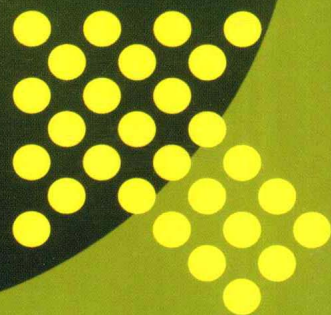


21世纪高等学校规划教材



电工学 (少学时)

孙陆梅 于 军 主 编



第二版



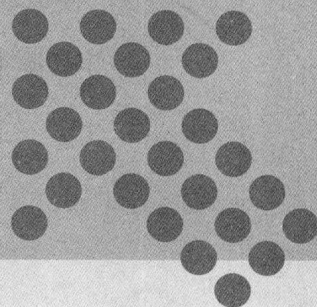
中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

21世纪高等学校规划教材



电工学 (少学时)

主 编 孙陆梅 于 军
编 写 张慧颖 刘 峰
主 审 梁贵书



第二版



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材。

全书分为两篇，共十一章。第一篇为电工技术，主要内容包括直流电路、正弦交流电路、电路的暂态分析、磁路与变压器、三相异步电动机等；第二篇为电子技术，主要内容包括半导体器件、基本放大电路、集成运算放大器及其应用、直流稳压电源、组合逻辑电路、时序逻辑电路等。每章都配有相应的例题和习题。附录中介绍了 EWB 5.0 仿真软件，并给出了部分习题参考答案。

本书可作为高等院校本、专科非电类专业的电工学课程教材，也可以作为工程技术人员和业余爱好者的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工学：少学时/孙陆梅，于军主编. —2 版. —北京：中国电力出版社，2011. 1

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978-7-5123-1294-4

I. ①电… II. ①孙…②于… III. ①电工学-高等学校-教材 IV. ①TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 002832 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2007 年 7 月第一版

2011 年 6 月第二版 2011 年 6 月北京第六次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.125 印张 441 千字

定价 32.50 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

在科学技术飞速发展的今天,各个学科领域之间相互渗透、相互影响。电工学更是渗透到了科学技术的各个领域,因此电工学是高等学校非电类专业的一门专业基础课程。考虑到为培养适应 21 世纪发展需要的工程技术人才,本书在满足教学基本要求的前提下,精选内容,适当地增加了与现代先进技术相关的内容,在第一版的基础上总结提高,修订编写而成。

本书在编写过程中,以应用型人才培养目标为依据,结合编者多年教学和工程经验,并参考了国内外教材,旨在使学生通过该门课程的学习,获得电工电子技术方面必备的基本理论、基本知识、基本技能,了解电工学的发展概况,掌握简单的电气设备、电子器件、电子线路的原理及应用,为学习后续课程以及今后从事工程技术工作和科学研究工作打下理论和实践基础。本书在取材及内容安排上具有以下特点:

(1) 教学内容丰富,篇幅紧凑,基本概念和基本原理以讲清为度,主次分明,详略得当,突出实践性和实用性。

(2) 层次结构由浅入深,重点内容详细交代,过深内容点到为止,使少学时课程能够做到“好教易学”。

(3) 力求做到简练与易懂相结合,语言流畅,通俗易懂,易于学生学习和理解。精心编排了工程实际中有较高实用价值的电路作为例题和习题,难度适中,便于学生自学提高。

本书由孙陆梅主编,并编写了第六~九章;于军编写了第二~五章和附录 A;张慧颖编写了第十、十一章和附录 B;刘峰编写了第一章。全书由孙陆梅统稿和校稿。

华北电力大学梁贵书教授担任本书主审,并对本书进行了认真仔细的审阅,提出了许多具有建设性的宝贵意见和修改建议。本书在编写的过程中还得到了吉林化工学院的翟玉文教授和电工电子教学与实验中心全体教师的积极支持和帮助。在此谨向他们致以衷心的感谢。

本书获得 2006 年吉林化工学院教材出版基金资助。

由于作者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,殷切期望广大读者给予批评指正。

编者

2011 年 5 月

第一版前言

在科学技术飞速发展的今天,各个学科领域之间互相渗透、互相影响、互相促进,任何一项现代工程都是多个学科综合的产物。电工学更是渗透到了科学技术的各个领域,推动着科学技术的发展。电工学是面向以培养应用型人才为主的普通高等工科院校本科、专科非电类专业的一门技术基础课程,该课程是非电类专业学生了解电工电子技术的窗口

