

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

电工与电子技术(第二版)

主编 路松行



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

电工与电子技术

(第二版)

主 编 路松行

副主编 徐晓辉 孙晓莹

参 编 李建月 刘 轩 王丽伟 李红涛

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工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,面向实践与应用。

本书分为上、下两篇,共20章。上篇为电路与电机,下篇为电子技术基础。书中有较多的例题和应用实例,每章后有适量的习题,书末另配有7个技能实训内容。

本书可作为高职高专院校机电、机制、数控、计算机应用类等专业的电工基础教材,也可作为相近专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术/路松行主编. 2版. —西安:西安电子科技大学出版社,2012.6

高职高专系列规划教材

ISBN 978-7-5606-2790-8

I. ①电… II. ①路… III. ①电工技术—高等职业教育—教材

②电子技术—高等职业教育—教材 IV. ①TM ②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 083253 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 陕西光大印务有限责任公司

版 次 2012年6月第2版 2012年6月第5次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 21.5

字 数 511千字

印 数 15 001~18 000册

定 价 33.00元

ISBN 978-7-5606-2790-8/TM·0086

XDUP 3082002-5

* * * 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、机制、数控、计算机应用类专业教学使用,也可作为相近专业学生的教学参考书。

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,内容以必须、够用为度,突出实用性。为了突出技术课的特点,本书末还配有技能实训内容,以加强对学生动手能力的培养。

本书上篇“电路与电机”(第 1 章~第 8 章)可供 48~60 个学时使用,下篇“电子技术基础”(第 9 章~第 20 章)可供 60~72 个学时使用。本课程应安排在第二或第三学期开设,分两学期讲完。书中包含内容较多,有些内容属于加宽、加深内容,可由任课教师根据专业特点和学时的多少取舍。全书共有 7 个技能实训,教师可根据各自院校的条件进行教学。

本书由路松行任主编,负责全书规划和统稿,徐晓辉、孙晓莹任副主编。其中第 1 章~第 6 章及部分实训内容由路松行编写,第 7 章、第 8 章由徐晓辉编写,第 9 章~第 11 章及附录由李红涛编写,第 12 章、第 13 章由刘轩编写,第 14 章、第 15 章由王丽伟编写,第 16 章、第 17 章及部分实训内容由李建月编写,第 18 章~第 20 章由孙晓莹编写。

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;四是增加了实训内容,以使教师在教学中多一些选择;五是把复数的表示和运算方法作为附录,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。

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

编 者

2012 年 4 月 12 日

目 录

上篇 电路与电机

第 1 章 电路的基本概念和 基本定律	1	习题 2	29
1.1 引言	1	第 3 章 一阶动态电路分析	32
1.1.1 电路和电路的组成	1	3.1 引言	32
1.1.2 电路的模型化	1	3.1.1 动态电路	32
1.1.3 电路的功能	2	3.1.2 零输入、零状态、全响应	32
1.2 电路中的基本物理量	2	3.2 电容与电感	33
1.2.1 电流	2	3.2.1 电容	33
1.2.2 电位、电压和电动势	3	3.2.2 电感	34
1.2.3 电功和功率	4	3.2.3 电容电感的串并联	35
1.3 电阻元件与电源元件	4	3.3 电路初始值的计算	37
1.3.1 电阻的线性与非线性	4	3.3.1 换路定理	37
1.3.2 电源元件	5	3.3.2 初始值的计算	37
1.4 基尔霍夫定律	8	3.4 一阶电路分析	38
1.4.1 基尔霍夫电流定律(KCL)	8	3.4.1 一阶电路分析简介	38
1.4.2 基尔霍夫电压定律(KVL)	9	3.4.2 一阶电路的三要素求解法	39
习题 1	10	3.4.3 一阶电路响应的分析	40
第 2 章 电阻电路的分析	13	习题 3	43
2.1 电路的简化和等效变换	13	第 4 章 正弦交流电的基本概念	45
2.1.1 电阻的串并联等效变换	13	4.1 引言	45
2.1.2 星形与三角形网络的 等效变换	15	4.2 正弦交流电的三要素	45
2.1.3 电压源与电流源的简化和 等效变换	17	4.2.1 变化的快慢	45
2.2 网络分析和网络定理	20	4.2.2 相位	46
2.2.1 支路电流法	20	4.2.3 交流电的大小	47
2.2.2 网孔电流法	21	4.3 正弦电量的相量表示法	48
2.2.3 节点电位法	23	4.4 正弦交流电路中的元件	50
2.2.4 等效电源定理	24	4.4.1 电阻元件	50
2.3 线性网络的基本性质	27	4.4.2 电感元件	51
2.3.1 比例性	27	4.4.3 电容元件	52
2.3.2 叠加性	27	习题 4	53
2.3.3 对偶性	28	第 5 章 正弦稳态分析	55
		5.1 基尔霍夫定律的相量式	55
		5.2 欧姆定律的相量式、阻抗及导纳	55
		5.3 简单交流电路的计算	60

