

21世纪高等院校核心课程导学

电路分析学习指导

康巨珍 康晓明 编著

国防工业出版社

<http://www.ndip.cn>

—— 21 世纪高等院校核心课程导学 ——

电路分析学习指导

康巨珍 康晓明 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书根据高等工业学校《电路分析基础课程教学基本要求》,针对电类专业本科生、专科生、高职生在学习电路分析课时,遇到难以理解的概念、容易混淆的内容以及经常出现错误的问题进行阐述。全书共分 13 章,依次为:电路基本概念与基本定律,电阻电路的等效变换,网络分析一般方法,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,一阶电路与二阶电路,动态电路的复频域分析,网络图论与状态方程,二端口网络与多端元件,非线性电路。每章均从教学内容总结,重点、难点分析,典型题解题指导,练习与思考四部分进行总结、分析释疑、解惑。

本书可作为电类专业的本科生、专科生、高职生的教材。同时,也可作为报考电类专业的研究生应试复习用书,以及相近专业师生和工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析学习指导/康巨珍,康晓明编著. —北京:
国防工业出版社,2005.1
21 世纪高等院校核心课程导学
ISBN 7-118-03608-0

I. 电… II. 康… III. 电路分析—高等学校—教
学参考资料 IV. TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 087794 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)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

开本 787×1092 1/16 印张 21¼ 492 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:30.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: 68428422

发行邮购: 68414474

发行传真: 68411535

发行业务: 68472764

前 言

本书根据高等工业学校《电路分析基础课程教学基本要求》，采用国际上教材最新编写原则——按照知识结构，单元结构，题材结构的方法编写。全书针对大学电类专业本科生、专科生、高职生在学习电路分析课时，遇到难以理解的概念，容易混淆的内容以及经常出现错误的问题作了系统的阐述，特别突出电路分析课的基本内容和基本要求，并通过典型题的“一题多解和多题一解”的方法，引导学生排除解题误区，拓宽分析思路，扩大观察视野，学会举一反三，提高应用知识的能力和技巧。全书分 13 章，每章均包含以下四方面内容：

1. 教学内容总结 简明扼要地叙述了各章基本内容和基本要求，使学生学习目标明确，方向对头，重点突出，章节内容容易掌握。

2. 重点、难点分析 教材中最基本的内容就是最重要的内容，就是重点。每章重点是固定的，难点是相对的，对于不同素质的学生重点是一样的，难点不一定相同，但通过对难点的分析、解决，可帮助学生更好地掌握重点。

3. 典型题解题指导 帮助学生从不同层面深入理解教材，学会举一反三、触类旁通，提高综合应用知识的能力和解题技巧。

4. 练习与思考 题目多属于基本概念的练习题，同时也配有一定数量体现技巧的综合(练习)题(题后均有参考答案)。旨在激发学生思考，拓宽分析思路，扩大知识视野，正确应用概念，延伸教学内涵，巩固教学成果，提高综合分析能力。

本书第 2 章、第 3 章、第 7 章、第 9 章、第 11 章、第 12 章由康晓明编写，其余各章由康巨珍编写。唐广芝参加了第 2 章、第 4 章、第 6 章和第 8 章部分内容的编写；李维静参加了第 8 章、第 10 章和第 13 章部分内容的编写；李宏伟参加了第 2 章、第 6 章和第 8 章部分内容的编写；郑宁参加了第 4 章、第 10 章和第 13 章部分内容的编写。全书由康巨珍统稿。

徐克服教授、黄庆元教授审阅了初稿并提出许多宝贵意见和建议，在此深表感谢。

由于时间仓促，加之编者水平所限，书中难免有疏误，诚望读者批评指正。

编 者

2004 年 7 月

目 录

第1章 电路的基本概念与基本定律	1
1.1 教学内容总结	1
1.1.1 实际电路与电路模型	1
1.1.2 电流参考方向与电压参考极性	2
1.1.3 电功率	2
1.1.4 电源	3
1.1.5 电路三类基本元件	6
1.1.6 基尔霍夫定律	8
1.2 重点、难点分析	9
1.3 典型题解题指导	14
1.4 练习与思考	26
第2章 电阻电路的等效变换	29
2.1 教学内容总结	29
2.1.1 电阻串并联电路的等效变换	29
2.1.2 电阻混联电路的等效变换	31
2.1.3 电压源、电流源及其等效变换	34
2.2 重点、难点分析	38
2.3 典型题解题指导	39
2.4 练习与思考	50
第3章 网络分析一般方法	55
3.1 教学内容总结	55
3.1.1 支路电流法	55
3.1.2 回路电流法	55
3.1.3 节点电位法	59
3.1.4 回路分析法与割集分析法	61
3.1.5 叠加原理	63
3.1.6 戴维南定理和诺顿定理	67
3.1.7 最大功率传输定理	72
3.2 重点、难点分析	74
3.3 典型题解题指导	74
3.4 练习与思考	101
第4章 正弦交流电路	104
4.1 教学内容总结	104

