



高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材

电路分析基础

主编 张宇飞 史学军 周井泉
主审 李小平



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材

电路分析基础

主 编 张宇飞 史学军 周井泉

主 审 李小平

西安电子科技大学出版社

2010

内 容 简 介

本书根据高等院校电子信息类专业基础课程教学指导委员会的“电路分析教学基本要求”编写而成。全书共 14 章, 主要内容包括电路分析的基本概念和定律, 电路分析的等效变换, 电阻电路的一般分析法, 网络定理, 含运算放大器的电阻电路分析, 一阶电路分析, 二阶电路分析, 正弦稳态电路的分析, 三相电路, 耦合电感和变压器电路分析, 电路的频率特性, 二端口网络, 非线性电路, 磁路和铁芯线圈电路。各章例题、练习题及解答提示、习题及习题参考答案配置齐全, 难易适中, 便于学生自学和教师施教。

本书面向全国各类高等院校, 可作为电子信息工程、通信工程、电气工程及其自动化、计算机科学与技术、电子科学与技术等专业的教材, 也可供有关科技人员参考。

★本书配有电子教案, 需要者可登录出版社网站, 免费下载。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析基础/张宇飞等主编. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2010. 1

高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2224-8

I. 电… II. 张… III. 电路分析—高等学校—教材 IV. TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 034093 号

策 划 毛红兵

责任编辑 邵汉平 毛红兵

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2010 年 1 月第 1 版 2010 年 1 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 23.875

字 数 564 千字

印 数 1~3000 册

定 价 34.00 元

ISBN 978-7-5606-2224-8/TN·0499

XDUP 2516001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜, 谨防盗版。

前 言

“电路分析基础”是高等工科院校电子信息类、电气信息类、仪器仪表类专业的一门重要的学科基础课程。本书根据高等院校电子信息类专业基础课程教学指导委员会的“电路分析教学基本要求”编写而成。

本书着重讲述电路分析的基本概念、基本原理及基本分析方法，并配有例题、练习题和解答提示，以便于对基本内容进行自学和课堂练习；每章末配有习题及习题参考答案，用来帮助学生在掌握基本内容的基础上培养其分析问题和解决问题的能力。

本书在选材上立足于加强基础，精选内容，突出重点，由浅入深，利于教学，便于自学；注意与先修的“高等数学”、“大学物理”和后续的“信号与系统”、“模拟电子电路”课程的衔接和配合，在巩固先修课程的前提下，力图为后续课程打好基础。

本书在章节的编排上做了认真的考虑，可供电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、电子科学与技术、测控技术及仪器、电气工程及其自动化等专业灵活选用。

本书是在南京邮电大学光电工程学院电路与系统教学中心全体教师 20 余年教学经验积累的基础上编写而成的。全书由张宇飞、史学军和周井泉老师合作编写，其中张宇飞编写了第 1、2、5、8、9、12 和 14 章；史学军编写了第 3、4、10 和 11 章；周井泉编写了第 6、7、13 章。全书由张宇飞统稿。

在本书的编写过程中，始终得到南京邮电大学各级领导和电路与系统教学中心全体教师的大力支持。其中，教务处处长兼光电工程学院院长陈鹤鸣教授对本书的编写给予了热情的鼓励和帮助；西安电子科技大学的李小平教授详细审阅了书稿，并提出了许多宝贵的意见。在此，对他们表示衷心的感谢。

