

- 中国高等职业技术教育研究会推荐
- 高职高专电子、通信类专业“十一五”规划教材

电路应用基础

主编 姚建永



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

□ 中国高等职业技术教育研究会推荐

高职高专电子、通信类专业“十一五”规划教材

电路应用基础

主编 姚建永

主审 王吉连

西安电子科技大学出版社

2008

内 容 简 介

本书是根据教育部制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》编写的。全书共7章, 主要内容包括: 电路的基本概念和基本定律、直流电路、电容元件和电感元件、正弦交流电路、谐振电路、动态电路的过渡过程及互感耦合电路。每章后附有应用与训练、本章小结和习题。

本书可作为高等职业技术学院电子技术、计算机、通信技术及电气自动化等相关专业“电路应用基础”课程的教材, 也可供有关工程技术人员参考, 还可以作为电子类培训方面的教材。

★本书配有电子教案, 需要者可登录出版社的网站免费下载。

图书在版编目(CIP)数据

电路应用基础/姚建永主编. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2008.8

中国高等职业技术教育研究会推荐. 高职高专电子、通信类专业“十一五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2078 - 7

I. 电… II. 姚… III. 电路—高等学校: 技术学校—教材 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 096598 号

策 划 马乐惠

责任编辑 雷鸿俊 马乐惠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2008年8月第1版 2008年8月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 14.5

字 数 335千字

印 数 1~4000册

定 价 21.00元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2078 - 7/TN · 0441

XDUP 2370001 - 1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜, 谨防盗版。

序

进入 21 世纪以来,高等职业教育呈现出快速发展的形势。高等职业教育的发展,丰富了高等教育的体系结构,突出了高等职业教育的类型特色,顺应了人民群众接受高等教育的强烈需求,为现代化建设培养了大量高素质技能型专门人才,对高等教育大众化作出了重要贡献。目前,高等职业教育在我国社会主义现代化建设事业中发挥着越来越重要的作用。

教育部 2006 年下发了《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》,其中提出了深化教育教学改革,重视内涵建设,促进“工学结合”人才培养模式改革,推进整体办学水平提升,形成结构合理、功能完善、质量优良、特色鲜明的高等职业教育体系的任务要求。

根据新的发展要求,高等职业院校积极与行业企业合作开发课程,根据技术领域和职业岗位群任职要求,参照相关职业资格标准,改革课程体系和教学内容,建立突出职业能力培养的课程标准,规范课程教学的基本要求,提高课程教学质量,不断更新教学内容,而实施具有工学结合特色的教材建设是推进高等职业教育改革发展的重要任务。

为配合教育部实施质量工程,解决当前高职高专精品教材不足的问题,西安电子科技大学出版社与中国高等职业技术教育研究会在前三轮联合策划、组织编写“计算机、通信电子、机电及汽车类专业”系列高职高专教材共 160 余种的基础上,又联合策划、组织编写了新一轮“计算机、通信、电子类”专业系列高职高专教材共 120 余种。这些教材的选题是在全国范围内近 30 所高职高专院校中,对教学计划和课程设置进行充分调研的基础上策划产生的。教材的编写采取在教育部精品专业或示范性专业的高职高专院校中公开招标的形式,以吸收尽可能多的优秀作者参与投标和编写。在此基础上,召开系列教材专家编委会,评审教材编写大纲,并对中标大纲提出修改、完善意见,确定主编、主审人选。该系列教材以满足职业岗位需求为目标,以培养学生的应用技能为着力点,在教材的编写中结合任务驱动、项目导向的教学方式,力求在新颖性、实用性、可读性三个方面有所突破,体现高职高专教材的特点。已出版的第一轮教材共 36 种,2001 年全部出齐,从使用情况看,比较适合高等职业院校的需要,普遍受到各学校的欢迎,一再重印,其中《互联网实用技术与网页制作》在短短两年多的时间里先后重印 6 次,并获教育部 2002 年普通高校优秀教材奖。第二轮教材共 60 余种,在 2004 年已全部出齐,有的教材出版一年多的时间里就重印 4 次,反映了市场对优秀专业教材的需求。前两轮教材中有十几种入选国家“十一五”规划教材。第三轮教材 2007 年 8 月之前全部出齐。本轮教材预计 2008 年全部出齐,相信也会成为系列精品教材。

教材建设是高职高专院校教学基本建设的一项重要工作。多年来,高职高专院校十分重视教材建设,组织教师参加教材编写,为高职高专教材从无到有,从有到优、到特而辛勤工作。但高职高专教材的建设起步时间不长,还需要与行业企业合作,通过共同努力,出版一大批符合培养高素质技能型专门人才要求的特色教材。

我们殷切希望广大从事高职高专教育的教师,面向市场,服务需求,为形成具有中国特色和高职教育特点的高职高专教材体系作出积极的贡献。

中国高等职业技术教育研究会会长

2007 年 6 月



高职高专电子、通信类专业“十一五”规划教材

编审专家委员会名单

主任: 温希东 (深圳职业技术学院副院长 教授)

副主任: 马晓明 (深圳职业技术学院通信工程系主任 教授)

余 华 (武汉船舶职业技术学院电子电气工程系主任 副教授)

电子组 组长: 余 华(兼) (成员按姓氏笔画排列)

于宝明 (南京信息职业技术学院电子信息工程系副主任 副研究员)

马建如 (常州信息职业技术学院电子信息工程系副主任 副教授)

刘 科 (苏州职业大学信息工程系 副教授)

刘守义 (深圳职业技术学院 教授)

许秀林 (南通职业大学电子系副主任 副教授)

高恭娴 (南京信息职业技术学院电子信息工程系 副教授)

余红娟 (金华职业技术学院电子系主任 副教授)

宋 焯 (长沙航空职业技术学院 副教授)

李思政 (淮安信息职业技术学院电子工程系主任 讲师)

苏家健 (上海第二工业大学电子电气工程学院 教授)

张宗平 (深圳信息职业技术学院电子通信技术系 高级工程师)

陈传军 (金陵科技学院电子系主任 副教授)

姚建永 (武汉职业技术学院电信学院院长 副教授)

徐丽萍 (南京工业职业技术学院电气与自动化系 高级工程师)

涂用军 (广东科学技术职业学院机电学院副院长 副教授)

郭再泉 (无锡职业技术学院自动控制与电子工程系主任 副教授)

曹光跃 (安徽电子信息职业技术学院电子工程系主任 副教授)

梁长垠 (深圳职业技术学院电子工程系 副教授)

通信组 组长: 马晓明(兼) (成员按姓氏笔画排列)

王巧明 (广东邮电职业技术学院通信工程系主任 副教授)

江 力 (安徽电子信息职业技术学院信息工程系主任 副教授)

余 华 (南京信息职业技术学院通信工程系 副教授)

吴 永 (广东科学技术职业学院电子系 高级工程师)

张立中 (常州信息职业技术学院 高级工程师)

李立高 (长沙通信职业技术学院 副教授)

林植平 (南京工业职业技术学院电气与自动化系 高级工程师)

杨 俊 (武汉职业技术学院通信工程系主任 副教授)

俞兴明 (苏州职业大学电子信息工程系 副教授)

项目策划 马乐惠

策 划 张 媛 薛 媛 张晓燕

前 言

在新世纪教育大发展的浪潮中，高等职业教育正伴随着经济的发展而迅猛成长壮大，使人耳目一新。近年来，高等职业教育在人才培养目标、人才培养模式以及专业设置、课程改革等诸多方面都取得了不少研究成果。

作为高等教育发展的一个类型，高等职业教育肩负着培养适应现代化建设需要的生产、管理和服务一线的高技能人才的使命，有其鲜明的特色。高等职业教育坚持以人为本、以服务为宗旨、以就业为导向来制定人才培养计划，并十分注重实践能力的培养，在教材的编写上也充分注意到了这一点。

“电路应用基础”课程是电子信息类各专业的一门重要的技术基础课。在传授必备的理论基础知识和掌握电路分析、计算的同时，应注重培养学生的思维能力、创新能力和动手能力，以及实事求是的科学作风和较强的分析问题和解决问题的能力，为学习专业课程打好必要的基础。

针对高等职业技术教育的培养目标和学生的实际情况，在教材的编写上应本着“必需、适度、够用”的原则；在内容的编排上应充分考虑理论深度的适当。基于此，本书在编写上充分考虑了如下情况：

1. 从高等职业教育的实际出发，以培养能力为主线，充分考虑到学生的就业岗位，适当降低理论深度，加强应用内容。
2. 从实际出发，不苛求理论上的系统性和完整性，以任务引领方式来组织教学。
3. 突出重点内容，尽量在论述上深入浅出；例题简明，便于教学；各章后配有应用与训练内容，以提高学生重视实践活动的注意力。
4. 在内容安排上做了调整，强调电路等效的概念和基本电路的分析与计算，删去二阶电路的分析内容，将三相电路作为正弦交流电路的应用来编排。

根据课程教学改革的需要，各校都在逐步推广“一教双证”的教学模式，实现“教，学，做”合一的教学方法，使学生真正做到知行合一。因此，在本书附录中加入了电工技术职业技能培训的有关内容，供参考应用。

本书每章有小结，便于复习和总结；例题丰富，实用性强；每节后有思考与练习，每章后有习题，题型丰富，难度适中，有助于学生进一步理解所学知识。

本书小节前加“*”者为选学内容，全书教学时数可在70~80学时的范围内适度安排（不含实验及课程设计）。

本书第1、6章由杨俊编写，第2章由李军编写，第3、7章由姚建永编写，第4、5章由张春霞编写。全书由姚建永主编，深圳德普施科技公司王吉连博士担任主审。

限于编者水平，书中难免有不足之处，希望广大读者不吝赐教。

编 者
2008年4月

编者寄语

欢迎进入电子世界。本课程是学习电子工程学方面的首门课程。对同学们来说,电子信息技术是饶有兴趣且具有挑战性的学科,在学习中有时会感到有困难,我们希望同学们知难而进。要知道,缤纷多彩的电子世界,将对你的未来工作和生活带来无限的快乐,厚实的电子科学知识是开始各类职业生涯的基础,祝愿同学们今后能为现代化社会的建设与发展提供优质服务。

我国高等职业教育发展很快,近年来,一批有价值的高职教材应运而生。大家知道,一本好的教材再加上优秀教师的指导是学好课程的有利条件,但学生自己仍是学好课程的关键因素,在此向同学们提出如下建议。

1. 本课程是电子信息技术学科的基础,其中的基本概念、基本定律和计算分析方法等内容是学习后续职业技术方面课程的理论基础。在认真听完老师的讲解后,尽可能多地做本书中所提供的习题不失为一种好的学习方法,可以先做思考与练习题,再做各章后的习题。我们能向你提供的学习方法就是阅读、练习、思考与实践。

2. 本课程的先修课为微积分和普通物理。

3. 本课程的教学大纲、电子教案、习题、课程设计等资料已上网(网址为 <http://www.wtc.edu.cn>),供同学们参考。

4. 每章后面都有小结和应用与训练,大家可以看一下,体验对每章节内容的归纳和体会。同学们可以试着总结一下每章节的内容,这样可能会得到一些体会和总结出学习本课程的某些“方法”。这些是在课堂上或书本上所涉及不到的。另外,建议大家经常到图书馆去,充分利用图书馆的资源。

5. 编写一本适合学生用的高职教材并不是一件易事,欢迎同学们在学习过程中对本书章节的安排以及内容的深度等方面提出建议和批评。

最后,祝愿同学们学好本门课程,给自己奠定一个好的基础。

编者
2008年4月

目 录

第 1 章 电路的基本概念和基本定律 1	第 2 章 直流电路的分析 29
1.1 电路与电路模型 1	2.1 电阻器的串联、并联和混联 29
1.1.1 电路 1	2.1.1 等效网络的定义 29
1.1.2 电路模型 2	2.1.2 电阻器的串联及分压公式 30
思考与练习 2	2.1.3 电阻器的并联及分流公式 31
1.2 电流、电压及其参考方向 3	2.1.4 电阻的混联 32
1.2.1 电流及其参考方向 3	思考与练习 34
1.2.2 电压及其参考方向 4	2.2 电阻的星形、三角形连接及其 等效变换 35
思考与练习 5	2.2.1 电阻的星形连接和三角形连接 ... 35
1.3 电功率和电能 6	2.2.2 星形和三角形电阻网络的等效 互换 36
1.3.1 电功率(功率) 6	思考与练习 37
1.3.2 电能 7	2.3 含源串联、并联和混联电路的 等效化简 38
思考与练习 7	2.3.1 实际电源两种模型的等效变换 ... 38
1.4 基尔霍夫定律 8	2.3.2 几种含源支路的等效变换 39
1.4.1 电路的几个名词 8	2.3.3 含源混联网络的等效变换 40
1.4.2 基尔霍夫电流定律 8	思考与练习 42
1.4.3 基尔霍夫电压定律 9	2.4 支路电流法 42
思考与练习 10	思考与练习 44
1.5 电阻元件 11	2.5 节点电位法 44
1.5.1 电阻元件及其 VCR 11	2.5.1 节点电位方程 45
1.5.2 电阻元件的功率 12	2.5.2 弥尔曼定理 48
1.5.3 电阻器及其额定功率和额定值 ... 12	思考与练习 48
思考与练习 13	2.6 叠加定理 48
1.6 电压源和电流源 13	思考与练习 51
1.6.1 电压源 14	2.7 戴维南定理 51
1.6.2 电流源 15	2.7.1 戴维南定理 51
思考与练习 17	2.7.2 戴维南定理应用 52
1.7 用电位的概念分析电路 18	2.7.3 等效串联模型参数的测定 55
1.7.1 电位与电压 18	思考与练习 56
1.7.2 等电位点 19	2.8 含受控源电路的分析 56
1.7.3 电子电路图简化表示 20	2.8.1 受控源 56
思考与练习 21	2.8.2 含受控源电路的分析 57
应用与训练 22	思考与练习 60
本章小结 23	
习题一 24	

2.9 最大功率输出	60	4.4.1 电感元件的电压与电流	101
思考与练习	62	4.4.2 电感元件的功率	102
应用与训练	63	思考与练习	104
本章小结	65	4.5 电容元件的交流电路	104
习题二	67	4.5.1 电容元件的电压与电流	105
第3章 电容和电感	73	4.5.2 电容元件的功率	106
3.1 电容器及其充、放电现象	73	思考与练习	107
3.1.1 电容器	73	4.6 电阻、电感与电容元件串联的	
3.1.2 电容器的充、放电现象	74	交流电路	108
思考与练习	75	4.6.1 电阻、电感与电容串联电路	108
3.2 电容元件的 VCR	75	4.6.2 复阻抗	109
3.2.1 电容元件的 VCR	75	思考与练习	113
3.2.2 电容元件的储能	75	* 4.7 GCL 并联电路和复导纳	113
思考与练习	77	4.7.1 GCL 并联电路的电流	113
3.3 电容器的连接	77	4.7.2 复导纳	115
3.3.1 电容器的并联	77	思考与练习	118
3.3.2 电容的串联	78	* 4.8 正弦交流电路的计算	118
思考与练习	80	思考与练习	121
3.4 电感元件的 VCR	80	4.9 正弦交流电路的功率	121
3.4.1 电磁感应定律	80	4.9.1 网络吸收的瞬时功率	122
3.4.2 电感元件和电感	81	4.9.2 有功功率、无功功率、视在功率	
3.4.3 影响电感的因素	82	和功率因数	122
3.4.4 电感元件的 VCR	83	4.9.3 复功率和功率三角形	124
3.4.5 电感元件的储能	83	思考与练习	125
思考与练习	84	4.10 功率因数的提高	125
应用与训练	84	4.10.1 提高功率因数的意义	125
本章小结	85	4.10.2 提高功率因数的方法	126
习题三	86	思考与练习	127
第4章 正弦交流电路	88	4.11 三相电路	127
4.1 正弦量的基本概念	88	4.11.1 对称三相电源	128
4.1.1 正弦电流与电压	88	4.11.2 三相负载的连接	132
4.1.2 正弦量的三要素	89	4.11.3 三相电路的功率	136
思考与练习	93	思考与练习	137
4.2 正弦量的相量表示法	93	应用与训练	138
4.2.1 正弦量的相量表示法	94	本章小结	141
4.2.2 用相量法求同频率正弦量的和	96	习题四	145
4.2.3 基尔霍夫定律的相量形式	97	第5章 谐振电路	150
思考与练习	97	5.1 串联谐振	150
4.3 电阻元件的交流电路	98	5.1.1 串联谐振的条件	151
4.3.1 电阻元件的电压与电流	98	5.1.2 串联谐振的频率及电路的固有	
4.3.2 电阻元件的功率	99	频率	151
思考与练习	100	5.1.3 串联谐振的特征	151
4.4 电感元件的交流电路	101	思考与练习	153

5.2 串联谐振电路的频率特性	154	6.4 一阶电路的全响应及其求法	182
5.2.1 阻抗和导纳的频率特性	154	6.4.1 一阶电路的全响应	182
5.2.2 电流的谐振曲线	155	6.4.2 用叠加定理求一阶电路的 全响应	183
思考与练习	155	思考与练习	185
5.3 串联谐振电路的通频带	155	6.5 一阶电路的三要素法	185
5.3.1 幅频失真和通频带	156	思考与练习	187
5.3.2 通频带与品质因数的关系	156	应用与训练	188
思考与练习	157	本章小结	189
5.4 并联谐振	157	习题六	189
5.4.1 并联谐振的条件	158	第7章 互感耦合电路	193
5.4.2 并联谐振的特征	158	7.1 互感和互感电压	193
思考与练习	160	7.1.1 互感系数和耦合系数	193
5.5 并联谐振电路的频率特性和 通频带	160	7.1.2 互感电压	194
5.5.1 并联谐振电路的频率特性	160	思考与练习	195
5.5.2 并联谐振电路的通频带	161	7.2 耦合电感的同名端及 VCR	195
5.5.3 电源内阻对通频带的影响	161	7.2.1 耦合电感的同名端	195
思考与练习	162	7.2.2 耦合电感的 VCR	197
应用与训练	162	思考与练习	198
本章小结	164	7.3 耦合电感的串联和并联	198
习题五	166	7.3.1 耦合电感的串联	199
第6章 一阶动态电路分析	167	7.3.2 耦合电感的并联	200
6.1 换路定律	167	思考与练习	202
6.1.1 过渡过程的概念	167	7.4 变压器	202
6.1.2 换路定律	168	7.4.1 铁芯变压器	202
6.1.3 初始值的计算	168	7.4.2 空芯变压器	204
思考与练习	170	7.4.3 几种常用变压器	205
6.2 一阶电路的零输入响应	170	思考与练习	207
6.2.1 RC 电路的零输入响应	171	应用与训练	208
6.2.2 RL 电路的零输入响应	174	本章小结	208
思考与练习	176	习题七	210
6.3 直流激励下一阶电路的零状态 响应	176	附录 I 复数及其四则运算	212
6.3.1 RC 电路的零状态响应	177	附录 II 电工安全技术培训摘要	218
6.3.2 RL 电路的零状态响应	180	参考文献	220
思考与练习	182		

第 1 章 电路的基本概念和基本定律

电路的研究起点是电路中的元件、参数和模型的建立。本章介绍了电路中的基本物理量——电流、电压、功率等，引入了参考方向的概念，阐述了电路的基本定律和基本分析方法。

通过本章的学习，读者应学会运用欧姆定律分析线性电阻元件的电流、电压、电阻之间的关系；理解电路中连接各元件之间电压和电流的约束关系——基尔霍夫定律；学会使用各种仪器仪表，并可利用这些仪器仪表对电压、电流进行测量，以及对基尔霍夫定律进行验证。

1.1 电路与电路模型

学习任务：

- (1) 根据实际电路构建电路模型，建立电源、负载、激励、响应的概念；
- (2) 区分电路的三种状态：通路、断路、短路。

获取能力：

- (1) 识别常用的电气元件的模型；
- (2) 了解实际电路和电路模型的关系。

1.1.1 电路

电路(circuit)是由一些电气设备和元件按一定方式组合起来实现某种功能的电流通路。电路有时也称网络。

在现代化的生活、生产和科学实验中，广泛地应用着各种各样的电路。例如照明电路、将微弱信号进行放大的放大电路、自动化生产过程中的控制电路、进行信息交换的通信电路等。虽然实际应用中的电路种类繁多，但它们都是由一些基本的部分组成。

图 1-1-1 是手电筒电路，它由干电池、开关、灯泡和连接导线组成。

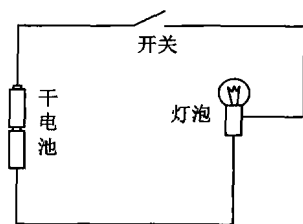


图 1-1-1 手电筒电路

电路中提供能源的设备或器件称为电源(electric source)，如图 1-1-1 中的干电池。电源还有蓄电池、发电机、光电池等。电路中使用电能的设备或器件称为负载(load)，如灯泡便是负载，它将电能转换为光能。在电子技术中，将电源对电路的作用称为激励

(excite), 电路中产生的电压、电流称为响应(response)。

电路中有三种状态：第一种是通路，即电路为闭合回路，电路中有电流；第二种是断路，又称开路，电路中无电流；第三种是短路，短路后引起过大电流，会造成电路破坏，实际生活中应避免电路短路现象的发生。

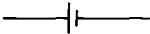
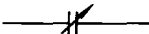





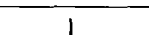

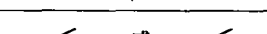

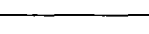
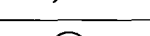
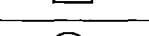
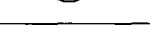
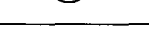
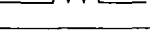
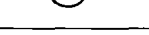


1.1.2 电路模型

组成实际电路的各种设备或器件，其电磁性能一般比较复杂。为了便于对电路进行分析和计算，常把实际器件理想化，即考虑其主要电磁性能，忽略次要的性质，这样实际器件可用一个规定的符号来表示，称为电路元件，由电路元件组成的电路称为实际电路的电路模型(circuit model)。例如，白炽灯、电炉等电器的主要功能是对电流呈现阻力而消耗电能，因此可以用一个表征消耗电能的电阻元件作为它们的模型。

后面我们讨论的电路都是指电路模型。

表 1-1-1 所列为电路图中常用的元器件及仪表的图形符号。

表 1-1-1 常用的元器件及仪表的图形符号

名称	符号	名称	符号
直流电压源电池		可变电容	
电压源		理想导线	
电流源		互相连接的导线	
电阻元件		交叉但不连接的导线	
电位器		开关	
可变电阻		熔断器	
电灯		电流表	
电感元件		电压表	
铁芯电感		功率表	
电容元件		接地	

思考与练习

1-1-1 什么是电源？什么是负载？什么是激励？什么是响应？

1-1-2 什么是电路模型？本课程为什么借助于电路模型来阐述电路的基本规律和基本分析方法？

1-1-3 电路的状态有哪些? 举例说明。

1.2 电流、电压及其参考方向

学习任务:

- (1) 阐明电荷的概念, 给出电流、电压的定义及其特征;
- (2) 建立参考方向的概念, 明确关联方向的意义。

获取能力:

- (1) 准确陈述电流与电压的定义、单位、公式;
- (2) 根据参考方向和数值, 准确判断电流、电压的实际方向;
- (3) 准确判断电压和电流参考方向是否相关联;
- (4) 熟练利用万用表测量各支路电压、电流。

电路的功能, 无论是能量的传输与转换, 还是信号的传输与处理, 都要通过电压、电流和功率来实现。在分析和计算电路之前, 必须理解电路的基本物理量。本节重点介绍电流和电压。

1.2.1 电流及其参考方向

电荷的定向运动形成电流。导体中的电流是电子有规则定向运动形成的, 电解液中的电流是正、负两种离子向两个相反方向有规则运动形成的。电流的方向规定为正电荷运动的方向, 电流的大小用电流强度(简称电流)来衡量。电流强度在数值上等于单位时间内通过导体横截面的电荷量。若用 i 表示电流强度, 则

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2-1)$$

式中, q 是电荷量, 单位是 C(库仑); t 是时间, 单位是 s(秒); i 是电流强度, 单位是 A(安培)。实际中电流还有一些常用单位, 如 kA(千安)、mA(毫安)、 μ A(微安), 它们之间的换算关系为

$$1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A}; \quad 1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}; \quad 1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$$

各种物理量的十进制倍数单位或分数单位都是在原单位前冠以词头构成的, 常用的倍数及分数单位的词头见表 1-2-1。

表 1-2-1 常用 SI 十进制倍数及分数单位的词头

因数	词头	代号		因数	词头	代号	
		中文	字母			中文	字母
10^{12}	tera	太	T	10^{-1}	deci	分	d
10^9	giga	吉	G	10^{-2}	centi	厘	c
10^6	mega	兆	M	10^{-3}	milli	毫	m
10^3	kib	千	k	10^{-6}	micro	微	μ
10^2	hecto	百	h	10^{-9}	nano	纳	n
10^1	deca	十	da	10^{-12}	pico	皮	p

大小和方向都不随时间变化的电流称为直流(Direct Current),记为 DC。直流的电流强度可表示为

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

大小和方向随时间作周期性变化的电流称为周期电流。若周期电流在一个周期内的数学平均值为零,则称为交变电流,简称交流(Alternate Current),记为 AC。通常所说的交流多指正弦电流,它随时间按正弦规律变化。

在分析电路时,电流的实际方向难以确定,特别是交流电路中电流的实际方向随时间不断变化。为了分析电路的需要,常引入参考方向(reference direction)的概念,即在不知道电流的实际方向时,先假定一个电流的方向,在电路图中用实线箭头表示电流的参考方向。如果计算结果电流值为正,则电流的实际方向与参考方向一致;若计算结果电流值为负,则电流的实际方向与参考方向相反,电流的正、负值结合参考方向可判定电流的实际方向。若需标出电流的实际方向,可用虚线箭头表示,如图 1-2-1 所示。以后的电路中,只需标出电流的参考方向,而无需标注实际方向。

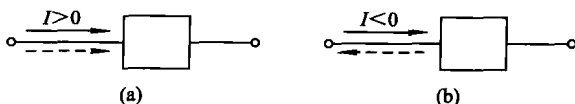


图 1-2-1 电流的参考方向

例 1-2-1 图 1-2-1(a)、(b)中的方框用来表示某种元件。试确定通过元件上电流的真实方向。

解 图 1-2-1 中电流的方向(实线箭头)均为参考方向。

(1) 图(a)中,若已知 $I=2\text{ A}>0$,其电流的实际方向如图中虚线箭头所示。

(2) 图(b)中,若已知 $I=-2\text{ A}<0$,其电流的实际方向如图中虚线箭头所示。

1.2.2 电压及其参考方向

电路中 a 、 b 两点间的电压,在数值上等于单位正电荷从 a 点移动到 b 点时电场力所做的功。设有正电荷 dq 在电场力的作用下,从 a 点移动到 b 点,电场力所做的功为 $d\omega$,则 a 、 b 两点间的电压为

$$u_{ab} = \frac{d\omega}{dq} \quad (1-2-3)$$

电压的实际方向规定为正电荷在电场力作用下移动的方向。

直流电压常用大写字母 U 表示,如 a 、 b 两点间的直流电压为

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} \quad (1-2-4)$$

电压的单位为伏特,简称伏(V)。若电场力将 1 C(库仑)的电荷从 a 点移到 b 点所做的功为 1 J(焦耳),则 a 、 b 两点间的电压为 1 V(伏特)。

电压还有一些常用单位,如 kV(千伏)、mV(毫伏)、 μV (微伏),它们之间的换算关系为

$$1\text{ kV} = 10^3\text{ V}; \quad 1\text{ mV} = 10^{-3}\text{ V}; \quad 1\text{ }\mu\text{V} = 10^{-6}\text{ V}$$

在分析电路时，与电流相似，也要预先假定电压的参考方向。电压的参考方向可以用“+”、“-”号表示，也可以用实线箭头表示，如图 1-2-2 所示。电压的参考方向也称为参考极性，“+”称为参考正极，“-”称为参考负极，电压的参考方向从“+”指向“-”。此外，还常用双下标来表示电压的参考方向，如 U_{ab} 表示电压的参考方向从 a 指向 b 。

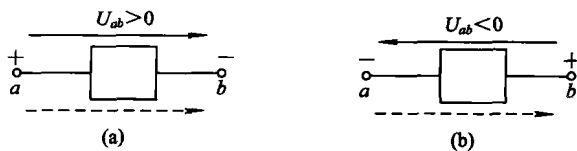


图 1-2-2 电压的参考方向

对于某一段电路或某一个二端元件，电流和电压的参考方向可以分别独立地假定。但为了分析、计算方便，我们选择二者的参考方向一致，电流和电压的这种参考方向称为关联的参考方向，简称关联方向，如图 1-2-3(a) 所示；反之，则为非关联参考方向，如图 1-2-3(b) 所示。

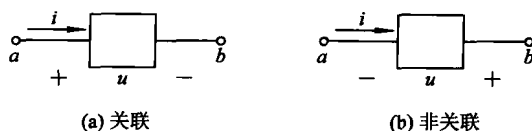


图 1-2-3 电流和电压的参考方向

若选择电流、电压为关联方向，则在电路图中只标出两者之一的参考方向即可。

例 1-2-2 电路如图 1-2-4 所示，已知 $U_1 = -5 \text{ V}$ ， $U_2 = 10 \text{ V}$ ，求 U_{ab} 和 U_{cd} 。

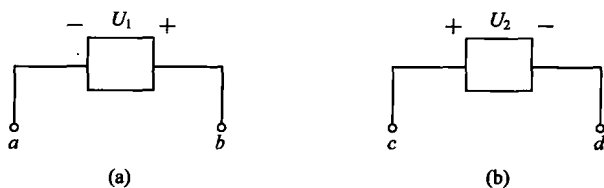


图 1-2-4 例 1-2-2 用图

解 图 1-2-4(a) 中， U_1 的参考方向与 U_{ab} 的参考方向相反，故有

$$U_{ab} = -U_1 = -(-5 \text{ V}) = 5 \text{ V}$$

图 1-2-4(b) 中， U_2 的参考方向与 U_{cd} 的参考方向一致，故有

$$U_{cd} = U_2 = 10 \text{ V}$$

思考与练习

1-2-1 电流强度是如何定义的？什么是电流的参考方向？为什么计算电流时要有参考方向？

1-2-2 什么是电压？电压的参考方向有几种表示方法？

1-2-3 什么是相关联的电流、电压参考方向？

1.3 电功率和电能

学习任务:

- (1) 阐明电功率(功率)和能量的定义、单位和含义;
- (2) 建立度和千瓦时的概念。

获取能力:

- (1) 准确陈述功率与能量的公式、单位、定义;
- (2) 根据参考方向,准确判断元件是否产生和吸收功率。

1.3.1 电功率(功率)

在图 1-2-3(a)所示电路中,如果正电荷 dq 由 a 点移到 b 点电场力所做的功为 dW , 则根据式(1-2-3),有

$$dW = u_{ab} dq$$

电能 dW 在 dt 时间内的变化率叫电功率,简称功率(power),用符号 p 或 P 表示:

$$p = \frac{dW}{dt} = u_{ab} \cdot \frac{dq}{dt} = u_{ab} i$$

直流时,上式变为

$$P = UI \quad (1-3-1)$$

假定电流 i 的方向(正电荷运动方向)与电压 U_{ab} 降的方向相同,电场力在 dt 时间内做功使 dq 失去 dW 的电能,失去电能意味着电能转换为其他形式的能量,或者说被电路吸收了。当选择电压和电流的参考方向为关联方向时,功率的公式为

$$p = ui \quad (1-3-2)$$

当电压和电流的参考方向为非关联方向时,功率的公式为

$$p = -ui \quad (1-3-3)$$

由式(1-3-2)、(1-3-3)计算得到的功率为正值,即 $P > 0$,表示电路吸收功率;若为负值,即 $P < 0$,则表示电路产生功率。

在直流电路中,功率 P 可表示为

$$\begin{aligned} P &= +UI && \text{关联参考方向} \\ P &= -UI && \text{非关联参考方向} \end{aligned}$$

功率的 SI 单位为 W(瓦), $1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot \text{A}$ 。在实际使用中也常用 kW(千瓦)和 mW(毫瓦),换算关系为

$$1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}; \quad 1 \text{ mW} = 10^{-3} \text{ W}$$

例题 1-3-1 求图 1-3-1 中各元件的功率,并说明该元件是吸收功率还是产生功率。

解 (a)图:电压与电流为关联参考方向, $P = UI = 5 \times 3 = 15 \text{ W}$, $P > 0$,元件吸收功率。

(b)图:电压与电流为非关联参考方向, $P = -UI = -5 \times 3 = -15 \text{ W}$, $P < 0$,元件产生功率。

(c)图:电压与电流为关联参考方向, $P = UI = (-5) \times 3 = -15 \text{ W}$, $P < 0$,元件产生功率。

(d)图：电压与电流为非关联参考方向， $P = -UI = -(-5) \times 3 = 15 \text{ W}$ ， $P > 0$ ，元件吸收功率。

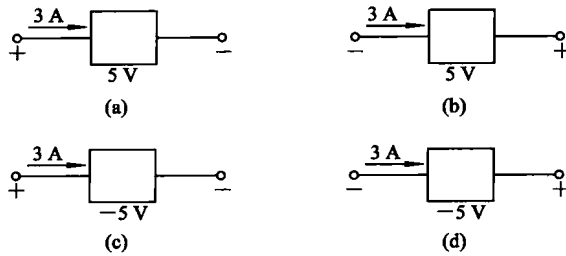


图 1-3-1 例题 1-3-1 用图

1.3.2 电能

有时要计算一段时间内电路所吸收(或产生)的电能，则根据式(1-3-1)，电路在 dt 时间内消耗的电能

$$dw = p dt = ui dt \quad (1-3-4)$$

若通电时间 $t-t_0$ ，则在此时间内电路消耗的电能

$$w = \int_{t_0}^t p dt = \int_{t_0}^t ui dt \quad (1-3-5)$$

在直流电路中，电路消耗的电能

$$W = Pt = UI t \quad (1-3-6)$$

电能的单位是 J(焦耳)， $1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot \text{S}$ 。工程上常用 $\text{kW} \cdot \text{h}$ (千瓦·时)作单位， $1 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 的电能又称为 1 度电。

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 1000 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

例 1-3-2 教室里有 40 W 的日光灯 8 只，每天用电 6 小时，一个月按 30 天计算，每月要用多少度电？

解 $W = Pt = 40 \times 8 \times 10^{-3} \times 6 \times 30 = 57.6 \text{ kW} \cdot \text{h}$

即每月用电 57.6 度。

思考与练习

1-3-1 如果 P 表示电路吸收的功率，那么用公式 $P = \pm UI$ 进行计算时，如何选择公式中的正、负号？如果算出的 P 为负值又说明什么？

1-3-2 试求图 1-3-2 中各元件的未知电压、电流或功率。

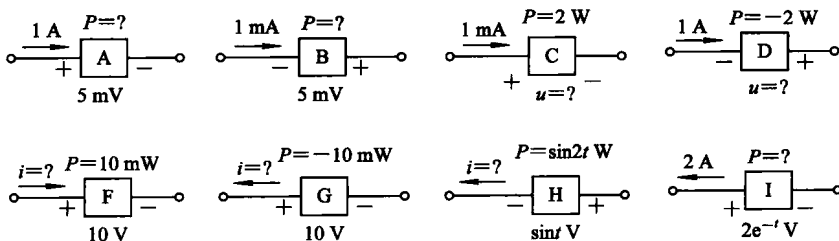


图 1-3-2 题 1-3-2 图