



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

电工电子技术

第三版 第一分册

电路与模拟电子技术基础

太原理工大学电工基础教学部 编

系列教材主编 渠云田 田慕琴

第一分册主编 李晓明 李凤霞 张英梅



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



“十二五”普通高等教育本科国家级

电工电子技术

Diangong Dianzi Jishu

第三版 第一分册

电路与模拟电子技术基础

■ 太原理工大学电工基础教学部 编

系列教材主编 渠云田 田慕琴

第一分册主编 李晓明 李凤霞 张英梅

内容简介

本书为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。本书根据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”和教育部关于“卓越工程师教育培养计划”的要求,在2008年第二版的基础上,对教材进行进一步的调整、改写、补充而成。

本书的基本特点是教材体系更加合理,理论分析和概念阐述更加严谨、准确,尽量反映当今电工电子信息技术的新概念、新理论和新技术,体现了教材内容的科学性、实用性、前瞻性。本书充分利用电工电子新技术与现代化手段传授分析问题的方法,注重理论联系实际,重视实用技术,强化对学生工程实践能力的培养,有利于提高学生素质、培养学生分析问题和解决问题的能力,为培养应用型创新人才、培养面向科研生产第一线的工程师奠定坚实的基础。

本书主要内容包括电路分析基础、动态电路的瞬态分析、正弦交流电路、二极管及其整流电路、晶体三极管及基本放大电路、集成运算放大器、直流稳压电源、现代电力电子器件及其应用、常用传感器及其应用,共9章内容。本书还配有基于Multisim11.0教学平台的EDA分析与仿真习题。

本书适用于普通高等教育非电类专业和计算机专业,也可作为高职高专及成人教育相应专业的选用教材,还可作为相关专业工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术.第1分册,电路与模拟电子技术基础
/渠云田,田慕琴主编;李晓明,李凤霞,张英梅分册
主编.--3版.--北京:高等教育出版社,2013.4

ISBN 978-7-04-036915-1

I.①电… II.①渠… ②田… ③李… ④李… ⑤张… III.①电工技术-高等学校-教材②电子技术-高等学校-教材③电路理论-高等学校-教材④模拟电路-电子技术-高等学校-教材 IV.①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 022382 号

策划编辑	金春英	责任编辑	许海平	特约编辑	许海平	封面设计	于文燕
版式设计	马敬茹	插图绘制	尹文军	责任校对	陈 杨	责任印制	韩 刚

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街4号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.landraco.com
印 刷	河北鹏盛贤印刷有限公司		http://www.landraco.com.cn
开 本	787mm×1092mm 1/16	版 次	2003年2月第1版
印 张	17		2013年4月第3版
字 数	410千字	印 次	2013年4月第1次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	25.10元
咨询电话	400-810-0598		

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物 料 号 36915-00

第三版前言

自 2002 年本系列教材第一版出版以来,十余年间,新技术不断涌现,电工电子技术在吸收其他新兴学科成就的同时,自身不断地更新发展,而与此相关的教材也需不断修订提高,以适应时代发展的要求。

本系列教材第一分册“电路与模拟电子技术基础”是按照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”和教育部关于“卓越工程师教育培养计划”的要求,分析了高等教育的发展趋势和电类科技的新发展,并吸收了有关专家和读者的反馈意见,在 2008 年第二版普通高等教育“十一五”国家级规划教材的基础上修订编写。在内容上进行全方位的精选、调整、改写、补充,对于一些逐渐被取代的技术进行合理删减,对一些近年来发展的热门技术予以阐述,使之更加适应理工类非电专业、计算机专业等电工电子技术课程的教学要求。

本分册具有如下特点:

一、“电路分析基础”、“动态电路的瞬态分析”、“正弦交流电路”、“二极管及其整流电路”、“晶体三极管及基本放大电路”、“集成运算放大器”、“直流稳压电源”、“现代电力电子器件及其应用”、“常用传感器及其应用”这些章节作了改写,使叙述更为简洁、理论分析和概念阐述更严谨;同时强化了教材的基础性、应用性和先进性。

二、编排合理,方便教学。将二极管从常用半导体器件与基本放大电路一章中分离出来,与整流、滤波和稳压电路重新整合在一起,使得知识更加连贯,也便于实验教学的顺利开展。

三、每节后增加了练习与思考,使学生在自主学习的过程中,有针对性和目的性,便于对知识的充分理解与消化;同时删减了部分难度偏大的习题,使本书更适宜非电类专业学生学习。

