



普通高等教育“十三五”规划教材

Electronic Information  
& Electrical Information

电子信息科学与电气信息类基础课程

# 电工与电路基础

© 潘孟春 李季 唐莺 陈棣湘 张琦 安寅 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>

电子信息科学与电气信息类基础课程

# 电工与电路基础

潘孟春 李 季 唐 莺 编著  
陈棣湘 张 琦 安 寅

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是作者所在单位长期以来开展电工电子教学改革与实践成果的结晶。

主要内容有:电路的基本概念与两类约束,电路的基本分析方法,动态电路的暂态分析,正弦交流电路的稳态分析,含二端口元件电路的分析,电工测量与安全用电。

本书突出了电路理论严密、系统性强、应用范围广的特点,非常适合高等院校理工科专业学生作为新一代教材。对于电子信息、仪器仪表、自动化等领域的广大科研人员和工程技术人员来说,本书也是一本很好的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

电工与电路基础/潘孟春等编著. —北京:电子工业出版社,2016.6

ISBN 978-7-121-29098-5

I. ①电… II. ①潘… III. ①电工—高等学校—教材②电路理论—高等学校—教材 IV. ①TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 133880 号

策划编辑:陈晓莉

责任编辑:陈晓莉

印 刷:三河市鑫金马印装有限公司

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1 092 1/16 印张:19 字数:506 千字

版 次:2016 年 6 月第 1 版

印 次:2016 年 6 月第 1 次印刷

定 价:42.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系及邮购电话:(010)88254888,(010)88258888。

质量投诉请发邮件至 zllts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:chenxl@phei.com.cn。

# 前 言

电工与电路基础是电专业和许多非电专业的重要基础课程,因为它不仅解决传授知识、培养技能的问题,更为重要的是作为连接数学、物理和许多专业基础课程、专业课程的必备桥梁,它能帮助读者建立起科学的思维。正因如此,工科院校都开设了相关课程。

但是这门课程强大的基础作用并没有得到很好的认识或贯彻,对本课程来自于数学、物理又摆脱数学、物理的独特魅力诠释不够,所以,在学生层面容易产生它太抽象乃至觉得用处不大的认识,导致学习的主动性大打折扣。而且,由于计算机的应用普及,解方程变得非常容易,一些人认为典型的以降方程维数为出发点的电路分析方法有点“故弄玄虚”了,导致高校有些专业在制定人才培养方案时有取缔本课程的观点。为此,我们在“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”系列中再版了《电工与电路基础》。在强调知识对应用的指导以及应用对知识的支撑方面下了些工夫,建立了学用结合的初步体系结构。经过5年的使用,收到了比较好的效果,同时也有了更深的体会,所以有了本新版教材的出台。

本教材是在张玘、潘孟春等编著的《电工与电路基础》教材和邹逢兴、潘孟春等主编的《电工与电路基础》教材的基础上,融合近5年的教学新实践改版的,全书共分6章,即第1章电路的基本概念与两类约束;第2章电路的基本分析方法;第3章动态电路的暂态分析;第4章正弦交流电路的稳态分析;第5章含二端口元件电路的分析;第6章电工测量与安全用电。主要修订内容包括:在导读信息部分强化本章的地位、作用和学习方法的介绍。第1章考虑到知识的关联和系统性删节了逻辑门内容;第2章强化了电路分析方法递进降维的脉络,同时将非线性电路分析作为电路分析方法的特殊应用合并到本章;按照三类典型电路的分类设立了三类电路的分析,即动态电路、正弦稳态电路、含二端口元件电路。其中:将三相电路作为稳态电路分析的应用合并到第4章正弦稳态电路分析;二端口电路章节从增强应用出发将原稿的第6章和第7章进行有机整合,其构成分二端口电路的基本知识、二端口分析方法、互感和变压器三部分。与上一版教材相比,新版教材保持了基本理论与典型应用密切结合的特点,进一步强化了知识的系统性和内容的可读性,并将科学思维的培养贯穿于全书中;此外还对原教材中存在的个别错误进行了改正。为了方便学生使用,还增加了部分习题和思考题的参考答案。

本教材主要特点如下:

1. 拓展了电路基础元件的范畴,系统设计了课程内容。将电子技术中半导体器件内容前移到本教材,拓展传统电路教材中元器件的范畴。尽管耗费了一定笔墨来讲述这些器件的结构和原理,但关注的落脚点仍然是这些器件的电路模型,既遵循电路的传统体系,又为电路理论的实际应用奠定了基础。

