


普通高等教育“十一五”规划教材

电路分析基础

主 编 曹成茂
副主编 吴 扬 马德贵
主 审 王松林

 西安电子科技大学出版社
XIDIAN UNIVERSITY PRESS

普通高等教育“十一五”规划教材

电路分析基础

主 编 曹成茂

副主编 吴 扬 马德贵

主 审 王松林

西安电子科技大学出版社

2009

内 容 简 介

本书共 10 章, 主要内容包括: 电路模型和电路定律、电路的等效与变换、电阻电路的一般分析方法、电路定理、正弦稳态电路分析、三相电路、耦合电感与变压器电路分析、非线性电路、动态电路的时域分析、二端口网络。

本书可作为电气工程、通信工程、网络工程、电子信息工程、测控技术与仪器、计算机科学与技术等专业的本科生教材, 也可作为相关工程技术人员的参考用书。

★本书配有电子教案, 需要者可登录出版社网站, 免费下载。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析基础/曹成茂主编. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2009.8

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2279-8

I. 电… II. 曹… III. 电路理论—高等学校—教材 IV. TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 090191 号

策 划 张 媛

责任编辑 许青青 张 媛

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 西安文化彩印厂

版 次 2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 13.875

字 数 325 千字

印 数 1~4000 册

定 价 20.00 元

ISBN 978-7-5606-2279-8/TN·0518

XDUP 2571001-1

*** 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

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展的需要,满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转移阶段中社会对高校应用型人才培养的要求,我们根据国家教育部新修订的《高等工业学校电路分析基础课程基本要求》,结合目前教学改革和学分制的要求编写了本书。本书可作为高等学校电气信息类专业少学时“电路分析基础”课程的教学用书,其参考学时数为50学时左右(不含实验课时)。

本书的特点是:在内容选材上立足于“加强基础,精选内容,逐步更新,利于教学”的原则,并注意与“高等数学”、“普通物理”等先修课程和“模拟电子电路”、“信号与系统”、“高频电子技术”等后续课程的分工、衔接和配合,做到了对先修课程巩固加深,同时为后续课程打好基础;在分析和总结以往教材和教学经验的基础上,根据“电路分析基础”课程教学的基本要求,考虑到各院校“电路分析基础”课程的课时普遍较少,精简了部分陈旧的以及与专业相关性较小的内容,增加了实用技术知识;为了便于学生理解,书中选编了较多应用实例,并配有相关的课后习题;对传统的教学内容进行了精选,适当地提高了教材的起点,并增加了部分电路领域新技术和新内容的介绍;在内容体系上加强了知识结构的系统性和完整性,扩大了知识面,增强了应用性。

本书编写的具体分工如下:第1章由曹成茂编写,第2章由吴敏编写,第3章由龙凤兰编写,第4章由孙燕编写,第5章由刘权编写,第6、8、10章由吴扬编写,第7章由马德贵编写,第9章由马宾编写。曹成茂担任本书主编,吴扬、马德贵担任副主编,他们共同负责对各章内容的修改、统稿和定稿。

在本书编辑与出版过程中,西安电子科技大学出版社给予了大力支持和帮助,在此表示由衷的谢意。西安电子科技大学王松林教授仔细审阅了本书,对初稿提出了许多宝贵的修改意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者
2009年5月

