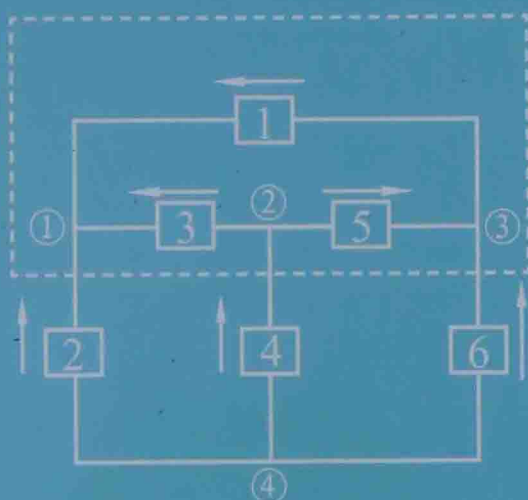


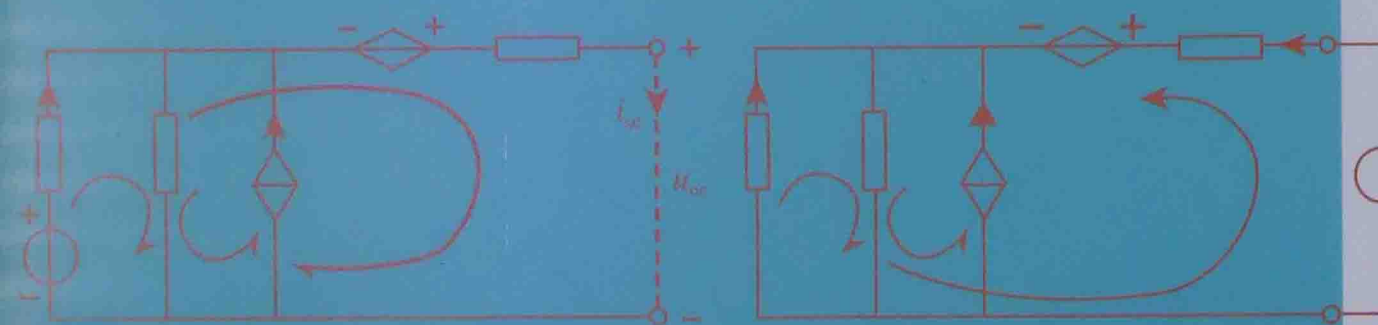


普通高等教育“十二五”规划教材



FUNDAMENTALS OF
CIRCUIT ANALYSIS

电路分析基础



宋文龙 主编

中国林业出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

电路分析基础

主 编 宋文龙

副主编 宋佳音 王立晶 朱 莉

主 审 王矛棣

中国林业出版社

内容简介

本书按照教育部高等院校电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会关于《电路分析基础课程基本教学要求》编写,内容包括电路模型和电路定律、电阻电路的分析、正弦交流电路的稳态分析、动态电路的分析以及非正弦周期电流电路。全书共计 12 章,按照先稳态分析后暂态分析的顺序安排章节次序,使得内容系统化。书中对于易混淆、难理解的概念进行深入浅出的阐述,使读者对于概念的理解深入透彻。在此基础上将电路根据元件类型进行分类,并总结不同类型电路的一般分析方法,使读者能在掌握电路分析的基本定理和基本分析方法的同时,有效地选择简便的方法分析电路。本书内容完整、深入浅出、通俗易懂、可读性强。在例题和习题的选择上,力争具有典型性和代表性,知识点突出,以帮助读者更好地理解并掌握理论知识,同时有助于培养科学思维能力和实际应用能力。

本书适合作为电子、通信、计算机、自动化电气工程等相关专业“电路”课程的教材,同时本书也可供有关科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析基础/宋文龙主编. —北京:中国林业出版社, 2014. 8

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5038-7607-3

I. ①电… II. ①宋… 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 179072 号

中国林业出版社·教材出版中心

策划编辑:杜娟

责任编辑:张东晓 杜娟

电话:83220109 83221489 传真:83220109

出版发行 中国林业出版社(100009 北京市西城区德内大街刘海胡同 7 号)

E-mail:jiaocaipublic@163.com 电话:(010)83224477

<http://lycb.forestry.gov.cn>

经 销 新华书店

印 刷 北京昌平百善印刷厂

版 次 2014 年 8 月第 1 版

印 次 2014 年 8 月第 1 次印刷

开 本 787mm × 1092mm 1/16

印 张 18.75

字 数 433 千字

定 价 36.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有 侵权必究

前 言

电路理论是利用具有单一电磁特性的理想化元件(电阻、电容、电感、电压源、电流源)建立反映实际装置电磁特性的电路模型,并采用电压、电流、功率和能量等参数描述相关的电磁现象。

人们对于电磁现象的认识可以追溯到18世纪20年代末期,随着格雷、库伦、伏特、安培、欧姆、法拉第、汤姆逊、麦克斯韦、西门子、贝尔等诸多伟大的科学家长达两个世纪的总结与积淀,电路理论于20世纪50年代末走向成熟,此时的电路理论被称为经典电路理论。随后由于新型电器元件的出现,电路理论在20世纪60年代发生了重大变革,无论从深度到广度均取得了巨大进展,从而适应了半导体晶体管电路发展为集成电路甚至超大规模集成电路的巨变,因此20世纪60年代以后的电路理论被称为近代电路理论。

电路理论从其应用角度又可以分为两大基本内容,一是电路分析,二是电路综合。所谓电路分析,是指对于结构和参数均为确知的电路。根据基本定律和定理,应用各种计算方法研究电路中激励与响应之间的关系,建立电路响应的解算方法;所谓电路综合,则是在明确激励与响应之间关系的情况下设计满足这一关系的电路,是电路分析的逆过程。本书属于经典理论范畴,重点论述电路分析的内容。

本书吸收了国内外诸多优秀教材的论述方法,进一步系统地总结了电路分析方法,并结合多年的实践教学经验,对易混淆、难理解的概念进行了深入阐述,便于用已有的知识储备解决新问题、认识新方法,循序渐进,环环相扣,使得读者对于电路理论经典部分能够理解透彻。

本书的内容可以大致划分为线性分析和非线性分析两部分,其中详细介绍了线性电路分析内容,并将其分为稳态电路分析和暂态电路分析。在稳态电路分析中包括直流电路分析和正弦交流电路分析,对于基本定理、定律的论述以及系统分析方法的建立都在直流电路中作了详尽阐述,再通过数学手段建立起直流电路分析与交流电路分析之间的关系,并将系统分析方法从直流电路移植到交流电路中;在暂态电路分析中从最基本的时域分析入手,介绍经典分析方法及其特点,为有效弥补经典方法分析动态电路的缺陷,引入了复频域分析方法。二端网络是对经典电路分析的一个重要拓展,可为进一步学习近代电路理论奠定理论基础。书中标有“※”的整节属加深加宽的内容,供参考用。

本书第1、2、3、9章由东北林业大学宋佳音编写,第5、7、8章由黑龙江大学王立晶编写,第4章由东北林业大学宋文龙编写,第6、11章由东北林业大学朱莉编写,第10、12章由东北林业大学唐文秀编写。全书由东北林业大学王矛棣任主审,王老师仔细审阅并提出了许多建设性的修改意见,在此致以衷心感谢!

编者虽倾尽努力,但由于水平所限,书中难免出现不足之处,恳请同行专家和广大读者批评指正。

宋文龙
2014年5月

目 录

前 言

第1章 电路的基本概念和基本定律	1
1.1 电路和电路模型	2
1.1.1 电路	2
1.1.2 电路模型	2
1.1.3 集总参数电路	3
1.2 电流、电压和电功率	4
1.2.1 电流和电流的参考方向	4
1.2.2 电压和电压的参考方向	5
1.2.3 能量和电功率	6
1.3 电阻元件	7
1.3.1 二端电阻元件	7
1.3.2 电阻元件的功率和能量	8
1.4 储能元件	9
1.4.1 电容元件	9
1.4.2 电感元件	12
1.4.3 电容、电感元件的串联与并联	14
1.5 电 源	17
1.5.1 电压源	17
1.5.2 电流源	19
1.5.3 受控源	20
1.6 基尔霍夫定律	21
1.6.1 基尔霍夫电流定律(KCL)	23
1.6.2 基尔霍夫电压定律(KVL)	24
1.6.3 电路的图	26
习 题	28
第2章 直流线性电阻电路的分析	31
2.1 电阻电路的等效变换	32
2.1.1 电路等效变换的概念	32

2.1.2	电阻的串联与并联	32
2.1.3	电阻的Y连接、 Δ 连接及其等效变换	35
2.1.4	含源电阻电路的等效变换	40
2.1.5	输入电阻	45
2.2	电阻电路的一般分析	46
2.2.1	支路电流法	46
2.2.2	回路电流法	48
2.2.3	节点电压法	52
2.3	含理想运算放大器的电阻电路分析	56
2.3.1	运算放大器	56
2.3.2	比例电路分析	58
2.3.3	含理想运算放大器的电阻电路分析	60
习 题		61
第3章	电路定理	67
3.1	叠加定理及应用	68
3.1.1	叠加定理	68
3.1.2	齐性定理	70
3.2	替代定理	71
3.3	戴维南定理和诺顿定理	72
3.3.1	戴维南定理	73
3.3.2	诺顿定理	75
3.3.3	最大功率传输定理	76
*3.4	特勒根定理	79
*3.5	互易定理	82
习 题		83
第4章	正弦交流电路的稳态分析	87
4.1	正弦交流电的基本概念	88
4.1.1	正弦量	88
4.1.2	正弦量的三要素	88
4.1.3	正弦量的相位差	89
4.1.4	正弦量的有效值	90
4.2	相量法	91
4.2.1	复数	91
4.2.2	正弦量的相量表示	93
4.2.3	相量图	95
4.2.4	R 、 L 、 C 伏安特性的相量形式	96

4.2.5 电路定律的相量形式	98
4.3 阻抗和导纳	100
4.3.1 阻抗和导纳的概念	100
4.3.2 阻抗与导纳的转换	104
4.4 正弦交流电路稳态响应的计算	106
4.5 正弦交流电路的功率	108
4.5.1 瞬时功率、有功功率、无功功率、视在功率和功率因数	108
4.5.2 复功率	114
4.5.3 功率因数的提高	116
4.5.4 最大功率传输	118
习 题	119
第5章 含有耦合电感的电路	122
5.1 互感	123
5.1.1 互感及互感电压	123
5.1.2 同名端	125
5.2 耦合电感电路的解耦方法	128
5.2.1 等效参数法	128
5.2.2 互感消去法	130
5.2.3 等效受控源法	131
5.3 含有耦合电感电路的计算	132
5.4 变压器的基本原理	138
5.4.1 空心变压器	138
5.4.2 理想变压器	140
习 题	144
第6章 电路的频率响应	146
6.1 网络函数	147
6.2 RLC 串联电路的谐振	148
6.3 RLC 并联电路的谐振	155
习 题	158
第7章 三相电路	160
7.1 三相电路的概念	161
7.1.1 对称三相电路	161
7.1.2 不对称三相电路	163
7.2 线电压(电流)与相电压(电流)的关系	164
7.3 对称三相电路的计算	167

7.4 三相电路的功率及其测算方法	168
习 题	171
第8章 非正弦周期电流电路	173
8.1 非正弦周期信号及其分解	174
8.1.1 非正弦周期信号	174
8.1.2 周期函数分解为傅里叶级数	175
8.2 非正弦周期信号的有效值、平均值和平均功率	179
8.2.1 有效值	179
8.2.2 平均值	180
8.2.3 平均功率	180
8.3 非正弦周期电流电路的计算	182
习 题	186
第9章 线性动态电路暂态过程的时域分析	189
9.1 动态电路的方程及其初始条件	190
9.1.1 换路和换路定理	191
9.1.2 初始条件及其计算	193
9.2 一阶电路的零输入响应	194
9.2.1 RC 电路的零输入响应	194
9.2.2 RL 电路的零输入响应	198
9.3 一阶电路的零状态响应	199
9.3.1 RC 电路的零状态响应	200
9.3.2 RL 电路的零状态响应	201
9.4 一阶电路的全响应	205
9.5 一阶电路的阶跃响应	209
9.5.1 阶跃函数	209
9.5.2 阶跃响应	210
9.5.3 一阶脉冲响应	211
9.6 一阶电路的冲激响应	212
*9.7 二阶电路的暂态过程	216
习 题	222
第10章 线性动态电路暂态过程的复频域分析	225
10.1 拉普拉斯变换	226
10.1.1 拉普拉斯变换的定义	226
10.1.2 拉普拉斯变换的基本性质	227
10.1.3 拉普拉斯反变换的部分分式展开	230

10.2	运算电路	234
10.2.1	复频域中的电路定律	234
10.2.2	复频域中的电路模型	235
10.3	应用拉普拉斯变换法分析线性电路	240
	习 题	242
第 11 章	二端口网络	245
11.1	二端口网络	246
11.2	二端口的方程和参数	248
11.2.1	二端口网络的 Z 参数(流控型伏安特性)	248
11.2.2	二端口网络的 Y 参数(压控型伏安特性)	249
11.2.3	二端口网络的 T 参数(传输型伏安特性)	253
11.2.4	二端口网络的 H 参数(混合参数伏安特性)	255
11.3	二端口的等效电路	258
11.3.1	二端口网络的 T 型等效电路	258
11.3.2	二端口网络的 π 型等效电路	261
11.4	二端口的转移函数	263
*11.5	二端口的连接	266
11.5.1	级联	266
11.5.2	串联	267
11.5.3	并联	268
	习 题	269
第 12 章	简单非线性电阻电路的分析	272
12.1	非线性电阻元件	273
12.1.1	非线性电阻元件概念和性质	273
12.1.2	二极管	275
12.2	非线性电阻电路分析	280
12.2.1	含有单个非线性电阻的电路分析	280
12.2.2	非线性电阻的串联和并联	281
12.3	分段线性化方法	283
12.4	小信号分析法	284
	习 题	287
	参考文献	290

第 1 章

电路的基本概念和基本定律

[本章提要]

本章主要介绍电路模型及电压和电流参考方向的概念，讨论电阻元件、储能元件以及电源元件上的电压与电流之间的约束关系。最后研究了反映元件连接关系的基尔霍夫定律。

1.1 电路和电路模型

1.2 电流、电压和电功率

1.3 电阻元件

1.4 储能元件

1.5 电源

1.6 基尔霍夫定律

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路

电路是电流流通的路径,是为了实现某种工程需要将电路元器件按照一定方式相互连接起来组成的网络结构。电路的基本组成通常包括电源、负载、开关和连接导线。电源和负载是组成电路的主体元件。在电路中提供电能的元件称为电源,又称激励源;电源所提供的电压或电流称为激励。而在电路中接受电能的元件称为负载。开关是实现电路工作状态切换的元件。

电路的基本作用有2种:一是电能的传输和转换,二是信号的传递和处理。实现电能的传输和转换最基本的例子就是电力系统,其中提供电能的设备称为电源(如发电机),消耗电能或将电能转换成光能、机械能以及热能等其他形式能的设备称为负载(如电灯、电动机、电炉),将连接电源和负载之间的部分称为中间环节(如变压器和输电线);实现信号的传递和处理的例子是在通信系统和计算机系统中广泛应用的数字脉冲电路,其基本作用不是侧重于能量的传输和转换,而是采用电信号来表示信息,通过数字脉冲电路实现信息的传递和处理。

电路理论所研究的基本内容包括电路分析和电路综合2部分。电路分析是在电路的结构和组成电路的元件参数已经确定的条件下,研究电路中的激励和响应之间的关系,建立求解电路中各支路中的电压和电流响应的分析计算方法,这正是本教材所介绍的基本内容。电路分析具有唯一性特点,即有确定的激励源作用于结构和参数均为确定的电路时,在电路中各处的响应均为唯一确定的结果。电路综合的任务是在确定的电路激励源作用下,为了获得确定的电路响应,考虑如何实现电路结构和参数设计。电路综合具有非唯一性的特点,即实现上述目标的电路可以具有多种多样的不同设计方案。电路综合的内容在后续课程模拟电子技术的多级放大器电路设计和功率放大器电路设计中有应用,并在后续课程数字电路中的组合逻辑电路设计和时序逻辑电路设计中也有应用。

1.1.2 电路模型

任何理论对客观世界的描述都离不开模型,电路理论也不例外,电路理论对实际电路的研究是建立在电路模型的基础之上的。通常情况下实际电路十分复杂,它是由实际的电气元器件相互连接而成的。实际电路元件种类繁多,不计其数,且不同的元件在电路中呈现的电磁特性差异很大,不能建立统一的元件特性的定义和描述,这就

给电路分析带来很大的不便，因此电路理论的研究并不是以实现电路为对象，而是建立在理想电路模型的基础之上。理论研究的结果表明，任何一种实际电路元件在电源的激励下产生电路响应的过程均可呈现出 3 种基本效应，即热效应，表征电路元件的耗能特性；电场效应，表征电路元件对电场能量的储能特性；磁场效应，表征电路元件对磁场能量的储能特性。因此我们可以从实际电路元件的电磁特性出发，定义具有单一电磁特性的元件作为理想电路元件，其元件特性可通过建立数学模型描述。而任何一种实际电路元件的电磁特性都可以通过理想电路元件的组合来完成全面描述。将实际的电气元器件按照其主要的电磁特性模型化为电阻元件、电感元件、电容元件以及电源元件等理想电路元件的组合，这是实际电气元器件的理想化过程，也称为电路的建模过程。理想化的元器件又称理想元件，是实际电气元器件的科学抽象，具有精确的数学意义和单一的电磁性质，通过其组合可以模拟任何实际电路中的元器件。具有相同的主要电磁特性的实际电路，可以用同一模型表示。用理想元件组成的电路称为实际电路的电路模型，是电路理论研究所采用的基本形式。连接理想元件间的导线均为“理想导线”，即没有能量损耗，且导线中有电流时，导线内外均无电场和磁场。

对于实际电路，在不同的运行条件下可以建立不同的电路模型。下面以实际电感线圈为例，说明实际电路与电路模型之间的关系，如图 1-1 所示。在直流稳定状态下，恒定的电流通过电感线圈时主要产生热效应，呈现耗能特性，因此理想化为电阻模型；在交流低频状态下，交变电流通过电感线圈时除具有热效应外，还具有磁场效应以及微弱的电场效应，提取其主要的电磁特性时可忽略匝间电容，因此将其理想化为电阻与电感串联的模型；在交流高频状态下，电流通过电感线圈中同时具有热效应、磁场效应和电场相应，匝间电容不能忽略，因此将其理想化为电阻与电感串联再并联电容的模型。

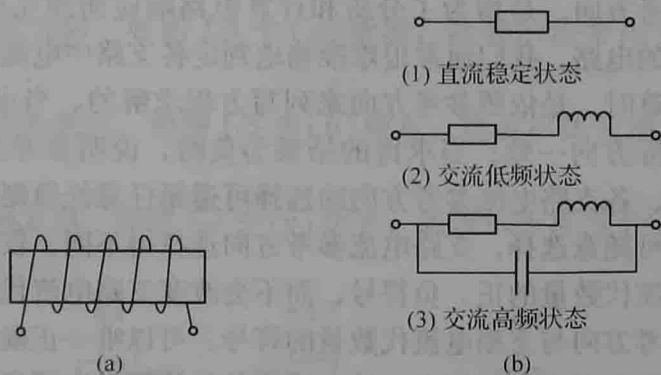


图 1-1 电感线圈的实际电路与电路模型
(a) 实际电路；(b) 电路模型

1.1.3 集总参数电路

集总参数电路是指由集总参数元件构成的电路。所谓集总参数元件，是指元件有关电、磁场的物理现象都由元件来“集总”表征，在元件外部不存在任何电场与磁场。

若电路元件的电流或电压在工作频率所对应的电磁波波长远远大于元件自身的尺寸,则该元件可视为集总参数元件。

理想元件根据对外端子的数目,可分为二端元件、三端元件等。对于二端集总参数元件,必须满足在任何时刻流入一个端子的电流等于从另一端子流出的电流,且2个端子之间的电压为单值量,因此集总参数电路一定满足电荷守恒定律和能量守恒定律。

集总表征能量耗散的参数是电阻,反映带电体电场间的相互作用的参数是电容,反映载流体磁场之间的相互作用的参数是电感。我们这里研究的电阻元件、电感元件以及电容元件均为集总参数元件。

1.2 电流、电压和电功率

1.2.1 电流和电流的参考方向

电流(electric current)定义为单位时间内通过任意横截面的电荷量,因此电流为标量。电流的国际制单位是安培,用大写字母 A 表示, $1\text{A} = 1\text{C/s}$ (库伦/秒)。常用的电流单位还有毫安(mA)和微安(μA),换算关系为

$$1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A}$$

电流的方向是指正电荷的移动方向,与电子的移动方向相反,我们通常称这种沿用历史规定的电流方向为电流的实际方向。

所谓电流的参考方向,是指为了分析和计算电路响应而预先任意假定的电流方向。对于结构复杂的电路,我们通常很难准确地判定各支路中电流的实际方向,因此在电路的分析和计算时,是依照参考方向来列写方程求解的。当求得的结果为正时,说明参考方向与实际方向一致;当求得的结果为负时,说明参考方向与实际方向相反。在电路分析中,各支路电流参考方向的选择可遵循任意性原则,即不依赖于支路电流的实际方向而可随意选择,支路电流参考方向选择得不同,仅仅会改变电路分析计算结果中支路电流代数量的正、负符号,而不会改变支路电流代数量的量值,且由选定的支路电流参考方向与支路电流代数量的符号,可以唯一正确地确定支路电流的实际方向。引入电流参考方向的概念,给电路的分析计算带来了很大的方便,因此在电路分析中所采用的电流方向均指参考方向。

电流的参考方向的表示方法如下:

(1)用箭头指明方向,如图 1-2 中(a)、(b)所示,此表示法常用于图示。

(2)用下标标明方向,如图 1-2 中(c)所示,此表示法常用于分析推导,有 $i_{AB} = -i_{BA}$ 。

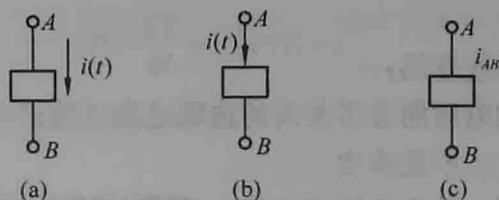


图 1-2 电流的参考方向表示法

1.2.2 电压和电压的参考方向

电势又称电位，是指单位正电荷在电路中该点处所具有的电势能，可见该物理量与正电荷所在位置有关，因此是一个相对量，要确定某点的电势，必须先选定参考点即电势零点。电压(voltage)定义为两点间的电势差，如 A 、 B 两点间电压即 A 、 B 两点间的电势差等于将单位正电荷从 A 点移到 B 点时电场力所做的功。电压为标量，电压的国际制单位是伏特，简称伏，用大写字母 V 表示， $1V = 1J/C$ (焦耳/库伦)。常用的电压单位还有千伏(kV)和兆伏(MA)，换算关系为

$$1MV = 10^3kV = 10^6V$$

所谓电压的方向，是指由高电位端指向低电位端的方向(或由正极性“+”指向负极性“-”)，这是电压的实际方向。

电压的参考方向则是任意假定的。同样依照电压的参考方向列写方程求解，当计算出来的结果为正时，说明参考方向与实际方向一致；当计算结果为负时，说明参考方向与实际方向相反。

电压参考方向的表示方法如下：

(1)用箭头指明方向，如图 1-3 中(a)所示，此表示法常用于图示，表示端口电压。

(2)用正负极性来表示，如图 1-3 中(b)所示，此表示法常用于图示，表示电源电压。

(3)用下标标明方向，如图 1-3 中(c)所示，此表示法常用于分析推导，有 $u_{AB} = -u_{BA}$ 。

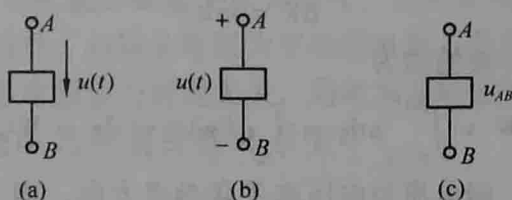


图 1-3 电压的参考方向表示法

对参考方向要注意几点：

(1)必要性：任何关于电路的计算，必须先选取参考方向，它是建立、分析、计算电路响应方程式的基本依据。

(2)说明:

- ①参考方向的选取是任意的;
- ②电流的参考方向和电压的参考方向的选取是独立的;
- ③参考方向一经选定,不能改变;
- ④参考方向选择不同,并不会影响支路电流或电压的计算结果代数值的绝对值,只会影响其符号的正负;

⑤由参考方向与计算结果代数值的符号,可以唯一确定该支路电流及电压的实际方向,结果为“+”,说明实际方向和参考方向相同,结果为“-”,说明实际方向和参考方向相反。

当电流和电压参考方向的选择一致时,称为关联参考方向,称为负载惯例;当电流和电压参考方向不一致时,称为非关联参考方向,称为电源惯例,如图1-4所示。

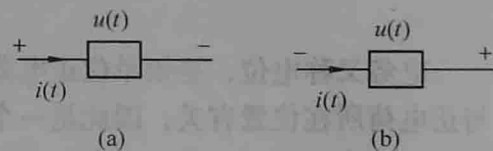


图1-4 电压和电流的参考方向的关系

(a)关联参考方向;(b)非关联参考方向

1.2.3 能量和电功率

电场力移动电荷所做的功称为电功。电场力对电荷做了多少功,电荷就吸收了多少电能,因此电功和电能的单位均为焦耳,简称焦,用大写字母J表示。电功率则表示电场力在单位时间内所做的功,国际制单位为瓦特,简称瓦,用大写字母W表示。

下面从电压和电流的定义式出发,推导电功率以及电能的计算公式:

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

式(1-1)表示,A、B两点间电压等于从A点到B点移动电荷量dq时电场力所做的功dW,即电荷吸收的能量为dW。

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

式(1-2)表示,电流等于单位时间内流经导体横截面的电荷量。

联立式(1-1)和式(1-2)可得:

$$dW = uidt \quad (1-3)$$

在 t_0 到 t 时刻,电场力所做的功为

$$W = \int_{W(t_0)}^{W(t)} dW = \int_{q(t_0)}^{q(t)} u dq = \int_{t_0}^t u(\tau) i(\tau) d\tau = W(t) - W(t_0) \quad (1-4)$$

选用负载惯例关系,即电流与电压取关联参考方向,当 $W(t) > W(t_0)$ 时 $W > 0$,表示电场力做正功,元件吸收能量;当 $W(t) < W(t_0)$ 时 $W < 0$,表示电场力做负功,元件释放能量。

选用电源惯例关系,即电流与电压取非关联参考方向,当 $W(t) > W(t_0)$ 时 $W > 0$,表示元件释放能量;当 $W(t) < W(t_0)$ 时 $W < 0$,表示元件吸收能量。

功率是能量对时间的导数,即

$$P = \frac{dW}{dt} = u(\tau)i(\tau) \Big|_{\tau=t} \quad (1-5)$$

同理,当选择关联参考方向时,表示元件吸收功率,当选择非关联参考方向时,表示元件发出功率。

【例 1-1】 试求图 1-5 所示元件的功率。

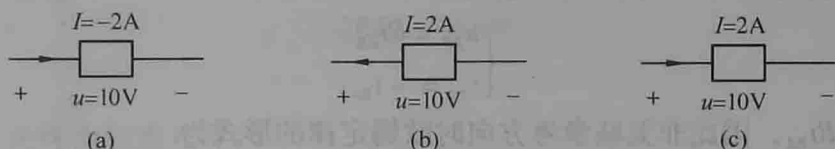


图 1-5 例 1-1 图

解 (1)如图 1-5(a)所示,电压和电流取关联参考方向,则有

$$P = VI = -20\text{W}$$

表示元件吸收功率为 -20W ,即发出功率 20W 。

(2)如图 1-5(b)所示,电压和电流取非关联参考方向,则有

$$P = VI = 20\text{W}$$

表示元件发出功率 20W ,即吸收功率为 -20W 。

(3)如图 1-5(c)所示,电压和电流取关联参考方向,则有

$$P = VI = 20\text{W}$$

表示元件吸收功率为 20W ,即发出功率 -20W 。

1.3 电阻元件

1.3.1 二端电阻元件

电路元件通过两个端子与外部连接时,称为二端元件。电阻元件属于二端元件,这里省略“二端”,简称电阻元件。每种电路元件都是通过端子的 2 种物理量的关系反映一种确定的电磁特性,如电阻元件的电磁特性关系为:电压与电流的函数关系 $u=f(i)$ 。若电阻的电压与电流的函数关系为线性,则称此电阻为线性电阻;若电压与电流的函数关系为非线性,则称此电阻为非线性电阻。若电阻值随着时间的变化而变化,称为时变电阻;若电阻值与时间无关,则称为非时变电阻或定常电阻。

这里我们讨论的电阻元件是线性时不变电阻。

线性二端非时变电阻元件定义为:在任何时刻 t ,电阻两端的电压和电流的关系服从欧姆定律,其伏安特性曲线是一条通过原点并位于 I、III 象限的直线,如图 1-6 所示。

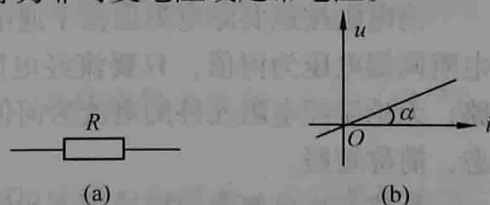


图 1-6 线性二端非时变电阻元件

(a) 图形符号图; (b) 电阻的伏安特性曲线

当电压和电流为关联参考方向时, 欧姆定律可写成

$$u = Ri \quad (1-6)$$

式中, R 为电阻值, 电阻元件参数, 单位欧姆, 简称欧, 符号为 Ω 。常用单位还有千欧($k\Omega$)和兆欧($M\Omega$), $1M\Omega = 10^3k\Omega = 10^6\Omega$ 。

推导非关联参考方向时的欧姆定律如下:

$$\begin{cases} u_{AB} = Ri_{AB} \\ i_{AB} = -i_{BA} \end{cases} \quad (1-7)$$

得到 $u_{AB} = -Ri_{BA}$, 因此非关联参考方向时欧姆定律的形式为

$$u = -Ri$$

令 $i = \frac{1}{R}u = Gu$, 这里引入了物理量电导, 又称电阻元件的电导, 用大写字母 G 表示, 单位西门子(S)。同理可以得到非关联参考方向时的关系式为

$$i = -Gu$$

1.3.2 电阻元件的功率和能量

由上述对于电阻的定义可知, 电阻的伏安特性曲线为一条通过原点的 I - III 象限的直线, 则有

$$\frac{u}{i} = \tan\alpha = R \quad (0^\circ < \alpha < 90^\circ) \quad (1-8)$$

由此可知电阻 R 的值恒为正实数。

将功率关系式与关联参考方向的欧姆定律联立:

$$\begin{cases} P(t) = u(t)i(t) \\ u(t) = Ri(t) \\ i(t) = Gu(t) \end{cases} \quad (1-9)$$

可得 $P(t) = \frac{u^2(t)}{R} = Gu^2(t)$, 其功率值非负。

因此可得: $W = \int_{t_0}^t P(\tau) d\tau \geq 0$, 说明电阻为耗能元件。

此外, 线性电阻元件的电阻值不随所加电压方向不同而变化, 称为双向元件。二极管的电阻值则随外加电压的方向不同而变化, 具有单向导电性, 称为单向元件。

当电阻按照实际电阻值接于通电电路中时, 电阻处于导通状态, 简称通路; 无论电阻两端电压为何值, 只要流经电阻的电流为零, 则电阻处于未接通状态, 简称开路; 无论流经电阻元件的电流为何值, 只要电阻两端的电压为零, 则电阻处于短接状态, 简称短路。

开路与短路概念同样适用于元件的组合, 反映组合元件两端的电压与电流之间的关系, 如图 1-7 所示。