2. 强调学用结合。贯彻“元件为路用,路为系统用”的课程基本体系,将知识点和相应的应用案例贯穿全书,使所学之所用得到及时的确认,强化了电路理论实践性强的特点。

3. 强调系统性。一方面在内容设计上按照“基础知识”“工具知识”“应用知识”“技能知

识”4个模块来布局;另一方面彰显本课程数学思维的本质和知识的可重构性,唤醒读者对数学、物理知识的理解和应用,强化科学思维能力的建立,提升读者对知识的驾驭力。

4. 强化了教材的可读性。在每章设置了包括“内容提要”“本章重点难点”等内容的导读信息,读者一看便知“为什么要学?如何学?重点是什么?难点在哪?”,为读者学习提供有利指导,以提高学习效率。

本书是我们电工电子系列课程教学团队多年实践总结的成果,潘孟春、陈棣湘完成了统稿工作。每一章都融入了很多老师的辛勤劳动,包括国家教学名师邹逢兴教授,还有张玘教授、翁飞兵、耿云玲、胡助理、孟祥贵等老师们,在此向他们的付出表示深深的感谢!

由于作者水平有限、也可能实践、总结归纳不够,尚不能完全达到写此书的初衷,甚至还有不妥之处,敬请读者不吝赐教,以便来日更好地完善。

作者

2016年5月

# 目 录

第 1 章 电路基本概念与两类约束	1
1.1 电路概述	2
1.1.1 电路的组成与功能	2
1.1.2 电路模型与集总假设	2
1.1.3 电路的分类	3
1.2 电路的基本物理量	4
1.2.1 电流	4
1.2.2 电压	6
1.2.3 电功率	8
1.2.4 器件的额定值	9
1.3 无源电路元件	10
1.3.1 电阻元件	10
1.3.2 电容元件	11
1.3.3 电感元件	14
1.4 有源电路元件	16
1.4.1 电压源和电流源	16
1.4.2 受控源	20
1.5 基本半导体器件	21
1.5.1 半导体基础与 PN 结	21
1.5.2 半导体二极管	23
1.5.3 半导体三极管	25
1.5.4 场效应管	29
1.6 运算放大器	32
1.6.1 运算放大器的符号与电压传输特性	32
1.6.2 理想运算放大器	33
1.7 电路分析基本定律	34
1.7.1 常用术语	34
1.7.2 基尔霍夫电流定律	34
1.7.3 基尔霍夫电压定律	36
1.8 实用电路及分析实例	37
1.8.1 简易照明电路	38
1.8.2 基本放大电路	38
思考题与习题 1	39
第 2 章 电路的基本分析方法	43
2.1 电路的等效变换和对偶原理	44

2.1.1	二端网络的概念	44
2.1.2	电路等效的概念	44
2.1.3	电阻的等效变换	45
2.1.4	独立源的等效变换	50
2.1.5	对偶原理	55
2.2	电路的独立方程求解法(2b法)	56
2.2.1	KCL独立方程	56
2.2.2	KVL独立方程	56
2.2.3	支路伏安约束独立方程	57
2.3	支路电流法	58
2.3.1	支路电流法基本思想	58
2.3.2	支路电流法分析步骤	58
2.4	网孔电流法	59
2.4.1	网孔电流法的基本思想	59
2.4.2	网孔电流法方程的一般形式	60
2.4.3	网孔电流法几种特殊情况的处理方法	61
2.5	节点电压法	63
2.5.1	节点电压法基本思想	63
2.5.2	节点电压法方程的一般形式	64
2.5.3	节点电压法几种特殊情况的处理方法	65
2.6	齐次定理与叠加定理	66
2.6.1	齐次定理	66
2.6.2	叠加定理	67
2.7	置换定理	69
2.8	戴维南定理与诺顿定理	70
2.8.1	戴维南定理	70
2.8.2	诺顿定理	74
2.9	特勒根定理与互易定理	75
2.9.1	特勒根定理	75
2.9.2	互易定理	77
2.10	最大功率传输定理	79
2.11	非线性电阻电路的分析方法	80
2.11.1	非线性电阻元件及电路特点	81
2.11.2	非线性电阻电路的解析求解法	83
2.11.3	非线性电阻电路的图解法	83
2.11.4	非线性电阻电路的分段线性法	85
2.11.5	非线性电阻电路的小信号分析方法	86
2.12	电路应用实例	88
2.12.1	万用表分压分流电路	88
2.12.2	有害气体报警电路	89

