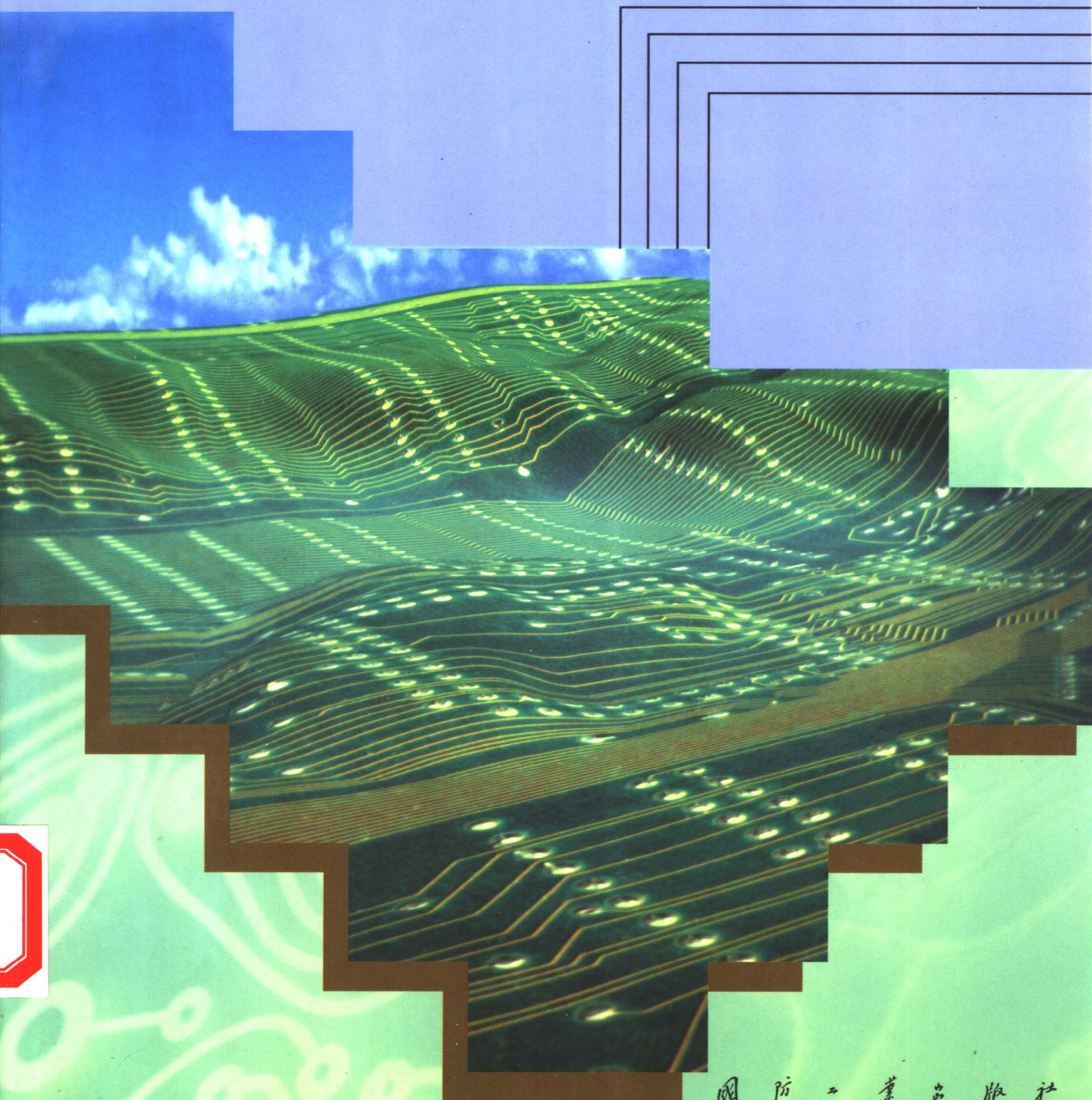


康巨珍 康晓明 编著

高等工业学校、高等职业教育院校教材

DIANLU FENXI

电 路 分 析



國防工業出版社

高等工业学校、高等职业教育院校教材

电 路 分 析

康巨珍 康晓明 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书参照高等工业学校《电路课程教学基本要求》，采用国际上教材最新编写原则——知识结构、单元结构、题材结构的方法编写的，内容新颖、系统严密、叙述独特。全书共十三章和四个附录，即电路基本概念和基本定律、电阻电路的等效变换、网络分析的一般方法、正弦交流电路、互感电路、谐振电路、三相电路、非正弦周期电流电路、动态电路的时域分析、动态电路的复频域分析、网络图论与状态方程、二端口网络、非线性电路和一个附录：磁路。

本书各章均有内容提要和学习要求，章末有小结和习题，书后附有各章习题答案。

本书可作为高等工业学校、高等职业教育院校电类专业本科生、专科生、函授生及自学考试读者的教材，也可供其他相近专业师生及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析/康巨珍,康晓明编著. —北京:国防工业出版社,2003.8
ISBN 7-118-03153-4

