

21
世纪

高等院校规划教材

电工技术

注重学科体系的完整性，
兼顾考研学生需要



强调理论与实践相结合，注重培养专业技能

李中发 主 编

方厚辉 谢胜曙 梁先宇 副主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

21 世纪高等院校规划教材

电工技术

李中发 主 编

方厚辉 谢胜曙 梁先宇 副主编

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了电工技术的基本概念、基本理论、基本方法及其在实际中的应用, 主要包括电路的基本概念和定律、电路的基本分析方法、单相正弦电路分析、三相电路与安全用电、非正弦周期电流电路分析、一阶动态电路分析、磁路与变压器、电动机、控制电机、继电器接触器控制、可编程控制器、电工测量。

本书集电工技术和应用于一体, 按理论联系实际、循序渐进、便于教与学的原则编写, 特别注重对新技术的介绍。全书叙述简明, 概念清楚; 知识结构合理, 重点突出; 内容深入浅出, 通俗易懂; 例题、习题丰富, 图文并茂; 各章均有学习要求、概述和小结; 书后附有习题参考答案和附录。

本书可作为各类理工科高等学校非电类专业本科学生学习电工技术课程的教材或参考书, 也可供有关工程技术人员参考。

本书为授课教师和读者免费提供 PowerPoint 电子教案, 教师可以根据教学需要任意修改, 需要者可从中国水利水电出版社网站 (<http://www.waterpub.com.cn/softdown/>) 下载。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工技术 / 李中发主编. —北京: 中国水利水电出版社, 2005

(21 世纪高等院校规划教材)

ISBN 7-5084-2701-7

I. 电… II. 李… III. 电工技术—高等学校—教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 011730 号

书 名	电工技术
作 者	李中发 主编 方厚辉 谢胜曙 梁先宇 副主编
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)、82562819 (万水)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京市天竺颖华印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 22 印张 495 千字
版 次	2005 年 4 月第 1 版 2005 年 4 月第 1 次印刷
印 数	0001—5000 册
定 价	30.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

序

随着计算机科学与技术的飞速发展,计算机的应用已经渗透到国民经济与人们生活的各个角落,正在日益改变着传统的人类工作方式和生活方式。在我国高等教育逐步实现大众化后,越来越多的高等院校会面向国民经济发展的第一线,为行业、企业培养各级各类高级应用型专门人才。为了大力推广计算机应用技术,更好地适应当前我国高等教育的跨越式发展,满足我国高等院校从精英教育向大众化教育的转变,符合社会对高等院校应用型人才培养的各类要求,我们成立了“21世纪高等院校规划教材编委会”,在明确了高等院校应用型人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系的框架下,组织编写了本套“21世纪高等院校规划教材”。

众所周知,教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱及基础,作为体现教学内容和教学方法的知识载体,在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索和建设适应新世纪我国高等院校应用型人才培养体系需要的配套教材已经成为当前我国高等院校教学改革和教材建设工作面临的紧迫任务。因此,编委会经过大量的前期调研和策划,在广泛了解各高等院校的教学现状、市场需求,探讨课程设置、研究课程体系的基础上,组织一批具备较高的学术水平、丰富的教学经验、较强的工程实践能力的学术带头人、科研人员和主要从事该课程教学的骨干教师编写出一批有特色、适用性强的计算机类公共基础课、技术基础课、专业及应用技术课的教材以及相应的教学辅导书,以满足目前高等院校应用型人才培养的需要。本套教材消化和吸收了多年来已有的应用型人才培养的探索与实践成果,紧密结合经济全球化时代高等院校应用型人才培养工作的实际需要,努力实践,大胆创新。教材编写采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式,分期分批地启动编写计划,编写大纲的确定以及教材风格的定位均经过编委会多次认真讨论,以确保该套教材的高质量和实用性。

教材编委会分析研究了应用型人才与研究型人才在培养目标、课程体系和内容编排上的区别,分别提出了3个层面上的要求:在专业基础类课程层面上,既要保持学科体系的完整性,使学生打下较为扎实的专业基础,为后续课程的学习做好铺垫,更要突出应用特色,理论联系实际,并与工程实践相结合,适当压缩过多过深的公式推导与原理性分析,兼顾考研学生的需要,以原理和公式结论的应用为突破口,注重它们的应用环境和方法;在程序设计类课程层面上,把握程序设计方法和思路,注重程序设计实践训练,引入典型的程序设计案例,将程序设计类课程的学习融入案例的研究和解决过程中,以学生实际编程解决问题的能力为突破口,注重程序设计算法的实现;在专业技术应用层面上,积极引入工程案例,以培养学生解决工程实际问题的能力为突破口,加大实践教学内容的比重,增加新技术、新知识、新工艺的内容。

