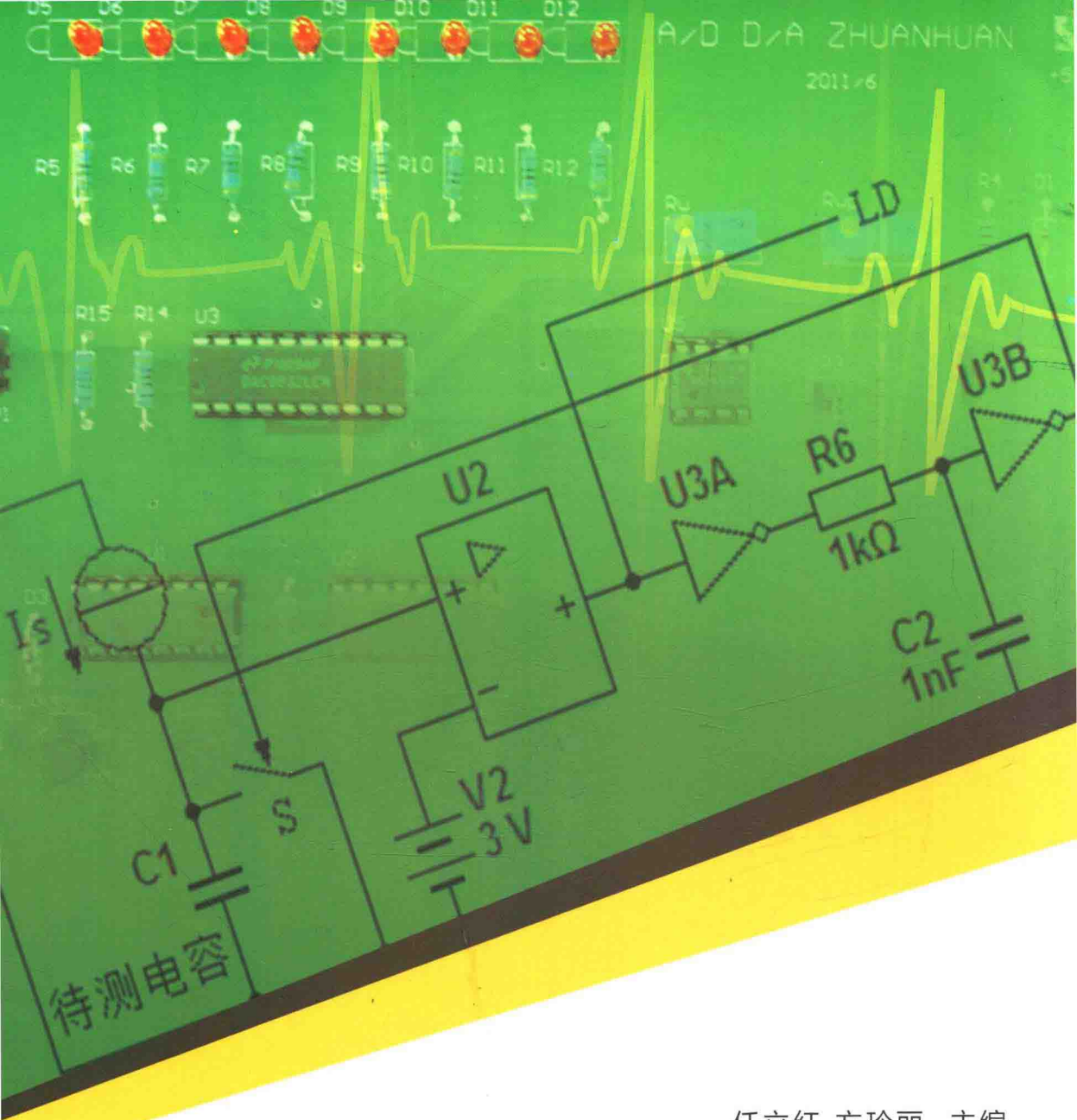




任立红 方玲丽 主编

电工与电子技术

(第二版)

东华大学出版社



电工与电子技术

(第二版)

