



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电工电子技术

(第二版) 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

第一分册主编 李晓明 李凤霞



高等教育出版社
Higher Education Press

TM13/142=2

:1

2008



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电工电子技术

(第二版) 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

第一分册主编 李晓明 李凤霞



高等教育出版社
Higher Education Press

内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材《电工电子技术》(第二版)的第一分册。本书主要是根据教育部面向 21 世纪电工电子技术课程教学改革要求,在 2003 年第一版的基础上,重新对教材进行精选、调整、改写、补充而成。

本书的基本特点是内容丰富,选材合理、适当,突出内容的科学性、实用性和先进性。教材充分利用电工电子新技术与现代化分析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,强化学生工程实践能力的培养,以进一步提高学生素质、培养学生分析问题和解决问题的能力。

本书第一分册包括电路分析基础、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、常用传感器及其应用共 8 章内容,并有与 Multisim 2001 教学平台相配套的 EDA 分析与仿真习题。

本教材适用于普通高等教育理工科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/
渠云田主编;李晓明,李凤霞分册主编.—2 版.—北京:
高等教育出版社,2008.4

ISBN 978-7-04-023628-6

I. 电… II. ①渠…②李…③李… 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. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 022386 号

策划编辑	金春英	责任编辑	唐笑慧	封面设计	于文燕	责任绘图	尹莉
版式设计	马敬茹	责任校对	殷然	责任印制	陈伟光		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 涿州市京南印刷厂

网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787×1092 1/16
印 张 16
字 数 390 000

版 次 2003 年 2 月第 1 版
2008 年 4 月第 2 版
印 次 2008 年 4 月第 1 次印刷
定 价 18.70 元

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 23628-00

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 EWB5.0 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:精炼,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。两位教授对书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。

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	素法	33
1.1 电路元件	1	2.4 微分电路与积分电路	35
1.1.1 电流、电压的参考方向	2	2.4.1 微分电路	35
1.1.2 电阻元件	2	2.4.2 积分电路	36
1.1.3 理想电压源与理想电流源	4	2.5 RL 电路的瞬态分析	37
1.1.4 元件的功率	5	2.6 瞬态分析的运算法	39
1.1.5 实际电源的模型	6	2.6.1 拉普拉斯变换及逆变换	39
1.2 基尔霍夫定律	9	2.6.2 应用拉氏变换分析线性电路	40
1.2.1 基尔霍夫电流定律(KCL)	10	习题	44
1.2.2 基尔霍夫电压定律(KVL)	11	1. 概念题	44
1.2.3 基尔霍夫定律的应用	12	2. 计算与仿真题	44
1.3 电路中电位的概念及计算	14	第 3 章 正弦交流电路	48
1.4 叠加定理	16	3.1 正弦交流电的基本概念	48
1.5 等效电源定理	17	3.1.1 瞬时值、幅值和有效值	48
1.5.1 戴维宁定理	18	3.1.2 周期、频率和角频率	49
1.5.2 诺顿定理	19	3.1.3 相位、初相位和相位差	50
1.5.3 等效电阻 R_0 的求解方法	20	3.2 交流电路的相量计算法	53
习题	21	3.2.1 复数的表示形式	53
1. 概念题	21	3.2.2 复数的基本运算	54
2. 计算与仿真题	24	3.2.3 相量和相量图	54
第 2 章 电路的瞬态分析	26	3.2.4 相量计算法举例	55
2.1 动态元件	26	3.3 简单交流电路的计算	57
2.1.1 电感元件	26	3.3.1 RLC 串联电路	57
2.1.2 电容元件	27	3.3.2 阻抗的串联与并联	60
2.1.3 动态元件的特点	27	3.3.3 功率因数的提高	62
2.2 瞬态发生的原因与换路定则	28	3.4 交流电路的频率特性	63
2.2.1 电路发生瞬态的原因	28	3.4.1 RC 电路的频率特性	63
2.2.2 换路定则	28	3.4.2 LC 谐振电路	66
2.2.3 初始值和稳态值的确定	29	3.5 非正弦周期电压和电流	70
2.3 RC 电路的瞬态分析	31	3.6 三相交流电路	73
2.3.1 RC 电路的全响应	31	3.6.1 三相交流电源	73
2.3.2 一阶线性电路瞬态分析的三要		3.6.2 负载的星形(Y)联结	75