编写本书的目的是使非电类专业学生通过学习,可以获得电工电子技术方面的基本理论、基本知识、基本技能,了解电工学的发展概况,掌握简单的电气设备、电子器件、电子线路以及它们的应用,为学生今后从事工程技术工作打下一定的理论基础和实践基础。

本书由孙陆梅组织编写,并编写了第六章、第七章、第八章和第九章,于军编写了第一章、第二章、第三章和第四章,杨潇编写了第五章、第十章、第十一章和附录中的内容。全书由孙陆梅统稿和校稿。

本书在编写的过程中得到了吉林化工学院翟玉文教授、马爱生副教授和刘刚副教授的关心与帮助,在此表示感谢。

本书获得 2006 年吉林化工学院教材出版基金资助。

受作者水平限制,书中难免存在不妥和错误之处,敬请读者批评指正。

编者

目 录

前言

第一版前言

第一篇 电 工 技 术

第一章 直流电路	1
第一节 电路和电路图	1
第二节 电路中的物理量	3
第三节 理想电路元件	7
第四节 电路的基本定律	14
第五节 电路的工作状态	18
第六节 支路电流法	20
第七节 叠加定理	22
第八节 等效电源定理	25
习题	31
第二章 正弦交流电路	34
第一节 正弦交流电的基本概念	34
第二节 单一参数的正弦交流电路	42
第三节 R 、 L 、 C 串联正弦交流电路的分析	53
第四节 阻抗的串联与并联	56
第五节 正弦交流电路的功率因数	58
第六节 三相交流电路	61
习题	75
第三章 电路的暂态分析	80
第一节 换路定律	80
第二节 RC 电路的响应	84
第三节 一阶线性电路暂态分析的三要素法	92
第四节 RL 电路的响应	93
习题	97
第四章 磁路与变压器	100
第一节 磁路及其基本知识和基本规律	100
第二节 交流铁心线圈电路	105
第三节 变压器	107

习题·····	114
第五章 三相异步电动机 ·····	116
第一节 三相异步电动机的基本结构·····	116
第二节 三相异步电动机的工作原理·····	117
第三节 三相异步电动机的电磁转矩与机械特性·····	121
第四节 三相异步电动机的铭牌与选择·····	125
第五节 三相异步电动机的运行·····	127
第六节 三相异步电动机的控制电路·····	131
习题·····	139

第二篇 电 子 技 术

第六章 半导体器件 ·····	141
第一节 半导体的基本知识·····	141
第二节 半导体二极管·····	143
第三节 双极型晶体管·····	149
第四节 场效应管·····	155
习题·····	160
第七章 基本放大电路 ·····	163
第一节 小信号放大电路的工作原理·····	163
第二节 小信号放大电路的分析方法·····	166
第三节 静态工作点稳定电路·····	173
第四节 射极输出器·····	176
第五节 共源极放大电路·····	178
第六节 功率放大电路·····	180
习题·····	182
第八章 集成运算放大器及其应用 ·····	188
第一节 集成运算放大器简介·····	188
第二节 放大电路中的负反馈·····	190
第三节 集成运算放大器的应用·····	194
习题·····	204
第九章 直流稳压电源 ·····	208
第一节 整流电路·····	208
第二节 滤波电路·····	212
第三节 稳压电路·····	214
习题·····	218
第十章 组合逻辑电路 ·····	220
第一节 逻辑运算与逻辑门·····	220
第二节 组合逻辑电路的分析与设计·····	226

第三节	常用的组合逻辑电路.....	230
习题.....		240
第十一章	时序逻辑电路.....	243
第一节	触发器.....	243
第二节	时序逻辑电路的分析.....	250
第三节	常用的时序逻辑电路.....	253
第四节	555 定时器	260
习题.....		264
附录 A	EWB 5.0 仿真软件介绍	267
附录 B	部分习题参考答案	277
参考文献.....		282

第一篇 电 工 技 术

第一章 直 流 电 路

电在工农业生产、科学研究和日常生活等各方面的应用十分广泛，有的利用电能变换为其他形式的能量，如机械能、热能等，使生产设备运转和正常工作；有的利用电信号进行通信或实现自动控制。无论是输送电能还是传递电信号，一般总要构成这样或那样的电路，因此学习电工技术通常总是从掌握电路理论入手。电路基本理论是电工学课程的基础。

本章主要结合直流电路介绍一般电路所遵循的基本规律和基本的电路分析方法。电路遵循的基本规律包含着相对独立的两方面内容：一是组成电路的各个元件的约束关系，二是整个电路中各个元件之间必须服从的约束关系。前者决定于元件内部遵循的电磁学规律，由元件端电压和流过元件的电流之间的数学关系来描述，在本章中只介绍直流电源和电阻元件的特性；后者遵循基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律，在这一章中主要介绍该定律的数学表达式，以及应用该定律分析计算电路的基本方法。