I. 电... II. ①康... ②康... III. 电路分析—高等学校:技术学校—教材 IV. TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 031306 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

开本 787×1092 1/16 印张 24 1/4 560 千字

2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:32.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

众所周知,电在国民经济迅速发展和人民生活水平不断提高的今天,占有极其重要的位置。我国对电磁现象发现比较早,古籍中就有“慈石召铁”和“琥珀搭芥”的记载。王衡著“论衡”中已载有用磁石来指示方向和校正时间。到18世纪末特别是19世纪初,随着生产技术的不断发展,电在世界范围的发展更迅速。从1785年法国物理学家库仑(C. A. Coulomb),用实验确定静止电荷间相互作用力建立库仑定律开始,到1958年研制成大规模集成电路,在一块6平方毫米的硅片上制造出完整计算机止,人类从发现电磁现象,到计算机从电子管、晶体管、集成电路、大规模集成电路进入第四代产品,每秒钟能运算几百万、几千万乃至上亿次,还不到两个世纪。特别是19世纪到20世纪初是电发展的高峰期,如:1820年奥斯特(H. C. Oersted)用实验发现电流对磁针有力作用,同年安培(A. M. Ampere)确定了通有电流的线圈有磁性作用,揭示了磁性本质。1821年法国数学家泊松对电容所储存的能量进行了数学论证,电容元件就是电容器模型。1826年德国物理学家欧姆(G. S. Ohm)用实验确定 $u= Ri$ 得出欧姆定律。1831年英国物理学家法拉第(M. faraday)发现电磁感应现象,提出电感线圈模型。1833年俄国物理学家楞次(З. Х. Ленц)确定感应电流方向(建立楞次定则)。1834年俄国雅可比(Ъ. С. Якоби)制造出第一台电动机。1837年莫尔斯(F. B. Mqrse)发明电报。1844年楞次与英国物理学家焦耳(J. P. Joule)分别独立地确定了电流热效应定律(焦耳—楞次定律)。1847年德国物理学家基尔霍夫提出基尔霍夫定律。1864年美国贝尔(A. G. Bell)发明电话。1888年赫兹(Hertz)用实验获得电磁波。1895年意大利马克尼(Marconi)和俄国波波夫(A. С. Попов)成功地实现了横渡大西洋的无线电通话。1904年美国弗莱明(Fleming)用爱迪生发现的热电子效应(1888年)制造出电子二极管。1906年美国德福雷斯(Deforest)发明三极管。1948年美国贝尔实验室研究人员发明晶体管。1952年研究制造成功数字控制机床,利用电子计算机对几十台乃至上百台数字控制机床进行集中控制。

这里特别值得一提的是:1946年第一台计算机问世,它是德国数学家莱布尼兹根据我国八卦图发明的计算机二进制(注:据深圳晚报1997年11月17日载,世界第一台计算机是1944年1月10日在英国布莱奇利园区启用的“科洛萨斯”密码破译计算机)。

电的内容及研究方向大体分为三类：(1) 电力——主要研究电能生产、发展及应用；(2) 电子——主要研究电子器件生产发展及应用；(3) 无线电——主要研究通信、遥控、导航等电路技术。从“三电”的共同性基本规律与相互关系出发，研究电与磁的基本规律与分析方法称为电工原理。电工原理主要包括两大部分，一部分是路，即电路和磁路；一部分是场，即电场和磁场。研究路的理论和分析方法称为电路理论；研究场的理论和分析方法称为电磁场理论。(1) 电磁场理论主要是在三维空间中研究各种电磁现象，例如电荷分布、电流密度分布、电磁波传播以及电磁能量辐射等。(2) 电路理论则是在空间特定情况下，研究由“集总”参数元件所构成的集总电路中电能或电信号从一个电器件向另一个电器件传输时所涉及到的电压、电流及功率等的电磁过程，而把元件当作理想化处理，即认为这时电路的热能消耗都集中在电阻元件中，磁场能集中在电感元件中，电场能集中在电容元件中而联接元件的导线仅仅是构成电流的通路，无任何其它能量交换。这样假设的目的可使描述用电设备中的电磁过程，其数学模型(方程式)的独立变量只是时间而无空间坐标，从而使分析计算大为简化。这样做的根据，是电路由集总参数元件所组成。

所谓“集总”参数元件，是指在任何时候从二端理想元件一个端点输入的信号必等于从另一个端点输出的信号，其它均不变，如图 0—1 所示。判断实际部件(或元件)是不是集总参数元件的方法是：当部件(或元件)的几何尺寸远远小于它所在电路工作时的电磁波的波长，这时把实际元件看作集总参数元件。换句话说讲在电路工作时，只考虑元件的主要电磁性质(单一作用)忽略其它电磁性质，这时把实际元件抽象成一种理想化模型，称作理想元件，简称元件。例如图 0—2 所示电炉，当电流通过炉丝时耗去电能产生热效应呈电阻作用，同时电流通过炉丝时在其周围激发出磁场，因而又有电感作用，而且任一瞬间炉丝两点间电位也不会相等，故又有电场作用，呈电容特性，但主要电磁作用是消耗电能，因此用电阻元件来模拟(电炉工作在 50Hz 市电下，其波长 $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{50} = 6000\text{km} \gg$ 元件本身几何尺寸)。

