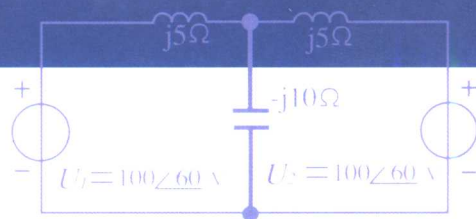
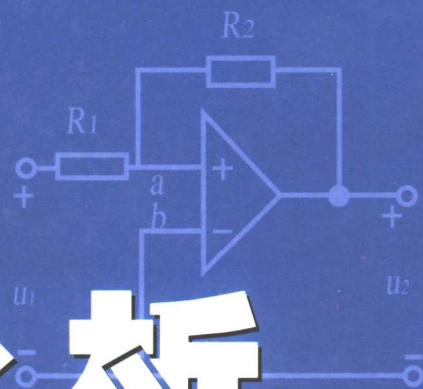
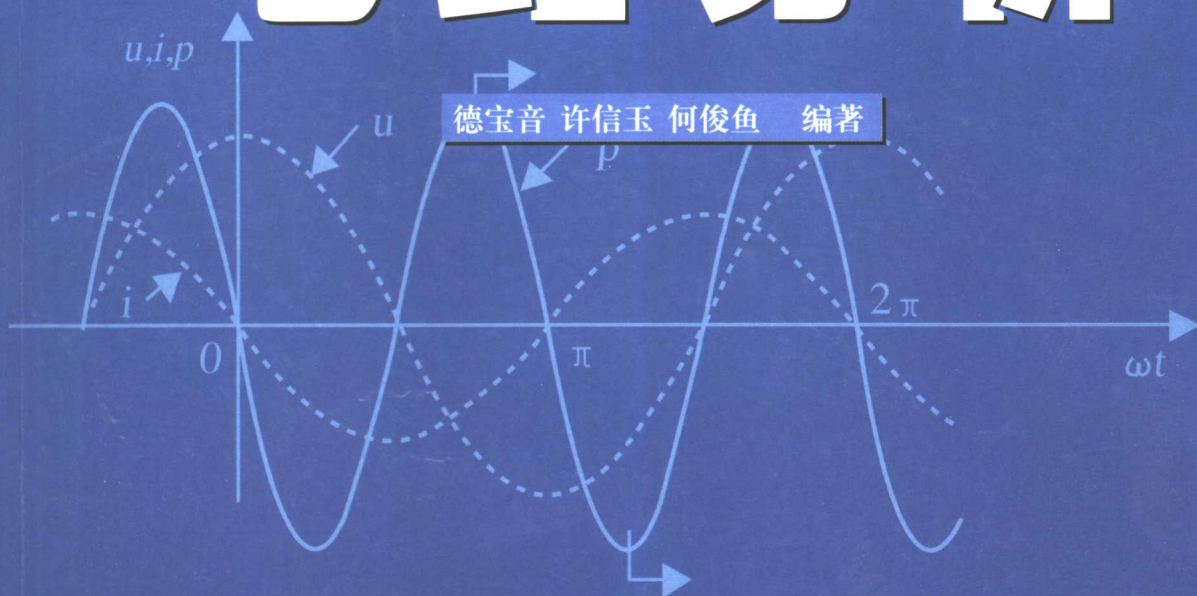


电路分析

德宝音 许信玉 何俊鱼 编著



北京广播学院出版社

电 路 分 析

德宝音 许信玉 何俊鱼 编著

北京广播学院出版社

1310/32

图书在版编目 (CIP) 数据

电路分析/德宝音, 许信玉, 何俊鱼编著. —北京: 北京广播学院出版社, 2000.5

ISBN 7-81004-871-6

I. 电… II. ①德… ②许… ③何… III. 电路分析 IV. TN711.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 09717 号

电路分析

编 著 德宝音 许信玉 何俊鱼

责任编辑 唐红梅

封面设计 恒真设计公司

版式设计 BBI 阳光工作室

出版发行 北京广播学院出版社

社 址 北京市朝阳区定福庄东街 1 号 **邮 编** 100024

电 话 65779405 或 65779140 **传 真** 010-65779140

经 销 新华书店总店北京发行所

印 刷 光华印刷厂

开 本 787×1092 毫米 1/16

印 张 25.5

字 数 554 千字

版 次 2000 年 5 月第 1 版 2000 年 5 月第 1 次印刷

印 数 1—1000

ISBN 7-81004-871-6/G·510 **定 价** 35.00 元

版权所有 翻印必究 印装错误 负责调换

前 言

本教材根据原国家教委的《电路分析基础课程基本要求》和高等学校电工课程指导委员会电路理论与信号分析小组的《电工电子系列教学内容与课程体系的研究与实践》，并结合我们多年来教学与改革实践的体会编写而成。供通信与电子、电磁场与微波、计算机等专业使用。