5.4 交流电路的功率	63	7.5.1 变压器的类别	96
5.4.1 基本元件的功率	63	7.5.2 变压器的结构	96
5.4.2 二端网络的功率和功率因数	66	7.5.3 变压器的工作原理	97
5.4.3 复功率	67	7.5.4 变压器的外特性和电压变化率	100
5.5 正弦稳态的功率传输	68	7.5.5 变压器的损耗和效率	100
5.6 正弦电路中的谐振	70	7.5.6 变压器的同名端和绕组的连接	101
5.6.1 串联电路的谐振	70	7.6 三相变压器简介	102
5.6.2 并联电路的谐振	71	7.7 特殊变压器	103
习题 5	72	习题 7	104
第 6 章 三相交流电路	75	第 8 章 异步电动机及控制电路	106
6.1 三相交流电的产生	75	8.1 三相异步电动机的结构和工作原理	106
6.2 三相电源的连接	76	8.1.1 三相异步电动机的结构	106
6.2.1 星形连接(Y 连接)	76	8.1.2 三相异步电动机的工作原理	108
6.2.2 三角形连接(Δ 连接)	77	8.2 三相异步电动机的电磁转矩及	
6.3 三相电源和负载的连接	78	机械特性	111
6.3.1 单相负载	78	8.2.1 电磁转矩	111
6.3.2 三相负载	78	8.2.2 三相异步电动机的机械特性	112
6.4 三相电路的计算	79	8.3 三相异步电动机的铭牌	114
6.4.1 对称负载 Y-Y 连接的计算	79	8.4 三相异步电动机的起动、调速和	
6.4.2 三角形负载的计算	80	制动	116
6.5 三相电路的功率	82	8.4.1 三相异步电动机的起动	116
6.6 安全用电知识	83	8.4.2 三相异步电动机的调速	119
6.6.1 安全用电注意事项	83	8.4.3 三相异步电动机的制动	120
6.6.2 触电事故	84	8.5 单相异步电动机	122
习题 6	85	8.5.1 单相异步电动机的基本结构	
第 7 章 磁路与变压器	87	和工作原理	122
7.1 磁路的基本概念	87	8.5.2 单相异步电动机的起动方法	
7.1.1 磁场的基本物理量	87	及基本类型	122
7.1.2 磁性材料及其磁性能	88	8.6 常用低压电器	124
7.2 磁路计算的基本定律	90	8.6.1 非自动切换电器	125
7.3 交流铁芯线圈电路	93	8.6.2 自动切换电器	128
7.3.1 电磁关系	94	8.7 电动机的控制系统	132
7.3.2 感应电动势与磁通的关系	94	8.7.1 点动正转控制电路	132
7.3.3 电势平衡方程式	94	8.7.2 三相异步电动机的正反转	
7.3.4 铁芯线圈的功率损耗	95	控制电路	133
7.4 交流铁芯线圈的等效电路	95	习题 8	135
7.5 变压器	96		

