



北京市高等教育精品教材立项项目

电工电子技术简明教程

主 编 曾建唐

副主编 戴波 蓝波 张吉月 晏涌

主 审 李守成 刘蕴陶



高等教育出版社
Higher Education Press



北京市高等教育精品教材立项项目

电工电子技术简明教程

主 编 曾建唐

副主编 戴波 蓝波 张吉月 晏涌

主 审 李守成 刘蕴陶



高等教育出版社
Higher Education Press

内容提要

“电工电子技术(电工学)”是非电类专业重要的基础课程。本教材是根据我国高等教育发展的新形势,根据教育部电子电气基础课程教学指导分委员会“电工学课程教学基本要求”(草案),在新的教育理念指导下,根据一般院校培养应用型高级技术人才的定位编写的。本教材突出一条主线,注重理论联系实际,应用电路由浅入深;内容包括9章,分为四个部分:电工技术、模拟电子技术、数字电子技术和电力电子技术。且各部分内容前后贯通,有机结合,既有基础理论,又有新技术、新方法,力求与时俱进。本教材简明扼要,适于作非电类专业,少学时电工学课程本科教材,也可作高职、高专院校的教材。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术简明教程/曾建唐主编. —北京:高等教育出版社,2009.12

ISBN 978-7-04-028060-9

I. 电… II. 曾… III. ①电工技术-高等学校-教材
②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(2009)第 167359 号

策划编辑	金春英	责任编辑	柳秀丽	封面设计	于文燕	责任绘图	尹 莉
版式设计	马敬茹	责任校对	俞声佳	责任印制	毛斯璐		

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 100120
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京中科印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 16
字 数 390 000

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2009 年 12 月第 1 版
印 次 2009 年 12 月第 1 次印刷
定 价 19.20 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 28060-00

前 言

“电工电子技术(电工学)”课程的主要任务是研究电的规律及其应用,是非电类专业的技术基础课程。在信息时代的今天,应用电子技术促进各专业发展的趋势十分迅猛,因此,“电工电子技术”课程已成为各专业具有信息时代特征的重要技术基础课程。电工电子基本技能已经成为各专业学生最重要的基本技能之一,它关系到毕业生就业的竞争力,以及就业后的发展潜力,也是学生基本学科素质和社会适应性的体现。

作为技术基础课程,电工电子技术(电工学)课程应该具有基础性、应用性和先进性。所谓基础性是指基本理论、基本知识和基本技能。就是要研究一般规律,从而掌握分析方法,举一反三,具有创新基础;应用性是指把电工电子知识与专业课程相融合,应用于实际,培养应用能力,激励创新。“电工电子技术”课程是一门与实践结合得很紧密的课程,脱离了实践和应用,就失去了学习的意义;先进性是指电工电子技术是在不断发展着的,要结合新技术、新工艺、新方法,学习、研究和发展传统理论,要有创新的理念和思维,才能使课程适应国家工业化和信息化进程的要求。电工技术和电子工业的水平是一个国家现代化程度和技术进步的重要标志。

在我国高等教育迅猛发展的今天,时代要求我们必须以全新的教育理念、科学的教育方法、全身心的投入,与时俱进,不断研究,才能培养出更多更好的创新型人才。本教材是在北京市精品课程建设、北京市优秀教学团队建设中根据目前的教育形势,同时,也根据教育部电子电气基础课程教学指导分委员会提出的“电工学教学基本要求”(草案)进行编写的。编者主要考虑的问题是:

1. 需要打破原有的电工学教材体系。对于非电类专业而言,特别是一般院校,应该找准本课程的定位。非电类专业电工学课程的教学在系统和要求上不应该与电类专业一样,其教材也不应该是电类专业教材的缩编。

2. 适应大众化教育的新形势。在整个教育界和高等院校要分层次对电工电子技术内容、体系、教学方式、教学方法进行一次革新。不能所有院校、所有的专业一个模式,一个教材体系。特别是一般院校应该体现与重点院校在培养目标上的不同和特色。

3. 由于现在多数院校对理论课学时的压缩,“电工电子技术”课程学时数大多压缩到 90 学时以下,因此必须有适应这样学时的教材。

4. 现在有些教材越编越厚,有人提出:教材可以编得厚一些,讲得可以少一些。但从另一个角度考虑,编得再详细也不可能达到电类专业相关课程教材的深度和容量,因此本教材从实际出发,力求内容丰富、达到要求,做到基本够用。在现有知识的基础上,如果需要扩展某些知识,可再去研读电类专业相关教材,以扩展和深化知识领域。

本教材在内容上共 9 章分为四个部分:电工技术、模拟电子技术、数字电子技术和电力电子技术。四个部分相互联系、相互渗透,有机结合、前后贯通。另外“三相异步电动机和控制(含变频调速、PLC)”没有写入本教材,这是与传统教材的不同之处。编者经过多年的研究与实践,认

