



教育部高职高专规划教材

电路分析

任尚清 主编
李淑珍 主审



化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

电 路 分 析

任尚清	主 编
成建生	副主编
李淑珍	主 审

化 学 工 业 出 版 社
教 材 出 版 中 心
· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

电路分析/任尚清主编. —北京: 化学工业出版社,
2002.7

教育部高职高专规划教材

ISBN 7-5025-3939-5

I. 电… II. 任… 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 (2002) 第 041280 号

教育部高职高专规划教材

电 路 分 析

任尚清 主 编

成建生 副主编

李淑珍 主 审

责任编辑: 张建茹

责任校对: 顾淑云

封面设计: 郑小红

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010)64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷厂印刷

北京市彩桥印刷厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 15 1/2 字数 378 千字

2002 年 8 月第 1 版 2002 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3939-5/G·1090

定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分吸取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

前 言

为贯彻《教育部关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》(教高[2000]2号)有关精神,积极支持教育部面向21世纪高职高专教材建设,在教育部领导直接关怀下,全国高等职业教育院校协作会专门课开发指导委员会确定了编写电子类专业的10门主干课程(《电路分析》、《模拟电子技术》、《数字电子技术》、《电子技术实训》、《高频电子线路》、《电子测量与仪器》、《电视接收技术》、《电子设计自动化(EDA)技术》、《单片机应用技术》和《C语言》)供电子技术应用、应用电子技术、电子工程、通信、电子设备制造与维修等相关专业使用。

本套教材紧密结合高职高专教育特点,主动适应社会实际需要,突出应用性、针对性,加强实践能力的培养。内容叙述力求深入浅出,将知识点与能力点有机结合,注重培养学生的工程应用能力和解决现场实际问题的能力;内容编排力求简洁明快、形式新颖、目标明确,利于促进学生的求知欲和学习主动性。

高职高专电子类专业用《电路分析》教材,共分为十章,其主要内容有:电路基本概念与基本定律、直流电阻电路的分析、电容元件和电感元件、正弦稳态电路分析、谐振电路、三相交流电路、双端口网络、互感耦合电路、一阶动态电路分析、电信号。《电路分析》教材是系列教材之一。

本书由系列教材编委会审定。在编写过程中,充分考虑高职高专层次学生文化基础的实际情况,按照理论联系实际、循序渐进、便于自学和教师施教的原则编写;教材内容的取舍严格按高职“必需”、“够用”、“实用”的原则进行,力求文字叙述简练,通俗易懂,概念清晰。对于电路的分析,做到步骤清楚,结果正确,举例结合实际并具有典型性,例题、习题安排合理,以便于学生自学和教师教学。

本书由任尚清担任主编和负责全书的统稿工作并编写第七、十章;成建生任副主编编写第二章;李华编写第一章;饶蜀华编写第四章;王素蛟编写第三、六章;韩金玲编写第九章;王硕编写第五章;杨利军编写第八章。全书由李淑珍主审。

在本书编写出版过程中,得到了化学工业出版社、郑州铁路职业技术学院、贵州电子信息职业技术学院的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在缺陷和不足之处,殷切希望专家和广大读者予以指正。

编者

2002年5月

目 录

第一章 电路的基本概念与基本定律	1
第一节 电路与电路模型	1
思考题	2
第二节 电路的基本物理量	2
思考题	7
第三节 电阻元件和欧姆定律	7
思考题	9
第四节 电压源和电流源	9
思考题	12
第五节 基尔霍夫定律	12
思考题	15
本章小结	15
本章实训要求	16
习题一	16
第二章 直流电阻电路的分析	20
第一节 电阻电路的等效变换	20
思考题	26
第二节 两种电源电路的等效变换	27
思考题	31
第三节 支路电流法	32
思考题	33
第四节 网孔电流法	33
思考题	35
第五节 节点电位法	36
思考题	39
第六节 叠加定理	39
思考题	42
第七节 戴维南定理与诺顿定理	42
思考题	45
第八节 负载获得最大功率的条件	45
思考题	47
第九节 含受控源电路的分析	47
思考题	49
本章小结	49
本章实训要求	51
习题二	51
第三章 电容元件和电感元件	57
第一节 电容元件及电压电流关系	57

