



21st CENTURY

实用规划教材

全国高职高专

电子信息系列实用规划教材

实用电路基础

主 编 张 虹
主 审 栾学德



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

全国高职高专电子信息系列实用规划教材

实用电路基础

主 编 张 虹
主 审 栾学德



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书依据电路基础课程的教学大纲,围绕高职高专的人才培养目标,由多位资深的学科带头人审定内容结构,并结合作者多年的一线教学经验编写而成,是一本适合高职高专使用的教材。

本书分基础理论篇和实验实训篇。在基础理论篇中系统地介绍了电路理论的基本内容,包括电路的基本理论及基本运算方法。在实验实训篇中写了两部分:第1部分是基础实验,使学生对所学理论知识有一个更加深刻、明晰的理解,同时培养学生的实际操作技能,提高学生分析问题和解决问题的能力。第2部分是综合实训,培养学生初步设计、安装实物、调试等方面的能力。

本书内容精练,详略得当,条理清晰,通俗易懂,在每一章后面都配有应用实例。此外,每一个知识点都有典型例题和习题,书后附有习题答案。

本书可作为高等职业、专科院校的自动化、电子、通信、计算机等相关专业的课程教材,也可供从事电子技术的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

实用电路基础/张虹主编. —北京:北京大学出版社, 2009. 1

(全国高职高专电子信息系列实用规划教材)

ISBN 978-7-301-14656-9

I. 实… II. 张… III. 电路理论—高等学校:技术学校—教材 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 185908 号

书 名: 实用电路基础

著作责任者: 张 虹 主编

策 划 编 辑: 乐和琴

责 任 编 辑: 孙 琳

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-14656-9/TP·0991

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 北京宏伟双华印刷有限公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 17.25 印张 441 千字

2009 年 1 月第 1 版 2009 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 28.00 元

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

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

高等职业教育是我国高等教育的重要组成部分，其根本任务是培养和造就适应生产、建设、管理、服务第一线的德、智、体、美全面发展的高等技术应用型人才。近年来，高等职业教育发展迅猛，其宏观规模发生了历史性变化。为适应我国社会进步和经济发展的需要，高等职业教育的教学模式、教学方法需要不断改革，高职教材也必须与之相适应，进行重新调整与定位，创建自己的特色，将理论与能力培养有机地结合。本书即是在这种思想的指导下组织编写的。

《实用电路基础》是电类各专业必修的技术基础课程；而随着电路电子技术在各个领域越来越广泛的应用，它也越来越多地成为非电类专业的重要课程。本书作为高职高专教材，密切联系生产实际，以就业为导向，重视学生职业能力的培养，做到有的放矢，有针对性和方向性。

本书的编者是双师型教师，有着丰富的工程实践经验，能够从实用角度出发对问题进行论证和阐述，例题、习题的选取也具有这个特点。总之，本教材注重了以下几方面的问题：

- (1) 保证基础，加强概念，培养思路。
- (2) 精选内容，主次分明，详略得当。
- (3) 面向更新，联系实际，理论与实践并重，知识与技能并重。
- (4) 问题分析深入浅出，文字叙述通俗易懂，图文并茂，例题精选，便于自学。
- (5) 理论知识以够用为目的，重点加强实际应用。例如，每一章的最后都有“应用篇”，结合实际应用中的一个或几个实例，讲解电路理论在实际中的具体应用。此外，例题、习题也尽可能从实际问题中产生。
- (6) 为了更好地配合理论教学，加强学生实践动手能力的培养，本书从结构上分为两篇，第1篇为基础理论篇，重点介绍电路的基本理论及基本方法，第2篇为实验实训篇，注重培养学生的实验技能和实际操作技能。

本书由张虹主编并统稿。由栾学德老师担任主审。在大纲的论证及教材编写过程中，管金华、杜德、李耀明、张元国、盖君清、张建华、王立梅、刘晓亮、桑露萍、陈光军、杨洁、李厚荣、周金玲老师给予了很大帮助，在此一并表示感谢。

《实用电路基础》较适宜的授课学时为“理论 60+实验 12”学时左右，各章的参考教学时数见下表：

章 名	建议学时	章 名	建议学时
第 1 章 电路分析导论	2	第 6 章 互感耦合电路及变压器	6
第 2 章 电路分析的基本方法	10	第 7 章 动态电路的时域分析	8
第 3 章 正弦电路的稳态分析	10	第 8 章 电路的复频域分析	6
第 4 章 三相电路	4	第 9 章 双口网络	6
第 5 章 非正弦周期电流电路的分析	4		

注：目录中带星号“*”的 8.6 与 8.7 节，可根据实际教学情况选择是否进行课堂讲授。

本书可作为高职高专院校的自动化、电子、通信、计算机等相关专业的课程教材，也可供从事电子技术的工程技术人员参考使用。

编写过程中，由于时间仓促，加之水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，敬请各方面的读者予以批评指正，以便今后不断改进。

