

“十三五”普通高等教育本科规划教材

DIANLU YU DIANZI JISHU JICHU

电路与电子技术基础

第二版

马献果 刘红伟 张成怀 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

“十三五”普通高等教育本科规划教材



DIANLU YU DIANZI JISHU JICHU

电路与电子技术基础

第二版

马献果 刘红伟 张成怀 编
焦 阳 主审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为“十三五”普通高等教育本科规划教材，是以教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会最新制定的“电工学课程教学基本要求”为依据，在总结多年教学经验的基础上编写的。全书共 10 章，主要包括：电路的基本概念与基本定律、电路的分析方法、一阶电路的暂态分析、正弦交流电路、常用半导体器件、放大电路基础、集成运算放大器、直流稳压电源、数字电路、模拟量和数字量的转换。部分章节的最后附有与该章内容有关的典型实例，且每章设有适当的例题和习题。附录附有安全用电技术、电路仿真软件简介。

本书可以作为高等工科院校非电类专业少学时“电工学”课程（不含实验 60 学时左右）的教材，也可作为高等职业院校、业余大学相关专业的教材，还可供相关的工程技术人员学习和参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电路与电子技术基础/马献果, 刘红伟, 张成怀编. —2 版. —北京: 中国电力出版社, 2019. 2

“十三五”普通高等教育本科规划教材

ISBN 978-7-5198-1652-0

I. ①电… II. ①马… ②刘… ③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 024417 号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 罗晓莉 (010-63412547)

责任校对: 黄 蓓 郝军燕

装帧设计: 赵姗姗

责任印制: 钱兴根

印 刷: 三河市万龙印装有限公司

版 次: 2015 年 2 月第一版 2019 年 2 月第二版

印 次: 2019 年 2 月北京第三次印刷

开 本: 787 毫米×1092 毫米 16 开本

印 张: 16.75

字 数: 405 千字

定 价: 45.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题, 我社营销中心负责退换

电类基础课教材编写小组

组长：王培峰

成员：马献果 王冀超 吕文哲 曲国明 朱玉冉 任文霞
刘红伟 刘 佳 刘 磊 安兵菊 许 海 孙玉杰
李翠英 宋利军 张 帆 张凤凌 张会莉 张成怀
张 敏 岳永哲 孟 尚 周芬萍 赵玲玲 段辉娟
高观望 高 妙 焦 阳 蔡明伟（以姓氏笔画排序）

序

电工、电子技术计算机、电子、通信、电气、自动化、测控等众多应用技术的理论基础,同时涉及机械、材料、化工、环境工程、生物工程等众多相关学科。对于这样一个庞大的体系,不可能在学校将所有的知识都教给学生。以应用技术型本科学生为主体的大学教育,必须对学科体系进行必要的梳理。本套教材就是试图搭建一个电类基础知识体系平台。

2013年1月,教育部为加快发展现代职业教育,建设现代职业教育体系,部署了应用技术大学改革试点战略研究项目,成立了“应用技术大学(学院)联盟”,其目的是探索“产学研一体、教学做合一”的应用型人才培养模式,促进地方本科高校转型发展。河北科技大学作为河北省首批加入“应用技术大学(学院)联盟”的高校,对电类专业基础课进行了试点改革,并根据教育部高等学校教学指导委员会制定的“专业规划和基本要求、学科发展和人才培养目标”,编写了本套教材。本套教材特色如下:

(1)教材的编写以教育部高等学校教学指导委员会制定的“专业规划和基本要求”为依据,以培养服务于地方经济的应用型人才为目标,系统整合教学改革成果,使教材体系完善,结构完整,内容准确,理论阐述严谨。

(2)教材的知识体系和内容结构具有较强的逻辑性,利于培养学生的科学思维能力;根据教学内容、学时、教学大纲的要求,优化知识结构,既加强理论基础,也强化实践内容;理论阐述、实验内容和习题的选取都紧密联系实际,培养学生分析问题和解决问题的能力。