思考题	60
第二节 电容器的联接	60
思考题	62
第三节 电感元件及电压电流关系	62
思考题	63
本章小结	64
习题三	64
第四章 正弦稳态电路分析	67
第一节 正弦量的基本概念	67
思考题	72
第二节 正弦量的相量表示	72
思考题	76
第三节 电路定律和元件伏安关系的 相量表示	77
思考题	83
第四节 RLC 串联电路的分析	83
思考题	87
第五节 RLC 并联电路的分析	88
思考题	93
第六节 正弦稳态电路的一般分析法	94
思考题	97
第七节 正弦交流电路的功率	97
思考题	104
第八节 功率因数的提高和最大功率传输 条件	105
思考题	108
本章小结	108
本章实训要求	110
习题四	111
第五章 谐振电路	116
第一节 串联谐振	116
思考题	122
第二节 并联谐振	123
思考题	126
第三节 谐振的应用	126
思考题	129
本章小结	129
习题五	130

第六章 三相交流电路	131	第二节 互感线圈的联接	186
第一节 三相电源的连接	131	思考题	190
思考题	134	第三节 变压器	191
第二节 三相负载的联接	135	思考题	195
思考题	136	本章小结	196
第三节 对称三相电路的计算	137	习题八	198
思考题	140	第九章 一阶动态电路的分析	199
第四节 不对称三相电路的分析	140	第一节 换路定律与初始值的确定	199
思考题	144	思考题	202
第五节 三相电路的功率	144	第二节 RC 串联电路的零输入响应	203
思考题	147	思考题	206
本章小结	147	第三节 RC 串联电路在直流激励下的零	
本章实训要求	149	状态响应	206
习题六	149	思考题	209
第七章 双端口网络 (10)	151	第四节 RL 串联电路的零输入响应和零	
第一节 概述	151	状态响应	209
思考题	153	思考题	213
第二节 双端口网络的基本方程和参数	153	第五节 一阶电路的全响应、三要素法	213
思考题	161	思考题	218
第三节 网络函数	161	第六节 正弦输入下的全响应	218
思考题	164	思考题	221
第四节 网络的联接	165	本章小结	221
思考题	169	本章实训要求	222
第五节 双端口网络的特性阻抗与		习题九	222
传输常数	169	第十章 电信号	226
思考题	172	第一节 概述	226
第六节 常用无源双端口网络	172	思考题	227
思考题	175	第二节 非正弦周期信号	227
本章小结	175	思考题	232
习题七	177	第三节 调幅波	232
第八章 互感耦合电路	181	本章小结	234
第一节 互感与同名端	181	习题十	235
思考题	186	参考文献	236

第一章 电路的基本概念与基本定律



目的与要求 ①建立电路模型的概念；②深刻理解电流、电压的参考方向及电流、电压间关联参考方向的概念；③理解理想电压源、理想电流源的特性，以及理想电源与实际电源的区别；④熟悉掌握欧姆定律、基尔霍夫定律，并能灵活地运用于电路的分析计算。

电路的基本概念与基本定律是电路分析的重要基础知识，将始终贯穿于全书。本章从建立电路模型、认识电路的基本物理量等最基本的问题出发，将重点阐述欧姆定律、基尔霍夫电流定律和电压定律。

第一节 电路与电路模型

一、电路及其功能

电路 (circuit) 是指为了实现某种需要而将电器设备和元件按一定方式联接起来的总体。电路有简单电路和复杂电路，电路也称网络 (network)，两个名词一般可以通用。

在科技发达的今天，无论是在人们的日常生活中，还是在工农业生产、科学研究和国防建设中都广泛地使用着种类繁多的电路。例如为了采光而使用的照明电路；将微弱信号进行放大的放大电路；异地间信息交流而使用的通信电路；为实现自动化生产而使用的各种自动控制电路等等。总之，只要用到电，就离不开电路。实际应用中的电路虽然形式多种多样，但它们都是由一些最基本的部分组成的，如图 1-1 所示。

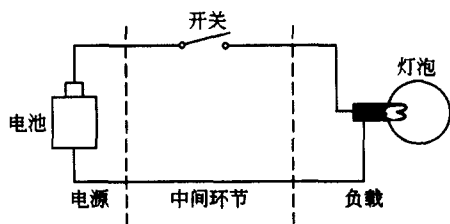


图 1-1 电路的组成

图 1-1 是一个最简单的电路——手电筒电路。它由干电池、开关、小灯泡和联接导线等组成。

当开关闭合后，在这个闭合的通路中便有电流通过，于是小灯泡发光。可以认为该电路由三部分组成。

(1) 电源 (electric source) 它是给电路提供能源的设备，其作用是将化学能、光能和机械能等非电能量转换为电能。如图 1-1 中的干电池是将化学能转换成电能。电源还有蓄电池、太阳能电池和发电机等。