本章以直流电路为研究的对象，但是只要把所涉及的这些基本理论和分析方法稍加扩展，就可以用来分析和计算交流电路。所以本章的内容也是分析和计算其他电路的理论基础。

第一节 电 路 和 电 路 图

一、电路的作用与组成

电路或网络，简单地说就是电流流通的路径。它是由某些电气设备（如电动机、变压器）和元器件（如晶体管、电容）组成的，目的是为了实现能量的输送和转换，或者实现信号的传递和处理。

常见的各种照明电路和动力电路就是用来输送和转换能量的。例如图 1-1 所示为一种最简单的照明电路。在该电路中，干电池把化学能转换成电能供给电珠，电珠再将其转换成光能作为照明之用。对于这一类电路而言，一般要求其具有较小的能量损耗和较高的效率。

在电子技术和非电量的测量中，还会遇到另一类以传递和处理信息（如语音、音乐、文字、图像、温度、压力、湿度等）为主要目的电路。例如图 1-2 所示的用热电偶构成的简单测量温度电路，左边的热电偶将信息（温度）转换成电信号（热电动势），但数量很微弱，不能作为电源，而所生温差电动势可以作为反应热端温度的信号，因此是一种信号源；右边

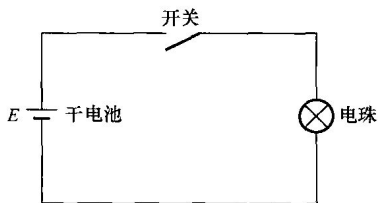


图 1-1 简单的照明电路

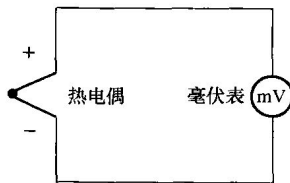


图 1-2 简单的测温电路

的毫伏表则将电能转换成机械能,使毫伏表的指针偏转以作指示,是接受信号的负载,它能指示温差电动势,从而间接指示热电偶所测量的温度。这类电路的作用主要是尽可能准确地传递信号和处理信号(如语音信号的处理系统、数字式测温仪),虽然也有能量的输送和转换问题,但其数量很小,故一般不是人们所关心的问题。

前面是两个实际电路的举例,随着电工技术的发展,电路的形式和功能是多种多样的,有的十分复杂,但总的来说,一个完整的电路应该由三部分组成,分别是电源(信号源)、负载和连接导线。虽然在实际的电路中,还常常根据实际需要增添一些辅助设备,如开关、继电器、熔断器等,但任何一个实际电路都不可缺少这三个组成部分。电源是将非电形态的能量转换为电能的供电设备,如干电池、发电机和信号源等。负载是将电能转换成非电形态能量的用电设备,如白炽灯、信号灯和电阻炉等。负载的大小通常用负载取用功率的大小来衡量。连接导线则起着连通电路、输送电能的作用。

从电源来看,电源本身的电流通路称为内电路,电源以外的电流通路称为外电路。当电路中的电流是不随时间变化的直流电流时,这种电路称为直流电路;当电路中的电流是随时间按正弦规律变化的交流电流时,这种电路称为正弦交流电路。

电源和负载等电气设备在工作时,电流、电压和功率都有一定的限额,这些限额是用来表示它们的正常工作条件和工作能力的,称为电气设备的额定值。

额定电流是指电气设备在一定的环境温度下长期连续工作时(或在规定的时间内),所允许通过而不会引起设备损坏的最大电流。

额定电压是指电气设备正常工作时的端电压。

额定功率是指电气设备正常工作时的输出功率或输入功率。

额定值通常在铭牌上标出,也可以从产品目录中查到。在使用时必须遵循这些规定,否则会引起电气设备的损坏,或者降低其使用寿命,或者不能发挥正常的效能。通常当实际值等于额定值时,电气设备的工作状态称为额定状态;当实际功率或电流大于额定值时称为过载;小于额定值时称为欠载。

实际电路的外部结构、具体功能及设计方法各不相同,但遵循同一理论基础,即电路理论。电路理论是一门研究网络分析和网络综合或设计的基础工程基础学科,它与近代系统理论有密切的关系。本章的主要内容是电路分析,探讨电路的基本定律和定理,并讨论各种计算方法,为学习电气工程技术、电子和信息工程技术等建立必要的理论基础。