2.12.3	二极管限幅、整流、稳压电路	90
2.12.4	同相程控增益放大电路	91
	思考题与习题 2	92
<b>第 3 章</b>	<b>动态电路的暂态分析</b>	<b>97</b>
3.1	动态电路及其方程	97
3.1.1	动态电路概述	97
3.1.2	动态电路方程	98
3.2	换路定则与初始条件确定	99
3.2.1	换路定则	99
3.2.2	基于换路定则的电路初始值计算	99
3.3	一阶电路的零输入响应	102
3.3.1	RC 电路的零输入响应	102
3.3.2	RL 电路的零输入响应	106
3.4	电路的零状态响应	107
3.4.1	RC 电路的零状态响应	107
3.4.2	RL 电路的零状态响应	110
3.5	一阶电路的全响应	111
3.5.1	RC 电路的全响应	111
3.5.2	RL 电路的全响应	113
3.6	一阶电路响应的三要素法	113
3.6.1	一阶电路响应的规律	113
3.6.2	三要素法	113
3.7	阶跃激励与阶跃响应	117
3.7.1	阶跃激励	117
3.7.2	阶跃响应	119
3.8	二阶电路的暂态响应	120
3.8.1	二阶暂态电路	120
3.8.2	二阶零输入响应的求解	120
3.8.3	二阶电路的零状态响应和全响应	127
3.9	实用动态电路分析举例	129
3.9.1	微分电路与积分电路分析	129
3.9.2	闪光灯电路分析	131
3.9.3	汽车点火电路分析	131
	思考题与习题 3	133
<b>第 4 章</b>	<b>正弦交流电路的稳态分析</b>	<b>137</b>
4.1	正弦交流电概述	138
4.1.1	正弦交流电及其表示方式	138
4.1.2	正弦量的三要素	138
4.1.3	正弦量的相位差	139
4.1.4	正弦量的有效值	141



4.1.5	正弦量的向量表示	142
4.2	正弦稳态电路的向量形式	144
4.2.1	R、L、C 元件伏安关系的向量形式	144
4.2.2	基尔霍夫定律的向量形式	149
4.3	阻抗与导纳	151
4.3.1	阻抗	151
4.3.2	导纳	155
4.3.3	阻抗与导纳的相互转换	157
4.4	正弦稳态电路的向量法分析	158
4.4.1	RLC 串联正弦交流电路的向量分析法	158
4.4.2	RLC 并联正弦交流电路的向量分析法	160
4.4.3	复杂正弦交流电路的向量分析法	161
4.5	正弦稳态电路的功率	163
4.5.1	瞬时功率	164
4.5.2	有功功率	166
4.5.3	无功功率	167
4.5.4	视在功率	168
4.5.5	复功率	168
4.5.6	功率因数的提高	169
4.5.7	最大功率传输定理	173
4.6	正弦交流电路的频率特性及应用	175
4.6.1	分析频率特性的工具——传递函数	175
4.6.2	滤波电路	175
4.6.3	谐振电路	179
4.7	三相电源与三相负载	183
4.7.1	对称三相电源及其特点	183
4.7.2	对称三相负载及其特点	185
4.7.3	三相电源的连接	185
4.7.4	三相负载的连接	187
4.8	三相电路的分析	187
4.8.1	Y/Y 电路的分析	187
4.8.2	$Y_0/Y_0$ 电路的分析	190
4.8.3	负载为三角形连接的三相电路分析	191
4.9	三相电路的功率	193
4.9.1	对称负载三相功率的计算	193
4.9.2	不对称负载三相功率的计算	194
4.9.3	三相功率的测量	195
4.10	非正弦周期性信号电路	196
4.10.1	非正弦周期性信号的傅里叶级数分解	196
4.10.2	非正弦周期性信号的基本参量	198