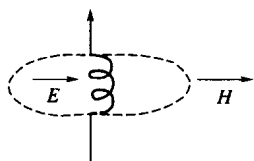


图 0—1

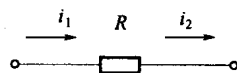


图 0—2

今后所讨论的电路问题，无特别说明均指“集总”参数而言。

电路理论所研究的内容主要有两大分支，即电路分析和电路综合。电路分析是指给定电路的结构形式及有关参数后来计算电路各部分的电压和电

流,研究电路的激励与响应之间关系,从而分析电路特性等,这是本课程所要讨论的内容;电路综合是根据要求给定电路特性,而后设计电路形式并计算电路元件参数,从而确定电路结构,这在电子技术及其有关课程中讨论。

本书采用知识结构、单元结构及题材结构的原则编写,内容新颖、系统严密、叙述独特,可作为 21 世纪教材。书中带(*)的表示加深加宽内容或随不同专业而选学的内容。

本书第一章、第二章、第五章、第七章、第十章和第十一章由康晓明编写,其余各章由康巨珍编写,全书由康巨珍统稿。全部书稿经中国高等师范电子学会组织有关专家徐克服教授、黄庆元教授、王银仑教授审阅。他们提出了许多宝贵意见和建议,在此深表谢意。

限于作者水平,加之时间仓促,书中缺点和错误在所难免,诚望读者批评指正。

编 者

2002 年 12 月

目 录

第一章 电路基本概念和基本定律	1
1.1 电路及电路模型	1
1.2 电流参考方向及电压参考方向	2
1.3 电功率	5
1.4 电阻元件	7
1.5 电容元件	10
1.6 电感元件	13
1.7 电压源和电流源	15
1.8 受控源	17
1.9 基尔霍夫定律	18
* 1.10 几种典型波形	21
小结	23
习题	24
第二章 电阻电路的等效变换	28
2.1 电阻串联电路	28
2.2 电阻并联电路	30
2.3 电阻串并联电路	32
* 2.4 电阻的星形联接与三角形联接的等效变换	38
2.5 电压源、电流源及其等效变换	43
* 2.6 电路中的对偶关系	47
小结	48
习题	49
第三章 网络分析的一般方法	52
3.1 支路电流法	52
3.2 回路电流法	54
3.3 节点电位法	58
* 3.4 回路分析法与割集分析法	62
3.5 叠加原理	65
3.6 替代定理	67
3.7 戴维南定理和诺顿定理	68
小结	76
习题	78

第四章 正弦交流电路	81
4.1 正弦交流电路的基本概念	81
4.2 正弦量的三要素及同频率正弦量之相位差	84
4.3 正弦量的有效值	86
4.4 正弦量的相量表示法	88
4.5 电阻中的正弦电流	93
4.6 电感中的正弦电流	95
4.7 电容中的正弦电流	97
4.8 RLC 串联电路·复阻抗	100
4.9 RLC 并联电路·复导纳	102
* 4.10 复阻抗与复导纳的等效变换	104
4.11 正弦交流电路的功率	105
4.12 功率因数的提高	111
4.13 正弦交流电路的稳态计算	112
* 4.14 最大功率传输	118
小结	119
习题	122
第五章 互感电路	127
5.1 互感概念	127
5.2 空心变压器	131
5.3 理想变压器	134
* 5.4 变压器的电路模型	136
5.5 互感线圈的联接	139
* 5.6 互感消除法	141
* 5.7 互感电路的计算	142
小结	145
习题	146
第六章 谐振电路	148
6.1 串联谐振电路的基本特性及能量关系	148
6.2 串联谐振电路的谐振曲线和选择性	152
* 6.3 并联谐振电路	156
小结	160
习题	161
第七章 三相电路	164
7.1 三相电路的基本概念	164
7.2 三相电源的联接	166
7.3 三相电路负载的联接	169
7.4 对称三相电路的计算	171
* 7.5 不对称三相电路的分析	173

* 7.6 三相电路的功率与测量	176
小结	184
习题	185
第八章 非正弦周期电流电路	187
8.1 非正弦周期电流电路的概念	187
8.2 周期函数展开为傅里叶级数	188
* 8.3 周期函数的近似计算	193
8.4 傅里叶级数指数形式与傅里叶积分	196
8.5 周期性非正弦函数的有效值、平均值和平均功率	199
8.6 周期性非正弦电流电路的计算	202
* 8.7 滤波器	206
* 8.8 对称三相电路中的高次谐波	208
小结	210
习题	211
第九章 动态电路的时域分析	213
9.1 电路过滤过程的基本概念	213
9.2 一阶电路的零输入响应	216
9.3 一阶电路的零状态响应	222
9.4 一阶电路的全响应	227
9.5 计算一阶电路全响应的三要素法	230
* 9.6 单位阶跃函数与阶跃响应	236
* 9.7 单位冲激函数与冲激响应	238
* 9.8 二阶电路的零输入响应	240
小结	248
习题	249
* 第十章 动态电路的复频域分析	252
10.1 拉普拉斯变换	252
10.2 拉普拉斯变换的基本性质	254
10.3 展开定理	257
10.4 电路定律的复频域形式	262
10.5 拉普拉斯变换分析线性电路过渡过程	265
* 10.6 卷积和卷积定理	269
* 10.7 假设表达式	272
小结	275
习题	276
* 第十一章 网络图论与状态方程	279
11.1 支路方程及理想电源的移位	279
11.2 网络拓扑图及关联矩阵	282
11.3 节点分析法	283

11.4	大规模网络的回路分析法与割集分析法	290
11.5	状态方程	297
	小结	301
	习题	302
第十二章	二端口网络	304
12.1	二端口网络的概念	304
12.2	二端口网络的方程与参数	305
12.3	二端口网络的传递函数	314
12.4	二端口网络的特性阻抗	316
12.5	二端口网络的等效电路	318
* 12.6	二端口网络的联接	320
* 12.7	运算放大器与回转器	326
	小结	334
	习题	335
第十三章	非线性电路	338
13.1	非线性电路的概念	338
* 13.2	非线性电路的方程编写	342
13.3	非线性电路的图解法	344
13.4	小信号分析法	347
* 13.5	牛顿—拉夫逊法	349
	小结	351
	习题	351
* 附录 I	磁路	353
* I.1	磁场的基本物理量及其相互关系	353
I.2	铁磁性物质的磁化曲线	355
I.3	磁路与磁路定律	356
I.4	恒定磁通磁路的计算	359
I.5	交变磁通磁路中的能量损耗与波形畸变	363
	小结	364
	习题	365
附录 II	习题答案	366
附录 III	常用希腊字母表	375
附录 IV	常用物理量及其主单位	376
	参考书目	378

第一章 电路基本概念和基本定律

本章主要研究电流、电压及其参考方向;电功率;电阻、电容和电感及其约束关系;电压源和电流源;受控源;基尔霍夫定律。

学习本章要求:正确理解并牢固掌握电流、电压参考方向概念;理解并掌握电功率 $P>0$ 和 $P<0$ 的意义;熟练掌握电阻、电容和电感三类元件的约束关系;理解并掌握电压源和电流源的特点;熟悉四种受控电源,掌握含受控源电路的计算;熟练掌握基尔霍夫定律的应用。

1.1 电路及电路模型

由各种实际元件(或部件)联接起来构成的电器系统,称为实际电路。例如在手电筒里,按照要求装入干电池,合上开关后灯泡发光,关闭开关后灯泡熄灭。这个装有干电池的手电筒就是实际电路,如图 1—1a)所示。其中干电池是一种电源,它是供给实际电路电能的;电灯泡是把电能转换成其它形式能量的一种用电设备,称为负载;电筒皮和开关联接电源和负载,起导线作用。

实际电路的主要作用是:(1)转换能量,如电炉把电能转换成热能、电灯泡把电能转换成光能、电动机把电能转换成机械能、扬声器把电能转换成声能等。(2)处理信号,如放大器把微弱信号放大、调谐电路从各种不同的信号源中选出需要的信号等等。

实际电路,根据其组成,性质和作用有各种不同的分类,但就实际电路是否满足线性关系,主要分为两类:一类是线性电路,它是由线性元件所组成描述这类电路的数学方程为线性方程;另一类是非线性电路,组成这类电路的元件至少含有一个非线性元件,描述这类电路的数学方程为非线性方程。在实际电路中,不论是线性电路还是非线性电路,虽然组成实际电路的元件形形色色、种类繁多,但当工作时,只要组成实际电路的各种元件(或部件)其几何尺寸远远小于通过该元件(或部件)的电磁波的波长时,则把该元件(或部件)看成集总参数元件。由集总参数元件组成的电路称为集总电路。

在集总电路中,当电路工作时,只考虑通过该电路各元件(或部件)的主要电磁性能,忽略其次要电磁性能。也就是说,从元件所反映的电路中的电磁现象来看,不外乎以下几种:(1)消耗电能,例如电阻器、电炉等,称为电阻元件,用符号“ R ”表示;(2)供给电能,例如干电池、发电机等,称为电源,用符号“ G ”表示;(3)储存电场能,例如各种电容器等用符号“ C ”表示;(4)储存磁场能,例如各种线圈等,用符号“ L ”表示。像这种只考虑实际元件(或部件)的主要电磁性能,而忽略其次要电磁性能的实际元件(或部件),称为理想元件。

由理想元件组成的电路,称为实际电路的电路模型。如图 1—1a)手电筒电路的电路

模型为图 1—1b) 所示。通常我们把实际电路的电路模型,称为电路。工厂企业常用一些图形、符号来代替实际电器设备和元器件,联接起来所构成的图称为电原理图。

R 、 L 、 C 为电路的基本元件,其根源要追溯到电路的基本变量。众所周知,构成电路的基本变量有电压 $u(t)$ 、电流 $i(t)$ 、电荷 $q(t)$ 和磁通链 $\psi(t)$ 。在这四个变量中, $u(t)$ 与 $\psi(t)$ 、 $i(t)$ 与 $q(t)$ 分别遵循如下变化规律,即

$$\left. \begin{aligned} u(t) &= \frac{d\psi(t)}{dt} \\ i(t) &= \frac{dq(t)}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

式(1—1)表明, $u(t)$ 与 $\psi(t)$ 、 $i(t)$ 与 $q(t)$ 这四个变量并不都是独立的。换句话说讲, $u(t)$ 与 $\psi(t)$ 、 $i(t)$ 与 $q(t)$ 两两分别为动态相关量。

若将以上四个变量中的每两个进行组合,构成变量偶,则四个变量有六种可能的组合形式,如图 1—2 所示。

在这六种可能的组合形式中,由于变量偶 (u, ψ) 和 (i, q) 动态相关,所以只有 (u, i) 、 (i, ψ) 、 (u, q) 、 (ψ, q) 与动态无关。这四个变量偶的前三个,分别表征了大家熟知的三类基本元件,即电阻器 R 、电感器 L 和电容器 C 的特性。根据完全类似的理由,图 1—2 中 q 与 ψ 也应代表一个确定的元件,这就是第四类基本电路元件,称做记忆电阻器,用符号“ m ”表示。这类元件的性质虽然还没完全认识,但可以断言它是存在的。

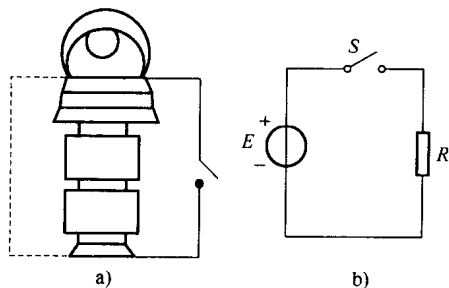


图 1—1

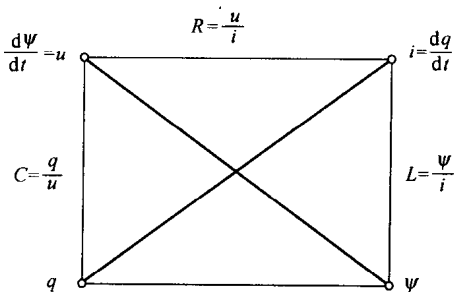


图 1—2

1.2 电流参考方向及电压参考方向

在电路中,自由电荷在电场力作用下,按照一定秩序定向移动即形成电流。导体中这种电流称为传导电流。衡量电流强弱的物理量称为电流强度,它表示单位时间内通过导体横截面的电量。电流强度简称电流,用字母 i 或 I 表示。

当通过导体任一横截面的电流随时间变动时,称为变动电流,用小写字母 i 表示。大小和方向都不随时间变化的电流称为恒定电流,简称直流,用大写字母 I 表示。直流电流 I 与电量 Q 的关系为:

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

式中 Q : 通过导体截面的电量,在国际(SI)单位制中,电量的主单位为库仑,记作库(C);

t : 通电时间, 单位秒(s);

I : 电流强度, 在国际(SI)单位制中, 电流的主单位为安培, 记作安(A)。

比安培大的单位有千安, 比安培小的单位有毫安、微安, 其换算关系为

$$1 \text{ 千安(kA)} = 10^3 \text{ 安培(A)}$$

$$1 \text{ 毫安(mA)} = 10^{-3} \text{ 安培(A)}$$

$$1 \text{ 微安}(\mu\text{A}) = 10^{-6} \text{ 安培(A)}$$

当电流作为信号通过电路时, 欲求输入信号和输出信号之间的关系, 首先应确定电路中信号的变动方向。习惯上常规定正电荷移动的方向, 称为电流的实际方向, 但是实际电路中正电荷的变动方向通常有两种可能, 如图 1—3a) 所示, 即正电荷 q 从 A 流向 B , 或正电荷 q 从 B 流向 A 。电路中电流的方向到底是从 A 流向 B , 还是从 B 流向 A 呢? 一时很难判断出来, 由于电流的实际方向一时确定不下来, 而分析计算电路又必须事先知道电流方向, 因此引入电流的“参考方向”概念。

电流的参考方向通常是任意指定的, 并用箭头表示, 如图 1—3b) 所示。电流的参考方向也可以用双下标表示, 如电流从 A 流向 B , 可记为 i_{AB} 。电流的参考方向一旦指定后, 就不允许中间变动。

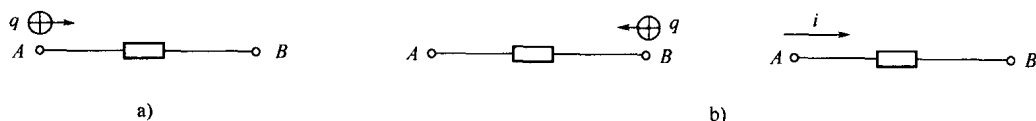


图 1—3

根据电流的参考方向算出电流 i 值后, 若 i 值大于零 ($i > 0$), 说明电流的参考方向与其实际方向一致 (即参考方向就是电流的实际方向); 若 i 值小于零 ($i < 0$), 说明电流的参考方向与其实际方向相反 (即参考方向的反方向为电流的实际方向)。由此可见, 电流的正负值正是由于电流的参考方向与其实际方向相同与不同而造成的, 不规定电流的参考方向, 电流的正负值也就没有意义了。若用实线表示电流的参考方向, 虚线表示电流的实际方向, 则电流的正负值, 同电流的参考方向及电流的实际方向的关系, 如图 1—4 所示。

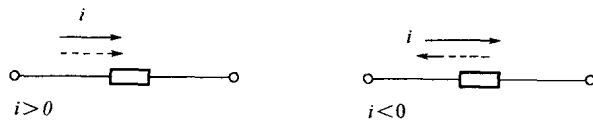


图 1—4

由物理学中所知, 单位正电荷 q 在电场力作用下从 A 点移动到 B 点, 电场力所做的功称为电压, 我们把电压从高电位指向低电位的方向, 称为电压的实际方向。设电场力将正电荷 Q 从 A 点移动到 B 点所做的功记为 W_{AB} , 则

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (1-3)$$

式中 W_{AB} : 电场力所做的功, 在 SI 单位制中, 功的主单位为焦耳, 记作焦(J);

U_{AB} : A 、 B 两点间的电压, 在 SI 单位制中, 电压的主单位为伏特, 记作伏(V)。1 伏特表示电场力把 1 库仑电荷从 A 点移动到 B 点电场力所做的功是 1 焦耳。比伏特小的单

位是毫伏,比伏特大的单位是千伏,其换算关系为

$$1 \text{ 千伏(kV)} = 10^3 \text{ 伏(V)}$$

$$1 \text{ 毫伏(mV)} = 10^{-3} \text{ 伏(V)}$$

若取 O 点为参考点(即 $\varphi_0 = 0\text{V}$),单位正电荷 q ,在电场力作用下由 A 点移动到参考点 O 的电压称为电位,用字母 φ 表示,即

$$\varphi_A = U_{AO} = \frac{W_{AO}}{Q} = \varphi_A - \varphi_0 \quad (1-4)$$

从而得,电路中任意两点间的电压等于该两点之间的电位差。电位的单位和电压单位一样。

值得指出:电位的数值与参考点的选择有关,而两点间的电压值与参考点的选择无关。如图 1—5a)所示电路,若取 C 点为参考点,即 $\varphi_C = 0\text{V}$ 测得 $\varphi_A = 8\text{V}$, $\varphi_B = 4\text{V}$ 。由电压定义知

$$u_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 4\text{V} \quad u_{AC} = \varphi_A - \varphi_C = 8\text{V}$$

若取 B 点为参考点,即 $\varphi_B = 0\text{V}$ 测得 $\varphi_A = 4\text{V}$, $\varphi_C = -4\text{V}$ 。由电压定义得

$$u_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 4\text{V} \quad u_{AC} = \varphi_A - \varphi_C = 8\text{V}$$

在电源内部,电源力把单位正电荷从低电位处移到高电位处所作的功称为电动势,用字母 e 或 E 表示。电动势的单位和电压单位一样,电动势的实际方向是从电源的负极指向正极。

电压的参考方向通常也是任意指定的。其标法从高电位到低电位,可用双下标表示,如 u_{AB} 或用“+”、“-”表示极性,也可用箭头表示(从高电位指向低电位),如图 1—5b)所示。

对于任意一段电路,任意指定电压的参考方向后计算出的电压值(如 u_{AB}),若 $u_{AB} > 0$,说明参考方向和实际方向一致,如图 1—6a)所示;若 $u_{AB} < 0$,说明参考方向和实际方向相反,如图 1—6b)所示。

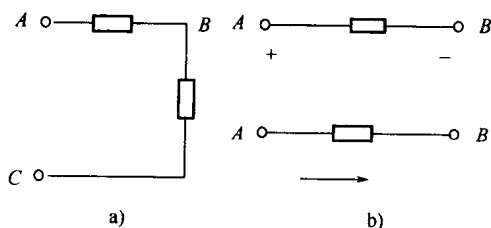


图 1—5

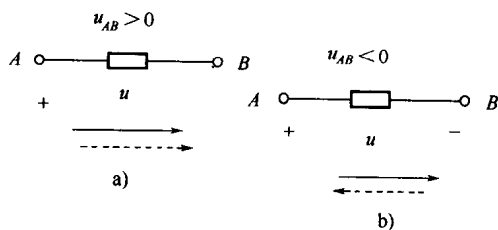


图 1—6

对于任意一段电路或一个元件,其上电压的参考方向与电流的参考方向可以独立地任意指定,若指定电流从该段电路(或元件)的电压正极端流入,并从负极端流出,即该电路(或元件)的电压参考方向与其电流参考方向一致,这种参考方向,称为关联参考方向,如图 1—7a)所示;否则,为非关联参考方向,如图 1—7b)所示。

例 1—1 已知图 1—8 所示电路中, $u_{BC} = 30\text{V}$, $\varphi_A = 80\text{V}$, $u_{CD} = 20\text{V}$ 。求 φ_D 和 u_{AB} 之值;并问 E 点电位如何?

解 (1)由图 1—8 知 $\varphi_C = 0\text{V}$ $u_{CD} = \varphi_C - \varphi_D = 20\text{V}$
 $\therefore \varphi_D = -20\text{V}$

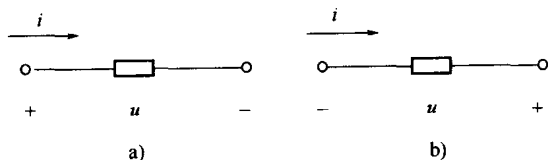


图 1—7

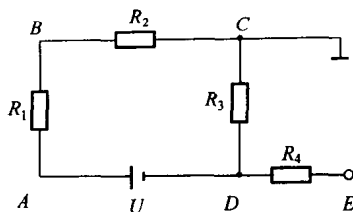


图 1—8

(2) 由 $u_{BC} = \varphi_B - \varphi_C$

得

$$\varphi_B = u_{BC} + \varphi_C = 30\text{V}$$

即

$$u_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 80 - 30 = 50\text{V}$$

(3) 因为 E 点断开, R_4 上无电流通过, 所以 D、E 两点间电位相等, 即 $\varphi_E = \varphi_D = -20\text{V}$

1.3 电 功 率

我们知道, 当电流通过电路时, 伴随着要传递或转换电能量, 电能量传递或转换的速率称为电功率。若用 p 表示电功率, 则电功率和电能量的关系为

$$p = \frac{dW}{dt} \quad (1-5)$$

由电压定义

$$u = \frac{dW}{dq}$$

所以电功率为

$$p = \frac{u dq}{dt} = ui \quad (1-6)$$

在国际(SI)单位制中, 电能(电功)的主单位是焦耳, 记作焦(J); 电功率主单位是瓦特, 记作瓦(W)。比瓦特大的单位有千瓦、兆瓦, 比瓦特小的单位有毫瓦, 其换算关系为

$$1 \text{ 千瓦(kW)} = 10^3 \text{ 瓦(W)}$$

$$1 \text{ 兆瓦(MW)} = 10^6 \text{ 瓦(W)}$$

$$1 \text{ 毫瓦(mW)} = 10^{-3} \text{ 瓦(W)}$$

电能的单位, 实用上还常用千瓦小时($\text{kW} \cdot \text{h}$), 它表示功率为 1 千瓦的用电设备在 1 小时内所用的电能。

例 1—2 已知某实验室有 220V、40W 白炽灯 10 盏, 220V、1500W 电炉两个, 同时接在 220V 电源上。试求(1)每个用电器上的电流值;(2)总功率;(3)在 2 小时内所用总电能多少度。

解 (1) 设每盏白炽灯电流为 i_A 安, 功率为 p_A 瓦, 由公式知

$$i_A = \frac{p_A}{u} = \frac{40}{220} = 0.18\text{A}$$

设每个电炉电流为 i_B 安, 功率为 p_B 瓦, 由公式知

$$i_B = \frac{p_B}{u} = \frac{1500}{220} = 6.28\text{A}$$

(2) 设总功率为 P 瓦, 则

$$p = 10p_A + 2p_B = 10 \times 40 + 2 \times 1500 = 3400 \text{ W}$$

(3) 设总电能为 W 度, 则

$$W = pt = 3400 \times 2 = 6800 \text{ W} \cdot \text{h} = 6.8 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

必须注意, 对于任意一段电路, 若用式(1-6)计算其功率时, 如果这段电路的电压与通过该段电路的电流为关联参考方向时, 则 $p = ui$; 若为非关联参考方向时, 则 $p = -ui$ 。当 p 为正值(即 $p > 0$)表示这段电路吸收功率; 当 p 为负值(即 $p < 0$)表示这段电路发出功率。

例 1-3 已知图 1-9a) 所示电路中, $i = 2 \text{ A}$, $u = 5 \text{ V}$ 参考方向如图示。试求该电路的功率, 并判别该功率是吸收还是发出。

解 由图知, 该电路的电压、电流是关联参考方向, 所以

$$p = ui = 5 \times 2 = 10 \text{ W}$$

又因为

$$p = 10 \text{ W} > 0$$

所以该电路是吸收功率。

已知图 1-9b) 所示电路, $i = -3 \text{ A}$, $u = 6 \text{ V}$ 参考方向如图示。该求该电路的功率, 并判别该功率是吸收还是发出。

解 由图知, 该电路的电压、电流是关联参考方向, 所以

$$p = ui = 6 \times (-3) = -18 \text{ W}$$

又因为

$$p = -18 \text{ W} < 0$$

所以该电路是发出功率。

已知图 1-9c) 所示电路, $i = 3 \text{ A}$, $u = 5 \text{ V}$ 参考方向如图示。试求该电路的功率, 并判别该功率是吸收还是发出。

解 由图知, 该电路的电压、电流是非关联参考方向, 所以

$$p = -ui = -5 \times 3 = -15 \text{ W}$$

又因为

$$p = -15 \text{ W} < 0$$

所以该电路是发出功率。

已知图 1-9d) 所示电路, $i = 3 \text{ A}$, $u = -6 \text{ V}$ 参考方向如图示。试求该电路的功率, 并判别该功率是吸收还是发出。

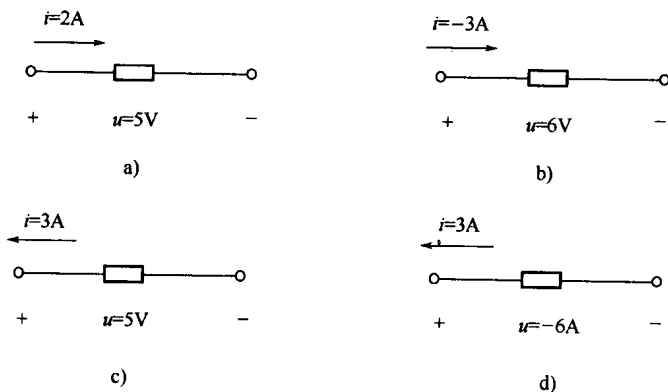


图 1-9

解 由图知,该电路的电压、电流是非关联参考方向,所以

$$p = -ui = -(-6) \times 3 = 18\text{W}$$

又因为

$$p = 18\text{W} > 0$$

所以该电路是吸收功率。

根据式(1—6)分析一台发电机时,若要发电机发出大的电功率,除去要有大的电流外,还必须有高的电压。但在实际生产中,任何发电机输出的电压和电流都有一定限制,因而电功率也有一定限制。因为如果电流过大或者电压过高都会导致发电机损坏。其它电气设备也如此,所以电气设备都有一定的电压限额、电流限额和功率限额,这些限额分别称为电气设备的额定电压、额定电流和额定功率。使用时,不要超过这些额定值,以免损坏设备。由于功率、电压和电流之间有一定的关系,所以在给定值时,没有必要全部给出。例如对于电灯泡、电炉等通常只给出额定电压和额定功率,对于固定电阻除阻值外,只给出额定功率等等。

关于电流、电压和电功率的国际(SI)单位制的主单位,在实际应用时有时嫌大,有时又嫌小,不大方便,因此常在这些单位前面加上词头形成辅助单位,如表 1—1 所示。

表 1—1

词头	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^3	10^6	10^9	10^{12}
符号	p	n	μ	m	k	M	G	T
读法	皮[可] pico	纳[诺] nano	微 micro	毫 milli	千 kilo	兆 mega	吉[咖] giga	太[拉] tera

练习题 已知图 1—10 所示电路中,各元件的电压值和电流值如表 1—2 所示,参考方向见图示。试求(1)各元件的功率值,并说明该功率是吸收还是发出;(2)用虚线标出各元件的电压和电流的实际方向。

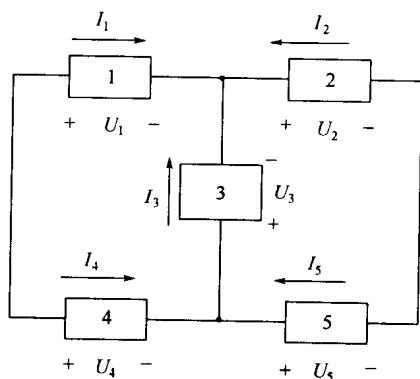


图 1—10

表 1—2

元件号	1	2	3	4	5
电压 u	5	2	2	3	4
电流 i	1	-3	2	-1	3
功率 p					

1.4 电阻元件

电阻元件分为线性电阻元件与非线性电阻元件两类。

线性电阻元件,是指通过元件的电流与元件两端的电压满足线性关系,或者说描述该