



普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUOJIAJI GUIHUA JIAOCAI PEITAO JIAOCAI

DIANLU LILUN JICHU XUEXI ZHIDAO

电路理论基础学习指导

梁贵书 董华英 编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUOJIAJI GUIHUA JIAOCAI PEITAO JIAOCAI

DIANLU LILUN JICHU XUEXI ZHIDAO

电路理论基础学习指导

梁贵书 董华英 编
颜湘武 主审



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

Electrical Engineering

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教材。

本书是华北电力大学梁贵书和董华英编写的《普通高等教育“十一五”国家级规划教材 电路理论基础（第三版）》的配套学习指导书。书中各章体系与主教材相同，每章包含五部分：本章知识结构图，知识点归纳与学习指导，重点、难点与考点，本章习题选解，自测题及参考答案。本书简明扼要地归纳总结了各章要点，提出了相应学习方法，指导读者更有效地掌握相关内容；给出了主教材中大部分习题的解题方法或提示，注重阐述解题思路、方法、步骤、特点和技巧，有些习题还提供了多种解法。

本书可作为学习电路课程的本科生及从事电路教学的教师的参考书，也可作为硕士研究生入学考试的辅导书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电路理论基础学习指导/梁贵书，董华英编. —北京：中国电力出版社，2010.8

普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教材

ISBN 978-7-5123-0655-4

I. ①电… II. ①梁…②董… III. ①电路理论-高等学校-教学参考资料 IV. ①TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 129748 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2011年1月第一版 2011年1月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 23印张 564千字

定价 38.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

本书是华北电力大学梁贵书和董华英编写的《普通高等教育“十一五”国家级规划教材电路理论基础（第三版）》的配套学习指导书，各章体系与主教材相同，每章包含五部分：① 本章知识结构图；② 知识点归纳与学习指导；③ 重点、难点与考点；④ 本章习题选解；⑤ 自测题及参考答案。知识结构图对本章知识点之间的内在联系进行了梳理，有利于读者掌握本章的脉络；知识点归纳与学习指导部分简明扼要地归纳总结了本章的要点，并提出了相应的学习方法，指导读者更有效地掌握相关内容；重点、难点与考点部分指明了本章的学习重点和难点以及考试热点，便于读者有的放矢；习题选解部分给出了主教材中大部分习题的解题方法或提示，所用解析方法与主教材中各章节讲述内容密切配合，注重阐述解题思路、方法、步骤、特点和技巧，有些习题还提供了多种解法；读者通过自测题可使自己对本章内容的掌握情况进行检测，做到心中有数。

电路课程的特点是内容广泛，内涵丰富，习题类型多且计算量大。要学好电路，仅凭课堂听讲是不够的，需要认真做一定数量的练习题。做练习题有助于加深理解和巩固电路的基本概念和基本理论，而理解基本概念又有助于问题的求解。因此，只有通过一定数量的练习和训练，才能比较牢固地掌握并熟练运用有关的基本概念和基本分析方法。

做习题要养成“题后反思”的好习惯。题后反思是电路学习过程中培养思维能力必不可少的手段之一。要学会反思，需注意以下几点：

(1) 反思联系。现代认知理论认为，人们掌握和理解知识，就是将所接受的知识经过人脑加工编码，使新旧知识联系起来，从而认知新旧知识的内在联系，达到对知识的理解和掌握。电路的基本概念、基本原理、基本定律与其他事物一样，并不是孤立的，而是普遍联系的。解题后，若能把解题中所联系到的基础知识与各知识有机地“串联”成知识线，“并联”成知识网，同时快速整理一下本题中总结出的规律、技巧或者出错的原因，并将它们与“知识线”、“知识网”有机统一起来，则有利于提高分析和归纳的反思能力。

(2) 反思多解。一道电路习题即使能完全做对，也不要“完成任务”、“一笑而过”，它往往会有多种解法。因而解完一道题后，应充分运用所学知识，从不同角度出發，利用不同的方法进行求解，可拓展思路、开阔视野，不但可得到最佳解法，而且还可使思维得以深化，有助于发散反思思维的展开。

(3) 反思规律。解题后，回想解题方法有无规律可循。从特殊题引申到一般题目的解答，有利于强化知识的应用，提高知识迁移水平。

(4) 反思演变。解题后，自己试着改变原题的结构或其他方面，从而可使一题变一串儿题，有利于开阔眼界，拓展反思思路，提高应变能力，防止定势思维的负面影响。而且，“一题多变”的学习方法是培养学生创造性思维所不可缺少的手段之一。

(5) 反思同类。解题后，要反思与该题同类的问题，进行对比，分析其解法，找出解答这一类题的方法和技巧。

(6) 反思错误。解题后，要总结和反思解答中易错的地方，通过找出导致错误的原因，

扫除或纠正思维中的盲点和错误，使自己从错误中悟理，借以发展思维能力。

本书虽属配套学习指导书，但对从事电路教学的教师和学习电路课程的学生都有一定的参考价值，既可在电路教学过程中使用，也可在复习、准备硕士研究生入学考试时使用。

本书由华北电力大学梁贵书和董华英共同编写。华北电力大学颜湘武教授对书稿进行了审阅，提出了宝贵的修改意见，进一步提高了本书的质量，在此表示衷心的感谢。

限于编者的水平和工作中的疏忽，书中可能留有错误和不妥之处，恳请读者批评指正，以便编者加以改进。

通信地址：河北省保定市华北电力大学 19 号信箱（邮编：071003）

E-Mail: gshliang@263.net

编 者

2010 年 11 月于华北电力大学

目 录

前言	
绪论	1
第1章 电路模型及其基本规律	2
1.1 本章知识结构图	2
1.2 知识点归纳与学习指导	3
1.3 重点、难点与考点	11
1.4 第1章习题选解	11
1.5 自测题及参考答案	24
第2章 简单电路和等效变换	26
2.1 本章知识结构图	26
2.2 知识点归纳与学习指导	26
2.3 重点、难点与考点	37
2.4 第2章习题选解	37
2.5 自测题及参考答案	49
第3章 复杂电阻电路的分析	51
3.1 本章知识结构图	51
3.2 知识点归纳与学习指导	51
3.3 重点、难点与考点	60
3.4 第3章习题选解	60
3.5 自测题及参考答案	73
第4章 电路定理	75
4.1 本章知识结构图	75
4.2 知识点归纳与学习指导	75
4.3 重点、难点与考点	81
4.4 第4章习题选解	82
4.5 自测题及参考答案	101
第5章 双口网络	104
5.1 本章知识结构图	104
5.2 知识点归纳与学习指导	104
5.3 重点、难点与考点	114
5.4 第5章习题选解	114
5.5 自测题及参考答案	137
第6章 线性动态电路的时域分析	139
6.1 本章知识结构图	139

6.2	知识点归纳与学习指导	139
6.3	重点、难点与考点	149
6.4	第6章习题选解	149
6.5	自测题及参考答案	179
第7章	正弦稳态电路的相量模型	182
7.1	本章知识结构图	182
7.2	知识点归纳与学习指导	182
7.3	重点、难点与考点	186
7.4	第7章习题选解	187
7.5	自测题及参考答案	193
第8章	正弦稳态电路的相量分析	195
8.1	本章知识结构图	195
8.2	知识点归纳与学习指导	195
8.3	重点、难点与考点	204
8.4	第8章习题选解	205
8.5	自测题及参考答案	229
第9章	谐振与互感	232
9.1	本章知识结构图	232
9.2	知识点归纳与学习指导	232
9.3	重点、难点与考点	240
9.4	第9章习题选解	240
9.5	自测题及参考答案	252
第10章	三相电路	255
10.1	本章知识结构图	255
10.2	知识点归纳与学习指导	255
10.3	重点、难点与考点	260
10.4	第10章习题选解	260
10.5	自测题及参考答案	270
第11章	非正弦周期信号线性电路的稳态分析	272
11.1	本章知识结构图	272
11.2	知识点归纳与学习指导	272
11.3	重点、难点与考点	278
11.4	第11章习题选解	278
11.5	自测题及参考答案	284
第12章	简单非线性电路	287
12.1	本章知识结构图	287
12.2	知识点归纳与学习指导	287
12.3	重点、难点与考点	292
12.4	第12章习题选解	293

12.5	自测题及参考答案	303
第 13 章	线性动态电路的复频域分析	305
13.1	本章知识结构图	305
13.2	知识点归纳与学习指导	305
13.3	重点、难点与考点	312
13.4	第 13 章习题选解	313
13.5	自测题及参考答案	324
第 14 章	电路代数方程的矩阵形式	326
14.1	本章知识结构图	326
14.2	知识点归纳与学习指导	326
14.3	重点、难点与考点	331
14.4	第 14 章习题选解	331
14.5	自测题及参考答案	338
第 15 章	分布参数电路	342
15.1	本章知识结构图	342
15.2	知识点归纳与学习指导	342
15.3	重点、难点与考点	347
15.4	第 15 章习题选解	347
15.5	自测题及参考答案	358
参考文献	360

绪 论

通过学习绪论，了解电路课程的作用、地位及电路理论发展概况，了解电路课程的主要内容（见图 0-1）和相互关系，提高对电路习题作用的认识，明确学习的目的。电路理论的组成如图 0-2 所示。本科电路课程只介绍电路分析的一些基本内容。电路分析知识的结构是“以模型为基础，以两类约束为基本依据，运用不同的方法对各种类型的电路进行分析”。电路课程与其他电气工程主要课程的联系如图 0-3 所示。绪论中特别强调了学习过程中注重电路学科能力培养的问题。由于绪论中提到了一些电路术语，只有在学习了相关内容后才能完全理解它们，因此，在学习过程中，需要在适当的时候回过头来阅读主教材绪论中标题三、四、五下的内容。

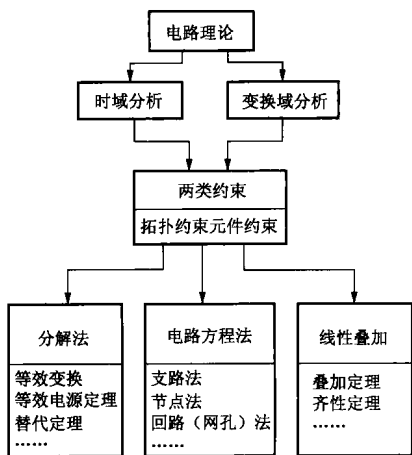


图 0-1 电路的基本分析方法

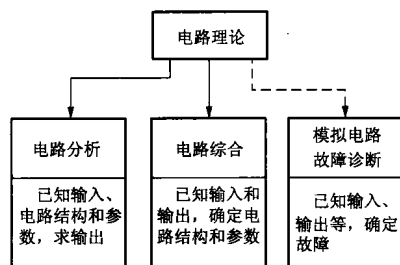
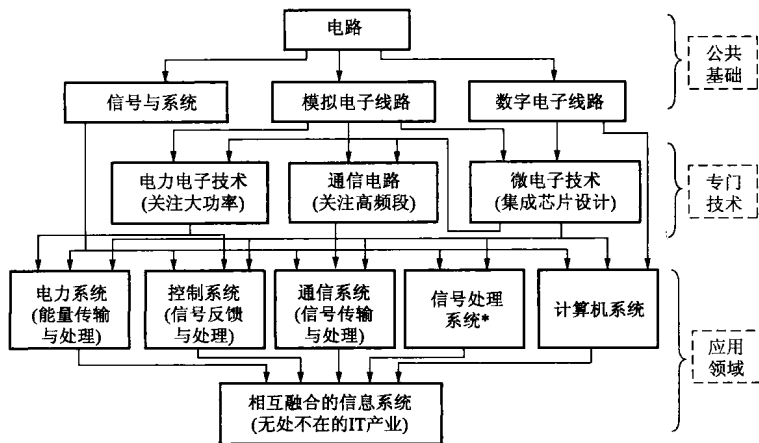


图 0-2 电路理论的组成



*指各类信号处理课程，包括某些专业的专门课程(如生物医学工程、核电子学等)

图 0-3 电路课程与其他电气工程主要课程的联系

第 1 章 电路模型及其基本规律

1.1 本章知识结构图

第 1 章知识结构图如图 1-1 所示。

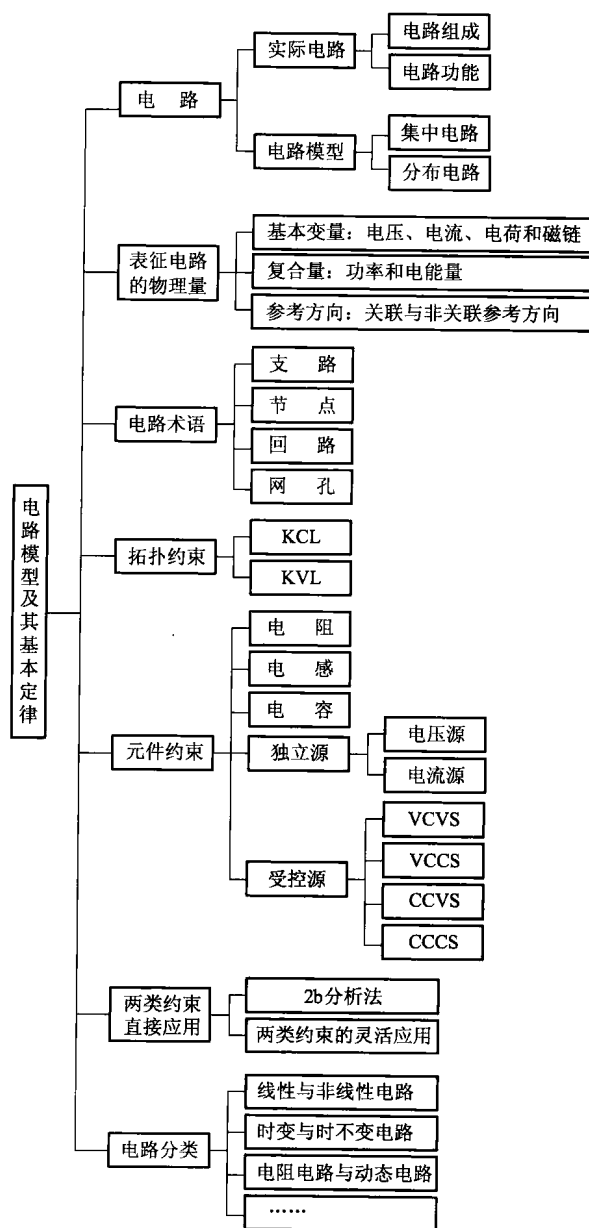


图 1-1 第 1 章知识结构图

1.2 知识点归纳与学习指导

本章涉及电路的基本概念和基本定律。虽然本章的一些内容与物理学电学的一些内容相似，但处理这些内容的方式却不同，电路是从工程的观点来阐述的，并不是简单的重复。

1.2.1 电路模型

实际电路是为了实现某种功能（传输和转换电能或传递和处理信号），把电器件、设备按照一定的方式连接而成的整体。它由电源、负载和中间环节三部分组成。电路理论研究的直接对象是电路模型，而不是实际电路。电路模型是对实际电路的科学抽象和逼近。本书用到的电路均指电路模型，它是由元件（元件也是模型）连接而成的整体。元件与器件的区别见主教材 1.4.5。

电路分为集中参数电路和分布参数电路两种。只有在电路本身的几何尺寸远远小于电路工作时电磁波的波长（集中化假设条件： $d \ll \lambda$ ），才能使用集中参数电路建模。

集中参数电路只考虑了时间因素而忽略了空间效应，认为信号在电路中的传播时间为零。因此，集中参数电路中的电压和电流等仅仅是时间的函数。实际电路能否满足集中化条件，关键在于电路工作时感兴趣的最高频率 f_{\max} ($\lambda = v/f_{\max}$ ， v 为电路中信号的传播速度)。

电路模型的概念非常重要，初学电路者应时刻牢记分析的电路是模型。电路模型与实际电路是有差别的，电路模型中出现的一些少数现象在实际电路中并不发生。例如电源可提供无限大的功率，如果没有模型的概念，将无法理解这些现象。

1.2.2 常用的物理量

1. 电压、电流和功率

电路理论主要研究电路中发生的电磁现象，用电压、电流和〔电〕功率等物理量来描述其中发生的过程。它们的定义见表 1-1。

表 1-1 常用的物理量的定义

名称	符号	主单位	定 义	方 向	普遍关系式	备注
电流	$i(t)$	A (安)	电荷的定向移动形成电流。 单位时间内通过导体截面的电量定义为电流（强度）	正电荷移动的方向	$i = \frac{dq}{dt}$	q 为电荷
电压	$u(t)$	V (伏)	单位正电荷在电场力作用下从一点移到另一点所做的功	电压降的方向	$u = \frac{d\Psi}{dt}$	Ψ 为磁链
功率	$p(t)$	W (瓦)	单位时间内一段电路消耗或者产生的能量		$p = \frac{dW}{dt} = ui$	W 为能量

电路中非参考点 p 到参考点的电位 u_p （称为节点电压，规定参考点为低电位）是相对量，与参考点的选择有关；电路中任意两节点之间的电压是绝对量，与参考点的选择无关，二者的关系为

$$u_{ab} = u_a - u_b$$

物理量分为直流量（dc 或 DC）和时变量两种。直流量在数学上就是常数，一般用大写字母表示，如直流电流 I ；时变量用小写字母表示，如时变电流 i 。

物理量及电气参数的主单位及构成辅助单位的常用词头需要在学习过程中记忆。

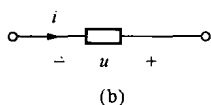
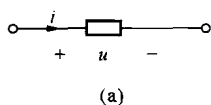


图 1-2 关联与非关联
参考方向

(a) 关联; (b) 非关联

2. 参考方向

电压、电流的参考方向将贯穿全书, 所有表达式、方程等都是在一一定的参考方向下给出的。

在指定参考方向下, 计算结果大于 0, 表明参考方向与实际方向一致; 计算结果小于 0, 表明参考方向与实际方向相反。

对于一个元件或一段电路, 电压、电流二者的参考方向不是关联的 [见图 1-2 (a)], 就是非关联的 [见图 1-2 (b)]. 关联是指电流由“+”极性(高电位)端流向“-”极性(低电位)端, 即沿电压降方向流动; 非关联正好相反。

电路中的功率是守恒的。在参考方向下, 一般功率公式的物理含义见表 1-2。

表 1-2 一般功率公式的物理含义

功率公式	关联参考方向	非关联参考方向
$p=ui$	按吸收功率计算	按发出功率计算
$p=-ui$	按发出功率计算	按吸收功率计算

注 吸收负功率表明实际为发出功率, 发出负功率表示实际为吸收功率。

有关功率的计算示例见主教材 [例 1-1]。

参考方向说起来简单, 但正确应用却存在相当的困难, 初学者对此应引起足够重视。首先要明确参考方向与实际方向之间的关系, 特别要时刻牢记电路分析中所用的方向都是参考方向, 要随时正确判断采用的是关联参考方向, 还是非关联参考方向。另外, 应熟练掌握在不同参考方向下, 根据计算需要(计算吸收功率还是发出功率), 选取正确的功率公式, 这也是电路基本功的体现点。特别是要养成习惯, 解题过程中出现的电压和电流都必须在电路图中标出其参考方向, 且在整个计算过程中不能变动; 只有采用关联参考方向时, 电压和电流的参考方向才能只标出其中一个。

1.2.3 基尔霍夫定律

本节介绍的常用术语有支路、节点、回路、网孔、支路电压、支路电流。对于同一电路, 支路规定的不同, 节点和回路(或网孔)的数目也可能不同。注意, 理想导线(即短路线)相连的点为同一个节点, 初学电路者有时误当作两个节点。网孔是一种特殊的回路, 且只适用于平面电路。

电路连接方式的约束称为拓扑约束或结构约束。基尔霍夫定律是概括这种约束关系的基本定律。基尔霍夫定律分为 KCL 和 KVL 两个定律。它们有多种等价的陈述形式。

在本章中, KCL 给出了针对节点和闭合面(又称广义节点)的两种陈述; 除了支路电压与节点电压之间关系, KVL 还给出了针对回路和假想回路的两种陈述, 见表 1-3。

表 1-3 基尔霍夫定律

名称	基尔霍夫电流定律 (KCL)	基尔霍夫电压定律 (KVL)
内容陈述	对于集中参数电路中的任一节点(或广义节点), 在任一时刻, 通过该节点的所有支路电流的代数和等于零	对集中参数电路中的任一回路(或假想回路), 在任一时刻, 该回路中所有支路电压的代数和等于零

续表

名称	基尔霍夫电流定律 (KCL)	基尔霍夫电压定律 (KVL)
方程	$\sum i_k = 0$ (KCL 方程)	$\sum u_k = 0$ (KVL 方程)
方程类型	线性齐次代数方程 (各个支路电流所受的线性约束关系)	线性齐次代数方程 (各个支路电压所受的线性约束关系)
说明	在列写 KCL 方程时, 除了规定各支路电流的参考方向外, 还应规定是流出节点的电流取正号, 还是流入节点的电流取正号。当规定某一方向的电流取正号时, 另一方向的电流则取负号。两种不同规定下列写的 KCL 方程是等价的	在列写 KVL 方程时, 除了规定各支路电压的参考方向外, 还应选取回路的绕行方向, 并规定沿回路绕行方向, 支路电压为电压降的取正号, 还是电压升的取正号。规定某一方向的电压取正号时, 另一方向的电压则取负号。两种不同的规定下列写的 KVL 方程是等价的
物理意义	电荷守恒	能量守恒
适用范围	集中参数电路	
备注	与元件的性质无关	

例如, 对于图 1-3 中的节点, 电流 i_1 、 i_2 为流入节点, 电流 i_3 、 i_4 为流出节点。当规定流出节点的电流取正时, KCL 方程为

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

规定流入节点的电流取正时, 列写的 KCL 方程与此仅差一个负号, 二者是等价的。

对于图 1-4 所示电路中标出的回路, 沿顺时针的回路方向, 电压 u_1 为电压升 (u_1 的参考方向与回路方向相反), u_2 和 u_3 为电压降 (u_2 和 u_3 的参考方向与回路方向相同), 取电压降为正, 则 KVL 方程为

$$-u_1 + u_2 + u_3 = 0$$

方程两边乘以 -1 可得电压升为正的方程。

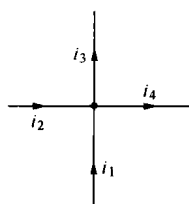


图 1-3 节点

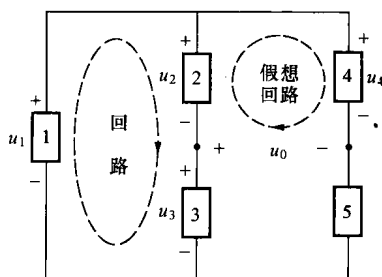


图 1-4 回路和假想回路

对图 1-4 中的假想回路有

$$-u_2 + u_4 - u_0 = 0$$

结论 对于 b 条支路、 n 个节点的电路, 有且仅有 $n-1$ 个独立的 KCL 方程, $b-n+1$ 个独立的 KVL 方程。

$n-1$ 个独立的 KCL 方程可对任意 $n-1$ 个节点应用 KCL 获得; 独立的 KVL 方程需要

选取独立回路列写。所谓独立回路是指能提供独立的 KVL 方程的回路。如果所选回路包含前面已选回路不含有的新支路,则该回路是一个独立回路。读者应能正确地选出全部的独立回路。对于平面电路,除外围网孔以外的全部内网孔是一组独立回路。

掌握基尔霍夫这两个定律的关键是正确地写出需要的 KCL 方程和 KVL 方程,这也是电路基本功的体现点。列写 KCL 方程时,要分清流入电流和流出电流;列写 KVL 方程时,要正确判断一个电压沿规定的回路方向是电压升,还是电压降。这里的电流流入和流出以及电压升和电压降都是相对参考方向而言的,与电流、电压计算值的正负无关。

1.2.4 二端元件和受控源

电路元件是电路的(最小)基本构造单元,是由端钮上的电压和电流之间的数学关系描述的。表征元件的电压与电流之间关系的方程称为元件的电压电流关系(VCR)或伏安关系(VAR)。元件的特性方程与元件的性质有关,与元件接入的电路和接入方式无关。因此,元件约束方程与拓扑约束方程是彼此独立的。对于 b 条支路、 n 个节点的电路,可写出 b 个独立的支路方程。

本章介绍了线性二端电阻、电感和电容以及电压源和电流源等 5 个二端元件,另外还介绍了多端元件——受控源。其他元件将在后续相关章节介绍。

线性二端元件、独立电源和受控源的定义及特性分别见表 1-4~表 1-6。

在学习电路元件这部分内容时,首先要掌握线性与非线性、时变与时不变、有源与无源几个基本概念,并重点掌握和记忆元件的电路符号、伏安关系(VAR)等。

表 1-4 线性二端元件的定义及特点

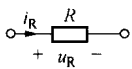
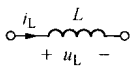
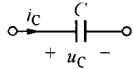
元件名称	电 阻	电 感	电 容
电路符号			
定义式	$u_R = Ri_R$	$\Psi = Li_L$	$q = Cuc$
伏安关系	压控型	$i_L(t) = i_L(t_0) + \frac{1}{L} \int_{t_0}^t u_L(\tau) d\tau$	$i_C = C \frac{du_C}{dt}$
	流控型	$u_L = L \frac{di_L}{dt}$	$u_C(t) = u_C(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i_C(\tau) d\tau$
特性曲线	$u \sim i$ 平面上过原点的一条直线	$\Psi \sim i$ 平面上过原点的一条直线	$q \sim u$ 平面上过原点的一条直线
功率或储能公式	$p_R = u_R i_R = Ri_R^2 = Gu_R^2$	$W_L(t) = \frac{1}{2} Li_L^2(t)$	$W_C(t) = \frac{1}{2} Cu_C^2(t)$
性质	(1) 正值电阻消耗能量(耗能元件) (2) 无记忆元件	(1) 储能不耗能(储能元件) (2) 记忆元件 (3) 电感电流连续性	(1) 储能不耗能(储能元件) (2) 记忆元件 (3) 电容电压连续性
无源性	正值电阻无源, 负值电阻有源	正值电感无源, 负值电感有源	正值电容无源, 负值电容有源
备注	$R=0$ 时, 短路 ($u=0$) $G=0$ 时, 开路 ($i=0$)	i_L 为直流量时, 短路	u_C 为直流量时, 开路

表 1-5 独立电源的定义和特性

分 类	电 压 源	电 流 源
电路符号		
定义式	$u = u_s(t)$	$i = i_s(t)$
基本特性	(1) 电压源的端电压是确定量(直流量或确定的时间函数),与流过它的电流及其他支路的电压和电流无关 (2) 电压源的电流是任意的,由电压源和外接电路共同决定	(1) 电流源提供的电流是确定量(直流量或确定的时间函数),与其端电压及其他支路的电压和电流无关 (2) 电流源的端电压是任意的,由电流源和外接电路共同决定
功率公式	$p = u_s i$ (需要求出电压源的电流 i)	$p = u i_s$ (需要求出电流源的电压 u)
无源性	有源元件(有源元件在电路中可以提供功率,也可以吸收功率,视具体外部电路而定)	
特例	$u_s(t)$ 为直流量时,称为直流电压源	$i_s(t)$ 为直流量时,称为直流电流源
备注	$u_s(t) = 0$ 时,短路	$i_s(t) = 0$ 时,开路

注 对于直流电压源,有时也用电池符号表示。

表 1-6 受控源的定义和特性

分 类	受 控 电 压 源		受 控 电 流 源		
	电压控制电压源	电流控制电压源	电压控制电流源	电流控制电流源	
缩写	VCCVS	CCVS	VCCS	CCCS	
电路符号					
伏安关系	控制支路	$i_1 = 0$ (开路)	$u_1 = 0$ (短路)	$i_1 = 0$ (开路)	$u_1 = 0$ (短路)
	受控支路	$u_2 = \alpha u_1$	$u_2 = r i_1$	$i_2 = g u_1$	$i_2 = \beta i_1$
应用示例	运算放大器		MOS管、跨导运放	BJT	
功率公式	$p = u_2 i_2$ (受控支路的功率)				
无源性	有源元件(受控源不是电路的激励,其发出功率是独立电源通过受控源间接对电路起作用)				
特点	受控支路的输出完全取决于控制量。只有控制量为 0 时,输出才为 0				

学习元件部分内容时应注意以下几点:

(1) 对于线性电阻、电感、电容,记忆的 VAR (压控型和流控型) 都是关联参考方向下的表达式,在非关联参考方向下加“-”号才能使用。

(2) 需要记忆电阻的功率公式、电容和电感的储能公式。

(3) 不论外接电路如何,把电压源或受控电压源接在电路中两点,它就规定了这两点之间的电压就是电压源的输出电压;把电流源或受控电流源接入一条支路,它就规定了该条支路的电流就等于于电流源的输出电流。电压源和受控电压源的 VAR 应根据 KVL 写出,电流源和受控电流源的 VAR 应根据 KCL 写出,不能死记硬背。

(4) 受控源是一种两条支路的耦合电阻元件，没有控制支路，只有受控支路是没有意义的。因此，受控支路存在时，控制支路必须存在。

(5) 受控源的控制量所在支路一般不需要单独标出，故把受控源当作一个二端元件处理。通常先将受控源视为独立源（即受控电压源当作独立电压源、受控电流源当作独立电流源）进行分析，然后再进一步处理控制量。

(6) 注意器件与元件的区别。元件是有严格数学定义（特性方程）的，不论电压、电流为何值（包括 $\pm\infty$ ），元件的 VAR 都成立；相应地，元件的功率可为任意值（包括 $\pm\infty$ ）。而实际器件能够承受的电压、电流及功率都是有限值，超过时可能造成损坏；并且当电压、电流超过一定值时，器件呈现非线性，需采用非线性模型模拟；此外，对于同一个器件，电路的频率不同，采用的器件模型可能不同。

元件部分的难点是在不同参考方向下，正确使用元件的伏安关系、计算元件吸收与发出的功率以及受控源的处理方式。在不同参考方向下，正确地写出元件的 VAR 和正确计算元件吸收与发出的功率是电路的基本功体现点。

1.2.5 直接用两类约束分析电路

分析任何一个电路的基本依据都是电路的两类约束。以支路电流和支路电压为电路变量，直接依据两类约束建立电路方程进行分析计算的方法称为 2b 分析法，简称 2b 法。其方程可概括为： $n-1$ 个独立的 KCL 方程、 $b-n+1$ 个独立的 KVL 方程、 b 个元件或支路的特性方程。

由于 2b 法建立的方程较多，所以实际中很少使用。

直接利用两类约束求解电路时，往往需将所求电压或电流转化为求其他电压、电流，常用下列的表示方法：

表示电压的两种途径：① 根据元件的 VAR，将电压用电流表示；② 根据 KVL，将电压用其他电压表示。

表示电流的两种途径：① 根据元件的 VAR，将电流用电压表示；② 根据 KCL，将电流用其他电流表示。

使用上述表示方法时，注意以下几点：

(1) 流过（独立或受控）电压源（包括短路线）的电流，需要借助与电压源相串联元件的 VAR 或对含该电压源的节点应用 KCL 来求得。选择节点时，应尽可能避开电压源。

(2) （独立或受控）电流源（包括开路线）的端电压，需要借助与电流源相并联元件的 VAR 或对含该电流源的回路应用 KVL 来求得。选择回路时，应尽可能避开电流源。

(3) 一般而言，由元件 VAR 引入的电压（电流），接着应该用 KVL（KCL）把它用其他电压（电流）表示；而由 KVL（KCL）引入的电压（电流），接着应该用元件 VAR 把元件的电流（电压）表示出。

对于相对简单的电路，直接应用两类约束进行分析是经常使用的方法，特别要学会求某一电量时，将一个电量用其他电量表示的分析过程。

【例 1-1】 求图 1-5 所示电路中各个元件吸收的功率。

分析 对于计算元件或一段电路功率的问题，首先应求出相应的电压和电流（求功率实际上是求电压和电流），然后再按功率公式计算其功率。应用功率公式时要注意电压和电流的参考方向是否关联，以及所需求的是吸收的功率，还是发出的功率，这些都会影响计算结

果的正负符号。由于独立电流源的电流和独立电压源的电压已知，因此，求独立电压源的功率需知道流过其上的电流，求独立电流源的功率需求出其端电压。求受控电压源的功率需要先求出其流过的电流及其控制量，求受控电流源的功率需要先求出其端电压及其控制量。电压源的电流一般用 KCL 求得，电流源的电压一般用 KVL 得到。电阻的功率通常用公式 $p_R = Ri_R^2$ 或 $p_R = u_R^2/R$ 求出，所以只要先求出电阻的电压或电流即可。

本题 CCVS 的电流等于独立电流源的电流，VCCS 的电压等于独立电压源的电压，所以只要求出两个受控源的控制量即可求出受控源的功率。

2V 电压源的电流 i ，不仅是 CCVS 的控制量，也是流过 4Ω 电阻的电流。根据欧姆定律，该电流可以用电阻的端电压表示，该电阻的端电压可通过 4Ω 电阻和 2、6V 电压源组成的回路应用 KVL 求出。

VCCS 的控制量 u 是 1Ω 电阻的端电压，根据欧姆定律该电压可以用电阻的电流表示；由 KCL 可知，该电流等于独立电流源的电流。

求得 u 和 i 后，2A 电流源的端电压 u_0 可通过对 1Ω 电阻、6V 电压源、CCVS 和 2A 电流源组成的回路应用 KVL 求出；流过 6V 电压源的电流 i_0 通过对该电压源相连的节点应用 KCL 求得。

将上述分析过程整理即为该题的求解过程。

解 有关的电压、电流及其参考方向如图 1-5 所示。由 KVL 和欧姆定律得

$$\begin{aligned} 4i + 2 - 6 &= 0 \\ i &= 1\text{A} \end{aligned}$$

由欧姆定律和 KCL 得

$$u = 2 \times 1 = 2 \text{ (V)}$$

由 KVL 得

$$u_0 = u + 6 - 3i = 2 + 6 - 3 \times 1 = 5 \text{ (V)}$$

由 KCL 得

$$i_0 = 0.25u + i - 2 = 0.25 \times 2 + 1 - 2 = -0.5 \text{ (A)}$$

则各个元件吸收的功率分别为

$$p_{2\text{A}} = -2u_0 = -2 \times 5 = -10 \text{ (W)}, \quad p_{2\text{V}} = 2i = 2 \times 1 = 2 \text{ (W)}$$

$$p_{6\text{V}} = -6i_0 = -6 \times (-0.5) = 3 \text{ (W)}, \quad p_{1\Omega} = \frac{u^2}{1} = 4 \text{ (W)}$$

$$p_{3i} = -3i \times 2 = -3 \times 1 \times 2 = -6 \text{ (W)}, \quad p_{0.25u} = 0.25u \times 6 = 0.25 \times 2 \times 6 = 3 \text{ (W)}$$

$$p_{4\Omega} = 4i^2 = 4 \text{ (W)}$$

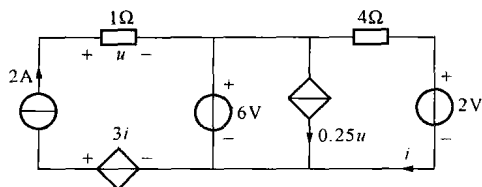


图 1-5 [例 1-1] 图

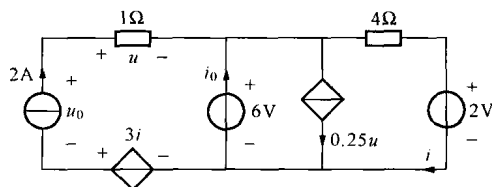


图 1-6 [例 1-1] 解图