本套规划教材的编写原则是:

在编写中重视基础,循序渐进,内容精炼,重点突出,融入学科方法论内容和科学理念,反映计算机技术发展要求,倡导理论联系实际和科学的思想方法,体现一级学科知识组织的层次结构。主要表现在:背靠计算机学科的科学体系,明确目标定位,分类组织实施,兼容互补;理论与实践并重,强调理论与实践相结合,突出学科发展特点,体现学科

发展的内在规律；教材内容循序渐进，保证学术深度，减少知识重复，前后相互呼应，内容编排合理，整体结构完整；采取自顶向下设计方法，内涵发展优先，突出学科方法论，强调知识体系可扩展的原则。

本套规划教材的主要特点是：

(1) 面向应用型高等院校，在保证学科体系完整的基础上不过度强调理论的深度和难度，注重应用型人才的专业技能和工程实用技术的培养。在课程体系方面打破传统的研究型人才培养体系，根据社会经济发展对行业、企业的工程技术需要，建立新的课程体系，并在教材中反映出来。

(2) 教材的理论知识包括了高等院校学生必须具备的科学、工程、技术等方面的要求，知识点不要求大而全，但一定要讲透，使学生真正掌握。同时注重理论知识与实践相结合，使学生通过实践深化对理论的理解，学会并掌握理论方法的实际运用。

(3) 在教材中加大能力训练部分的比重，使学生比较熟练地应用计算机知识和技术解决实际问题，既注重培养学生分析问题的能力，也注重培养学生思考问题、解决问题的能力。

(4) 教材采用“任务驱动”的编写方式，以实际问题引出相关原理和概念，在讲述实例的过程中将本章的知识点融入，通过分析归纳，介绍解决工程实际问题的思想和方法，然后进行概括总结，使教材内容层次清晰，脉络分明，可读性、可操作性强。同时，引入案例教学和启发式教学方法，便于激发学习兴趣。

(5) 教材在内容编排上，力求由浅入深，循序渐进，举一反三，突出重点，通俗易懂。采用模块化结构，兼顾不同层次的需求，在具体授课时可根据各校的教学计划在内容上适当加以取舍。此外还注重了配套教材的编写，如课程学习辅导、实验指导、综合实训、课程设计指导等，注重多媒体的教学方式以及配套课件的制作。

(6) 大部分教材配有电子教案，以使教材向多元化、多媒体化发展，满足广大教师进行多媒体教学的需要。电子教案用 PowerPoint 制作，教师可根据授课情况任意修改。相关教案的具体情况请到中国水利水电出版社网站 www.waterpub.com.cn 下载。此外还提供相关教材中所有程序的源代码，方便教师直接切换到系统环境中教学，提高教学效果。

总之，本套规划教材凝聚了众多长期在教学、科研一线工作的教师及科研人员的教学科研经验和智慧，内容新颖，结构完整，概念清晰，深入浅出，通俗易懂，可读性、可操作性和实用性强。本套规划教材适用于应用型高等院校各专业，也可作为本科院校举办的应用技术专业的课程教材，此外还可作为职业技术学院和民办高校、成人教育的教材以及从事工程应用的技术人员的自学参考资料。

我们感谢该套规划教材的各位作者为教材的出版所做出的贡献，也感谢中国水利水电出版社为选题、立项、编审所做出的努力。我们相信，随着我国高等教育的不断发展和高校教学改革的不深入，具有示范性并适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高等院校教学质量的提高。

我们期待广大读者对本套规划教材提出宝贵意见，以便进一步修订，使该套规划教材不断完善。

21 世纪高等院校规划教材编委会

2004 年 8 月

前 言

电工技术课程是理工科高等学校非电类专业一门重要的技术基础课程。目前, 电工技术应用十分广泛, 发展极为迅速, 并且日益渗透到其他学科领域, 在我国社会主义现代化建设中占有极其重要的地位。电工技术课程的作用与任务是: 使学生通过本课程的学习, 获得电工技术必要的基本理论、基本知识和基本技能, 了解电工技术的应用和我国电工事业发展的概况, 为学习后续相关课程以及从事与本专业相关的工程技术工作和科学研究打下一定基础。