四、内容先进。最大限度反映电工电子技术的发展,体现教材的前瞻性。如增加了二极管的应用——光伏发电原理、逆变原理、变频技术、集成稳压开关电源等,拓宽学生的知识面,以满足今后的发展要求。

五、加强工程实践,注重卓越工程师的培养。增加了一些工程实例和实用电路的介绍,引导、启发学生掌握一些先进的设计方法,有利于提高学生素质、培养学生分析问题和解决问题的能力。

六、在第二版使用 Multisim 2001 仿真软件的基础上,又引入了最新仿真软件 Multisim11.0,该软件提供了品种齐全的电子器件库、真实的仿真平台和功能强大的分析方法,还增加了许多 3D 元件和实验仪器,使得仿真操作与仿真效果更加逼真。

本系列教材由太原理工大学渠云田教授、田慕琴教授主编,太原理工大学电工基础教学部组织编写,全套教材共有六个分册。第一分册“电路与模拟电子技术基础”共 9 章,其中李晓明编写第 1 章,陶晋宜编写第 2 章,渠云田编写第 3 章,郭军编写第 4 章,任鸿秋编写第 5 章,申红燕编写第 6 章,高妍编写第 7 章,李凤霞编写第 8 章和附录,朱林彦编写第 9 章,王跃龙编写中英文

名词对照,全书由李凤霞副教授进行统稿。

本教材得到了有关专家和相关部门的关心和支持,特别是北京石油化工学院曾建堂教授作为主审,提出了宝贵意见和修改建议;同时也得到兄弟院校教师和广大读者的关怀,他们提出大量建设性意见,在此深表感谢。

在编写过程中,我们也参考了部分优秀教材。在此,谨向这些教材的作者表示感谢。

由于编者水平和实践经验有限,本教材难免有缺点和错误,恳请读者、特别是使用本教材的教师和学生提出批评和改进意见,以便今后修订提高。

编者

2013年1月

第二版前言

21 世纪知识日新月异,为适应时代的要求,培养具有竞争力和创新能力的优秀人才,根据教育部面向 21 世纪电工电子技术课程教学改革要求,结合我校电工基础教学部近年来对电工电子技术基础课程的改革与实践,在第一版的基础上,我们借鉴国内外有影响力的同类教材,重新对教材进行修订编写,调整补充,使之更适应非电类专业、计算机专业电工电子技术的教学要求。

本教材由太原理工大学电工基础教学部组织编写,全套教材共有六个分册:第一分册,电路与模拟电子技术基础(分册主编李晓明、李凤霞),本分册主要介绍电路分析基础、电路的瞬态分析、正弦交流电路、常用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、现代电力电子器件及其应用和常用传感器及其应用;第二分册,数字与电气控制技术基础(分册主编王建平、靳宝全),本分册主要介绍数字电路基础、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、数模和模数转换技术、存储器与可编程逻辑器件、变压器和电动机、可编程控制器、总线、接口与互连技术等;第三分册,利用 Multisim 2001 的 EDA 仿真技术(分册主编高妍、申红燕),本分册主要介绍 Multisim 2001 软件的特点、分析方法及其使用方法,然后列举大量例题说明该软件在直流、交流、模拟、数字等电路分析与设计中的应用;第四分册,电工电子技术实践教程(分册主编陈惠英),本分册主要介绍电工电子实验基础知识、常用电工电子仪器仪表,详细介绍了 38 个电路基础、模拟电子技术、数字电子技术和电机与控制实验以及 Protel 2004 原理图与 PCB 设计内容;第五分册,电工电子技术学习指导(分册主编田慕琴),本分册紧密配合主教材内容,提出每章的基本要求和阅读指导,有重点内容、重点题目的讲解与分析,列举了一些概念性强、综合分析能力强并有一定难度的例题;第六分册,基于 EWB 的 EDA 仿真技术(分册主编崔建明、陶晋宜、任鸿秋),本分册主要介绍 EWB 5.0 软件的特点、各种元器件和虚拟仪器、分析方法,并对典型的直流、瞬态、交流、模拟和数字电路进行了仿真。系列教材由太原理工大学渠云田教授主编和统稿。本教材第一分册、第二分册由北京理工大学刘蕴陶教授审阅;第三分册、第六分册由太原理工大学夏路易教授审阅;第四分册、第五分册由山西大学薛太林副教授审阅。

