



普通高等教育“十二五”规划教材
电子电气基础课程规划教材

电工技术基础(第2版)

黄锦安 钱建平 徐行健 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十二五”规划教材
电子电气基础课程规划教材

电工技术基础

(第2版)

黄锦安 钱建平 徐行健 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书共 11 章,主要包括电路的基本概念与基本定律、电路的分析方法、正弦交流电路、三相交流电路、电路的频率特性、电路的暂态分析、磁路和变压器、异步电动机、继电 - 接触器控制、直流电动机和可编程控制器。

本书内容详实,讲解清楚,叙述简明扼要,各章均提供习题并附参考答案,便于学生学习和教师讲授。本书可作为高等学校非电类专业和其他工科专业的教材,也可供有关工程技术人员参考。

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

电工技术基础/黄锦安,钱建平,徐行健编著. —2 版. —北京:电子工业出版社,2011. 8
(电子电气基础课程规划教材)
ISBN 978 - 7 - 121 - 13538 - 5

I. ① 电… II. ① 黄… ② 钱… ③ 徐… III. ① 电工技术 - 高等学校 - 教材 IV. ① TM
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 085052 号

责任编辑:韩同平 特约编辑:李佩乾

印 刷:北京丰源印刷厂

装 订:三河市鹏成印业有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787 × 1092 1/16 印张:16.75 字数:435 千字

印 次:2011 年 8 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:35.00 元

凡所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,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

第2版前言

本书是根据国家工科电工课程教学指导委员会制定的高等工业学校电工技术课程教学的基本要求编写的,为非电类各专业的教学用书。

电工技术基础课程为工科非电类各专业的重要学科基础课,是培养计划中为数不多的与电学相关的课程之一,承担为学生打下扎实电学理论基础的任务。本书在编写时尽量做到教材内容的系统性、完整性、科学性和教学适用性的有机结合。本书在内容的编写上力求由浅入深,从具体到抽象,从物理概念到数学推导,尽可能符合人们的认知过程,使读者便于理解和掌握。

本书第1版于2004年出版,这次的第2版,在保持原教材总体特色的基础上,除了更正原书中的错误或不当之处外,在内容和结构上做了以下调整:将二端网络与等效变换的内容移至电路的分析方法一章,更便于教学计划的组织与实施;电路的暂态分析一章中部分内容的叙述重点做了调整,以使全章的教学要求统一;适当地增加了一些例题,并对部分习题重新进行了审定与增减,以满足各种不同层次学生的学习需要;每章增添的本章小结将为学生复习、巩固各章内容,提供依据。

本书是按照48~64(包括实验)学时要求编写的,任课教师可根据各专业的特点和学时数,灵活取舍有关内容。

本书第2版是各方合作的结果。参加本书修订工作的有南京理工大学电光学院黄锦安(第1、2、6、7、8章)、钱建平(第3、4、5、9、10章)、徐行健(第11章)。本书修订过程中,孙宪君教授仔细审阅了全部书稿,并提出了很多宝贵的意见,在此表示深切的谢意。同时,也深深地感谢本书所引参考文献的全体作者。

限于编者水平,对书中的不足和错误之处,希望使用本书的读者和教师给予批评指正。意见请寄南京理工大学电光学院(邮编210094)。

作为非电类专业的教材,与《电工技术基础》教材配套的后续姊妹课程教材为《模拟电路与数字电路》(寇戈编著,电子工业出版社出版,书号978-7-121-06390,为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,2009年普通高等教育国家精品教材),欢迎各个高等学校一并选用,以利于教学。

编著者

目 录

第1章 电路的基本概念与基本定律	(1)
1.1 电路和电路模型	(1)
1.1.1 电路的作用	(1)
1.1.2 电路的组成与模型	(2)
1.2 电路的基本物理量及其参考方向	(3)
1.2.1 电流	(3)
1.2.2 电压与电动势	(3)
1.2.3 功率	(4)
1.3 电阻元件	(6)
1.4 独立电源——电压源与电流源	(7)
1.4.1 电压源	(7)
1.4.2 电流源	(8)
1.5 电路的三种状态	(9)
1.6 基尔霍夫定律	(11)
1.7 电位的计算	(14)
1.8 非独立电源——受控源	(16)
本章小结	(18)
习题	(18)
第2章 电路的分析方法	(22)
2.1 二端网络与等效变换	(22)
2.1.1 等效二端网络的概念	(22)
2.1.2 电阻的串联、并联和混联	(22)
2.1.3 实际电源模型的等效变换	(26)
2.2 支路电流法	(28)
2.3 网孔电流法	(29)
2.4 节点电压法	(32)
2.5 叠加定理	(35)
2.6 等效电源定理	(37)
2.6.1 戴维南定理	(38)
2.6.2 诺顿定理	(41)
2.7 负载获得最大功率的条件	(42)
2.8 含受控源电路的分析计算方法	(43)
2.9 电路的对偶性	(46)