4.1.1	交流电	104
4.1.2	正弦量的三要素	104
4.1.3	正弦量的相位差	105
4.1.4	正弦量的有效值	108
4.1.5	正弦量的相量表示	108
4.1.6	电路定律的相量形式	109
4.1.7	正弦稳态电路的功率	111
4.1.8	最大功率传输	112
4.1.9	正弦稳态电路的分析计算	112
4.2	重点、难点分析	113
4.3	典型题解题指导	116
4.4	练习与思考	134
第5章	互感电路	136
5.1	教学内容总结	136
5.1.1	互感	136
5.1.2	空心变压器	139
5.1.3	理想变压器	140
5.1.4	全耦合变压器	141
5.1.5	互感线圈的连接	142
5.1.6	互感消除法	143
5.1.7	含有耦合电感的电路分析	144
5.2	重点、难点分析	147
5.3	典型题解题指导	153
5.4	练习与思考	160
第6章	谐振电路	162
6.1	教学内容总结	162
6.1.1	谐振及谐振电路的参数与特性	162
6.1.2	谐振电路的频率特性	163
6.2	重点、难点分析	164
6.3	典型题解题指导	164
6.4	练习与思考	170
第7章	三相电路	172
7.1	教学内容总结	172
7.1.1	对称三相电路的基本概念	172
7.1.2	对称三相电路的分析与计算	176
7.1.3	不对称三相电路的分析	177
7.1.4	三相电路的功率	178
7.1.5	三相电路功率的测量	179
7.2	重点、难点分析	180

7.3 典型题解题指导	181
7.4 练习与思考	188
第8章 非正弦周期电流电路	190
8.1 教学内容总结	190
8.1.1 周期性非正弦信号的分解	190
8.1.2 周期性非正弦信号的有效值、平均值和平均功率	193
8.1.3 非正弦周期电流电路的稳态分析	194
8.1.4 滤波器	198
8.2 重点、难点分析	199
8.3 典型题解题指导	199
8.4 练习与思考	206
第9章 一阶电路与二阶电路	208
9.1 教学内容总结	208
9.1.1 换路定律与初始值的确定	208
9.1.2 一阶电路微分方程的建立与求解方法	213
9.1.3 二阶电路微分方程的建立与 RLC 电路的零输入响应	218
9.2 重点、难点分析	224
9.3 典型题解题指导	228
9.4 练习与思考	240
第10章 动态电路的复频域分析	243
10.1 教学内容总结	243
10.1.1 拉普拉斯变换	243
10.1.2 电路定律的复频域形式	245
10.1.3 卷积和卷积定理	246
10.2 重点、难点分析	248
10.3 典型题解题指导	248
10.4 练习与思考	261
第11章 网络图论与状态方程	264
11.1 教学内容总结	264
11.1.1 网络图论的基本概念	264
11.1.2 节点电位方程矩阵形式的建立	268
11.1.3 回路分析法与割集分析法	272
11.1.4 状态方程	275
11.2 重点、难点分析	277
11.3 典型题解题指导	277
11.4 练习与思考	287
第12章 二端口网络与多端元件	290
12.1 教学内容总结	290
12.1.1 二端口网络的方程与参数	290

12.1.2 二端口网络的传递函数	298
12.1.3 二端口网络的特性阻抗	299
12.1.4 二端口网络的连接与等效电路	299
12.1.5 运算放大器与回转器	301
12.2 重点、难点分析	305
12.3 典型题解题指导	306
12.4 练习与思考	314
第 13 章 非线性电路	317
13.1 教学内容总结	317
13.1.1 非线性电路的概念	317
13.1.2 非线性电路方程的建立与计算	321
13.2 重点、难点分析	324
13.3 典型题解题指导	324
13.4 练习与思考	329
附录 常用希腊字母表	331
参考文献	332

