

面向

21 世纪

高级应用型人才



中国高等职业技术教育研究会推荐
高职高专系列规划教材

电路与电子技术(第二版)

路松行 编著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

中国高等职业技术教育研究会推荐

高职高专系列规划教材

电路与电子技术

(第二版)

路松行 编著



西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书是为了适应高职高专电路与电子技术课程教学与改革的需要而编写的。内容以必须、够用为度,突出实用性。

全书分上、中、下三篇,共20章。其中上篇为电路基础,中篇为模拟电子电路,下篇为数字电子电路。书中有较多的例题和应用实例,并对电子设计自动化(EDA)软件的功能和使用方法作了简要介绍,每章后配有习题,每篇后还配有技能实训内容。

本书可作为高职高专院校机电、电气、自动化、计算机类等专业的教材,也可作为相近专业的教学参考书。

★本书配有电子教案,需要者可与出版社联系,免费索取。

图书在版编目(CIP)数据

电路与电子技术/路松行编著. —2版. —西安:西安电子科技大学出版社,2012.5

高职高专系列规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2768 - 7

I. ①电… II. ①路… III. ①电路理论—高等职业教育—教材 ②电子技术—高等职业教育—教材 IV. ①TM13 ②TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 039708 号

策 划 云立实

责任编辑 云立实

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2012年5月第2版 2012年5月第8次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 20.5

字 数 487千字

印 数 36 001~39 000册

定 价 31.00元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2768 - 7/TM · 0084

XDUP 3060002 - 8

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

本书是根据国家教育部《高等工程专科学校电子技术课程教学基本要求》和面向 21 世纪人才培养目标而编写的,可供高职高专院校机电、电气、自动化、计算机类专业教学使用,也可作为相近专业的教学参考书。

本书较好地体现了培养面向 21 世纪、以能力为本的应用型人才的教學特点,考虑了当前教学内容增加而课时压缩的现状,在内容选取上以必须、够用为度,突出实用性。书中概念和原理叙述力求简洁明了,尽量减少数学论证和公式推导。为了突出技术课的特点,在每篇后还配有技能实训内容,以加强学生动手能力的培养。为了适应科技高速发展的需要,书中适当加强了模拟集成电路和中规模数字集成电路的介绍、分析和应用,力求缩小课堂教学与实际应用之间的差距。另外,本书也对电子设计自动化(EDA)软件的功能和使用方法作了简要介绍。

本书上篇“电路基础”(第 1 章~第 6 章)可供 38~48 学时使用,中篇“模拟电子电路”(第 7 章~第 14 章)可供 48~60 学时使用,下篇“数字电子电路”(第 15 章~第 20 章)可供 42~48 学时使用。书中有些内容属于拓展、深化内容,可由教师根据专业特点和学时的多少取舍。全书共有 9 个技能实训,教师可根据各自院校的实训条件进行教学。

借本书再版之机,作者根据多年的教学体会,结合使用本书师生的反馈意见,对全书进行了以下几方面的修订:一是对全书进行了认真的审查,对初版时出现的错误和不妥之处重新进行了更正;二是对部分较难的习题进行了更换和删减;三是对数字电路中某些过于简化的论述进行了适当的补充说明,使其可读性更强一些;四是更换了部分实训内容,使之和相应章节内容的联系更加紧密;五是结合当前 EDA 技术在教学中逐渐被认识和加强的现状,对在教学上应用较多的 Multisim 8 软件的使用方法作了一定篇幅的介绍,使学生学会初步使用 EDA 软件,加深对教学内容的理解,了解实际设计电路和进行电路仿真的方法;六是把复数的表示和计算方法作为附录,以供那些开设本课程时还没有学过复数的学生作为参考。

本书再版得到了西安电子科技大学出版社云立实等编审人员的大力协助,其他院校使用本教材的教师也提出了许多宝贵的意见和建议,在此一并表示感谢!