为这一部分内容可以放在“电工实习”中,让学生在实践中学、在学习中实践,可以起到事半功倍的作用。相关内容建议参见《电工电子基础实践教程》(曾建唐主编,“十一五”国家级规划教材和北京市精品教材)。

本教材力图在以下几方面体现特色:

1. **理念**:在中国高等教育从精英教育向大众化教育的转型阶段,教材必须适应这个变化,才能在现代高等教育中很好地发挥提高教学质量、培养高水准人才的作用。几十年一贯制、体系内容变化缓慢的教材不能适应今天的快节奏。教材的编写应该充分体现“以学生为中心,以教师为主导”的理念,才能找准方向,才能编好。

2. **定位**:在我国,普通高等教育分成“重点”和“一般”两个层次。一般理工院校基本上都是教学型学校,培养的是应用型高级技术人才。在这个定位下,本教材应该体现“知行并重、实践育人”的特色和理念。应该在教材内容和体系上与重点院校有所区别。

3. **体系**:要把模拟电子技术和电路分析融合在一起,数字电子技术既要有相对独立性,又要与模拟电子技术相结合,对 A/D、D/A 转换要讲清概念,便于模拟数字结合,灵活应用。多介绍一些实用性强和通用的系统,逐步加深,使学生学有所用。

4. **思路**:注重基本概念和知识性,不在计算上花费太多时间和精力,习题要注重考察和帮助理解相关概念和知识。

电子技术以集成电路为主进行介绍,只要求学生对于一个新的芯片很快会用,进而对新技术能够产生兴趣,培养通过看说明书就能独立应用的能力。

既要兼顾知识的体系和连续性,又不要被原有教材体系束缚;既要结合实际,又要联系基础理论,努力使学生在认知、用知和创新上一步步前进。

5. **方法**:从一开始就把电路分析的解析法(精确计算)和估算法(近似计算)以及图解法相结合,进一步引申到非线性电路的分析,解决学生不适应现有教材体系的问题。

6. **结合**:教材中突出元器件和电路结合、电路和实际结合、电路典型环节和系统结合。要使学生感到学有所用,学有兴趣。电路与器件要注重应用,要与工程实际结合。

7. **更新**:从一开始就简单介绍 EDA 仿真软件(Multisim 和 EWB)的基本应用,与新技术结合,还可以提高学生学习兴趣。同时为学生进一步学习高级电子设计软件打下基础,与时俱进。

8. **简明**:简明扼要,力争做到适用、实用和好用。

本教材是电工学北京市精品课程建设和北京市电工电子优秀教学团队建设的成果之一。多年来教师们团结合作,扎扎实实搞教改,实实在在搞建设,开拓进取,取得不少成果。在编写本教材的过程中,多次开展教学研讨,经过三轮在教学中试用,反复修改,才把现在的教材呈献在读者面前,希望得到大家的指正。

参加本教材编写的都是长期在教学第一线的教师。具体分工是:曾建唐(前言、第 2、3、9 章和 1、4、5 章的部分内容),戴波(第 1 章),王志秀(第 4 章),张吉月(第 5 章),晏涌(第 6 章),蓝波(第 7、8 章)。本教材主审是北京交通大学李守成教授和北京理工大学刘蕴陶教授,他们都是北京市高教学会电工学研究会前任理事长,是长期从事本课程教学的专家。两位主审不辞劳苦详细地审阅了编写提纲和本教材全稿,提出了不少建设性、指导性意见,在此深表敬意和感谢。

与本教材配套的实践教学指导教材是《电工电子基础实践教程》(含电工电子实验指导和实验指导等)。

本教材在使用中可以充分利用网络资源查阅需要的资料,推荐如下网站:[http:// www.21ic.com](http://www.21ic.com);[http://www. ic37. com/](http://www.ic37.com/);[http://www. icpdf. com/](http://www.icpdf.com/);[http://www. xomreviews. com/cndzz. com](http://www.xomreviews.com/cndzz.com) ;[http://www. icbase. com/default_cn. asp](http://www.icbase.com/default_cn.asp)。也可以通过 [http://www. bipt. edu. cn/web/eetec](http://www.bipt.edu.cn/web/eetec) 链接。