3.6.3 负载的三角形(Δ)联结	78	功能	132
3.6.4 三相电路的功率	80	5.1.2 集成运放的主要技术指标	133
3.7 工厂供电与安全用电	81	5.1.3 集成运放的电压传输特性与理想 化模型	134
3.7.1 工厂供电	81	5.2 放大电路中的负反馈	135
3.7.2 安全用电	82	5.2.1 反馈的基本概念	136
习题	85	5.2.2 反馈放大电路的基本类型及判别 方法	137
1. 概念题	85	5.2.3 负反馈的四种组态	139
2. 计算和仿真题	86	5.2.4 负反馈对放大电路性能的 影响	140
第4章 常用半导体器件与基本放大 电路	90	5.3 集成运放的线性应用	141
4.1 半导体二极管	90	5.3.1 比例运算电路	141
4.1.1 半导体基本知识	90	5.3.2 加法与减法运算电路	143
4.1.2 二极管及其简单应用	92	5.3.3 积分与微分运算电路	144
4.1.3 特殊二极管	94	5.3.4 运放线性应用电路举例	145
4.2 晶体三极管	96	5.4 集成运放的非线性应用	149
4.2.1 基本结构和电流放大作用	96	5.4.1 比较器	149
4.2.2 特性曲线和主要参数	98	5.4.2 方波发生器	154
4.3 基本放大电路	101	5.4.3 方波和三角波发生器	156
4.3.1 共发射极放大电路	101	5.4.4 脉冲和锯齿波发生器	157
4.3.2 静态工作点的稳定	110	5.5 正弦波发生器	157
4.3.3 共集电极放大电路	112	5.5.1 自激振荡	158
4.3.4 放大电路的级间耦合与差分放大 电路	115	5.5.2 文氏电桥振荡器	159
4.4 功率放大电路	118	5.6 集成运放的正确使用	161
4.4.1 功率放大电路的类型	118	5.6.1 集成运放的型号选择	161
4.4.2 互补对称功率放大电路	119	5.6.2 集成运放的消振和调零	161
4.4.3 集成功率放大器简介	121	5.6.3 集成运放的保护措施	161
4.5 绝缘栅型场效应管	122	习题	162
4.5.1 N沟道增强型MOS管	123	1. 概念题	162
4.5.2 N沟道耗尽型MOS管	124	2. 计算与仿真题	164
4.5.3 场效应管与晶体管的 比较及其主要参数	125	第6章 直流稳压电源	169
习题	126	6.1 整流与滤波电路	169
1. 概念题	126	6.1.1 整流电路	169
2. 计算与仿真题	130	6.1.2 滤波电路	172
第5章 集成运算放大器	132	6.2 稳压电路	174
5.1 集成运放简介	132	6.2.1 并联型稳压电路	174
5.1.1 集成运放的电路组成与引脚		6.2.2 串联型反馈稳压电路	176