下篇 电子技术基础

第 9 章 半导体二极管及其应用	137	9.2 稳压二极管	140
9.1 半导体二极管	137	9.3 特殊二极管简介	141

习题 9	142	13.3 LC 正弦波振荡器	197
第 10 章 半导体三极管及其基本放大电路	144	13.4 石英晶体正弦波振荡器	200
10.1 半导体三极管	144	习题 13	201
10.1.1 半导体三极管的结构和符号	144	第 14 章 直流稳压电源	203
10.1.2 三极管的电流放大作用	145	14.1 整流电路	203
10.1.3 三极管的伏安特性曲线	146	14.2 滤波电路	206
10.1.4 三极管的主要参数	147	14.3 稳压电路	207
10.2 基本放大电路分析	148	14.3.1 串联型稳压电源	208
10.2.1 基本放大电路的组成	148	14.3.2 集成稳压电源	209
10.2.2 静态工作点的估算	149	14.4 晶闸管及其应用	211
10.2.3 放大电路的图解法分析	149	14.4.1 晶闸管的结构和工作原理	211
10.2.4 微变等效电路法	152	14.4.2 晶闸管的主要参数	213
10.3 静态工作点的稳定与分压式偏置电路	155	14.4.3 晶闸管整流电路	214
10.4 共集电极放大电路	158	习题 14	215
10.4.1 共集电极放大电路的组成	158	第 15 章 逻辑代数及逻辑门电路	217
10.4.2 共集电极放大电路的分析	158	15.1 逻辑代数的基本概念	217
10.5 多级放大电路	160	15.1.1 基本逻辑关系	217
10.5.1 多级放大器的概念	160	15.1.2 复合逻辑	218
10.5.2 多级放大器的分析	160	15.1.3 逻辑代数的基本公式和常用公式	219
习题 10	162	15.1.4 逻辑代数的基本运算规则	220
第 11 章 直流放大器	167	15.2 逻辑函数的化简	221
11.1 差动放大器的基本概念	167	15.2.1 逻辑函数及表示方法	221
11.1.1 零点漂移	167	15.2.2 逻辑函数的最小项标准形式	221
11.1.2 基本差动放大器	167	15.2.3 逻辑函数的公式化简法	223
11.2 典型差动放大电路	169	15.2.4 逻辑函数的卡诺图化简法	225
习题 11	172	15.3 无关项逻辑函数及化简法	230
第 12 章 集成运算放大器	173	15.3.1 约束项、任意项和逻辑函数中的无关项	230
12.1 概述	173	15.3.2 无关项在化简逻辑函数中的应用	231
12.2 集成运算放大器的外形符号与主要参数	174	习题 15	233
12.3 理想运算放大器	175	第 16 章 逻辑门电路	235
12.4 集成运放的保护	176	16.1 基本逻辑门电路	235
12.5 负反馈的概念及对放大电路性能的影响	177	16.2 组合逻辑门	237
12.6 集成运算放大器的线性应用	182	16.3 TTL 集成门和 CMOS 集成门	239
12.7 集成运算放大器的非线性应用	188	16.3.1 TTL 集成门电路	239
习题 12	191	16.3.2 其它类型的 TTL 门电路	243
第 13 章 正弦波振荡器	194	16.3.3 CMOS 集成门电路	244
13.1 振荡器的组成及工作原理	194	习题 16	249
13.2 RC 桥式正弦波振荡器	195	第 17 章 组合逻辑电路	252
		17.1 概述	252