(3)课程体系整体设计,各课程知识点合理划分,前后衔接,避免各课程内容之间交叉重复,使学生能够在规定的课时数内,掌握必要的知识和技术。

(4)以主教材为核心,配套学习指导、实验指导书、多媒体课件,提供全面的教学解决方案,实现多角度、多层面的人才培养模式。

本套教材由王培峰任编写小组组长,主要包括电路(上、下册,王培峰主编)、模拟电子技术基础(张凤凌主编)、数字电子技术基础(高观望主编)、电路与电子技术基础(马献果等编)、电路学习指导书(上册,朱玉冉主编;下册,孟尚主编)、模拟电子技术学习指导书(张会莉主编)、数字电子技术课程学习辅导(任文霞主编)、电路与电子技术学习指导书(马献果等编)、电路实验教程(李翠英主编)、电子技术实验与课程设计(安兵菊主编)、电工与电子技术实验教程(刘红伟主编)等。

提高教学质量,深化教学改革,始终是高等学校的工作重点,需要所有关心高等教育事业人士的热心支持。为此谨向所有参与本系列教材建设的同仁致以衷心的感谢!

本套教材可能会存在一些不当之处,欢迎广大读者提出批评和建议,以促进教材的进一步完善。

电类基础课教材编写小组

2014年10月

前 言

“电工学”课程是高等院校非电类专业一门重要的专业基础课程,旨在使学生获得电路、电子技术等领域必要的基本理论、基本知识和基本技能。本书以教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会最新制定的“电工学课程教学基本要求”为依据,以保证基本内容够用为原则,选择了电路理论、模拟电子技术和数字电子技术这几个必选模块。因此,本书采用《电路与电子技术基础》这一名称。

本书编者都是多年来一直面向本科学生讲授“电工学”课程的教师,教学经验丰富。本书在内容的组织和讲解思路方面,力求符合教学规律和学生的认知特点,并将编者多年的教学体会融入教材,加强对内容的归纳和整理,从而增强学生对所学知识的系统性和规律性认识。本书在内容叙述方面力求文字简练、通俗易懂、概念清晰、条理清楚、重点突出。为提高学习效果,增强学生自主解决问题的能力,本书精选了有代表性的、贴近教学内容的例题和习题。例题讲解尽可能列举多种方法,以在精讲内容的同时,提高学生的解题能力。力求贴近课堂教学,以方便教师授课和学生课下自学,帮助解决学生“上课听得懂,下课不会解题”的普遍问题,可以较好地降低教学学时大幅度减少对课程学习效果带来的影响。

全书共10章,其内容包括:电路的基本概念与基本定律、电路的分析方法、一阶电路的暂态分析、正弦交流电路、常用半导体器件、放大电路基础、集成运算放大器、直流稳压电源、数字电路、模拟量和数字量的转换。附录部分介绍了安全用电技术和电路仿真软件,并给出了部分习题的参考答案。本书由马献果、刘红伟、张成怀编写。其中,第1、5、8章由张成怀编写;第2、3、4、7章及附录由马献果编写;第6、9、10章由刘红伟编写。全书由马献果负责统稿。

在编写本书的过程中,得到了河北科技大学信息科学与工程学院有关领导和同事的支持和帮助,主审焦阳教授对本书提出了许多宝贵的修改意见,在此向他们表示由衷的感谢。

编写本书过程中,编者也学习和借鉴了大量有关的参考文献,在此向所有作者表示深深的感谢。

由于编者水平有限,书中若有不妥之处,敬请使用本书的师生及其他读者批评指正。

编 者

2018年10月

目 录

序

前言

1 电路的基本概念与基本定律	1
1.1 电路的基本概念	1
1.2 电路的基本物理量	2
1.3 电路元件	5
1.4 基尔霍夫定律	12
1.5 电位及其计算	15
本章小结	16
习题	17
2 电路的分析方法	20
2.1 二端网络及等效的概念	20
2.2 电阻的串联、并联和混联	21
2.3 电源的等效变换	24
2.4 支路电流法	27
2.5 叠加定理	29
2.6 戴维南定理	32
2.7 应用举例	36
本章小结	36
习题	37
3 一阶电路的暂态分析	40
3.1 电路的稳态和暂态	40
3.2 换路定律及初始值的确定	41
3.3 RC 电路的过渡过程	43
3.4 RC 电路暂态分析的三要素法	47
3.5 RL 电路的过渡过程	50
3.6 应用举例	52
本章小结	53
习题	54
4 正弦交流电路	57
4.1 正弦量	57
4.2 正弦量的相量表示法	62
4.3 基尔霍夫定律及元件伏安关系的相量形式	66
4.4 阻抗及阻抗的串联和并联	70