二、电路模型和电路图

由实际电路元件组成的电路称为电路实体。由于电路实体的形式和种类多种多样不胜枚举,为了找出它们的共同规律,为研究具体电路建立分析和计算的方法,通常用电路部件的

实体模型来代替。电路部件的模型由一些具有单一物理性质的理想电路元件构成,这种用理想电路元件组成的电路称为电路实体的电路模型。

基本理想电路元件有五种,分别是电阻元件、电容元件、电感元件、理想电压源和理想电流源,这些元件的符号如图 1-3 所示。

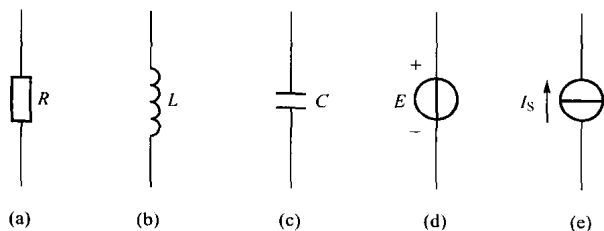


图 1-3 理想电路元件符号

(a)电阻;(b)电感;(c)电容;(d)理想电压源;(e)理想电流源

在电力和电信工程上,通常按照国家统一规定的各种电气设备和器件的符号绘制电路图,如图 1-1 和图 1-2 所示的电路图。按照用模型代替实体的原则,各种实际电路都可以近似地看作是由理想电路元件组成的理想化的电路,这就是所谓的电路模型,可以通过分析电路模型来揭示实际电路的性能。在从工作原理上讨论电路问题时,所画电路图一般都是电路模型图,也叫原理电路图,即由各种电气设备和理想电路元件的符号组成的电路图。

第二节 电路中的物理量

电路中涉及的物理量主要有电流、电压、电荷、功率和电能,通常分别用字母 i 、 u 、 q 、 p 和 W 表示。磁通和磁通链用 Φ 和 Ψ 表示。在电路分析中人们主要关心的物理量是电流、电压和功率。现在对这几个物理量的表示法和有关问题作些必要的说明。

一、电流

电流是带电粒子有规则的定向运动。电流强度定义为单位时间内通过导体横截面的电荷量,其数学表达式为

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

电流的国际制单位是 A (安培),常用单位有 kA、mA、 μ A。换算关系为

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

电流是有方向和大小的,那么怎样来描述直流电路中电流的大小和方向呢?

电流沿电路流动的方向和大小,在电路分析中一般用参考方向结合代数量来表示。电流的参考方向是假定正电荷在电路中流动的方向。例如,若图 1-4 所示某个电路中电阻的电流的实际方向是从 C 点流向 D 点,大小为 5A,要表达这个事实,既可以像图 1-4 (a) 那样标注参考方向,并写明 $I=5\text{A}$;也可以像图 1-4 (b) 那样标注参考方向,但写明 $I=-5\text{A}$ 。就是说,电流实际方向与参考方向一致时,代表电流的代数量 I 为正值;电流实际方向与参考方向相反时, I 为负值。因此有时参考方向也叫正值方向或正方向。

对于简单电路,电流实际方向根据电源极性很容易判断,当然可以直接标注实际方向,电流 I 自然是正值。然而实际电路往往比较复杂,各元件电流的实际方向在分析计算以前不能预先知道,需要采用参考方向结合代数量来表示的方法,才能列出代数方程求解。另外,对于电流的表示还有一种方法,那就是采用双下标的方式来表示,例如,图 1-4 (a) 所示的电路,流过电阻的电流可以表示为 I_{CD} ,表示电流的参考方向是从 C 点流向 D 点。因此必须明确,在进行电路分析时,电路图中标注的电流方向都是参考方向,不是实际方向。参考方向可以任意规定,电流的实际方向和大小是结合参考方向的代数量 I 的正负来说明。

二、电压

电压定义为单位正电荷 q 从电路中一点移至另一点时电场力做功 (W) 的大小,其数学表达式为

$$u = \frac{dW}{dq} \quad (1-2)$$

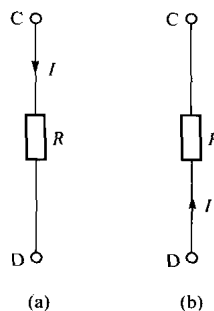


图 1-4 电流的表示方法

电压的国际制单位是 V (伏特), 常用单位有 kV、mV、 μ V。换算关系为

$$1\text{kV}=10^3\text{V}, 1\text{mV}=10^{-3}\text{V}, 1\mu\text{V}=10^{-6}\text{V}$$

