



21世纪高职高专规划教材

电路与模拟电子技术



张玉环 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



TN710
1023

21 世纪高职高专规划教材

电路与模拟电子技术

主 编	河北机电职业技术学院	张玉环
副主编	浙江传媒学院	艾树峰
	安徽铜陵学院	王丽萍
参 编	太原理工大学长治学院	赵宏峰
	河北机电职业技术学院	吴俊芹
	吉林大学研究生	蔡志芳
	河北机电职业技术学院	纪 锋
	河北机电职业技术学院	薛 原
主 审	河北机电职业技术学院	许 蓼



机械工业出版社

本书是根据教育部教高〔2002〕2号文件精神编写的21世纪高职高专规划教材中的一本。内容集电路与模拟电子技术的理论知识、电子电路仿真设计、实践技能训练等内容于一体，文字精练、图文并茂、通俗易懂。

本书注重基础教育，以职业技能培养为目标，兼顾操作工考核、对口升学考核的需要，编写了常用仪表的使用、常用电工电子元器件的检测、常用电路的制作与调试等内容。

本书可作为高职高专院校、职大、夜大、成人教育学院、自学考试、对口升学培训等大专层次的“电路与模拟电子技术”或“电工电子技术”课程的教材。可供高职高专2年制和3年制的电子信息、计算机、电气自动化等专业使用。

图书在版编目(CIP)数据

电路与模拟电子技术/张玉环主编. —北京:机械工业出版社, 2004.8

21世纪高职高专规划教材

ISBN 7-111-15157-7

I. 电… II. 张… III. ①电路理论-高等学校: 技术学校-教材 ②模拟电路-电子技术-高等学校: 技术学校-教材 IV. ①TM13 ②TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第086432号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:余茂祚 责任编辑:余茂祚 版式设计:冉晓华

责任校对:程俊巧 封面设计:饶薇 责任印制:洪汉军

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004年9月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm $1/16$ ·14.5印张·356千字

定价:23.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

21 世纪高职高专规划教材

编 委 会 名 单

编委会主任 王文斌 郝广发

编委会副主任 (按姓氏笔画为序)

马元兴	王茂元	王明耀	王胜利	王锡铭
田建敏	刘锡奇	杨文兰	杨 飒	李兴旺
李居参	杜建根	余元冠	沈国良	沈祖尧
陈丽能	陈瑞藻	张建华	茆有柏	徐铮颖
符宁平	焦 斌			

编委会委员 (按姓氏笔画为序)

王志伟	付丽华	成运花	曲昭仲	朱 强
齐从谦	许 展	李茂松	李学锋	李连邨
李超群	杨克玉	杨国祥	杨翠明	吴诗德
吴振彪	吴 锐	肖 珑	何志祥	何宝文
陈月波	陈江伟	张 波	武友德	周国良
宗序炎	俞庆生	恽达明	娄 洁	晏初宏
倪依纯	徐炳亭	唐志宏	崔 平	崔景茂

总 策 划 余茂祚
策 划 助 理 于奇慧

前 言

本书是根据教育部教高〔2002〕2号文件精神，由中国机械工业教育协会和机械工业出版社组织编写的面向21世纪高职高专规划教材之一。是由教学经验和实践经验丰富的高职院校教师编写的，力求达到理论指导实践、实践并上升到理论，并本着“必需、够用、实用”原则，针对高职高专教育特点，培养学生分析问题和解决问题的能力、提高学生的电工电子实践技能打下良好的基础。全书共分4篇17章，其中第1篇主要讲述了直流电路基础知识、电路的分析方法、正弦交流电路、电路的过渡过程、磁路与变压器等知识。第2篇主要讲述了半导体器件知识、放大电路及应用、集成运放及应用、稳压器及应用、晶闸管及应用等。第3篇主要介绍EWB电子电路仿真软件的操作方法、元件库和虚拟仪器的使用、电路性能的仿真分析方法、实例电路的EWB应用。第4篇主要介绍常用仪器仪表的使用方法、基本电工电子元件的检测方法、基本的验证性实验和典型的应用性实验课题。

本书由张玉环任主编（编写第6、7章、附录C、附录D）艾树峰（编写第1、2章、附录A、附录B）和王丽萍（编写第11、12、13、14、17章）任副主编。参编人员有：赵宏峰（编写第15、16章），吴俊芹（编写第8、9章、附录E），蔡志芳（编写第3、4章），纪锋（编写第5章），薛原（编写第10章、统稿）。由许蓆任主审并提出了许多宝贵的意见。

