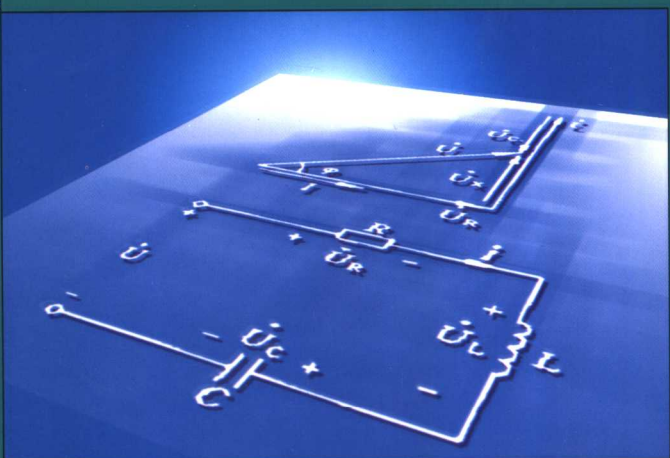


● 高等学校电力类教材 ●

电 路 (上)

■ 李裕能 夏长征 主编



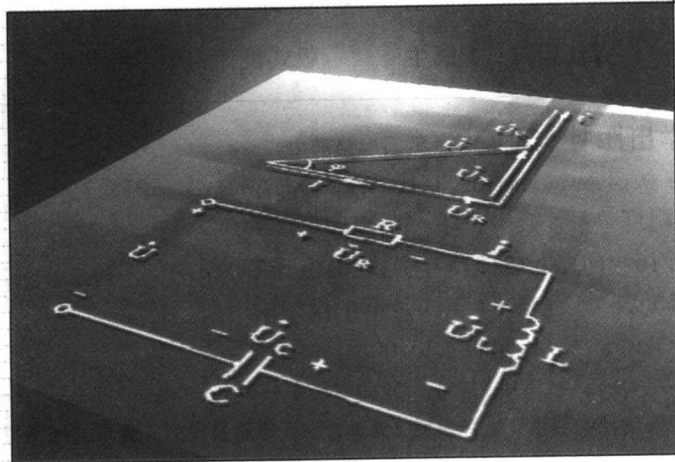
全国优秀出版社
武汉大学出版社

● 高等学校电力类教材 ●

电 路 (上)

■ 李裕能 夏长征 主编

江苏工业学院图书馆
藏书章



全国优秀出版社
武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电路.上/李裕能,夏长征主编. —武汉:武汉大学出版社,2004.7

高等学校电力类教材

ISBN 7-307-04164-2

I.电… II.①李… ②夏… III.电路—高等学校—教材 IV.TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 024387 号

责任编辑:瞿扬清

责任校对:黄添生

版式设计:支 笛

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:wdp4@whu.edu.cn 网址:www.wdp.whu.edu.cn)

印刷:武汉理工大印刷厂

开本:787×1092 1/16 印张:13.375 字数:310 千字

版次:2004 年 7 月第 1 版 2004 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 7-307-04164-2/TM·9 定价:20.00 元

版权所有,不得翻印;凡购我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

序 言

电路是工科电类专业的一门重要的技术基础课,是大学生接触到的一门理论严密、逻辑性强、内容繁多而难以掌握的课程。通过本课程的学习,为学习后续课程提供具有一定深度和广度的电路理论知识。要真正学好这门课,并非易事。为此,本书力求遵循由浅入深、由易到难的原则,注重于基本原理、基本概念、基本分析方法的阐述并尽力使难点分散。本书具有较完善的体系,在内容的编排上充分考虑到学生的数学、物理基础;在内容的选择上尽量满足电类各专业教学的需要。为了帮助读者深入理解基本概念和灵活选择分析方法,在书中引入了较多的例题便于读者自学;各章末还附有难易适度的练习题供教学选用。

电路理论主要包括电路分析和电路综合两个方面的内容,本书以电路分析为主。考虑到某些专业的教学需要,下册书末编入了磁路和电路计算机辅助分析简介。

全书以课内教学 130 学时编写的。书中第三、四、五、六、七、八、九、十、十一章和附录 B 由李裕能编写;第一、二、十二、十三、十四、十五章和附录 A 由夏长征编写。全书承蒙杨宪章教授仔细审阅并提出许多宝贵意见;本书编写过程中曾得到彭正未教授的指导;在书稿审订过程中,武汉大学电气工程学院电工原理教研室熊元新教授、胡钊副教授、樊亚东副教授等全体同仁提出了许多有益的建议。谨在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,谬误之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2004 年 2 月

目 录

1 电路的基本概念和基本定律	1
1.1 电路和电路模型	1
1.1.1 实际电路及其基本功能	1
1.1.2 电路模型	2
1.2 电流、电压及其参考方向	3
1.2.1 电流	3
1.2.2 电位和电压	3
1.2.3 直流电流、电压和正弦交变电流、电压	4
1.2.4 电流和电压的参考方向	5
1.3 功率和能量	6
1.4 电阻元件	7
1.4.1 线性电阻元件及其伏安特性	7
1.4.2 线性电阻元件的耗能特性	8
1.5 电容元件	8
1.5.1 线性电容元件及其库伏特性	8
1.5.2 线性电容元件上电压与电流的关系	9
1.5.3 电容元件的记忆及储能特性	9
1.6 电感元件	10
1.6.1 电感线圈中的磁通和磁链	10
1.6.2 线性电感元件的磁链和感应电动势	11
1.6.3 线性电感元件的感应电压与磁链和电流的关系	11
1.6.4 电感元件的记忆及储能特性	12
1.7 独立电源	13
1.7.1 理想电压源和实际电压源	13
1.7.2 理想电流源和实际电流源	14
1.8 受控源	15
1.8.1 四种线性受控源	15
1.8.2 受控源与独立电源的区别	17
1.9 基尔霍夫定律	18
1.9.1 节点、支路和回路	18
1.9.2 基尔霍夫电流定律(KCL)	19
1.9.3 基尔霍夫电压定律(KVL)	20

1.9.4 独立节点和独立回路	21
习题	23
2 简单电阻电路的分析	26
2.1 电阻的串联、并联和混联	26
2.1.1 电阻的串联	26
2.1.2 电阻的并联	27
2.1.3 电阻的串并联(混联)	29
2.2 电阻的星形连接与三角形联接的等效变换	30
2.2.1 Y形电路等效变换为 Δ 形电路	30
2.2.2 Δ 形电路等效变换为Y形电路	32
2.3 电压源和电流源的串并联	33
2.3.1 理想电压源的串联	33
2.3.2 理想电流源的并联	34
2.3.3 理想电压源与其他元件的并联	34
2.3.4 理想电流源与其他元件的串联	35
2.4 实际电源、受控源的等效变换	35
2.4.1 实际电源的等效变换	35
2.4.2 受控源的等效变换	37
2.5 无源一端口的等效电阻和输入电阻	38
习题	39
3 电路分析的一般方法	42
3.1 网络图论的概念	42
3.1.1 网络图论的名词及术语	42
3.1.2 几种重要的子图	43
3.1.3 KCL、KVL的独立方程数	45
3.2 支路电流法	46
3.3 网孔电流法与回路电流法	48
3.3.1 网孔电流法	48
3.3.2 回路电流法	51
3.4 节点电压法	54
3.5 割集电压法	58
习题	61
4 电路定理	64
4.1 叠加定理	64
4.1.1 叠加定理	64
4.1.2 叠加定理的证明	64

4.1.3 齐性定理	67
4.2 替代定理	68
4.2.1 替代定理	68
4.2.2 替代定理的证明	69
4.3 戴维南定理	70
4.3.1 一端口网络	70
4.3.2 戴维南定理及其证明	71
4.3.3 戴维南等效电路的求法	72
4.4 诺顿定理	75
4.4.1 诺顿定理	75
4.4.2 诺顿定理的证明	75
4.5 特勒根定理	77
4.5.1 特勒根功率定理	77
4.5.2 特勒根似功率定理	78
4.6 互易定理	81
4.7 对偶原理	84
习题	85
5 正弦稳态交流电路和相量法	88
5.1 正弦交流电的基本概念	88
5.2 正弦电流、电压的有效值	90
5.3 正弦量的相量表示法	91
5.3.1 复数的四种形式与复数运算	91
5.3.2 正弦量的相量表示	94
5.4 电阻、电感和电容元件上的正弦电流	96
5.4.1 电阻上的正弦电流	96
5.4.2 电感上的正弦电流	97
5.4.3 电容上的正弦电流	97
5.5 电路定律的相量形式	98
5.5.1 基尔霍夫定律的相量形式	98
5.5.2 电阻元件的相量方程	99
5.5.3 电感元件的相量方程	100
5.5.4 电容元件的相量方程	100
5.6 R 、 L 、 C 串联电路	101
5.6.1 R 、 L 、 C 串联电路的复阻抗	101
5.6.2 串联电路的计算	103
5.7 R 、 L 、 C 并联电路	105
5.7.1 R 、 L 、 C 并联电路的复导纳	105
5.7.2 并联电路的计算	106

5.8 复阻抗和复导纳的等效变换	107
5.8.1 无源二端网络的等效电路	107
5.8.2 复阻抗和复导纳的等效变换	108
5.9 正弦交流电路的功率	110
5.9.1 瞬时功率	110
5.9.2 平均功率	111
5.9.3 无功功率	111
5.9.4 视在功率	111
5.9.5 复功率	112
5.10 功率因数的提高	113
5.10.1 用电设备在低功率因数状态下运行的缺点	113
5.10.2 功率因数的提高	114
5.11 正弦交流电路的稳态分析	116
5.12 串联谐振电路	119
5.12.1 发生串联谐振的条件	119
5.12.2 串联谐振的特点	120
5.12.3 特性阻抗和品质因数	121
5.12.4 谐振电路对信号的选择性	121
5.13 并联谐振电路	124
5.13.1 发生并联谐振的条件	124
5.13.2 并联谐振的特点	126
5.14 最大功率传输	126
5.14.1 最大功率传输的条件	126
5.14.2 传输效率	127
习题	128
 6 具有耦合电感元件的电路分析	133
6.1 交流电路中的磁耦合	133
6.1.1 磁耦合线圈	133
6.1.2 耦合系数	134
6.1.3 耦合线圈的电压方程	135
6.1.4 互感的同名端	135
6.2 具有耦合电感元件电路的计算	137
6.2.1 两耦合线圈串联	137
6.2.2 两耦合线圈并联	138
6.2.3 耦合线圈并联的去耦电路	139
6.3 空心变压器	142
6.3.1 空心变压器的原边等效电路	142
6.3.2 空心变压器的副边等效电路	143

6.4 理想变压器	144
6.4.1 理想变压器的条件	144
6.4.2 理想变压器原、副边电压电流关系	144
6.4.3 理想变压器的作用	145
6.5 实际变压器的等效电路	146
6.5.1 实际变压器与理想变压器的差异	146
6.5.2 实际变压器的等效电路	147
习题	149
7 三相电路	152
7.1 三相电路的基本概念	152
7.1.1 三相电源	152
7.1.2 三相电源的连接方式	154
7.1.3 三相负载的连接方式	155
7.1.4 三相电路的连接方式	157
7.2 对称三相电路的分析计算	158
7.2.1 Y_0 - Y_0 电路的计算	158
7.2.2 Y - Y 电路的计算	159
7.2.3 Δ - Y 电路的计算	159
7.2.4 Δ - Δ 电路的计算	160
7.2.5 复杂三相电路计算	162
7.3 不对称三相电路及其分析计算	162
7.3.1 Y - Y 电路计算	162
7.3.2 Y_0 - Y_0 电路计算	163
7.4 三相电路的功率	165
7.4.1 三相电路的平均功率	165
7.4.2 三相电路的无功功率	166
7.4.3 三相电路的视在功率	166
7.4.4 对称三相电路的瞬时功率	166
7.4.5 三相功率的测量	167
7.5 对称制的推广	169
7.5.1 多相制	169
7.5.2 对称分量法	170
习题	173
8 非正弦周期电流电路和信号的频谱	176
8.1 非正弦周期电流电路的基本概念	176
8.1.1 电路中的非正弦周期电流、电压	176
8.1.2 非正弦周期电流电路的分析方法	177

8.2 周期函数分解为傅里叶级数	178
8.2.1 周期函数的傅里叶级数形式	178
8.2.2 如何确定傅里叶系数	178
8.2.3 几种特殊的周期函数	180
8.2.4 非正弦周期电流、电压的频谱	182
8.3 非正弦周期电流、电压的有效值、平均值和平均功率	182
8.3.1 非正弦周期电流、电压的有效值	182
8.3.2 平均值	183
8.3.3 非正弦周期电流电路的平均功率	185
8.4 非正弦周期电流电路的分析计算	185
8.4.1 非正弦周期电流电路的计算步骤	185
8.4.2 应注意的问题	186
8.4.3 滤波器的基本概念	187
8.5 对称三相电路的高次谐波	189
8.5.1 三相发电机产生的高次谐波电压	189
8.5.2 对称三相非正弦电路的连接	189
8.5.3 高次谐波的危害	191
8.6 傅里叶级数的指数形式及其相应的频谱	192
8.6.1 傅里叶级数的指数形式	192
8.6.2 傅里叶指数形式的频谱	192
8.7 傅里叶积分及傅里叶变换	194
习题	195
习题参考答案	198

1 电路的基本概念和基本定律

本章提要

本章介绍电路的基本概念和基本定律,所涉及到的内容主要有:电路和理想电路模型,电压和电流的概念及其参考方向,电功率和能量,三种基本的理想无源元件电阻、电感和电容的特性,理想电压源和理想电流源及实际电源的等效电路模型,受控电源的基本概念和基尔霍夫定律。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 实际电路及其基本功能

随着社会的不断进步和科学技术的飞速发展,电几乎已渗透到社会生活的各个领域。各种各样的电力、电讯及自动控制等设备随处可见,这些设备本身以及对它们供电或提供控制信号的系統就构成了实际的电路。这些实际电路通常由一些如电阻器、电容器、电感线圈及集成电路等电路部件按照一定的方式相互连接而构成。之所以称其为电路,是因为当这些设备及系统处于运行状态时,就会在其中形成电流流动的通路。

例如图 1-1 所示手电筒电路即为一最简单的实际电路,它由连接线将干电池、灯泡、开关连接而成。当开关闭合时,就会形成电流通路产生电流点亮灯泡。

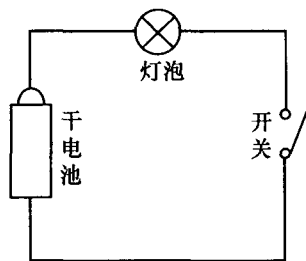


图 1-1 手电筒电路

利用实际电路可以实现各种各样的功能,概括起来主要有:

实现能量的转换、传输和分配。典型的例子是电力系统。发电厂(站)的发电机将热能、水能、核能和风能等转换成电能,经变压器、输电线等输送给用户,再将电能转换成用户所需的机械能、光能和热能等。在系统中,提供电能的设备统称为电源,而吸收和消耗电能的设备则称为负载。

实现信号加工。利用适当的电路设备,可对给定的信号进行放大、滤波、调制和解调,以获取所需的信号。

实现信息的储存、数学运算和设备运行的控制等。计算机中的寄存器和 CPU 就是典型的实现信息的储存和数学运算的电路,而实现控制功能的电路则不胜枚举。

1.1.2 电路模型

电路理论的主要任务是研究电路中所发生的电磁现象,而了解电路中各元器件的物理特性是研究电路的基本前提。由于研究电路的目标通常是计算电路中各器件的端电流和端子间的电压,一般不考虑器件内部发生的物理过程,因此可根据各(实际)元器件端部主要物理量间的约束关系对电路中的元器件进行理想化处理,获得理想化的元器件模型,再根据电路的实际连接情况将这些理想化元器件加以连接,就可建立起适当的电路模型。所以可将由理想元器件所构成的电路称之为实际电路的电路模型。简称电路模型。电路模型的建立使对电路的分析和计算更简便易行。

建立电路模型的首要任务是必须客观地反映实际电路中元器件的基本特性,因此在建立电路模型时要根据计算条件和计算精度要求突出主要矛盾,忽略次要因素,以获得适当的理想电路模型。

严格地说,所有实际电路元器件的特性都与其中所发生的电磁现象和过程有关。一般情况下,这些电磁现象和过程又与实际电路元器件的尺寸相关,但当元器件的尺寸远小于电路中工作的电磁波波长时,元器件尺寸的影响很小可近似忽略不计,此时可用若干个具有理想特性的集中元件或它们的组合来模拟实际电路元器件。这些具有理想特性的集中元件简称为集中元件,全部由集中的理想元件通过适当方式连接而成的电路模型称为集中参数电路模型,简称集中(参数)电路。当元器件的尺寸与电路中工作的电磁波波长相比较不是很小时,必须考虑电路元器件尺寸的影响,与此相应的电路模型称为分布参数电路模型,其内容将在后面章节介绍。

理想电路元件根据其与电路其他部分所连接的端子个数可划分为二端元件和多端元件,其中多端元件又可用若干个二端元件的组合来等效,因此,二端元件是最基本的电路元件。

严格地说,所有实际电路元器件的特性都是非线性的,但有时在计算精度允许的前提下可用近似的线性特性取代。这样处理后所得到的元件称为理想线性元件,简称线性元件。如电路中所包含的元件都是线性元件则对应的电路模型称为线性电路模型,简称线性电路。

电路模型采用电路图来表示,常用的理想电路元件国家标准电路图形符号如图 1-2 所示。其中图 1-2(a)、(b) 所示图形符号分别表示理想电压源和理想电流源,为两种基本的理想电源,又称为有源元件;图 1-2(d)、(e)和(f)所示图形符号分别表示线性电阻、线性电容和线性电感,它们是最基本的电路元件,它们都不能产生电能,因此又称为无源元件;图 1-2(c)所示为理想电路开关,仅用来反映电路的通断状态。

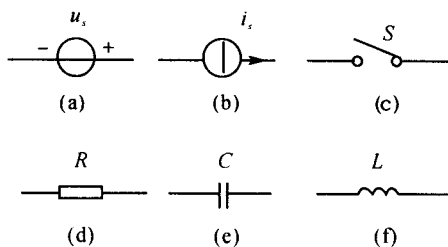


图 1-2 常用的电路图形符号

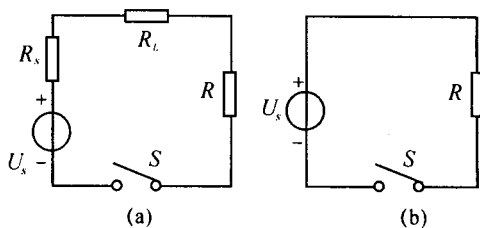


图 1-3 手电筒电路的等效电路

利用图 1-2 所示图形符号可得到与图 1-1 所示手电筒电路对应的等效电路模型如图 1-3 所示。

图 1-3(a)中,用理想直流电压源 U_s 和反映干电池内部损耗的电压源内电阻 R_s 的串联组合来等效表示原实际电路中作为电源的干电池;灯泡作为消耗能量的负载用线性电阻 R 来等效;而连接导线则用理想线性电阻 R_L 来代替。

通常电压源内电阻 R_s 和连接导线电阻 R_L 比负载电阻 R 小得多,在计算精度要求不高的情况下,有时可忽略 R_s 和 R_L 的影响,而采用图 1-3(b)所示的等效电路模型。

1.2 电流、电压及其参考方向

1.2.1 电流

在电场力的作用下,导体中的电荷作有规则的运动,从而形成电流。电流的强弱用单位时间内沿正电荷运动方向流过导体横截面的电荷量来衡量,称为电流强度,用符号 i 来表示,其数学表达式为:

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

因此,电流即流过导体横截面的电荷量关于时间的变化率。式中,电荷量 q 的单位为库(C),时间 t 的单位为秒(s),电流的单位为安(A)。一般情况下,电流为时间 t 的函数,以小写字母 i 表示,称为瞬时电流。当电流为恒定值时称为直流电流,用大写字母 I 表示。

1.2.2 电位和电压

电场中电场力将单位正电荷从任意点 a 移到无穷远处所作的功称为点 a 处的电位,其数学表达式可写为

$$u_a = \int_a^{\infty} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} \quad (1-2)$$

式中, u_a ——电场中点 a 处的电位,单位为伏, V;

$\mathbf{E}$ ——电场强度矢量,单位为伏特每米, V/m;

l ——积分路径的长度,单位为米, m。

从表达式可见, u_a 的值仅取决于点 a 的位置,与积分路径的选取无关。

电场中任意两点 a 、 b 之间的电位差称为 a 、 b 之间的电压降,简称电压,记为 u_{ab} 。由式 (1-2)可知

$$u_{ab} = u_a - u_b = \int_a^b \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} \quad (1-3)$$

因此,点 a 、 b 之间的电压就是电场力将单位正电荷从点 a 移到点 b 处所作的功。

由于点 a 、 b 的任意性,当 $u_a > u_b$ 时, $u_{ab} > 0$, 电场力将单位正电荷从点 a 移到点 b 时作正功, ab 之间的这段电路将吸收能量。当 $u_a < u_b$ 时, $u_{ab} < 0$, 电场力将单位正电荷从点 a 移到点 b 时作负功, ab 之间的这段电路将释放能量,此时实际上是外力做功,在电源内部即是这种情况。

在实际电路中,通常总是在电路中选定一个节点作零电位点或参考节点,而将其他节点与该节点之间的电压称为节点电位,因此电位是一个相对的概念。

1.2.3 直流电流、电压和正弦交变电流、电压

如前所述不随时间变化的电流称为直流电流。直流电流随时间变化的波形曲线如图 1-4(a)所示,是一条平行于时间轴的直线。

同样,不随时间变化的电压称为直流电压,用大写英文字母 U 表示。直流电压随时间变化的波形曲线如图 1-4(b)所示,也是一条平行于时间轴的直线。

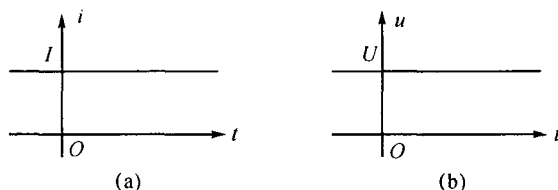


图 1-4 直流电流(压)的波形

电流(压)值随时间按正弦规律交变的电流(压)称为正弦交变电流(压),统称为正弦量。正弦交变电流(压)的数学表达式分别为

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \phi_i)$$

$$u(t) = U_m \sin(\omega t + \phi_u)$$

式中, $\omega t + \phi_i$ ——电流的相位角,单位为弧度,rad;

$\omega t + \phi_u$ ——电压的相位角,单位为弧度,rad;

ϕ_i ——正弦交变电流的初相角(位),即 $t = 0$ 时电流的相位角;

ϕ_u ——正弦交变电压的初相角(位),即 $t = 0$ 时电压的相位角;

I_m ——正弦交变电流的幅值;

U_m ——正弦交变电压的幅值;

ω ——正弦交变电流(压)的角频率,单位为弧度每秒(rad/s), $\omega = 2\pi f$;

f ——正弦交变电流(压)的频率,单位为赫,Hz。

正弦量的幅值、角频率和初相角是决定一个正弦量大小和变化规律三个要素。正弦交变电流和电压的波形曲线如图 1-5 所示。由该图可见,一个正弦量的初相角并不是一成不变的,它们的大小与这些电量的计时起点有关。

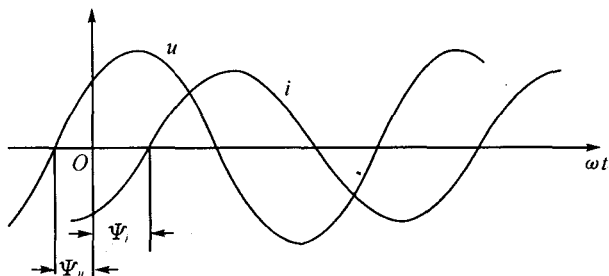


图 1-5 正弦交变电流(压)的波形

1.2.4 电流和电压的参考方向

导体中正电荷的运动方向即电流流动的方向,称为电流的实际方向,如图 1-6(a)、(b)所示,用带虚线段的箭头表示。而电压的实际方向则是指由实际高电位点指向实际低电位点的方向,通常将高电位点称为“+”极,低电位点称为“-”极,统称为电压的实际极性。电压的实际方向如图 1-6(c)、(d)所示。

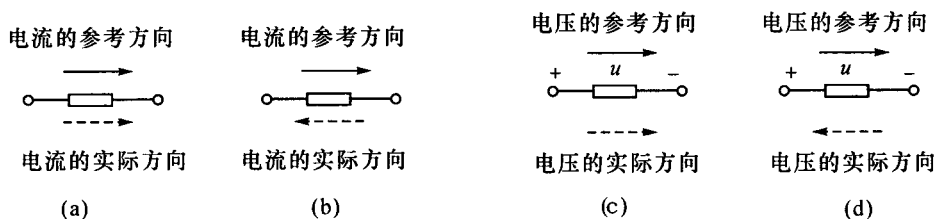


图 1-6 电流和电压的实际方向和参考方向的关系

对一些简单电路,各元件中电流和电压的实际方向比较容易确定。但对复杂电路,其某些元件中电流和电压的实际方向往往难以直接判断,而且在交流电路中,电流和电压的实际方向还会随时间而不断地改变。例如对图 1-7 所示直流电桥电路,当电桥处于不平衡状态时,通过检流计的电流和检流计两端电压的方向就只有通过计算来确定。

由于计算复杂电路各元件中的电流和电压时需列出电路方程,当元件中电流和电压的方向不确定的情况下,电路方程的列写缺乏依据,无法进行。为了解决此困难,可引入参考方向的概念。如图 1-6 所示,在任何二端电路元件上,电流和电压的实际方向都只有两种可能。所谓电流和电压的参考方向,就是在其两个实际方向中任取一个作为假定的方向,从而可将电流和电压当作代数量列写电路方程求解。电流的参考方向如图 1-6(a)、(b)所示,用带实线段的箭头表示。电压的参考方向如图 1-6(c)、(d)所示,用实线段箭头和标“+”极和“-”极两种方法表示。若电流和电压的实际方向和其参考方向一致,则计算所得结果将为正值,反之为负值,因此可结合参考方向和计算结果的正负来确定电流和电压的实际方向。

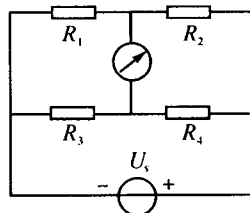


图 1-7 直流电桥电路

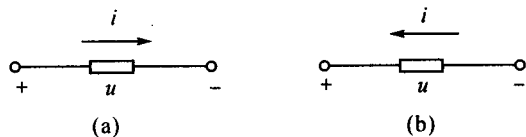


图 1-8 电流和电压的关联参考方向和非关联参考方向

一般情况下,电流和电压的参考方向可以独立地任意指定,若如图 1-8(a)所示,取电流的参考方向从电压参考方向的“+”极指向“-”极,即两者参考方向一致时,就称电流和电压的这种参考方向为关联参考方向,否则(如图 1-8(b)所示)称为非关联参考方向。

应当注意的是,参考方向的概念虽然非常简单,但却极其重要。而且参考方向一旦取定,在电路的分析过程中就不能进行更改,同时还应注意不要将参考方向和实际方向混淆,否则将造成计算错误。

1.3 功率和能量

设任意二端元件上电流和电压取关联参考方向,并设在微元时间 dt 内,电场力将电荷量 dq 从元件的电压“+”极移到电压“-”极。由电压定义可知,此时电场力移动电荷量 dq 所作的功为

$$dW = u dq \quad (1-4)$$

如将式(1-4)两侧同除以 dt ,则可得

$$\frac{dW}{dt} = u \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-5)$$

式中, dW/dt 为单位时间内电场力所作的功,同时又是该元件所吸收的功率。从式(1-5)可见,功率一般情况下是时间 t 的函数,因此又称为瞬时功率,用小写英文字母 p 表示,于是任意二端元件所吸收的功率又可写成下式

$$p = ui \quad (1-6)$$

上述三式中,各物理量的单位分别为:

电荷——库 C

电压——伏 V

电流——安 A

能量——焦 J

功率——瓦 W

其中, $1J = 1W \cdot s$ 。通常用 $1kW \cdot h$ (千瓦时) = 3600kJ 作为能量单位,1 千瓦时又称为 1 度。

式(1-6)表明,任意二端元件在任意瞬间所吸收的功率等于该瞬间作用在该元件上的电压和流过该元件的电流的乘积,而与该元件本身的特性无关。该式可看做二端元件所吸收的功率的定义式,它是电路理论中一个非常重要的基本关系式。

在具体的电路中,有些二端元件吸收功率,另一些二端元件则发出功率,而式(1-6)定义的是元件吸收的功率,这时可根据计算结果的正负来判断元件实际上是吸收功率还是发出功率。

当 $p > 0$ 时,元件吸收正的功率,即实际上是吸收功率;

当 $p < 0$ 时,元件吸收负的功率,即实际上是发出功率。

需要强调的是,式(1-6)是在二端元件上电流和电压取关联参考方向的条件下得到的。如某二端元件上电流和电压取非关联参考方向,则由式(1-6)定义得的就是该二端元件发出的功率,此时可根据计算结果来判断元件实际上是发出功率还是吸收功率。

当 $p > 0$ 时,元件发出正的功率,即实际上是发出功率;

当 $p < 0$ 时,元件发出负的功率,即实际上是吸收功率。

在二端元件上电流和电压取关联参考方向的前提下,利用式(1-5)或式(1-6),可得从

t_1 到 t_2 的时段内该二端元件所吸收的电能为

$$W = \int_{t_1}^{t_2} p dt = \int_{t_1}^{t_2} u i dt \quad (1-7)$$

1.4 电阻元件

1.4.1 线性电阻元件及其伏安特性

电阻、电容和电感元件是电路中三种最基本的无源元件,了解它们的特性是分析电路的基础,其中非线性电阻、电容和电感的特性将在后面章节介绍,此处主要介绍线性电阻、电容和电感的特性。

描述电阻元件特性的物理量是电阻元件的电压 u 和电流 i , u 与 i 之间的关系称为电阻的伏安特性。当 u 与 i 之间的关系是线性关系时,就称该电阻为线性电阻。在后面的内容中,如不特别指明,所讨论的电阻都是指线性电阻,简称为电阻。

线性电阻的图形符号如图 1-9(a)所示。电阻上 u 与 i 取关联参考方向时,根据欧姆定律,有

$$u = Ri \quad (1-8)$$

式中, R 为大于或等于零的实常数,称为该电阻元件的电阻 Ω 。

如令 $G = 1/R$, 则式(1-8)变为

$$i = Gu \quad (1-9)$$

G 称为电阻元件的电导,单位为西(门子)(S)。

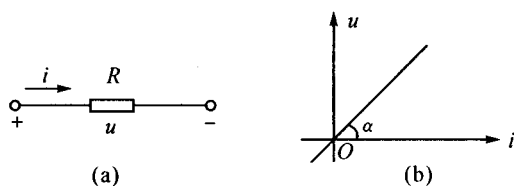


图 1-9 线性电阻元件及其伏安特性

线性电阻的伏安特性曲线如图 1-9(b)所示。它是一条过坐标原点的直线,而电阻的值则与该直线和电流轴的夹角 α 成正比。即

$$R \propto \tan \alpha$$

式(1-8)表明,任意时刻电阻元件上的电压都与该时刻的电流成正比,而与此前任意时刻的电流无关,因此电阻元件不具备记忆功能,故又称其为无记忆元件。

电阻元件存在两种极端情况,即 R 为零和无穷大的情况。

从式(1-8)可知,当 $R=0$ 时,对应电流轴上的任意 i 值,都有 $u=0$,所以这时的伏安特性曲线如图 1-9(a)所示,就是电流轴。在如图 1-9(b)所示理想情况下,将电路中任意两个端点用理想导线相连接时,端点 a 、 b 间将出现这种结果,这种情况称为短路。