《电工技术》与《电子技术》(李中发主编, 中国水利水电出版社出版) 同为电工学的系列教材, 在章节安排和内容取舍上都作了仔细分工与协调。在本书编写过程中, 作者根据自己多年的教学经验以及对课程改革的实践尝试, 从时代发展、技术进步、知识结构、课程体系上进行总体考虑, 融先进性、科学性、完整性、实用性为一体, 力图实现以下目标:

- (1) 内容简明精炼, 深入浅出, 通俗易懂, 图文并茂。
- (2) 例题、习题丰富, 各章均有学习要求、概述和小结, 书后附有习题答案和附录。
- (3) 基本概念清楚, 重点突出, 难点不难, 便于教与学。
- (4) 结构合理, 系统性强, 使学生建立完整有序的知识体系, 为后续课程和实际应用打下良好的基础。
- (5) 理论教学与实践教学紧密结合, 注重学生的智力开发和能力培养。
- (6) 力求反映新技术、新动向, 以适应电工技术发展和变化的需要。

本书理论教学时数约为 60 学时, 实践教学时数约为 20 学时, 各校在教学时可根据专业实际情况适当取舍。理论教学参考时数: 电路的基本概念和定律 5 学时、电路的基本分析方法 5 学时、单相正弦电路分析 10 学时、三相电路与安全用电 3 学时、非正弦周期电流电路分析 3 学时、一阶动态电路分析 5 学时、磁路与变压器 5 学时、电动机 6 学时、控制电机 2 学时、继电器接触器控制 6 学时、可编程控制器 6 学时、电工测量 4 学时。

本书在中国水利水电出版社指导下编写完成。参加本书编写工作的有: 张晚英(第 1 章), 江亚群(第 2 章)、李中发(第 3 章和第 6 章)、邓晓(第 4 章)、徐毅(第 5 章)、方厚辉(第 7 章和第 9 章)、谢胜曙(第 8 章)、彭敏放(第 10 章)、梁先宇(第 11 章)、邹津海(第 12 章), 杨华、陈玉英、李珊珊、陈南放等参加了习题选编、书稿录入和图表制作等工作。全书由李中发担任主编, 负责全书的组织、修改和定稿工作; 方厚辉、谢胜曙、梁先宇担任副主编。

由于时间仓促及编者水平有限, 书中疏漏与错误之处在所难免, 恳请广大读者提出宝贵意见, 以便修改。作者的 E-mail 地址为 li_zhongfa@163.net。

编者
2005 年 1 月

目 录

序

前言

第 1 章 电路的基本概念和定律	1
本章学习要求	1
1.1 电路及电路模型	1
1.1.1 电路及其功能	1
1.1.2 电路的组成	2
1.1.3 电路模型	2
1.2 电路的基本物理量	3
1.2.1 电流	3
1.2.2 电压、电位及电动势	4
1.2.3 电功率	6
1.3 电路元件的伏安关系	8
1.3.1 无源元件	8
1.3.2 有源元件	10
1.3.3 实际电源的两种模型	11
1.4 电气设备的额定值与电路的工作状态	13
1.4.1 电气设备的额定值	13
1.4.2 电路的工作状态	14
1.5 基尔霍夫定律	17
1.5.1 基尔霍夫电流定律	17
1.5.2 基尔霍夫电压定律	18
1.6 电位的概念及计算	21
1.6.1 电位的概念	21
1.6.2 电位的计算	22
本章小结	25
习题 1	26
第 2 章 电路的基本分析方法	30
本章学习要求	30
2.1 简单电阻电路分析	30
2.1.1 电阻的串联	30
2.1.2 电阻的并联	32