第 1 章 电路的基本概念与基本定律

1.1 教学内容总结

1.1.1 实际电路与电路模型

1. 实际电路

在手电筒里按照要求装入干电池,合上开关 S 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。其中干电池是向实际电路提供电能的一种供电设备,称为电源;电灯泡是把电源中的电能转换成光能的一种用电设备,称为负载;电筒皮和开关是连接电源和负载通过电流的设备,称为导线。如图 1-1(a)所示。

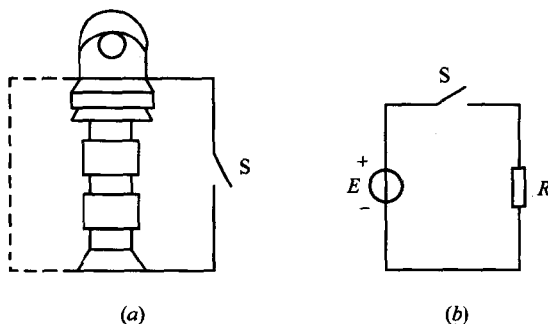


图 1-1

因此说,电路是由电源、负载和连接导线所组成。

2. 理想元件

当上述实际电路工作时,如果只考虑电源、负载和连接导线的主要电磁性能,忽略其次要电磁性能,如对电源只考虑它向实际电路提供电能的性能,忽略其消耗电能的性能,也就是说把电源的内电阻当作零处理;对电灯泡只考虑它消耗电能的性能,不考虑它储存电能的性能,也就是说把电灯泡当作纯电阻处理;对电筒皮和开关只考虑它连接电源和负载构成通路的性能,不考虑它消耗能量和储存能量的性能,也就是说把电筒皮和开关当作纯导线处理。像这种只考虑设备(也称元件)工作时的主要电磁性能,忽略其次要电磁性能的设备称为理想元件。

3. 电路模型

由理想元件所组成的电路称为实际电路的电路模型。如图 1-1(a)所示实际电路,它的电路模型为图 1-1(b)所示。

1.1.2 电流参考方向与电压参考极性

由电源、负载和连接导线所组成的电路,在分析计算其支路中的电流值和电压值时,通常依据基尔霍夫定律和欧姆定律。用基尔霍夫定律和欧姆定律计算电路中各支路的电流值和电压值时,必须事先知道该支路中正电荷的移动方向(即支路电流的实际方向)和该支路两端电压的极性(两点之间电位差称为电压。习惯上常规定电压从高电位端指向低电位端的方向为支路电压的实际极性)。在没有专门测量仪器的情况下,电路中各支路电流的实际方向和支路两端电压的实际极性是无法确定的。为此,引入支路电流的参考方向(即对电路中各支路的电流,先任意指定一个方向,并用实线箭头或双下标表示)和支路两端电压的参考极性(即对电路中各支路先任意指定其中一端为高电位,另一端为低电位,并用实线箭头或双下标或“+”、“-”号表示)。由于电流在支路中的流动(即正电荷的移动)只有两种可能:即正电荷 q 从 A 端移动到 B 端,如图 1-2(a)所示;或正电荷 q 从 B 端移动到 A 端,如图 1-2(b)所示。如果我们事先任意指定电流的参考方向是从 A 端指向 B 端如图 1-2(a)中实线所示,则由图可知,该参考方向与该支路中电流的实际方向一致,也就是说电流 I 的流动方向就是电荷 q 的移动方向,即 $I > 0$ 。因此,根据该参考方向算出的该支路的电流值 I 必大于零(即 $I > 0$);如果对图 1-2(b)所示的支路电流也指定 I 的参考方向是从 A 端指向 B 端,则由图可知该参考方向与该支路中电流的实际方向相反,也就是说该电流 I 的反方向与该支路中电流的实际方向一致,即 $I < 0$ 。因此,根据该参考方向算出的该支路的电流值 I 必小于零($I < 0$)。由此可见,根据电流的参考方向与该电流值的正与负完全可以确定该支路中电流的实际方向。实际上,正是由于电流的参考方向与其实际方向的相同与不同才出现电流值的正与负,不指定电流的参考方向,电流值的正与负也就没有意义了。

