

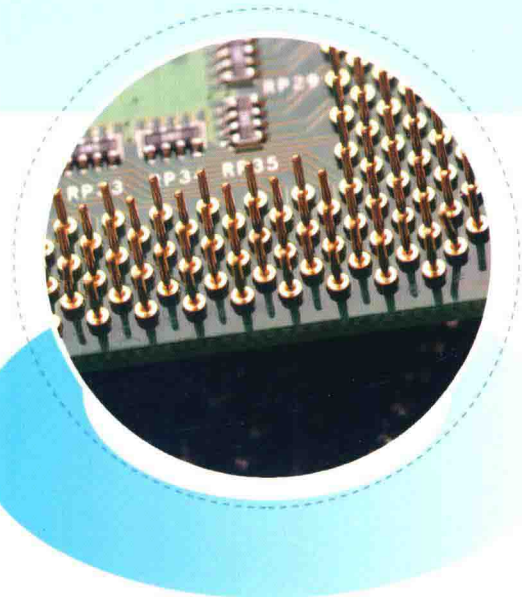
全国高等教育精品教材

D IANGONG DIANZI JISHU

电工电子技术

主编 宋强 黄丹宇 李旭然

- ★ 强化基础知识，简化理论证明
- ★ 配套实验指导，学做同步进行
- ★ 跟踪最新技术，内容与时俱进
- ★ 增设阅读天地，促进发展创新



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

全国高等教育精品教材

电工电子技术

主编 宋 强 黄丹宇 李旭然



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书分 16 章,包括电工和电子技术两部分。其中,电工部分包括电路的基本概念与定律、单相交流电路、三相电路、电路的暂态分析、磁路与变压器、异步电动机、继电器接触器控制系统、供配电与安全用电;电子技术部分包括常用半导体器件、基本放大电路、集成运算放大器、直流稳压电源、基本逻辑电路与组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、可编程控制器。

本书可作为高等院校理工科各专业的电工电子技术课程教材,也可供有关专业师生和工程技术人员自学参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术 / 宋强, 黄丹宇, 李旭然主编. -- 上海: 上海交通大学出版社, 2016
ISBN 978-7-313-15417-0

I. ①电… II. ①宋… ②黄… ③李… III. ①电工技术②电子技术 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 165536 号

电工电子技术

主 编: 宋 强 黄丹宇 李旭然

出版发行: 上海交通大学出版社 地 址: 上海市番禺路 951 号

邮政编码: 200030 电 话: 021-64071208

出 版 人: 韩建民

印 制: 三河市祥达印刷包装有限公司 经 销: 全国新华书店

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印 张: 24.75 字 数: 505 千字

版 次: 2016 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-313-15417-0/TM

定 价: 49.80 元

版权所有 侵权必究

告读者: 如发现本书有印装质量问题请与发行部联系

联系电话: 010-62137141

前言

电工电子技术是理工科非电类专业的一门重要技术基础课,它具有技术性强、实用性强的特点。本书是以国务院《关于深化教育改革,全面推进素质教育的决定》和教育部关于《高职高专教育基础课程教学基本要求》为依据编写的,它以培养技术应用型人才为根本任务,以基础知识、基本概念、基本定律为主要编写原则,以“必须”和“够用”为准则来选择和编写内容。

本书具有以下几个鲜明的特点:

(1) 电路部分 电路部分弱化相关定理的证明、弱化数学推导、弱化动态电路的分析,加强定理的应用、加强基本内容和概念。

(2) 模拟电子电路部分 逐步引入集成电路新技术的同时,适当减少分立元件电路原理的内容,兼顾分立电路基本原理与集成技术实现原则的统一。

(3) 数字电路部分 在处理不断出现的新器件和基本内容的矛盾时,以小规模和大规模集成电路为主来组织内容,加大了有关数字电路的应用分量。

(4) 加强应用和实践内容 每章从基本内容到例题、习题均注重理论联系实际,旨在强化学生的创新意识,提高综合应用能力,积累工作经验,加强学生的实际工作能力和动手能力。

本书由宋强、黄丹宇、李旭然担任主编,董亚男、董丽、张淼、林晰明、宋国清担任副主编。

在编写本书的过程中,编者翻阅了大量有关电工电子技术的资料和教材,在此,对这些资料的作者和编者表示衷心的感谢。由于时间仓促,编写人员水平有限,书中有不尽如人意之处,恳请广大读者批评指正。

本书配有精心制作的教学课件,供教师上课使用,从而最大程度上减轻教师的负担。另外,书中涉及的参考答案可到我们的网站(<http://www.bjjqe.com>)下载。如果读者在学习过程中有什么疑问,也可登录该网站寻求帮助,我们将会及时解答。

目 录

第1章 电路的基本概念与定律	1	2.2.3 单一参数正弦交流电路的 相量形式	38
1.1 电路的基本概念	1	2.2.4 基尔霍夫定律的相量表示	42
1.1.1 电路的组成和作用	1	2.2.5 正弦交流电路的相量电路模型	43
1.1.2 电路模型	2	2.3 简单正弦交流电路的分析	44
1.1.3 电路的基本物理量	2	2.3.1 阻抗与导纳的概念	44
1.1.4 电路的工作状态	6	2.3.2 阻抗(导纳)的串联与并联	47
1.1.5 电路元件	8	2.4 正弦交流电路中的功率	51
1.2 基尔霍夫定律	14	2.4.1 瞬时功率	51
1.2.1 电路中的几个名词	14	2.4.2 平均功率和功率因数	52
1.2.2 基尔霍夫电流定律	15	2.4.3 无功功率	53
1.2.3 基尔霍夫电压定律	16	2.4.4 视在功率和额定容量	53
1.3 电路的分析方法	18	2.4.5 复功率	54
1.3.1 支路电流法	18	2.4.6 功率因数的提高	55
1.3.2 节点电压法	19	2.5 电路中的谐振	57
1.3.3 叠加定理	22	2.5.1 RLC 串联谐振	57
1.3.4 戴维南定理	24	2.5.2 RLC 并联谐振	59
本章小结	26	2.6 非正弦周期电路	61
思考与练习	27	本章小结	63
第2章 单相交流电路	31	思考与练习	65
2.1 正弦交流电的基本概念	31	第3章 三相电路	67
2.1.1 周期、频率和角频率	32	3.1 三相电源	67
2.1.2 瞬时值、幅值和有效值	33	3.1.1 三相交流电的产生	67
2.1.3 相位和初相位	33	3.1.2 三相电源的连接	69
2.2 正弦量的相量表示	35	3.2 三相负载	71
2.2.1 复数的复习	35	3.2.1 三相负载的星形联结	71
2.2.2 正弦量的相量表示法	37		

3.2.2 三相负载的三角形联结	75	5.3.6 电力变压器的选用常识	109
3.3 三相功率	76	5.3.7 三相变压器	110
本章小结	78	5.3.8 特殊变压器	111
思考与练习	78	本章小结	114
第4章 电路的暂态分析	80	思考与练习	115
4.1 动态电路	80	第6章 异步电动机	117
4.1.1 换路定则	81	6.1 电机的种应用与分类	117
4.1.2 初始值的计算	81	6.2 三相异步电动机的基本结构与 铭牌数据	118
4.2 RC 电路的暂态分析	82	6.2.1 三相异步电动机的基本结构	118
4.2.1 RC 电路的零状态响应	82	6.2.2 三相异步电动机的铭牌数据	120
4.2.2 RC 电路的零输入响应	83	6.3 三相异步电动机的工作原理	121
4.2.3 RC 电路的全响应	84	6.3.1 旋转磁场	122
4.3 RL 电路的暂态分析	86	6.3.2 电动机的转动原理	124
4.3.1 RL 电路的零状态响应	86	6.3.3 转差率	124
4.3.2 RL 电路的零输入响应	87	6.4 三相异步电动机的工作特性	125
4.3.3 RL 电路的全响应	87	6.4.1 电磁转矩	125
4.4 电路暂态分析的应用	89	6.4.2 机械特性	127
本章小结	90	6.5 三相异步电动机的启动、 调速和制动	130
思考与练习	91	6.5.1 三相异步电动机的启动	130
第5章 磁路与变压器	93	6.5.2 三相异步电动机的调速	134
5.1 磁路的基本概念及定律	93	6.5.3 三相异步电动机的制动	135
5.1.1 磁场的基本物理量	94	6.6 三相异步电动机的选用常识	136
5.1.2 铁磁性材料	95	6.6.1 功率的选择	136
5.1.3 磁路及其基本定律	97	6.6.2 种类和型式的选择	136
5.2 交流铁芯线圈电路	100	6.6.3 电压的选择	136
5.2.1 电磁关系	100	6.6.4 转速的选择	137
5.2.2 电压电流关系	101	6.7 单相异步电动机	137
5.2.3 功率损耗	101	6.7.1 单相异步电动机的工作原理	137
5.3 变压器	102	6.7.2 单相异步电动机的结构	138
5.3.1 变压器的分类	102	本章小结	139
5.3.2 变压器的结构	102	思考与练习	141
5.3.3 变压器的额定值	103		
5.3.4 变压器的工作原理	104		
5.3.5 变压器的运行特性	107		

第7章 继电接触器控制系统	143	8.3.2 急救处理	171
7.1 常用低压电器	143	8.4 节约用电	172
7.1.1 刀开关	143	8.4.1 节约用电的意义	172
7.1.2 按钮	146	8.4.2 节约用电的主要途径	172
7.1.3 熔断器	146	本章小结	174
7.1.4 接触器	147	思考与练习	175
7.1.5 继电器	148	第9章 半导体器件	177
7.1.6 行程开关	151	9.1 半导体的基本知识	177
7.1.7 断路器	151	9.1.1 半导体的基本特性	177
7.2 三相异步电动机的基本控制 电路	152	9.1.2 本征半导体和杂质半导体	178
7.2.1 单向控制电路	152	9.2 PN结	180
7.2.2 点动控制电路	154	9.2.1 PN结的形成	180
7.2.3 正反转控制电路	155	9.2.2 PN结的单向导电性	181
7.3 三相异步电动机的典型控制 方式	156	9.3 半导体二极管及其应用	182
7.3.1 行程控制电路	156	9.3.1 二极管的结构和类型	182
7.3.2 顺序控制电路	157	9.3.2 二极管的特性	183
7.3.3 时间控制电路	158	9.3.3 二极管的主要参数	184
7.3.4 速度控制电路	159	9.3.4 二极管的应用	184
本章小结	160	9.3.5 特殊二极管	185
思考与练习	161	9.4 晶体管	187
第8章 供配电与安全用电	163	9.4.1 晶体管的结构	187
8.1 电力系统简介	163	9.4.2 晶体管的类型	188
8.1.1 发电	163	9.4.3 晶体管的电流分配关系与放大 原理	188
8.1.2 输电	164	9.4.4 晶体管的特性曲线	191
8.1.3 配电	164	9.4.5 晶体管的主要参数	192
8.2 安全用电常识	166	9.5 场效应晶体管	194
8.2.1 触电	166	9.5.1 场效应管的结构	194
8.2.2 触电方式	167	9.5.2 MOS管的工作原理	195
8.2.3 触电预防措施	168	9.5.3 MOS管的特性曲线	197
8.2.4 安全用电措施	169	9.5.4 场效应管与晶体管的比较	198
8.3 触电急救	170	9.5.5 场效应管的使用注意事项	199
8.3.1 脱离电源	170	本章小结	200
		思考与练习	201

第 10 章 放大电路基础	203	11.2.4 四种负反馈组态的分析	239
10.1 共射极放大电路	203	11.2.5 负反馈对放大电路性能的影响	241
10.1.1 共射极放大电路基础知识	204	11.3 集成运算放大器的线性应用	243
10.1.2 共射极放大电路的分析	204	11.3.1 比例运算电路	244
10.2 共集电极放大电路	212	11.3.2 加法运算电路	245
10.2.1 静态分析	212	11.3.3 减法运算电路	246
10.2.2 动态分析	213	11.3.4 积分运算电路	247
10.3 多级放大电路	214	11.3.5 微分运算电路	248
10.3.1 多级放大电路的组成	214	11.4 集成运算放大器的非线性应用	248
10.3.2 多级放大电路的耦合方式	214	11.4.1 过零比较器	248
10.3.3 多级放大电路的分析	216	11.4.2 滞回比较器	249
10.3.4 放大倍数的分贝表示法	216	11.5 集成运算放大器的使用注意事项	250
10.4 差动放大电路	216	11.5.1 集成运算放大器的选择	250
10.4.1 概述	216	11.5.2 集成运算放大器的使用	251
10.4.2 差动放大电路的分析	217	本章小结	253
10.5 功率放大电路	219	思考与练习	255
10.5.1 功率放大电路概述	219	第 12 章 直流稳压电源	258
10.5.2 互补对称功率放大电路	220	12.1 整流电路	259
10.6 场效应管放大电路	222	12.1.1 单相半波整流电路	259
10.6.1 自给偏压偏置电路	223	12.1.2 单相桥式整流电路	261
10.6.2 分压式偏置电路	223	12.2 滤波电路	263
本章小结	225	12.2.1 电容滤波电路	263
思考与练习	227	12.2.2 其他滤波电路	266
第 11 章 集成运算放大器	230	12.3 稳压电路	267
11.1 集成运算放大器概述	230	12.3.1 稳压管稳压电路	267
11.1.1 集成运算放大器的基本组成	230	12.3.2 串联型稳压电路	269
11.1.2 集成运算放大器的封装	231	12.4 三端集成稳压器	271
11.1.3 集成运算放大器的主要性能指标	232	12.4.1 W7800, W7900 系列三端固定式集成稳压器	271
11.1.4 集成运算放大器的理想模型	233	12.4.2 三端可调式集成稳压器	273
11.2 负反馈放大电路	235	本章小结	275
11.2.1 反馈的类型及判别方法	235	思考与练习	276
11.2.2 负反馈放大电路的一般表达式	237		
11.2.3 深度负反馈放大电路的特点	238		

第 13 章 基本逻辑电路与组合逻辑

电路	278
13.1 数字电路概述	278
13.2 逻辑代数及应用	279
13.2.1 逻辑运算	280
13.2.2 逻辑代数的基本公式和基本定理	282
13.2.3 逻辑函数及其表示方法	284
13.2.4 逻辑函数的化简	285
13.3 二极管和晶体管的开关作用	291
13.3.1 二极管的开关作用	291
13.3.2 晶体管的开关作用	291
13.4 逻辑门电路	293
13.4.1 基本逻辑门电路	293
13.4.2 TTL 与非门电路	295
13.5 组合逻辑电路的分析与设计	300
13.5.1 组合逻辑电路的分析方法	300
13.5.2 组合逻辑电路的设计方法	301
13.6 常用组合逻辑器件	302
13.6.1 编码器	303
13.6.2 译码器	304
13.6.3 加法器	309
13.6.4 数据选择器	312
13.6.5 数值比较器	315
本章小结	317
思考与练习	318

第 14 章 触发器和时序逻辑电路

14.1 双稳态触发器	320
14.1.1 RS 触发器	321
14.1.2 JK 触发器	323
14.1.3 D 触发器和 T 触发器	325
14.1.4 触发器逻辑功能的转化	326
14.2 寄存器	327
14.2.1 数码寄存器	327

14.2.2 移位寄存器	327
14.3 计数器	329
14.3.1 二进制计数器	329
14.3.2 十进制计数器	333
14.4 555 定时器	336
14.4.1 555 定时器的结构	336
14.4.2 555 定时器的工作原理	337
14.4.3 555 定时器的典型应用	338
本章小结	343
思考与练习	344

第 15 章 数模和模数转换

15.1 D/A 转换器 (DAC)	347
15.1.1 典型 D/A 转换器	347
15.1.2 D/A 转换器的主要技术指标	349
15.1.3 集成 D/A 转换器举例	350
15.2 A/D 转换器	351
15.2.1 典型 A/D 转换器	351
15.2.2 A/D 转换器的主要技术指标	353
15.2.3 集成 A/D 转换器举例	354
15.3 半导体存储器	355
15.3.1 半导体存储器概述	355
15.3.2 只读存储器 (ROM)	355
15.3.3 ROM 的工作原理	356
15.3.4 用 ROM 实现组合逻辑函数	358
15.3.5 随机存储器	359
15.3.6 RAM 芯片介绍	361
15.4 可编程逻辑器件	362
15.4.1 可编程逻辑阵列 PLA	362
15.4.2 通用阵列逻辑 (GAL)	362
15.4.3 低密度可编程逻辑器件	363
15.4.4 现场可编程门阵列 (FPGA)	364
本章小结	365
思考与练习	365

第 16 章 可编程控制器	367
16.1 可编程序控制器的特点与 基本结构	367
16.1.1 可编程序控制器的特点	367
16.1.2 可编程序控制器的组成	368
16.1.3 可编程序控制器主机的组成	369
16.2 可编程序控制器的工作原理	372
16.2.1 输入采样阶段	372
16.2.2 程序执行阶段	372
16.2.3 输出刷新阶段	372

16.3 可编程序控制器的编程语言	373
16.3.1 两种常用的编程语言	373
16.3.2 PC 的基本指令	374
16.4 可编程序控制器的应用举例	377
16.4.1 三相异步电动机直接启动控制	377
16.4.2 异步电动机的正反转控制	377
16.4.3 异步电动机的 Y-D 启动控制	378
本章小结	380
思考与练习	381
参考文献	383

第 1 章

电路的基本概念与定律

本章导读

电路是电工技术和电子技术的基础，它可分为直流电路和交流电路。本章将主要介绍电路的基本概念、直流电路中的定律及常用的电路分析方法。由于在辅以适当的数学工具后，这些定律及分析方法也可适用于正弦交流电路及其他各种线性电路，因此，直流电路是电路分析研究的基础。

学习目标

- ◇ 理解电路的组成及电路模型的概念
- ◇ 掌握电流和电压的参考方向
- ◇ 掌握电路的三种工作状态
- ◇ 理解电阻元件、电感元件及电容元件的相关知识
- ◇ 掌握电阻的串联与并联
- ◇ 掌握电压源与电流源的等效变换
- ◇ 掌握基尔霍夫电流定律和电压定律
- ◇ 能够进行电压源和电流源的等效变换
- ◇ 会应用支路电流法、节点电压法、叠加定理、戴维南定理求解电路

1.1 电路的基本概念

1.1.1 电路的组成和作用

电路是电流的通路，它是由电源、负载和中间环节三部分按一定方式组合而成的。其中，**电源**是指能将其他形式的能量转换成电能并为电路提供能量的装置，如干电池、蓄电池及发电机等；**负载**是指可在电路中接收电能并将电能转换成其他形式的能量的设备，如电灯、电

视机及电炉等；中间环节是指连接电源和负载的部分，如导线、开关及各种继电器等。

实际应用中，电路的种类繁多，形式和结构也各不相同，但就其作用而言，主要可概括为以下两方面：

① 实现电能的传输、分配和转换。例如，照明电路中，电源通过导线将电能传递给电灯，电灯再将电能转换为光能和热能。

② 实现信号的传递和处理。例如，电视机或收音机将接收到的电信号经过调频、滤波和放大等环节处理后，转换为图像和声音信号。

1.1.2 电路模型

实际电路是由各种作用不同的电路元件组成的，而实际的电路元件在工作时的电磁性质往往比较复杂，大多数电路元件都具有多种电磁性质。因此，为了方便对实际电路进行分析和研究，通常将实际电路元件理想化（模型化），突出其主要电磁性质，忽略次要性质，近似看作理想电路元件。例如，电阻元件、电感元件和电容元件等都是理想电路元件。

由理想电路元件组成的电路称为实际电路的电路模型。如图 1-1 所示，干电池在对外提供电压的同时，其内部也有电阻消耗能量，故在电路模型中可用电动势 E 和内阻 R_0 串联表示；灯泡在通电流时，除了具有消耗电能的性质（电阻性）外，还具有电感性，但由于其电感性很弱，可忽略不计，故在电路模型中可用一电阻元件 R 表示；导线的电阻很小，可忽略不计，故在电路模型中可看作是一无电阻的理想导体。本书所分析的电路都是电路模型。

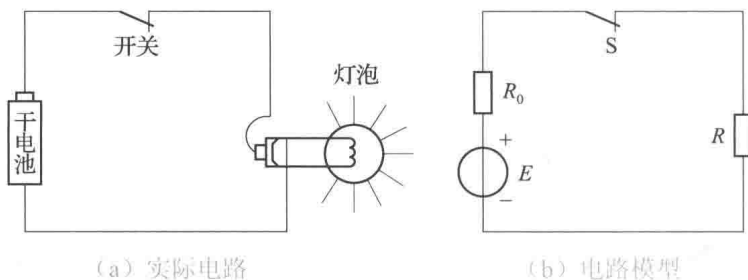


图 1-1 电路模型

1.1.3 电路的基本物理量

在分析各种电路之前，首先需介绍一下电路的基本物理量：电流、电压、电动势和功率。

1. 电流

1) 概念

在电场力的作用下，电荷有规则地定向移动形成了电流。习惯上规定电流的方向为正

电荷运动的方向或负电荷运动的反方向,它是客观存在的,称为电流的实际方向。电流的大小为单位时间内通过导体横截面的电量,称为电流强度,简称电流,用 i 表示,即

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

式中, dq —— dt 时间内通过导体横截面的电量,单位为 C。

小写字母 i 表示电流随时间变化。大小和方向都不随时间变化的电流称为直流电流,用的大写字母 I 表示,于是,式 (1-1) 可写为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

在国际单位制中,电流的单位为安培(A)。常用的电流单位还有千安(kA)、毫安(mA)和微安(μA)。

2) 电流的参考方向

在分析简单电路时,可以直观地确定电流的实际方向,但在分析复杂电路时,往往很难判断电流的实际方向。因此,为了方便分析和计算,可以任意选定一个方向作为参考方向,如图 1-2 所示,若电流的实际方向与参考方向一致,则电流为正值;若电流的实际方向与参考方向相反,则电流为负值。

电流的参考方向可以用箭头表示,也可以用双下标表示。例如, i_{ab} 表示电流的参考方向是从 a 指向 b 的。

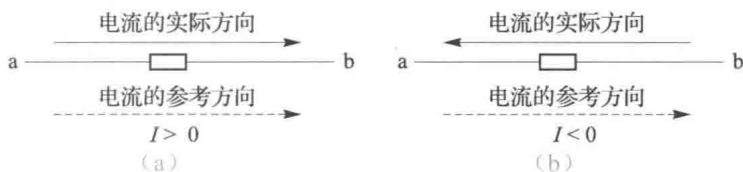


图 1-2 电流的方向

2. 电压

1) 概念

在介绍电压之前,我们首先要了解一下电位的概念。在电路中任选一点作为参考点,则电场力把单位正电荷从某点移动到参考点所做的功称为该点的电位,用 v (V) 表示。

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_{ab} (U_{ab}) 表示,即

$$u_{ab} = \frac{dw}{dq} \quad (1-3)$$

式中, dw ——电场力将 dq 的正电荷从 a 点移动到 b 点所做的功,单位为 J。

习惯上规定电压的实际方向为由高电位(“+”极性)端指向低电位(“-”极性)端,即电位降低的方向。因此,电路中两点间的电压也可用两点间的电位差来表示,即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-4)$$

在国际单位制中, 电位和电压的单位相同, 都为伏特 (V)。常用的电压单位还有千伏 (kV)、毫伏 (mV) 和微伏 (μV)。

电路中两点间的电压是不变的, 而各点的电位则随参考点的不同而不同。因此, 在研究同一电路系统时, 只能选取一个电位参考点。

2) 电压的参考方向

与电流类似, 分析电路时, 也需先任意选定一个方向作为参考方向, 如图 1-3 所示。若电压的实际方向与参考方向一致, 则电压为正值; 若电压的实际方向与参考方向相反, 则电压为负值。

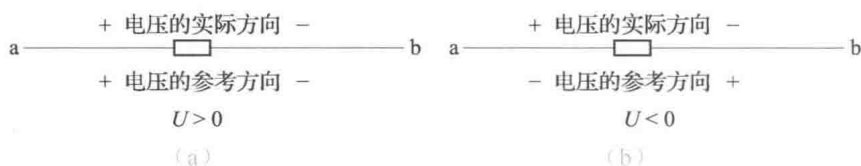


图 1-3 电压的方向

电压的参考方向可以用箭头表示, 可以用 “+”、“-” 表示, 还可以用双下标表示。

3) 关联参考方向与非关联参考方向

在分析计算电路时, 必须首先标出电流、电压的参考方向。参考方向一经选定, 在分析电路过程中就不能再变动, 并以此标准进行分析计算, 最后根据答案的正负来确定电流和电压的实际方向。本书中在电路图上所标出的电流和电压方向均为参考方向。

一般来说, 同一段电路上电流和电压的参考方向彼此独立无关, 可以各自选定。但为了方便分析, 通常将电流和电压的参考方向选得一致, 称为关联参考方向, 如图 1-4 (a) 所示; 反之, 称为非关联参考方向, 如图 1-4 (b) 所示。这时, 只需标出电流或电压中一个的参考方向即可。

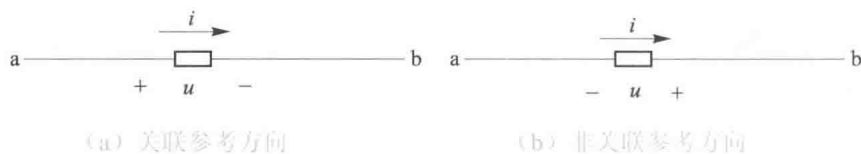


图 1-4 电压和电流的参考方向

3. 电动势

电动势是指电源内部的非电场力把单位正电荷由低电位 b 端移到高电位 a 端所做的功, 用 e (E) 表示, 即

$$e = \frac{dw}{dq} \quad (1-5)$$

电动势的实际方向为由低电位端指向高电位端,即电位升高的方向。因此,电动势和电压的实际方向相反,如图 1-5 (a) 所示。在开路情况下,电源电动势与电源两端的电压大小相等,方向相反,如图 1-5 (b) 所示。

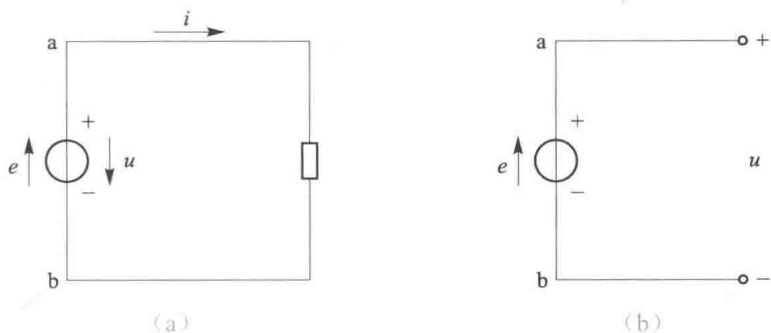


图 1-5 电动势

4. 电路的功率

功率是指电能量对时间的变化率,也就是电场力在单位时间内所做的功,用 p (P) 表示。在交流电路中,功率的计算公式为

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-6)$$

在直流情况下

$$P = UI$$

在国际单位制中,功率的单位为瓦特 (W)。常用的功率单位为千瓦 (kW)。日常生活中所说的 1 度电就是指功率为 1 kW 的元件在 1 h 内消耗的电能,即 1 kW·h。

$$1 \text{ 度} = 1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

当元件中流过的电流与其两端电压为关联参考方向时,若 $p = ui > 0$,则说明流经元件的电流实际方向与元件两端电压的实际方向是一致的,电场力对正电荷做了功,元件吸收功率;若 $p = ui < 0$,则说明流经元件的电流实际方向与元件两端电压的实际方向是相反的,一定有外力克服电场力做了功,元件发出功率。当元件中流过的电流与其两端电压为非关联参考方向时,上述结论正好相反。

电路元件在 $t_0 \sim t$ 时间内所消耗或提供的能量 W 为

$$W = \int_{t_0}^t p dt \quad (1-7)$$

直流时

$$W = P(t - t_0) \quad (1-8)$$

【例 1-1】在如图 1-6 所示直流电路中, $U_1 = 4 \text{ V}$, $U_2 = -8 \text{ V}$, $U_3 = 6 \text{ V}$, $I = 4 \text{ A}$, 求各电路元件吸收或发出的功率 P_1 , P_2 , P_3 , 并求整段电路的功率 P 。

【解】对元件 1，其电流和电压为关联参考方向，且
 $P_1 = U_1 I = 4 \times 4 = 16(\text{W}) > 0$ ，所以，元件 1 吸收功率 16 W。

对元件 2，其电流和电压为非关联参考方向，且
 $P_2 = U_2 I = -8 \times 4 = -32(\text{W}) < 0$ ，所以，元件 2 吸收功率 32 W。

对元件 3，其电流和电压为非关联参考方向，且
 $P_3 = U_3 I = 6 \times 4 = 24(\text{W}) > 0$ ，所以，元件 3 发出功率 24 W。

设吸收功率为正，发出功率为负，则整段电路的功率 P 为

$$P = 16 + 32 - 24 = 24(\text{W})$$

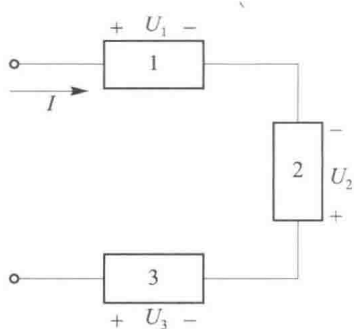


图 1-6 例 1-1 图

1.1.4 电路的工作状态

在电源与负载通过中间环节连接成电路后，电路可能处于通路、开路和短路三种不同的工作状态。下面以简单直流电路为例来分析这三种工作状态。

1. 通路工作状态

如图 1-7 所示，将开关合上，接通电源与负载，电路即处于通路工作状态，又称为有负载工作状态。

1) 电压与电流的关系

根据欧姆定律可知，电路中的电流 I 为

$$I = \frac{E}{R_0 + R} \quad (1-9)$$

电源的输出电压 U 为负载 R 两端的电压，由式 (1-9) 和欧姆定律可得

$$U = E - IR_0 \quad (1-10)$$

由式 (1-10) 可知，电源的输出电压 U 小于电动势 E ，两者之差为电流通过电源内阻所产生的电压降 IR_0 。电源的输出电压 U 与输出电流 I 之间的变化关系称为电源的外特性，其外特性曲线如图 1-8 所示。

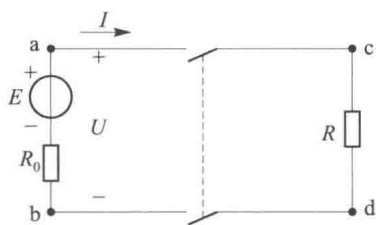


图 1-7 通路工作状态

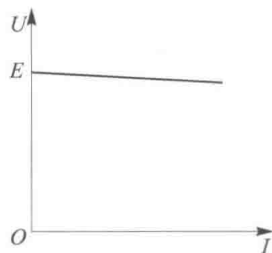


图 1-8 电源的外特性曲线

2) 功率与功率平衡

将式(1-10)各项同乘以电流 I , 可得

$$\begin{aligned} EI &= UI + I^2 R_0 \\ P_E &= P + P_0 \end{aligned} \quad (1-11)$$

式中, P_E ——电源产生的功率, 单位为 W;

P ——电源的输出功率, 单位为 W;

P_0 ——电源内阻上所损耗的功率, 单位为 W。

式(1-11)称为功率平衡式, 它表明, 整个电路的功率是平衡的, 即由电源发出的功率等于电路各部分所消耗的功率之和。

3) 电气设备的额定值及工作状态

为了保证电气设备的安全可靠和经济运行, 制造厂规定了其在正常运行条件下的使用限额, 称为额定值, 如额定电压 U_N 、额定电流 I_N 和额定功率 P_N 等。电气设备的额定值通常标在产品的铭牌或说明书上。

电气设备在额定值情况下的工作状态称为额定工作状态, 又称为满载。此时, 电气设备的使用是最经济合理和安全可靠的。电气设备超过额定值的工作状态称为过载。由于温度升高需要一定时间, 因此, 电气设备短时间过载时, 不会发生损坏; 但若过载时间较长, 则会大大缩短电气设备的使用寿命, 严重时甚至损坏电气设备。电气设备低于额定值的工作状态称为轻载。严重轻载时, 电气设备就不能正常合理地工作, 或不能充分发挥其工作能力。因此, 过载和严重轻载都是应该避免的。

2. 开路工作状态

如图 1-9 所示, 当开关断开时, 电源未与负载接通, 电路处于开路工作状态, 又称为空载工作状态。此时, 电路中的电流为零, 电源的端电压 U_0 (称为开路电压或空载电压) 等于电源电动势, 电源不能输出电能, 电路的功率为零。

如上所述, 开路工作状态的特征可用下列公式表示:

$$\begin{cases} I = 0 \\ U = U_0 = E \\ P_E = P = P_0 = 0 \end{cases} \quad (1-12)$$

3. 短路工作状态

如图 1-10 所示, 当电源两边的导线由于某种原因而直接相连时, 电路处于短路工作状态。短路时, 电源的输出电流 I_S 称为短路电流。由于电源内阻 R_0 一般都很小, 故短路电流 I_S 很大。短路时, 外电阻可视为零, 电源的输出电压也为零, 电源所产生的电能全部被电源内阻消耗掉, 故电源的输出功率为零。