本书可作为2年制和3年制高等职业技术学院、职大、夜大、成人教育学院、自学考试、对口升学培训等大专层次的“电路与模拟电子技术”或“电工电子技术”课程的教材。也可供应用本科电子信息、计算机、电气自动化等专业使用。

本书在编写时，参阅了许多同类教材和资料，得到了不少启发和教益，在此向编著者致以诚挚的谢意。

由于编写水平有限，书中难免存在错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 篇 电 路

第 1 章 直流电路基础知识	1	3.3 正弦交流电路的功率及功率	
1.1 电路与电路模型	1	因数的提高	36
1.2 电路中的主要物理量	1	3.4 谐振电路及应用	39
1.3 电路中的基本元件	3	3.5 三相交流电源及三相负载	43
本章要求	6	本章要求	46
复习思考题	6	复习思考题	46
第 2 章 电路的分析方法	8	第 4 章 电路的过渡过程	48
2.1 基尔霍夫定律	8	4.1 电路的过渡过程和初始	
2.2 无源二端网络的连接及其等		条件	48
效变换	10	4.2 一阶电路的零输入响应	49
2.3 电压源与电流源模型及其等		4.3 一阶电路的零状态响应	52
效变换	14	4.4 一阶电路的全响应	55
2.4 支路电流分析法	17	本章要求	58
2.5 节点电压分析法	19	复习思考题	58
2.6 叠加定理和戴维南定理	22	第 5 章 磁路与变压器	60
本章要求	25	5.1 磁场的主要物理量	60
复习思考题	25	5.2 磁路与磁路欧姆定律	61
第 3 章 正弦交流电路	28	5.3 变压器的结构及工作原理	63
3.1 正弦量的表示方法及三		5.4 变压器的铭牌及主要参数	68
要素	28	本章要求	71
3.2 欧姆定律和基尔霍夫定律的		复习思考题	71
相量形式	30		

第 2 篇 模拟电子技术

第 6 章 半导体器件	73	第 7 章 基本放大电路及其应用	86
6.1 半导体基础知识	73	7.1 三极管放大电路的基本	
6.2 半导体二极管	75	概念	86
6.3 半导体三极管	79	7.2 共射极基本放大电路的性能	
6.4 场效应晶体管	82	分析	88
本章要求	84	7.3 其他放大电路的性能特点	95
复习思考题	84	本章要求	115

复习思考题	115	9.3 三端固定式稳压器的应用	139
第 8 章 集成运算放大器及其应用	120	9.4 三端可调式稳压器的应用	141
8.1 集成运算放大器	120	本章要求	142
8.2 集成运算放大器的线性应用	122	复习思考题	142
8.3 集成运算放大器的非线性应用	126	第 10 章 几种电力电子半导体器件及其应用	144
本章要求	132	10.1 几种常用的电力电子半导体器件	144
复习思考题	132	10.2 晶闸管的触发电路	146
第 9 章 集成稳压器及其应用	134	10.3 电力电子应用电路	147
9.1 半导体二极管小功率整流电路	134	本章要求	151
9.2 集成稳压器的组成、分类及性能指标	137	复习思考题	151

第 3 篇 EWB 电子电路仿真软件

第 11 章 软件基本操作方法	152	13.4 参数扫描分析	176
11.1 认识 Electronics Workbench	152	13.5 温度扫描分析	177
11.2 电路窗口界面菜单介绍	153	13.6 传递函数分析	178
11.3 基本操作	156	13.7 分析结果的保存与调出	179
11.4 简单电路的建立与测试实例	160	本章要求	179
本章要求	165	第 14 章 EWB 的应用举例	180
第 12 章 元件库和虚拟仪器	166	14.1 用虚拟工作台仿真电路的步骤	180
12.1 元件库及元件分类	166	14.2 RC 低通滤波器电路的仿真	180
12.2 元件库的编辑	169	14.3 共发射极放大电路的仿真	182
12.3 常用仿真仪表介绍	169	14.4 集成运算放大器的应用——电压比较器特性研究	183
本章要求	173	14.5 仿真时出错的处理	184
第 13 章 EWB 仿真和分析	174	本章要求	184
13.1 直流工作点分析	174		
13.2 交流频率分析	174		
13.3 瞬态分析	175		