在分析电路时, 和电流一样, 对电路中两点之间的电压也可以指定参考方向或参考极性。两点之间的电压参考方向可以用正 (+)、负 (-) 极性表示, 正极指向负极的方向就是电压的参考方向, 如图 1-5 所示。指定电压的参考方向后, 电压即成为一个代数量。在图 1-5 中, 如果电压的实际方向就是由 A 点指向 B 点, 大小为 10V, 要表明这一事实, 既可以像图 1-5 (a) 那样标注参考方向, 并写明 $U=10\text{V}$; 也可以像图 1-5 (b) 那样标注参考方向, 但写明 $U=-10\text{V}$ 。就是说, 电压的实际方向与参考方向一致时, 代表电压的代数量 U 为正值; 电压实际方向与参考方向相反时, U 为负值。有时为了图示方便, 可用一个箭头表示电压的参考方向, 箭头方向表示电压的参考方向是由高电位指向低电位; 还可以用双下标表示电压的参考方向, 如 U_{AB} 表示 A 和 B 之间电压参考方向由 A 指向 B。

一个元件的电流或电压的参考方向可以独立地任意指定。如果指定流过元件的电流的参考方向是从该元件标以电压正极性的一端指向负极性的一端, 即两者采用相同的参考方向, 则把该元件的电流和电压的参考方向称为关联参考方向或正方向, 如图 1-6 (a) 所示; 当两者不一致时, 称为非关联参考方向, 如图 1-6 (b) 所示。

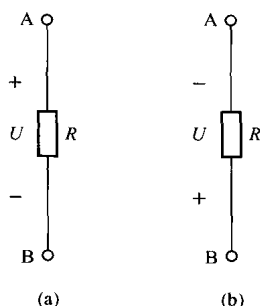


图 1-5 电压的表示方法

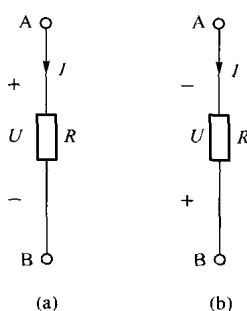


图 1-6 电流和电压的参考方向
(a) 关联; (b) 非关联

三、功率

功率定义为单位时间内电场力所做的功, 其数学表达式为

$$p = \frac{dW}{dt} \quad (1-3)$$

功率的国际制单位是 W (瓦特), 常用单位有 kW、W、mW、 μ W。换算关系为

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

电功率与电压和电流的关系为

$$\begin{aligned} u &= \frac{dW}{dq} \\ i &= \frac{dq}{dt} \\ p &= \frac{dW}{dt} = \frac{dW}{dq} \times \frac{dq}{dt} = ui \end{aligned}$$

功率表征电路元件中能量变换的速度, 其值等于单位时间内元件所发出或吸收的电能。

因此,功率有电源发出的功率(产生功率)或负载吸收的功率(消耗功率)两种含义,而且也是代数量。那么,如何判断某电路元件的功率是电源发出的功率还是负载吸收的功率,也就是说该电路元件在电路中起到的是电源的作用还是负载的作用呢?

若某电路元件的电压和电流取关联参考方向,如图 1-6 (a) 所示。则 $p=ui$ 表示元件吸收的功率。 $p>0$ 吸收正功率(实际吸收), $p<0$ 吸收负功率(实际发出)。

若某电路元件的电压和电流取非关联参考方向,如图 1-6 (b) 所示。则 $p=ui$ 表示元件发出的功率。 $p>0$ 发出正功率(实际发出), $p<0$ 发出负功率(实际吸收)。

需要指出的是,对一完整的电路,发出的功率等于吸收的功率,满足功率平衡。

【例 1-1】 求图 1-7 所示电路中各方框所代表的元件吸收或发出的功率。已知 $U_1=1\text{V}$, $U_2=-3\text{V}$, $U_3=8\text{V}$, $U_4=-4\text{V}$, $U_5=7\text{V}$, $U_6=-3\text{V}$, $I_1=2\text{A}$, $I_2=1\text{A}$, $I_3=-1\text{A}$ 。

