



普通高等教育“十三五”规划教材
电子电气基础课程规划教材

电路与电子技术基础

■ 张国平 主编

■ 刘祝华 付贵阳 王 君 饶志明 副主编



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

电子电气基础课程规划教材

电路与电子技术基础

张国平 主 编

刘祝华 付贵阳
王 君 饶志明 副主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是根据教育部高等学校电工课程教学指导委员会审定的“电工技术”和“电子技术”课程的教学基本要求编写的。全书系统地介绍了电路分析、模拟电子技术、数字电子技术、电工电子技术实践和 EDA 的相关技术,着重讲述了电工电路和电子技术的基本原理和基本分析方法。内容包括:电路分析基础,动态电路的暂态分析,交流电路分析,三相电路,常用半导体器件,基本放大电路,集成运放组成的运算电路,门电路与组合逻辑电路,触发器与时序逻辑电路,电子电路仿真与设计,以及实验与实训。本书特别注重电工电路与电子技术的基础理论,同时兼顾实践实训的基本技能培养,为非电专业学生实践能力的提升提供必要的理论基础。

本书可作为高等工科院校非电类专业本科生或大专生学习电工学课程的教材,也可作为高等职业院校相关专业学生的教材以及相关科技人员的参考书。本书提供配套的电子教案和完整的习题解答。

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。

图书在版编目(CIP)数据

电路与电子技术基础/张国平主编. —北京:电子工业出版社, 2019.8

电子电气基础课程规划教材

ISBN 978-7-121-36807-3

I. ①电… II. ①张… III. ①电路理论—高等学校—教材②电子技术—高等学校—教材 IV. ①TM13②TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 113251 号

责任编辑:竺南直

印 刷:北京虎彩文化传播有限公司

装 订:北京虎彩文化传播有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:22.25 字数:570 千字

版 次:2019 年 8 月第 1 版

印 次:2019 年 8 月第 1 次印刷

定 价:55.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: davidzhu@phei.com.cn。

前 言

本书是根据教育部高等学校电工课程教学指导委员会审定的“电工技术”和“电子技术”课程的教学基本要求编写的，以培养应用型人才为目的，以应用、实用为原则，适应知识更新和课程体系改革需要，既便于教师教学参考，又便于学生自学。

全书系统地介绍了电路分析、模拟电子技术、数字电子技术、电工电子技术实践和 EDA 的相关技术，着重讲述了电工电路和电子技术的基本原理和基本分析方法。本书的特点是以电路理论为基础，以电子技术为主干，以培养学生基本应用能力为目标，精选内容，突出重点和要点，有效地节省了学时，适应非电类本科专业的教学要求。

本书内容由浅入深，主要由四部分组成：

(1) 电路分析基础：主要介绍了电路模型和电路分析的基本规律，电阻电路、动态电路、正弦稳态电路和三相电路分析的基本方法，电路基本定理及其应用。

(2) 模拟电子技术部分：重点阐述常用半导体器件、基本放大电路、集成运放组成的运算电路，并介绍了反馈技术及其应用。

(3) 数字电子技术部分：简要介绍了门电路与组合逻辑电路，触发器与时序逻辑电路。

(4) 实验与实训部分：简要介绍了电路与电子技术测量理论，重点介绍了基本电路实验、模拟电子技术实验和数字电子技术实验，以及电工实训的基本项目。

本书可作为高等工科院校非电类专业本科生或大专生学习电工学课程的教材，也可作为高等职业院校相关专业学生的教材以及相关科技人员的参考书。作为本科生教材时，参考学时为理论 48 学时，实验 32 学时。为方便教学，本书配有教学课件和全部习题解答，需要者可以登录华信教育资源网（www.hxedu.com.cn）免费注册下载。

全书共分 11 章，江西师范大学的张国平编写第 10、11 章并负责全书的统稿工作，刘祝华编写第 8、9 章，付贵阳编写第 1、2、3 章，王君编写第 4、5、6、7 章，饶志明主要负责全书电路图的编辑和部分文字的修改工作。

江西师范大学“电路与电子技术基础”课程是学校重点建设课程，是江西师范大学非电气类专业课程体系中的基础核心课程。本书部分内容系江西省重点教改课题（课题编号：JXJG-17-2-6）的阶段性研究成果。非常感谢江西省教育厅和江西师范大学对课程建设的大力支持。衷心感谢电子工业出版社的编辑为本书出版付出的辛勤劳动。