4.5	用相量法分析正弦交流电路	72
4.6	交流电路的功率及功率因数的提高	75
4.7	交流电路中的谐振	79
4.8	三相电路	83
4.9	非正弦周期信号电路	89
	本章小结	92
	习题	94
5	常用半导体器件	98
5.1	半导体基础知识	98
5.2	半导体二极管	101
5.3	双极型晶体管	107
5.4	场效应晶体管	112
	本章小结	116
	习题	117
6	放大电路基础	120
6.1	放大电路概述	120
6.2	共发射极放大电路	122
6.3	共集电极放大电路	129
6.4	多级放大电路	131
6.5	差动放大电路	133
6.6	功率放大电路	135
	本章小结	138
	习题	138
7	集成运算放大器	140
7.1	集成运算放大器概述	140
7.2	运算放大器中的负反馈	142
7.3	理想运算放大器及其主要特点	148
7.4	基本运算电路	149
7.5	电压比较器	155
7.6	集成运放的其他应用电路简介	158
7.7	应用举例	161
	本章小结	161
	习题	162
8	直流稳压电源	167
8.1	直流稳压电源的组成和作用	167
8.2	电源变压器	168
8.3	整流电路	169
8.4	电容滤波电路	173
8.5	稳压电路	175

本章小结.....	180
习题.....	180
9 数字电路	182
9.1 数字电路概述	182
9.2 门电路	185
9.3 逻辑代数	193
9.4 组合逻辑电路	197
9.5 触发器	208
9.6 时序逻辑电路	216
9.7 应用举例	226
本章小结.....	228
习题.....	228
10 模拟量和数字量的转换.....	234
10.1 概述.....	234
10.2 数/模转换器	235
10.3 模/数转换器	237
本章小结.....	242
习题.....	242
附录 A 安全用电技术.....	244
附录 B 电路仿真软件简介	247
附录 C 习题参考答案	250
参考文献.....	253

1 电路的基本概念与基本定律

本章主要介绍电路的基本物理量、理想电路元件及其构成的电路模型、基尔霍夫定律及电路中电位的计算,这些概念和定律是电路理论的重要基础。熟练掌握本章内容会为后续章节的学习打下坚实的基础。

本章学习目标

- (1) 理解电流和电压参考方向的概念。
- (2) 掌握电功率的计算方法,并能够判断元件吸收功率还是发出功率。
- (3) 掌握各种理想电路元件的伏安特性。
- (4) 掌握基尔霍夫定律。
- (5) 理解电位的概念,掌握电位的计算方法。

1.1 电路的基本概念

1.1.1 电路的组成与作用

电路是电流的通路,它是为了满足某种需要由一些电气设备或元器件按照一定方式由导线连接而成的。通常根据实际电路的功能和作用,将电路分为电力电路和电子电路两大类。电力电路的作用主要是实现电能的产生、传输和转换,如发电机发电、变压器升压或降压、电力拖动、电气照明等;电子电路的作用主要是实现信号的传递和处理,如各种电信号的产生、放大、整形,数字信号的运算、存储等。扩音机电路就是一个电子电路,传声器将声音转换成微弱的电信号,然后通过放大电路进行放大,再送到扬声器,将放大后的电信号还原为声音信号。无论哪种电路,从其结构上看都是由三部分组成,即电源、负载和中间环节。电源是提供电能的装置,可以将其他形式的能量转换成电能,如发电厂可将热能、风能、核能转换为电能,电池可以把化学能转换为电能。负载是消耗电能的装置,将电能转换成其他形式的能量,如电炉、灯泡和电动机都是负载,它们分别将电能转换为热能、光能和机械能。中间环节是连接电源和负载的部分。在电力电路中,中间环节包括导线、开关、变压器、熔断器等,其主要作用是传输和分配电能,并且能够控制和保护电路。在电子电路中,中间环节的主要作用是传送、处理信号。