在本书的编写和修订过程中,参阅了许多相关教材和书籍,在此向有关的作者致以诚挚的谢意。

由于作者水平有限,加之修订的时间仓促,书中一定还存在不少错误和不妥之处,真诚希望读者继续给予批评指正。

编 者

2012 年 2 月 28 日

目 录

上篇 电路基础

第 1 章 电路的基本概念和基本定律	2	2.3 线性网络的基本性质	27
1.1 引言	2	习题 2	29
1.1.1 电路和电路的组成	2	第 3 章 一阶动态电路分析	32
1.1.2 模型化的概念	2	3.1 引言	32
1.1.3 电路的功能	2	3.1.1 动态电路	32
1.2 电路中的基本物理量	3	3.1.2 零输入、零状态、全响应	32
1.2.1 电流	3	3.2 电容与电感	33
1.2.2 电位、电压和电动势	3	3.2.1 电容	33
1.2.3 功和功率	5	3.2.2 电感	34
1.3 电阻元件与电源元件	5	3.2.3 电容、电感的串、并联	35
1.3.1 电阻的线性与非线性	5	3.3 电路初始值的计算	37
1.3.2 电源元件	6	3.3.1 换路定则	37
1.4 基尔霍夫定律	8	3.3.2 初始值的计算	38
1.4.1 基尔霍夫电流定律(KCL)	9	3.4 一阶电路分析	38
1.4.2 基尔霍夫电压定律(KVL)	10	3.4.1 一阶电路分析	38
习题 1	11	3.4.2 一阶电路的三要素求解法	39
第 2 章 电阻电路的分析	14	3.4.3 一阶电路响应的分析	39
2.1 电路的简化和等效变换	14	习题 3	42
2.1.1 电阻的串、并联等效变换	14	第 4 章 正弦交流电的基本概念	45
2.1.2 星形与三角形网络的等效变换	16	4.1 引言	45
2.1.3 电压源与电流源的简化和等效变换	18	4.2 正弦交流电的三要素	45
2.2 网络分析和网络定理	21	4.2.1 变化的快慢	46
2.2.1 支路电流法	21	4.2.2 相位	46
2.2.2 网孔电流法	22	4.2.3 交流电的大小	47
2.2.3 节点电位法	23	4.3 正弦量的相量表示法	48
2.2.4 等效电源定理	25	4.4 正弦交流电路中的元件	50
		4.4.1 电阻元件	50
		4.4.2 电感元件	51
		4.4.3 电容元件	52

习题 4	53	6.2.1 星形连接	75
第 5 章 正弦稳态分析	54	6.2.2 三角形连接	76
5.1 基尔霍夫定律的相量式	54	6.3 三相电源和负载的连接	77
5.2 欧姆定律的相量式、阻抗及导纳	55	6.3.1 单相负载	77
5.3 简单交流电路的计算	59	6.3.2 三相负载	77
5.4 交流电路的功率	62	6.4 三相电路的计算	78
5.4.1 基本元件的功率	62	6.4.1 对称负载 Y—Y 连接的计算	78
5.4.2 二端网络的功率和功率因数	65	6.4.2 三角形负载的计算	79
5.4.3 复功率	66	6.5 三相电路的功率	81
5.5 正弦稳态的功率传输	67	6.6 安全用电知识	82
5.6 正弦电路中的谐振	68	6.6.1 安全用电注意事项	82
5.6.1 串联电路的谐振	69	6.6.2 触电事故	83
5.6.2 并联电路的谐振	70	习题 6	84
习题 5	71	电路基础实训	87
第 6 章 三相交流电路	74	实训 1 直流电压、电流表的安装与实验	87
6.1 三相交流电的产生	74	实训 2 荧光灯实验	89
6.2 三相电源的连接	75	实训 3 用万用表检测常用电子元件	92

中篇 模拟电子电路

第 7 章 半导体二极管及其应用	98	8.5 共基极基本放大电路	121
7.1 半导体二极管	98	8.5.1 共基极放大电路的组成	121
7.2 稳压二极管	101	8.5.2 共基极放大电路的分析	121
7.3 特殊二极管简介	102	8.6 多级放大器	123
习题 7	103	8.6.1 多级放大器的概念	123
第 8 章 半导体三极管及其基本放大电路	105	8.6.2 多级放大器的分析	123
8.1 半导体三极管	105	8.7 场效应晶体管及其放大电路	125
8.1.1 半导体三极管的结构和符号	105	8.7.1 结型场效应晶体管	125
8.1.2 三极管的电流放大作用	106	8.7.2 绝缘栅场效应管	128
8.1.3 三极管的伏安特性曲线	107	8.7.3 场效应晶体管的主要参数	131
8.1.4 三极管的主要参数	108	8.7.4 场效应管放大电路	132
8.2 基本放大电路分析	109	习题 8	133
8.2.1 基本放大电路的组成	109	第 9 章 功率放大器	138
8.2.2 静态工作点的估算	110	9.1 功率放大器的概念、要求和类型	138
8.2.3 放大电路的图解法分析	111	9.2 互补对称功率放大器	139
8.2.4 微变等效电路法	114	9.2.1 OCL 乙类互补对称功率放大器	139
8.3 静态工作点的稳定与分压式偏置电路	116	9.2.2 OCL 甲乙类互补对称功率放大器	141
8.4 共集电极放大电路	119	9.2.3 OTL 甲乙类互补对称功率放大器	142
8.4.1 共集电极放大电路的组成	119	9.3 集成功率放大器	143
8.4.2 共集电极放大电路的分析	119		