由于编者能力和水平有限,在编写中难免有所疏漏和谬误,敬请读者批评指正。

编 者

2009 年 8 月

目 录

第 1 章 电路模型和电路元件	1	2. 基尔霍夫电压定律	25
1.1 电路基本物理量	1	3. 支路电流法	26
1. 电路和电路模型	1	2.2 单口网络分析	26
2. 电流、电压及其参考方向	2	1. 无源单口网络	27
3. 电路的功率	3	2. 有源单口网络	31
1.2 电压源与电流源的模型	5	2.3 叠加定理和等效电源定理	34
1. 电压源的模型	5	1. 叠加定理	34
2. 电流源的模型	6	2. 戴维宁定理和诺顿定理	37
1.3 电阻元件和欧姆定律	7	2.4 一阶电路及三要素分析法	38
1. 电阻的分类	7	1. 一阶电路和换路定律	38
2. 欧姆定律	7	2. 一阶电路的三要素分析法	39
3. 简单非线性电阻电路的分析	9	小结	43
1.4 电感和电容元件	9	习题	43
1. 电感元件	9	第 3 章 正弦交流电路	48
2. 电容元件	10	3.1 正弦量的三要素	48
1.5 电子器件基础	11	1. 频率、周期和角频率	48
1. 半导体材料和二极管	11	2. 相位、初相位和相位差	49
2. 双极晶体管	13	3. 幅值和有效值	50
3. 场效应管	13	3.2 正弦量的相量表示法	51
1.6 传感器	14	1. 相量	51
1. 传感器的作用及分类	14	2. 复数	51
2. 几种常见的传感器	15	3. 正弦量和相量的相互转换	53
1.7 电路仿真技术简介	16	4. 相量图	53
1. 绘制电路图	17	5. 基尔霍夫定律的相量形式	54
2. 单元电路的简单测试	18	3.3 单一参数电路元件交流电路 分析	57
3. 数字万用表的使用	18	1. 电阻元件的交流电路	57
小结	19	2. 电感元件的交流电路	58
习题	20	3. 电容元件的交流电路	60
第 2 章 电路定律、定理和基本分析 方法	24	3.4 RLC 串联电路分析	63
2.1 基尔霍夫定律	24	1. 相量模型和伏安关系	63
1. 基尔霍夫电流定律	24	2. 阻抗	64

3. 功率	65	4.6 场效应管放大电路简介	126
3.5 正弦交流电路的分析	69	4.7 多级放大电路	127
1. 阻抗的串并联	69	小结	129
2. 复杂正弦交流电路的分析	71	习题	130
3.6 功率因数的提高	73	第5章 集成放大电路	132
1. 提高功率因数的意义	73	5.1 集成运算放大器概述	132
2. 提高功率因数的方法	73	1. 集成运算放大器的基本组成	132
3.7 交流电路的频率特性	74	2. 集成运算放大器的主要参数和特性	133
1. 电路的谐振	74	3. 实用集成运算放大器芯片	136
2. 滤波电路	79	5.2 放大电路中的反馈	137
3.8 三相电路	80	1. 反馈的定义	137
1. 三相电源	80	2. 反馈的类型	137
2. 三相负载电路分析	82	3. 反馈类型的判别方法	138
3. 三相功率	87	4. 负反馈对放大电路性能的影响	139
小结	88	5. 正反馈的应用	139
习题	89	5.3 集成运放在模拟信号运算中的 应用	139
第4章 模拟电子电路基础	97	1. 比例运算	139
4.1 半导体二极管的伏安特性及 应用	97	2. 加减法运算	142
1. 二极管的伏安特性	97	3. 积分运算	144
2. 二极管的主要参数	98	4. 微分运算	144
3. 二极管应用电路	98	5. 运算电路应用实例	145
4.2 晶体管的电流放大作用和主要 参数	105	5.4 正弦波振荡器	146
1. 晶体管的电流放大作用和特性曲线	105	1. 自激振荡	146
2. 晶体管的主要参数	107	2. RC 正弦波振荡电路	147
4.3 晶体管基本放大电路	107	5.5 集成功率放大器	149
1. 共发射极基本放大电路的组成和工作 原理	107	1. 集成功率放大器的特点和主要性能 指标	149
2. 电路的静态分析	109	2. 集成功率放大器的应用	149
3. 电路的动态分析	110	5.6 模拟集成电路应用实例	150
4.4 分压式偏置放大电路	115	1. 主要半导体器件	150
1. 电路组成及工作原理	115	2. 电路工作原理	151
2. 电路静态工作点的计算	116	小结	152
3. 电路的动态分析	116	习题	153
4.5 射极输出器	122	第6章 基本门电路及组合逻辑电路	158
1. 静态分析	123	6.1 基本门电路及其组合	159
2. 动态分析	123	1. 逻辑门电路的基本概念	159
		2. 基本门电路的组合	161