(2) 负载 (load) 负载是电路中取用电能的设备，它可将电能转换成其他形式的能量。如图 1-1 中的灯泡是将电能转换成光能和热能。

(3) 中间环节 其作用连接电源和负载，用来传输、分配和控制电能。主要包括：联接导线、控制电器（如开关）等。

所有的电路从本质上讲，都是由以上三部分组成的，因此，电源、负载和中间环节称为

组成电路的三个要素。

一个电路可以呈现出三种状态：①通路，开关接通，构成闭合回路，电路中有电流；②开路或断路，开关断开或电路中某处断线，电路中无电流；③短路，电路中不应该连接的地方而连接起来了，电路中电流往往很大，实际中应严禁短路现象的发生。

电路的组成方式很多，但就其功能可概括为以下几个方面：

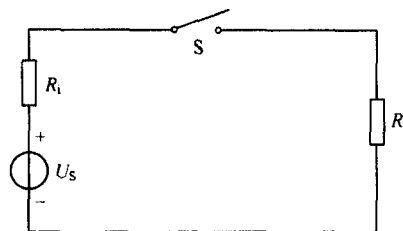


图 1-2 电路模型

- ① 能量的传输与转换；
- ② 信号的传递与处理；
- ③ 电量和非电量的测量；
- ④ 存储信息和逻辑运算。

二、电路模型

在电路分析中如都用实际电路去分析，将是十分复杂的。为了便于对电路进行分析与计算，常把实际元件做近似化、理想化的处理，实际元件都用规定的特定符号去表示。这样构成的电路称为实际电路的电路模型 (model)，图 1-2 便是图 1-1 的电路模型。

以下所讨论的电路一般均指电路模型。



思 考 题

1. 电路的组成及各组成部分的作用是什么？
2. 电路的功能有哪些？试举实例说明。

第二节 电路的基本物理量

电路的基本物理量有：电流、电压和功率。对这些基本物理量应重点理解它们的定义、大小、单位、方向和种类等。

一、电流

电流 (current) 是电荷做有规则的定向运动形成的。在金属导体中，电流是由电子的定向运动所形成，在电解液或气态导体中，电流则是由正、负离子以及电子的定向运动所形成。要使电路中产生电流，需要两个条件，一是有电源供电，二是电路必须是一个闭合电路，如图 1-2 中当开关闭合后才产生电流。

电流可以通过它的各种效应 (如热效应、磁效应) 来感觉它的客观存在。电流既有大小又有方向，其大小用电流强度 (简称电流) 来表征，其实际方向规定为正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向。

电流强度是单位时间内通过导体横截面的电荷量，即

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

式中， q 是电荷量，单位是 C (库仑)； t 是时间，单位是 s (秒)； i 是电流，单位是 A (安培)。实际中电流还常用较小一些的单位：mA (毫安) 和 μA (微安)，换算关系为

$$1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$$

$$1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$$

在电路中，电流的方向是客观存在的，但它的实际方向有时是难以确定的，如不知道电流的方向也就无法进行电流的计算和电路的其他分析。为了解决这一问题，常引入参考方向的概念，当不知道电流的实际方向时，可以先任意选取一个方向作为电流的方向并标注在电路上，电路分析时就以这个假定的方向去进行，根据计算结果的正负则可以惟一确定电流的实际方向。这个任意选取的方向就称为参考方向。若根据参考方向求得的电流为正值，则说明其实际方向与设定的参考方向相同；若求得的电流为负值，则其实际方向与设定的参考方向相反。以后在电路中，只需标出电流的参考方向，而不需再去标注实际方向。

【例 1-1】如图 1-3 (a) (b) 所示，试确定通过电阻 R 上的电流实际方向。

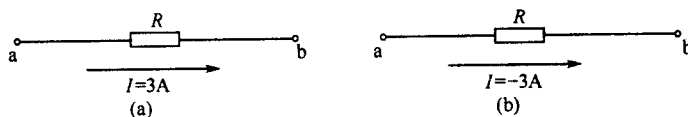


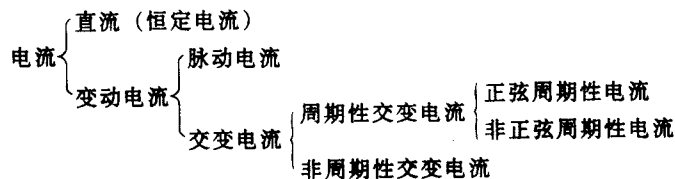
图 1-3 例 1-1 图

解 图 1-3 中 I 的方向均为参考方向。

① 图 (a) 中 $I = 3 \text{ A} > 0$ ，说明 I 的参考方向与实际方向相同，故图 (a) 中电流的实际方向为 $a \rightarrow b$ 。