欢迎选购西安电子科技大学出版社教材类图书

~~~~~ “十一五” 国家级规划教材 ~~~~~		数控机床故障分析与维修(高职)(第二版)	25.00
计算机系统结构(第四版)(李学干)	25.00	液压与气动技术(第二版)(朱梅)(高职)	23.00
计算机系统安全(第二版)(马建峰)	30.00	~~~~~计算机提高普及类~~~~~	
计算机网络(第三版)(蔡皖东)	27.00	计算机应用基础(第三版)(丁爱萍)(高职)	22.00
计算机应用基础教程(第四版)(陈建铎)		计算机文化基础(高职)(游鑫)	27.00
(for Windows XP/Office XP)	30.00	计算机文化基础上机实训及案例(高职)	15.00
计算机应用基础(冉崇善)(高职)		计算机科学与技术导论(吕辉)	22.00
(Windows XP & Office 2003 版)	23.00	计算机应用基础(高职)(赵钢)	29.00
《计算机应用基础》实践技能训练		计算机应用基础——信息处理技术教程	31.00
与案例分析(高职)(冉崇善)	18.00	《计算机应用基础——信息处理技术教程》	
微型计算机原理(第二版)(王忠民)	27.00	习题集与上机指导(张郭军)	14.00
微型计算机原理及接口技术(第二版)(裘雪红)	36.00	计算机组装与维修(中职)(董小莉)	23.00
微型计算机组成与接口技术(第二版)(高职)	28.00	微型机组装与维护实训教程(高职)(杨文诚)	22.00
微机原理与接口技术(第二版)(龚尚福)	37.00	~~~~~计算机网络类~~~~~	
单片机原理及应用(第二版)(李建忠)	32.00	计算机网络技术基础教程(高职)(董武)	18.00
单片机应用技术(第二版)(高职)(刘守义)	30.00	计算机网络管理(雷震甲)	20.00
Java程序设计(第二版)(高职)(陈圣国)	26.00	网络设备配置与管理(李飞)	23.00
编译原理基础(第二版)(刘坚)	29.00	网络安全与管理实验教程(谢晓燕)	35.00
人工智能技术导论(第三版)(廉师友)	24.00	网络安全技术(高职)(廖兴)	19.00
多媒体软件设计技术(第三版)(陈启安)	23.00	网络信息安全技术(周明全)	17.00
信息系统分析与设计(第二版)(卫红春)	25.00	动态网页设计实用教程(蒋理)	30.00
信息系统分析与设计(第三版)(陈圣国)(高职)	20.00	ASP动态网页制作基础教程(中职)(苏玉雄)	20.00
传感器原理及工程应用(第三版)	28.00	局域网组建实例教程(高职)(尹建璋)	20.00
数字图像处理(第二版)(何东健)	30.00	Windows Server 2003组网技术(高职)(陈伟达)	30.00
电路基础(第三版)(王松林)	39.00	组网技术(中职)(俞海英)	19.00
模拟电子电路及技术基础(第二版)(孙肖子)	35.00	综合布线技术(高职)(王趾成)	18.00
模拟电子技术(第三版)(江晓安)	25.00	计算机网络应用基础(武新华)	28.00
数字电子技术(第三版)(江晓安)	23.00	计算机网络基础及应用(高职)(向隅)	22.00
数字电路与系统设计(第二版)(邓元庆)	35.00	~~~~~计算机技术类~~~~~	
数字信号处理(第三版)(高西全)	29.00	计算机系统结构与组成(吕辉)	26.00
电磁场与电磁波(第二版)(郭辉萍)	28.00	电子商务基础与实务(第二版)(高职)	16.00
现代通信原理与技术(第二版)(张辉)	39.00	数据结构——使用 C++ 语言(第二版)(朱战立)	23.00
移动通信(第四版)(李建东)	30.00	数据结构(高职)(周岳山)	15.00
移动通信(第二版)(章坚武)	24.00	数据结构教程——Java 语言描述(朱振元)	29.00
物理光学与应用光学(第二版)(石顺祥)	42.00	离散数学(武波)	24.00

现代控制理论基础(舒欣梅)	14.00	数控加工与编程(第二版)(高职)(詹华西)	23.00
过程控制系统及工程(杨为民)	25.00	数控加工工艺学(任同)	29.00
控制系统仿真(党宏社)	21.00	数控加工工艺(高职)(赵长旭)	24.00
模糊控制技术(席爱民)	24.00	数控加工工艺课程设计指导书(赵长旭)	12.00
工程电动力学(修订版)(王一平)(研究生)	32.00	数控加工编程与操作(高职)(刘虹)	15.00
工程力学(张光伟)	21.00	数控机床与编程(高职)(饶军)	24.00
工程力学(皮智谋)(高职)	12.00	数控机床电气控制(高职)(姚勇刚)	21.00
理论力学(张功学)	26.00	数控应用专业英语(高职)(黄海)	17.00
材料力学(张功学)	27.00	机床电器与 PLC(高职)(李伟)	14.00
材料成型工艺基础(刘建华)	25.00	电机及拖动基础(高职)(孟宪芳)	17.00
