



普通高等教育“十二五”规划教材

电路与电子技术

许忠仁 主 编

杨冶杰 姜 丽 副主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

普通高等教育“十二五”规划教材

电路与电子技术

主 编 许忠仁
副主编 杨冶杰 姜 丽

中国石化出版社

内 容 提 要

《电路与电子技术》整合了电路分析、模拟电子技术和数字电子技术三门课程。主要包括：电路的基本概念和基本定律、线性电阻电路分析、正弦稳态交流电路分析；半导体器件基础、基本放大电路、集成运算放大电路及其应用；逻辑代数基础、组合逻辑电路、时序逻辑电路、数/模和模/数转换电路。在保证基本理论和基本知识的同时，注重系统性与实用性。《电路与电子技术》知识全面，循序渐进，简明易懂，既可作为高等院校计算机、检测技术和电子信息类专业的教材，也可供相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电路与电子技术/许忠仁主编. —北京：中国石化出版社，2011.7
ISBN 978 - 7 - 5114 - 1018 - 4

I. ①电… II. ①许… III. ①电路理论②电子技术
IV. ①TM13②TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 131528 号

未经本社书面授权，本书任何部分不得被复制、抄袭，或者以任何形式或任何方式传播。版权所有，侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址：北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编：100011 电话：(010)84271850

读者服务部电话：(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com.cn

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 21.25 印张 526 千字

2011 年 8 月第 1 版 2011 年 8 月第 1 次印刷

定价：36.00 元

前 言

《电路与电子技术》是根据高等教育的教学基本要求，为适应人才培养的实际需要，结合多年的教学实践编写的。把《电路分析基础》、《模拟电子技术》、《数字电子技术》三门课程内容整合到一起，合编成一本书，有利于相关知识的融合互补、从基础到应用，由浅入深，循序渐进，便于系统地掌握本书的知识。使本书更适合要求学时较少的普通高等院校本科电子计算机类、应用物理、检测技术等专业使用。目的在于培养学生对基本理论和基本知识的理解，对各种分析方法的掌握，提高综合能力，为进一步学习相关专业知识奠定基础。本书力求满足相关专业对电路与电子技术基础知识的要求，在保证基础理论和基础知识的基础上，注重系统性与实用性。

本书共分13章，第1~5章为电路分析基础，主要内容有：电路的基本概念和基本定律、线性电阻电路分析、一阶动态电路的分析、正弦稳态交流电路分析、三相电路分析；第6~8章为模拟电子技术，主要内容有：半导体器件基础、放大电路基础和集成运算放大电路及其应用；第9~13章为数字电子技术，主要内容有：逻辑代数基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、时序逻辑电路、存储器电路及数/模和模/数转换电路。

全书由辽宁石油化工大学的许忠仁教授任主编，杨冶杰、姜丽任副主编。参加本书编写的还有辽宁石油化工大学的穆克、褚俊霞、冯爱伟、李敏、祁军。其中第1、2章由褚俊霞编写，第3、9章由祁军编写，第4章由许忠仁编写，第5、6章由冯爱伟编写，第7章由李敏编写，第8章由穆克编写，第10章由姜丽编写，第11、12、13章由杨冶杰编写。辽宁石油化工大学的吴云教授仔细审阅了本书内容，并提出了许多宝贵意见和建议，在此表示衷心感谢。

由于作者的水平所限，书中可能存在许多不足和错误，诚请各位读者批评指正。

目 录

第1章 电路模型及定律	(1)
1.1 电路与电路模型	(1)
1.1.1 电路	(1)
1.1.2 电路模型	(1)
1.2 电压与电流的参考方向	(2)
1.2.1 电流的参考方向	(2)
1.2.2 电压的参考方向	(2)
1.3 电功率和能量	(3)
1.4 电路元件	(3)
1.4.1 电阻元件	(3)
1.4.2 电容元件	(4)
1.4.3 电感元件	(5)
1.4.4 独立电源	(5)
1.4.5 受控电源	(7)
1.5 基尔霍夫定律	(7)
1.5.1 基尔霍夫第一定律(KCL)	(7)
1.5.2 基尔霍夫第二定律(KVL)	(8)
习题	(9)
第2章 电路的分析方法和电路定理	(12)
2.1 电阻的串联和并联	(12)
2.1.1 电阻的串联	(12)
2.1.2 电阻的并联	(12)
2.1.3 电阻的混联	(13)
2.2 电压源与电流源的等效变换	(13)
2.2.1 电压源	(13)
2.2.2 电流源	(14)
2.2.3 电源两种模型之间的等效变换	(14)
2.3 支路电流法	(15)
2.4 回路电流法	(16)
2.5 结点电压法	(18)
2.6 叠加原理	(20)
2.6.1 叠加定理	(20)
2.6.2 叠加定理求解电路的步骤	(20)
2.7 等效电源定理	(22)
2.7.1 戴维南定理	(22)

2.7.2 诺顿定理	(25)
2.8 最大功率传输定理	(26)
习题	(27)
第3章 电路的暂态分析	(30)
3.1 换路定则及初始值的确定	(30)
3.1.1 换路定则及电容电压和电感电流初始值的确定	(30)
3.1.2 根据 $t=0_+$ 电路确定其它电压和电流的初始值	(31)
3.1.3 电路稳态值的确定	(32)
3.2 一阶电路的零输入响应	(33)
3.2.1 RC 电路的零输入响应	(33)
3.2.2 RL 电路的零输入响应	(34)
3.3 一阶电路的零状态响应	(35)
3.3.1 RC 电路的零状态响应	(35)
3.3.2 RL 电路的零状态响应	(36)
3.4 一阶电路的全响应	(37)
3.4.1 RC 电路的全响应	(37)
3.4.2 RL 电路的全响应	(37)
3.5 一阶电路的三要素法	(38)
3.6 微分电路与积分电路	(41)
3.6.1 微分电路	(41)
3.6.2 积分电路	(42)
习题	(43)
第4章 正弦交流电路分析	(45)
4.1 复数	(45)
4.1.1 复数的四种表示形式	(45)
4.1.2 复数的运算	(45)
4.2 正弦量的基本概念	(46)
4.2.1 正弦量	(46)
4.2.2 正弦量的三要素	(47)
4.2.3 相位差	(47)
4.2.4 正弦电流、电压的有效值	(48)
4.3 正弦量的相量表示	(49)
4.3.1 正弦量的相量表示	(49)
4.3.2 相量图	(50)
4.3.3 相量法的应用	(50)
4.4 电路元件及定律的相量形式	(51)
4.4.1 电阻元件 VCR 的相量形式	(51)
4.4.2 电感元件 VCR 的相量形式	(52)
4.4.3 电容元件 VCR 的相量形式	(53)
4.4.4 基尔霍夫定律的相量形式	(54)

4.5	阻抗和导纳	(56)
4.5.1	阻抗	(56)
4.5.2	导纳	(58)
4.5.3	复阻抗和复导纳的等效互换	(59)
4.6	阻抗(导纳)的串联和并联	(61)
4.6.1	阻抗的串联	(61)
4.6.2	导纳的并联	(61)
4.7	正弦稳态电路的分析	(62)
4.8	正弦稳态电路的功率	(66)
4.8.1	瞬时功率	(66)
4.8.2	平均功率	(67)
4.8.3	无功功率	(67)
4.8.4	视在功率	(67)
4.8.5	任意阻抗的功率计算	(67)
4.8.6	功率因数的提高	(68)
4.8.7	复功率	(69)
4.8.8	最大传输功率	(70)
4.9	电路的谐振	(71)
4.9.1	串联电路的谐振	(71)
4.9.2	并联电路的谐振	(77)
	习题	(79)
第5章	三相电路	(84)
5.1	三相电源	(84)
5.1.1	三相电源的星形联接	(85)
5.1.2	三相电源的三角形联接	(86)
5.2	三相电路的计算	(87)
5.2.1	三相负载的星形联接	(87)
5.2.2	三相负载的三角形联接	(90)
5.3	三相电路的功率	(95)
5.4	不对称三相电路	(98)
	习题	(102)
第6章	二极管和三极管	(108)
6.1	半导体基础知识	(108)
6.1.1	本征半导体	(108)
6.1.2	杂质半导体	(110)
6.1.3	PN 结的形成及特性	(111)
6.2	半导体二极管	(112)
6.2.1	基本结构	(112)
6.2.2	伏安特性	(113)
6.2.3	主要参数	(114)

6.3 稳压二极管	(115)
6.3.1 稳压管的伏安特性	(115)
6.3.2 稳压管的主要参数	(115)
6.3.3 稳压管电路	(116)
6.4 半导体三极管	(117)
6.4.1 基本结构	(117)
6.4.2 电流放大作用	(118)
6.4.3 三极管的特性曲线	(120)
6.4.4 晶体管的主要参数	(121)
6.5 场效应管	(124)
6.5.1 基本结构	(124)
6.5.2 放大原理	(126)
6.5.3 特性曲线	(129)
6.5.4 场效应管的主要参数	(131)
习题	(132)
第7章 基本放大电路	(137)
7.1 概述	(137)
7.2 基本放大电路的组成	(137)
7.3 放大电路的静态分析	(138)
7.3.1 放大电路的直流通路确定静态值(估算法)	(138)
7.3.2 图解法确定静态值	(139)
7.4 放大电路的动态分析	(140)
7.4.1 放大电路的主要性能指标	(140)
7.4.2 放大电路的微变等效电路法	(142)
7.5 共射放大电路	(145)
7.5.1 固定偏置电路	(145)
7.5.2 分压式偏置电路	(145)
7.6 共集放大电路	(148)
7.6.1 静态分析	(149)
7.6.2 动态分析	(149)
7.7 共基放大电路	(150)
7.8 场效应管放大电路	(152)
7.8.1 静态偏置和静态分析	(152)
7.8.2 场效应管小信号等效电路	(153)
7.8.3 场效应管放大电路的三种接法	(154)
7.8.4 场效应管放大电路的总结与比较	(157)
习题	(157)
第8章 集成运算放大器	(161)
8.1 集成运算放大器简介	(161)
8.1.1 集成运放的组成	(161)

8.1.2	集成运放的主要参数	(162)
8.1.3	理想运算放大器	(163)
8.2	集成运放中的负反馈	(165)
8.2.1	反馈的基本概念	(165)
8.2.2	反馈的分类	(165)
8.2.3	反馈类型的判别	(166)
8.3	负反馈对放大电路性能的影响	(168)
8.3.1	提高放大倍数的稳定性	(168)
8.3.2	改善非线性失真	(168)
8.3.3	展宽通频带	(169)
8.3.4	对放大电路输入电阻和输出电阻的影响	(169)
8.4	集成运放应用	(169)
8.4.1	比例运算电路	(169)
8.4.2	加法运算电路	(170)
8.4.3	减法运算电路	(171)
8.4.4	积分运算电路	(171)
8.4.5	微分运算电路	(172)
8.4.6	电压比较器	(172)
8.4.7	正弦波振荡器	(175)
	习题	(177)
第9章	直流稳压电源	(180)
9.1	二极管整流电路	(180)
9.1.1	单相半波整流电路	(180)
9.1.2	单相桥式整流电路	(181)
9.2	滤波电路	(183)
9.2.1	电容滤波(C滤波器)	(183)
9.2.2	电感滤波电路	(185)
9.2.3	复式滤波电路	(185)
9.3	直流稳压电路	(186)
9.3.1	稳压管稳压电路	(186)
9.3.2	晶体管串联型稳压电路	(187)
9.3.3	三端集成稳压器	(188)
	习题	(189)
第10章	组合逻辑电路	(194)
10.1	数字电路概述	(194)
10.1.1	常用的进制	(194)
10.1.2	进制间的相互转换	(195)
10.1.3	常用编码	(196)
10.2	基本门电路	(198)
10.2.1	“或”门电路	(198)

10.2.2	“与”门电路	(199)
10.2.3	“非”门电路	(199)
10.2.4	其他逻辑运算与复合门	(200)
10.3	集成门电路	(201)
10.3.1	TTL“与非”门电路	(202)
10.3.2	三态“与非”门(TSL 门)	(204)
10.3.3	CMOS 门电路	(205)
10.4	逻辑代数及应用	(207)
10.4.1	逻辑代数的运算规则	(207)
10.4.2	逻辑函数表示方法	(207)
10.4.3	逻辑代数的应用	(210)
10.5	组合逻辑电路分析与设计	(213)
10.5.1	组合逻辑电路的特点	(213)
10.5.2	组合逻辑电路的分析	(213)
10.5.3	组合逻辑电路的设计	(214)
10.6	常用组合逻辑电路	(215)
10.6.1	加法器	(215)
10.6.2	编码器	(217)
10.6.3	译码器	(219)
10.6.4	数据选择器(多路转换器)	(223)
10.6.5	数据分配器	(225)
	习题	(226)
第 11 章	触发器和时序逻辑电路	(231)
11.1	双稳态触发器	(231)
11.1.1	RS 触发器	(231)
11.1.2	主从型触发器	(237)
11.1.3	维持阻塞型 D 触发器	(241)
11.1.4	触发器逻辑功能转换	(243)
11.2	寄存器	(245)
11.2.1	数码寄存器	(247)
11.2.2	移位寄存器	(249)
11.3	计数器	(253)
11.3.1	二进制计数器	(253)
11.3.2	十进制计数器	(260)
11.3.3	任意进制计数器	(266)
11.4	555 集成定时器及应用	(270)
11.4.1	555 定时器电路	(271)
11.4.2	555 定时器构成的单稳态触发器	(272)
11.4.3	555 定时器构成的多谐振荡器	(274)
	习题	(276)

第 12 章 存储器	(284)
12.1 存储器	(284)
12.1.1 存储器的分类	(284)
12.1.2 只读存储器	(284)
12.2 随机存取存储器	(292)
12.3 微型计算机存储器的组成与扩展	(295)
12.3.1 存储器芯片的选择	(295)
12.3.2 存储器芯片的连接	(296)
习题	(299)
第 13 章 数/模和模/数转换	(302)
13.1 概述	(302)
13.2 数/模转换器(D/A)	(302)
13.2.1 权电阻网络 D/A 转换器	(303)
13.2.2 倒 T 型电阻网络 D/A 转换器	(304)
13.2.3 权电流 D/A 转换器	(307)
13.2.4 具有双极性输出的 D/A 转换器	(308)
13.2.5 D/A 转换器的转换精度与转换速度	(309)
13.3 模/数转换器(A/D 转换器)	(311)
13.3.1 A/D 转换器的组成	(311)
13.3.2 直接 A/D 转换器	(314)
13.3.3 间接 A/D 转换器	(319)
13.3.4 A/D 转换器的转换精度与转换速度	(322)
习题	(323)
参考文献	(327)

第1章 电路模型及定律

1.1 电路与电路模型

1.1.1 电路

为了实现电能的产生、传输及使用的任务，把所需要的电路元件按一定的方式连接起来，即构成电路。所以电路是由电工(电器)设备构成的总体。它提供了电流流通的路径，在电路中随着电流的通过，进行着能量的转换、传输、分配的过程。一个完整的电路要有三个基本组成部分，即：

电源 产生电能或信号的设备，是电路中的信号或能量的来源，工作时将其他形式的能量变为电能，例如发电机、干电池、光电池等。同时电源又被称为激励。

负载 用电设备，消耗电能的装置。工作时将电能变为其他形式的能量，例如电动机、电阻器等。

中间环节 电源与负载之间的连接部分。除连接导线外，还有控制、保护电源用的开关，熔断器，升、降压变压器等。

根据电路的功能，可将电路分为两种：一种是实现电能传输和分配，并将电能转换成其他形式的能量，称为电能电路。电路的另一个作用是对信号进行处理，以信号处理为目的的电路称为信号电路。通过电路把输入的信号(激励)进行变换或加工变为所需要的输出(响应)。如放大电路把微弱信号进行放大——收音机、电视机的放大电路，调谐电路，存储电路，整流滤波电路等。

1.1.2 电路模型

前面我们叙述了组成电路的各部分，如电源、负载及控制部分的各种元件均为实际的电路元件。这些元件所表现出的性能各不相同：如各种电阻器，电灯，电烙铁等主要表现为消耗电能，当电流通过时，在其内部进行电能转化为热能的不可逆过程。因此凡是具有这类性能的元件统统用电阻模型表示；还有一些电器元件本身不消耗电能，当电流通过时进行能量的存储，如电感线圈将电能变为磁场能量存储，电容将电能变为电场能量存储起来，而这些能量又可以将储存的能量馈送给电源或作为能源供给电路消耗。

根据其电磁性能把实际电路元件加以理想化，常用的5种基本的理想电路元件：

电阻元件 表示消耗电能的元件。在元件内部，进行着电能—热不可逆过程。

电感元件 表示产生磁场，储存磁场能的元件。在元件内部，进行着电能—磁场能量可逆过程

电容元件 表示产生电场，储存电场能量的元件。在元件内部进行着电能—电场能量可逆过程。

电压源和电流源 表示将其他形式的能量转变成电能的元件。

这些理想化的电路元件即数学模型，我们使用这些理想的元件模型的组合近似代替实际的电路元件，从而构成与实际电路相对应的电路模型，用这些电路模型去分析电路中所发生

的电磁现象。

如手电筒电路模型：电池，开关，连接导线，灯泡。

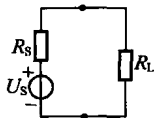


图 1.1.1

对应的元件为：电源，控制器，连接线，电阻。其中 U_s 代表电源，是电池的电路模型。 R_s 代表电源的内阻， R_L 代表负载，是电阻的电路模型。如图 1.1.1。

我们把所有电能到热能的不可转换均集中在电阻中发生，而不考虑在整个电能传输过程中，各部分电阻的分布情况，因此又称为集总参数电路。这种电路的条件是：电源的频率不能太高，或实际电路尺寸远小于电路工作时电磁波的波长，若条件不满足，则称为分布参数电路。

1.2 电压与电流的参考方向

在电路中我们涉及许多物理量：电流、电压、电位、电势等。它们的定义、实际方向、计量单位在物理学中已经叙述，在这里只讲参考方向的问题。

1.2.1 电流的参考方向

我们已知电流的实际方向是正电荷运动的方向，但是分析问题之前往往并不知道电流的实际方向或实际方向不断的发生变化(例如交流电路中的电流)，因此很难在电路中标出其实际方向。为此，引入电流的参考方向(亦称为正方向)。其用途在于根据选择的参考方向和计算出的结果判断电流的实际方向。

在计算电路之前，任意选择支路电流的参考方向(当然不一定是实际方向)，通过计算，如果 $I > 0$ ，说明电流的实际方向与参考方向一致；反之，则电流的实际方向与参考方向相反(如图 1.2.1)。这样电流就变为有正、负之分的代数量了。

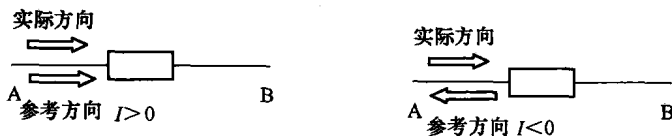


图 1.2.1

1.2.2 电压的参考方向

同理，任意元件两端的电压，通常在计算之前也要选择其参考方向，当电压的参考方向与实际方向一致时，电压为“+”；否则为“-”。电压的参考方向也是任意指定的。可以用“+”“-”极性表示，也可以用箭头表示，还可以用双下标表示，如 U_{AB} 表示电压从 A 指向 B(图 1.2.2)。

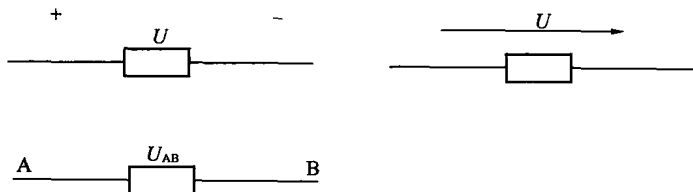
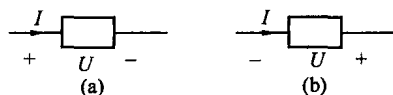


图 1.2.2

对于同一元件，如果电流和电压的参考方向相同，即电流是从电压的正极性流向负极

性, 称其为关联参考方向; 若电压、电流的参考方向不相同, 称为非关联参考方向。



例 1.2.1 在例 1.2.1 图所示的电路中, 电压电流的参考方向是否关联?

例 1.2.1 图

解: 图(a)的电压电流参考方向为关联; 图(b)的电压电流参考方向为非关联。

1.3 电功率和能量

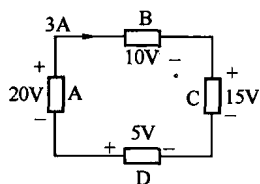
电路的分析计算中, 电功率是重要的物理量之一。电功率与电压和电流密切相关, 在物理学中, 功率的计算公式是 $P = UI$ 。这里所使用的 U 和 I 是其实际方向, 当 U 、 I 实际方向相同时, 代表元件吸收功率, 反之, 为发出功率。在讲了参考方向的基础上, 如何根据电压、电流的参考方向判断电路的功率是发出还是吸收? 以电阻(图 1.3.1)为例。

若 U 、 I 参考方向一致, 按 $P = UI$ 计算功率, 由于 U 、 I 均为代数量, 所以, P 可能为“+”可能为“-”。但 U 、 I 参考方向一致, 当 $U > 0$ 时, 由于 $U = RI$, 所以 $I > 0$, 则 $P > 0$; 当 $U < 0$ 时, 由于 $U = RI$, 所以 $I < 0$, 则 $P > 0$ 。若 U 、 I 参考方向相反, 当 $U > 0$ 时, 由于 $U = -RI$, 所以 $I < 0$, 则 $P < 0$; 当 $U < 0$ 时, 由于 $U = -RI$, 所以 $I > 0$, 则 $P < 0$ 。由此可见, U 、 I 参考方向一致, $P > 0$ 表示电阻吸收功率, U 、 I 参考方向相反, $P < 0$ 表示电阻吸收功率。推广到一般情况, 若为任意一段电路, 此时 U 、 I 不可能同时为“+”或同时为“-”, 则 P 有正、负之分, 结论为:

若 U 、 I 参考方向一致, $P > 0$, 表示一段电路吸收功率, $P < 0$, 表示发出功率。

若 U 、 I 参考方向相反, $P > 0$, 表示一段电路发出功率, $P < 0$, 表示吸收功率。

例 1.3.1 在例 1.3.1 所示的电路中, 各元件的功率为多少? 表明实际发出还是吸收功率?



例 1.3.1 图

解: 元件 A 的功率为 $P_A = UI = 60\text{W}$, 电流电压为非关联参考方向, 表明发出 60W。

元件 B 的功率为 $P_B = UI = 30\text{W}$, 电流电压为关联参考方向, 表明吸收 30W。

元件 C 的功率为 $P_C = UI = 45\text{W}$, 电流电压为关联参考方向, 表明吸收 45W。

元件 D 的功率为 $P_D = UI = 15\text{W}$, 电流电压为非关联参考方向, 表明发出 15W。

对完整的电路而言, 整个电路发出的功率和吸收的功率是平衡的, 满足功率守恒定律。

1.4 电路元件

在电路理论中实际的电路元件是用理想化的电路元件的组合来表示的。理想的电路元件有二端和多端元件之分, 又有有源、无源的区别。我们所涉及的无源理想二端元件有: 电阻、电感和电容; 多端元件有晶体管、运算放大器、变压器等。

1.4.1 电阻元件

若某二端元件电压电流取关联参考方向时, 任一时刻其两端的电压和流过的电流均遵循欧姆

定律 $U=RI$ ，则该元件称为线性电阻元件 R ，电路符号如图 1.4.1 所示。其中 R 既是电阻元件的标识符号，也是元件的参数，称为电阻元件的阻值(正实常数)，单位为欧姆(Ω)。

若电压、电流为非关联参考方向，表达式加一负号，记作 $U=-RI$ 。由于电压的单位是伏，电流的单位是安，所以电压电流的关系式又被称为伏安方程。图 1.4.2 所示为关联参考方向下电阻元件的伏安特性曲线。从曲线可以看出，线性电阻元件的伏安特性曲线为一条通过原点的直线。

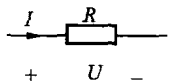


图 1.4.1

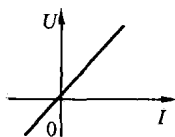


图 1.4.2

电阻元件的功率为 $P=UI$ ，在关联参考方向有 $U=RI$ ，则 $P=UI=RI^2>0$ ，表明实际吸收功率；若为非关联参考方向有 $U=-RI$ ，则 $P=UI=-RI^2<0$ ，则表明发出负功率，即实际上也是吸收功率。综上所述，电阻元件的功率恒为非负值，任一时刻都在吸收功率，电阻元件是用来表示电路中消耗电能理想元件。

为分析计算方便，我们令 $G=1/R$ ，式中 G 称为电阻元件的电导，单位为 S(西门子，简称西)。伏安方程也可以写做 $I=GU$ 。

1.4.2 电容元件

将两块平行的极板中间隔以绝缘介质，当给极板施加外电压后，极板上会分别聚集等量的异性电荷 q ，若任一时刻电荷 q 与两端的电压 U 之间的关系都可由 $q-U$ 平面一条不随时间变化，且过原点的一条直线来确定，如图 1.4 所示。即电荷 q 与电压 U 的比值为常数，则这个二端元件称为线性电容元件 C ，电路符号如图 1.4.4。电荷 q 与电压 U 的比值 $C=\frac{q}{U}$ (正实常数)，既是电容元件的标识，也是电容的参数，称为电容的容值，单位为 F，常用单位还有 μF ， pF 。其中 $1\mu\text{F}=10^{-6}\text{F}$ ， $1\text{pF}=10^{-12}\text{F}$ 。

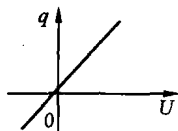


图 1.4.3

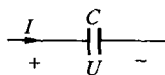


图 1.4.4

在电路理论中，我们更多的是讨论电压与电流的关系，由于 $I=\frac{dq}{dt}=\frac{d(CU)}{dt}=C\frac{dU}{dt}$ ，即电压与电流的伏安方程为 $I=C\frac{dU}{dt}$ 。

从电压、电流关系可以看出，任何时刻线性电容的电流与该时刻电压的变化率成正比。电压的变化率越大，电流越大，当电压不变时(直流电路)，电流为零，所以我们说电容元件具有隔直作用。

在一般情况下，若以电流为自变量，则电压、电流的关系可通过积分表示。

$$U_c(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t I(\xi) d\xi \quad (1.4.1)$$

由公式可以看出, 在任意时刻 t 电容元件的电压与所有时间内的电流有关, 通过电压, 把电流的全部历史记录下来, 所以电容是一种“记忆元件”。

在电压、电流关联参考方向下, 线性电容吸收的瞬时功率 $P = UI = CU \frac{dU}{dt}$, 从 $-\infty$ 到时间 t 内, 该元件吸收的能量:

$$W = \int_{-\infty}^t p dt = \int_{-\infty}^t CU \frac{dU}{dt} dt = C \int_{U(-\infty)}^{U(t)} U dU = C \left[\int_{U(-\infty)}^0 U dU + \int_0^{U(t)} U dU \right] = \frac{1}{2} CU_c(0)^2 - \frac{1}{2} CU_c(t)^2$$

当电容的 $U_c(0) = 0$ 时, 则 $w = \frac{1}{2} CU^2$ (1.4.2)

电容元件是一种储存电场能的理想元件。需要强调的是, 电容元件只有在先接受外加电压, 储存一定能量后, 才有可能向外释放能量, 故电容元件仍是无源元件, 理想电容是不消耗能量的, 又称为无损元件。

1.4.3 电感元件

由电磁感应定律可知, 当导体中有电流流过时, 导体周围会产生磁场, 而变化的磁场会感应出电压。若一个二端元件在任一时刻, 其电流与其磁通链之间的关系都可以由 $\Psi - I$ 平面上过原点的一条直线所确定, 如图 1.4.5 所示则此二端元件称为线性电感元件 L 。定义 $L = \frac{\Psi}{I}$, 单位为亨(H), 电路符号如图 1.4.6 所示。

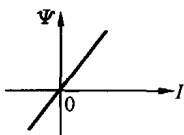


图 1.4.5

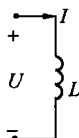


图 1.4.6

如果选择感应电压的参考方向与电流参考方向一致, 根据楞次定律有:

$$U = \frac{d\Psi}{dt} = L \frac{dI}{dt} \quad (1.4.3)$$

可以看出, 电感两端的电压与线圈中电流的变化率成正比。当电流不变时, 电感两端电压为零。电感元件的电压电流关系也可以写成积分形式:

$$I = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t U(\xi) d\xi = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^0 U(\xi) d\xi + \frac{1}{L} \int_0^t U(\xi) d\xi = I(t_0) + \frac{1}{L} \int_0^t U(\xi) d\xi \quad (1.4.4)$$

与电容元件类似, 电感元件也能从外部电路吸收能量, 并以磁场形式储存, 也称为储能元件, 理想电感也是无源无损元件, 而实际电感线圈由于存在导线电阻, 能量一定会有损耗。

1.4.4 独立电源

电源分为独立电源和受控电源。独立电源又有电压源和电流源。

(1) 独立电压源

电压源有理想电压源和实际电压源。

1) 理想电压源

理想电压源在向外部负载供电的过程中, 电源本身并不消耗能量。理想电压源的端电压为常量或固定的时间函数。电路模型如图 1.4.7。

其中“+”、“-”号表示电源电压的参考极性, U_s 为电压源的电压的大小。

理想电压源有两个特点：①电源两端的电压与通过它的电流无关。
②电压源供出的电流随外电路而变。理想电压源的伏安特性如图 1.4.8。

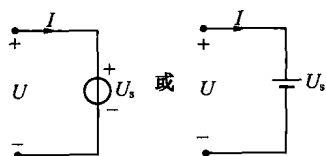


图 1.4.7

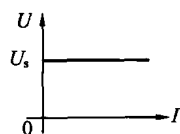


图 1.4.8

2) 实际电压源

实际上，当电压源向外部负载供电的过程中，电源本身也消耗能量，这就使得实际电压源的电路模型和伏安特性均不相同。当电压源向外部负载供电时，所供出的电流在电源内部也有热的耗散，这种热的耗散可用电压源的内阻 R_s 来表示，因此实际电压源的电路模型如图 1.4.9。当电压源接上负载后，电路中便产生电流，在图中参考方向下，电压源的端电压、电流之间的伏安特性如图 1.4.10。其特性方程为

$$U = U_s - R_s I \quad (1.4.5)$$

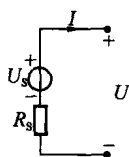


图 1.4.9

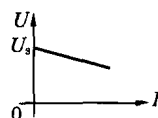


图 1.4.10

(2) 独立电流源

与电压源类似，电流源也分为理想电流源和实际电流源。

1) 理想电流源

理想电流源是向电路供出固定电流的二端元件，符号如图 1.4.11(a)。

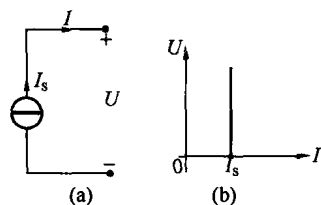


图 1.4.11

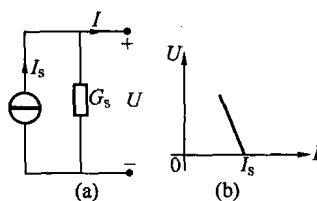


图 1.4.12

其中， I_s 为电流源的电流大小。箭头为电流源电流的参考方向。由于电流的连续性，当电流源单独存在时，要将电流源两端短路。

理想电流源有以下特点：

- ①理想电流源供出的电流为常量或固定的时间函数，其大小不随外电路而变。
- ②理想电流源的端电压随外电路而变，其伏安特性如图 1.4.11(b)。

2) 实际电流源

实际电流源可视为理想电流源和电导的并联组合。如图 1.4.12(a)。其特性方程为

$$I = I_s - G_s U \quad (1.4.6)$$