② 图 (b) 中 $I = -3 \text{ A} < 0$ ，说明 I 的参考方向与实际方向相反，故图 (b) 中电流的实际方向为 $b \rightarrow a$ 。

电流的种类很多，可按以下来分。



直流——大小和方向不随时间变化的电流。记作 DC，用大写字母 “ I ” 表示。

变动电流——随时间变化的电流。记作 AC，用小写字母 “ i ” 表示。

脉动电流——方向不变而大小随时间变化的电流。

交变电流——大小和方向都随时间变化的电流。

周期性交变电流——大小和方向都随时间作周期性变化的电流，简称交流。

正弦交变电流——随时间按正弦函数规律变化的电流。

非周期性交变电流——大小和方向随时间变化而没有周期规律的电流。

各种电流的波形，参见图 1-4。

二、电压

在物理课中已经知道，电荷在电场力作用下移动，电场力对电荷做功，在电路中，把电场力将单位正电荷从 A 点移到 B 点所做的功称为 A、B 两点间的电压 (voltage)。设有正电荷 dq 在电场力的作用下，从 A 点移到 B 点，电场力所做的功为 dW ，则 A、B 两点间的电压为

$$u_{AB} = \frac{dw}{dq} \quad (1-2)$$

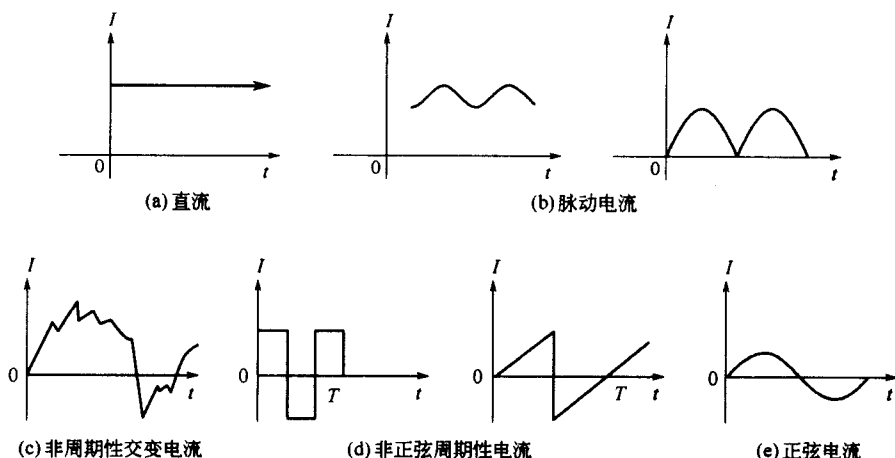


图 1-4 几种电流波形

式中, W 的单位是 J (焦耳); q 的单位是 C (库仑); u_{AB} 的单位是 V (伏特)。在实际中, 电压还会用到较大的单位 kV (千伏) 和较小的单位 mV (毫伏)、 μV (微伏), 换算关系为

$$\begin{aligned} 1 \text{ kV} &= 10^3 \text{ V} \\ 1 \text{ mV} &= 10^{-3} \text{ V} \\ 1 \mu\text{V} &= 10^{-6} \text{ V} \end{aligned}$$

在电路中, 任选一点为参考点, 则某点到参考点的电压叫做这一点的电位 (potential), 电位用字母 V 表示, 如 A 点的电位记作 V_A , 电位和电压有相同的单位, 即 V (伏特)。参考点电位一般设为零, 也叫零电位点。当参考点选定后, 电路中各点的电位就有了一个固定的数值, 且有高电位和低电位之分。任意两点之间的电位差也就是两点之间的电压。即

$$u_{AB} = V_A - V_B \quad (1-3)$$

电压和电流一样既有大小又有方向, 电压的实际方向规定为电位降低的方向, 即由高电位点指向低电位点。

大小与方向均不随时间变化的电压, 称为直流电压, 用大写字母 U 表示, 为了区别, 对变化的电压, 用小写字母 “ u ” 表示。

在电路的分析计算时, 电路中某个元件或某两点之间电压的实际方向有时并不知道, 此时与电流情况相似, 也需要为电压假定参考方向。同样, 在假定了电压的参考方向后, 若经计算电压 u 为正值, 则说明电压的实际方向与参考方向相同; 若 u 为负值, 则说明电压的实际方向与参考方向相反。电压的参考方向在标注时一般有三种表示方式。