限于编者水平，加之新的电工应用技术不断发展，书中难免有疏漏或不完善之处，恳请广大读者批评指正。

编者

2019 年 6 月

目 录

第 1 章 电路分析基础	(1)
1.1 电路基本概念	(1)
1.1.1 电路及电路模型	(1)
1.1.2 集中参数假设	(2)
1.1.3 电路的基本变量和关联参考方向	(2)
1.2 电路的基本元件	(6)
1.2.1 二端电阻元件	(6)
1.2.2 二端电感元件	(7)
1.2.3 二端电容元件	(7)
1.2.4 独立电源	(8)
1.2.5 受控电源	(9)
1.3 电路的基本定律	(11)
1.3.1 欧姆定律	(11)
1.3.2 基尔霍夫定律	(11)
1.4 电阻电路分析的一般方法	(14)
1.4.1 支路电流分析法	(14)
1.4.2 节点电压分析法	(16)
1.4.3 网孔电流分析法	(19)
1.5 电路的常用定理	(22)
1.5.1 线性电路和叠加定理	(22)
1.5.2 替代定理	(25)
1.5.3 戴维南定理与诺顿定理	(27)
1.5.4 最大功率传输定理	(30)
1.6 含受控电源电路的分析	(32)
1.6.1 含受控电源简单电路的分析	(32)
1.6.2 含受控电源电路的等效变换	(34)
习题 1	(34)
第 2 章 动态电路的暂态分析	(46)
2.1 动态电路的初始条件	(46)
2.2 一阶 RC 电路的响应	(48)
2.2.1 一阶 RC 电路的电路方程	(48)
2.2.2 一阶 RC 电路的零输入响应	(48)
2.2.3 一阶 RC 电路的零状态响应	(50)
2.3 一阶 RL 电路的响应	(52)

2.3.1	一阶 RL 电路的电路方程	(52)
2.3.2	一阶 RL 电路的零输入响应	(52)
2.3.3	一阶 RL 电路的零状态响应	(53)
2.4	一阶电路分析的三要素法	(55)
2.5	微分电路和积分电路	(57)
2.5.1	微分电路	(57)
2.5.2	积分电路	(58)
习题 2		(59)
第 3 章	交流电路分析	(65)
3.1	正弦稳态分析基础	(65)
3.1.1	正弦量及其三要素	(65)
3.1.2	复数基础知识简介	(68)
3.1.3	基尔霍夫定律的相量形式	(72)
3.2	正弦稳态电路的分析	(74)
3.2.1	三种基本元件 (R、L 和 C) 的 VCR 的相量形式	(74)
3.2.2	阻抗和导纳	(78)
3.3	复杂正弦稳态混联电路的分析	(81)
3.3.1	应用基尔霍夫定律的相量形式	(82)
3.3.2	戴维南定理和诺顿定理的应用	(83)
3.3.3	正弦稳态电路的相量图求解法	(84)
3.4	正弦交流电路中的功率	(85)
3.4.1	二端网络的瞬时功率	(85)
3.4.2	二端网络的平均功率	(86)
3.4.3	二端网络的无功功率	(87)
3.4.4	二端网络的视在功率	(87)
3.4.5	二端网络的功率因数	(88)
习题 3		(89)
第 4 章	三相电路	(95)
4.1	三相电路的连接	(95)
4.1.1	三相电源	(95)
4.1.2	三相电源的连接方式	(96)
4.1.3	三相电路中负载的连接方式	(97)
4.2	三相电路的功率及测量	(100)
4.2.1	对称三相电路的功率、功率因数	(100)
4.2.2	三相功率的测量	(101)
4.3	安全用电	(102)
4.3.1	安全用电常识	(102)
4.3.2	常见触电形式	(103)
4.3.3	电气设备安全用电措施	(104)
习题 4		(105)