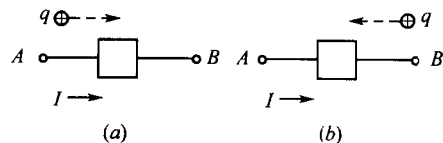


图 1-2

特别指出,在电路分析计算中,所算出的电流值都是根据电流的参考方向计算出来的。电压的参考极性,正、负值的确定和分析方法等和电流的分析方法完全相同,这里不再重述。

1.1.3 电功率

电路中的任一条支路,它的端电压的参考极性与通过它的电流的参考方向可以分别独立地任意指定。如果我们指定某支路中电流的参考方向是从该支路电压的正极(高电位端)流入,并从其负极(低电位端)流出,即该支路的电压的参考极性与其电流的参考方向一致,这种参考方向称为关联参考方向,如图 1-3(a)所示。如果该支路中,电流的参考方向是从该支路的电压的负极(低电位端)流入,并从其正极(高电位端)流出,即该支路电压的参考极性与其电流的参考方向相反,这种参考方向称为非关联参考方向,如图 1-3(b)所示。

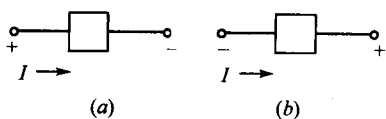


图 1-3

对于任意一条支路,如果它的端电压与通过它的电流为关联参考方向时,则该支路的

功率为 $P = UI$; 若为非关联参考方向时, 则该支路的功率为 $P = -UI$ 。当 P 为正值(即 $P > 0$) 时, 表示这条支路从外界吸收功率(即消耗功率), 也就是说该支路为负载; 当 P 为负值(即 $P < 0$) 时, 表示这条支路向外界输送功率(即发出功率), 也就是说这条支路是电源。

1.1.4 电源

电源分为独立源和受控源。

1. 独立源

独立源是指能独立地向外界提供电能和信号, 并产生相应响应的有源元件, 如干电池、蓄电池、交流电源等。独立源又分为独立电压源(简称电压源)和独立电流源(简称电流源), 其图形符号分别如图 1-4(a) 和图 1-4(b) 所示。

1) 独立电压源

独立电压源是指把实际电源的内部电阻看作零的一种理想电压源。它的主要特点是: (1) 电压源的内部没有能量损耗; (2) 电压源的端电压与通过它的电流无关, 是个常数或确定的时间函数, 在数值上恒等于电压源的电动势; (3) 通过电压源的电流随外界所连接的电路的不同而不同。

2) 实际电源电路模型

实际电源的内电阻总是不等于零的, 因此它的内部总是有能量的损耗。当实际电源与外界电路相连接时, 它的端电压总是小于它的电动势, 而且随着通过它的电流的不断增大, 这种差距也逐渐增大。通常将实际电源用一个电动势为 E 的理想电压源和一个内电阻为常数的理想电阻 R_i 相串联的模型来表示, 如图 1-5(a) 所示(实验室的稳压源就是一种理想电源)。

像干电池这种直流电源, 在电路图中常用图 1-5(b) 所示的图形符号来表示, 其中长线段表示电源的高端电位(正极), 短线段表示电源的低端电位(负极)。

由于实际电源的端电压总是随着电流的变化而变化, 所以在图 1-5(a) 中, 当电源的电动势为 E , 内电阻为 R_i , 电流为 I , 并设电源的端电压为 U 时, 根据电压、电流的参考方向得

$$U = E - R_i I \quad (1-1)$$

式(1-1)指出, 当电源向负载提供电流时, 电源的端电压 U 总是低于它的电动势 E , 所低之值就是电源内电阻上的电压降 $R_i I$; 电流 I 越大, 电源的端电压 U 越低。因此, 分析电路时, 常用图 1-5(a) 所示模型来代替实际直流电源。

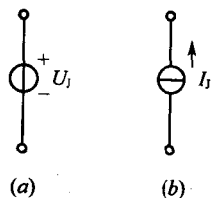


图 1-4

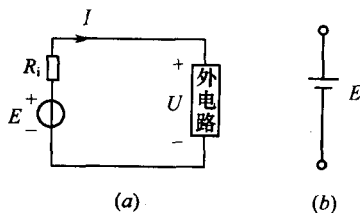


图 1-5

当电源不接外界电路时,电流 $I=0$,这种情况称为开路状态,如图 1-6(a)所示。这时电源的端电压等于它的电动势(即电源的开路电压 U_{∞} 等于电源的电动势 E);当外界电路被短路时,通过电源的短路电流 $I_{sc} = E/R_i$,这种情况称为短路状态,如图 1-6(b)所示。这时电源的端电压 $U=0$ 。由于实际电源的内电阻一般很小,所以短路时电流很大,这会导致电源损坏。因此,实际电源是绝不允许短路的。

式(1-1)表示实际直流电源的外特性,即直流电源所遵从的伏安关系。若把电流 I 取为横坐标,电压 U 取为纵坐标,则直流电源的伏安特性曲线是一条不通过坐标原点的斜线,如图 1-7(a)所示。而理想直流电压源,它的伏安特性是一条与电流轴平行的直线,如图 1-7(b)所示。

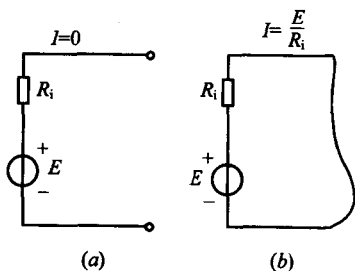


图 1-6

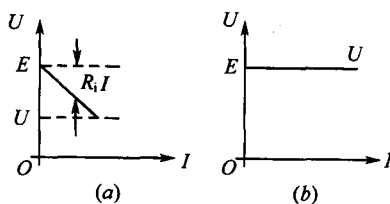


图 1-7

3) 独立电流源

独立电流源是指把实际电源的内部电导(电阻的倒数)看作零的一种理想电流源。它的主要特点是:(1)电流源内部没有能量损耗;(2)电流源输出的电流与它的端电压无关,是一常数或确定的时间函数,在数值上恒等于电流源的电激流;(3)电流源的端电压随外界所连接的电路的不同而不同。

实际电源除等效成理想电压源与内电阻的串联(如图 1-5(a)所示模型)外,还可以等效成理想电流源与内电导的并联,如图 1-8(a)所示。理想电流源的伏安特性是一条与电压轴平行的直线,如图 1-8(b)所示。实际中,理想电流源并不存在,但像光电电池这种实际电源,如图 1-8(c)所示,在一定范围内可以近似地看成是理想电流源。

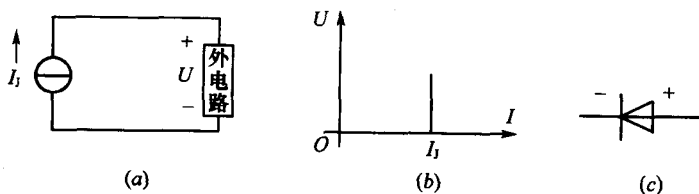


图 1-8

2. 受控源

受控源是指不能独立地向外界电路提供能量和信号,而且它的电压或电流随着所连接的外电路的电压或电流的变化而变化。受控源分为受控电压源,其图形符号如图 1-9(a)所示和受控电流源,其图形符号如图 1-9(b)所示。

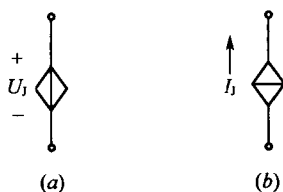


图 1-9

如果受控源的受控量(电压或电流)与它的控制量(电压或电流)成正比时,这种受控源称为线性受控源。下面介绍 4 种类型线性受控源。

(1) 电压控制电压源(VCVS),其图形符号如图 1-10(a)所示。其中 $\mu = \frac{U_2}{U_1}$ 称为电压比。该受控源的特点是输入电流为零,即输入电阻无限大,相当于输入端口内部开路,例如电子管放大器。

(2) 电流控制电压源(CCVS),其图形符号如图 1-10(b)所示。其中 $\gamma = \frac{U_2}{I_1}$ 称为转移电压比。该受控源的特点是输入电压为零,即输入电阻为零,相当于输入端口内部短路,例如控制用的直流发电机。

(3) 电压控制电流源(VCCS),其图形符号如图 1-10(c)所示。其中 $g_m = \frac{I_2}{U_1}$ 称为转移电导。该受控源的特点是输入电流为零,即输入电阻无限大,相当于输入端口内部开路,例如场效应管电路。

(4) 电流控制电流源(CCCS),其图形符号如图 1-10(d)所示。其中 $\beta = \frac{I_2}{I_1}$ 称为电流比。该受控源的特点是输入电压为零,即输入电阻为零,相当于输入端口内部短路,例如晶体管电路。

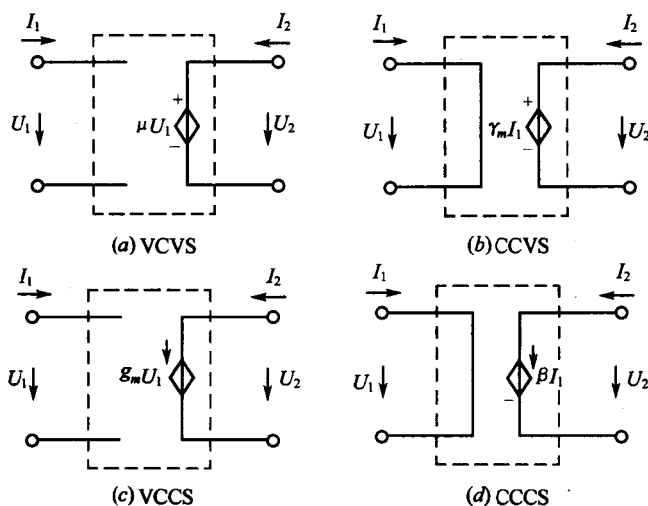


图 1-10

1.1.5 电路三类基本元件

1. 负载

前已谈到,在实际电路中,负载就是把电能转换成其他形式能量的一种用电设备,或者说是使用电能的用电器的总和。这些用电器(用电设备)虽然包括着形形色色各式各样的实际元件,但是从这些元件所反映出的电磁现象看,不外乎以下几种:(1)消耗电能,如电灯泡、电冰箱、电阻器等,称为电阻元件,用符号“R”表示;(2)储存电场能,如各种电容器等称为电容元件,用符号“C”表示;(3)储存磁场能,如各种线圈等称为电感元件,用符号“L”表示。这就是说,当我们分析实际电路时,如果只考虑负载元件的主要电磁性能,忽略其次要电磁性能,就可以把这些实际元件概括为三类:即电阻元件、电容元件、电感元件,并分别用 R、L、C 表示(表示物理量时为 R 、 L 、 C),这三类元件称为电路的基本元件。

R、L、C 作为电路的三类基本元件,其根源要追溯到电学与磁学的基本变量:电压 $u(t)$ 、电流 $i(t)$ 、电荷 $q(t)$ 和磁链 $\psi(t)$ 。在这 4 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

$$u(t) = \frac{d\psi}{dt} \quad \text{和} \quad i(t) = \frac{dq}{dt}$$

上两式表明 $u(t)$ 与 $\psi(t)$ 、 $i(t)$ 与 $q(t)$ 这 4 个量并不都是独立的。换句话说 $u(t)$ 与 $\psi(t)$ 、 $i(t)$ 与 $q(t)$ 是两两分别为动态相关量。

若将以上 4 个变量中的每两个进行组合,构成一个变量偶,则这 4 个变量有 6 种可能的组合形式,如图 1-11 所示。

在这 6 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) 、 (ψ, i) 、 (q, u) 、 (q, ψ) 为动态无关。这 4 个变量偶的前 3 个,分别表征了大家熟知的 3 个基本元件,即电阻器 R、电感器 L 和电容器 C 的特性。根据完全类似

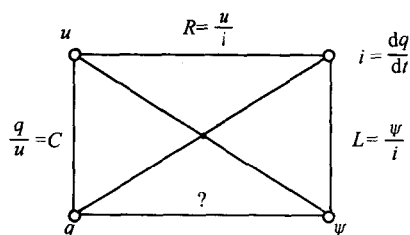


图 1-11

的理由,可知图 1-11 中的 q 与 ψ 也应代表一个确定的元件,这就是第 4 类基本元件称为记忆电阻器,暂用字母 M 表示。虽然这类元件的性质目前还没有完全认识它,但是可以断言它是存在的。

(1) 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该元件两端的电压是线性关系,在任何时候其电压与电流都服从欧姆定律。当电压与电流取关联参考方向时,其欧姆定律可表达为

$$U = RI \quad \text{或} \quad R = \frac{U}{I} \quad (1-2)$$

式中 R 为联系电阻上电压与电流的电气参数,且与电压和电流无关,是一常数,称为电阻。在国际(SI)单位制中,电阻的主单位为欧姆(Ω),其图形符号如图 1-12(a)所示。若

令 $G = \frac{1}{R}$, 则式(1-2)可改写为

$$I = GU \quad \text{或} \quad G = \frac{I}{U} \quad (1-3)$$

式中 G 称为电阻元件的电导, 在 SI 制中其主单位为西门子(S)。

如果通过电阻元件的电流 I 与该元件两端电压 U 取非关联参考方向, 如图 1-12(b)所示, 则欧姆定律可表达为

$$U = -RI \quad \text{或} \quad I = -GU \quad (1-4)$$

在直角坐标系里, 如果取电阻元件两端的电压为横坐标(或纵坐标), 通过电阻的电流为纵坐标(或横坐标), 则线性电阻元件的伏安特性曲线为一条通过坐标原点的直线, 线性电阻元件吸收的功率为

$$P = UI = \frac{U^2}{R} = I^2 R \quad \text{或} \quad P = UI = \frac{U^2}{R} = U^2 G \quad (1-5)$$

非线性电阻元件, 是指通过元件的电流与该元件两端的电压为非线性关系, 即元件的阻值与通过它的电流或加在它两端的电压有关, 不是常数, 在任何时刻其电压与电流都不服从欧姆定律。它的伏安特性曲线通过坐标原点不是直线。

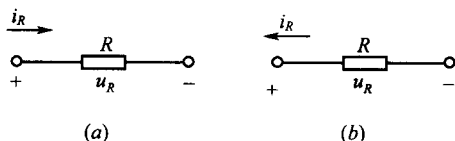


图 1-12

(2) 电容元件 电容元件分为线性电容元件与非线性电容元件两类。

线性电容元件, 是指作用于电容器极板上的电荷与其极板间电压满足线性关系, 当极板的电压变动时, 极板上的电荷也随之变动, 这时连接电容元件的导线中就会有电流通过。若取电压与电流为关联参考方向, 则

$$i = C \frac{du}{dt} \quad (1-6)$$

式中 C 与电压 u 和电流 i 无关, 是一常数, 称为电容。在 SI 制中, 电容的主单位为法拉(F), 其图形符号如图 1-13 所示。该式指出, 任一瞬间电容元件中的电流与这一瞬间电容元件两端电压的变化率成正比, 而与该瞬间电压的量值无直接关系。电压变化越快, 电容元件中的电流越大; 电压变化越慢, 电容元件中的电流越小; 当电压不变化时, 电容元件中的电流等于零, 这时的电容元件相当于开路。

当取电容元件的端电压与通过它的电流为关联参考方向时, 电容元件在某瞬间 t 吸收的功率为 $p = ui$, 吸收的能量为

$$W(t) = \int_{t_0}^t p dt = \frac{1}{2} C [u^2(t) - u^2(t_0)] = \frac{1}{2} Cu^2 \quad (1-7)$$

式中令 $u(t_0) = 0$ 。

在直角坐标系里, 如果取电容元件的电荷 q 为纵坐标(或横坐标), 电压 u 为横坐标(或纵坐标), 则线性电容元件的伏安特性为一条通过坐标原点的直线; 非线性电容元件的伏安特性通过坐标原点的不是直线。

(3) 电感元件 电感元件分为线性电感元件和非线性电感元件两类。

线性电感元件,是指通过电感元件(线圈)的电流发生变化时会在电感元件的两端产生感应电压,若电压与电流取关联参考方向(感应电压与产生它的电流符合右手螺旋定则)时,则

$$u_L = L \frac{di}{dt} \quad (1-8)$$

式中 L 与电压 u 和电流 i 无关,为一常数,称为电感。在 SI 制中,电感的主单位为亨利(H),其图形符号如图 1-14 所示。该式指出,任一瞬间电感元件两端的电压与这一瞬间电感元件中的电流的变化率成正比,而与该瞬间电流的量值无直接关系。且电流变化越快,电感元件两端的电压越大;电流变化越慢,电感元件两端的电压越小;当电流不变化时,电感元件两端的电压等于零,这时电感元件相当于短路。

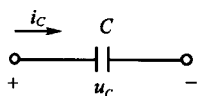


图 1-13

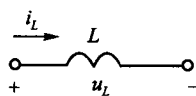


图 1-14

当取电感元件中的电流与其两端电压为关联参考方向时,电感元件在某瞬间 t 吸收的功率为 $p = ui$,吸收的能量为

$$W(t) = \int_{t_0}^t p dt = \frac{1}{2} L [i^2(t) - i^2(t_0)] = \frac{1}{2} Li^2 \quad (1-9)$$

式中令 $i(t_0) = 0$ 。

在直角坐标系里,如果取电感元件的磁通链 ψ 为纵坐标(或横坐标),电流取为横坐标(或纵坐标),则线性电感元件的伏安特性为一条通过坐标原点的直线;非线性电感元件的伏安特性通过坐标原点的不是直线。

通常在线圈附近没有铁磁材料时,该线圈的电感为常量(线性电感元件);如果在线圈附近有铁磁材料时,该线圈的电感为变量(非线性电感元件)。

1.1.6 基尔霍夫定律

任何一个由集总参数元件(即理想元件)所构成的集总电路,它的各个支路的电流和电压都要受到两类约束:一类是元件本身的约束,即元件特性对本元件电流和电压的约束,这在电阻元件、电容元件、电感元件中已谈到;另一类约束是元件连接处给支路电流和电压带来的约束,反映这类约束关系就是基尔霍夫定律。为了解释清楚基尔霍夫定律,先来介绍几个概念,即支路、节点、回路、网孔。

(1) 支路 电路中每个二端元件称为一个分支,流过同一电流的分支称为支路。

(2) 节点 3条或3条以上支路的连接点称为节点。

(3) 回路 电路中任一条闭合路径称为回路。只有一个闭合回路的电路称为单回路,单回路中各元件都是串联的。

(4) 网孔 除组成回路本身的支路外,内部不包含其他支路的回路称为网孔。

基尔霍夫定律包括两条内容:一条是反映节点处支路电流的约束关系,称为基尔霍夫

电流定律(又称节点电流定律),缩写为 KCL;另一条是反映回路中各元件(或支路)上电压的约束关系称为基尔霍夫电压定律(又称回路电压定律),缩写为 KVL。

基尔霍夫电流定律,是指在集总参数电路中,任何时刻流入任一节点的支路电流必等于流出该节点的支路电流(或者说,任一时刻对于任一节点连接该节点的所有支路电流的代数和恒等于零),即

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}} \quad \text{或} \quad \sum I = 0 \quad (1-10)$$

该定律不仅适用于平面电路中的节点,也适用于立体电路中的曲面。例如图 1-15 所示立体电路,设包围 N 个节点的闭合曲面为 S (图中虚线所示, S 曲面包围 3 个节点 ①、②、③),列写各节点的 KCL 方程为

$$\textcircled{1} \quad I_1 = I_{12} - I_{31}$$

$$\textcircled{2} \quad I_2 = I_{23} - I_{12}$$

$$\textcircled{3} \quad I_3 = I_{31} - I_{23}$$

将 I_1 、 I_2 、 I_3 值相加得 $I_1 + I_2 + I_3 = 0$

即
$$\sum I = 0$$

可见,通过任一闭合面 S 的各支路电流的代数和恒等于零(或者说流入闭合面 S 的支路电流等于流出该闭合面的支路电流)。

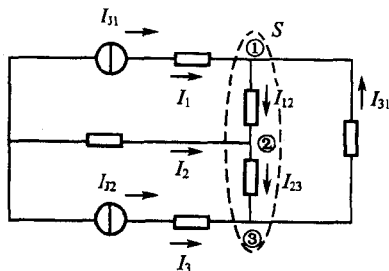


图 1-15

基尔霍夫电压定律,是指在集总参数电路中,任何时刻沿任一闭合回路绕行一周,各支路(或元件)电压降的代数和恒等于零,即

$$\sum U = 0$$

1.2 重点、难点分析

1. 重点

(1) 电流参考方向和电压参考极性是本章重点也是难点。说它是重点,因为它是本章也是全书最基本的概念。分析计算电路时必须事先引入电流参考方向和电压参考极性,否则无法列写 KCL 方程和 KVL 方程。说它是难点,因为很多学生总是弄不清参考方向(极性)的准确含义,常把参考方向(极性)和实际方向(极性)混为一谈。不理解指定了支路电流为 i_{AB} ,就是规定该支路中正电荷从 A 向 B 移动。至于它是否真的是从 A 向 B 移动,这要看算出的 i_{AB} 值是大于零还是小于零而确定,若 $i_{AB} > 0$,表明 i_{AB} 的确是从 A