本教材第一分册电路与模拟电子技术基础,由李凤霞编写第 1、3、5、6 章,王宇辉编写第 2 章,李晓明编写第 4 章,田慕玲编写第 7 章,朱林彦编写第 8 章,王跃龙编写中英文名词对照等,全书由李凤霞副教授进行统稿。该分册是按照教育部颁布的电工技术(电工学)和电子技术(电工学)两门课的教学基本要求,在第一版的基础上,在教材系统、内容方面进行了新的优化、整合,并较多地补充了新技术、新知识,该书具有如下特点:

一、电路分析基础、电路的瞬态分析、正弦交流电路、常用半导体器件与基本放大电路、集成运算放大器、现代电力电子器件及其应用等章节均作了改写,使教材内容阐述由浅入深,详略得当;文字叙述简明、扼要;理论分析和概念阐述严谨、准确,较好地体现了教材内容的科学性。

二、选材合理,内容精炼。如第 1 章直接从电路元器件入手讲解,第 2 章 RC 电路的瞬态分析一节,删除零输入和零状态响应,主要介绍全响应和三要素法的有关概念等,避免了一些不必

要的低起点的重复,突出了课程的基本概念、基本理论和基本知识。

三、打破传统教学方法,如交流电路分析部分,将容抗、感抗、有功功率和无功功率等引入到交流电路的三要素中讲解,使学生切身体会到交流的概念;将二极管和晶体管放大电路整合为一章内容,删减了一些比较传统、陈旧的内容,使之更适应非电类专业及其他相关专业的教学需要。

四、内容先进,尽量反映当今电工电子信息技术的新概念和新理论,体现教材的前瞻性。如在第7章中,增加了当代新型电力电子器件的有关内容;新增了第8章常用传感器及其应用,拓宽学生的知识面,以满足今后的发展要求。

五、教材内容重视对学生工程实践能力的培养。注重理论联系实际,重视实用技术,将元器件和电路结合起来,增加了一些应用实例和实用电路,引导启发学生,掌握一些先进的设计方法,有利于提高学生素质、培养学生分析问题和解决问题的能力。

本教材由各位审者提出了宝贵意见和修改建议,并且还得到太原理工大学电工基础教学部老师和广大读者的关怀,他们提出大量建设性意见,在此深表感谢。

同时,编写本教材过程中,我们也曾参考了部分优秀教材,在此,谨对这些参考书的作者表示感谢。

限于编者水平,书中错误疏漏之处难免,恳请读者,特别是使用本教材的教师和学生积极提出批评和改进意见,以便今后修订提高。

编者

2007年10月

第一版前言

21 世纪是科学技术飞速发展的时代,也是竞争激烈的时代。为了新一代大学生能适应这个高科技和竞争激烈的时代,根据教育部面向 21 世纪电工电子技术课程教改要求,结合我校电工电子系列课程建设以及山西省教育厅重点教改项目——“21 世纪初非电类专业电工学课程模块教学的改革与实践”,在我们已经使用数年的电工电子技术系列讲义的基础上,经过多次试用与反复修改,将以教材形式面诸于世。

本书是理工科非电类专业与计算机专业本、专科适用的电工电子技术系列教材之一;也是我们教改项目中的第一模块教材,即计算机专业与机械、机电类专业适用教材;同时也是兄弟理工类院校相应专业择用的教材之一;也可作为高职高专和职业技术学院相应专业的择用教材。参考学时为 110~130 学时。

本教材的基本特点是:精练,删减传统内容力度较大;结构顺序变动较大;集成电路与数字电子技术部分内容大大加强;电气控制技术部分系统性增强;电工电子新技术内容与现代分析手段大量引入;突出电气技能与素质培养方面的内容及其在工业企业中的应用范例明显增多;基本概念、分析与计算、EDA 仿真等各类习题分明。

本教材在突出电气技能与素质培养方面增设了不少电工与电子技术应用电路及设计内容。如调光、调速电路、测控技术电路、小型变压器设计与绕制、电动机定子绕组的排布、常用集成运放芯片与数字逻辑芯片介绍及其典型应用电路、世界各主要厂家的 PLC 性能简介、使用 isp-DesignExpert 软件开发 ispLSI 器件等新技术应用内容。