3. 集成逻辑门电路	163	1. 二进制计数器	202
6.2 逻辑代数	164	2. 十进制计数器	203
1. 逻辑代数的运算公式	164	3. 任意进制计数器的构成	203
2. 逻辑函数的化简	166	7.7 集成 555 定时器	206
6.3 组合逻辑电路的分析与设计	169	1. 集成 555 定时器结构及功能	206
1. 组合逻辑电路分析	169	2. 用 555 定时器构成多谐振荡器	207
2. 组合逻辑电路设计	171	3. 用 555 定时器构成单稳态触发器	208
6.4 常用组合逻辑电路	173	4. 用 555 定时器构成施密特触发器	209
1. 加法器	173	小结	210
2. 编码器	175	习题	210
3. 译码器	178	第 8 章 数/模和模/数转换	216
6.5 组合逻辑电路应用实例	181	8.1 D/A 转换器	216
1. 三人表决电路	181	1. 权电阻型 D/A 转换器	216
2. 抢答器电路	182	2. $R-2R$ 电阻网络 D/A 转换器	217
小结	183	3. 权电流型 D/A 转换器	218
习题	184	4. D/A 转换器的主要技术指标	219
第 7 章 时序逻辑电路	188	8.2 A/D 转换器	219
7.1 基本 RS 触发器	188	1. 采样和保持	219
1. 电路构成	189	2. 量化与编码	220
2. 输出与输入逻辑关系分析	189	3. 并联比较型 A/D 转换器	220
3. 逻辑功能描述	190	4. 双积分型 A/D 转换器	221
4. 逻辑符号	191	5. A/D 转换器的主要技术指标	223
7.2 同步触发器	192	8.3 电子系统应用举例	223
1. 同步 RS 触发器	192	1. 原理框图	224
2. 同步 D 触发器(D 锁存器)	193	2. 单元电路和总图	224
3. 同步触发器的空翻	193	小结	228
7.3 边沿触发器	194	习题	228
1. 边沿 JK 触发器	194	第 9 章 电力电子技术及应用	230
2. 边沿 D 触发器	195	9.1 常用电力电子器件	230
7.4 时序逻辑电路的分析	196	1. 功率二极管	230
1. 时序逻辑电路的一般分析方法	196	2. 晶闸管	230
2. 同步时序逻辑电路分析举例	197	3. 功率场效应晶体管	233
3. 异步时序逻辑电路分析举例	198	4. 绝缘门极双极晶体管	233
7.5 寄存器	199	9.2 晶闸管可控整流电路	234
1. 数码寄存器	199	1. 单相半波可控整流电路	234
2. 移位寄存器	200	2. 单相桥式可控整流电路	236
3. 寄存器应用举例	201	3. 触发电路	236
7.6 计数器	202	9.3 电力电子技术应用	238

1. 舞台灯光调节电路	238	6. 无触点开关及应用	240
2. 电动缝纫机电路	238	小 结	242
3. 双向晶闸管和台灯调光电路	239	习 题	242
4. 直流电动机调速	239	参考文献	243
5. 变频电路框图及变频器应用	240		

第 1 章

电路模型和电路元件

1.1 电路基本物理量

1. 电路和电路模型

(1) 电路

电路是根据某种需要由电工、电子元器件或设备按一定方式连接起来的流过电流的闭合路径。以供电系统和有线广播为例,如图 1-1 所示。

电路的结构和形式是多种多样的,根据电路的作用,大致可以分为两类:一类是用于实现电能的传输、分配和转换的供电系统;另一类是用于信号的传递与处理及运算的信息系统。

无论哪一种电路,都可以把它们划分为三个主要部分:电源(或信号源)、中间环节和负载。

(2) 电路模型

实际的电路元件一般都不仅有一种特性,例如电灯泡的灯丝是用钨丝绕制成螺旋状的,它不仅具有电阻的性质,还具有一定电感的性质;例如电感线圈,它不仅具有电感的性质,还有一定的电阻等。但是在一定条件下忽略某些次要因素时,例如电灯泡的灯丝在电源频率较低时,它的感性很弱,就可以把它理想化为具有单一特性的理想电阻元件;当电感线圈的导线足够粗,且匝数也不多时,就可以把它看成仅有电感性质的理想元件。各种电路元件用规定的图形符号表示,因此一个实际电路就可以用几个理想元件组合表示,由一些理想电路元件组成的电路就是实际电路的模型,它是对实际电路电磁性质的科学抽象和概括。在电工基础理论中一般采用电路模型进行分析研究。

