



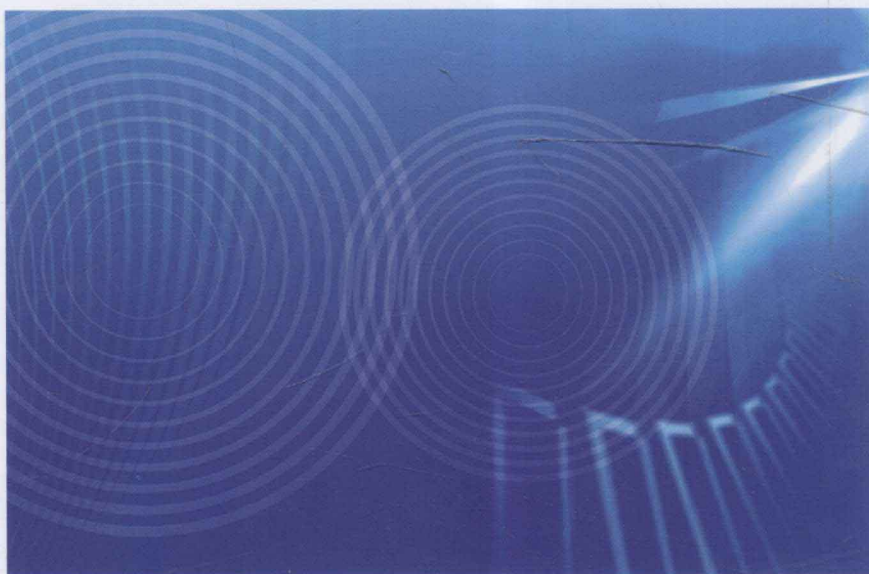
普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

电路理论

(第2版)

王安娜 贺立红 主编



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



普通高等教育“十二五”规划教材

电 路 理 论

(第2版)

主编 王安娜 贺立红

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2011

内 容 提 要

本书符合教育部颁布的“电路分析基础课程教学基本要求”，内容紧密联系实际。全书共分七章，主要内容包括：电路模型和基本定律，线性电阻网络分析，线性动态电路暂态过程的时域分析，正弦电路的稳态分析，谐振电路与周期非正弦稳态电路，非线性电路，OrCAD/PSpice 在电路理论分析中的应用。

每章的习题紧密配合所讲内容，联系工程实际，书末附有习题答案。

本书可作为高等院校计算机、电子信息等专业的教学用书，也可作为相关专业技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电路理论/王安娜，贺立红主编. —2 版. —北京：冶金工业出版社，2011.7

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-5478-4

I. ①电… II. ①王… ②贺… III. ①电路理论—高等学校—教材 IV. ①TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 108443 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号，邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcb@cnmip.com.cn

责任编辑 俞跃春 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 石 静 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-5478-4

北京兴华印刷厂印刷；冶金工业出版社发行；各地新华书店经销

2003 年 8 月第 1 版，2011 年 7 月第 2 版，2011 年 7 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16；17.75 印张；421 千字；268 页

36.00 元

冶金工业出版社发行部 电话：(010)64044283 传真：(010)64027893

冶金书店 地址：北京东四西大街 46 号(100010) 电话：(010)65289081 (兼传真)

(本书如有印装质量问题，本社发行部负责退换)

第 2 版前言

本书内容符合教育部颁布的高等学校“电路分析基础课程教学基本要求”，系统地介绍了电路的基本概念、基本理论和基本分析方法。

为了适应计算机、电子信息等技术的迅速发展及培养创新型人才的需要，我们在保持原书特色的前提下进行了修订，其主要内容包括以下几个部分：

在介绍互感、谐振、非正弦电路分析方法中，完善了谐振部分分析内容，使得教学内容更加系统。考虑到傅里叶积分和傅里叶变换方法在高等数学中有详细介绍，第 2 版删去了原书教材中关于傅里叶积分和傅里叶变换方法介绍，使得教材内容更加精炼。在介绍 PSpice 及在电路计算机辅助分析中，增加了用 PSpice 分析受控源、互感电路等内容，通过更多的解题实例，使学生进一步掌握 PSpice 这一电路分析工具及应用方法。每章都增加了实际应用的例题或习题。增强了本书的实用性。

本书由东北大学王安娜教授、贺立红副教授担任主编。参加教材编写的还有东北大学李华副教授。

由于作者水平所限，书中不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

2011 年 4 月

第1版前言

本教材内容符合教育部颁布的《电路课程教学基本要求》，为东北大学“十五”规划教材。

《电路理论》是电类专业学生的一门技术基础课，也是一门必修课。目前，适合计算机、电子信息等专业的学时比较少的电路理论教材，为数不多，所以有必要编写一本适用于此类专业的电路理论教材。作者所在教研室曾多次编写了电路理论课程的教材，并在教学中不断完善、更新，取得了较好的效果。在编写过程中，我们吸取了上述有关教材的优点，并结合编者几十年的教学经验，根据专业的特点和实际，力求做到内容选取适当，突出电路中的基本概念、定理、定律；层次清晰；系统性强。同时，为紧密联系专业实际，跟踪学科前沿最新理论，引入 PSpice 在电路理论分析中应用的内容，以开阔学生的视野，保持教材的先进性。

本教材在习题选取安排上，力求紧扣所讲内容，做到由浅入深，注重习题的典型性、题型的归纳和分析。

本书由东北大学孙玉琴教授、王安娜教授担任主编。参加编写的还有贺立红副教授、吴建华副教授、李华副教授和王延明讲师。

由于编者水平所限，书中不妥之处，敬请读者、专家和同行们批评指正。

编者

2003年6月

目 录

1 电路模型和基本定律	1
1.1 电路和电路模型	1
1.1.1 电路	1
1.1.2 电路模型	1
1.2 电流、电压、功率	2
1.2.1 电流	2
1.2.2 电压与电位	3
1.2.3 功率和能量	5
1.3 电阻元件	6
1.4 独立电源	7
1.4.1 电压源	7
1.4.2 电流源	8
1.5 受控电源	8
1.6 基尔霍夫定律	9
1.6.1 电路中的几个专用名词	9
1.6.2 基尔霍夫电流定律	10
1.6.3 基尔霍夫电压定律	11
1.7 电阻的连接及其等效变换	13
1.7.1 电阻串联	14
1.7.2 电阻并联	15
1.7.3 电阻的混联	17
1.7.4 电阻星形连接与三角形连接的等效变换	19
1.7.5 用电阻等效化简计算电路	22
1.8 电源的连接及其等效变换	24
1.8.1 电源的串联和并联	24
1.8.2 电源与支路的串并联	24
1.8.3 实际电源的等效变换	25
1.8.4 电源的等效转移	28
习题	30
2 线性电阻网络分析	34
2.1 支路电流法	34

2.2 回路电流法	37
2.2.1 回路方程及其一般形式	37
2.2.2 电路中含有理想电流源支路	39
2.2.3 电路中含有受控源	40
2.3 节点电压法	41
2.3.1 节点方程及其一般形式	41
2.3.2 电路中存在理想电压源支路	43
2.3.3 电路中存在电流源与电阻串联支路	44
2.3.4 电路中含有受控源	45
2.4 替代定理	45
2.5 齐性定理和叠加定理	46
2.5.1 齐性定理	47
2.5.2 叠加定理	47
2.6 等效电源定理	50
2.6.1 戴维南定理	50
2.6.2 诺顿定理	54
习题	57
3 线性动态电路暂态过程的时域分析	61
3.1 动态元件	61
3.1.1 电容元件	61
3.1.2 电感元件	64
3.2 动态电路的暂态过程及初始条件的确定	66
3.2.1 动态电路的暂态过程	66
3.2.2 初始条件的确定	67
3.3 一阶电路的零输入响应	69
3.3.1 一阶 RC 电路的零输入响应	69
3.3.2 一阶 RL 电路的零输入响应	72
3.4 一阶电路的零状态响应	74
3.4.1 一阶 RC 电路的零状态响应	74
3.4.2 一阶 RL 电路的零状态响应	76
3.5 求解一阶电路全响应的三要素方法	78
3.5.1 一阶电路的全响应	78
3.5.2 三要素方法	79
3.6 一阶电路的阶跃响应	83
3.7 一阶电路的冲击响应	86
3.7.1 单位脉冲函数和单位冲击函数	86
3.7.2 冲击响应	88
3.8 二阶电路的零输入响应	91