限于编者的水平，书中的不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2009 年 11 月



第 1 章 电路分析的基本概念和定律	1	3.3 支路分析法	48
1.1 实际电路和电路模型	1	3.4 网孔分析法	50
1.2 电路的基本变量	2	3.4.1 网孔电流	50
1.2.1 电流及其参考方向	2	3.4.2 网孔方程	51
1.2.2 电压及其参考方向	3	3.4.3 网孔分析法的一般步骤	52
1.2.3 关联参考方向	4	3.4.4 网孔分析法在电路分析	
1.2.4 电功率和能量	4	中的应用	52
1.3 电路元件	6	3.5 节点分析法	54
1.3.1 电阻元件	6	3.5.1 节点电压	54
1.3.2 独立电源	7	3.5.2 节点方程	55
1.3.3 受控电源	9	3.5.3 节点分析法的一般步骤	56
1.4 基尔霍夫定律	11	3.5.4 节点分析法在电路分析	
1.4.1 基尔霍夫电流定律(KCL)	12	中的应用	56
1.4.2 基尔霍夫电压定律(KVL)	14	3.6 回路分析法	59
1.5 练习题及解答提示	16	3.6.1 连支电流	59
习题 1	18	3.6.2 回路方程	60
习题 1 答案	21	3.6.3 回路分析法分析电路的步骤	60
第 2 章 电路分析的等效变换	22	3.6.4 回路分析法在电路分析	
2.1 等效二端网络	22	中的应用	61
2.2 电阻的串联和并联	22	3.7 割集分析法	61
2.2.1 电阻的串联	22	3.7.1 树支电压	61
2.2.2 电阻的并联	24	3.7.2 割集方程	62
2.2.3 电阻的混联	25	3.7.3 割集分析法分析电路的步骤	63
2.3 电阻的 Y 形连接和 Δ 形连接	26	3.7.4 割集分析法在电路分析	
2.4 含独立电源电路的等效变换	29	中的应用	63
2.5 实际电源的两种模型及等效变换	31	3.8 电路的对偶特性与对偶电路	64
2.6 含受控源电路的等效变换	35	3.8.1 电路的对偶特性	64
2.7 输入电阻	35	3.8.2 对偶电路	65
2.8 练习题及解答提示	37	3.9 练习题及解答提示	67
习题 2	38	习题 3	69
习题 2 答案	42	习题 3 答案	73
第 3 章 电阻电路的一般分析法	43	第 4 章 网络定理	74
3.1 网络图论的基本概念	43	4.1 叠加定理和齐次性定理	74
3.2 独立的 KCL 和 KVL 方程	47	4.1.1 叠加定理	74
3.2.1 独立的 KCL 方程	47	4.1.2 齐次性定理	76
3.2.2 独立的 KVL 方程	47	4.1.3 叠加定理和齐次性定理的应用	76

4.2 替代定理	79	6.4.3 一阶电路电容电压、电感电流零状态 响应的一般公式	138
4.2.1 替代定理的概念	79	6.5 一阶电路的全响应	140
4.2.2 替代定理的应用	80	6.6 一阶电路的三要素法	141
4.3 戴维南定理和诺顿定理	81	6.6.1 三要素公式	141
4.3.1 戴维南定理	81	6.6.2 三要素法的计算步骤	142
4.3.2 诺顿定理	82	6.7 一阶电路的阶跃响应	146
4.3.3 戴维南定理和诺顿定理的应用	83	6.7.1 单位阶跃信号	146
4.3.4 最大功率传输定理	87	6.7.2 阶跃响应	148
4.4 特勒根定理	88	6.8 一阶电路的特殊情况分析	150
4.4.1 特勒根定理的形式	88	6.9 练习题及解答提示	153
4.4.2 特勒根定理的应用	89	习题 6	154
4.5 互易定理	90	习题 6 答案	162
4.5.1 互易定理的形式	90	第 7 章 二阶电路分析	164
4.5.2 互易定理的应用	92	7.1 RLC 串联电路的零输入响应	164
4.6 练习题及解答提示	94	7.1.1 过阻尼情况	165
习题 4	96	7.1.2 临界阻尼情况	167
习题 4 答案	103	7.1.3 欠阻尼情况	169
第 5 章 含运算放大器的 电阻电路分析	104	7.2 RLC 串联电路在恒定激励下的 零状态响应和全响应	173
5.1 运算放大器	104	7.3 GCL 并联电路分析	175
5.2 比例电路分析	106	7.4 一般二阶电路分析	178
5.3 含理想运算放大器的电路分析	107	7.5 练习题及解答提示	181
5.4 练习题及解答提示	112	习题 7	182
习题 5	113	习题 7 答案	185
习题 5 答案	115	第 8 章 正弦稳态电路的分析	186
第 6 章 一阶电路分析	116	8.1 正弦量	186
6.1 电容元件和电感元件	116	8.1.1 正弦量的三要素	186
6.1.1 电容元件	116	8.1.2 正弦量的相位差	188
6.1.2 电感元件	121	8.1.3 正弦量的有效值	189
6.1.3 电容、电感的串并联	124	8.2 正弦量的相量表示法	190
6.2 换路定则及初始值计算	126	8.3 正弦稳态电路的相量模型	192
6.2.1 换路定则	126	8.3.1 基尔霍夫定律的相量形式	193
6.2.2 初始值计算	127	8.3.2 三种基本电路元件 VCR 的 相量形式	194
6.3 一阶电路的零输入响应	130	8.4 阻抗和导纳	198
6.3.1 RC 电路的零输入响应	130	8.4.1 阻抗和导纳的概念	198
6.3.2 RL 电路的零输入响应	133	8.4.2 阻抗 Z 和导纳 Y 的 串联与并联	203
6.3.3 一阶电路零输入响应解的 一般公式	135	8.5 正弦稳态电路的相量分析	204
6.4 一阶电路的零状态响应	136	8.6 正弦稳态电路的功率	210
6.4.1 RC 电路的零状态响应	136	8.7 复功率	214
6.4.2 RL 电路的零状态响应	137	8.8 最大功率传输	217

8.9 非正弦周期电路的稳态分析	219	11.1.3 网络函数的计算方法	283
8.9.1 非正弦周期电路的稳态分析	219	11.2 RC 电路的频率特性	284
8.9.2 非正弦周期信号的有效值	221	11.2.1 RC 低通网络	284
8.9.3 非正弦周期信号的功率	222	11.2.2 RC 高通网络	285
8.10 练习题及解答提示	223	11.2.3 RC 带通网络	286
习题 8	225	11.2.4 RC 带阻网络	287
习题 8 答案	230	11.2.5 RC 全通网络(移相网络)	288
第 9 章 三相电路	232	11.3 RLC 串联谐振	288
9.1 三相电路	232	11.3.1 RLC 串联谐振条件和	
9.2 对称三相电路的分析	234	谐振频率	289
9.3 不对称三相电路的概念	238	11.3.2 RLC 串联谐振电路的特性阻抗与	
9.4 三相电路的功率	242	品质因数	290
9.5 练习题及解答提示	244	11.3.3 RLC 串联谐振时的	
习题 9	245	电路特性	290
习题 9 答案	247	11.3.4 RLC 串联谐振电路的	
第 10 章 耦合电感和变压器		频率特性	292
电路分析	249	11.4 GCL 并联谐振	296
10.1 耦合电感元件	249	11.4.1 GCL 并联谐振电路	296
10.1.1 耦合电感的伏安关系	249	11.4.2 实际并联谐振电路	299
10.1.2 耦合线圈的同名端	251	11.5 练习题及解答提示	302
10.1.3 耦合线圈的电路模型	252	习题 11	303
10.1.4 耦合线圈的耦合系数	253	习题 11 答案	307
10.2 耦合电感的连接及去耦等效	254	第 12 章 二端口网络	308
10.2.1 耦合电感的串联	254	12.1 二端口网络的概念	308
10.2.2 耦合电感的并联	254	12.2 二端口网络的方程及参数	309
10.2.3 耦合电感的三端连接	256	12.2.1 Z 参数	309
10.2.4 去耦等效法在含耦合电感		12.2.2 Y 参数	310
电路分析中的应用	257	12.2.3 H 参数	311
10.3 空芯变压器电路分析	259	12.2.4 A 参数	312
10.4 理想变压器和全耦合变压器	262	12.3 二端口网络的等效电路	314
10.4.1 理想变压器的伏安关系	262	12.4 二端口网络的连接	316
10.4.2 理想变压器伏安关系的推导	263	12.5 回转器和负阻抗变换器	318
10.4.3 理想变压器的阻抗变换特性	265	12.6 练习题及解答提示	320
10.4.4 全耦合变压器的电路模型	266	习题 12	322
10.5 含理想变压器电路的分析与计算	267	习题 12 答案	325
10.6 练习题及解答提示	273	第 13 章 非线性电路	326
习题 10	275	13.1 非线性电阻	326
习题 10 答案	281	13.2 非线性电阻的串联和并联	328
第 11 章 电路的频率特性	282	13.2.1 非线性电阻的串联	329
11.1 频率特性和网络函数	282	13.2.2 非线性电阻的并联	330
11.1.1 频率特性与网络函数的定义	282	13.3 解析法	331
11.1.2 网络函数的分类	282	13.4 图解法	333
		13.5 分段线性化法	334

第1章 电路分析的基本概念和定律

电路理论包括电路分析和电路综合两个分支。电路分析是指根据已知的电路结构和元件参数求解电路的特性；电路综合则是根据对电路性能的要求，确定合适的电路结构和元件参数，实现所需的电路性能。本书仅学习电路分析方面的内容。

电路分析的对象是电路模型，而电路模型是由理想的电路元件构成的。电路中的电压、电流一定受两类约束的支配：一类是电路元件自身的电压、电流约束；另一类是由元件的连接方式而引入的拓扑约束，这种拓扑约束由基尔霍夫定律来表达，该定律是集总参数电路的基本定律。

本章介绍电路模型和理想的电路元件，还介绍电路分析中的基本变量和基尔霍夫定律。

1.1 实际电路和电路模型

实际电路是由各种电器按一定的方式互相连接而组成的。实际电路通常包括三个部分：一是提供能量或信号的电源；二是用电装置，称为负载；三是连接电源和负载的导线、开关等中间环节。实际电路的主要功能可概括为两个方面：一是进行电能的产生、传输、分配与转换，如电力系统中的发电、输配电线路等；二是实现信号的产生、传递、变换、处理与控制，如电话、收音机、电视机电路等。

大至长距离的电力输电线，小至芯片上的集成电路，电路的功能千差万别，结构各异，但它们受共同的基本规律所支配。在这种共同规律的基础上，形成了“电路理论”这一学科。“电路分析”属“电路理论”学科，通过这门课程的学习，应使学生掌握电路的基本理论和基本分析方法，为学习电类专业及进一步学习电路理论打下基础。

电路分析的对象是电路模型，电路模型是实际电路在一定条件下的科学抽象和精确的数学描述。电路分析中所说的电路，是指由各种理想电路元件按一定的方式互连而组成的整体。

理想电路元件是指人为定义的有精确数学描述的假想元件。每一种理想电路元件表示实际器件所具有的一种主要电磁性能(物理性质)。例如，理想电阻元件仅表示消耗电能的特征，理想电容元件仅表示储存电场能量的特征，理想电感元件仅表示储存磁场能量的特征。这三种理想元件模型如图 1-1 所示。

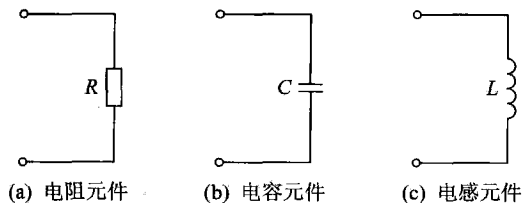


图 1-1 三种基本电路元件的图形符号

由理想电路元件构成的电路称为电路模型。今后所说的电路除特别说明外，均指电路模型，所说的电路元件均指理想电路元件。图 1-2(a)为一简单的实际电路，这是一个照明电路；其电路模型如图 1-2(b)所示。

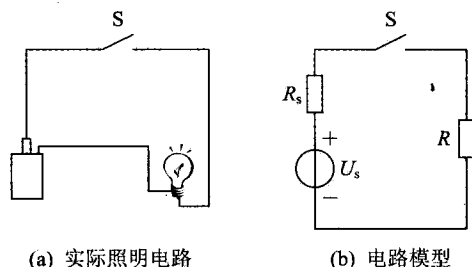


图 1-2 实际照明电路和电路模型

实际电路部件的运用一般都与电能的消耗及电磁能的储存现象有关，它们交织在一起并发生在整个部件中。电路分析中，假定这些现象可以分别研究，并且这些电磁过程都分别集中在各理想元件之中，故理想电路元件又称为集总参数元件，简称为集总元件。由集总元件构成的电路称为集总参数电路，简称为集总电路。由于集总元件的特性是集中表现在空间的一个点上，因此在集总电路中，任一时刻该电路在任一处的电流、电压都是与其空间位置无关的确定值。

用集总电路模型来近似描述实际电路是有条件的，它要求实际电路的尺寸 l (长度) 应远小于电路最高工作频率 f 所对应的波长 λ ，即

$$l \ll \lambda$$

其中： $\lambda = c/f$ ， c (光速) = 3×10^8 m/s。

我国电力用电的频率是 50 Hz，对应的波长为 6000 km，对以此为工作频率的实验设备来说，其尺寸与这一波长相比可以忽略不计，因而采用集总的概念是合适的。但对于远距离的输电线来说，就不满足上述条件，所以不能采用集总参数，而要用分布参数来表征。本书只讨论集总参数电路。

1.2 电路的基本变量

通过电路分析，可以得到给定电路的电性能，而电性能通常可用一组表示为时间函数的物理量来描述。这些物理量通常称为电路变量，电路分析的任务就是解得这些变量。最常用的变量是电流、电压和功率，另外还有电荷、磁通和能量。电流和电压的参考方向是重要的基本概念，在学习过程中要给予关注。

1.2.1 电流及其参考方向

电子和质子都是带电的粒子，电子带负电荷，质子带正电荷。电荷在导体中的定向运动形成电流。

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，用符号 i 表示，即

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

习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的实际方向。

如果电流的大小和方向都不随时间而变,则这种电流称为恒定电流或直流电流,可用大写字母 I 表示。如果电流的大小和方向都随时间变化,则称这种电流为交变电流或交流电流,用小写字母 i 表示。

在国际单位制(SI)中,电流的单位为安培(简称安,符号为 A),电荷的单位为库仑(简称库,符号为 C),时间的单位为秒(符号为 s)。

在信息工程领域,电路中的电流一般较小,常用毫安(mA)、微安(μA)作为电流的单位。而在电力系统中,电流一般较大,有时用千安(kA)作为电流单位。它们之间的换算关系是:

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

对于给定的简单电路,电流的实际方向容易判定。但当电路较为复杂时,我们常常很难确定电路中某元件上电流的实际方向。况且,在交流电路中电流的实际方向在不断改变。因此,为了方便确定电路中某一电路元件的电流实际方向,我们引入了电流参考方向的概念。

任意给定电路中某元件上的电流方向即为参考方向。可见,电流的参考方向是人为假定的电流方向。在图 1-3 所示电路中,流经元件的电流 i 的参考方向可用箭头表示,也可用双下标 i_{ab} 表示, i_{ab} 表示电流的参考方向由 a 指向 b。

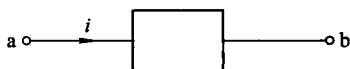


图 1-3 电流的参考方向

既有电流的参考方向,又有带有正号或负号的代数值,才能给出电流的完整解答,只有数值而无参考方向的电流是没有意义的。因此求解电路时,要先选定电流的参考方向。应该注意,虽然参考方向可任意选定,但一旦选定,就不能再改变。

在给定的电流参考方向下,若计算出的电流值为正值,则表明电流的参考方向与真实方向一致;若计算出的电流值为负值,则表明电流的参考方向与真实方向相反。

今后,电路中所标电流方向都是指电流的参考方向。电流的参考方向又称为电流的正方向。

1.2.2 电压及其参考方向

电压即两点之间的电位之差,用符号 u 表示。电路中 a、b 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

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

式中: dq 为由 a 点移至 b 点的电荷量,单位为库仑(C); $d\omega$ 为转移过程中,电荷 dq 所获得或失去的能量,单位为焦耳(J)。

习惯上把电位降落的方向(高电位指向低电位)规定为电压的实际方向。通常电压的高电位端标为“+”极,低电位端标为“-”极。

如果电压的大小和方向都不随时间而变,则这种电压称为恒定电压或直流电压,用大写字母 U 表示。如果电压的大小和方向都随时间变化,则称这种电压为交变电压或交流电压,用小写字母 u 表示。

在国际单位制(SI)中,电压的单位为伏特(简称伏,符号为V)。在无线电电路中,电压一般较小,常用毫伏(mV)、微伏(μV)作为电压单位。在电力系统中,电压一般较大,有时用千伏(kV)作为电压单位。它们之间的换算关系是:

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V} \quad 1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V} \quad 1 \mu\text{V} = 10^{-6} \text{ V}$$

同需要为电流选定参考方向一样,也需要为电压选定参考方向(参考极性)。通常在电路图中用“+”表示参考方向的高电位端,用“-”表示参考方向的低电位端,如图1-4所示。电压的参考极性同样是任意选定的。

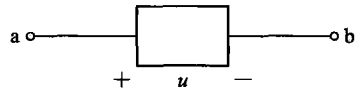


图1-4 电压的参考方向

电压的参考方向也可用双下标表示。在图1-4中,电压 u 也可用 u_{ab} 表示, u_{ab} 表示电压的参考方向由a指向b。还可用箭头表示电压的参考方向,箭头指向是从高电位端指向低电位端。

在电压参考极性下,若计算出的电压值为正值,则表明电压的参考极性与真实极性一致;若计算出的电压值为负值,则表明电压参考极性与真实极性相反。

在求解电路时,必须首先选定电压的参考方向,只有数值而无参考方向的电压是没有意义的。

电压即两点之间的电位之差,而电位的计算是相对于参考点来说的。指定电路中的某一点为参考点,通常用符号“ \perp ”表示,参考点的电位为零。电路中各点的电位指该点到参考点间的电压。

1.2.3 关联参考方向

在分析电路时,电流和电压的参考方向是可以独立无关地任意假定的。但为了方便起见,对同一元件或同一段电路,常采用关联的参考方向,即电流参考方向与电压参考“+”极到“-”极的方向一致,也就是电流与电压降的参考方向一致,如图1-5所示。

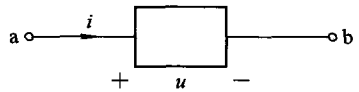


图1-5 关联参考方向

当电流、电压采用关联参考方向时,在电路图上就只需标出电流的参考方向和电压参考极性中的任意一个即可。

1.2.4 电功率和能量

电路在工作状况下总伴随有电能与其他形式能量的相互交换。另外,电气设备和电路部件本身都有功率的限制,在使用时要注意其电流值或电压值是否超过额定值。所谓额定值,就是制造厂为使产品能在给定的工作条件下正常运行而规定的正常允许值。过载会使设备或部件发生损坏,或是不能正常工作。因此,在电路的分析和计算中,能量和功率的计算十分重要。

我们把能量对时间的变化率称为功率,用字符 p 表示,即

$$p = \frac{d\omega}{dt} \quad (1-3)$$

由式(1-1)和式(1-2)可得功率与电压、电流的关系式如下:

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-4)$$

式(1-4)是当电压、电流为关联参考方向时,对图1-6(a)所示二端电路(网络)吸收功率的表示式。当二端网络的电压、电流为非关联参考方向时,如图1-6(b)所示,其吸收功率的表示式如下:

$$p = -ui \quad (1-5)$$

需要指出的是:无论是式(1-4)还是式(1-5),都是指吸收功率的计算式。若计算出的功率为正值,则表明二端网络吸收了功率;若计算出的功率为负值,则表示该二端网络发出功率。

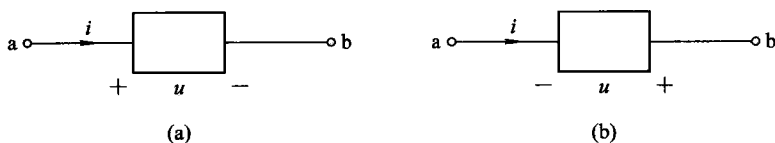


图1-6 二端网络功率的计算

在国际单位制(SI)中,功率的单位是瓦特(简称瓦,符号为W)。

$$1 \text{ 瓦} = 1 \text{ 焦[耳]}/\text{秒} = 1 \text{ 伏} \cdot \text{安}$$

当电压、电流为关联参考方向时,从 t_0 到 t 时刻内电路吸收的能量为

$$w_0(t_0, t) = \int_{t_0}^t p(\xi) d\xi = \int_{t_0}^t u(\xi)i(\xi) d\xi \quad (1-6)$$

在国际单位制(SI)中,能量的单位为焦耳,简称焦(J)。

例1-1 图1-7所示各电路中,某时刻端子上的电压、电流已给出,求该时刻各电路吸收或产生的功率。

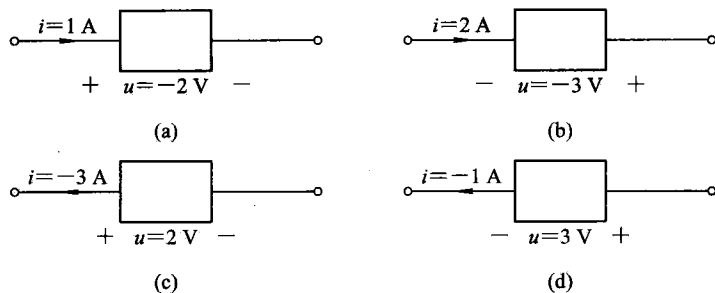


图1-7 例1-1题图

解 在图1-7(a)中,电压、电流为关联参考方向,由式(1-4)得

$$p = ui = -2 \times 1 = -2 \text{ W}$$

图1-7(a)所示电路吸收功率为 -2 W ,即产生功率为 2 W 。

在图1-7(b)中,电压、电流为非关联参考方向,由式(1-5)得

$$p = -ui = -(-3) \times 2 = 6 \text{ W}$$

图1-7(b)所示电路吸收功率为 6 W 。

在图1-7(c)中,电压、电流为非关联参考方向,由式(1-5)得

$$p = -ui = -2 \times (-3) = 6 \text{ W}$$

图 1-7(c) 所示电路吸收功率为 6 W。

在图 1-7(d) 中, 电压、电流为关联参考方向, 由式(1-4)得

$$p = ui = 3 \times (-1) = -3 \text{ W}$$

图 1-7(d) 所示电路吸收功率为 -3 W, 即产生功率为 3 W。

在实际应用中, 要注意器件所标注的额定值。对理想电阻元件来说, 功率数值的范围不受任何限制, 但对于任何一个实际的电阻器来说, 使用时都不得超过所标注的功率, 否则会烧坏电阻器。各种电器设备如电灯、电阻器等都规定了额定功率、额定电压、额定电流, 使用时不得超过额定值。由于功率、电压、电流之间有一定的关系, 故额定值一般不会全部给出。例如灯泡只给出额定电压、额定功率(如 220 V、40 W), 电阻器只标明电阻值和额定功率(如 500 Ω 、5 W)。各种电器设备在使用时, 实际值不一定等于它们的额定值, 但一般不应超过额定值。

1.3 电路元件

电路元件是组成电路的基本单元, 通过其端子与外部连接。电路元件的特性通过其端子上的电压、电流关系来描述, 通常称为伏安特性, 记为 VCR(Voltage Current Relation)。元件的 VCR 可以用数学关系式来表示, 也可由电压、电流的关系曲线——伏安特性曲线来描述。

电路元件分为无源元件和有源元件。

若某一元件接在任一电路中, 在其工作的全部时间范围内总的输入能量不为负值, 则称无源元件, 可用数学式表示为

$$w(t) = \int_{-\infty}^t p(\xi) d\xi = \int_{-\infty}^t u(\xi)i(\xi) d\xi \geq 0 \quad (1-7)$$

不满足式(1-7)的元件称为有源元件。

电路中涉及的无源元件有电阻元件、电感元件、电容元件、互感元件和理想变压器元件; 有源元件有独立电源、受控电源和理想运算放大器。本节首先介绍电阻元件、独立电源和受控电源。其余元件将在后面的章节中介绍。

1.3.1 电阻元件

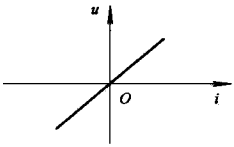
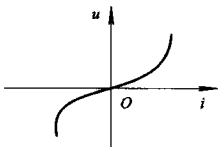
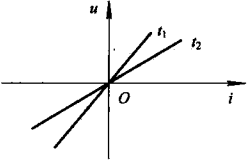
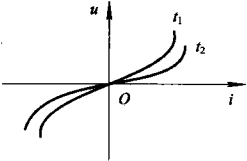
电阻元件是从实际电阻器抽象出来的模型, 它是表征电阻器对电流呈现阻力、消耗能量的一种理想元件。

在任意时刻, 一个二端元件的伏安特性若能用 $u-i$ 平面上的一条曲线来描述, 则称为电阻元件。

线性电阻的伏安特性曲线是 $u-i$ 平面上一条通过原点的直线, 电阻值的大小与直线的斜率成正比。若直线的斜率随时间变化, 则称为线性时变电阻, 否则称为线性时不变电阻(简称线性电阻或电阻)。

凡不满足线性特性的电阻, 即为非线性电阻。非线性电阻也有时变与时不变之分。电阻元件的四种类型见表 1-1。

表 1-1 电阻元件的四种类型

$u-i$	线 性	非 线 性
时不变		
时变		

在电路分析中，一般所说的电阻均指线性时不变电阻元件。

图 1-8 给出了线性电阻的元件符号及伏安特性曲线。

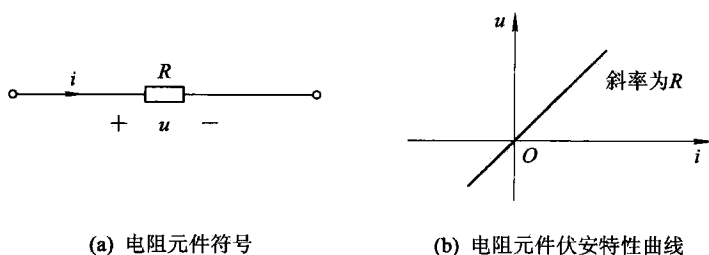


图 1-8 线性电阻的元件符号及伏安特性曲线

设电压、电流为关联参考方向，则线性时不变电阻的 VCR 关系由欧姆定律决定，即

$$u = Ri \quad \text{或} \quad i = Gu \quad (1-8)$$

式中：电阻 R 的数值为该直线的斜率，是与电压、电流无关的常量，电阻的单位为欧[姆]（符号为 Ω ）； G 称为电阻元件的电导，电导的单位为西[门子]（符号为 S ）。

显然，电阻元件的电导与电阻互为倒数的关系，即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-9)$$

由功率的定义及欧姆定律可知，电阻吸收的功率为

$$p = ui = Ri^2 = Gu^2 \quad (1-10)$$

这表明正电阻总是吸收（消耗）功率的，称为无源元件。

1.3.2 独立电源

独立电源是二端有源元件，分为独立电压源和独立电流源，它们是从实际电源抽象得到的电路模型。常见的实际电源有电池、发电机、信号源等。

1. 电压源

一个二端元件接到任一电路中，如果其两端电压始终保持为给定的时间函数 $u_s(t)$ 或定值 U_s ，而与流过它的电流无关，则该二端元件称为独立电压源，简称电压源。

电压源的图形符号如图 1-9(a)所示。当 $u_s(t)$ 为恒定值时，这种电压源称为恒定电压源或直流电压源。有时用 1-9(b)所示的图形符号表示，长横线表示电压的参考正极性，短横线表示参考负极性。在电路分析中，常取电流参考方向和电压参考方向为非关联参考方向，见图 1-9。

在 $u-i$ 平面上，电压源在时刻 t_1 的伏安特性曲线是一条平行于 i 轴且横坐标为 $u_s(t_1)$ 的直线，如图 1-10 所示。该特性曲线表明了电压源端电压与电流大小无关。

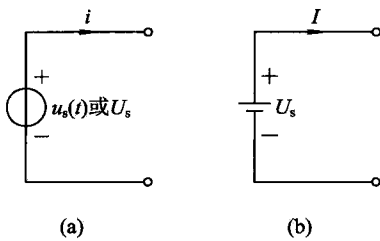


图 1-9 电压源图形符号

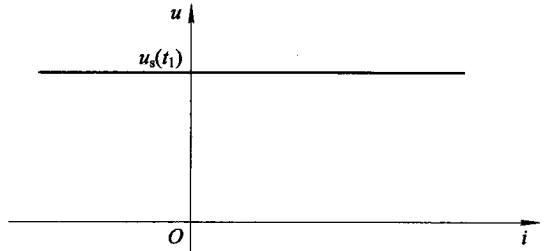


图 1-10 电压源在时刻 t_1 的伏安特性曲线

电压源具有两个基本性质：

- (1) 它的端电压是定值 U_s 或是一定的时间函数 $u_s(t)$ ，与流过的电流无关。
- (2) 电压源的电压是由它本身确定的，流过它的电流是由与它相连接的外电路来决定的。

由于流经电压源的电流由外电路来决定，故电流可以从不同方向流经电压源，因此电压源可能对外电路提供能量，也可能从外电路吸收能量。

2. 电流源

一个二端元件接到任一电路中，如果流经它的电流始终保持为给定的时间函数 $i_s(t)$ 或定值 I_s ，而与其两端电压无关，则该二端元件称为独立电流源，简称电流源。

电流源的图形符号如图 1-11(a)所示。当 $i_s(t)$ 为恒定值时，这种电流源称为恒定电流源或直流电流源，电流值用 I_s 表示。

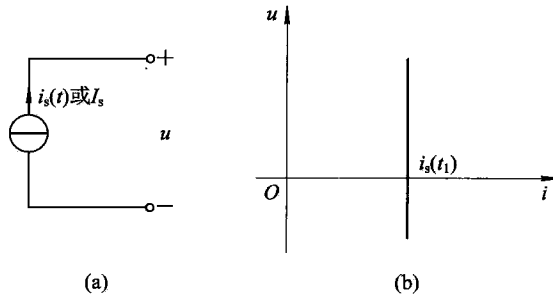


图 1-11 电流源的图形符号及在时刻 t_1 的伏安特性曲线

在电路分析中,常取电流参考方向和电压参考方向为非关联参考方向,见图1-11(a)。

在 $u-i$ 平面上,电流源在时刻 t_1 的伏安特性曲线是一条平行于 u 轴且纵坐标为 $i_s(t_1)$ 的直线,如图1-11(b)所示。该特性曲线表明了电流源电流与其上的电压大小无关。

电流源具有两个基本性质:

(1) 流经电流源的电流是定值 I_s 或是一定的时间函数 $i_s(t)$, 与其两端的电压无关。

(2) 电流源的电流是由它本身确定的,它两端的电压是由与它相连接的外电路来决定的。

由于电流源的端电压由外电路来决定,其两端的电压可以有不同的真实极性,因此电流源既可能对外电路提供能量,也可能从外电路吸收能量。

例1-2 电路如图1-12所示,已知图(a)中 $U_s=10\text{ V}$,图(b)中 $I_s=10\text{ A}$,当 R_L 分别为 $1\ \Omega$ 、 $10\ \Omega$ 、 $100\ \Omega$ 时,分别求图(a)中的电流 I 和图(b)中的电压 U 。

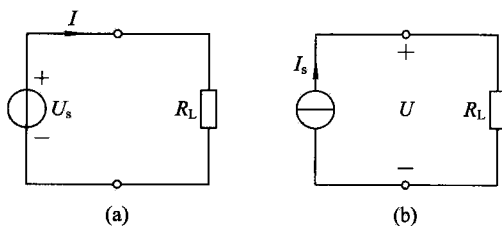


图1-12 例1-2题图

解 由图(a),根据欧姆定律:

$$R_L = 1\ \Omega \text{ 时, } I = \frac{U_s}{R_L} = 10\ \text{A}$$

$$R_L = 10\ \Omega \text{ 时, } I = \frac{U_s}{R_L} = 1\ \text{A}$$

$$R_L = 100\ \Omega \text{ 时, } I = \frac{U_s}{R_L} = 0.1\ \text{A}$$

由图(b),根据欧姆定律:

$$R_L = 1\ \Omega \text{ 时, } U = I_s R_L = 10\ \text{V}$$

$$R_L = 10\ \Omega \text{ 时, } U = I_s R_L = 100\ \text{V}$$

$$R_L = 100\ \Omega \text{ 时, } U = I_s R_L = 1000\ \text{V}$$

由图(a)的计算结果说明,电压源的电流由外电路确定;由图(b)的计算结果说明,电流源的端电压由外电路确定。

1.3.3 受控电源

受控(电)源是由电子器件抽象而来的一种电路模型。一些电子器件如晶体管、真空管等均具有输入端的电压(电流)能控制输出端的电压(电流)的特点,于是提出了受控源元件。

受控源是指输出电压或电流受到电路中某部分的电压或电流控制的电源,它是非独立电源,不能单独作为电路中的激励。前面介绍的电阻元件,独立电压源,独立电流源均属二端元件(或称为单口元件),而受控源是四端元件(或称为双口元件)。

根据控制量和受控量的不同,受控源有四种基本形式,如图1-13所示。