2.2	复杂电阻电路分析	34
2.2.1	支路电流法	35
2.2.2	节点电压法	37
2.3	电压源与电流源的等效变换	39
2.3.1	电路等效变换的概念	39
2.3.2	电压源与电流源的等效变换	41
2.4	电路定理	44
2.4.1	叠加定理	44
2.4.2	等效电源定理	46
2.5	含受控源电阻电路的分析	49
2.5.1	受控源	49
2.5.2	含受控源电阻电路的分析	51
2.6	非线性电阻电路的分析	54
2.6.1	非线性电阻	54
2.6.2	非线性电阻电路的分析	55
	本章小结	57
	习题 2	58
第 3 章	单相正弦电路分析	65
	本章学习要求	65
3.1	正弦交流电的基本概念	66
3.1.1	正弦量的三要素	66
3.1.2	相位差	68
3.1.3	有效值	70
3.2	正弦交流电的相量表示法	72
3.2.1	复数及其运算	73
3.2.2	正弦量的相量表示法	76
3.3	KCL、KVL 及元件伏安关系的相量形式	78
3.3.1	相量运算规则	78
3.3.2	元件伏安关系的相量形式	79
3.3.3	KCL、KVL 的相量形式	85
3.4	简单正弦电路的分析	88
3.4.1	阻抗	88
3.4.2	RLC 串联电路	90
3.4.3	RLC 并联电路	93
3.4.4	阻抗的串联及并联	94
3.5	正弦电路的功率	96
3.5.1	瞬时功率	96

3.5.2	平均功率	99
3.5.3	无功功率和视在功率	99
3.5.4	功率因数的提高	101
3.6	交流电路的频率特性	103
3.6.1	RC 电路的频率特性	103
3.6.2	电路中的谐振	106
本章小结		111
习题 3		113
第 4 章	三相正弦电路分析	119
本章学习要求		119
4.1	三相正弦交流电源	119
4.1.1	三相交流电的产生	119
4.1.2	三相电源的连接	121
4.2	三相电路中负载的连接	122
4.2.1	三相电路中负载的连接方式与原则	122
4.2.2	负载的星形连接	123
4.2.3	负载的三角形连接	126
4.3	安全用电	128
4.3.1	触电方式及其防护	128
4.3.2	接地与接零	130
4.3.3	静电防护和电气防火防爆	132
本章小结		133
习题 4		133
第 5 章	非正弦周期电流电路分析	135
本章学习要求		135
5.1	非正弦周期信号的谐波分析	135
5.1.1	非正弦周期信号的产生	135
5.1.2	非正弦周期信号的分解	136
5.1.3	非正弦周期信号的频谱	138
5.2	非正弦周期信号的有效值、平均值和平均功率	139
5.2.1	非正弦周期信号的有效值	139
5.2.2	非正弦周期信号的平均值	140
5.2.3	非正弦周期信号的平均功率	141
5.3	非正弦周期电流电路的计算	142
5.3.1	非正弦周期电流电路的计算方法	142
5.3.2	非正弦周期电流电路计算举例	143
本章小结		146

习题 5	147
第 6 章 一阶动态电路分析	149
本章学习要求	149
6.1 换路定理	149
6.1.1 电路中产生过渡过程的原因	150
6.1.2 换路定理	151
6.2 一阶动态电路的分析方法	154
6.2.1 一阶动态电路的经典分析法	154
6.2.2 一阶动态电路的三要素分析法	161
6.3 零输入响应和零状态响应	165
6.3.1 一阶电路响应的分解	165
6.3.2 一阶电路的零输入响应	168
6.3.3 一阶电路的零状态响应	173
6.4 微分电路与积分电路	176
6.4.1 微分电路	176
6.4.2 积分电路	178
本章小结	179
习题 6	180
第 7 章 磁路与变压器	185
本章学习要求	185
7.1 磁路	185
7.1.1 磁场的基本物理量	186
7.1.2 磁路的基本定律	187
7.1.3 磁性材料的磁性能	189
7.2 交流铁心线圈电路	192
7.2.1 交流铁心线圈的电磁关系	193
7.2.2 交流铁心线圈的功率损耗	194
7.3 单相变压器	196
7.3.1 变压器的基本结构	197
7.3.2 变压器的工作原理	197
7.3.3 变压器的工作特性	202
7.3.4 变压器绕组的同极性端及其测定	204
7.4 三相变压器	205
7.4.1 三相变压器的结构	205
7.4.2 变压器的额定值	207
7.5 特殊变压器	208
7.5.1 自耦变压器	209