第5章 常用半导体器件	(109)
5.1 半导体基础知识	(109)
5.1.1 本征半导体	(109)
5.1.2 杂质半导体	(109)
5.2 PN结及其特性	(110)
5.2.1 PN结的形成	(111)
5.2.2 PN结的单向导电性	(111)
5.3 半导体二极管	(112)
5.3.1 二极管的基本结构	(112)
5.3.2 二极管的伏安特性	(113)
5.3.3 二极管的主要参数	(114)
5.3.4 二极管的等效模型	(114)
5.3.5 稳压二极管	(116)
5.3.6 其他特殊二极管	(117)
5.4 半导体三极管	(118)
5.4.1 三极管的类型及结构	(118)
5.4.2 三极管的工作原理	(119)
5.4.3 三极管的特性曲线	(120)
5.4.4 三极管的主要参数	(123)
5.5 场效应管	(124)
5.5.1 结型场效应管	(124)
5.5.2 绝缘栅场效应管	(126)
5.5.3 场效应管与三极管的比较	(129)
习题5	(130)
第6章 基本放大电路	(135)
6.1 放大电路的组成和性能指标	(135)
6.1.1 放大电路的基本概念	(135)
6.1.2 共发射极放大电路的组成	(135)
6.1.3 放大电路的主要性能指标	(136)
6.2 放大电路的基本分析方法	(138)
6.2.1 直流通路和交流通路	(138)
6.2.2 放大电路的静态分析	(138)
6.2.3 放大电路的动态分析	(143)
6.3 多级放大电路	(146)
6.3.1 放大电路的级间耦合方式	(147)
6.3.2 多级放大电路的分析	(148)
习题6	(149)
第7章 集成运放组成的运算电路	(155)
7.1 集成运放电路应用基础	(155)

7.1.1	集成运放模型	(155)
7.1.2	理想运放的主要性能	(156)
7.2	放大电路中的负反馈技术	(156)
7.2.1	反馈的基本概念及反馈类型的判断	(156)
7.2.2	负反馈放大电路的分析	(158)
7.3	运算放大电路	(161)
7.3.1	比例运算电路	(161)
7.3.2	加减运算电路	(162)
7.3.3	积分运算和微分运算电路	(163)
习题 7		(165)
第 8 章 门电路与组合逻辑电路		(170)
8.1	数制与码制	(170)
8.1.1	进位计数制	(170)
8.1.2	数制间的转换	(171)
8.1.3	数码和字符的代码表示	(172)
8.2	逻辑代数基础	(175)
8.2.1	逻辑变量与逻辑函数	(175)
8.2.2	基本逻辑运算	(175)
8.2.3	逻辑代数的定律及规则	(178)
8.2.4	逻辑函数的表示方法	(180)
8.2.5	逻辑函数的化简	(181)
8.3	组合逻辑电路的分析与设计	(187)
8.3.1	组合逻辑电路的特点	(187)
8.3.2	组合逻辑电路的分析	(188)
8.3.3	组合逻辑电路的设计	(189)
8.4	常用中规模集成组合逻辑电路及应用	(191)
8.4.1	算术运算电路	(191)
8.4.2	编码器	(194)
8.4.3	译码器	(197)
8.4.4	数据选择器	(200)
8.4.5	数据比较器	(202)
8.4.6	中规模集成组合逻辑电路应用	(204)
习题 8		(208)
第 9 章 触发器与时序逻辑电路		(212)
9.1	触发器	(212)
9.1.1	基本触发器	(212)
9.1.2	其他结构触发器	(217)
9.1.3	触发器逻辑功能的转换	(218)
9.2	时序逻辑电路	(220)

9.2.1	时序逻辑电路的表示方法	(220)
9.2.2	时序逻辑电路的分析方法	(220)
9.2.3	常用时序逻辑电路	(224)
9.2.4	时序逻辑电路设计	(231)
9.3	555 定时器及应用	(234)
9.3.1	555 定时器电路结构及工作原理	(235)
9.3.2	555 定时器的应用	(236)
习题 9		(240)
第 10 章	电子电路仿真与设计	(246)
10.1	计算机辅助设计技术简介	(246)
10.2	Multisim 2001 仿真软件基础	(247)
10.2.1	Multisim 2001 仿真软件简介	(247)
10.2.2	Multisim 2001 仿真软件的电路应用实例	(249)
10.3	Multisim 2001 仿真软件在电路分析中的基本应用	(252)
10.4	Multisim 2001 仿真软件在电路分析中的高级应用	(257)
10.4.1	直流工作点的分析	(258)
10.4.2	瞬态分析	(259)
10.4.3	交流分析	(260)
10.4.4	扫描分析	(262)
习题 10		(268)
第 11 章	实验与实训	(271)
11.1	电路与电子技术测量理论简介	(271)
11.1.1	电路与电子技术实验的基本要求	(271)
11.1.2	测量误差	(274)
11.1.3	实验数据的表示	(275)
11.1.4	实验数据的记录与整理	(277)
11.2	常用电子元件的识别与检测	(279)
11.3	基尔霍夫定律和叠加定理的验证	(282)
11.4	电压源与电流源的等效变换及受控电源特性的研究	(285)
11.5	戴维南定理	(291)
11.6	一阶电路实验	(294)
11.7	单级放大电路	(296)
11.8	负反馈放大器	(298)
11.9	门电路的应用	(302)
11.10	译码显示与计数	(304)
11.11	用电安全与实训	(308)
11.12	常用电工工具及仪器仪表的使用	(315)
11.13	导线的连接与绝缘的恢复	(318)
11.14	白炽灯的常用开关控制	(322)