2.10 非线性电阻电路	(46)
本章小结	(49)
习题	(51)
第3章 正弦交流电路	(58)
3.1 正弦交流电的基本概念	(58)
3.1.1 正弦量及其三要素	(58)
3.1.2 正弦量的相位差	(60)
3.1.3 有效值	(61)
3.2 正弦量的相量表示法	(62)
3.2.1 复数的表示形式及其运算	(63)
3.2.2 旋转因子	(64)
3.2.3 复指数函数与正弦函数的关系	(64)
3.2.4 相量法和相量图	(65)
3.3 正弦交流电路中的电阻元件	(67)
3.3.1 电阻元件上电压与电流的关系	(67)
3.3.2 电阻元件的功率	(67)
3.4 正弦交流电路中的电感元件	(68)
3.4.1 电感元件	(68)
3.4.2 电感元件上电压与电流的关系	(69)
3.4.3 电感元件的功率	(70)
3.4.4 电感元件的能量	(71)
3.5 正弦交流电路中的电容元件	(71)
3.5.1 电容元件	(71)
3.5.2 电容元件上电压与电流的关系	(72)
3.5.3 电容元件的功率	(73)
3.5.4 电容元件的能量	(74)
3.6 RLC 串联的正弦交流电路、阻抗与功率	(74)
3.6.1 RLC 串联的正弦交流电路	(74)
3.6.2 阻抗	(75)
3.6.3 正弦交流电路的功率	(77)
3.6.4 串联正弦交流电路的参数关系	(79)
3.7 RLC 并联的正弦交流电路与导纳	(79)
3.7.1 RLC 并联的正弦交流电路	(79)
3.7.2 导纳	(80)
3.8 阻抗的串联与并联	(82)
3.8.1 阻抗的串联	(82)
3.8.2 阻抗的并联	(83)
3.9 复杂正弦交流电路的分析与计算	(84)
3.10 功率因数的提高	(87)

本章小结	(88)
习题	(88)
第4章 三相交流电路	(93)
4.1 三相交流电源	(93)
4.2 三相负载的连接	(95)
4.2.1 三相负载的星形连接	(95)
4.2.2 三相负载的三角形连接	(98)
4.3 三相电路的功率	(100)
4.4 安全用电	(102)
4.4.1 触电	(102)
4.4.2 预防触电的措施	(103)
4.4.3 静电	(104)
本章小结	(106)
习题	(106)
第5章 电路的频率特性	(108)
5.1 非正弦周期电流电路	(108)
5.1.1 非正弦周期信号	(108)
5.1.2 非正弦周期信号分解为傅里叶级数	(108)
5.1.3 非正弦周期信号的幅值、平均值与有效值	(111)
5.1.4 非正弦周期电流电路的计算	(112)
5.2 RC 串联电路的频率特性	(113)
5.2.1 RC 低通电路	(113)
5.2.2 RC 高通电路	(115)
5.3 RC 串/并联电路的频率特性	(116)
5.4 RLC 串联电路的频率特性与串联谐振	(117)
5.4.1 RLC 串联电路的频率特性	(117)
5.4.2 RLC 串联电路的谐振	(118)
5.5 并联电路的频率特性	(121)
5.5.1 并联电路的谐振频率	(121)
5.5.2 并联电路的谐振特点	(122)
本章小节	(123)
习题	(123)
第6章 电路的暂态分析	(126)
6.1 换路定则与电压和电流初始值的确定	(126)
6.2 RC 电路的放电过程	(129)
6.3 RC 电路的充电过程	(132)
6.4 一阶直流、线性电路瞬变过程的一般求解方法——三要素法	(136)
6.5 微分电路与积分电路	(138)
6.6 RL 电路的瞬变过程	(140)