4.10.3	非正弦周期性信号电路的稳态分析	200
4.11	正弦交流电路实例	202
4.11.1	RC 低频信号发生器电路	202
4.11.2	移相器电路	203
4.11.3	收音机调谐电路	204
4.11.4	电视机声像信号分离电路	205
	思考题与习题 4	206
<b>第 5 章</b>	<b>含二端口元件电路的分析</b>	<b>211</b>
5.1	二端口元件概述	211
5.2	二端口元件的特性方程	212
5.2.1	Y 方程与 Y 参数	212
5.2.2	Z 方程与 Z 参数	214
5.2.3	H 方程与 H 参数	216
5.2.4	T 方程与 T 参数	218
5.2.5	各参数间的关系	219
5.3	含二端口元件电路的分析方法	221
5.3.1	二端口元件的等效	222
5.3.2	二端口元件的互联	223
5.3.3	具有端接的二端口元件的分析	227
5.4	互感元件及其电路分析	231
5.4.1	互感元件的基本特性	231
5.4.2	互感线圈的连接	234
5.4.3	互感元件电路分析	238
5.5	变压器电路分析	240
5.5.1	变压器	240
5.5.2	变压器电路分析	245
5.6	二端口元件应用实例	247
5.6.1	三极管工作在小信号条件下的 H 参数等效电路	247
5.6.2	三极管工作在高频小信号条件下的 Y 参数等效电路	248
5.6.3	电功率表与阻抗参数三表法测量电路	249
	思考题与习题 5	250
<b>第 6 章</b>	<b>电工测量与安全用电</b>	<b>255</b>
6.1	电工测量概述	256
6.1.1	电工测量的要素	256
6.1.2	常用电工测量方式与测量方法	257
6.1.3	测量误差与数据处理	258
6.2	电工测量仪表	261
6.2.1	电工仪表的分类	262
6.2.2	电工仪表的误差与准确度	264
6.2.3	电工仪表的选用原则	266

6.2.4 电工仪表的使用注意事项 .....	267
6.3 常用电量的测量 .....	267
6.3.1 电压的测量 .....	267
6.3.2 电流的测量 .....	268
6.3.3 功率的测量 .....	269
6.3.4 电能的测量 .....	270
6.3.5 功率因数的测量 .....	272
6.3.6 电阻、电容、电感的测量 .....	274
6.4 安全用电 .....	279
6.4.1 电流对人体的影响 .....	279
6.4.2 人体电阻及安全电压 .....	280
6.4.3 人体触电方式 .....	282
6.4.4 接地与接零 .....	283
6.4.5 静电防护及电气防雷防火防爆 .....	287
思考题与习题 6 .....	289
部分思考题与习题答案 .....	292

# 第1章 电路基本概念与两类约束

## 本章导读信息

电路的基本概念与两类约束是本课程的基础,回答的是研究对象——电路模型、电路组成要素——元件、电路遵循规律(拓扑约束)——基尔霍夫电流和基尔霍夫电压定律、元件特性(元件约束)——各元件上的电流电压之间的关系等是什么的问题。本章内容在高中物理涉及过,但在大学这些内容是从打好研究基础出发来设置的,研究对象将是复杂的电路,其一电路中的电压电流很难一眼望出,为此在本章首先要建立参考方向概念;其二元件类型多了,有无源和有源之分,有的模型还很抽象如受控源等。所以从本章的学习起我们要摆脱高中物理的思维,而要建立大学电路分析的思维,那就是一切以两大约束为基础,同时基于参考方向建立起二者的关联——方程或方程组,最终求解方程完成电路的分析任务。

### 1. 内容提要

本章在引入电路模型概念的基础上,先介绍电路中的电压、电流和功率等基本物理量;接下来介绍基本无源电路元件和基本有源电路元件的伏安特性,基本半导体器件的结构、工作原理和外部特性曲线,运算放大器的符号、电压传输特性曲线及理想运算放大器的特点;基本逻辑门的符号及对应的逻辑函数表达式和逻辑关系,最后阐述基尔霍夫定律。