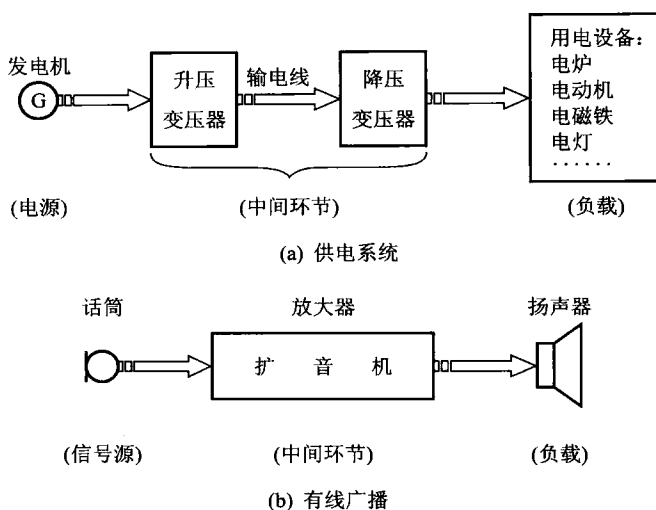


图 1-1 电路示意图

2. 电流、电压及其参考方向

(1) 电流及其参考方向

电路中带电粒子的定向移动称为电流。在金属导体中可以移动的带电粒子是带负电荷的自由电子,半导体中的带电粒子是自由电子和空穴(它们被称为载流子),电解液中的带电粒子是正、负离子。因此电流是由正电荷或负电荷的定向移动形成的。习惯上规定正电荷移动的方向为电流的实际方向。电流的大小是指单位时间内流过导体横截面的电荷量,即

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

式(1-1)中, q 表示电荷量, t 表示时间,电流 i 是电荷量对时间的变化率。如果电流的大小和方向随时间变化,则称为时变电流;时变电流作周期性变化且平均值为零,则称之为交流电流(Alternating Current,缩写为AC),用小写字母 i 表示。如果电流的大小和方向都不随时间变化,则称之为直流电流(Direct Current,缩写为DC),用大写字母 I 表示,式(1-1)可以改写为

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

电流的SI单位是安[培](Ampere,缩写为A),此外,还有毫安(mA)、微安(μA),它们之间的换算关系是: $1\text{ A} = 10^3\text{ mA} = 10^6\text{ }\mu\text{A}$ 。

在进行电路的分析计算时,往往需要事先设定一个方向,这个设定的方向称为参考方向(或正方向),用箭头在电路图中标出,如图1-2所示。当计算后如果电流值为正,则说明电流的实际方向与参考方向相同;如果电流值为负,则说明电流的实际方向与参考方向相反。电流方向也可以用双下标方法表示,例如 $I_{ab} = 2\text{ A}$,表示2 A电流从a流向b, $I_{ab} = -I_{ba}$ 。

(2) 电压、电位、电动势及其参考方向

图1-3是一个简单电路。电源具有电动势 E 和内电阻 R_0 。电动势是电源中非电场力(如化学力、机械力等)对电荷做功的物理量,它在数值上等于非电场力在电源内部将单位正电荷从负

极移到正极所做的功。

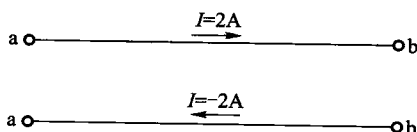


图 1-2 电流的方向

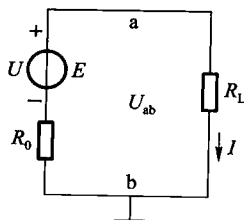


图 1-3 简单电路实例

电荷在电场力作用下在电路中形成电流,电场力推动电荷运动做功。电压就是衡量电场力对电荷做功能力的物理量。图 1-3 中 a、b 两点之间的电压为

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} \quad (1-3)$$

式(1-3)中, W_{ab} 表示电场力驱动正电荷从 a 点移到 b 点所做的功,电压等于电场力驱动单位正电荷从 a 点移动到 b 点所做的功。

如果电压的大小和方向随时间作周期性变化且平均值为零,则称为交流电压,用小写字母 u 表示。

电路中某点电位是指该点对参考点之间的电压。在图 1-3 中 b 点上画了接地“⊥”符号,就表示设定 b 点为参考点,这一点即为零电位点。a 点电位 V_a 就是 a 点与参考点 b 间的电压值,即 $V_a = U_{ab}$, a、b 两点之间的电压就是两点之间的电位差 $U_{ab} = V_a - V_b$ 。

电压、电动势、电位的 SI 单位均为伏[特](Voltage,缩写为 V),此外,还有毫伏(mV)、微伏(μV),它们之间的关系为: $1\text{ V} = 10^3\text{ mV} = 10^6\text{ }\mu V$ 。

电压的方向一般指电位降低的方向,而电动势的方向是指电位升高的方向。

在进行电路分析时往往需要事先设定一个参考方向,电压参考方向一般用“+”、“-”极性表示,从高电位端“+”指向低电位端“-”。有时也可以采用双下标,例如 U_{ab} 表示电压方向由 a 点指向 b 点。