主 编	任立红	方玲丽		
参 编	尚建华	李晓丽	刘 浩	
	徐海芹	陈根龙	甘建华	

東華大學 出版社·上海

内容简介

本书是编者总结多年课程教学经验和“电工电子技术”卓越工程师课程建设经验,根据教育部“电工技术”和“电子技术”课程教学基本要求,在原有《电路与电子技术》教材的基础上总结扩充、修订提高而编写完成的,内容包括电工技术、模拟电子技术、数字电子技术等部分。全书共分十章。第1~4章为电工技术部分,主要介绍直流电路、正弦交流电路、电动机及其控制系统以及电路暂态分析的原理和方法。第5~7章为模拟电子技术部分,着重讲解直流稳压电源、基本单管放大电路和集成运算放大器。第8~10章为数字电子技术部分,介绍组合逻辑电路、时序逻辑电路以及数模和模数转换的原理和应用。

本书凝聚了编者在东华大学电工电子技术教学多年的丰富经验,寓教于学,文字叙述详细,概念阐述清楚,力求做到内容全面、深度适中、注重基础、兼顾应用,力图在精炼经典知识体系的同时,引入学科发展的新成果和教学实践的新内容,满足电工电子技术教学的要求。

本书可作为高等工科院校非电类专业本科生“电工电子”类课程和相关卓越工程师建设的教材和参考书,也适用于工程技术人员自学参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术/任立红,方玲丽主编. —2版. —上海:东华大学出版社,2016.8
ISBN 978-7-5669-1092-9

I. ①电… II. ①任…②方… III. ①电工技术—高等学校—教材 ②电子技术—高等学校—教材 IV. ①TM ②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 153732 号

责任编辑 曹晓虹

封面设计 姚大斌

电工与电子技术(第二版)

任立红 方玲丽 主编

出版发行 东华大学出版社(上海市延安西路 1882 号 邮政编码:200051)

联系电话 编辑部 021-62379902

营销中心 021-62193056 62373056

出版社网址 <http://www.dhupress.net>

天猫旗舰店 <http://dhdx.tmall.com>

印刷 江苏省南通印刷总厂有限公司

开本 787mm×1092mm 1/16

印张 22.75

字数 795 千

版次 2016 年 8 月第 2 版

印次 2016 年 8 月第 1 次

ISBN 978-7-5669-1092-9/TM·003 定价 39.90 元

序 言

电工与电子技术在现代工程和科学发展中起着基础性的作用,为了进一步推广和普及高等院校非电类专业学生在电工和电子方面的相关知识和技能,适应国内外电工电子新方法、新技术的发展水平,编者总结多年课程教学经验和“电工电子技术”卓越工程师课程建设经验,根据教育部“电工技术”和“电子技术”课程教学基本要求,编写完成了《电工与电子技术》这本教材。

本教材在原有《电路与电子技术》教材的基础上总结扩充,修订提高,全书共分十章:第1~4章为电工技术部分,主要介绍直流电路、正弦交流电路、三相电路以及电路暂态分析的原理和分析方法。第5~10章为电子技术部分,着重讲解直流稳压电源、基本单管放大电路、集成运算放大器、组合逻辑电路、时序逻辑电路以及数模和模数转换的原理和应用。

本教材寓教于学,文字叙述详细,概念阐述清楚,力图在精炼经典知识体系的同时,引入学科发展的新成果和教学实践的新内容,在知识内容的编写上也着力符合学生的认知规律和认知习惯:

1. 在每章讲解具体内容之前,首先简明扼要地整理和总结相关知识点,方便学生从整体上把握本章的主要内容和重点原理。

2. 结合引入的反映各章知识点的典型案例进行仿真分析,拓宽学生知识面,促使学生重视实验教学,使电工电子知识能够从书本走入学生的认知体系和生活实践,培养学生的学习兴趣和自主学习能力。

3. 各章的习题部分在原教材的基础上增加了大量填空题和选择题,目的在于巩固学生对基本知识的理解和掌握,部分章节增加了综合题,以引导学生在原理认知的基础上进行探究式的学习和思考,并兼顾基础性和实践性。

