

新世纪高职高专课程与实训系列教材

电工电子技术 教程与实训

刘国林 主编

课程

与

实训



清华大学出版社

新世纪高职高专课程与实训系列教材

电工电子技术教程与实训

刘国林 主编

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是在参照教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会 2004 年 8 月修订的“电工学教学基本要求”,并结合高职高专非电类专业适应社会需要和培养高级应用型技术人才的教育目标的基础上编写。

本书分 18 章,内容包括直流电路、正弦交流电路、三相交流电路、暂态电路、半导体器件、基本放大电路、集成运算放大电路、功率电子电路、组合逻辑电路、时序逻辑电路、模拟量与数字量相互转换、变压器、电动机、电气控制技术、计算机控制技术、低压配电系统、测试技术、技能实训等。每章选用的例题和习题大部分来自工程实际,使读者在做题的过程中,对电工电子技术在其他学科方面的应用亦有一个初步了解。

本书力求概念准确、内容新颖、深入浅出、语言流畅、可读性强,既注重基本原理必要的讲解,又力求突出工程上的实用性。

本书既可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校非电类学生的教材,也可作为工程技术人员自学及备考注册电气工程师执业资格考试的辅导书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术教程与实训/刘国林主编. —北京:清华大学出版社, 2006.11

(新世纪高职高专课程与实训系列教材)

ISBN 7-302-13991-1

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 121564 号

出版者:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦
http://www.tup.com.cn 邮 编:100084
社总机:010-62770175 客户服务:010-62776969



组稿编辑:黄 飞

文稿编辑:闫光龙

排版人员:朱 康 阚道燕

印刷者:清华大学印刷厂

装订者:三河市春园印刷有限公司

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:24.5 字数:503 千字

版 次:2006 年 11 月第 1 版 2006 年 11 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-13991-1/TN·364

印 数:1~4000

定 价:35.00 元

前 言

本书是在参照教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会 2004 年 8 月修订的“电工学教学基本要求”，并结合高职高专非电类专业适应社会需要和培养高级应用型人才的教育目标的基础上编写。作者在满足课程教学基本要求的前提下，精选经典内容，适当增加国际上现行工程中广泛采用的新技术、新工艺、新产品等方面的内容，强调电气设备和工程安全，力求使本书成为适应工程教育需要并与国际接轨的电工电子技术教程与实训教材。

本书主要特色：

1. **精选内容。**介绍电工电子技术的基本概念、基本理论、基本分析和计算方法。在阐明物理概念和基本定律的前提下，采用工程近似方法进行计算，略去一些不必要的数学推导。

2. **推陈出新。**本书所讲述的内容，大多是近十年来国内外工程中广泛采用的新技术、新工艺、新材料和新设备等，力图反映 20 世纪 90 年代以来国内外工程界与学术界在电工电子技术方面所取得的最新成果，保持与世界电工电子技术的发展同步。

3. **强调安全。**本书按照现行的国家标准规范和国际电工委员会(IEC)有关标准，强调电工、电子设备和工程建设要以人为本，在工程设计、制造和施工中，应保证人身安全。

4. **突出应用。**本书所选实训，大部分来自工程实际。这有助于读者阅读电工电子线路图，设计电工电子方案，绘制电工电子施工图，查阅电工产品手册(资料)，掌握按照不同材料的性能指标和施工工艺进行施工的方法，熟练使用测试仪器仪表，提高学生实际工作的基本技能。

5. **学习基本理论与标准相结合。**标准是衡量事物的准则。本书采用国际通用的图形符号、名词和术语体系。力求把现行的国家标准规范和 IEC 有关标准有机地结合到相应章节之中，帮助学生在基本理论的同时，了解电工、电子领域的标准及应用，学会查阅这些标准，为继续学习与本专业有关的工程技术、从事与本专业有关的科学研究等打下一定的基础。

6. **以学生为中心。**本书有配套多媒体教案，内容丰富、直观生动，把教师从技术基础课呆板的课堂教学中解放出来，帮助学生理解、消化理论知识，激发学生的学习积极性与创新意识。通过多媒体教学及实训，使师生有机地结合，做到教学互动，给技术基础课的教学注入新的活力。