6.3 集成稳压器	178	习题	206
6.3.1 三端固定式集成稳压器	178	1. 概念题	206
6.3.2 三端可调式集成稳压器	179	2. 计算与仿真题	206
6.3.3 基准电压源	179	第8章 常用传感器及其应用	208
6.4 串联开关型稳压电源	180	8.1 传感器的构成与分类简介	208
6.4.1 串联开关型稳压电源的工作		8.2 电阻式传感器	209
原理	180	8.2.1 绕组电位器式电阻传感器	209
6.4.2 开关电源典型应用电路	183	8.2.2 应变式电阻传感器	209
习题	185	8.2.3 热电阻	209
1. 概念题	185	8.2.4 热敏电阻	210
2. 计算与仿真题	186	8.2.5 PN 结型集成温度传感器	210
第7章 现代电力电子器件及其应用	188	8.2.6 应用举例	210
7.1 晶闸管	188	8.3 电容式传感器	211
7.1.1 晶闸管的结构与符号	188	8.3.1 基本工作原理	212
7.1.2 晶闸管的工作原理	188	8.3.2 电容式传感器的测量电路	213
7.1.3 晶闸管的伏安特性	189	8.3.3 应用举例	214
7.1.4 晶闸管的主要参数	190	8.4 磁电式传感器	215
7.1.5 晶闸管触发电路	191	8.4.1 电磁感应式传感器	215
7.2 可控整流电路	193	8.4.2 霍尔传感器	217
7.2.1 单相半波可控整流电路	193	8.5 压电晶体传感器	218
7.2.2 单相桥式半控整流电路	195	8.5.1 压电效应	218
7.3 功率场效应晶体管	196	8.5.2 压电传感器的工作原理	219
7.3.1 功率 MOSFET 的结构和工作		8.5.3 压电传感器的测量电路	219
原理	196	8.5.4 应用举例	220
7.3.2 功率 MOSFET 的主要特性	197	8.6 热电式传感器	221
7.3.3 功率 MOSFET 的主要参数	198	8.6.1 热电偶的基本工作原理	221
7.4 绝缘栅双极晶体管	199	8.6.2 热电偶的基本特性	222
7.4.1 IGBT 的结构和工作原理	199	8.6.3 对热电偶材料的要求	222
7.4.2 IGBT 的主要特性	199	8.6.4 常用的热电偶材料	222
7.4.3 IGBT 的主要参数	201	8.7 光电式传感器	223
7.4.4 智能型器件 IPM	201	8.7.1 外光电效应和光电管、光电倍	
7.5 现代电力电子技术应用实例		增管	223
分析	202	8.7.2 光电导效应及光敏电阻	224
7.5.1 用功率 MOSFET 构成的高频		8.7.3 光生伏特效应及光电池、光电	
电源	202	二极管、光电晶体管	225
7.5.2 逆变器	203	8.7.4 光电传感器应用举例	226
7.5.3 直流调压电路(斩波器)	204	8.8 气敏式和湿敏式传感器	227
7.5.4 IPM 器件的应用	205	8.8.1 气敏式传感器	227

8.8.2 湿敏式传感器	228	附录3 部分半导体器件型号和参数	234
8.8.3 应用举例	228	附录4 半导体集成电路型号命名法	237
习题	230	附录5 部分半导体集成电路的型号和 主要参数	239
附录	231	中英文名词对照	240
附录1 电阻器、电容器及其标称值	231	参考文献	245
附录2 半导体分立器件型号命名法	233		

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工作需要,由元器件或电气设备组合起来,供电流流通的路径。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,电视机可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,但其组成一般有电源、负载、中间环节三个最基本的部分,例如图 1-1 所示的手电筒电路。考虑到实际元件的复杂性,理论分析时,常采用由理想元件构成的电路模型(以下简称电路),如图 1-2 所示。将实际元件的次要因素忽略,仅考虑其一种主要物理性质的元件称为理想元件,以下简称元件。

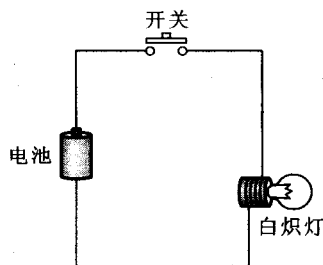


图 1-1 手电筒电路

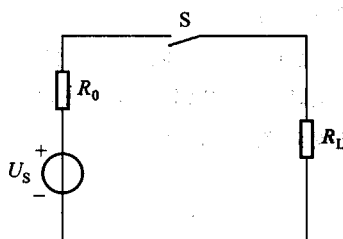


图 1-2 手电筒电路模型

常见的实际元件一般可由图 1-3 所示的五种理想元件组成。

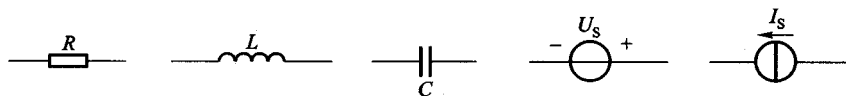


图 1-3 理想元件

本章先讨论电阻 R 、理想电压源 U_s 、理想电流源 I_s ,电感元件 L 和电容元件 C 将在第 2 章中讨论。

1.1.1 电流、电压的参考方向

在电路分析中,涉及元器件的有关问题时,我们注重的是元器件的电压和电流之间的关系,即伏安特性。为了建立描述伏安特性的电压、电流约束方程,需要先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;电压的方向由高电位点指向低电位点;电动势的方向则是在电源内部由低电位点指向高电位点。

