

HZ BOOKS
华章教育



21世纪高等院校电子信息
与电气学科系列规划教材

电路理论

基础

蒋榴英 孙金秋 傅忠云 编著



机械工业出版社
China Machine Press

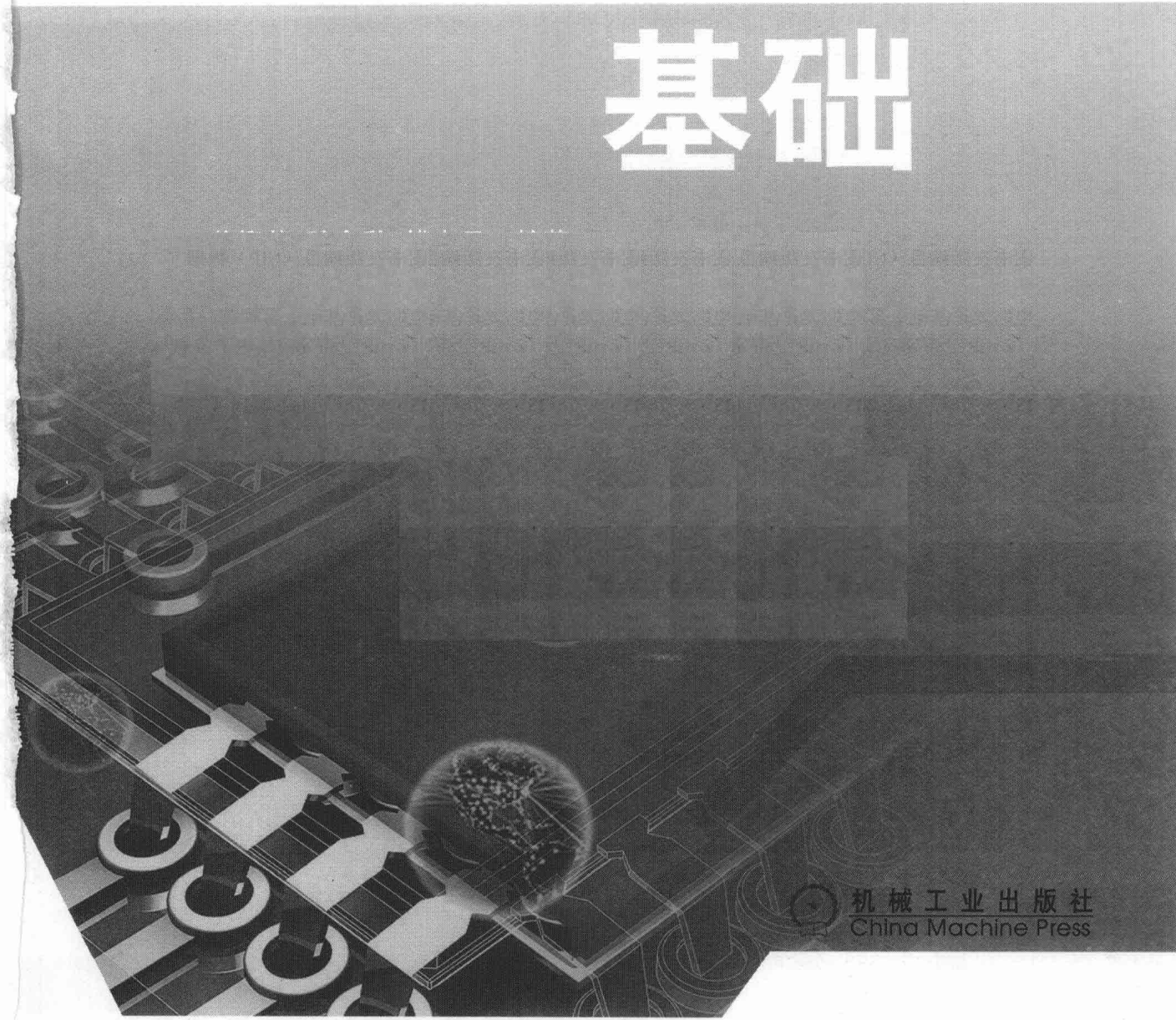


21世纪高等院校电子信息
与电气学科系列规划教材

本书是“21世纪高等院校电子信息与电气学科系列规划教材”之一，由机械工业出版社组织编写。本书可作为高等院校电子信息与电气类专业的教材，也可供从事相关工作的工程技术人员参考。

电路理论

基础



机械工业出版社
China Machine Press

本书主要内容包括：电路模型和电路定律、电阻电路分析、电路定理、正弦稳态电路的分析、含互感电路的分析、非正弦周期电流电路的稳态分析、线性动态电路的时域分析、线性动态电路的复频域分析、网络方程的矩阵形式与双口网络、分布参数电路简介。

