



普通高等教育“十二五”创新型规划教材

Diangong
Dianzi Jishu

电工电子技术

■ 主 编 靳孝峰
■ 副主编 穆国华 郭建英 李 慧

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



普通高等教育“十二五”创新型规划教材

Diangone
Dianzi Jishu

电工电子技术

主 编 靳孝廉

副主编 穆国华

参 编 冀佩刚

郭建英 李 慧

李玉中 李春杰

杨 光



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内容简介

本书依据高等学校电工电子技术课程教学内容的要求而编写,编写中充分考虑到现代电工电子技术的飞速发展,本书既有严密完整的理论体系,又具有较强的实用性。

全书将电工技术、模拟电子技术与数字电子技术三部分内容进行整合重构,实现了理论和实践的有机融合。包括电路基础与直流电路、正弦交流电路、磁路基础与电气设备、半导体器件、放大电路基础、模拟集成电路及其应用、直流电源、数字逻辑电路基础、数字集成电路及其应用9个项目以及附录等内容。书中给出了大量的例题和习题,以便于学生自学。

本书适合高等院校非电类专业作为电工电子技术课程教材使用,也适合企业工程技术人员作为技术参考书使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术/靳孝峰主编. —北京:北京理工大学出版社, 2011.1
ISBN 978-7-5640-3870-0

I. ①电… II. ①靳… 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(2010)第190968号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市南阳印刷有限公司

开 本 / 710毫米×1000毫米 1/16

印 张 / 26

字 数 / 488千字

版 次 / 2011年1月第1版 2011年1月第1次印刷

责任编辑 / 张慧峰

印 数 / 1~2000册

责任校对 / 陈玉梅

定 价 / 45.00元

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前言

Preface

目前《电工电子技术》流行教材普遍存在一些问题,要么过分重视理论的讲述,内容繁琐而生涩难懂,实际技能知识不足,不利于高素质人才的培养;要么重视了实际技能,而忽视了基本理论知识的系统性和完整性,使学生不能充分理解,很难有所发展。并且,普遍存在文字叙述不流畅,逻辑性不强的问题。为此,我们经过充分地调研、论证,本着知识够用、知识点新、技能应用性强、利于理解和自学的原则,将电工技术、模拟电子技术与数字电子技术三部分内容进行整合重构,形成了这本《电工电子技术》教材。本教材是联合兄弟院校编写,由北京理工大学出版社出版的规划教材。

本教材具有以下特点:其一,该教材紧密结合高等教育的特点,突出应用性、针对性,加强实践能力的培养;其二,教材内容编排力求顺序合理,逻辑性强,同时将知识点和能力点有机结合,融“教、学、做”为一体,注重对学生工程应用能力和解决实际问题能力的培养;其三,内容叙述力求简明扼要、深入浅出、通俗易懂,可读性强,读者更易学习和掌握,也便于教师教学;其四,对加宽加深的内容均注有*号,以便于不同专业选讲和自学;其五,教材正文与例题、习题紧密配合。例题是正文的补充,某些内容则有意让读者通过习题来掌握,以调节教学节律,利于理解深化。其六,为了加强实际能力培养,每个项目都安排了足够的技能训练内容,放在附录中,以供选择。

本教材参考理论教学学时为 64 学时,实践学时为 32 学时,可以根据教学要求适当调整教学学时。参加本书编写的人员有:穆国华、郭建英、李慧、靳孝峰、李玉中、李春杰、杨光、冀佩刚,均为长期从事电工电子技术教学的一线教师,具有丰富的教学经验。本书由焦作大学靳孝峰担任主编,负责制定编写要求和详细的内容编写目录,并对全书进行统稿和定稿,穆国华、郭建英、李慧担任副主编,协助主编工作。

本教材项目 1 由李春杰编写;项目 2 由李玉中编写;项目 3 由杨光编写;项目

4、项目 5 由穆国华编写；项目 6 由冀佩刚编写；项目 7、附录由李慧编写；项目 8 由靳孝峰编写；项目 9 由郭建英编写。

本书由郑州大学宋家友教授负责审阅，宋家友教授在百忙中认真细致地审阅了全部书稿，并提出了宝贵建议。本书的编写得到了北京理工大学、郑州大学、焦作大学、黄河科技学院、濮阳职业技术学院等兄弟院校的大力支持和热情帮助，北京理工大学出版社的工作人员为本书的成功出版付出了艰辛的劳动。编者在此对为本书成功出版作出贡献的所有工作人员以及所有参考文献的作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中的错漏之处在所难免，敬请读者指正，以便不断改进。

编 者

Contents 目录

项目 1 电路基础及直流电路 / 1

- 1.1 电路的组成及基本物理量 / 1
 - 1.1.1 电路的组成与作用 / 1
 - 1.1.2 理想电路元器件及电路模型 / 2
 - 1.1.3 电路的主要物理量及相互关系 / 3
 - 1.1.4 电气设备的额定值 / 9
- 1.2 电阻、电容、电感元件及其特性 / 10
 - 1.2.1 电阻元件及欧姆定律 / 10
 - 1.2.2 电感元件及其特性 / 12
 - 1.2.3 电容元件及其特性 / 13
- 1.3 电路的三种工作状态及连接方式 / 13
 - 1.3.1 电路的三种工作状态 / 13
 - 1.3.2 电路的连接方式 / 16
- 1.4 电压源与电流源及其等效变换 / 18
 - 1.4.1 独立电源 / 18
 - 1.4.2 受控电源 / 22
- 1.5 基尔霍夫定律及其应用 / 23
 - 1.5.1 基尔霍夫定律 / 23
 - 1.5.2 基尔霍夫定律的应用——支路电流法 / 26
- 1.6 直流电路基本定理 / 27
 - 1.6.1 叠加原理 / 27
 - 1.6.2 戴维南与诺顿定理 / 28
- 本项目小结 / 32
- 习题 / 32

项目 2 正弦交流电路 / 35

- 2.1 正弦交流电的基本概念 / 36
 - 2.1.1 正弦交流电的表示方法 / 36
 - 2.1.2 正弦交流电的三要素 / 36

- 2.1.3 正弦交流电的相位差 / 38
- 2.1.4 正弦交流电的相量表示法 / 40
- 2.2 单一参数的正弦交流电路 / 42
 - 2.2.1 纯电阻电路 / 42
 - 2.2.2 纯电感电路 / 44
 - 2.2.3 纯电容电路 / 46
- 2.3 RLC 正弦交流电路及串并联谐振 / 49
 - 2.3.1 RLC 串联电路 / 49
 - 2.3.2 RLC 并联电路 / 52
 - 2.3.3 串联谐振 / 54
 - 2.3.4 并联谐振 / 55
- 2.4 功率因数及功率因数的补偿措施 / 56
 - 2.4.1 电路的功率因数 / 56
 - 2.4.2 提高功率因数的意义 / 57
 - 2.4.3 提高功率因数的方法 / 57
- *2.5 三相交流电路 / 59
 - 2.5.1 三相电源的产生 / 59
 - 2.5.2 三相电源的连接 / 61
 - 2.5.3 三相负载的连接 / 62
- *2.6 电路的瞬态过程分析 / 67
 - 2.6.1 电路的暂态和换路定律 / 67
 - 2.6.2 RC 电路的暂态过程及三要素法 / 68
 - 2.6.3 RC 电路的应用 / 70
 - 2.6.4 暂态过程的危害及防止 / 72
- 本项目小结 / 73
- 习题 / 74

*项目 3 磁场基础与电气设备 / 76

- 3.1 磁场的基本物理量 / 76
 - 3.1.1 磁通 Φ / 77
 - 3.1.2 磁感应强度 B / 77

- 3.1.3 磁导率 μ / 77
 - 3.1.4 磁场强度 H / 78
 - 3.2 铁磁材料的磁性能 / 78
 - 3.2.1 高导磁性 / 78
 - 3.2.2 磁饱和性 / 79
 - 3.2.3 磁滞性 / 79
 - 3.3 磁路和磁路欧姆定律 / 80
 - 3.3.1 磁路与磁动势 / 80
 - 3.3.2 磁阻与磁路欧姆定律 / 81
 - 3.3.3 交流铁心线圈电路及功率损耗 / 81
 - 3.4 变压器 / 84
 - 3.4.1 变压器的基本结构 / 84
 - 3.4.2 变压器的工作原理 / 85
 - 3.4.3 变压器的阻抗变换作用 / 87
 - 3.4.4 变压器的额定值、损耗和效率 / 88
 - 3.4.5 变压器绕组的同极性端 / 89
 - 3.4.6 特殊变压器 / 90
 - 3.4.7 三相变压器 / 92
 - 3.5 常用低压电器与电气符号 / 93
 - 3.5.1 刀开关和熔断器 / 93
 - 3.5.2 按钮和行程开关 / 94
 - 3.5.3 继电器 / 95
 - 3.5.4 交流接触器 / 98
 - 3.5.5 电磁阀 / 99
 - 3.6 电动机 / 100
 - 3.6.1 电动机的分类 / 100
 - 3.6.2 三相异步电动机 / 100
 - 3.6.3 其他电动机 / 107
 - 3.6.4 电动机的选择 / 109
- 本项目小结 / 111
习题 / 112

项目4 半导体器件 / 114

- 4.1 半导体二极管 / 114
 - 4.1.1 杂质半导体与PN结 / 114
 - 4.1.2 半导体二极管的结构和符号 / 115
 - 4.1.3 二极管的伏安特性及主要参数 / 116
 - 4.1.4 特殊二极管 / 119
- 4.2 双极型半导体三极管 / 120
 - 4.2.1 双极型三极管的类型和结构 / 120

- 4.2.2 双极型三极管的工作原理 / 122
 - 4.2.3 双极型三极管的伏安特性曲线 / 124
 - 4.2.4 双极型三极管的参数 / 127
 - 4.3 MOS管 / 128
 - 4.3.1 MOS管的类型和结构 / 129
 - 4.3.2 MOS的工作原理及特性曲线 / 130
 - 4.3.3 MOS管的参数 / 133
 - *4.4 晶闸管 / 135
 - 4.4.1 晶闸管的结构和电路符号 / 135
 - 4.4.2 晶闸管的工作原理和应用特点 / 136
- 本项目小结 / 137
习题 / 137

项目5 放大电路基础 / 139

- 5.1 放大电路概述 / 139
 - 5.1.1 放大的概念 / 139
 - 5.1.2 放大电路的组成和分类 / 140
 - 5.1.3 放大电路的分析方法 / 140
 - 5.1.4 放大电路的主要性能指标 / 141
- 5.2 双极型三极管基本放大电路 / 144
 - 5.2.1 单管共射放大电路的基本组成和工作原理 / 144
 - 5.2.2 放大电路的分析方法 / 149
 - 5.2.3 静态工作点稳定电路 / 152
 - 5.2.4 共集和共基放大电路 / 154
- *5.3 MOS管放大电路 / 156
 - 5.3.1 MOS管放大电路的偏置电路 / 156
 - 5.3.2 共漏和共源放大电路的动态分析 / 157
 - 5.3.3 共漏和共源MOS管放大电路的比较 / 160
- 5.4 功率放大器 / 161
 - 5.4.1 功率放大电路概述 / 161
 - 5.4.2 OCL互补对称功率放大电路 / 163
 - 5.4.3 OTL互补对称电路 / 167
 - 5.4.4 复合管互补对称电路 / 169
- 5.5 多级放大电路 / 172
 - 5.5.1 多级放大电路的耦合方式 / 172
 - 5.5.2 多级放大电路的分析 / 175
 - *5.5.3 多级放大电路中的频率响应 / 176

本项目小结 / 177

习题 / 178

项目 6 模拟集成电路及其应用 / 182

6.1 模拟集成电路概述 / 182

6.1.1 集成电路的特点和类型 / 182

6.1.2 集成运放的组成及其表示符号 / 184

6.1.3 集成运算放大器的分类 / 186

6.1.4 集成运算放大器的主要技术指标 / 187

6.1.5 集成运算放大器的选择及应用 / 190

6.1.6 理想集成运放及其工作特点 / 191

6.2 放大电路中的反馈 / 194

6.2.1 反馈的基本概念 / 194

6.2.2 反馈的类型与判别方法 / 195

6.2.3 负反馈对放大器性能的影响及稳定问题 / 198

6.3 模拟运算电路 / 202

6.3.1 比例运算电路 / 202

6.3.2 求和运算电路 / 206

6.3.3 积分和微分运算电路 / 208

*6.3.4 对数和反对数运算电路 / 211

6.4 集成运放的其他应用 / 212

6.4.1 有源滤波器 / 212

6.4.2 电压比较器 / 216

6.4.3 非正弦波信号产生电路 / 222

6.4.4 正弦波信号产生电路 / 223

6.5 几种专用集成电路介绍 / 226

6.5.1 集成模拟乘法器及其应用 / 226

6.5.2 集成功率放大器 / 227

本项目小结 / 229

习题 / 231

项目 7 直流电源 / 236

7.1 直流电源概述 / 236

7.2 单相桥式整流电路 / 238

7.2.1 电路组成及工作原理 / 238

7.2.2 整流电路的主要参数 / 239

7.3 滤波电路 / 241

7.3.1 电容滤波电路 / 241

7.3.2 其他滤波电路 / 243

7.4 三端集成稳压电路 / 245

7.4.1 三端固定式集成稳压器 / 245

7.4.2 三端可调集成稳压器 / 246

7.4.3 三端集成稳压器的使用注意事项 / 248

*7.5 可控整流电路 / 248

7.5.1 电路组成及工作原理 / 248

7.5.2 电路参数的估算 / 249

本项目小结 / 250

习题 / 251

项目 8 数字逻辑电路基础 / 254

8.1 数字电路概述 / 254

8.1.1 数字信号和数字电路 / 254

8.1.2 数字电路的分类和特点 / 255

8.2 数的进制和二进制代码 / 256

8.2.1 常用的数制 / 256

8.2.2 数制之间的转换 / 258

8.2.3 二进制代码 / 260

8.3 逻辑代数基础 / 263

8.3.1 逻辑变量及逻辑函数 / 263

8.3.2 三种基本逻辑运算 / 264

8.3.3 常用复合逻辑运算 / 267

8.3.4 逻辑函数的表示方法 / 268

8.3.5 逻辑运算中的公式和定律 / 272

8.4 逻辑函数的化简 / 276

8.4.1 逻辑函数化简的意义和最简的概念 / 276

8.4.2 逻辑函数的代数化简法 / 277

8.4.3 逻辑函数的卡诺图化简法 / 279

8.5 集成逻辑门电路 / 291

8.5.1 逻辑门电路的特点及其类型 / 291

8.5.2 三种基本逻辑门电路 / 291

8.5.3 TTL 集成逻辑门电路 / 294

8.5.4 CMOS 集成逻辑门电路 / 302

8.5.5 集成逻辑门电路的性能参数及应用 / 306

8.6 集成触发器 / 310

8.6.1 触发器的特点与类型 / 310

- 8.6.2 基本 RS 触发器 / 311
- 8.6.3 常见触发器的逻辑功能描述 / 314
- 8.6.4 触发器的电路结构和动作特点 / 316
- 8.6.5 集成触发器应用注意事项 / 323
- 本项目小结 / 324
- 习题 / 325

项目 9 数字集成电路及其应用 / 328

- 9.1 数字电路的分析与设计 / 328
 - 9.1.1 组合逻辑电路的分析与设计 / 329
 - 9.1.2 时序逻辑电路的分析 / 332
 - *9.1.3 数字逻辑电路的竞争冒险现象 / 338
- 9.2 常见中规模组合逻辑芯片及其应用 / 339
 - 9.2.1 集成编码器及其应用 / 339
 - 9.2.2 集成译码器及其应用 / 343
 - 9.2.3 集成数据选择器及其应用 / 349
- 9.3 中规模时序集成电路及其应用 / 353
 - 9.3.1 集成计数器及其应用 / 353
 - 9.3.2 寄存器及其应用 / 360
 - 9.3.3 集成 555 定时器及其应用 / 362
- 9.4 大规模数字集成电路 / 371
 - 9.4.1 数 / 模转换器 / 371
 - 9.4.2 模 / 数转换器 / 373
 - 9.4.3 半导体存储器 / 375
 - *9.4.4 可编程逻辑器件 / 379
- 本项目小结 / 380
- 习题 / 382

附录 A 各项目技能训练 / 386

- A.1 项目 1 技能训练 / 386
 - A.1.1 电压、电流的测量 / 386
 - A.1.2 叠加原理的验证 / 387
- A.2 项目 2 技能训练 / 387
 - A.2.1 日光灯电路的接线及功率因数的提高 / 387
 - A.2.2 三相正弦交流电路电压、电流、功率的测量 / 388
- A.3 项目 3 技能训练 / 389

- A.3.1 参观中小型变电所 / 389
- A.3.2 低压电器与电动机熟悉 / 390
- A.4 项目 4 技能训练 / 390
 - A.4.1 半导体二极管的检测和判别 / 390
 - A.4.2 半导体三极管的检测和判断 / 391
 - A.4.3 半导体场效应管的选择与判别 / 392
- A.5 项目 5 技能训练 / 393
 - A.5.1 阻容耦合单管放大电路的测量和调试 / 393
 - A.5.2 阻容耦合射极输出器的测量和调试 / 394
- A.6 项目 6 技能训练 / 395
 - A.6.1 集成运算放大器指标测试 / 395
 - A.6.2 集成运算放大器的应用 / 397
- A.7 项目 7 技能训练 / 397
 - A.7.1 直流稳压电源的制作和调试 / 397
 - A.7.2 验证晶闸管的导电特性 / 397
- A.8 项目 8 技能训练 / 398
 - A.8.1 照明灯的逻辑控制 / 398
 - A.8.2 触发器及其逻辑功能测试 / 398
- A.9 项目 9 技能训练 / 399
 - A.9.1 组合逻辑电路的设计与测试 / 399
 - A.9.2 数据选择器及其应用 / 399
 - A.9.3 计数器及其应用 / 399
 - A.9.4 移位寄存器及其应用 / 400
 - A.9.5 555 定时器及其应用 / 400
 - A.9.6 D / A、A / D 转换器及其应用 / 401
 - A.9.7 EPROM 的应用 / 401
 - A.9.8 GAL 的应用 / 402

附录 B 国产半导体集成电路型号命名法 (GB 3430—1982) / 403

- B.1 型号的组成 / 403
- B.2 实际器件举例 / 403

参考文献 / 405

项目 1 电路基础及直流电路

[学习目标要求]

1. 能力要求

- (1) 掌握使用直流仪表、万用表进行实验室电压电流测量方法。
- (2) 能够进行直流电路定理(如叠加原理)的实验室验证,并具有一定误差分析能力。

2. 知识要求

- (1) 了解电源、负载及中间环节在电路中的作用;了解电路三种基本工作状态和电气设备额定值的意义。
- (2) 理解电流、电压、电位、电动势及电功率的物理概念;理解电压源与电流源的外特性。
- (3) 掌握电路中节点、支路、回路的概念及支路电流法;掌握基尔霍夫电流定律、基尔霍夫电压定律、叠加原理、戴维南定理的意义及应用;掌握电位的计算;掌握电压源与电流源的等效变换。

[课时分配] 理论学时 8+技能训练 2

1.1 电路的组成及基本物理量

1.1.1 电路的组成与作用

电路是由各种电气器件按一定方式用导线连接组成的总体,它提供了电流通过的闭合路径。这些电气器件包括电源、开关、负载等。

电源是把其他形式的能量转换为电能的装置。例如,发电机将机械能转换为电能。负载是取用电能的装置,它把电能转换为其他形式的能量。例如,电动机将电能转换为机械能,电热炉将电能转换为热能,电灯将电能转换为光能。

导线和开关用来连接电源和负载,为电流提供通路,把电源的能量供给负载,并根据负载需要接通和断开电路。电路的功能和作用有两类:第一类功能是进行



能量的转换、传输和分配；第二类功能是进行信号的传递与处理。例如，扩音机的输入是由声音转换而来的电信号，通过晶体管组成的放大电路，输出的便是放大的电信号，从而实现了放大功能；电视机可将接收到的信号，经过处理，转换成图像和声音。

如图 1.1(a)所示就是一个简单的直流电路，把电池和灯泡经过开关用导线连接组成。图中电池在电路中为灯泡提供电能，称为电源；灯泡将电能转换为光能、热能等非电能，它是取用电能的设备，称为负载；开关和导线连接电源和负载，并需要根据需要控制电路的接通与断开，称为中间环节。

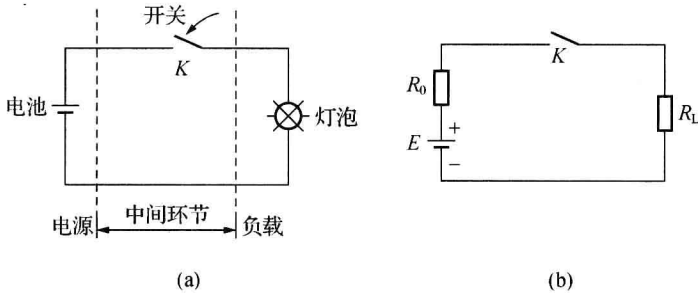


图 1.1 手电筒电路

(a)手电筒电路；(b)电路模型

1.1.2 理想电路元器件及电路模型

构成电路的常用元器件有电阻器、电容、电感、半导体器件、变压器、电动机、电池等。这些实际元器件的电磁特性往往十分复杂。例如，一个白炽灯通以电流时，除具有消耗电能即电阻性质外，还会产生磁场，具有电感性质，由于电感很小，可以忽略不计，于是可认为是一电阻元件。因此，为了分析复杂电路的工作特性，就必须进行科学抽象与概括，用一些理想电路元器件(或相应组合)来代表实际元器件的主要外部特性。这种元件是一种用数学关系描述实际器件基本物理规律的数学模型，我们称之为理想元件，简称元件。

这种用理想电路元器件来代替实际电路元器件构成的电路称为电路模型，简称电路。电路图则是用规定的元器件图形反映电路的结构。例如，手电筒电路的模型可由图 1.1(b)所示的电路图表示。

理想电路元器件在理想电路中是组成电路的基本元器件，元器件上电压与电流之间的关系又称为元器件的伏安特性，它反映了元器件的性质。

在实际电路中使用着各种电器、电子元器件，如电阻、电容、电感、灯泡、电池、晶体管、变压器等，它们在电磁方面有许多共同的地方。例如，电阻、灯泡、电炉等，它们的主要电磁性能是消耗电能，这样可用一个具有两个端钮的理想电阻 R 来表

示,它能反映消耗电能的特征,其模型符号如图 1.2(a)所示。在电路中常用电阻的倒数($1/R$),即电导 G 来描述电阻元件,它在国际单位制中的单位为西门子(S)。

类似地,各种实际电感主要是储存磁能,用一个理想的二端电感元件来反映储存磁能的特征,理想电感元件的模型符号如图 1.2(b)所示。各种实际的电容器主要是储存电场能,用一个理想的二端电容来反映储存电场能的特征,理想电容元件的模型符号如图 1.2(c)所示。理想电压源和理想电流源主要是对外供给不变电压和电流,其模型符号如图 1.2(d)和图 1.2(e)所示。

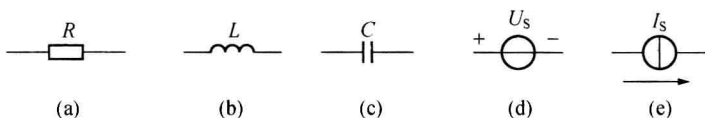


图 1.2 理想电路元件的图形与符号

(a)电阻;(b)电感;(c)电容;(d)电压源;(e)电流源

其他的实际电路部件都可类似地将其表示为应用条件下的模型,这里就不一一列举。但关于理想电路元件这里再强调一下:理想电路元件是具有某种确定的电磁性能的理想元件,理想电阻元件只消耗电能(既不储存电能,也不储存磁能);理想电容元件只储存电能(既不消耗电能,也不储存磁能);理想电感元件只储存磁能(既不消耗电能,也不储存电能)。理想电路元件是一种理想的模型并具有精确的数学定义,实际中并不存在。

【思考题】

1. 分别画出电炉丝、电动机绕组的理想电路元件符号。
2. 用类似手电筒的电路模型画出照明线路的电路模型图。

1.1.3 电路的主要物理量及相互关系

在电路分析中,常用的物理量有电流(I)、电压(U)、电位(V)、电动势(E)、电功率(P)、电能(W)等。

1. 电流及其参考方向

电流是由电荷的定向移动而形成的,可通过它的各种效应(如磁效应、热效应)来感知它的客观存在。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 $i(t)$ 表示,即

$$i(t) = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

式中, q 为通过导体横截面的电荷量,若电流强度不随时间而变,即 $\frac{dq}{dt}$ 为常数,这种电流是直流电流,常用大写字母 I 表示。



在法定计量单位中,电流强度的单位是安培(A),简称安。有时也用千安(kA)、毫安(mA)或微安(μA), $1\text{ kA}=10^3\text{ A}$, $1\text{ A}=10^3\text{ mA}=10^6\mu\text{A}$ 。

电流不仅有大小,而且还有方向,习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的实际方向。由于电流的实际方向难以判断、不断改变,为分析方便引入“电流的参考正方向”概念。可任意选定一方向作参考,称为参考方向(或正方向),在电路图中用箭头表示,也可用字母带双下标表示,如 I_{ab} 表示参考方向从a指向b,如图1.3所示。并规定:当电流的参考方向与实际方向一致时,电流取正值, $I>0$,如图1.3(a)所示;当电流的参考方向与实际方向不一致即相反时,电流取负值, $I<0$,如图1.3(b)所示。这样,在电路计算时,只要选定了参考方向,并算出电流值,就可根据其值的正负来判断其实际方向了。



图 1.3 电流参考方向与实际方向的关系

(a) $I>0$; (b) $I<0$

2. 电压及其参考方向

为衡量电路元器件吸收或发出电能的情况,在电路分析中引入了电压这一物理量。从电场力做功概念定义,电压就是将单位正电荷从电路中一点移至另一点电场力做功的大小。其数学表达式为

$$U_{ab} = \frac{dW}{dq} = V_a - V_b \quad (1-2)$$

式中, V_a 、 V_b 分别表示a、b点的电位; U_{ab} 则表示a、b点间的电位之差。电压总是与电路中两点相联系的。

在法定计量单位中,电压的单位是伏特(V),简称伏。有时也用千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μV)作单位, $1\text{ kV}=10^3\text{ V}$, $1\text{ V}=10^3\text{ mV}=10^6\mu\text{V}$ 。

电路中电压的实际方向规定为从高电位指向低电位,即由“+”极指向“-”极,因此,在电压的方向上电位是逐渐降低的。但在复杂的电路里,电压的实际方向不易判别或分时间段交替改变,需要对电路两点间电压假设其方向。在电路图中,常标以“+”、“-”号表示电压的正、负性或参考方向。在图1.4(a)中,a点标以“+”,极性为正,称为高电压;b点标以“-”,极性为负,称为低电位。一旦选定了电压参考方向后,若 $U>0$,则表示电压的真实方向与选定的参考方向一致;反之则相反,如图1.4(b)所示。也有的用带有双下标的字母表示,如电压 U_{ab} ,表示该电压的参考方向为从a点指向b点。这种选定也具有任意性,并不能确定真实的物理过程。

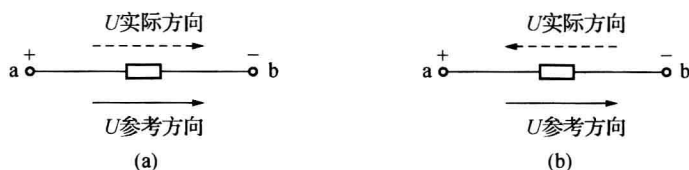


图 1.4 电压参考方向与实际方向的关系

(a) $U > 0$; (b) $U < 0$

电路中电流的正方向和电压的正方向在选定时都有任意性,二者彼此独立。但是,为了分析电路方便,常把元件上的电流与电压的正方向取为一致,称为关联参考方向,如图 1.5(a)所示;不一致时称为非关联参考方向,如图 1.5(b)所示。我们约定,除电源元件外,所有元件上的电流和电压都采用关联参考方向。



图 1.5 电压和电流的关联、非关联参考方向

(a) 关联参考方向; (b) 非关联参考方向

3. 电位

从物理学中我们知道,将单位正电荷从某一点 a 沿任意路径移动到参考点,电场力做功的大小称为 a 点的电位,记为 V_a 。所以为了求出各点的电位,必须选定电路中的某一点作为参考点,并规定参考点的电位为零,则电路中的任一点与参考点之间的电压(即电位差)就是该点的电位, $U_{ad} = V_a - V_d$ 。

电力系统中,常选大地为参考点;在电子线路中,则常选机壳电路的公共线为参考点。线路图中都用符号“⊥”表示,简称“接地”。图 1.6(a)所示电路,是利用电位的概念,简化成图 1.6(b)所示。在电子线路中,常使用这种习惯画法。

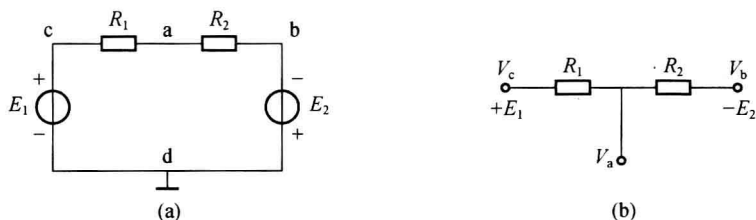


图 1.6 双电源电路及简化画法

(a) 双电源电路; (b) 简化画法



计算电位的方法和步骤如下：

(1) 选择一个零电位点，即参考点。

(2) 标出电源和负载的极性。按 E 的方向是由负极指向正极的原则，标出电源的正负极性，设电流方向，将电流流入端标为正极，流出端为负。

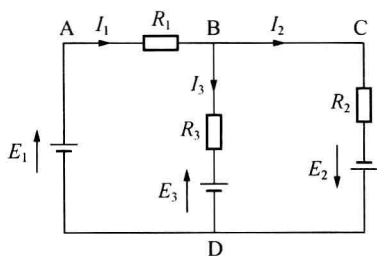


图 1.7 普通电路

(3) 求点 A 的电位时，选定一条从点 A 到零电位点的路径，从点 A 出发沿此路径“走”到零电位点，不论经过的是电源，还是负载，只要是从正极到负极，就取该电位降为正，反之就取负值，然后求代数和。

以图 1.7 电路为例，点 D 是参考点，各电源的极性和 I 的方向如图所示，求点 A 的电位时有三条路径

沿 AE_1D 路径： $V_A = E_1$

沿 ABD 路径： $V_A = I_1 R_1 + I_3 R_3 + E_3$

沿 $ABCD$ 路径： $V_A = I_1 R_1 + I_2 R_2 - E_2$

显然，沿 AE_1D 路径计算点 A 电位最简单，但三种计算方法的结果是完全相同的。

【例 1-1】 电路如图 1.8 所示，已知： $R_1 = 10 \Omega$ ， $R_2 = 20 \Omega$ ， $R_3 = 30 \Omega$ ，试分别求图 1.8(a)和图 1.8(b)中 a、b、c、d 各点的电位 V_a 、 V_b 、 V_c 、 V_d 。

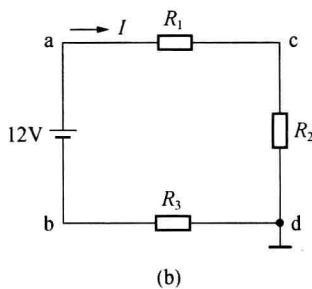
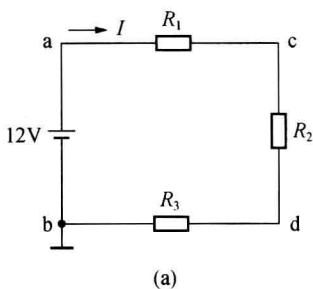


图 1.8 例 1-1 电路图

解：(1) 求图 1.8(a)中各点的电位。

图中已给定的参考电位点在 b 点，故 $V_b = 0 \text{ V}$ ， $V_a = 12 \text{ V}$ 。由欧姆定律知电路中电流 I 的大小为

$$I = \frac{E}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{12}{10 + 20 + 30} = 0.2 \text{ (A)}$$

则 $U_{ac} = IR_1 = 0.2 \times 10 = 2 \text{ (V)}$ ， $U_{ad} = I(R_1 + R_2) = 0.2 \times (10 + 20) = 6 \text{ (V)}$

因为 $U_{ac} = V_a - V_c$ ， $U_{ad} = V_a - V_d$

所以 $V_c = V_a - U_{ac} = 10 \text{ V}$ ， $V_d = V_a - U_{ad} = 6 \text{ V}$

(2) 求图 1.8(b)中各点的电位。

图中已给定的参考电位原点在 d 点,故 $V_d=0\text{ V}$, 电路中电流 I 的大小与图 1.8(a)相同。

$$\text{则 } U_{ad}=I(R_1+R_2)=0.2\times(10+20)=6\text{ (V)}$$

$$U_{cd}=IR_2=0.2\times 20=4\text{ (V)}, U_{bd}=-IR_3=-0.2\times 30=-6\text{ (V)}$$

$$\text{所以 } V_a=6\text{ V}, V_b=-6\text{ V}, V_c=4\text{ V}$$

由此可以看出:尽管电路中各点的电位与参考电位点的选取有关,但任意两点间的电压值(即电位差)是不变的。所以电位的高低是相对的,而两点间的电压值是绝对的。

4. 电动势

在电源内部有一种局外力(非静电力),将正电荷由低电位处沿电源内部移向高电位处(如电池中的局外力是由电解液和金属极板间的化学作用产生的)。由于局外力而使电源两端具有的电位差称为电动势,并规定电动势的实际方向是由低电位端指向高电位端。把电位高的一端叫正极,电位低的一端叫负极,则电动势的实际方向规定在电源内部从负极到正极,如图 1.9(a)所示。因此,在电动势的方向上电位是逐点升高的。电动势在数值上等于局外力把正电荷从负极板搬运到正极板所做的功 W_{ba} 与被搬运的电荷量 Q 的比值,用 E 表示,即

$$E = \frac{W_{ba}}{Q} \quad (1-3)$$

电动势的单位也用伏特 V 表示。

由于电动势 E 两端的电压值为恒定值,且不论电流的大小和方向如何,其电位差总是不变,故用一恒压源 U_S 的电路模型代替电动势 E ,如图 1.9(b)所示。在分析电路时,电路中电压参考方向不同时,其数值也不同。当选取的电压参考方向与恒压源的极性一致时, $U=U_S$,如图 1.9(c)所示;相反时, $U=-U_S$,如图 1.9(d)所示。且与电路中的电流无关。

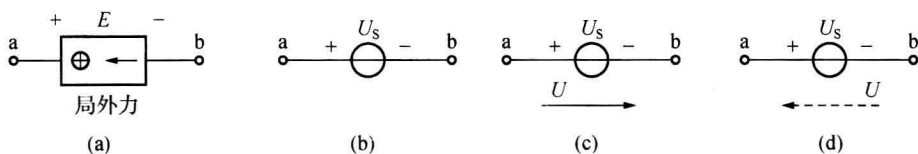


图 1.9 电动势(恒压源)的符号及不同电压参考方向
(a) E 的实际方向;(b) E 的等效电路;(c) $U=U_S$;(d) $U=-U_S$

5. 电功率

在直流电路中,根据电压的定义,电场力所做的功是 $W=QU$ 。把单位时间内电场力所做的功称为电功率,则有 $P=\frac{QU}{t}=UI$



在法定计量单位中功率的单位是瓦(W),也常用千瓦(kW)、毫瓦(mW)。
 $1\text{ W}=10^3\text{ mW}$ 。

在电源内部,外力做功,正电荷由低电位移向高电位,电流逆着电场方向流动,将其他能量转变为电能,其电功率为 $P=EI$ 。

对于电路中任意一个元器件,总存在着吸收功率还是发出功率的问题。判断某一元器件是属于电源(发出能量)还是负载(吸收能量)的方法如下:

(1) 当电流与电压取关联参考方向时,假定该元器件吸收功率,功率表达式为

$$P = UI \quad (1-4)$$

(2) 当电流与电压取非关联参考方向时,假定该元器件吸收功率,功率表达式为

$$P = -UI \quad (1-5)$$

根据 P 的正负值,即可判断。

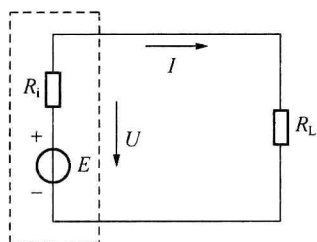


图 1.10 例 1-2 图

【例 1-2】 如图 1.10 所示,已知恒压源 $E=24\text{ V}$,电源输出电压 $U=22\text{ V}$,电流 $I=5\text{ A}$,求 P_E 、 P_{R_L} 、 P_i 和 U_i 的大小并说明功能平衡关系。

解: $P_E = EI = 24 \times 5 = 120\text{ (W)}$

$$P_{R_L} = UI = 22 \times 5 = 110\text{ (W)}$$

$$U_i = E - U = 24 - 22 = 2\text{ (V)}$$

$$P_i = U_i I = 2 \times 5 = 10\text{ (W)}$$

$$P_E - P_{R_L} = P_i$$

即电源供给的能量等于负载消耗与内部损耗之和。

【例 1-3】 计算图 1.11 所示各元器件的功率,并指出是发出功率还是吸收功率。

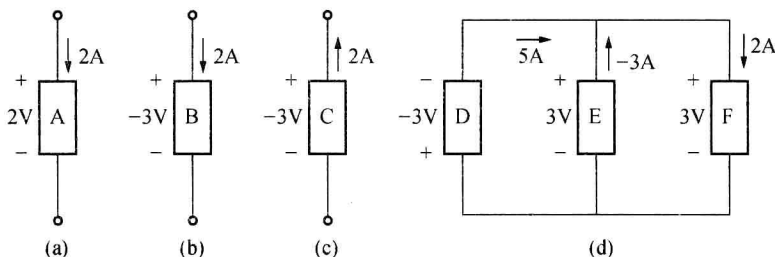


图 1.11 例 1-3 图

解:图 1.11(a):电压与电流为关联参考方向,由 $P=UI$,得

$$P_A = 2 \times 2 = 4\text{ (W)}, P > 0 \text{ 吸收功率}$$

图 1.11(b):电压与电流为关联参考方向,由 $P=UI$,得

$$P_B = -(3 \times 2) = -6\text{ (W)}, P < 0 \text{ 发出功率}$$

图 1.11(c):电压与电流为非关联参考方向,由 $P=-UI$,得

$$P_C = -[(-3) \times 2] = 6\text{ (W)}, P > 0 \text{ 吸收功率}$$