参考方向的表示方法有多种,可以用箭头表示,如图1-4(a)所示,也可用参考极性“+”、“-”表示,如图1-4(b)所示,还可用于双下标表示,如图1-4(c)所示。

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1-4(c)所示,否则称为非关联参考方向,如图1-4(a)所示。

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。

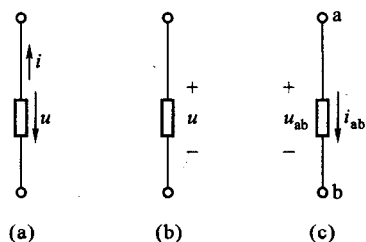


图 1-4 参考方向及其关联性

1.1.2 电阻元件

1. 电阻元件的定义

在任意时刻,能用 $u-i$ 平面上一条曲线表现其伏安特性且具有变电能为热能特征的元件称为电阻元件。它反映实际电路元器件或设备消耗电能特性,如电炉、照明器具等。电阻元件的符号及外特性曲线如图1-5所示。

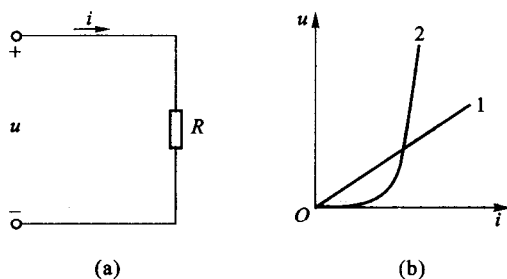


图 1-5 电阻元件的符号及伏安特性

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1-5(b)中的曲线1所示,线性电阻元件的阻值为—常数。否则称为非线性电阻元件,如图1-5(b)中曲线2所示,其阻值大小随着电流或两端电压的变化而变化。非线性电阻的电压、电流关系不符合欧姆定律。

线性电阻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), 它们之间的转换关系为 $1 \text{ k}\Omega = 10^3 \Omega$, $1 \text{ M}\Omega = 10^6 \Omega$ 。

