

21世纪高等学校规划教材 | 电子信息



电路分析基础

高继森 王芬琴 孙春霞 编著

清华大学出版社

21世纪高等学校规划教材 | 电



电路分析基础

高继森 王芬琴 孙春霞 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书较系统地介绍了电路的基本概念、基本理论和基本分析方法。

全书共分9章,内容包括电路的基本概念及定律、电路的等效分析、电阻电路的一般分析、电路分析的重要定理、正弦稳态电路分析、三相电路、耦合电感和变压器电路、谐振电路、线性电路瞬态的时域分析。为配合学生复习,每章后均有小结。为配合正文,还配有较丰富的例题、练习题和习题,书末附有习题答案。

本书可作为电信、电子、电气、自动控制、自动化和计算机等专业电路分析或电工基础课程的教材,也可供有关科技人员参考。

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

电路分析基础/高继森,王芬琴等编著. —北京:清华大学出版社,2014

21世纪高等学校规划教材·电子信息

ISBN 978-7-302-36693-5

I. ①电… II. ①高… ②王… III. ①电路分析—高等学校—教材 IV. ①TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 117181 号

责任编辑:郑寅堃 王冰飞

封面设计:傅瑞学

责任校对:梁毅

责任印制:沈露

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 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:20.25 字 数:503千字

版 次:2014年11月第1版 印 次:2014年11月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:39.00元

产品编号:056887-01

出版说明

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”(简称“质量工程”),通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上。精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合21世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版

社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。推出的特色精品教材包括:

(1) 21 世纪高等学校规划教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 21 世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 21 世纪高等学校规划教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 21 世纪高等学校规划教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 21 世纪高等学校规划教材·信息管理与信息系统。

(6) 21 世纪高等学校规划教材·财经管理与应用。

(7) 21 世纪高等学校规划教材·电子商务。

(8) 21 世纪高等学校规划教材·物联网。

清华大学出版社经过三十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

联系人:魏江江

E-mail:weijj@tup.tsinghua.edu.cn



前言

电路分析基础是高等工科院校电信、电子、电气、自动控制、自动化及计算机等专业必修的技术基础先导课程,其主要任务是讨论线性、时不变、集中参数电路的基本理论及一般分析方法,使学生掌握电路分析的基本概念和基本原理,提高分析电路的思维能力和计算能力,为学习后续课程奠定良好的基础。

根据本课程的性质与任务,本书内容以分析线性电路为主,稳态分析与瞬态分析并重,采用的体系是先直流后交流,先稳态后瞬态的结构。编者认为,这样一种结构符合由浅入深、由简到繁、由静到动、由局部到一般的认识规律,可以引导学生逐步深入,最终具备比较完整的电路理论基础知识。

本书力求简明准确,突出物理概念,并配有较为丰富的例题、练习题和习题,有助于学生对基本内容的理解和掌握。

本书由高继森主编。全书共分9章,第1、8、9章由孙春霞编写;第2、6、7章由王芬琴编写;第3~5章由高继森编写。本书在编写过程中得到了董亚楠、何兴、徐龙泉、丁小波、高扬等同学的大力帮助,在此深表谢意。本书汲取了许多同仁的编写经验和资料,在此向他们表示感谢。

限于编者学识水平,书中难免会有不当之处,敬请大家批评指正。

编 者

2014年6月于兰州交通大学

目 录

第 1 章 电路的基本概念及定律	1
1.1 电路分析概述	1
1.1.1 电路理论的发展及其研究领域	1
1.1.2 电路与电路模型	2
1.1.3 电路模型的分类	3
1.2 电路的基本变量	4
1.2.1 电流	4
1.2.2 电压与电位	5
1.2.3 电功率	6
1.2.4 电能量	7
1.3 电路的基本定律	7
1.3.1 基尔霍夫电流定律	8
1.3.2 基尔霍夫电压定律	9
1.3.3 任意两点间的电压	10
1.3.4 电路中各点的电位	11
1.4 无源元件及其特性	12
1.4.1 电阻元件	12
1.4.2 电容元件	15
1.4.3 电感元件	18
1.5 有源元件及其特性	21
1.5.1 电压源	21
1.5.2 电流源	24
1.5.3 受控源	25
1.6 小结	28
1.6.1 电路分析概述与电路的基本变量	28
1.6.2 电路的基本定律	29
1.6.3 无源元件及其特性	29
1.6.4 有源元件及其特性	30
习题 1	31
第 2 章 电路的等效分析	38
2.1 等效的概念及电阻的等效分析	38

2.1.1	等效的概念	38
2.1.2	电阻的串联	38
2.1.3	电阻的并联	40
2.1.4	电阻的混联	42
2.2	电阻星形连接与三角形连接的等效互换	44
2.3	电源的等效分析	48
2.3.1	独立电源的串、并联	48
2.3.2	实际电压源和实际电流源的等效互换	50
2.4	无独立源二端网络的输入电阻	52
2.4.1	输入电阻的串并联分析法	53
2.4.2	输入电阻的伏安分析法	53
2.4.3	输入电阻的等电位分析法	55
2.5	含运算放大器电路的分析	56
2.5.1	运算放大器的电路模型	56
2.5.2	运算放大器的应用电路	60
2.6	电路的对偶性	62
2.7	小结	63
2.7.1	等效的概念及电阻的等效分析	63
2.7.2	电阻星形连接与三角形连接的等效互换	63
2.7.3	电源的等效分析	64
2.7.4	无独立源二端网络的输入电阻	65
2.7.5	含运算放大器电路的分析及电路的对偶性	65
习题 2		65
第 3 章	电阻电路的一般分析	71
3.1	电路方程的独立性	71
3.2	支路电流法	73
3.3	网孔分析法	77
3.3.1	电路分析的解变量	77
3.3.2	网孔电流	77
3.3.3	网孔分析法	78
3.4	节点分析法	82
3.5	回路电流法	89
3.5.1	图论的基本概念	89
3.5.2	回路分析法	91
3.6	小结	94
3.6.1	电路方程的独立性	94

3.6.2 方程法分析	94
3.6.3 方程通式	95
习题 3	96
第 4 章 电路分析的重要定理	100
4.1 叠加定理	100
4.2 替代定理	104
4.3 戴维南定理与诺顿定理	108
4.3.1 戴维南定理	108
4.3.2 诺顿定理	115
4.4 最大功率传输定理	118
4.5 互易定理	121
4.6 小结	125
习题 4	126
第 5 章 正弦稳态电路分析	132
5.1 正弦量的基本概念	132
5.1.1 周期电压和电流	132
5.1.2 正弦电压和电流	133
5.1.3 周期信号的有效值	136
5.2 正弦量的相量表示	137
5.2.1 复数及其四则运算	138
5.2.2 正弦函数和相量的关系	139
5.3 基尔霍夫定律的相量形式和元件伏安关系的相量形式	141
5.3.1 基尔霍夫定律的相量形式	141
5.3.2 电阻、电感及电容元件伏安关系的相量形式	142
5.4 阻抗和导纳	146
5.4.1 基本元件的阻抗和导纳	146
5.4.2 阻抗的串联与并联	147
5.5 正弦稳态电路的分析	152
5.6 正弦电流电路的功率	158
5.6.1 瞬时功率	158
5.6.2 平均功率	158
5.6.3 无功功率	159
5.6.4 视在功率和复功率	160
5.7 正弦电流电路的最大功率传递定理	163
5.7.1 负载的电阻和电抗均可改变时的情况	163

5.7.2 负载阻抗的阻抗角恒定而模可改变时的情况	164
5.8 小结	166
5.8.1 正弦信号的三要素和相量表示	166
5.8.2 R 、 L 、 C 元件 VAR 相量形式	166
5.8.3 阻抗和导纳	167
5.8.4 正弦稳态电路的分析	168
5.8.5 正弦稳态电路的功率	168
习题 5	169
第 6 章 三相电路	178
6.1 对称三相电源和三相负载	178
6.1.1 对称三相电源	178
6.1.2 三相电路的 Y 形连接和 Δ 形连接	179
6.2 对称三相电路的分析	182
6.3 不对称三相电路的分析	186
6.4 三相电路的功率	189
6.5 三相电路的功率测量	192
6.6 小结	194
习题 6	195
第 7 章 耦合电感和变压器电路	198
7.1 耦合电感的伏安关系和同名端	198
7.1.1 互感电压、耦合电感的伏安关系	198
7.1.2 耦合电感的同名端	200
7.1.3 耦合系数	203
7.2 耦合电感的去耦等效	204
7.2.1 耦合电感的串联	204
7.2.2 耦合电感有一点相连	206
7.2.3 耦合电感的并联	206
7.3 正弦稳态互感耦合电路的计算	208
7.4 空心变压器电路分析	210
7.4.1 空心变压器的电路方程	210
7.4.2 初级反映电路	211
7.4.3 次级反映电路	212
7.5 理想变压器	215
7.5.1 理想变压器的伏安关系	215
7.5.2 理想变压器的阻抗变换作用	219

7.6 全耦合变压器和一般变压器	222
7.6.1 全耦合变压器	222
7.6.2 全耦合自耦变压器	223
7.6.3 一般变压器	223
7.7 小结	226
习题 7	227
第 8 章 谐振电路	231
8.1 串联谐振电路	231
8.1.1 串联谐振的条件	231
8.1.2 串联谐振的特点	232
8.2 RLC 串联谐振电路的频率特性和通频带	234
8.2.1 串联谐振电路的频率特性和选择性	234
8.2.2 串联谐振电路电感电压和电容电压	237
8.2.3 串联谐振电路的通频带	238
8.3 信号源内阻和负载对串联谐振电路的影响	240
8.4 并联谐振电路	243
8.4.1 RLC 并联谐振电路谐振条件及特点	244
8.4.2 电感线圈与电容器并联的谐振电路	245
8.4.3 电感线圈与电容器并联的高 Q 谐振电路	247
8.5 RLC 并联谐振电路的频率特性和通频带	249
8.6 信号源内阻及负载电阻对并联谐振电路的影响	251
8.7 小结	255
8.7.1 串联谐振电路	255
8.7.2 并联谐振电路	256
习题 8	256
第 9 章 线性电路瞬态的时域分析	260
9.1 瞬态及换路定律	260
9.1.1 瞬态过程	260
9.1.2 换路、换路定律	261
9.2 电路初始值的计算	262
9.3 直流一阶电路瞬态分析的经典法	265
9.3.1 直流一阶 RC 电路的瞬态分析	265
9.3.2 直流一阶 RL 电路的瞬态分析	269
9.4 直流一阶电路的三要素法	272
9.5 零输入响应、零状态响应	279

9.5.1 零输入响应	279
9.5.2 零状态响应	281
9.6 RLC 串联电路的零输入响应	285
9.6.1 $R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 的过阻尼情况	285
9.6.2 $R = 2\sqrt{\frac{L}{C}} = 2\rho$ 的临界阻尼情况	288
9.6.3 $R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 的欠阻尼振荡情况	289
9.7 直流 RLC 串联电路的完全响应	293
9.8 小结	295
习题 9	296
部分参考答案	301
参考文献	309

第1章

电路的基本概念及定律

电路理论是研究电路基本规律和电路分析与综合方法的学科,它经历了一个世纪的漫长发展道路,形成了完整的学科体系,并成为整个电气和电子工程,其中包括电力、通信、测量、控制及计算机等技术领域的主要理论基础,并在生产实践中获得了极为广泛的应用。

电路分析是电路理论中的一个重要分支,也是整个电路理论的基础。本章作为全书的开始,将介绍有关电路分析的一些基本概念和定律,为以后各章的学习奠定基础。

1.1 电路分析概述

1.1.1 电路理论的发展及其研究领域

电路理论的发展经历了经典电路理论与现代电路理论两个阶段。从 19 世纪 20 年代到 20 世纪 60 年代,电路理论从物理学中电磁学的一个分支逐步发展成为一门独立的学科。这一阶段称为经典电路理论的形成与完备阶段。在这一阶段中,电路理论研究的主要对象主要是线性非时变无源电路。20 世纪 60 年代,电路理论发生了重大变革,这一变革的主要特征是:从原来主要研究线性非时变无源电路,进一步扩展到线性非时变有源电路。另外,在设计方法上采用了“系统的步骤”,以此与计算机辅助设计(CAD)相适应。20 世纪 60 年代至今的这一阶段称为近代电路理论的形成及发展阶段。这一阶段虽然经历的时间不长,但电路理论的发展却极其迅速。通信和控制技术、系统理论、计算机技术及大规模和超大规模集成电路的发展,对电路理论提出了一系列新的课题,从而促进了电路理论的发展。

电路理论的研究领域包括电路分析与电路综合两个分支。电路分析是在给定的激励下求给定电路的响应;电路综合则是在给定的激励下为达到预期的响应而求得电路的结构及参数。这里的“激励”可理解为电源的作用,“响应”则可理解为电路各部分对电源作用的反应,如电流、电压等。

近年来,在电路分析与综合之间,又出现了另一分支,即电路的故障诊断。电路的故障诊断,就是通过对电路的某些可及端子的测量,来确定电路中未知元件的状态及数值,从理论上说,就是元件参数值的可解性问题,从实际上说,就是故障元件的定位及定值问题。



图 1-1 给出了电路分析、电路综合及故障诊断这 3 个研究 图 1-1 电路理论的 3 个分支

领域的图解说明。

1.1.2 电路与电路模型

对于“电路”的概念我们并不陌生,在广泛用电的今天,电路可以说是随处可见,任何一个电气装置和电子设备都构成一种功能不同的电路。例如,日光灯照明设备是由灯管、镇流器(铁心线圈)和启动器(相当于制动开关)等连接而成的,如图 1-2(a)所示。灯管、镇流器及启动器等电气零件统称为电路器件或部件(供电电源也是一种电路器件)。各种用电设备繁简不一,当接通电源后,即有电流流过,电路进入工作状态。由此可对电路作以下定义:若干电气设备或器件,按照一定的方式连接起来,构成电流的通路,这个通路就称为电路或网络。在电路理论中,“电路”与“网络”这两个术语并无严格的区别,今后可以通用。

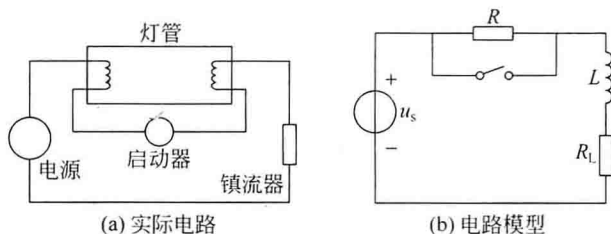


图 1-2 实际电路及其电路模型

电路由电源、负载和连接导线组成。电源是供给电能的设备,负载是消耗电能的设备,导线的作用是将它们连接起来进行能量传输。电路的作用是传输与分配能量,或者是传输与处理信号。例如,供电电路就是传输与分配电能的电路;调谐电路则是将输入的多频信号进行处理,然后输出单频或某一频带信号的电路。再如,放大电路是将输入的微弱信号放大“处理”而后输出的电路。

电路器件的特性与其工作时内部的电磁现象有关,根据电磁现象可将器件用某个元件或若干个元件的组合来模拟。例如,日光灯照明设备中的灯管可用电阻元件来模拟,镇流器可用电感元件与电阻元件串联来模拟。这里的电阻、电感等元件,统称为电路元件。电路元件是指具有单一电磁现象的器件,它是电路组成的最小单元,是理想化了的器件。理想电路元件有电阻、电容、电感、独立源、受控源、耦合电感、变压器及回转器等。电阻元件是只消耗电能并将其转换为热能或其他形式能量的元件。电容和电感元件是分别储存电场能量和磁场能量的元件。上述前 5 种元件对外只有两个端钮,故称为二端元件。后几种元件对外有 4 个端钮,称为四端元件。类似地,对外只有两个端钮的网络称为二端网络,其他还有三端网络、四端网络等。三端以上的网络统称为多端网络。二端网络的一对端钮上的电流必定是一进一出且数值相等,具有此特征的一对端钮称为单口,故二端网络亦称为单口网络。四端网络两对端钮上的电流,若都是一进一出并且相等,则此四端网络称为双口网络。双口网络是四端网络的一种特例。元件及结构完全清楚(已知)的网络称为“白盒”网络,元件及结构不清楚和不太清楚的网络,分别称为“黑盒”和“灰盒”网络。电路分析是研究“白盒”网络。“电路”与“网络”这两个词并无严格的区别,通常作为整体时称电路,仅分析“口”及“口”与“口”之间特性时称网络。

任何电路器件都可用电路元件的恰当组合来模拟,模拟后的模型称为器件的电模型,简

称模型。同一个电器在不同的工作条件下,其内部电磁现象不完全相同,因此对应的模型就不完全一样,如电感线圈在低频时的模型为电感 L 与电阻 R 的串联。但在高频时,由于线圈间电场影响较大,因此对应模型除 R 、 L 串联外,还要在串联支路上并一电容 C (低频时也存在此电容 C ,但因其效应微弱,故而略去),若再考虑高频时的集肤效应,则模型中的电阻值还应增大。实际电路的各种器件用模型代替后,就构成了实际电路的电模型,称为电路模型。电路模型中的连接线应是理想导线,即电阻为零的导线。日光灯照明电路图 1-2(a)所示的电路模型如图 1-2(b)所示,它也称为电路图。

