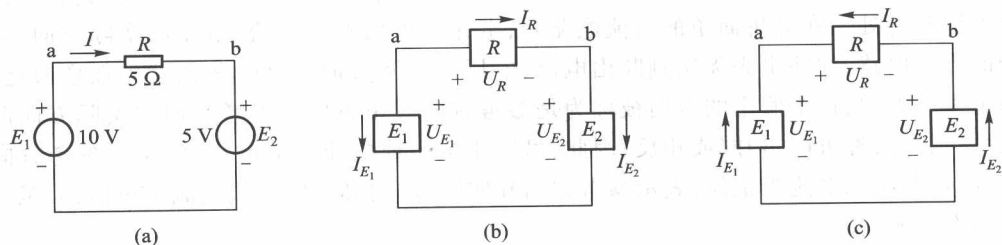


图 1-1 电源和负载的判别

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 E_1 , 电流实际从其“+”端流出, 发出功率, 其值为 $P_{E_1} = 10 \times 1 \text{ W} = 10 \text{ W}$, 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, 其值为 $P_R = I^2 R = 5 \text{ W}$, 为负载; 对 E_2 , 实际电流从其“+”端流入, 取用功率, 其值 $P_{E_2} = 5 \times 1 \text{ W} = 5 \text{ W}$ 。电路中各元件发出功率之和等于取用功率之和, 本电路 $P_{E_1} = P_R + P_{E_2}$ 。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

$\Sigma P_{\text{发出}} = \Sigma P_{\text{取用}}$, 各元件功率均为正值。

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 E_1 , $U_{E_1} = 10 \text{ V}$, $I_{E_1} = -1 \text{ A}$, $P_{E_1} = U_{E_1} \times I_{E_1} = -10 \text{ W}$, 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 E_2 , $U_{E_2} = 5 \text{ V}$, $I_{E_2} = 1 \text{ A}$, $P_{E_2} = U_{E_2} \times I_{E_2} = 5 \text{ W}$, 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 $P_{E_1} + P_R + P_{E_2} = 0$ 。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 $\Sigma P = 0$, 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, 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。

1.2.4 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识。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, 当参考电位点取得不同时, 则各点电位的数值也随之而改变, 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) 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), 对此我们一定要习惯。

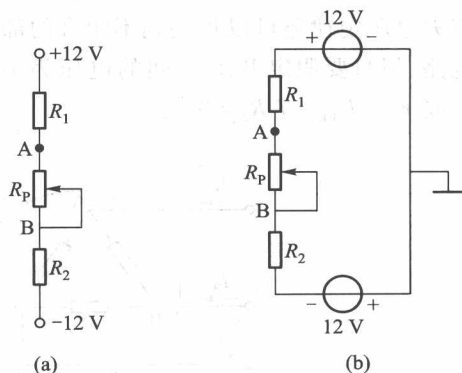


图 1-2 借助电位概念简化作图

1.2.5 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:

$$\Sigma I_{\text{入}} = \Sigma I_{\text{出}}, \text{ 流入某结点的电流之和等于流出该结点的电流之和;}$$

或 $\Sigma I = 0$, 流入 (或流出) 某结点支路电流的代数和为零。

基尔霍夫电流定律的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

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

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的参考方向的前提下。在图 1-3(a)中,按 $\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}}$ 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 $\sum I = 0$ 列公式时,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,则公式为 $I_A + I_B - I_C = 0$,当然也可假定流入为负、流出为正,则公式为 $-I_A - I_B + I_C = 0$ 。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:

$\sum U_{\text{升}} = \sum U_{\text{降}}$,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定律,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中。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 $E_2 = U_{BE} + I_2 R_2$ 或 $E_2 - U_{BE} - I_2 R_2 = 0$ 。