依据电工电子技术的发展趋势及其在机械、机电类专业的应用特点,并兼顾计算机专业的教学需求,此教材的上册为“电路与模拟电子技术基础”,下册为“数字与电气控制技术基础”。

为了有效减少课堂教学时数,增加课内信息量,提高教学效率,并以提高学生技能素质与新技术、新手段的应用能力为目标,使用本教材应建立 EDA 机辅分析教学平台,结合教学方法及教学手段的改革,并与实践教学环节相配合,方能更有效地发挥其效能。

本教材由太原理工大学电工基础教学部组织编写,上册由李晓明任主编,王建平、渠云田任副主编,下册由渠云田任主编,王建平、李晓明任副主编。王建平编写第 1、2、4、5、8 章,李晓明编写第 3、6、15 章,渠云田编写第 9、10、11、12、13、14 章,陶晋宜编写第 16 章,太原理工大学信息学院夏路易教授编写第 7 章与下册的附录 1,太原师范学院周全寿副教授参与了本书附录与部分节次的编写。渠云田、李晓明、王建平三人对全书作了仔细的修改,并最后定稿。

本教材上册由北京理工大学刘蕴陶教授主审,下册由北京理工大学庄效桓教授主审。两位教授对本稿进行了详细的审阅,并提出许多宝贵的意见和修改建议。我们根据提出的意见和建议进行了认真的修改。在本教材编写和出版过程中,大连理工大学唐介教授、太原理工大学信息学院夏路易教授、太原师范大学周全寿副教授以及太原理工大学电工基础教学部使用过本教材讲义的所有教师,给予了极大的关心和支持,在此一并对他们表示衷心的感谢。

同时,编写本教材过程中,我们曾参考了部分优秀教材,在此,谨向这些参考书的作者表示感谢。

由于我们水平有限,书中缺陷和疏漏在所难免,恳请使用本教材的教师和读者批评指正,为提高电工电子技术教材的质量而共同努力。

编者

2002 年 10 月

目 录

第 1 章 电路分析基础	1	2.4 RL 电路的瞬态分析	36
1.1 电路元件	1	*2.5 瞬态分析的运算法	39
1.1.1 电流、电压的参考方向	1	2.5.1 拉普拉斯变换及逆变换	39
1.1.2 电阻元件	2	2.5.2 应用拉氏变换分析线性电路	39
1.1.3 电感元件	2	习题	44
1.1.4 电容元件	3	第 3 章 正弦交流电路	47
1.1.5 理想电压源与理想电流源	4	3.1 正弦交流电的基本概念	47
1.1.6 元件的功率	5	3.1.1 瞬时值、幅值、有效值	47
1.1.7 实际电源的模型	6	3.1.2 周期、频率和角频率	48
1.2 基尔霍夫定律	10	3.1.3 相位、初相位与相位差	49
1.2.1 基尔霍夫电流定律(KCL)	11	3.2 交流电路的相量计算法	51
1.2.2 基尔霍夫电压定律(KVL)	12	3.2.1 复数的表示形式	51
1.2.3 基尔霍夫定律的应用	13	3.2.2 复数的基本运算	52
1.3 电路中电位的概念及计算	16	3.2.3 相量和相量图	52
1.4 叠加定理	17	3.2.4 相量计算法举例	53
1.5 等效电源定理	19	3.3 简单交流电路的计算	55
1.5.1 戴维宁定理	20	3.3.1 RLC 串联电路	55
1.5.2 诺顿定理	21	3.3.2 阻抗的串联与并联	57
1.5.3 等效电阻 R_0 的求解方法	21	3.3.3 功率因数的提高	59
习题	23	3.4 交流电路的频率特性	61
第 2 章 动态电路的瞬态分析	26	*3.4.1 RC 电路的频率特性	61
2.1 瞬态发生的原因与换路定则	26	3.4.2 LC 谐振电路	64
2.1.1 电路发生瞬态的原因	26	3.5 非正弦周期电压和电流	68
2.1.2 换路定则	27	3.6 三相交流电路	70
2.1.3 初始值和稳态值的确定	27	3.6.1 三相交流电源	71
2.2 RC 电路的瞬态分析	29	3.6.2 负载的星形(Y)联结	73
2.2.1 RC 电路的全响应	29	3.6.3 负载的三角形(Δ)联结	76
2.2.2 一阶线性电路瞬态分析的 三要素法	31	3.6.4 三相电路的功率	77
2.3 微分电路与积分电路	34	3.6.5 安全用电	78
2.3.1 微分电路	34	习题	81
2.3.2 积分电路	35	第 4 章 二极管及其整流电路	85
		4.1 二极管	85

