



教育科学“十五”国家规划课题研究成果

电路基础

贺洪江 王振涛 主编



高等教育出版社

TM13
146

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

电 路 基 础

贺洪江 王振涛 主编

高等教育出版社

内容简介

本书以教育部1995年颁布的“高等工业学校电路分析基础课程教学基本要求”为指导,兼顾21世纪高等学校应用型人才的培养要求,结合编者多年的教学经验精心编写。

全书共十一章,分别是电路的基本概念和基本定律、电路的等效变换、电路分析的一般方法、电路的基本定理、正弦稳态电路分析、耦合电感和理想变压器、三相电路、非正弦周期电流电路、动态电路的时域分析、线性电路的复频域分析法和二端口网络。每章末附有实际应用举例和主要题型及分析方法,注重应用。

本书可按60~70学时(不含实验)安排教学,根据教学需要可增删部分内容。本书可作为高等工业学校本、专科电类和机电一体化类等有关专业的“电路”教材或教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电路基础 / 贺洪江, 王振涛主编. —北京: 高等教育出版社, 2004. 7 (2006 重印)
ISBN 7-04-014528-6

I. 电... II. ①贺... ②王... 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(2004)第 042615 号

策划编辑	韩 颖	责任编辑	王莉莉	封面设计	于文燕	张楠
责任绘图	朱 静	版式设计	王艳红	责任校对	尤 静	责任印制 朱学忠

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
		网上订购	http://www.landaco.com
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司		http://www.landaco.com.cn
排 版	高等教育出版社照排中心	畅想教育	http://www.widedu.com
印 刷	北京鑫海金澳胶印有限公司		
开 本	787×960 1/16	版 次	2004年7月第1版
印 张	29	印 次	2006年5月第5次印刷
字 数	540 000	定 价	32.60 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 14528-00

总 序

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展需要,满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转移阶段中社会对高校应用型人才培养的各类要求,探索和建立我国高等学校应用型人才培养体系,全国高等学校教学研究中心(以下简称“教研中心”)在承担全国教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”研究工作的基础上,组织全国100余所培养应用型人才为主的高等院校,进行其子项目课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究与探索,在高等院校应用型人才培养的教学内容、课程体系研究等方面取得了标志性成果,并在高等教育出版社的支持和配合下,推出了一批适应应用型人才需要的立体化教材,冠以“教育科学‘十五’国家规划课题研究成果”。

2002年11月,教研中心在南京工程学院组织召开了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题立项研讨会。会议确定由教研中心组织国家级课题立项,为参加立项研究的高等院校搭建高起点的研究平台,整体设计立项研究计划,明确目标。课题立项采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式,分期分批启动立项研究计划。为了确保课题立项目标的实现,组建了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题领导小组(亦为高校应用型人才立体化教材建设领导小组)。会后,教研中心组织了首批课题立项申报,有63所高校申报了近450项课题。2003年1月,在黑龙江工程学院进行了项目评审,经过课题领导小组严格的把关,确定了首批9项子课题的牵头学校、主持学校和参加学校。2003年3月至4月,各子课题相继召开了工作会议,交流了各校教学改革的情况和面临的具体问题,确定了项目分工,并全面开始研究工作。计划先集中力量,用两年时间形成一批有关人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等理论研究成果报告和在研究报告基础上同步组织建设的反映应用人才培养特色的立体化系列教材。

与过去立项研究不同的是,“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题研究在审视、选择、消化与吸收多年来已有应用型人才探索与实践成果基础上,紧密结合经济全球化时代高校应用型人才培养工作的实际需要,努力实践,大胆创新,采取边研究、边探索、边实践的方式,推进高校应用型人才工作,突出重点目标,并不断取得标志性的阶段成果。

教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱和基础,作为体现教学内容

和教学方法的知识载体,在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索、建设适应新世纪我国高校应用型人才培养体系需要的教材体系已成为当前我国高校教学改革和教材建设工作面临的十分重要的任务。因此,在课题研究过程中,各课题组充分吸收已有的优秀教学改革成果,并和教学实际结合起来,认真讨论和研究教学内容和课程体系的改革,组织一批学术水平较高、教学经验较丰富、实践能力较强的教师,编写出一批以公共基础课和专业、技术基础课为主的有特色、适用性强的教材及相应的教学辅导书、电子教案,以满足高等学校应用型人才培养的需要。

我们相信,随着我国高等教育的发展和高校教学改革的不断深入,特别是随着教育部“高等学校教学质量和教学改革工程”的启动和实施,具有示范性和适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高校教学质量的提高。

全国高等学校教学研究中心

2003年4月

前 言

本书以教育部 1995 年颁布的“高等工业学校电路分析基础课程教学基本要求”为指导,兼顾 21 世纪高等学校应用型人才的培养要求,结合编者多年的教学经验精心编写。

本书以电路理论中的经典内容为核心,文理渗透、启发诱导,旨在提高学生的电路理论水平,提高其分析问题和解决问题的能力。为了使学生开阔视野、打开思路,本书适当介绍了一些电路理论的新发展和新应用;在教材内容的组织和讲解方面,力求做到符合教学规律和认知特点,在突出主要概念的同时,更加贴近实用,并结合作者多年的教研体会,加强了教材内容的归纳和整理,增强了学生对所学知识的系统性、规律性的认识。为提高学生的学习效果,增强学生自主解决问题的能力,本书精选了丰富的例题和习题,并在每章末增加了实际应用内容、主要题型分析和方法探讨。在本书例题、习题选择方面,除了贴近教学内容外,力求使题型多样、全面,部分例题和习题选自近几年电路考研试题和高等教育出版社出版的《电路题库》试题。在例题讲解上力求方法多样性,使学生对所学内容有一个细致全面的了解,在精讲电路内容的同时,兼顾学生解题能力的提高,解决了学生“上课听得懂,下课解题难”的问题,从而较好地消除了教学学时减少给“电路”教学带来的不利影响,使“电路”教学能够适应大学教学体系和内容的改革。

本书可按 60~70 学时(不含实验)安排教学,根据教学需要可增删部分内容。本书可作为高等工业学校本、专科电类和机电一体化类等有关专业的“电路”课程教材或教学参考书。

本书在编写过程中,得到了河北工程大学有关领导和教师的支持和帮助,特别是张永强教授和王雪光老师;朱承高教授详细认真审阅了本书的初稿,并提出了许多宝贵的意见。在此,对所有帮助过我们的同志一并表示衷心的感谢!

本书第一章至第五章由贺洪江编写,第六章至第十一章由王振涛编写,全书由贺洪江统稿。

限于编者水平,本书在内容取舍、编写方面难免存在不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2003 年 11 月 30 日

于河北工程大学

目 录

第一章 电路的基本概念和基本定律	2
§ 1-1 电路和电路模型	2
§ 1-2 电路分析中的基本变量	6
§ 1-3 电路元件	10
§ 1-4 独立电源	17
§ 1-5 基尔霍夫定律	21
§ 1-6 电路中电位的计算	25
应用	26
本章主要题型及分析方法	27
习题	28
第二章 电路的等效变换	36
§ 2-1 等效一端口网络的概念	36
§ 2-2 无源一端口网络的等效变换	37
§ 2-3 电阻三角形网络和星形网络的等效变换	43
§ 2-4 实际电源的两种模型及其等效互换	49
§ 2-5 受控源及含受控源简单电路的分析	54
§ 2-6 等效电阻、输入电阻	57
应用	59
本章主要题型及分析方法	61
习题	62
第三章 电路分析的一般方法	71
§ 3-1 支路电流法	71
§ 3-2 回路电流法	77
§ 3-3 结点电压法	84
应用	92
本章主要题型及分析方法	92
习题	95
第四章 电路的基本定理	102
§ 4-1 叠加定理	102
§ 4-2 替代定理	109
§ 4-3 戴维宁定理和诺顿定理	111
§ 4-4 特勒根定理	121
§ 4-5 互易定理	124
应用	128