17.2 组合逻辑电路的分析和设计	253	19.2.1 同步二进制计数器	285
17.2.1 组合逻辑电路的分析	253	19.2.2 同步十进制计数器	289
17.2.2 组合逻辑电路的设计	254	19.3 异步计数器	291
17.3 常用组合逻辑电路	255	19.3.1 异步二进制计数器	291
17.3.1 编码器	255	19.3.2 异步十进制加法计数器	293
17.3.2 译码器	258	19.4 任意进制计数器的构成方法	294
17.3.3 数据选择器	262	19.4.1 中规模集成电路计数器	294
17.4 中规模集成组合逻辑电路的应用	263	19.4.2 构成任意进制计数器的方法	298
17.4.1 用数据选择器实现		习题 19	300
组合逻辑函数	263	第 20 章 脉冲波形的产生和变换	302
17.4.2 用译码器实现组合		20.1 单稳态触发器及多谐振荡器	302
逻辑函数	264	20.1.1 单稳态触发器	302
17.5 显示译码器及显示器	266	20.1.2 多谐振荡器	305
17.5.1 七段数码显示器	266	20.2 施密特触发器	307
17.5.2 显示译码器	266	20.3 555 定时器及其应用	310
习题 17	267	20.3.1 555 定时器的电路结构与	
第 18 章 触发器	270	功能	310
18.1 触发器的基本概念及逻辑功能	270	20.3.2 555 定时器的应用	311
18.1.1 触发器的基本概念	270	习题 20	315
18.1.2 触发器的逻辑功能	270	实训	317
18.1.3 边沿触发器	277	实训 1 直流电压表、电流表的安装与实验 ..	317
18.2 触发器逻辑功能的表示方法	277	实训 2 荧光灯实验	319
18.2.1 触发器的电路结构和		实训 3 二极管、三极管的命名方法和	
逻辑功能的关系	277	性能检测	322
18.2.2 触发器逻辑功能的		实训 4 无触点自动充电器	325
表示方法	278	实训 5 四人抢答电路	326
习题 18	280	实训 6 数控步进电机	328
第 19 章 寄存器和计数器	282	实训 7 用万用表检测常用电子元件	329
19.1 寄存器	282	附录 复数的表示及运算方法	334
19.1.1 数码寄存器	282	参考文献	336
19.1.2 移位寄存器	282		
19.2 同步计数器	284		

上篇 电路与电机

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

通常把电流流通的路径叫做电路,但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。网络是电路的泛称,它具有更为广泛和普遍的意义。

1.1.2 电路的模型化

实际的电路都是由实际的元件构成的。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(开关)等组成。由于实际电路元件的特性往往比较复杂,因而为了方便分析和计算,通常采用模型化的方法来表征实际的电路元件。

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(也可以说使元件特性单一化)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。

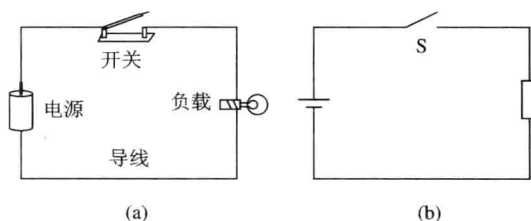


图 1.1 模型化电路的概念
(a) 电路的组成; (b) 电路的模型

1.1.3 电路的功能

电路的功能主要有两种：一是通过电路进行能量的传送和转换；二是对输入信号进行传递和处理，输出所需要的信号。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。电路的激励和响应如图 1.2 所示。

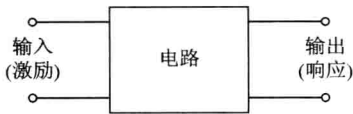


图 1.2 电路的激励和响应

研究电路的任务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，计算电路的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物理现象、电路状态及电气性能。

1.2 电路中的基本物理量

1.2.1 电流

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而形成电流。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，用大写字母 A 表示； dq 为微小电量，单位是库仑，用大写字母 C 表示； dt 为微小的时间间隔，单位是秒，用小写字母 s 表示。

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，即我们可以任意选择一个方向作为参考方向，而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。

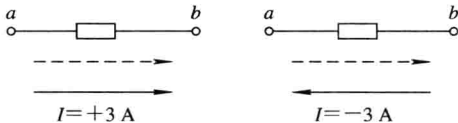


图 1.3 电流的参考方向

参考方向又称假定正方向，简称正向。在正方向选定之前，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)。我们用物理量 u 来表征电场中任一点的电位能特征，称其为电位。电位定义为