本书适用于“电工电子技术(电工学)”课程 64~80 学时的讲课。由于各专业对电工电子技术的要求不一，为了使本书具有灵活性，将本书内容分为三类：

(1) **基本内容。**为教学基本要求所规定的内容。基本教学计划为 48 学时。

(2) **非共同性基本内容**(标以“△”号)。视学时的多少和学生的实际情况由教师选讲。

(3) **参考内容**(标以“*”号)。一般指加深加宽内容，可在教师指导下让学生通过自

学掌握，不必全在课堂讲授。

本书由多年从事电工电子技术教学的教师集体讨论编写大纲，征求了科研院所、设计院和企业工程技术人员的意见，吸取了相关教材好的经验编写而成。参加编写的人员有刘国林、韩大国、蒋中等。本书由刘国林负责定稿。参加文字录入和部分绘图的有汪瑞玲、汪芮、刘国新、刘祥宇、汪运、汪毅、许先芝、王玉梅等。

在实际教学过程中，为了实现与读者的及时交流、沟通和对内容进行及时更新，我们将建立“电工电子技术”的教学配套网站，读者可以在上面看到关于本书的更新内容以及工程实例。由于我们的水平有限，书中不妥之处在所难免，殷切期望使用本书的师生和其他读者给予批评指正。

编著者

目 录

第1章 直流电路1	
1.1 电路的基本概念.....1	
1.1.1 电路的组成及作用.....1	
1.1.2 电路的基本物理量.....2	
思考题.....5	
1.2 电源及其等效变换.....6	
1.2.1 电压源.....6	
1.2.2 电流源.....6	
1.2.3 实际电源两种模型的 等效变换.....7	
1.2.4 电路的基本状态.....8	
思考题.....9	
1.3 基尔霍夫定律.....10	
1.3.1 基尔霍夫电流定律.....10	
1.3.2 基尔霍夫电压定律.....12	
思考题.....14	
1.4 支路电流法.....14	
思考题.....15	
1.5 叠加定理.....15	
思考题.....17	
1.6 戴维南定理.....17	
思考题.....20	
1.7 习题.....20	
第2章 正弦交流电路26	
2.1 正弦交流电的基本概念.....26	
2.1.1 正弦交流电的角频率.....26	
2.1.2 正弦交流电的初相位.....27	
2.1.3 正弦交流电的有效值.....27	
思考题.....29	
2.2 正弦量的相量表示法.....29	
思考题.....31	
2.3 单一参数的正弦交流电路.....32	
2.3.1 电阻电路.....32	
2.3.2 电感电路.....34	
2.3.3 电容电路.....36	
思考题.....39	
2.4 正弦交流电路的计算.....40	
思考题.....42	
2.5 交流电路的功率.....43	
2.5.1 交流电路的瞬时功率.....43	
2.5.2 交流电路的有功功率、 无功功率与视在功率.....44	
2.5.3 交流电路的功率因数的提高.....45	
思考题.....47	
2.6 RLC 电路谐振.....47	
2.6.1 串联谐振.....47	
2.6.2 并联谐振.....49	
思考题.....50	
2.7 非正弦周期信号电路.....51	
2.7.1 谐波分析的基本方法.....51	
2.7.2 非正弦周期量的最大值、 平均值和有效值.....51	
2.7.3 非正弦周期信号线性电路 计算.....53	
思考题.....54	
2.8 习题.....54	
第3章 三相交流电路58	
3.1 三相电源.....58	
思考题.....60	
3.2 三相电路的计算.....60	
3.2.1 三相负载的星形连接.....60	
3.2.2 三相负载的三角形连接.....63	
思考题.....64	
3.3 三相功率.....65	
思考题.....66	
3.4 习题.....67	