各种电气设备的电压、电流及功率等都有一个额定值,通常负载(如各种家用电器)并联运行且工作在额定状态,而电源输出的功率取决于负载的大小,因此电源不一定以额定功率运行,通常小于或等于其额定功率。

1.1.2 电路模型

实际电路常常根据需要根据需要由一些实际的电气设备或元器件组成,这些实际的电气设备或元器件主要包括发电机、变压器、电动机、电源、晶体管、电阻器、电容器和电感器等,它们的电磁特性较为复杂。例如,一个实际电阻器有电流通过时,不仅会消耗电能,具有电阻性质,还会产生磁场,具有电感性质。又如,一个线圈通电后主要表现电感性质,同时线圈也

有内阻,会消耗电能,其相邻匝之间还具有较小的分布电容。

分析实际电路时,为了避免将问题复杂化,在一定条件下,可以忽略次要因素,突出主要电磁特性,将实际元件理想化(或称为模型化),理想化的电路元件只具有一种电磁特性,称为理想电路元件。常用的理想电路元件有电阻元件、电感元件、电容元件、电流源和电压源等,由这些理想电路元件构成的电路,称为实际电路的电路模型。电路模型中的导线为没有内阻的理想导线。本书所涉及的电路皆为电路模型,简称电路。

图 1-1 (a) 所示为一个简单的手电筒电路,它由干电池、灯泡、导线和开关组成。其电路模型如图 1-1 (b) 所示。图中用电阻元件 R_L 表示灯泡,即将灯泡抽象成理想电阻元件;考虑电池的内阻,用理想电压源 U_S 和理想电阻元件 R_0 的串联组合表示实际电源干电池,其中 R_0 是电池的等效内阻。

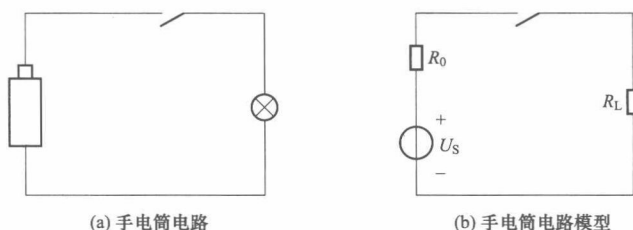


图 1-1 手电筒电路及其电路模型

1.2 电路的基本物理量

1.2.1 电流

将电流的大小定义为单位时间内通过导体横截面的电量,即

$$i = \frac{dq}{dt}$$

国际单位制中,电流的单位为 A (安培)。在 1s (秒) 内通过导体横截面的电量为 1C (库仑) 时,电流大小即为 1A。电流常用单位还有 mA 和 μA 。

电流的方向有实际方向和参考方向之分,要加以区别。

习惯上把正电荷运动的方向(或负电荷运动的反方向)规定为电流的实际方向。有些电路容易判断出电流的实际方向,如含有一个电源(电压源或电流源)的简单电路就比较容易判断出电流的实际方向,但是对于含有多个电源的复杂电路,就不容易判断电流的实际方向。为了方便分析,引入了参考方向(或称为正方向)的概念。电流的参考方向是任意选定的,一经选定,电流就成为代数量。若电流的实际方向与所选的参考方向一致,则此电流为正值;若电流的实际方向与所选的参考方向相反,则此电流为负值。



注意

分析电路时,电路图上所标注的电流方向都是参考方向,稍后提到的针对电阻元件的欧姆定律,以及对电路中的电流起约束作用的基尔霍夫电流定律都与电流的参考方向有关。

电流的参考方向有两种表示方法，一种是用箭头标注，如图 1-2 所示；另一种是用双下标标注，如 i_{ab} 表示电流的参考方向是由 a 流向 b。



图 1-2 电流的参考方向

若电流的大小和方向都不随时间变化，则这种电流称为恒定电流，简称直流（常用 dc 或 DC 表示），可以用大写字母 I 表示，对应的电路称为直流电路。若电流的大小和方向都随时间周期性变化，则这种电流称为交变电流，简称交流（常用 ac 或 AC 表示），用小写字母 i 表示，对应的电路称为交流电路。在图 1-2 中，矩形方框表示某电路元件，流过该元件的电流为 1A，实际方向由 a 流向 b。图 1-2 (a) 中 $I_1=1A$ ，因为 I_1 的参考方向与实际方向一致；图 1-2 (b) 中 $I_2=-1A$ ，因为 I_2 的参考方向与实际方向相反。