11.15 单相电度表直接安装电路..... (326)

11.16 照明线路的安装及白炽灯的常用控制方法..... (329)

11.17 单相电动机正反转控制综合实训..... (331)

11.18 单相电度表间接安装实验..... (333)

11.19 三相异步电动机的直接启动..... (335)

11.20 常用低压电器的使用及三相电动机的正反转控制综合实训..... (337)

习题 11..... (343)

参考书目..... (344)

第1章 电路分析基础

电路理论根据电路模型探讨各种电路的分析（计算）方法和设计方法，并在此基础上，研究电路的电气特性。电路理论包括两方面的内容：一是电路分析；二是电路综合设计。

电路分析是电气信息类专业的一门基础学科。它的任务是在给定电路模型的情况下计算电路中各部分的电流 i 和（或）电压 u 。电路模型包括电路的拓扑结构、无源元件电阻 R 、储能元件电容 C 及电感 L 的大小、激励源（电流源或电压源）的大小及变化形式，如直流、单一频率的正弦波、周期性交流等。电路分析分为稳态分析和暂态分析两大部分。电路模型的状态始终不变（在 $-\infty < t < \infty$ 的范围内）时的电路分析谓之稳态分析；如果在某一瞬时（如 $t=0$ ）电路模型的状态突然改变，例如激励源的突然接通或切断等，这时的电路分析谓之暂态分析。本章首先介绍电路分析的一些基本概念，包括电路及电路模型、电路分析中涉及的一些基本物理量、组成电路的几种理想元件、分析电路的基本定律即基尔霍夫定律等内容；然后介绍电路分析中常用的一些分析方法，包括支路电流法、网孔电流法和节点电压法；最后介绍电路分析中常用的一些定理，我们可以通过应用这些定理来分析电路、简化电路，从而求得电路响应。本章着重以直流电路为例讨论电路分析的一般方法和定理的应用，这些分析方法和定理不仅适用于直流电路的求解，也适用于交流电路稳定响应的求解。第2章介绍动态电路的基本概念，换路定则及动态电路初始值的求解，着重介绍一阶动态电路的暂态响应。第3章介绍正弦信号与相量，电阻、电容和电感的相量模型，着重介绍应用相量法分析正弦稳态电路的稳态响应。第1章以直流电路为例来分析电路的响应，介绍的一些基本分析方法、定理也可以应用于第3章交流电路的分析。这两章的内容属于电路的稳态分析；第2章动态电路部分属于电路的暂态分析。

电路综合设计是在给定电路系统的输入（激励）与输出（响应）之间的规律（或技术指标）基础上，研究如何设计电路的形式并计算电路元件的参数，从而确定电路的结构。

1.1 电路基本概念

1.1.1 电路及电路模型

电路是为了某种需要由若干电路器件按照一定方式连接组成的总体。简单地说，电路是电流的通路或电流所流过的路径。电路器件指电源、电阻器、电容器、电感器、变压器、开关、晶体管等。在我们日常生活中，可以看到一个个实际的电路，如电力系统、话筒、计算机等。

电路的作用是多种多样的，一个重要作用是实现能量的传输和转换。电力系统是典型的例子：发电厂的发电机将各种形式的非电能（如燃料的化学能、流水的动能和势能等）转换为电能，通过输配电系统，将电能输送到分布在各地的用电部门。各种各样的用电器，又将电能转换成声、光、热、机械能等各种其他形式的非电能。

电路的另一种作用是信号处理。在某些电路中，电压、电流都携带着一定的信息，如话



筒。话筒的驻极体将声音转换成电信号，通过放大电路放大后，驱动扬声器发声。计算机控制系统中，将采集到的现场情况信号进行处理、运算，产生新的输出信号以进行实时控制。

概括地说，电路由 4 部分组成：电源、开关、连接导线和用电器。电源是提供电能的设备。电源的功能是把非电能转变成电能。例如，电池是把化学能转变成电能；发电机是把机械能转变成电能。由于非电能的种类很多，转变成电能的方式也很多。电源分为电压源与电流源两种。在电路中使用电能的各种设备统称为负载。负载的功能是把电能转变为其他形式能。例如，电炉把电能转变为热能；电动机把电能转变为机械能。通常使用的照明器具、家用电器、机床等都可称为负载。连接导线用来把电源、负载和其他辅助设备连接成一个闭合回路，起着传输电能的作用。

实际电路都是根据人们的需要将实际的电路元件或器件搭接起来，以完成人们的预想要求。为了便于用数学方法分析电路，一般要将实际电路模型化，用足以反映其电磁性质的理想电路元件或组合来模拟实际电路中的器件，从而构成与实际电路相对应的电路模型。理想电路元件是指在一定条件下，突出其主要电磁性，忽略次要因素，将实际电路元件理想化。由理想电路元件所组成的电路，就是实际电路的电路模型。同一个实际电器件可用不同的模型来表示，比如电阻器在低频应用时，可用一电阻元件作为其模型；在高频应用时，必须考虑电阻器引线电感和寄生电容的影响。理想电路元件主要有电源元件、电阻元件、电感元件和电容元件等。本书主要根据已建立的电路模型，研究电路的电压、电流和电功率等电气特性，如图 1.1.1 所示。

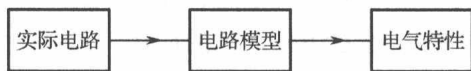


图 1.1.1 研究电路电气特性的建模过程

1.1.2 集中参数假设

根据实际电路的几何尺寸 l 与其工作信号波长 λ 之间的关系，可以将电路分为两大类：集中参数电路和分布参数电路。满足 $\lambda \gg l$ （如 $\lambda \geq 100l$ ）条件的电路称为集中参数电路，而不满足 $\lambda \gg l$ 条件的电路则称为分布参数电路。本书只讨论集中参数电路。

例 1.1.1 GSM900/1800 双频手机的工作信号频率为 900MHz 和 1800MHz，试判别该手机电路是否满足集中参数假设。

解 因为

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

所以

$$\lambda(900) = 0.33\text{m}, \lambda(1800) = 0.17\text{m}$$

在集成电路中，元器件的尺寸一般在微米级别。因而当手机电路采用大规模集成电路时，满足集中参数假设的要求。

1.1.3 电路的基本变量和关联参考方向

电路的特性是由电流、电压和电功率等物理量来描述的。电路分析的基本任务是计算电路中的电流、电压和电功率。

当电路中电流的方向不随时间发生变化时，称电路为直流电路；当电路中电流的方向随时间发生变化时，称电路为交流电路。依照国家标准，直流量用大写字母表示，例如，直流



电压、电流、电功率分别表示为 U 、 I 、 P 。交流量用小写字母表示，例如，交流电压、电流、电功率分别表示为 u 、 i 、 p 。

1. 电流和电流的参考方向

带电粒子（电子、离子）定向移动形成电流，其定义为：电流大小为单位时间内通过导体横截面的自由电子电荷量，电流方向为自由电子运动方向的反方向。其数学表达式为：

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt} \quad (1.1.1)$$

电荷的单位为库仑（C），电流的基本单位为安培（A）， $1\text{A}=1\text{C/s}$ 。实用中，电流的单位还有 kA 、 mA 、 μA ：

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

大小和方向均不随时间变化的电流，称为恒定电流，简称为直流（dc 或 DC）；大小和方向随时间变化的电流，称为时变电流，工程上把大小和方向周期性变化且平均值为零的时变电流称为交流（ac 或 AC）。

在分析电路时，往往不能事先确定电流的实际方向。而且时变电流或者交流电流的实际方向又随时间不断变化，不能够在电路图上标出适合于任何时刻的电流实际方向。为了电路分析和计算的需要，我们任意假定一个电流参考方向，用箭头标在电路图上。若电流实际方向与参考方向相同，则电流取正值；若电流实际方向与参考方向相反，则电流取负值。例如，在分析电路如图 1.1.2 所示之前，我们事先在电路图上假设电流的参考方向，电流参考方向如图 1.1.2 所示，可以任意假设。

假设电路经过计算得到 $I_1 = 5\text{A}$ ，则表示电流的实际方向与参考方向一致，电流从 a 流向 b；若电路经过计算得到 $I_1 = -5\text{A}$ ，则表示电流的实际方向与参考方向相反，电流从 b 流向 a。

电流的参考方向可以用两种方式表示：①用箭头标在电路图上，如图 1.1.2 所示；②采用双下标表示电流参考方向，如 I_{ab} 。

例 1.1.2 图 1.1.3 所示元件 N，当 $t \leq 6\text{s}$ 时，其上电流大小为 1.2A ，方向为从 a 流向 b；当 $t > 6\text{s}$ 时，电流大小为 3.0A ，方向为从 b 流向 a。根据图示参考方向，写出电流 i 的数学表达式。

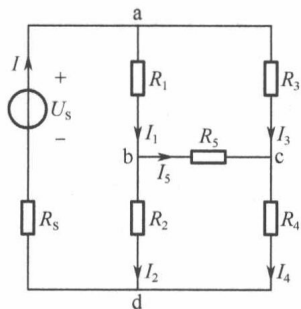


图 1.1.2 电流的参考方向



图 1.1.3 例 1.1.2 电路

解 $t \leq 6\text{s}$ 时， i 的数学表达式为

$$i = 1.2\text{A}$$



$t > 6s$ 时, i 的数学表达式为

$$i = -3.0A$$

负号表示电流的实际方向与图示参考方向相反。

2. 电压和电压的参考方向

电场力把单位正电荷从电路的一点移到另一点所做的功称为电路中两点间电压, 即

$$u(t) = \frac{dW(t)}{dq} \quad (1.1.2)$$

电压的基本单位为伏特 (V), $1V=1J/C$ 。实用中, 电压的单位还有 kV、mV、 μV :

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

大小和方向均不随时间变化的电压, 称为恒定电压或直流电压, 一般用符号 U 表示; 大小和方向随时间变化的电压, 称为时变电压, 一般用符号 u 表示。大小和方向周期性变化且平均值为零的时变电压, 称为交流电压。

物理中高电位通常用正极表示, 低电位通常用负极表示, 则习惯上电压的方向: “+” 表示正极, “-” 表示负极。电压的实际方向: 从高电位指向低电位。

与电流类似, 在分析电路时, 电路中各电压的实际方向或极性往往不能事先确定。所以, 在分析电路时, 必须规定电压的参考方向。假设在图 1.1.2 中, R_1 的电压为 U_1 , 其参考方向设定为上正下负, 如果计算出来的结果 $U_1=10V$, 则表示电压的实际方向与参考方向一致, a 点电位高于 b 点电位; 如果计算出来的结果 $U_1=-10V$, 则表示电压的实际方向与参考方向相反, b 点电位高于 a 点电位。

电压的参考方向可以用两种方式表示: ①用 “+” “-” 号在电路元件两端或者支路两端表示; ②采用双下标表示电压参考方向, 例如图 1.1.2 中电阻 R_1 的电压为 U_{ab} 。

电动势在数值上等于将单位电量正电荷从电源负极移到正极的过程中, 其他形式的能量转化成的电能的多少, 其正方向规定为电位升的方向; 而电压在数值上等于移动单位电量正电荷时电场力做的功, 就是将电能转化成的其他形式能量的多少, 其正方向规定为电压降的方向。

在图 1.1.2 中, 将电路中任一点作为参考点, 把 a 点到参考点的电压称为 a 的电位, 用符号 U_a 表示。如果电路中参考点变了, 则 U_a 就会随着变化。电路中 a 点到 b 点的电压, 就是 a 点电位与 b 点电位之差, 即 $U_{ab}=U_a-U_b$ 。