第4章 暂态电路69	6.1.2 电路的静态分析.....97
4.1 电路换路的基本概念.....69	6.1.3 电路的动态分析.....99
思考题.....71	6.1.4 静态工作点的稳定.....106
4.2 RC 串联电路的暂态分析.....71	思考题.....107
思考题.....73	6.2 共集电极放大电路.....108
4.3 RL 串联电路的暂态分析.....74	6.2.1 电路的基本结构.....108
思考题.....75	6.2.2 电路的静态分析.....109
4.4 习题.....76	6.2.3 电路的动态分析.....109
第5章 半导体器件78	思考题.....111
5.1 二极管.....78	6.3 多级放大电路.....111
5.1.1 PN 结及其单向导电性.....78	6.3.1 电路耦合方式.....111
5.1.2 二极管的特性和主要参数.....79	6.3.2 电路分析.....111
5.1.3 稳压二极管.....81	思考题.....112
思考题.....82	6.4 差分放大电路.....113
5.2 双极型晶体管.....83	6.4.1 电路的基本结构.....113
5.2.1 双极型晶体管的基本结构.....83	6.4.2 电路分析.....113
5.2.2 双极型晶体管的工作原理.....83	思考题.....115
5.2.3 双极型晶体管的特性和 主要参数.....84	6.5 习题.....115
思考题.....87	第7章 集成运算放大电路119
5.3 场效应晶体管.....88	7.1 运算放大器的基本概念.....119
5.3.1 场效应晶体管的基本结构.....88	7.1.1 运算放大器的组成.....119
5.3.2 场效应晶体管的 基本工作原理.....89	7.1.2 运算放大器的 主要技术参数.....121
5.3.3 场效应晶体管的特性和 主要参数.....89	7.1.3 电压传输特性.....121
5.3.4 简化的小信号模型.....91	7.1.4 运算放大器分析.....122
思考题.....91	7.1.5 使用运算放大器应注意的 几个问题.....124
5.4 光电器件.....92	思考题.....124
5.4.1 发光二极管.....92	7.2 放大电路反馈.....124
5.4.2 光电三极管.....93	7.2.1 反馈的基本概念.....124
思考题.....93	7.2.2 反馈的判断.....125
5.5 习题.....93	7.2.3 负反馈对放大电路性能的 改善.....127
第6章 基本放大电路96	思考题.....128
6.1 共发射极放大电路.....96	7.3 基本运算电路.....128
6.1.1 电路的基本结构.....96	7.3.1 比例运算.....129
	7.3.2 加法运算.....132

7.3.3 减法运算.....	133	9.2 组合逻辑电路的分析.....	173
7.3.4 积分运算.....	135	9.2.1 逻辑代数及其运算法则	173
7.3.5 微分运算.....	136	9.2.2 组合逻辑电路的分析	175
思考题.....	136	思考题	176
7.4 电压比较器.....	137	9.3 加法器.....	177
思考题.....	139	9.3.1 数制	177
7.5 正弦波振荡电路.....	139	9.3.2 半加器	178
7.5.1 自激振荡.....	139	9.3.3 全加器	179
7.5.2 RC 正弦波振荡电路	140	思考题	180
思考题.....	141	9.4 编码器.....	181
7.6 习题.....	141	9.4.1 编码	181
第 8 章 功率电子电路	146	9.4.2 编码器	181
8.1 低频功率放大电路.....	146	思考题	181
8.1.1 低频功率放大电路概述.....	146	9.5 译码器和数字显示.....	182
8.1.2 基本功率放大电路.....	147	9.5.1 二进制译码器	182
8.1.3 集成功率放大器.....	149	9.5.2 数字显示	183
思考题.....	150	思考题	185
8.2 直流稳压电源.....	150	9.6 习题.....	186
8.2.1 整流电路.....	150	第 10 章 时序逻辑电路	190
8.2.2 滤波器.....	152	10.1 触发器.....	190
8.2.3 直流稳压电源.....	154	10.1.1 RS 触发器.....	190
思考题.....	157	10.1.2 JK 触发器	193
8.3 电力电子技术.....	157	10.1.3 D 触发器.....	197
8.3.1 普通晶闸管.....	157	思考题	199
8.3.2 双向晶闸管.....	159	10.2 寄存器.....	199
8.3.3 可关断晶闸管.....	160	10.2.1 数码寄存器	199
8.3.4 可控整流电路.....	160	10.2.2 移位寄存器	200
8.3.5 绝缘栅双极型晶体管.....	161	思考题	201
思考题.....	162	10.3 计数器.....	201
8.4 习题.....	162	思考题	203
第 9 章 组合逻辑电路	165	10.4 定时器及其应用.....	203
9.1 门电路.....	165	10.4.1 555 定时器	203
9.1.1 基本门电路.....	165	10.4.2 单稳态触发器	205
9.1.2 复合门电路.....	169	10.4.3 多谐振荡器	206
9.1.3 门电路接口.....	173	思考题	208
思考题.....	173	10.5 习题.....	208