1.2.2 电压

电压是对电路中两点而言的，a、b 两点间的电压为电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功，即

$$u = \frac{d\omega}{dq}$$

国际单位制中，电压的单位是 V（伏特）。当电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功为 1J（焦耳）时，a、b 两点间的电压即为 1V。电压常用单位还有 mV、kV 等。

电压的方向同电流一样，也有实际方向和参考方向之分，要加以区别。

习惯上规定电压的实际方向是从高电位指向低电位，即电位下降的方向，电压表示两点之间的电位差。电压的参考方向也是任意选定的，当实际方向与参考方向一致时，电压为正值；当实际方向与参考方向相反时，电压为负值。



注意

分析电路时，电路图上所标注的电压方向都是参考方向，稍后提到的针对电阻元件的欧姆定律，以及对回路中的电压起约束作用的基尔霍夫电压定律也是针对电压的参考方向而言的。

直流电路中电压可以用大写字母 U 表示，交流电路中电压用小写字母 u 表示。

电压的参考方向有三种表示方法，一种是用箭头表示，另一种是用“+”和“-”极性表示，如图 1-3 所示，表示元件电压参考方向是由 a 指向 b；第三种是用双下标表示，如 u_{ab} 表示电压的参考方向是由 a 指向 b。



图 1-3 电压的参考方向

由于电路图上所标注的电压或电流的方向都是参考方向,且其电压或电流的参考方向任意选定,当同一电路元件或支路上的电压和电流的参考方向选取一致时,称为关联参考方向。否则称为非关联参考方向。图 1-3 (a) 所示元件上电压与电流的参考方向一致,所以为关联参考方向。图 1-3 (b) 所示元件上电压与电流的参考方向不一致,所以为非关联参考方向。

1.2.3 电功率

电路中的电路元件在单位时间内发出或吸收的电能为电功率,简称功率,用 p 表示。

$$p = \frac{dw}{dt} = ui$$

功率的单位为 W (瓦特)。若元件在 1s 内发出或吸收的电能为 1J,则其功率即为 1W。功率常用单位还有 mW 和 kW。

如果某电路元件上电压 u 和电流 i 采用关联参考方向,则当 $p > 0$ 时,元件吸收功率,作为负载使用;当 $p < 0$ 时,元件发出功率,作为电源使用。相反,如果元件上电压 u 和电流 i 采用非关联参考方向,则当 $p > 0$ 时,元件发出功率,作为电源使用;当 $p < 0$ 时,元件吸收功率,作为负载使用。也可由元件电压 u 和电流 i 的实际方向来判断元件是吸收还是发出功率。若某元件电压和电流的实际方向相同,则该元件吸收功率,是负载;若某元件电压和电流的实际方向相反,则该元件发出功率,是电源。这里提到的电源的概念是根据某元件是否发出功率来定义的,要和稍后提到的电压源和电流源元件相区别。



注意

电阻元件通以电流必定吸收功率,而在有多个电源的电路中,有的电压源和电流源可能发出功率,也可能吸收功率,也可能既不发出也不吸收功率,要具体问题具体分析。

对于一个完整的电路,电源发出的功率总是等于负载吸收的功率,即满足能量守恒定律。

【例 1-1】 在图 1-4 所示电路中,五个元件代表电源或负载。通过测量可知: $I_1 = -2A$, $I_2 = 3A$, $I_3 = 5A$, $U_1 = 70V$, $U_2 = -45V$, $U_3 = 30V$, $U_4 = -40V$, $U_5 = 15V$ 。