6.7 RLC 串联电路的放电过程	(144)
本章小结	(146)
习题	(147)
第7章 磁路与变压器	(152)
7.1 磁路基本知识	(152)
7.2 磁路基本定律	(154)
7.3 交流铁心线圈电路	(156)
7.4 变压器	(159)
7.5 电磁铁	(167)
本章小结	(169)
习题	(170)
第8章 异步电动机	(173)
8.1 三相异步电动机的结构	(173)
8.2 三相异步电动机的转动原理	(174)
8.3 三相异步电动机的电磁转矩与机械特性	(177)
8.4 三相笼型异步电动机的启动	(181)
8.5 三相异步电动机的铭牌数据	(184)
8.6 三相异步电动机的选择	(186)
8.7 单相异步电动机	(187)
本章小结	(189)
习题	(190)
第9章 继电-接触器控制	(191)
9.1 几种常用低压电器	(191)
9.1.1 手动电器	(191)
9.1.2 自动电器	(194)
9.2 继电-接触器控制线路的绘制与阅读	(197)
9.3 三相笼型电动机直接启动控制线路	(198)
9.4 三相笼型异步电动机的正反转控制	(200)
9.5 行程控制	(201)
9.6 时间控制	(202)
9.7 联锁环节	(204)
本章小结	(205)
习题	(206)
第10章 直流电动机	(207)
10.1 直流电动机的结构	(207)
10.2 直流电动机的工作原理	(208)
10.3 直流电动机的励磁方式	(210)
10.4 并励电动机的机械特性	(210)
10.5 并励电动机的起动和反转	(212)

10.6 并(他)励电动机的调速	(213)
本章小结	(216)
习题	(217)
第 11 章 可编程控制器	(218)
11.1 PLC 概述	(218)
11.1.1 可编程控制器的特点和结构	(219)
11.1.2 可编程控制器的工作方式	(222)
11.1.3 可编程控制器的主要技术性能和扩展功能	(223)
11.2 可编程控制器的编程	(226)
11.2.1 PLC 的编程语言	(226)
11.2.2 可编程控制器存储器的空间安排和寻址	(227)
11.2.3 S7-200 可编程控制器的常用基本指令	(231)
11.2.4 S7-200 可编程控制器的功能指令简介	(236)
11.3 可编程控制器的梯形图程序设计方法及应用	(238)
11.3.1 经验设计法及应用	(239)
11.3.2 顺序功能图法及应用	(240)
本章小结	(245)
习题	(245)
习题参考答案	(247)
附录 A S7-200 的 5 种 CPU 模块特有的技术指标	(253)
附录 B S7-200 的特殊存储器标志位(SM)及功能	(254)
附录 C S7-200 的比较指令	(255)
参考文献	(256)

第 1 章 电路的基本概念与基本定律

本章介绍电路的基本概念与基本定律。它们源于物理,但又不同于物理。本章内容主要有电路模型的概念,电流、电压及其参考方向;重点介绍电路有源元件电压源和电流源以及基尔霍夫定律。此外,对电路的状态、电位的计算等电工技术中常遇到的一些问题,在本章也进行了说明。

本章内容将贯穿于整个电路分析的始终,必须深刻理解,熟练掌握。

1.1 电路和电路模型

现代社会中,电路几乎处处可见。电路是电流的通路,是根据特定需要,由相应的电工设备或电器元件按一定方式连接而成的。

1.1.1 电路的作用

实际电路的结构形式和所能完成的任务是多种多样的。电路的作用主要有以下几方面。

1. 实现能量的传输与转换

最简单的电路就是白炽灯照明电路,如图 1-1 所示。它是把电池的能量,经过导线的传输,送到白炽灯(统称负载),使之完成能量的转换。

图 1-2 所示是一个较为复杂的电力系统的示意图。虽然它具有较多的电气设备,电路结构也比较复杂,但其基本作用仍然是进行能量的传输与转换。图 1-2 中,发电机部分称为电源,电动机、电灯、电炉等称为负载,其余部分如变压器、输电线、保护设备等是连接电源与负载部分的,称为中间环节。

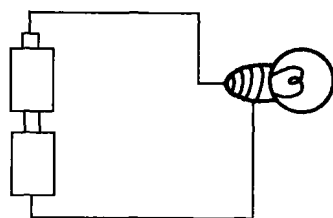


图 1-1 简单的实际照明电路图

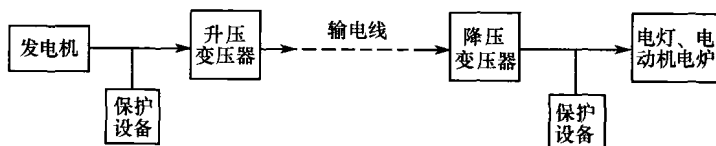


图 1-2 电力系统示意图

2. 进行信号的传递与处理

在电子技术和非电量的测量中,常会遇到一些用于传递和处理信息(例如语言、音乐、图像、压力、温度等)的电路。扩音机的电路就是这样的一种,其电路示意图如图 1-3 所示。它的工作原理是话筒把接收的语言和音乐等信息转换为相应的电流和电压,即电信

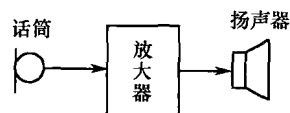


图 1-3 扩音机电路示意图

号,而后通过电路传递给扬声器,再把电信号转换为语言或音乐。话筒接收的信号往往很弱,因此中间还要用放大器将其放大。信号的这种转换、传递和放大就是信号的传递和处理过程。

在图 1-3 中,话筒将接收的语言或音乐的声波信号转换为电信号输出,这种设备我们称之为信号源。扬声器是接收和转换信号的装置,也就是负载。

3. 进行信息的存储

例如计算机的存储器电路,可以存放数据、程序等。

1. 1. 2 电路的组成与模型

一个基本的电路通常由电源、负载、中间环节等组成。

电源是产生电能和电信号的装置,如各种发电机、稳压电源、信号源等。

负载是取用电能并将其转换为其他形式能量的装置,如电灯、电动机、电炉、扬声器等。

中间环节是传输、控制电能或信号的部分,如连接导线、控制电器、保护电器、放大器等。

电工设备和电器元件的种类很多,即便是很简单的实际器件,在工作时所发生的物理现象也是很复杂的。例如一个实际的线绕电阻器有电流通过时,它除了对电流呈现阻力之外,还在导线周围产生磁场,因而兼有电感的性质;在线匝之间还会存在电场,因而又兼有电容的性质。这些现象在高频电路中是绝不能忽视的。又如连接导线总会有电阻,甚至还有电感和电容,所以直接对实际器件和设备组成的电路进行分析和研究,往往是困难的,有时还是不可能的。为了便于对电路进行分析计算,常常将实际器件加以理想化,即忽略它的次要性质,用一个足以表征其主要物理性质的“模型”(或称理想元件)来表示。电路模型具有以下特点:首先每一种电路模型所反映的物理性质可以用数学表达式精确地描述;其次任何一个实际器件中所发生的物理现象都可用各种电路模型的适当组合来表示。

理想电路元件主要有电阻元件、电感元件、电容元件、独立电源与受控源等。电阻元件是一种只表示消耗电能并将其转换为热能或其他形式能量的元件,用 R 表示,图形符号如图 1-4(a) 所示。电感元件是一种表示储存磁场能量的元件,用 L 表示,图形符号如图 1-4(b) 所示。电容元件是一种表示储存电场能量的元件,用 C 表示,图形符号如图 1-4(c) 所示。理想电压源是一种表示电压恒定、其内阻为零的独立电源元件,图形符号如图 1-4(d) 所示。理想电流源是一种表示电流恒定、其内电导为零(即内电阻为无限大)的独立电源元件,图形符号如图 1-4(e) 所示。

引入了电路模型,那么图 1-1 所示的实际电路就可以用相应的电路模型来表示,如图 1-5 所示。

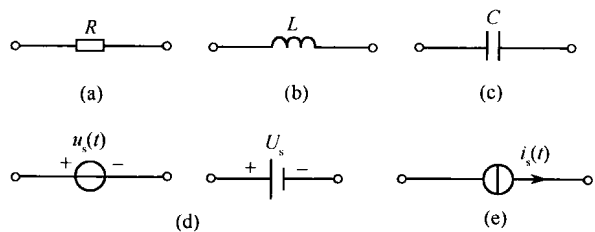


图 1-4 理想电路元件

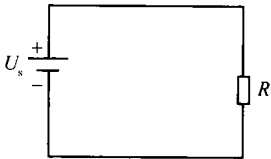


图 1-5 图 1-1 的电路模型

应当指出的是,图 1-5 中连接导线的电阻是忽略的,看做是理想导体。本书后面章节所讨论的电路都是电路模型。

当对一个电路进行分析时,就是在已知电路结构、元件参数和激励形式的条件下,去确定电路的响应,这将涉及到电流、电压、电动势及功率和能量等物理量的概念。

1.2 电路的基本物理量及其参考方向

1.2.1 电流

电路的基本物理量之一是电流强度,简称为电流,用符号 i 表示。电流强度在数值上等于单位时间 dt 内通过某导体横截面的电荷量 dq ,即

$$i = dq/dt \quad (1-1)$$

式(1-1)表示电流是随时间而变化的,是电流的瞬时值表达式。

当电流不随时间变化时称为直流电流,用 I 表示。此时

$$I = q/t \quad (1-2)$$

式中, q 的单位是库(C); t 的单位是秒(s); I 与 i 的单位是安培,简称为安(A)。

电流的辅助量纲有千安(kA)、毫安(mA)和微安(μA),它们的关系是

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

在物理学中规定:正电荷的运动方向为电流的方向(实际方向)。但在复杂的直流电路分析中,有时对某一段电路中电流的实际方向很难判断。而在交流电路中,电流的实际方向又是不断变化的,因此很难在电路中标出电流的实际方向。由于这些原因,引入了“电流的参考方向”这个重要概念。

在一段电路中,我们可以在连接导线上任意选定一个箭头方向作为电流的参考方向。当然所选定的参考方向,并不一定就是电流的实际方向。把电流看成是一个代数量,当电流为正值($i > 0$)时,则表示电流的实际方向与所选定的电流的参考方向相同[见图 1-6(a)];当电流为负值($i < 0$)时,则表示电流的实际方向与所选定的电流的参考方向相反[见图 1-6(b)]。

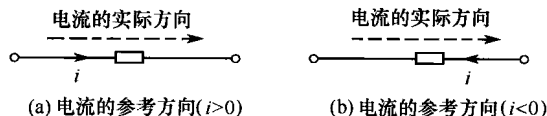


图 1-6 说明电流参考方向的图

因此电路中的电流,在选定的参考方向下,经过电路的计算所得电流的正负值就反映出电流的实际方向。显然,在未选定电流的参考方向的情况下,电流的正负值是没有意义的。

1.2.2 电压与电动势

电路的另一个基本物理量就是电压。由物理学可知,电荷在电场力的作用下产生电流。电荷在移动过程中会发生能量的转换,使电荷失去能量。例如图 1-7 所示电路接通时就有电流 i 产生。电场力将单位正电荷由电路的端点 A 经过电阻 R 移动到另一端点 B 所做的功,定义为该两点之间的电压 u_{AB} 。

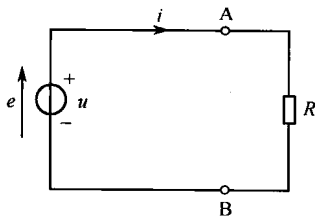


图 1-7 电压与电动势的参考方向

$$u_{AB} = dw/dq \quad (1-3)$$

式中, dw 为电荷 dq 移动过程中所做的功, 单位为焦耳(J); 电压的单位为伏特, 简称为伏(V)。

电压的辅助单位有千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μ V), 它们的关系是

$$1\text{kV} = 10^3 \text{ V}, 1\text{mV} = 10^{-3} \text{ V}, 1\mu\text{V} = 10^{-6} \text{ V}$$

由上述基本定义可知: 正电荷在 A 点所具有的能量高, 在 B 点所具有的能量低。因此我们说 A 点的电位高表示为正极, B 点的电位低表示为负极。将 A、B 两点之间的电压称为 A、B 两点间的电位差。即

$$u_{AB} = u_A - u_B \quad (1-4)$$

式中, u_A 为 A 点的电位; u_B 为 B 点的电位。

规定从高电位端指向低电位端的方向为电压的实际方向, 即为电位降低的方向。

在图 1-7 中, 如果单位正电荷由 B 点经过电源内部移动到 A 点时, 正电荷获得能量。此时是由其他形式的能量转换为电能, 则必有局外力(电源力)对正电荷做功, 使它从低电位移到高电位。我们将这种局外力对正电荷做的功称为电源电动势。电源电动势 e 在数值上等于局外力(电源力)把单位正电荷由电源的低电位端 B, 经过电源内部移动到高电位端 A 所做的功。电动势的单位和电压一样用伏(V)表示。

规定在电源内部由低电位端指向高电位端的方向为电动势的实际方向, 即为电位升高的方向。

如同需要为电流规定参考方向一样, 我们也需要为电压与电动势规定参考方向(也称为参考极性)。

电压与电动势的参考方向, 一般可任意选定。在电路图中通常有两种标定方法: 一种是用“+”、“-”极性表示, 称为参考极性, 如图 1-8(a)所示; 另一种是用带箭头的短线表示, 称为参考方向, 如图 1-8(b)所示。当然也可以把电压用“+”、“-”极性, 电动势用带箭头的短线表示, 如图 1-8(c)所示。在书写时也可以用双下标表示, 如 u_{AB} 则表示电压的参考方向为由 A 点指向 B 点。

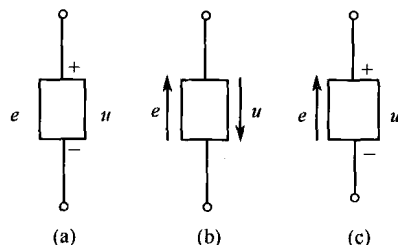


图 1-8 电压、电动势参考方向的表示法

用电压、电动势代数值正负结合参考方向可表示其实际方向。当电压或电动势为正值时, 则实际方向与参考方向一致; 当电压或电动势为负值时, 则实际方向与参考方向相反。

在电路的分析与计算中, 电流、电压与电动势的参考方向可以任意标定, 但一经标定, 电路方程的列写就必须在标定的参考方向下进行, 不应改变。

对一段电路或一个元件上电压的参考方向和电流的参考方向可以独立地任意选定。若选定的电流参考方向从标有电压“+”极性的一端流入, 而从标有电压“-”极性的一端流出, 则电流的参考方向与电压的参考方向选得一致。这种情况称为关联参考方向, 如图 1-9 所示。采用关联参考方向, 在未加说明的情况下, 只要选定一段电路的电压或者电流任何一个物理量的参考方向后, 另一个物理量的参考方向也就随之而定了。

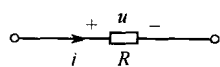


图 1-9 电压与电流的关联参考方向

1.2.3 功率

由前所述, 正电荷从电路中的 A 点经元件移到 B 点时, 将失去能量或得到能量。若 A 点为

元件电压的“+”极,B点为元件电压的“-”极,则正电荷释放能量,即此元件吸收能量;若A点为元件电压的“-”极,B点为元件电压的“+”极,则正电荷获得能量,即此元件向外释放能量。因此元件吸收的能量可以根据电压的定义,由式(1-3)得

$$dw = udq$$

根据电流的定义,由式(1-1)得

$$dq = idt$$

于是在电压、电流的关联参考方向条件下,如图1-9所示,该元件在 dt 时间内吸收的能量为

$$dw = uidt$$

式中, dw 的单位为焦耳,简称焦(J)。

该元件吸收能量的速率,即吸收的功率为

$$p = dw/dt = ui \quad (1-5)$$

功率的单位为瓦特,简称瓦(W)。辅助单位有千瓦(kW)和毫瓦(mW),它们的关系是

$$1\text{kW} = 10^3\text{W}, \quad 1\text{mW} = 10^{-3}\text{W}$$

元件采用关联参考方向后,我们可以用式(1-5)计算元件的功率。由于电压、电流均为代数量,所以计算得到的功率也将是一个代数量,若 $p > 0$,则表示该元件吸收功率;若 $p < 0$,则表示该元件产生功率。

若采用非关联参考方向,如图1-10所示。由于此时电流为关联参考方向时电流的负值,因此在应用功率计算公式时,前面应加一个负号,即

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

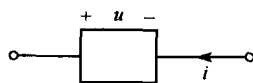


图 1-10 电压、电流的非关联参考方向

若用式(1-6)计算所得的功率 $p > 0$ 时,则表示该元件吸收功率;若计算所得的功率 $p < 0$ 时,则表示该元件产生功率。

【例 1-1】 计算图 1-11(a) ~ (d) 所示各元件的功率,并判别该元件是吸收功率还是产生功率。

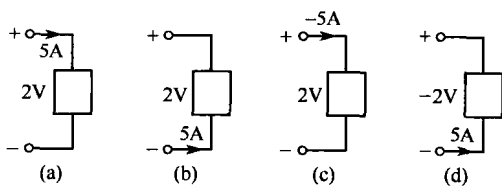


图 1-11 例 1-1 的电路

解:① 对图 1-11(a) 所示元件, u 与 i 为关联参考方向,则

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

$p > 0$,表示该元件吸收功率。

② 对图 1-11(b) 所示元件, u 与 i 为非关联参考方向,则

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

$p < 0$,表示该元件产生功率。

③ 对图 1-11(c) 所示元件, u 与 i 为关联参考方向,则

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

$p < 0$,表示该元件产生功率。

④ 对图 1-11(d) 所示元件, u 与 i 为非关联参考方向,则

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

$p > 0$, 表示该元件吸收功率。

1.3 电阻元件

电阻元件是从实际电阻器抽象出来的电路模型, 是一种二端元件。如果在任何时刻, 它两端的电压与通过它的电流的关系服从欧姆定律, 则称为线性电阻元件。对图 1-12(a) 所示电阻元件的电压、电流为关联参考方向, 则有

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

$$\text{在直流电路中} \quad U = RI \quad (1-8)$$

式中, R 为电阻元件的阻值。 R 的单位为欧姆, 简称欧(Ω), 它的辅助单位有千欧($\text{k}\Omega$) 和兆欧($\text{M}\Omega$), 它们的关系是

$$1 \text{ k}\Omega = 10^3 \Omega, \quad 1 \text{ M}\Omega = 10^6 \Omega$$

以电流为横坐标, 以电压为纵坐标所形成的平面称为 $i \sim u$ 平面。电阻元件的电压与电流之间的关系, 可以用此平面上的一条曲线表示。这条曲线称为电阻元件的伏安特性曲线。线性电阻元件的伏安特性曲线是通过原点的一条直线, 如图 1-12(b) 所示。

电阻元件也可以用另一个参数——电导来表示, 其定义为

$$G = 1/R \quad (1-9)$$

电导的单位是西门子, 简称西(S)。

$$\text{式(1-8) 也可以写成} \quad I = GU \quad (1-10)$$

应当指出式(1-8) 与式(1-10) 是在电压、电流参考方向关联时得到的。若电压、电流的参考方向非关联, 则式(1-8) 与式(1-10) 应分别改为

$$U = -RI \quad (1-11)$$

$$I = -GU \quad (1-12)$$

在电压和电流的关联参考方向下, 电阻元件吸收的功率为

$$P = UI = RI^2 = U^2/R \quad (1-13)$$

$$\text{或} \quad P = UI = GU^2 = I^2/G \quad (1-14)$$

由电阻元件的伏安特性曲线可知, 电阻元件的 u 和 i 二者的实际方向总是一致的, 因此功率总是正值。这说明电阻元件总是吸收功率, 是耗能元件。

电阻器吸收的能量往往转换为热能, 因而使电阻器的温度升高。温度升高就有可能将电阻器烧坏。所以一般电阻器除了标明电阻值之外, 还要标出它的额定功率值或额定电流值。

应当注意: 电气设备或电工器件在给定的工作条件下, 规定的工作电压叫做额定电压, 用 U_N 表示; 允许通过的最大电流叫做额定电流, 用 I_N 表示; 在额定电压、额定电流下工作时的功率叫做额定功率, 用 P_N 表示。

【例 1-2】 在电路中需要一个能通过 300 mA、电阻值为 100Ω 的电阻器, 现有下列电阻器: 100Ω 、5 W; 100Ω 、7.5 W; 100Ω 、10 W。试问选用哪种电阻器为宜?

$$\text{解:} \quad P = I^2 R = (0.3)^2 \times 100 = 9 \text{ W}$$

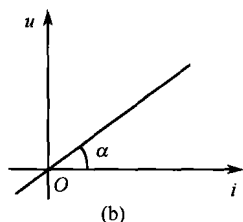
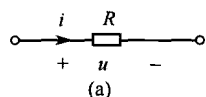


图 1-12 线性电阻元件及其伏安特性曲线

选用 $100\ \Omega$ 、 $10\ \text{W}$ 电阻器为宜。

[例 1-3] 有一盏白炽灯, 标有 $220\ \text{V}$ 、 $100\ \text{W}$ 的字样。问:

(1) 能否将其接到 $380\ \text{V}$ 的电源上使用?

(2) 若将其接到 $127\ \text{V}$ 的电源上使用, 其消耗功率为多少?

解: (1) 白炽灯上标有 $220\ \text{V}$ 、 $100\ \text{W}$ 字样, 表示其额定工作电压为 $220\ \text{V}$, 额定功率为 $100\ \text{W}$, 所以不能将其接到 $380\ \text{V}$ 的电源上使用, 否则会因电压过高而烧坏。

(2) 白炽灯的额定工作电流为

$$I_N = P_N / U_N = 100 / 220\ \text{A} \approx 5 / 11\ \text{A}$$

白炽灯灯丝的电阻为

$$R = U_N / I_N = 220 / (5 / 11)\ \Omega = 484\ \Omega$$

将它接到 $127\ \text{V}$ 的电源时, 白炽灯的电阻不变, 所以此时消耗的功率为

$$P = U^2 / R = 127^2 / 484\ \text{W} = 33.32\ \text{W}$$

可见, 将该白炽灯接到 $127\ \text{V}$ 电源上, 虽能安全工作, 但其消耗的功率仅有 $33.32\ \text{W}$, 白炽灯的亮度不够。

1.4 独立电源 —— 电压源与电流源

要使电路中有电流流动, 电路中必须有独立电源。独立电源是电路中的有源元件, 它能够连续不断地提供电压和电流。

独立电源有两种不同的类型: 一种是电压源, 如电池、直流发电机、交流发电机、信号源等; 还有一种是电流源, 如光电池等。

1.4.1 电压源

电压源通常指理想电压源, 它是从实际电源抽象出来的一种电路模型。这种电源不论流过它的电流为多少, 在其两端总能保持一定的电压。

因此电压源具有两个基本性质: ① 它的端电压是一个定值 U_s 或是一定的时间函数 $u_s(t)$, 与流过它的电流大小无关; ② 流过电压源的电流大小取决于与它相连接的外电路。

电压源的电路符号如图 1-13 所示, 其中 $u_s(t)$ 为电压源的电压, 而“+”、“-”号是其参考极性。如果电压源的电压为常数, 即 $u_s(t) = U_s$, 就称为直流电压源。直流电压源的电路符号还可以用图 1-14(a) 的符号来表示。图中长线段表示电压源的高电位端, 即正极; 短线段表示电压源的低电位端, 即负极。图 1-14(a) 的电路符号也可以用来表示电池。图 1-14(b) 给出了某直流电压源的伏安特性曲线, 它是 $i \sim u$ 平面上一条不通过原点且与电流轴平行的直线。

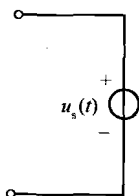


图 1-13 电压源的电路符号

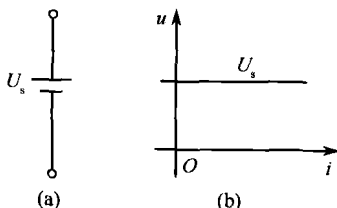


图 1-14 直流电压源的电路符号及其伏安特性曲线

电压源实际上是不存在的,只有当实际电压源如电池、发电机等的内电阻可以忽略不计的情况下,才可以视它为电压源。因此我们可以用一个电压源 U_s 与一个电阻元件 R_0 相串联的电路模型来表示实际电压源。例如一个实际直流电压源就可以用图 1-15 中虚线框住的部分表示。

当实际电压源接上负载电阻 R_L 以后,就有电流流过电源。对于实际直流电压源,按图 1-15 中所标参考方向,则有

$$U = U_s - R_0 I \quad (1-15)$$

式中, U_s 为电压源的电压; R_0 为实际电压源的内阻; I 为流过负载的电流; U 为实际电压源的端电压,亦即负载电阻 R_L 两端的电压。其中 U_s 、 R_0 是常数,而 U 和 I 是随负载电阻 R_L 的变化而变化的。

由式(1-15)可知,实际直流电压源伏安特性曲线是一条如图 1-16 所示的实直线。由图中可以看出:在 I 不等于零的情况下,电源的端电压 U 低于电压源的电压 U_s ,所低之值与电流 I 成正比。通常实际电压源的内阻 R_0 很小。若 $R_0 \ll R_L$,则内电阻的电压 $IR_0 \ll U$,故有 $U \approx U_s$,此时可以把一个实际电压源看做为一个电压源。

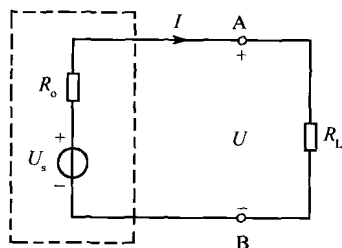


图 1-15 实际电压源供电的电路

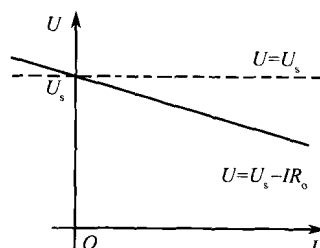


图1-16 实际直流电压源的伏安特性曲线

1.4.2 电流源

电流源通常指理想电流源,它是以实际电源抽象出来的另一种电路模型。这种电源不论两端的电压为多少总能向外提供一定的电流。

因此电流源应具有两个基本性质:① 它发出的电流是一个定值 I_s 或是一定的时间函数 $i_s(t)$,与两端的电压无关;② 电流源两端电压的大小取决于与它相连接的外电路。

电流源的电路符号如图 1-17(a) 所示,其中 $i_s(t)$ 为电流源的电流,箭头所指的方向为 $i_s(t)$ 的参考方向。如果电流源的电流为常数,即 $i_s(t) = I_s$,就称为直流电流源。图 1-17(b) 给出了某直流电流源的伏安特性曲线,它是 $i \sim u$ 平面上一条不通过原点且与电压轴平行的直线。

与电压源相似,电流源实际上也是不存在的。只有当实际电流源如光电池等的内电阻为无穷大时,才可以视它为电流源。因此我们用一个电流源 $i_s(t)$ 和一个电阻元件 R_0 相并联的电路模型来表示实际电流源。例如,一个实际直流电流源就可以用图 1-18 中虚线框住的部分表示。

当实际电流源接上负载电阻 R_L 以后,就有电流流过 R_L 。对于实际直流电流源,按图 1-18 中所标参考方向,则有

$$I = I_s - U/R_0 \quad (1-16)$$

式中, I_s 为电流源的电流; R_0 为实际电流源的内电阻; I 为

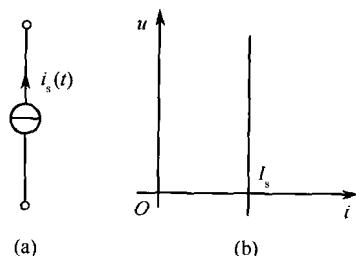


图 1-17 电流源的电路符号与伏安特性曲线