工程材料及应用(汪传生)	31.00	电机与电气控制(高职)(冉文)	23.00
工程材料与应用(戈晓岚)	19.00	电机原理与维修(高职)(解建军)	20.00
工程实践训练(周桂莲)	16.00	供配电技术(高职)(杨洋)	25.00
工程实践训练基础(周桂莲)	18.00	金属切削与机床(高职)(聂建武)	22.00
工程制图(含习题集)(高职)(白福民)	33.00	模具制造技术(高职)(刘航)	24.00
工程制图(含习题集)(周明贵)	36.00	模具设计(高职)(曾霞文)	18.00
工程图学简明教程(含习题集)(尉朝闻)	28.00	冷冲压模具设计(高职)(刘庚武)	21.00
现代设计方法(李思益)	21.00	塑料成型模具设计(高职)(单小根)	37.00
液压与气压传动(刘军营)	34.00	液压传动技术(高职)(简引霞)	23.00
先进制造技术(高职)(孙燕华)	16.00	发动机构造与维修(高职)(王正健)	29.00
机械原理多媒体教学系统(资料)(书配盘)	120.00	机动车辆保险与理赔实务(高职)	23.00
机械工程科技英语(程安宁)	15.00	汽车典型电控系统结构与维修(李美娟)	31.00
机械设计基础(郑甲红)	27.00	汽车机械基础(高职)(娄万军)	29.00
机械设计基础(岳大鑫)	33.00	汽车底盘结构与维修(高职)(张红伟)	28.00
机械设计(王宁侠)	36.00	汽车车身电气设备系统及附属电气设备(高职)	23.00
机械设计基础(张京辉)(高职)	24.00	汽车单片机与车载网络技术(于万海)	20.00
机械基础(安美玲)(高职)	20.00	汽车故障诊断技术(高职)(王秀贞)	19.00
机械 CAD/CAM(葛友华)	20.00	汽车营销技术(高职)(孙华宪)	15.00
机械 CAD/CAM(欧长劲)	21.00	汽车使用性能与检测技术(高职)(郭彬)	22.00
机械 CAD/CAM 上机指导及练习教程(欧)	20.00	汽车电工电子技术(高职)(黄建华)	22.00
画法几何与机械制图(叶琳)	35.00	汽车电气设备与维修(高职)(李春明)	25.00
《画法几何与机械制图》习题集(邱龙辉)	22.00	汽车使用与技术管理(高职)(边伟)	25.00
机械制图(含习题集)(高职)(孙建东)	29.00	汽车空调(高职)(李祥峰)	16.00
机械设备制造技术(高职)(柳青松)	33.00	汽车概论(高职)(邓书涛)	20.00
机械制造基础(高职)(郑广花)	21.00	现代汽车典型电控系统结构原理与故障诊断	25.00

欢迎来函索取本社书目和教材介绍! 通信地址: 西安市太白南路 2 号 西安电子科技大学出版社发行部  
 邮政编码: 710071 邮购业务电话: (029)88201467 传真电话: (029)88213675。

# 目 录

<b>第 1 章 电路模型和电路定律</b> .....	1
1.1 电路和电路模型 .....	1
1.1.1 实际电路的组成与功能 .....	1
1.1.2 电路模型 .....	2
1.2 电路变量 .....	3
1.2.1 电流 .....	3
1.2.2 电压 .....	4
1.2.3 电功率 .....	5
1.3 电路中的基本元件 .....	6
1.3.1 电阻元件 .....	7
1.3.2 电容元件 .....	10
1.3.3 电感元件 .....	12
1.4 基尔霍夫定律 .....	15
1.4.1 基尔霍夫电流定律 .....	15
1.4.2 基尔霍夫电压定律 .....	16
1.5 理想电源 .....	17
1.5.1 理想电压源 .....	17
1.5.2 理想电流源 .....	18
习题 1 .....	18
<b>第 2 章 电路的等效与变换</b> .....	22
2.1 电路等效 .....	22
2.2 电阻的串联和并联 .....	23
2.2.1 电阻的串联 .....	23
2.2.2 电阻的并联 .....	24
2.2.3 电阻的混联等效 .....	26
2.3 电阻的 Y 形连接与 $\Delta$ 形连接的等效变换 .....	27
2.3.1 $\Delta$ 形连接等效变换为 Y 形连接 .....	27
2.3.2 Y 形连接等效变换为 $\Delta$ 形连接 .....	29
2.4 实际电源的两种模型及其等效变换 .....	31
2.4.1 实际电源模型 .....	31
2.4.2 电压源与电流源模型的互换等效 .....	32
2.5 受控源及含受控源电路的等效 .....	34
2.5.1 受控电源 .....	34
2.5.2 含受控源电路的等效 .....	35
2.6 输入电阻 .....	37
2.6.1 输入电阻的定义 .....	37

2.6.2 输入电阻的求法 .....	37
习题 2 .....	39
<b>第 3 章 电阻电路的一般分析方法 .....</b>	<b>42</b>
3.1 电路的图 .....	42
3.1.1 电路的拓扑图 .....	42
3.1.2 回路、割集与树 .....	43
3.2 KCL 和 KVL 的独立方程 .....	46
3.3 支路电流法 .....	48
3.4 回路法与网孔法 .....	51
3.4.1 回路法 .....	51
3.4.2 网孔法 .....	53
3.5 割集法与节点法 .....	57
3.5.1 割集法 .....	57
3.5.2 节点法 .....	59
习题 3 .....	63
<b>第 4 章 电路定理 .....</b>	<b>67</b>
4.1 叠加定理与齐次定理 .....	67
4.1.1 叠加定理 .....	67
4.1.2 齐次定理 .....	70
4.2 替代定理 .....	71
4.3 戴维南定理和诺顿定理 .....	73
4.3.1 戴维南定理 .....	73
4.3.2 诺顿定理 .....	77
4.4 最大功率传输定理 .....	79
4.5 特勒根定理 .....	81
4.6 互易定理 .....	82
4.7 对偶原理 .....	83
习题 4 .....	84
<b>第 5 章 正弦稳态电路分析 .....</b>	<b>89</b>
5.1 正弦电流和电压 .....	89
5.1.1 正弦量的三要素 .....	89
5.1.2 相位差 .....	91
5.1.3 有效值 .....	92
5.2 正弦量的相量表示 .....	93
5.3 电路定律的相量形式 .....	95
5.3.1 电路中基本元件的相量形式 .....	95
5.3.2 基尔霍夫定律的相量形式 .....	98
5.4 相量模型 .....	99
5.4.1 阻抗与导纳 .....	99
5.4.2 阻抗(导纳)的串并联 .....	101
5.4.3 正弦稳态电路相量模型 .....	103
5.5 电路的相量分析方法 .....	104



5.5.1	方程法分析	104
5.5.2	等效法分析	107
5.6	正弦稳态电路的功率	107
5.6.1	复功率	107
5.6.2	最大传输功率	111
5.7	串联电路的谐振	114
5.8	并联电路的谐振	116
	习题 5	117
<b>第 6 章</b>	<b>三相电路</b>	<b>121</b>
6.1	三相电源	121
6.2	三相负载	123
6.3	对称三相电路	123
6.3.1	负载作 Y 形连接	123
6.3.2	负载作 $\Delta$ 形连接	125
6.4	不对称三相电路	125
6.5	三相电路的功率	126
6.5.1	三相电路功率的计算	126
6.5.2	三相电路功率的测量	127
	习题 6	130
<b>第 7 章</b>	<b>耦合电感与变压器电路分析</b>	<b>133</b>
7.1	耦合电感	133
7.1.1	耦合线圈	133
7.1.2	耦合电感的电压-电流关系	134
7.1.3	耦合电感的去耦等效及应用	137
7.2	含耦合电感电路的相量法分析	140
7.2.1	方程分析法	140
7.2.2	等效分析法	141
7.3	理想变压器	145
7.3.1	理想变压器的条件	145
7.3.2	理想变压器的基本特性	145
7.4	实际变压器	150
7.4.1	全耦合变压器	150
7.4.2	空心变压器	151
7.4.3	铁心变压器	152
	习题 7	153
<b>第 8 章</b>	<b>非线性电路</b>	<b>155</b>
8.1	非线性元件	155
8.1.1	非线性电阻	155
8.1.2	非线性电容和非线性电感	157
8.2	非线性电路的分析	157
8.3	小信号分析法	158
8.4	分段线性化方法	160

习题 8 .....	162
<b>第 9 章 动态电路的时域分析</b> .....	<b>164</b>
9.1 动态电路 .....	164
9.1.1 换路与动态电路方程 .....	164
9.1.2 初始值的计算 .....	165
9.2 一阶电路的零输入响应 .....	168
9.2.1 一阶 RC 电路的零输入响应 .....	168
9.2.2 一阶 RL 电路的零输入响应 .....	170
9.3 一阶电路的零状态响应 .....	172
9.3.1 一阶 RC 电路的零状态响应 .....	172
9.3.2 一阶 RL 电路的零状态响应 .....	174
9.4 一阶电路的全响应 .....	176
9.4.1 全响应及其分解 .....	176
9.4.2 三要素法 .....	177
9.5 一阶电路的阶跃响应 .....	179
9.5.1 阶跃函数 .....	180
9.5.2 阶跃响应 .....	181
9.6 正弦激励下的一阶电路响应 .....	182
9.6.1 正弦激励电路的零状态响应 .....	182
9.6.2 正弦激励电路的零输入响应 .....	183
9.6.3 正弦激励电路的全响应 .....	183
习题 9 .....	184
<b>第 10 章 二端口网络</b> .....	<b>189</b>
10.1 二端口网络的参数与方程 .....	189
10.1.1 Z 参数方程与 Z 参数 .....	189
10.1.2 Y 参数方程与 Y 参数 .....	191
10.1.3 A 参数方程与 A 参数 .....	192
10.1.4 H 参数方程与 H 参数 .....	193
10.2 二端口网络的网络函数 .....	195
10.2.1 输入阻抗与输出阻抗 .....	195
10.2.2 电压放大倍数与电流放大倍数 .....	196
10.2.3 特性阻抗 .....	198
10.3 二端口网络的等效 .....	199
10.3.1 二端口网络的 Z 参数等效电路 .....	199
10.3.2 二端口网络的 Y 参数等效电路 .....	200
10.4 二端口网络的连接 .....	200
10.4.1 串联 .....	201
10.4.2 并联 .....	201
10.4.3 级联 .....	202
习题 10 .....	203
<b>部分习题参考答案</b> .....	<b>207</b>
<b>参考文献</b> .....	<b>214</b>

# 第1章 电路模型和电路定律

学习“电路分析基础”课程的主要目的是掌握电路的基本规律和基本分析方法。本章从建立电路模型、认识电路变量等最基本的问题出发，重点讨论电路中的基本元件、欧姆定律、基尔霍夫定律、理想电源等重要概念。其中，欧姆定律与基尔霍夫定律是分析与计算电路的基本定律。

## 1.1 电路和电路模型

电路在日常生活、生产和科学研究工作中得到了广泛应用。在收录机、电视机、录像机、音响设备、计算机、通信系统和电力系统中都可以看到各种各样的电路。这些电路的特性和作用各不相同。人们在工作和生活中会遇到很多实际电路。实际电路是为完成某种预期目的而设计、安装、运行，由电路部件和电路器件相互连接而成的电流通路装置。简单地说，电路是电流的通路，它是为了满足某种需要而由某些电工设备或元件按一定方式组合起来的。

### 1.1.1 实际电路的组成与功能

电路的结构形式和所能完成的任务是多种多样的。电路的一种作用是实现电能的传输和转换。例如，电力网络将电能从发电厂输送到各个工厂、广大农村和城市的千家万户，供各种电器与设备使用。电路的另外一种作用是实现电信号的传输、处理和存储。例如，电视接收天线将接收到的含有声音和图像信息的高频电视信号，通过高频传输线送到电视机中，这些信号经过选择、滤波、变频、放大和检波等处理，恢复出原来的声音和图像信息，在扬声器中发出声音并在显像管屏幕上呈现图像。电力系统电路示意图如图 1.1-1(a) 所示。它的功能是实现电能的传输和转换。图 1.1-1(a) 包括电源、负载和中间环节三个组成部分。

发电机是电源，是供应电能的设备，在发电厂内可把热能、水的势能或核能转换为电能。除发电机外，电池也是常用的电源。

电动机、电灯、电炉等都是负载，是取用电能的设备，它们分别把电能转换为机械能、光能及热能等。

变压器和输电线是中间环节，是连接电源和负载的部分，起传输和分配电能的作用。

图 1.1-1 (b) 所示为常见的扩音器电路。话筒把语言或音乐(通常称为信息)转换为相应的电压和电流,它们就是电信号;而后通过电路传递到扬声器,把电信号还原为语言或音乐。由于由话筒输出的电信号比较微弱,不足以推动扬声器发音,因此中间还要用放大器来放大。信号的这种转换和放大称为信号的处理。

在图 1.1-1 (b)中,话筒是输出信号的设备,称为信号源,相当于电源,但与上述的发电机、电池不同,信号源输出的电信号(电压和电流)的变化规律取决于所加的信息。扬声器是接收和转换信号的设备,也就是负载。

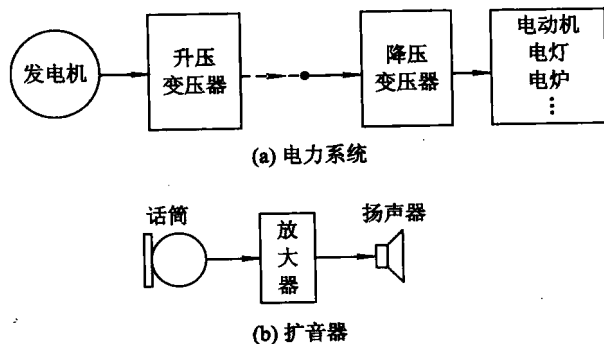


图 1.1-1 电路示意图

不论电能的传输和转换,还是信号的传递和处理,其中电源或信号源的电压或电流均称为激励,它推动电路工作。由激励在电路各部分产生的电压和电流称为响应。所谓电路分析,就是在已知电路的结构和元件参数的条件下,讨论电路的激励与响应之间的关系。

### 1.1.2 电路模型

实际电路都是由一些按需要起不同作用的实际电路元件或器件组成的。发电机、变压器、电动机、电池、晶体管等都是物理实体,在电源频率不高的情况下,不仅具有一定的磁场,而且能释放出热能;在频率较高时,还存在一定的电场。在分析电路时,要把实际电路元件的所有电磁性质都加以考虑,是非常困难的,而且也没有必要。

为了便于对实际电路进行分析和用数学方法描述,将实际电路元件理想化,即在一定条件下突出其主要的电磁性质,忽略次要因素,把它近似地看做理想电路元件或理想电路元件的组合。例如,一个白炽灯除具有消耗电能的性质(电阻性)外,当通有电流时还会产生磁场,即具有电感性。但电感微小,可忽略不计,于是通常认为白炽灯是一电阻元件。

由一些理想电路元件所组成的电路就是实际电路的电路模型,它是对实际电路电磁性质的科学抽象和概括。

理想电路元件(以下简称电路元件)分为两大类:有源元件和无源元件。有源元件分为电压源和电流源,它们反映了电路的能源形式和对电路的作用;无源元件分为电阻元件、电感元件和电容元件,分别反映将电能转换成其他某种形式能量的性能。电路元件分别由相应的符号和参数来表征,如图 1.1-2 所示。

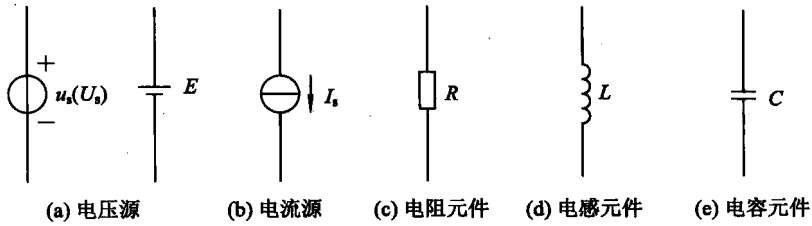


图 1.1-2 理想电路元件的符号和参数

常用的手电筒是最简单的电路，其实际电路元件有干电池、电灯泡、开关和筒体，电路模型如图 1.1-3 所示。电灯泡是电阻元件，其参数为电阻  $R$ ；干电池是电源，由一个电压源  $U_s$  和电阻  $R_s$  的组合表征；筒体是连接干电池和电灯泡的中间环节（包括开关），其电阻忽略不计，认为是一无电阻的理想导体。今后所分析的都是电路模型，简称电路。在电路图中，各种电路元件用图 1.1-2 规定的图形符号表示。

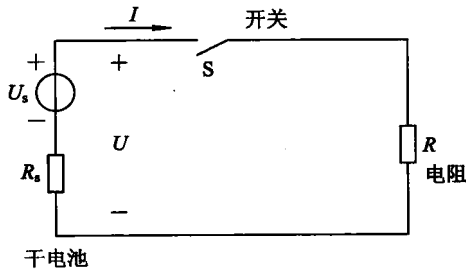


图 1.1-3 手电筒电路模型

## 1.2 电路变量

### 1.2.1 电流

在电路中，一个十分重要的物理现象是电荷的运动，而电荷有规则地移动便形成了电流。我们把单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流强度，简称电流，用符号  $i$  表示，于是

$$i = \frac{dq}{dt} \tag{1.2-1}$$

其中， $q$  表示电荷量， $t$  表示时间。电荷量在国际单位制(SI)中的基本单位为库[仑]，单位符号为 C；时间的基本单位为秒，单位符号为 s；电流的基本单位为安[培]，单位符号为 A。

通常我们规定正电荷移动的方向或负电荷移动的相反方向为电流的方向（实际方向）。电流的方向是客观存在的。电流通过导线或元件的方向只有两种可能，选定其中一个方向作电流的方向，即为电流的“参考方向”。在参考方向下，电流的正、负可反映电流的实际流向。若  $i > 0$ ，表明电流实际方向与参考方向相同；若  $i < 0$ ，表明电流实际方向与参考方

向相反。电流的参考方向可任意指定，不一定就是电流的实际方向，在电路中用箭头表示，也可用双下标表示，如  $i_{AB}$ ，如图 1.2-1 所示。

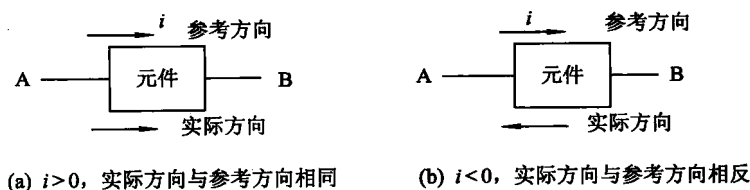


图 1.2-1 电流的参考方向

**【例 1.2-1】** 从某元件 A 端流向 B 端的电荷  $q = 5t \sin(4\pi t) \text{ mC}$ ，求  $t = 0.5 \text{ s}$  时电流  $i_{AB}$  的值。

**【解】**

$$i_{AB} = \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt}[5t \sin(4\pi t)] \text{ mA} = 5 \sin(4\pi t) + 20\pi t \cos(4\pi t) \text{ mA}$$

$t = 0.5 \text{ s}$  时：

$$i_{AB} = 5 \sin(2\pi) + 10\pi \cos(2\pi) \text{ mA} \approx 31.42 \text{ mA}$$

**【例 1.2-2】** 某元件在  $t = 1 \sim 2 \text{ s}$  期间的电流  $i = (3t^2 - t) \text{ A}$ ，求在此期间流过该元件的电荷  $q$ 。

**【解】**

$$q = \int_1^2 (3t^2 - t) dt = \left( t^3 - \frac{t^2}{2} \right) \Big|_1^2 = 5.5 \text{ C}$$

### 1.2.2 电压

电路中电流的存在伴随着能量的转换，电压(电压降的简称)或电位差就是用来描述电路这一特性的物理量。电路中任意两点 A、B 间的电压被定义为：单位正电荷从 A 点移动到 B 点时所失去的能量，用符号  $u$  表示：

$$u = \frac{dE}{dq} \quad (1.2-2)$$

其中， $E$  表示能量，单位为焦[耳]，单位符号为 J； $q$  表示电荷量，单位为库[仑]，单位符号为 C；电压的基本单位为伏[特]，单位符号为 V。当  $u > 0$  时，就认定 A 点为高电位点(正极性点)并标以“+”号，B 点为低电位点(负极性点)并标以“-”号。电压(降)的方向规定为从“+”极性点指向“-”极性点。如同讨论电流的方向一样，此处也引用参考极性或参考方向的概念。

电压和电动势都是标量，但为了便于分析电路，与电流一样，我们也说它们具有方向。电压的方向规定为由高电位(“+”极性)端指向低电位(“-”极性)端，即电位降低的方向。电源电动势的方向规定为在电源内部由低电位(“-”极性)端指向高电位(“+”极性)端，即电位升高的方向。两点间的电压实际方向亦有两种可能，可选任一种方向为电压的参考方向。在参考方向下，电压的正、负可反映其电压的实际方向。若  $u > 0$ ，表明电压的实际方向与参考方向相同；若  $u < 0$ ，表明电压的实际方向与参考方向相反，如图 1.2-2 所示。

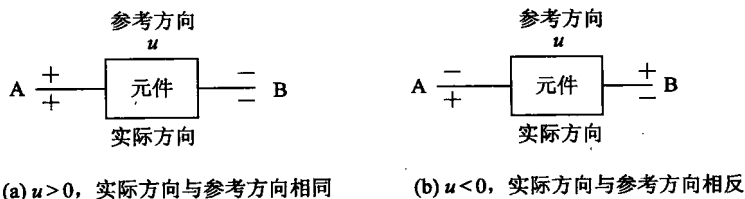


图 1.2-2 电压的参考方向

**【例 1.2-3】** 如图 1.2-3 所示的元件,  $i=2\text{ A}$ , 在  $\Delta t=10\text{ s}$  时间内元件耗能  $\Delta E=2.3\text{ kJ}$ , 求电压  $u$ 。

**【解】** 流过元件的电荷量为

$$\Delta q = i\Delta t = 2\text{ A} \times 10\text{ s} = 20\text{ C}$$

$$u = \frac{\Delta E}{\Delta q} = \frac{2.3 \times 10^3\text{ J}}{20\text{ C}} = 115\text{ V}$$

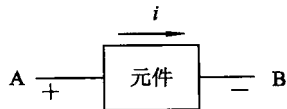


图 1.2-3 例 1.2-3 图

当电压的参考方向指定后, 指定电流从标以电压参考方向的“+”端流入, 并从“-”端流出, 即电流的参考方向与电压的参考方向一致, 也称电流和电压为关联参考方向, 反之, 为非关联参考方向, 如图 1.2-3 所示。

在分析和计算电路时, 一般在电路图中先标出电压或电流的参考方向。若已知实际方向, 则选参考方向与实际方向一致。该方向一旦选定, 在以后的电路分析和计算过程中不能中途更改。

在国际单位制中, 电流的单位是安[培](A)。当 1 s(秒)内通过导体横截面的电荷[量]为 1 C(库[仑])时, 电流为 1 A。计量微小的电流时, 以毫安(mA)或微安( $\mu\text{A}$ )为单位。电流单位的换算关系如下:

$$1\text{ A} = 10^3\text{ mA} = 10^6\ \mu\text{A}$$

在国际单位制中, 电压的单位是伏[特](V)。当电场力把 1 C 的电荷[量]从一点移到另一点所作的功为 1 J(焦[耳])时, 这两点间的电压为 1 V。计量微小的电压时, 以毫伏(mV)或微伏( $\mu\text{V}$ )为单位; 计量高电压时, 则以千伏(kV)为单位。电压单位的换算关系如下:

$$1\text{ V} = 10^3\text{ mV} = 10^6\ \mu\text{V} = 10^{-3}\text{ kV}$$

### 1.2.3 电功率

在设定的参考方向下, 电压和电流可以用函数式表示。譬如, 随时间按正弦规律变化的电流可以表示成

$$i(t) = I_m \sin \frac{2\pi}{T}t \quad (1.2-3)$$

上述电流还可以表示成图 1.2-4 所示的曲线, 称为波形图。

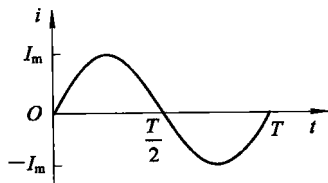


图 1.2-4 波形图

大小和方向不随时间变化的电流和电压称为恒定电流和恒定电压, 亦称为直流电流和直流电压, 用  $I$  和  $U$  表示。

大小和方向随时间变化的电流和电压称为时变电流和时变电压, 任意时刻  $t$  的电流和电压用  $i(t)$  和  $u(t)$  表示, 往往也可简写为  $i$  和  $u$ 。

现在讨论电路中能量转换的速率(即功率)的计算。功率用符号  $P$  表示, 其计算公式为

$$P(t) = \frac{dE(t)}{dt} \quad (1.2-4)$$

式中,  $E(t)$  表示能量或功。

在图 1.2-5 中, 方框泛指元件。当电压、电流为关联参考方向时, 正电荷从电压的“+”极流经元件到“-”极, 电荷失去能量而元件获得能量。因为电压  $u$  表示单位正电荷从“+”极流向“-”极失去能量, 电流  $i$  表示单位时间内流经元件的正电荷量, 所以二者的乘积就代表元件吸收的功率, 即

$$P(t) = u(t)i(t) \quad (1.2-5)$$

在国际单位制中, 功率的单位是瓦(特), 单位符号为 W。

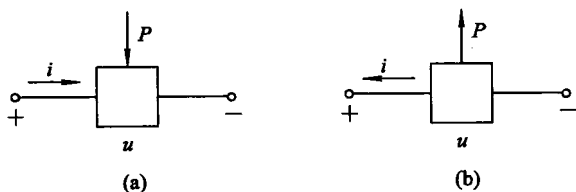


图 1.2-5 功率

在式(1.2-5)中, 当  $P > 0$  时, 元件吸收(或消耗)功率; 当  $P < 0$  时, 元件实际上产生(或提供)功率。图 1.2-5(a)中,  $P$  的箭头指向元件, 表示元件吸收功率。