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

u 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。 u 的单位为伏特，简称伏，用大写字母 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，用大写字母 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零，故参考点又叫做零电位点 (习惯上取大地为零电位点，用符号“ $\perp$ ”表示)。

电位虽是对某一参考点而言的，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

电路中任意两点的电位差称为电压，它是衡量电场力做功的物理量。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，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，即在实际分析电路时，若难以判断电压的实际方向，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)。

电压的实际方向与参考正方向一致时，电压为正值，否则为负值。没有标明电压的正方向，谈论电压的正负没有意义。

如图 1.4 所示，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) 用双下标表示。如图 1.4 中的 U_{ab} ，它的下标的第一个字母表示高电位点，第二个字母表示低电位点。

这三种方法通用，实际使用时可任选一种。

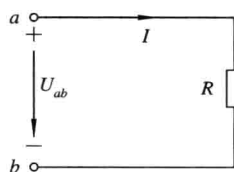


图 1.4 电压参考方向的三种表示法

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。因此电动势和电压的实际方向相反。

电动势用 E 来表示,其单位和电位、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源。通常用符号上标出的正负极表示假定正方向。

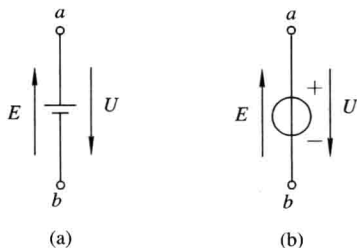


图 1.5 电源的符号

(a) 电池的符号; (b) 一般电源或信号源的符号

1.2.3 电功和功率

电场力把电量 dq 从电场中的一点移到另一点所做的功即为电功,用字母 W 表示。单位时间里电场力所做的功称为电功率,简称功率,用字母 p 表示,即

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

由式 $dW = u dq$, $i = \frac{dq}{dt}$ 可得

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

式(1.4)中字母 u 和 i 分别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 $u > 0$, $i < 0$, 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,用大写字母 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叫电阻,对电流呈现阻力的元件叫电阻器。电阻器的主要特征用伏安特性来表示。伏安特性是指在任一瞬间 t , 电阻器上的电压 $u(t)$ 和电流 $i(t)$ 之

间的关系,可用 $u-i$ 平面(或 $i-u$ 平面)上的一条曲线来表示,如图 1.6(b)所示。

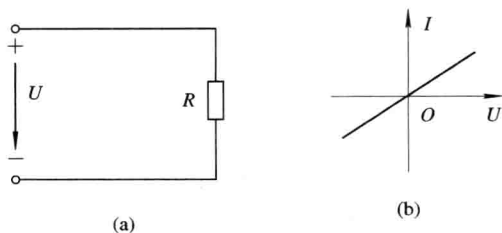


图 1.6 电阻器及其伏安特性

(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,则表明电阻器上的电压和电流成正比,我们称这种电阻器为线性电阻元件,其伏安特性曲线斜率的倒数用 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 称为电导,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,即所有线性元件都具有双向特性,该元件称为双向元件,它的两个端子无须加标志区分,可按任意方式接到电路中。

实际上不存在纯粹的线性电阻,但在一定条件下,只要电阻值变化很小,在其考虑问题的范围内允许忽略,我们就可把这种电阻当作线性电阻处理,以使问题简单化。

3. 非线性电阻元件及其特征

若电阻元件的伏安特性曲线在 $u-i$ 平面上不是通过原点的直线,则该电阻元件就称为非线性电阻元件,其主要特征是:

(1) 电压与电流不成正比,因而其电流和电压的关系不符合欧姆定律。

(2) 大多数非线性电阻元件的伏安特性相对于坐标原点是而非对称的,因此一般都不具有双向特性。其正向连接和反向连接呈现出的性能差别很大,因此必须注明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。例如后面章节中的半导体二极管和三极管都是非线性元件,它们的伏安特性我们将在以后的章节中做详尽分析,本章主要讨论线性电阻电路。