习题 9	143	习题 12	180
第 10 章 直流放大器	145	第 13 章 直流稳压电源	182
10.1 差动放大器的基本概念	145	13.1 整流电路	182
10.1.1 零点漂移	145	13.2 滤波电路	185
10.1.2 基本差动放大器	145	13.3 稳压电路	186
10.2 典型差动放大电路	147	13.3.1 串联型稳压电源	186
习题 10	150	13.3.2 集成稳压电源	188
第 11 章 集成运算放大器	152	习题 13	190
11.1 概述	152	第 14 章 电子设计自动化(EDA)	
11.2 集成运算放大器的外形符号与 主要参数	153	简介	192
11.3 理想运算放大器	154	14.1 EDA 概述	192
11.4 集成运放的保护	155	14.2 Multisim 8 简介	192
11.5 负反馈的概念及对放大电路 性能的影响	156	14.2.1 概述	192
11.6 集成运算放大器的线性应用	161	14.2.2 Multisim 8 的基本操作	193
11.7 集成运算放大器的非线性应用	167	14.2.3 常用虚拟仪器的使用说明	198
习题 11	170	14.2.4 Multisim 8 仿真电路的创建	203
第 12 章 正弦波振荡器	173	14.2.5 Multisim 8 的基本分析方法	206
12.1 振荡器的组成及工作原理	173	模拟电子电路实训	211
12.2 RC 桥式正弦波振荡器	174	实训 4 二极管、三极管的命名方法和 性能检测	211
12.3 LC 正弦波振荡器	176	实训 5 无触点自动充电器	214
12.4 石英晶体正弦波振荡器	179	实训 6 温度控制电路	215

下篇 数字电子电路

第 15 章 逻辑代数及逻辑门电路	218	15.3.2 无关项在化简逻辑函 数中的应用	231
15.1 逻辑代数的基本概念	218	习题 15	232
15.1.1 基本逻辑关系	218	第 16 章 逻辑门电路	234
15.1.2 复合逻辑	219	16.1 基本逻辑门电路	234
15.1.3 逻辑代数的基本公式和 常用公式	220	16.2 组合逻辑门	236
15.1.4 逻辑代数的基本运算规则	221	16.3 TTL 集成门和 CMOS 集成门	238
15.2 逻辑函数的化简	222	16.3.1 TTL 集成门电路	238
15.2.1 逻辑函数及表示方法	222	16.3.2 其他类型的 TTL 门电路	242
15.2.2 逻辑函数的最小项 标准形式	222	16.3.3 CMOS 集成门电路	243
15.2.3 逻辑函数的公式化简法	224	习题 16	248
15.2.4 逻辑函数的卡诺图化简法	226	第 17 章 组合逻辑电路	251
15.3 无关项逻辑函数及化简法	230	17.1 概述	251
15.3.1 约束项、任意项和逻辑函 数中的无关项	230	17.2 组合逻辑电路的分析和设计	251
		17.2.1 组合逻辑电路的分析	252
		17.2.2 组合逻辑电路的设计	253

17.3 常用组合逻辑电路	254	19.2 同步计数器	281
17.3.1 编码器	254	19.2.1 同步二进制计数器	282
17.3.2 译码器	257	19.2.2 同步十进制计数器	286
17.3.3 数据选择器	260	19.3 异步计数器	288
17.4 中规模集成组合逻辑电路的应用	261	19.3.1 异步二进制计数器	288
17.4.1 用数据选择器实现 组合逻辑函数	261	19.3.2 异步十进制加法计数器	290
17.4.2 用译码器实现组合 逻辑函数	262	19.4 任意进制计数器的构成方法	291
17.5 显示译码器及显示器	264	19.4.1 中规模集成电路计数器	291
17.5.1 七段数码显示器	264	19.4.2 构成任意进制计数器的 方法	295
17.5.2 显示译码器	264	习题 19	297
习题 17	265	第 20 章 脉冲波形的产生和变换	298
第 18 章 触发器	268	20.1 单稳态及多谐振荡器	298
18.1 触发器的基本概念及逻辑功能	268	20.1.1 单稳态触发器	298
18.1.1 触发器的基本概念	268	20.1.2 多谐振荡器	300
18.1.2 触发器的逻辑功能	268	20.2 施密特触发器	302
18.1.3 边沿触发器	274	20.3 555 定时器及其应用	305
18.2 触发器逻辑功能的表示方法	274	20.3.1 555 定时器的电路结构与 功能	305
18.2.1 触发器的电路结构和 逻辑功能的关系	274	20.3.2 555 定时器的应用	306
18.2.2 触发器逻辑功能的 表示方法	274	习题 20	310
习题 18	276	数字电子电路实训	312
第 19 章 寄存器和计数器	279	实训 7 简易电子琴电路	312
19.1 寄存器	279	实训 8 四人抢答电路	313
19.1.1 数码寄存器	279	实训 9 简易电子门铃的制作与电路测试	314
19.1.2 移位寄存器	280	附录 复数的表示及运算方法	318
		参考文献	320