本章主要题型及分析方法	130
习题	132
第五章 正弦稳态电路分析	140
§ 5-1 正弦交流电路的基本概念	140
§ 5-2 正弦量的相量表示法	143
§ 5-3 R 、 L 、 C 的相量形式	147
§ 5-4 KCL、KVL 的相量形式	150
§ 5-5 RLC 串联电路和复阻抗	151
§ 5-6 RLC 并联电路和复导纳	153
§ 5-7 复阻抗(复导纳)的串联与并联	156
§ 5-8 交流电路的功率及功率因数	160
§ 5-9 复功率	164
§ 5-10 电路中的谐振	166
§ 5-11 正弦稳态电路的分析	173
§ 5-12 最大功率传输	178
应用	180
本章主要题型及分析方法	182
习题	183
第六章 耦合电感和理想变压器	190
§ 6-1 耦合电感元件	190
§ 6-2 含耦合电感的电路分析	195
§ 6-3 空心变压器	210
§ 6-4 理想变压器	214
应用	219
本章主要题型及分析方法	220
习题	223
第七章 三相电路	229
§ 7-1 对称三相电源及其连接方式	229
§ 7-2 对称三相负载及其连接方式	233
§ 7-3 三相电路计算	235
§ 7-4 三相电路的功率及其测量	250
应用	260
本章主要题型及分析方法	261
习题	265
第八章 非正弦周期电流电路	271
§ 8-1 非正弦周期电流和电压	271
§ 8-2 非正弦周期信号的傅里叶展开	272
§ 8-3 非正弦周期量的有效值、平均值和平均功率	275

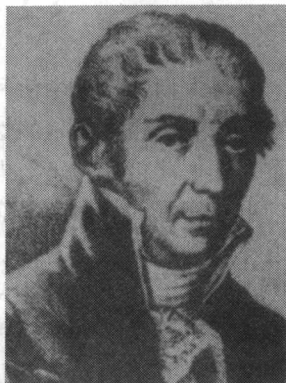
§ 8-4 非正弦周期电流电路的计算	278
应用	282
本章主要题型及分析方法	284
习题	285
第九章 动态电路的时域分析	289
§ 9-1 电路的瞬态过程和换路定则	289
§ 9-2 稳态值与初始值的确定	290
§ 9-3 一阶电路的零输入响应	292
§ 9-4 一阶电路的零状态响应	300
§ 9-5 一阶电路的全响应	307
§ 9-6 一阶电路的三要素法	311
§ 9-7 一阶电路的阶跃响应	313
§ 9-8 一阶电路的冲激响应	316
§ 9-9 RLC 串联电路的零输入响应	327
应用	340
本章主要题型及分析方法	341
习题	345
第十章 线性电路的复频域分析	356
§ 10-1 拉普拉斯变换的定义	356
§ 10-2 拉普拉斯变换的基本性质	358
§ 10-3 拉普拉斯反变换	364
§ 10-4 线性电路的复频域模型	370
§ 10-5 应用拉普拉斯变换分析线性电路	373
§ 10-6 网络函数	378
应用	382
本章主要题型及分析方法	386
习题	388
第十一章 二端口网络	395
§ 11-1 二端口网络概述	395
§ 11-2 二端口网络的方程和参数	396
§ 11-3 二端口网络的等效电路	408
§ 11-4 二端口网络的连接	412
§ 11-5 二端口网络的特性阻抗	419
应用	421
本章主要题型及分析方法	424
习题	429
部分习题答案	435
参考文献	451

哲思：求木之长者，必固其根本；
欲流之远者，必浚其泉源。

科学家简介

伏特 (Alessandro Antonio Volta, 1745—1827), 意大利物理学家, 发明了电池和电容器。电池是最早提供连续流动电能的装置。

伏特生于意大利科摩的一个贵族家庭。他 18 岁时就进行电路实验。1800 年, 他宣布发明了伏特电堆, 这是第一个能产生稳定、持续电流的装置。有了持续电流, 人们对电学的研究打开了新的局面。伏特(电压或电位差的单位)即是以他的名字命名的。



安培 (Andra - Marie Ampere, 1775—1836), 法国数学家和物理学家, 电力学基础的奠基者。1820 年, 他定义了电流并研究出测量电流的方法。

安培出生于法国的里昂。他非常爱好数学并写了很多著作, 他推导出许多电磁学的定律, 发明了电磁铁和电流表。安培(电流的单位)就是以其名字命名的。



第一章 电路的基本概念和基本定律

本章是全书的基础,介绍了电路的基本概念和电路的基本定律,引出了贯穿电路分析的两类约束关系:元件的伏安关系(VCR)及与元件性质无关的反映电路连接特点的基尔霍夫定律。基尔霍夫定律是集总电路的基本定律。

§ 1-1 电路和电路模型

电在人们的日常生活和工农业生产等各个领域的应用日益广泛,以至于人们对电产生了相当的依赖性,甚至到了没有电就无法正常生活和工作的程度,电的重要性由此可见一斑。电是通过实际电路提供的,电的应用又是依靠各种各样的电路实现的。因其具有的功能不同,所以实际电路千差万别,但不同的电路都遵循着基本的电路定律。

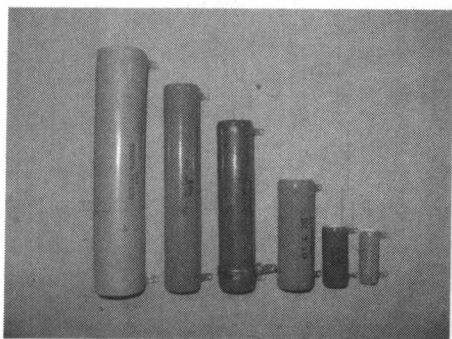
电路就其作用可分为两大类。其一是以传输、分配、转换电能为目的的供配电系统。因其功率、电流、电压的值较大,故也称为强电系统。在供配电系统中,人们关心的是怎样减少能量损耗,以提高系统的效率。其二是以传送、处理、储存信号为目的的电子电路。因其功率、电流、电压的值较小,而称为弱电系统。在弱电系统中,人们主要关心怎样减小信号在传送、处理、储存过程中的失真。

电路的结构按大小来看也相差甚远。大到跨省界、国界、洲界的供配电系统,小到在纽扣大小的芯片上集成上百万或更多元件的集成电路。显然,上述大、小两类电路在结构上都是非常复杂的。但无论是简单电路,还是复杂电路,就其组成而言不外乎三个部分:电源—中间环节—负载。

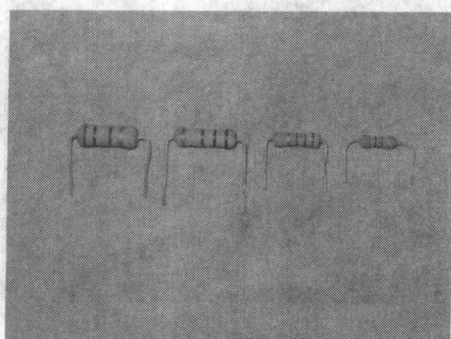
人们把提供电能的装置称为电源,因其在电路中起激励作用,因此,电源又称为激励。把转换电能的装置称为负载。连接电源与负载的环节,称为中间环节。最简单的中间环节由导线和开关组成,复杂的中间环节可能是一个非常庞大的网络。在强电系统中,中间环节的作用是传输、分配、供给电能以及控制电能的输送。在弱电系统中,中间环节的作用是传送、处理信号。激励在电路中产生的电流和电压称为响应,有时又把激励称为输入,响应称为输出。电路分析就是在已知激励和电路结构、参数的情况下求响应。若已知激励和响应,要确定电

路的结构和参数,就称为电路综合。本书主要内容是电路分析,探讨电路的基本定律和定理,并讨论各种计算方法,为学习后续电类课程打下基础。

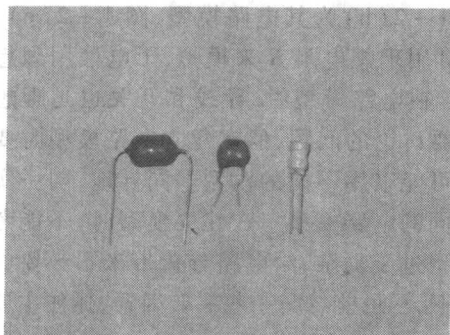
电路分析中所指的电路,不是实际电路,而是从实际电路中抽象出来的、由理想元件所组成的电路模型。要建立实际电路的电路模型,首先应该将实际电路元件理想化,把实际的电阻元件、电感元件、电容元件理想化为理想电阻、理想电感和理想电容。实际电路元件及理想电路元件的图形符号如图1-1所示。理想电路元件是具有单一电磁性质的假想元件,具有精确的数学定义。除上述理想元件外,还有理想电源和理想受控源等。引入理想电路元件后,实际电路元件或实际电路,在一定条件下就可以用理想元件或其组合来模拟,此即为实际电路元件或实际电路的理想化模型。根据理想元件端子的数目,理想电路元件可分为二端、三端、四端元件等。



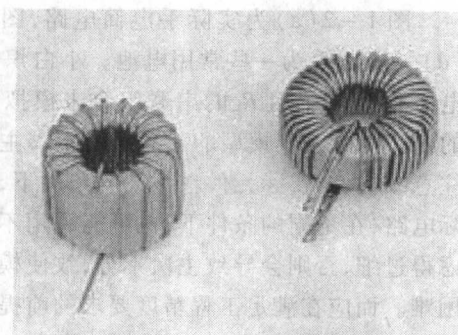
(a) 绕线电阻



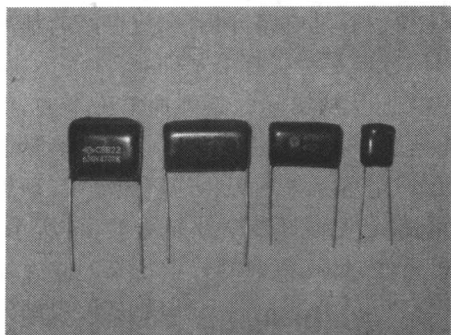
(b) 色环电阻



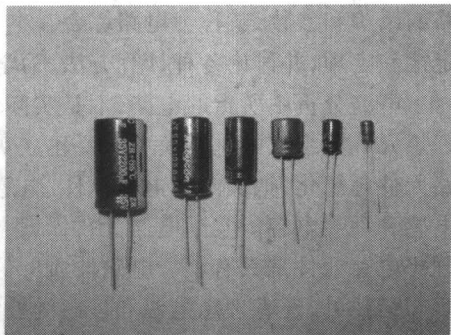
(c) 普通电感



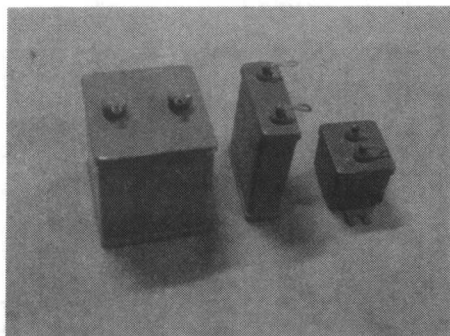
(d) 环形电感



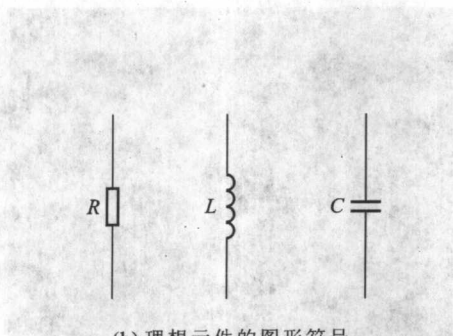
(e) 涤纶电容



(f) 电解电容



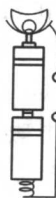
(g) 油浸纸介电容



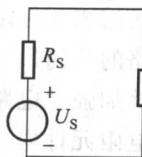
(h) 理想元件的图形符号

图 1-1 实际电路元件及理想电路元件的图形符号

图 1-2(a) 为实际手电筒电路, 图 1-2(b) 为其电路模型, 图 1-2(c)、(d)、(e)、(f) 为一些常用电池。小白炽灯用理想电阻 R 来模拟, 干电池用理想电压源 U_s 和电阻 R_s 的串联组合来模拟。在电路模型中, 导线和开关也是理想的。实际电路其模型的建立不是本书主要讨论的问题, 但在建立电路模型时要注意, 同一个实际元件在不同的条件下, 可能采用不同的模型。同样地, 同一实际电路, 在不同的条件下, 也可能采用不同的电路模型。在建立模型时, 不能考虑得过细, 否则会导致主次不分, 致使模型过于复杂, 给电路分析带来不必要的困难。而应在满足工程精度要求的前提下, 尽可能忽略一些次要因素, 抓住主要因素, 建立起既简单又能足以反映其电磁性质的电路模型。恰当的、符合实际的电路模型既可以使电路分析得到简化, 又能满足工程需要。



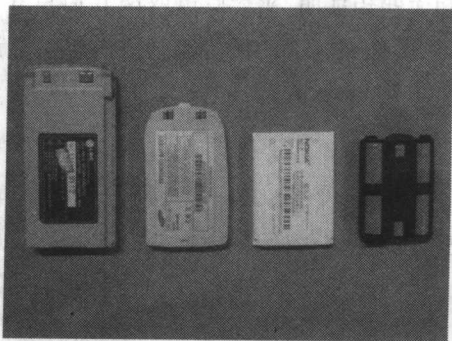
(a) 实际手电筒电路



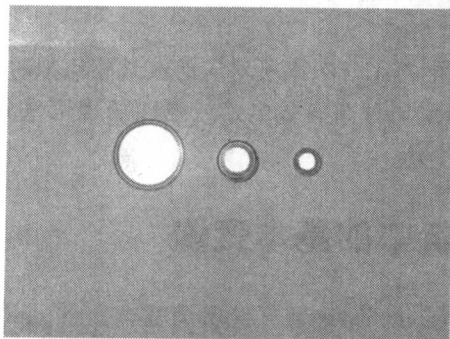
(b) 电路模型



(c) 干电池



(d) 手机电池



(e) 纽扣电池



(f) 蓄电池

图 1-2 手电筒电路与其电路模型及一些常用电池

在上述的电路模型中,实际电路的尺寸大小已被忽略。例如:较大的手电筒和较小的手电筒,其电路模型均为图 1-2(b)所示。在这里是用集中的作用代替分散的作用。例如:对分散存在的输电线的阻抗作用,常用一个集中的阻抗作用来表示,等等。对于这些集中作用的理想元件,认为其电磁作用都集中在元件的内部。电路理论中把这样的理想元件称为集总参数元件,由集总参数元件组成的电路模型称为集总参数电路,或称为集总电路。

如前所述,在集总电路中,认为电磁现象都发生在元件内部,这就意味着不考虑电场和磁场之间的相互作用。根据电磁场理论,电场和磁场的相互作用将产生电磁波。当电路的几何尺寸与电路工作频率所对应的波长可以相比拟时,电磁波的辐射将显著加强。电路中的部分能量将随电磁波辐射到空间。这与能量的消耗都发生在电阻元件内部的假设不符。因此,只有当实际电路由于电磁波的辐射而带来的能量损失可以忽略不计时,才能按集总电路对待。电磁理论和实践均证明,当实际电路的几何尺寸 l 远小于电路工作频率所对应的波长 λ 时,电磁波辐射的能量小到可以忽略不计,实际电路可按集总参数电路对待。电路工作频率所对应的波长为

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

式中, $c = 3 \times 10^8$ m/s 为光速, f 为电路的工作频率。我国工业用电频率为 $f = 50$ Hz, 则对应波长为

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{50} \text{ m} = 6\,000 \text{ km}$$

因此,对于几何尺寸远小于 6 000 km 的供电网络,都可以按集总参数电路处理。因 λ 值随着电路工作频率 f 的增高而减小,故在高频电路中,甚至对尺寸仅为几米大小的电路,也不能按集总电路对待。

如上所述,当电路的几何尺寸可以和电路工作频率所对应的波长相比拟时,这个电路就不能按集总参数电路对待,而要用分布参数电路或电磁场理论来分析。本书只涉及集总参数电路的分析与计算。

§ 1-2 电路分析中的基本变量

电路分析中的基本变量有:电流、电压、电荷、磁链等。所谓基本变量,是指用它们可以方便地表示出电路中的其他物理量。

1. 电流及其参考方向

在电场力的作用下,电荷的定向移动就形成了电流。用 i 表示随时间变化的电流,用 I 表示恒定电流(或称为直流)。电流的定义为:在单位时间内,通过导体横截面电荷量的代数和称为电流,即

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

在国际单位制中,电流、电荷和时间的基本单位是安[培](简称安,用 A 表示)、库[仑](简称库,用 C 表示)和秒(用 s 表示)。在实际应用中,电流有时也

常用其辅助单位:千安(kA)、毫安(mA)和微安(μA),其换算关系为

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

正电荷定向移动的方向称为电流的实际方向。在简单电路中,电流的实际方向很容易确定,但当电路比较复杂时,电流的实际方向往往难以确定,例如在图1-3所示的桥式电路中, R_5 中的实际电流方向就难以确定。而对电路分析计算必须在指定方向的情况下才能进行,因此,需要假设一个方向,把这种假设的方向称为参考方向。参考方向可以任意选定。在电路中电流的参考方向可以用箭头表示,如图1-3中 R_5 的电流 I_5 ,也可以用双下标表示,如 I_{ab} 。因参考方向可能与实际方向一致,也可能与实际方向相反,因此规定:如果电流的参考方向与实际方向一致,电流为正值;如果两者相反,电流为负值。这样就可以根据电流的正、负并结合参考方向来确定电流的实际方向。例如图1-4所示为交流电路中的某一支路,在图示电流参考方向的情况下,设电流 i 的表示式为

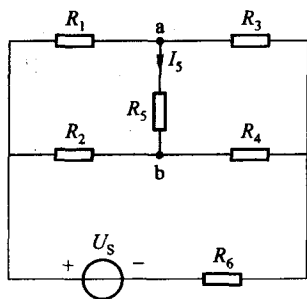


图 1-3 桥式电路

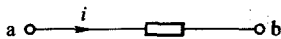


图 1-4 电流的参考方向

$$i = 10\cos(314t) \text{ A}$$

电流 i 的大小和方向随时间作周期性变化,其实际方向不可能用一个固定的箭头表示。在任意时刻 t ,电流 i 的实际方向可根据上式算出的电流的正、负,并结合图示电流参考方向来确定。例如 $t=0.001 \text{ s}$ 和 $t=0.006 \text{ s}$ 时,对应电流为

$$i(0.001) = 10\cos(314 \times 0.001) \text{ A} = 9.511 \text{ A}$$

$$i(0.006) = 10\cos(314 \times 0.006) \text{ A} = -3.081 \text{ A}$$

由此可确定,电流 i 在 $t=0.001 \text{ s}$ 时,实际方向与其参考方向相同,即由 a 指向 b 。在 $t=0.006 \text{ s}$ 时,实际方向与其参考方向相反,即由 b 指向 a 。

2. 电压及其参考方向

电压是描述电场力对电荷做功大小的物理量。用 u 表示随时间变化的电压,用 U 表示恒定电压(或称直流电压)。电场力把单位正电荷由 a 点移到 b 点

所做的功,称为 a、b 两点间的电压,即

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

上式中, dW 也是正电荷在移动过程中失去或获得的能量。当 $dW > 0$ 时, $u > 0$, 说明 a 点的电位高于 b 点的电位, 正电荷 dq 在移动过程中失去能量。当 $dW < 0$ 时, $u < 0$, 说明 a 点的电位低于 b 点的电位, 正电荷 dq 在移动过程中获得能量。电压的单位是伏[特](用 V 表示)。其辅助单位有千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏(μV), 换算关系为

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

电压的实际方向规定由高电位点指向低电位点, 即为电压降的方向。在进行电路分析时, 正像电流需要假设参考方向一样, 电压也需要假设参考方向。电压的参考方向可用双下标和正、负极性表示。并规定: 如果电压的实际方向与参考方向一致时, 电压取正值; 如果电压的实际方向与参考方向相反时, 电压取负值。这样就可以根据电压值的正、负并结合其参考方向来确定电压的实际方向。

对于同一段电路或同一个元件, 由于其电流、电压的参考方向可以任意选定, 所以就会出现两种情况: 第一种情况为电压、电流的参考方向选得相同, 称为关联参考方向; 第二种情况为电压、电流的参考方向选得相反, 称为非关联参考方向, 如图 1-5 所示。在电路分析中, 许多公式的正、负号都与参考方向的关联与否有关, 应用时要特别注意。

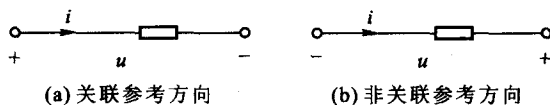


图 1-5 关联与非关联参考方向

本书中所采用的电压、电流的方向, 未说明的均指关联参考方向。

3. 电功率

电功率是单位时间内元件(或电路)所转换的电能量, 即

$$p = \frac{dW}{dt} \quad (1-3)$$

电功率简称为功率。用 p 表示随时间变化的功率, 用 P 表示不随时间变化的恒定功率。由式(1-1)、(1-2)得

$$dW = u dq; \quad i = \frac{dq}{dt}$$

代入式(1-3), 得