4.1.1 半导体基本知识	85	第6章 集成运算放大器	138
4.1.2 二极管及其简单应用	87	6.1 集成运算放大器简介	138
4.1.3 特殊二极管	89	6.1.1 集成运放的电路组成与管脚 功能	138
4.2 整流、滤波与稳压电路	92	6.1.2 集成运放的主要技术指标	139
4.2.1 整流电路	92	6.1.3 集成运放的电压传输特性与 理想化模型	140
4.2.2 滤波电路	95	6.2 放大电路中的负反馈	142
4.2.3 稳压管稳压电路	97	6.2.1 反馈的基本概念	142
习题	99	6.2.2 反馈放大电路的基本类型及 判别方法	143
第5章 晶体三极管及基本放大电路	102	6.2.3 负反馈的四种组态	145
5.1 晶体三极管	102	6.2.4 负反馈对放大电路性能的 影响	146
5.1.1 基本结构和电流放大作用	102	6.3 集成运放的线性应用	148
5.1.2 特性曲线和主要参数	103	6.3.1 比例运算电路	148
5.1.3 开关应用	107	6.3.2 加法与减法运算电路	149
5.2 共发射极放大电路	107	6.3.3 积分与微分运算电路	150
5.2.1 电路的组成	108	6.3.4 集成运放线性应用电路 举例	151
5.2.2 静态分析	109	6.4 集成运放的非线性应用	156
5.2.3 动态分析	110	6.4.1 比较器	156
5.2.4 非线性失真与静态工作点的 设置	116	6.4.2 方波发生器	161
5.2.5 固定式偏置电路的不足	117	6.4.3 方波和三角波发生器	162
5.3 静态工作点的稳定	117	6.4.4 脉冲和锯齿波发生器	163
5.4 共集电极放大电路	119	6.5 正弦波发生器	164
5.5 放大电路的级间耦合与差分 放大电路	122	6.5.1 自激振荡	164
5.5.1 阻容耦合放大电路	122	6.5.2 文氏电桥振荡器	165
5.5.2 直接耦合放大电路	123	6.6 集成运放的正确使用	167
5.5.3 差分放大电路	123	6.6.1 集成运放的型号选择	167
5.6 功率放大电路	125	6.6.2 集成运放的消振和调零	167
5.6.1 功率放大电路的类型	125	6.6.3 集成运放的保护措施	168
5.6.2 互补对称功率放大电路	126	习题	168
5.6.3 集成功率放大器简介	128	第7章 直流稳压电源	173
5.7 绝缘栅型场效应管	130	7.1 线性稳压电源	173
5.7.1 N沟道增强型MOS管	130	7.1.1 线性稳压电源的特点	173
5.7.2 N沟道耗尽型MOS管	132	7.1.2 串联反馈型稳压电路	174
5.7.3 场效应管的主要参数及其与 晶体管的比较	132		
习题	134		