《电路分析》课程是相关专业的第一门技术基础课，作为这门课程的教材主要讨论电路的基本概念、基本理论和基本分析方法，为进一步研究电路理论和学习后续课程打下坚实的基础。

本教材以电阻电路分析、动态电路分析以及正弦稳态分析三大部分构成内容体系。这样安排主要是从教学考虑，符合教学中先易后难、循序渐进的原则，也符合学生的认知规律，有利于学生更好地掌握课程的知识点及它们的内在联系。

电路理论是电子科学技术的重要理论基础，电子科学技术的发展反过来又推动着电路理论的发展。为适应当前电子科学技术的飞速发展，本教材全部内容建立在模型的基础上，并将受控源系统地贯穿于整个电路分析中。

考虑到广播电视技术方面的需要，本教材加强了网络、谐振电路有关的内容。

本教材力求概念明确、重点突出、层次分明、便于阅读，并注重通过举例阐明具体的分析计算方法，注意正文与例题、习题的密切配合，以便读者能较好地理解和掌握基本内容，培养分析问题和解决问题的能力。为配合正文选编了不同层次的习题，题量较多，可酌情选用。

本教材由德宝音统稿，许信玉编写一、二、三、四章，何俊鱼编写五、六、七、八章，德宝音编写九、十、十一、十二章。在编写过程中，得到专业基础部、学院出版社领导及其他同志的大力支持，还得到很多同志的热情帮助，在此谨表衷心的感谢。另外，本书参阅了李瀚荪编的《电路分析基础》，C·A·狄苏尔和葛守仁著的《电路基本理论》（林争辉主译），江缉光主编的《电路原理》，霍锡真和侯自力编的《电路分析》等文献，得到很大的教益，在此一并致以诚挚的谢忱。

限于编者水平，书中定有不少疏漏和错误，恳请读者批评指正。

编 者

2000年4月

目 录

第一章 电路的基本概念和基尔霍夫定律.....	1
§1-1 电路及电路模型.....	1
§1-2 电路分析的基本变量.....	3
§1-3 基尔霍夫定律.....	8
习题一.....	13
第二章 简单电阻电路分析.....	17
§2-1 电阻元件.....	17
§2-2 独立电源.....	21
§2-3 等效二端网络的概念及应用.....	25
§2-4 T形网络和 π 形网络的等效变换.....	29
§2-5 实际电源的两种模型.....	32
§2-6 一些含源支路的等效规律.....	35
§2-7 受控源及含受控源电路的分析.....	40
§2-8 运算放大器及含运算放大器电路的分析.....	45
习题二.....	49
第三章 线性网络的一般分析方法.....	55
§3-1 网络拓扑的基本概念.....	55
§3-2 两类约束和基尔霍夫定律方程的独立性.....	59
§3-3 电路的独立变量.....	62
§3-4 网孔分析法.....	64
§3-5 节点分析法.....	71
§3-6 割集分析法.....	80
§3-7 回路分析法.....	84
习题三.....	85
第四章 网络定理.....	91
§4-1 叠加定理.....	91
§4-2 替代定理.....	94
§4-3 戴维南定理和诺顿定理.....	95
§4-4 最大功率传递定理.....	106
§4-5 互易定理.....	110
习题四.....	114
第五章 电容元件与电感元件.....	121

§5-1 电容元件·····	121
§5-2 线性非时变电容的伏安关系·····	122
§5-3 电容电压的连续性定理·····	126
§5-4 电容的储能·····	126
§5-5 电感元件·····	127
§5-6 线性非时变电感的伏安关系·····	129
§5-7 电感电流的连续性定理·····	132
§5-8 电感的储能·····	133
§5-9 电容及电感的串联和并联·····	134
§5-10 实际电容器和电感器的模型·····	138
§5-11 电容与电感的对偶关系·····	139
习题五·····	139
第六章 一阶电路·····	143
§6-1 电压、电流初始值的确定·····	143
§6-2 一阶电路的零输入响应·····	145
§6-3 一阶电路的零状态响应·····	148
§6-4 直流一阶电路的全响应·····	152
§6-5 直流一阶电路分析的三要素法·····	157
§6-6 阶跃函数与阶跃响应·····	162
§6-7 冲激函数与冲激响应·····	166
§6-8 电路对任意激励的零状态响应——卷积积分·····	171
习题六·····	176
第七章 二阶电路·····	181
§7-1 RLC 串联电路和 GCL 并联电路及对偶关系·····	181
§7-2 RLC 串联电路的零输入响应·····	183
§7-3 RLC 串联电路的阶跃响应·····	189
§7-4 RLC 串联电路的冲激响应·····	192
习题七·····	194
第八章 正弦动态电路的相量分析法·····	198
§8-1 复数的复习·····	198
§8-2 正弦电压、正弦电流及其相量表示·····	201
§8-3 用相量法求微分方程解的强迫分量·····	206
§8-4 正弦稳态响应·····	212
习题八·····	213
第九章 正弦稳态电路的电压、电流和功率·····	217

§9-1 基尔霍夫定律的相量形式·····	217
§9-2 三种基本元件的正弦稳态特性·····	220
§9-3 阻抗和导纳 相量模型·····	230
§9-4 正弦稳态混联电路的分析·····	237
§9-5 相量模型的网孔分析法和节点分析法·····	242
§9-6 相量模型的等效·····	247
§9-7 正弦稳态单口网络的功率·····	253
§9-8 正弦稳态最大功率传递定理·····	264
§9-9 三相电路的基本知识·····	267
习题九·····	276
第十章 耦合电感和理想变压器·····	282
§10-1 耦合电感的伏安关系·····	282
§10-2 耦合电感线圈的串联和并联·····	285
§10-3 空芯变压器电路的分析·····	290
§10-4 耦合电感的去耦等效电路·····	297
§10-5 理想变压器·····	299
§10-6 全耦合变压器·····	304
§10-7 铁芯变压器的模型·····	309
习题十·····	312
第十一章 双口网络·····	316
§11-1 双口网络的参数·····	317
§11-2 双口网络参数间的关系·····	330
§11-3 双口网络的等效电路·····	332
§11-4 双口网络的工作分析·····	335
§11-5 双口网络的联接·····	338
§11-6 双口网络的影像参数·····	344
§11-7 双口网络的工作传输参数和介入传输参数·····	350
习题十一·····	354
第十二章 电路的频率特性·····	359
§12-1 正弦稳态网络函数·····	359
§12-2 RC 电路的频率特性·····	362
§12-3 串联谐振电路·····	368
§12-4 并联谐振电路·····	381
§12-5 耦合双谐振电路·····	393
习题十二·····	398

第一章 电路的基本概念和基尔霍夫定律

本书讨论集总电路的分析。在第一章中，先介绍用集总参数表示的电路模型——理想电路元件的概念，然后讨论电路分析的基本变量，最后讨论电路的基本定律——基尔霍夫定律，它是今后讨论集总参数电路各种分析方法的理论基础，是本章的重点。

§ 1—1 电路及电路模型

电在日常生活，工农业生产，科研以及国防等领域都得到广泛应用。在通讯、自动控制、计算机、电力等各个系统的诸多电子设备中使用形形色色的电路来完成各种各样的任务。

各种实际电路都是由电器件如电阻器、电容器、电感线圈、变压器、晶体管、电源等相互以不同的形式联接组成的。不同的电路具有不同的功能。例如：供电电路用来传输和分配电能，通讯电路用来传输，加工和处理信号，计算机的存贮器电路用来存放数据、程序，测量电路用来测量电压、电流和电阻等等。电路种类繁多，功能各异。然而，不论其功能如何，其结构有多么不同，不论电路是复杂还是简单，却都具有共性，服从共同的基本规律。正是在这一共同规律的基础上形成了“电路理论”这一学科。

电路理论含有两大分支：一是电路分析，主要内容是在给定电路结构，元件参数的条件下，求电路中各处电压、电流的分配。二是电路综合，主要研究在给定输入和输出（即电路传输特性）的条件下，求电路的结构和参数。本书讨论前者，主要任务是研究线性，时不变电路的基本理论和基本分析方法。本课程是电路理论的入门课程，通过本课程的学习，应掌握电路的基本理论，基本分析方法，为进一步学习电路理论以及后续课程打下基础。

在大多数科学领域内，经常使用理想化的模型来描述所研究的物理系统，这种模型并不把系统中所发生的一切物理现象不分主次地全部表现出来，但是根据这个模型分析的结果，在所允许的精度范围内必须与物理系统的实际情况相符合。例如：在经典力学中，为了分析机械系统，采用质点作为小物体的模型，刚体作为实际物体的模型。电路理论同样也是建立在模型的基础上。

一个实际的电路，每一电器件中所发生的物理现象是很复杂的，在很多情况下除一个主要的物理现象外往往还伴随着其他的物理现象，例如：一个实际的线绕电阻器通过电流时，除消耗电

能这一主要物理现象外，还可能有一定的磁场和电场的效应；一个实际的电源也总会有一点内阻，因而，在使用时不可能保持一定的端电压；联接导线也总会有一点电阻。在分析电路时，如果把每一器件中的全部物理现象都加以考虑势必会使分析复杂化，给分析带来困难。因此，必须在一定的条件下，对实际器件加以近似化、理想化，忽略它的次要性质，用一个足以表征其主要性能的模型——理想电路元件表示。譬如说，一个新的干电池，其内阻很小可以忽略不计，把它看成一个端电压恒定的理想电压源；在联接导线很短的情况下，其导线的电阻完全可以忽略不计，可看作理想导体。

理想电路元件在客观上是不存在的，它与实际的电器件具有不同的含意。通常电器件是指具有两个或多个端子的物理实体，而理想元件是指具有两个或多个端子的模型，其端子上的物理量（电压或电流）遵循一定的数学规律。

每一个理想的电路元件（简称电路元件）都只表示一种物理现象。很多实际电器件的运用一般都和电能的消耗，电场、磁场的存贮这三种物理现象有关。由此，我们可定义出三种最基本的电路元件——电阻元件、电感元件、电容元件。其中，电阻元件是只表示消耗电能（电能转换为其他形式的能量）的元件，电感元件是只表示贮存磁场能的元件，电容元件只表示贮存电场能。三种理想元件的电路符号如图 1-1-1 所示

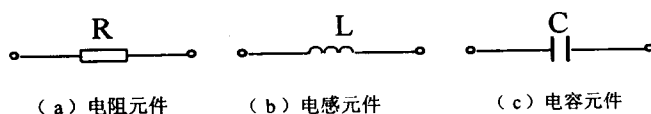


图1-1-1三种理想元件的电路符号

电路模型中除以上三种基本的电路元件外还需要电压源元件、电流源元件等其它电路元件，每一种电路元件都可用数学方法精确定义（后面讨论）因此又称它们为数学模型。

在一定条件下，各种实际器件都可以找出其电路模型，各种实际器件中有些其模型简单，可只用一个电路元件来构成，例如一个碳膜电阻器就可用一个电阻元件作为其模型；有些其模型比较复杂需要用几种理想元件组合才能建立其模型，例如一个实际的电源则需要用一个理想电压源和一个（理想）电阻元件的串联构成其模型。引入电路模型的最大优点在于可以用几种有限的（理想）电路元件来描述种类繁多的实际器件的物理特性，而具有很强的通用性和灵活性。至于如何用（理想）电路元件来构成实际器件的模型不是本课程所要讨论的问题。

（理想）电路元件是抽象的模型，没有体积，其特性集中在空间的一点上，所以又称为集总参数元件，所谓“集总”的另一含意为原本同时存在且又发生在整个器件之中，并交织在一起的物理现象，假定这些现象分别集中在一起，用完全分开的所谓“集总参数元件”（简称“集总元件”）来构成模型。具有两个端子的元件（如上述三种元件）称为二端元件（或称单口元件）。除

二端元件外还有四端元件（双口元件）如受控源、耦合电感、变压器等。

由集总元件组成的电路模型称为集总电路，在求实际器件的模型时，采用上述的集总假设是有条件的。集总意味着把器件中的电场和磁场分隔开，电场只与电容元件相关联，磁场只与电感元件相关联。这样，两种场之间就不存在相互作用。而电场与磁场间的相互作用将产生电磁波一部分能量将通过辐射损失掉。因此，只有在辐射能量可以忽略不计的情况下才能采用“集总”的概念。这就要求元件的尺寸 L 远小于正常工作频率所对应的波长 λ

$$\text{即 } L \ll \lambda, \lambda = c/f \quad C = 3 \times 10^8 \text{ m/s (光速)}$$

例如电力网的交流电频率为 50Hz，对应的波长为 6000 km，对实验室的设备来说，其尺寸与这一波长相比可以忽略不计。因此，可以采用集总参数的电路，而对远距离的通信线路和电力输电线则不满足上述条件，就不能用集总参数电路而必须采用分布参数电路，或者应用电磁场理论来进行分析。当满足集总参数条件时，就可以采用由分立元件组成的集总参数电路模型。

本书只对集总参数电路进行分析。因此，以后我们将省略“集总”二字。集总假设是本书最主要的假设，今后所讨论的电路的基本定律及以基本定律为基础推出的各种分析方法必须在满足这一假设的前提下才能使用。

最后需要指出的是：电路理论所分析的对象是从大量实际电路中抽象出来的电路模型（简称电路）而不是实际电路。对电路进行分析，也只是分析电路中电流的流通情况，以及电路中各元件的电压、电功率等。而不讨论这一电路的具体作用。

§ 1—2 电路分析的基本变量

在分析电路时，经常遇到的问题是给定电路结构、元件参数和激励的情况下求解电路中各个支路电流和电压值。当然经常也需要求出电路各部分的功率，但是只要求得电路的电流和电压值就可以确定该电路的性能。因此，电流和电压值是衡量电路性能的两个重要物理量故称为电路的基本变量。

1—2—1 电流及其参考方向

在物理学中已经知道，带电粒子有规则的运动形成电流。我们把每单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流强度，简称电流，用以衡量电流的大小，电流用符号 i 表示。

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

电流实际上是由导体内的自由电子在电场的作用下有规则地移动形成的，但习惯上规定正电荷移动的方向为电流的真实方向。如果电流的大小和方向均不随时间变化，则这种电流叫恒定电流，

简称直流，习惯记作 DC，用大写字母 I 表示。如果电流的大小和方向是随时间变化的，则称交流电流，简称交流，记作 AC。在简单电路中电流的真实方向较易判断，但复杂的电路往往难以事先判断电流的真实方向，而且电流为交流时就不可能用一个固定的箭头来表示其真实方向。为此引入参考方向的概念。所谓参考方向是在分析电路前先任意假设电流的方向，在电路中用箭头表示。参考方向的选取完全是人为的，可以任意选取。我们规定：当电流的参考方向与真实方向一致时，电流为正值。当两者相反时，电流为负值。

今后，在分析电路时，必须首先选定支路电流的参考方向，然后根据所选参考方向进行分析计算，所得结果为代数量。我们可以从最后得出的电流正负值来确定其真实方向。显然，在未标注电流参考方向的情况下其正负毫无意义。电流的参考方向尽可先任意假设，但一经选定，在分析电路的过程中就不可再变动。今后，在电路图中所标的电流方向都是指参考方向。电流的参考方向又叫电流的正方向。

在国际单位制中，电流、电荷和时间单位分别为安培（简称安，用 A 表示）库仑（简称库，用 C 表示）和秒（用 S 表示）
 $1A = \frac{1C}{1S}$ $1\text{安} = \frac{1\text{库}}{1\text{秒}}$

例 1—2—1 图 1—2—1 (a) 中的方框用来泛指元件，已知由 a 到 b 流过的直流电流为 1A。试问如何表示这一电流。

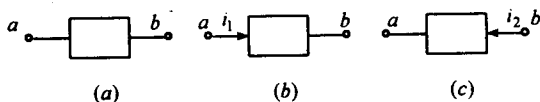


图 1—2—1

解 有两种表示方法：

(1) 图 1—2—1 (b) 所示，设 i_1 参考方向由 a→b

$$\therefore i_1 = 1 \text{ (A)}$$

(2) 图 1—2—1 (c) 所示，设 i_2 参考方向由 b→a

$$\therefore i_2 = -1 \text{ (A)}$$

显然，这两种表示方法间有： $i_1 = -i_2$

1—2—2 电压及其参考方向

电路中两点间的电位之差通常称为电压，用符号 u 表示。电路中 ab 两点间的电压表明了单位正电荷由 a 点转移到 b 点时所获得或失去的能量，即：

$$u = \frac{dw}{dq} \quad (1-2-2)$$

其中，dq 为由 a 点转移到 b 点的电荷量，单位为库仑 (C)；dw 为转移过程中，电荷 dq 所获得或

失去的能量，单位为焦耳（J）电压的单位为伏特，用符号 V 表示。

如果正电荷由 a 转移到 b 获得能量，则电位升高，即 a 点的电位低于 b 点。反之，正电荷由 a 转移到 b 失去电能，则电位降低，即 a 点电位高于 b 点，所以正电荷在电路中转移时电能的获得或失去体现为电位的升高或降低。大小和极性都不随时间而变的电压叫做恒定电压（或直流电压），用符号 U 表示。大小和极性都随时间变化的电压则称为交变电压（或交流电压）。

式（1—2—2）说明电压可正可负，和电流一样也是一个代数量。所以如同需要为电流规定参考方向一样，也需要规定电压参考极性。电路中电压的参考极性用“+”“-”号标注在元件或支路的两端。其中“+”号表示高电位，“-”号表示低电位，如图 1—2—2（a）所示。图中方框表示一个元件或一个二端網路。电压的参考极性也称作参考方向。在电路中也可以用箭头表示电压的参考方向，如图 1—2—2（b）所示，也可以用双下标表示电压的参考方向，如图 1—2—2（c）所示， u_{ab} 表示 a 为参考方向的高电位端，b 为参考方向的低电位端。由电压的参考极性和电压的正负值，就可以判断电位的高低。当电压为正值时，该电压的真实极性与参考极性相同；当电压为负值时，则表示该电压的真实极性与所选定的参考极性相反。可见，在未标电压参考极性的情况下，电压的正负值毫无意义。所以在求解电路时必须先选定电压的参考极性。

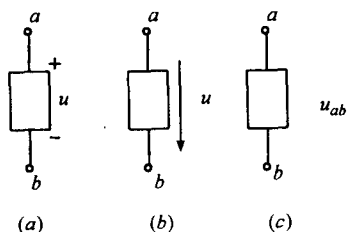


图 1—2—2

例 1—2—2 图 1—2—3（a）所示方框两端的电压为 1 伏，若已知正电荷由 b 点移向 a 点且获得能量

- （1）试确定电压的真实极性；
- （2）试为该电压选择参考极性，并写出相应的电压表示式。

解：（1）因为正电荷由 b 点到 a 点且获得能量所以电压的真实极性为 a 点为正而 b 点为负。

- （2）参考极性可以任选，因而有两种选择方式分别如图 1—2—3（b）、（c）所示。

图（b）中 $u_1 = 1\text{V}$ 图（c）中 $u_2 = -1\text{V}$

两种不同表示方法，电压表示式差一负号。

在电路分析时，我们既要为支路电流假设参考方向，也要为支路电压假设参考极性，原则上，两者可以任意选择彼此独立无关。

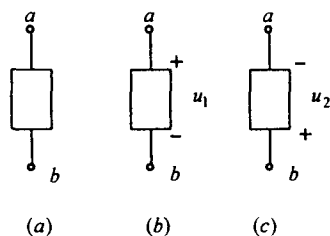


图 1—2—3

但为了方便起见,我们常采用关联的参考方向,所谓关联参考方向是指电流的参考方向由电压参考极性的正极指向负极,如 1—2—4 (a) 所示。在关联参考方向下,只要标出电流的参考方向或电压的参考极性中任何一个即可,如图 1—2—4 (b)、(c) 所示,不必将两者同时标出。换言之,如只标其中一个即可认为两者取了关联参考方向。

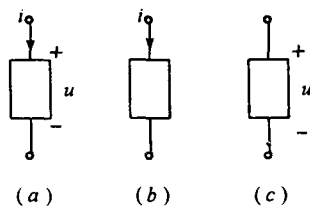


图 1—2—4

1—2—3 功率

功率是电路分析中常用到的另一个物理量用符号 P 表示。功率定义为电路在单位时间内吸收的电能为 dw 时则电路吸收的功率为:

$$P = \frac{dw}{dt} \quad (1-2-3)$$

根据电压、电流的定义,当 u 、 i 取关联参考方向时,功率又可表示为

$$P = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = u \cdot i \quad (1-2-4)$$

因为 u 、 i 均为代数量所以功率也应为代数量。当 $p > 0$ 时表示该支路确实吸收功率。当 $p < 0$ 时表示该支路实为产生功率。

如果支路电压和电流取非关联参考方向,则可看成电流与图 1—2—4 (a) 所示的方向相反,故功率的表示式为:

$$P = -u \cdot i \quad (1-2-5)$$

根据所取电压、电流参考方向是否关联，可选用相应的计算公式，但不论式(1—2—4)还是(1—2—5)都表示吸收的功率。若算出的功率为正，表示支路吸收功率，若算出的功率为负表示支路实为产生功率。

在国际单位制中，电压的单位为伏；电流的单位为安，则功率的单位为瓦特，简称瓦(W)。

伏(V)、安(A)和瓦(W)分别是电压、电流和功率的主单位。但是在实际应用中有时感到这些单位太大或太小，使用不便。为此常采用辅助单位，在其主单位前冠以表1-2-1所示的词头或乘以因数 10^n 来表示。

例如：

$$3\mu A(\text{微安}) = 3 \times 10^{-6} A(\text{安})$$

$$5mV(\text{毫伏}) = 5 \times 10^{-3} V(\text{伏})$$

$$2Kw(\text{千瓦}) = 2 \times 10^3 W(\text{瓦})$$

表 1—2—1 部分国际制词头

国际符号	中文名称	因数	国际符号	中文名称	因数
T	太	10^{12}	m	毫	10^{-3}
G	吉	10^9	μ	微	10^{-6}
M	兆	10^6	n	纳	10^{-9}
K	千	10^3	P	皮	10^{-12}

例 1—2—3 试计算图 1—2—5 所示各种元件的功率，已知图(a)中 $u=-2V$ ， $i=-5A$ ；图(b)中 $u=-8V$ ， $i=2A$ ；图(c)中 $u=12V$ ， $i=-3A$ 。

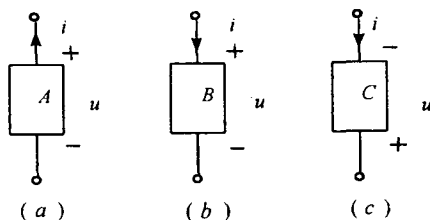


图 1—2—5

解 图(a)中电压、电流取非关联参考方向，故采用(1—2—5)式。

$$P = -ui = -(-2)(-5) = -10 \text{ (W)}$$

$P < 0$ 说明元件 A 产生 10 瓦的功率。

图(b)中电压、电流取关联参考方向，故采用(1—2—4)式。

$$P = ui = (-8) \times 2 = -16 \text{ W (产生 16 瓦的功率)}$$

图(c)中电压、电流取非关联参考方向, 所以有

$$P = -ui = -(-12)(-3) = 36\text{W}$$

$p > 0$ 说明元件 C 吸收 36 瓦功率。

§ 1—3 基尔霍夫定律

在讨论定律之前, 先介绍有关的几个名词。

支路: 电路中每一个二端元件称为一条支路。

节点: 电路中支路的汇接点称为节点。图 1—3—1 所示电路中共有 6 条支路, 5 个节点。显然节点是两条或两条以上支路的联接点。

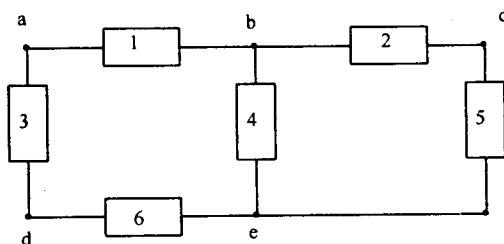


图 1—3—1

为方便起见, 在分析电路时, 往往把多个元件串联而成的一段电路看成一条支路。例如: 在图 1—3—1 中把 1, 3, 6 元件的串联作为一条支路, 2 和 5 元件的串联作为一条支路。在这种情况下, 节点定义为三条或三条以上支路的联接点, 如 b 和 e 点, 而 a 和 c 和 d 点就不再是节点。这样的定义, 显然比前面的定义支路数和节点数要减少, 对分析求解电路是方便的。

回路: 电路中的任一个闭合路径称为回路。例如: 图 1—3—1 中, 由元件 1, 4, 6, 3 构成的路径, 由元件 1, 2, 5, 6, 3 构成的路径都是回路, 该电路有三个回路。

网孔: 在回路内部不另含有支路的回路称为网孔。例如图 1—3—1 中元件 1, 3, 4, 6 组成的回路。元件 2, 4, 5 组成的回路均为网孔, 该电路有两个网孔。

在集总参数电路中, 任何时刻流经元件的电流以及元件端电压都是可确定的物理量。我们把通过元件的电流和元件的端电压分别称为支路电流和支路电压, 它们是集总电路中分析和研究对象。

集总电路的基本规律, 包含两方面的内容。一是电路整体结构遵循的规律, 另一个是电路的各个组成部分的特性如何, 这两方面都是不可少的。因为, 电路是由元件组合而成的, 整个电路

表现如何,既要看这些元件是怎样联接而成的一个整体,又要看每个元件各具有什么特性。本节先讨论电路整体的基本规律,即基尔霍夫定律①。

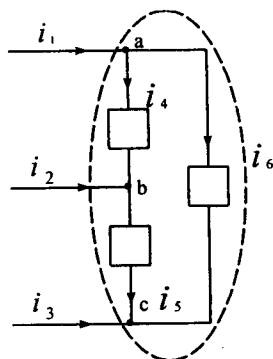
1—3—1 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律又称基尔霍夫第一定律,简写 KCL^②,它表明了电路中各支路电流之间必须遵循的规律,这规律体现在电路的各个节点上,具体内容是:对于任一集总电路中的任一节点,在任一时刻,流出(或流入)该节点的所有支路电流的代数和为零。其数学表示式为:

$$\sum_{k=1}^K i_k = 0 \quad (1-3-1)$$

式中, i_k 为流出(或流入)节点的第 k 条支路的电流, K 为与节点相联的支路数

观察图 1—3—2 可得:



$$\begin{aligned} \text{节点: } a: i_1 - i_4 - i_6 &= 0 & (1) \\ b: i_2 + i_4 - i_5 &= 0 & (2) \\ c: i_3 + i_5 + i_6 &= 0 & (3) \end{aligned} \quad (A)$$

图 1—3—2

在列以上三个式时我们取参考方向流进节点的电流为正,不难看出对每个节点而言流入的电流与流出的电流相等。因此,

KCL 的数学表示式又可以写成:

$$\sum i_{\text{出}} = \sum i_{\text{入}} \quad (1-3-2)$$

基尔霍夫电流定律不仅适用于节点,也可以推广运用到电路中任一假设的封闭面(即高斯体),例如在图 1—3—2 中虚线所示的封闭面 S 。把对节点 a 、 b 、 c 所列的三个方程相加可得

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0 \quad (B)$$

可见流入封闭面 S 的所有支路电流的代数和为零。这种封闭面在电路中也称广义节点。在列写 KCL 方程时,根据各支路电流的参考方向,以流入为正(流出为负)或是以流出为正(流入为负)两种标准可任选,但一经选定必须以此为准。

①基尔霍夫定律又称克希荷夫定律

②KCL 是 Kirchhoffs Current Law 的缩写。

电流定律实质是电流连续性原理,是电荷守恒定律的体现。由基尔霍夫电流定律可看到:(1) 每一个 KCL 方程中的各个电流彼此相约束。如(A)式(1)中若已知 i_1 和 i_4 的数值, i_2 的值随之而定不能自由取任何其它值。KCL 为电流施加的这种约束关系我们称之为电流线性相关它在电路理论中是一个十分重要的概念。(2) KCL 适用于任何集总参数电路,它仅与电路中节点与支路的联接方式有关,而与元件的特性无关。

例 1—3—1 图 1—3—3 表示某复杂电路中的一个节点 a, 已知

$i_1 = 5A, i_2 = 2A, i_3 = -3A$, 求 i_4 。

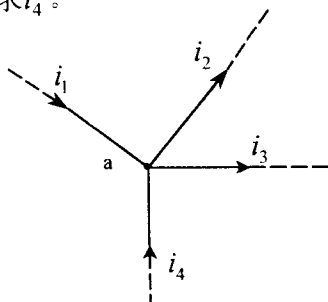


图 1—3—3

解 i_1 、 i_2 、 i_3 和 i_4 是汇集于节点 a 的所有支路电流, 满足 KCL, 以流入为正列方程得

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

$$i_4 = i_2 + i_3 - i_1$$

把已知数据代入得: $i_4 = (2) + (-3) - (5) = -6A$

i_4 为负值说明 i_4 的实际方向与参考方向相反。在这种情况下, 尽可不必去把图中所标的方向改过来, 图内所标的参考方向和所得的结果已足以说明其真实方向。

例 1—3—2 求图 1—3—4 所示电路中的电流 i_3 。

已知: $i_1 = 2A, i_2 = -1A$

解 对图中虚线所示闭合面, 应用 KCL 得

$$i_1 - i_2 + i_3 = 0$$

代入数据

$$i_3 = i_2 - i_1$$

$$i_3 = (-1) - (2) = -3(A)$$

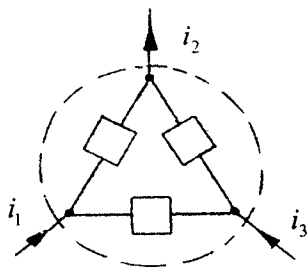


图 1—3—4

通过这两个例题, 我们可看到在运用 KCL 时常需要和两套符号打交道。一是方程中各项前的正、负号, 其正负取决于电流参考方向对节点的相对关系, 如以流出为正, 流入为负; 另一是电流本身数值的正负号, 其正负取决于电流的真实方向与参考方向的关系, 如上式中各括弧内的符