上 篇

电 路 基 础

第 1 章 电路的基本概念和基本定律

1.1 引言

1.1.1 电路和电路的组成

电流流通的路径称为电路。在讨论电路的普遍规律或复杂电路的问题时，又把电路称为网络。可以说网络是电路的泛称，它具有更为广泛和普遍的意义。

1.1.2 模型化的概念

实际电路由实际的元件组成。图 1.1(a)所示为一简单的实际电路模型，它由电源、负载(用电设备)、连接导线和控制设备等部分组成。由于实际电路元件的性能往往很复杂，因此为了分析和计算方便，通常采用模型化的方法来表征实际电路元件。

所谓模型化，就是突出实际电路元件的主要电磁特性，忽略其次要因素，用理想的模型，近似地反映实际元件的特性。图 1.1(b)即为图 1.1(a)的模型化电路。

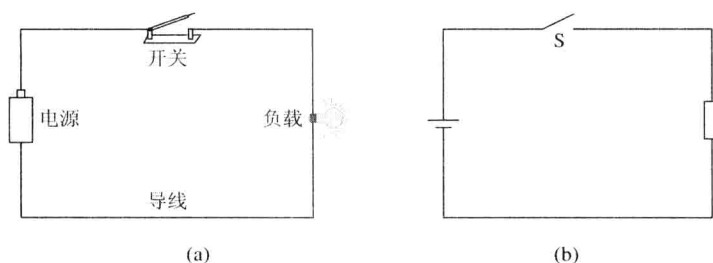


图 1.1 模型化电路的概念
(a) 电路的组成；(b) 电路的模型

1.1.3 电路的功能

电路的功能主要有两种：一是进行能量的传送和转换；二是对输入信号进行传递和处理，输出所需的信号。在这两种功能中，电源或信号源的电压或电流是电路的输入，它推动电路工作，故又称为激励；负载或终端装置的电压、电流是电路的输出，又称为响应，如图 1.2 所示。

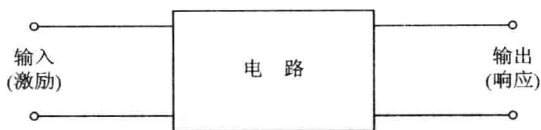


图 1.2 电路的激励和响应

对电路的研究，主要是进行电路分析，即在已知电路结构、元件参数的情况下，计算电路激励与响应之间的定量关系，分析电路在实现其功能的过程中的各种现象、状态及性能。

1.2 电路中的基本物理量

1.2.1 电流

1. 定义

金属导体内部的自由电子在电场力的作用下做有规则的定向运动，就形成电流。电流的大小用电流强度表示，定义为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

式(1.1)的物理意义是单位时间内通过导体横截面的电荷量。其中 i 表示电流强度，单位是安培，简称安，用 A 表示； dq 为微小电量，单位是库仑，用 C 表示； dt 为微小的时间间隔，单位是秒，用 s 表示。

2. 方向

在物理学中规定正电荷运动的方向(或负电荷运动的反方向)为电流的实际方向(或真实方向)。在复杂电路中，电流的实际方向往往难以判断。为了分析问题方便起见，常引入参考方向的概念，即任意选择一个方向作为参考方向，当实际的电流方向与参考方向相同时，此电流值定义为正值，相反时，定义为负值，如图 1.3 所示。

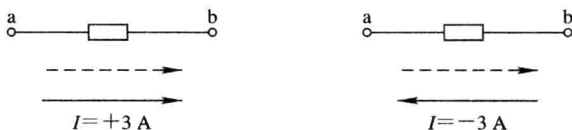


图 1.3 电流的参考方向

参考方向又称假定正方向，简称正向。在正向选定之前，讨论电流的正负是没有意义的。

1.2.2 电位、电压和电动势

1. 电位

电路从本质上讲是一个有限范围的电场，在电路内的电场中，每一个电荷 q 都具有一定的电位能 W (又叫电势能)。用物理量 V 来表征电场中任一点的特征，称为电位，它定