7.5.2 仪用互感器	209
7.5.3 电焊变压器	211
本章小结	211
习题 7	212
第 8 章 电动机	215
本章学习要求	215
8.1 三相异步电动机的结构及转动原理	215
8.1.1 三相异步电动机的结构	216
8.1.2 旋转磁场的产生	217
8.1.3 三相异步电动机的转动原理	219
8.2 三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	221
8.2.1 三相异步电动机的电路分析	221
8.2.2 三相异步电动机的电磁转矩	223
8.2.3 三相异步电动机的机械特性	223
8.3 三相异步电动机的运行与控制	226
8.3.1 三相异步电动机的起动	226
8.3.2 三相异步电动机的调速	230
8.3.3 三相异步电动机的反转	231
8.3.4 三相异步电动机的制动	231
8.4 三相异步电动机的选择与使用	233
8.4.1 三相异步电动机的铭牌	233
8.4.2 三相异步电动机的选择	236
8.4.3 电动机的安装原则和接地装置	237
8.5 单相异步电动机	238
8.5.1 单相异步电动机的工作原理与特性	238
8.5.2 单相异步电动机的起动	240
8.6 直流电动机	241
8.6.1 直流电动机的结构及分类	242
8.6.2 直流电动机的工作原理和机械特性	244
8.6.3 直流电动机的运行与控制	246
本章小结	248
习题 8	249
第 9 章 控制电机	252
本章学习要求	252
9.1 伺服电动机	252
9.1.1 交流伺服电动机	253
9.1.2 直流伺服电动机	255

9.2 测速发电机	256
9.2.1 交流异步测速发电机	256
9.2.2 直流测速发电机	257
9.3 步进电动机	258
9.3.1 步进电动机的结构	259
9.3.2 步进电动机的工作原理	259
9.3.3 步进电动机的步距角和转速	261
本章小结	262
习题 9	263
第 10 章 继电接触器控制	264
本章学习要求	264
10.1 常用控制电器	264
10.1.1 开关电器	264
10.1.2 熔断器	266
10.1.3 主令电器	267
10.1.4 交流接触器	268
10.1.5 继电器	269
10.2 三相异步电动机的基本控制电路	272
10.2.1 点动控制	272
10.2.2 直接起动控制	273
10.2.3 正反转控制	274
10.2.4 多地控制	276
10.2.5 顺序控制	276
10.3 三相异步电动机的基本控制原则	277
10.3.1 行程控制与行程控制原则	277
10.3.2 时间控制与时间控制原则	279
10.3.3 速度控制与速度控制原则	280
本章小结	280
习题 10	281
第 11 章 可编程控制器	284
本章学习要求	284
11.1 PLC 的结构及工作原理	284
11.1.1 PLC 的结构	284
11.1.2 PLC 的工作原理	286
11.1.3 PLC 的工作方式	287
11.2 PLC 的编程语言和指令系统	288
11.2.1 PLC 的梯形图	289

11.2.2 PLC 的编程元件	290
11.2.3 PLC 的指令	293
11.3 PLC 梯形图的设计方法	298
11.3.1 梯形图的经验设计法	298
11.3.2 梯形图的顺序控制设计法	300
11.4 PLC 应用实例	302
11.4.1 电动机正、反转 Y- Δ 降压起动控制	303
11.4.2 计数器工作电路控制	304
11.4.3 机械手工作过程控制	305
本章小结	307
习题 11	308
第 12 章 电工测量	311
本章学习要求	311
12.1 电工仪表的类型、误差和准确度	311
12.1.1 电工仪表的分类	311
12.1.2 电工仪表的误差和准确度	313
12.2 指针式仪表的结构及工作原理	314
12.2.1 磁电式仪表	314
12.2.2 电磁式仪表	315
12.2.3 电动式仪表	316
12.3 电流、电压、功率和电能的测量	317
12.3.1 电流的测量	317
12.3.2 电压的测量	317
12.3.3 功率的测量	318
12.3.4 电能的测量	320
12.4 电阻的测量	321
12.4.1 万用表	321
12.4.2 兆欧表	324
本章小结	325
习题 12	325
附录 A 部分习题参考答案	327
附录 B 电阻器标称阻值系列	336
附录 C 电阻器阻值的色环标志法	337
参考文献	338

第1章 电路的基本概念和定律

本章学习要求

- 理解电路模型及理想电路元件的伏安关系，了解实际电源的两种模型。
- 理解电压、电流的概念及参考方向的意义，电功率的概念及其计算。
- 了解电器设备额定值的意义和电路负载、开路 and 短路状态的特点。
- 理解并能熟练应用基尔霍夫电压定律和电流定律。
- 理解电位的概念，会分析计算电路中各点的电位。

电工技术是研究电能在各个技术领域中应用的一门科学技术。电工技术的发展是和电能的应用紧密联系的。电自被发现并应用以来，对人类社会的发展产生了极其广泛而深刻的影响。目前，电工技术应用十分广泛，并且已经渗透到国民经济、国防和日常生活等领域。电能之所以得到这样广泛的应用，是因为与其他能源相比，电能具有便于转换、便于输送、便于控制等诸多优点。