7.1.3 线性集成稳压电源	175	8.7.2 交-直-交变频电路	212
7.2 开关稳压电源	179	习题	214
7.2.1 开关稳压电源的分类、组成与 基本特点	179	第9章 常用传感器及其应用	217
7.2.2 串联开关式稳压电源的工作 原理	183	9.1 传感器的构成与分类简介	217
7.2.3 稳压电源的主要技术指标 ..	185	9.2 电阻式传感器	218
7.2.4 开关电源典型应用电路	186	9.2.1 线绕电位器式电阻传感器 ..	218
习题	188	9.2.2 应变式电阻传感器	218
第8章 现代电力电子器件及其应用	190	9.2.3 热电阻	219
8.1 晶闸管	190	9.2.4 测量电路	220
8.1.1 晶闸管的结构与符号	190	9.2.5 应用举例	220
8.1.2 晶闸管的工作原理	190	9.3 电容式传感器	222
8.1.3 晶闸管的伏安特性	192	9.3.1 基本工作原理	222
8.1.4 晶闸管的主要参数	192	9.3.2 电容式传感器的测量电路 ..	223
8.1.5 特殊晶闸管	193	9.3.3 应用举例	224
8.2 典型的全控型器件	195	9.4 磁电式传感器	225
8.2.1 功率场效应晶体管	195	9.4.1 电磁感应式传感器	225
8.2.2 绝缘栅双极晶体管	198	9.4.2 霍尔传感器	227
8.3 功率集成电路	200	9.5 压电晶体传感器	229
8.3.1 PIC 技术	200	9.5.1 压电效应	229
8.3.2 智能功率模块	200	9.5.2 压电传感器的工作原理	229
8.3.3 IPM 器件的应用	202	9.5.3 压电传感器的测量电路	229
8.4 可控整流电路	203	9.5.4 应用举例	230
8.4.1 单相半波可控整流电路	203	9.6 热电式传感器	231
8.4.2 单相桥式半控整流电路	205	9.6.1 热电偶的基本工作原理	231
8.5 逆变电路	206	9.6.2 热电偶的基本特性	232
8.5.1 逆变电路的基本工作原理 ..	206	9.6.3 对热电偶材料的要求	232
8.5.2 单相半桥电压型逆变电路 ..	207	9.6.4 常用的热电偶材料	233
8.5.3 单相全桥电压型逆变电路 ..	207	9.7 光电式传感器	233
8.5.4 三相电压型逆变电路应用 举例	208	9.7.1 光电导效应及光敏电阻	234
8.6 斩波电路	209	9.7.2 光生伏特效应及光电池、光电 二极管、光电晶体管	234
8.6.1 降压型斩波电路	209	9.7.3 光电传感器应用举例	235
8.6.2 升压型斩波电路	210	9.8 气敏式和湿敏式传感器	236
8.7 变频电路	210	9.8.1 气敏式传感器	236
8.7.1 交-交变频电路	210	9.8.2 湿敏式传感器	238
		9.8.3 应用举例	238
		9.9 传感器的选用原则	239

习题	240	参数	244
附录	241	附录 4 半导体集成电路型号命名法	248
附录 1 电阻器、电容器及其标称值	241	附录 5 部分半导体集成电路的型号和主要参数	250
附录 2 半导体分立器件型号命名法	243	中英文名词对照	252
附录 3 部分半导体器件型号和		参考文献	257

第 1 章 电路分析基础

本章以电路元件和电路基本物理量为基础,重点介绍电路的基本概念、基本定律和线性电路的几种基本分析方法,为学习各种类型的电工电子电路建立必要的基础。

1.1 电路元件

电路是为实现和完成某种需要,由电路元器件或电气设备组合起来,供电流或信息流通的路径。电路的类型和功能是多种多样的,但其主要作用是实现电能的传输、分配和转换,其次是实现信号的传递与处理。如电炉在电流通过时将电能转换成热能,电视机将接收到的信号经过处理,转换成图像和声音。电路的作用虽然不同,但一般是由电源(或信号源)、中间环节、负载三部分组成。电路分析中涉及的电路,由理想元件构成,称为电路模型(以下简称电路)。将实际元件的次要因素忽略,仅考虑主要物理性质的元件称为理想元件,以下简称元件。

1.1.1 电流、电压的参考方向

在电路分析中,对于元器件我们注重的是它的电压和电流之间的关系,即外特性。为了建立描述外特性的电压、电流约束方程,需先要对这些元器件中流过的电流和两端的电压假定一个方向,这个任意假定的方向称为参考方向或正方向。当根据参考方向计算出电压或电流的值为正时,说明该电流或电压参考方向与实际方向一致;反之则相反。而对电压或电流的实际方向,物理学中是这样规定的,电流的方向是正电荷移动的方向;电压的方向是高电位指向低电位的方向;电动势则是在电源内部由低电位指向高电位。

参考方向的表示方法有多种,一般用箭头表示,如图 1-1(a)所示,也可用参考极性“+”、“-”表示,如图 1-1(b)所示,还可用于双下标表示,如图 1-1(c)中的电流 i_{ab} ,表示电流由 a 端流向 b 端; u_{ab} 表示电压降的方向是由 a 指向 b。

虽然电压和电流的参考方向可以任意假定,但在分析电路时,需要考虑电压和电流参考方向的相对关系,当电压和电流的参考方向选取一致时,称为关联参考方向,如图 1-1(c)所示,否则称为非关联参考方向。