义为

$$V = \frac{dW}{dq} \quad (1.2)$$

V 在数值上等于单位正电荷在电场中某一点所具有的电位能,也可理解为电场力将单位正电荷从该点沿任意路径移到参考点所做的功,其单位为伏特,简称伏,用 V 表示。 dW 表示电场力把 dq 从一点移到另一点所做的功,单位为焦耳,用 J 表示。

要注意,电位是一个相对的物理量,它的大小和极性与所选取的参考点有关。参考点的选取是任意的,但通常规定参考点的电位为 0,故参考点又称为零电位点(习惯上取大地为零电位点,用符号“ \perp ”表示)。

电位虽是对某一点而言的,但实质上还是指两点间的电位差。参考点一经选定,该电路中各点的电位也就惟一确定了。不指定参考点,讨论电位就没有意义。电位在物理学中称为电势。

2. 电压

电路中任意两点间的电位差称为电压,它是衡量电场力做功能力的物理量,用 u 或 U 表示,单位为 V 。在数值上,电压等于单位正电荷在电场力的作用下从电场中的一点移到另一点时电场力所做的功。

电压有实际方向和参考方向之分。实际方向是指在电场力作用下,正电荷移动的方向。实际方向定义为从高电位指向低电位,即电位降低的方向。参考方向的选取具有任意性,在实际分析电路时,若难以判断电压的实际方向,则可任意选取一端为高电位,另一端为低电位。这样由假定的高电位指向低电位的方向,即为电压的正方向(参考正方向)。

电压的实际方向与正方向一致时,电压为正值,否则为负值。没有标明电压的正方向,谈论电压的正负是没有意义的。

电压的正方向有三种表示方式:

- (1) 用箭头指向表示,由假定的高电位到低电位;
- (2) 用符号“+”和“-”表示假定的正负极性;
- (3) 用双下标的表示法,如图 1.4 中的 U_{ab} ,它的前一个下标表示起点,后一个下标表示终点。

这三种方法通用,实际使用时可任选一种。

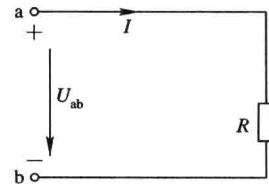


图 1.4 电压参考方向的三种表示法

3. 电动势

电动势是度量电源内非静电力(化学力、电磁力等)做功能力的物理量,在数值上等于非静电力把单位正电荷从负极移到正极所做的功。其实际方向为使电位能升高的方向,即由低电位指向高电位。故电动势和电压的实际方向相反。

电动势的符号用 E 来表示,单位和电位、电压一样,都为伏特(V)。

通常用图 1.5(a)所示的符号表示电池,用图 1.5(b)所示的符号表示一般电源或信号

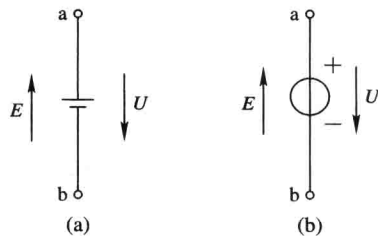


图 1.5 电源的符号

(a) 电池的符号; (b) 一般电源或信号源的符号

源(在实际使用中,不用画出 E 、 U 的方向)。通常用符号上标出的正、负极表示假定正方向。

1.2.3 功和功率

电量 q 在电场力作用下从一点移到另一点,电场力所做的功即为电功,用 W 表示。

单位时间里电场力所做的功称为电功率,简称功率,用 p 表示,即

$$p = \frac{dW}{dt} \quad (1.3)$$

由式 $dW = u dq$, $i = dq/dt$, 可得

$$p = ui \quad (1.4)$$

式中字母 u 和 i 表示任一时刻电压和电流的瞬时值。当 $p > 0$, 即 $u > 0$, $i > 0$ 时,表示电流由实际的高电位端流向低电位端,该段电路吸收电功率,为一负载;当 $p < 0$, 即 $u > 0$, $i < 0$ 时,或 $u < 0$, $i > 0$ 时,表示电流由实际的低电位端流向高电位端,该段电路放出电功率,为一电源。

在国际单位制中,功率的单位是瓦特,用 W 表示。通常说的 1 度电就是电流以 1 千瓦的功率在 1 小时内所做的功,即

$$1 \text{ 度电} = 1 \text{ kWh} = 1000 \times 3600 \text{ J} \quad (1.5)$$

1.3 电阻元件与电源元件

1.3.1 电阻的线性与非线性

1. 电阻器

导体对电子运动呈现的阻力称为电阻。对电流呈现阻力的元件称为电阻器,它的主要特征用伏安特性来表示。换句话说,如果一个二端元件,在任一瞬间 t , 它的电压 $u(t)$ 和电流 $i(t)$ 之间的关系如果能用 $u-i$ 平面(或 $i-u$ 平面)上的一条曲线来确定,则称此二端元件为电阻器,称这条曲线为电阻器的伏安特性,如图 1.6 所示。