电路理论是分析和研究各种电路中电流、电压分配和变化规律的科学，是电工技术和电子技术的基础。为了便于研究，常常把实际电路抽象成理想元件组成的电路模型。在电路模型中，存在两种基本关系：一种是各理想元件本身电流、电压的关系，简称伏安关系，它与元件本身的性质有关；另一种是电路中各电流、电压之间的关系，它与电路的结构有关。这两种基本关系是决定电路中电流、电压情况的两种因素，也称为两种约束。学习本章时要注意理解和掌握这两种约束，以便为学习电路的各种分析方法奠定基础。

本章将介绍电路的作用及组成、电路的基本物理量及其参考方向、电路基本元件的伏安关系、电气设备的额定值和电路的工作状态、基尔霍夫电压定律和电流定律、电路中电位的概念及其计算，这些基本概念和基本定律是电路分析的重要基础。

1.1 电路及电路模型

实际电工设备种类繁多，实际电路的几何尺寸也相差甚大，为了分析研究的需要和方便，常采用模型化的方法，将实际的电工设备用理想化的电路元件代替，从而构成了与实际电路相对应的电路模型。

1.1.1 电路及其功能

电路是为了某种需要而将某些电工设备或元件按一定方式组合起来所构成的电流通路。

电路的结构形式和所能完成的任务是多种多样的。按工作任务划分,电路的主要功能有两类。

电路的第一类功能是进行能量的转换、传输和分配,如电力系统电路,可将发电机发出的电能经过输电线传输到各个用电设备,再经用电设备转换成热能、光能、机械能等。

电路的第二类功能是实现信号的传递和处理等。输入信号称为激励(或信号源),输出信号称为响应,如扩音机电路,先由话筒把语言或音乐(通常称为信息)转换为相应的电压和电流,即电信号,通过放大和转换(称为信号的处理)后传递到扬声器,把电信号还原为语言或音乐。

1.1.2 电路的组成

不论电路结构的复杂程度如何,其组成都包括电源、负载和中间环节 3 个基本部分。

电源是提供电能的设备,如干电池、蓄电池、发电机等,其作用是将其他形式的能量转换为电能。此外,还有将某种形式的电能转换成另一种形式的电能的装置,通常也称为电源,如直流稳压电源就是将交流电转换为直流电,并在一定范围内保持输出电压稳定。

负载是取用电能的设备,如电灯、电炉、电动机等,其作用是将电能转换为其他形式的能量,如电灯把电能转换成光能和热能,电动机将电能转换成机械能等。

中间环节在电路中起传递、分配和控制电能的作用,最简单的中间环节是开关和连接导线,一般还有保护和测量装置。更为复杂的中间环节是各种电路元件组成的网络系统,电源接在它的输入端,负载接在它的输出端。

1.1.3 电路模型

实际电路都是由一些起不同作用的实际电路元件组成的,如发电机、变压器、电动机、电池、晶体管以及各种电阻器和电容器等。实际电路元件的电磁关系比较复杂,最简单的例子如白炽灯,白炽灯除了具有消耗电能的性质(电阻性)外,当有电流通过时还会产生磁场,说明白炽灯还具有电感性,但电感非常微小,可以忽略不计,所以,可认为白炽灯是一个电阻元件。

为了便于对电路进行分析计算,常常将实际元件理想化(也称模型化),即在一定条件下突出元件主要的电磁性质,忽略次要因素,用一个足以表征其主要特性的理想元件近似表示。由理想电路元件组成的电路称为电路模型。理想电路元件(此后理想两字略去)主要有电阻元件、电感元件、电容元件、理想电压源、理想电流源等。前 3 种元件不产生能量,称为无源元件,后两种元件是电路中提供能量的元件,称为有源元件,这些元件分别由相应的参数来表征。

如图 1.1 所示为手电筒电路,其电路模型如图 1.2 所示。干电池是电源元件,参数为电动势 E 和内电阻 R_0 ;灯泡是电阻元件,参数为电阻 R ;筒体是连接干电池和灯泡的中间环节(包括开关),其电阻忽略不计,认为是一个无电阻的理想元件。