1.3.2 电源元件

将其它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

素确定的，不因电路的其它因素而改变，则称为独立电源，也简称电源。

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：直流电压源，即端电压不随时间变化的电源，如干电池、蓄电池、稳压电源等；交流电压源，即端电压随时间变化的电源，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零，因此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) 输出电压始终恒定，不受输出电流的影响。
- (2) 通过恒压源的电流不由它本身决定，而取决于与之相连的外电路负载的大小。

恒压源的符号、线路和伏安特性如图 1.7 所示。

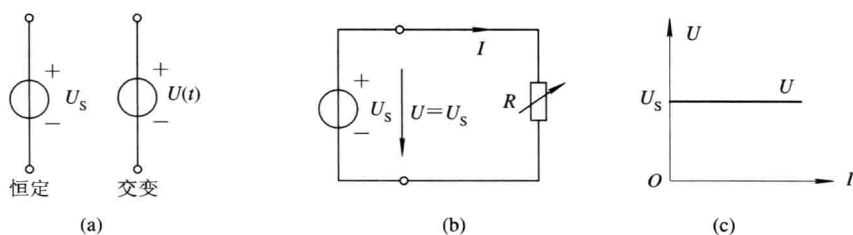


图 1.7 恒压源的符号、线路和伏安特性

(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，故恒压源是不存在的，它只是理想化模型，只有理论上的意义。

实际的电压源简称电压源，它的符号、线路和伏安特性如图 1.8 所示。

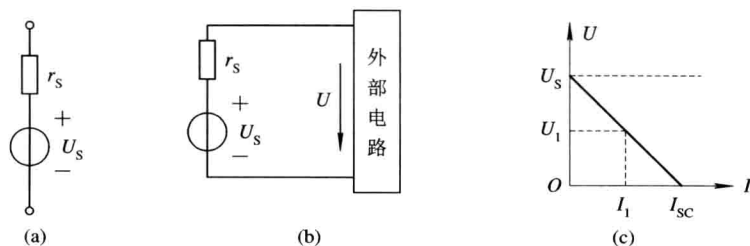


图 1.8 实际电压源的符号、线路和伏安特性

(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，电路方程式为

$$U = U_s - I r_s \quad (1.7)$$

当 $I=0$ 时， $U = U_s$ ，这种电路状态叫开路，这时的电压叫开路电压。

当 $U=0$ 时, $I=\frac{U_s}{r_s}=I_{sc}$, 这种电路状态叫短路, 这时的电流 I_{sc} 叫短路电流。

2. 电流源

电流源是另一种形式的电源, 主要向外电路提供电流, 若提供的电流不随时间变化就称为直流电流源, 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) 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。

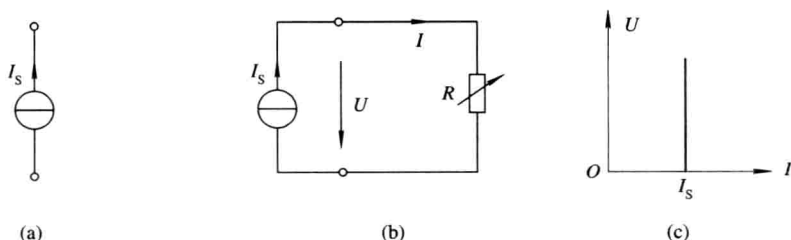


图 1.9 恒流源的符号、线路和伏安特性

(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。

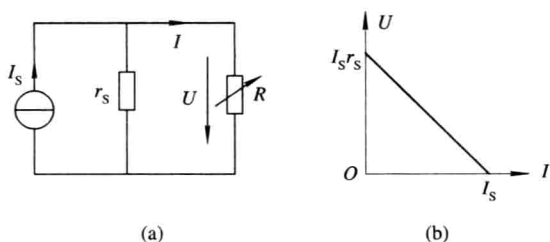


图 1.10 电流源

(a) 模型电路; (b) 伏安特性

图 1.10 中的 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, 其分流作用越小, 输出电流 I 越大。当 $I=0$ 时, $U=I_s r_s$; 当 $U=0$ 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。电路中的每一个元件,其电压、电流的大小和关系都要服从元件本身的伏安特性关系,这种取决于元件本身的制约关系叫元件约束。整个电路中的电流、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叫拓扑约束。