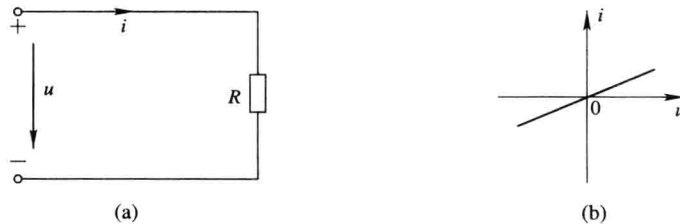


图 1.6 电阻器及其伏安特性

(a) 符号和线路; (b) 伏安特性

如果伏安特性曲线是通过原点的直线,则表明电阻器的电压和电流成正比,我们称这种电阻器为线性电阻元件,其伏安特性的斜率的倒数用 R 表示,称为电阻,单位为欧姆

(Ω), 即

$$R = \frac{1}{G} = \frac{u}{i} = \text{常数} \quad (1.6)$$

式(1.6)是欧姆定律的表示式,该定律可表述为:线性电阻中的电流与其上所加的电压成正比。式中的 G 为电导,单位为西门子(S)。电阻和电导是描述电阻元件特征的两种参数,它们互为倒数。

2. 线性电阻元件的基本特征

(1) 线性电阻元件的电压和电流成正比,其伏安特性曲线都为过原点的直线,且其所加的电压(激励)与其中通过的电流(响应)具有相同的波形。

(2) 线性电阻元件对不同方向的电流或不同极性的电压表现出的伏安特性对称于坐标原点,即所有线性电阻元件都具有双向特性。此种元件称为双向元件,它的两个端子无须加标志区分,可按任意方式接到电路中。

需要说明的是,纯粹的线性电阻是不存在的。在一定条件下,只要电阻值变化很小,在其考虑问题的范围内允许忽略,就可把这种电阻作为线性电阻处理,以使问题简单化。

3. 非线性电阻元件及其特征

一个电阻元件,如果它的特性曲线在 $u-i$ 平面上不是通过原点的直线,则称该电阻元件为非线性电阻元件。非线性电阻元件的主要特征是:

(1) 非线性电阻元件的电压与电流不成正比,因而其伏安特性不符合欧姆定律。

(2) 大多数非线性电阻元件的伏安特性对坐标原点是而非对称的,所以一般都不具有双向特性。它在正反两个方向连接下呈现出的性能差别很大,因此必须注明电阻元件两个端子的正负极性,才能正确使用。

(3) 分析含有非线性元件的非线性电路一般要用图解法。半导体二极管和三极管都是非线性元件,它们的伏安特性将在以后的章节中详尽分析。本章主要讨论线性电阻电路。

1.3.2 电源元件

将其他形式的能量转换成电能的设备,称为电源。如果电源的参数都由电源本身的因素确定,而不因电路的其他因素而改变,则称为独立电源,以后简称电源。

电源是电路的输入,它在电路中起激励作用。根据电源提供电量的性质不同,可分为电压源和电流源两类,以下分别加以讨论。

1. 电压源

电压源分为两大类:

(1) 直流电压源——端电压方向不随时间变化的电源,如干电池、蓄电池、稳压电源等。

(2) 交流电压源——端电压方向随时间变化的电源,如发电厂提供的市电。

本节仅研究直流电压源,有关交流电压源的内容将在交流电路中讲解。

在理想状态下,直流电压源的内阻等于0,因而它的端电压不随流过它的电流而改变。换句话说,无论负载如何变化,若它对外电路都提供一个恒定的电压,则把这种电压源称为理想电压源,简称恒压源。恒压源具有以下几个主要特征:

(1) 它的输出电压始终恒定, 不受输出电流的影响。

(2) 通过它的电流不由它本身决定, 而取决于与之相连的外电路的负载的大小。它的符号、线路和伏安特性如图 1.7 所示。

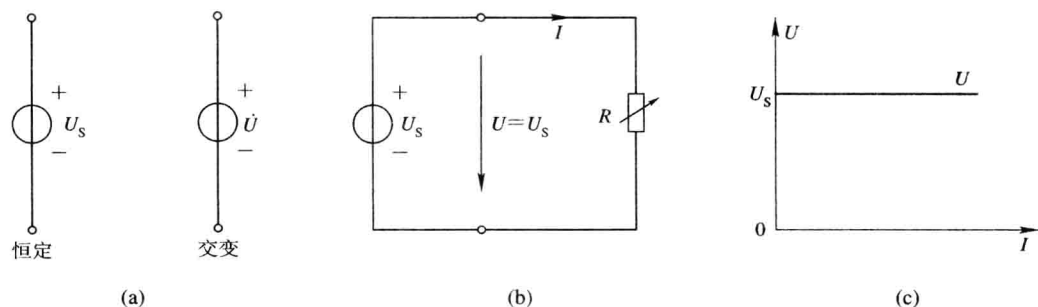


图 1.7 恒压源

(a) 符号; (b) 线路; (c) 伏安特性

需要注意的是, 由于实际电源的功率有限, 而且存在内阻, 因此恒压源是不存在的, 它只是理想化模型, 只有理论上的意义。

实际的电压源简称为电压源, 它的符号、线路和伏安特性如图 1.8 所示。

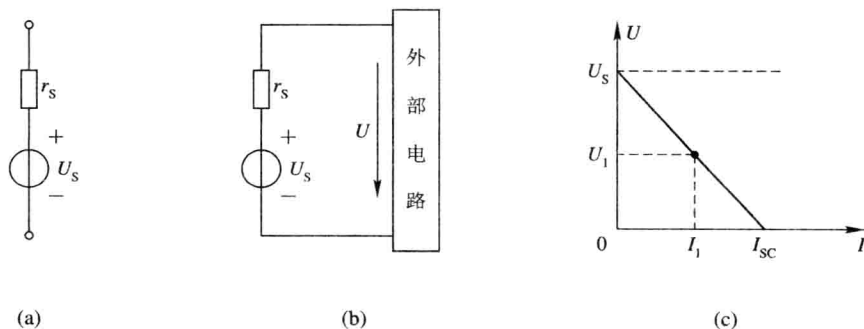


图 1.8 电压源

(a) 符号; (b) 线路; (c) 伏安特性

图 1.8 中, U_s 为电压源的端电压, r_s 为内阻, U 为外电路的端电压, I 为输出电流。它的方程式为

$$U = U_s - Ir_s \quad (1.7)$$

当 $I = 0$ 时, $U = U_s$, 这种电路状态称为开路, 这时的电压称为开路电压。

当 $U = 0$ 时, $I = U_s/r_s = I_{sc}$, 这种电路状态称为短路, 这时的电流 I_{sc} 称为短路电流。

2. 电流源

电流源是另一种形式的电源, 它向外电路提供电流。若它提供的电流不随时间变化, 则称为直流电流源, 否则称为交流电流源。本节仅讨论直流电流源。

不论外电路的负载大小, 始终向外电路提供恒定电流的电流源, 称为理想电流源, 简称恒流源。恒流源具有以下几个主要性质:

(1) 它的输出电流始终恒定, 与外部电路的负载大小无关, 且不受输出电压的影响。

(2) 恒流源的端电压是由与之相连的外电路的电阻的大小确定的。电阻值改变，恒流源的端电压随之改变。

恒流源的符号、线路和伏安特性如图 1.9 所示。

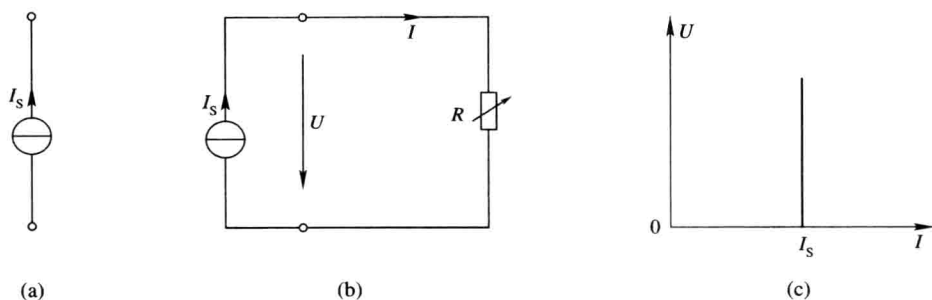


图 1.9 恒流源

(a) 符号；(b) 线路；(c) 伏安特性

恒流源是理想化模型，现实中并不存在。实际的恒流源一定有内阻，且功率总是有限的，因而产生的电流不可能完全输出给外电路。实际的电流源简称为电流源，如图 1.10 所示。