第 4 篇 实验技能训练

第 15 章 仪器使用及基本实验	185	15.3 晶体管特性图示仪的使用	193
15.1 低频信号发生器和毫伏表的使用	185	15.4 数字万用表的使用和常用电工元件的检测	196
15.2 示波器的使用	188	本章要求	199

第 16 章 验证性实验	200	单的扬声器	210
16.1 基尔霍夫定律和叠加定理	200	17.5 集成运算放大器电路应用（设计模拟运算电路）	211
16.2 戴维南定理	201	17.6 线性集成稳压电源 W7805 的应用	212
16.3 整流滤波电路的性能测试	202	本章要求	213
16.4 单管放大电路的性能测试	203	附录	214
16.5 负反馈放大电路的性能测试	205	附录 A 相关物理量国际单位	124
本章要求	206	附录 B 电阻、电容标称值	215
第 17 章 应用性实验	207	附录 C 半导体器件型号命名方法	218
17.1 荧光灯安装实验	207	附录 D 二极管、三极管、场效应管性能参数	218
17.2 整流滤波电路的制作	208	附录 E 集成运放、集成稳压器性能参数	221
17.3 放大电路的故障检测	209	参考文献	222
17.4 功率放大电路的应用——一种简			

第 1 篇 电 路

第 1 章 直流电路基础知识

本章重点：本章介绍有关电路的基本概念、组成电路的元件，建立电路模型的概念，以及电路分析中需要使用的主要物理量。

1.1 电路与电路模型

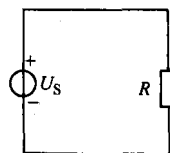
各种实际电路都是由电气元器件相互连接而成的，所谓的电气元器件泛指实际的电路部件，例如，电阻器、电容、线圈、变压器、晶体管、电源等。

在电路中，随着电流的通过，进行着能量的转换、传输和分配。通常把供电设备称为电源，而把用电设备称为负载。

电路的另一重要作用是信号的处理。通过电路把施加的信号（称为激励）变换成其他所需要的输出（称为响应）。

人们设计制作某种器件是利用它的物理性质。事实上不可能制造出只表现出一种性质的器件，也就是说不可能制造出理想的器件。例如，一个实际电源总有内阻，因而使用时不可能总保持一定的端电压；连接导体总有一点电阻，甚至还有电感。因此，必须在一定的条件下对实际器件加以理想化，忽略它的次要性质，用足以表征其主要性能模型来表示。电路理论分析的对象是电路模型而不是实际电路。

各种理想元器件用图形符号表示，绘成电路图。图 1-1 是一种电路模型，采用了理想电阻元件和理想电压源元件。



1.2 电路中的主要物理量

1.2.1 电流和电流的参考方向

正电荷运动的方向规定为电流的实际方向。有时电荷在导线中或一个电路元件中流动的实际方向很难在电路中标出。例如，电路中的电流为交流，就不可能用一个固定的箭头来表示实际方向，即使在直流电路中，要指出较复杂的电路中某一电路元件中的电流方向也不是件容易事，为此引用参考方向这一概念。

我们规定：如果电流的实际方向与参考方向一致，电流为正值；如果相反，电流为负值。这样就可以利用电流的正负值结合参考方向来表明电流的实际方向。

在图 1-2 中，先选定其中某一个方向作为电流的方向，这个方向叫做电流的参考方向。当然所选方向并不一定就是电流实际的方向（图中用虚线表示）。若电流的参考方向



图 1-2 电流的参考方向

与它的实际方向一致, 则电流取正值 ($i > 0$); 反之, 若电流的参考方向与实际方向相反, 则电流为负值 ($i < 0$)。

1.2.2 电压和电压的参考方向

电场力把单位正电荷从 a 点移动到 b 点所做的功称为 a、b 两点之间的电压。电压也是有方向的。习惯上规定为电位降低的方向, 即从高电位指向低电位。在实际问题中很难确定电压的实际方向, 同样采用参考方向 (参考极性) 并用电压正负值结合参考方向来表明电压的实际方向。当电压的参考方向与实际方向一致时, 电压为正值 ($u > 0$); 反之, 当电压的参考方向与它的实际方向相反时, 电压为负值 ($u < 0$)。

在电路中, 电压的参考方向可以用正 (+)、负 (-) 极性来表示。正极指向负极的方向, 就是电压的参考方向。也可用一个箭头表示电压的参考方向, 还可使用双下标表示, 如 u_{AB} 表示 A 和 B 之间的电压的参考方向由 A 指向 B, 见图 1-3a。

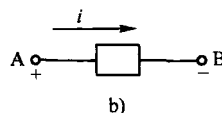
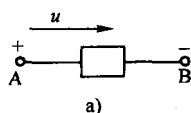


图 1-3 电压的参考方向

a) 电压的参考方向 b) 电压和电流的关联参考方向

电流和电压的参考方向都可以独立地加以任意指定。如果指定电流从标以电压 “+” 极的一端流入, 并从标以 “-” 极一端流出, 即电流的参考方向与电压的参考方向一致, 则把电流和电压的这种参考方向称为关联参考方向, 如图 1-3b 所示。

1.2.3 功率

在电路中, 有的元件吸收电能, 并将电能转换成其他形式的能量, 有的元件是将其他形式的能量转换成电能, 即元件向电路提供电能。

电路中存在能量的转换。正电荷从电路元件的电压 “+” 极经元件移到电压的 “-” 极, 是电场力对电荷做功的结果, 这时元件吸收能量; 相反正电荷从电路元件的电压 “-” 极经元件移到电压 “+” 极, 元件向外释放能量。

图 1-4 所示为某电路的一部分, 图中方框或为单一元件或为多个元件的组合。当该段电路通以电流后, 将和外部电路发生能量的交换。设它在时间 dt 内吸收或送出的电能为 dW , 则把在单位时间内的吸收或送出的电能定义为电功率, 简称为功率, 并用符号 p 表示, 即

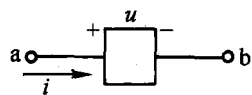


图 1-4 用小方框代表元件或多个元件组合

$$p = dW/dt$$

在国际单位制中, 电流的单位是安培 (A), 简称安; 电荷的单位是库仑 (C), 简称库; 电压的单位是伏特 (V), 简称伏; 能量的单位是焦耳 (J), 简称焦; 功率的单位是瓦特 (W), 简称瓦。

在电压和电流的关联参考方向下, 电功率写为

$$p(t) = u(t)i(t)$$

在电压和电流的非参考方向下, 电功率应写为

$$p(t) = -u(t)i(t)$$

把能量传输的方向定为功率的方向, 如同把电流和电压作为代数量处理一样。也可以为功率假设参考方向, 当功率的实际方向与参考方向一致时, 功率为正, 也该电路部分吸收功率, 否则, 功率为负, 该电路部分产生功率。

例1 在图1-5中, 设电流的参考方向均为由a流向b。①在图a和b中, 若电流为2A, 求元件吸收或产生的功率。②在图b中, 若元件产生的功率为4W, 求电流。

解 ①对图a所示元件来说, 电压、电流为非关联参考方向, 故

$$p = -u_1 i = -(-1\text{V}) \times 2\text{A} = 2\text{W} \quad (\text{吸收})$$

对图b所示元件来说, 电压、电流为关联参考方向, 故

$$p = u_2 i = 1\text{V} \times 2\text{A} = 2\text{W} \quad (\text{吸收})$$

②因系产生功率4W, 故 $p = -4\text{W}$ 。可得

$$P = u_2 i = 1\text{V} \times i = -4\text{W}$$

$$i = -4\text{A}$$

负号表明电流的实际方向系由b指向a。



图1-5 例1图

1.3 电路中的基本元件

1.3.1 电阻元件

电阻元件是从实际电阻器抽象出来的模型。由欧姆定律 $u(t) = Ri(t)$ 来定义电阻元件, 式中 $u(t)$ 为电阻元件两端的电压, 单位为伏(V); $i(t)$ 为流过电阻元件的电流, 单位为安(A), R 为电阻, 单位为欧姆(Ω)。 R 为常数, 故 u 与 i 成正比。所以, 由欧姆定律定义的电阻元件, 称为线性电阻元件。 u 、 i 可以是时间 t 的函数, 也可以是常数(直流)。

欧姆定律体现了电阻器对电流呈现阻力的本质, 电流要流过, 就必然要消耗能量。因此沿电流流动方向就必然会出现电压降。欧姆定律表明这一电压降的大小, 其值为电流与电阻乘积。电流与电压降的实际方向总是一致的。如果把电阻元件的电压取为纵坐标, 电流取为横坐标, 可绘出 $i-u$ 平面上的曲线, 称为电阻元件的伏安特性曲线, 显然线性电阻元件的伏安特性曲线是一条经过坐标原点的直线。如图1-6所示, 电阻值可由直线的斜率来确定。

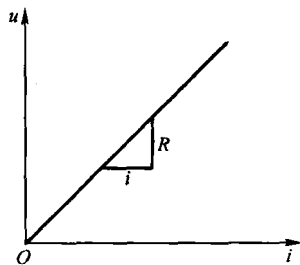


图1-6 线性电阻元件
伏安特性曲线

线性电阻元件可以用它的电阻 R 来表征它的特性, 也可以另一个参数——电导来表征, 用符号 G 表示, 定义为

$$G = 1/R$$

在国际单位制中, 电导的单位是西门子, 简称西(S)。习惯上, 我们常把一个电阻元件叫做电阻。

任何一个二端元件, 如果在任一时刻的电压 $u(t)$ 和电流 $i(t)$ 之间存在代数关系, 也即这一关系可以由 $u-i$ 平面上一条曲线所决定, 如图1-6所示。不论电压或电流的波形如何, 则此二端元件就称为电阻元件。凡电阻元件均是无记忆功能元件。

线性电阻有两种特殊情况值得注意。一种情况是不论它的端电压为何值, 只要流过它的电流恒为零值, 就把它称为“开路”; 另一种情况是, 不论流过它的电流为何值, 只要它的端电压恒为零值, 就把它称为“短路”。

1.3.2 电容元件

电路理论中的电容元件是实际电容器的理想化模型。把两块金属极板用介质（云母、绝缘纸、电解质等）隔开，就可构成一个简单的电容器。由于理想介质是不导电的，加上电源后，极板上分别聚集起等量异号的电荷。外电源撤走后，极板上的电荷能长期存储。所以，电容器是一种存储电荷的元件，是具有记忆功能的元件。

电容元件的定义如下：一个二端元件，如果在任一时刻 t ，它的电荷 $q(t)$ 同它的端电压 $u(t)$ 之间的关系可以用 $u-q$ 平面上一条曲线来确定，则此二端元件称为电容元件。

它在电路中的图形符号如图 1-7a 所示。图中 $+q$ 和 $-q$ 是该元件正、负极板上的电荷量。若电容元件上的 $u(t)$ 和 $q(t)$ 假设为关联参考方向， $u-q$ 平面上的特性曲线是一条通过坐标原点的直线，且不随时间而变化，则二者关系式为

$$q(t) = C u(t) \quad (1-1)$$

式中， C 为该元件的电容，是一个与电荷 q 、电压 u 无关的正实数。在国际单位制中， C 的单位为法拉 (F)。

当极板间电压变化时，极板上电荷也随着改变，于是该电容电路中出现电流。如指定电流参考方向与电压的参考方向一致，则

$$i(t) = dq/dt \quad (1-2)$$

把式 (1-1) 代入式 (1-2)，得

$$i(t) = C du/dt \quad (1-3)$$

式 (1-3) 表明：任何时刻，线性电容元件的电流与该时刻电压的变化率成正比。当元件上电压发生剧变时，电流很大；如果电压不变（直流电压）， du/dt 为零，虽有电压，但电流为零，电容相当于开路，因此电容有隔直流的作用。

对式 (1-3) 积分可得

$$u(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i(\tau) d\tau \quad (1-4)$$

如果只需了解在某一任意选定的初始时刻 t_0 以后电容电压情况，式 (1-4) 可改写为

$$u(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^{t_0} i(\tau) d\tau + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i(\tau) d\tau = u(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i(\tau) d\tau \quad t \geq t_0 \quad (1-5)$$

式 (1-5) 告诉我们：在某一时刻 t 时电容电压的数值并不取决于该时刻的电流值，而是取决于从 $-\infty$ 到 t 所有时刻的电流值，也就是说与电流全部过去历史有关。这是因为电容是聚集电荷的元件，电容电压反映聚集电荷的多寡，而电荷的聚集是电流从 $-\infty$ 到 t 长期作用的结果。

从上式可见，在任何时刻 t ，电容元件的电压 $u(t)$ 与初始电压 $u(t_0)$ 以及从 t_0 开始作用的电流 $i(t)$ 有关。同样反映电容电压的两个重要性质，即电容电压的连续性和记忆性。

电容是一种储能元件。

由 1.2 节可知，任何元件的功率都可由该元件两端的电压 u 和流过电流 i 的乘积计算。每一瞬时功率用 p 表示，则

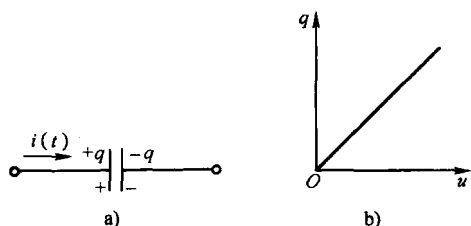


图 1-7 线性电容元件的图形符号及其 $u-q$ 特性
a) 图形符号 b) $u-q$ 特性

$$p(t) = u(t)i(t) = Cu \frac{du}{dt} \quad (1-6)$$

从 t_0 到 t 时间内, 电容吸收电能为

$$W_C = \int_{t_0}^t u(\tau)i(\tau)d\tau = \int_{u(t_0)}^{u(t)} Cu(\tau)du = \frac{1}{2}C[u^2(t) - u^2(t_0)] \quad (1-7)$$

如果 t_0 选取为电压等于零的时刻, 即有 $u(t_0) = 0$, 此时电容未被充电, 故认为其电场能量为零。电容元件吸收的能量以电场能量形式储存在元件的电场中。由此, 在上述条件下, 电容元件在任何时刻 t 所储存的电场能量 $W(t)$ 将等于它所吸收的能量, 即

$$W_C(t) = \frac{1}{2}Cu^2(t)$$

从时间 t_0 到 t , 电容吸收的能量为

$$W_C = W_C(t) - W_C(t_0)$$

由上式可知, 若电容原来没有充电, 那么它在充电时吸收并储存起来的能量一定又在放电完毕时全部释放。它并不消耗能量, 所以电容元件是一种储能元件, 同时它也不会释放多于它所吸收或储存的能量, 因此它又是一种无源元件。

1.3.3 电感元件

线圈的导线中有电流 i 流过时, 产生磁通 ϕ 。若线圈的匝数为 N , 则穿过线圈各匝的磁通的代数和为 $\psi = N\phi$, ψ 称为线圈的磁链。磁通的参考方向与电流的参考方向之间应满足右手螺旋定则。在此规定下, 磁通链与电流的比值为

$$L = \psi / i$$

式中, L 为一正数, 称为线圈的电感, 或称自感。电感的大小反应了线圈通电以后产生磁链能力的强弱。在电路中, 一个实际部件的电感特性用电感元件来表示。

电路理论中的电感元件是电感器的理想化模型, 电感元件被定义如下: 一个二端元件, 如果在任一时刻 t , 它的电流 $i(t)$ 同它的磁链 $\psi(t)$ 之间的关系可以用 $i-\psi$ 平面上的一条曲线来确定, 则此二端元件称为电感元件, 即电感元件的电流瞬时值与磁链瞬时值之间存在着一种代数关系。电感元件的符号如图 1-8a 所示, $i(t)$ 和 $\psi(t)$ 采用关联的参考方向, 即两者的参考方向应符合右手螺旋定则。图 1-8a 中的 +、- 号既表示磁链, 也表示电压的参考方向。

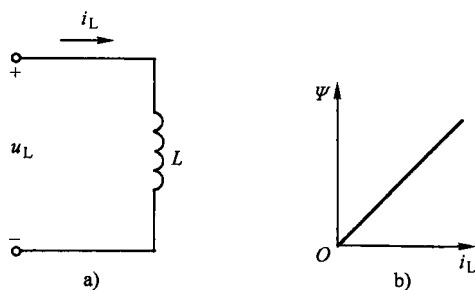


图 1-8 电感元件的符号及特性曲线

如果 $i-\psi$ 平面上的特性曲线是一条通过原点的直线, 且不随时间而变, 则

$$\psi(t) = Li(t) \quad (1-8)$$

式中, L 为正值常数, 称为电感或自感。在国际单位制中, L 的单位为亨利 (H)。习惯上, 我们也常把电感元件简称为电感。

根据电磁感应定律, 线圈中的磁通变化时, 将在线圈上产生感应电压。若感应电压和磁链为关联的参考方向时 (即两者的参考方向符合右手螺旋定则), 有

$$u_L = \frac{d\psi}{dt} \quad (1-9)$$

将式 (1-8) 代入式 (1-9) 式, 使得

$$u_L = \frac{d[Li_L]}{dt} = L \frac{di_L}{dt} \quad (1-10)$$

或
$$i_L = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t u_L(\tau) d\tau \quad (1-11)$$

上述两式是线性电感元件伏安关系的两种形式。再次强调, 上述两式对应于电压、电流为关联参考方向, 若 u_L 、 i_L 为非关联参考方向, 应在两式中分别冠以负号。

式 (1-10) 说明: 电感电压正比于电感电流的变化率, 这表明仅当电流变化时才会有电压, 因此电感元件是一种动态元件。由于直流电流的变化率为零, 故在直流的情况下电感电压为零。这表明在直流电路中电感元件相当于短路。

式 (1-11) 说明: 当前时刻 t 的电感电流不仅和该时刻的电压有关, 而且与从 $-\infty$ 到 t 所有时刻的电压均有关, 这说明电感元件的电流具有记忆电压的本领。因此, 电感元件是具有记忆功能的元件。

电感是存储磁能的元件。电感元件的功率为

$$p_L = u_L i_L \quad (1-12)$$

电感元件存储的磁场能量为

$$W_L = \int_{-\infty}^t p_L di_L = \int_{i_L(-\infty)}^{i_L(t)} Li_L di_L = \frac{1}{2} Li_L^2$$

上式表明, 在任一时刻 t , 电感的存储能量只取决于该时刻的电流 i_L 。电感元件是一种无源元件。

本章要求

1. 理解并熟悉参考方向的概念。参考方向是人为假定的, 故参考方向的给定具有任意性, 并不代表实际方向, 但电量的实际方向却必须根据它和数值的正负号共同来决定。

2. 熟悉电流、电压、功率的概念。并在此基础上掌握关联参考方向的概念: 电流从电压的正极性端流入, 从负极性端流出, 否则称为非关联参考方向。结合功率的计算有: $P = ui$ (u 、 i 为关联参考方向); $P = -ui$ (u 、 i 为非关联参考方向)。 $P > 0$ 表示元件吸收功率, $P < 0$ 表示元件产生功率。

3. 掌握电阻、电容、电感的特性。

复习思考题

1. 如果未标示参考方向, 欧姆定律是否可写作 $u = Ri$ 呢?
2. 在电路中当电容两端有一定电压时, 相应的是否也有电流呢? 因此, 某时刻电容储能与该时刻的电压有关, 是否也可说成与该时刻的电流有关呢?
3. 如果一个电感线圈两端的电压为零, 是否可能有储能?
4. 一个 1F 的电容, 在某一时刻, 其两端的电压为 10V, 能否算出该时刻的电流是多少? 为什么?

5. 计算图 1-9 所示各元件吸收或产生的功率，其电压电流为

图 a $u = -2\text{V}$, $i = 1\text{A}$

图 b $u = -3\text{V}$, $i = 2\text{A}$

图 c $u = 2\text{V}$, $i = -3\text{A}$

图 d $u = 10\text{V}$, $i = 2\sin\omega t\text{mA}$

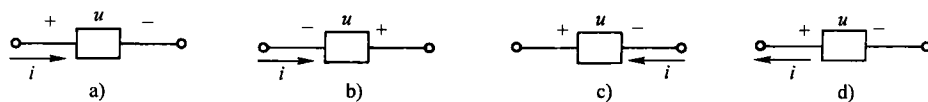


图 1-9 题 5 图

6. 图 1-10 所示电路，元件上的 u 、 i 参考方向已给定，元件为电阻。试分析电压和电流的实际方向。

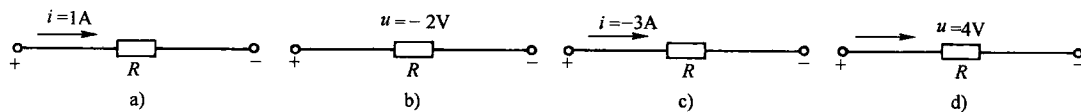


图 1-10 题 6 图

第2章 电路的分析方法

本章重点：本章介绍电路等效变换的概念及其基本方法；介绍电压源、电流源的伏安特性；讨论电路的基本定律、基本定理和电路的基本分析方法。

2.1 基尔霍夫定律

在介绍基尔霍夫定律之前，我们将结合图 2-1 所示的电路介绍几个电路中常用的名词。

1. 支路 电路中流过同一电流并含有一个或一个以上元件的分支称为一条支路。如图 2-1 电路中的分支 ab, bc, ac 等均为支路。这样该电路共有六条支路。

2. 节点 支路的连接点称为节点。在图 2-1 中有四个节点，分别为 a, b, c, d 且在图中每个方框表示一个二端元件。显然节点是 3 条或 3 条以上支路的连接点。如图 2-2 所示，初学者往往把图中的 a 点与 b 点看成是两个节点，这是不对的，因为 a 点与 b 点是用理想导体相连的，从电的角度来看，它们是相同的端点，可以合并成一点。电路图可以改画，只要保证各元件间的连接关系不变即可。把图 2-2 中的元件 4 和 5 作为一条支路，这样连接点就不算作节点。

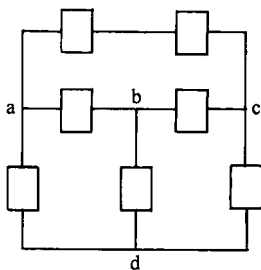


图 2-1 支路、节点说明图

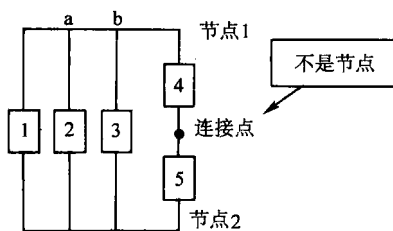


图 2-2 回路、网孔说明图

3. 回路 电路中的任一闭合路径称回路。在图 2-1 中 abcda, abca, cadc 等都是回路，共有 7 个回路。在图 2-2 中元件 1、2，元件 1、4、5，元件 1、3 均构成回路，共有 6 个回路。在回路中另含有新支路的回路称为网孔，图 2-1 和图 2-2 各有 3 个网孔。

基尔霍夫定律体现的是电路整体的基本规律。它反映了电路中各支路电压、电流之间的约束关系，基尔霍夫定律包括基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律。

2.1.1 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律又称为基尔霍夫第一定律，简称为 KCL，表达了电路中支路电流间的约束关系。可表述为：对于电路中的任一节点，在任一瞬间，流出（或流入）该节点的所有支路电流的代数和为零。即电路中流入任一节点的电流必等于流出该节点的电流，其数学表示式为

$$\sum_{k=1}^K i_k(t) = 0 \quad (2-1)$$

式中, $i_k(t)$ 为流出(或流入)节点的第 k 条支路电流, K 为节点处的支路数。

在任一节点运用 KCL 时, 根据各支路电流的参考方向, 以流入为准或是以流出为准来列写支路电流的关系式, 两种标准可任选一种。

以图 2-3 所示电路为例, 设流入节点电流为正, 流出节点电流为负, 在节点 N 处运用 KCL 可得

$$i_1 + i_2 + i_3 - i_4 = 0$$

或者

$$i_4 = i_1 + i_2 + i_3$$

KCL 是电荷守恒原理在电路中的具体体现, 即电荷既不能创造也不能消灭。

例 1 图 2-4 表示某复杂电路中的一个节点, 已知 $i_1 = 5\text{A}$, $i_2 = 2\text{A}$, $i_3 = -3\text{A}$, 试求流过元件 A 的电流 i_4 。

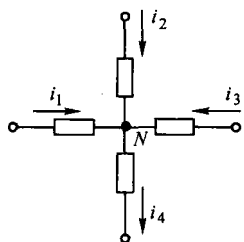


图 2-3 KCL 的说明图

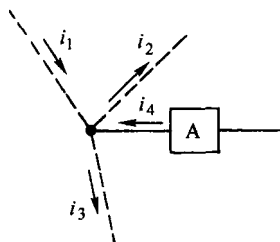


图 2-4 例 1 图

解 在列写 KCL 方程时, 应先标出所有电流的参考方向。已知电流的参考方向常是给定的, 未知电流的参考方向则可任意假定。

根据图 2-4, 设流出节点电流为正, 流入节点电流为负, 由 KCL 得

$$-i_1 + i_2 + i_3 - i_4 = 0$$

即

$$i_4 = -i_1 + i_2 + i_3$$

代入数值得

$$i_4 = -5\text{A} + 2\text{A} + (-3\text{A})$$

$$i_4 = -6\text{A}$$

结果为负, 说明 i_4 的实际方向与参考方向相反。

2.1.2 基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律又称为基尔霍夫第二定律, 简称为 KVL, 表达了电路中各支路电压间的约束关系。可表述为: 在任一回路, 在任一瞬间, 沿着该回路的所有支路电压降的代数和为零。其数学表达式为

$$\sum_{k=1}^K u_k(t) = 0 \quad (2-2)$$

式中, $u_k(t)$ 表示回路中的第 k 条支路电压, K 为回路中的支路数。

应用基尔霍夫电压定律列写方程时, 先要任意选定回路的绕行方向, 当回路内每段电压的参考方向与回路的绕行方向一致时该段电压为正, 相反时为负。