本书注重基本概念和基本理论，重点突出。通过举例说明电路理论在实际中的应用，通过习题巩固和加深学生对电路理论的理解和掌握，书末附有大部分习题的参考答案。

本书可作为高等院校电气工程与自动化、测控技术与仪器、电子信息工程、通信工程等电类专业的本科生教材，也可作为其他非电类专业学生或相关工程技术人员的参考书。

封底无防伪标均为盗版

版权所有，侵权必究

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

图书在版编目（CIP）数据

电路理论基础 / 蒋榴英, 孙金秋, 傅忠云编著. —北京: 机械工业出版社, 2010.6
(21世纪高等院校电子信息与电气学科系列规划教材)

ISBN 978-7-111-30618-4

I. 电… II. ①蒋… ②孙… ③傅… III. 电路理论—高等学校—教材 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 085036 号

机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 张少波

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2010 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·16.25 印张

标准书号: ISBN 978-7-111-30618-4

定价: 29.80 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991; 88361066

购书热线: (010) 68326294; 88379649; 68995259

投稿热线: (010) 88379604

读者信箱: hzsj@hzbook.com



随着信息技术的迅猛发展,培养“适应 21 世纪时代需求的、有创新能力的复合型人才”已成为当前高等院校教育工作的重点。新型的人才培养模式应以基础扎实,拓宽专业口径为着眼点,突出培养学生的科学研究能力和工程设计能力。“编写精品教材,创建精品课程”是实现新型培养模式的基本保证。为进一步配合全国高校提高教育教学质量,共享优质教学资源,推动电子电气类精品课程的建设工作,机械工业出版社华章公司将与“教育部高等学校电子信息与电气学科教学指导委员会委员、教学名师和知名教授”一起建设“高等院校电子信息与电气学科系列规划教材”,从高校的教学改革出发,在对电子电气类课程的课程体系和教学内容深入研讨的基础上,建设具有先进性、创新性、实用性的精品教材和教学资源体系,使该系列教材成为“立足专业规范,面向新需求,成就高质量”的精品。

该系列教材的出版以新的教改精神和人才培养模式作为指导,这样不仅能够保证教材质量,而且有利于促进学科的发展。根据教育部高等学校电子信息与电气学科教学指导委员会制定的“专业规范和基本要求、学科发展和人才培养的目标”,确定教材特色如下:

- 教材的编写要以教育部高等学校电子信息与电气学科教学指导委员会制定的“专业规范和基本要求”为依据,以培养满足国家和社会发展需要的高素质人才为目标,系统整合教学改革成果,使教材结构体系具有渐进性,体现教学规律和学生的认识规律,使教材的结构完整,内容具有系统性、科学性和准确性,理论阐述严谨、正确。
- 教材的知识体系和内容结构具有较强的逻辑性,利于培养学生的科学思维能力;根据教学内容、学时、教学大纲的要求,优化知识结构,充分体现新知识、新技术、新工艺、新成果;既要加强基础理论,也要强化实践内容;理论的阐述、实验内容和习题的选取都应紧密联系实际,使学生做到运用理论处理实际问题,培养学生分析问题和解决问题的能力。

为做好该系列教材的出版工作,我们聘请了东南大学王志功教授为编审委员会顾问,天津大学孙雨耕教授为编审委员会主任,以及清华大学、北京大学、浙江大学、上海交通大学、电子科技大学、华中科技大学、西安电子科技大学、北京邮电大学、吉林大学等国内重点大学的教授为编审委员会副主任委员和委员,从根本上保证了教材的质量。我们将在今后的出版工作中广泛征询和听取一线教师的反馈意见,逐步改进和完善该系列教材,积极推动高等院校教学改革和教材建设。

三 “21 世纪高等院校电子信息与电气学科系列规划教材”



编审委员会

编审委员会顾问：王志功（东南大学）

编审委员会主任：孙雨耕（天津大学）

编审委员会副主任：倪光正（浙江大学）

彭启琮（电子科技大学）

张晓林（北京航空航天大学）

戴先中（东南大学）

编审委员会委员：

陈洪亮（上海交通大学）

吴建强（哈尔滨工业大学）

马西奎（西安交通大学）

孟 桥（东南大学）

华成英（清华大学）

郭树旭（吉林大学）

王成华（南京航空航天大学）

陈鹤鸣（南京邮电大学）

姜建国（上海交通大学）

王泽忠（华北电力大学）

李哲英（北京联合大学）

陆文娟（清华大学）

尹项根（华中科技大学）

蔺志青（北京邮电大学）

邓建国（西安交通大学）

石光明（西安电子科技大学）

刘新元（北京大学）

黄瑞光（华中科技大学）

应用型本科教育是在我国经济建设现代化和高等教育大众化推动下产生的一种新类型本科教育,本书以应用型本科层次的学生为主要阅读对象,内容在符合教育部高等学校教学指导委员会制定的“电路理论基础”课程教学基本要求的前提下,注重在应用型教学中的实用性。