① 采用参考极性表示。在电路图上标出正 (+)、负 (-) 极性, 标以电压符号 u , 如图 1-5 (a) 所示, 正极指向负极的方向就是电压的参考方向。

② 采用箭头表示。用箭头表示在电路图上, 并标以电压符号 u , 如图 1-5 (b) 所示, 箭头方向即表示电压的参考方向。

③ 采用双下标表示。 U_{ab} 表示其参考方向由 a 指向 b 。如图 1-5 (c) 所示。

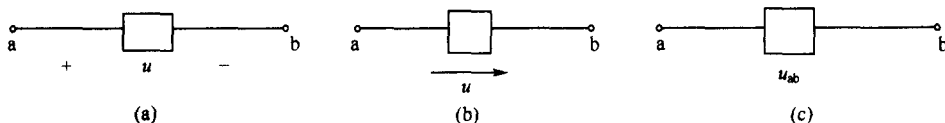


图 1-5 电压参考方向的表示方式

参考方向是进行电路分析、计算的一个重要概念。在使用参考方向时需要注意以下几个问题。

① 电流、电压的方向是客观存在的，但往往难以事先确定。在分析问题时需要先假定参考方向，此时，电流、电压都是代数量，其实际方向由参考方向和该代数量来决定。

② 参考方向一经假定，在整个分析计算过程中就必须以此为准，不能变动。

③ 不标注参考方向而说某电流或某电压的值为正或负是没有意义的。同学们应该养成一个习惯，每提及一个电流或电压，应同时指明其参考方向；每求解一个电流或电压，应首先设定其参考方向。

④ 参考方向可以任意假定而不影响计算结果的正确性，因为参考方向相反时，解出的电流或电压值也要改变正负号，最后得到的实际结果仍然相同。

⑤ 电流参考方向和电压参考方向可以分别独立地假定，但为了分析方便，常将同一元件上的电流和电压的参考方向选成一致，电流和电压的这种参考方向称为关联参考方向，简称关联方向，如图 1-6 所示。反之，则为非关联方向。

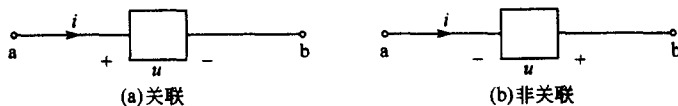


图 1-6 电流和电压的关联和非关联参考方向

【例 1-2】如图 1-7 所示，已知 $U_1 = -50 \text{ V}$ ， $U_2 = 100 \text{ V}$ ，求 U_{AB} 和 U_{CD} 各为多少伏？

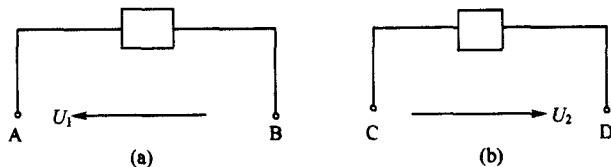


图 1-7 例 1-2 图

解 图 1-7 (a) 中， U_1 的参考方向与 U_{AB} 的参考方向相反。故有

$$U_{AB} = -U_1 = -(-50) = 50 \text{ V}$$

图 1-7 (b) 中， U_2 的参考方向与 U_{CD} 的参考方向一致。故有

$$U_{CD} = U_2 = 100 \text{ V}$$

三、电功率和电能

1. 电功率

如图 1-6 所示，在电路中，当正电荷 dq 在 dt 时间内由 a 点移到 b 点时，根据式 (1-2) 可知在移动过程中电场力所做的功为

$$d\omega = u dq \quad (1-4)$$

即在 dt 时间内 dq 失去 $d\omega$ 的电能, 失去电能意味着电能转换为其他形式的能量, 被电路吸收 (消耗)。

电能对时间的变化率叫电功率, 简称功率 (power)。用符号 p 或 P 表示。

当电压和电流的参考方向为关联方向时, 则电路吸收的功率为

$$p = \frac{d\omega}{dt} = u \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-5)$$

直流时

$$P = UI \quad (1-6)$$

功率的单位为 W (瓦), 在实际使用中还会用到 kW (千瓦) 和 mW (毫瓦), 换算关系为

$$1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$$

$$1 \text{ mW} = 10^{-3} \text{ W}$$

当电压和电流的参考方向为非关联方向时, 计算功率公式应为

$$p = -ui \quad (1-7)$$

$$P = -UI \quad (1-8)$$

由式 (1-5)、式 (1-6) 和式 (1-7)、式 (1-8) 计算得到的功率为正值时, 表示电路吸收功率; 若为负值时, 则表示电路发出功率。

综上所述, 功率计算时, 先根据电压和电流的参考方向是否关联, 选用相应的公式, 但不论用哪一个公式, 都是按吸收功率来计算的; 再代入电压和电流的代数量数值, 若算得的功率为正值, 则表示确为吸收功率, 若算得的功率为负值, 则表示实为发出功率。且在一个电路中, 在任意时刻, 吸收功率等于发出功率, 这叫功率平衡。过程如下

$$\left. \begin{array}{l} ui \text{ 方向关联} \rightarrow p = ui \\ ui \text{ 方向非关联} \rightarrow p = -ui \end{array} \right\} \xrightarrow[\text{(} u, i \text{ 可正可负)}]{\text{代入 } u, i} \left\{ \begin{array}{l} p > 0 \text{ 吸收功率} \\ p < 0 \text{ 发出功率} \end{array} \right.$$