本教材力求做到内容全面、深度适中、注重基础、兼顾应用,可作为高等工科院校非电类专业本科生“电工电子”类课程和相关卓越工程师建设的教材和参考书,也适用于工程技术人员的自学参考。

本教材由东华大学电子科学与技术系、电工电子中心组织编写,全书由任立红、方玲丽负责组织、统校和定稿并担任主编。参加编写工作及提供素材的还有甘剑华、刘浩、李晓丽、尚建华、徐海芹、吴敏等诸位老师,本书的编写同时得到信息学院和电工电子中心各位老师的支持和帮助,在此表示衷心感谢!

本教材在编写过程中参考了许多专家学者的著作和研究成果,特此说明并表示衷心感

谢! 由于电工技术、电子技术领域内容广泛,新技术、新方法、新器件不断涌现,限于编者的阅历及水平,在书中难以全面反映,内容难免存在不足和疏漏之处,恳请广大读者特别是使用本书的师生给予批评指正,以便今后修改提高。

编者

2013年4月

再版说明

本教材自 2013 年第一次出版使用已历经多年,本次修订以原教材为蓝本,根据使用原教材的部分师生的反馈意见,编者对教材的部分内容进行勘误及修订增补。

本次修订完成了以下几方面的工作:勘误;根据需要增减有关习题;为了适应非电类不同专业工科生对电工电子技术知识的需求,在原有章节的基础上,加入了第三章“电动机及其控制系统”,使得《电工电子技术》一书更具系统性,也便于在非工科专业学生中实施分模块教学。

第三章“电动机及其控制系统”由方玲丽、任立红老师编写。

整个修订方案由任立红、方玲丽确定。

参与此次再版修订工作的有任立红、方玲丽、尚建华、徐海芹、陈根龙、李晓丽。本书的再版同时得到信息科学与技术学院和电气电子工程系各位老师的支持和帮助,在此表示衷心感谢。由于作者水平有限,书中错误与不足之处在所难免,殷切希望使用本教材的师生和其他读者给与批评指正,以便今后进一步修改提高。在此表示感谢。

编 者

2016 年 5 月

目 录

第1章 直流电路	1
1.1 电路	2
1.1.1 电路的作用及组成	2
1.1.2 电路元件与电路模型	3
1.2 简单电路及基本物理量	3
1.2.1 简单电路和复杂电路	3
1.2.2 电路中的基本物理量及其参考方向	4
1.3 电气设备额定值和电路的工作状态	10
1.3.1 电气设备的额定值	10
1.3.2 电路的工作状态	10
1.4 实际电源及其等效变换	12
1.4.1 实际电压源模型	12
1.4.2 实际电流源模型	13
1.4.3 电压源和电流源的等效变换	13
1.5 基尔霍夫定律	18
1.5.1 基尔霍夫电流定律	18
1.5.2 基尔霍夫电压定律	19
1.6 支路电流法	22
1.7 结点电压法	24
1.8 叠加原理	26
1.9 等效电源定理	28
1.9.1 戴维宁定理	28
1.9.2 诺顿定理	30
第2章 正弦交流稳态电路	43
2.1 正弦交流电的基本概念	45
2.1.1 正弦交流电的周期、频率和角频率	45
2.1.2 正弦交流电的瞬时值、最大值、有效值	46
2.1.3 正弦交流电的相位、初相位、相位差	47
2.2 正弦交流电的相量表示法	48
2.3 单一参数的正弦交流电路	52
2.3.1 纯电阻电路	52
2.3.2 纯电感电路	54
2.3.3 纯电容电路	57