在设定参考方向后,计算所得电压为正时,表示电压的实际方向与参考方向一致,否则相反。

电流与电压的参考方向可以任意设定,但在电路分析时往往把它们的方向设为一致,称为关联参考方向,例如 R_L 上的电压 U_{ab} 和电流 I 就是关联参考方向,而电源上的 U 和 I 即为非关联参考方向。

参考方向具有实际意义。例如在测量电流时,就已经设定了电流的参考方向是由红表笔经过电流表指向黑表笔方向。尤其是现在数字电流表显示的正负值就是在此参考方向下的值。同理,测量电压时也是已经确定了参考极性是红表笔为高电位端。

3. 电路的功率

电功率(power)表示单位时间内电流所做的功,即

$$P = \frac{W}{t} = \frac{UIt}{t} = UI \quad (1-4)$$

已知电阻上电压和电流的实际方向总是一致的,它是耗能元件,把电能转换为热能,是负载。

当电阻元件上电压电流设为关联参考方向时,所计算的功率值肯定大于零。由此可知当任意元件上所设电压电流为关联参考方向时,若 $P=UI>0$,则说明该元件为负载,吸收功率;若 $P=UI<0$,则该元件就是电源,发出功率,如图 1-4 所示。同理可知,当电压电流设为非关联参考方向时,用 $P=-UI$ 计算,若 $P=-UI>0$,则说明该元件为负载;若 $P=-UI<0$ 则该元件就是电源,如图 1-5 所示。总之,关联参考方向时 $P=UI$,非关联参考方向时 $P=-UI$,都是把元件当成负载来对待的,计算出的数值均为二端元件吸收的功率值,求出 $P>0$ 则为真正的负载,求出 $P<0$,则实际为电源。

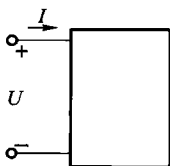


图 1-4 关联参考方向

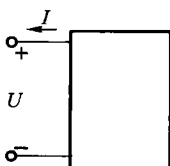


图 1-5 非关联参考方向

【例 1-1】 已知图 1-4 中, $U=10\text{ V}$, $I=-2\text{ A}$, 求该元件吸收的功率, 并判别它是电源还是负载。

解: 因为 UI 是关联参考方向, $P=UI=10\times(-2)\text{ W}=-20\text{ W}<0$, 所以该元件为电源。它吸收的功率为 -20 W (实际上发出功率 20 W)。

【例 1-2】 已知图 1-5 中, 元件发出的功率是 10 W , 电压 $U=-5\text{ V}$, 求电流 I 。

解: 首先把元件当成负载对待, 它吸收的功率为 $P=-10\text{ W}$, 因为 UI 是非关联参考方向, $P=-UI$, 则

$$I = \frac{P}{-U} = \frac{-10}{-(-5)}\text{ A} = -2\text{ A}$$

各种电气设备的电压、电流和功率都有一个额定值。额定值 (rated value) 是制造厂为了使产品能够在给定的工作条件下正常运行而规定的允许值。电压、电流、功率的额定值用 U_N 、 I_N 、 P_N 表示。但是电气设备实际上并不一定总是工作在额定状态下。

【例 1-3】 有一个额定功率 1 W , 阻值为 $100\ \Omega$ 的电阻器, 它的额定电流是多少? 在使用时通入的电流为 500 mA , 是否超出额定值, 是否安全?

解: $P_N = I_N^2 R$

$$I_N = \sqrt{\frac{P_N}{R}} = \sqrt{\frac{1}{100}}\text{ A} = 0.1\text{ A} = 100\text{ mA}$$

电阻器的额定电流为 100 mA , 若通入 500 mA 电流, 超出了额定值, 不能安全使用。

【例 1-4】 图 1-3 电路中, 已知 $U=10\text{ V}$, $R_0=1\ \Omega$, $R_L=9\ \Omega$, 求各元件的功率, 并验证功率平衡关系。

$$\text{解: } I = \frac{U}{R_0 + R_L} = \frac{10}{1+9}\text{ A} = 1\text{ A}$$

$$R_L \text{ 吸收的功率为: } P_{R_L} = I^2 R_L = 1^2 \times 9\text{ W} = 9\text{ W}$$

$$R_0 \text{ 吸收的功率为: } P_{R_0} = I^2 R_0 = 1^2 \times 1\text{ W} = 1\text{ W}$$

$$\text{电源 } U \text{ 吸收的功率为: } P_U = -UI (\text{非关联参考方向}) = -10 \times 1\text{ W} = -10\text{ W} (\text{实际发出功率 } 10\text{ W})$$

$$\sum P = P_{R_L} + P_{R_0} + P_U = [9 + 1 + (-10)] \text{ W} = 0 \text{ W}$$

所以功率平衡。

1.2 电压源与电流源的模型

电源是电路中提供能量的装置或元件。常用的直流电源有：干电池、蓄电池、光电池、直流发电机、直流稳压电源等。常用的交流电源有：交流发电机、交流稳压电源，以及能够产生多种波形和信号的函数发生器等。实际电源的电路模型是由理想电压源或理想电流源与相关联的元件组合而成的。