【例 1-3】求图 1-8 中元件的功率

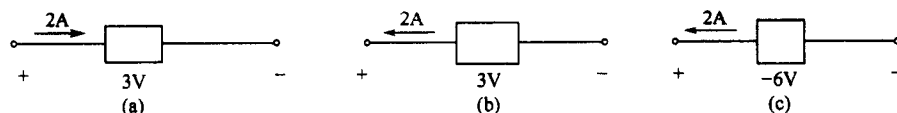


图 1-8 例 1-3 图

解 ① 图 (a) 电压和电流为关联参考方向, $P = UI = 3 \times 2 = 6 \text{ W}$ ($p > 0$, 元件吸收功率);

② 图 (b) 电压与电流为非关联 - 参考方向, $P = -UI = -3 \times 2 = -6 \text{ W}$ ($P < 0$, 元件发出功率);

③ 图 (c) 电压与电流为非关联参考方向, $P = -UI = -(-6) \times 2 = 12 \text{ W}$ ($p > 0$, 元件吸收功率)。

2. 电能

除了功率之外, 有时还需要计算一段时间内电路所消耗 (或发出) 的电能, 电能用 W 表示。

$$W = pt \quad (1-9)$$

电能的单位是 J (焦耳), 工程上常用 kW·h (千瓦·时) 做单位, 1 kW·h 的电能又称 1 度电。

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 10^3 \times 3600 \text{ s} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

3. 额定值

为了保证电器、元件正常可靠地长时间工作,生产厂家在产品上标有如额定电压、额定电流和额定功率等数值。

产品的额定值是指产品在正常工作时所允许施加在该产品上的某个物理量的最大值(或最小值)。产品在工作时,各量均不得超过额定值,否则,产品的工作就会出现异常,甚至损坏。

由于功率、电压和电流之间有一定的关系,所以在给出额定值时,没有必要全部给出。如日光灯只给出额定电压和额定功率。



思考题

1. 如图 1-9 所示方式指出电压、电流的参考方向是关联还是非关联参考方向?

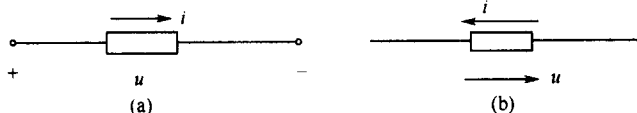


图 1-9 思考题 1 用图

2. 试说明使用参考方向时需要注意的问题。

第三节 电阻元件和欧姆定律

一、电阻元件

电阻元件是电路的基本元件之一,研究电阻元件的规律,是电路分析的基础。

物体对电流的阻碍作用称为电阻(resistance),电阻用符号 R 表示,单位是 Ω (欧姆),有时还会用到 $k\Omega$ (千欧)和 $M\Omega$ (兆欧),换算关系为

$$1\text{ k}\Omega = 10^3\text{ }\Omega$$

$$1\text{ M}\Omega = 10^6\text{ }\Omega$$

物体的电阻与其本身材料的性质、几何尺寸和所处的环境温度等有关。

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-10)$$

式中, ρ 是材料的电阻率,单位为 $\Omega \cdot \text{m}$ (欧·米); l 是电流流过的路径,单位为 m (米); S 是电流流过的横截面积,单位为 m^2 (平方米)。

电阻的倒数称为电导(conductance),用符号 G 表示

$$G = 1/R \quad (1-11)$$

电导的单位是 S (西门子)。

利用电阻性质所制成的实体元件叫电阻器,实际电阻器在电路中除了电阻性质外还会表现出其他的一些电磁现象。而电阻元件则是从实际电阻器抽象出来的理想化元件,它忽略了一些次要性质。其电路符号如图 1-10

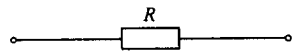


图 1-10 电阻元件的图形符号

所示。白炽灯、电炉、电烙铁等以消耗电能而发热或发光为主要特征的一些电路元件在电路模型中都可以用电阻元件来表示。电

阻元件也简称为电阻,“电阻”一词既可以指一种元件,又可以指元件的一种性质。

二、欧姆定律

从电路分析的角度来看,对一个元件感兴趣的并非是其内部结构,而是其外部特性,即

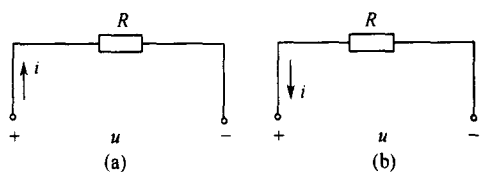


图 1-11 欧姆定律用图

该元件两端的电压与通过该元件的电流之间的关系,这个关系称为电压电流关系(Voltage-Current Relationship, 缩写为 VCR),也叫伏安特性。

1827 年德国物理学家欧姆通过大量的实验,总结出了电阻元件上电压、电流与电阻三者之间关系的规律,即欧姆定律 (ohm's law)。

当电阻元件上电压与电流取关联参考方向时,如图 1-11 (a) 所示,欧姆定律为

$$u = Ri \quad (1-12)$$

当电阻元件上电压与电流取非关联参考方向时,如图 1-11 (b) 所示,欧姆定律则为

$$u = -Ri \quad (1-13)$$

在直角平面坐标系中,以电流为横坐标,电压为纵坐标,可画出电阻元件的伏安特性曲线。如电阻 R 的数值不随其上的电压或电流变化,是一常数,则称电阻 R 为线性电阻,其伏安特性为一条过原点的直线,如图 1-12 所示。

实际中的电阻元件或多或少都表现出一定的非线性,这样其伏安特性不再是一条直线,而是一条曲线,如图 1-13 所示是晶体二极管的伏安特性曲线。这种元件称非线性电阻元件,非线性电阻元件的伏安特性不服从欧姆定律。本书后面所提到的电阻,如无特殊说明,均指线性电阻。

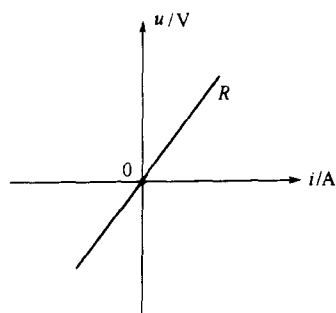


图 1-12 线性电阻的伏安特性

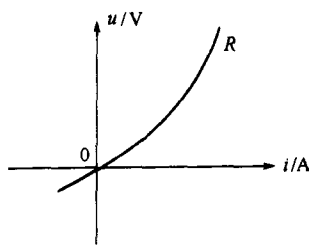


图 1-13 二极管的伏安特性曲线

【例 1-4】如图 1-14 所示,求电阻元件上的功率、图 (a) 中 U 和图 (b) 中的 I 。

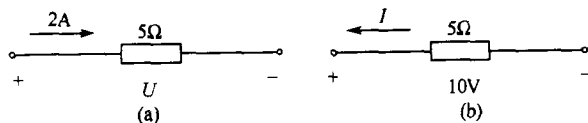


图 1-14 例 1-4 图

解 图 (a) 中,电压和电流的参考方向关联,则 $U = 2 \times 5 = 10 \text{ V}$,

$$P = UI$$

$$\begin{aligned}
 &= I^2 R \\
 &= U^2 / R \\
 &= 10 \times 2 = 20 \text{ W}
 \end{aligned}$$

图 (b) 中电压和电流的参考方向为非关联, 则 $I = -\frac{10}{5} = -2 \text{ A}$

$$\begin{aligned}
 P &= -UI \\
 &= -U \times \left(-\frac{U}{R} \right) = U^2 / R \\
 &= -(-IR)I = I^2 R \\
 &= -10 \times (-2) = 20 \text{ W} > 0
 \end{aligned}$$

从此例可看出, 电阻元件上的功率始终是正值, 这说明电阻元件是耗能元件。



思考题

1. 试推导出电阻元件上功率的各种计算公式。
2. 有一个阻值为 100Ω 、额定功率为 1 W 的电阻, 在直流电路中使用, 问在使用时电流、电压不得超过多大的数值?
3. 求图 1-15 中的 u 或 R 或 i 。

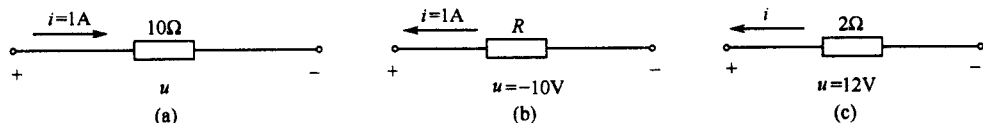


图 1-15 思考题 3 用图

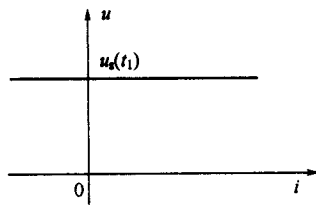
第四节 电压源和电流源

任何电路在工作时都必须有电源提供能量, 电源向电路提供的可以是电压也可以是电流, 故电源可以分为电压源和电流源。

一、电压源

1. 理想电压源

端电压始终保持恒定值 U_s 或按某一给定的时间函数 u_s 变化而与通过它的电流无关的电源称为理想电压源, 简称电压源 (voltage source)。电压源有两个基本性质: ① 它的端电压是定值或是给定的时间函数, 与流过的电流无关; ② 流过它的电流是由与之相联的外电路决定的。流过的电流可以是任意的, 甚至可以以不同的方向流过电压源, 因而电压源既可以对外电路提供能量, 也可以从外电路吸收能量。



在任意时刻 t_1 , 电压源的伏安特性曲线是平行于 i 轴值为 $u_s(t_1)$ 的直线。如图 1-16 所示, 由图中可以看出, 电压源的端电压与流经它的电流大小、方向无关。若 $u_s = 0$, 则伏安特性曲线与 i 轴重合, 它相当于短路; 当电流为零时, 亦即电压源开路时, 其电压仍为 u_s 。

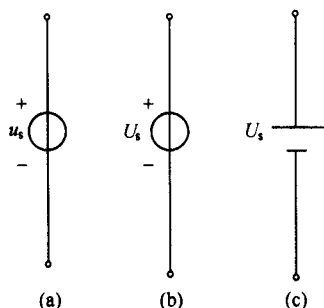


图 1-17 电压源的电路模型

电压源的电路模型如 1-17 所示,图 (a) 表示一般电压源的模型;图 (b)、(c) 表示直流电压源的模型,图 (c) 中长段代表正极,短段代表负极。

2. 实际电压源

理想电压源实际上并不存在。实际电压源有一定的内阻(如干电池),因此,只要一接上负载,电源中有电流通过时,必然在电源内阻上产生电压降,于是电源两端的电压就要下降,而不能保持为定值。流过电源的电流越大,电压下降得越多。因此可以用电压源和电阻串联的组合来作为实际电压源的模型,如图 1-18 (a) 所示。

这时实际直流电源的端电压为

$$U_{ab} = U_s - IR_i \quad (1-14)$$

其伏安特性曲线如图 1-18 (b) 所示。

以上表明实际电压源的端电压 U_{ab} 随 I 的增加而下降。同时还可看出,实际电压源的开路电压就等于 U_s ,因此,实际电压源可用它的开路电压和内阻两个参数来表征。实际电压源的内阻越小,就越接近于理想电压源。

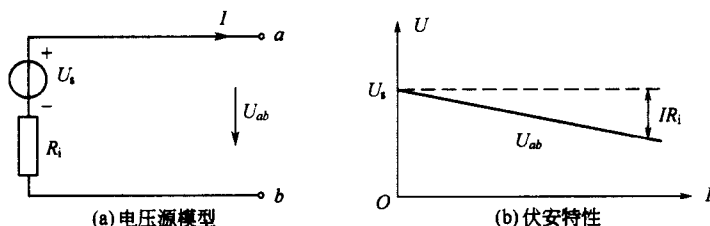


图 1-18 实际电压源模型及伏安特性

【例 1-5】写出图 1-19 中各段电路的 U_{ab} 。

解 图 (a) $U_{ab} = IR + U_s$

图 (b) $U_{ab} = IR - U_s$

图 (c) $U_{ab} = -IR + U_s$

图 (d) $U_{ab} = -IR - U_s$

以上四种情况应该熟悉掌握。

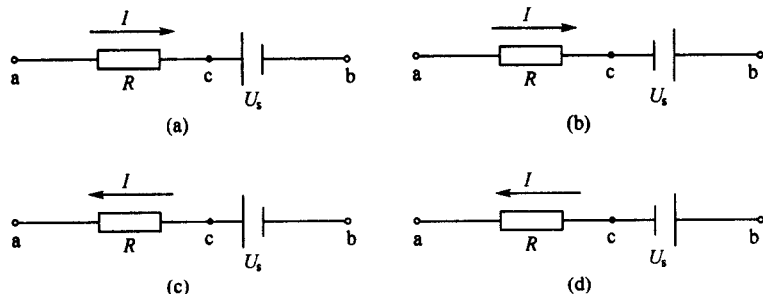


图 1-19 例 1-5 图