



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



电工技术基础

(电工学 I)

● 王英 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



参考文献

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电工技术基础

(电工学 I)

主编 王英
参编 徐英雷 曾欣荣
主审 雷勇 任恩恩

- [4] 王英, 电工技术基础[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [5] 王英, 电工技术基础[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [6] 王英, 电工技术基础[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [7] 张年凤, 王宏, 电工学[M]. 北京: 清华大学出版社, 北方交通大学出版社, 2000.
- [8] 王鹤明, 电工技术与电子技术:上册[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [9] 许实繁, 电机学[M]. 3版. 北京: 机械工业出版社, 1995.
- [10] 王英, 电工技术基础[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [11] 李英, 电工技术基础[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2000.
- [12] 张继, 电工技术基础[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2000.
- [13] 张英, 电工技术基础[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [14] Thomas L. Floyd, 夏琳, 施恩, 电路基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [15] 李守成, 电工电子技术[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2000.

ISBN 978-7-111-25010-7

①电工技术基础——高等学校教材
②电工技术基础——高等学校教材

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第112900号

责任编辑: 刘雨薇
封面设计: 刘志成
北京理工大学出版社
2007年9月第1版·第1次印刷
184mm×260mm·18.2印张·452千字
ISBN 978-7-111-25010-7



机械工业出版社

本书分两篇论述：第1篇电路基础，其主要内容有：基本元件和基本定律、线性电路的分析方法、正弦交流电路分析、三相电路分析、一阶电路的时域分析、周期性非正弦电路；第2篇电机与控制，其主要内容有：磁路、变压器、电动机、电气控制。各章后均有相应的小结、选择题、思考题和习题。书后附有习题答案。

本书可作为高等工科院校非电类各专业本科生“电工技术基础”课程的教材，也可作为职业大学、成人教育大学、电视大学和网络教育等各专业的教材或辅助教材，还可供相关专业的工程技术人员学习和参考

(工学)

英王 主编
荣 曾 雷英 参
恩恩 雷 审主

图书在版编目 (CIP) 数据

电工技术基础 (电工学 I) / 王英主编. —北京: 机械工业出版社, 2007. 8

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978 - 7 - 111 - 22010 - 7

I. 电… II. 王… III. ①电工技术 - 高等学校 - 教材
②电工学 - 高等学校 - 教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 115990 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑: 贡克勤 责任编辑: 刘丽敏 版式设计: 冉晓华
责任校对: 刘志文 封面设计: 责任印制: 洪汉军
北京京丰印刷厂印刷
2007 年 9 月第 1 版·第 1 次印刷
184mm × 260mm · 18.5 印张 · 452 千字
标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 22010 - 7
定价: 28.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379727

封面防伪标均为盗版

前 言

为适应社会发展和提高综合国力，国家提出了到2020年使我国进入创新型国家行列的发展目标。创新型国家的建设，人才的培养是根本，尤其是创新型人才的培养是关键，这无疑给高校提出了新的教育教学改革的目标。高等教育要创新，人才培养要创新，教材建设更要创新，这是时代赋予“十一五”国家级规划教材编者的责任和历史使命。

本书是为高等工科学校非电类各专业而编写的电工技术基础教材，其作者在参阅了国内外同类教材和相关书籍的基础上，结合二十多年教学经验及教学改革成果和“电工学”精品课程建设内容，参照“高等学校工科本科电工学课程教学基本要求”编写而成。本教材可供51~68学时教学使用。

本书分为“电路基础”、“电机与控制”两个篇章论述。第1篇“电路基础”中有6章：基本元件和基本定律、线性电路的分析方法、正弦交流电路分析、三相电路分析、一阶电路的时域分析、周期性非正弦电路。重点对线性电路理论的基本概念、基本元件、基本定律、基本定理、基本分析方法、基本测量技能等作了深入浅出的阐述。第2篇“电机与控制”中有4章：磁路、变压器、电动机、电气控制。主要从应用的角度，讲解了变压器和异步电动机的结构、工作原理、基本控制方法，并借助经典的继电器控制概念，介绍了PLC（可编程序控制器）控制技术。在电工技术基础课程的讲授中，由于各个学科的要求不同，各院校可根据具体的授课学时和专业要求对本书的内容作适当的调整 and 选择。

本书根据“电工技术基础”课程的特点，在注重基本知识的同时，通过例题的形式拓展教学内容，由浅入深；每章后的小结给出了本章重点，有助于自学；针对电路基础部分中的基本概念和基本知识点，增加了选择题题型，循序渐进；对于电机与控制部分中的知识难点的学习，增加了思考题题型，力求做到点面结合，培养学生独立思考的能力。在本书的编写中，其内容以注重电工技术基础知识为主线，其例题以注重掌握与提高理论知识为目的，其习题以注重综合能力培养为目标，其文笔以通俗易懂为根本，整部教材有利于学生阅读和自学。

“电工技术基础”是高等工科学校非电类各专业的技术基础课程，也是每一个从事电气、电力电子、信号与通信、计算机和自动控制等专业工程师的理论基础。本书可作为高等工科院校大学本科（机械类、材料类、工程力学类、测量类、机电一体化类、经贸管理类、运输类、建筑类、土木类等）非电类各专业的“电工技术基础”课程的教材，也可作为职业大学、成人教育大学、电视大学和网络教育等同类专业的教材，还可以作为工程技术人员的学习参考资料。

本书由西南交通大学王英任主编，徐英雷和曾欣荣参与编写，由雷勇教授和任思思教授

目 录

前言

第1篇 电路基础

第1章 基本元件和基本定律 3	2.6.1 戴维南定理..... 60
1.1 电路模型和电路变量..... 3	2.6.2 诺顿定理..... 67
1.1.1 电路的基本概念..... 3	2.7 最大功率传输定理..... 71
1.1.2 电路模型..... 4	小结..... 73
1.1.3 电路变量..... 5	选择题..... 74
1.1.4 参考方向..... 8	习题..... 77
1.2 电路基本元件..... 9	第3章 正弦交流电路分析 82
1.2.1 电阻元件 R 9	3.1 正弦函数的相量形式..... 82
1.2.2 电容元件 C 11	3.1.1 正弦量..... 82
1.2.3 电感元件 L 12	3.1.2 正弦量的相量表示..... 85
1.2.4 独立电源..... 13	3.1.3 复数..... 86
1.2.5 受控电源..... 16	3.2 元件伏安特性和基尔霍夫定律 的相量形式..... 89
1.2.6 开路与短路..... 17	3.2.1 元件伏安特性的相量形式..... 90
1.3 基尔霍夫定律..... 18	3.2.2 基尔霍夫定律的相量形式..... 93
1.3.1 支路、结点和回路..... 18	3.3 阻抗与导纳..... 94
1.3.2 基尔霍夫定律..... 19	3.3.1 阻抗与导纳基本概念..... 94
1.4 电阻电路的等效变换..... 22	3.3.2 阻抗串并联电路..... 95
1.4.1 电阻的串联、并联等效变换..... 23	3.4 正弦稳态电路的分析..... 102
1.4.2 电阻的Y联结和 Δ 联结的 等效变换..... 27	3.5 正弦稳态电路的功率..... 104
1.5 电源电路的等效变换..... 32	3.5.1 功率..... 104
1.5.1 电压源串联电路的等效变换..... 32	3.5.2 功率因数的提高..... 111
1.5.2 电流源并联电路的等效变换..... 34	3.5.3 最大功率传输..... 114
1.6 电路中电位的计算..... 36	3.6 谐振..... 115
小结..... 36	3.6.1 串联谐振..... 116
选择题..... 38	3.6.2 并联谐振..... 118
习题..... 40	小结..... 121
第2章 线性电路的分析方法 45	选择题..... 123
2.1 电源模型的等效变换法..... 45	习题..... 126
2.2 支路电流法..... 48	第4章 三相电路分析 131
2.3 结点电压法..... 49	4.1 三相电路的基本概念..... 131
2.4 网孔电流法..... 55	4.1.1 对称三相电源..... 131
2.5 叠加定理..... 57	4.1.2 对称三相电源的相序..... 132
2.6 戴维南定理与诺顿定理..... 60	4.1.3 对称三相电源的联结..... 132

小结	229	小结	255
思考题	229	思考题	256
习题	231	习题	259
第 9 章 电动机	233	第 10 章 电气控制	260
9.1 三相异步电动机的结构	233	10.1 低压控制电器	260
9.2 三相异步电动机的工作原理	235	10.1.1 刀开关	261
9.2.1 旋转磁场	235	10.1.2 按钮	262
9.2.2 电动机的转动原理	238	10.1.3 熔断器	262
9.2.3 转差率	238	10.1.4 热继电器	263
9.3 三相异步电动机的电路分析	239	10.1.5 低压断路器	263
9.3.1 定子电路	239	10.1.6 交流接触器与中间继电器	264
9.3.2 转子电路	239	10.2 继电器—接触器控制电路	265
9.4 三相异步电动机的转矩与机械特性	240	10.2.1 继电器接触器控制电路图的阅读方法	265
9.4.1 电磁转矩特性	241	10.2.2 继电器接触器控制的基本电路	265
9.4.2 机械特性	241	10.3 可编程序控制器	271
9.5 三相异步电动机的起动、制动和调速	243	10.3.1 可编程序控制器概述	271
9.5.1 三相异步电动机的起动	243	10.3.2 可编程序控制器的组成与性能指标	272
9.5.2 三相异步电动机的调速	245	10.3.3 可编程序控制器的基本工作原理	273
9.5.3 三相异步电动机的制动	246	10.3.4 可编程序控制器的编程语言	274
9.6 三相异步电动机的型号和技术数据	248	10.3.5 可编程序控制器在电动机控制中的应用	276
9.7 单相异步电动机	250	小结	277
9.7.1 单相异步电动机的结构	250	思考题	278
9.7.2 单相异步电动机的工作原理	250	习题	280
9.8 电动机的选择	251	部分习题参考答案	282
9.9 控制电机	252	参考文献	287
9.9.1 伺服电动机	253		
9.9.2 测速发电机	254		
9.9.3 步进电动机	254		

第 1 篇

电 路 基 础

(外形特征 选用方法 使用注意事项)

学习目的与要求

本篇主要对由线性元件组成的集中参数电路进行分析。研究线性电路基础的基本概念、基本元件、基本定律、基本定理和基本分析方法，重点讨论了直流电路、正弦稳态交流电路、一阶电路的基本特点和基本分析计算方法，简要介绍了周期性非正弦电路的基本概念与计算。

第1章 基本元件和基本定律

提要 本章讨论电路的基本概念、基本元件、基本定律、基本的连接结构和规律。介绍构成电路的基本元件特性，即电阻元件、电容元件、电感元件、电压源、电流源和受控源。讨论电路中电压、电流受到的两类约束，即元件特性和基本定律基尔霍夫定律。论述电路元件串联、并联、星形联结、三角形联结等分析方法和等效概念，为后续各章节的知识点讨论和学习奠定了基础。

1.1 电路模型和电路变量

1.1.1 电路的基本概念

1. 电路

电路是由电气设备和电路元器件通过各种方式相互连接并提供电流通过途径的系统。电路的结构和所能完成的任务是多种多样的，简单的电路如手电筒电路，复杂的电路如电力系统、电子系统、电气控制系统等。

电路可分为线性电路和非线性电路，线性电路仅由线性元件组成，而非线性电路中至少含有一个非线性元件。线性电路最基本的特性是具有叠加性和均匀性，其含义用图 1-1 简单说明。

图 1-1 中 x 表示电路的输入信号（或电源信号），或称激励； y 表示由激励在电路中产生的输出，或称为响应；线性电路方框表示电路。例如，如图 1-1a 所示，激励信号 x 通过线性电路作用产生其响应为 y 。

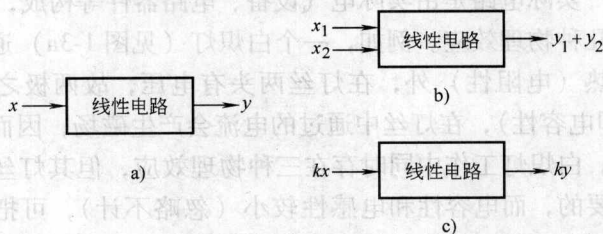


图 1-1 线性电路的叠加性和齐次性

a) 线性电路 b) 叠加性 c) 齐次性

(1) **叠加性** 如图 1-1b 所示，线性电路中有两个输入信号 x_1 和 x_2 ，当信号 x_2 为零时，输入信号 x_1 产生的输出为 y_1 ；当信号 x_1 为零时，输入信号 x_2 产生的输出为 y_2 ；当输入信号 x_1 和 x_2 共同作用时产生的输出为 $y_1 + y_2$ 。即线性电路中含有若干个输入信号同时作用时，其输出等于各个输入信号单独作用时产生的输出叠加，这就是线性电路的**叠加性**。

(2) **齐次性** 若输入信号 x 产生输出为 y ，则当输入信号为 kx 时，其产生的输出为 ky ，即线性电路的齐次性，如图 1-1c 所示。

严格地讲，线性电路在实际中是不存在的。但是大量的实际电路在一定条件下，是可以视为线性电路的，即实际电路在一定条件下理想化为线性电路。本篇作为电路理论的入门教材，主要研究线性电路。

2. 电路的作用

(1) 实现电能的传输、转换及分配 例如电力系统，其电力系统示意图如图 1-2 所示，电路的主要作用是将发电机提供的电能传输和分配到各用电设备。

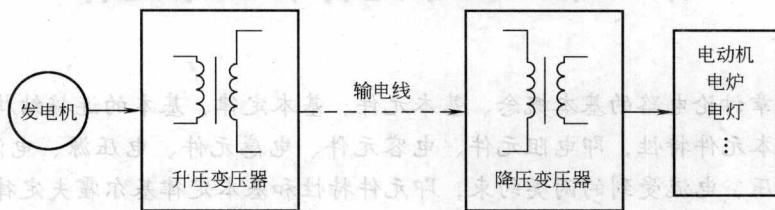


图 1-2 电力系统示意图

发电机是电源，是提供电能的设备，其功能是把热能、水能或核能等转换成电能。

变压器和**输电线**的功能是实现电能的分配和传输。

电动机、电炉、电灯等用电设备统称为**负载**，其功能是把电能转换成为机械能、热能和光能等。

(2) 实现信号的传递和处理 信号传递和处理的例子很多，如移动电话、计算机、电视机等，它们把载有语言、文字、音乐、图像信息的电磁波接收后转换为相应的电信号，然后通过电子电路对信号进行传递和处理，还原为原始信息输出到扬声器、显示器等。

1.1.2 电路模型

实际电路是由实际电气设备、电路器件等构成，这些实际部件在工作过程中往往同时产生几种物理效应。例如，一个白炽灯（见图 1-3a）通电后除了发光发热（电阻性）外，在灯丝两头有电压，故两极之间有电场效应（即电容性），在灯丝中通过的电流会产生磁场，因而灯丝又有电感性。白炽灯工作中同时存在三种物理效应，但其灯丝的发热效应是主要的，而电容性和电感性较小（忽略不计），可把白炽灯理想化为只有一种发热效应的集中参数电阻值 R 元件，抽象化为一个电路符号，如图 1-3b 所示。一个实际的白炽灯部件经过理想抽象化成为电路元件。

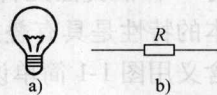


图 1-3 实际部件白炽灯与其电路模型

a) 白炽灯 b) 电阻元件的电路符号

在电路分析中，不直接研究实际电路，而是研究实际电路的**数学模型**，即**电路模型**（**电路图**）。电路模型是由抽象理想化电路元件（简称电路元件）相互连接构成。每一种电路元件只表征一种物理效应，可以用精确的数学关系来定义。实际的器件可以根据其表现出的物理效应用一种或几种电路元件来描述。例如，一个实际电感线圈，在一般频率下可用电路元件电阻和电感的串联组合来描述，如图 1-4 所示，但在频率较高时电场效应不可忽略，这时电感线圈有三种物理效应：发热效应、磁场效应和电场效应，其电路模型可用电路元件电阻和电感串联，再并联一个电容来描述，如图 1-5 所示。

由上述可见，在不同的条件下，同一实际器件所得的电路模型有所不同。电路模型主要是由实际器件在一定条件下所表现出的物理效应来决定，即电路模型的建立是有条件的，并且通过电路模型分析出的结果在一定的精度范围内可预测实际电路的特性。本篇主要讨论电

路模型的分析计算，将不涉及实际器件如何建立电路模型的问题。



图 1-4 一般频率下线圈的电路模型

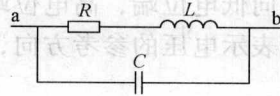


图 1-5 高频下线圈的电路模型

由于构成电路模型的电路元件都满足集中参数条件，因此，电路模型的大小和几何形状不影响电路的特性。

1.1.3 电路变量

电路变量是用来对电路模型进行描述的，电路分析任务则是计算出特定的电路变量，进而了解电路的特性和技术指标。在电路分析中主要分析可实际测量的变量——电压和电流，通过电压和电流变量可计算出电路模型中的其他物理量，如功率、电路元件参数等，因此，电压和电流又称为电路的**基本变量**。

1. 电压

电压的物理意义是电荷在电路中移动时所获得或失去的能量。即一定量的正电荷 dq 从电路中 a 点移动到 b 点时，能够放出的能量为 dW ，则电路中 a、b 两点间的电压 u 定义为

$$u = \frac{dW}{dq} \quad (1-1)$$

式中，电压的单位为伏特 (V)。

在电路分析中常用电位来表示电压，即任意两点间的电位之差称为**电压**。电路中的电位是相对某个参考点而定义的电压，如图 1-6 所示。图中有 3 个电路模型 N_1 、 N_2 、 N_3 ，设 O 点为参考点，a 点的电位为 u_a ，b 点的电位为 u_b ，则 a、b 两点间的电压 u_{ab} 为

$$u_{ab} = u_a - u_b$$

在实际电路中，参考点通常选为大地、设备机壳或某一个公共连接点。在电路分析中，可任意选择电路中的某一点为参考点，并设定参考点的电位为零。因此，电路中各点的电位值与所选定的参考点有关，但任意两点间的电压则与参考点的选择无关。例如，图 1-6 中的参考点改选为 b 点，如图 1-7 所示，这时 b 点的电位为零，O 点的电位为 u_o ，a 点的电位等于 a、b 两点间的电压

$$u_{ab} = u_a - u_b = u_a$$

由于图 1-6 与图 1-7 所选择的参考点不同，同一点的电位则不同，但两点间的电压是唯一的。

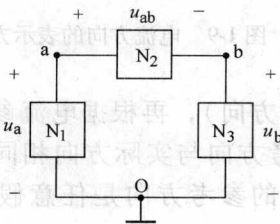


图 1-6 电压与电位

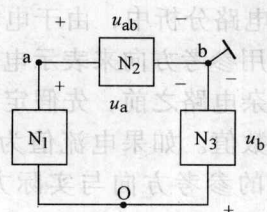


图 1-7 参考点、电位与电压

在电路分析中定义的电压相当于物理学中的电势降落。因此，电压的方向定义为由高电位端指向低电位端，高电位端用“+”、低电位端用“-”符号表示，也可以用双下标或箭头表示电压的参考方向，如图1-8所示，说明负载上相同电压极性的三种表示方式。

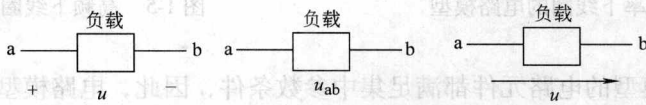


图1-8 电压方向的表示方式

在复杂电路分析计算前，电压的实际方向很难判断，这时必须假定电压的方向，即电压的参考方向（参考极性）。具有参考方向电压的数学表示才有物理意义。根据参考方向计算出电压的数值，如果是正值，说明该段电路电压的参考方向与实际方向相同；如果是负值，则表明该段电路电压的参考方向与实际方向相反。电路中电压的参考方向是任意假设的（见1.1.4节参考方向）。

注意：电动势 E 的参考方向是在电源内部由低电位端指向高电位端，即为电位升高的方向。

人物简介

亚历山德罗·伏特 (Alessandro Volta, 1745—1827)，意大利物理学家，他发明了一种用以产生静电的设备，并且发现了甲烷气体。伏特仔细研究了异金属之间的化学反应，于1800年发明了第一节电池。为了纪念他，电动势（或电压）的单位用他的名字伏特命名。

2. 电流

电流的物理意义是电荷质点的运动。即单位时间内通过导体横截面积的电量为电流 i ，即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2)$$

式中，电流的单位为安培 (A)。

在工程上规定正电荷移动的方向为电流方向。在电路模型中，电流方向有两种表示方式：箭头或双下标，如图1-9所示，即电流方向为从a到b。

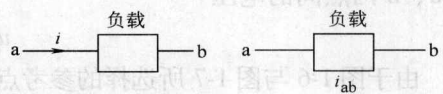


图1-9 电流方向的表示方式

在复杂电路分析中，由于电流的实际方向很难确定，常用参考方向来表示电流的方向。即在分析计算复杂电路之前，先假定电流的方向（称为参考方向），再根据电流参考方向计算出电流的数值。如果电流值为正值，说明电流的参考方向与实际方向相同；为负值则说明电流的参考方向与实际方向相反。注意，电流的参考方向是任意假设的（见1.1.4节参考方向）。

电流按其大小与方向是否随时间而变可分为三种电流：

1) **直流电流**。电流的大小、方向都不随时间发生变化。用大写的英文字母 I 表示。如图 1-10a 所示。测量仪表上标志为 DC (直流电流表)。

2) **脉动电流**。电流的大小随时间发生变化, 而方向不变。用小写的英文字母 i 表示。如图 1-10b 所示。脉动电流电路的分析在模拟电子技术中讨论。

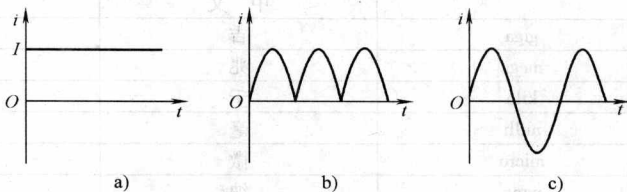


图 1-10 电流的分类

a) 直流电流 b) 脉动电流 c) 正弦交流电流

3) **交流电流**。电流的大小、方向都随时间发生变化。用小写的英文字母 i 或 $i(t)$ 表示。本教材主要讨论正弦交流电流, 如图 1-10c 所示。测量正弦交流电流的仪表标志 AC (交流电流表)。

人物简介

安德烈·玛丽·安培(Andre Marie Ampere, 1775—1836), 法国物理学家。1820 年提出了电磁理论, 奠定了 19 世纪该领域的发展基础。他是第一个用仪器来测量电荷流动(电流)的人。后人为了纪念他, 电流的单位用他的名字安培命名。

3. 功率和能量

在电路分析时, 经常分析电路中的能量和功率的分布和转移。因此, 功率和能量是电路中的两个重要的物理量。功率定义为单位时间内所转换的电能, 用 p 表示。功率 p 与能量 w 的关系如下所示:

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

$$w(t) = \int_{-\infty}^t p(\tau) d\tau$$

式中, 功率的单位为瓦特 (W); 能量的单位为焦耳 (J)。

在元件功率分析中, 设元件上的电压与电流的参考方向如图 1-11 所示, 即电流从电压的正极流到负极, 元件所吸收的能量为

$$dw = u(t) dq$$

则该元件吸收的功率为

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

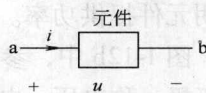


图 1-11 电压和电流表示功率

式 (1-4) 是通过元件的端电压和流过电流的乘积来定义功率。对于计算出的值是吸收(输入)功率还是提供(输出)功率, 可直接根据电压和电流的实际方向来确定。当电流从电压的正极流到负极时(注意是实际方向), 元件吸收功率, 或者说元件是负载; 当电流从电压的负极流到正极时, 元件提供功率, 或者说元件是电源。根据功率计算表达式直接判断功率的方向(吸收、提供), 将在参考方向一节中讨论。

本教材对各变量讨论时均采用国际单位制的基本单位, 国际常用词冠见表 1-1。

表 1-1 国际常用词冠

词 冠	符 号		因 子
	中 文	国 际	
giga	吉	G	10^9
mega	兆	M	10^6
kilo	千	k	10^3
milli	毫	m	10^{-3}
micro	微	μ	10^{-6}
nano	纳	n	10^{-9}
pico	皮	p	10^{-12}

人物简介

詹姆斯·瓦特(James Watts, 1736—1819), 苏格兰发明家。因对蒸汽机的改进而闻名于世, 使用蒸汽机可以在工业中使用。为了纪念他, 功率的单位用他的名字瓦特命名。

詹姆斯·普雷斯科特·焦耳(James Prescott Joule, 1818—1889), 英国物理学家。因在电学和热力学方面的研究成果而闻名于世。为了纪念他, 能量的单位用他的名字焦耳命名。

1.1.4 参考方向

在复杂的电路分析中, 电压和电流都是根据设定的参考方向进行讨论, 即任意假设电压、电流的方向称为**参考方向**。参考方向概念的引入, 解决了复杂电路中电压、电流方向难以确定的问题, 同时又不影响电路分析的结果。

在参考方向条件下, 电路分析计算的结果存在两种情况:

- 1) 计算结果为“+”, 说明参考方向与实际方向相同。
- 2) 计算结果为“-”, 说明参考方向与实际方向相反。

由于电压、电流的参考方向都是任意假设的, 因此, 参考电流从参考电压的正极(高电位)流到负极(低电位)时, 这种电压与电流的参考方向称为**关联参考方向**。如图 1-12a 所示。

在关联参考方向条件下, 如果计算的功率 $p = ui > 0$, 则说明元件吸收功率; 功率 $p < 0$, 则说明元件提供功率。

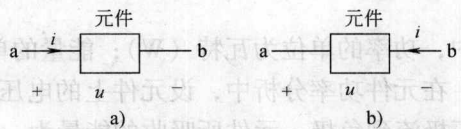


图 1-12 电压、电流的参考方向

a) 电压与电流关联参考方向

b) 电压与电流非关联参考方向

图 1-12b 中, 参考电流从参考电压的负极流到正极, 称电压、电流的参考方向为**非关联参考方向**。在非关联参考方向条件下, 如果用 $p =$

$-ui$ 计算功率, 计算出的功率值的判断与关联参考方向的相同, 即 $p > 0$ 的元件吸收功率(负载); $p < 0$ 的元件提供功率(电源)。

例 1-1 已知 $I_1 = 4\text{A}$, $U_1 = 2\text{V}$, $I_2 = -4\text{A}$, $U_2 = 4\text{V}$, $I_3 = 3\text{A}$, $U_3 = 5\text{V}$ 。试说明图 1-13 中各元件上的电压、电流的参考方向是否关联? 并计算各元件吸收的功率。

解 元件 A、B 的电流参考方向是从参考电压的正极流到负极, 因此, 电压和电流的参考方向设定是关联的; 元件 C 的电流从电压的负极流到正极, 则电压和电流参考方向设定是非关联的。所以各元件功率为

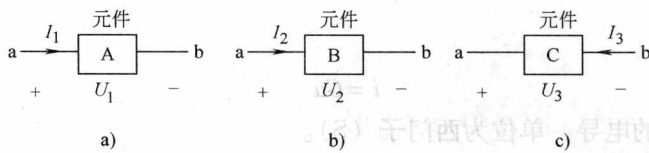


图 1-13 例 1-1 图

元件 A

$$P_1 = U_1 I_1 = (2 \times 4) \text{ W} = 8 \text{ W}$$

元件 B

$$P_2 = U_2 I_2 = [4 \times (-4)] \text{ W} = -16 \text{ W}$$

元件 C

$$P_3 = -U_3 I_3 = (-5 \times 3) \text{ W} = -15 \text{ W}$$

由于各元件功率的分析计算是设定在关联参考方向条件下,因此,元件 A 功率大于零为吸收功率,为负载;元件 B 和元件 C 功率小于零,则是提供功率,为电源。

1.2 电路基本元件

电路元件(理想化线性元件)是电路分析中最基本的组成单元。每一种元件都有唯一对应的物理特性和电路符号。在分析电路元件时,关心的是元件外部特性,即 $u-i$ 关系、 $q-u$ 关系、 $\Psi-i$ 关系,并用数学公式和特性曲线两种方式描述电路元件的特性。

电路元件按其特性可分为有源元件和无源元件两种。如果一个元件在任何时刻的物理效应表征为吸收能量,称该元件为无源元件,否则为有源元件。无源元件主要有电阻、电感和电容元件,其中电阻元件为耗能元件,电感和电容元件为储能元件。有源元件主要有独立电源和受控电源元件。

下面根据电路基本元件特性讨论各元件上电压和电流的约束关系。

1.2.1 电阻元件 R

在任意时刻,能用 $u-i$ 平面上一条曲线来描述外部特性的元件称为电阻元件。它是一种反映消耗电能转换成其他形式能量物理特征的电路模型。

线性电阻元件电路符号、电压和电流参考方向如图 1-14a 所示,特性曲线如图 1-14b 所示,即特性曲线在 $u-i$ 平面上任意时刻 t 都是过原点的直线。

在电阻元件两端电压与电流为关联参考方向时,电阻元件的欧姆定律为

$$u = Ri \quad (1-5)$$

式中, R 为线性电阻,是一个正常数,单位为欧姆 (Ω)。

下面线性电阻元件简称电阻。

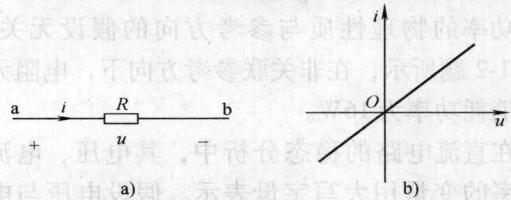


图 1-14 线性电阻元件

a) 线性电阻元件及关联参考方向

b) 线性电阻的伏安特性