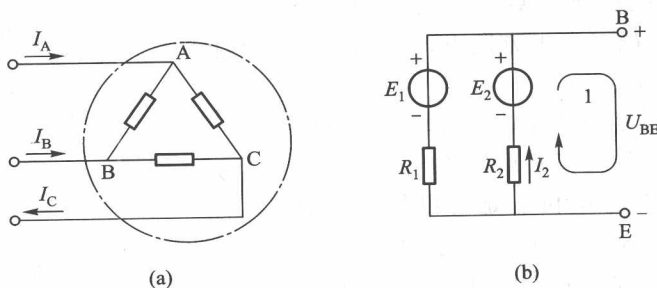


图 1-3 基尔霍夫定律的扩展

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。在图 1-3(b)中,在回路 1 中按顺时针方向绕行、从 B 点出发又回到 B 点,则依据 $\sum U_{\text{升}} = \sum U_{\text{降}}$,可列公式 $E_2 = U_{BE} + I_2 R_2$;按 $\sum U = 0$,可列式子 $E_2 - U_{BE} - I_2 R_2 = 0$ 或 $-E_2 + U_{BE} + I_2 R_2 = 0$ 。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 $-E_2 + U_{BE} + I_2 R_2 = 0$;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 $E = 2 \text{ V}$, $R = 1 \ \Omega$,问:当 U 分别为 3 V 和 1 V 时,求 $I_R = ?$ 并说明其实际方向。

解: 按图中物理量的参考方向,列出方程如下

$$U = U_R + E, \quad U_R = I_R R$$

所以

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

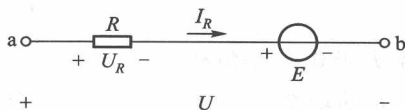


图 1-4 例 1.3.1 图

当 $U = 3 \text{ V}$ 时, $I_R = \frac{U - E}{R} = \frac{3 - 2}{1} \text{ A} = 1 \text{ A}$ 。 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, $I_R = \frac{U - E}{R} = \frac{1 - 2}{1} \text{ A} = -1 \text{ A}$ 。 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] 图 1-5 所示电路中,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。

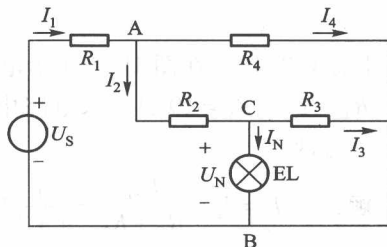


图 1-5 例 1.3.2 图

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

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

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

$$I_2 = I_N + I_3 = 0.9 \text{ A} \text{ (KCL)}, \quad U_{AB} = I_2 R_2 + U_N = (0.9 \times 10 + 12) \text{ V} = 21 \text{ V} \text{ (KVL)}$$

$$I_4 = \frac{U_{AB}}{R_4} = \frac{21}{15} \text{ A} = 1.4 \text{ A} \text{ (欧姆定律)}, \quad I_1 = I_2 + I_4 = (0.9 + 1.4) \text{ A} = 2.3 \text{ A} \text{ (KCL)}$$

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

[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。

$$U_{S1} \text{ 的功率: } P_{S1} = -U_{S1} (I_S + I) = -15 \times (1 + 2) \text{ W} = -45 \text{ W}$$

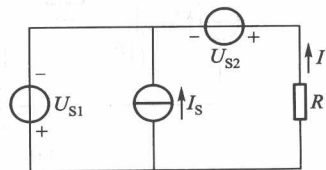


图 1-6 例 1.3.3 图

功率小于 0, U_{S1} 是电源。

U_{S2} 的功率:

$$P_{S2} = U_{S2} I = 5 \times 2 \text{ W} = 10 \text{ W}$$

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 的功率为

$$P_S = U_{S1} I_S = 15 \times 1 \text{ W} = 15 \text{ W}$$

功率大于 0, I_S 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, 总发出功率为 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。

