



全国高等职业教育规划教材

电工与电子技术

韩敬东 主编

- ◎ 本书包括电路基础、模拟电子技术和数字电子技术三个模块，重点介绍电工与电子技术的应用
- ◎ 每章的基础知识讲解后都配有实训内容，以提高学生的动手能力



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



免费下载电子课件
<http://www.cmpedu.com>



ISBN 978-7-111-26070-7

封面设计:  子时文化
ZISHI Culture

全国高等职业教育规划教材

书 名	作 者	书 号
● 电工与电子技术 (含电子课件)	韩敬东	ISBN 978-7-111-26070-7
● 电路基础 第2版 (含电子课件)	田淑华	ISBN 978-7-111-08301-6
● 电路基础习题解答与实践指导	田淑华	ISBN 978-7-111-14700-8
● 模拟电子技术基础 (含电子课件)	张志良	ISBN 978-7-111-19362-3
● 模拟电子学习指导与习题解答	张志良	ISBN 978-7-111-19361-6
● 数字电子技术基础 (含电子课件)	张志良	ISBN 978-7-111-21516-5
● 数字电子技术学习指导与习题解答	张志良	ISBN 978-7-111-21517-2
● 模拟电子电路 (含电子课件)	朱晓红	ISBN 978-7-111-20194-6
● 数字电路 (含电子课件)	刘 勇	ISBN 978-7-111-20480-0
● 电子技术基础 (含电子课件)	张志良	ISBN 978-7-111-25215-3
● 电工电路测试与设计 (含电子课件)	季顺宁	ISBN 978-7-111-25056-2
● 低频电子线路 (含电子课件)	纪静波	ISBN 978-7-111-24943-6

编辑热线: (010) 88379753 88379739

地址: 北京市百万庄大街22号

联系电话: (010) 68326294

邮政编码: 100037

网 址: <http://www.cmpedu.com> (机工教材网)

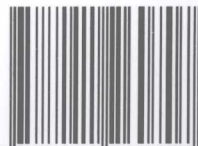
E-mail: cmp@cmpedu.com

网 址: <http://www.cmpbook.com> (机工门户网)

E-mail: cmp@cmpbook.com

定价: 26.00元

ISBN 978-7-111-26070-7



9 787111 260707 >

全国高等职业教育规划教材

电工与电子技术

韩敬东 主编



机械工业出版社

本书根据全国高等职业院校教材编委会的有关要求编写,内容包括电路基础、模拟电子技术、数字电子技术三个模块。其中,电路基础部分包括电路分析理论基础、正弦交流电路分析;模拟电子技术部分包括半导体器件与基本放大电路、集成运算放大器、直流稳压电源;数字电子技术部分包括逻辑代数基础、门电路与组合逻辑电路、触发器与时序逻辑电路、脉冲波形的产生与整形、存储器。本教材参考学时数为 90 学时。

本书可作为高职高专院校机电类专业、自动化类专业、计算机专业和通信工程等专业的教材,也可供有关技术人员自学和参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术/韩敬东主编. —北京:机械工业出版社,
2009.3

全国高等职业教育规划教材

ISBN 978-7-111-26070-7

I. 电… II. 韩… III. ①电工技术②电子技术 IV. TM.
TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 004897 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:祝伟 版式设计:张世琴

责任校对:申春香 责任印制:杨曦

北京鑫海金澳胶印有限公司印刷

2009 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·15.25 印张·376 千字

0001—4000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-26070-7

定价:26.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379753 88379739

封面无防伪标均为盗版

出版说明

根据《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位,促进学生技能的培养,以及教材内容要紧密结合生产实际,并注意及时跟踪先进技术的发展等指导精神,机械工业出版社组织全国近 60 所高等职业院校的骨干教师对在 2001 年出版的“面向 21 世纪高职高专系列教材”进行了全面的修订和增补,并更名为“全国高等职业教育规划教材”。

本系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会分别会同各高职高专院校的一线骨干教师,针对相关专业的课程设置,融合教学中的实践经验,同时吸收高等职业教育改革的成果而编写完成的,具有“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。在几年的教学实践中,本系列教材获得了较高的评价,并有多品种被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在修订和增补过程中,除了保持原有特色外,针对课程的不同性质采取了不同的优化措施。其中,核心基础课的教材在保持扎实的理论基础的同时,增加实训和习题;实践性较强的课程强调理论与实训紧密结合;涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法。同时,根据实际教学的需要对部分课程进行了整合。

归纳起来,本系列教材具有以下特点:

- (1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- (2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度,强调专业技术应用能力的训练,适当增加实训环节。
- (3) 符合高职学生的学习特点和认知规律。对基本理论和方法的论述要容易理解、清晰简洁,多用图表来表达信息;增加相关技术在生产中的应用实例,引导学生主动学习。
- (4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新,及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材。同时注重吸收最新的教学理念,并积极支持新专业的教材建设。
- (5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合,提高教学服务水平,为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快,加之我们的水平和经验有限,因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和错误。我们恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息,以利于我们今后不断提高教材的出版质量,为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

前 言

本书是根据“全国高等职业院校规划教材编委会”的要求，经过编委会成员的认真讨论并最终确定的高职高专“电工与电子技术”课程的配套教材。

本书在编写中体现以能力为本位的指导思想，强调知识的实用性，降低了理论分析的难度和深度，以“必需”和“够用”为尺度，编排时大量削减分立元器件的介绍，重点突出集成电路的特性和应用。

本书每一章在基础理论知识讲解后都配有实训内容，教师在教学过程中可根据各院校的实际情况，将理论教学安排在实训室进行，以便进一步加强理论与实践的联系，提高学生的动手能力。

参加本书编写的人员及分工如下：山东信息职业技术学院韩敬东（前言和第4、5、10章），山东信息职业技术学院张文（第1章），河南信息职业技术学院叶原（第2章），山东信息职业技术学院王付华（第3章），湖南信息职业技术学院李颖（第6、7章），上海电子职业技术学院郭瑜心（第8、9章）。本书由韩敬东任主编，并统编全稿。北京信息职业技术学院赵便华担任本书的主审。

在本书的内容选取及编写大纲的修订过程中，山东信息职业技术学院的张伟、廉亚囡等老师给予了极大的帮助，在此谨向这些同仁表示诚挚的谢意！

由于编者水平所限，书中的错误和不妥之处在所难免，欢迎广大读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第1章 电路分析理论基础 1

1.1 电路模型与电路变量 1

1.1.1 电路与电路模型 1

1.1.2 电流及其参考方向 2

1.1.3 电压及其参考方向 3

1.1.4 电功率 4

1.2 电路元件 5

1.2.1 电阻元件 5

1.2.2 电容元件 7

1.2.3 电感元件 8

1.2.4 电阻、电容、电感元件的 简单测试 10

1.3 电压源与电流源 11

1.3.1 理想电压源 12

1.3.2 理想电流源 13

1.3.3 两种实际电源模型及其等效 变换 14

1.4 基尔霍夫定律 16

1.4.1 基尔霍夫电流定律 16

1.4.2 基尔霍夫电压定律 17

1.4.3 基尔霍夫定律的应用——支路 电流法 17

1.5 戴维南定理与叠加定理 18

1.5.1 戴维南定理 18

1.5.2 叠加定理 20

1.6 一阶电路的瞬态响应 21

1.6.1 换路定律 22

1.6.2 一阶电路的三要素分析法 23

1.7 实训 25

1.7.1 电位的测量和基尔霍夫电压 定律验证 25

1.7.2 基尔霍夫电流定律和叠加 定理验证 26

1.7.3 有源二端网络的研究 28

习题1 30

第2章 正弦交流电路分析 34

2.1 正弦交流电的基础知识 34

2.1.1 正弦交流电的基本概念 34

2.1.2 正弦交流电的要素 35

2.1.3 正弦量的相量表示 38

2.2 正弦交流电路中单一元件的约束 关系 41

2.2.1 纯电阻元件的电流、电压 关系 41

2.2.2 纯电容元件的电流、电压关系 ... 42

2.2.3 纯电感元件的电流、电压 关系 44

2.2.4 电阻、电容、电感的功率 45

2.3 RLC 串联电路 48

2.3.1 基尔霍夫定律的相量形式 48

2.3.2 RLC 串联电路分析 48

2.3.3 串联电路的谐振 51

2.4 三相交流电 53

2.4.1 三相交流电的概念 53

2.4.2 三相交流电路的连接 56

2.4.3 三相交流电路的功率 60

2.5 互感与变压器 61

2.5.1 互感电路的概念 61

2.5.2 互感线圈同名端的测试方法 62

2.5.3 理想变压器 63

2.6 实训 65

2.6.1 电阻、电容、电感元件的 频率特性 65

2.6.2 RLC 串联电路幅频特性的测定 ... 66

习题2 68

第3章 半导体器件与基本放大电路 ... 72

3.1 半导体的基本知识 72

3.1.1 半导体材料	72	4.3 集成运算放大器的应用	107
3.1.2 PN 结	73	4.3.1 集成运算放大器的特点	107
3.2 二极管	75	4.3.2 集成运算放大器的线性应用	108
3.2.1 二极管的结构及分类	75	4.3.3 集成运算放大器的非线性应用	111
3.2.2 二极管的外特性	75	4.4 实训	113
3.2.3 二极管的主要参数	77	4.4.1 比例放大电路的测试	113
3.2.4 特殊二极管及其应用	77	4.4.2 加法器电路的测试	114
3.3 晶体管	79	4.4.3 双门限电压比较器的测试	115
3.3.1 晶体管的结构及特性	79	习题 4	116
3.3.2 晶体管的特性曲线	81	第 5 章 直流稳压电源	118
3.3.3 晶体管的主要参数	83	5.1 整流滤波电路	118
3.3.4 晶体管的命名方法	84	5.1.1 整流电路	118
3.4 放大电路的基本组成和分析方法	85	5.1.2 滤波电路	120
3.4.1 放大电路的基本组成及各元器件的作用	85	5.2 稳压电路	122
3.4.2 直流通路和交流通路	86	5.2.1 硅稳压管稳压电路	122
3.4.3 放大电路的静态分析	86	5.2.2 串联型稳压电路	124
3.4.4 放大电路的动态分析	87	5.2.3 三端集成稳压器及其应用	125
3.4.5 三种基本组态放大电路的分析	89	5.3 实训	128
3.5 多级放大电路	92	5.3.1 串联型直流稳压电源	128
3.5.1 多级放大电路的组成	92	5.3.2 集成稳压电源	130
3.5.2 多级放大电路的耦合方式	92	习题 5	130
3.5.3 多级放大电路的指标计算	93	第 6 章 逻辑代数基础	132
3.6 实训	94	6.1 数制与码制	132
3.6.1 常用电子元器件的测试	94	6.1.1 数制	132
3.6.2 单管共射放大电路的研究	96	6.1.2 不同数制之间的转换	133
习题 3	99	6.1.3 码制	135
第 4 章 集成运算放大器及其应用	101	6.2 逻辑代数	136
4.1 集成运算放大器简介	101	6.2.1 逻辑代数的基本概念	136
4.1.1 集成运算放大器的组成和符号	101	6.2.2 常用公式和规则	140
4.1.2 集成运算放大器的主要参数	102	6.3 逻辑函数的化简	141
4.1.3 集成运算放大器的分类	103	6.3.1 公式法化简	141
4.2 负反馈放大电路	103	6.3.2 图形法化简	143
4.2.1 反馈的概念	103	习题 6	149
4.2.2 反馈的类型	104	第 7 章 门电路与组合逻辑电路	151
4.2.3 负反馈对放大电路性能的影响	106	7.1 基本逻辑门电路	151
		7.1.1 分立元器件门电路	151
		7.1.2 TTL 门电路	154
		7.1.3 MOS 门电路	157

7.1.4 使用集成逻辑门的注意事项	160	8.3.2 基本寄存器	204
7.2 组合逻辑电路的分析与设计	161	8.3.3 移位寄存器	205
7.2.1 组合逻辑电路的分析	161	8.4 实训	208
7.2.2 组合逻辑电路的设计	163	8.4.1 触发器逻辑功能测试	208
7.3 常用组合逻辑电路	165	8.4.2 计数器的使用	210
7.3.1 编码器	165	习题 8	210
7.3.2 译码器	168	第 9 章 脉冲波形的产生与整形	213
7.3.3 加法器	172	9.1 脉冲的基本概念	213
7.3.4 数据选择器	174	9.2 脉冲的产生和整形电路	213
7.4 实训	177	9.2.1 施密特触发器	213
7.4.1 逻辑门功能及参数测试	177	9.2.2 单稳态触发器	215
7.4.2 组合逻辑电路的设计与测试	179	9.2.3 多谐振荡器	216
7.4.3 译码器及其应用	180	9.3 555 电路及其应用	218
7.4.4 数据选择器及其应用	181	9.3.1 555 电路的结构与基本功能	218
习题 7	181	9.3.2 555 电路的应用	220
第 8 章 触发器与时序逻辑电路	184	9.4 实训	225
8.1 触发器	184	习题 9	225
8.1.1 触发器的基本知识	184	第 10 章 存储器	227
8.1.2 基本 RS 触发器	185	10.1 只读存储器 (ROM)	227
8.1.3 D 触发器	188	10.1.1 固定只读存储器	227
8.1.4 JK 触发器	189	10.1.2 可编程只读存储器	230
8.1.5 T 触发器	191	10.1.3 ROM 容量的扩展	231
8.2 计数器	193	10.2 随机存取存储器 (RAM)	232
8.2.1 计数器的基本概念	193	10.2.1 RAM 的结构特点	232
8.2.2 同步计数器	194	10.2.2 RAM 的地址译码方式	233
8.2.3 异步计数器	200	10.2.3 RAM 的工作原理	233
8.3 寄存器	204	10.2.4 RAM 容量的扩展	235
8.3.1 寄存器的基本概念	204	习题 10	236

第 1 章 电路分析理论基础

本章要点

- 电路与电路模型
- 电流、电压及其参考方向
- 电功率及其性质
- 电阻、电容、电感及其测试
- 基尔霍夫定律及其应用
- 戴维南定理与叠加定理

1.1 电路模型与电路变量

1.1.1 电路与电路模型

1. 电路

电路是电流的流通路径，它是由一些电气设备和元器件按一定方式连接而成的。

电路的种类多种多样，在日常生活以及生产、科研中有着广泛的应用，如各种家用电器的电路、高压输电线路、自动控制线路、邮电通信设备的电路等。

电路的组成方式不同，功能也就不同。电路的一种作用是实现电能的传输和转换，各类电力系统就是典型实例。电路的另一种作用是实现信号的处理，收音机和电视机电路就是这类实例。

图 1-1a 是一个简单的实际电路，它由干电池、开关、小灯泡和连接导线组成。当开关闭合时，电路中有电流通过，小灯泡发光。干电池向电路提供电能；小灯泡是耗能器件，它把电能转化为热能和光能；开关和连接导线的作用是把干电池和小灯泡连接起来，构成电流通路。

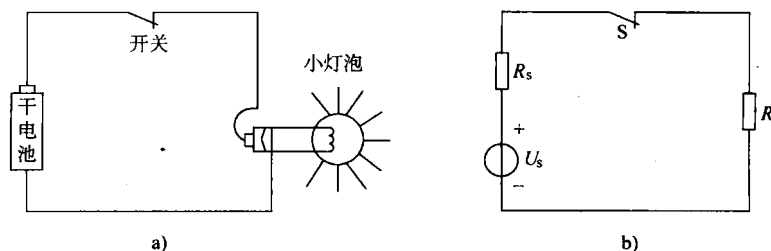


图 1-1 电路的组成

a) 实际电路 b) 电路模型

电路中提供电能或信号的器件称为电源，如图 1-1a 中的干电池。电路中吸收电能或输

出信号的器件称为负载,如图 1-1a 中的小灯泡。在电源和负载之间引导和控制电流的导线和开关等是传输、控制器件。

2. 电路模型

组成电路的实际电气元器件是多种多样的,为了便于分析,常常在一定条件下对实际器件加以理想化,只考虑其中起主要作用的某些效应,而将次要效应忽略,或者将某些效应分别计算。例如,图 1-1a 中,小灯泡不但发光、发热消耗电能,在其周围还会产生一定的磁场,由于产生的磁场较弱,因此可以只考虑其消耗电能的性能而忽略其磁场效应;干电池在工作时不但要对其外部电路提供电能,电池内部也有一定的电能损耗,因此可以将其提供电能的性能与内部电能损耗分别计算;对闭合的开关和导线可只考虑导电性能而忽略在其本身电阻上的电能损耗。为简化问题,在一定的条件下,我们可用足以反映其主要电磁性能的一些理想电路元件或它们的组合来模拟实际电路中的器件。理想电路元件是一种理想化的模型,简称为电路元件。每一种电路元件只表示一种电磁现象,具有某种确定的电磁性能和精确的数学定义。元件特性由其端点上的电流和电压来确切表示。例如,电阻元件是表示消耗电能的元件;电感元件是表示其周围空间存在着磁场且可以储存磁场能量的元件;电容元件是表示其周围空间存在着电场且可以储存电场能量的元件等。上述这些电路元件通过引出端互相连接。具有两个引出端的元件称为二端元件;具有两个以上引出端的元件称为多端元件。

实际电路可以用一个或若干个理想电路元件经理想导体连接起来进行模拟,这便构成了电路模型,简称为电路。图 1-1b 是图 1-1a 的电路模型。实际元器件和电路的种类繁多,而理想电路元件只有有限的几种,用理想电路元件建立的电路模型将使电路的分析大大简化。建立电路模型时应使其外部特性与实际电路的外部特性尽量近似,但两者的性能并不一定也不可能完全相同。同一实际电路在不同条件下往往要求用不同的电路模型来表示。例如,一个线圈在低频时可以只考虑其中的磁场和耗能,甚至有时只考虑磁场就可以了,但在高频时则应考虑电场的影响,而在直流时就只需考虑耗能。因此,建立电路模型一般应指出其工作条件。

1.1.2 电流及其参考方向

带电粒子(电子、离子等)的定向运动称为电流。设 dt 时间内穿过导体横截面的电荷量为 dq ,则有

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

i 称为电流。电流不但有大小,而且有方向。习惯上规定正电荷运动的方向为电流的实际方向。当负电荷或电子运动时,电流的实际方向与负电荷运动的方向相反。

在通常情况下, i 是随着时间变化的。若电流不随时间变化,即 dq/dt 为定值,这种电流叫做直流电流。直流电流常用英文大写字母 I 表示。对于直流,式 (1-1) 可写成

$$I = \frac{q}{t} \quad (1-2)$$

式中, q 为时间 t 内通过导体横截面的电荷量。

大小和方向随时间周期性变化的电流称为交流电流,常用英文小写字母 i 表示。

在国际单位制 (SI) 中, 电流的单位是安 [培], 符号为 A。根据实际需要, 电流的单位还有千安 (kA)、毫安 (mA)、微安 (μA) 等, 它们之间的换算关系是: $1\text{kA} = 10^3\text{A}$, $1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$, $1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$ 。

在复杂电路的分析中, 电路中电流的实际方向很难预先判断出来; 有时, 电流的实际方向还会不断改变。因此, 很难在电路中标明电流的实际方向。为此, 在分析与计算电路时, 常可任意规定某一方向作为电流的参考方向或正方向, 并用实线箭头表示在电路图上。规定了参考方向以后, 电流就是一个代数量了, 若电流的实际方向与参考方向一致 (如图 1-2a 所示), 则电流为正值; 若两者相反 (如图 1-2b 所示), 则电流为负值。这样, 就可以利用电流的参考方向和正、负值来判断电流的实际方向。实际方向用虚线箭头表示。应当注意, 在未规定参考方向的情况下, 电流的正、负号是没有意义的。

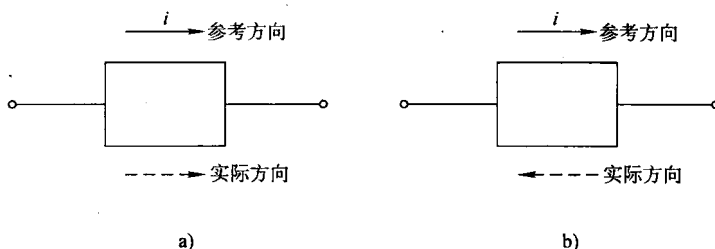


图 1-2 电流的参考方向

1.1.3 电压及其参考方向

在电路中, 如果电场力把正电荷 dq 从电场中的 a 点移动到 b 点所做的功是 dW , 则 a、b 两点间的电压为

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

即电路中 a、b 两点间的电压等于电场力把单位正电荷从 a 点移动到 b 点所做的功。

电压的实际方向是使正电荷电能减少的方向, 当然也是电场力对正电荷做功的方向。在国际单位制中, 电压的单位是伏 [特], 符号为 V。常用的电压的单位还有千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 (μV) 等。

大小和方向都不随时间变化的直流电压用大写字母 U 表示。大小和方向随着时间周期性变化的交流电压用小写字母 u 表示。

与电流类似, 在电路分析中也要规定电压的参考方向, 通常用 3 种方式表示:

1) 采用正 (+)、负 (-) 极性表示, 称为参考极性, 如图 1-3a 所示。这时, 从正极性端指向负极性端的方向就是电压的参考方向。

2) 采用实线箭头表示, 如图 1-3b 所示。

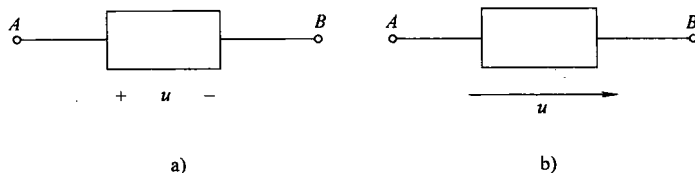


图 1-3 电压的参考方向

3) 采用双下标表示, 如 u_{ab} 表示电压的参考方向由 a 指向 b。

电压的参考方向指定之后, 电压就是代数量。当电压的实际方向与参考方向一致时, 电压为正值; 当电压的实际方向与参考方向相反时, 电压为负值。

分析电路时, 首先应该规定各电流、电压的参考方向, 然后根据所规定的参考方向列写电路方程。不论电流、电压是直流还是交流, 它们均是根据参考方向写出的。参考方向可以任意规定, 不会影响计算结果, 因为参考方向相反时, 解出的电流、电压值要改变正、负号, 最后得到的实际结果仍然相同。

在电路分析中, 既要对电流规定参考方向, 又要对电压规定参考方向, 两者各自选定, 不必强求一致。但为了分析方便, 常使同一元件的电流参考方向与电压参考方向一致, 即电流从电压的正极性端流入该元件而从它的负极性端流出。这时, 该元件的电压参考方向与电流参考方向是一致的, 称为关联参考方向, 如图 1-4 所示。

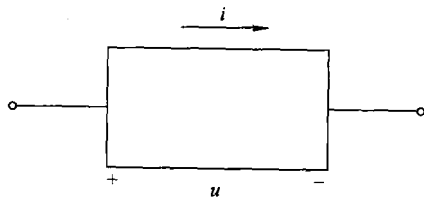


图 1-4 电流和电压的关联参考方向

分析电子电路时, 常用到电位这一物理量。在电路中任选一点作为参考点, 则某点的电位就是由该点到参考点的电压。也就是说, 如果参考点为 o , 则 a 点的电位为 $V_a = U_{ao}$ 。

至于参考点本身的电位, 则是参考点对参考点的电压, 显然为零, 所以参考点又叫零电位点。电位参考点可以任意选取, 参考点选择不同, 同一点的电位就不同, 但电压与参考点的选择无关。工程上常选大地、设备外壳或接地点作为参考点。电子电路中需选各有关部分的公共线作为参考点, 常用符号 “ $\perp$ ” 表示。电压与电位的关系是: 电路中 a 、 b 两点之间的电压等于这两点之间的电位之差, 即

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

引入电位的概念之后, 可以说, 电压的实际方向是从高电位点指向低电位点, 所以常将电压称为电压降, 又称电位差。

1.1.4 电功率

传递转换电能的速率叫电功率, 简称功率, 用 p 或 P 表示。习惯上, 把发出或吸收电能说成发出或吸收功率。

设在 dt 时间内, 电场力将正电荷 dq 由 a 点移到 b 点, 且由 a 点到 b 点的电压降为 u , 则在移动过程中电路吸收的能量为

$$dW = udq = uidt$$

因此, 单位时间内吸收的电能 (即功率) 为

$$p = \frac{dW}{dt} = ui \quad (1-5)$$

式 (1-5) 表示在电压和电流关联参考方向下, 电路吸收的功率。若计算出 $p > 0$, 则表示电路实际为吸收功率; 若计算出 $p < 0$, 则表示电路实际为发出功率。

当电压和电流为非关联参考方向时, 电路吸收的功率为

$$p = -ui \quad (1-6)$$

这样规定后, 若 $p > 0$, 仍表示电路吸收功率; 若 $p < 0$, 则表示电路发出功率。

国际单位制 (SI) 中, 功率的单位为瓦 [特], 符号为 W 。 $1W = 1V \cdot A$ 。常用的功率单位还有 kW (千瓦)、 MW (兆瓦) 和 mW (毫瓦) 等。它们之间的关系分别是

$$1MW = 10^6W, 1kW = 10^3W, 1mW = 10^{-3}W$$

电能的国际单位是焦耳, 符号为 J , 它等于功率为 $1W$ 的用电设备在 $1s$ 内所消耗的电能。在实际生活中还采用 $kW \cdot h$ (千瓦时) 作为电能的单位, 它等于功率为 $1kW$ 的用电设备在 $1h$ ($3600s$) 内所消耗的电能, 俗称为 1 度电。

$$1kW \cdot h = 3.6 \times 10^6J$$

在电路的每一瞬间, 吸收电能的各元件功率的总和都等于发出电能的各元件功率的总和, 或者说, 所有元件吸收的功率的代数和为零。这个结论叫做“电路的功率平衡”。

【例 1-1】 如图 1-5 所示电路中, 已知元件 A 的 $U = 8V$, $I = -2A$; 元件 B 的 $U = -6V$, $I = 3A$, 求元件 A、B 吸收的功率各为多少。

解: 元件 A, 电压参考方向与电流参考方向相关联, 故吸收的功率为

$$P_A = UI = 8 \times (-2)W = -16W$$

$P_A < 0$, 表明元件 A 实际为发出功率 $16W$ 。

元件 B, 电压参考方向与电流参考方向非关联, 故吸收的功率为

$$P_B = -UI = -(-6) \times 3W = 18W$$

$P_B > 0$, 表明元件 B 实际为吸收功率, 吸收功率 $18W$ 。



图 1-5 例 1-1 图

1.2 电路元件

电路元件是电路的基本构造单元。研究电路元件的性质及规律性, 是研究电工学理论的基础。本节主要介绍 3 种基本的电路元件——电阻元件、电容元件、电感元件, 并介绍了这 3 种元件的简单测试。

1.2.1 电阻元件

电阻元件是从实际电阻器抽象出来的理想化电路元件。实际电阻器由电阻材料制成, 如线绕电阻、碳膜电阻、金属膜电阻等。电阻元件简称电阻, 它是一种对电流呈现阻碍作用的耗能元件。

1. 线性电阻

由欧姆定律可知, 电阻元件上的电压与流过它的电流成正比, 在电压与电流关联的参考方向下可写成

$$u = Ri \quad (1-7)$$

如果取电流为横坐标, 电压为纵坐标, 可绘出 $u-i$ 平面上的一条曲线, 称为电阻的伏安特性曲线。若伏安特性是通过坐标原点的直线, 则称为线性电阻; 若伏安特性是通过坐标

原点的曲线, 则称为非线性电阻。本书只讨论线性电阻。

线性电阻的电路符号和伏安特性曲线如图 1-6 所示。其伏安特性的斜率即为电阻的阻值。

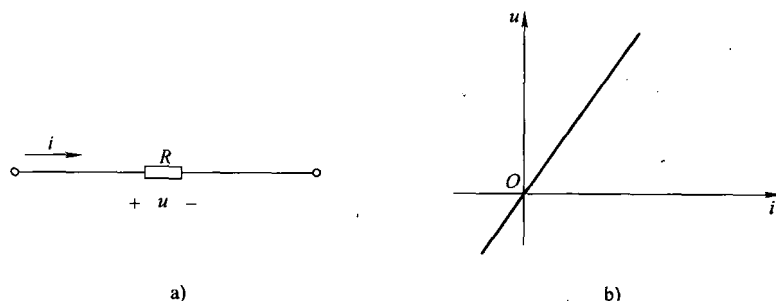


图 1-6 线性电阻的电路符号和伏安特性曲线

如果电阻上电压和电流的参考方向为非关联, 则欧姆定律的表达式应改写为

$$u = -Ri \quad (1-8)$$

电阻的倒数叫电导, 用符号 G 表示, 即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-9)$$

电阻的单位是欧 [姆], 符号是 Ω 。电导的单位是西 [门子], 符号是 S 。用电导来表示欧姆定律表达式时, 应写为

$$i = Gu \quad (u, i \text{ 为关联参考方向})$$

$$i = -Gu \quad (u, i \text{ 为非关联参考方向})$$

2. 电阻元件吸收的功率

对于线性电阻元件, 在电压和电流关联参考方向下, 任何瞬时吸收的功率为

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} = Gu^2 \quad (1-10)$$

由于电阻 R 和电导 G 都是正实数, 且 i^2 或 u^2 都为正值, 因此功率 P 恒为正值。这说明在任何时刻电阻元件都不可能发出功率, 而只能从电路中吸收功率, 所以电阻元件是耗能元件。

如果电阻元件把接受的电能转换为热能, 则从 t_0 到 t 时间内, 电阻元件的发热量为 Q , 也就是这段时间内接受的电能为

$$Q = W = \int_0^t p dt = \int_0^t Ri^2 dt = \int_0^t \frac{u^2}{R} dt \quad (1-11)$$

若电流不随时间变化, 即电阻通过直流电流时, 上式变为

$$Q = W = P(t - t_0) = PT = R I^2 T = \frac{U^2}{R} T \quad (1-12)$$

式中, $T = (t - t_0)$ 是电流通过电阻的总时间。

线性电阻元件有两种特殊情况: 一种情况是电阻值 R 为无限大, 电压为任何有限值时, 其电流总是零, 这种情况称为“开路”; 另一种情况是电阻为零, 电流为任何有限值时, 其电压总是零, 这种情况称为“短路”。

【例 1-2】额定电压是 220V, 额定功率是 40W 的灯泡, 其灯丝电阻及额定电流是多

少? 每天使用 6h, 一个月 (按 30 天计算) 消耗的电能是多少度?

解: 由 $P = UI = \frac{U^2}{R}$, 得

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{40} \Omega = 1210 \Omega \quad I = \frac{P}{U} = \frac{40 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 0.18 \text{ A}$$

一个月消耗的电能

$$W = PT = 40 \times 10^{-3} \times 6 \times 30 \text{ kWh} = 7.2 \text{ 度}$$

1.2.2 电容元件

1. 电容元件的基本概念

电容元件又称电容器, 简称电容, 是实际电容器的理想化模型。任何两个彼此靠近而又相互绝缘的导体都可以构成电容器。这两个导体叫做电容器的极板, 它们之间的绝缘物质叫做电介质。

在电容器的两个极板间加上电压后, 极板上分别积聚起等量的异性电荷, 在电介质中建立起电场, 并且储存电场能量。电源移去后, 由于电介质绝缘, 电荷仍然可以聚集在极板上, 电场继续存在。所以, 电容器是一种能够储存电场能量的器件, 这就是电容器的基本电磁性能。但在实际中, 当电容器两端电压变化时, 电介质中往往有一定的介质损耗, 而且电介质也不可能完全绝缘, 因而也存在一定的漏电流。如果忽略电容器的这些次要性能, 就可以用一个代表其基本电磁性能的理想二端元件作为模型。

电容元件是一个理想的二端元件, 它的图形符号如图 1-7 所示。其中, $+q$ 和 $-q$ 代表该元件正、负极板上的电荷量。若电容元件上的电压参考方向规定为由正极板指向负极板, 则任何时刻都有以下关系:

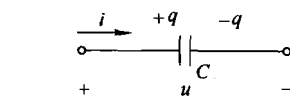


图 1-7 线性电容元件的图形符号

$$C = \frac{q}{u} \quad (1-13)$$

其中, C 是表示电容元件容纳电荷本领大小的一个物理量, 叫做电容元件的电容量, 简称电容。它是一个与电荷 q 、电压 u 无关的正实数, 但在数值上等于电容元件的电压每升高一个单位所容纳的电荷量。

电容的国际单位为法 [拉], 符号是 F。电容器的电容量往往比 1F 小得多, 因此常采用 μF (微法)、 nF (纳法) 和 pF (皮法) 作为单位。其换算关系如下:

$$1\mu\text{F} = 10^{-6}\text{F}; 1\text{nF} = 10^{-9}\text{F}; 1\text{pF} = 10^{-12}\text{F}$$

如果电容元件的电容为常量, 即不随其电量的变化而变化, 这样的电容元件即为线性电容元件。除非特别说明, 本书讨论的都是线性电容元件。

电容元件和电容器也简称为电容。所以, “电容” 有时指电容元件 (或电容器), 有时则指电容元件 (或电容器) 的电容量, 应注意区分。

2. 电容元件的 $u-i$ 关系

由式 (1-13) 可知, 当电容元件极板间的电压 u 变化时, 极板上的电荷也随着变化, 电路中就有了电荷的转移, 于是该电容电路中就出现了电流。

对于图 1-7 所示的电容元件, 选择电流的参考方向指向正极板, 即与电压 u 的参考方向