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可由其伏安特性关系确定;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。下面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叫做一条支路,如图 1.11 中的 dab 、 bcd 、 bd 。

(2) 节点。两个以上支路的连接点叫做节点,如图 1.11 中的 b 、 d 。节点也可扩大到用理想导线连接的公共线段,如图 1.11 中细线圈所围的线段所示。

(3) 回路。由支路组成的闭合路径叫做回路,如图 1.11 中的 $abda$ 、 $bcd b$ 、 $abcda$ 。

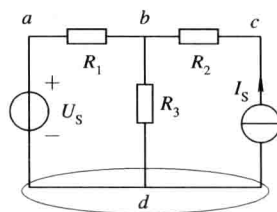


图 1.11 支路、节点和回路示意电路图

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,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零,用数学式表示为

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

例如图 1.12 所示电路,若规定流入节点的电流为正,流出节点的电流为负,则有

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

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

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

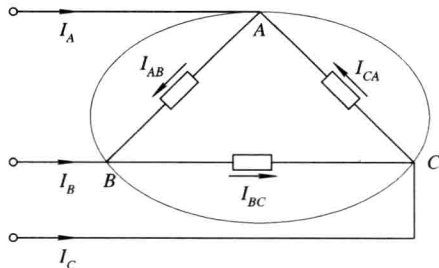


图 1.12 KCL 示例电路图

从上面三个式子中可看出 KCL 有两种正负号。一种是支路电流的假定正方向确定之后, 实际电流相应应有正负之分; 另一种是支路电流的正方向与我们规定的正方向(流入节点为正或流出节点为正)之间的正负关系。

示例中的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 三个节点的电流方程式相加, 可得到:

$$I_A + I_B + I_C = 0$$

由此可见, 在任一瞬间, 通过任一闭合面的电流的代数和也恒等于零。

KCL 是电荷连续性原理在电路中的体现, 即在电场中, 电荷的运动是连续的, 任何瞬间流入某一节点的电荷恒等于流出该节点的电荷, 电荷既不能产生, 也不能消失。

1.4.2 基尔霍夫电压定律(KVL)

基尔霍夫电压定律是用来确定回路中各段电压间关系的定律, 表述为在任意瞬间环绕电路中的任一闭合回路, 闭合回路中各段电压的代数和恒等于零, 用数学式表示为

$$\sum U = 0 \quad (1.11)$$

这里环绕的含义是指从回路中任一节点出发, 按照逆时针或顺时针方向沿任意路径又回到原节点。

对如图 1.13 所示的电路, 利用 KVL 解题的步骤是:

- (1) 选一闭合回路, 如 $abca$ 。
- (2) 规定该闭合回路的环行方向, 如顺时针以 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow a$ 绕行。
- (3) 规定沿绕行方向电压降为正, 电压升为负。

- (4) 列出 KVL 方程:

$$U_1 + U_3 - U_{S1} = 0$$

上式变形后得

$$U_1 + U_3 = U_{S1}$$

上式左边是电压降, 右边是电压升, 由此可见 KVL 定律也可表达为以顺时针方向或逆时针方向沿回路绕行一周, 则在该方向上的电位升之和等于电位降之和。

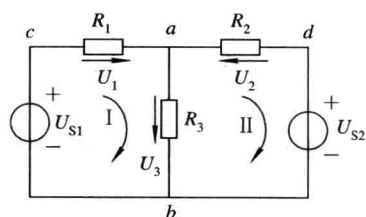


图 1.13 KVL 示例电路