

电路分析

DIANLU
FENXI

1101011

110

[illegible]

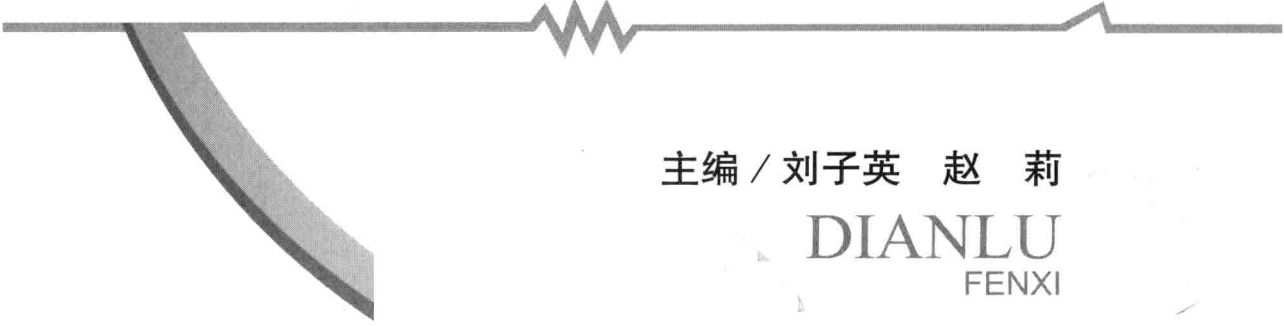
110 001 00 0



西南交通大学出版社

普通高等院校电气电子类规划系列教材
华东交通大学教材（专著）基金资助项目

电路分析



主编 / 刘子英 赵 莉

DIANLU
FENXI

西南交通大学出版社

内容简介

本书包括电路的基本定律和电路元件、电阻电路的等效变换、电阻电路的分析方法、电路定理、动态电路多时域分析、正弦稳态电路的分析、耦合电感和理想变压器、三相电路、线性动态电路的复频域分析、非正弦周期电路分析、二端口网络等 11 章内容。本书基本概念讲述清楚,从培养学生分析、解决电路问题能力的目的出发,通过对电路理论课程重点、难点及解题方法进行详细论述,以便易于读者接受理解并掌握电路的分析方法。本书所选题目难度适中,方便学生自学和教师教学。本书可作为全日制电子信息、通信类专业电路课程的教学用书,也可作为相关专业人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析 / 刘子英, 赵莉主编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2015.1
普通高等院校电气电子类规划系列教材
ISBN 978-7-5643-3719-3

I. ①电… II. ①刘… ②赵… III. ①电路分析—高等学校—教材 IV. ①TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 020699 号

普通高等院校电气电子类规划系列教材

电 路 分 析

主编 刘子英 赵 莉

责任编辑 李芳芳
特邀编辑 刘东霖 李 娟
封面设计 墨创文化

出版发行 西南交通大学出版社
(四川省成都市金牛区交大路 146 号)

发行部电话 028-87600564 028-87600533

邮政编码 610031

网 址 <http://www.xnjdcbs.com>

印刷 四川煤田地质制图印刷厂

成品尺寸 185 mm × 260 mm

印 张 20.75

字 数 517 千

版 次 2015 年 1 月第 1 版

印 次 2015 年 1 月第 1 次

书 号 ISBN 978-7-5643-3719-3

定 价 45.00 元

课件咨询电话: 028-87600533

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本书是根据国家教委颁布的《电路分析基础课程教学基本要求》，结合目前电子信息、通信等专业“电路分析”课程教学的实际需要编写而成的。《电路分析》是电子信息、通信等专业的一门重要的技术基础课。教学实践表明，学生对技术基础课程掌握的优劣，直接影响其后续专业课程的学习效果。因此，引导学生明确电路理论的基本概念，培养科学的思维能力，提高分析问题和解决问题的能力是本书编写的宗旨。

本书包括电路的基本定律和电路元件、电阻电路的等效变换、电阻电路的分析方法、电路定理、动态电路多时域分析、正弦稳态电路的分析，耦合电感和理想变压器、三相电路、线性动态电路的复频域分析、非正弦周期电路分析、二端口网络等 11 章内容。在本书的编写中，强调了对基本概念的正确理解，使学生在在学习过程中目标明确、章节内容容易掌握。重视对基本分析方法的应用，同时在每节中针对难点和重点予以详细的说明。

全书共分 11 章，由刘子英、赵莉主编，各章节分工如下：邸荣光编写第 1~4 章，赵莉编写第 6 章、第 7 章和附录中的部分实验内容，刘子英编写第 5 章、第 9 章，韦宝泉编写第 8 章、第 10 章，田丽平、许莹莹编写第 11 章和附录中的部分实验内容。

本书的编写工作，得到华东交通大学电气与电子工程学院电工基础教学部及实验室老师的密切配合，在此一并表示衷心感谢。

因编者水平所限，书中难免存在不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

2015 年 1 月

目 录

第 1 章 电路的基本定律和电路元件	1
1.1 实际电路和电路模型	1
1.2 电压、电流及功率	3
1.3 电阻元件	8
1.4 独立电源	10
1.5 受控源	14
1.6 基尔霍夫定律	16
第 2 章 电阻电路的等效变换	27
2.1 等效变换的概念	27
2.2 无源电阻电路的等效变换	28
2.3 实际电源的两种模型及其等效变换	32
第 3 章 电阻电路的分析方法	41
3.1 支路电流法	41
3.2 网孔电流法	43
3.3 回路电流法	46
3.4 结点电压法	49
第 4 章 电路定理	57
4.1 叠加定理	57
4.2 替代定理	59
4.3 戴维宁定理和诺顿定理	61
4.4 最大功率传输定理	67
第 5 章 动态电路的时域分析	72
5.1 动态元件	72
5.2 换路定则和初始条件	82
5.3 一阶电路的零输入响应	85
5.4 一阶电路的零状态响应	91
5.5 一阶电路的全响应	96
5.6 一阶电路的阶跃响应	102
5.7 二阶电路的分析	104
第 6 章 正弦稳态电路的分析	118
6.1 正弦电压和电流	118
6.2 正弦量的相量	125
6.3 电路的相量模型	130

6.4	正弦稳态电路计算	147
6.5	正弦稳态电路的功率	150
6.6	电路的频率响应	163
6.7	电路谐振	169
第 7 章	耦合电感和理想变压器	183
7.1	耦合电路	183
7.2	含有耦合电感电路的分析	187
7.3	空心变压器	193
7.4	理想变压器	195
第 8 章	三相电路	202
8.1	三相电源	202
8.2	三相电源和三相负载的连接	203
8.3	线电压(电流)与相电压(电流)之间的关系	205
8.4	对称三相电路的计算	206
8.5	对称三相电路的功率	208
第 9 章	线性动态电路的复频域分析	215
9.1	拉普拉斯变换	215
9.2	拉氏变换的性质	217
9.3	拉普拉斯反变换的部分分式展开	219
9.4	复频域的电路定律、元件伏安关系及电路模型	224
9.5	动态电路复频域分析法	227
9.6	s 域中的网络函数	232
第 10 章	非正弦周期电路分析	238
10.1	非正弦周期信号	238
10.2	周期函数的傅里叶级数	239
10.3	有效值、平均值和平均功率	242
10.4	非正弦周期电流电路的计算	244
第 11 章	二端口网络	249
11.1	二端口网络	249
11.2	二端口网络的方程和参数	250
11.3	二端口网络的等效电路	260
11.4	二端口网络的连接	261
附录 I	电路测试技术	267
附录 II	专业词汇英汉对照表	305
部分习题答案		316
参考文献		325

第1章 电路的基本定律和电路元件

内容提要 本章介绍了电路分析中最基本的概念和规律,如电路模型的概念,电压、电流参考方向的概念,功率的计算方法和吸收、发出功率的判断方法,介绍了电阻、独立电压源、独立电流源和受控源等电路元件的特点、电压电流关系等,以及电路中最基本的基尔霍夫电压定律和基尔霍夫电流定律。

1.1 实际电路和电路模型

1.1.1 实际电路

实际电路是由电气器件(电阻器、电容器、线圈、开关、晶体管、电池、发电机等)按照一定的方式相互连接组成的,它们的相互组合,构成了电流的通路,使其可以具有各种不同的功能,完成各种具体的任务。用实际电路可以构成各种应用系统,如通信、计算机、控制、动力、信号处理系统等。

电路虽然有各种各样的形式,但其主要作用都是用于能量的传输和信号的处理,例如,由发电机、变压器、输电线等设备组成的输电网;电视机将接收到的高频电信号经过变换处理转换为画面和声音等。按照在电路中所起的作用不同,电路中各器件可以分为电源、负载和传输控制器件三大类。电源提供电能或电信号,负载使用电能或接收信号,电源和负载的连接部分则是传输控制器件。在电源的作用下,电路中产生电流和电压,因此,电源又称为激励源,由激励在电路中产生的电流和电压统称为响应。

如图 1-1 (a) 所示图是手电筒的实际电路图,它有提供电能的电源——干电池;使用电能的负载——灯泡;连接电源和负载的导线。其中 S 为开关。电源、负载和导线是任何实际电路都不可缺少的 3 个组成部分。

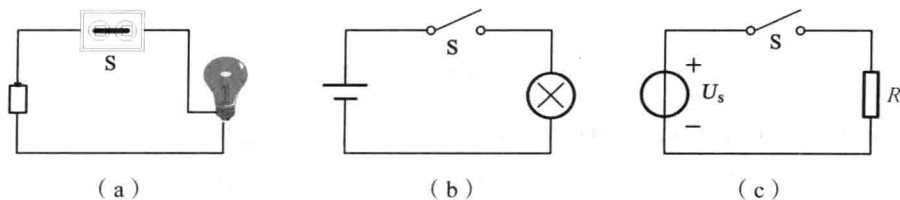


图 1-1 手电筒电路及其电路模型

1.1.2 电路模型

电路理论是建立在理想化模型基础上的。电路理论的对象并不是实际电路，而是它们的数学模型——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足够精确的数学描述，是指由各种理想电路元件按一定方式连接组成的总体。

电路模型是实际电路的理想模拟，简称为电路图。

由于构成电路的电器元件的电磁性能比较复杂，例如一个实际的线圈，一方面要考虑其电磁感应的作用，把它看作一个电感，而另一方面又要考虑到绕制线圈的导线所带来的电阻及匝间电容。另外，就其画法来说，要想形象地画出各种电器件也是十分困难的。为了克服这些困难，方便数学分析，考虑到器件的主要特性，我们将各种器件理想化并用相应的符号来表示，如图 1-1 (b) 是图 1-1 (a) 所示实际电路的电路原理图，如图 1-1 (c) 所示为其电路模型图，其中理想电阻元件 R 是灯泡的模型，理想电压源 U_S 是干电池的模型，理想导体则是连接导线的模型。

采用理想化电路元件可以使得电路元件只体现单一的电磁特性，用精确的数学关系来描述，而且一种电路元件可以表示一类实际器件，用很少的几种电路元件就可以描述种类繁多的实际器件。因此，电路理论研究的对象不是实际电路，而是理想化的电路模型，是由对实际器件加以理想化的模型组成的电路——电路（模型）图。图 1-2 所示为 3 种基本理想电路元件的图形符号。

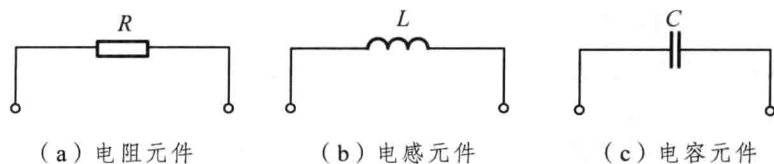


图 1-2 3 种基本电路元件的图形符号

同一个实际电路元件在不同的应用条件下，它的模型也可以有不同的形式，如图 1-3 所示为实际电感器在各种应用条件下的模型。

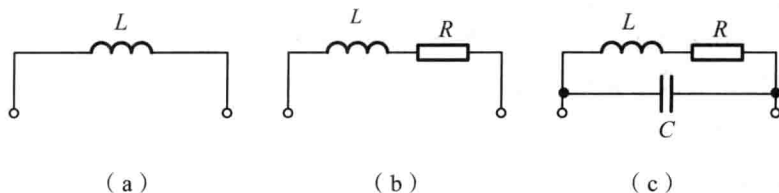


图 1-3 实际电感的电路模型

一个实际元件工作时往往有几种物理现象同时存在，因此要用几种理想元件组成它的模型。有些实际元件在某种工作状态下只有一种主要物理性能，其他物理性能可以忽略，可用一种元件作为它的模型，如电灯泡主要消耗电能，可以用电阻作为它的模型。有些元件在不

同的工作条件下电路模型也不同,例如一个电感线圈,它的主要物理性能是储存磁场能量,可用电感元件作为它的模型,如图 1-3 (a) 所示;但一般情况下线圈的损耗不能忽略,就要串联上一个电阻,如图 1-3 (b) 所示;当频率比较高时,它的匝间电容也不能忽略,需要再并联上一个电容,如图 1-3 (c) 所示。

1.1.3 集总参数电路

实际器件的运用一般都和电能的消耗现象及电磁能的储存现象有关,这两个现象相互影响。这里所谓的“理想化”指的是:假设上述几种电磁现象可以分别研究,并将具有分布特性的电路参数集中起来,构成集总参数元件模型,这样每一种集总参数元件就只表示一种电磁特性,且其电磁特性还可以用数学方法精确地定义出流过它的电流和端电压。这样的元件(电阻、电容、电感)称为集总参数元件。由集总参数元件组成的电路称为集总参数电路。在集总参数电路中,任何时刻该电路任何地方的电流、电压都是与其空间位置无关的确定值。

用集总参数电路来近似代替实际电路是有条件的。应用集总参数模型时,必须满足实际电路的尺寸(长度)要远远小于电路工作时电磁场的波长的要求,即

$$l \ll \lambda, \lambda = c/f, c = 3 \times 10^8 \text{ m/s (光速)}$$

例如,我们电力系统照明用电的正常工作频率为 50 Hz,其所对应的波长为 6 000 km。对于大多数用电设备来说,其尺寸与之相比可以忽略不计,采用集总参数概念是合适的。而对于远距离的通信线路和电力输电线路则不满足这个条件,不能按集总参数电路模型来处理,而要采用分布参数。又如,在微波电路中,信号的波长 λ 的范围为 0.1 ~ 10 cm,此时,波长与元件尺寸属同一数量级,也不能按集总参数电路模型来处理。本书只讨论集总参数电路。

1.2 电压、电流及功率

在电路分析中,电路的工作状态通常可以用电荷、磁链、电流、电压、功率和能量等变量来描述,电路分析的任务在于分析这些变量。其中电流、电压和功率最为常用,并且电压和电流在电路中比较容易通过仪器测量和观察,因此电压和电流是描述电路特性的两个基本变量。

1.2.1 电流及其参考方向

单位时间内通过导体横截面的电荷量,称为电流强度 $i(t)$,它具有大小、方向等物理量的基本特征。在电路分析中经常使用。为了简便,称电流强度为电流。其表达式为

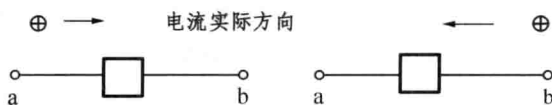
$$i(t) = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

在国际单位制 (SI) 中, 电荷单位为库仑 (C), 时间单位为秒 (s), 电流的单位为安 (A)。电流比较小时, 也可用毫安 (mA)、微安 (μA) 表示。

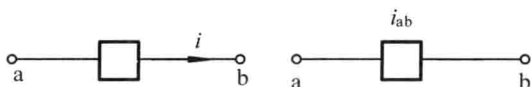
$$1 \text{ A} = 10^3 \text{ mA} = 10^6 \mu\text{A}$$

电流是用以描述电路性能的常用物理量。电流一词经常带有两重含义: 一是指一种物理现象; 二是指一个物理量及这个量的大小。

电流是有方向的, 通常规定正电荷运动的方向为电流的实际方向。在电路元件中流动的电流的实际方向只有两种可能, 如图 1-4 (a) 所示。



(a) 电流的实际方向



(b) 电流的参考方向

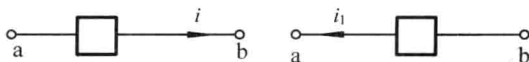
图 1-4

但在电路分析中, 有些复杂电路的某些支路事先无法确定其实际方向, 或有些电流是交变的, 无法标出实际方向, 为分析方便, 只能先任意假定一方向, 这个假定的方向就称为电流参考方向, 根据参考方向和计算结果, 才能确定电流的实际方向。

电流参考方向的两种表示方法: 一是用箭头表示, 箭头的指向为电流的参考方向; 二是用双下标 i_{ab} 表示, 电流的参考方向由 a 指向 b。如图 1-4 (b) 所示。

参考方向选定以后, 若经计算得电流为正值, 说明所设参考方向与实际方向一致; 若经计算得电流为负值, 说明所设参考方向与实际方向相反。电路分析所涉及的电流均指参考方向的电流, 在分析计算电路时, 必须在电路中先选定电流的参考方向, 电流值的正与负在选定参考方向的前提下才有意义。

例 1-1 电路中流过某元件的电流为 i , 电流参考方向从 a 指向 b, 如图 1-5 (a)。若经过计算或测量得到 $i = -2 \text{ A}$, 则电流的实际流动方向与参考方向相反, 即电流从 b 经过元件流向 a。若取参考方向从 b 指向 a, 如图 1-5 (b) 所示, 电流为 i_1 , 则 i_1 为 2 A 。



(a)

(b)

图 1-5 例 1-1 图

电流通常分为直流电流和交流电流两大类。大小和方向均不随时间变化的电流称为恒定电流, 用 I 表示, 简称直流, 简写为 dc 或 DC。大小和方向均可随时间变化的电流称为交变电流用 $i(t)$ 表示, 简称交流, 简写 ac 或 AC, 如图 1-6 所示。为了简便, 在谈及电流时, 统一用 $i(t)$, 也常将 $i(t)$ 简写为 i 。

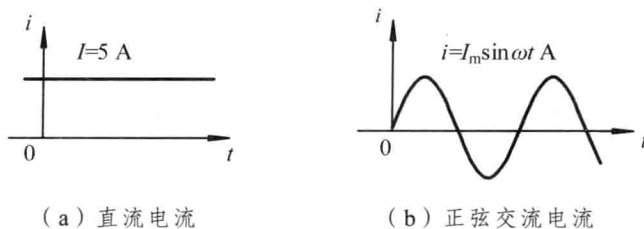


图 1-6 直流和正弦交流电流

1.2.2 电压及其参考方向

电压也是描述电路性能的基本物理量, 和电流相似, 它也具有大小、方向。

在一段电路中, 假设正电荷 dq 从 A 点到 B 点时电场力做功为 dW , 则 A、B 间的电压为

$$u_{AB} = \frac{dW}{dq} \quad (1-2)$$

在国际单位制 (SI) 中, 功的单位为焦耳 (J), 电荷的单位为库仑 (C), 电压单位为伏 (V)。其他常用的单位有千伏 (kV)、毫伏 (mV) 等。

电压的实际方向规定为由高电位指向低电位, 即电压降的方向, 一般分别用符号 “+” 和 “-” 表示高电位和低电位。在电路分析中, 同样存在难以确定某段电路电压的实际方向, 因此采用参考方向的方法, 即任意假定一个方向, 在指定参考方向后, 计算结果显示的电压正负值就有明确的物理意义, 正值说明参考方向与实际方向相同, 负值说明二者方向相反。

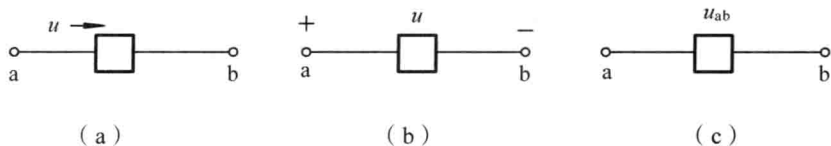


图 1-7 电压的参考方向

参考方向的三种表示方法: 一是用箭头表示, 如图 1-7 (a) 所示; 二是用符号 “+”、“-” 表示, 如图 1-7 (b) 所示; 三是用双下标 u_{ab} 表示, 电压的参考方向为 A 端高电位、B 端低电位, 如图 1-7 (c) 所示。

电压和电流一样, 也分为直流电压和交流电压两大类, 分别用 U 和 $u(t)$ 表示, 为了简便, 在谈及电压时, 统一用 $u(t)$ 表示, 也常将 $u(t)$ 简写为 u 。

1.2.3 电流与电压的关联参考方向

对一个确定的电路元件或支路而言,若电流的参考方向是从电压参考极性的“+”流向“-”,则称电流与电压为关联参考方向,简称关联方向,如图 1-8 (a) 所示,否则即为非关联方向,如图 1-8 (b) u 与 i 为非关联方向。

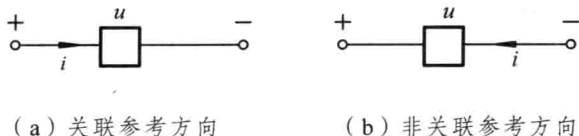


图 1-8 关联参考方向和非关联参考方向

例 1-2 如图 1-9 所示电路中,电压 u 和电流 i 的参考方向是否关联?