以上介绍了电路及电路模型。由分析可见,电路模型乃是实际电路的一种抽象和近似。如何根据实际电路作出其电路模型,已成为近代电路理论中的一个重要研究课题,称为建模理论。本书只对电路模型进行分析,不考虑建模过程。

1.1.3 电路模型的分类

电路种类繁多,不同种类的电路,其基本特性与分析方法也不尽相同,因此在研究电路的分析方法之前,有必要先说明电路的分类以及各种电路的基本特性。

1. 线性电路与非线性电路

仅由线性元件组成的电路称为线性电路。若电路中含有非线性元件,则为非线性电路。线性电路最基本的特性是它的叠加性和均匀性。叠加性是指,若激励 $f_1(t)$ 作用于电路产生的响应为 $y_1(t)$,激励 $f_2(t)$ 作用于电路产生的响应为 $y_2(t)$,则当 $f_1(t)$ 与 $f_2(t)$ 同时作用于电路时,产生的响应为 $y_1(t) + y_2(t)$ 。均匀性是指,若激励 $f(t)$ 作用于电路产生的响应为 $y(t)$,则激励 $Kf(t)$ 作用于电路产生的响应为 $Ky(t)$,这里 K 为任意常数。非线性电路没有这些性质。

严格来说,真正的线性电路在实际中是不存在的。但是大量的实际电路都可以很好地近似为线性电路,因此对线性电路的研究有着重要的理论和实际意义。在电路理论中,对线性电路的研究已有相当长的历史,并已有了相当成熟的理论与分析方法。随着科学技术的发展,对非线性电路的研究也越来越为人们所重视,并取得了一定的成果。本书主要研究线性电路。

2. 时变与非时变电路

若电路中各元件的参数不随时间变化,则称这种电路为非时变电路。若电路中元件参数有一个、几个或全部随时间变化,则为时变电路。非时变电路的基本特性是电路的响应特性不随激励施加的时间而变化。时变电路不具有这种特性,施加激励的时间不同,它的响应也将不同。一般来说,大量的实际电路都可看作是非时变的,因此本书主要研究非时变电路。

3. 集中参数电路与分布参数电路

若电路中的每一器件都可用一个或一组集中的参数表征,则称为集中参数电路。若电路器件用分布性参数表征,则称为分布参数电路。

电阻、电容、电感 3 个元件对应的电阻值 R 、电容值 C 及电感值 L 称为电路参数。严格

地讲,电路中的参数是分布型的,这是因为任何电器内的电磁现象均匀分布在器件中。电路传送能量是通过电磁波的传播来实现的,若实际电路的线性尺寸远小于电路工作时的电磁波波长,则电路的实际尺寸就可以忽略不计,因而电路参数可集中在一起用一个或有限个分立的 R 、 L 、 C 描述,这样的一些参数称为集中参数,对应的电路称为集中参数电路。若实际电路的线性尺寸并不远小于电路工作时的电磁波波长,电路的实际尺寸就不能忽略不计,这时就要用分布型参数模拟电路,这种电路称为分布参数电路。电磁波的波长 λ 与电路工作频率 f 及电磁波传播速度 v 有关,它们之间的关系为 $\lambda = v/f$ 。电磁波在空气中传播的速度近似为光速 $c(3 \times 10^8 \text{ km/s})$ 。例如,电路工作频率 $f = 50 \text{ Hz}$ (工频),则其电磁波波长 $\lambda = 6000 \text{ km}$ 。可见,一般电路在工频时都属于集中参数电路,而长距离的输电线才是分布参数电路。有线通信最高音频按 3.4 kHz 计算,其对应电磁波的波长 $\lambda = 88.2 \text{ km}$,因此一般架空通信线路是分布参数电路。计算机电路的频率高达 500 MHz ,它对应的 $\lambda = 0.6 \text{ m}$,因此用集中参数模拟不太合适,但若计算机采用大规模或超大规模集成电路,电路器件及电路被集成在几毫米的硅片上,这时电路属于集中参数电路。因此,本书主要研究集中参数电路。

4. 无源电路与有源电路

含有有源元件的电路称为有源电路,反之称为无源电路。有源和无源的概念是从能量观点定义的。如果元件在任意时刻 t 所消耗的总电能 $W(t)$ 非负值,即

$$W(t) = \int_{-\infty}^t p(\tau) d\tau \geq 0 \quad (1-1)$$

且它与元件在电路中的连接方式无关,则此元件称为无源元件。不满足式(1-1)的元件称为有源元件。对于无源及有源电路,本书予以同样重视。

以上是按电路的基本特性进行的分类,还有其他分类方法。例如,按工作频率来分有高频电路、中频电路和低频电路;按电路功能来分有放大电路、整流电路、检波电路等,此处不再详述。

1.2 电路的基本变量

电路中最基本的物理量是电流、电压及电功率。一般情况下,它们都是时间 t 的函数,分别用 $i(t)$ 、 $u(t)$ 及 $p(t)$ 表示,简写成 i 、 u 及 p 。电路分析的任务,就是求解已知电路中的电流、电压及功率。

1.2.1 电流

电流是指电流强度,其定义为单位时间通过导体横截面的电荷量,即

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

式中, q 为电荷量。各量均采用国际单位制: q 的单位为库仑,简称库(C); t 的单位为秒(s); i 的单位为安[培](A), $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$ 。

电流的实际方向规定为正电荷定向运动的方向。电路中,流过各元件的电流实际方向

往往难以预先确定。分析电路时,首先要写出电路方程,而电路方程的列定又必须知道电流的方向。为此,先给电流一个假定方向,这个假定方向称为电流的参考方向或标定方向。这样就可按照电流参考方向列写电路方程,若解得电流 $i > 0$,则表示电流的实际方向与其参考方向一致;反之,若 $i < 0$,则表示电流的实际方向应是参考方向的相反方向。

1.2.2 电压与电位

电压与电位也是电路中的重要物理量。某点的电位,是将单位正电荷由该点移到参考点(电位为零的点。物理学中一般选为无穷远处)电场力所做的功。设参考点为 o ,则 a 点电位的表达式为

$$u_a = \int_{l_{ao}} E \cdot dl$$

或

$$u_a = \int_a^o E \cdot dl$$

式中, E 为电场强度; l_{ao} 为 a 点到参考点 o 的路径(线段)。

电压是对两点之间而言的。 a 、 b 两点的电压 u_{ab} 定义为将单位正电荷由 a 点移动到 b 点时电场力所做的功,即

$$u_{ab} = \int_{l_{ab}} E \cdot dl \quad (1-2)$$

由于电场力做功仅与路径的起点、终点有关,而与路径的选择无关。因此使 l_{ao} 经过参考点 o ,于是式(1-2)可表示为

$$\begin{aligned} u_{ab} &= \int_{l_{ab}} E \cdot dl = \int_a^o E \cdot dl + \int_o^b E \cdot dl \\ &= \int_a^o E \cdot dl - \int_b^o E \cdot dl = u_a - u_b \end{aligned}$$

上式表明, a 、 b 两点之间的电压就是 a 、 b 两点的电位差。由电压及电位的定义可见,某点的电位,就是该点到参考点的电压。电位与参考点的选择有关,而电压与参考点的选择无关。电压与电位的单位均为伏[特](V)。

电压的实际方向规定为电位降的方向。例如,在图 1-3(a)中, a 点和 b 点的电位分别为 $-1V$ 和 $3V$,于是 a 、 b 两点电压的实际方向为由 b 指向 a ,其大小为 $4V$ 。电压也可用极性表示,其实际极性是这样规定的,高电位点定为正极,标以 $+$ 号,低电位点定为负极,标以 $-$ 号,图 1-3(b)给出了 a 、 b 点的极性。与电流一样,分析电路时,要先给电压一个假定的方向或极性,此方向(极性)称为参考方向(极性)。电压参考方向(极性)的意义与电流类似。本书电路中所标的电流、电压方向,若无说明,均系参考方向。

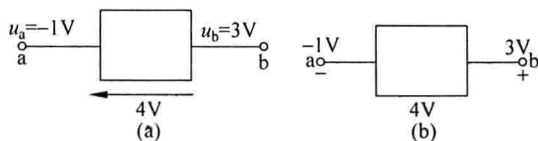


图 1-3 电压的实际方向或极性