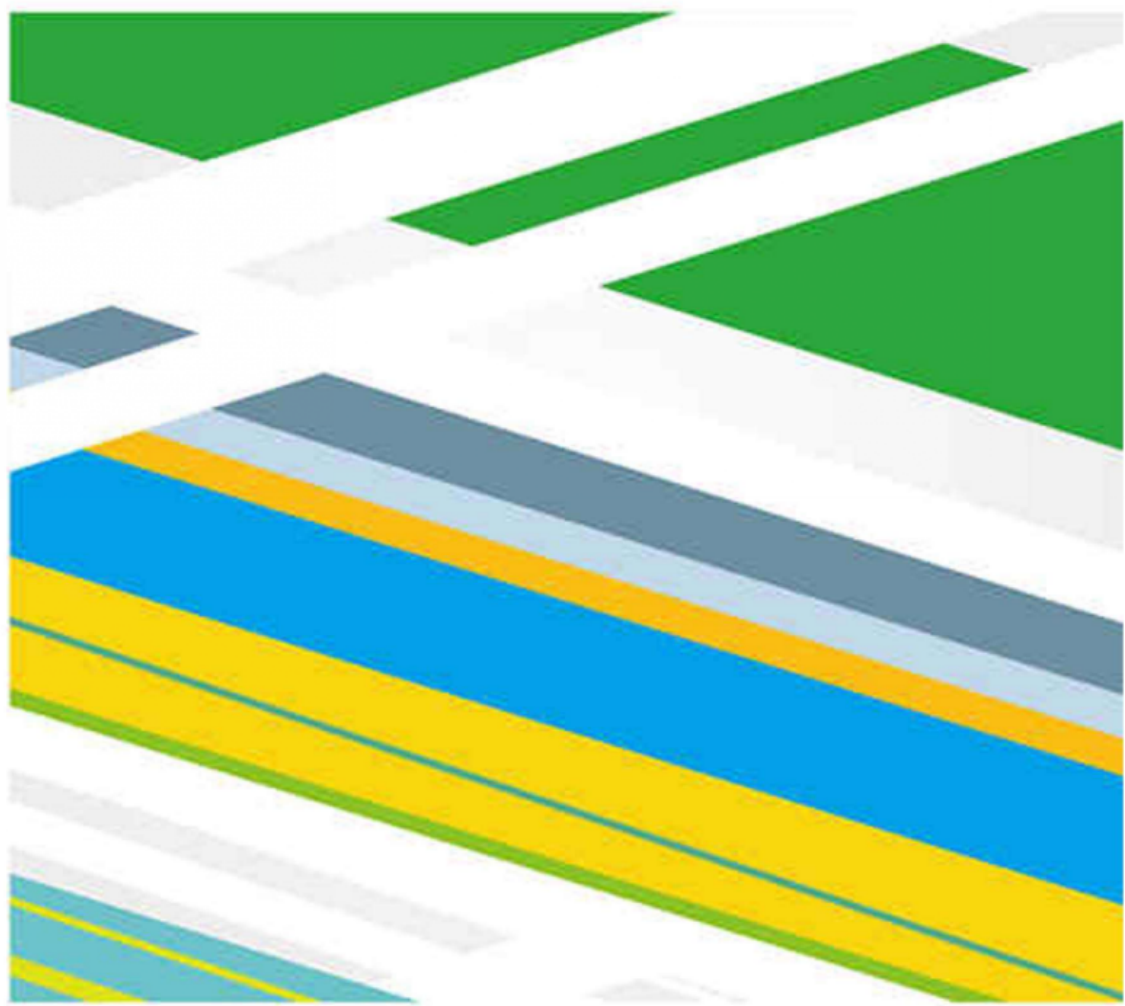




电子技术基础

主 编 史金芬 张静静
副主编 张 旭 戴 西 黄寒华

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

电子技术基础

主 编 史金芬 张静静

副主编 张 旭 戴 西 黄寒华

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书较系统地讲述了电工电子技术的相关基础知识及电子电路的组成、工作原理与应用。全书共 9 章, 主要内容包括: 电路分析基础知识, 半导体二极管、三极管, 放大电路基础, 集成运算放大电路及应用, 逻辑代数基础, 组合逻辑电路, 时序逻辑电路, 脉冲波形的产生与变换, 综合应用实例。

本书内容全面、结构合理、条理分明、概念清楚、例题丰富, 可作为高等院校计算机科学与技术、软件工程、网络工程、物联网工程和信息技术等专业的电路电子专业基础课的教材, 也可供从事相关工作的科技人员及各类自学人员学习参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

电子技术基础 / 史金芬, 张静静主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2016.8
ISBN 978-7-5682-3001-8

I. ①电… II. ①史… ②张… III. ①电子技术 IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 205274 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 18

字 数 / 423 千字

版 次 / 2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷

定 价 / 49.00 元

责任编辑 / 陈莉华

文案编辑 / 陈莉华

责任校对 / 王素新

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前 言

随着“新型应用型本科院校”的快速发展和教学改革的不深入，人才培养定位上已经呈现出职业适应性和规格多样性特征，以社会需要、职业需要为核心的课程体系要紧紧围绕专业能力为核心来构建、取舍、优化、整合。计算机科学与技术、软件工程、网络工程、物联网工程等计算机类专业为配合专业改造与升级的需要，开始了新一轮的专业建设与教学改革。课程体系、教学内容改革又是专业建设的重点内容。

本课程是为了配合上述各专业教学改革和课程改革而设置的第一门硬件基础课程，是对原有的“电路分析”“模拟电子电路”和“数字逻辑”三门课程进行删减、整合、更新和重组而成的一门课程。课程建设以“必需、够用”为度，强调学生逻辑设计能力的培养，兼顾计算机专业硬件发展方向的需求，并加强与后续课程的教学衔接，对教学内容和课程体系进行改革。电路分析仅保留电路的基本分析定理和交流电的相量表示，模拟部分的重点放在放大电路分析和集成运放的应用电路上。整个课程的重点在数字逻辑部分，包括基础理论知识、基本器件知识以及组合逻辑电路和时序逻辑电路的分析和设计方法、可编程逻辑器件（PLD）的原理与应用、波形产生与整形。

本教材具有以下特点：

（1）借鉴国内外著名大学的先进经验，本教材保持基本内容的完整性和理论的系统性，突出电子电路的一般原理，强调系统性，重视功能部件的性能分析和应用。精心设计教学内容，使读者能够运用基本原理和基本方法，对理论问题与实际问题进行分析、处理和设计。

（2）重视各章主要知识点及重点、难点内容的指导。本教材为保证读者在各章节完整的学习之后，对本章的主要知识点、重点和难点有更清晰的理解，在每章的小结中，采用了表格的形式进行归纳说明，有利于抓住知识的核心部分，由面到点地梳理所学知识，形成系统的知识架构。

（3）丰富的例题和设计实例。作者在编写本教材时充分总结多年来的教学经验，在全面介绍系统原理知识的同时，对难学、难理解的部分进行充分的解释和举例说明，将原本复杂抽象的问题通过一些特定的实例进行阐述和分析。

（4）引入 Multisim（虚拟电子实验室）和 HDL、EDA（电子设计自动化）技术等计算机辅助设计的新知识，介绍基于这些新技术的电路的分析方法和设计方法，利用 Multisim 工具的仿真功能，随时可以对设计进行仿真验证，并可以通过仿真波形观察到电路内部的工作时序，加深学生对电路工作原理的理解，增加学习兴趣。

（5）本教材除增加一些常规的例题，使之更适应应用型本科学生的需求外，还增加了一些实用性强、应用广泛、有一定难度的实例，既能增强学生系统设计能力，也有利于培养学

生的逻辑思维能力。精选习题，让习题起到既利于学生对课程知识的巩固，又利于学生创新和开拓精神培养的作用。

(6) 带*的部分为选讲内容。略去这些内容不影响理论体系的完整性。

本书第 1、9 章由戴西编写，第 2、3、4 章由张静静编写，第 5、6 章由张旭编写，第 7、8 章由史金芬编写。全书由史金芬统稿。张静静、黄寒华对部分文稿进行了认真的审阅。

在编写过程中得到了许多兄弟院校同行们的大力支持和帮助，提了许多宝贵的意见和建议，在此表示感谢。同时参考了大量的相关文献，在此向这些文献的作者表示感谢。同时感谢北京理工大学出版社的大力支持。

由于时间紧迫及水平有限，错误和不足之处在所难免，敬请广大读者和专家批评指正。

编 者

2016 年 5 月

目 录

第 1 章 电路分析基础知识	1
1.1 电路的基本知识	1
1.1.1 电路	1
1.1.2 电流	2
1.1.3 电压、电位	2
1.1.4 功率	3
1.1.5 电路基本元件	4
1.1.6 电源	6
1.2 简单的电阻电路	8
1.2.1 电阻的串联	8
1.2.2 电阻的并联	9
1.2.3 简单的电阻电路	10
1.3 基尔霍夫定律	11
1.3.1 基尔霍夫电流定律	12
1.3.2 基尔霍夫电压定律	13
1.3.3 支路电流分析法	14
1.3.4 网孔电流法	15
1.3.5 节点电位法	17
1.4 叠加原理	18
1.5 等效电源定理	20
1.5.1 戴维南定理	20
1.5.2 诺顿定理	22
1.6 交流电的基本概念	23
1.6.1 正弦交流电	23
1.6.2 交流电的相量表示	25
1.6.3 基尔霍夫定律的相量形式	27
1.6.4 单一元件参数电路	27
1.7 用 Multisim 对直流电路进行分析	32
1.8 本章小结	33
思考与练习	36
第 2 章 半导体二极管、三极管	41
2.1 PN 结	41

2.1.1 半导体的基础知识	41
2.1.2 PN 结的形成	42
2.1.3 PN 结的导电特性	43
2.2 二极管	44
2.2.1 二极管的结构和类型	44
2.2.2 二极管的伏安特性	44
2.2.3 二极管的主要参数	45
2.2.4 二极管的应用	46
2.2.5 其他二极管简介	48
2.3 三极管	50
2.3.1 三极管的结构和类型	50
2.3.2 三极管的基本工作原理	51
2.3.3 三极管的伏安特性	52
2.3.4 三极管的主要参数	54
2.4 本章小结	55
思考与练习	56
第 3 章 放大电路基础	59
3.1 基本放大电路的工作原理	59
3.1.1 放大电路的基本概念	59
3.1.2 基本放大电路的主要性能指标	60
3.1.3 基本放大电路的组成和工作原理	61
3.2 放大电路的分析	62
3.2.1 静态分析	63
3.2.2 动态分析	64
3.2.3 稳定静态工作点的放大电路	72
3.3 放大电路的基本组态	75
3.3.1 共集电极放大电路	75
3.3.2 共基极放大电路	76
3.3.3 三种基本放大电路的比较	77
3.4 多级放大电路	78
3.4.1 多级放大电路的组成	78
3.4.2 多级放大电路的耦合方式	78
3.4.3 多级放大电路的分析计算	79
3.5 用 Multisim 对共射极单管放大电路进行分析	81
3.6 本章小结	83
思考与练习	84
第 4 章 集成运算放大电路及应用	89
4.1 集成运算放大器概述	89
4.1.1 集成运算放大器简介	89

4.1.2 集成运算放大器的组成	89
4.1.3 集成运算放大器的性能指标	94
4.2 放大电路中的反馈	95
4.2.1 反馈的基本概念	95
4.2.2 反馈放大电路的类型及判别	95
4.2.3 负反馈放大器的基本关系式	99
4.2.4 负反馈对放大电路性能的改善	100
4.3 集成运放组成的运算电路	102
4.3.1 理想运算放大器的技术指标	102
4.3.2 理想运放工作在线性区的特点	102
4.3.3 比例运算电路	103
4.3.4 加法电路	105
4.3.5 减法电路	106
4.3.6 积分电路	108
4.3.7 微分电路	109
4.4 电压比较器	109
4.4.1 过零电压比较器	110
4.4.2 回滞电压比较器	111
4.5 用 Multisim 对反相比例放大电路进行分析	113
4.6 本章小结	114
思考与练习	116
第 5 章 逻辑代数基础	119
5.1 概述	119
5.1.1 数字信号与数字电路	119
5.1.2 脉冲与脉冲参数	119
5.2 数制与编码	120
5.2.1 几种常见数制及转换	120
5.2.2 二进制算术运算	123
5.2.3 几种常见编码	125
5.3 基本逻辑运算	127
5.3.1 与运算	127
5.3.2 或运算	129
5.3.3 非运算	130
5.3.4 复合逻辑运算	131
5.4 逻辑代数的公式与法则	133
5.4.1 基本公式	133
5.4.2 常用公式	134
5.4.3 基本规则	134
5.5 逻辑函数的表示方法	135

5.5.1 真值表	135
5.5.2 表达式	135
5.5.3 逻辑图	139
5.5.4 卡诺图	140
5.5.5 硬件描述语言	142
5.5.6 用 Multisim 进行逻辑函数转换	146
5.6 逻辑函数的简化	147
5.6.1 公式简化法	147
5.6.2 卡诺图简化法	148
5.6.3 具有约束的逻辑函数的化简	150
5.6.4 用 Multisim 进行逻辑函数化简	150
5.7 本章小结	151
思考与练习	154
第 6 章 组合逻辑电路	157
6.1 门电路	157
6.2 组合逻辑电路的分析与设计	160
6.2.1 组合逻辑电路的分析	160
6.2.2 组合逻辑电路的设计	161
6.3 几种常用的中规模集成器件	162
6.3.1 编码器	163
6.3.2 译码器/数据分配器	167
6.3.3 数据选择器	172
6.3.4 加法器	175
6.3.5 数值比较器	179
6.4 组合逻辑中的竞争冒险	181
6.4.1 竞争冒险的原因	181
6.4.2 竞争冒险的判别	182
6.4.3 竞争冒险的消除	183
6.5 可编程逻辑器件	183
6.5.1 可编程逻辑器件的发展历程	184
6.5.2 可编程逻辑器件的分类	184
6.5.3 简单 PLD 结构原理	185
6.5.4 复杂 PLD 结构原理	187
6.6 用 Multisim 分析组合逻辑电路	188
6.7 本章小结	190
思考与练习	191
第 7 章 时序逻辑电路	194
7.1 概述	194
7.2 触发器	195

7.2.1 RS 锁存器	195
7.2.2 RS 触发器	198
7.2.3 D 触发器	200
7.2.4 JK 触发器	201
7.2.5 T 触发器	202
7.2.6 实际使用的触发器	203
7.3 时序逻辑电路的分析	205
7.3.1 同步时序逻辑电路的分析	205
7.3.2 异步时序逻辑电路的分析	209
7.4 常用中规模时序逻辑器件	211
7.4.1 计数器	211
7.4.2 寄存器	218
7.4.3 计数器的应用	221
7.5 典型同步时序逻辑电路的设计	224
7.6 本章小结	228
思考与练习	230
第 8 章 脉冲波形的产生与变换	236
8.1 555 集成定时器	236
8.1.1 555 定时器的电路结构	236
8.1.2 555 定时器的逻辑功能	237
8.2 多谐振荡器	238
8.2.1 由与非门构成的多谐振荡器	238
8.2.2 555 构成的多谐振荡器	239
8.2.3 石英晶体振荡器	241
8.3 施密特触发器	242
8.3.1 施密特触发器的功能	242
8.3.2 555 定时器构成施密特触发器	243
8.3.3 施密特触发器的应用	243
8.4 单稳态触发器	244
8.5 本章小结	245
思考与练习	246
第 9 章 综合应用实例	248
9.1 简单运算单元电路的设计	248
9.1.1 设计内容与要求	248
9.1.2 基本功能设计	248
9.1.3 附加功能设计	249
9.2 一个商售 ALU 芯片电路的分析	250
9.2.1 一个 4 位 ALU 芯片 SN74181 电路	250
9.2.2 4 位 ALU 芯片 SN74181 的运算分析	250

9.3 简易自动售货机控制电路的设计	253
9.3.1 设计内容要求	253
9.3.2 基本功能设计	253
9.3.3 附加功能设计	255
9.4 汽车尾部转向指示灯控制电路的设计	257
9.4.1 设计内容要求	257
9.4.2 功能电路设计	257
9.5 本章小结	259
思考与练习	260
部分习题参考答案	261
参考文献	271

第 1 章

电路分析基础知识

电路分析，是分析在电路中流经各电子器件的电流和其两端电压的一套计算技术与相关理论，是电路学、电子学、电磁学等相关学科的基础组成部分。本章主要介绍直流电路中一些基本的物理量、电路的组成、电路分析定理，以及交流电的基本概念。重点介绍电路分析中的基尔霍夫定律、叠加原理、戴维南定理以及基本的电路分析方法。

电路分析中，为了定量描述电路的状态和电路中各器件的电性能而普遍使用的基本物理量有电流、电压、电荷、功率等。电路分析的基本任务就是计算电路中的这些物理量。

1.1 电路的基本知识

1.1.1 电路

将电气设备或电路组成器件与电源通过电导体按一定的方式连接起来，所形成的电流的通路，称为电路。

电路在日常生活、生产和科学研究工作中都得到了广泛的应用。最简单的电路组成器件就是电源、负载、导线和开关。由简单的电路组成器件组成的电路，比如手电筒就是一个简单电路，如图 1-1-1 (a) 所示。对于一些复杂电路，除上述组成器件外，还加进了一些中间环节，如收音机，就有用于进行信号接收、处理的中间环节，比如放大电路等。

1. 电路模型

为了便于对实际电路进行分析，通常将实际的电路器件理想化、模型化（即忽略其次要因素，仅突出其主要特性），将其近似地看作理想电路器件，用各自规定的专用符号来表示电路的组成，就构成了电路模型，即电路图，如图 1-1-1 (b) 所示，它是图 1-1-1 (a) 电路的电路模型。

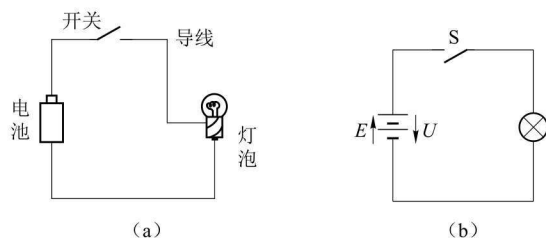


图 1-1-1 手电筒电路及其电路模型

2. 电路的三种状态

电路的状态主要分为三种：工作状态、开路状态和短路状态。

(1) 工作状态：即电路的开关接通、电源供电、负载消耗电能，电路中形成电流回路的状态，是电路的一种正常状态。

(2) 开路状态：又称断路，即电路的开关断开，电源不提供电能，负载处于停机不工作

状态，电路中没有电流，也是电路的一种正常状态。

(3) 短路状态：这是一种不正常状态，也是最严重、最危险的状态。短路状态下电源两端直接通过电导体相连，电源提供的电流将不经过负载而直接从电源的正极流向电源的负极，使得电路中电流过大，如果电路中没有过流保护装置，将会使电源或导线过热而烧毁。如电线老化形成的火灾就是由于电线绝缘层破损而造成电路短路过热而引起。

因此，实际电路中一定要接入过载和短路保护的熔断器，熔断器中电导体的熔点低于电路中的导线，从而在电路严重过载或短路时，能迅速自动熔解，切断故障电路而起到一定的保护作用。

1.1.2 电流

电荷有规则地定向移动形成电流。电流的大小用电流强度（也简称电流）来表示。电流的单位是安培，简称安（A）。常用的电流单位还有毫安（mA）、微安（ μA ）和千安（kA），它们的换算关系是：

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

习惯上，把正电荷定向移动的方向规定为电流的实际方向或正方向，负电荷（包括自由电子）定向移动的方向为电流的负方向。

如果电流的大小和方向不随时间的改变而变化，这种电流称为直流电流，通常用大写字母 I 来表示；如果电流的大小和方向都随时间的改变而变化，这种电流就称为交流电流，通常用小写字母 i 来表示。

在电路分析中，不仅要考虑电流的大小，也要考虑电流的方向。在无法确定某条支路上电流的实际方向时，通常的做法是先假设一个参考的正方向，并以此为基准进行计算。当电

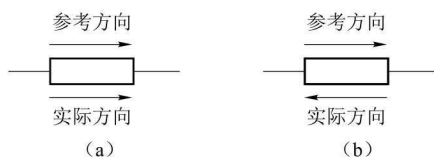


图 1-1-2 电流的参考方向与实际方向

(a) $i>0$; (b) $i<0$

流的计算结果是正值时，说明电流的实际流向与参考方向一致；当计算结果是负值时，说明电流的实际方向与参考方向相反。根据计算结果的正负可以确定电流的实际方向。本书中电流方向以箭头表示，电流参考方向与实际方向和电流值的关系如图 1-1-2 所示。

1.1.3 电压、电位

1. 电压

数值上，电场力将单位正电荷从电场中的 a 点移动到 b 点所做的功，等于 a 、 b 两点之间的电压，记作 U_{ab} 。如果电压的大小和方向不随时间的改变而变化，这种电压称为直流电压；如果电压的大小和方向都随时间的改变而变化，这种电压就称为交流电压。直流电压常用符号 U_{ab} 表示，交流电压用 u_{ab} 表示。电压的单位为伏特，简称伏（V）。常用的电压单位还有毫伏（mV）、微伏（ μV ）、千伏（kV）等。它们之间的换算关系是：

$$1\text{ V}=10^3\text{ mV}=10^6\text{ }\mu\text{V}, 1\text{ kV}=10^3\text{ V} \quad (1-1-2)$$

通常情况下，若 $U_{ab} > 0$ ，则电压的实际方向由 a 指向 b ；反之，若 $U_{ab} < 0$ ，则电压的实际方向由 b 指向 a 。

与假定电流的参考方向相同,在电压实际方向无法确定时,也可以先假定电压的参考正方向,当计算的电压值为正时,参考方向与实际方向一致,否则参考方向与实际方向相反。本书中电压方向以正负号表示,电压参考方向与实际方向和电压值的关系如图1-1-3所示。

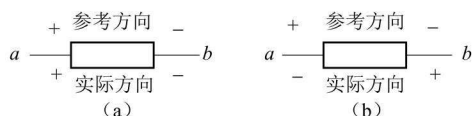


图 1-1-3 电压的参考方向与实际方向

(a) $u>0$; (b) $u<0$

2. 电位

电位是电路分析中另一个重要的概念。

在电路中任选一点作参考点,那么,电路中任意一点到参考点之间的电压,就称作该点的电位。电位的单位和电压相同,也是伏特(V)。

在电路中,参考点可以任意选定,在一个电路中,只能有一个参考点。电子电路中,一般选择若干导线的交点或者机器外壳作电位的参考点,用符号“ $\perp$ ”表示。参考点的电位规定为零,因此参考点也称零电位点。应该注意的是,电路中的电位值根据选择参考点的不同而不同,但两点间的电位差值是绝对的。由电位也可以判断电压的方向,习惯上把电位降低的方向作为电压的实际方向。

3. 电压与电位的关系

电位与电压在表达形式上有区别,但从本质上来说是相同的。电路中两点之间的电压等于这两点的电位差,其数值是绝对的。

$$U_{ab} = V_a - V_b = -(V_b - V_a) = -U_{ba} \quad (1-1-3)$$

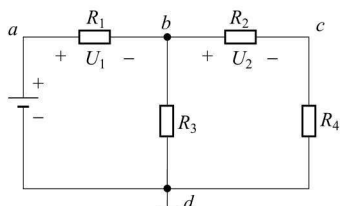


图 1-1-4 例 1-1-1 的图

【例 1-1-1】如图 1-1-4 所示电路中,已知 a 、 b 、 c 点的电位为 $V_a = 5\text{ V}$, $V_b = 20\text{ V}$, $V_c = 10\text{ V}$, 其中 d 为参考点,求电阻 R_1 和 R_2 两端的电压。

解: 设 R_1 、 R_2 两端电压的参考方向如图所示。

$$R_1 \text{ 两端的电压为: } U_1 = V_a - V_b = -15\text{ V}$$

$$R_2 \text{ 两端的电压为: } V_b - V_c = 10\text{ V}$$

计算结果表明: R_1 上电压的实际方向与参考方向相反, R_2 上电压的参考方向就是实际方向。

1.1.4 功率

电场力在单位时间内所做的功,称为功率。用大写字母 P 表示。功率的单位是瓦特,简称瓦(W),常用的功率单位还有毫瓦(mW)、千瓦(kW),换算关系为:

$$1\text{ kW} = 10^3\text{ W} = 10^6\text{ mW} \quad (1-1-4)$$

一个元件的功率,等于它两端的电压和流过它的电流之积,其中电压、电流参考方向一致。

$$P = UI \quad (1-1-5)$$

如果功率的计算结果为正值,即 $P>0$,则表明元件吸收功率(消耗功率),此时元件为负载;而如果功率的计算结果为负值,即 $P<0$,则元件发出功率(产生功率),此时元件就是电源。

【例 1-1-2】求图示各元件的功率及其在电路中起到的作用。

解：图 1-1-5 (a) 中元件上电压与电流的参考方向一致，则

$$P=UI=2\times 5=10\text{ (W)}$$

$P>0$ ，元件吸收 10 W 功率，起负载作用。

图 1-1-5 (b) 中元件上电压与电流的参考方向相反，则

$$P=-UI=-2\times (-5)=10\text{ (W)}$$

$P>0$ ，元件吸收 10 W 功率，起负载作用。

图 1-1-5 (c) 中元件上电压与电流的参考方向相反，则

$$P=-UI=-2\times 5=-10\text{ (W)}$$

$P<0$ ，元件产生 10 W 功率，起电源作用。

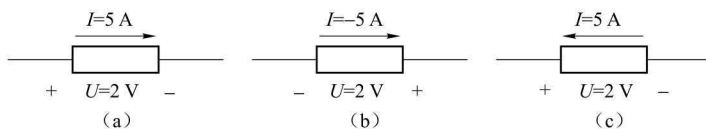


图 1-1-5 例 1-1-2 的图

1.1.5 电路基本元件

1. 电阻

导体对电子运动呈现的阻力称为电阻。电阻的主要物理特征是变电能为热能，如电灯泡、电热器等工作时要消耗电能，并且把电能转化为热能和光能，这些能够消耗电能的器件特性就叫作它们的电阻特性。实际器件的电阻特性在电路中常用电阻元件来表示，电阻元件简称电阻，用大写字母 R 表示。电阻的单位为欧姆 (Ω)。常用的电阻单位还有千欧 ($\text{k}\Omega$)、兆欧 ($\text{M}\Omega$) 等。它们之间的换算关系是：

$$1\text{ M}\Omega=10^3\text{ k}\Omega=10^6\text{ }\Omega \quad (1-1-6)$$

一般情况下，我们认为电阻是线性元件，即电阻两端电压与电阻上流过的电流成正比，符合欧姆定律。欧姆定律的一般描述为：在同一电路中，通过某段导体的电流跟这段导体两端的电压成正比，跟这段导体的电阻成反比。即

$$i=\frac{u}{r} \quad (1-1-7)$$

根据电阻值是否能够变化，可以将电阻分为固定电阻和可变电阻（也叫可变电阻器或电位器）。两种电阻元件的符号如图 1-1-6 所示。

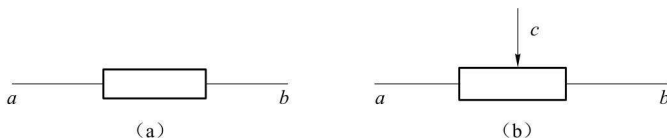


图 1-1-6 电阻元件的符号

(a) 固定电阻；(b) 可变电阻

可变电阻器中, a 、 b 两端为固定端, 移动 c 端可调节阻值, 称为阻值调整端, 也称变阻端。

2. 电容

电容指容纳电荷的能力。电容器, 简称电容, 是一种能够积累电荷、储存电能的元件, 通常由两个相互绝缘的极板中间填充介质组成。电容器在工程上应用十分广泛, 常用的有空气电容器、云母电容器、电解电容器、贴片电容器等。电容元件的电容量反映了储存电能能力的大小, 用大写字母 C 表示, 单位为法拉 (F), 简称法。实际中常用的电容单位有微法 (μF) 或皮法 (pF), 它们的换算关系为:

$$1\text{ F} = 10^6\ \mu\text{F} = 10^{12}\ \text{pF} \quad (1-1-8)$$

电容的符号如图 1-1-7 所示。

对于线性电容, 其极板上所储存的电荷量 q 与两极板间的电压 u 成正比例关系, 表达式为:

$$q = Cu \quad (1-1-9)$$

电容上电压与电流的关系为:

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-1-10)$$

由式 (1-1-10) 可以看出, 电容上的电流与该时刻电压的变化率成正比, 电压变化得越快, 则电流越大; 反之如果电压保持不变, 则电流为 0。所以说, 电容元件的导电特性是: 通交流, 阻直流; 通高频, 阻低频。

3. 电感

在许多电路中, 除了电阻和电容以外, 还有各种线圈。当线圈通过电流后, 在线圈中形成磁场感应。当通过线圈的电流发生变化时, 感应磁场又会产生感应电流来抵制通过线圈中的电流变化。这种电流与线圈的相互作用关系称为电的感抗, 简称电感; 线圈被称为电感线圈。在电路模型中, 电感符号如图 1-1-8 所示。

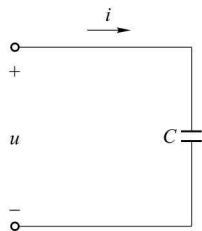


图 1-1-7 电容

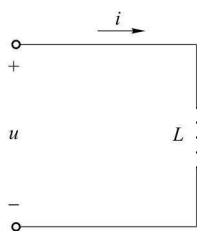


图 1-1-8 电感

电感线圈是一种能够存储磁场能量的元件, 电感的大小反映了线圈通电以后产生磁通量能力的强弱, 与线圈的匝数、尺寸、材质和填充介质有关。电感用大写字母 L 表示, 单位是亨利 (H), 简称亨。实际中常用的电感单位有毫亨 (mH), 它们的换算关系为:

$$1\text{ H} = 10^3\ \text{mH} \quad (1-1-11)$$

电感上的电压与电流关系为:

$$u = L \frac{di}{dt} \quad (1-1-12)$$

电感元件的导电特性是：通直流，阻交流。

1.1.6 电源

电源就是把其他能量转化为电能的装置。电源的种类多种多样，常见的如干电池、蓄电池、光电池、发电机等，它们分别将化学能、光能、机械能转化为电能。在电路分析中，我们主要关注电源为电路提供电能的特性，即电源向电路供电时输出端的输出电压与输出电流的关系，也就是电源的伏安特性。根据提供电能性质的不同，电源可分为两大类：电压源和电流源。

1. 电压源

理想电压源：电路分析理论中，若不考虑电源内部的电阻等因素，可以认为电压源在工作时，无论输出端的电流如何变化，其输出端电压为恒定值或固定的时间函数，而输出端电流则取决于外接负载，这就是理想电压源。理想电压源一般符号如图 1-1-9 (a) 所示。

实际电压源：理想电压源实际上是不存在的，任何一个电源都存在有一定的内阻，实际的电压源相当于一个理想电压源 U_S 与一个电阻 R_S 串联而成，接通负载后，其输出端电压会随输出端电流变化而变化。当外电路开路时，由于此时电源内部无电流流过，内阻不消耗电能，所以实际电压源在不接负载时不消耗电能。实际电压源符号如图 1-1-9 (b) 所示。

2. 电流源

理想电流源：与理想电压源相同，如果不考虑电源内部的电阻等因素，可以认为电流源在工作时，无论输出端的电压如何变化，其输出的电流为恒定值或固定的时间函数，而它的输出端电压则与外接负载有关，这就是理想电流源。理想电流源的一般符号如图 1-1-10 (a) 所示。

实际电流源：实际上，任何一个电源都存在有一定的内阻，其输出端电流会随输出端电压的变化而改变。实际的电流源可看作一个理想电流源与一个电阻并联而成。

实际电流源在外电路开路时，电源内部始终有电流流过，内阻会消耗电能。所以实际电流源在不接负载时，也会消耗电能。实际电流源符号如图 1-1-10 (b) 所示。

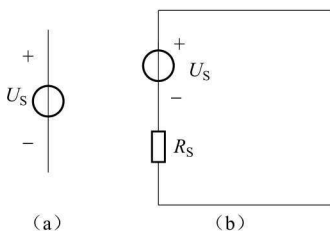


图 1-1-9 理想电压源和实际电压源

(a) 理想电压源; (b) 实际电压源

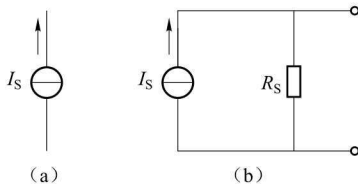


图 1-1-10 理想电流源和实际电流源

(a) 理想电流源; (b) 实际电流源

3. 电压源与电流源的等效变换

在电路分析中，常用等效变换的方法来变换或简化电路的结构，使电路便于分析。

所谓等效变换是对外电路而言的，当用新的电路结构替代原电路中某一部分结构时，该