解: 在考查电压和电流的参考方向是否关联时,要看是对哪部分而言,如图 1-9 所示电路,对元件 A 而言, u 与 i 为非关联方向;对元件 B 而言, u 与 i 为关联方向。

应当注意的是,参考方向的概念虽然非常简单,但却极其重要,而且参考方向一旦选定,在电路的分析过程中就不能进行更改,同时还应注意不要将参考方向和实际方向混淆,否则将造成计算错误。

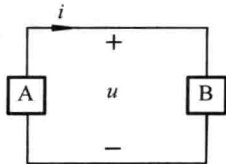


图 1-9 例 1-2 图

1.2.4 电功率

在电路中,单位时间电场力所做的功,称为电功率,简称功率,用符号 $p(t)$ 表示。

$$p(t) = \frac{dw}{dt} \quad (1-3)$$

式中, dw/dt 为单位时间内电场力所做的功,同时又是该元件所吸收的功率。从式 (1-3) 可见,功率一般情况下是时间 t 的函数,因此又称为瞬时功率,用小写英文字母 p 表示。

电功率是与电压和电流密切相关的量,若某元件两端的电压为 $u(t)$,在 dt 时间内通过该元件的电荷为 dq ,由表达式:

$$u(t) = \frac{dw(t)}{dq(t)}$$

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$$

得

$$dw(t) = u(t)dq(t) = u(t) \frac{dq(t)}{dt} dt = u(t)i(t)dt \quad (1-4)$$

因此,功率的计算公式为

$$p(t) = \frac{dw(t)}{dt} = u(t)i(t) \quad (1-5)$$

电流的单位为 A，电压的单位为 V 时，能量的单位为 J (焦耳)，当时间的单位为 s (秒) 时，功率的单位是 W (瓦特，简称瓦)。

式 (1-5) 表明，任意二端元件在任意瞬时吸收的功率等于该瞬时作用在该元件上的电压和流过该元件的电流的乘积，而与该元件本身的特性无关。该式可看作元件所吸收的功率的定义式，它是电路理论中一个非常重要的基本关系式。

在具体的电路中，有些元件吸收功率，另一些元件则发出功率，而式 (1-5) 定义的是元件吸收的功率，这时可根据计算结果的正负来判断元件实际上是吸收功率还是发出功率。

当 $p > 0$ 时，元件吸收正的功率，即实际上是吸收功率；当 $p < 0$ 时，元件吸收负的功率，即实际上是发出功率。

需要强调的是，式 (1-5) 是在元件上电流和电压取关联参考方向的条件下得到的。若某元件上电流和电压取非关联参考方向，且仍约定 $p > 0$ 时，元件吸收功率； $p < 0$ 时，元件发出功率，则应在功率的计算式前加负号，即

$$p = -ui \quad (1-6)$$

例 1-3 (1) 如图 1-10 (a) 所示，已知元件 1 吸收的功率为 -20 W ， $I_1 = 5\text{ A}$ ，求电压 U_1 ；
(2) 如图 1-10 (b) 所示，已知元件 2 发出的功率为 -12 W ， $U_2 = -4\text{ V}$ ，求电流 I_2 。

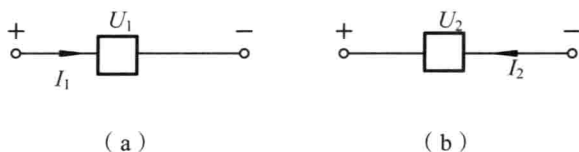


图 1-10 例 1-3 图

解：(1) 因电压、电流为关联参考方向，功率为

$$P_1 = U_1 I_1$$

$$U_1 = \frac{P_1}{I_1} = \frac{-20}{5} = -4 \text{ (V)}$$

元件 1 吸收的功率为负值，表明该元件实际为发出功率，即发出功率 20 W 。

(2) 元件 2 发出的功率为负值，表明实际为吸收功率，即吸收 12 W 功率。电压、电流为非关联参考方向，功率为

$$P_2 = -U_2 I_2$$

$$I_2 = -\frac{P_2}{U_2} = -\frac{12}{-4} = 3 \text{ (A)}$$

由例题可见，计算功率时应注意：正确地选择用功率的计算式，采用公式 $p = ui$ 或 $p = -ui$ 中的哪一个是根据电压、电流的参考方向来决定的。当 u 、 i 为关联参考方向时，用公式 $p = ui$ ；当 u 、 i 为非关联参考方向时，用公式 $p = -ui$ 。

例 1-4 如图 1-11 所示，若各电流均为 2 A ，各电压均为 5 V ，其参考方向如图所示，求图中各元件吸收或发出的功率。

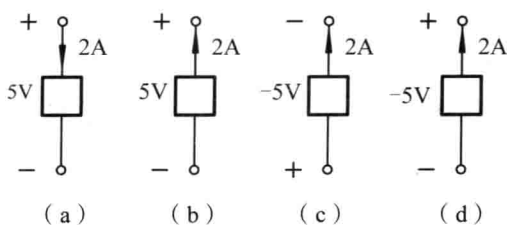


图 1-11 例 1-4 图

解：如图 (a) 所示元件，电压、电流为关联参考方向，因此

$$p = ui = 5 \times 2 = 10 \text{ (W)} > 0$$

元件吸收 10 W 的功率。

如图 (b) 所示元件，电压、电流为非关联参考方向，因此

$$p = -ui = -(5 \times 2) = -10 \text{ (W)} < 0$$

元件发出 10 W 的功率。

如图 (c) 所示元件，电压、电流为关联参考方向，因此

$$p = ui = (-5) \times 2 = -10 \text{ (W)} < 0$$

元件发出 10 W 的功率。

如图 (d) 所示元件，电压、电流为非关联参考方向，因此

$$p = -ui = -(-5) \times 2 = 10 \text{ (W)} > 0$$

元件吸收 10 W 的功率。

1.3 电阻元件

电阻元件是电路中最基本的无源元件，了解其特性是分析电路的基础。

1.3.1 线性电阻

电阻元件的电路模型如图 1-12 所示，关联参考方向下，在 u 、 i 平面上， u 、 i 间关系是一条通过原点 O 的直线，如图 1-13 所示，具有这样伏安特性曲线的电阻元件，称为线性电阻。在后面的内容中，如不特别指明，所讨论的电阻都是指线性电阻，简称电阻。

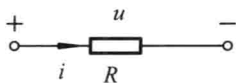


图 1-12 线性电阻的符号

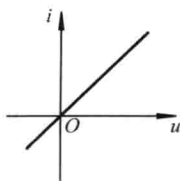


图 1-13 线性电阻元件的伏安特性曲线

1.3.2 欧姆定律

欧姆定律是电路分析中重要的基本定律之一,对于线性电阻元件,它说明了电阻上电压与电流的关系,若线性电阻的电压、电流取关联参考方向时,有

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

式中, R 为大于或等于零的实常数,称为该电阻元件的电阻,单位为欧姆 (Ω)。

若假设 $G = \frac{1}{R}$, 则式 (1-7) 变为

$$i(t) = Gu(t) \quad (1-8)$$

式中, G 称为电阻元件的电导,单位为西 (门子) (S)。

需要说明的是,式 (1-7)、(1-8) 都是在电阻上电压、电流取关联参考方向的条件下得到的,若电阻上的电压、电流取非关联参考方向,则欧姆定律的表达式为

$$\left. \begin{aligned} u(t) &= -Ri(t) \\ i(t) &= -Gu(t) \end{aligned} \right\} \quad (1-9)$$

欧姆定律表明任意时刻电阻元件上的电压都与该时刻的电流成正比,与前时刻的电流无关,因此电阻元件不具备记忆功能,故又称其为无记忆元件。

1.3.3 开路和短路

短路和开路是电路中常见的现象,即电阻元件存在两种极端情况:为零和无穷大。

从式 (1-7) 可知,当 $R = 0$ 时,对应电流轴上的任意 i 值,都有 $u = 0$,所以这时的伏安特性曲线就是电流轴,如图 1-14 (a) 所示。这种情况称为短路。

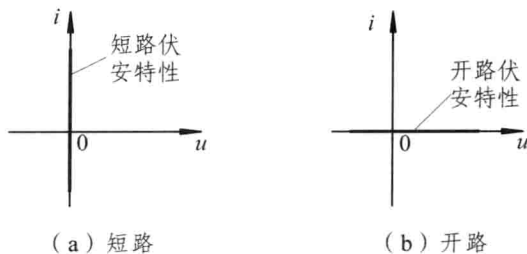


图 1-14 短路和开路的伏安特性

当 R 为无穷大时,对任意给定的 u 值,都有 $i = 0$,所以这时的伏安特性曲线就是电压轴,如图 1-14 (b) 所示。这种情况称为开路。

开路和短路概念十分重要,开路时电流为零,短路时电压为零。

1.3.4 线性电阻元件的功率

在关联参考方向的条件下,电阻上消耗的功率为

$$p(t) = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} \quad (1-10)$$

$$p(t) = ui = Gu^2 = \frac{i^2}{G} \quad (1-11)$$

式中, R 、 G 都是正实常数, 因此功率 p 恒为非负值, 表明线性电阻元件在任意瞬间都不可能发出功率, 所以线性电阻元件是无源元件。实际上它所吸收的电能全部转换成热能而被消耗掉, 因此线性电阻元件又是耗能元件。

由于制作材料的电阻率与温度有关, 电阻器通过电流后因发热会使温度改变, 严格地说, 电阻器带有非线性因素。但是在一定条件下, 许多实际电阻器, 它们的伏安特性近似为一条直线。所以用线性电阻作为它们的理想模型是合适的。

线性电阻的伏安特性位于第一、三象限。如果一个线性电阻元件的伏安特性位于第二、四象限, 则该元件的电阻为负值, 即 $R < 0$ 。线性负电阻元件实际上是一个发出电能的元件。如果要获得这种元件, 一般需要专门设计。

例 1-5 如图 1-15 所示, 已知 $i = -2 \text{ A}$, R 元件产生 8 W 的功率, 求 u 和 R 。

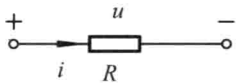


图 1-15 例 1-5 图

解: R 元件产生 8 W 的功率即吸收 -8 W 的功率, 故

$$p = \frac{-8}{-2} = 4 \text{ (V)}$$

$$R = \frac{u}{i} = \frac{4}{-2} = -2 \text{ (}\Omega\text{)}$$

1.4 独立电源

实际工程中常用的发电机、电池能够独立地输出电压, 称为独立电压源; 用电子器件做成的恒流源可独立地输出电流, 称为独立电流源。二者统称为独立电源。实际独立电压源端电压和独立电流源端电流的变化规律主要由独立电源本身所决定, 但其大小有时要受外电路的影响, 因此在电路分析过程中直接使用将带来不便。通常采取的对策是先建立理想化的电源模型, 再用理想化的电源模型和适当的无源元件组合来构成实际的独立电源模型。

理想化的电源模型有理想电压源和理想电流源两种类型。相对于无源元件而言，理想电压源和理想电流源又统称为有源元件。

1.4.1 理想电压源

如果一个二端元件与任意电路连接后，该元件的两端的电压总能保持为确定的数值，而与流过元件的电流无关，则此元件称为理想电压源，也就是说，理想电压源不管流过电源的电流值为多少，电源的端电压总是不变化。

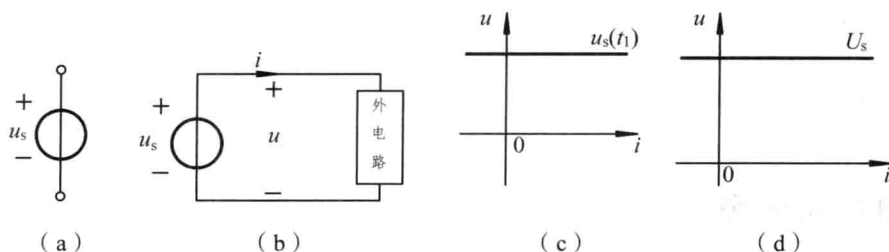


图 1-16 理想电压源及其特性曲线

理想电压源的电路模型如图 1-16 (a) 所示，其中“+”“-”号表示电压源的参考极性， u_s 为理想电压源的端电压。如图 1-16 (b) 所示，将理想电压源以外的电路部分统称为外电路。

根据电压源的定义，理想电压源在任意时刻的特性曲线为平行于 i 轴的直线。若 u_s 为变化的电源，则某一时刻的伏安关系是平行于 i 轴的直线，如图 1-16 (c) 所示，表示在 t_1 时刻电压源的特性曲线。若 $u_s = U_s$ ，即直流电压源，则其伏安特性为平行于 i 的直线，不随时间改变，如图 1-16 (d) 所示；电压为零的电压源，伏安曲线与 i 轴重合，相当于短路元件。

理想电压源具有如下两个非常重要的特点：

(1) 理想电压源端电压的变化规律（大小、变化趋势等）完全由电压源本身所决定，与外电路的变化无关。如图 1-16 所示的理想电压源的伏安特性，在任意时刻，无论通过电压源的电流大小、方向如何，其输出电压值不变。

(2) 流经理想电压源的电流将随外电路的变化而变化。

假设理想直流电压源其端电压以 u_s 表示。为简化分析过程，取外电路为一可变电阻，若调节可变电阻的阻值，则流经理想电压源的电流 ($i = u_s/R$) 将随可变电阻 R 的变化而变化，但理想电压源的端电压始终不变，如图 1-17 (a) 所示。

特殊情况下，当 $R = \infty$ 时， $i = 0$ 。如图 1-17 (b) 所示外电路断开的情况，也就是说理想电压源可以开路。但需注意的是，理想电压源不能短路。如将理想电压源短路，则相当于外接电阻 $R = 0$ ，此时流经理想电压源的电流将为无穷大，没有意义。