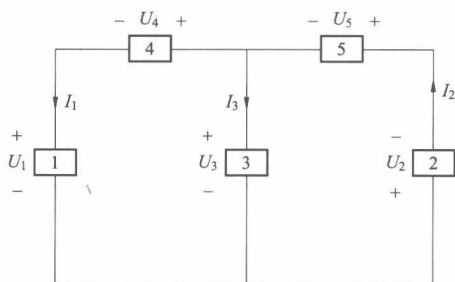


图 1-4 [例 1-1] 图

(1) 试指出各电压和电流的实际方向;

(2) 计算各元件的功率,并判断该元件是电源还是负载。

解 (1) 各电压的实际方向: U_1 向下, U_2 向下, U_3 向下, U_4 向右, U_5 向左。

各电流的实际方向: I_1 向上, I_2 向上, I_3 向下。

(2) 图 1-4 中五个电路元件上的电压和电流都是关联参考方向。

元件 1: $P_1 = U_1 I_1 = 70 \times (-2) = -140 \text{ (W)} < 0$, 发出功率 140W, 是电源。

元件 2: $P_2 = U_2 I_2 = (-45) \times 3 = -135 \text{ (W)} < 0$, 发出功率 135W, 是电源。

元件 3: $P_3 = U_3 I_3 = 30 \times 5 = 150 \text{ (W)} > 0$, 吸收功率 150W, 是负载。

元件 4: $P_4 = U_4 I_1 = (-40) \times (-2) = 80 \text{ (W)} > 0$, 吸收功率 80W, 是负载。

元件 5: $P_5 = U_5 I_2 = 15 \times 3 = 45 \text{ (W)} > 0$, 吸收功率 45W, 是负载。

电路中, 电源发出的总功率为 275W, 负载吸收的总功率为 275W, 所以功率是平衡的。

1.3 电 路 元 件

本节所述电路元件皆为理想电路元件。电路元件是构成电路的基础, 分为无源元件和电源元件, 常用的无源元件有电阻元件、电感元件和电容元件, 电源元件有电压源和电流源。

1.3.1 无源元件

1. 电阻元件

实际的电阻元件, 如电灯泡、电阻炉、电烙铁等, 当忽略其电感等作用时, 可以认为是只具有消耗电能特性的电阻元件。若电阻元件电阻值是一个常数, 则为线性电阻元件, 习惯上把线性电阻元件简称为电阻, 用 R 表示。线性电阻的伏安关系为一条通过坐标原点的直线, 即满足欧姆定律。国际单位制中, 电阻的单位是 Ω (欧姆), 常用单位还有 $k\Omega$ 和 $M\Omega$ 。通过电阻的电流和该电阻两端所加电压的实际方向总是一致的, 所以电阻总是吸收功率。

线性电阻元件的图形符号如图 1-5 所示。该电阻两端电压和电流采用了关联参考方向, 此时, 电阻两端的电压和电流满足的欧姆定律形式为

$$u = Ri \quad \text{或者} \quad i = Gu \quad (1-1)$$

若电阻的电压和电流采取非关联参考方向, 则欧姆定律形式为

$$u = -Ri \quad \text{或者} \quad i = -Gu \quad (1-2)$$

式 (1-1) 和式 (1-2) 中 $G = 1/R$, 称为电导, 单位是 S (西门子), 两式相差一个正负号。



注意

使用欧姆定律前, 先要判断电压和电流的参考方向是否关联。此外, 电压和电流值本身还有正负之分。

线性电阻的电压、电流关系曲线是一条直线, 称为伏安特性曲线, 如图 1-6 所示。



图 1-5 线性电阻元件的图形符号

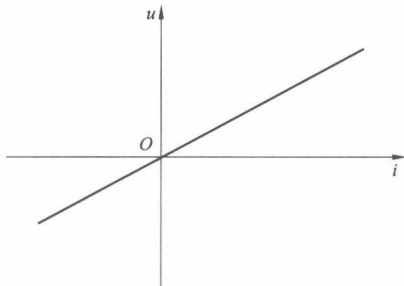


图 1-6 线性电阻元件的伏安特性曲线

若电阻元件电阻值不是常数, 其电压 u 和电流 i 不成正比, 则电阻元件的伏安特性是一条曲线, 这样的电阻元件称为非线性电阻元件, 如晶体管、白炽灯灯丝等。非线性电阻元件的电压和电流不满足欧姆定律。本书电路中电阻元件均为线性电阻元件。