如果电压、电流的参考方向相反, 如图 1.2-5(b)所示, 意味着正电荷从电压“-”极经过元件流向“+”极, 这时电荷从元件获得能量, 于是, 式(1.2-5)中的  $P$  就代表元件产生的功率。当  $P > 0$  时, 元件产生功率; 当  $P < 0$  时, 元件吸收功率。图 1.2-5(a)中,  $P$  的箭头指向元件, 表示元件产生功率。

可见, 电路中任一元件的功率等于该元件电压、电流的乘积。元件实际上是吸收功率或是产生功率, 可由电压、电流的参考方向是否关联和功率值的正或负来确定。对于图 1.2-5(a)所示的参考方向, 在  $t_0 \sim t$  的时间内, 该元件所吸收的能量为

$$E(t_0, t) = \int_{t_0}^t P(\xi) dt = \int_{t_0}^t u(\xi)i(\xi) dt \quad (1.2-6)$$

以上关于一个元件的功率和能量的讨论, 适用于任何一个电路。

**【例 1.2-4】** (1) 在图 1.2-5(a)中,  $u=5\text{ V}$ , 分别求出电流为  $2\text{ A}$  和  $-1\text{ A}$  时元件的功率; (2) 在图 1.2-5(b)中, 已知  $u=4\text{ V}$ , 元件吸收的功率为  $8\text{ W}$ , 求电流。

**【解】** (1) 图中已设定的电压、电流的参考方向一致, 故

$$i = 2\text{ A 时}, P = ui = 10\text{ W} \quad (\text{吸收})$$

$$i = -1\text{ A 时}, P = ui = -5\text{ W} \quad (\text{产生})$$

(2) 图中已设定的电压、电流的参考方向相反, 元件吸收  $8\text{ W}$  的功率相当产生  $-8\text{ W}$  的功率, 因  $P=ui$ , 即  $-8\text{ W}=4\text{ V} \times i$ , 故  $i=-2\text{ A}$ 。

负号表明电流的实际方向与参考方向相反。

在讨论电流、电压和功率的过程中, 引入参考方向在电路分析中起着重要作用。

### 1.3 电路中的基本元件

电路理论中有一个重要的假设: 若构成电路的器件及电路本身的尺寸远小于电路工作



时电磁波的波长,或者电磁波通过电路的时间可认为是瞬时的,则电磁场理论和实践均证明在任意时刻流入各器件任一端子的电流和任两个端子间的电压都将是单值的量。在这种近似条件下,可用足以反映其电磁性质的一些理想电路元件或它们的组合来模拟实际电路中的器件。这种理想电路元件称为集总元件或集总参数元件。由集总元件构成的电路称为集总电路,或称为具有集总参数的电路。本书只考虑集总电路。

电路元件通过端子与外电路相连接。根据与外电路相连接的端子数目,电路元件可分为二端元件、三端元件、四端元件等;电路元件还可以分为线性元件和非线性元件、时不变元件和时变元件、有源元件和无源元件等。不向外电路提供净能量的元件称为无源元件,否则称为有源元件。

集总电路元件端子间的电压与通过它的电流都有确定的关系,这个关系称为元件的伏安关系(VAR, Volt-Ampere Relationship)。该关系由元件性质所决定,元件不同,其VAR则不同。这种由元件性质给元件中的电压、电流施加的约束称为元件约束。元件约束是分析和计算电路的另一类基本依据。

构成电路的基本电路元件有电阻元件、电容元件、电感元件和电源元件。以下着重讨论电路元件以及它们的VAR。

### 1.3.1 电阻元件

电阻元件是一种集总电路元件,它是由实际电阻器件抽象出来的模型。像绕线电阻、碳膜电阻、照明器具、电阻炉、电烙铁等实际电阻器件,当忽略其电感等作用时,可将它们抽象为只消耗电能的电阻元件。有些电子器件只要其端子间的VAR满足电阻元件的定义,就可以将电阻元件作为它的模型,而不论其内部结构和物理过程如何。

#### 1. 电阻元件的定义

如果一个二端元件,在任意时刻 $t$ ,它的端电压 $u$ 和电流 $i$ 之间为代数关系,即这一关系可由 $u-i$ 平面上的一条曲线所确定,并且与电压或电流的波形无关,则此二端元件称为电阻元件,这条表示元件电压与电流关系的曲线称为VAR曲线。图1.3-1(a)、(b)是两种不同类型的电阻元件的VAR曲线,其 $u$ 、 $i$ 采用一致的参考方向。在图1.3-1(a)中,电阻元件的VAR曲线是通过坐标原点的一条直线,其 $u$ 与 $i$ 成正比,故称该元件为线性电阻元件,它在电路图中的符号如图1.3-2所示。

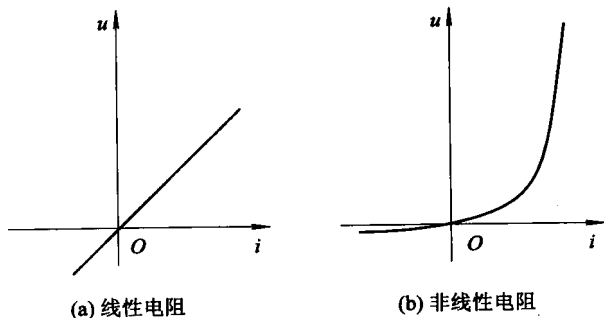


图 1.3-1 电阻元件的 VAR 曲线

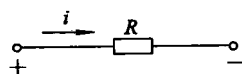


图 1.3-2 线性电阻元件的符号