

电工技术

DIANGONG JISHU

王鹏飞 郑毅 主编

湖北长江出版集团
湖北科学技术出版社

TM/123

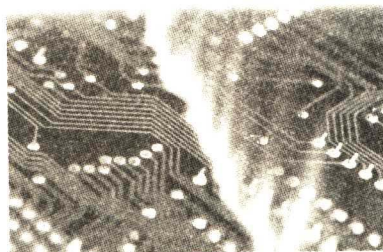
2007

电工技术

DIANGONG JISHU

主 编:王鹏飞 郑 毅

副主编:王文一 陈农章 刘 芬



湖北长江出版集团
湖北科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工技术/王鹏飞,郑毅主编. —武汉:湖北科学技术出版社,2007. 8
ISBN 978-7-5352-3858-0

I. 电… II. ①王…②郑… III. 电工技术 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 120443 号

电工技术

©王鹏飞 郑毅 主编

责任编辑:王小芳

封面设计:王 梅

出版发行: 湖北长江出版集团
湖北科学技术出版社

电话:87679468

地 址:武汉市雄楚大街 268 号湖北出版文化城 B 座 12~13 层

邮编:430070

印 刷:仙桃市新华印务有限责任公司

邮编:433000

787 毫米×1092 毫米

16 开

11.75 印张

268 千字

2007 年 8 月第 1 版

2007 年 8 月第 1 次印刷

印 数:0 001~3 000

定价:25.00 元

本书如有印装质量问题 可找承印厂更换

前 言

电工技术是研究电能应用的基础课程。电能的应用范围是极其广泛的,它的应用,在生产技术上曾引起了划时代的革命。在现代工业、农业及国民经济的其他各个部门中,逐渐以电力作为主要的动力来源。工业上的各种生产机械,如机床、起重机、轧钢机、鼓风机、水泵等,主要是用电动机来带动的;在机械制造工业中,电镀、电焊、高频淬火、电炉冶炼金属、电蚀加工和电子束加工等,都是电能的应用;对生产过程中所涉及的一些物理量,如长度、速度、压力、温度等,都可用电的方法进行测量和自动调节;现代农业技术的主要动力是电力,如电力排灌、粮食和饲料的加工等;在现代物质、文化生活中电也是不可缺少的,如电灯、电话、电影、电视、无线电广播等都离不开电能的应用。

电能所以会得到这样广泛的应用,是因为它具有无可比拟的优越性。电能的优越性主要表现在下列3个方面。

便于转换。电能可以从水能(水力发电)、热能(火力发电)、风能(风力发电)、原子能(原子能发电)、化学能(电池)及光能(光电池、太阳能电池)等转换而来;同样也可以将电能转换为其他所需要的能量形态,如电动机将电能转换为机械能,电炉将电能转换为热能,电灯将电能转换为光能,扬声器将电能转换为声能。电能之间也可以转换,如利用整流器将交流电能转换为直流电能,利用振荡器将直流电能转换为交流电能。

便于输送和分配。电能可以方便地被输送到远方,而且输电设备简单,输电效率高。我们知道,工厂通常建于原料产地或运输方便之处,而发电站则大多建于有能源的地方,二者之间有一定的距离。动力基地与工业基地在位置上存在的这个矛盾,由于电能的远距离输送而得到了解决。电能不仅输送方便,而且分配也很容易,从几十瓦的电灯到几千千瓦的电动机,根据用电需要,都可以分配自如。此外,电能还可以不通过导线而以电磁波的形式进行传播。

便于控制。电流的传导速度等于光速,电气设备的动作又比较迅速,所以便于实现远距离控制和实现生产过程的自动化。

电工技术是一门实践性较强的专业技术基础课程。它的目的和任务是使学生获得电工技术方面的基本理论、基本知识和基本技能,为学习后续课程以及今后工作打下必要的基础。

学好本课程,除了要求具有正确的学习目的和态度外,还要注意以下几点。

(1)学习时要抓住物理概念、基本理论、工作原理和分析方法;要理解问题是如何提出的,又是怎样解决和应用的;要注意各部分内容之间的联系,前后是如何呼应的;要重在理解,能提出问题,积极思考,不要死记。

(2)通过习题可以巩固和加深对所学理论的理解,并培养分析能力和运算能力。为此,

各章都安排了适当数量的习题。解题前,要对所学内容基本掌握;解题时,要看懂题意,注意分析,要搞清用哪个理论和公式;习题格式要规范,书写要整洁,作图要整齐,得数要标明单位。

(3)通过实验可以巩固所学理论,训练实验操作技能,并培养严谨的科学作风。实验是本课程的一个重要环节,不能轻视。实验前必须进行预习,认真准备;实验时积极思考,多动手,学会正确使用常用的电子仪器、电工仪表、电机和电器设备,要能正确连接电路,能准确读取数据;实验后要对实验现象和实验数据认真地整理分析,编写出实验报告。

目 录

第1章 电路的基本概念	1
1.1 电路	1
1.1.1 电路的组成和功能	1
1.1.2 电路模型和电路图	2
1.2 电路的基本物理量及参考方向	3
1.2.1 电路的基本物理量	3
1.2.2 参考方向及选择原则	6
1.3 电路的基本定律与工作状态	7
1.3.1 欧姆定律	7
1.3.2 电路的工作状态	9
1.3.3 基尔霍夫定律	13
第2章 直流电路的分析方法	19
2.1 电路的等效变换	19
2.1.1 电阻电路的等效变换	19
2.1.2 电压源与电流源模型及其等效变换	28
2.2 电路的基本分析方法	34
2.2.1 支路电流分析法	34
2.2.2 网孔电流分析法	35
2.2.3 节点电压分析法	37
2.2.4 叠加定理	40
2.2.5 戴维宁定理	43
2.3 电路中电位的计算	47
第3章 电路的暂态分析	53
3.1 电路暂态的基本概念及换路定则	53
3.1.1 电路的稳态与暂态	53
3.1.2 储能元件	54
3.1.3 产生暂态过程的原因	59
3.1.4 换路定则	60
3.2 一阶线性电路暂态分析的三要素法	61
3.3 RC 暂态电路的应用	65
3.3.1 微分电路	65

3.3.2 积分电路·····	67
第4章 单相正弦交流电路 ·····	70
4.1 交流电路中的基本物理量·····	70
4.1.1 交流电路概述·····	70
4.1.2 正弦交流电的基本特征和三要素·····	71
4.2 单一参数电路·····	73
4.2.1 纯电阻电路·····	73
4.2.2 纯电感电路·····	74
4.2.3 纯电容电路·····	76
4.3 电阻、电感、电容串联电路·····	78
4.3.1 RLC 串联电路·····	78
4.3.2 RL 串联电路 ·····	79
4.4 谐振电路·····	80
4.4.1 串联谐振·····	81
4.4.2 并联谐振·····	82
4.5 正弦交流电路中的功率·····	84
4.5.1 正弦交流电路中的功率·····	84
4.5.2 功率因数的提高·····	85
附 正弦量的相量表示 ·····	89
附.1 复数的基本概念 ·····	89
附.1.1 复数 ·····	89
附.1.2 复数的运算 ·····	89
附.1.3 向量 ·····	90
附.2 电路基本定律的相量形式 ·····	91
附.2.1 基尔霍夫电流定律的相量形式 ·····	91
附.2.2 基尔霍夫电压定律的相量形式 ·····	92
第5章 三相电路 ·····	93
5.1 概述·····	93
5.2 三相电源·····	93
5.2.1 三相交流电的产生·····	93
5.2.2 三相电源的联接方法·····	95
5.3 三相负载的星形联接·····	96
5.3.1 星形联接·····	96
5.3.2 星形联接三相电路的分析·····	96
5.4 三相负载的三角形联接 ·····	100
5.4.1 三角形联接 ·····	100
5.4.2 三角形联接的三相负载 ·····	100
5.4.3 三相负载的联接原则 ·····	101
5.5 三相功率 ·····	102

5.5.1 三相功率的一般关系	102
5.5.2 三相对称电路的功率	102
第6章 变压器和异步电动机	107
6.1 磁路及磁性材料	107
6.1.1 磁场的基本物理	107
6.1.2 磁性材料的主要特性	108
6.1.3 磁路及磁路欧姆定律	110
6.1.4 铁芯线圈电路	112
6.2 变压器	114
6.2.1 变压器的基本结构	114
6.2.2 变压器的工作原理	115
6.2.3 变压器的特性和额定值	119
6.2.4 三相变压器和特殊变压器	120
6.2.5 变压器同极性端的判断	124
6.3 异步电动机及其特性	126
6.3.1 三相异步电动机的结构	126
6.3.2 三相异步电动机的工作原理	128
6.3.3 三相异步电动机的运行特性	131
6.4 三相异步电动机的使用	134
6.4.1 三相异步电动机的技术数据和选用	134
6.4.2 三相异步电动机的起动	136
6.4.3 三相异步电动机的制动	139
6.4.4 三相异步电动机的调速	141
第7章 继电—接触器控制	145
7.1 常用控制电器	145
7.1.1 刀开关	145
7.1.2 组合开关	146
7.1.3 按钮	146
7.1.4 熔断器	147
7.1.5 交流接触器	148
7.1.6 热继电器	148
7.1.7 中间继电器	149
7.1.8 自动空气开关	149
7.2 三相异步电动机的基本控制电路	150
7.2.1 三相笼型异步电动机的直接起动控制	150
7.2.2 行程控制	154
7.2.3 时限控制	156
7.3 基本电气识图	158

第8章 电工测量	164
8.1 电工测量仪表的分类与型式	164
8.1.1 电工测量仪表的分类	164
8.1.2 电工测量仪表的型式	165
8.2 电流与电压的测量	168
8.2.1 电流的测量	168
8.2.2 电压的测量	169
8.3 功率测量	169
8.3.1 单相交流和直流功率的测量	169
8.3.2 三相功率的测量	170
8.4 万用表	171
8.4.1 磁电式万用表	171
8.4.2 数字式万用表	172
8.5 电度表及电能的测量	174
8.5.1 电度表及其接线方式	174
8.5.2 电能测量	176
8.6 兆欧表及绝缘电阻测量	177
8.6.1 兆欧表的工作原理	177
8.6.2 绝缘电阻的测量	177
参考文献	179

第1章 电路的基本概念

内容提要

1. 了解电路的组成和功能,掌握电路元件的符号及电路图;
2. 理解描述电路的几个基本物理量,掌握电流、电压的参考方向和基本物理量的计算;
3. 熟练掌握电路的基本定律;
4. 掌握电路的3种基本状态。

1.1 电路

1.1.1 电路的组成和功能

电路是泛指能够提供电流途径,由电源、电子元器件或电工设备所组成的总体。在电路中既有可以把其他形式的能量(热能、风能、水位能、太阳能等)转换成电能的电源元件,也有可以把电能转换成其他形式的能量的用电器。

电路具有两个主要功能:其一,在电路中随着电流的流动,它能实现电能与其他形式能量的转换、传输和分配。例如,发电厂把热能(通过煤粉或油的燃烧)转换成电能,再通过变压器、输电线送到各用户,各用户把它们再转换为光能(照明)、热能(加热电器)和机械能(电动机)加以使用。其二,电路可以实现信号的传递和处理。通过电路可以把输入的信号变换或加工成其他所需要的输出。例如,一台半导体收音机或者电视机,其天线接收到的是些很微弱的电信号,这些很微弱的信号必须通过调谐环节选择到所需要的某个频率信号,再经过一系列的放大环节,最后从输出端重现能满足工作需要的信号(图像、声音)。

电路的结构有简单的也有复杂的,种类繁多。但不管电路的结构是怎样简单或复杂,电路必定由电源、负载和中间环节三大部分组成。图1.1.1就是一个最简单的电路。电路的左边是电源(电池),它是提供电能的装置;电路的右边是负载(小灯泡),它是消耗电能的装置;电路的中间部分称为中间环节,它是连接电源和负载的部分,具有输送、分配、控制电路通断的功能。中间环节的结构根据工作需要既有简单的也有复杂的。图1.1.1中的中间环节由开关和导线组成;收音机的中间环节由调谐、变频、中频放大、检波、低频放大、功率放大等几部分组成。

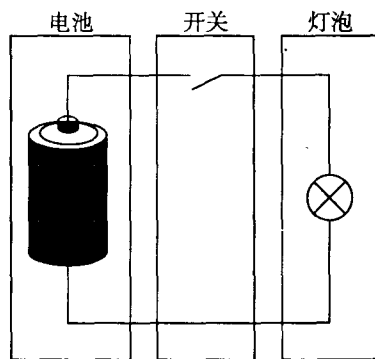


图 1.1.1

1.1.2 电路模型和电路图

实际电路是由一些电工设备、器件和电路元件所组成的。为便于分析和计算,往往把这些器件和元件理想化并用国家统一的标准符号来表示。这样,电工设备和器件在电路原理图中,就成为一种用抽象的电路模型形式表示的电路元件。这种电路模型表征了这些设备在电路中所表现出的主要电气特性,所以由电路模型构成的电路原理图能够代表实际电路图,从电路原理图中得到的分析结论能够适用于实际电路。这样,实际电路的分析就得到了简化。

1. 电路的理想电路元件

为了表征电路中某一部分的主要电磁性能,以便进行定性、定量分析,可以把该部分电路抽象成一个电路模型,即用理想的电路元件来代替这部分电路。因此,能表征电路的特征,并且具有单一电磁性质的假想元件被称之为理想电路元件。所谓单一电磁性质是指突出该部分电路的主要电或磁的性质,而忽略了次要的电或磁的性质。因此,可以用理想电路元件以及它们的组合来反映实际电路元件的电磁性质。例如,电感线圈是由导线绕制而成的,它既有电感量又有电阻值,在考虑其主要电磁性质时,往往忽略了线圈的电阻性质,而突出了它的电磁性质,把它表征为一个储存磁场能量的电感元件。同样,电阻丝是用金属丝一圈一圈绕制而成的,那么,它也既有电感量也有电阻值,在实际分析时往往忽略电阻丝的电感性质,而突出其主要的电阻性质,把它表征为一个消耗电能的电阻元件。

2. 理想电路元件的分类及符号

按经典电路理论,理想电路元件共有 5 种:电阻、电感、电容、电压源、电流源。

电阻元件是一个耗能元件,它消耗电能并把电能转化为热能和光能,用符号 R 表示。电感元件和电容元件都是储能元件,也称为动态元件。电感元件能把电能转化为磁场能量储存在电感线圈当中,用 L 表示。电容元件能把电能转化为电场能量储存在电容器当中,用 C 表示。电压源也称为理想电压源,它两端的电压固定不变,且所通过的电流可以是任意值,其大小取决于与它相连接的外电路,用 U_s 表示。电流源也称为理想电流源,它向外提供一个恒定不变的电流,其两端的电压可以是任意值,其大小取决于与它相连接的外电路,用 I_s 表示(图 1.1.2)。

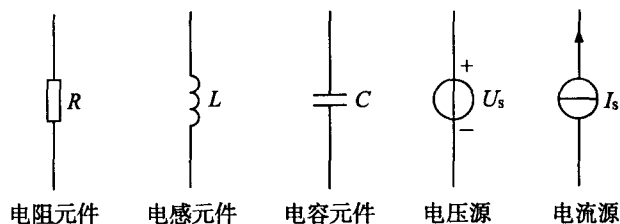


图 1.1.2

3. 电路图

用理想电路元件(即电路模型)构成的理想化电路图,称为电路原理图,简称电路图。在电路图中,各种电路元件必须使用国家统一标准的图形和符号。

1.2 电路的基本物理量及参考方向

1.2.1 电路的基本物理量

1. 电流

(1) 电流及其形成条件。带电质点的定向移动形成电流。带电质点在金属导体中是指带负电的自由电子,在电介质中是指带正电或负电的正、负离子。这些带电质点除了作不规则运动之外,还在电场作用下作定向运动,即正电荷顺电场方向运动、负电荷逆电场方向运动。电流的实际方向是指正电荷的运动方向。要形成电流,首先要有能自由移动的电荷——自由电荷,其次导体两端有电势差。

(2) 电流强度。衡量电流大小、强弱的物理量称为“电流强度”。电流强度的数值是指:在电场作用下,单位时间里通过导体某一截面 S 的电荷量,如图 1.2.1 所示。

设在极短的时间 dt 内通过导体某截面 S 的电荷量为 dq ,则电流强度为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.2.1)$$

在一般情况下,电流强度 i 是随时间而变化的,是时间的函数。如果电路中电流的大小、方向都不随时间而变化,则称为稳恒电流,简称直流电流,用大写字母 I 表示,即

$$I = \frac{q}{t} \quad (1.2.2)$$

在国际单位制中,电流的单位是:库[仑]/秒,即安[培],简称“安”,用符号“A”表示。在电力系统中电流都比较大,常以千安(kA)作为电流强度的计量单位,而在电子线路中电流都比较小,常以毫安(mA)、微安(μ A)作为电流强度的计量单位,它们之间的换算关系是

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

在物理学中电流与电流强度的概念是不同的,但在电路与电工技术中这两者可以不必严格区别,为了简便起见统称为“电流”,它也代表了一个物理量。

(3) 电流的方向。电流方向的表示方法有两种:一是用箭头表示电流的方向,如图 1.2.1 中的方向,二是用双下标表示,如 I_{AB} (表示电流从 A 流向 B)、 I_{BA} (表示电流从 B 流向 A)。由上可知:电流不但有大小,而且有方向。

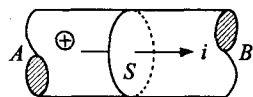


图 1.2.1

在分析电路的时候,有时不能确定电流的实际方向,可以人为选定其参考方向,又称为正方向。在正方向选定的情况下,电流值有正、负之分。例如,电流选定的正方向是从 A 流向 B,经计算后得到 $I_{AB} = 3\text{A}$,则表示电流的实际方向的确是从 A 流向 B,若经计算得到 $I_{AB} = -3\text{A}$,则表示电流的实际方向是从 B 流向 A。

2. 电压

电路中,一般用电压来反映电场力做功的本领。图 1.2.2 所示为电池中的两个电极, A 是正极带正电荷, B 是负极带负电荷。在 A、B 两极之间产生了一个均匀而且恒定的电场,其方向是从 A 指向 B。如果用导体将 A、B 两极连接起来,那么在电场作用下,电极 A 中的正电

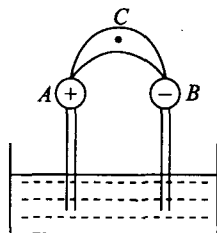


图 1.2.2

荷将通过导体移动到电极 B 。由于正电荷在电场中被移动了一段距离,电场力对正电荷做了功。电场力将单位正电荷 q 从 A 点移动到 B 点所做的功称为 A 、 B 两点之间的电压,记为

$$U_{AB} = \frac{W}{q}$$

大小和方向随时间变化而变化的电压称为交变电压,用小写字母 u 表示;如果电压的大小和方向都不随时间变动,则称为稳恒电压或直流电压,用大写字母 U 表示。由稳恒电压产生的电场是稳恒电场,在稳恒电场中,任意两点 A 、 B 之间的电压只与 A 、 B 两点的位置(起点与终点)有关,而和电荷移动的路径无关。

在国际单位制中,电压的单位是:焦[耳]/库[仑],即伏[特],用符号“V”表示。在各种类型的电路中,计量电压的单位可以不同,有伏(V)、毫伏(mV)、微伏(μ V),它们之间的换算关系是

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

3. 电位

为了便于分析,在稳恒电场中选取某一点 O 为参考点。电场力把单位正电荷 q 从电路中任意一点 A 移动到参考点 O 电场力所做的功,称为 A 点的电位,记为 V_A 。

在此规定下,参考点 O 本身的电位为零,即 $V_O = 0$,那么,参考点 O 就被称为电位参考点。参考点的选择完全是任意的,选取不同的参考点,电场中各点的电位数值也就不同。但是,参考点一旦选定后,电场中各点的电位就只能有一个数值,这就是电位的“单值性”。

由于 A 点的电位 $V_A = U_{AO}$, B 点的电位 $V_B = U_{BO}$,那么,任意两点 A 、 B 之间的电压就等于 A 、 B 两点的电位之差,即

$$U_{AB} = V_A - V_B$$

因此,一旦 A 、 B 两点位置确定,不管其参考点如何变更, A 、 B 两点之间的电压只有一个数值,这就是电压的“绝对性”。同时,正电荷在电场的作用下总是从高电位端指向低电位端。

[例 1.2.1] 在图 1.2.2 中,设 $U_{AB} = 5\text{V}$, $U_{AC} = 3\text{V}$,如分别以 A 、 B 为参考点,求 V_A 、 V_B 、 V_C 。

【解】:(1) 以 B 为参考点,则 $U_B = 0$

因为 $U_{AB} = V_A - V_B$

所以 $V_A = U_{AB} + V_B = (5 + 0) = 5(\text{V})$

又因为 $U_{AC} = V_A - V_C$

所以 $V_C = V_A - U_{AC} = (5 - 3) = 2(\text{V})$

(2) 以 A 为参考点,则 $U_A = 0$

因为 $U_{AB} = V_A - V_B$

所以 $V_B = V_A - U_{AB} = (0 - 5) = -5(\text{V})$

又因为 $U_{AC} = V_A - V_C$

所以 $V_C = V_A - U_{AC} = (0 - 3) = -3(\text{V})$

从上面的例子分析可以得到这样的结论:电位的数值与参考点的选择有关,而电压的数值与参考点的选择无关。

4. 电动势

电动势是一个专门描述电源内部特性的物理量。在图 1.2.2 中可见,由于电场力的作

用,正电荷不断地从 A 极经过导体移动到 B 极,其结果势必会改变电荷的分布。 A 极的正电荷数不断减少、电位逐渐下降,而 B 极不断地得到从 A 极移来的正电荷、电位不断升高。随着时间的推移, A 、 B 两极之间的电位差将越来越小,它所产生的电场也就越来越弱,一旦 A 、 B 两极的电位相等时,导体中不再有电荷的移动。为了维持导体中电荷源源不断地移动,必须要有一种外力克服电场力的作用,从另一条途径源源不断地把正电荷从低电位端(B 极)移到高电位端(A 极),使 A 极的电位升高,以保持导体中正电荷不断移动。在电源内部就存在着这种外力。外力把正电荷从低电位端 B 经过电源内部移动到高电位端 A 所做的功称为电源的电动势,用 E 表示。

在国际单位制中,电动势的单位也是伏[特]。

必须注意:在电源内部电动势 E 的方向规定为从低电位端指向高电位端。换句话说,当电动势是正时,电动势的方向是电位升高的方向。其次,电动势 E 的大小在数值上与电源的开路电压相等。因为当电源处于开路状态时,电源中没有电荷的移动,这时电场力与外力相平衡,电场力和外力对正电荷做功的能力相等。

[例 1.2.2] 在图 1.2.3 中,电动势 $E_1 = 20\text{V}$, $E_2 = 10\text{V}$; 方向已在图中标明,求 U_{AB} 及 U_{BA} 的大小。

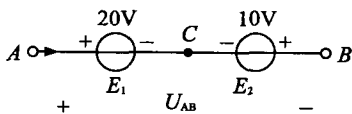


图 1.2.3

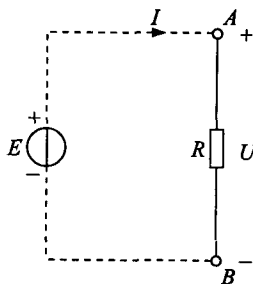


图 1.2.4

【解】:假设电压降的方向为 U_{AB} (即箭头方向),显然 U_{AC} 、 U_{CB} 的方向与 U_{AB} 的方向一致,也就是说 A 、 B 两点间的电压是该支路上各段电压降 (U_{AC} 、 U_{CB}) 的代数和。所以

$$U_{AB} = U_{AC} + U_{CB} = E_1 + E_2 = 20 - 10 = 10(\text{V})$$

则

$$U_{BA} = -U_{AB} = -10\text{V}$$

5. 电功率

电功率是电路分析中常用的另一个物理量。在电气工程中,电功率简称为功率。电功率是用来衡量每单位时间内所消耗电能大小的。

在图 1.2.4 所示的电路中 A 、 B 两点间的电压为 U ,流过的电流为 I ,根据电压的定义可知,当正电荷 q 在电场的作用下通过电阻 R 从 A 点移到 B 点,电场所做的功为

$$W = Uq = UIt \quad (1.2.4)$$

这个功也就是电阻 R 在 t 时间内所吸收的电能,对于电阻来说吸收的电能全部转换成热能,其大小为

$$W_R = UIt = R I^2 t$$

在国际单位制中,电能、热能的单位是焦[耳],用字符 J 表示。

电阻吸收的功率可定义为:单位时间里能量的转换率。其数学表达式为

$$P = \frac{W_R}{t} = \frac{UIt}{t} = UI = RI^2 \quad (1.2.5)$$

在国际单位制中,功率的单位是“瓦”,用字符 W 表示,还可以用 kW、mW、μW 作单位,它们之间换算关系为

$$1\text{ kW} = 10^3\text{ W} = 10^6\text{ mW} = 10^9(\mu\text{ W})$$

式(1.2.4)表示电阻上的电压与电流的实际方向是相同的。 $P = UI$ 也用于任何一段有源电路的功率计算,计算得到的功率 P 有正、负号,所得功率为正,说明该段电路吸收(消耗)功率,反之则是发出(提供)功率。

1.2.2 参考方向及选择原则

在电路分析或计算之前,很难对电路中某一段电路电流的流向和电压的极性立刻作出判断,因此,必须对待求的电流假定一个流向和对待求的电压假定一个极性或电位的高低,这种假定被称为电流和电压的参考方向,又称电流和电压的正方向。参考方向的选择是任意的。当参考方向选定以后在计算过程中就不可再作变更,电路中的电压或电流必须按照选定的参考方向列写电路方程式。

由于电压、电流的参考方向不一定是它们的实际方向,所以,此时的电压、电流就成为有正、负值之分的代数量。经过分析计算,若电压、电流的数值为正,则说明电压、电流的实际方向与参考方向一致;若为负值,则说明实际方向与参考方向相反,如图 1.2.5(a)、(b)、(c)、(d)所示。

另外,电路方程式中的正、负号与代数量本身的正、负值必须严格区别,不可混淆。

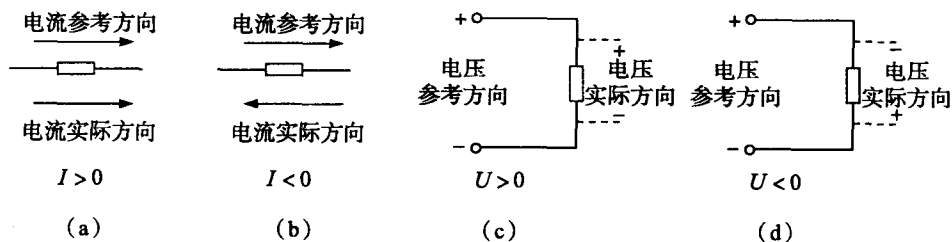


图 1.2.5

[例 1.2.3] 电路中有 4 个元件按图 1.2.6 的方式连接,每个元件上电压的方向如图所示,且 $U_1 = -100\text{ V}$, $U_2 = 50\text{ V}$, $U_3 = 80\text{ V}$ 。求 U_4 及 U_{CD} 的数值。

【解】:先设定电压 U_{AB} 的参考方向,根据已假设的参考方向列写电路方程式

$$U_{AB} = -U_1 + U_2$$

将已知数据代入,可得

$$U_{AB} = -(-100) + (-50) = 100 - 50 = 50(\text{ V})$$

注意:括号里的“-”表示代数量为负值,括号外的正、负号是电路方程式的正负号,表示参考方向间

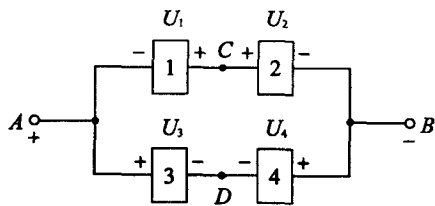


图 1.2.6

的关系,二者之间不能混淆。

因为电路中任意两点的电压与路径无关,所以 $U_{AB} = U_3 - U_4$, 将 $U_{AB} = 50\text{V}$ 代入可解得

$$U_4 = U_3 - U_{AB} = 80 - 50 = 30(\text{V})$$

$$U_{CD} = U_2 + U_4 = -50 + 30 = -20(\text{V})$$

或

$$U_{CD} = U_1 + U_3 = -100 + 80 = -20(\text{V})$$

1.3 电路的基本定律与工作状态

1.3.1 欧姆定律

欧姆定律是电路的基本定律之一,用来确定电路各部分的电压、电流之间的关系,也称为电路的 VCR (Voltage Current Relation)

1. 欧姆定律的一般形式

欧姆定律表明流过线性电阻的电流 I 与电阻两端的电压 U 成正比。从图 1.3.1 中可写出它们之间的关系表达式为

$$U = \pm RI \quad (1.3.1)$$

当电压、电流参考方向一致时[图 1.3.1(a)],欧姆定律的表达式应取“+”;当电压、电流的参考方向相反时[图 1.3.1(b)],欧姆定律的表达式应取“-”。式(1.3.1)中的比例常数称为电路的电阻,用符号 R 表示。它一方面表示电阻是一个消耗电能 ideal 电路元件,另一方面它也代表这个元件的参数。

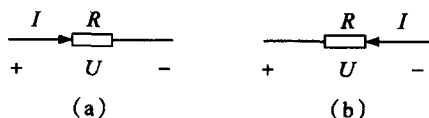


图 1.3.1

电阻的单位是欧[姆],用符号 Ω 表示。对大电阻则常以“千欧”(k Ω)、“兆欧”(M Ω)为单位。

在保持温度(例如 20 $^{\circ}\text{C}$)不变的条件下,实验结果证明,用同种材料制成电阻的大小与金属导体的有效长度、有效截面积及电阻率有关,它们之间的关系可写为

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1.3.2)$$

式中: ρ ——导体的电阻率,单位是欧·米($\Omega \cdot \text{m}$),只与导体所处的条件有关。在温度一定时,同一种材料制成的导体,其 ρ 是常数。

电阻的倒数称为电导,用符号 G 表示,其单位是“西[门子]”(S)即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1.3.3)$$

如果电阻是一个常数,与通过它的电流无关,这样的电阻称为线性电阻,线性电阻上电压、电流的相互关系遵守欧姆定律。当流过电阻上的电流或电阻两端的电压变化时,电阻的

阻值也随之改变,这样的电阻称为非线性电阻。显然,非线性电阻上的电压、电流是不遵守欧姆定律的。

本章所阐述的电阻如无特殊说明则均指线性电阻。

2. 含源支路的欧姆定律

如果在电路的某一条支路中不但有电阻元件,而且含有电动势 E ,那么,这条支路就称为含源支路,如图 1.3.2 所示。

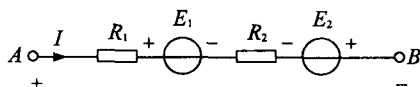


图 1.3.2

在含源支路 AB 中有两个电阻 R_1 、 R_2 和两个电动势 E_1 、 E_2 。首先设定该支路电压、电流的参考方向列写出 A 、 B 两点的电压

$$U_{AB} = R_1 + E_1 + R_2 - E_2$$

经整理后得

$$I = \frac{U_{AB} + (E_2 - E_1)}{R_1 + R_2}$$

如果含源支路中含有多个电阻和多个电动势,那么,就可以写出

$$I = \frac{\pm U \pm E}{\sum R} \quad (1.3.4)$$

式(1.3.4)中的分母是含源支路中所有电阻的代数和,分子是该含源支路两端的电压和含源支路中所有电动势的代数和。当端电压 U 与电流 I 的参考方向一致时, U 前取“+”,反之取“-”;当电动势 E 与电流 I 的参考方向一致时, E 前取“+”,反之取“-”。

3. 闭合电路的欧姆定律

含源支路的两端 A 、 B 用一根导线连接起来,就形成了一个闭合回路,如图 1.3.3 所示。闭合电路中的电压、电流之间的关系也必须满足欧姆定律,即

$$I = \frac{\sum E}{\sum R} \quad (1.3.5)$$

式(1.3.5)中分母是该闭合回路中所有电阻的代数和,分子是闭合回路中所有电动势的代数和,当电动势 E 的方向与电流 I 的流动方向一致时取“+”,反之取“-”。

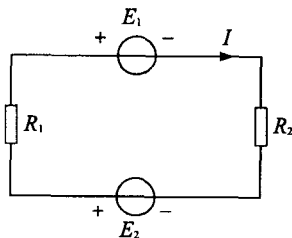


图 1.3.3