

中国计算机学会教育专业委员会 推荐
全国高等学校计算机教育研究会 出版
高等学校规划教材

电路与电子学

(第二版)

刘淑英 蔡胜乐 王文辉 主编

计算机学科教学计划 2000



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

内 容 简 介

本书是在第一版的基础上,根据这几年的教学实践修订而成的。全书分为上、下两篇。上篇为电路基础知识,内容包括:简单电路的分析,线性网络分析的一般方法和定理,一阶网络分析,正弦交流电路的分析等。下篇为模拟电子技术基础知识,内容包括:半导体器件基础,放大电路基础,功率放大器,负反馈放大器,运算放大器及其应用电路,直流电源。本书的特点是:内容简明,立足应用。

本书原版是为计算机专业本科生编写的教材,修订时对上篇的内容进行了适当的扩充,使其除了作为高等学校计算机专业的教材外,还可供电子、电气、自动化等专业作为教材使用。本书还可供自学考试,成人教育和电子工程技术人员自学使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电路与电子学/刘淑英等主编.—2版.—北京:电子工业出版社,2002.3

ISBN 7-5053-7282-3

I.电… II.刘… III.①电路理论—高等学校—教材 ②电子学—高等学校—教材 IV.①TM13②TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 005836 号

责任编辑:赵家鹏

印 刷:北京四季青印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:23.5 字数:592 千字

版 次:2002 年 3 月第 2 版 2002 年 3 月第 1 次印刷

印 数:10 100 册 定价:30.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。

联系电话:(010)68279077

目 录

上篇 电路基础

第一章 直流电路	(1)
第一节 电路与电路模型	(1)
第二节 电流、电压、电位	(2)
一、电流和电流的参考方向	(2)
二、电压和电压的参考方向	(2)
三、电位	(3)
第三节 电功率	(3)
第四节 电阻元件	(4)
第五节 电压源与电流源	(6)
一、电压源	(6)
二、电流源	(6)
三、电压源与电流源的等效变换	(7)
第六节 基尔霍夫定律	(10)
一、基尔霍夫电流定律	(10)
二、基尔霍夫电压定律	(11)
第七节 简单的电阻电路	(12)
一、电阻的串联	(12)
二、电阻的并联	(11)
三、简单电阻电路的计算	(15)
第八节 支路电流分析法	(17)
第九节 节点电位分析法	(19)
第十节 叠加原理	(21)
第十一节 等效电源定理	(23)
一、戴维南定理	(23)
二、诺顿定理	(25)
第十二节 含受控电源的电阻电路	(26)
一、受控电源	(26)
二、含受控源电阻电路的分析	(27)
习题 1	(30)

第二章 电路的过渡过程	(36)
第一节 电容元件与电感元件	(36)
一、电容元件	(36)
二、电感元件	(37)
第二节 动态电路的过渡过程和初始条件	(38)
第三节 一阶电路的零输入响应	(40)
一、RC 电路的零输入响应	(40)
二、RL 电路的零输入响应	(43)
第四节 一阶电路的零状态响应	(44)
一、RC 电路的零状态响应	(44)
二、RL 电路的零状态响应	(47)
第五节 一阶电路的全响应	(49)
一、RC 电路的全响应	(49)
二、RL 电路的全响应	(52)
习题 2	(54)
第三章 交流电路	(57)
第一节 正弦交流电的基本概念	(57)
一、周期电流	(57)
二、正弦交流电	(57)
三、交流电的有效值	(59)
第二节 正弦量的相量表示法	(60)
一、正弦量的矢量表示法	(60)
二、正弦量的相量表示法	(61)
三、复数	(62)
四、基尔霍夫定律的相量形式	(64)
第三节 单一元件参数电路	(64)
一、电阻电路	(64)
二、电感电路	(66)
三、电容电路	(67)
第四节 简单的正弦交流电路	(69)
一、RLC 串联交流电路	(69)
二、阻抗的串联和并联	(72)
第五节 复杂交流电路的分析和计算	(74)
第六节 正弦交流电路的功率	(77)
一、瞬时功率	(77)
二、有功功率	(77)
三、视在功率和无功功率	(78)
第七节 正弦交流电路中的谐振	(80)
一、串联谐振	(80)
二、并联谐振	(82)
第八节 非正弦周期电流电路	(84)

一、非正弦量的谐波分析	(81)
二、非正弦周期量的有效值和功率	(85)
三、非正弦周期电流电路的计算	(85)
第九节 三相交流电路	(87)
一、三相电源	(87)
二、三相电源的连接方式	(88)
三、三相负载的连接方式	(90)
习题 3	(93)

下篇 模拟电子技术基础

第四章 半导体二极管、三极管和场效应管	(95)
第一节 PN 结	(95)
一、半导体	(95)
二、半导体的导电原理	(95)
三、PN 结的形成	(98)
四、PN 结的特性	(99)
第二节 半导体二极管	(101)
一、半导体二极管的结构和类型	(101)
二、二极管的伏安特性	(102)
三、二极管的主要参数	(104)
四、二极管的等效电路及应用	(104)
五、稳压二极管	(107)
第三节 双极型晶体管	(109)
一、晶体管的结构和类型	(109)
二、晶体管的电流分配关系和放大作用	(110)
三、晶体管的特性曲线	(114)
四、晶体管的主要参数	(116)
五、温度对晶体管参数的影响	(120)
第四节 场效应晶体管	(121)
一、绝缘栅场效应管	(121)
二、结型场效应管	(127)
三、场效应管的特点	(131)
习题 4	(132)
第五章 放大电路基础	(137)
第一节 放大电路的组成及工作原理	(137)
一、放大电路的功能及性能指标	(137)
二、共发射极放大电路的组成	(138)
三、放大电路的工作原理	(139)
第二节 图解分析法	(142)
一、用图解法分析静态工作情况	(142)
二、用图解法分析动态工作情况	(143)

三、电路参数对静态工作点的影响	(145)
四、非线性失真	(146)
五、最大输出电压幅值	(147)
第三节 计算分析法	(148)
一、静态工作点的计算	(148)
二、晶体管的 h 参数微变等效电路	(149)
三、用计算分析法计算主要性能指标	(153)
第四节 放大电路的三种接法	(158)
一、共集电极放大电路	(158)
二、共基极放大电路	(163)
三、三种基本放大电路的比较	(165)
第五节 阻容耦合放大电路	(165)
一、阻容耦合基本共射极放大电路	(165)
二、稳定工作点的放大电路	(169)
第六节 场效应管放大电路	(176)
一、场效应管直流偏置电路	(176)
二、场效应管的微变等效电路	(179)
三、主要性能指标计算	(181)
第七节 多级放大电路	(182)
一、多级放大电路的组成	(182)
二、多级放大电路的耦合方式	(183)
三、多级放大电路的分析计算	(186)
第八节 放大器的通频带	(191)
一、放大器的频率特性	(191)
二、单级阻容耦合共射放大电路的频率特性	(194)
三、多级放大电路的频率特性	(201)
习题 5	(203)
第六章 功率放大电路	(212)
第一节 功率放大电路的特殊问题	(212)
第二节 互补对称功率放大电路	(213)
一、双电源互补对称电路	(213)
二、复合互补对称电路	(217)
三、单电源互补对称电路	(218)
第三节 集成功率放大电路简介	(219)
习题 6	(220)
第七章 集成运算放大器	(222)
第一节 概述	(222)
一、集成电路简介	(222)
二、集成电路中的元件	(222)
三、模拟集成电路的结构特点	(224)
第二节 差动式放大电路	(224)

一、基本差动放大电路	(225)
二、具有射极公共电阻的差放电路	(227)
三、具有恒流源的差放电路	(229)
四、共模抑制比和共模输入电压范围	(231)
五、失调和调零	(232)
六、差动放大电路的四种接法	(232)
第三节 电流源电路	(236)
一、镜像电流源电路	(236)
二、微电流源电路 (Small Value Current Source)	(237)
三、多路电流源电路 (Multiple Current Source)	(237)
四、有源负载电路	(238)
第四节 集成运算放大器	(238)
一、集成运放电路简介	(238)
二、集成运算放大器的技术指标	(241)
三、集成运放的低频等效电路	(243)
四、集成运放使用注意事项	(243)
习题 7	(246)
第八章 负反馈放大电路	(249)
第一节 反馈的基本概念	(249)
一、什么叫反馈	(249)
二、反馈放大器的分类	(250)
第二节 负反馈放大器的基本关系式	(254)
一、负反馈放大器的方块图	(254)
二、负反馈放大器的基本关系式	(255)
第三节 负反馈对放大器性能的改善	(257)
一、提高放大倍数的恒定性	(257)
二、扩展放大器的通频带	(258)
三、减小放大器非线性和内部噪声的影响	(260)
四、对输入电阻和输出电阻的影响	(261)
第四节 负反馈放大电路的计算	(265)
一、深度负反馈条件下放大倍数的近似计算	(266)
二、方块图分析法	(269)
第五节 反馈放大器的自激	(272)
一、自激的表现	(272)
二、自激条件	(272)
三、负反馈放大器的自激	(274)
四、高频自激的消除	(275)
习题 8	(277)
第九章 信号的运算、处理及波形发生电路	(284)
第一节 运算电路	(284)
一、比例电路	(284)
二、加减运算电路	(286)

三、积分运算电路和微分运算电路	(288)
四、对数和反对数运算电路	(289)
五、乘除运算电路	(290)
第二节 电压、电流变换电路	(295)
一、电压-电流变换器	(295)
二、电流-电压变换器	(296)
第三节 有源滤波电路	(297)
一、低通滤波器	(297)
二、高通滤波器	(299)
三、带通滤波器	(300)
四、带阻滤波器	(301)
第四节 电压比较器	(301)
一、简单电压比较器	(302)
二、具有滞回特性的比较器	(302)
第五节 采样-保持电路	(304)
第六节 正弦波振荡电路	(306)
一、正弦振荡的平衡条件	(306)
二、RC 正弦波振荡电路	(307)
三、LC 正弦波振荡电路	(309)
四、石英晶体振荡器	(314)
第七节 非正弦波发生电路	(315)
一、方波发生器	(315)
二、方波-三角波发生器	(317)
三、锯齿波发生器	(318)
四、压控振荡器	(318)
习题 9	(321)
第十章 直流电源	(332)
第一节 串联型线性调整式直流稳压电源	(332)
一、桥式整流电容滤波电路	(332)
二、稳压电路	(333)
三、输出电压的大小与调节方法	(334)
第二节 线性集成稳压器	(335)
一、三端集成稳压器外型, 符号及主要参数	(335)
二、三端集成稳压器的典型用法	(335)
三、三端集成稳压器的扩展用法	(336)
第三节 串联开关型稳压电源	(337)
一、换能电路结构和工作原理	(338)
二、串联开关型稳压电路	(338)
第四节 无工频变压器开关电源	(340)
一、无工频变压器开关电源的结构	(340)
二、直流变换器工作原理	(341)
三、无工频变压器开关电源的特点	(342)

第五节 微机中的直流稳压电源	(313)
一、输入回路	(314)
二、自激式直流变换器	(314)
三、稳压控制电路	(314)
四、其他几路直流稳压输出的获得	(316)
五、保护电路	(317)
习题 10	(319)
习题参考答案	(351)
参考文献	(358)

上篇 电路基础

第一章 直流电路

本章结合直流电路介绍一般电路的基本物理量；介绍电压源、电流源和电阻元件的伏安关系；讨论电路的基本定律、基本定理和电路的基本分析方法。

第一节 电路与电路模型

电路(Circuit)就是电流(Current)所通过的路径。实际电路是由一些电路器件用导线连接起来组成的。所谓电路器件是指电阻器、电感器、电容器、变压器、开关、晶体管和电池等。为了便于对实际电路进行分析,将实际电路器件理想化(或称模型化),即在一定条件下突出其主要的电磁性质,忽略其次要因素,将其近似地看作理想电路元件。由一些理想化元件组成的电路,就是实际电路的电路模型。一般将理想电路元件简称为元件(Element),将电路模型简称为电路。

电路中所应用的各种元件,按其工作时表现出的电特性可分作两类:一类元件工作时可以向电路提供电能,称之为电源(Electric Source);另一类元件工作时吸收电能并将电能转化为其他形式的能量,如转化为热能、光能、机械能等,这类元件称为负载(Load)。负载主要有三种:电阻(Resistance)、电容(Capacitance)和电感(Inductance)。实际的某个器件在工作时的特征可以用一种理想元件或几种理想元件的组合来反映。

将一个小灯泡用导线与电池连接起来就组成了一个简单的电路,其电路模型如图 1-1 所示,电阻元件 R 表示小灯泡,理想电压源 U_s 表示电池。在这里忽略导线的电阻和电池的内阻。

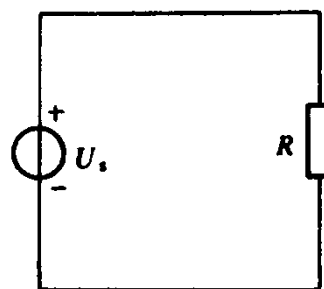


图 1-1 电路模型示例

同一个实际器件在不同的条件下可能要用不同的理想元件来表示。比如前面例子中的电池,在电流比较大或使用时间比较长时,因内部损耗较大则需用一个理想电压源和一个电阻元件相串联来表示。

比较复杂的电路又称电网络,简称网络(Network)。元件通过端子与外电路相连,按端子的数目可将元件分为二端元件、三端元件、四端元件等。比如,电阻元件、电感元件是二端元件,晶体三极管是三端元件。

第二节 电流、电压、电位

一、电流和电流的参考方向

电流是由电荷有规则的定向流动形成的。电流的大小用电流强度来衡量。电流强度等于单位时间内通过导体某横截面的电量。电流强度也简称电流,用字母 i 表示,若在 dt 时间内通过导体某横截面的电量为 dq ,则有

$$i = \frac{dq}{dt}$$

在国际单位制中,电流 i 的单位是安培(A),简称安;电量 q 的单位是库仑(C);时间 t 的单位是秒(s)。

大小和方向都不随时间变化的电流称为恒定电流,或者称为直流电流(Direct Current),用大写字母 I 表示。

习惯上把正电荷流动的方向作为电流的实际方向。在电路分析中有时不容易判断出电流的实际方向,在有些情况下电流的实际方向还是变化的,为此,我们可以任意选定一个方向作为电流的参考方向。当电流的实际方向与参考方向相同时,为 $i > 0$;当电流的实际方向与参考方向相反时,为 $i < 0$;这样电流 i 的值就有正有负,是个代数量。本书电路图上所标出的电流方向都是参考方向。在选定的电流参考方向下,根据电流的正负,就可确定电流的实际方向,如图 1-2 所示。

电流的参考方向在电路图中用箭头表示出来,可以画在线外,也可以画在线上,见图 1-3。电流的参考方向也可以用双下标表示,比如 i_{ab} 表示电流由 a 点流向 b 点,即电流的参考方向是由 a 指向 b 点。

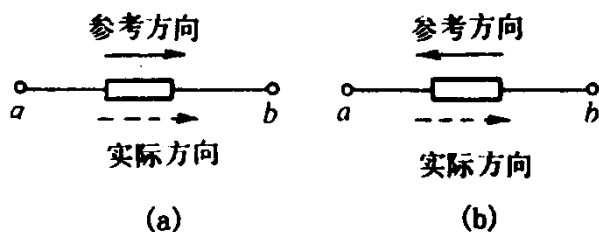


图 1-2 电流的参考方向

(a) $i > 0$ (b) $i < 0$

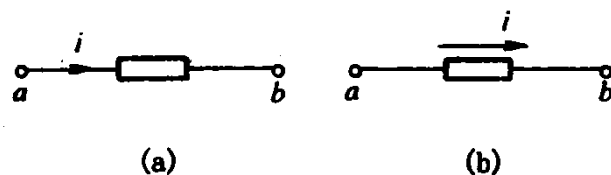


图 1-3 电路中电流参考方向的表示方法

二、电压和电压的参考方向

电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功(Work)称为 a 、 b 两点之间的电压(Voltage),即

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

在国际单位制中,功 w 的单位是焦耳(J),电压 u 的单位是伏特(Volt),简称伏(V)。

在电场内两点间的电压也称为两点间的电位差,即

$$u_{ab} = V_a - V_b$$

式中 V_a 为 a 点的电位(Electric Potential), V_b 为 b 点的电位。电压和能量的关系密切,如果正

电荷由 a 点移动到 b 点是失去能量, 则 a 点为高电位, b 点为低电位。电压是标量, 但在分析电路时, 和电流一样, 我们也说它具有方向, 也可用箭头表示。电压的实际方向规定为由高电位端指向低电位端。

与电流的参考方向类似, 可以任意选取电压的参考方向。当实际方向与参考方向相同时, 电压为正值; 当实际方向与参考方向相反时, 电压为负值, 如图 1-4 所示。

电压的方向还可以用极性表示。若 a 点电位高于 b 点电位, 则 a 点为正极 (Positive Pole), 用“+”号表示, b 点为负极 (Negative Pole), 用“-”号表示。于是, 在分析电路时电压的参考方向也可以用参考极性表示。参考极性也可任意假定, 如果电压的真实极性与假定的参考极性相同, 则电压为正值; 如果电压的真实极性与参考极性相反, 则电压为负值。

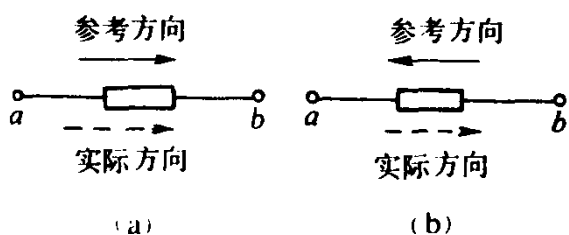


图 1-4 电压的参考方向
(a) $u > 0$ (b) $u < 0$

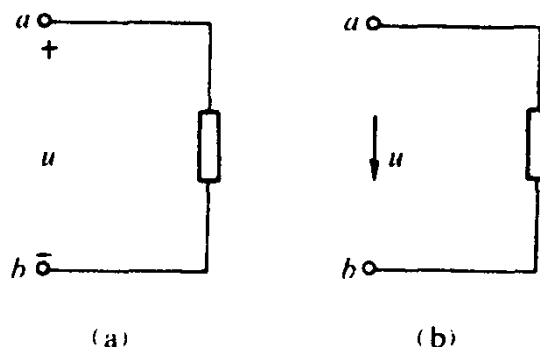


图 1-5 相同电压参考方向的两种表示方法

图 1-5 所示为同一电路中电压 u_{ab} 参考方向的两种等效 (Equivalent) 的表示方法。

一个元件或者一段电路中电流和电压的参考方向均可任意假定, 二者可以一致, 也可以不一致。如果一致, 称之为关联参考方向; 如果不一致, 则称之为非关联参考方向, 见图 1-6, 图中 (a)、(b) 为关联参考方向, (c)、(d) 为非关联参考方向。

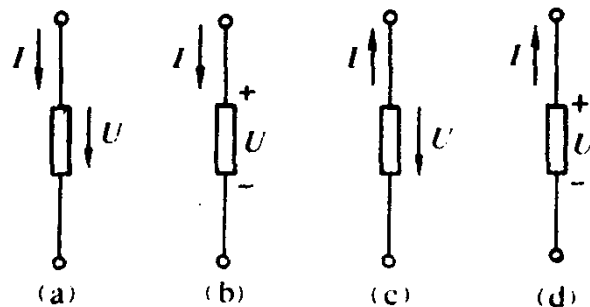


图 1-6 关联参考方向与非关联参考方向

大小和方向不随时间变化的电压称为恒定电压, 或者称为直流电压 (Direct Voltage), 用大写字母 U 表示。

三、电位

在电路分析中, 电路中某点电位值采用这样的方法来确定, 即在电路中选定一点作为参考点, 并将参考点的电位规定为零, 则某点与参考点之间的电压就作为该点的电位。显然, 同一点的电位值是随着参考点的不同而变化的, 而任意两点之间的电压却与参考点的选取无关。

第三节 电 功 率

在电路中, 有的元件吸收电能, 并将电能转移成其他形式的能量, 有的元件是将其他形式的能转换成电能, 即元件向电路提供电能。电功率是指单位时间内元件所吸收或发出的电能, 在电路中, 电功率常简称为功率 (Power)。功率的定义可推广到任何一段电路, 而不局限于一个元件, 当然, 一个元件可看作是一段电路的特例。

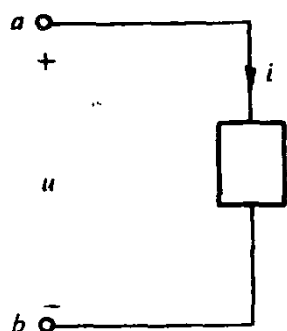


图 1-7 电功率

图 1-7 中的方框表示一段电路, 电流 i 和电压 u 的参考方向如图所示。由电压的定义可知, 当正电荷 dq 由 a 点流动到 b 点时, 这部分电路吸收的电能为

$$dw = udq$$

再由
得

$$dq = idt$$

$$dw = uiddt$$

用字母 p 表示这部分电路所吸收的功率, 则

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

在直流情况下为

$$P = UI$$

在国际单位制中, 电功率的单位是瓦特 (Watt), 简称瓦 (W), 电能的单位是焦耳 (J)。

在电压和电流的关联参考方向下, 如图 1-7 所示, 功率 $p = ui$ 中的 p 代表这段电路吸收的功率。当实际计算的结果是 $p > 0$ 时, 表明这段电路的确是吸收功率; 而当 $p < 0$ 时, 则说明这段电路实际上是发出功率。

如果电压和电流二者的参考方向相反, 如图 1-8 所示, 则 $p = ui$ 中的 p 代表元件发出的功率。在这种情况下, 若 $p > 0$, 这段电路发出功率; $p < 0$, 说明这段电路实际是吸收功率。

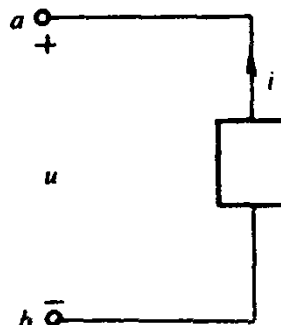


图 1-8 发出功率

国际单位制中的一些单位, 如伏特、安培、瓦特等, 在实际应用中有时感到太大, 有时又感到太小, 这时, 可以在单位前面加上词头构成辅助单位。这里仅列出电压的一些辅助单位, 其他单位的辅助单位可以依此类推。

$$1 \text{ 兆伏特 (MV)} = 10^6 \text{ 伏特 (V)}$$

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

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

$$1 \text{ 微伏特 } (\mu\text{V}) = 10^{-6} \text{ 伏特 (V)}$$

$$1 \text{ 纳伏特 (nV)} = 10^{-9} \text{ 伏特 (V)}$$

$$1 \text{ 皮伏特 (pV)} = 10^{-12} \text{ 伏特 (V)}$$

第四节 电阻元件

有些实际部件如电阻器、电灯、电炉等在电路中工作时要消耗电能, 并且将电能不可逆地转换成热能、光能、机械能等。反映电能消耗的电路参数叫电阻。实际部件的电阻特性在电路中用电阻元件来模拟, 电阻元件也常常简称为电阻。通常, “电阻”一词及字母 R 既表示电阻元件, 也表示该元件的参数。

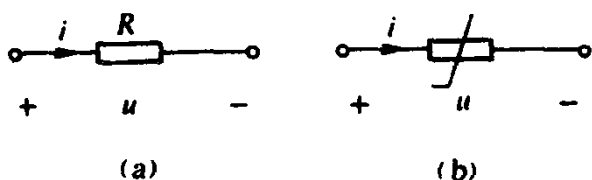


图 1-9 电阻元件的符号

电阻元件有线性电阻元件和非线性电阻元件之分, 它们在电路中的符号如图 1-9 所示, 其中图 (a) 表示线性电阻, 图 (b) 表示非线性电阻。在电阻两端加电

压后,元件中有电流流过,电阻元件上的电压与电流之间的关系曲线称为电阻元件的伏安特性曲线,简称为伏安特性。如果一个电阻元件的伏安特性是通过坐标原点的一条直线如图 1-10(a)所示,就叫做线性电阻;如果一个电阻的伏安特性不是直线,就叫做非线性电阻,例如图 1-10(b)所示是半导体二极管的伏安特性,半导体二极管就是一个具有非线性电阻特性的器件。

线性电阻的特点是元件的电阻值为一常数,与通过它的电流或其两端电压的大小无关。非线性电阻的电阻值不是常数,而与通过它的电流或作用其两端的电压大小有关。

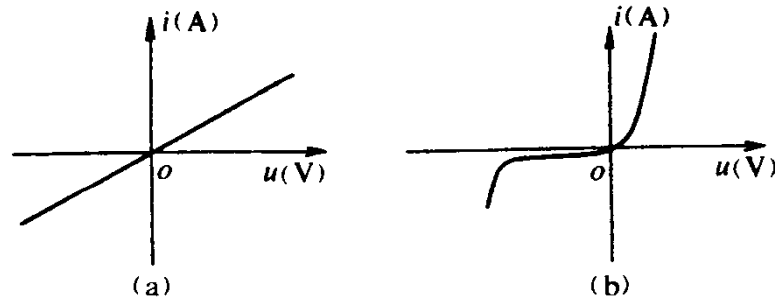


图 1-10 电阻的伏安特性

欧姆定律(Ohm's Law)表明,通过电阻 R 的电流与作用在电阻两端的电压 u 成正比,即

$$i = \frac{u}{R} \quad (1-2)$$

显然,欧姆定律只适用于线性电阻而不适用于非线性电阻。这里,我们只讨论线性电阻。

应当注意,因为在电阻中电流实际上总是从高电位流向低电位,所以应用式(1-2)时必须选取电压、电流为关联参考方向。当电压、电流的参考方向选取得不一致时,则有

$$i = -\frac{u}{R}$$

在国际单位制中,电阻的单位是欧姆(Ohm),简称欧(Ω)。

$$1[\text{欧姆}] = \frac{1[\text{伏特}]}{1[\text{安培}]}$$

电阻的倒数叫做电导(Conductance),用 G 表示,即

$$G = \frac{1}{R}$$

在国际单位制中,电导的单位是西门子(Siemens),简称西(S)。

如果说电阻反映一个电阻元件对电流的阻力,那么电导就可以作为衡量一个电阻元件导电能力强弱的标志。

引用了电导以后,欧姆定律可以写成

$$i = Gu$$

在电压、电流关联参考方向下,电阻元件吸收的功率为

$$p = ui$$

根据欧姆定律还可以导出下面两种形式:

$$p = ui = (Ri)i = i^2 R$$

$$p = ui = u \cdot \frac{u}{R} = \frac{u^2}{R}$$

在直流情况下为

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

第五节 电压源与电流源

实际电源的种类很多,如干电池、蓄电池、光电池、发电机等。在电路分析中,人们关心的不是各种电源的结构和工作原理,而是电源的外特性或者说伏安特性,即电源在给负载供电时电源的输出端电压与它的输出电流之间的关系。据此,在电路分析中,各种实际电源一般都可以用电压源模型或电流源模型来表示。在说明这两个模型之前,必须先明确电压源和电流源的概念。

一、电压源

理想电压源(Ideal Voltage Source)简称电压源(Voltage Source),它是一个理想二端元件。它在工作时,无论接在它输出端的负载如何变化,其输出端电压保持不变,而它输出的电流则与之所连接的外电路(即它的负载)有关。所谓输出端电压不变,在直流情况下就表现为恒定的常数;而对于交流情况则表现为按照某一固有的规律随时间而变化的函数。

直流电压源在电路中符号如图 1-11(a)所示,其中 U_s 为电压源的输出电压,而“+”“-”号是其参考极性。直流电压源也可以用图 1-11(b)所示符号表示,长线段代表参考极性的“+”极,短线段代表参考极性的“-”极。图 1-11(b)也是用来表示电池的图形符号。直流电压源的伏安特性如图 1-11(c)所示。

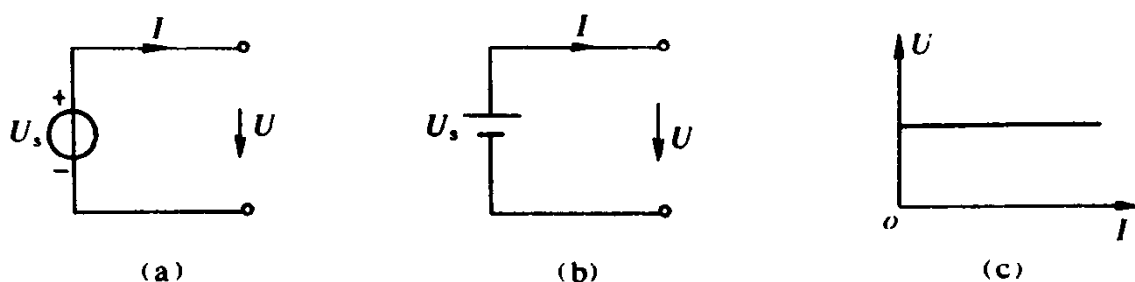


图 1-11 直流电压源

如果电压源的电压 $U_s=0$,它在电路中相当于短路(Short Circuit),而不是开路(Open Circuit)。

二、电流源

理想电流源(Ideal Current Source)简称电流源(Current Source)。电流源是一个理想二端元件,它在工作时,无论接在它输出端的负载如何变化,其输出电流保持不变,而它两端的电压

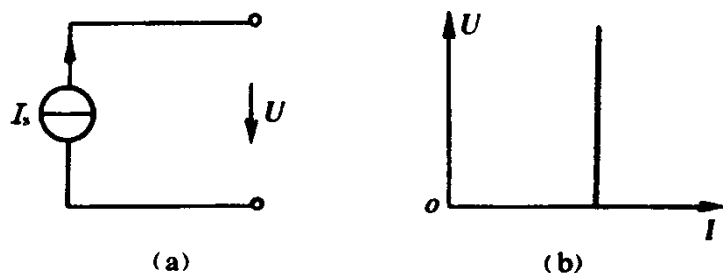


图 1-12 直流电流源

则与之所连接的外电路(即它的负载)有关。所谓输出电流不变,在直流情况下就表现为恒定的常数;而对于交流情况则表现为按照某一固有的规律随时间而变化的函数。

直流电流源在电路中的符号如图 1-12(a)所示,其中 I_s 表示电流源的输出电流,箭头的指向为其参考方向。图 1-12(b)所示为

电流源的伏安特性。

$I_s=0$ 的电流源在电路中相当于开路。

三、电压源与电流源的等效变换

为了使电路的分析易于进行,常常用等效变换(Equivalent Transformation)的方法简化或者变换电路的结构。所谓等效变换是对外电路而言的,当用新的电路结构替代电路中某一部分结构时,必须不影响电路中其他未被变换部分的电压和电流。也就是说,伏安特性相同的部分电路可以互等效变换。本节只讨论有关电源电路的等效变换问题。

(一) 等效电压源和等效电流源

两个电压源串联,可以用一个等效的电压源替代。图 1-13(a)中电压源 U_{s1} 和 U_{s2} 串联,可以用一个等效的电压源 U_s 替代,替代的条件是

$$U_s = U_{s1} + U_{s2}$$

两个电流源并联,可以用一个等效的电流源替代,如图 1-13(b)所示,替代的条件是

$$I_s = I_{s1} + I_{s2}$$

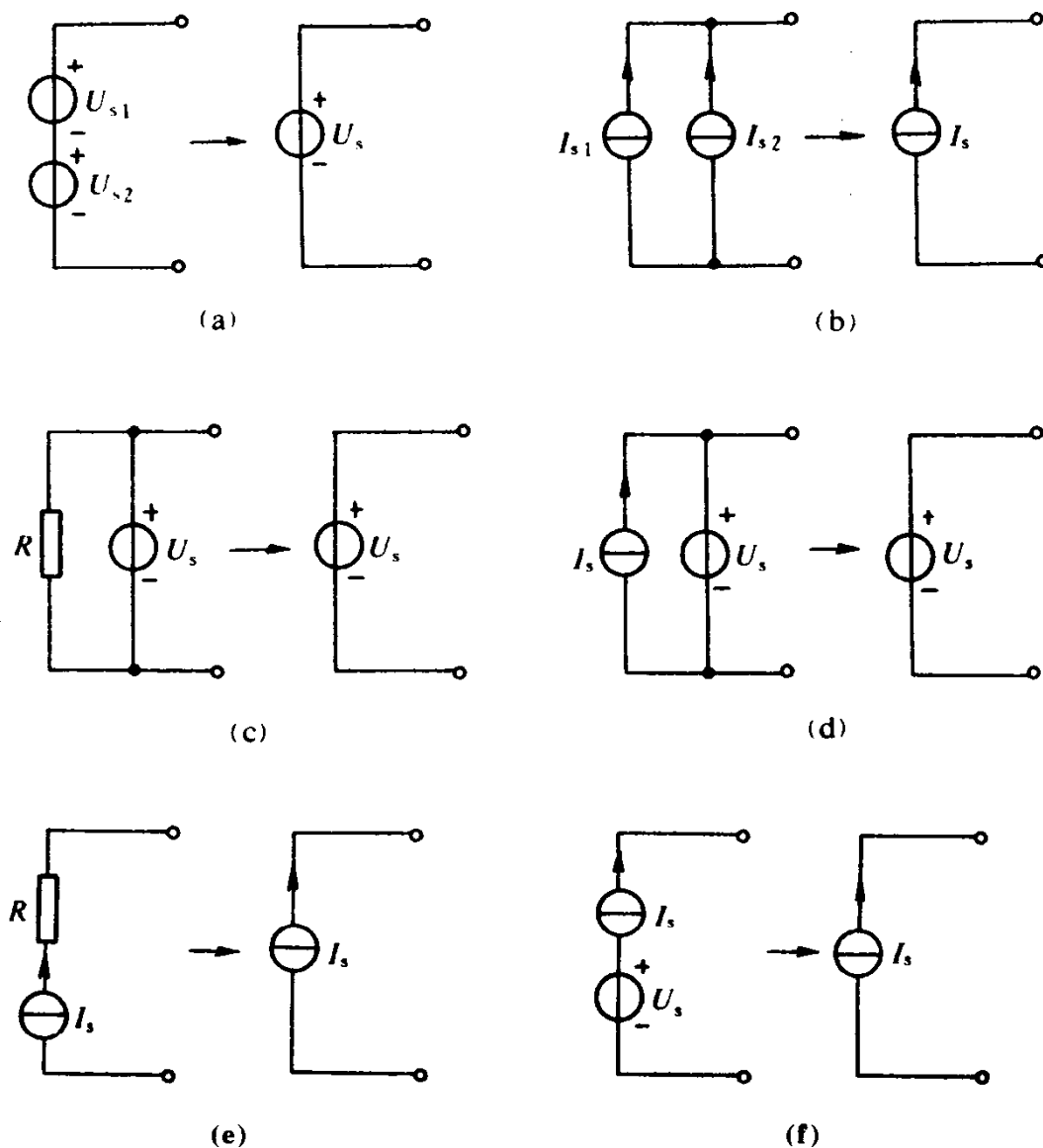


图 1-13 等效电压源和等效电流源

以上两种情况可以推广到多个电压源串联和多个电流源并联的电路中。

图 1-13(c)、(d)、(e)、(f)所示均为等效变换的例子。这些变换的结果简化了部分电路而又

不影响其外电路的工作状态。

(二) 实际电源的两个电路模型及其等效变换

一般来说,实际电源不仅产生电能,同时本身还要消耗电能。因而实际电源的电路模型通常由表征产生电能的电源元件和表征消耗电能的电阻元件组合而成。电源元件有电压源和电流源两种,故实际电源的电路模型也有两种,一种是电压源模型,另一种是电流源模型。

电压源模型是用理想电压源与电阻的串联(Series Connection)来表示实际电源的电路模型,如图 1-14(a)所示,图中 U_s 是理想电压源的输出电压,它在数值上等于实际电源的电动势(Electromotive Force), R_s 称为电源的内电阻。此模型的输出电压 U 与输出电流 I 有关,按图中所示电压和电流的参考方向,有

$$U = U_s - R_s I \quad (1-3)$$

或者

$$I = \frac{1}{R_s} U_s - \frac{1}{R_s} U \quad (1-4)$$

对应的伏安特性曲线如图 1-14(b)所示。

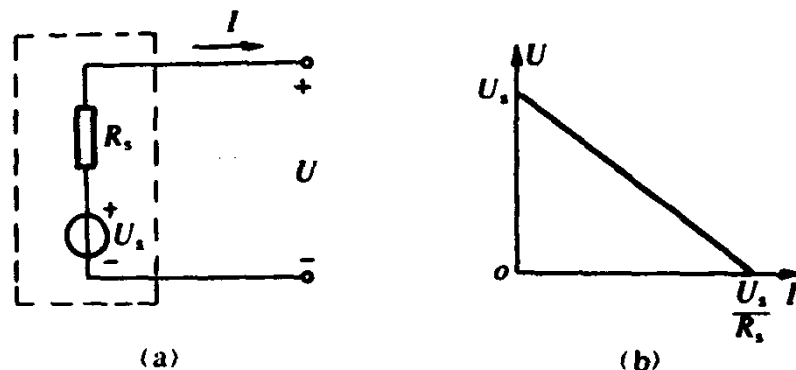


图 1-14 电压源模型

电流源模型是用理想电流源与电导的并联(Parallel Connection)来表示实际电源的电路模型,如图 1-15(a)所示。

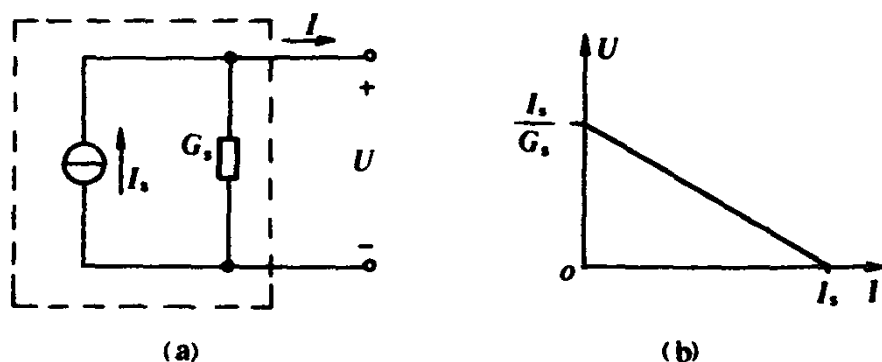


图 1-15 电流源模型

图中 I_s 是理想电流源的输出电流, G_s 称为电源的内电导(或者将它的倒数称为内电阻)。此模型的输出电流 I 与端电压 U 有关,按图中所示电压和电流的参考方向,有

$$I = I_s - G_s U \quad (1-5)$$

或者

$$U = \frac{1}{G_s} I_s - \frac{1}{G_s} I \quad (1-6)$$

对应的伏安特性曲线如图 1-15(b)所示。