3.8.1 $\delta > \omega_0$ 非振荡放电过程	92
3.8.2 $\delta < \omega_0$ 振荡放电过程	94
3.8.3 $\delta = \omega_0$ 临界情况	97
3.9 二阶电路的阶跃响应	99
3.9.1 $R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 非振荡充电过程	99
3.9.2 $R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 振荡充电过程	100
3.9.3 $R = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 临界情况	100
习题	102
4 正弦电路的稳态分析	106
4.1 正弦量的基本概念	106
4.1.1 正弦量的三要素	106
4.1.2 正弦量的相位差	107
4.1.3 正弦量的有效值	108
4.2 正弦量的相量表示	110
4.2.1 复数	110
4.2.2 正弦量的相量表示	112
4.3 电路基本定律的相量形式	113
4.3.1 基尔霍夫定律的相量形式	113
4.3.2 RLC 元件伏安关系的相量形式	114
4.4 复阻抗、复导纳及其等效变换	118
4.4.1 RLC 串联及复阻抗	118
4.4.2 RLC 并联及复导纳	120
4.4.3 复阻抗与复导纳的等效变换	123
4.5 正弦稳态电路的功率	125
4.5.1 瞬时功率和平均功率	125
4.5.2 视在功率、无功功率	127
4.5.3 最大功率的传输	128
4.6 正弦稳态电路的计算	130
4.6.1 二端网络的简化	130
4.6.2 用基本定理和列电路方程计算正弦稳态电路	131
4.6.3 用电压、电流有效值关系求解	134
4.6.4 要求两条支路电压或电流间满足一定相位关系	135
4.6.5 要求某电压或电流的值与电路中某参数无关	136
4.7 三相电路简述	137
4.7.1 三相电源	137

4.7.2 三相电源的连接	138
4.7.3 对称三相电路的计算	142
4.7.4 三相电路的功率	146
4.8 含耦合电感电路的分析与计算	148
4.8.1 互感元件的伏安关系及其相量模型	148
4.8.2 含互感元件电路的分析与计算	152
4.8.3 几种变压器	155
4.9 双口网络	158
4.9.1 双口网络的参数	158
4.9.2 双口网络的特性阻抗	167
4.9.3 双口网络的等效电路	169
4.9.4 回转器	172
习题	174
5 谐振电路与周期非正弦稳态电路	182
5.1 串联谐振电路	182
5.2 并联谐振电路	187
5.3 非正弦周期电流和电压	190
5.4 周期函数分解为傅里叶级数	192
5.5 非正弦周期量的有效值、平均值和平均功率	196
5.6 周期非正弦稳态电路的分析与计算	199
5.7 滤波器的概念	202
5.7.1 低通滤波器	202
5.7.2 高通滤波器	203
5.7.3 带通滤波器	203
5.7.4 带阻滤波器	203
习题	206
6 非线性电路	210
6.1 非线性元件的特性	210
6.1.1 二端非线性电阻元件	210
6.1.2 二端非线性电容元件	211
6.1.3 二端非线性电感元件	212
6.2 非线性电阻电路的图解分析法	212
6.2.1 曲线相交法	213
6.2.2 曲线相加法	214
6.3 非线性电阻电路的数值分析法	217
6.4 非线性电阻电路的小信号分析法	221
6.4.1 非线性电阻元件的小信号特性	221

6.4.2 非线性电阻电路的小信号分析方法	223
6.5 非线性电路的动态方程	225
习题	227
7 OrCAD/PSpice 在电路理论分析中的应用	229
7.1 概述	229
7.1.1 OrCAD/PSpice 的功能特点	230
7.1.2 OrCAD/PSpice 的组成	230
7.2 电路原理图的绘制	231
7.2.1 Capture 仿真设计过程	231
7.2.2 打开 Capture 程序项	231
7.2.3 Capture 操作环境	231
7.2.4 Capture 设计参数设置	231
7.2.5 新建工程 (Create a design Project)	233
7.2.6 开始绘制电路图	234
7.2.7 使用 PSpice 时绘制原理图应该注意的地方	239
7.3 电路的仿真与分析	239
7.3.1 用 PSpice 分析电路的过程	239
7.3.2 设置仿真参数	239
7.3.3 设置分析结果输出方式	246
7.3.4 启动 PSpice A/D 分析	247
7.3.5 利用 Probe 分析并处理波形	248
7.4 应用举例	252
习题答案	262
参考文献	268

1 电路模型和基本定律

内容提要：本章在物理电学基础上，引出了电流参考方向和电压参考极性（参考方向）的概念，并进一步研究电路的基本定律和简单直流电路的分析计算。

本章重点：充分理解和掌握电流的参考方向与电压的参考极性两个概念；明确电阻元件的电压与电流间的关系；熟练掌握基本定律，并做到灵活运用。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路

电路是电流的通路。它是许多电气元件（或电气设备）为实现能量的传输和转换，或为了实现信息传递和处理而连接成的整体。在现代生产和生活中，随时随地可以见到电路。例如，纵横几百公里的电网系统和厂矿中各种电气控制系统等，它们的功能是实现电能的传输和转换；家用电器中的收音机、电视机，则主要是完成信号的传递和处理。总之，实际的电路是由各种电路器件组成的。按照它们在电路中所起的作用，这些器件可分为电源、负载和传输控制器件三大类。

(1) 电源。它是提供电能或发出电信号的设备，把其他形式的能量转换成电能，或把电能转换成另一种形式的电能或电信号。例如，电池把化学能转换成电能，发电机把机械能转换成电能，信号发生器则是把电能转换成一定的电信号。

(2) 负载。它是用电或接收电信号的设备，把电能转换成其他形式的能量。例如，白炽灯把电能转换成光能和热能，电动机把电能转换成机械能。

(3) 传输控制器件。它是电源和负载中间的连接部分。包括连接导线、控制电器（如开关）和保护电器（如熔断器）等。

1.1.2 电路模型

在电路分析中，为了研究问题方便，常把一个实际电路用它的电路模型来代替。图 1-1 就是手电筒的电路模型（称为电路图）。其中 R 代表小灯泡，电压源 U_S 和内阻 R_S 代表干电池，开关 S 为手电筒的开关。

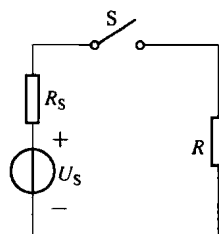


图 1-1 手电筒电路模型

组成电路模型的元件，都是能反映实际电路中的元件主要物理特征的理想元件，由于电路中实际元件在工作过程中和电磁现象有关，因此有三种最基本的无源理想电路元件：表示消耗电能的理想电阻元件 R ；表示贮存电场能的无源

理想电容元件 C ；表示储存磁场能的理想电感元件 L 。

对电路进行分析，主要是为了确定电路的工作状态，即各个元件上的工作电压与电流。电压、电流的大小和方向都不随时间变化的电路叫直流电路；电流、电压的大小和方向都随时间变化的电路叫变动电流电路。电路元件有多种，具有两个端钮的叫做二端元件，具有两个以上端钮的叫做多端元件。电路参数又有线性与非线性之分。凡元件的参数不随其电流或电压的数值而变化的，属于线性元件，否则称为非线性元件。完全由线性元件连接起来的电路称为线性电路，否则便是非线性电路。工程上遇到的电路大部分可以作为线性电路来分析，即使是非线性电路，有时也可以用线性化的方法来处理。本书主要研究线性电路。

1.2 电流、电压、功率

描述电路性能的物理量可分为基本变量和复合变量两类。电流、电压是电路分析中最常用的两个基本变量，有时也用电荷、磁通（或磁链）作基本变量；复合变量包括功率和能量。一般它们都是时间的函数。

1.2.1 电流

电流是由电荷有规则的定向运动形成的。在金属导体中，电流是自由电子有规则地运动形成的；在半导体中，电流是由半导体中自由电子和空穴有规则地运动形成的；在电解质溶液中，电流则是正、负离子有规则地运动形成的。电流在数值上等于单位时间内通过导体横截面的电荷量，定义为电流强度，即

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

式中 q ——电荷量；

dq ——微小的电荷量；

dt ——极短的时间。

如果电流的大小和方向随时间变化，则称之为交变电流、简称交流，常用小写字母 i 表示。如果电流的大小和方向不随时间而变化，则这种电流称为恒定电流，常用大写字母 I 表示，所以，式 (1-1a) 可写为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-1b)$$

式中 Q ——在时间 t 内通过导体横截面的电荷量。

在国际单位制中，电流的单位是安培（简称安），用 A 表示。常用的单位还有千安（ kA ）、毫安（ mA ）、微安（ μA ）等。

$$1kA = 10^3 A$$

$$1A = 10^3 mA = 10^6 \mu A$$

习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的实际方向。但在具体电路中，电流的实际方向常常随时间变化，即使不随时间变化，某段电路中的电流的实际方向有时也难以预先断定。为了解决这个问题，引用了一个重要的概念——参考方向。参考方向可以任意选定，

但一经选定后,就不要随意改变。

通常,在分析电路时,先指定某一方向为电流的参考方向,如图1-2中实线箭头所示。如果电流的实际方向与参考方向一致,则电流 i 为正值($i>0$),如图1-2(a)所示;如果电流的实际方向与参考方向相反,则电流 i 为负值($i<0$),如图1-2(b)所示。这样,在指定的电流参考方向下,电流值的正或负,就反映了电流的实际方向。显然,在未指定参考方向的情况下电流值的正或负是没有意义的。

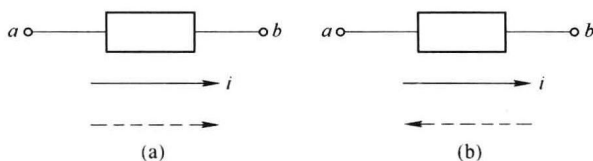


图1-2 电流的参考方向

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

————→ 参考方向 - - - -> 实际方向

电流的参考方向除了可以用箭头表示外,也可以用双下标表示方向。如图1-2(a)中电流参考方向可表示为 i_{ab} 。

1.2.2 电压与电位

电压是表征电场性质的物理量之一,它反映了电场力移动电荷做功的本领。具体来讲电场力把单位正电荷从 a 点移动到 b 点所做的功称为 a 、 b 两点间的电压(或称电位差),电压用 u 表示,即

$$u = \frac{dw}{dq} \quad (1-2a)$$

式中 dq ——由 a 点移到 b 点的电量;

dw ——移动过程中电荷 dq 所获得或失去的能量。

若电压 u 的大小和极性都随时间变化,则称之为交流电压。如果电压的大小和极性都不随时间变化,这样的电压就叫做直流电压,用符号 U 表示,即

$$U = \frac{W}{Q} \quad (1-2b)$$

如果正电荷由 a 点移到 b 点后获得能量,则 a 点为低电位,即为负极, b 点为高电位,即为正极。如果正电荷由 a 点移到 b 点后失去能量,则 a 点为高电位, b 点为低电位。正极指向负极的方向称为电压降,负极指向正极的方向称为电压升,如图1-3所示。

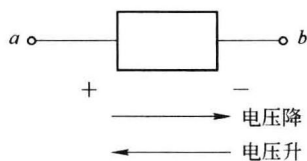


图1-3 电压的升降

与为电流指定参考方向一样,也需要为电压指定参考方向(或参考极性),而电压实际方向要由其参考方向和电压数值的正、负一起判断。

图1-4(a)电压 U 参考方向是从 a 指向 b ,若 $U=-3V$,说明电压实际方向与参考方向相反,即由 b 指向 a ;若 $U=3V$,说明实际方向与参考方向一致。参考方向也常用“+”、“-”极性或双下标表示,如图1-4(b)所示,表示电压参考方向是由“+”极

性指向“-”极性,也可用 U_{ab} 表示此参考方向。

分析电路时,电流和电压都要假设参考方向,而且可以任意假设,互不相关。但为了分析方便,常采用关联参考方向,即电压参考方向与电流参考方向一致,也就是电流从电压标“+”号的端钮流入,如图1-5(a)所示。

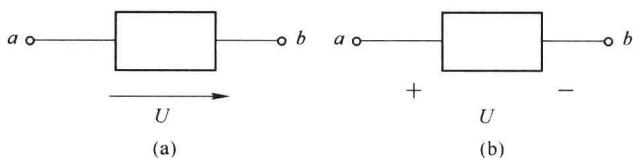


图1-4 电压参考方向

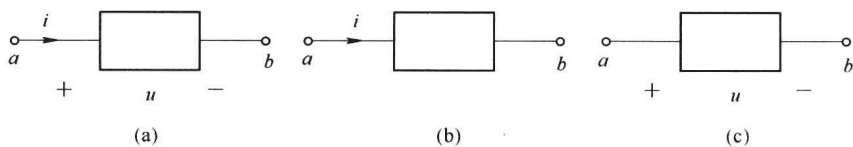


图1-5 关联参考方向

在采用关联参考方向的定义后,电路图上只需标出电流的参考方向或电压的参考极性中的任意一种即可,如图1-5(b)或(c)所示。

如果电流、电压的参考方向相反,则为非关联参考方向,如图1-6所示。

若取电路中某一点为参考点,则任一点到参考点间的电压称为该点的电位,如图1-7所示。设 O 点为参考点,则 A 点到 O 点间电压 U_{AO} 称为 A 点电位,用 U_A 表示,即

$$U_A = U_{AO}$$

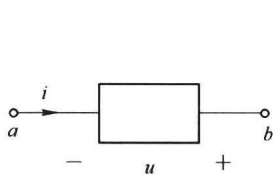


图1-6 非关联参考方向

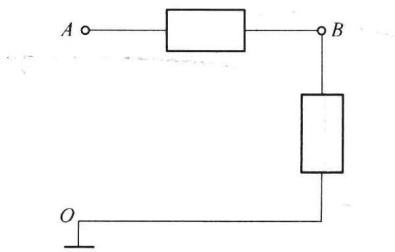


图1-7 电位

电位的参考点可任取,计算电路时常选择大地、设备外壳或接地点作为参考点。在一个连通的系统中只能选一个参考点。由参考点的定义可知,参考点的电位为零。

电路中任意两点,如图1-7中的 A 、 B ,由定义得

$$U_A = U_{AO} = \frac{W_{AO}}{Q} = \frac{W_{AB} + W_{BO}}{Q} = U_{AB} + U_B$$

$$\text{即} \quad U_{AB} = U_A - U_B \quad (1-3)$$

式(1-3)说明,电路中任意两点间的电压等于这两点的电位之差。所以电压和电位一般可以认为意义相同。从式(1-3)还可看出,当 A 点电位高于 B 点电位时, U_{AB} 为正值,反之 U_{AB} 为负值,说明两点间电压的实际方向是从高电位指向低电位,或说电压的实际方向就是电位降落的方向。

应该注意, 电路中参考点选定之后, 各点电位是一个定值, 若参考点改变, 则各点电位随之改变, 而任意两点电压不变。即任意一点的电位与参考点选择有关, 任意两点间电压则与参考点的选择无关。例如如图 1-7 中, 若选 O 点为参考点 ($U_O = 0$), 有 $U_A = 5V$, $U_B = 3V$ 时, $U_{AB} = 2V$, $U_{BO} = 3V$; 而改选 B 点为参考点时, $U_B = 0$, 则 $U_A = 2V$, $U_O = -3V$, 但 U_{AB} 、 U_B 的值保持不变: $U_{AB} = 2 - 0 = 2V$, $U_{BO} = U_B - U_O = 0 - (-3) = 3V$ 。

两点间电压一般用带双下标的 U 表示, 某一点电位则常用单下标的 U 表示。电位和电压单位一样, 也是伏特 (V)。

为什么要引入电位概念, 因为在某些复杂电路中, 尤其在电子线路中, 节点较多, 若逐一求出任意两点电压是一个很麻烦的工作, 计算量很大。引入电位概念后, 先取电路中任一点为参考点, 这样只要求出各点电位, 任意两点间电压便很容易求出, 便于很快分析出各元件的工作状态。另外, 利用电位的概念还可以简化电路图的画法。

1.2.3 功率和能量

功率与电压和电流密切相关。当正电荷从电路元件上电压的“+”极经元件移到“-”极是电场力对电荷做功的结果, 这时元件吸收能量; 反之, 正电荷从电路元件的“-”极移到“+”极, 则必须由外力 (化学力、电磁力等) 对电荷做功以克服电场力, 这时电路元件发出能量。

若某元件两端的电压为 u , 在 dt 时间内流过该元件的电荷量为 dq , 那么, 根据电压的定义式 (1-2a), 电场力做的功 $dw(t) = u(t)dq(t)$ 。

在电流与电压为关联参考方向的情况下 (这时, 正电荷从电压“+”极移到“-”极), 由式 (1-2a) 可得在 dt 时间内电场力所做的功, 即该元件吸收的能量为

$$dw(t) = u(t)i(t)dt \quad (1-4)$$

对式 (1-4) 从 t_0 (计时起点) 到 t 积分, 可求得从 t_0 到 t 的时间内元件吸收的能量为

$$\int_{w(t_0)}^{w(t)} dw = \int_{t_0}^t u(\xi)i(\xi)d\xi \quad (1-5)$$

式中, 为了避免积分上限 t 与积分变量 t 相混淆, 将积分变量换为 ξ 。

能量对时间的变化率称为电功率, 用 $p(t)$ 或 P 表示。

$$p(t) = \frac{dw(t)}{dt} = u(t)i(t) \quad \text{或} \quad P = \frac{W}{t} = UI \quad (1-6)$$

在国际单位制中, 电流单位为安培 (A), 电压单位为伏特 (V), 功率单位则为瓦特 (W), 简称瓦。

根据电路元件电压、电流参考方向及所求出的功率的正负来确定该元件是吸收还是发出功率, 是一个很关键的问题。需要注意的是, 式 (1-6) 是在电压、电流为关联参考方向下推得的。如果 $p > 0$, 表示元件吸收功率; 如果 $p < 0$, 表示元件吸收的功率为负值, 实际上它将发出功率。如果电压、电流为非关联参考方向, 则用 $p = ui$ 计算所得的功率 $p > 0$, 表示发出功率; 如果 $p < 0$, 表示元件发出功率为负值, 实际上它将吸收功率。

以上有关功率的讨论, 同样也适合于任何一段电路或某一个二端网络, 而不仅仅局限于某一个元件。

1.3 电阻元件

在电路理论中,经过科学抽象后,把实际元件用足以反映其主要电磁性质的一些理想元件替代。电路元件有无源元件(电阻、电感、电容)与有源元件(独立电源、受控源)之分,本节介绍无源电阻元件。

线性电阻元件在电路中的图形符号如图 1-8 所示。

如果把线性电阻元件的电压取为纵坐标(或横坐标),电流取为横坐标(或纵坐标),画出电压和电流的关系曲线,这条曲线称为该电阻元件的伏安特性曲线。线性电阻元件的伏安

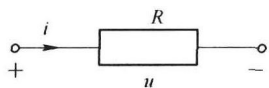


图 1-8 线性电阻符号

特性曲线是通过坐标原点的直线,见图 1-9,元件上电压与元件中电流成正比。

线性电阻元件是二端理想元件,在任何时刻,它两端的电压与其电流都服从欧姆定律。在电压和电流的关联方向下,欧姆定律可表示为

$$u = Ri \quad (1-7)$$

式中, R 为元件的电阻,它是联系电阻元件上电压和电流的一个参数。从图 1-9 中看出,电阻值可由

$$R = \frac{u}{i} = \tan \alpha$$

来确定,其中 α 为伏安特性曲线与电流轴之间的夹角。可见,线性电阻元件的电阻是一个与电压 u 、电流 i 无关的常数。

令 $G = \frac{1}{R}$, 则式 (1-7) 变成

$$i = Gu$$

式中 G ——电阻元件的电导。

电阻的单位为欧姆 (Ω), 简称欧; 电导的单位为西门子 (S)。

如果电阻元件电压的参考方向与电流的参考方向相反, 如图 1-10 所示, 则

$$u = -Ri$$

或者

$$i = -Gu$$

所以, 欧姆定律的公式必须和参考方向配套使用。

由式 (1-7) 可知, 任何时刻线性电阻元件的电压(或电流)完全由同一时刻的电流(或电压)所决定, 而与该时刻以前的电流(或电压)的值无关。

在电压和电流的关联方向下, 任何时刻线性电阻元件吸取的电功率

$$p = ui = Ri^2 = Gu^2$$

电阻 R 、电导 G 是正实数, 故功率为非负值。功率既然不可能为负值, 说明任何时刻电阻元件都是吸收电能, 并将其全部转换成其他非电能量消耗掉或作为其他用途。所以线性电阻元件 ($R > 0$) 不仅是无源元件, 并且还是耗能元件。

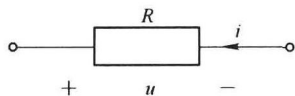


图 1-10 非关联参考方向

如电阻元件把吸收的电能转换成热能,当热能的单位用焦耳时

$$Q = W$$

应用焦耳与卡之间的换算,从 t_0 到 t 时间内,电阻发出的热量为

$$Q = 0.239W = 0.239 \int_{t_0}^t Ri^2(\xi) d\xi$$

此即焦耳—楞次定律的表达式。

实际上,所有电阻器、电灯、电炉等元件,他们的伏安特性曲线或多或少都是非线性的。但是,这些元件,特别像金属膜电阻器、线性电阻器等,在一定工作电流范围内,它们的伏安特性近似为一直线,所以可以作为线性电阻元件来对待。

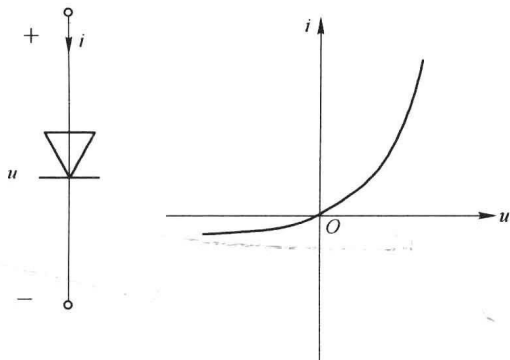


图 1-11 非线性电阻元件及伏安特性

与线性电阻元件不同,非线性电阻元件的伏安特性不是一条通过原点的直线。元件的电阻将随其电压或电流的改变而改变。图 1-11 给出某二极管的伏安特性曲线。因为二极管是一个非线性电阻元件,它的特性不再是一条通过原点的直线。其次应该指出,像二极管这种非线性电阻元件的伏安特性还与其电压或电流的方向有关。当二极管两端施加的电压方向不同时,流过它的电流完全不同。而前面所讨论的线性电阻元件的特性

则与元件电压或电流的方向无关,因此,线性电阻是双向性的元件。

如果电阻元件的伏安特性不随时间改变,则称为非时变电阻元件;伏安特性随时间改变的,称为时变电阻元件。

下面为叙述方便,把线性电阻元件简称为电阻。这样,“电阻”这个术语以及它相应的符号 R ,一方面表示一个电阻元件,另一方面亦表示这个元件的参数。

1.4 独立电源

电源是有源的电路元件,它是各种电能(电功率)产生器的理想化模型。电源可分为独立电源和非独立电源(受控源)两类。独立的理想化电源有理想电压源和理想电流源,简称为电压源和电流源。

1.4.1 电压源

电压源为一理想的二端元件。电压源输出的电压为一恒定值或给定的时间函数,与通过它的电流无关,其电路模型如图 1-12 (a)、(b) 所示。图 1-12 (a) 的模型可表示直流电压源或交流电压源,而图 1-12 (b) 只能表示直流电压源。其中长的一端为“+”极,短的一端为“-”极。图中的“+”、“-”均表示电压源的参考极性。

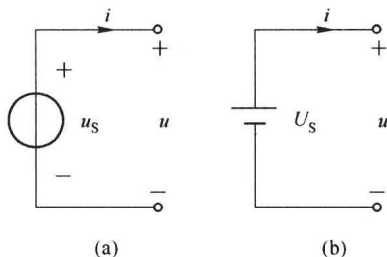


图 1-12 电压源符号