电阻元件总是吸收功率, 所以电阻元件是耗能元件, 它能把电能转换成热能。电阻元件吸收的功率为

$$p = i^2 R = \frac{u^2}{R} \quad (1-3)$$

当线性电阻元件的阻值为无穷大时, 其两端电压无论为何值, 电流恒为零值, 称为“开路”, 电流为零的元件可视为开路。当线性电阻元件的阻值为零时, 电流无论为何值, 两端电压恒为零值, 称为“短路”, 电压为零的元件可视为短路。

电阻器常用来实现限流、分压和分流的作用。在选用电阻器时, 要注意工作电流、电压和功率不要超过其额定值。电流或功率过大可能烧毁电阻器。按照额定值使用元件及电气设备, 可以使元件与电气设备安全可靠地工作, 充分发挥其效能, 保证正常的使用寿命。额定值常用 I_N 、 U_N 、 P_N 等表示, 这些额定值常标记在设备的铭牌上。电气设备和元件的额定工作状态称为满载或满负荷状态; 电流和功率低于额定值的工作状态称为轻载状态; 电流和功率高于额定值的工作状态称为过载状态, 这种工作状态是不允许的。

2. 电感元件

在工程中广泛将由导线绕制的线圈作为电感元件, 又称为电感线圈。电感线圈通以电流后产生磁场, 磁场的方向可以用右手螺旋定则来判断。电感线圈如图 1-7 所示。

当电流 i 通过单匝线圈时, 产生的磁通量为 Φ 。如果 N 匝线圈绕制比较集中, 可以认为通过各匝线圈的磁通量相同, 且磁通总和称为磁链 Ψ , 即 $\Psi = N\Phi$ 。 Φ 、 Ψ 的单位为 Wb (韦伯)。当线圈中没有铁磁材料时, Ψ 与电流 i 成正比关系, 即

$$\Psi = Li \quad (1-4)$$

式中, L 为电感线圈的电感系数, 也称为自感, 它是表征电感性质的重要参数, 单位为 H (亨利), 常用单位还有 mH。

如果忽略绕线电阻, 即将绕线看成理想导线, 线圈就可以抽象为一个理想的线性电感元件 (简称电感元件)。

电感元件的图形符号如图 1-8 所示。

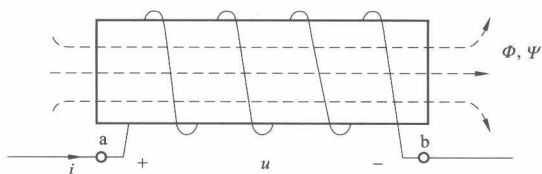


图 1-7 电感线圈

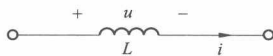


图 1-8 电感元件的图形符号

若电感元件的电压与电流取关联参考方向, 如图 1-8 所示, 则其电压和电流的关系如下式。

$$u = \frac{d\Psi}{dt} = L \frac{di}{dt} \quad (1-5)$$

式(1-5)表明,电感元件的电压瞬时值和电流瞬时值之间是微分关系,由此可以得出以下结论:

(1) 任何时刻,电感元件的电压与该时刻电流的变化率成正比,而与电流的大小无关,这一特性称为电感元件的动态特性。如果通入电感元件的是直流电流,即电流随时间的变化率为零,则不管该直流电流是多大,电感元件两端的电压恒等于零,也可以认为电感元件在直流电路中相当于短路。所以电感元件对交流电具有阻碍作用,而对直流电没有阻碍作用。

(2) 通常电感元件的电压为有限值,所以电感元件中的电流不能跃变,即电流不能在同一时刻由一个值变为另一个值。假如电流在某时刻跃变,该时刻电流随时间的变化率为无穷大,由式(1-5)可知,电压必为无穷大,这与电压为有限值相矛盾,所以,电感电流不能跃变。