本章主要名词与概念:电路,信号源,负载,中间环节,电路的组成与功能,电路模型,集总元件,集总假设条件,静态电路与动态电路,线性电路和非线性电路,时变电路和非时变电路,集总参数电路与分布参数电路,模拟电路和数字电路,模拟信号,数字信号,电路的基本变量,电流,电压,电流、电压的参考方向,关联方向,电功与电功率,消耗功率,吸收功率,无源元件和有源元件,伏安特性,线性电阻,非线性电阻,电容元件的动态、记忆和储能特性,电感元件的动态、记忆和储能特性,理想电压源及其特性,理想电流源及其特性,受控源、控制量和控制系数,本征半导体,共价键,空穴,载流子,掺杂半导体,N型半导体,P型半导体,PN结,空间电荷区,耗尽层,阻挡层,单向导电性,正向偏置,导通状态;反向偏置,截止状态,二极管,死区电压,反向击穿,反向击穿电压,最大正向电流 $I_F$ ,最大反向工作电压 $U_R$ ,反向漏电流 $I_R$ ,最高工作频率 $f_M$ ,三极管,基极,发射极,集电极,发射结,集电结,放大状态,截止状态,饱和状态,场效应管,源极,漏极,栅极,集成运算放大器,开环,同相输入端,反相输入端,理想运算放大器,虚短,虚断,节点,回路,网孔,基尔霍夫电流定律(KCL),基尔霍夫电压定律(KVL),两类约束。

### 2. 重点难点

#### 【本章重点】

- (1) 参考方向;
- (2) 三种基本电路元件(电阻、电容、电感)的伏安关系;
- (3) 三种有源元件(电压源、电流源和受控源)的伏安关系;
- (4) 基尔霍夫定律及其应用。

#### 【本章难点】

- (1) 电压源、电流源、受控源等电路基本元件的特性及其在电路中的作用;
- (2) 基尔霍夫定律及其应用。

## 1.1 电路概述

电路是电流的通路。它是由一些基本物理元件相互连接而成。实际电路都是由电阻器、电容器、线圈、变压器、晶体管、场效应管和电源等部件组成。而实际设计制作某种部件时,利用的是它的主要物理特性。比如一个实际电阻器在对电流呈现阻力的同时会产生一个磁场,即也具有电感的性质(通电导线周围有磁场),为了便于分析问题,就必须在一定条件下对实际部件进行理想化,忽略它的次要性质,用一个足以表征其主要性质的模型来代替。本节先讨论电路的基本组成、电路模型与集总假设,而后讨论电路的分类。

### 1.1.1 电路的组成与功能

#### 1. 电路的基本组成

人们在生产和生活中使用的电器设备,如电动机、电视机、计算机,信息化武器装备的通信设备、火控系统等都是由不同功能的实际电路组成。实际电路的种类繁多,用途也各异,但都可以看成是电源(包括信号源)、负载和中间环节三个基本部分组成。其中电源的作用是为电路提供电能;负载则将电能转化为其他形式的能量加以利用,例如,电炉将电能转化为热能,扬声器将带有声音信息电信号转化为声音等;中间环节作为电源和负载的连接体,其作用是传输、分配、控制电能。图 1.1 所示的是一个简单照明电路,干电池是电源,灯泡即负载,导线和开关则是中间环节,通过开关的开或关控制电流的通或断实现照明。

#### 2. 电路的基本功能

电路的功能可概括为两大类,一类电路用于实现电能的传输和转换,如图 1.1 中,电池通过导线将电能传递给灯泡,灯泡将电能转化为光能;另一类电路用于实现信号的传递和处理,如图 1.2 所示是一个扩音机的原理示意图,话筒将声音的振动信号转换为电信号(电压或电流),该信号经过放大电路放大后传递给扬声器,再由扬声器还原为声音。

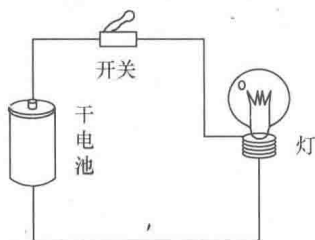


图 1.1 简单的照明电路

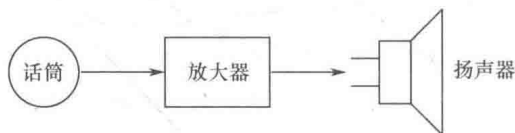


图 1.2 扩音机原理示意图

### 1.1.2 电路模型与集总假设

#### 1. 电路模型

电路是由一些元件连接而成的总体。这些元件通常包括电阻器、电容器、线圈、变压器、电源等器件。这些元件都具有特定的电气特性,例如电阻器表现的是它对电流的阻碍作用,它将电能转化为热能。但实际上它不是一个纯粹的电热转换体,根据电磁感应定律,电流流过电阻器时还会有电能到磁能的转换,即部分电能转换为磁能存储下来,但这部分能量是次要的;为了用数学的方法从理论上判断电路的主要性能,在一定条件下对实际器件忽略其次要性质,按其性质用一个表征主要性能模型来表示,即将实际器件理想化,从而得到一系列理想化

元件,例如,将电阻器视作理想电阻元件,只消耗电能,又简称为电阻元件。

类似地将电容器、线圈、电源相应视作理想电容元件(只存储电场能)、理想电感元件(只存储磁场能)、理想电压源或理想电流源。这种由理想元件构成的电路称作为电路模型,它是本课程研究的对象。

## 2. 集总元件与集总假设

实际电路在什么情况下可以转换成电路模型呢?当实际电路几何尺寸远小于最高工作频率所对应的波长时,即信号从电路的一端传输到另一端所需的时间远小于信号的周期,可以认为传送到电路各处的电磁能量是同时到达的,这时整个电路可以看成电磁空间的一个点,由此认为交织在器件内部的电磁现象可以分开考虑,即电路中电场与磁场的相互作用可以不用考虑。这又称之为集总假设。我国的供电频率是 50Hz,对应的波长是 6000km,对以此为工作频率的日常用电设备来说,其尺寸远小于这一波长,满足集总假设。集总假设是本书的基本假设。

当电路满足集总假设时,电路中的电场和磁场可以分开考虑,那么每一种元件只反映一种基本电磁现象,且可以用数学方法进行定义,如电阻元件只涉及消耗电能,电容元件只涉及与电场相关的现象,电感元件只涉及与磁场有关现象。我们将电感元件、电容元件、电阻等元件等称为集总参数元件,简称为集总元件。

上面提到的电感、电容、电阻等集总元件有一个共同的特点,都具有两个端钮,所以人们称它们为二端元件,又叫单口元件。除二端元件外,后面章节还会介绍多端元件,如变压器、受控源、晶体三极管等。

## 3. 集总电路与电路图

由集总元件构成的电路模型称为集总电路模型,简称集总电路。集总电路的前提是集总假设。为了表述集总电路,通常引入一套符号,图 1.3 示意出了电感、电阻、电容、电源对应的符号,用这些符号表示的拓扑结构称为集总电路图,简称为电路图。图 1.4 是对应图 1.1 简单照明电路的电路模型,即对应的电路图。

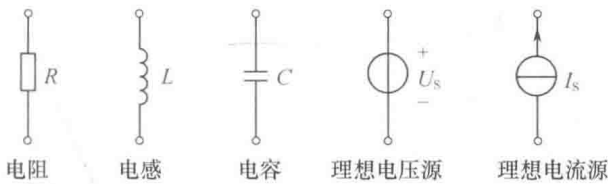


图 1.3 元件符号

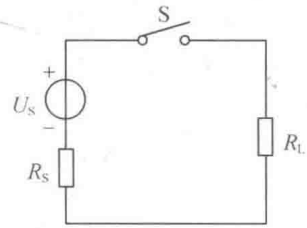


图 1.4 电路图

### 1.1.3 电路的分类

电路的种类繁多,按其处理的信号不同可分为模拟电路和数字电路两大类。模拟电路中的工作信号是模拟信号。所谓模拟信号是指在时间上和数值上均是连续的,且在一定动态范围内可以任意取值。而数字电路处理的是数字信号。数字信号是指在时间上和数值上都是离散信号。

按电路的尺寸可分为集总参数电路与分布参数电路,如 30km 长的电力输电线,由于其长度远小于工作频率为 50Hz 对应的波长 6000km,可以看作是集总参数电路;而对于电视天线及其传输线来说,工作频率一般为  $10^8$  Hz 数量级,如工作频率约为 200MHz 的某一电视频道,

其相应工作波长为 1.5m, 此时 0.2m 长的传输线就是分布参数电路。

电路除了按尺寸可分为集总参数电路与分布参数电路外, 按电路中输入与输出关系还可分为线性电路和非线性电路。若描述电路特性的所有方程都是线性代数或微积分方程, 则称这类电路是线性电路; 否则为非线性电路。线性电路的输入输出关系遵循齐次性和可加性, 非线性电路则反之。非线性电路在工程中应用更为普遍, 线性电路常常仅是非线性电路的近似模型。但线性电路理论是分析非线性电路的基础。

按电路中元件参数是否随时间变化, 电路又可分为时变电路和非时变电路, 非时变电路中所有元件参数不随时间变化, 描述它的电路方程是常系数的代数或微积分方程; 时变电路中含有参数随时间变化的元件, 由变系数方程描述的。本书讨论的是集总电路中的线性时不变电路。

## 1.2 电路的基本物理量

本课程的目的是研究电路的基本规律, 分析电路的电性能。电路的规律及性能的分析通常引入一些典型变量的变化来表征, 这些变量就是电路的基本物理量, 包括电流、电压、功率等。

### 1.2.1 电流

#### 1. 电流的定义

在电场力作用下, 电荷的定向移动形成电流。为了衡量电流的大小, 定义单位时间内通过导体横截面积的电量为电流强度, 简称为电流, 用  $i$  表示, 即

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

电流不仅是电路中一种特定物理现象, 而且是描述电路的一个基本物理量。

如果单位时间内通过导体横截面的电荷量为常数, 即电流的大小和方向都不随时间变化, 则这种电流叫做恒定电流, 简称直流, 用  $I$  表示, 即

$$I = \frac{Q}{T} \quad (1.2)$$

式中  $Q$  为时间  $T$  内通过导体横截面积的电量。

如果单位时间内通过导体横截面的电荷量不为常量, 则称为时变电流。若时变电流的大小和方向都随时间作周期性变化, 则称这种电流为交变电流, 简称交流。第 4 章将要介绍的正弦交流电就是典型的交流电。

在国际单位制中, 时间的单位为秒(s), 电量的单位为库仑(Q), 电流的单位为安培(A), 简称安。电流的辅助单位有毫安(mA)、微安( $\mu$ A)等。

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

#### 2. 电流的参考方向

电流是有方向的, 习惯上把正电荷运动的方向作为电流方向, 如图 1.5 所示。

在简单电路中, 电流的实际方向是可以预先判断确定的, 如图 1.6 所示电路中, 流过电阻的电流是从上往下, 计算不会遇到困难。但在如图 1.7 所示电路中, 由于电路较复杂, 若只凭观察电路, 是不容易知道流过  $2\Omega$  电阻的电流方向的。为解决这个问题, 通常引入参考方向的概念。

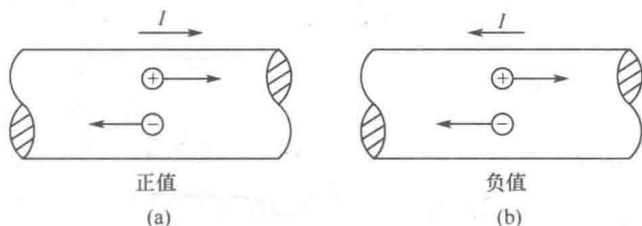


图 1.5 电流的参考方向

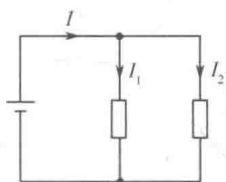


图 1.6 简单电路

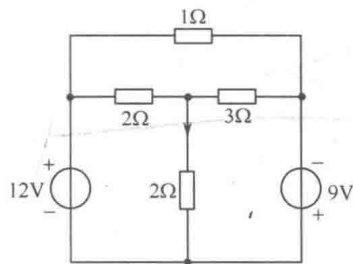


图 1.7 复杂电路

图 1.8 是从一个复杂电路中抽出的一个任意元件。电流的实际方向是从 a 到 b 还是从 b 到 a, 无法预先判定。为了便于研究, 可在电路分析时事先任意假定一个电流流向, 这个假定方向称为电流的参考方向或电流的正方向。电流的参考方向在电路中常用箭头表示。图 1.8 中所示的电流  $i$  的参考方向是由 a 端流向 b 端。

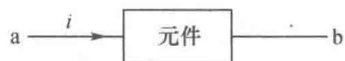


图 1.8 电流的参考方向

假定了电流的参考方向后, 就可以此方向为依据对电路进行求解。若解得电流  $i$  值为正, 说明电流的实际方向与参考方向一致; 反之, 则说明电流的实际方向与参考方向相反。如果在电路中没有标明参考方向, 那么计算出的电流正、负没有任何意义。因此进行电路分析之前必须标明电流的参考方向。