第 11 章 模拟量与数字量相互转换211	
11.1 数模转换器.....211	
11.1.1 电阻网络 D/A 转换器.....211	
11.1.2 D/A 转换器的 主要技术指标.....213	
11.2 A/D 转换器.....214	
11.2.1 逐次逼近型 A/D 转换器.....214	
11.2.2 A/D 转换器的 主要技术指标.....217	
11.3 习题.....217	
第 12 章 变压器218	
12.1 磁路.....218	
12.1.1 铁磁材料的磁性能.....218	
12.1.2 磁路分析.....220	
思考题.....222	
12.2 变压器.....222	
12.2.1 变压器的基本结构.....222	
12.2.2 变压器的工作原理.....223	
12.2.3 变压器特性.....226	
12.2.4 三相变压器.....228	
12.2.5 变压器技术参数.....229	
思考题.....232	
12.3 特殊变压器.....232	
12.3.1 仪表用互感器.....232	
12.3.2 自耦变压器.....234	
思考题.....234	
12.4 习题.....235	
第 13 章 电动机237	
13.1 三相异步电动机.....237	
13.1.1 三相异步电动机的 工作原理.....237	
13.1.2 三相异步电动机的特性.....242	
13.1.3 三相异步电动机的 技术参数.....245	
思考题.....247	
13.2 三相异步电动机的使用.....247	
13.2.1 异步电动机的启动247	
13.2.2 异步电动机的调速249	
13.2.3 电动机的制动252	
思考题253	
13.3 单相异步电动机.....254	
13.3.1 电容电动机254	
13.3.2 罩极电动机255	
思考题255	
13.4 习题.....255	
第 14 章 电气控制技术257	
14.1 常用低压电器.....257	
14.1.1 低压电器概述257	
14.1.2 熔断器258	
14.1.3 断路器259	
14.1.4 按钮262	
14.1.5 接触器263	
14.1.6 热继电器264	
14.1.7 行程开关265	
14.1.8 时间继电器266	
思考题267	
14.2 电气自动控制线路.....267	
14.2.1 直接启动的控制线路268	
14.2.2 正反转控制线路270	
14.2.3 顺序控制线路271	
14.2.4 行程控制电路271	
14.2.5 时间控制电路272	
14.2.6 两地控制线路272	
14.2.7 电气控制回路应注意的 问题274	
思考题275	
14.3 习题.....275	
第 15 章 计算机控制技术278	
15.1 数据通信基础.....278	
15.1.1 数据编码278	
15.1.2 数据传输279	
15.1.3 数据通信279	

15.1.4 数据的发送与接收.....	280	16.3 电气工程图识读.....	306
15.1.5 通信接口.....	280	16.3.1 阅读电气工程图的 基本知识.....	306
思考题.....	281	16.3.2 建筑电气工程图.....	307
15.2 计算机网络.....	281	16.3.3 动力工程图.....	311
15.2.1 网络的基本概念.....	281	思考题.....	314
15.2.2 通信网络协议.....	283	16.4 习题.....	314
15.2.3 网络连接.....	286	第 17 章 测试技术	316
15.2.4 局域网.....	287	17.1 测量基础.....	316
思考题.....	288	17.1.1 测量误差.....	316
15.3 现场总线系统.....	289	17.1.2 测量结果的处理.....	317
15.3.1 局部操作网络.....	289	思考题.....	319
15.3.2 控制器区域网络.....	290	17.2 基本电量测量.....	320
思考题.....	291	17.2.1 常用电工测量仪表的分类.....	320
15.4 Modbus 协议.....	291	17.2.2 基本电量测量.....	321
15.4.1 传输方式.....	291	思考题.....	324
15.4.2 RTU 帧结构.....	292	17.3 非电量测试.....	324
15.4.3 循环冗余位校验.....	292	17.3.1 非电量测试系统的组成.....	324
15.4.4 Modbus 协议应用.....	292	17.3.2 被测信号获取.....	325
思考题.....	293	17.3.3 信号处理.....	328
15.5 可编程控制器.....	294	17.3.4 信号输出.....	332
15.5.1 可编程控制器概述.....	294	思考题.....	332
15.5.2 可编程控制器的工作原理.....	295	17.4 习题.....	332
思考题.....	298	第 18 章 技能实训	335
15.6 习题.....	299	实训须知.....	335
第 16 章 低压配电系统	300	实训 1 基尔霍夫定律.....	336
16.1 低压配电系统.....	300	实训 2 戴维南定理.....	339
16.1.1 低压配电方式.....	300	实训 3 日光灯电路及功率因数的 改进.....	341
16.1.2 配电箱(柜).....	301	实训 4 三相电路的负载连接及 功率测量.....	342
16.1.3 低压线路敷设方式.....	302	实训 5 二极管和三极管测试.....	344
思考题.....	303	实训 6 基本放大电路.....	347
16.2 低压配电安全.....	303	实训 7 集成运算放大电路.....	349
16.2.1 电流对人体的危害.....	303	实训 8 直流稳压电源.....	353
16.2.2 触电方式.....	303	实训 9 组合逻辑电路.....	356
16.2.3 接地.....	304		
16.2.4 防雷.....	305		
16.2.5 防静电.....	305		
思考题.....	306		

实训 10 时序逻辑电路.....	360	附录 C 运算放大器主要技术指标	369
实训 11 单相变压器特性检测.....	362	附录 D 常用的基本文字符号	370
实训 12 三相异步电动机启动控制.....	364	附录 E 安装方法的标注.....	371
附录 A 半导体分立器件型号 命名方法	367	附录 F 部分习题答案	372
附录 B 半导体集成电路型号 命名方法	368	主要参考文献.....	377

第1章 直流电路

本章是在物理学的基础上,从工程技术的角度出发,以直流电路为分析对象,着重讨论电路的基本概念、基本定律以及电路的分析和计算方法。这些内容稍加扩展后即可适用于交流电路及其他线性电路。

通过本章的学习,要理解电路模型和理想电路元件(电压源和电流源)的电压-电流关系,理解电压、电流参考方向的意义;掌握基尔霍夫定律、叠加定理和戴维南定理;了解电源的两种模型及其等效变换、支路电流法以及电功率和额定值的意义。

1.1 电路的基本概念

1.1.1 电路的组成及作用

电路(electric circuit),简单地说就是电流流通的路径。它是由某些电气设备和元器件为实现能量的输送和转换,或实现信号的传递和处理而按一定方式组合起来的总体。

1. 电路模型

在日常生活中使用的手电筒是由于电池、灯泡、导线和开关等组成的,如图 1.1.1(a)所示。

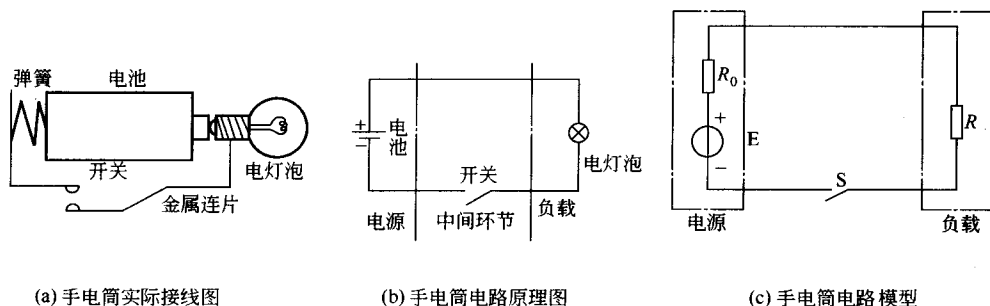


图 1.1.1 手电筒电路

电源(如干电池等)是将非电能转换为电能的设备;负载(如灯泡等)是将电能转换成非电能的设备和元件;开关是接通或断开电路,起控制电路作用的元件;导线负责把电源与负载连接起来。一个完整的电路是由电源(或信号源)、负载和中间环节(开关、导线等)三个基本部分组成的。

在实际应用中,通常用电路图来表示电路。在电路图中,各种电器元件都不需要画出原有的形状,而是采用统一规定的图形符号来表示。图 1.1.1(b)就是图 1.1.1(a)所示手电筒的电路原理图。常用理想元件构成的电路作为实际电路的“电路模型”,如图 1.1.1(c)所示。在进行理论分析时所指的电路,就是这种电路模型。在电路中随着电流的流动,进行着不同形式能量之间的转换。

2. 电路的作用

电路按其功能可分为两类：一类是电力电路，它主要起实现电能的传输和转换的作用，因此，在传输和转换过程中，要求尽量减少能量损耗以提高效率。另一类是信号电路，其主要作用是传输和处理信号等(例如语言、图像、温度等)。在这种电路中，一般要求信号传递和处理速度快而且不失真等。

1.1.2 电路的基本物理量

电路的基本物理量有电流和电压(电动势)，复合物理量有电功率和电能等。

1. 电流

电路中带电粒子在电源作用下的有规则移动形成电流。金属导体中的带电粒子是自由电子，半导体中的带电粒子是自由电子和空穴，电解液中的带电粒子是正、负离子，因此电流既可以是负电荷，也可以是正电荷或者两者兼有的定向运动的结果。习惯上规定正电荷移动的方向为电流的实际方向。

电荷[量]对时间的变化率称为电流，即

$$i = dq / dt \quad (1.1.1)$$

式中，电荷 q 的单位为库[仑](C)^①，时间 t 的单位为秒(s)；电流 i 的单位为安[培](A)。

如果电流的大小和方向都不随时间变化，则称为直流电流(direct current, DC)，用大写字母 I 表示。如果电流的大小和方向都随时间变化，则称为交流电流(alternating current, AC)，用小写字母 i 表示。

在分析计算电路时，为了列写与电流有关的表达式，必须预先假定电流的方向，称为电流的参考方向(也称为正方向)，如图 1.1.2 所示。根据所假定的电流参考方向列写电路方程求解后，如果电流为正值，则表示电流的实际方向和参考方向相同；如果电流为负值，则表示电流的实际方向和参考方向相反。交流电流的实际方向是随时间变化的，因此当电流的参考方向确定后，如果在某一时刻电流为正值，即表示在该时刻电流的实际方向和参考方向相同；如为负值，则相反。

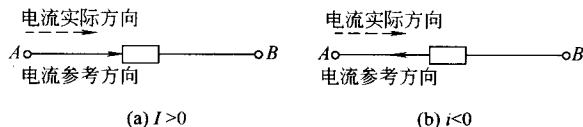


图 1.1.2 电流的参考方向与实际方向的关系

2. 电压

图 1.1.3 是由电池和白炽灯组成的一个简单电路。电池具有电动势 E 。电动势是描述电源中非电场力对电荷做功的物理量，它在数值上等于非电场力在电源内部将单位正电荷从负极移至正极所作的功，单位为伏[特](V)。图 1.1.3 电路中，在电动势 E 的作用下，白

① 方括号中的字，在不致引起混淆、误解的情况下，可以省略。圆括号中是单位的符号。

炽灯两端得到电压 U_{ab} ，并有电流 I 流过。

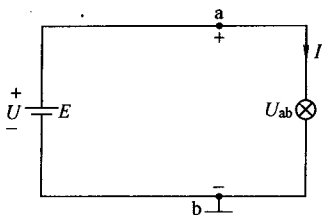


图 1.1.3 电动势、电压和电流的关系

电压是描述电场力对电荷做功的物理量。 a 、 b 两点之间的电压 U_{ab} 就是 a 、 b 两点的电位差，它在数值上等于电场力驱使单位正电荷从 a 点移至 b 点所作的功。 a 点(或 b 点)的电位 V_a (或 V_b) 在数值上等于电场力驱使单位正电荷从 a 点(或 b 点)移至零电位点所作的功。零电位点又称参考点，可以任意设定。在电气工程中，常将电气设备的机壳与大地相连，称为保护接地，接地点用符号“ $\perp$ ”表示。在电子电路中，一般都有一公共点与机壳或底板相连，用符号“ $\perp$ ”表示。在图 1.1.3 中设 b 为参考点(即 $V_b = 0$)，故 a 点的电位 V_a 就等于 a 、 b 间的电压 U_{ab} ，即 $U_{ab} = V_a - V_b = V_a$ 。因此如要知道某一点的电位，只要计算该点到参考点的电压就可得到。电压和电位的单位都是伏[特](V)。

电压是由于两点间电位的高低差别而形成的，它的方向是从高电位指向低电位，是电位降低的方向。而电动势的方向则是从低电位指向高电位，是电位升高的方向。

在分析计算电路时，为了列写与电压有关的表达式，必须预先假定电压或电动势的参考方向(也称参考极性)。在电路中，电压的参考方向可用正(+)、负(-)极性表示其高低电位，由高电位指向低电位，如图 1.1.4 所示。有时也用箭头表示或用双下标表示，如 u_{AB} 表示电压参考方向由 A 指向 B 。为了分析方便，如果电压、电动势的实际方向为已知，就常以其实际方向作为参考方向。图 1.1.3 电路中，在忽略电池的内阻和导线的电阻时，根据所标参考方向， a 、 b 间的电压 U_{ab} 和电池的电动势 E 相等，即 $U_{ab} = E$ 。

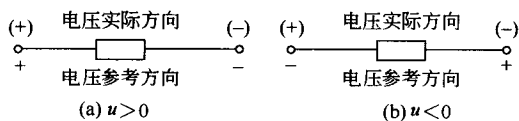


图 1.1.4 电压的参考方向与实际方向的关系

在分析计算电路时，无源元件内部常取电流与电压的参考方向相同，称为关联参考方向，即只给一个参考方向；对有源元件则常取电流与电压的参考方向相反，称为非关联参考方向。

3. 功率

如果某个元件(或某段电路)的电流和电压为 i 和 u ，而且电流和电压的参考方向相关联，则功率

$$p = ui \quad (1.1.2)$$

式中, 功率 p 的单位为瓦[特](W)。

在电压和电流参考方向关联时, 根据式(1.1.2)计算的功率为正值表示该元件(或该段电路)吸收功率(即消耗电能或吸收电能); 若为负值则表示输出功率(即送出电能)。

习惯上对电源的端电压和流过电源的电流采用非关联参考方向。例如在图 1.1.3 中, 按所示电流参考方向, 电流从电池的“-”端流向“+”端, 此时电池的端电压 $U = E$ (忽略电池的内电阻时), 乘积 UI (即 EI) 表示电源(电池)向外电路(白炽灯)所提供(输出)的功率大小。

【例 1.1.1】 电路如图 1.1.5 所示, $u = 12\text{V}$, $i = -2\text{A}$, 计算元件的功率。

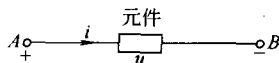


图 1.1.5 例 1.1.1 元件的功率

解: 由电路可知, 此题的电流和电压为关联参考方向, 有

$$p = ui = 12 \times (-2)\text{W} = -24\text{W} < 0$$

说明元件输出功率而不是吸收功率, 相当于电源。

在时间 t_1 到 t_2 期间, 元件(或电路)吸收的电能为

$$W = \int_{t_1}^{t_2} u i dt \quad (1.1.3)$$

单位为焦[耳](J)。若 $W \geq 0$, 该元件为有源元件, 否则为无源元件。在工程实际中, 常用千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$)为单位, 俗称 1 度电。 $1\text{kW} \cdot \text{h} = 1000\text{W} \cdot 3600\text{s} = 3.6 \times 10^6\text{J}$ 。

【例 1.1.2】 汽车照明用 12V 蓄电池^①为 60W 车灯供电, 若蓄电池的额定值为 100Ah (安时), 求蓄电池的能量。

解: $I = P/U = 60\text{W}/12\text{V} = 5\text{A}$

100Ah (安培时间)表明提供 5A 可使用 20h, 因此储存能量为

$$W = 12\text{V} \times 100\text{Ah} = 1.2\text{kW} \cdot \text{h}$$

【例 1.1.3】 图 1.1.6 电路中, d 为电位参考点, 各元件的参数值及电压、电流的参考方向如图所示, 并知 $I_1 = 2\text{A}$, $I_2 = -1.25\text{A}$, $I_3 = 0.75\text{A}$ 。试求: (1) a、b、c 各点的电位 V_a 、 V_b 、 V_c ; (2) 电压 U_{ab} 、 U_{bc} ; (3) E_1 、 E_2 输出的功率 P_{E1} 、 P_{E2} 。

解: (1) $V_a = E_1 = 10\text{V}$, $V_c = E_2 = 8\text{V}$, 根据欧姆定律

$$U_{bd} = R_3 I_3 = 12 \times 0.75\text{V} = 9\text{V}$$

故 $V_b = U_{bd} = 9\text{V}$

① 详细内容可见《电动助力车用密封铅酸蓄电池标准》JB/T10262-2001。

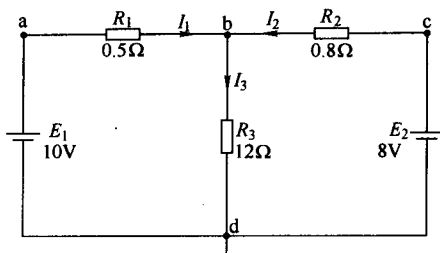


图 1.1.6 例 1.1.3 的电路图

$$(2) U_{ab} = R_1 I_1 = 0.5 \times 2 \text{V} = 1 \text{V}$$

因 I_2 参考方向是从 c 向 b, 故

$$U_{bc} = -R_2 I_2 = -0.8 \times (-1.25) \text{V} = 1 \text{V}$$

U_{ab} 和 U_{bc} 也可以由 $V_a - V_b$ 和 $V_b - V_c$ 求得, 结果相同。

$$(3) P_{E1} = E_1 I_1 = 10 \times 2 \text{W} = 20 \text{W}$$

$$P_{E2} = E_2 I_2 = 8 \times (-1.25) \text{W} = -10 \text{W} \text{ (负值表示 } E_2 \text{ 吸收功率, 即电池充电)}.$$

由此例可看出, 电位与参考点有关, 参考点选得不同, 相应的各点电位也不同。但两点间的电压值或两点的电位差不变, 而且与计算的路径无关。

在电子电路中一般都把电源、信号输入端和输出端的公共端接在一起作为参考点, 因而电子电路中有一种习惯画法, 即电源不再用符号表示, 而改为标出其电位的极性和数值。图 1.1.6 可简化为图 1.1.7(a)或(b)所示的电路, 只标各端电源的极性和电位值。

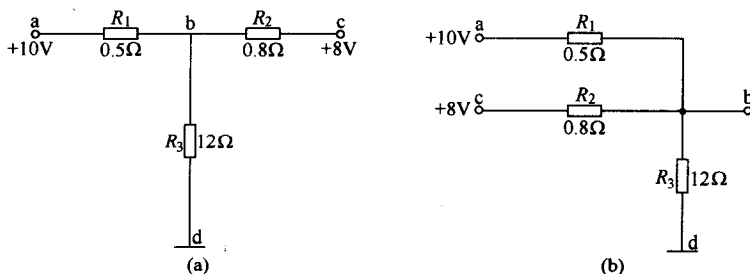


图 1.1.7 图 1.1.6 的简化电路

思考题

1. 电流的实际方向是怎样规定的? 为什么要选择电流的参考方向?
2. 电阻元件或电位器的规格用阻值和最大容许功率的瓦数表示。100Ω×1W 的电阻, 允许流过的最大电流是多少?
3. 在电路中, 电位与电压、电位降与电位升, 各有什么关系? U_{ab} 是表示 a 端的电位高于 b 端的电位?

1.2 电源及其等效变换

为了维持电流, 电路中必须有能够提供电能的电源。电源一般分为电压源和电流源。

1.2.1 电压源

电压源符号如图 1.2.1 所示。具有以下特点: 电压源两端的电压 $u_s(t)$ 为确定的时间函数, 与流过的电流无关。当 u_s 为直流电压源时, 两端的电压 $u_s(t)$ 不变, $u_s(t) = U$ 。直流电压源伏安特性如图 1.2.2 所示。

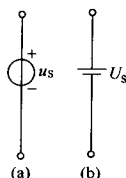


图 1.2.1 电压源符号

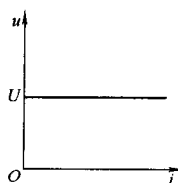


图 1.2.2 电压源的伏安特性

1.2.2 电流源

电流源符号如图 1.2.3 所示。电流 $i_s(t)$ 为确定的时间函数, 与电流源两端的电压无关。直流电流源输出的电流是恒值 $i_s(t) = I$, 其伏安特性如图 1.2.4 所示。

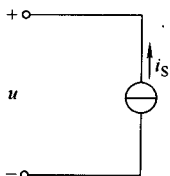


图 1.2.3 电流源符号

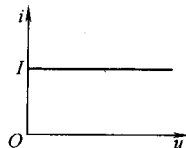


图 1.2.4 电流源的伏安特性

【例 1.2.1】 在图 1.2.5 中, 一个理想电压源和一个理想电流源相连, 试讨论其工作状态。

解: 在图 1.2.5 所示电路中, 理想电压源的电流(大小和方向)决定于理想电流源的电流 I , 理想电流源两端的电压决定于理想电压源的电压 U 。

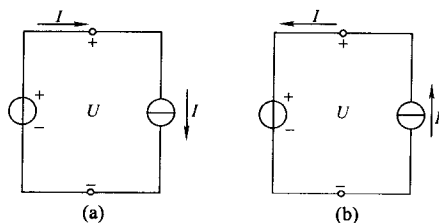


图 1.2.5 例 1.2.1 的电路图