仅由线性电路元件和独立电源组成的电路称为线性电路。若电路中至少含有一个非线性元件, 则该电路称为非线性电路。除非特别指明, 本书仅讨论线性电路。

例 1-1 应用欧姆定律求图 1-6 所示电路中的电阻 R 。

解: 图 1-6(a)
$$R = \frac{U}{I} = \frac{6}{3} \Omega = 2 \Omega$$

图 1-6(b)
$$R = -\frac{U}{I} = -\frac{6}{-3} \Omega = 2 \Omega$$

图 1-6(c)
$$R = -\frac{U}{I} = -\frac{-6}{3} \Omega = 2 \Omega$$

图 1-6(d)
$$R = \frac{U}{I} = \frac{-6}{-3} \Omega = 2 \Omega$$

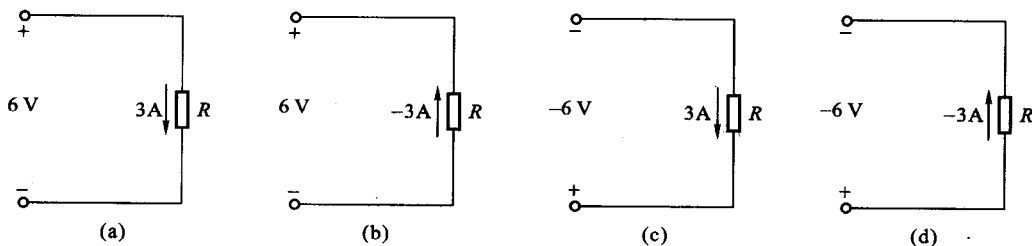


图 1-6 例 1-1 的图

2. 电阻元件的功率和能量

在关联参考方向下, 电阻元件的功率可表示为

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

单位为瓦[特](W)。

从 t_1 到 t_2 的时间内, 电阻元件吸收的能量为

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

单位为焦[耳](J)。

对于实际电阻器的模型, 电阻参数 R 通常为正值, 由式(1-3)和式(1-4)可以看出正值电阻的功率和能量在任何时刻均为正值, 可见电阻元件为耗能元件。

1.1.3 理想电压源与理想电流源

理想电压源和理想电流源的外特性 $U=f(I)$ 和图形符号分别如图 1-7(a)、(b) 和图 1-8(a)、(b) 所示。

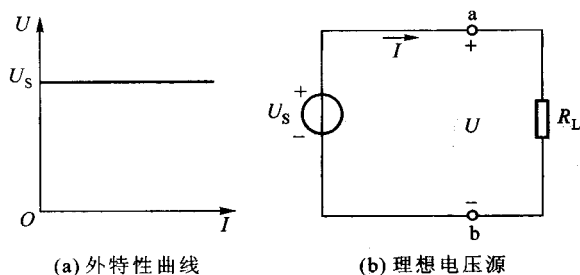


图 1-7 理想电压源外特性与符号

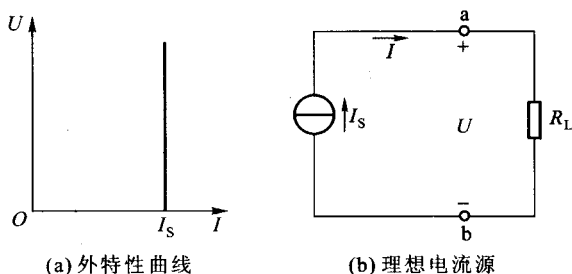


图 1-8 理想电流源外特性与符号

所谓理想电压源是指它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 ,而其输出电流却由外部电路决定;所谓理想电流源是指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 ,而其两端电压却由外部电路决定。

图 1-9 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,理想电压源两端的电压始终为 6 V,理想电流源输出的电流始终为 2 A,但理想电压源中流过的电流和理想电流源两端的电压却由外部电路决定。

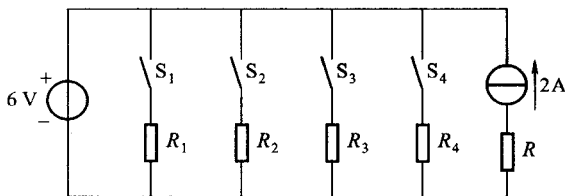


图 1-9 理想电压源和理想电流源供电电路

由于理想电压源的输出电压和理想电流源的输出电流是不受外部电路控制而独立存在的,故称其为独立电源。也有一种电源,它的输出电压或输出电流尽管也不受负载的影响,但却受电路中其他支路电流或电压的控制,称为受控源,常见的理想受控源有以下四种,如图 1-10 所示。

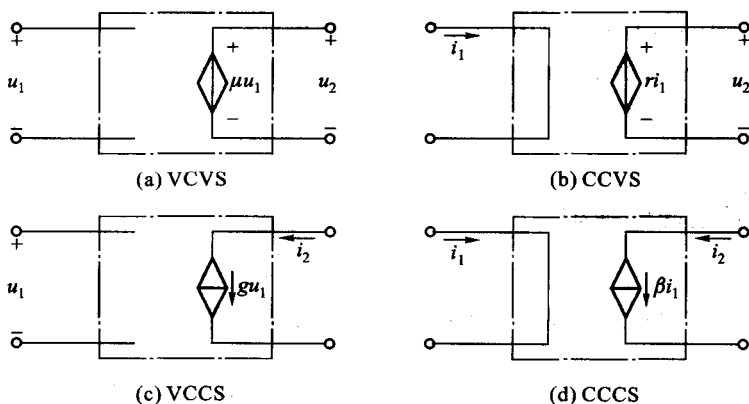


图 1-10 理想受控源模型

① 电压控制电压源 (VCVS), 如图 1-10(a) 所示, 输出电压 $u_2 = \mu u_1$ 。其中, μ 是电压放大系数, u_1 为输入电压。

② 电流控制电压源 (CCVS), 如图 1-10(b) 所示, 输出电压 $u_2 = r i_1$ 。其中, r 是转移电阻, 单位是欧[姆](Ω), i_1 为输入电流。

③ 电压控制电流源 (VCCS), 如图 1-10(c) 所示, 输出电流 $i_2 = g u_1$ 。其中, g 是转移电导, 单位是西[门子](S), u_1 为输入电压。