2.4	串联交流电路	61
2.5	阻抗的串联与并联	68
2.5.1	阻抗串联电路	68
2.5.2	阻抗并联电路	70
2.6	复杂交流电路的计算	73
2.7	电路中的谐振	78
2.7.1	串联谐振	78
2.7.2	并联谐振	82
2.8	电路的功率因数	85
2.9	三相正弦交流电路	87
2.9.1	三相电源	87
2.9.2	三相电路的计算	90
第3章	电动机及其控制系统	107
3.1	变压器	108
3.1.1	变压器的用途和基本结构	108
3.1.2	变压器的工作原理	108
3.1.3	变压器的外特性	110
3.2	三相异步电动机	112
3.2.1	三相异步电动机的结构	112
3.2.2	三相异步电动机的转动原理	114
3.2.3	三相异步电动机的转矩与机械特性	118
3.2.4	三相异步电动机的使用	120
3.2.5	三相异步电动机的铭牌数据	122
3.3	电气控制技术	124
3.3.1	常用控制电器	124
3.3.2	三相异步电动机的继电接触控制电路	128
3.3.3	可编程序控制器	131
3.3.4	安全用电	134
第4章	电路的暂态分析	140
4.1	暂态分析的基本概念	141
4.1.1	稳态和暂态	141
4.1.2	激励和响应	142
4.2	换路定则与电压(电流)初始值的确定	142
4.2.1	换路定则	142
4.2.2	电压和电流初始值的确定	143
4.3	RC电路的暂态分析	145
4.3.1	一阶RC电路暂态过程的微分方程	145
4.3.2	RC电路的时域响应	146

4.4 求解一阶电路的三要素法	147
4.5 微分电路和积分电路	149
4.5.1 微分电路	149
4.5.2 积分电路	150
第5章 二极管与直流稳压电源	156
5.1 半导体的基础知识	157
5.1.1 本征半导体	158
5.1.2 杂质半导体	158
5.1.3 PN结的形成及特性	158
5.2 半导体二极管	159
5.2.1 基本结构	159
5.2.2 伏安特性	160
5.2.3 主要参数	160
5.3 特殊二极管	162
5.3.1 稳压二极管	162
5.3.2 光电二极管	163
5.3.3 发光二极管	163
5.4 直流稳压电源	163
5.4.1 整流电路	164
5.4.2 滤波电路	167
5.4.3 稳压电路	170
5.4.4 集成稳压器	171
第6章 三极管与基本放大电路	176
6.1 半导体三极管	178
6.1.1 基本结构	178
6.1.2 电流分配及电流放大作用	178
6.1.3 特性曲线	179
6.1.4 主要参数	180
6.2 基本放大电路的组成	182
6.2.1 放大电路的组成	182
6.2.2 放大电路的简化	182
6.3 放大电路的静态分析	183
6.3.1 直流通路确定静态值(估算法)	183
6.3.2 图解法确定静态值	184
6.4 放大电路的动态分析	185
6.4.1 放大电路的主要性能指标	186
6.4.2 放大电路的图解分析法	188
6.4.3 放大电路的微变等效电路法	190

6.5 共射放大电路	193
6.5.1 固定偏置电路	193
6.5.2 分压式偏置电路	194
6.5.3 静态分析	195
6.5.4 动态分析	196
6.6 共集放大电路	198
6.7 阻容耦合多级放大电路	200
6.8 差分放大电路	203
6.8.1 直接耦合	203
6.8.2 工作原理	203
6.8.3 典型差分放大电路	204
6.8.4 双端输入-双端输出	205
6.8.5 单端输入-单端输出	207
6.8.6 共模抑制比	208
第7章 集成运算放大器	217
7.1 集成运算放大器简介	218
7.1.1 集成运放的组成	218
7.1.2 集成运放的主要参数	219
7.1.3 理想运算放大器	220
7.2 集成运放中的负反馈	222
7.2.1 反馈的基本概念	222
7.2.2 反馈的分类	223
7.2.3 反馈类型的判别	223
7.3 负反馈对运放电路性能的影响	226
7.3.1 提高放大倍数的稳定性	226
7.3.2 改善非线性失真	226
7.3.3 展宽通频带	227
7.3.4 对运放输入电阻和输出电阻的影响	227
7.4 集成运放在模拟信号运算方面的应用	227
7.4.1 比例运算电路	227
7.4.2 加法运算电路	230
7.4.3 减法运算电路	231
7.4.4 积分运算电路	233
7.4.5 微分运算电路	235
7.5 电压比较器	238
7.5.1 基本电压比较器	238
7.5.2 滞回电压比较器	240

第8章 组合逻辑电路	247
8.1 数字电路简介	248
8.1.1 脉冲信号	248
8.1.2 半导体元件的开关状态	249
8.1.3 二进制	250
8.1.4 正逻辑与负逻辑	250
8.2 基本门电路	250
8.2.1 “或”门电路	251
8.2.2 “与”门电路	251
8.2.3 “非”门电路	252
8.2.4 复合门电路	252
8.3 集成门电路	253
8.3.1 TTL“与非”门电路	254
8.3.2 三态“与非”门	255
8.4 逻辑代数及应用	256
8.4.1 逻辑代数的基本定律	256
8.4.2 逻辑代数的应用	257
8.4.3 逻辑函数的表示方法	259
8.4.4 应用卡诺图化简	260
8.5 组合逻辑电路分析与综合	263
8.5.1 组合逻辑电路的分析	263
8.5.2 组合逻辑电路的综合	264
8.6 常用组合逻辑电路	265
8.6.1 加法器	266
8.6.2 编码器	268
8.6.3 译码器	270
8.6.4 数字比较器	276
8.6.5 数据选择器(多路转换器)	277
8.6.6 数据分配器	278
第9章 触发器和时序逻辑电路	286
9.1 双稳态触发器	287
9.1.1 RS触发器	287
9.1.2 主从型JK触发器	290
9.1.3 维持阻塞型D触发器	293
9.1.4 触发器逻辑功能的转换	294
9.2 寄存器	296
9.2.1 数码寄存器	296
9.2.2 移位寄存器	297

9.2.3 环形移位寄存器	298
9.3 计数器	299
9.3.1 二进制计数器	300
9.3.2 N 进制计数器	302
9.4 集成 555 定时器	308
9.4.1 555 集成定时器	308
9.4.2 由 555 集成定时器组成的单稳态触发器	309
9.4.3 由 555 集成定时器组成的多谐振荡器	310
第 10 章 数模(D/A)和模数(A/D)转换	323
10.1 D/A 转换器	325
10.1.1 T 型电阻网络 D/A 转换器	325
10.1.2 集成 D/A 转换器介绍	327
10.2 A/D 转换器	328
10.2.1 直接转换技术	328
10.2.2 间接转换技术	329
参考解答(部分习题)	332
附录	342
参考书目	350

第1章 直流电路

本章在物理学的基础上讨论电路的基本知识、基本定律和定理,以及介绍应用这些基本定律和定理分析和计算电路的基本方法。

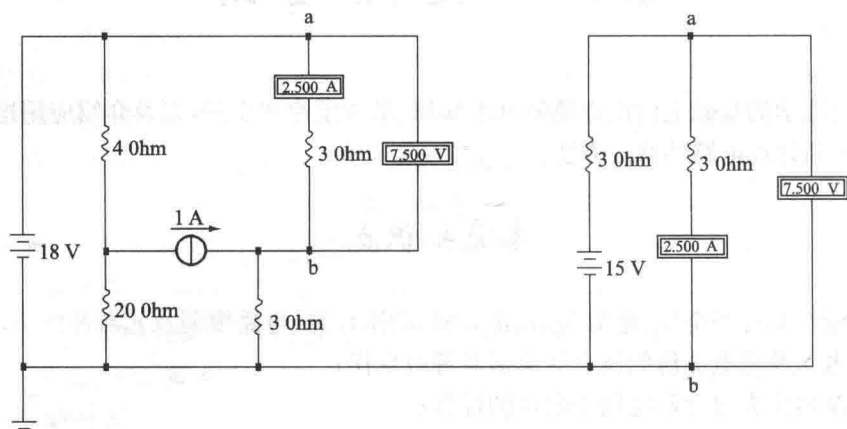
本章知识点

1. 理解线性元件的电压、电流关系、正方向、功率计算、电路模型及元器件作用;
2. 理解电压源和电流源的概念并掌握其等效变换;
3. 掌握基尔霍夫定律和电路中电位的计算;
4. 能熟悉各类电路组成并运用支路电流法、结点电压法、电压源和电流源等效变换方法、叠加原理、戴维宁定理分析线性电路。

专业词汇

电能 electric energy	电场 electric field
电位 electric potential	电位差 electric potential difference
电动势 electromotive force	电路模型 circuit model
电压源 voltage source	电流源 current source
恒压源 constant-voltage source	结点 node
恒流源 constant-current source	电路元件 circuit element
参考点 reference point	负载 load
回路 loop	支路 branch
开路(断路) open circuit	短路 short circuit
直流 direct current(DC)	交流 alternating current (AC)
参考电位 reference potential	参考方向 reference direction
参考电压 reference voltage	欧姆定律 Ohm's law
伏安特性 volt-ampere characteristic	结点电压法 node voltage method
戴维宁等效定理 Thevenin theorem	电路分析方法 circuit analysis method
基尔霍夫电流定律 Kirchhoff's current law (KCL)	
基尔霍夫电压定律 Kirchhoff's voltage law (KVL)	
支路电流法 branch current analysis method	叠加原理 superposition principle
无源二端网络 passive two-terminal network	
有源二端网络 active two-terminal network	
开路电压 open-circuit voltage	等效电路 equivalent circuit
等效电阻 equivalent resistance	等效变换 equivalent transform

案例分析



对于同一负载,采用不同的线性电路结构,都可以等效变换成简单的电压源,获得等效的作用效果,如仿真案例所示。

1.1 电路

电路,简言之就是电流所经之路。电路是由若干电气设备和元器件以一定方式构成的通路。

有时将复杂的电路称为网络或系统。

1.1.1 电路的作用及组成

电路的基本作用可以概括为两大类:一类是实现电能的输送和转换。如发电厂的发电机把热能或原子能转换为电能,通过输电线输送到车间,再转换为机械能(纺纱机、织布机、印染机等)、光能(照明灯)。图 1.1.1 所示的电路是最简单的照明电路。电池把化学能转换成电能供给照明灯,照明灯再把电能转换成光能用于照明。对于这类电路而言,要求它具有较小的能量损耗和较高的效率传送电能。另一类是实现信息的处理与传递。如半导体收音机中的接收电路、调谐电路、放大电路、振荡电路、检波电路等组成的复杂电路对信号进行处理和传递。图 1.1.2 所示的电路是用热电偶测量温度的电路。热电偶把热信号(温度)转换成电信号(温差电动势),然后通过毫伏表指针偏转角度的大小,测出温度的高低。这类电路能量的传输和转换数量很小,主要考虑的问题是如何准确又迅速地传递信号和处理信号。

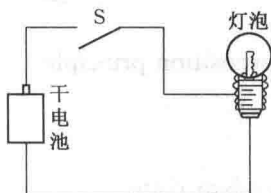


图 1.1.1 照明电路

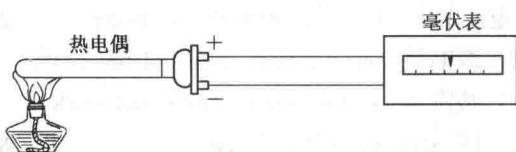


图 1.1.2 热电偶测温电路

实际电路的形式繁多,作用也各不相同,但它们都由三个主要部分组成,即电源、负载和中间环节。

电源是提供电能的装置。它将非电能转换为电能(如干电池、发电机等)或者把电能转换为另一种形式的电能或信号(如信号源、整流电源、变频电源及 UPS 不间断电源)。

负载是取用电能的设备和器件。它将电能转换成其他形式的能量。如电灯、电炉、电动机、水泵、扬声器等。

中间环节是连接电源和负载的部分。它起传送、分配和控制电能的作用。如连接电源与负载的传输线、开关、熔断器等。

1.1.2 电路元件与电路模型

组成各种电路的电气元件、电子器件或设备,统称为实际电路元件,简称为实际元件,用实际元件构成的电路称为实际电路。

一个实际元件往往呈现多种物理性质。例如一个白炽灯,当通有电流时,它不仅消耗电能,具有电阻特性,它还会产生磁场,具有电磁性质。为了便于对各种实际元件进行分析和数学描述,常将实际元件理想化,即用一些理想电路元件来表征其特性。理想电路元件(简称电路元件)是在一定条件下对实际元件电磁性质的科学抽象和概括。电路元件主要有电阻元件(简称电阻,用 R 表示)、电感元件(简称电感,用 L 表示)、电容元件(简称电容,用 C 表示)和电源元件(简称电源)等,这些元件分别由相应的参数来表征。

用理想电路元件代替实际电路元件组成的电路称为电路模型,它是实际电路的一种等效表示,故也称等效电路,如图 1.1.3 分别是图 1.1.1 照明电路和图 1.1.2 热电偶测温电路的电路模型。

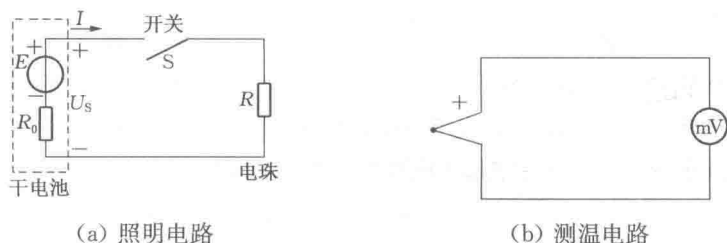


图 1.1.3 电路模型

在照明电路中,电阻的参数为 R ,用来表示电珠;电源的参数为电动势 E 和内电阻(简称内阻) R_0 ,用来表示干电池;连接干电池与电珠的中间环节(导线)、开关,其电阻可忽略不计,认为是无电阻的理想导体。

建立电路模型(简称电路)给实际电路的分析带来了极大方便,在电路图中,各种电路元件用规定的图形符号来表示。

1.2 简单电路及基本物理量

1.2.1 简单电路和复杂电路

实际工作中所遇到的电路往往比较复杂,我们也将复杂电路称为网络,所谓网络,就是电

路图形像网。那么简单电路和复杂电路的区别又在何处呢?在电工技术上,有明确的规定,下面通过对电路中常用名词的叙述,来加以说明。

电路中每一分支称为支路。每条支路中通过的电流是同一电流。图 1.2.1 中有 bade、be、bc、ce、cfe 5 条支路,其中 bc 和 cfe 两条支路内不含有电源,叫做无源支路,bade、be、ce 三条支路内含有电源,则为有源支路。

电路中 3 条或 3 条以上支路连接的点称为结点。图 1.2.1 中有 b、c 和 e 三个结点,a、d 和 f 不是结点。

电路中任一闭合的路径称为回路,图 1.2.1 中有 6 个回路。电路中未被任何支路分割的最简单的回路称为网孔或单一回路。图 1.2.1 中 abeda、bcebe、cfec 这三个是回路也是网孔,abcdea、abcfeda、bcfebe 这三个是回路而不是网孔。

只有单一回路的无分支电路,或者电路中虽有分支,而分支所含的电路元件经串、并联等关系的等效变换,可化简为单一回路的都称为简单电路,而不能化简为单一回路的有分支电路则称为复杂电路,图 1.1.3 是简单电路,图 1.2.1 是复杂电路。

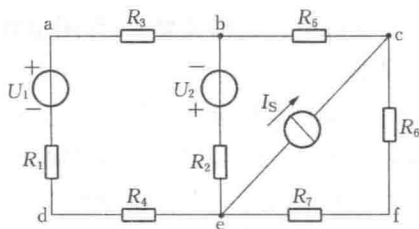


图 1.2.1 复杂电路举例

1.2.2 电路中的基本物理量及其参考方向

1. 电流

电路中的电流是电荷作定向运动形成的。在单位时间内通过某一导体截面的电荷[量]定义为电流强度,简称电流。在直流电路中,电流的大小与方向与时间无关,用大写字母 I 表示,电流 I 与电荷[量] Q 和时间 t 的关系为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.2.1)$$