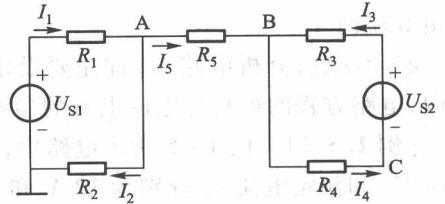
功率平衡式为

$$P_{S1} + P_{S2} + P_S + P_R = 0$$

[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 。

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

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



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

图 1-7 例 1.3.4 图

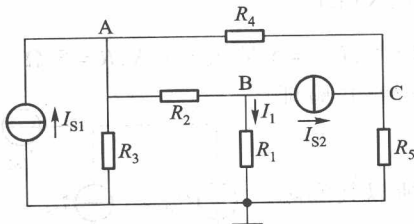
$$V_A = I_2 R_2 = 1 \times 2 \text{ V} = 2 \text{ V}$$

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

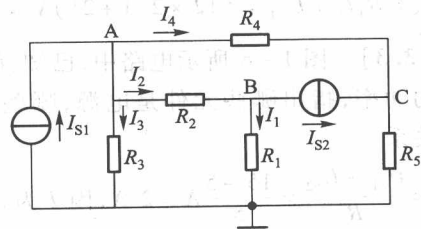
$$V_C = V_B - U_{BC} = 2 - I_4 R_4 = (2 - 2 \times 4) \text{ V} = -6 \text{ V}$$

[例 1.3.5] 图 1-8(a) 所示电路中, 已知 C 点电位 $V_C = 36 \text{ V}$ 、 $I_{S1} = 7 \text{ A}$ 、 $I_{S2} = 4 \text{ A}$ 、 $R_3 = 14 \Omega$ 、 $R_4 = 8 \Omega$ 、 $R_5 = 12 \Omega$ 。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。



(a)



(b)

图 1-8 例 1.3.5 图

$$I_4 = \frac{V_C}{R_5} - I_{S2} = \left(\frac{36}{12} - 4 \right) \text{ A} = -1 \text{ A}$$

$$V_A = V_C + R_4 I_4 = (36 - 8 \times 1) \text{ V} = 28 \text{ V}$$

$$I_3 = \frac{V_A}{R_3} = \frac{28}{14} \text{ A} = 2 \text{ A}$$

列结点 A 的基尔霍夫电流方程(设流出结点为正): $I_2 + I_3 + I_4 - I_{S1} = 0$, 所以

$$I_2 = I_{S1} - I_3 - I_4 = (7 - 2 + 1) \text{ A} = 6 \text{ A}$$

列结点 B 的基尔霍夫电流方程(设流入结点为正): $I_2 - I_1 - I_{S2} = 0$, 所以

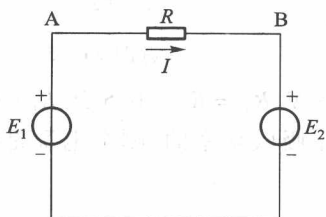
$$I_1 = I_2 - I_{S2} = (6 - 4) \text{ A} = 2 \text{ A}$$

1.4 习题详解

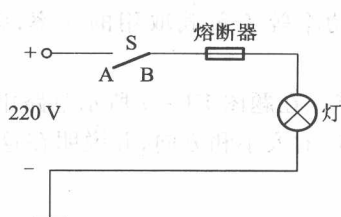
E1-1 电路如题图 E1-1 所示, 已知 $R = 3 \Omega$ 。在下列两种情况下, 求流过电阻 R 的电流 I 和 R 两端的电压 U_{AB} , 并说明其实际方向:

(1) $E_1 = 6 \text{ V}, E_2 = 9 \text{ V}$;

(2) $E_2 = 6 \text{ V}, E_1 = 9 \text{ V}$ 。



题图 E1-1



题图 E1-2

解: (1) $I = \frac{E_1 - E_2}{R} = \frac{6 - 9}{3} \text{ A} = -1 \text{ A}$

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) $I = \frac{E_1 - E_2}{R} = \frac{9 - 6}{3} \text{ A} = 1 \text{ A}$

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。

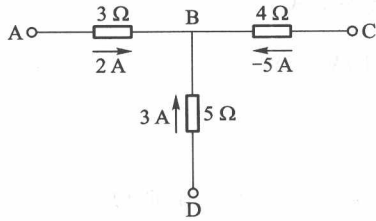
$U_{AB} = IR = 1 \times 3 \text{ V} = 3 \text{ V}$, 实际上 A 点电位比 B 点电位高 3 V。

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。

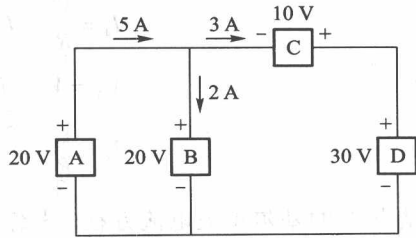
解: S 闭合, A、B 两点电位相等, $V_A = V_B = 220 \text{ V}$;

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} 。



题图 E1-3



题图 E1-4

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

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

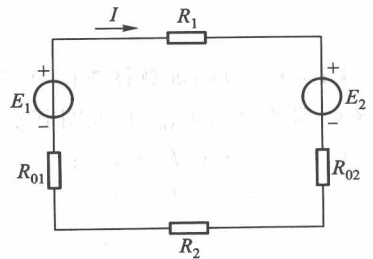
解: A 元件: $P_A = -20 \times 5 \text{ W} = -100 \text{ W}$, 两端电压和流过电流的实际方向相反,功率为负,元件是电源,发出功率。

B 元件: $P_B = 20 \times 2 \text{ W} = 40 \text{ W}$, 两端电压和流过电流的实际方向相同,功率为正,元件是负载,取用功率。

C 元件: $P_C = -10 \times 3 \text{ W} = -30 \text{ W}$, 电源。

D 元件: $P_D = 30 \times 3 \text{ W} = 90 \text{ W}$, 负载。

$P_A + P_B + P_C + P_D = (-100 + 40 - 30 + 90) \text{ W} = 0 \text{ W}$, 电源发出的功率等于负载取用的功率,整个电路功率是平衡的。



题图 E1-5

E1-5 在题图 E1-5 所示电路中,已知: $I = 2 \text{ A}$, $E_1 = 48 \text{ V}$, $R_{01} = R_{02} = 0.5 \Omega$, $R_1 = 6 \Omega$, $R_2 = 5 \Omega$ 。求 E_2 的大小和方向,并说明在这个电路中哪个电源是吸收功率的,哪个电源是输出功率的。

解:

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2 + R_{01} + R_{02}}$$

$$E_2 = E_1 - I(R_1 + R_2 + R_{01} + R_{02}) = [48 - 2 \times (6 + 5 + 0.5 + 0.5)] \text{ V} = 24 \text{ V}$$

实际方向与参考方向相同。

$P_{E1} = -E_1 I = -48 \times 2 \text{ W} = -96 \text{ W} < 0$, E_1 是电源。

$P_{E2} = E_2 I = 24 \times 2 \text{ W} = 48 \text{ W} > 0$, E_2 是负载。

E1-6 在题图 E1-6(a) 所示电路中,已知 AB 段产生的电功率为 500 W , 其他三段消耗的电功率分别为 50 W , 400 W , 50 W , 电流方向如图所示。

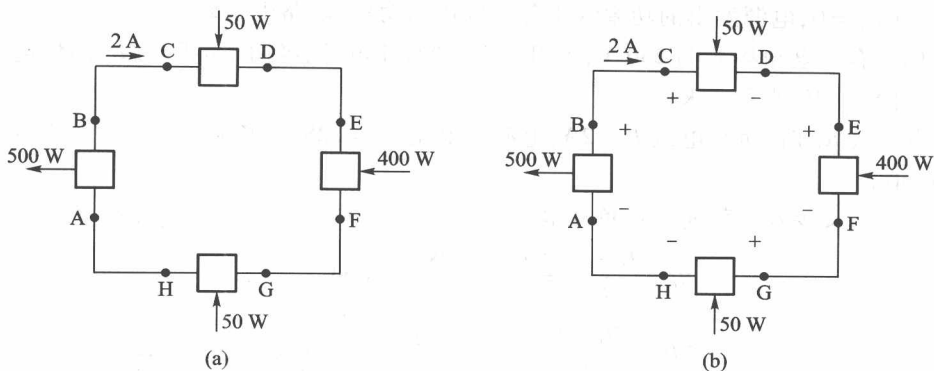
(1) 试标出各段电路两端电压的极性;

(2) 试计算各段电压的数值。

解: (1) 各段电路两端电压的极性如题图 E1-6(b) 所示。

$$(2) U_{BA} = \frac{500}{2} \text{ V} = 250 \text{ V}, \quad U_{CD} = \frac{50}{2} \text{ V} = 25 \text{ V}$$

$$U_{EF} = \frac{400}{2} \text{ V} = 200 \text{ V}, \quad U_{GH} = \frac{50}{2} \text{ V} = 25 \text{ V}$$



题图 E1-6

E1-7 一个额定值为 220 V, 10 kW 的电阻炉可否接到 220 V, 30 kW 的电源上使用? 如果将它接到 220 V, 5 kW 的电源上, 情况又如何?

解: 一个额定值为 220 V, 10 kW 的电阻炉可以接到 220 V, 30 kW 的电源上使用, 因为负载 (电阻炉) 正常工作所需要的电压、功率均未超过电源电压、功率的额定值; 但不能接到 220 V, 5 kW 的电源上, 因为其功率超出电源额定功率 1 倍, 将导致电源烧坏。

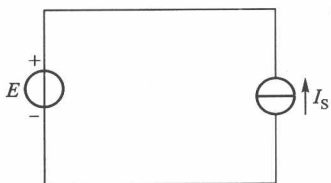
E1-8 某电路需要一只 1 kΩ/1 W 的电阻元件, 但手边只有 $\frac{1}{2}$ W 的 250 Ω、500 Ω、750 Ω、1 kΩ 的电阻多只。怎样连接才能符合阻值和功率的要求?

解: 将两个 500 Ω、0.5 W 的电阻串联起来即可。因为这样总电阻值为 $(500 + 500) \Omega = 1 \text{ k}\Omega$, 满足要求; 若假设总电压为 U , 则每个电阻上的电压为 $0.5U$, 每个电阻的功率为 $\frac{(0.5U)^2}{500} = 0.5 \text{ W}$, 电路的总功率为 $\frac{U^2}{1000} = \frac{2U^2}{4 \times 500} = 2 \times 0.5 \text{ W} = 1 \text{ W}$, 也同时满足要求。采取其他方法能满足阻值要求但无法同时满足功率要求。

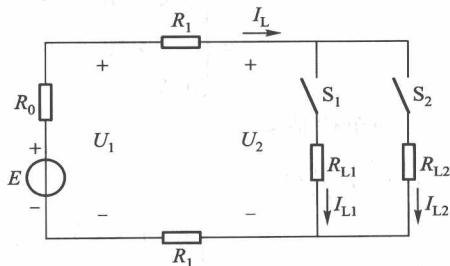
E1-9 电路如题图 E1-9 所示, 已知: $I_s = 2 \text{ A}$, $E = 10 \text{ V}$ 。分别求理想电流源和理想电压源的功率, 说明功率平衡关系。

解: $P_1 = -10 \times 2 \text{ W} = -20 \text{ W}$, 发出功率, 是电源;

$P_U = 10 \times 2 \text{ W} = 20 \text{ W}$, 取用功率, 是负载。



题图 E1-9



题图 E1-10

$P_1 + P_U = 0$, 电源发出的功率等于负载取用的功率, 电路中功率平衡。

E1-10 有一电动势 E 为 230 V, 内阻为 R_0 的直流电源, 经两根电阻为 R_1 的供电线对负载供电, 如题图 E1-10 所示。求:

(1) 当接入 R_{L1} 时, 负载电流 $I_L = 2\text{ A}$, 电源端电压 $U_1 = 228\text{ V}$, 负载端电压 $U_2 = 224\text{ V}$, 求 R_0 , R_1 和 R_{L1} 的值;

(2) 当电路又接入负载 R_{L2} 后, 负载电流 $I_L = 10\text{ A}$ 。试求 $U_1, U_2, I_{L1}, I_{L2}, R_{L2}$ 各为多少?

解: (1)
$$R_0 = \frac{E - U_1}{I_L} = \frac{230 - 228}{2} \Omega = 1 \Omega$$

$$2R_1 = \frac{U_1 - U_2}{I_L} = \frac{228 - 224}{2} \Omega = 2 \Omega \quad \text{所以} \quad R_1 = 1 \Omega$$

$$R_{L1} = \frac{U_2}{I_L} = \frac{224}{2} \Omega = 112 \Omega$$

(2)
$$U_1 = E - I_L R_0 = (230 - 10 \times 1) \text{ V} = 220 \text{ V}$$

$$U_2 = E - I_L (R_0 + 2R_1) = (230 - 10 \times 3) \text{ V} = 200 \text{ V}$$

$$I_{L1} = \frac{U_2}{R_{L1}} = \frac{200}{112} \text{ A} \approx 1.79 \text{ A}$$

$$I_{L2} = I_L - I_{L1} = (10 - 1.79) \text{ A} = 8.21 \text{ A}$$

又根据分流公式得

$$I_{L2} = I_L \times \frac{R_{L1}}{R_{L1} + R_{L2}} \quad \text{即} \quad 8.21 = 10 \times \frac{112}{112 + R_{L2}}$$

所以
$$R_{L2} = \frac{10 \times 112 - 8.21 \times 112}{8.21} \Omega$$

$$= \frac{1.79 \times 112}{8.21} \Omega \approx 24.42 \Omega$$

E1-11 在题图 E1-11(a) 所示电路中, 电感 $L = 10\text{ mH}$, 电流 $i(t)$ 的波形如题图 E1-11(b) 所示, 试计算 $t \geq 0$ 时的电压 $u(t)$ 、瞬时功率 $p(t)$, 并绘出它们的波形图。

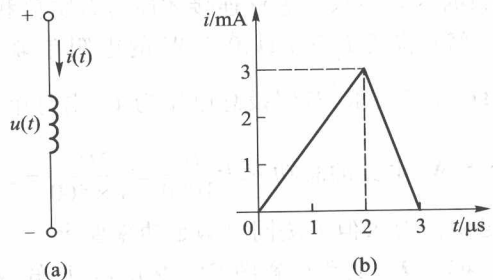
解: 由图(b)得到 i 的表达式如下:

$$i = \begin{cases} 1.5 \times 10^3 t \text{ A} & (0 \leq t \leq 2 \mu\text{s}) \\ -3 \times 10^3 t + 9 \times 10^{-3} \text{ A} & (2 \mu\text{s} \leq t \leq 3 \mu\text{s}) \\ 0 \text{ A} & (t \geq 3 \mu\text{s}) \end{cases}$$

注意, 式中 t 的单位是 s。

由公式 $u = L \frac{di}{dt}$ 得

$$u = \begin{cases} L \times 1.5 \times 10^{-3} = 15 \text{ V} & (0 \leq t \leq 2 \mu\text{s}) \\ L \times (-3 \times 10^{-3}) = -30 \text{ V} & (2 \mu\text{s} \leq t \leq 3 \mu\text{s}) \\ 0 \text{ V} & (t \geq 3 \mu\text{s}) \end{cases}$$



题图 E1-11