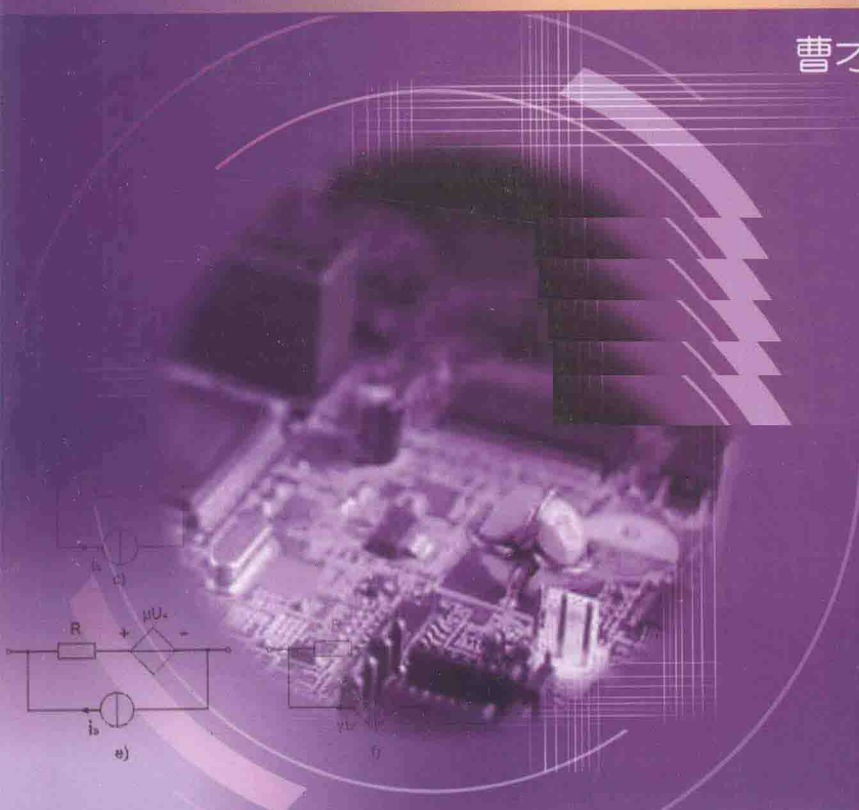




普通高等教育“十二五”电工电子基础课程规划教材

电工电子技术

曹才开 熊幸明 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十二五”电工电子基础课程规划教材

电工电子技术

曹才开 熊幸明 等编著



机械工业出版社

本书凝聚了编者几十年的教学经验和编写教材过程中的深刻体会。

全书分电工技术和电子技术两部分,共16章。

电工技术部分共有8章,主要内容有:电路的基本概念与定律;电路的基本分析方法;正弦稳态交流电路(包括谐振电路和三相交流电路);一阶动态电路分析;磁路与变压器;交流电动机与微特电机;继电器—接触器控制系统;工厂供电与电工测量。

电子技术部分共有8章,主要内容有:半导体器件;放大电路基础;集成运算放大电路及其应用;正弦振荡电路;直流稳压电源;基本逻辑电路与组合逻辑电路;触发器与时序逻辑电路;数-模与模-数转换电路。

每章有小结和习题,书末提供了部分习题答案,便于教师教学与学生自学。

本书除标“*”号章节外,适用讲课学时为60学时左右。

本书可作为本科高等学校工科非电类专业电工学课程的教材,也适用于高职高专、成人高等教育各电类专业相关课程,还可供有关工程技术人员参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术/曹才开,熊幸明等编著. —北京:机械工业出版社, 2014.12

普通高等教育“十二五”电工电子基础课程规划教材

ISBN 978-7-111-48955-9

I. ①电… II. ①曹…②熊… III. ①电工技术—高等学校—教材
②电子技术—高等学校—教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第298352号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:吉玲 责任编辑:吉玲 王康 徐凡

版式设计:霍永明 责任校对:纪敬

封面设计:张静 责任印制:乔宇

唐山丰电印务有限公司印刷

2015年3月第1版第1次印刷

184mm×260mm·22.75印张·610千字

标准书号:ISBN 978-7-111-48955-9

定价:45.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88379833

读者购书热线:010-88379649

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com

前 言

“电工电子技术”是研究电工技术和电子技术理论与应用的技术基础课程。电工技术和电子技术发展十分迅速，应用也非常广泛。因此，电工电子技术是高等工科学校本科非电类专业一门重要的技术基础课程。

非电类专业学生应具有将电工和电子技术应用于本专业的能力。因此，“电工电子技术”课程学习的重点是理论联系实际，加强训练环节，关键在于应用。

全书分电工技术和电子技术两部分。电工技术部分主要内容有：电路的基本概念与定律；电路的基本分析方法；正弦稳态交流电路（包括谐振电路和三相交流电路）；动态电路分析；磁路和变压器；交流电动机与微特电机；继电器—接触器控制系统；工厂供电与电工测量。电子技术部分主要内容有：半导体器件；放大电路基础；集成运算放大电路及其应用；正弦振荡电路；直流稳压电源；基本逻辑电路与组合逻辑电路；触发器与时序逻辑电路；数-模与模-数转换电路。

本书的主要特色有：

(1) 电路部分 电路部分“四弱四加强”：电路有关定理的证明弱化甚至不证明，加强定理的应用；数学推导弱化，加强基本内容和概念；三相电路从内容和篇幅减弱，加强电路等效的概念和内容；动态电路分析要弱化，加强 RC 、 RL 电路充放电的概念和应用。

(2) 电动机及其控制部分 电动机的工作原理和运行特性只简单介绍，突出电动机的基本结构、使用和维护保养等有关知识。电动机控制部分，突出常用低压控制电器、三相异步电动机的基本控制线路和典型控制方式等内容。注重工厂实际设备的具体应用。

(3) 模拟电子电路部分 正确处理分立元件电路与集成电路的关系：当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。有关模拟电子电路的工艺、电路调整、电路测试等带工程经验性质的内容均有详细介绍。

(4) 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，并适当介绍大规模集成电路；在基本数字脉冲单元方面，则以分立元件与基本集成单元电路为主；加大了有关数字电子电路应用的分量。

(5) 加强应用和实践内容 每章从基本内容到例题、习题均注重理论结合工程实际，旨在强化学生的创新意识，提高综合应用能力，积累工程经验，加强学生的实际应用能力和动手能力，缩短从学校到工作岗位的适应距离。

(6) 考虑到不同专业、不同学校的实际需要，教材中标有“*”号的内容，是在教学基本要求的基础上加深（或加宽）的内容，供教师灵活选用，学生自由选学。

(7) 本书每章有小结和习题，书末提供了部分习题答案，便于教师教学与学生自学。

本书由湖南工学院曹才开教授和长沙学院熊幸明教授共同组织编写。参加本书编写

工作有：曹才开（第1、2、3章），曹帅（第4、5章），戴日光（第6章），罗雪莲（第7章），刘海波（第8章），包艳（第9章），张丹（第10章），石成钢（第11章），熊幸明（第12章、第13章、附录），冯婉（第14章），郭民利（第15章），张文希（第16章）。全书由曹才开统稿。

本书的编写得到了湖南省高等院校电子技术教学研究会专科分会和参编学校的大力支持，谨致以衷心感谢！

由于编者水平有限，加之时间比较仓促，书中难免有疏漏和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

上篇 电工技术

第1章 电路的基本概念与定律	2	本章小结	36
1.1 电路和电路模型	2	习题	37
1.1.1 实际电路和工作方式	2	第3章 正弦稳态交流电路	40
1.1.2 电路元件和电路模型	3	3.1 正弦量的三要素与有效值	40
1.1.3 集总假设与集总电路	3	3.1.1 正弦量的三要素	40
1.2 电流和电压的参考方向	3	3.1.2 正弦量的有效值	42
1.2.1 电流的参考方向	4	3.2 正弦量的相量表示法及相量电路模型	43
1.2.2 电压的参考方向	4	3.2.1 复数的复习	43
1.2.3 电压、电流的关联参考方向	5	3.2.2 正弦量的相量表示法	44
1.3 电路的功率	6	3.2.3 电路元件伏安关系的相量形式	45
1.4 电路元件的伏安关系	7	3.2.4 基尔霍夫定律的相量形式	48
1.4.1 无源元件	7	3.2.5 正弦交流电路的相量电路模型	49
1.4.2 有源元件	12	3.3 简单正弦交流电路的分析	50
1.5 基尔霍夫定律	14	3.3.1 阻抗与导纳的概念	50
1.5.1 基尔霍夫电流定律	14	3.3.2 阻抗(导纳)的串联与并联	52
1.5.2 基尔霍夫电压定律	15	3.4 正弦交流电路中的功率	55
1.6 电路中电位的概念	17	3.4.1 瞬时功率	56
本章小结	18	3.4.2 平均功率和功率因数	56
习题	19	3.4.3 无功功率	57
第2章 电路的基本分析方法	23	3.4.4 视在功率和额定容量	57
2.1 电阻电路的等效变换	23	3.4.5 复功率	57
2.1.1 电路等效变换的概念	23	3.4.6 功率因数的提高	59
2.1.2 电阻的串联与并联等效变换	23	3.5 正弦交流电路中的谐振	60
2.2 电源的等效变换	26	3.5.1 串联谐振	61
2.2.1 实际电源的两种等效模型	26	3.5.2 并联谐振	64
2.2.2 电压源、电流源的串联与并联	27	3.6 三相交流电路	67
2.3 有源单口网络的等效——戴维南定理	29	3.6.1 对称三相电源	67
2.4 支路电流法	30	3.6.2 三相负载的联结	70
2.4.1 支路电流法的基本思想	30	3.6.3 三相电路的功率	72
2.4.2 支路电流法的步骤	31	本章小结	73
2.5 叠加原理	31	习题	74
2.6 节点分析法	33	第4章 一阶动态电路分析	78
2.6.1 节点分析法的基本思想	33	4.1 电压和电流初始值的计算	78
2.6.2 通过观察直接列写节点方程	34	4.1.1 换路定律	78

4.1.2 电压和电流初始值的计算方法	79	6.3 三相异步电动机的工作原理	119
4.2 RC 电路的响应	80	6.3.1 旋转磁场	119
4.2.1 RC 串联电路的零输入响应	80	6.3.2 三相异步电动机的转动原理	121
4.2.2 RC 串联电路的零状态响应	81	6.4 三相异步电动机的机械特性	122
4.2.3 RC 电路的全响应	82	6.4.1 三相异步电动机的功率	122
4.3 RL 电路的响应	83	6.4.2 电磁转矩	123
4.3.1 RL 串联电路的零输入响应	83	6.4.3 机械特性曲线	123
4.3.2 RL 串联电路的零状态响应	85	6.5 三相异步电动机的运行	126
4.3.3 RL 电路的全响应	86	6.5.1 三相异步电动机的起动	126
*4.4 一阶电路的三要素法	87	6.5.2 三相异步电动机的反转	128
4.4.1 一阶电路的响应规律	87	6.5.3 三相异步电动机的调速	129
4.4.2 三要素分析法	87	6.5.4 三相异步电动机的制动	130
*4.5 微分电路和积分电路	90	6.6 三相异步电动机的使用	131
4.5.1 微分电路	90	6.6.1 三相异步电动机的铭牌和 额定值	131
4.5.2 积分电路	91	6.6.2 三相异步电动机的选用常识	133
本章小结	92	6.7 单相异步电动机	134
习题	92	6.7.1 单相电动机的基本结构	134
第5章 磁路与变压器	95	6.7.2 单相异步电动机的类型与应用	134
5.1 磁路的基本概念	95	*6.8 微特电机	136
5.1.1 磁路的基本物理量	95	6.8.1 伺服电动机	136
5.1.2 磁路的组成	96	6.8.2 测速发电机	138
5.1.3 磁性材料的磁性能	97	6.8.3 步进电动机	140
5.2 磁路欧姆定律	98	本章小结	142
5.3 交流铁心线圈	99	习题	143
5.3.1 电磁关系	99	第7章 继电器—接触器控制系统	145
5.3.2 铁心线圈的功率损耗	101	7.1 常用低压控制电器	145
5.4 变压器	101	7.1.1 常用开关电器	145
5.4.1 变压器的基本结构	102	7.1.2 交流接触器	148
5.4.2 变压器的工作原理	103	7.1.3 继电器	150
5.4.3 变压器的运行特性	106	7.1.4 其他常用电器	153
5.4.4 变压器的使用	108	7.2 三相异步电动机的基本控制线路	155
*5.5 其他变压器	109	7.2.1 三相异步电动机的点动控制 线路	155
5.5.1 三相变压器	109	7.2.2 三相异步电动机的单向起停 控制线路与自锁	156
5.5.2 自耦变压器	110	7.2.3 三相异步电动机的正反转控制 线路	156
5.5.3 仪用变压器	110	7.3 三相异步电动机的典型控制方式	158
5.5.4 电焊变压器	112	7.3.1 行程控制	158
本章小结	113	7.3.2 时间控制	158
习题	114	7.3.3 顺序控制	159
第6章 交流电动机与微特电机	116	7.3.4 多点控制	160
6.1 电动机的种类和用途	116	7.3.5 制动控制	160
6.2 三相异步电动机的基本结构	117		
6.2.1 定子结构	117		
6.2.2 转子结构	118		

7.3.6 应用举例	162	8.4 节约用电常识	173
本章小结	163	8.4.1 节约用电的意义	173
习题	163	8.4.2 节约用电的主要途径	174
第8章 工厂供电与电工测量	166	8.5 电工测量仪器的基础知识	175
8.1 电力传输的概念	166	8.5.1 电工仪表的分类和符号	176
8.2 工厂供电系统简介	168	8.5.2 电工仪表的结构和工作原理	178
8.2.1 供电系统	168	8.5.3 电工仪表的选用常识	181
8.2.2 工厂配电线路与配电电压	169	8.6 电工测量技术	181
8.3 安全用电常识	170	8.6.1 电流的测量	181
8.3.1 电流对人体的作用	170	8.6.2 电压的测量	182
8.3.2 几种触电方式	170	8.6.3 电功率的测量	183
8.3.3 接地与接零	171	本章小结	185
8.3.4 触电急救常识	173	习题	186

下篇 电子技术

第9章 半导体器件	188	10.1.5 分压式偏置放大电路的分析	212
9.1 半导体的基本知识	188	10.2 共集电极放大电路	213
9.1.1 本征半导体	188	10.2.1 共集电极放大电路的结构	213
9.1.2 杂质半导体	188	10.2.2 共集电极放大电路的分析	213
9.1.3 PN结及其单向导电性	189	10.3 多级放大电路	215
9.2 半导体二极管及其应用	189	10.3.1 多级放大电路的耦合方式	215
9.2.1 二极管的结构和类型	189	10.3.2 多级放大电路的性能指标	216
9.2.2 二极管的特性与参数	190	10.4 功率放大电路	217
9.2.3 半导体二极管的应用	191	10.4.1 功率放大电路的特点与分类	218
9.2.4 特殊二极管	192	10.4.2 OCL乙类互补对称功率放大 电路	219
9.3 晶体管	194	10.4.3 OCL甲乙类互补对称功率放大 电路	220
9.3.1 晶体管的工作原理	194	10.4.4 OTL甲乙类互补对称功率放大 电路	221
9.3.2 晶体管的特性曲线	195	10.4.5 集成功率放大器	221
9.3.3 晶体管的主要参数	197	10.5 场效应晶体管放大电路	222
9.4 场效应晶体管	198	10.5.1 自给偏压偏置电路	223
9.4.1 绝缘栅场效应晶体管	198	10.5.2 分压式偏置电路	223
9.4.2 场效应晶体管的主要参数	200	本章小结	225
本章小结	201	习题	226
习题	201	第11章 集成运算放大电路及其 应用	228
第10章 放大电路基础	203	11.1 集成运算放大器	228
10.1 共发射极放大电路	203	11.1.1 集成运算放大器的组成	228
10.1.1 共发射极放大电路的结构和 工作原理	203	11.1.2 集成运放的电压传输特性	228
10.1.2 共发射极放大电路的静态 分析	205	11.1.3 集成运放的主要技术参数	229
10.1.3 共发射极放大电路的动态 分析	207	11.1.4 集成运放的引脚和符号	229
10.1.4 放大电路静态工作点的稳定	211		

11.1.5 理想运算放大器及其分析方法	230	13.2.3 π 型滤波器	261
11.2 负反馈放大电路	231	13.3 稳压电路	261
11.2.1 反馈的基本概念与分类	231	13.3.1 稳压管稳压电路	261
11.2.2 负反馈的四种组态及判别	233	13.3.2 串联型稳压电路	262
11.2.3 负反馈对放大电路性能的影响	236	13.3.3 集成稳压电路	262
11.3 基本运算电路	237	13.4 单相可控整流电路	264
11.3.1 比例运算电路	237	13.4.1 晶闸管	264
11.3.2 加法和减法运算电路	239	13.4.2 单结晶体管	266
11.3.3 积分和微分运算电路	240	13.4.3 单相半波可控整流电路	268
* 11.4 信号处理电路	242	13.4.4 单相半波桥式整流电路	270
11.4.1 电压比较器	242	本章小结	271
11.4.2 有源滤波器	243	习题	272
本章小结	244	第 14 章 基本逻辑电路与组合逻辑电路	274
习题	245	14.1 逻辑代数	274
第 12 章 正弦振荡电路	248	14.1.1 逻辑代数运算法则	274
12.1 正弦振荡电路的工作原理与振荡条件	248	14.1.2 逻辑函数的表示方法	275
12.1.1 振荡电路产生振荡的基本原理	248	14.1.3 逻辑函数的化简	277
12.1.2 振荡电路的平衡条件	248	14.2 门电路	278
12.1.3 振荡电路的起振条件	248	14.2.1 分立元件基本门电路	278
* 12.2 RC 振荡电路	249	14.2.2 集成门电路	280
12.2.1 RC 串并联网路的选频特性	249	14.3 组合逻辑电路的分析和设计方法	284
12.2.2 文氏桥振荡电路	250	14.3.1 组合逻辑电路的分析	284
12.3 LC 振荡电路	251	14.3.2 组合逻辑电路的设计	285
12.3.1 变压器反馈式振荡电路	251	14.4 加法器	285
12.3.2 电感三点式振荡电路	251	14.4.1 二进制	286
12.3.3 电容三点式振荡电路	252	14.4.2 半加器	287
* 12.4 石英晶体振荡电路	252	14.4.3 全加器	287
12.4.1 石英晶体的工作原理	253	14.5 编码器、译码器及数字显示器	288
12.4.2 石英晶体振荡电路	253	14.5.1 编码器	288
本章小结	254	14.5.2 译码器	291
习题	254	14.5.3 数字显示器	294
第 13 章 直流稳压电源	256	本章小结	296
13.1 整流电路	256	习题	297
13.1.1 单相半波整流电路	256	第 15 章 触发器与时序逻辑电路	301
13.1.2 单相桥式整流电路	257	15.1 集成触发器	301
13.1.3 三相桥式整流电路	258	15.1.1 RS 触发器	301
13.2 滤波电路	259	15.1.2 JK 触发器	303
13.2.1 电容滤波器	259	15.1.3 D 触发器和 T 触发器	305
13.2.2 电感电容滤波器	260	15.1.4 触发器逻辑功能的转换	306
		15.2 寄存器	307
		15.2.1 数码寄存器	307
		15.2.2 移位寄存器	307

15.3 计数器	309	16.2.2 逐次逼近型 A-D 转换器	324
15.3.1 二进制计数器	309	16.2.3 集成 A-D 转换器	325
15.3.2 十进制计数器	312	16.2.4 A-D 转换器的主要技术指标	326
15.4 555 定时器	313	*16.3 应用电路	327
15.4.1 555 定时器的结构和功能	313	16.3.1 D-A 转换器的应用	327
15.4.2 用 555 定时器组成的多谐 振荡器	314	16.3.2 A-D 转换器的应用	328
15.4.3 用 555 定时器组成的单稳态 触发器	315	本章小结	328
本章小结	316	习题	329
习题	316	部分习题参考答案	331
第 16 章 数-模与模-数转换电路	319	附录	344
16.1 数-模 (D-A) 转换器	319	附录 A 国产半导体器件型号及 命名方法	344
16.1.1 T 形网络 D-A 转换器	319	附录 B 常用半导体器件参数	345
16.1.2 集成 D-A 转换器	321	附录 C 国产品闸管型号命名法及 电参数	349
16.1.3 D-A 转换器的主要技术指标	321	附录 D 常用模拟集成组件	352
16.2 模-数 (A-D) 转换器	322	附录 E 常用逻辑符号新旧对照表	353
16.2.1 几个基本概念	322	参考文献	354



上 篇

电 工 技 术

第1章 电路的基本概念与定律

本章介绍了电路模型和电阻、电容、电感、电压源、电流源等理想电路元件。引出了电流和电压参考方向的概念，还介绍了电路功率的计算。电路中电压和电流要受到两类约束，其中一类约束来自元件的本身性质，即元件的伏安关系；另一类约束来自元件的相互连接方式，即基尔霍夫定律。最后介绍了电路中电位的概念。这些基本概念和基本定律是分析电路的基本依据，将贯穿于全书，是本课程的基础。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 实际电路和工作方式

1. 实际电路及组成部分

实际电路是为实现某种应用目的，由若干电气元件按一定方式用导线连接而成的电流通路。

实际电路的形式多种多样，就其作用而言，可以划分为两大类。其中一类主要是实现电能的传输和转换，这类电路有时称为电力电路或强电电路。典型的例子是电力系统，发电机组产生的电能通过变压器、输电线等输送给各用电单位，这就构成了一个很复杂的电路。又如我们所熟悉的手电筒，是一种最简单的电力电路，它由电池、灯泡和开关按钮通过手电筒壳（导体）连接而成，如图 1-1a 所示。其中电池提供电能，这类元件称为电源；灯泡耗用电能，这类元件称为负载；而按钮和导体介于电源和负载之间，起着传输和控制作用，它们称为中间环节。在一般电路中，中间环节还包括保障安全用电的保护电器和测量仪表等。另一类电路主要是实现信号的传递和处理，这类电路有时称为电子电路或弱电电路。例如收音机电路。

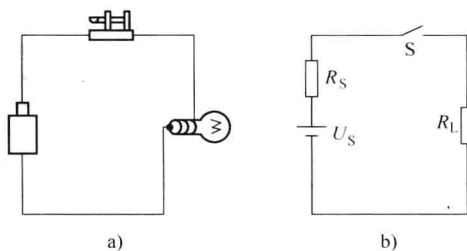


图 1-1 实际电路及其模型

电源、负载和中间环节，是电路的三个基本组成部分。

2. 电路的工作方式

电路在工作时，对电源来说，通常处于下列三种方式之一：负载、空载和短路。

在负载工作方式时，负载与电源接通，负载中有电流通过，该电流称为负载电流，负载电流的大小与负载电阻有关。通常负载都是并联的，它们的两端接在一定的电压下，因此当负载增加时（例如并联的负载数目增加），负载电阻减小，负载电流增大，即功率增大。一般所说的负载的大小，指的是负载电流或功率的大小，而不是指负载电阻的大小。

在空载开路时，负载与电源未接通，电路不通，电路中电流为零。这时电源的端电压叫做空载电压或开路电压。

短路是指由于某种原因使电源两端直接接通，这时电源两端的外电阻等于零，电源输出的电流仅由电源内阻限制，此电流称为短路电流。如果内阻很小，则此电流将很大，以致烧毁电源、导线等。短路通常是一种严重事故。为了避免短路的发生，一般在电路中接入熔断器或其他

的自动保护装置，一旦发生事故，它们能迅速将故障电路自动切断。

1.1.2 电路元件和电路模型

用于构成实际电路的电气设备和元件，统称为实际电路元件，简称为实际元件。实际元件不但种类繁多，而且对一个实际元件来说，其电磁性能也不是单一的。例如实验室用的滑动变阻器由导线绕制而成，当有电流通过时，不仅会消耗电能（具有电阻性质），而且还会产生磁场（具有电感性质）；不仅如此，导线的匝与匝之间还存在分布电容（具有电容性质）。上述性质是交织在一起的，而且当电压、电流的频率不同时，其表现程度也不一样。

在电路分析中，如果对实际元件的所有性质加以考虑，将是十分困难的。为了便于对实际电路进行分析和数学描述，在电路理论中采用了模型的概念，也就是在一定条件下，对实际元件加以近似化和理想化，把电和磁分离开，用只有单一电磁性能的理想电路元件来代表它。所以，理想电路元件是实际元件抽象出来的理想化模型。一种实际元件可用一种或几种理想电路元件的组合来表征。例如上面提到的灯泡，若只考虑其消耗电能的性质，则可用电阻元件来表征。对于电性能相近的实际元件，也可用同一种理想电路元件近似地表征，例如，所有的电阻器、灯泡、电烙铁、电熨斗等，都可用电阻元件来表征。在电路分析中，常用的理想电路元件只有几种（如电阻元件、电感元件、电容元件和电源元件等），它们可以用来表征千千万万种实际元件。我们常将理想电路元件简称为电路元件，它们都有各自的精确定义和数学模型，在电路图中用规定的符号表示。

由电路元件构成的电路，称为电路模型。今后我们研究的电路都是电路模型，并非实际电路。所有的实际电路，不论简单的还是复杂的，都可以用几种电路元件所构成的电路模型来表示。例如手电筒的电路模型如图 1-1b 所示，其中， U_s 表示开关 S 断开时，电池两端的电压； R_s 表示电池的内阻； R_L 表示灯泡（负载）。如何把实际电路变成电路模型，即所谓“建模”的问题，不是本课程的任务，本书对此不作讨论。

1.1.3 集总假设与集总电路

理想电路元件只表现一种电或磁的性能，并认为其电磁过程都集中在元件内部进行，这样的元件称为集总参数元件。由集总参数元件构成的电路称为集总参数电路，简称为集总电路。

用集总电路近似描述实际电路，需要满足以下条件：实际电路的尺寸（长度）要远远小于电路工作频率对应的电磁波的长度。例如，我国电力用电的频率为 50Hz，对应的波长为 6000km，而电力传输线的长度一般为几百千米至几千千米，即传输线的长度接近它工作频率对应的电磁波的长度，因此，电力传输线不能用集总电路来近似描述，而要用分布参数电路理论来分析。对实验室电路来说，其尺寸与它工作频率对应的电磁波的长度要小得多，几乎可以忽略不计，因而用集总的概念是完全可以的。

集总参数电路模型是电路理论中最基本的假设。本书研究的电路均为集总电路。因此，将省略“集总”二字。

1.2 电流和电压的参考方向

电流和电压是描述电路工作过程的两个基本物理量。关于它们的定义，在物理学中已有介绍，本书不再重复，只着重讲述它们的参考方向。

1.2.1 电流的参考方向

电流用“ i ”或“ I ”表示，“ I ”表示直流电流或交流电流有效值，“ i ”表示任意电流。在国际单位制（SI）中，电流的单位是安培，简称安（A），其辅助单位有千安（kA）、毫安（mA）和微安（ μA ）。 $1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$ ， $1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$ 。

在电路中，习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的实际方向。对于一个简单的电路，有时可以判断出电流的实际方向，但对于复杂电路，却很难做到。如果是正弦交流，由于它的实际方向时刻在变化，就更难判定了。为了便于电路分析，引进了参考方向的概念，有的书中把参考方向称为正方向。

所谓电流参考方向，是人们任意假定的电流方向，在电路图中用箭头表示。例如，对于图 1-2 所示的一段电路，它的电流参考方向既可以选定为 A 至 B，如图 1-2a 所示，也可以选定为由 B 至 A，如图 1-2b 所示。电流的参考方向也可以用双下标表示，如 i_{AB} ，它表示电流的参考方向选定为由 A 指向 B。

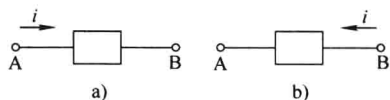


图 1-2 电流的参考方向

电流的参考方向不一定就是它的实际方向。我们规定：当电流的实际方向与参考方向一致时，电流的数值前用“+”号表示；反之用“-”号表示。因此，在选定的电流参考方向下，根据计算得到的电流值的正或负，就可以判断出它的实际方向。例如图 1-3a 中电流 $i = -6\text{A}$ （实线箭头），电流的实际方向如图 1-3a 中虚线箭头所示，即电流的实际方向与电流的参考方向相反。图 1-3b 中电流 $i = 6\text{A}$ （实线箭头），电流的实际方向如图 1-3b 中虚线箭头所示，即电流的实际方向与电流的参考方向相同。

测量电路中的电流时，必须将电流表串入被测电流的支路中。在测量直流电流时，电流的实际方向应从电流表的“+”端流入，如图 1-4 所示。

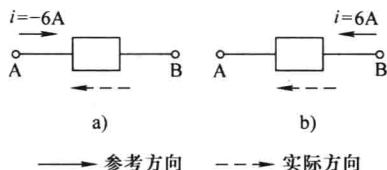


图 1-3 电流实际方向的确定

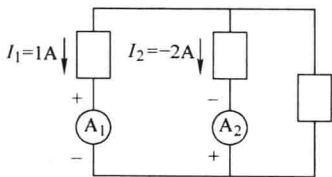


图 1-4 直流电流的测量

1.2.2 电压的参考方向

电压用“ u ”或“ U ”表示，“ U ”表示直流电压或交流电压有效值，“ u ”表示任意电压。在国际单位制（SI）中，电压的单位为伏特，简称伏（V），它的辅助单位是千伏（kV）、毫伏（mV）和微伏（ μV ）。

电压是对电路中两点而言的，它表示两点之间的电位差。电压的实际方向规定为由高电位点指向低电位点，即电位下降的方向。电压的参考方向是任意假定的电位下降的方向，它在电路图中用“+”、“-”极性来表示（也可以用箭头来表示）。还可以用双下标表示，如 u_{AB} ，它表示电压的参考方向为：A 为正极、B 为负极，如图 1-5a 所示。反之， u_{BA} 表示电压的参考方向为：B 为正极、A 为负极，如图 1-5b 所示。根据规定，如果电压的实际方向与参考方向一致，则在

电压的数值前取“+”号，反之取“-”号。因此，在选定的电压参考方向下，根据计算得到的电压值的正或负，就可以判断出它的实际方向。例如，对于图1-5a所示电路的电压参考方向，若 u 为负，则说明电压的实际方向与参考方向相反，即B端电位较A端高。

测量电路中的电压时，必须将电压表与被测电压的支路并联。在测量直流电压时，电压表的实际“+”极应与电压表的“+”端一致，如图1-6所示。

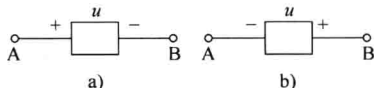


图1-5 电压的参考方向

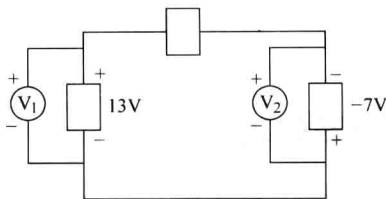


图1-6 直流电压的测量

1.2.3 电压、电流的关联参考方向

前面已经指出，电流和电压的参考方向可以任意选定。但是对于同一段电路或同一个元件来说，通常将电压的参考方向和电流的参考方向选为一致，如图1-7a所示，这时称电压和电流采用关联参考方向。采用关联参考方向后，在电路图中可以只标明电压或电流的参考方向。另一种情况如图1-7b所示，这时电压和电流的参考方向不一致，这时称电压和电流采用非关联参考方向。本书一般均采用关联参考方向。

为了表示电源对电荷做功的能力，在物理学中还介绍了电动势，用字母“ e ”和“ E ”表示。电动势的实际方向规定为电位升高的方向，即从电源的低电位端（“-”极）指向高电位端（“+”极）的方向，它与电压的实际方向正好相反如图1-8所示。电动势与电压是两个不同的概念，但是，它们都可以用来表示电源正、负极之间的电位差，由于电动势不便于测量，故在电路理论中很少用到电动势的概念。

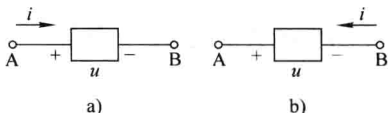


图1-7 电压和电流的关联参考方向

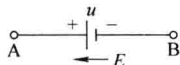


图1-8 电动势的参考方向

最后需着重指出，电流和电压的参考方向是电路分析中一个十分重要的概念，在分析和计算电路前，首先必须在电路中标出参考方向。参考方向可以任意选定，但一经选定，在电路的分析、计算过程中就不允许改变。没有参考方向时，电流、电压数值前的“+”、“-”号就没有任何意义。

例1-1 在图1-9所示电路中，方框表示电源或电阻，各元件的电压和电流的参考方向如图1-9a所示。通过测量可知： $I_1 = 1\text{A}$ ， $I_2 = 2\text{A}$ ， $I_3 = -1\text{A}$ ， $U_1 = 4\text{V}$ ， $U_2 = -4\text{V}$ ， $U_3 = 7\text{V}$ ， $U_4 = -3\text{V}$ 。试标出各电流和电压的实际方向。

解 电流和电压为正值，其实际方向和参考方向一致；为负值，其实际方向和参考方向相反。按照上述原则，得到各电流和电压实际方向如图1-9b所示。

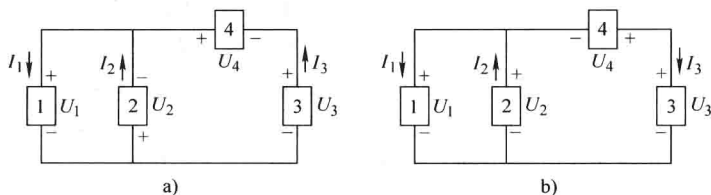


图 1-9 例 1-1 图

1.3 电路的功率

功率是电路分析中常用到的另一个物理量,功率用“ P ”或“ p ”表示,“ P ”表示直流功率或交流平均功率,“ p ”表示瞬时功率。在国际单位制(SI)中,当电压和电流的单位为伏和安时,功率的单位为瓦特,简称瓦(W),它的辅助单位有千瓦(kW)和毫瓦(mW)等。

如图 1-10a 所示,当电压和电流采用一致的参考方向时,计算功率的公式为

$$p = ui \quad (1-1)$$

在直流情况下

$$P = UI \quad (1-2)$$

上述公式是按吸收功率来计算的,即当 $p > 0$ (或 $P > 0$) 时,表示该段电路吸收(消耗)功率;当 $p < 0$ (或 $P < 0$) 时,则表示该段电路释放(产生)功率。

若电压和电流的参考方向不一致,如图 1-10b 所示,计算功率的表达式为

$$p = -ui \quad \text{或} \quad P = -UI \quad (1-3)$$

判定是吸收功率还是释放功率的原则与式(1-1)和式(1-2)相同。

例 1-2 求图 1-9a 所示电路中每个元件的功率,并判断其是电源还是负载?

解 元件 1: 因为它的电压和电流参考方向一致,则有

$$P_1 = U_1 I_1 = 4 \times 1 \text{ W} = 4 \text{ W} > 0$$

因此,该元件吸收功率,为负载。

元件 2: 因为它的电压和电流为关联参考方向,则有

$$P_2 = U_2 I_2 = (-4) \times 2 \text{ W} = -8 \text{ W} < 0$$

因此,该元件释放功率,为电源。

元件 3: 因为它的电压和电流的参考方向不一致,则有

$$P_3 = -U_3 I_3 = [-7 \times (-1)] \text{ W} = 7 \text{ W} > 0$$

因此,该元件吸收功率,为负载。

元件 4: 因为它的电压和电流的参考方向不一致,则有

$$P_4 = -U_4 I_3 = [-(-3) \times (-1)] \text{ W} = -3 \text{ W} < 0$$

因此,该元件发出功率,为电源。

由上面计算得整个电路吸收和释放功率的代数和为

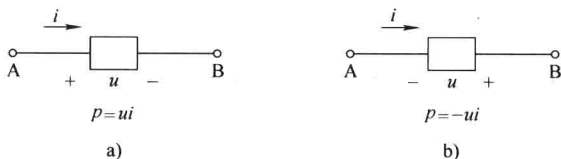


图 1-10 功率的计算

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = (4 - 8 + 7 - 3) \text{ W} = 0$$

这说明,在同一个电路中,电源提供的功率与负载消耗的功率总是相等的。我们可以利用功率相等关系来验证计算结果的正确与否。

从上述计算过程中,我们还可以看出:在电路计算中,要与两套符号打交道,一种是由电压和电流的参考方向引起的符号;另一种是公式本身的符号。在电路分析中,我们经常要碰到这类问题,因此,这要引起我们足够地重视。

为了保证电气设备和元件(包括电线、电缆)安全、可靠和经济地工作,每种设备、元件在设计时,都规定了工作时允许的最大电流、最大电压和最大功率等,它们分别用 I_N 、 U_N 和 P_N 表示。这些数值统称为额定值。如额定电流、额定电压、额定功率等。额定值常标在电气设备和元件的铭牌上或打印在外壳上,故又叫铭牌值。在选用设备和元件时,应使其工作时的电流、电压和功率不超过额定值,但一般也不要低于它。通过设备的电流过大,将会由于过热而加速绝缘老化,缩短设备寿命,甚至烧毁设备。若电压过高,一方面会引起电流增大,另一方面还可能使绝缘被击穿。反之,若工作时电流、电压值低于额定值,设备往往不能正常工作,或者不能充分地利用。电气设备工作在额定情况下,叫做额定工作状态。当电流和功率超过额定值时,叫做“过载”,过载一般是不允许的。

1.4 电路元件的伏安关系

前已述及,我们研究的电路都是电路模型,它是由若干电路元件构成的。通常采用的电路元件有电阻元件、电容元件、电感元件和电源元件。这些元件都是二端元件,因为它们只有两个端钮与其他元件相连接。其中电阻元件、电容元件和电感元件不产生能量,称为无源元件;电源元件是电路中提供能量的元件,称为有源元件,它在电路中起“激励”作用,使电路中产生电流和电压,由激励引起的电流和电压称为“响应”。

上述元件两端之间的电压与通过它的电流之间都有确定的关系,这个关系叫做元件的伏安关系,该关系由元件性质所决定,元件不同,其伏安关系就不同。这种由元件性质给元件中电压、电流施加的约束称为元件约束,用来表示伏安关系的方程式称为该元件的特性方程或约束方程。

1.4.1 无源元件

1. 电阻元件

(1) 电阻元件的伏安关系

电阻元件是从实际电阻器件抽象出来的理想化模型。像灯泡、电阻炉、电烙铁等这类实际电阻器件,当忽略其电感等作用时,可将它们抽象为只具有消耗电能的电阻元件。在 u 、 i 参考方向一致时,线性电阻元件的特性方程为

$$u = Ri \quad (1-4)$$

这个式子便是著名的欧姆定律,它表明线性电阻元件的端电压与通过它的电流成正比。比例常数 R 称为电阻,是表征电阻元件特性的参数,当 u 的单位为伏(V), i 的单位为安(A)时, R 的单位为欧姆,简称欧(Ω),较大的单位为千欧(k Ω)和兆欧(M Ω), $1\text{ M}\Omega = 10^6\Omega$ 。习惯上我们也常把电阻元件简称为电阻,所以“电阻”这个名词,既表示电路元件,又表示元件的参数。

当式(1-4)中的 R 不是一个常数时,即与它的电压、电流有关时,则该电阻元件为非线性