本书为应用型本科院校的电气工程与自动化、测控技术与仪器、电子信息工程、通信工程等电类专业及其他相近专业的本科生而编写,也可作为其他非电类专业学生或相关工程技术人员的参考书。本书的编写以“实用、适用、够用”为基本原则,在保证结构体系完整,并满足教育部高等学校教学指导委员会制定的“电路理论基础”课程教学基本要求的前提下,注重基本概念和基本理论,追求过程简明、清晰和准确,重在原理,压缩或避免繁琐的理论推导,不追求理论的深度和内容的广度,尽量做到重点突出、易教易学。书中通过举例说明电路理论在实际中的应用,通过习题巩固和加深学生对电路理论的理解和掌握,从而为学生学习后续课程打好基础。为方便教学人员根据教学内容安排教学时间,书中附有教学建议;为了方便学生做习题后自己检测对错,书末附有大部分习题的参考答案。

全书共分 10 章。

第 1 章:电路模型和电路定律。主要介绍电路中的基本物理量、电路元件的伏安特性、欧姆定律和基尔霍夫定律。

第 2 章:电阻电路分析。主要介绍线性元件与非线性元件、等效、端口等概念,以及电阻及电源的串并联电路简化、无源线性二端网络输入电阻的求解方法、实际电压源与实际电流源之间的等效转换、支路分析法、回路分析法和节点分析法。

第 3 章:电路定理。主要介绍叠加定理、替代定理、戴维南定理和诺顿定理、互易定理以及最大功率传输定理,并着重介绍利用这些定理分析电路的方法。

第 4 章:正弦稳态电路的分析。主要介绍正弦量的相量表示、相量图、电路元件伏安关系的相量形式、阻抗和导纳、有功功率和无功功率、视在功率、复功率、功率因数等概念,以及基尔霍夫定律、电路方程、电路定理的相量形式,并着重介绍用相量分析正弦电路稳态响应的方法,同时对谐振电路、三相电路的工作特点进行分析。

第 5 章:含互感电路的分析。主要介绍互感、同名端等概念,互感线圈几种接法的去耦等效方法和含互感正弦电路的一般分析方法,以及理想变压器的电压、电流及阻抗变换作用,同时对空心变压器的电压-电流方程和等效电路也进行简单介绍。

第 6 章:非正弦周期电流电路的稳态分析。主要介绍非正弦周期电压、电流及其有效值的概念,非正弦周期电流电路平均功率的计算方法,以及非正弦周期电流电路的一般分析方法。

第 7 章:线性动态电路的时域分析。主要介绍动态电路的时域分析、初始状态和初始条件、时间常数、零输入响应和零状态响应、全响应、自由分量和强制分量、稳态响应和暂态响应等

概念，以及一阶电路微分方程的建立方法及直流电源作用下一阶电路响应的求解方法，也对二阶动态电路微分方程的建立方法以及二阶电路响应的特性与电路参数的关系作了简单介绍。同时，还介绍了阶跃函数和冲激函数，以及一阶动态电路阶跃响应和冲激响应的求解方法。另外，电路的状态、状态变量的概念，以及状态方程的定义、直观法列写状态方程等内容也在这一章中介绍。

第 8 章：线性动态电路的复频域分析。主要介绍复频域的概念、拉普拉斯变换与反变换，以及拉普拉斯变换的性质、常用信号的拉普拉斯变换、展开法求拉普拉斯反变换的方法、基尔霍夫定律与无源元件伏安关系的复频域形式，并介绍线性动态电路复频域分析法的一般步骤以及几种常用的网络函数，对网络函数极点与零点的概念以及网络函数与系统特性的关系只作简单介绍。

第 9 章：网络方程的矩阵形式与双口网络。主要介绍图论的基础知识，节点、复合支路、支路关联矩阵的概念，以及基尔霍夫定律和节点方程的矩阵形式。同时介绍双端口网络及其 Z 、 Y 、 H 参数方程，对双端口网络的等效电路以及几种常用连接方法只作简单介绍。

第 10 章：分布参数电路简介。主要介绍分布参数电路、均匀传输线、特性阻抗、传播常数、入射波与反射波、匹配等概念，以及均匀传输线的方程及其正弦稳态解和无损耗传输线方程的正弦稳态解。

本书由三江学院蒋榴英老师主编，第 1、2、3、5、10 章由蒋榴英编写，第 4、6 章由南京航空航天大学金城学院傅忠云老师编写，第 7、8、9 章由南京航空航天大学金城学院孙金秋老师编写。

由于作者水平有限，书中疏漏或错误之处难免，欢迎广大师生和读者批评指正。

编者

教学建议

本书可作为高等院校电气工程及其自动化专业及相关专业的教材，也可供从事电气工程及其自动化工作的工程技术人员参考。

教学内容	学习要点及教学要求	课时安排	
		全部讲授	部分选讲
第1章 电路模型和电路定律	<ul style="list-style-type: none"> 理解电路基本物理量的意义及单位，理解电流、电压参考方向与实际方向的区别与联系 掌握电流、电压与功率之间的关系 掌握电阻的特性与欧姆定律，掌握电感和电容的伏安特性 理解独立电压源、电流源及受控源的特性 掌握基尔霍夫电流定律（KCL）与基尔霍夫电压定律（KVL） 	6~8	6
第2章 电阻电路分析	<ul style="list-style-type: none"> 理解线性元件、非线性元件、等效、端口等概念 掌握电阻串、并联电路的分析方法，以及无源线性二端网络输入电阻的求解方法 了解电阻星形联结与三角形联结的等效变换 掌握电源串、并联的简化，以及实际电压源与实际电流源之间的等效转换 掌握电路的支路分析法、回路分析法和节点分析法 	8~10	8
第3章 电路定理	<ul style="list-style-type: none"> 掌握叠加定理、戴维宁定理和最大功率传输定理，能够利用这些定理分析电路 理解诺顿定理、替代定理和互易定理 	6~8	4
第4章 正弦稳态电路的分析	<ul style="list-style-type: none"> 掌握正弦量的相量表示、相量图及其画法 掌握电路元件伏安关系的相量形式，理解无源二端网络阻抗和导纳的意义，了解阻抗与导纳的等效互换方法 掌握用相量分析正弦电路稳态响应的方法 理解基尔霍夫定律、电路方程、电路定理的相量形式 理解正弦电流电路的有功功率、无功功率、视在功率、复功率、功率因数等概念 理解串联谐振和并联谐振的特征，掌握谐振频率的计算方法 理解三相电源及负载的Y接法与Δ接法的工作特点 掌握对称三相电路的分析方法，了解不对称三相电路的概念 	12~14	12
第5章 含互感电路的分析	<ul style="list-style-type: none"> 理解自感与互感的含义 理解同名端标志的规定，能够根据耦合电感的同名端写出互感电压表达式 掌握互感线圈串联的简化方法，理解互感线圈三端接法的去耦等效方法 了解含互感的正弦电路的一般分析方法 理解理想变压器的电压、电流及阻抗变换作用，掌握含理想变压器电路的分析方法 了解空心变压器的电压、电流方程和等效电路 	6~8	6

教学内容	学习要点及教学要求	课时安排	
		全部讲授	部分选讲
第6章 非正弦周期电流 电路的稳态分析	<ul style="list-style-type: none"> 理解非正弦周期电压、电流及其有效值的概念 掌握非正弦周期电流电路平均功率的计算方法,能够分析计算简单的非正弦周期电流电路 	2~3	2
第7章 线性动态电路的 时域分析	<ul style="list-style-type: none"> 理解动态电路的时域分析、初始状态、初始条件、时间常数、零输入响应、零状态响应、全响应、自由分量、强制分量、稳态响应、暂态响应等概念 掌握一阶电路微分方程的建立方法 掌握一阶电路的初始条件、时间常数的求解方法 掌握三要素法 理解阶跃函数的特性,了解一阶动态电路阶跃响应的求解方法 了解冲激函数的特性及一阶动态电路冲激响应的求解方法 了解二阶动态电路微分方程的建立方法以及二阶电路的响应特性与电路参数的关系 理解状态、状态变量的概念,掌握状态方程的定义,能够用直观法列写状态方程 	12~14	12
第8章 线性动态电路的 复频域分析	<ul style="list-style-type: none"> 理解复频域的概念、拉普拉斯变换与反变换以及拉普拉斯变换的性质 掌握常用信号的拉普拉斯变换以及用展开法求拉普拉斯反变换的方法 理解基尔霍夫定律及无源元件伏安关系的复频域形式 了解线性动态电路复频域分析法的一般步骤 理解几种常用网络函数的含义 了解网络函数极点与零点的概念以及网络函数与系统特性的关系 	4~5	4
第9章 网络方程的矩 阵形式与双口 网络	<ul style="list-style-type: none"> 了解图论的基础知识 理解节点、复合支路、支路关联矩阵的概念以及基尔霍夫定律和节点方程的矩阵形式 理解双端口网络及其Z、Y、H参数方程,能够计算简单双端口网络的Z、Y、H参数 了解双端口网络的等效电路以及几种常用连接方法的特点 	4~5	4
第10章 分布参数电路 简介	<ul style="list-style-type: none"> 理解分布参数、均匀传输线、特性阻抗、传播常数、入射波与反射波、匹配等概念 了解均匀传输线方程及其正弦稳态解 了解无损传输线方程的正弦稳态解 	2~3	2
教学总学时建议		64~80	64

说明: 1. 本教材为电气及电子信息学科本科专业“电路理论基础”或“电路分析基础”课程教材,理论授课学时数为64~80学时(相关配套实验另行单独安排)。不同专业根据不同的教学要求和计划教学学时数酌情对教材内容进行适当取舍,例如,电气工程与自动化、测控技术与仪器等专业,教材内容可全讲;其他专业,可酌情对教材内容进行适当删减。

2. 本教材理论授课学时包含习题课、课堂讨论等必要的课内教学环节。

4.2.1 电阻元件	83	6.3 非正弦周期电流电路的 稳态分析	156
4.2.2 电感元件	84	习题	160
4.2.3 电容元件	85	第7章 线性动态电路的时域分析	163
4.3 电路定律的相量形式及阻抗、 导纳	87	7.1 动态电路的方程及初始条件	163
4.3.1 基尔霍夫定律的相量形式	87	7.1.1 基本概念	163
4.3.2 阻抗、导纳及其等效变换	87	7.1.2 动态电路的初始条件	164
4.4 正弦稳态电路的分析	95	7.2 一阶动态电路的时域分析	166
4.4.1 一般分析法	95	7.2.1 一阶动态电路的零输入 响应	166
4.4.2 相量图法	97	7.2.2 一阶动态电路的零状态 响应	170
4.5 正弦稳态电路的功率	99	7.2.3 一阶动态电路的全响应与 三要素法	172
4.5.1 功率	99	7.3 一阶动态电路的阶跃响应和 冲激响应	174
4.5.2 最大功率传输	104	7.3.1 阶跃函数与阶跃响应	174
4.6 谐振电路	106	7.3.2 冲激函数与冲激响应	176
4.6.1 串联谐振电路	106	7.4 二阶动态电路的时域分析	178
4.6.2 并联谐振电路	110	7.5 状态变量与状态方程	182
4.7 三相电路	112	习题	185
4.7.1 三相电源	112	第8章 线性动态电路的复频域分析	190
4.7.2 三相负载及其联结	115	8.1 拉普拉斯变换与反变换	190
4.7.3 三相电路的分析	116	8.1.1 拉普拉斯变换	190
4.7.4 三相电路的功率	120	8.1.2 拉普拉斯变换的性质	191
习题	122	8.1.3 拉普拉斯反变换	192
第5章 含互感电路的分析	130	8.2 电路定律的复频域形式	195
5.1 互感线圈的伏安关系	130	8.2.1 基尔霍夫定律的复频域 形式	195
5.1.1 互感	130	8.2.2 无源电路元件伏安关系的 复频域形式	195
5.1.2 互感电压与同名端	131	8.3 线性动态电路的复频域分析	197
5.1.3 互感线圈的伏安关系	133	8.4 网络函数	199
5.2 含互感正弦电路的稳态分析	135	8.4.1 网络函数	199
5.3 变压器	141	8.4.2 网络函数的极点和零点	201
5.3.1 空心变压器	141	8.4.3 网络函数与系统特性	201
5.3.2 理想变压器	143	习题	202
习题	146	第9章 网络方程的矩阵形式与 双口网络	206
第6章 非正弦周期电流电路的 稳态分析	151	9.1 图论的基本知识	206
6.1 非正弦周期电量及其有效值	151		
6.1.1 非正弦周期电量及其 表示式	151		
6.1.2 非正弦周期电量的有效值	153		
6.2 非正弦周期电流电路的 平均功率	154		

9.1.1 图的概念	206	9.5.2 双口网络的连接	223
9.1.2 回路、树、割集	207	习题	224
9.2 基尔霍夫定律的矩阵形式	208	第 10 章 分布参数电路简介	228
9.2.1 基尔霍夫定律的关联 矩阵形式	208	10.1 分布参数的概念	228
9.2.2 基尔霍夫定律的回路 矩阵形式	210	10.1.1 集总参数电路与分布 参数电路	228
9.2.3 基尔霍夫定律的割集 矩阵形式	212	10.1.2 传输线的分布参数模型	228
9.2.4 矩阵 A 、 B_f 、 Q_f 之间的 关系	214	10.2 均匀传输线	229
9.3 节点电压方程的矩阵形式	214	10.2.1 均匀传输线及其方程	229
9.3.1 复合支路与支路电流方程	214	10.2.2 均匀传输线方程的 正弦稳态解	231
9.3.2 节点电压方程的矩阵形式	216	10.3 无损耗传输线	233
9.4 双口网络的方程和参数	217	10.3.1 均匀无损耗传输线方程的 正弦稳态解	233
9.4.1 双口网络的概念	217	10.3.2 均匀无损耗传输线的 几种特殊终端情况	234
9.4.2 双口网络的方程和参数	218	习题	236
9.5 双口网络的等效电路与连接	222	习题答案	238
9.5.1 双口网络的等效电路	222	参考文献	247

电路模型和电路定律

1.1 实际电路和电路模型

1.1.1 实际电路

在现代工农业生产、科学研究和日常生活中,人们经常使用到各种电气和电子设备,这些设备都是由各种电路器件按一定的方式连接起来的,并能按特定要求和规定工作,如图 1-1 所示的手电筒。

构成实际电路的器件通常有电阻器、电容器、线圈、晶体管、电力变压器、电源等,如图 1-2 所示。

实际电路的种类很多,但不管它们是简单还是复杂,都由电源、负载以及连接部分这三部分组成。电源是提供电能或电信号的电路器件,其作用是向电路中的其他器件提供电压、电流,如手电筒中的电池;负载是消耗电能的器件,其作用是将电源提供的电能转换为其他形式的能量,如手电筒中的灯泡(或其他发光器件);连接部分通常由金属导线组成,其作用是将电源与负载连接起来,使电路完成一定的功能。



图 1-1 手电筒

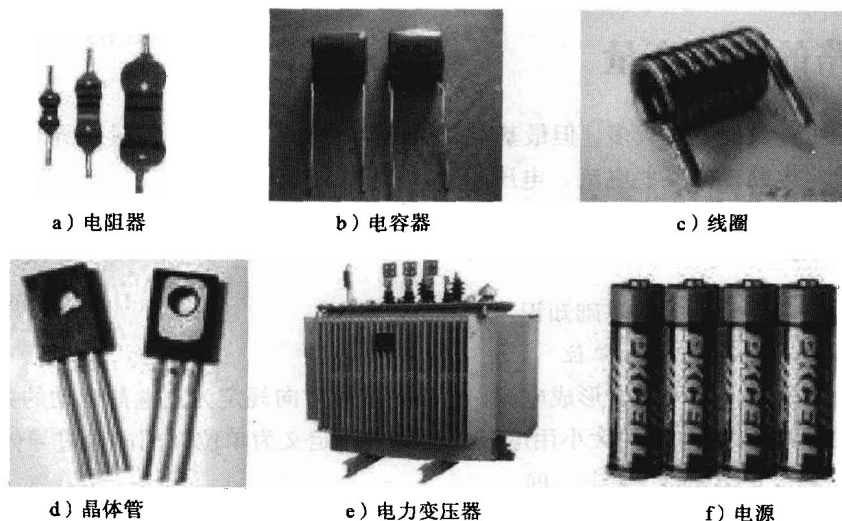


图 1-2 常见电路器件

实际电路的功能很多,但归纳起来主要体现在两个方面:一是实现电能的产生、传输与分配,如电力系统;二是实现电信号的传递与处理,如广播、电视等通信系统。

1.1.2 理想电路元件

实际电气(或电子)设备和器件的种类繁多,工作时的物理过程也很复杂,对它们一一分析很不方便。比如,常见的白炽灯泡,它除了有消耗电能的性质之外,电流通过时还会产生磁场。为便于分析实际电路的主要特性,需要对组成它的电路器件进行科学抽象,找出其主要的电磁特性,忽略其次要的电磁特性(比如,对白炽灯泡而言,可以忽略它产生磁场的性质)。经过科学抽象后的电路器件称为理想电路元件。

电路理论中常用的理想无源电路元件(简称无源元件)主要有以下三种:

- ① 电阻元件:反映电能损耗的电路元件;
- ② 电容元件:储存电场能量的电路元件;
- ③ 电感元件:储存磁场能量的电路元件。

如果一个实际电路器件不能抽象为一种理想电路元件,则可以抽象为一些理想电路元件的组合。例如,当线圈的能量损耗不可忽略时,可以将它抽象为电感元件与电阻元件的串联组合。

1.1.3 电路模型

将实际电路中的各个电路器件用对应的理想电路元件(或理想电路元件的组合)替代,这种由理想元件连接成的电路称为电路模型,简称电路。也可以说,电路模型是反映实际电路电气特性的数学模型。电路理论讨论和分析的对象是电路模型,而不是实际电路。

例如,手电筒的电路模型如图 1-3 所示,其中 S 表示开关,电阻 R 表示灯泡(或其他发光器件)的电磁特性,电压源 U_s 与电阻 R_s 的串联组合表示电池的电磁特性。

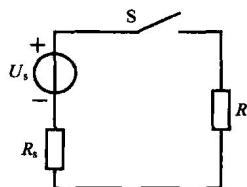


图 1-3 手电筒的电路模型

1.2 电路的基本变量

电路理论中涉及的变量较多,但最基本的是电流、电压、功率和能量。所谓电路分析,一般就是计算给定电路中的某些电流、电压和功率。

1.2.1 电流

本小节讨论与电流有关的基础知识。

1. 电流的实际方向及计量单位

电荷有规则的定向运动就会形成电流,电流的实际方向规定为正电荷运动的方向(也就是负电荷运动的反方向)。电流的大小用电流强度衡量,定义为单位时间内通过导体横截面的电荷量,简称电流,常用字母 i 表示,即

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

若电流的方向和大小始终不变,则称为直流电流,可用大写字母 I 表示。

在国际单位制中,电流的单位是安培(A),简称安。如果1秒钟内通过导体横截面的电荷量为1库仑,则电流的大小为1安(A)。计量微小电流时,可用毫安(mA)或微安(μA)为单位,它们的关系是: $1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$, $1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$ 。

2. 电流的参考方向

在分析较为复杂的电路时,往往难于事先判断某个电流的实际方向,为了便于分析,可以任意选定一个方向作为电流的参考方向(凡是一看便知实际方向的,一般选择参考方向与实际方向一致),并用箭头标在电路图上(也可用双下标表示,如 i_{ab}),如图1-4中实线所示。一旦选定了电流的参考方向,相关方程必须以之为据。

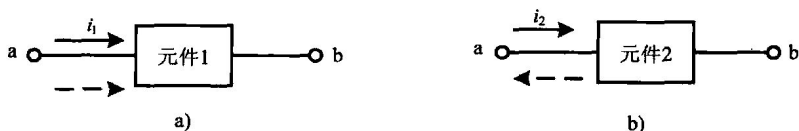


图 1-4 电流的实际方向与参考方向

电流的参考方向与实际方向是两个不同的概念,电流的实际方向可以根据选定的参考方向和由此计算出的电流的正负来确定。若计算出的电流为正值,则说明该电流的实际方向与其参考方向一致;若计算出的电流为负值,则说明该电流的实际方向与其参考方向相反。例如,在如图1-4所示的电路中,如果 $i_1 = 2\text{A}$ 、 $i_2 = -3\text{A}$,则说明通过元件1的电流大小为2A,实际方向与参考方向相同;通过元件2的电流大小为3A,实际方向与参考方向相反。图1-4中虚线表示电流的实际方向。

需要指出的是,电流的正负只有在选定了参考方向后才有意义。

1.2.2 电压

本小节讨论与电压有关的基础知识。

1. 电压的实际方向及计量单位

电路中两点之间的电压定义为将单位正电荷从一点移动到另一点时,电场力所做的功,常用字母 u 表示,即

$$u = \frac{dw(t)}{dq} \quad (1-2)$$

电压通常表示为两点之间的电位差,电压的实际方向规定为电位真正降低的方向(即由高电位点指向低电位点)。如果电压的大小和方向始终保持不变,则称为直流电压,可用大写字母 U 表示,例如干电池两端的电压。

在国际单位制中,电压的单位是伏特(V),简称伏。在计量微小的电压时,可用毫伏(mV)或微伏(μV)为单位;计量高电压时,则可用千伏(kV)为单位。它们的关系是: $1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}$, $1\mu\text{V} = 10^{-6}\text{V}$, $1\text{kV} = 10^3\text{V}$ 。

2. 电压的参考方向(极性)

分析电路时,同样先要为电路中未知的某两点间的电压设定参考方向,并在电路图中用“+”

表示假定的正极性端（高电位点），用“-”表示负极性端（低电位点）。若无特殊说明，电路图中的“+”、“-”标号一般都是电压的参考极性。另外，电压的参考方向也可以用带下脚标的字母表示，如电压 u_{ab} 表示该电压的参考方向是假定a点为正极性端，b点为负极性端，如图1-5所示。

选定了参考方向以后，电压的实际方向由其参考方向和数值的正负共同决定。例如，在如图1-6所示的电路中，如果已计算出 $U_1=3V$ ， $U_2=-2V$ ，则说明元件1两端电压的大小为3V，实际方向与参考方向相同，即为左高右低；元件2两端电压的大小为2V，实际方向与参考方向相反，即为左低右高。

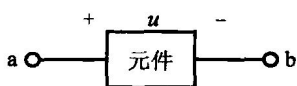


图 1-5 电压的参考方向

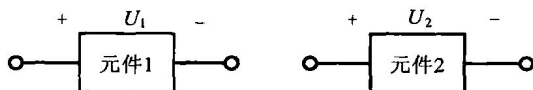


图 1-6 电压的实际方向和参考方向

同样需要指出的是，电压的正负只有在选定了参考方向后才有意义。

3. 关联参考方向

在分析电路时，电路中电流和电压的参考方向都是可以任意选定的，两者互相独立，但为了分析方便，对于同一元件或同一段电路，时常采用关联参考方向。

所谓关联参考方向是指电流的参考方向与电压参考方向中“+”极至“-”极的方向一致，又称一致参考方向。如图1-7所示电路中的电压 u 和电流 i 是关联参考方向。

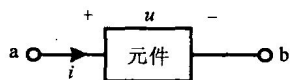


图 1-7 关联参考方向

1.2.3 电功率和电能

正电荷从电压的“+”极经电路元件移动到“-”极，是电场力对电荷做功的结果，这时，正电荷经过的电路元件吸收电能；相反地，正电荷从电压的“-”极经电路元件移动到“+”极，是非电场力对电荷做功的结果，即正电荷经过的电路元件向电路提供能量。因此，只要在电路中同时存在电流和电压，就存在能量的转换。

1. 电功率

电功率是指电场力做功的速率，简称功率，常用 p 表示，直流功率可用大写字母 P 表示。因此，一般所说的功率是指电路吸收的功率。如果某个元件（或某段电路）吸收的功率为负值，说明该元件（或该段电路）实际上提供功率。实际电路中，有的元件始终吸收功率（比如电阻），而有的元件有时吸收功率，有时提供功率（比如可充电电池）。

在国际单位制中，功率的单位是瓦特（W），简称瓦。1瓦是指每秒钟做功1焦耳，即 $1W=1J/s$ 。计量微小的功率时，可用毫瓦（mW）为单位；计量大功率时，则可用千瓦（kW）为单位。它们的关系是： $1mW=10^{-3}W$ ， $1kW=10^3W$ 。

分析电路时，人们通常关注的是电功率与电流、电压之间的关系，下面根据电流、电压及功率的定义来推导它们之间的关系。

根据电压的定义，在 dt 时间内，电场力将电荷 dq 由a点移动到b点所做的功为

$$dw(t) = u(t)dq$$

若电流 i 和电压 u 的参考方向关联（如图1-7所示），则该瞬间电场力做功的速率（即功

率)为

$$p(t) = \frac{dw(t)}{dt} = u(t) \frac{dq}{dt} = u(t) \cdot i(t) \quad (1-3)$$

若电流和电压的参考方向非关联, 则

$$p(t) = -u(t) \cdot i(t) \quad (1-4)$$

对一个完整的电路来说, 其中所有元件所吸收的功率之和为 0。或者说, 整个电路产生的功率总与它消耗的功率相等, 这称为功率平衡原理。这一点通过能量守恒原理很容易理解。

2. 电能量

电功率的积分就是电能量, 在关联参考方向下, 电路元件在 t_0 到 t 时间内吸收的能量为

$$w(t_0, t) = \int_{t_0}^t p(\xi) d\xi = \int_{t_0}^t u(\xi) i(\xi) d\xi$$

在国际单位制中, 能量的单位是焦耳 (J), 简称焦。在日常用电及工程上, 常用千瓦·时 (kW·h) 为电能量的单位, 生活中称 1 千瓦·时为“1 度电”。

例 1-1 在图 1-8 中, 各元件电压、电流的参考方向均已给出, 若已知 $U_1 = 3V$ 、 $I_1 = 2A$, $U_2 = 5V$ 、 $I_2 = -3mA$, $U_3 = -2V$ 、 $I_3 = 5A$ 。试求各元件的功率, 并指出哪些元件实际吸收功率, 哪些元件实际上提供功率。

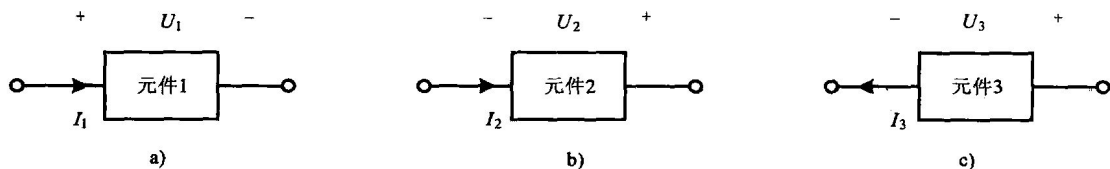


图 1-8 例 1-1 的图

解 图 1-8a、c 中, 电压、电流的参考方向关联, 因此,

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 = 3 \times 2 = 6(\text{W})$$

$$P_3 = U_3 \cdot I_3 = -2 \times 5 = -10(\text{W})$$

图 1-8 b 中, 电压、电流的参考方向非关联, 因此,

$$P_2 = -U_2 \cdot I_2 = -5 \times (-3 \times 10^{-3}) = 15 \times 10^{-3}(\text{W}) = 15(\text{mW})$$

因为元件 1、2 的功率为正值, 所以它们实际吸收功率; 而元件 3 的功率为负值, 所以它实际上提供功率。

1.3 三种基本无源电路元件

本书主要讨论集总参数电路, 集总参数电路是指由集总参数元件组成的电路。根据集总参数元件的定义, 对于二端元件, 任何时刻流入一个端子的电流一定等于流出另一个端子的电流, 同时两个端子之间的电压为单值。如果实际电路的尺寸远小于其工作电磁波长, 就可以用集总参数电路模型描述。本书第 10 章将简单介绍分布参数电路。