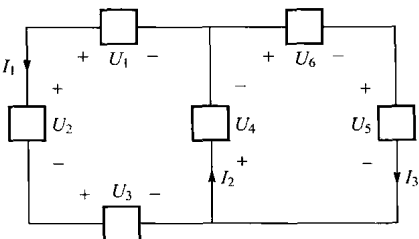


图 1-7 [例 1-1] 图

解:

$$P_1 = U_1 I_1 = 1 \times 2 = 2(\text{W}) (\text{实际发出})$$

$$P_2 = U_2 I_1 = -3 \times 2 = -6(\text{W}) (\text{实际发出})$$

$$P_3 = U_3 I_1 = 8 \times 2 = 16(\text{W}) (\text{实际吸收})$$

$$P_4 = U_4 I_2 = -4 \times 1 = -4(\text{W}) (\text{实际发出})$$

$$P_5 = U_5 I_3 = 7 \times (-1) = -7(\text{W}) (\text{实际发出})$$

$$P_6 = U_6 I_3 = -3 \times (-1) = 3(\text{W}) (\text{实际吸收})$$

$$P_{\text{吸收}} = 16 + 3 = 19(\text{W})$$

$$P_{\text{发出}} = 2 + 6 + 4 + 7 = 19(\text{W})$$

可见, $P_{\text{吸收}} = P_{\text{发出}}$ 。本题说明: 对一完整的电路, 发出的功率等于吸收的功率。

四、电路中的参考点和电位的计算

在分析和计算电路时, 特别是在电子技术中, 常常将电路中的某一点选作参考点, 并规定其电位为零。于是电路中其他任何一点与参考点之间的电压便是该点的电位。

电位 V 的定义是单位正电荷 q 从电路中一点移至参考点 ($V=0$) 时电场力做功的大小。例如在图 1-8 所示的电路中, 若选择点 d 为参考点, 则其电位为

$$V_d = 0$$

而 a 、 b 、 c 、 e 各点的电位分别为

$$V_a = U_{ad}$$

$$V_b = U_{bd}$$

$$V_c = U_{cd}$$

$$V_e = U_{ed}$$

当电路的结构和组成电路的设备、元器件一定时, 电路中的各点之间的电压是一定的, 而各点的电位只有在参考点选定以后才有确定的数值, 这就是所谓的电位的单值性。在分析

和计算电路时,原则上电路中电位参考点可任意选择,但在工程上常选大地作为参考点,在电路图中用“⊥”表示。另外,参考点一经选定,电路中各点的电位值就是唯一的;但是,当选择不同的电位参考点时,电路中各点电位值将改变,但任意两点间电压保持不变。例如, $U_{ab} = V_a - V_b$ 。

在如图 1-8 所示的电子电路中,由于电源的一端接地,其电位为零,若电源的内电阻忽略不计,则电源的另一端的电位为一固定的数值,即等于电源的电动势。为了画图的简便和图面的清晰,习惯上常常在电路图中不画出电源来,而在电源非连接“地”的一端注明其电位的数值,如图 1-9 所示。

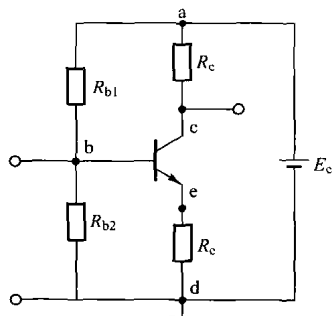


图 1-8 晶体管稳定静态工作点电路

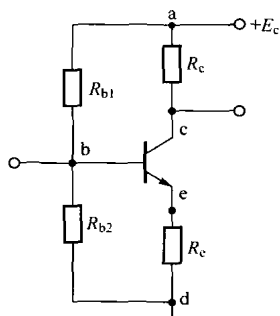


图 1-9 图 1-8 电路的简化画法

【例 1-2】 求图 1-10 所示电路中开关 S 合上和断开时 a 点的电位。

解: 开关合上时,有

$$I = \frac{12}{4 + 26} = 0.4(\text{mA})$$

$$V_a = U_{ab} = 4 \times 0.4 = 1.6(\text{V})$$

开关断开时,有

$$I = \frac{12 + 12}{2 + 4 + 26} = 0.75(\text{mA})$$

$$V_a = 12 - 26 \times 0.75 = -7.5(\text{V})$$

【例 1-3】 如图 1-11 所示电路,已知 4C (库仑) 正电荷由 a 点均匀移动至 b 点电场力做功 8J (焦耳),由 b 点移动到 c 点电场力做功为 12J。