编 者

2008 年 12 月

目 录

第 1 篇 基础理论	1
第 1 章 电路分析导论	1
1.1 引言	1
1.2 电路和电路模型	1
1.2.1 电路及其功能	1
1.2.2 电路模型	2
1.2.3 集总参数电路	3
1.3 电路的基本物理量和关联 参考方向	4
1.3.1 电流	4
1.3.2 电压	5
1.3.3 电荷	7
1.3.4 磁链	7
1.4 电路的复合物理量—— 功率和能量	8
1.4.1 功率	8
1.4.2 能量	8
1.5 电阻元件和电源	9
1.5.1 电阻元件	9
1.5.2 独立电源	12
1.5.3 受控源	14
1.6 基尔霍夫定律	16
1.6.1 基尔霍夫电流定律	16
1.6.2 基尔霍夫电压定律	17
1.7 应用——TV 摄像管和显像管	21
本章小结	22
习题一	22
第 2 章 电路分析的基本方法	25
2.1 等效变换分析法	25
2.1.1 基本概念	25
2.1.2 无源二端网络的 等效变换	26
2.1.3 电压源与电流源的 等效变换	31
2.2 结点电压分析法	35
2.2.1 结点电压及结点 电压方程	35
2.2.2 结点法应用举例	37
2.3 网孔电流分析法	39
2.3.1 网孔电流及网孔 电流方程	39
2.3.2 网孔法应用举例	40
2.4 网络定理	42
2.4.1 叠加定理	42
2.4.2 戴维南定理和诺顿定理	44
2.4.3 最大功率传输定理	50
2.4.4 替代定理	51
2.5 应用——惠斯登电桥测电阻	53
本章小结	55
习题二	55
第 3 章 正弦电路的稳态分析	60
3.1 正弦交流电路的基本概念	60
3.1.1 正弦量的瞬时值	60
3.1.2 正弦量的三要素	61
3.1.3 相位差	63
3.1.4 正弦量的有效值	64
3.2 正弦量的相量表示	65
3.2.1 复数的表示形式及 运算规则	65
3.2.2 正弦量的相量表示	67
3.3 单一参数正弦交流电路的分析	69
3.3.1 纯电阻电路	69
3.3.2 纯电感电路	70
3.3.3 纯电容电路	72
3.3.4 电感与电容的连接	74
3.4 基尔霍夫定律的相量形式	76
3.4.1 基尔霍夫电流定律的 相量形式	77
3.4.2 基尔霍夫电压定律的 相量形式	78
3.5 RLC 串联电路的分析、多阻抗 串联与并联	79
3.5.1 RLC 串联电路的分析	79
3.5.2 复阻抗的串联与并联	81
3.6 正弦交流电路的功率	83

3.6.1 瞬时功率和平均功率	83	6.1.1 互感现象	129
3.6.2 复功率、视在功率和 无功功率	85	6.1.2 互感系数与同名端	130
3.7 功率因数的提高	86	6.1.3 耦合系数	134
3.8 相量法分析正弦交流电路	88	6.2 含有耦合电感电路的计算	135
3.9 谐振电路	90	6.2.1 串、并联电路	135
3.9.1 RLC 串联谐振电路	90	6.2.2 去耦等效电路	139
3.9.2 RLC 并联谐振电路	93	6.2.3 含耦合电感电路的 分析	140
3.10 应用——电容倍增器	94	6.3 空心变压器	142
本章小结	95	6.3.1 电路方程与反射阻抗	143
习题三	96	6.3.2 空心变压器的等效 电路	144
第4章 三相电路	100	6.4 理想变压器	146
4.1 三相电源	100	6.5 应用——变压器用做隔离装置	149
4.1.1 对称三相电源	100	本章小结	150
4.1.2 三相电源的连接	101	习题六	151
4.1.3 三相电源和负载的 连接	102	第7章 动态电路的时域分析	154
4.2 三相电路的计算	103	7.1 过渡过程及换路定律	154
4.3 三相电路的功率	106	7.1.1 过渡过程	154
4.4 应用——住宅房屋的接线	107	7.1.2 换路定律	154
本章小结	109	7.2 一阶 RC 电路的过渡过程	158
习题四	110	7.2.1 RC 电路的零输入响应	158
第5章 非正弦周期电流 电路的分析	112	7.2.2 RC 电路的零状态响应	161
5.1 非正弦周期信号	112	7.3 一阶 RL 电路的过渡过程	164
5.2 非正弦周期信号的分解	113	7.3.1 RL 电路的零输入响应	164
5.2.1 非正弦周期函数分解为 傅里叶级数	113	7.3.2 RL 电路的零状态响应	166
5.2.2 对称波形的傅里叶 级数	114	7.4 一阶电路的全响应	167
5.2.3 非正弦周期波的频谱	116	7.4.1 概述	167
5.3 非正弦周期信号的最大值、有效 值、平均值和平均功率	118	7.4.2 一阶电路的三要素法	167
5.3.1 最大值	118	7.5 一阶电路的阶跃响应与冲激 响应	172
5.3.2 有效值	118	7.5.1 阶跃函数与冲激函数	172
5.3.3 平均值	119	7.5.2 阶跃响应	174
5.3.4 平均功率	119	7.5.3 冲激响应	175
5.4 非正弦周期电流电路的 分析和计算	120	7.6 二阶电路分析	177
5.5 应用——频谱分析仪	125	7.6.1 RLC 串联电路的微分 方程及其解	177
本章小结	126	7.6.2 非振荡放电过程(过阻 尼情况)	178
习题五	126	7.6.3 振荡放电过程(欠阻 尼情况)	180
第6章 互感耦合电路及变压器	129	7.6.4 临界阻尼情况	182
6.1 互感	129	7.7 应用——闪光灯电路及汽车 点火电路	182