1. 电压源的模型

理想电压源的定义为：一个二端元件的电流无论为何值，其电压保持恒定或按特定的规律变化，则此二端元件称为理想电压源。直流理想电压源的符号、电路和外特性曲线如图 1-6 所示。由外特性曲线可见，无论电流 I 为何值，输出电压 $U \equiv E$ 。

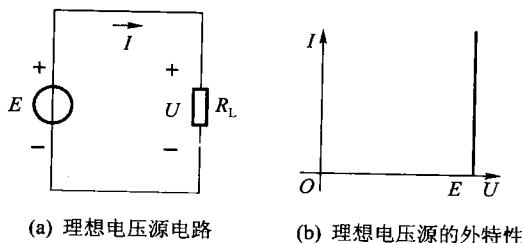


图 1-6 理想电压源电路及外特性曲线

实际电压源的电路模型是电动势 E 和内电阻 R_0 的串联组合，它的电路和外特性如图 1-7 所示。电压源的外特性即端口上的伏安关系为

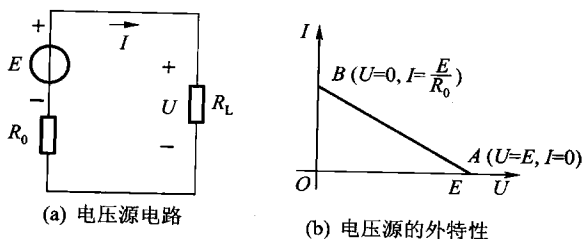


图 1-7 电压源电路模型及外特性曲线

$$U = E - IR_0 \quad \text{或} \quad I = -\frac{U}{R_0} + \frac{E}{R_0} \quad (1-5)$$

从外特性可以看出，由于有内电阻 R_0 ，随着输出电流增大，输出电压下降。曲线的斜率与 R_0 有关， R_0 愈小，曲线与电流轴的交点 B 离原点 O 愈远， $R_0 = 0$ 时，曲线与 I 轴平行，即为理想电压

源的特性,可见,理想电压源就是实际电压源的特例。

【例 1-5】 如图 1-7(a) 所示,已知 $E=12\text{ V}$, $R_0=2\ \Omega$ 。求该电压源的开路电压 U_{oc} 和短路电流 I_{sc} ,并绘出伏安特性曲线。

解: 开路电压即为电源电动势 $U_{oc}=E=12\text{ V}$,

$$\text{短路电流 } I_{sc} = \frac{E}{R_0} = \frac{12}{2}\text{ A} = 6\text{ A}$$

伏安特性曲线如图 1-8 所示。

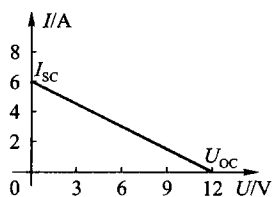


图 1-8 例 1-5 的伏安特性曲线

2. 电流源的模型

与理想电压源对应,理想电流源的定义为:一个二端元件的电压无论为何值,其电流保持恒定或按特定的规律变化,则此二端元件称为理想电流源。直流理想电流源的符号、电路和外特性曲线如图 1-9 所示。由外特性曲线可见,无论电压 U 为何值,输出电流 $I=I_s$ 。

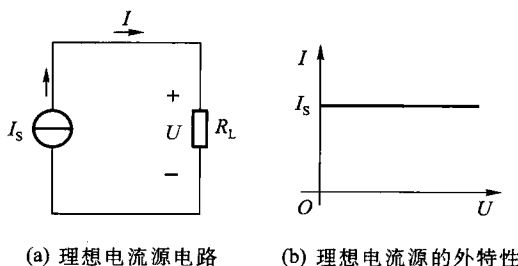


图 1-9 理想电流源电路及外特性曲线

实际电流源的电路模型是电流 I_s 和内电阻 R_0 的并联组合,它的电路和外特性如图 1-10 所示。电流源的外特性即端口上的伏安关系为

$$I = I_s - \frac{U}{R_0} \quad (1-6)$$

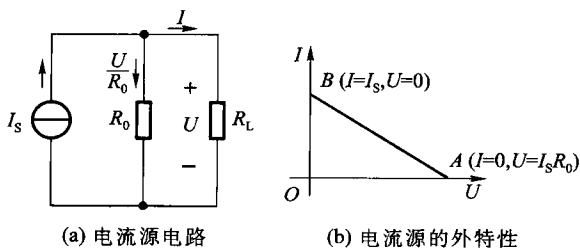


图 1-10 电流源电路模型及外特性曲线

从外特性可以看出,由于有内电阻 R_0 ,随着输出电流增大,输出电压下降。曲线的斜率与 R_0 有关, R_0 愈大,曲线与电压轴的交点 A 离原点 O 愈远, $R_0=\infty$ 时,曲线与 U 轴平行,即为理想电流源的特性,可见,理想电流源就是实际电流源的特例。