**【例 1.1】** 在图 1.8 中: (1) 已知  $i = -2\text{A}$ , 试指出电流的实际方向; (2) 已知  $i = 2\sin(100\pi t + \frac{3}{2}\pi)\text{A}$ , 试指出  $t = 1\text{s}$  时  $i$  的实际方向。

**解** (1)  $i$  为负值, 表示电流的实际方向与图中所标的参考方向相反, 故电流的实际方向是由 b 指向 a。

(2) 当  $t = 1\text{s}$  时, 可求出该瞬时电流的值为:

$$i = 2\sin\left(100\pi + \frac{3}{2}\pi\right)\text{A} = -2\text{A}$$

故电流的实际方向亦与参考方向相反, 即由 b 指向 a。

### 3. 电流的测量

电流可直接测量也可通过耦合方式间接测量。对于直接测量通常采用电流表或带测量电流功能的多用表或采集系统, 测量时测量探头必须串联在电路中, 如图 1.9(a) 所示。为了使电路的工作不因接入电流表而受影响, 电流表的内阻必须很小, 因此, 如果不慎将电流表并联在电路的两端, 则电流表将烧毁, 在使用时务须特别注意。

采用电磁式电流表测量直流电流时, 因其测量机构(即表头)所允许通过的电流很小, 不能直接测量较大电流, 为了扩大它的量程, 应该在测量机构上并联一个称为分流器的低值电阻



$R_A$ ,如图 1.9(b)所示。

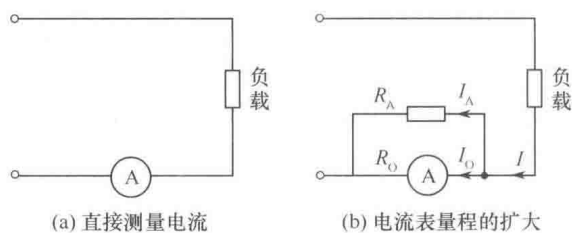


图 1.9 电流的测量

这样,通过电磁式电流表的测量机构的电流  $I_0$  只是被测电流  $I$  的一部分,但两者有如下关系

$$I_0 = \frac{R_A}{R_0 + R_A} I$$

即

$$R_A = \frac{R_0}{\frac{I}{I_0} - 1}$$

式中  $R_0$  是测量机构的电阻。由上式可知,需要扩大的量程越大,则分流器的电阻应越小。多量程电流表具有几个标有不同量程的接头,这些接头可分别与相应阻值的分流器并联。分流器一般放在仪表的内部,成为仪表的一部分,但较大电流的分流器常放在仪表的外部。

## 1.2.2 电压

### 1. 电压的定义

由物理学可知,电位即电场中某点的电势,它在数值上等于电场力把单位正电荷从某点移动至无穷远处所做的功。电场无穷远处的电位被认定为零,作为衡量电场中各点电位的参考点。工程上常选与大地相连的部件(如机壳等)作为参考点,没有与大地相连的部件的电路,常选许多元件的公共节点作参考点,并称为“地”。在电路分析中,可选电路中一点作为各节点的参考点。参考点用接地符号“⊥”标出。

电压也是描述电场力移动电荷做功的物理量,它在数值上等于电场力把单位正电荷从一点移到另一点所做的功。

根据电压和电位的定义可知,a、b 两点间的电压等于 a、b 两点间的电位之差,即

$$U_{ab} = U_a - U_b$$

若以 b 为参考点,a、b 两点间的电压等于 a 点的电位。

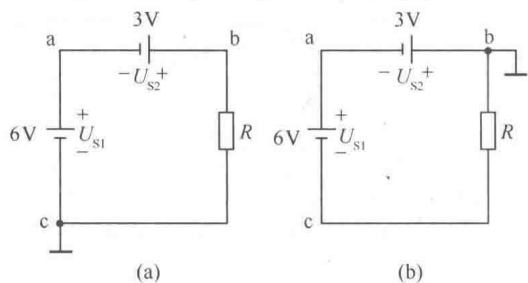


图 1.10 例 1.2 电路图

**【例 1.2】**在图 1.10(a)所示电路中,已知  $U_{S1} = 6V, U_{S2} = 3V$ ,求  $U_{bc}$ 。

解

$$U_c = 0V, U_a = 6V$$

$$U_b = 6 + 3 = 9V$$

$$U_{bc} = U_b - U_c = 9V$$

若以 b 为参考点,如图 1.10(b)所示,则各节点电位分别为: