



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材
高等学校电子信息类专业系列教材

本书第1版为普通高等教育“十一五”国家级规划教材

国家电工电子教学基地教材

湖北省精品课程教材

提供历年课程考试真题及研究生入学考试真题解析

电工电子基础

Learning Guidance for Principles of Electric Circuits

电路原理学习指导 与习题题解 (第2版)

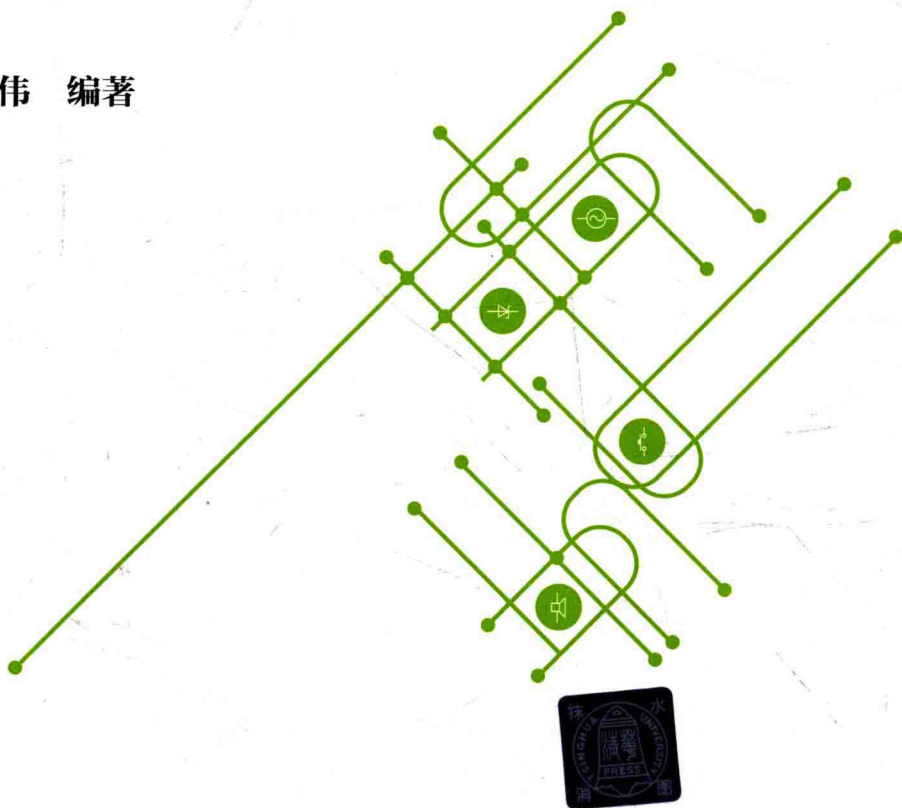
汪建 主编

Wang Jian

曹娟 刘大伟 编著

Cao Juan

Liu Dawei



清华大学出版社



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材
高等学校电子信息类专业系列教材

Learning Guidance for Principles of Electric Circuits

电路原理学习指导 与习题题解

(第2版)

汪建 主编

Wang Jian

曹娟 刘大伟 编著

Cao Juan

Liu Dawei

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书是与汪建编著的《电路原理》(上、下册,第2版)配套的教辅书。全书内容包含课程学习指导和《电路原理》上、下册中的所有习题(含各节练习题)题解。书中每章由学习要点、练习题题解和习题题解三部分组成。学习要点对每章的知识点、重点、难点进行了明确细致的归纳;题解部分对全部的练习题及习题都给出了较详细的解题过程,特别注意了对解题方法的指导。书的后面还收录了若干套近年来华中科技大学电路原理课程考试真题以及硕士研究生全国统一入学考试真题及其参考答案。

本书可作为普通高等院校电子信息和电气工程类专业学生学习电路原理的辅导教材,也可作为硕士研究生入学考试考前复习参考用书,还可供从事电路原理课程教学的教师参考使用。

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。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电路原理学习指导与习题题解/汪建主编. —2版. —北京:清华大学出版社,2017

(高等学校电子信息类专业系列教材)

ISBN 978-7-302-48192-8

I. ①电… II. ①汪… III. ①电路理论—高等学校—教学参考资料 IV. ①TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 207858 号

责任编辑:盛东亮

封面设计:李召霞

责任校对:时翠兰

责任印制:宋 林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京密云胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:34.75

字 数:840千字

版 次:2010年8月第1版 2017年12月第2版

印 次:2017年12月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:79.00元

产品编号:075831-01

高等学校电子信息类专业系列教材

一
顾问委员会

谈振辉	北京交通大学（教指委高级顾问）	郁道银	天津大学（教指委高级顾问）
廖延彪	清华大学（特约高级顾问）	胡广书	清华大学（特约高级顾问）
华成英	清华大学（国家级教学名师）	于洪珍	中国矿业大学（国家级教学名师）
彭启琮	电子科技大学（国家级教学名师）	孙肖子	西安电子科技大学（国家级教学名师）
邹逢兴	国防科学技术大学（国家级教学名师）	严国萍	华中科技大学（国家级教学名师）

一
编审委员会

主 任	吕志伟	哈尔滨工业大学		
副主任	刘 旭	浙江大学	王志军	北京大学
	隆克平	北京科技大学	葛宝臻	天津大学
	秦石乔	国防科学技术大学	何伟明	哈尔滨工业大学
	刘向东	浙江大学		
委 员	王志华	清华大学	宋 梅	北京邮电大学
	韩 焱	中北大学	张雪英	太原理工大学
	殷福亮	大连理工大学	赵晓晖	吉林大学
	张朝柱	哈尔滨工程大学	刘兴钊	上海交通大学
	洪 伟	东南大学	陈鹤鸣	南京邮电大学
	杨明武	合肥工业大学	袁东风	山东大学
	王忠勇	郑州大学	程文青	华中科技大学
	曾 云	湖南大学	李思敏	桂林电子科技大学
	陈前斌	重庆邮电大学	张怀武	电子科技大学
	谢 泉	贵州大学	卞树檀	第二炮兵工程大学
	吴 瑛	解放军信息工程大学	刘纯亮	西安交通大学
	金伟其	北京理工大学	毕卫红	燕山大学
	胡秀珍	内蒙古工业大学	付跃刚	长春理工大学
	贾宏志	上海理工大学	顾济华	苏州大学
	李振华	南京理工大学	韩正甫	中国科学技术大学
	李 晖	福建师范大学	何兴道	南昌航空大学
	何平安	武汉大学	张新亮	华中科技大学
	郭永彩	重庆大学	曹益平	四川大学
	刘缠牢	西安工业大学	李儒新	中科院上海光学精密机械研究所
	赵尚弘	空军工程大学	董友梅	京东方科技集团
	蒋晓瑜	装甲兵工程学院	蔡 毅	中国兵器科学研究院
	仲顺安	北京理工大学	冯其波	北京交通大学
	黄翊东	清华大学	张有光	北京航空航天大学
	李勇朝	西安电子科技大学	江 毅	北京理工大学
	章毓晋	清华大学	张伟刚	南开大学
	刘铁根	天津大学	宋 峰	南开大学
	王艳芬	中国矿业大学	靳 伟	香港理工大学
	苑立波	哈尔滨工程大学		
丛书责任编辑	盛东亮	清华大学出版社		

序

FOREWORD

我国电子信息产业销售收入总规模在 2013 年已经突破 12 万亿元,行业收入占工业总体比重已经超过 9%。电子信息产业在工业经济中的支撑作用凸显,更加促进了信息化和工业化的高层次深度融合。随着移动互联网、云计算、物联网、大数据和石墨烯等新兴产业的爆发式增长,电子信息产业的发展呈现了新的特点,电子信息产业的人才培养面临着新的挑战。

(1) 随着控制、通信、人机交互和网络互联等新兴电子信息技术不断发展,传统工业设备融合了大量最新的电子信息技术,它们一起构成了庞大而复杂的系统,派生出大量新兴的电子信息技术应用需求。这些“系统级”的应用需求,迫切要求具有系统级设计能力的电子信息技术人才。

(2) 电子信息系统的功能越来越复杂,系统的集成度越来越高。因此,要求未来的设计者应该具备更扎实的理论基础知识和更宽广的专业视野。未来电子信息系统的设计越来越要求软件和硬件的协同规划、协同设计和协同调试。

(3) 新兴电子信息技术的发展依赖于半导体产业的不断推动,半导体厂商为设计者提供了越来越丰富的生态资源,系统集成厂商的全方位配合又加速了这种生态资源的进一步完善。半导体厂商和系统集成厂商所建立的这种生态系统,为未来的设计者提供了更加便捷却又必须依赖的设计资源。

教育部 2012 年颁布了新版《高等学校本科专业目录》,将电子信息类专业进行了整合,为各高校建立系统化的人才培养体系,培养具有扎实理论基础和宽广专业技能的、兼顾“基础”和“系统”的高层次电子信息人才给出了指引。

传统的电子信息学科专业课程体系呈现“自底向上”的特点,这种课程体系偏重对底层元器件的分析与设计,较少涉及系统级的集成与设计。近年来,国内很多高校对电子信息类专业课程体系进行了大力度的改革,这些改革顺应时代潮流,从系统集成的角度,更加科学合理地构建了课程体系。

为了进一步提高普通高校电子信息类专业教育与教学质量,贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020 年)》和《教育部关于全面提高高等教育质量若干意见》(教高【2012】4 号)的精神,教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会开展了“高等学校电子信息类专业课程体系”的立项研究工作,并于 2014 年 5 月启动了《高等学校电子信息类专业系列教材》(教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材)的建设工作。其目的是为推进高等教育内涵式发展,提高教学水平,满足高等学校对电子信息类专业人才培养、教学改革与课程改革的需要。

本系列教材定位于高等学校电子信息类专业的专业课程,适用于电子信息类的电子信

息工程、电子科学与技术、通信工程、微电子科学与工程、光电信息科学与工程、信息工程及其相近专业。经过编审委员会与众多高校多次沟通,初步拟定分批次(2014—2017年)建设约100门课程教材。本系列教材将力求在保证基础的前提下,突出技术的先进性和科学的前沿性,体现创新教学和工程实践教学;将重视系统集成思想在教学中的体现,鼓励推陈出新,采用“自顶向下”的方法编写教材;将注重反映优秀的教学改革成果,推广优秀的教学经验与理念。

为了保证本系列教材的科学性、系统性及编写质量,本系列教材设立顾问委员会及编审委员会。顾问委员会由教指委高级顾问、特约高级顾问和国家级教学名师担任,编审委员会由教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会委员和一线教学名师组成。同时,清华大学出版社为本系列教材配置优秀的编辑团队,力求高水准出版。本系列教材的建设,不仅有众多高校教师参与,也有大量知名的电子信息类企业支持。在此,谨向参与本系列教材策划、组织、编写与出版的广大教师、企业代表及出版人员致以诚挚的感谢,并殷切希望本系列教材在我国高等学校电子信息类专业人才培养与课程体系建设中发挥切实的作用。

吕志伟 教授

第2版前言

PREFACE

本书是与汪建编著的《电路原理》(上、下册,第2版)配套的教辅书,在第1版的基础上修订而成。根据多年的教学实践,并在广泛地征求了师生的意见和建议后,《电路原理》的第2版在内容上做了适当的整合和充实。同时,从加强基本概念的掌握、分析方法的应用及更好地适应教学内容顺序调整的需求考虑,对各章的习题也进行了修订,适当增加或删减了部分习题。本书按照修订后教材的内容和顺序,补充编写了相应章节的学习指导,对全部新增的习题进行了解答,给出了详细的解题过程。在本书的后面,还收录了若干套近年来华中科技大学电路原理课程考试真题和硕士研究生全国统一入学考试真题及其参考答案。

此次修订工作由汪建、曹娟和刘大伟共同完成,其中曹娟编写、修订第7、9、10、16章,刘大伟编写、修订第5、6、11章,其余各章的编写、修订均由汪建完成。全书由汪建统稿。

限于作者的学识水平,书中的疏漏在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2017年2月于华中科技大学

第1版前言

PREFACE

电路原理是高等院校电气、通信、自动控制、光电技术、电子技术等电类学科的一门重要的专业技术基础课。由汪建编著的《电路原理》(“十一五”国家级规划教材)在内容、体系、结构、习题的选择以及论述方法上,力图体现本课程的教学规律和基本要求,总结了作者多年课程教学实践的经验与体会以及教学研究、改革的成果。该教材在2008年获得华中科技大学优秀教材一等奖。

本书就是为该教材的使用而编写的配套教辅。一方面可供从事电路原理课程教学的教师作参考用,从而共同探讨课程的教学规律和新的教学要求如何在教学实践中把握和实现,以促进教学质量的不断提高。另一方面为正在学习本课程的学生提供必要的帮助和指导,使他们更全面、深刻地认识、理解课程的知识体系,了解和掌握本课程的基本知识点、重点和难点,解决学习中所遇到的困难,启迪思维、开阔思路,培养主动学习、积极探究的精神和分析问题、解决问题的能力。

全书按照教材的章节顺序编写。每章由学习要点、练习题题解、习题题解三部分组成。学习要点对本章的基本知识点以及重点、难点内容进行了有条理且细致的归纳,对各知识点的掌握和应用要求做了明确的提示和说明。练习题题解和习题题解分别对教材中各节后的全部练习题和各章后的全部习题进行了解答,给出了较详细的解题过程。题解部分注意加强对解题方法的指导。对大多数习题的求解,给出了解题思路,对难点和易错之处给出了提示和说明,以帮助学生准确地理解和正确地运用所学的基本概念和基本分析方法。在课程学习过程中,读者应在独立完成作业的基础上,参考本书对照检查,以提高学习效果,达到融会贯通的目的。

汪建任本书主编,参加本书编写的有陈明辉(第9、11章)、骆健(第5、6章)、曹娟(第7、8、14章)、汪建(第1~4、10、12、13、15章),全书由汪建统稿。

本书的出版得到了清华大学出版社的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于编者的水平和能力有限,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2010年6月于华中科技大学

目录

CONTENTS

第 1 章 电路的基本定律和电路元件	1
1.1 学习要点	1
1.1.1 电路的基本概念	1
1.1.2 电流、电压及其参考方向	1
1.1.3 功率和能量	2
1.1.4 基尔霍夫定律	3
1.1.5 电路元件	3
1.2 练习题题解	4
1.3 习题题解	7
第 2 章 电路分析方法之一——等效变换法	19
2.1 学习要点	19
2.1.1 等效电路和等效变换的概念	19
2.1.2 电阻元件的串联、并联及混联	19
2.1.3 电源的等效变换	20
2.1.4 无伴电源的转移	21
2.1.5 线性电阻的 Y - Δ 等效变换	21
2.1.6 受控电源的等效变换	22
2.1.7 求二端网络入端等效电阻的方法	23
2.2 练习题题解	24
2.3 习题题解	31
第 3 章 电路分析方法之二——电路方程法	51
3.1 学习要点	51
3.1.1 网络图论的基本概念	51
3.1.2 有向图的矩阵表示	52
3.1.3 KCL、KVL 的矩阵形式	52
3.1.4 典型支路的特性方程、 $2b$ 法	54
3.1.5 支路分析法	54

3.1.6	节点分析法	55
3.1.7	网孔分析法	56
3.1.8	回路分析法	56
3.1.9	割集分析法	57
3.2	练习题题解	58
3.3	习题题解	64
第4章	电路分析方法之三——运用电路定理法	87
4.1	学习要点	87
4.1.1	叠加定理	87
4.1.2	替代定理	87
4.1.3	等效电源定理	88
4.1.4	特勒根定理	89
4.1.5	互易定理	90
4.1.6	最大功率传输定理	90
4.1.7	中分定理	90
4.1.8	对偶原理和对偶电路	91
4.2	练习题题解	91
4.3	习题题解	97
第5章	含运算放大器的电阻电路	123
5.1	学习要点	123
5.1.1	运算放大器及其特性	123
5.1.2	含理想运放电路的分析	123
5.2	练习题题解	123
5.3	习题题解	125
第6章	动态元件	129
6.1	学习要点	129
6.1.1	奇异函数与波形的表示	129
6.1.2	电容元件	129
6.1.3	电感元件	130
6.1.4	动态元件的串、并联	130
6.2	练习题题解	132
6.3	习题题解	136
第7章	正弦稳态电路分析	148
7.1	学习要点	148
7.1.1	正弦稳态电路的基本概念	148

7.1.2	相量法及电路基本定律与元件特性的相量形式	149
7.1.3	复阻抗和复导纳	150
7.1.4	正弦稳态电路的分析计算	151
7.1.5	正弦稳态电路的功率	152
7.1.6	功率因数提高	153
7.2	练习题题解	153
7.3	习题题解	166
第8章	谐振电路与互感耦合电路	214
8.1	学习要点	214
8.1.1	谐振电路与谐振的基本概念	214
8.1.2	串联谐振电路	214
8.1.3	并联谐振电路	216
8.1.4	实用并联谐振电路	216
8.1.5	一般谐振电路	217
8.1.6	耦合电感的基本概念	217
8.1.7	互感耦合电路的分析	218
8.1.8	空心变压器电路的分析	220
8.1.9	理想变压器	220
8.2	练习题题解	221
8.3	习题题解	229
第9章	三相电路	258
9.1	学习要点	258
9.1.1	三相电路的基本概念	258
9.1.2	三相电路的基本连接方式	259
9.1.3	对称三相电路的计算	259
9.1.4	不对称三相电路的计算	259
9.1.5	三相电路的功率及测量	259
9.2	练习题题解	260
9.3	习题题解	264
第10章	周期性非正弦稳态电路分析	282
10.1	学习要点	282
10.1.1	周期性非正弦稳态电路的基本概念	282
10.1.2	周期性非正弦函数的谐波分析	282
10.1.3	周期性非正弦电压、电流的有效值与平均值及二端网络的有功功率(平均功率)	283
10.1.4	周期性非正弦稳态电路分析	284

10.1.5	对称三相周期性非正弦电路的稳态分析	285
10.2	练习题题解	285
10.3	习题题解	291
第 11 章	双口网络	313
11.1	学习要点	313
11.1.1	双口网络及其方程	313
11.1.2	双口网络的参数	313
11.1.3	双口网络参数间的关系	315
11.1.4	双口网络的等效电路	315
11.1.5	复合双口网络	316
11.1.6	有载双口网络	317
11.1.7	回转器与负阻抗变换器	317
11.2	练习题题解	318
11.3	习题题解	329
第 12 章	暂态分析方法之一——时域分析法	362
12.1	学习要点	362
12.1.1	动态电路暂态过程的基本概念	362
12.1.2	动态电路初始值的确定	362
12.1.3	动态电路初始状态的突变	363
12.1.4	一阶电路的响应	363
12.1.5	二阶电路	365
12.1.6	阶跃响应和冲激响应	365
12.1.7	线性时不变网络零状态响应的基本特性	366
12.1.8	卷积	367
12.2	练习题题解	367
12.3	习题题解	379
第 13 章	暂态分析方法之二——复频域分析法	421
13.1	学习要点	421
13.1.1	拉普拉斯变换	421
13.1.2	拉普拉斯变换的基本性质	421
13.1.3	用部分分式展开法求拉氏反变换	422
13.1.4	用运算法求解暂态过程	423
13.1.5	网络函数	424
13.2	练习题题解	424
13.3	习题题解	430

第 14 章 暂态分析方法之三——状态变量分析法	450
14.1 学习要点	450
14.1.1 状态变量分析法的基本概念	450
14.1.2 状态方程的编写方法	450
14.1.3 输出方程的编写方法	451
14.1.4 状态方程和输出方程的解法	451
14.2 练习题题解	452
14.3 习题题解	455
第 15 章 均匀传输线的稳态分析	468
15.1 学习要点	468
15.1.1 均匀传输线的基本方程	468
15.1.2 均匀传输线方程的正弦稳态解	469
15.1.3 均匀传输线的正向行波和反向行波	470
15.1.4 均匀传输线的副参数及其特性	471
15.1.5 终端接负载的均匀传输线	471
15.1.6 无损耗传输线	473
15.1.7 均匀传输线的集中参数等效电路	475
15.2 练习题题解	477
15.3 习题题解	482
第 16 章 均匀传输线的暂态分析	489
16.1 学习要点	489
16.1.1 无损耗线偏微分方程的通解	489
16.1.2 无损耗线暂态过程中波的发生与反射	490
16.1.3 采用柏德生法则研究无损耗线的暂态过程	491
16.2 练习题题解	491
16.3 习题题解	493
第 17 章 非线性电路分析概论	501
17.1 学习要点	501
17.1.1 非线性电路元件的基本概念	501
17.1.2 非线性电阻电路方程的建立	502
17.1.3 非线性电阻电路的三个基本概念	502
17.1.4 非线性电阻电路的图解分析法	502
17.1.5 具有分段线性端口特性的非线性电阻电路设计	502
17.1.6 小信号分析法	503
17.1.7 非线性电阻电路的分段线性化方法	503

17.1.8	非线性动态电路状态方程的建立	504
17.1.9	一阶非线性动态电路的分段线性化方法	504
17.2	练习题题解	505
17.3	习题题解	510
附录 A	华中科技大学“电路原理”课程试卷真题选编及参考答案	522
附录 B	华中科技大学硕士研究生全国统一入学考试“电路原理”试卷真题选编及 参考答案	530

1.1 学习要点

1.1.1 电路的基本概念

1. 电路

由电器件或用电设备相互连接而成的电流的通路称为电路。电路又称电网络或网络。在电路原理中,电路通常是指由理想电路元件构成的电路模型。

2. 理想化的电路元件

实际的电器件一般都包含了多种电磁现象。理想化的电路元件是实际电路器件的理想化模型,是一种科学抽象,它通常只含有一种电磁现象,其特性用数学式予以表征。例如实际电阻器和电容器的理想化模型分别是电阻元件和电容元件。

理想化的电路元件简称电路元件。

3. 电路模型

由理想电路元件构成的电路称为电路模型,电路理论所研究的对象便是电路模型,简称为电路。

4. 集中参数电路和分布参数电路

实际电路可分为集中参数电路和分布参数电路两类。

若认为电磁波在电路中的传播速度为无限大,即电磁波在瞬间便能到达电路的任何部位,这样的电路便是集中参数电路,否则就是分布参数电路。集中参数电路用常微分方程描述,而分布参数电路用偏微分方程描述。

若用 λ 表示电路中电流波或电压波的最高频率对应的波长, l 表示电路的最大几何尺寸。上述两类电路可用数学式 $\lambda > 100l$ 予以判断:该式成立,是集中参数电路,否则便是分布参数电路。

1.1.2 电流、电压及其参考方向

电流、电压是电路中的两个基本电量。

1. 电流

大量电荷的定向运动形成电流。电流的大小用电流强度 i 表征,其定义式为

$$i = \frac{dq}{dt}$$

电流强度也简称为电流。这样,“电流”这一术语既表示一种物理现象,同时也代表一种物理量。

交变电流一般用小写字母 i 表示,而直流电流则用大写字母 I 表示。

实际的电流包括传导电流、徙动电流和位移电流等三种类型。

一般规定正电荷的运动方向为电流的正方向。

2. 电压

电压是表征电场力作功能力的物理量,其定义式为

$$u = \frac{dW}{dq}$$

电位是一种特殊的电压。电路中某点的电位是指该点与电路中指定的参考点之间的电压。在涉及电位的概念时,务必指明电路中的参考点。

交变电压一般用小写字母 u 表示,而直流电压可用大写字母 U 表示。

电压具有极性。

3. 电流、电压的参考方向

在电路原理中,电流、电压的参考方向是极为重要的基本概念。

参考方向是一种假定方向,其作用是用于对电路进行分析计算,并和计算结果的正负号结合以判断电量的真实方向。

电流的参考方向用箭头表示,电压的参考方向(或参考极性)则用“+”“-”号表示。

当电流的参考方向指定为从电压的参考“+”极性端流入,从“-”极性端流出时(如图 1-1 所示),称为一致的参考方向,或关联的参考方向,也简称关联正向。

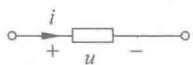


图 1-1 关联的参考方向

在分析计算电路时,必须在电路图中标示所有在计算中所涉及的电量的参考方向。

1.1.3 功率和能量

1. 功率

将电路在单位时间内吸收或送出的电能定义为电功率,简称功率,其定义式为 $p = \frac{dW}{dt}$ 。

在电路分析中,功率用电压、电流计算,可按吸收功率为前提或发出功率为前提进行计算,且计算式与选取的参考方向对应。若约定以吸收功率为前提计算,则计算式为

$$\begin{cases} p = ui & \text{关联正向时} \\ p = -ui & \text{非关联正向时} \end{cases}$$

按上述公式计算出的功率为正值时,为吸收功率;若为负值,则为送出功率。

2. 能量

电路在一段时间内吸收的电能用下式计算

$$W = \int_{t_0}^{t_1} p dt = \int_{t_0}^{t_1} u i dt$$

若有关系式 $W = \int_{-\infty}^t p d\tau = \int_{-\infty}^t u i d\tau \geq 0$ 成立,则称电路是无源的,否则称电路是有源的。

应注意,功率的单位为瓦(W),而能量的单位为焦(J)。

1.1.4 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是电路的基本定律,是电路分析的基本依据之一。该定律包括基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律。

1. 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律(KCL)指出,在集中参数电路中,任一封闭面(或节点)电流的代数和为零,即 $\sum_{k=1}^b i_k = 0$ 。

在列写 KCL 方程时,需先指定各支路电流的参考方向,若约定流出封闭面(节点)的电流为正,则流入封闭面(节点)的电流为负,反之亦然。

2. 基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律(KVL)指出,在集中参数电路中,任一闭合回路中各支路电压的代数和为零,即 $\sum_{k=1}^b u_k = 0$ 。

在列写 KVL 方程时,需先指定各支路电压的参考方向以及回路的绕行方向。当支路电压的参考方向与回路绕行方向一致时,该项电压为正,否则为负。

1.1.5 电路元件

1. 电路元件的分类

电路元件分为四类:线性时不变元件、线性时变元件、非线性时不变元件、非线性时变元件。

2. 电阻元件

电阻元件定义在电压、电流平面上($u-i$ 平面)。若定义曲线是一条通过原点的直线,则对应的是线性电阻元件;若定义曲线在 $u-i$ 平面上的位置不随时间而变,对应的就是时不变电阻元件。线性时不变电阻元件的定义式是欧姆定律,即

$$u(t) = Ri(t) \quad \text{或} \quad i(t) = Gu(t)$$

注意上式与 u, i 为关联正向对应,若 u, i 为非关联正向,则欧姆定律为

$$u(t) = -Ri(t)$$

在 u, i 为关联正向时,若定义曲线在 $u-i$ 平面上是一条位于二、四象限的过原点的直线,则这一电阻称为“负电阻”。

非线性电阻元件的定义曲线不是一条直线。非线性电阻元件分为电压控制型、电流控制型及单调型等类型。

3. 独立电压源

一个二端元件,若其在电路中总能保持端电压为确定的量值或波形,与流过它的电流无关,称为独立电压源。

独立电压源定义在 $u-i$ 平面上,其本质上是一非线性电阻元件。

独立电压源可工作于电源状态,即向外部输出功率;也可工作于负载状态,即从外部吸收功率。