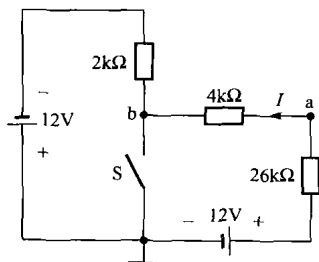


图 1-10 [例 1-2] 图

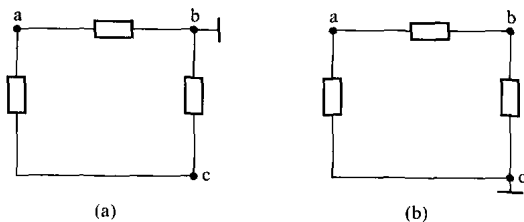


图 1-11 [例 1-3] 图

(1) 若以 b 点为参考点 [见图 1-11 (a)], 求 a、b、c 点的电位和电压 U_{ab} 、 U_{bc} ;

(2) 若以 c 点为参考点 [见图 1-11 (b)], 再求以上各值。

解: (1) 以 b 点为电位参考点, 则有

$$V_b = 0$$

$$V_a = \frac{W_{ab}}{q} = \frac{8}{4} = 2(\text{V})$$

$$V_c = \frac{W_{cb}}{q} = -\frac{W_{bc}}{q} = -\frac{12}{4} = -3(\text{V})$$

$$U_{ab} = V_a - V_b = 2 - 0 = 2(\text{V})$$

$$U_{bc} = V_b - V_c = 0 - (-3) = 3(\text{V})$$

(2) 以 c 点为电位参考点, 则有

$$V_c = 0$$

$$V_a = \frac{W_{ac}}{q} = \frac{8+12}{4} = 5(\text{V})$$

$$V_b = \frac{W_{bc}}{q} = \frac{12}{4} = 3(\text{V})$$

$$U_{ab} = V_a - V_b = 5 - 3 = 2(\text{V})$$

$$U_{bc} = V_b - V_c = 3 - 0 = 3(\text{V})$$

本题说明: ①电路中电位参考点可任意选择; 参考点一经选定电路中各点的电位值就是唯一的; ②当选择不同的电位参考点时, 电路中各点电位值将改变, 但任意两点间电压保持不变。

第三节 理 想 电 路 元 件

理想电路元件就是用来表征单一物理性质的元件。根据实际电路元件的物理性质, 从能量转换的角度来看, 有电能的产生、电能的消耗以及电场能量和磁场能量的储存和释放。常用的基本理想电路元件有五种, 即电阻元件、电容元件、电感元件、理想电压源和理想电流源。下面介绍两类常用的理想电路元件。

一、理想无源元件

理想无源元件包括电阻元件、电容元件和电感元件三种。电阻元件消耗电能 (变换为热能、光能); 电容元件以电场形式储存能量; 电感元件以磁场形式储存能量。电阻元件又称耗能元件, 电容元件和电感元件又统称储能元件。它们的性质可用电路参数的物理量来表示, 线性电阻元件遵循欧姆定律, 其端电压和流过的电流是正比关系, 比例常数叫做电阻 R , 它既是这种元件的名称, 又是表示其物理性质的电路参数。电容元件和电感元件的性质及其参数电容和电感的含义将在第二章中讨论。

本章主要介绍电阻元件, 因此本章所讨论的直流电路是以电阻元件和下面即将讨论的理想电源元件组成的电路模型为研究对象的。

当电路的某一部分只存在电能的消耗而没有电场能量和磁场能量的储存的话, 那么这一部分电路就可以用理想电阻元件来代替, 如图 1-12 所示。图 1-12 中的电压和电流都用小写字母表示, 以示

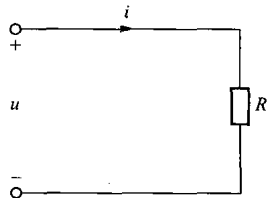


图 1-12 电阻元件

它们可以是任意波形的电压和电流。

根据电阻元件的电压电流关系,图 1-12 所示电阻元件两端的电压与通过的电流应成正比。在图 1-12 中所示的参考方向下,有

$$R = \frac{u}{i} \quad (1-4)$$

该比值是一个大于零的常数,称为这一部分电路的电阻。电阻的单位是 Ω (欧姆)。因此,电阻两端的电压和通过电阻的电流之间的关系是

$$u = Ri$$

$$i = \frac{u}{R}$$

在直流电路中,电阻的电压和电流的关系为

$$R = \frac{U}{I}$$

电阻的电压和电流是同时存在、同时消失的,是无源性、无记忆性、双向性的元件。

在直流电路中,电阻消耗的电功率可以表示为

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R} \quad (1-5)$$

在 t 时间内消耗的电能为

$$W = Pt \quad (1-6)$$

电能 W 的国际制单位是 J (焦耳)。工程上电能的计算单位为 $\text{kW} \cdot \text{h}$ (千瓦·小时), $1\text{kW} \cdot \text{h}$ 即 1 度电,它与焦耳的换算关系为 $1\text{kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$ 。这些电能或变成热能散失于周围的空间,或转换成其他形态的能量作有用功。因此,电阻消耗电能的过程是不可逆的能量转换过程。