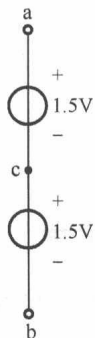


图 1.1.4 例 1.1.3 电路

例 1.1.3 电路如图 1.1.4 所示, 已知 $U_{ab}=1.5V$, $U_{bc}=1.5V$ 。求

- (1) 以 a 点为参考点, 求 b、c 两点的电位及 U_{ac} ;
- (2) 以 b 点为参考点, 求 a、c 两点的电位及 U_{ac} 。

解 (1) 以 a 点为参考点, $U_a=0$

$$U_{ab}=U_a-U_b \rightarrow U_b=U_a-U_{ab}=-1.5V$$

$$U_{bc}=U_b-U_c \rightarrow U_c=U_b-U_{bc}=-1.5-1.5=-3V$$

$$U_{ac}=U_a-U_c=0-(-3)=3V$$



(2) 以 b 点为参考点, $U_b = 0$

$$U_{ab} = U_a - U_b \rightarrow U_a = U_b + U_{ab} = 1.5\text{V}$$

$$U_{bc} = U_b - U_c \rightarrow U_c = U_b - U_{bc} = -1.5\text{V}$$

$$U_{ac} = U_a - U_c = 1.5 - (-1.5) = 3\text{V}$$

结论: 电路中电位参考点可任意选择。当选择不同的电位参考点时, 电路中各点电位将改变, 但任意两点间电压保持不变。

3. 关联参考方向

为了分析计算方便, 规范统一, 电流与电压往往采用关联参考方向。电压和电流的关联参考方向: 当参考电流从参考电压的正极 (+) 流入, 负极 (-) 流出, 则为关联参考方向; 否则为非关联参考方向。图 1.1.5 (a) 表示元件上的电压和电流取关联参考方向, 图 1.1.5 (b) 表示元件上的电压和电流为非关联参考方向。



图 1.1.5 电压和电流的参考方向

4. 电功率

电功率 (简称功率) 是电路在单位时间内吸收的能量。其定义为:

$$p(t) = \frac{dW(t)}{dt} \quad (1.1.3)$$

功率的单位为瓦特 (W)。实用中, 功率的单位还有 kW、mW:

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

当 u 、 i 取关联一致的参考方向时, 电路元件吸收的电功率可表示为

$$p(t) = \frac{dW(t)}{dt} = u(t)i(t) \quad (1.1.4)$$

当 u 、 i 取非关联一致参考方向时, 电功率可表示为

$$p(t) = -u(t)i(t) \quad (1.1.5)$$

不管 u 、 i 采取关联参考方向还是非关联参考方向, 当 $p > 0$ 时, 表示元件吸收功率, 当 $p < 0$ 时, 表示元件发出功率。

例 1.1.4 电路如图 1.1.6 所示, $U_1 = 10\text{V}$, $U_2 = 5\text{V}$ 。分别求电源、电阻的功率。

解 $I = U_R / 5 = (U_1 - U_2) / 5 = (10 - 5) / 5 = 1\text{A}$

$P_{R\text{吸}} = U_R I = 5 \times 1 = 5\text{W}$, 电阻吸收功率 5W

$P_{U_1\text{吸}} = -U_1 I = -10 \times 1 = -10\text{W}$, 电源 U_1 发出功率 10W

$P_{U_2\text{吸}} = U_2 I = 5 \times 1 = 5\text{W}$, 电源 U_2 吸收功率 5W

结论: 电路中所有元件吸收的功率等于所有元件发出的功率, 功率守恒。

例 1.1.5 电路元件情况如图 1.1.7 所示。



(1) 若元件 A 吸收的功率为 10W, 求电压 u_A ;

(2) 若元件 B 发出的功率为 12W, 求电流 i_B 。

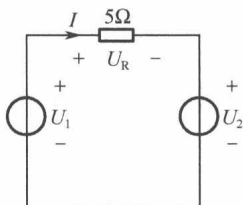


图 1.1.6 例 1.1.4 电路

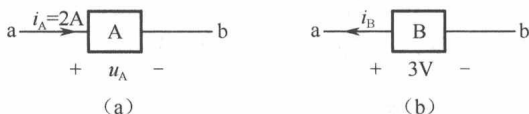


图 1.1.7 例 1.1.5 电路

解 (1) 对图 1.1.7 (a) 所示的元件 A 来说, 电压、电流参考方向关联, 所以

$$u_A = \frac{p_A}{i_A} = \frac{10}{2} = 5V$$

(2) 对图 1.1.7 (b) 所示的元件 B 来说, 电压、电流参考方向非关联, 所以

$$p_B = -u_B i_B \rightarrow i_B = -\frac{p_B}{u_B} = -\frac{-12}{3} = 4A$$

1.2 电路的基本元件

按电路元件与外电路连接端点的数目, 电路元件可分为二端元件、三端元件、四端元件等。本节介绍电路分析中 6 种常见的电路元件, 包括电阻、电容、电感、理想电压源、理想电流源和受控电源。