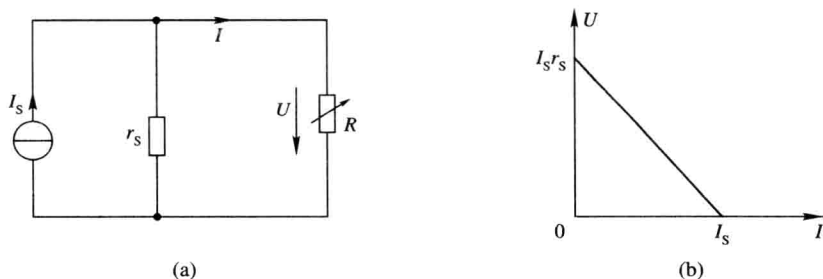


图 1.10 电流源

(a) 模型电路；(b) 伏安特性

图 1.10 中， r_s 表示电流源的内阻； U 表示电流源的端电压； R 表示外部电路的负载； I 表示电流源输出的电流值，大小为

$$I = I_s - \frac{U}{r_s} \quad (1.8)$$

由上式可知， r_s 越大， r_s 的分流作用越小，输出电流 I 越大。

当 $I = 0$ 时， $U = I_s r_s$ ； $U = 0$ 时， $I = I_s$ 。

电压源与电流源可以相互等效变换，从而使某些复杂电路得以简化，这在电路的分析和计算过程中是一种有用的方法。

1.4 基尔霍夫定律

无论电路多么复杂，它都是由各种元件按照不同的几何结构连接而成的。电路中每一

个元件的电压和电流的大小和关系都要服从元件本身的伏安特性。这种取决于元件本身的制约关系，这种关系称为元件约束。而整个电路中电流和电压的大小和关系与网络连接的方式有关。这种取决于电路结构的制约关系，这种关系称为拓扑约束。

线性元件的约束关系由欧姆定律确定；非线性元件的约束关系由其伏安关系确定；而电路结构的约束关系则由基尔霍夫定律确定。

基尔霍夫定律是电路中电压和电流必须遵循的基本定律，是分析电路的依据，它由电流定律和电压定律组成。此处先介绍定律中涉及的三个与图形有关的术语。

(1) 支路——电路中没有分支的一段电路就称为一条支路，如图 1.11 中的 dab、bcd、bd。

(2) 节点——两个以上支路的连接点，如图 1.11 中的 b、d。

(3) 回路——由支路组成的闭合路径称为回路，如图 1.11 中的 abda、bcdcb、abcda。

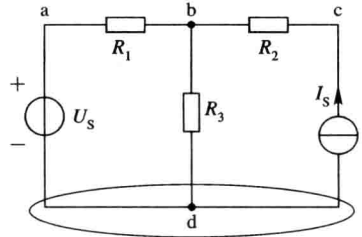


图 1.11 支路、节点和回路示意电路图

1.4.1 基尔霍夫电流定律(KCL)

基尔霍夫电流定律是用于确定某一节点各电流之间相互关系的定律。其表述为：在任一瞬间流入和流出任一节点的电流的代数和恒等于 0。用公式表示为

$$\sum I = 0 \quad (1.9)$$

例如图 1.12 所示电路，若规定流入节点的电流为正，流出为负，则有

$$I_A + I_{CA} + (-I_{AB}) = 0$$

$$I_B + I_{AB} + (-I_{BC}) = 0$$

$$I_C + I_{BC} + (-I_{CA}) = 0$$

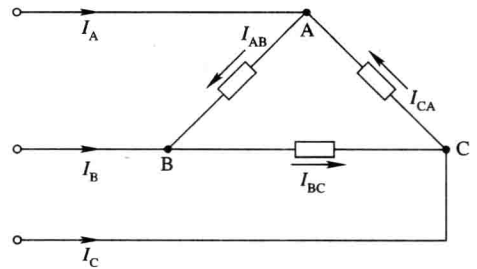


图 1.12 示例电路图

从上面三个式子中可看出，KCL 有两套正负号：一种是支路电流的假定正方向确定之后，实际电流相应的正负之分；另一种是支路电流的正方向与规定的流入节点为正、还是流入节点为负之间的正负关系。

上述三个式子也可变形为

$$I_A + I_{CA} = I_{AB}$$

$$I_B + I_{AB} = I_{BC}$$

$$I_C + I_{BC} = I_{CA}$$

从上面三个式子可看出：对任一节点而言，在任一瞬间流入节点的电流恒等于流出节点的电流。这是基尔霍夫定律的另一种表述，可用数学式表示为

$$\sum I_i = \sum I_o \quad (1.10)$$

式中， I_i 为流入节点的电流， I_o 为流出节点的电流。

基尔霍夫定律也可推广应用于包围部分电路的任一假设的闭合面，即把一个闭合面当作广义节点来处理。如图 1.12 中 A、B、C 所包围的部分，把 A、B、C 三个节点的电流方