7.7.1 照相闪光灯装置	182	参数	220
7.7.2 汽车点火电路	183	9.2.5 各组参数间的相互 转换	221
本章小结	184	9.3 双口网络的等效电路	222
习题七	184	9.3.1 由 Z 参数确定 T 形电路的 三个阻抗	222
第 8 章 电路的复频域分析	189	9.3.2 由 Y 参数确定 Π 形电路 的三个导纳	222
8.1 拉普拉斯变换的定义	189	9.3.3 含受控源的无源线性双口 网络的等效电路	223
8.1.1 拉普拉斯变换	189	9.4 双口网络的连接	224
8.1.2 拉普拉斯反变换	190	9.5 应用——移相器、衰减器及 滤波器	227
8.2 拉普拉斯变换的性质	190	9.5.1 相移器	227
8.2.1 线性性质	190	9.5.2 衰减器	227
8.2.2 微分性质	191	9.5.3 滤波器	228
8.2.3 积分性质	191	本章小结	230
8.2.4 延迟性质	192	习题九	231
8.3 拉普拉斯反变换的部分分式法	193	第 2 篇 实验实训	233
8.3.1 实数单根	194	第 1 部分 基础实验	233
8.3.2 重根	195	实验一 电路元件伏安特性的测量	233
8.3.3 共轭复数	196	实验二 电路基本定律及定理的 验证	236
8.4 运算模型及运算电路	197	实验三 最大功率传输条件的测定	239
8.4.1 基尔霍夫定律的复频域 表示形式	197	实验四 动态电路的过渡过程	241
8.4.2 电阻、电感、电容元件的 复频域模型	197	实验五 单相正弦交流电路	242
8.5 拉普拉斯变换在电路分析中的 应用	199	实验六 RLC 串联谐振电路的研究	244
* 8.6 传递函数	202	实验七 三相电路功率的测量	246
* 8.7 卷积	204	实验八 互感电路测量	249
8.8 应用——网络稳定性的判别	207	第 2 部分 综合实训	252
本章小结	209	实训一 荧光灯的安装及功率因数的 提高	252
习题八	209	实训二 小容量变压器的设计	255
第 9 章 双口网络	212	实训三 万用表的设计、安装和 校准	258
9.1 概述	212	部分习题参考答案	260
9.2 双口网络的基本方程及参数	213	参考文献	266
9.2.1 导纳参数方程及导纳 参数	213		
9.2.2 阻抗参数方程及阻 抗参数	217		
9.2.3 传输参数方程及传输 参数	219		
9.2.4 混合参数方程及混合			

第1篇 基础理论

第1章 电路分析导论



教学目标和要求

学习电路的基本概念、基本物理量,组成电路的主要元件及其电特性,电路的根本定律——基尔霍夫定律及其应用。

- 了解: 电路及电路模型。
- 掌握: 电压、电流的实际方向与参考方向的关系,关联参考方向的定义。
- 掌握: 基尔霍夫电压定律和基尔霍夫电流定律的基本内容及应用。
- 掌握: 电位的概念及计算方法。

1.1 引言

电路在日常生活、生产和科学研究工作中得到了广泛应用。小到手电筒,大到计算机、通信系统和电力网络,都可以看到各种各样的电路。可以说,只要用电的物体,其内部都含有电路,尽管这些电路的结构各异,特性和功能也不相同,但都建立在一个共同的理论基础——电路理论上。

电路理论由两个分支构成:电路分析、电路设计。电路分析是在给定电路系统的结构和元件参数之后,求解电路输入(激励)与输出(响应)之间的规律;电路设计是在给定电路系统的输入(激励)与输出(响应)之间规律(或技术指标)的基础上,设计出电路系统(包括结构和元件参数)。本书在重点介绍电路分析的同时,也简要讨论电路的设计问题。

电路分析必须满足两大约束规律:拓扑约束(也称为结构约束)规律和元件约束规律。它们是电路分析与计算的基础,但它们又是建立在电荷守恒公理和能量守恒公理的基础之上的。在这些理论基础上,导出了一些重要的电路定理和各种基本分析方法。

电路理论是一门融合理论与工程应用的学科,我们既要学习和掌握它的基本概念、基本理论规律、基本分析方法,又要注重它的工程应用。

电路理论是现代电子信息技术的重要基础,它既为后续课程模拟电子技术、数字电子技术、信号与系统、自控原理、通信原理等奠定了坚实的基础,又培养了读者分析问题和解决问题的能力。

1.2 电路和电路模型

1.2.1 电路及其功能

电路的一种功能是实现电能的传输和转换,例如,电力网络将电能从发电厂输送到各个

工厂、广大农村和千家万户，供各种电气设备使用；电路的另一种功能是实现电信号的传输、处理和存储，例如，电视接收天线将接收到的含有声音和图像信息的高频电视信号，通过高频传输线送到电视机中，这些信号经过选择、变频、放大和检波等处理，恢复出原来的声音和图像信号，在扬声器发出声音并在显像管屏幕上呈现图像。

那么，什么是电路呢？所有的实际电路是由电气设备和元器件按照一定的方式连接起来，为电流的流通提供路径的总体，也称网络。在实际电路中，电能或电信号的发生器称为电源，用电设备称为负载。由于电压和电流是在电源的作用下产生的，因此，电源又称为激励源，简称激励。由激励在电路中产生的电压和电流称为响应。有时，根据激励和响应之间的因果关系，把激励称为输入，响应称为输出。手电筒电路就是一个最简单的实用电路。这个电路是由一个电源(干电池)、一个负载(小灯泡)、一个开关和连接导线组成的，如图 1-1(a)所示。

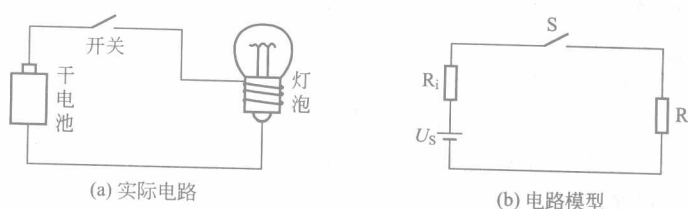


图 1-1 手电筒电路

1.2.2 电路模型

为了便于对实际电路进行分析，通常是将实际电路器件理想化(或称模型化)，即在一定条件下，突出实际电路主要的电磁性质，忽略次要因素，将其近似地看做理想电路元件，并用规定的图形符号表示。例如，用电阻元件来表征具有消耗电能特征的各种实际元件，那么在电源频率不十分高的电路中，所有电阻器、电炉、电灯等实际电路元器件，都可以用电阻元件这个理想化的模型来近似表示。同样，在一定条件下，电感线圈忽略其电阻，就可以用电感元件来近似地表示；电容器忽略其漏电，就可以用电容元件近似地表示。此外还有电压源、电流源两种理想电源元件。以上这些理想元件分别可以简称为：电阻、电感、电容和电源，它们都具有两个端钮，称为二端元件。其中，电阻、电感、电容又称无源元件^①。常用电路元件和符号如表 1-1 所列。

表 1-1 常用电路元件的符号

元件名称	符 号	元件名称	符 号
电池		电阻	
电压源		可变电阻	
电流源		电容	

^① 电路中有两类元件，有源元件和无源元件。有源元件能产生或者能控制能量而无源元件不能，电阻、电容、电感等均为无源元件。发电机、电池、运算放大器、三极管、场效应管等为有源元件。

续表

元件名称	符 号	元件名称	符 号
可变电容		相连接的交叉导线	
无铁芯的电感		不连接的交叉导线	
有铁芯的电感		开关	

由理想元件组成的电路,就称为实际电路的电路模型。图 1-1(b)即为图 1-1(a)的电路模型。又如图 1-2(a)所示为一个最简单的晶体管放大电路,其电路模型如图 1-2(b)所示。今后如未加特殊说明,所说的电路均指电路模型。

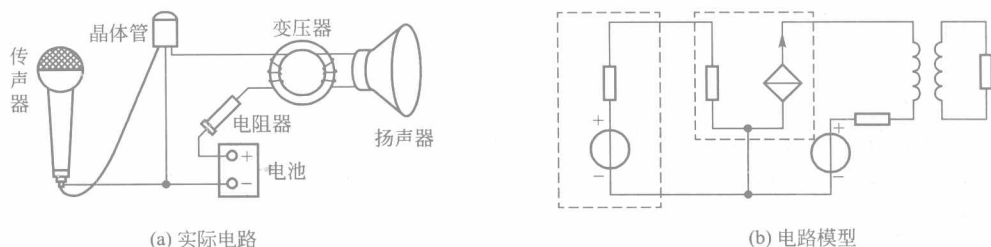


图 1-2 晶体管放大电路

以上用理想电路元件或它们的组合模拟实际器件的过程称为建模。建模时必须考虑工作条件,并按不同精确度的要求把给定工作情况下的主要物理现象及功能反映出来。例如,在直流情况下,一个线圈的模型可以是一个电阻元件;在较低频率下,就要用电阻元件和电感元件的串联组合模拟;在较高频率下,还应计及导体表面的电荷作用,即电容效应,其模型还需要包含电容元件。可见,在不同的条件下,同一实际器件可能采用不同模型。模型取得恰当,对电路的分析和计算结果就与实际情况接近;模型取得不恰当,则会造成很大误差,有时甚至导致自相矛盾的结果。如果模型取得太复杂,就会造成分析困难;反之,如果取得太简单,就不足以反映所需求解的真实情况。建模问题需要专门研究,绝不能草率定论。

1.2.3 集总参数电路

可以认为理想电路元件的电磁过程都是集中在元件内部进行的,即在任何时刻,从具有两个端钮的理想元件的某一端钮流入的电流,恒等于该时刻从另一端钮流出的电流,并且元件两端钮间的电压值也是完全确定的,与器件的几何尺寸和空间位置无关。凡端钮处电流和端钮间电压满足上述情况的电路元件称为集总参数元件(Lumped Parameter Element),由集总参数元件构成的电路称为集总参数电路。

用集总参数电路来近似实际电路是有条件的,这个条件就是实际电路元件的几何尺寸(d)与电路工作频率所对应的波长(λ)相比,满足 $d \ll \lambda$ 。例如,我国电力用电的频率为 50Hz,对应的波长为 6000km,对以此为工作频率的实验室设备来说,其尺寸与这一波长相比可以忽略不计,因而用集总概念是完全可以的。反之,不满足 $d \ll \lambda$ 条件的另一类电路称

为分布(distributed)参数电路,其特点是电路中的电压和电流不仅是时间的函数,也与器件的几何尺寸和空间位置有关,由波导和高频传输线组成的电路是分布参数电路的典型例子。例如,对于电视天线及其传输线来说,其工作频率为 10^8 Hz 的数量级,如 10 频道,其工作频率约为 200MHz,相应的工作波长为 1.5m,这时的传输线就是分布参数电路。

本书只讨论集总参数电路,为叙述方便起见,今后常简称为电路。

1.3 电路的基本物理量和关联参考方向

在电路分析与设计中,为了定量地描述电路的状态或电路元件的特征,普遍用两类物理量,即基本物理量和复合物理量。

描述电路的基本物理量为电流、电压、电荷、磁链。其中,电流和电压都是标量,为了分析和计算的需要,应选定参考方向。

1.3.1 电流

1. 电流的基础知识

电荷的定向运动形成电流。电流的实际方向习惯上指正电荷运动的方向。电流的大小用电流强度来衡量,电流强度指单位时间内通过导体横截面积的电荷量,电流强度简称电流,其数学表达式为

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

其中 i 表示电流强度,单位是安[培],用 A 表示,在计量微小电流时,通常用毫安(mA)或微安(μ A)作为单位; dq 为微小电荷量,单位是库[仑],用 C 表示; dt 为微小的时间间隔,单位是秒,用 s 表示。

按照电流的大小和方向是否随时间变化,分为恒定电流(简称直流 DC)和时变电流,分别用符号 I 和 $i(t)$ 表示。平时所说的交流(AC)是时变电流的特例,它满足两个特点,一是周期性变化,二是一个周期内电流的平均值等于零。

以后对其他物理量一般也用大写字母代表恒定量,用小写字母代表变动的量。

2. 电流的参考方向

由于在分析电路时往往不能事先确定电流的实际方向,而且时变电流的实际方向又随时间不断变化,因此在电路中很难标明电流的实际方向。为此,引入电流的“参考方向”这一概念。

参考方向的选择具有任意性。在电路中通常用实线箭头或双字母下标表示,实线箭头可以画在线外,也可以画在线上。为了区别,电流的实际方向通常用虚线箭头表示,如图 1-3 所示。而且规定:若电流的实际方向与所选的参考方向一致,则电流为正值,即 $i > 0$;若电流的实际方向与所选的参考方向相反,则电流为负值,即 $i < 0$,如图 1-3 所示。这样,电流就成为一个具有正、负的代数量。

图 1-3(a)中电流参考方向为从 a 到 b,用双下标法表示为 i_{ab} ; (b)中为从 b 到 a,表示为 i_{ba} 。可见,对于同一电流,参考方向选择不同,其数值互为相反数,即

$$i_{ab} = -i_{ba} \quad (1-2)$$

【例 1-1】导线中通过一直流电流，已知在 1s 内从 a 到 b 通过导体横截面的为 1C(库仑)的自由电子的电量，如图 1-4 所示。问导线中的电流 I 是多少？

解 引入参考方向概念后，分析本题若单从 $I = \frac{q}{t}$ 这一式子出

发，从而得出 $I = 1A$ 的结论是不大确切的。分析本题时，首先要为电流规定参考方向。

(1) 选定电流参考方向由 $a \rightarrow b$ ，自由电子是从 a 运动到 b，即电流实际方向是由 $b \rightarrow a$ 。可见电流实际方向与参考方向相反，电流为负值， $I_{ab} = -1A$ 。

(2) 选定电流参考方向由 $b \rightarrow a$ ，电流实际与参考方向相同， $I_{ba} = 1A$ 。

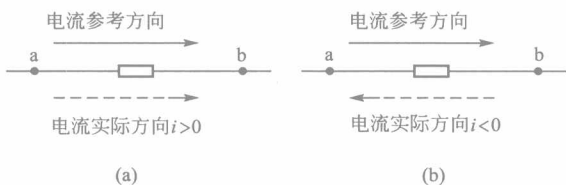


图 1-3 电流的参考方向与实际方向

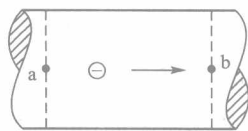


图 1-4 例 1-1 用图

1.3.2 电压

1. 电压的基础知识

电路分析中另一个基本物理量是电压。直流电压用大写字母 U 表示，交流电压用小写字母 $u(t)$ 表示，单位为伏 [特]，用 V 表示。为了便于计量，还可以用毫伏 (mV)、微伏 (μV) 和千伏 (kV) 等作为单位。在数值上，电路中任意 a、b 两点之间的电压等于电场力由 a 点移动单位正电荷到 b 点所做的功。即

$$u_{ab} = \frac{dW}{dq} \quad (1-3)$$

式中， dW 是电场力所做的功，单位是焦耳(J)。

2. 电位

在电路中任选一点作为参考点，则其他各点到参考点的电压称为该点的电位，用符号 V 表示。例如，电路中 a、b 两点的电位分别表示为 V_a 和 V_b ，并且 a、b 两点间的电压与该两点电位有以下关系：

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-4)$$

可见，两点间电压就是该两点的电位之差。电位与电压既有联系又有区别。其主要区别在于：电路中任意两点间的电压，其数值是绝对的，与该两点间的路径无关；而电路中某一点的电位是相对的，其值取决于参考点的选择。在电子技术中，通常用求解电位的方法判断半导体器件，如二极管、三极管的工作状态。

今后如未说明，通常选接地点作为参考点，并且参考点的电位为零。

引入电位概念后，两点间电压的实际方向即由高电位点指向低电位点。电压就是指电压降。

电路中电位相同的点称为等电位点。如在图 1-5 所示电路中，a、b、c 三点电位分别为

$$V_a = 6 \times \frac{1}{3+1} = 1.5 \text{ V}$$

$$V_b = 6 \times \frac{3}{9+3} = 1.5 \text{ V}$$

$$V_c = 6 \times \frac{2}{2+2} = 3 \text{ V}$$

其中 a、b 两点电位相等，是等电位点。等电位点的特点是：各点之间虽然没有直接相连，但其电位相等，两点间电压等于零。若用导线或电阻将等电位点连接起来，导线和电阻元件中没有电流通过，不会影响电路的工作状态。

b、c 两点电位不等，这时若用导线将两点连接，b、c 两点强迫电位相等，导线中有电流通过，也即改变了电路原有工作状态。

另外，导线上的各点均为等电位点。图中虚线所包围的结点都是等电位点。

3. 电压的参考方向

电压的参考方向(也称参考极性)的选择同样具有任意性，在电路中可以用“+”、“-”号表示，也可用双字母下标或实线箭头表示，如图 1-6 所示。电压正、负值的规定与电流一样，此处不再赘述。

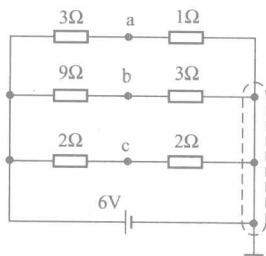


图 1-5 等电位点

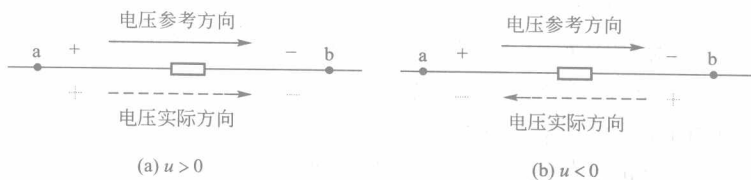


图 1-6 电压的参考方向与实际方向

注意：今后在求电压、电流时，必须事先规定好参考方向，否则求出的值无意义。

4. 电压、电流的关联参考方向

通常，对于一个元件或在一段电路中，电流参考方向和电压参考方向都是可以任意选定的，彼此独立无关。但为了分析方便，习惯上将某一元件或某段电路的电压和电流的参考方向选得一致，即选定电流从标以电压“+”极性端流入而从标以“-”极性端流出，这样选定的电压和电流的参考方向称为关联参考方向，简称关联方向，如图 1-7(a)和(b)所示。否则，称非关联方向，如图 1-7(c)和(d)所示。

【例 1-2】 在如图 1-8 所示的电路中，o 点为参考点，各元件上电压分别为 $U_{S1}=20\text{V}$ ， $U_{S2}=4\text{V}$ ， $U_1=8\text{V}$ ， $U_2=2\text{V}$ ， $U_3=5\text{V}$ ， $U_4=1\text{V}$ 。试求： U_{ac} 、 U_{bd} 、 U_{be} 和 U_{ae} 。

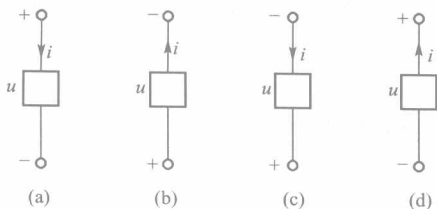


图 1-7 二端元件电压、电流的参考方向

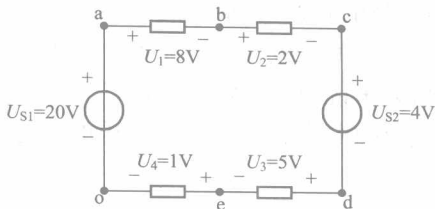


图 1-8 例 1-2 电路

解 选 o 点为参考点, 所以 o 点电位 $V_o = 0$ 。其他各点到参考点的电位分别为

$$V_a = U_{S1} = 20\text{V}$$

$$V_b = -U_1 + U_{S1} = -8 + 20 = 12\text{V}$$

$$V_c = -U_2 - U_1 + U_{S1} = -2 - 8 + 20 = 10\text{V}$$

$$V_d = U_3 + U_4 = 5 + 1 = 6\text{V}$$

$$V_e = U_4 = 1\text{V}$$

根据式(1-4), 求出两点间电压分别为

$$U_{ac} = V_a - V_c = 20 - 10 = 10\text{V}$$

$$U_{bd} = V_b - V_d = 12 - 6 = 6\text{V}$$

$$U_{be} = V_b - V_e = 12 - 1 = 11\text{V}$$

$$U_{ae} = V_a - V_e = 20 - 1 = 19\text{V}$$

1.3.3 电荷

电荷是构成物质原子的一个电特征, 它表示带电粒子的电荷数, 可分为恒定电荷、时变电荷。分别用 Q 和 $q(t)$ 表示, 单位为库(C), 一个电子的电荷量是 $-1.602 \times 10^{-19}\text{C}$, 而质子的电荷是正的, 其电荷量与电子一样。当质子数与电子数相等时, 原子呈中性。

【例 1-3】 已知流入电路中某节点的总电荷由方程: $q(t) = 5t \sin 4\pi t$ (mC) 确定, 试求 $t = 0.5\text{s}$ 时的电流 $i(t)$ 。

解 因为

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt} = \frac{d}{dt}(5t \sin 4\pi t) = (5 \sin 4\pi t + 20\pi t \cos 4\pi t) \text{mA}$$

所以

$$i(t) \Big|_{t=0.5\text{s}} = 5 \sin 2\pi + 10\pi 5 \cos 2\pi = 10\pi = 31.42 \text{mA}$$

【例 1-4】 已知一个电源以 2A 的电流流过灯泡 10s 的时间, 该灯泡发热发光消耗能量 4.5kJ, 试求灯泡两端的电压 u 。

解 因为总电荷量

$$\Delta q(t) = i \Delta t = 2 \times (10 - 0) = 20\text{C}$$

所以

$$u = \frac{\Delta W}{\Delta q} = \frac{4.5 \times 10^3}{20} = 225\text{V}$$

1.3.4 磁链

一个匝数为 N 的线圈通过的电流为 $i(t)$ 时, 在线圈内部和外部建立磁场形成磁通 Φ_L , 磁通主要集中在内部, 与线圈相交链, 称为磁链, 用 Ψ_L 表示, 且 $\Psi_L = N\Phi_L$, 单位为韦伯(Wb)。

磁链与电压之间满足以下关系:

$$u(t) = \frac{d\Psi(t)}{dt} \quad (1-5)$$

1.4 电路的复合物理量——功率和能量

通常在电路分析和设计中还广泛采用复合物理量——功率和能量来表征电路的状态和特性,因为电路的工作状态总是伴随有电能与其他形式能量的互相转换。另一方面电子信息系统与电气设备中,对其中电路部件是有功率限制的,在实际使用时其电流和电压是不能超过额定值的,否则会损坏部件或设备,不能正常工作。

1.4.1 功率

电能对时间的变化率即为电功率,简称功率。用 p 或 P 表示。功率的表达式为

$$p = \frac{dW}{dt} = \frac{dW}{dq} \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-6)$$

应用式(1-6)计算元件功率时,首先需要判断 u 、 i 的参考方向是否为关联方向,若为关联方向,则 $p=ui$;若为非关联方向,则 $p=-ui$ 。当计算出功率数值为正,即 $p>0$ 时,表明元件实际吸收或消耗功率;当计算出功率数值为负,即 $p<0$ 时,表明元件实际发出或提供功率。与电压、电流是代数量一样,功率 p 也是一个代数量。

可见,功率的分析与计算要和电压、电流参考方向配合使用,关联方向与非关联方向两种情况下,公式前相差一个负号。

在 SI 制中,电压单位为伏(V),电流单位为安(A),则功率单位为瓦特,简称瓦,用符号 W 表示, $1\text{kW}=10^3\text{W}$ 。

【例 1-5】 在如图 1-9 所示的电路中,已知 $U_1=1\text{V}$, $U_2=-6\text{V}$, $U_3=-4\text{V}$, $U_4=5\text{V}$, $U_5=-10\text{V}$, $I_1=1\text{A}$, $I_2=-3\text{A}$, $I_3=4\text{A}$, $I_4=-1\text{A}$, $I_5=-3\text{A}$ 。试求各元件的功率,并判断实际吸收还是发出功率。

解 根据题目所给已知条件可得:

$$P_1 = U_1 I_1 = 1 \times 1 = 1\text{W} \quad (\text{吸收功率 } 1\text{W})$$

$$P_2 = U_2 I_2 = (-6) \times (-3) = 18\text{W} \quad (\text{吸收功率 } 18\text{W})$$

$$P_3 = -U_3 I_3 = -(-4) \times 4 = 16\text{W} \quad (\text{吸收功率 } 16\text{W})$$

$$P_4 = U_4 I_4 = 5 \times (-1) = -5\text{W} \quad (\text{发出功率 } 5\text{W})$$

$$P_5 = -U_5 I_5 = -(-10) \times (-3) = -30\text{W} \quad (\text{发出功率 } 30\text{W})$$

由以上计算结果可以看出,电路中各元件发出的功率总和等于吸收功率总和,这就是电路的“功率平衡”。功率平衡是能量守恒定律在电路中的体现。

1.4.2 能量

能量是功率对时间的积累。其表达式可写成:

$$W(t) = \int_{-\infty}^t p(\tau) d\tau = \int_{-\infty}^t u(\tau) i(\tau) d\tau \quad (1-7)$$

能量的单位是焦[耳](J),定义:功率为 1W 的设备在 1s 时间内转换的电能。工程上常采用千瓦小时($\text{kW} \cdot \text{h}$)作为电能的单位,俗称 1 度电,定义为:功率为 1kW 的设备在 1h

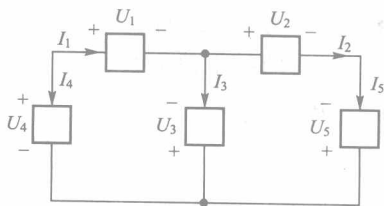


图 1-9 例 1-5 电路

内所转换的电能, 1 度(kW · h) = 3.6 × 10⁶J。

【例 1-6】 一个 100W 的电灯泡, 4h 需要消耗多少能量?

解 由式(1-7)得:

$$W(t) = Pt = 100 \times 4 \times 3600 = 1.44 \times 10^6 (\text{J}) = 0.4 (\text{度})$$

在实际应用中, 有时国际单位制(SI 单位)用起来太大或太小, 一般可加上如表 1-2 所示的国际单位制的词头, 构成 SI 的十进倍数或分数单位。

表 1-2 国际单位制前程

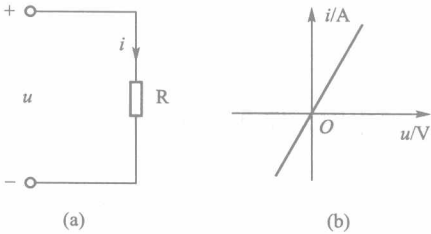
所乘的 10 次幂	前 缀	符 号	所乘的 10 次幂	前 缀	符 号
10 ¹⁸	艾 [可萨]	E	10 ⁻¹	分	d
10 ¹⁵	拍 [它]	P	10 ⁻²	厘	c
10 ¹²	太 [拉]	T	10 ⁻³	毫	m
10 ⁹	吉 [咖]	G	10 ⁻⁶	微	μ
10 ⁶	兆	M	10 ⁻⁹	纳 [诺]	n
10 ³	千	k	10 ⁻¹²	皮 [可]	p
10 ²	百	h	10 ⁻¹⁵	飞 [母托]	f
10 ²	十	da	10 ⁻¹⁸	阿 [托]	a

1.5 电阻元件和电源

1.5.1 电阻元件

1. 电阻元件的电压、电流关系——欧姆定律

导体对电子运动呈现的阻力称为电阻。对电流呈现阻力的元件称为电阻器, 如图 1-1(a)和图 1-2(a)所示电路中的灯泡、扬声器, 它们在电路中可用一个共同的模型——电阻元件来代替, 字母符号为 R, 电路符号如图 1-10(a)所示。电阻上的电压和电流有确定的对应关系, 可以用 $u-i$ 平面上的一条关系曲线, 即伏安曲线或数学方程式来表示。



如果电阻的伏安关系是一条通过原点的直线, 如图 1-10 线性电阻的电路符号和伏安特性图 1-10(b)所示, 则称为线性电阻。在如图 1-10(a)所示的关联方向下, 线性电阻的电压电流关系可用下式表示:

$$u = Ri \quad \text{或} \quad i = Gu \tag{1-8}$$

式(1-8)是欧姆定律的表示式, 也就是说, 欧姆定律揭示了线性电阻电压与电流的约束关系。式中 R 和 G 是电阻的两个重要参数, 分别称为电阻和电导, 单位分别是欧 [姆] (Ω) 和西 [门子] (S)。 R 与 G 之间满足倒数关系。