在本书中今后所讨论的三种理想无源元件电阻元件、电容元件和电感元件都满足以下两点:第一,这些元件都只具有一种参数,即所谓的单一参数元件;第二,元件的参数都是恒定不变的常数,不随电流和电压的变化而变化,即所谓的线性元件。

实际的电阻元件及电阻器,严格地说都不是理想电阻元件。由于制作材料的电阻率与温度有关,实际电阻器通过电流后因发热会使温度改变,因此,电阻器带有非线性因素。但在一定条件下,许多实际部件如金属膜电阻器、绕线电阻器等,它们的伏安特性近似为一条直线。所以用线性电阻元件作为它们的理想模型是合适的。

二、理想电源元件

理想电源元件是从实际电源元件中抽象出来的。当实际电源本身的功率损耗可以忽略不计,而只起产生电能的作用时,这种电源便可以用一种理想电源元件来表示。理想电源元件分为理想电压源和理想电流源两种,统称为独立电源。

1. 理想电压源

理想直流电压源(简称恒压源)是指电压源两端电压总能保持恒定值,且端电压值与流过它的电流无关的元件,如图 1-13 所示。理想电压源的电压、电流关系,即伏安特性,如图 1-14 所示。

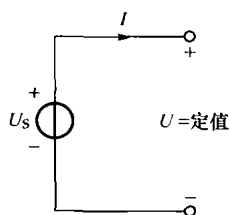


图 1-13 理想电压源

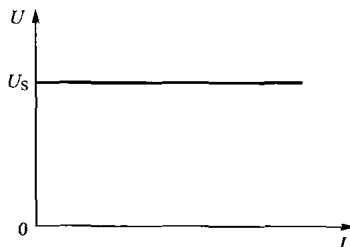


图 1-14 理想电压源的伏安特性

理想电压源的特点：

(1) 理想电压源两端电压由电源本身决定，与外电路无关，与流经它的电流方向、大小无关。

(2) 通过电压源的电流由电源及外电路共同决定，其值随外电路而变化。例如当空载时，输出电流 $I=0$ ；当短路时，流过电压源的电流 $I \rightarrow \infty$ ；当输出端接有电阻 R 时，流过电压源的电流 $I = \frac{U}{R}$ 。而电压源的电压 U 却始终保持不变。任何一个电路元件（包括理想电流源）与理想电压源并联，其两端的电压都等于理想电压源的电压，即 $U = U_s$ ，如图 1-15 所示。

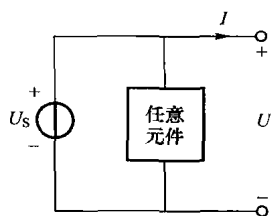


图 1-15 电压源与任意元件并联电路

实际的电压源，如干电池和蓄电池，在其内部功率损耗即电池的内电阻可以忽略不计时，便可以用理想电压源来代替。

考虑到实际电压源有损耗，其电路模型可以用理想电压源和电阻的串联组合来表示，这个电阻称为实际电压源的内阻，如图 1-16 所示。实际电压源的电压、电流关系，即伏安特性，如图 1-17 所示。

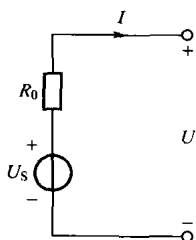


图 1-16 实际电压源模型

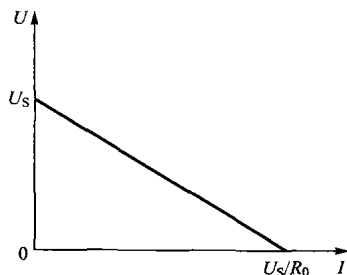


图 1-17 实际电压源伏安特性

实际电压源端电压计算式为

$$U = U_s - R_0 I$$

实际电压源的端电压在一定范围内随着输出电流的增大而逐渐下降。因此，一个好的电压源的内阻 $R_0 \rightarrow 0$ 。注意：电压源不允许短路，因其内阻小，短路时电流很大，可能烧毁电源。

2. 理想电流源

理想直流电流源（简称恒流源）是指不管外部电路如何，其输出电流总能保持恒定值，且其电流值与它的两端电压无关的元件，如图 1-18 所示。理想电流源的电压、电流关系即伏安特性，如图 1-19 所示。