对于初学者来说,参考方向的概念容易被忽视,但它在电路课程中非常重要,贯穿于电路分析的整个过程,这些在以后的学习中可以体会到。

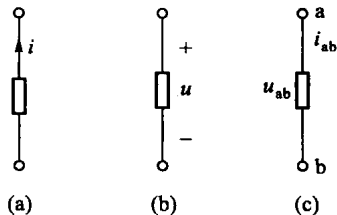


图 1-1 参考方向及其关联性

1.1.2 电阻元件

在任意时刻,能用 $u-i$ 平面上一条曲线表现其外部特性且具有变电能转化为热能特征的元件称为电阻元件。它反映实际电路器件或设备消耗电能的特性,如电炉、白炽灯等。电阻元件的符号及外特性曲线如图 1-2 所示。

如果电阻元件的外特性曲线是一条通过坐标原点的直线,则称该电阻元件为线性电阻元件,如图 1-2(b)中的曲线 1 所示,线性电阻元件的阻值为—常数。否则称非线性电阻元件,如图 1-2(b)中曲线 2 所示,非线性电阻元件的阻值不是常数,其大小与通过它的电流和作用其两端电压的大小有关。

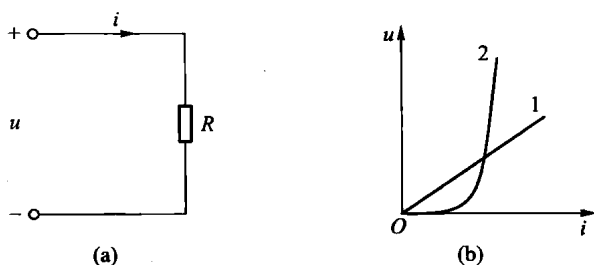


图 1-2 电阻元件的符号及伏安特性

当电路中所有元件均是线性元件时,电路称为线性电路。含非线性元件的电路,称为非线性电路。非线性电阻的电压、电流关系不符合欧姆定律。除非特别指明,本书“电阻”一词均指线性电阻元件。

线性电阻元件两端的电压和流过它的电流之间的关系服从欧姆定律。当 u 与 i 的参考方向为关联参考方向时

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

为非关联参考方向时

$$u = -Ri \quad (1-2)$$

式中 u 的单位为伏[特](V), i 的单位为安[培](A), R 的单位为欧[姆](Ω)、千欧(k Ω)或兆欧(M Ω), $1 \text{ k}\Omega = 10^3 \Omega$, $1 \text{ M}\Omega = 10^6 \Omega$ 。

电阻元件是耗能元件,在关联参考方向下,其消耗的功率为

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

单位为瓦[特](W)。

从 t_1 到 t_2 的时间内,电阻元件消耗的能量为

$$W = \int_{t_1}^{t_2} i^2 R dt \quad (1-4)$$

单位为焦[耳](J)。

对于电阻元件的选用,主要考虑两个参数,一是电阻元件的阻值,二是电阻元件的额定功率。

1.1.3 电感元件

电感元件是用来反映存储磁场能量的理想元件。电感元件的符号如图 1-3 所示。电感元

件通过电流后,磁通链 Ψ 与电流 i 的比值称为电感元件的电感,即

$$L = \frac{\psi}{i} = \frac{N\Phi}{i} \quad (1-5)$$

式中 Ψ 的单位为韦伯 (Wb), L 单位为亨 [利] (H)、毫亨 (mH) 或微亨 (μH)。 L 为常数的,称为线性电感, L 不为常数的称为非线性电感。 N 为线圈的匝数。

当通过电感元件的电流 i 或磁通 Φ 随时间变化时,则产生自感电动势 e_L ,若电感电压 u_L 、自感电动势 e_L 以及电感电流的参考方向如图 1-3 所示,且 L 为线性电感,则有

$$u_L = -e_L = \frac{d\psi}{dt} = L \frac{di}{dt} \quad (1-6)$$

上式表明,线性电感两端电压在任意瞬间与 di/dt 成正比。在直流电路中,由于电流不随时间变化,电感元件的端电压为零,所以电感元件相当于短路。

与电阻元件不同,电感元件本身并不消耗能量,而是以磁能的形式储存在电感线圈的磁场中,所以电感元件是一个储能元件。当通过电感元件的电流为 i 时,它所储存的磁场能量为

$$W_L = \frac{1}{2} Li^2 \quad (1-7)$$

由此可见,任意时刻电感元件的储能只取决于该时刻的电流值,而与电流的过去变化进程无关,且电感元件储能总是大于或等于零,电感元件属于无源元件。

1.1.4 电容元件

电容元件是实际电容器或电路中具有电容效应元件的理想模型,是反映物体存储电荷能力的理想元件。电容元件的符号如图 1-4 所示。

电容元件极板上的电荷量 q 与极板间电压 u 之比称为电容元件的电容,即

$$C = \frac{q}{u} \quad (1-8)$$

式中 C 的单位为法 [拉] (F)、微法 (μF) 或皮法 (pF)。 $1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$, $1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$ 。