上式中 Q 的单位为库[仑](C), t 的单位为秒(s), I 的单位为安[培](A)。在计量微小电流时,常用毫安(mA)或微安(μ A)为单位,其关系为: $1\text{ A} = 10^3\text{ mA} = 10^6\text{ }\mu\text{A}$ 。若电流的大小和方向随时间变化,是时间的函数,用小写字母 i 或符号 $i(t)$ 表示,电流 i 应等于电荷[量] q 对时间的变化率,即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.2.2)$$

电流的实际方向规定为正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向,在内电路(即电源内部)中电流由电源负极流向正极,在外电路中电流由高电位流向低电位。

要分析和计算电路中各部分电路的电流,不仅需要知道电流的大小,还要知道电流的实际方向。除了一些简单的直流电路外,电流的实际方向不是明显可以看出的,因此,研究电路时,需要引进参考方向(也称正方向)的概念,参考方向是任意假定的,用带箭头的有向线段表示。根据参考方向列写电流方程,当电流的实际方向与参考方向一致时,电流的计算结果为正值;当电流的实际方向与参考方向相反时,电流的计算结果为负值。这样,根据电流的正、负值及参考方向可以确定电流的实际方向,如图 1.2.2 所示。



图 1.2.2 电流参考方向与实际方向的关系

2. 电压

电压是衡量电场力对正电荷做功能力的物理量。电路中两点之间的电压表征单位正电荷从起始点移到终止点时电场力所做的功,其值等于两点电位之差。可见,电场力对正电荷做功的方向就是电位降落的方向,因此,规定电压的方向(极性)由高电位端指向低电位端,即电位降低的方向。

当电压的大小和方向随时间变化,是时间的函数时,用小写字母 u 或符号 $u(t)$ 表示,若电压的大小和方向与时间无关,则称为直流电压,用大写字母 U 表示。

同样,在分析和计算电路时,也要引进电压参考方向。当电压的实际方向与参考方向一致时,电压的计算结果为正值;当电压的实际方向与参考方向相反时,电压的计算结果为负值。电压的参考方向除了用“+”、“-”符号表示外,还可以用双下标和箭头表示,如图 1.2.3 所示。a、b 两点的电压 U_{ab} 表示 a 点为高电位端, b 点为低电位端。

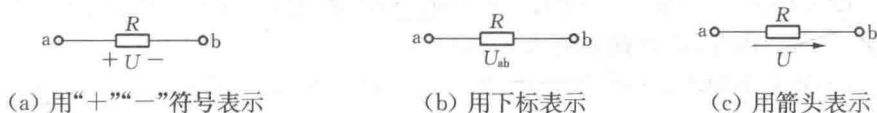


图 1.2.3 电压参考方向的表示

电压的单位为伏[特],用符号 V 表示。 $1\text{ V} = 10^{-3}\text{ kV} = 10^3\text{ mV} = 10^6\text{ }\mu\text{V}$ 。

为了方便地分析电路,常把某一个电路元件的电压和电流的参考方向选为一致,这种设定的参考方向称为关联参考方向,如图 1.2.4(a)所示。若电流和电压的参考方向相反,称为非关联参考方向,如图 1.2.4(b)所示。

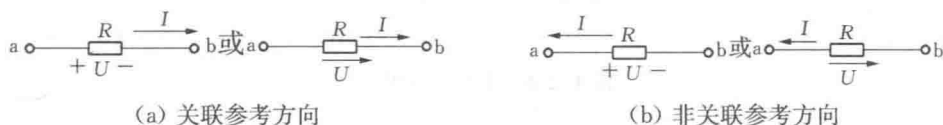


图 1.2.4 关联参考方向与非关联参考方向

当采用关联参考方向时,可以简化参考方向的标注,电路中只要标出电流或电压的一个参考方向即可,另一个电量的参考方向由关联一致来确定。本书在分析、计算电路时,如未作特殊说明均采用关联参考方向。

电路分析中的许多公式都是在规定的参考方向下得到的,例如欧姆定律,在 U 与 I 的参考方向一致时,

$$U = RI \quad (1.2.3)$$

当 U 与 I 的参考方向相反时,为使所得结果与实际相符,公式(1.2.3)应改写为

$$U = -RI \quad (1.2.4)$$