注意

电感电压是可以跃变的。

电感元件吸收的功率为

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

将式(1-5)代入式(1-6),有

$$p = Li \frac{di}{dt}$$

假设 $t=0$ 时刻电感元件的电流为 0, 即 $t=0$ 时刻电感元件没有初始储能, 那么到某一时刻, 电感元件储存的磁场能的能量为

$$w_L(t) = \int_0^t p dt = \int_0^t Li \frac{di}{dt} dt = \int_{i(0)}^{i(t)} Li di = \frac{1}{2} Li^2(t) \quad (1-7)$$

当电感元件通以电流时, 电感元件储存磁场能量。当电流增大时, 电感元件储存磁场能; 当电流减小时, 电感元件释放磁场能。即电感元件和电源之间能够进行能量交换, 但是电感元件不产生电能, 也不消耗电能, 是一个储能元件。

3. 电容元件

任何两个互相靠近而又彼此绝缘的金属导体, 都可以看成是一个电容器, 金属导体就是电容器的两个极板。两个极板加上电压后, 分别聚集等量的正负电荷, 并在两极板之间的介质中建立电场。线性电容元件储存的电荷量与加在两极板上的电压成正比, 即

$$q = Cu \quad (1-8)$$

式中, C 称为电容量, 简称电容。国际单位制中, 电容的单位是 F (法拉)。由于 F 太大, 工程上多应用 μF (微法) 或 pF (皮法) ($1\text{F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^{12} \text{pF}$)。

电容元件的图形符号如图 1-9 所示。

如图 1-9 所示, 当电容电压和电流为关联参考方向时, 电流和电压的关系为

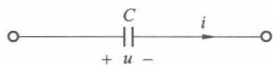


图 1-9 电容元件的图形符号

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-9)$$

式(1-9)表明, 电容的瞬时电流和瞬时电压之间也是微分关系, 由此可以得出以下结论:

(1) 任何时刻, 电容的电流与该时刻电压的变化率成正比, 而与电压的大小无关, 这一特性称为电容的动态特性。如果电容两端加直流电压, 则电压随时间的变化率为零, 电容元件的电流等于零, 即电容在直流电路中相当于开路。所以电容具有“隔直流、通交流”的作用。

(2) 通常电容的电流为有限值, 所以电容两端的电压不能跃变。假如电压在某时刻跃变, 则该时刻电压随时间的变化率为无穷大, 由式(1-9)可知, 电流必为无穷大, 这与电流为有限值相矛盾。



注意

电容电流是可以跃变的。

电容元件吸收的功率为

$$p = ui \quad (1-10)$$

将式(1-9)代入式(1-10), 有

$$p = Cu \frac{du}{dt}$$

假设 $t=0$ 时刻电容元件的电压为 0, 即 $t=0$ 时刻电容元件没有初始储能, 那么某一时刻, 电容元件储存的电场能的能量为

$$w_C(t) = \int_0^t p dt = \int_0^t Cu \frac{du}{dt} dt = \int_{u(0)}^{u(t)} Cu du = \frac{1}{2} Cu^2(t) \quad (1-11)$$

电容元件加上电压时, 其两极板之间会产生电场, 电容元件会储存电场能。电容元件可以和电源之间进行能量交换。当电容电压增大时, 电容元件储存电场能; 当电容电压减小时, 电容元件释放电场能。所以电容元件既不产生电能, 也不消耗电能, 是一个储能元件。

1.3.2 电源元件

电源元件包括理想电压源和理想电流源。理想电压源简称电压源, 理想电流源简称电流源。

在单电源电路中, 电源元件在电路中提供能量, 发出功率。但是在含有多个电源元件的复杂电路中, 可能有些电源元件发出功率, 作为电源使用; 而有些电源元件吸收功率, 作为负载使用。

1. 电压源

实际电压源(如干电池)都有内阻, 且内阻较小, 一般可以忽略该内阻。内阻为零的电压源则成为理想电压源, 简称电压源。

电压源的端电压 u 为

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

式中, u_S 是电压源本身的固有参数, 与外电路无关。当 u_S 为恒定值, 即其大小和方向都不