1.2.1 二端电阻元件

一个二端元件, 如果在任一时刻 t , 其端电压 $u(t)$ 与端电流 $i(t)$ 之间的关系可用代数方程表示, 则此二端元件称为电阻元件, 简称电阻。这里只讨论线性电阻。线性电阻是这样的理想元件: 当电压与电流取关联参考方向时, 在任一时刻, 其两端的电压 $u(t)$ 与通过它的电流 $i(t)$ 成正比, 用公式表达为:

$$u(t) = Ri(t) \quad (1.2.1a)$$

或

$$i(t) = Gu(t) \quad (1.2.1b)$$

式 (1.2.1) 就是欧姆定律公式。式中参数 R 称为电阻, 单位是欧[姆] (Ω); G 是 R 的倒数, 称为电导, 单位是西[门子] (S)。 R 和 G 都是与电压 u 和电流 i 无关的常量。

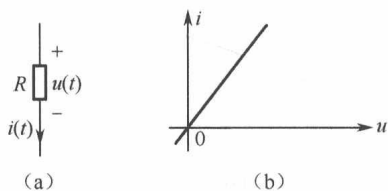


图 1.2.1 线性电阻的电路符号和伏安关系

线性电阻的电路符号和伏安关系如图 1.2.1 所示。

对线性时不变电阻来说, 其瞬时电功率为:

$$p = Ri^2 = Gu^2 \quad (1.2.2)$$

显然, 瞬时功率总为正值, 在从 $-\infty$ 到 t 的时间内, 电阻消耗的能量为:



$$W = R \int_{-\infty}^t i^2(\tau) d\tau = G \int_{-\infty}^t u^2(\tau) d\tau \geq 0 \quad (1.2.3)$$

所以线性时不变电阻是一种耗能元件。

1.2.2 二端电感元件

电感元件是物理中电感线圈的理想模型，其电路符号如图 1.2.2 所示。当线圈中通以电流 i ，在线圈中就会产生磁通。假设 1 匝线圈的磁力线数为 Φ ，电感元件线圈匝数为 N ，则电感元件的总磁通叫磁通链，记为 Ψ ，则有：

$$\Psi = N\Phi \quad (1.2.4)$$

对于线性电感，磁通链、电流和电感之间的关系是

$$\Psi = Li \quad (1.2.5)$$

磁通和磁通链的单位是韦伯，用 Wb 表示；电感的单位是韦/安，称为亨[利] (H)。实际上常取毫亨 ($1\text{mH}=10^{-3}\text{H}$) 或微亨 ($1\mu\text{H}=10^{-6}\text{H}$) 作单位。可见，当线圈通以 1A 电流时，若所激发的磁通为 1Wb ，则此线圈具有 1H 的电感。

当线圈通过的磁通链随时间变化时，线圈两端将产生感应电压，感应电压的大小等于磁通链的变化率，即

$$u = \frac{d\Psi}{dt} \quad (1.2.6)$$

将式 (1.2.5) 代入式 (1.2.6) 可得

$$u = \frac{d(Li)}{dt} = L \frac{di}{dt} \quad (1.2.7)$$

式 (1.2.6) 为电感的伏安关系。式 (1.2.6) 表明：电感电压与通过电感的电流变化率成正比，如果通过电感的电流是恒稳直流电流 I ，它对时间的导数为零，则此时电感两端电压等于零。因此在直流电路中，电感元件可以用一根理想导线来替代。

电感元件在任一时间内的储能可用下式计算

$$W(t) = \int_{-\infty}^t u i dt = G \int_0^{i(t)} L i di = \frac{1}{2} L i^2(t) \geq 0 \quad (1.2.8)$$

因此，电感是一种储能元件，其储存的磁场能只与该时刻电流的大小有关。

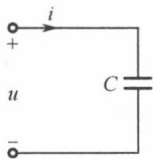


图 1.2.3 二端电容元件的电路符号

1.2.3 二端电容元件

电容元件是一种表征储存电荷特性的理想元件，其电路符号如图 1.2.3 所示。电容原始模型为由两块金属极板中间用绝缘介质隔开的平板电容器。当在两极板上加上电压 u 后，极板上分别积聚着等量的正负电荷 q ，在两个极板之间产生电场。在两极板所加电压越大，则极板上积聚的电荷越多，所形成的电场就越强，电容元件所储存的电场能也就越大。这里只讨论线性电容，则

$$q = Cu \quad (1.2.9)$$

式中参数 C 称为电容，其单位是法[拉] (F)，实用上常以微法 ($1\mu\text{F}=10^{-6}\text{F}$) 或皮法 ($1\text{pF}=10^{-12}\text{F}$) 作单位。