

普通高等教育机电工程类应用型本科规划教材

电路基础

张新建 孙亲锡 主编

清华大学出版社

013032499

TM13-43
106

普通高等教育机电工程类应用型本科规划教材

电路基础

张新建 孙亲锡 主编

李海华 张亚兰 参编



北航

C1640098

TM13-43
106

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书是为满足应用型人才培养的教学需求,依据应用型人才培养的教学特点而编写的。本书共 12 章,内容包括:电路元件与电路定律、简单电阻电路的分析方法、电阻电路的一般分析方法、电路定理、一阶电路、二阶电路、正弦稳态电路分析、含有耦合电感的电路、三相电路、周期性非正弦稳态电路分析、二端口网络、磁路和交流铁芯线圈。每章之前都有言简意赅的引入介绍,正文通俗易懂。

本书概念清晰、重点突出、讲解透彻、通俗易懂、例题丰富,可作为应用型人才培养高等院校的电气、通信技术、计算机应用等电类专业的教材,也可作为机械、材料等非电类专业及职工大学、函授大学相关专业学生的教材,还可供相关工程技术人员参考。

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

电路基础/张新建,孙亲锡主编.--北京:清华大学出版社,2013.3

(普通高等教育机电工程类应用型本科规划教材)

ISBN 978-7-302-31347-2

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 012460 号

责任编辑:孙 坚 赵从棉

封面设计:常雪影

责任校对:刘玉霞

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

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:12.75

字 数:303 千字

版 次:2013 年 3 月第 1 版

印 次:2013 年 3 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:29.00 元

产品编号:047950-01

前言

电路基础是高等学校电气、通信、自动化等电类专业的专业基础课程,是机械、材料等非电类专业有关电气工程方面的主要课程,既具有较强的理论性,又具有非常广泛的工程应用背景。

本书主要阐述了电路的基本概念、基本理论及基本分析方法,基本涵盖了基本电路元件和电路的完整知识。电路基础的特点是知识点多而杂,应用电路的基本概念及原理解决实际问题却较为困难。为此,本书在内容编排上以学生的认知规律为出发点,在概念及原理阐述上力求语言通俗易懂,解题思路清晰,方便学生自学和教师授课。

本书由张新建、孙亲锡、李海华、张亚兰编写。其中,第1,3,5,10章由张新建编写,第4章由孙亲锡编写,第7,8,11章由李海华编写,第2,6,9,12章由张亚兰编写。全书由张新建、孙亲锡任主编,并由张新建统稿。在编写过程中得到了华中科技大学文华学院刘沛教授、李元科教授等的关心与热情指导,在此向他们表示衷心的感谢。

由于时间仓促,又限于编者的经验与水平,书中错误与不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。联系请发 E-mail 至 zxj@xiaobandeng.com。

编 者

2013 年 1 月

目 录

第 1 章 电路元件与电路定律	1
1.1 电压和电流的参考方向	2
1.1.1 电压	2
1.1.2 电流	3
1.1.3 关联参考方向	3
1.2 电路元件的功率	3
1.3 电阻元件	4
1.4 电容元件	5
1.5 电感元件	7
1.6 电压源和电流源	8
1.7 受控电源	9
1.8 基尔霍夫定律	10
习题 1	12
第 2 章 简单电阻电路的分析方法	15
2.1 电阻的串联	15
2.2 电阻的并联	16
2.3 星形与三角形电阻电路等效变换	18
2.3.1 等效的基本概念	18
2.3.2 电阻的星形连接与三角形连接的等效变换	19
2.4 电压源和电流源的等效变换	21
习题 2	24
第 3 章 电阻电路的一般分析方法	27
3.1 支路电流法	27
3.2 回路电流法与网孔电流法	28
3.3 节点电压法	31

3.4	运算放大器	34
3.5	含运算放大器的电路的分析	36
	习题 3	37
第 4 章	电路定理	40
4.1	叠加定理	40
4.1.1	叠加定理及其证明	41
4.1.2	应用举例	42
4.1.3	应用叠加定理分析含受控源的电路	43
4.2	替代定理	44
4.3	戴维南定理	45
4.3.1	戴维南定理及其证明	46
4.3.2	应用举例	47
4.3.3	应用戴维南定理分析含受控源的电路	50
4.4	诺顿定理	51
4.5	互易定理	54
	习题 4	56
第 5 章	一阶电路	60
5.1	动态电路概述	60
5.2	电路中的初始条件确定	60
5.3	一阶电路的零输入响应	63
5.3.1	RC 电路的零输入响应	63
5.3.2	RL 电路的零输入响应	65
5.4	一阶电路的零状态响应	65
5.5	一阶电路的全响应	67
5.6	求解一阶电路的三要素法	67
5.7	一阶电路的阶跃响应	69
5.7.1	单位阶跃响应	69
5.7.2	单位冲激响应	70
	习题 5	72
第 6 章	二阶电路	75
6.1	二阶电路的零输入响应	75
6.2	二阶电路的零状态响应	77
6.3	二阶电路的全响应	78
	习题 6	79
第 7 章	正弦稳态电路分析	82
7.1	正弦量的基本概念	82

7.1.1 正弦电压和电流	82
7.1.2 正弦交流电的要素	82
7.2 正弦量的相量表示	86
7.2.1 相量和相量图	86
7.2.2 相量式	87
7.3 RLC 元件上电压和电流的相量关系	89
7.3.1 电阻元件	89
7.3.2 电感元件	90
7.3.3 电容元件	92
7.4 基尔霍夫定律的相量形式和电路的相量模型	95
7.5 阻抗和导纳	97
7.5.1 串联电路的阻抗	98
7.5.2 并联电路的导纳	101
7.5.3 阻抗和导纳的关系	103
7.6 正弦稳态电路的分析	105
7.6.1 网孔分析法	105
7.6.2 节点电压分析法	106
7.6.3 电路定理分析法	107
7.7 正弦稳态电路的功率	110
7.7.1 瞬时功率	110
7.7.2 有功功率	111
7.7.3 无功功率	112
7.7.4 视在功率	113
7.8 复功率	117
7.9 最大功率传输定理	118
7.10 谐振电路	120
7.10.1 串联谐振	120
7.10.2 并联谐振	122
习题 7	125
第 8 章 含有耦合电感的电路	130
8.1 耦合电感元件	130
8.1.1 互感的产生	130
8.1.2 耦合电感元件的串联和并联	134
8.1.3 去耦合等效电路	137
8.1.4 一般分析法	139
8.2 空心变压器	140
8.3 理想变压器	141
习题 8	145

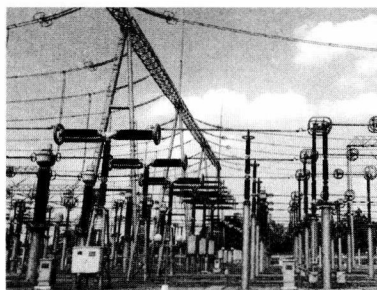
第 9 章 三相电路	148
9.1 三相电路的基本概念	148
9.1.1 三相电源	148
9.1.2 三相电源连接方式	149
9.1.3 三相负载及其连接方式	150
9.2 对称三相电路的分析	150
9.2.1 Y-Y 连接对称三相电路分析	150
9.2.2 Y-Y 连接对称三相电路的计算	152
9.2.3 Δ - Δ 连接对称三相电路的分析	154
9.2.4 Δ - Δ 连接对称三相电路的计算	156
9.3 不对称三相电路的分析	157
9.4 三相电路的功率	158
9.4.1 对称三相电路的瞬时功率	158
9.4.2 对称三相电路的有功功率、无功功率	159
9.4.3 对称三相电路的视在功率	159
习题 9	160
第 10 章 周期性非正弦稳态电路分析	162
10.1 周期性非正弦信号的实际存在	162
10.2 周期性非正弦信号的傅里叶分解	163
10.3 周期性非正弦量的有效值和平均功率	165
10.4 周期性非正弦稳态电路的计算	166
习题 10	168
第 11 章 二端口网络	170
11.1 二端口概述	170
11.2 二端口的参数和方程	171
11.3 二端口的连接	174
习题 11	176
第 12 章 磁路和交流铁芯线圈	178
12.1 磁路及铁磁物质的磁特性	178
12.1.1 磁路	178
12.1.2 基本物理量	178
12.1.3 铁磁物质	179
12.2 磁路的基本定律	181
12.2.1 安培环路定律	181
12.2.2 磁路欧姆定律	181

12.2.3	磁路的基尔霍夫定律.....	182
12.3	直流磁路的计算.....	182
12.3.1	无分支磁路的计算.....	183
12.3.2	对称分支磁路的计算.....	185
12.4	交流铁芯线圈.....	186
12.4.1	电磁关系.....	186
12.4.2	功率损耗.....	187
12.4.3	等效电路.....	188
习题 12		189
参考文献		191

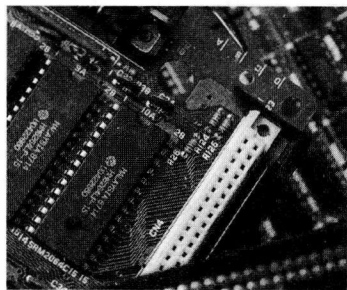
第1章

电路元件与电路定律

在实际生活中,我们会遇到各种各样的电路,如发电机、变压器、输电线和用户构成的电网来进行能量传输、分配和使用电能的电力电路,也会遇到如收音机、计算机、手机等进行信号的处理、传输、储存和运算的信息电路等,如图 1-1 所示。电路,是人们为了满足某种需要而把不同电路元件(电阻、电感及电容等)或电路器件(二极管、三极管及集成电路等)按一定方式组合而形成的一个电流通路,有时也称之为网络。



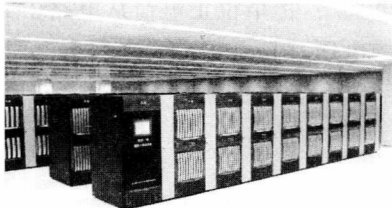
(a)



(b)



(c)



(d)

图 1-1 各种各样的实际电路

(a) 电力网; (b) 集成电路; (c) 手电筒; (d) 超级计算机

无论是复杂的电路还是简单的电路,其组成一般分为三部分:电源、负载及中间环节。电源一般为电池、发电机或电信号发生器等。电源的作用是向负载提供电能或信号,电源有时也被称为激励。各种耗能及储能器件统称为负载,如空调、灯泡、电动机、计算机、电容和电感等。负载的作用是将电能或电信号转换为其他形式的能量或信号。中间环节主要为连接导线和开关,进行电能传输、分配或电信号的处理。对于具体的实际电路,为能够对其进行快速计算、分析或设计,允许有一些近似,抓住主要因素,忽略某些次要因素,把实际电路

抽象为电路模型。电路模型不是实际的电路,是由复杂实际的电路等效而来,其由理想电路元件构成,反映实际电路的电磁性质。本书所讨论的电路均为电路模型,其所对应的实际电路本身尺寸要远小于其处理信号所对应的波长,这样的电路也称为集中参数电路,本书中如没有特别强调,则其探讨的电路均为集中参数电路。

1.1 电压和电流的参考方向

在电路分析中,有一些常用物理量,这些物理量包括电压、电流和功率。电压和电流一般用数字万用表测得,功率一般由功率表测得。图 1-2 所示为常用的测量仪表。

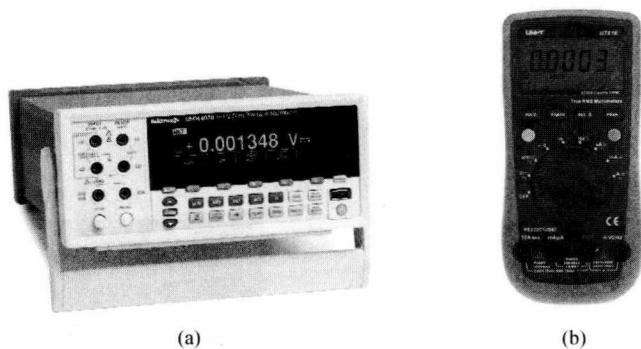


图 1-2 常用测量仪表

(a) 高精度数字万用表; (b) 普通数字万用表

1.1.1 电压

在某一电场中,把单位正电荷从电路中 A 点移到电路中 B 点,电场力做功的大小称为这两点之间的电压,用 u_{AB} 或 U_{AB} 来表示。假设有单位正电荷 dq ,在电场力作用下由 A 点移动到 B 点,若电场力做的功为 $d\omega_{AB}$,则 A 点到 B 点之间的电压 u_{AB} 为

$$u_{AB} = \frac{d\omega_{AB}}{dq} \quad (1-1)$$

其中, u_{AB} 是电压,单位是伏[特],符号为 V 。工程上也会用到千伏(kV)、兆伏(MV)等单位,多采用工程计数法计数。 ω 是电能,单位为焦[耳](J); q 是电荷[量],单位是库[仑](C)。随时间变化的电压(交流电压)一般用小写字母 u 表示,有时也用字母 v 表示;不随时间变化的电压(直流电压)一般用大写字母 U 或 V 表示。

在电路计算中,将涉及电路中各部分电压的方向。习惯规定,两点间的电压的实际方向为从高电位点指向低电位点。在分析简单电路时,很容易确定电压的实际方向并加以标注,但在复杂电路中,各部分电路的实际电压方向是很难确定的,因此不可能预先标注电路的实际电压方向。



图 1-3 电压的参考方向

考虑到实际电路中两点间的电压方向只有两种可能,因此可以先人为地假定一个电压的正方向,这个假定的正方向称为电压的参考方向,其表示如图 1-3 所示。

参考方向不一定是电压的真实方向,参考方向的选取是任意的。参考方向确定后,如果电压真实方向和参考方向一致,电压值为正,否则为负。如在图 1-3 中,如果 $u > 0$,则表明电压的实际方向和参考方向相同;反之,则相反。这里要注意,在电路图中未标明参考方向的情况下,计算电压的正负是没有任何意义的。

1.1.2 电流

在电场作用下,电荷会产生移动,大量电荷的有规则运动则形成电流。在图 1-4 中,在单位时间 dt 内,流过导体横截面的电荷量为 dq ,则流过该导体的电流为

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

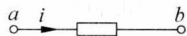


图 1-4 电流的参考方向

其中, i 表示电流,单位是安[培](A),工程上也会用到千安(kA)、兆安(MA)等单位,多采用工程计数法计数; q 表示电荷[量],单位为库[仑](C); t 表示时间,单位为秒(s)。

同电压一样,在电路计算中,将涉及电路中各部分电流的方向。习惯规定,电流的实际方向为正电荷运动的方向。在分析简单电路时,很容易确定电路电流的实际方向并加以标注;但在复杂电路中,各部分电路的实际电流方向难以确定,因此不可能预先标注电路的实际电流方向。考虑到实际电路中,电路的电流方向只有两种可能,因此可以先人为地假定一个电流的正方向,这个假定的方向就称为电流的参考正方向,其表示如图 1-4 所示。如果 $i > 0$,则表明电流的实际方向与参考方向相同;反之,则相反。这里要注意,在电路图中未标明电流参考方向的情况下,计算电流的正负是没有任何意义的。

1.1.3 关联参考方向

对于任意一个二端电路,其电压与电流的参考方向共有两种可能,如图 1-5 所示。

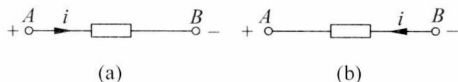


图 1-5 电压和电流的参考方向

(a) 关联参考方向;(b) 非关联参考方向

当电流参考方向从电压的“+”端指向“-”端时,就称其为关联参考方向,否则称其为非关联参考方向。

1.2 电路元件的功率

我们身边遇到和使用的各种各样的电器设备,除标称电压、电流两个基本物理量外,一般都还标有功率。因此,在电路分析中,功率是一个非常重要的物理量。我们在购买灯泡、空调等家电设备时知道,功率越大,其发光强度和制冷或制热效果就越好,同样时间内消耗的电能也就越大。功率是表示消耗电能快慢的物理量,各种电器设备的额定功率是指电器长期正常工作时的最大功率,也是电器在额定电压或额定电流下工作时的电

功率。电器的实际功率是指电器在实际工作时消耗的电功率。为保证电器设备的正常工作,要求实际功率不能大于其额定功率;否则,会导致电器设备不能正常工作,严重时可能损坏设备。

根据电压和电流的定义,可以得出

$$dq = idt \quad \text{及} \quad dw = udq$$

由此可得

$$dw = uidt$$

这就是单位时间内任意一个二端电路所吸收的电能,功率的定义为

$$p = ui \quad (1-3)$$

其中, p 表示功率,单位是瓦[特](W)。工程上也会用到千瓦(kW)、兆瓦(MW)等单位。

在推导式(1-3)时,正电荷是沿电压正方向流动,即电流是从电压的“+”端流向“-”端,为关联参考方向。此时的功率的计算结果若为正值,则表明该电路实际吸收功率;如果计算结果为负,则表明该电路实际发出功率。

当电压和电流的参考方向是非关联时,如图 1-5(b)所示,则其功率表达式为

$$p = -ui \quad (1-4)$$

此时,其所表示的物理意义和式(1-3)完全一致。

1.3 电阻元件

我们把相同的电源分别接到不同功率的灯泡上,发现灯丝亮度是不同的。这里的灯丝就是电阻。不同功率的灯泡,其灯丝的电阻是不同的,这导致其流过不一样的电流,产生的亮度也不同。各种金属导体中,银的导电性能是最好的,但还是有电阻存在。20 世纪初,科学家发现,某些物质在很低的温度时,如铝在 1.39K (-271.76°C) 以下,铅在 7.20K (-265.95°C) 以下,电阻就变成了零。这就是超导现象。如果把超导现象应用于实际,会给人类带来很大的好处。如在电厂发电、运输电力、储存电力等方面若能采用超导材料,就可以大大降低由于线路电阻引起的大量电能消耗。如果用超导材料制造电子元件,由于没有电阻,就不必考虑散热的问题,使元件尺寸可以大大缩小,进一步实现电子设备的微型化。但很多情况下,电阻必须存在。如进行电压、电流的转换,分压和限流,产生能量的消耗等应用场合。能量的消耗在很多场合是非常有益的,例如加热器、电炉等就是利用电阻器流过电流会发热的性质制作而成的。

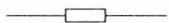


图 1-6 电阻元件的
图形符号

电阻元件的图形符号如图 1-6 所示,电阻由两根引线端引出,因此也可以看做一个二端元件。

电阻元件种类很多,根据其两端的电压电流关系,可以分为线性和非线性元件,也可以根据其阻值特性是否随时间变化分为时变和时不变元件,本书中所讨论的电阻元件如没有特别指出,均指线性时不变元件。按照这个分类方法,电阻的分类也可以分为线性时不变电阻和线性时变电阻。此外也可以根据其阻值

是否固定分为定值电阻和可调电阻,如碳膜电阻、线绕电阻、贴片电阻等是具有固定阻值大小的电阻,滑动变阻器、电位器等为阻值大小可调的电阻器。

要对电阻所组成的电路进行分析,必须假定电阻上电压和电流的参考正方向,这里有两种可能性,如图 1-7 所示。如果选择图 1-7(a)所示假定,则电阻上电压和电流的关系称为关联参考方向,此时有

$$u = iR \quad (1-5)$$

如果选择图 1-7(b)所示假定,则电阻上电压和电流的关系为非关联参考方向,此时有

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

式(1-5)、式(1-6)就是著名的欧姆定律,欧姆定律描述了电阻的电压和电流之间的代数关系,其中 u 为电阻两端的电压(V), i 为流过电阻的电流(A), R 的单位为欧[姆](Ω)。

电阻的倒数称为电导,用符号 G 来表示,单位为西[门子](S)。电阻和电导是反映电阻元件特性而互为倒数的两个参数,同电阻的定义相对应,电导描述的是一个电阻元件导电能力的强弱。显然, G 越大,导电能力越强, G 越小,导电能力越弱,这与电阻的特性是一致的。

在电路分析中,很多时候也关心电阻所消耗的功率,在图 1-7(a)所示关联参考方向下,电阻器上的功率计算公式为

$$p = ui \quad (1-7)$$

如果参考方向选择图 1-7(b)所示的非关联参考方向,则电阻器上的功率计算公式为

$$p = -ui \quad (1-8)$$

分别将式(1-5)代入式(1-7),式(1-6)代入式(1-8)都得到

$$p = i^2 R = \frac{u^2}{R} \quad (1-9)$$

由式(1-9)可知,无论电阻两端的电压和电流的参考方向如何选取,电阻上消耗的功率始终大于零,即电阻总是消耗功率的,这类器件也称为无源器件;反之,能够对外提供功率的器件称为有源器件。

1.4 电容元件

带电物体放在空气中,它所带的电荷会慢慢地失去,为了保存电荷,我们就需要有一个能“装电荷的容器”——电容器。简单地理解,电容器就是一种储存电荷的容器,最基本的电容器就是由两个平行的金属板中间夹有绝缘物质构成的。电容器应用的范围非常广泛,小到收音机,大到电力系统,已经发展成为电的世界中一个不可缺少的关键元件之一。本书提



图 1-8 电容器的图形符号

到的电容器为线性时不变电容,是一种理想化的元件模型,用来模拟实际电容器或其他实际器件的电容特性。电容器的图形符号如图 1-8 所示。

电容器最基本的特性就是储存电荷。当电容器两个极板上的电荷量为 q , 两端的电压为 u 时, 电容的大小可以用下面公式来表示:

$$C = \frac{q}{u} \quad (1-10)$$

电容是电容器本身的一种属性, 其大小与电容器的电荷量无关。式(1-10)中, C 指电容元件的参数, 单位为法[拉](F)。实际应用中, 法这个单位很少使用, 较多使用的是皮法(pF)和微法(μF), 换算关系为 $1\text{F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^9 \text{nF} = 10^{12} \text{pF}$ 。

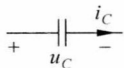


图 1-9 电容指定电压和电流的参考方向

在对电路进行分析时, 要用到电容的电压和电流关系(u - i 特性)。如果电容的电压电流取关联参考方向, 如图 1-9 所示, 当电容极板上电压发生变化时, 其极板上的电荷量随之也发生改变, 从而电荷的位移也随时间改变, 将产生位移电流。

在电容两端的位移电流不同于传导电流, 位移电流大小为

$$i_C = \frac{dq}{dt} \quad (1-11)$$

把式(1-10)代入式(1-11)可得电容两端电压和电流的关系:

$$i_C = C \frac{du_C}{dt} \quad (1-12)$$

当电容电压和电流参考方向为非关联参考方向时, C 前要加负号。式(1-12)中, i_C 的单位为 A, 电容 C 的单位为 F, u 的单位为 V, t 的单位为 s。式(1-12)表明: 电容的电流 i 与电压的变化率 $\frac{du_C}{dt}$ 成正比, 这个特性称为电容的动态特性, 因此电容 C 是一种动态元件。当电容两端的电压没有变化, 如所加电压为直流电压, 则电流 i 为零, 相当于开路, 因此电容具有通交流隔直流的功能。通过今后的学习还将发现电容具有滤波、稳压、储能、信号转换及无功补偿等功能。

对式(1-12)两端进行积分, 可以得到电容两端电压和电流关系的另外一种表达:

$$u_C(t) = u_C(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i_C dt \quad (1-13)$$

由此可以看出, 电容的电压不仅与 t_0 时刻以后的电容电流 i_C 有关系, 还与其初始电压有关, 因此电容 C 是一种记忆元件。若指定 t_0 为计时起点, 即 $t_0 = 0$, 并假设电容此时电压值为 0, 则式(1-13)可写为

$$u_C(t) = u_C(0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i_C dt \quad (1-14)$$

$u_C(0)$ 代表电容的初始电压, 由此可得到电容的功率和电能之间的关系

$$w = \int_{-\infty}^t p dt = \int_{-\infty}^t u_C i_C dt = \int_{-\infty}^t u_C C \frac{du_C}{dt} dt = \frac{1}{2} C u_C^2(t) \quad (1-15)$$

由此可见, 电容具有独特的储能作用, 该功能使其不发生功耗, 仅将所获得的电能储存起来。

1.5 电感元件

当线圈通过电流后,在线圈内外就形成感应磁场,感应磁场又会产生感应电流来抵制通过线圈中的电流。我们把这种电流与线圈的相互作用关系称为电的感抗,也就是电感。把金属导线绕在骨架上就可构成实际电感器,也称为电感线圈,简称电感。任何供电导体都具有电磁感应特性,实际的电感都是由许多圈导线绕成的圆柱状线圈组成。本书讲到的电感器是一种理想化的电路模型,用来模拟实际电感器和其他实际器件的电感特性。电感的图形符号如图 1-10 所示。



图 1-10 电感图形符号

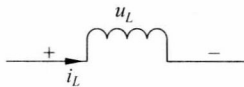


图 1-11 电感指定电压和电流的参考方向

当电感线圈中通过时变电流时,电流就会在其周围建立磁场,以磁场的形式储存能量,在电感两端产生一个正比于电流对时间变化量的电压,其电感上的电压、电流采用关联参考方向,如图 1-11 所示,则

$$u_L = L \frac{di_L}{dt} \quad (1-16)$$

式中 L 是电感的大小,单位是亨[利](H,典型值为 μH),这是为了纪念美国发明家约瑟夫·亨利。从式(1-16)中可以看出,电感线圈两端的电压 u 正比于电流对时间的变化量 $\frac{di_L}{dt}$,这个特性称为电感的动态特性,因此电感也是一种动态元件。当通过电感线圈的电流是直流时,电感两端的电压为 0,相当于短路,因此电感具有通直流扼制交流功能。电感广泛应用于开关电源、变压器、电视机、收音机、雷达及电机中。

对式(1-16)进行积分可得

$$i_L = i_L(t_0) + \frac{1}{L} \int_{t_0}^t u_L dt \quad (1-17)$$

由式(1-17)可以看出,电感的电流不仅与 t_0 时刻以后的电感电压 u_L 有关系,还与其初始电流有关,因此电感 L 也是一种记忆元件。若指定 t_0 为计时起点,即 $t_0 = 0$,并假设电感此时电流值为 0,则式(1-17)可写为

$$i_L(t) = i_L(0) + \frac{1}{L} \int_0^t u_L dt \quad (1-18)$$

$i_L(0)$ 代表电感的初始电流,由此可得到电感的功率和电能之间的关系

$$w = \int_{-\infty}^t p dt = \int_{-\infty}^t u_L i_L dt = \int_{-\infty}^t L \frac{di_L}{dt} i_L dt = \frac{1}{2} L i_L^2(t) \quad (1-19)$$

由式(1-19)可见,电感和电容一样,具有独特的储能作用,该功能使其不发生功耗,仅将所获得的电能储存起来。

1.6 电压源和电流源

各种用电设备都需要电源向其提供电能。实际的电源种类很多,内部机理也很复杂,本书所提到的电源没有特别说明时,均指理想独立电源,是从某些实际电路抽象出来的一种理想模型,能够提供与外接电路无关的特定电压或电流的一种理想有源二端元件。理想独立电源包括两种类型:独立电压源和独立电流源。

1. 独立电压源

独立电压源可以视为蓄电池、发电机等实际电源装置的模型。独立电压源是具有两个引出端的二端元件,不论外接负载大小如何,其总能保持两端电压为特定值,且与流过负载电流的大小无关,其图形符号如图 1-12(a)所示。当 $u_s(t)$ 为一恒定值 U_s 时,就为直流电压源;当其值为正弦函数时,就是交流电压源。当其为直流电压源时,其两端电压-电流关系(u - i 特性曲线)如图 1-12(b)所示。

由独立电压源的定义及其伏安特性可知,直流电压源具有以下特点:

- (1) 独立电压源的输出电压为给定值,与外电路没有关系;
- (2) 流过电压源的电流大小由外电路决定,理论上可等于任意值。

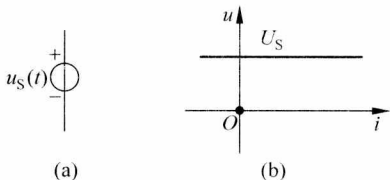


图 1-12

(a) 独立电压源的图形符号; (b) u - i 特性曲线

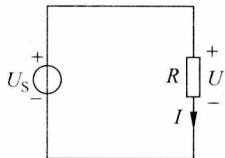


图 1-13 例 1-1 电路图

例 1-1 电路如图 1-13 所示, $U_s = 20\text{V}$, 当电阻 $R = 2\Omega$ 时, 求电流 I 及电压 U ; 当 $R = 10\Omega$ 时, 求电流 I 及电压 U 。

解: 电阻 R 与电压源 U_s 并联, $U = U_s$, 由欧姆定律得

当 $R = 2\Omega$ 时, $I = U_s / R = 10(\text{A})$

当 $R = 10\Omega$ 时, $I = U_s / R = 2(\text{A})$

注意, 根据理想独立电压源的定义, 流过电压源的电流可以在任意范围内变化, 因此理论上可以输出任何功率, 但这样的电源在实际中是不存在的, 任何电源的输出功率都有一定范围。

2. 独立电流源

光电池在一定光线照射下被激发产生一定值的电流, 独立电流源可以作为这类电源的模型。独立电流源是具有两个引出端的二端元件, 不论外接负载大小如何, 其总能保持输出电流为特定值, 且与负载两端的电压大小无关。其图形符号如图 1-14(a)所示, 箭头代表了电流的方向。当 $i_s(t)$ 为一恒定值 I_s 时, 就为直流电流源; 当其值为正弦函数时, 就是交流