④ 电流控制电流源 (CCCS), 如图 1-10(d) 所示, 输出电流 $i_2 = \beta i_1$ 。其中, β 是电流放大系数, i_1 为输入电流。

如果上述关系式中的系数 μ 、 r 、 g 、 β 是常数, 则上述受控源为线性受控源。

1.1.4 元件的功率

在电路的分析计算中, 需要考虑的一个重要问题就是元件的功率。在引入参考方向后, 元件的功率可按式(1-5)、式(1-6)计算。

元件两端电压和流过的电流为关联参考方向时

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

元件两端电压和流过的电流为非关联参考方向时

$$P = -UI \quad (1-6)$$

在此规定下, 将电流 I 和电压 U 代入式(1-5)、式(1-6)中, 如果计算结果 $P > 0$ 时, 表示元件吸收功率, 该元件为负载性质; 反之, $P < 0$ 时, 表示元件发出功率, 该元件为电源性质。

例 1-2 在图 1-11 所示的电路中, 已知: $U_1 = 20 \text{ V}$, $I_1 = 2 \text{ A}$, $U_2 = 10 \text{ V}$, $I_2 = -1 \text{ A}$, $U_3 = -10 \text{ V}$, $I_3 = -3 \text{ A}$, 试求图中各元件的功率, 并说明各元件的性质。

解:由功率计算的规定,可得

$$\text{元件 1 功率 } P_1 = -U_1 I_1 = -20 \times 2 \text{ W} = -40 \text{ W}$$

$$\text{元件 2 功率 } P_2 = U_2 I_2 = 10 \times (-1) \text{ W} = -10 \text{ W}$$

$$\text{元件 3 功率 } P_3 = -U_3 I_1 = -(-10) \times 2 \text{ W} = 20 \text{ W}$$

$$\text{元件 4 功率 } P_4 = -U_2 I_3 = -10 \times (-3) \text{ W} = 30 \text{ W}$$

元件 1 和元件 2 发出功率是电源,元件 3 和元件 4 吸收功率是负载。上述计算满足 $\sum P = 0$,说明计算结果无误。

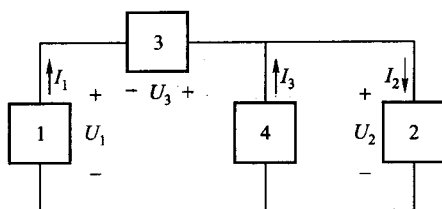


图 1-11 例 1-2 图

1.1.5 实际电源的模型

在工农业生产和日常生活中,常见的电源有发电机、干电池、蓄电池、稳压电源、稳流电源等,在理论分析时,可用前述的三个理想元件来建立它们的电路模型。下面介绍两种常见的实际电源的电路模型。

1. 电压源和电流源

在对电路进行分析时,实际电源的输出电压或电流都会受到外电路的影响,只是在一定条件下、一定程度上与理想电源特性近似。用理想电源与电阻元件的组合可以表征实际电源的端口伏安特性。图 1-12(a)、(b)和图 1-13(a)、(b)分别表示了电压源和电流源的外特性及电路模型。

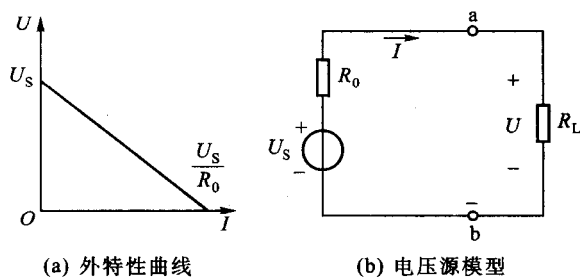


图 1-12 电压源外特性曲线和模型

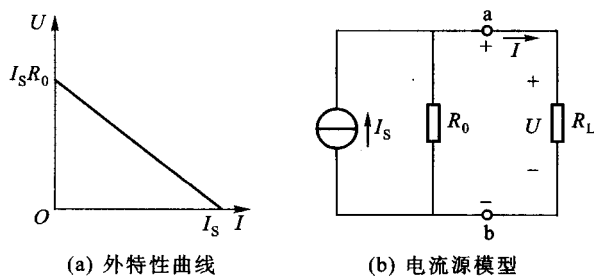


图 1-13 电流源外特性曲线和模型