线性电容元件的电容 C 是常数,非线性电容元件的电容 C 不是常数,与极板上存储电荷量的多少有关(注意:法 [拉] 太大,常用单位为微法和皮法)。

当电容元件两端的电压 u 随时间变化时,极板上存储的电荷量也随之变化,在电路中就会产生电流 i 。如果 u 、 i 的参考方向为图 1-4 所示的关联参考方向时,则

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

上式表明,线性电容的电流 i 在任意瞬间与 du/dt 成正比。在直流电路中,由于电压不随时间变化,电容元件的电流为零,故电容元件相当于开路。

电容元件本身也不消耗能量,而是以电能的形式储存在电容两极板间的电场中,所以,电容元件也是一个储能元件。当电容元件两端的电压为 u 时,它所储存的电场能量为

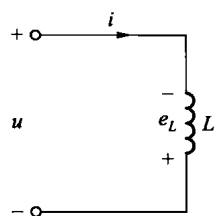


图 1-3 电感元件

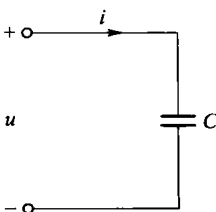


图 1-4 电容元件

$$W_c = \frac{1}{2}Cu^2 \quad (1-10)$$

由此可见,任意时刻电容元件的储能只取决于该时刻的电压值,而与电压的过去变化进程无关,且电容元件的储能总是大于或等于零,电容元件属于无源元件。

线性元件上的电压与电流满足线性叠加关系,串联或并联时的等效值见表1-1。

表1-1 两个元件串联和并联时等效参数的计算公式

连接方式	等效电阻	等效电感	等效电容
串联	$R = R_1 + R_2$	$L = L_1 + L_2$ (无互感效应时)	$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$
并联	$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$	$L = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2}$ (无互感效应时)	$C = C_1 + C_2$

1.1.5 理想电压源与理想电流源

理想电压源和理想电流源又称为恒压源和恒流源,它们的外特性和图形符号分别如图1-5(a)、(b)和图1-6(a)、(b)所示。

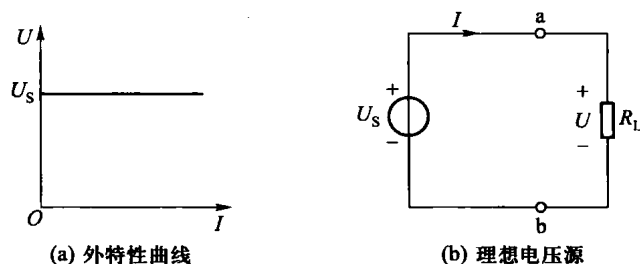


图1-5 理想电压源外特性与图形符号

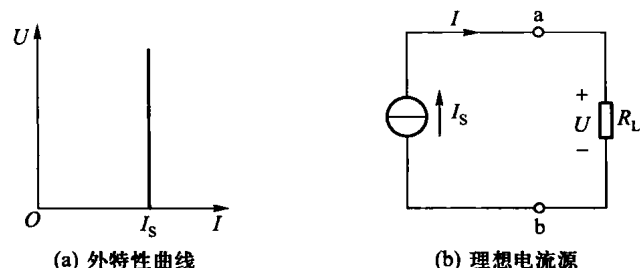


图1-6 理想电流源外特性与图形符号

所谓理想电压源是指电源的输出电压不受外电路的影响,总能保持为某一个恒定值 U_s 或按某种恒定规律变化,而其输出电流却由外部电路决定;所谓理想电流源是指电源输出的电流不受外电路影响,总能保持为某一个恒定值 I_s 或按某种恒定规律变化,而其两端电压却由外部电路决定。

图1-7所示为理想电压源和理想电流源供电的电路,图中无论闭合几个开关,理想电压源