【例 1-6】 如图 1-9 所示,已知 $I_s=2\text{ A}$,分别求 $R_L=1\ \Omega$ 、 $5\ \Omega$ 、 $10\ \Omega$ 、 ∞ 时的电压 U 和理想电流源的输出功率 P 。

解:

$$R_L = 1 \Omega \text{ 时, } U = I_S R_L = 2 \times 1 \text{ V} = 2 \text{ V} \quad P = -UI = -2 \times 2 \text{ W} = -4 \text{ W} \text{ (电流源输出功率 4 W)}$$

$$R_L = 5 \Omega \text{ 时, } U = I_S R_L = 2 \times 5 \text{ V} = 10 \text{ V} \quad P = -UI = -2 \times 10 \text{ W} = -20 \text{ W} \text{ (电流源输出功率 20 W)}$$

$$R_L = 10 \Omega \text{ 时, } U = I_S R_L = 2 \times 10 \text{ V} = 20 \text{ V} \quad P = -UI = -2 \times 20 \text{ W} = -40 \text{ W} \text{ (电流源输出功率 40 W)}$$

$$R_L = \infty \text{ 时, } U = I_S R_L = 2 \times \infty \text{ V} = \infty \quad P = -UI = -2 \times \infty \text{ W} = -\infty \text{ (电流源输出功率无穷大)}$$

可见理想电流源的输出电压随负载的增大而增大。 R_L 吸收的功率就是电流源发出的功率,当负载 $R_L = \infty$ (开路) 时,输出功率 ∞ 。理想电流源和理想电压源是无穷大功率源,实际上是不存在的。

人们实际接触到的电源,与电压源接近的比较多。例如直流稳压电源在一定输出电流时,输出电压比较稳定,接近于理想电压源。新出厂的干电池内电阻很小,在一定范围内电流变化时输出电压变化不大。但是使用一段时间以后内部化学反应使得内电阻增大,当输出电流增大时,输出电压就会下降。现在使用的半导体光电池在光照一定的情况下,产生的电流基本一定,但由于半导体材料本身就有导电性,所以内部自成回路,就与电流源模型很接近了。

1.3 电阻元件和欧姆定律

1. 电阻的分类

一般讲到的遵从欧姆定律的电阻,是最常用的电阻元件之一,在此基础上要对其概念进行扩展。电阻元件的一般定义为:如果一个二端元件在任意时刻的伏安关系可以由 U - I 平面上一条(特性)曲线确定,则此二端元件称为二端电阻元件。

根据电阻的特性曲线(按关联参考方向绘制)可以分为四类,如图 1-11 所示。

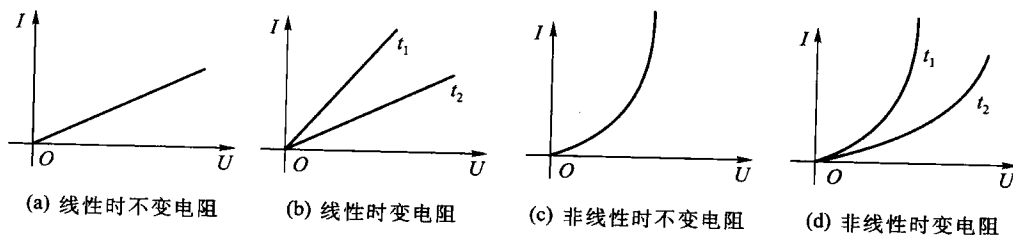


图 1-11 电阻的特性曲线

曲线图 1-11(a)、(b) 为线性电阻的特性,图(c)、(d) 为非线性电阻的特性曲线。图(b)、(d) 所示的曲线随时间变化是时变电阻的特性,图(a)、(c) 是时不变电阻或定常电阻的特性。

按照功能电阻又可以分为热敏电阻、光敏电阻等。

2. 欧姆定律

只有线性电阻才符合欧姆定律(Ohm' Law)。如图 1-12(a) 所示,在关联参考方向下

$$U = RI \quad \text{或} \quad I = \frac{U}{R} \quad (1-7)$$

式中 R 为电路中的电阻,单位是欧[姆](Ω),此外,还有千欧($k\Omega$)、兆欧($M\Omega$),它们之间的关系