今后所分析的都是电路模型,简称电路。电路中的各种元件用规定的图形符号表示。

元件有线性和非线性之分,线性元件的参数是常数,与所施加的电压和电流无关。非

线性元件的参数不是常数，随着电压或电流变动。

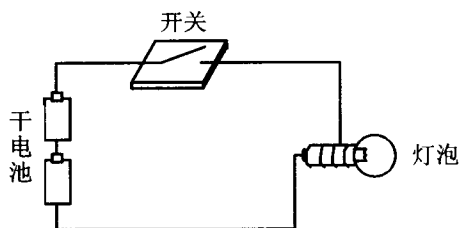


图 1.1 手电筒电路

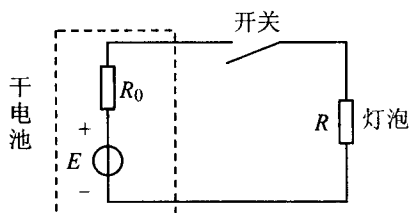


图 1.2 手电筒的电路模型

1.2 电路的基本物理量

研究电路的基本规律，首先要掌握电路中的电流、电压和功率等基本物理量。

1.2.1 电流

电流是由电荷有规则的定向运动形成的。电流是一种物理现象，又是一个表示电流强弱的物理量，在数值上等于单位时间内通过某一导体横截面的电量。

在如图 1.3 所示的导体内，设在时间 dt 内，通过导体横截面 S 的电量为 dq ，则导体中的电流为：

$$i = \frac{dq}{dt}$$

如果电流不随时间变化，即 $\frac{dq}{dt} = \text{常数}$ ，则这种电流称为恒定电流，简称直流。直流电流用大写字母 I 表示，所以上式可改写为：

$$I = \frac{q}{t}$$

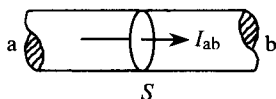


图 1.3 导体中的电流

如果电流的大小和方向都随时间变化，则称为交变电流，简称交流。交流电流用小写字母 i 表示。

在国际单位制中，电流的单位是安培，简称安 (A)。计量微小电流时，常以毫安 (mA) 或微安 (μA) 为单位，它们之间的关系为：

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

习惯上把正电荷定向运动的方向 (或负电荷运动的相反方向) 规定为电流的实际方向，

但在分析较为复杂的直流电路时, 往往难于事先判断各支路中电流的实际方向; 对于交流电流, 其方向不断改变, 在电路图中很难表示它的实际方向。为此, 对电路进行分析计算时, 常任意选定某一方向作为电流的方向, 称为电流的正方向或参考方向, 它不一定与电流的实际方向一致。当电流的实际方向与参考方向一致时, 电流为正值, 如图 1.4 (a) 所示; 当电流的实际方向与参考方向相反时, 电流为负值, 如图 1.4 (b) 所示。可见, 参考方向 (正方向) 选定后, 电流的值才有正负之分。



图 1.4 电流的实际方向与参考方向的关系

电流的参考方向除了用箭头表示外, 还可用双下标的变量表示。如图 1.3 中的 I_{ab} 即表示参考方向由 a 指向 b 的电流。如果参考方向选定为由 b 指向 a, 则为 I_{ba} 。 I_{ab} 和 I_{ba} 两者之间相差一个负号, 即:

$$I_{ab} = -I_{ba}$$

今后在电路中所标注的电流方向都是参考方向, 不一定是电流的实际方向。在未标定参考方向的情况下, 电流的正负值毫无意义。

1.2.2 电压、电位及电动势

1. 电压与电位

电压是衡量电场力做功能力的物理量。如图 1.5 所示, a 和 b 是电源的两个电极, 设 a 极带正电, b 极带负电, 因此在两极之间产生电场, 其方向从 a 指向 b。如果用导线将 a 和 b 连接起来, 在电场力的作用下, 正电荷将从 a 极沿导线移至 b 极 (实际上是导线中的自由电子从 b 极经导线移至 a 极, 两者是等效的), 表明电场力对电荷做了功。

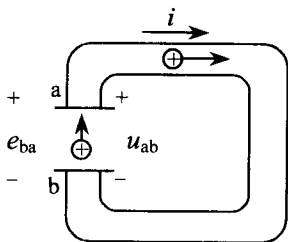


图 1.5 电压与电动势

为了表示电场力做功的能力, 引入电压这一物理量。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 两点间的电压, 用 u 表示。设电场力将正电荷 dq 从 a 点移动到 b 点所做的功为 dW , 则 a、b 两点间的电压 u 为: