

电路理论基础

(上册)

主 编 汪 建
编 者 王 臻

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电路理论基础(上册)/汪 建 主编
武汉:华中科技大学出版社, 2002年1月
ISBN 7-5609-2601-0

I. 电…

II. ①汪… ②王…

III. 电路理论-高等学校-教材

IV. TM13

电路理论基础(上册)

汪 建 主编

责任编辑:李 德

封面设计:潘 群

责任校对:蔡晓瑚

责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87545012

经 销:新华书店湖北发行所

录 排:华中科技大学出版社照排室

印 刷:武汉市新华印刷有限责任公司

开本:787×960 1/16

印张:22.5

字数:420 000

版次:2002年1月第1版

印次:2002年1月第1次印刷

印数:1—5 000

ISBN 7-5609-2601-0/TM·80

定价:24.80 元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

前 言

电路理论是电类各专业重要的技术基础课。本课程的教学目的是使学习者懂得电路的基础理论,掌握电路分析的基本方法,为后续课程的学习及今后从事电类各学科领域的学习和工作打下坚实的基础。毋庸置疑,在电类专业领域的学习、研究的过程中,电路理论知识的掌握程度起着至关重要的作用,因此,学好这门课程的重要性不容低估。

电路理论的内容丰富,知识点多,概念性强。学习本课不仅要具有良好的物理学有关内容的基础,也需要掌握高等数学的相关理论。可以说,清晰的物理概念和扎实的数学基础是学好电路理论的基本保证。通过本课程的学习,能够了解高等数学的理论在工程专业领域的应用方法,可以体会到数学工具在研究和解决专业理论和工程实际问题时的重要作用。

学生对本课程内容的掌握,可归结为综合运用所学的知识分析求解具体电路的能力。而这一能力的培养和提高,有赖于对基本概念、基本原理的准确理解,对基本方法的熟练掌握。因此,在本书的编写中,除参照高等学校对“电路”课程教学的基本要求,兼顾电气类和电子类专业的需要,突出对基本内容的叙述外,还刻意加强了对学习方法特别是解题方法的指导。具体的做法是:

(1) 强调对基本概念的正确理解。对重点、难点内容用注释方式予以较详尽的说明和讨论;对在理解和掌握上易于出错之处给予必要的提示。

(2) 重视对基本分析方法的训练和掌握。对各种解题方法给出了具体步骤,并用众多实例说明这些解题方法的具体应用,且许多例题同时给出多种解法,供读者比较。

(3) 注重培养学生独立思考,善于灵活运用基本概念和方法分析、解决各种电路理论问题的能力。在每一章的最后均安排有“例题分析”,通过对一些典型的或综合性较强、具有一定难度的例题的精讲,进一步讨论各种电路分析方法的灵活应用,以启迪思维,开阔思路,达到融会贯通、举一反三的效果。

本书的内容采用授课式语言叙述,十分便于自学。

全书共分十四章,由汪建担任主编。本书为上册,从第一章到第六章。其中王臻编写第二、八、十一章,其余各章由汪建编写。黄冠斌教授审阅了部分书稿,提出了许多宝贵意见。张玲娟、饶红女士绘制了书中的全部插图。本书的出版得到了华中科技大学出版社的大力支持,在此深表谢意。

限于编者的学识水平,书中的疏漏和不当之处在所难免,希望读者批评指正。

编者

2001年3月于华中科技大学

内 容 提 要

本书按照高等院校电路理论课程教学的基本要求,系统地介绍电路理论的基本概念、基本原理和基本分析方法。从培养学生分析、解决电路问题能力的目的出发,通过对电路理论课程中重点、难点及解题方法的详细论述,刻意于基本内容的叙述与学习方法指导的有机融合。本书例题丰富,语言通俗流畅,十分便于自学。

全书共分十四章。上册内容包括:电路的基本定律和电路元件;电路分析方法——等效变换法、电路方程法、运用电路定理法;正弦稳态分析;谐振电路与互感耦合电路。下册内容包括三相电路;非正弦周期性稳态电路分析;双口网络;暂态分析方法——经典分析法、复频域分析法、状态变量分析法;均匀传输线的稳态分析;均匀传输线的暂态分析。

本书可作为高等院校电气、电子类专业电路理论课程的教科书或教学参考用书,也可供有关科技人员参考。

目 录

第一章 电路的基本定律和电路元件	(1)
§ 1-1 电路的一些基本概念	(1)
§ 1-2 电流、电压及其参考方向	(4)
§ 1-3 电路的基本定律——基尔霍夫定律	(9)
§ 1-4 奇异函数和不连续波形的数学表达法	(12)
§ 1-5 电路元件及其分类	(19)
§ 1-6 电阻元件	(22)
§ 1-7 电容元件	(24)
§ 1-8 电感元件	(29)
§ 1-9 独立电源	(32)
§ 1-10 受控电源和运算放大器	(35)
§ 1-11 例题分析	(38)
习题	(43)
第二章 电路分析方法之一——等效变换法	(48)
§ 2-1 等效变换的概念	(48)
§ 2-2 电阻元件的串联和并联	(50)
§ 2-3 电阻元件的混联	(54)
§ 2-4 电源的等效变换	(58)
§ 2-5 Y形电路和 Δ 形电路的等效变换	(67)
§ 2-6 电位的计算方法	(70)
§ 2-7 简化电阻电路的几种特殊方法	(73)
§ 2-8 用等效变换的方法分析含受控源电路	(80)
§ 2-9 含运算放大器的简单电路的计算	(83)
§ 2-10 动态元件的串联和并联	(85)
§ 2-11 例题分析	(92)
习题	(101)
第三章 电路分析方法之二——电路方程法	(109)
§ 3-1 网络图论的基本概念	(109)
§ 3-2 图的拓扑结构的矩阵描述	(116)
§ 3-3 电路方程中的独立变量	(123)
§ 3-4 基尔霍夫定律的矩阵表示式	(126)
§ 3-5 支路分析法	(131)
§ 3-6 节点分析法	(139)

• 2 • 电路理论基础

§ 3-7 割集分析法	(144)
§ 3-8 网孔分析法	(148)
§ 3-9 回路分析法	(152)
§ 3-10 对偶电路的对偶性原理	(156)
§ 3-11 例题分析	(160)
习题	(166)

第四章 电路分析方法之三——运用电路定理法..... (173)

§ 4-1 叠加定理	(173)
§ 4-2 替代定理	(178)
§ 4-3 戴维南定理和诺顿定理	(180)
§ 4-4 特勒根定理	(190)
§ 4-5 互易定理	(193)
§ 4-6 最大功率传输定理	(197)
§ 4-7 中分定理	(200)
§ 4-8 例题分析	(206)
习题	(215)

第五章 正弦稳态电路分析..... (220)

§ 5-1 正弦交流电的基本概念	(220)
§ 5-2 正弦量的相量表示	(226)
§ 5-3 基尔霍夫定律的相量形式	(232)
§ 5-4 RLC 元件伏安关系式的相量形式	(233)
§ 5-5 复阻抗和复导纳	(241)
§ 5-6 正弦稳态电路的计算	(245)
§ 5-7 相量图与位形图	(250)
§ 5-8 正弦稳态电路中的功率	(255)
§ 5-9 功率因数及其提高	(269)
§ 5-10 例题分析	(273)
习题	(281)

第六章 谐振电路与互感耦合电路..... (288)

§ 6-1 串联谐振电路	(288)
§ 6-2 并联谐振电路	(299)
§ 6-3 一般谐振电路及其计算	(305)
§ 6-4 耦合电感器与电感矩阵	(307)
§ 6-5 互感耦合电路的分析	(313)
§ 6-6 耦合电感器的去耦等效电路	(317)
§ 6-7 两绕组耦合电感器与空心变压器	(322)

§ 6-8 全耦合变压器与理想变压器	(324)
§ 6-9 理想变压器电路的计算	(328)
§ 6-10 例题分析	(333)
习题	(342)
部分习题答案	(347)

第一章 电路的基本定律和电路元件

电路理论学科的研究对象是电路,它是电气、电子、通信等学科重要的理论基础。电路理论涉及的内容非常广泛,主要包括电路分析、电路综合或设计及电路故障诊断等分支。电路分析是电路理论的基础部分,它的基本任务是,在给定电路的结构和参数的条件下,求电路的响应,如电压、电流、能量或功率等。本章介绍有关电路的基本概念、组成电路的元件及电路应遵从的基本定律。应予强调,电路的基本定律和电路元件的特性是进行电路分析的基本依据。

§ 1-1 电路的一些基本概念

一、电路

电与现代社会息息相关,而电的作用是通过具体的电路来实现的。所谓电路是指由电路器件(又称为电路元件)和联接导线组合而成的电流通路。

实际的电路千差万别。尽管各种电路的复杂程度相异,完成的功能亦不相同,但它们都是由电源或信号源、用电设备(又称负载)和中间环节这三部分组成的。电路中电源或信号源的作用是将其他形式的能量转化为电能或产生信号向负载输出;用电设备的作用是将电能转化为人们需要的其他形式的能量或信号;而中间环节包括联接导线、开关等,用于将电源和负载相联,并加以控制构成电流的通路以传输电能。如一个简单的手电筒电路,其电源为干电池,它将化学能转化为电能并提供给负载;手电筒的负载为小灯泡,它将电能转化为光能供人们使用;手电筒的金属外壳起着联接导线的作用并附有开关,以便根据需要形成电流的通路使电能从电池传送到灯泡。

二、电路图

对实际的电路进行分析时需画出电路图。所谓电路图是一种反映实际电路电气结构的图形。在电路图中,用规定的图形符号代表电路中的各种器件,用实线代表联接导线。图 1-1 为两个电路图的例子。应注意,电路图上的图形符号并不反映实际器件的具体结构与功能,只表征器件的电特性,而且所表征的电特性也是理想化的。电路图上的元件又称之为理想化元件。

三、集中参数电路和分布参数电路

我们将看到,一个电路元件可用一个参数或多个参数予以表征,而不考虑它的

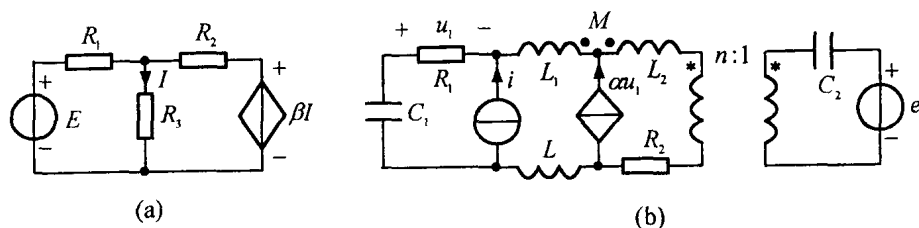


图 1-1 电路图的示例

几何尺寸,这种参数被称为集中参数。这实际上是采用了这样一种假定,即认为电磁波的传播速度为无限大,或者说电磁波在电路中的传播不需要时间,这样,元件及电路的几何尺寸变得无关紧要。

是否任何电路都可以采用这种假定,即可忽略元件的几何尺寸呢?实际并非如此,这取决于电路的最高工作频率所对应的波长与电路及元件几何尺寸的相对大小。仅当下式成立时,才可认为无需考虑元件的几何尺寸,并将元件用集中参数表征:

$$\lambda \geq 100l \quad (1-1)$$

式中, l 为元件的最大线性尺寸, λ 为电路中最高工作频率的波长,它和频率的关系为

$$\lambda = c/f \quad (1-2)$$

式中, $c = 3 \times 10^5 \text{ km/s}$, 为电磁波的传播速度。

如频率 $f = 50\text{Hz}$ 的工频正弦交流电,其波长 $\lambda = c/f = 6000\text{km}$ 。而一般用电器的尺寸远小于这个数值,故忽略元件的几何尺寸不会带来什么问题。但对电力传输线(高压输电线)而言,其长度为几百公里甚至上千公里,与电路频率的波长处于同一个数量级,此时若采用上述假设将导致不良甚至是错误的结果。又如在高频电子电路中,信号频率的波长为米,甚至是厘米数量级,与线路和电路器件的尺寸相当,这时也不能采用这种假设。

我们将可以忽略电磁波传播速度的有限性,而将元件用一些集中参数予以表征的电路称为集中参数电路,反之称为分布参数电路(电路中的参数是按几何尺寸连续分布的)。

集中参数电路和分布参数电路有着不同的分析方法。从数学的观点看,集中参数电路是可用常微分方程(以时间 t 为变量)描述的电路,而分布参数电路则需用偏微分方程(以时间和空间坐标为变量)加以描述。本书将首先讨论集中参数电路的分析方法,在最后两章讨论分布参数电路。

四、电路中的几个术语

下面结合图 1-2 所示的电路介绍电路中常用的几个重要名词。

1. 支路

电路中的每一个分支称为一条支路。如图 1-2 电路中的分支 baf 、 bd 、 df 等均为支路。这样,该电路共有六条支路。此外亦可将每一个二端元件(具有两个端钮的元件)甚至一对开路端钮,或者一段短接线视为一条支路。

2. 节点

电路中两条或两条以上支路的联接点被称为节点。若认为图 1-2 电路中的每一个二端元件为一条支路,则该电路共有七个节点;若将电路中的每一个分支视为一条支路,则该电路只有 b 、 d 、 e 、 f 四个节点。

电路中亦有“广义节点”的概念。所谓“广义节点”是指电路中的任一封闭面。如图 1-2 中由虚线构成的闭合路径 m 、 n 便是两个封闭面。“汇集”于每一个广义节点的支路为虚线即闭合面所切割的支路,如“汇集”于广义节点 m 的有 bc 、 de 、 fg 等三条支路。要注意构成广义节点的虚线即闭合面只能对任一支路切割一次。显然,“节点”是“广义节点”的特例,其封闭面只包围一个节点,仅切割与该节点相连的支路,如广义节点 n 就是节点 e 。

3. 回路

电路中从任一节点出发,经过某些支路和节点,又回到原来的起始节点(所有的节点和支路只能通过一次)的任一闭合路径被称为回路。如图 1-2 所示电路中的路径 $bcedb$ 、 $degfd$ 、 $bcegfdb$ 等均是回路,该电路共有七个回路。

回路不一定要全部由支路构成,也可以包括虚拟路径,如在图 1-2 中的回路 $chgec$ 便包括了虚拟路径 chg 。

回路的特例是“网孔”。所谓“网孔”是指在回路内部不含有支路的回路。如回路 $bcedb$ 便是一个网孔;但回路 $bcegfdb$ 不是网孔,因为在该回路内部有一条 de 支路。显然,该电路共有三个网孔。

4. 平面电路和非平面电路

若一个电路能画在平面上且不致有任何两条支路在非节点处交叉(即交叉而不相联接的情况),这种电路被称为平面电路,否则称为非平面电路。图 1-3(a)所示的电路是一个非平面电路。在该电路中出现了 R_5 支路和 R_6 支路交叉而不相联接的情况。但图 1-3(b)所示电路不是非平面电路,这是因为它能被改画为图 1-3(c)所示的电路,在此电路中, R_5 和 R_6 支路不再相交叉。

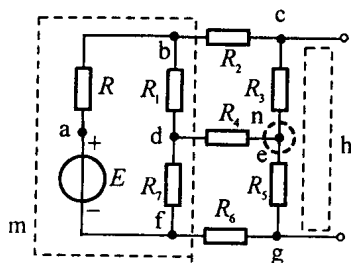


图 1-2 用以说明电路术语的电路

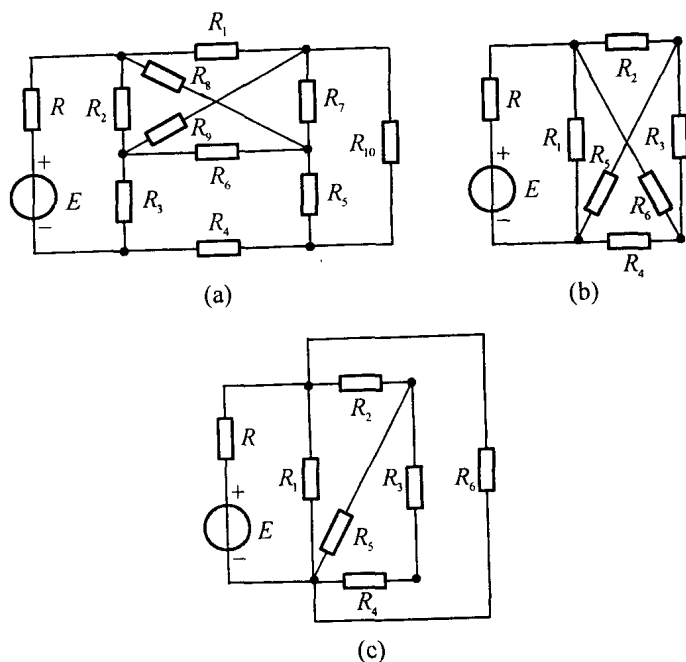


图 1-3 非平面电路和平面电路示例

§ 1-2 电流、电压及其参考方向

一、电流和电压

电流和电压是电路分析中常用的两个基本物理量,它们又被称为电路的基本变量。这两个物理量在物理学课程中已有详细的论述,这里只作一简要的回顾。

1. 电流

电荷有规则的定向运动或电场的变化产生电流。为表征电流的大小,引入电流强度的概念,它被定义为单位时间内通过导体横截面的电量,用符号 i 表示,即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-3)$$

电荷 q 的单位为 C,时间 t 的单位为 s,则电流强度 i 的单位为 A。实用中, i 的单位还有 kA、mA 和 μA 等。这些单位之间的换算关系为

$$1\text{kA} = 10^3\text{A} = 10^6\text{mA} = 10^9\mu\text{A}$$

电流强度通常简称为电流。这样,电流这一术语既表示一种物理现象,同时也代表一个物理量。

电流是有流向的,通常规定正电荷的运动趋向为电流的正方向(尽管实际上在

导体中运动的是负电荷)。我们把大小和流向均随时间变化的电流称为交变电流,大小和流向不随时间变化的电流称为直流电流。通常直流电流用大写字母 I 表示,交流电流用小写字母 i 表示。

2. 电压

带电粒子受到电场力的作用而运动,电流的形成是电场力做功的结果。为衡量电场力做功的本领,引入“电压”这一物理量。在电场中,任意两点 a 、 b 间的电压被定义为单位正电荷由 a 点移动至 b 点电场力所做的功,用符号 u 表示,即

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

能量 W 的单位为 J , 电荷 q 的单位为 C , 则电压 u 的单位为 V 。实用中,电压的单位还有 kV 、 mV 、 μV 等,这些单位间的换算关系为

$$1kV = 10^3V = 10^6mV = 10^9\mu V$$

电压是有极性的。若单位正电荷从 a 点移动至 b 点电场力做了正功,则 a 点为正极性, b 点为负极性;若单位正电荷从 a 点移动至 b 点电场力做了负功,则 a 点为负极性, b 点为正极性。若 a 点为正极性, b 点为负极性,则该电压表示为 u_{ab} 。这种双下标表示法中的前一个下标代表电压的起点,后一个下标表示电压的终点,这表明两个下标的位置不可随意颠倒,这需特别加以注意。可以证明,工频及直流电路中任意两点间的电压只和这两点的位置有关而与电荷的移动路径无关。

电压有交、直流之分。若电压的大小和极性均不随时间变化的称之为直流电压,并用大写字母 U 表示。交流电压通常用小写字母 u 表示。

在电路分析中,常用到“电位”的概念。电路中某点的电位被定义为该点与电路中参考点之间的电压,因此在谈到电位的同时,必须指出电路的参考点。参考点的电位为零,这样,在选择电路中的一点 O 作为参考点时,便意味着将 O 点置为零电位。电位的单位与电压的单位相同。

电位的表示符号为 U 或 φ , 并常用单下标作为点的标记。例如若选某电路中的 O 点为参考点,则 a 点的电位可记为 U_a 或 φ_a , 这意味着 $U_a = \varphi_a = U_{aO}$ 。

设电路中 a 、 b 两点的电位为 φ_a 、 φ_b , 则

$$\varphi_a - \varphi_b = U_{aO} - U_{bO} = U_{aO} - (-U_{Ob}) = U_{aO} + U_{Ob} = U$$

这个电压 U 是电场力移动单位正电荷从 a 点经 O 点至 b 点所做的功。前已指出,电路中两点间的电压与电荷移动的路径无关,因此 U 便是 a 、 b 两点间的电压。于是有

$$\varphi_a - \varphi_b = U_{ab} \quad (1-5)$$

这表明,电路中任两点间的电压等于这两点的电位之差,故电压又称作电位差。

由(1-5)式可见,当 $U_{ab} > 0$ 时, $\varphi_a > \varphi_b$, 这表明电压 U_{ab} 为正时, a 点的电位高于 b 点的电位,称 a 点为高电位端, b 点为低电位端,沿着电压的方向(从 a 到 b),电位在降低,因此电压亦称为“电位降”或“电压降”。

二、电流、电压的参考方向

前已述及, 电流、电压均是既有大小又有正负的代数量, 其正负与一定的方向

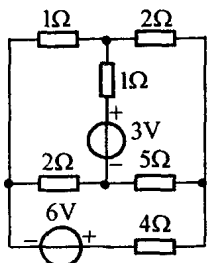


图 1-4 电路示例

相对应。由于在实际的电路中, 如图 1-4 所示的电路, 很难直接确定各支路真实的电流流向及电压的极性, 因此, 在电路分析中, 引入“参考方向”的概念, 用以确定电流、电压这些代数量, 从而确定电流、电压的数值大小和流向或极性。

应强调指出, 在电路分析中, 参考方向是一个非常重要的基本概念, 要特别予以重视。

1. 参考方向的概念

参考方向是一个人为假定的方向, 又称为假定正方向, 它和电压、电流数值的正、负号结合起来, 便能确定电量的真实方向。

(1) 电流的参考方向

在电路图中, 电流的参考方向用箭头符号表示, 如图 1-5 所示。在图 1-5(a) 中, I 为正值, 表明电流的实际方向与图中标示的方向一致, 即电流确是从 a 端流入, 从 b 端流出; 在图 1-5(b) 中, I 为负值, 表明电流的实际方向与标示的方向相反, 即电流实际是从 b 端流入, 从 a 端流出。尽管图 1-5(b) 中电流的实际流向与假定方向不一致, 也无需将电流的参考方向予以改

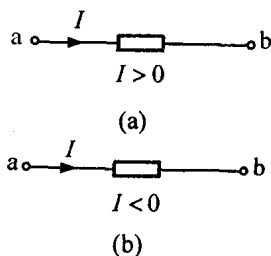


图 1-5 电流的参考方向

变, 因为参考方向和电流数值负号的结合便明确地指出了电流的实际方向。

(2) 电压的参考方向

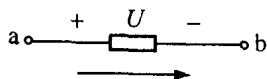


图 1-6 电压的参考方向

电压的参考极性称为电压的参考方向。在电路图中, 电压的参考方向有两种标示法。一种是用“+”“—”符号表示, 即高电位端标以符号“+”, 低电位端标以符号“—”; 另一种是用带尾的箭头表示, 即箭尾

朝向高电位端, 箭头指向低电位端, 如图 1-6 所示。在该图中, 若 $U > 0$, 表明电压的实际极性和参考方向一致, 即 a 为高电位端, b 为低电位端; 若 $U < 0$, 则情形与上面的刚好相反。

2. 关联的参考方向

实际进行电路分析时, 可同时标示某一支路电流和电压的参考方向。但为简便起见, 常采用“关联的参考方向”或“一致的参考方向”(又简称为关联正向)。所谓“关联的参考方向”是指电流的参考正向也就是电压的参考方向, 即电流从电压的正极性端流入, 从负极性端流出, 如图 1-7(a) 所示。相反的情形则称为非关联的参考方向, 如图 1-7(b) 所示。

采用了关联正向后,可在电路图中或者只标出电流的参考方向,或者只标出电压的参考方向。实际中,常见的是只标示电流的参考方向。一般地,在仅标出某一支路的电流(或电压)的参考方向而不加说明的情况下,均意味着采用的是“关联正向”。

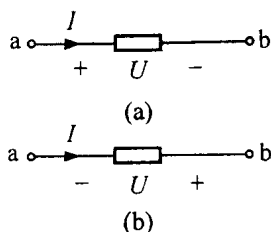


图 1-7 关联的参考方向和非关联的参考方向

3. 关于参考方向的说明

参考方向的概念虽然简单,但因为它的应用贯穿在整个电路分析课程的始终,是重要的基本概念之一,有必要再加以说明:

●参考方向虽然是一种假想的方向,它并不代表真实方向,但电量的真实方向却必须根据它和数值的正负号共同来决定。因此,离开了参考方向,电量的真实方向将无从确定,电量数值的正负号亦失去意义。

●定义电路元件的数学表达式以及进行电路分析的每一个数学方程式均和一定的参考方向相对应,若离开了参考方向,电路分析将无法进行。对电路进行分析计算时,必须首先给出电路中各支路电流、电压的参考方向,而这一点常易被初学者忽视。务必记住这一点:在分析、计算电路前,一定要在电路图中标示电压、电流的参考方向。

●参考方向是人为假定的,故参考方向的给定具有任意性,这意味着标示参考方向可随心所欲。但要注意,参考方向一经指定并在电路中标明后,则在整个分析计算过程中必须以此为准,不得再予变动。

三、电功率及其计算

下面介绍电路分析中的另一个重要物理量——电功率,并结合电功率的计算,进一步熟悉参考方向的概念。

1. 电功率

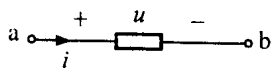


图 1-8 用小方框代表一个元件或多个元件的组合

图 1-8 所示为某电路的一部分,图中方框或为单一元件或为多个元件的组合。当该段电路通以电流后,将和外部电路发生能量的交换,即从外部电路吸收电能,或向外部电路送出电能。设它在时间 dt 内吸收或送出的电能为 dW ,则把在单位时间内吸收或送出的电能定义为电功率,简称为功率,并用符号 p

表示,即

$$p = \frac{dW}{dt} \quad (1-6)$$

功率的单位为 W,其他常用的单位有 kW、mW 等,它们之间的关系为

$$1\text{kW} = 10^3\text{W} = 10^6\text{mW}$$

在实用中,注意不要将功率的单位 W 和能量的单位 J 相混淆,功率和能量是两个不同的物理概念。

2. 电功率的计算

在电路分析中,一般不直接用 p 的定义式(1-6)计算功率,而转化用电压、电流计算。

在图 1-8 中,设电压、电流为关联的参考方向如图中所示,在电场力作用下正电量 dq 从高电位端 a 点转移至低电位端 b 点,电场力所做的功为

$$dW = udq$$

将上式代入功率的定义式(1-6)式,有

$$p = \frac{dW}{dt} = \frac{udq}{dt}$$

又 $i = \frac{dq}{dt}$,于是得

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

式中, p, u, i 为所求瞬时 t 的功率、电压、电流,称为瞬时功率、瞬时电压、瞬时电流。在直流的情况下,有

$$P = UI \quad (1-8)$$

这表明功率为电压、电流的乘积。若电压、电流的单位分别为 V 和 A,则功率的单位为 W。

正电荷在转移过程中电场力做了正功,意味着电路要由提供电场力的外部电路供给电能,也称该部分电路吸收功率;反之,若正电荷在转移过程中电场力做了负功,则意味着电路向外部电路提供了电能,也称该部分电路产生功率或发出功率。在上述功率计算式的推导中,采用的是关联的参考方向, p 是电路吸收的功率。若求得的功率值为正,表明电路确为吸收功率,若求得的功率值为负,则表明该部分电路实为发出功率。

如果取电压、电流为非关联正向,且仍约定 $p > 0$ 时为吸收功率, $p < 0$ 时为发出功率,则应在功率的计算式前冠一负号,即

$$p = -ui \quad (1-9)$$

$$\text{或} \quad P = -UI \quad (1-10)$$

例 1-1 (1)在图 1-9(a)中,已知元件 1 吸收的功率为 -20W , $I_1 = 5\text{A}$,求电压 U_1 ;

(2)在图 1-9(b)中,已知元件 2 发出的功率为 -12W , $U_2 = -4\text{V}$,求电流 I_2 。

解 (1)因电压、电流为关联正向,故功率计算式为

$$P_1 = U_1 I_1$$

$$U_1 = \frac{P_1}{I_1} = \frac{-20}{5}\text{V} = -4\text{V}$$

元件 1 吸收的功率为负值,表明实为发出功率,即发出功率 20W 。

(2)元件 2 发出的功率为负值,表明实为吸收功率,即吸收功率 $P_2 = 12\text{W}$ 。此时又因电压、

电流为非关联正向,故功率计算式为

$$P_2 = -U_2 I_2$$

$$I_2 = -\frac{P_2}{U_2} = -\frac{12}{-4} \text{ A} = 3 \text{ A}$$

由例题可见,计算功率时需注意以下两点:

(1) 应正确地选用功率计算式。记住,采用公式 $p = ui$ 或 $p = -ui$ 中的哪一个是根据电压、电流的参考方向来决定的。当 u, i 为关联正向时,用公式 $p = ui$; 当 u, i 为非关联正向时,用公式 $p = -ui$ 。

(2) 应正确地确定 p 值的正负号。当元件吸收正功率(或发出负功率)时, p 取正值;当元件产生正功率(或吸收负功率)时, p 为负值。

实际上,无论是功率计算式的选择还是 p 值符号的确定,都是按元件吸收功率(即 p 为正值时,元件为吸收正功率)这一前提来进行的。

当然,也可按发出功率来进行功率的计算,即约定 p 值为正时是产生正功率, p 值为负时是吸收正功率。不难理解,在此前提下的计算公式为

$$p = ui \quad (\text{非关联正向时})$$

$$p = -ui \quad (\text{关联正向时})$$

为避免混乱,在本书中约定按吸收功率这一前提进行计算,并约定不加以说明时, $p < 0$ 一律表示元件实际发出正功率, $p > 0$ 一律表示元件实际吸收正功率。

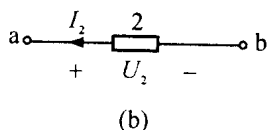
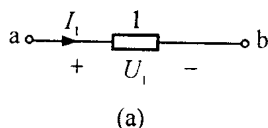


图 1-9 例 1-1 图

§ 1-3 电路的基本定律——基尔霍夫定律

基尔霍夫定律体现的是电路整体的基本规律,它反映了电路中各支路电压、电流之间的约束关系,基尔霍夫定律由基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律组成。

一、基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律(Kirchhoff's Current Law)又称为基尔霍夫第一定律,简称为 KCL,它说明的是电路中任一封闭面或任一节点上各支路电流间的约束关系,其具体内容是:在任一瞬时,流入电路中任一封闭面(或节点)的电流必等于流出该封闭面(或节点)的电流;或表述为:在任一瞬时,流出任一封闭面(或节点)的电流的代数和恒等于零。KCL 的数学表达式为

$$\sum_{k=1}^b i_k = 0 \quad (1-11)$$

式中, b 为所讨论的封闭面(或节点)相关联的支路数。若以流入封闭面(或节点)的电流为正,则流出封闭面(或节点)的为负;或以流出的电流为正,则流入的电流为负。如对图 1-10(a)所示的电路,写出节点 N 的 KCL 方程为

$$i_1 + i_2 + i_3 - i_4 = 0$$