



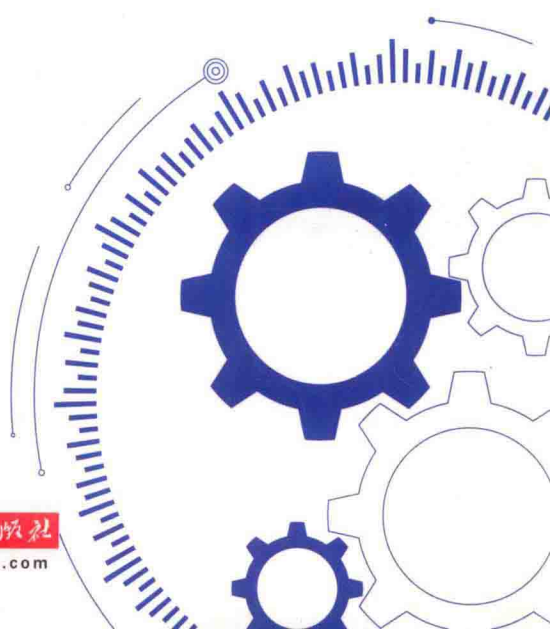
应用型本科高校“十四五”规划机械类专业教材

电工电子技术

(第二版)

» 主编 贾建平

 华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>





应用型本科高校“十四五”规划机械类专业教材

电工电子技术

(第二版)

主 编 贾建平
副主编 刘 洋
参 编 蔡 丽 刘 辉 左小琼 蔡金萍
谢 丹 熊小琴 王妍玮 郭云雨

内 容 简 介

本书分上、下两篇,共14章。上篇为电工学部分,内容包括电路基础、电路的基本定律与分析方法、正弦交流电路、三相电路、变压器、电动机、常用控制电器与电气控制技术等;下篇为电子学部分,内容包括半导体器件、基本放大电路、集成运算放大电路、数字电路基础、组合逻辑电路的分析与设计、时序逻辑电路、模拟量和数字量的转换等。每章配有一定数量的习题,书后有部分习题参考答案。

本书内容深入浅出,可根据具体教学要求进行相应调整,并配有相应的多媒体课件,适合作为高等院校非电类专业电工学、电工电子技术等本专科课程教材或教学参考书,也可供工程技术人员和其他相关人员自学使用。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术/贾建平主编.—2版.—武汉:华中科技大学出版社,2021.6
ISBN 978-7-5680-1985-9

I. ①电… II. ①贾… III. ①电工技术-高等学校-教材 ②电子技术-高等学校-教材 IV. ①TM
②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2021)第 105771 号

电工电子技术(第二版)

Diangong Dianzi Jishu(Di-er ban)

贾建平 主编

策划编辑:袁 冲

责任编辑:狄宝珠

封面设计:抱 子

责任监印:朱 玢

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:武汉科源印刷设计有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:20.25

字 数:497千字

版 次:2021年6月第2版第1次印刷

定 价:49.00元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

第二版

前



《电工电子技术》自出版以来,被不少学校选做教材,大家来信沟通反馈了在教学中使用本书遇到的一些情况,并就有关问题进行了探讨。以此为契机,我们在出版社的指导下,启动了本次修订改版工作。

在这次再版中,我们对全书进行了部分内容及文字的修改和勘误,在保留了第一版原有特色的基础上,增删或改写了部分章节的内容和习题。其目的依然是突出电工电子技术的基本知识,培养读者实际分析和解决问题的能力,便于教学。

本次修订由武汉东湖学院机电工程学院组织编写,贾建平(武汉东湖学院)担任主编,刘洋(哈尔滨远东理工学院)担任副主编,参加编写的还有:蔡丽(武汉职业技术学院)、刘辉(湖北商贸学院)、左小琼(武汉东湖学院)、蔡金萍(武汉华夏理工学院)、谢丹(武汉职业技术学院)、熊小琴(江苏安全技术职业学院)、王妍玮(哈尔滨石油学院)、郭云雨(哈尔滨石油学院)。其中,第1章、第8章、第13章由贾建平编写,第2章由刘辉编写,第3章由蔡金萍编写,第4章、第9章、第12章由蔡丽编写,第5章、第11章由谢丹编写,第6章由左小琼编写,第14章由刘洋编写,第7章由王妍玮、郭云雨编写,第10章由刘辉、熊小琴编写。全书由贾建平、刘洋负责统稿工作。

在编写的过程中,我们尽了最大的努力,但由于学术水平有限,加上时间仓促,不足之处不可避免。因此,我们诚恳地希望所有使用本教材的老师、学生和读者批评指正。

本教材在编写过程中得到了编者所在院校有关专家、教授的大力支持和帮助,华中科技大学出版社的编辑为本书付出的辛勤劳动,在此一并致以诚挚的感谢。

2021年5月于武汉

上篇 电工学部分

| | |
|---------------------------------|------|
| 第 1 章 电路基础 | (3) |
| 1.1 电路的基本概念 | (3) |
| 1.2 电路的基本物理量 | (6) |
| 1.3 电路中的参考方向 | (9) |
| 1.4 理想电路元件..... | (11) |
| 1.5 电路中各点电位的计算..... | (22) |
| 习题 | (23) |
| 第 2 章 电路的基本定律与分析方法 | (27) |
| 2.1 基尔霍夫定律..... | (27) |
| 2.2 基尔霍夫定律的应用..... | (30) |
| 2.3 叠加定理..... | (37) |
| 2.4 电源等效定理..... | (39) |
| * 2.5 非线性电阻电路分析(选学) | (42) |
| 习题 | (43) |
| 第 3 章 正弦交流电路 | (47) |
| 3.1 正弦交流电的基本概念..... | (47) |
| 3.2 单一参数的正弦交流电路分析..... | (52) |
| 3.3 电阻、电感和电容元件串联交流电路分析 | (58) |
| 3.4 阻抗串并联交流电路分析..... | (62) |
| * 3.5 谐振电路及其应用(选学) | (64) |
| * 3.6 功率因数的提高(选学) | (70) |
| * 3.7 非正弦周期电路分析(选学) | (71) |
| 习题 | (75) |
| 第 4 章 三相电路 | (79) |
| 4.1 三相电源..... | (79) |
| 4.2 三相负载..... | (83) |
| 4.3 三相功率..... | (86) |



| | | |
|------------|----------------------|-------|
| 4.4 | 安全用电 | (88) |
| | 习题 | (93) |
| 第5章 | 变压器 | (95) |
| 5.1 | 磁路及其分析方法 | (95) |
| 5.2 | 变压器的基本结构 | (98) |
| 5.3 | 变压器的工作原理 | (99) |
| 5.4 | 变压器的外特性及效率 | (101) |
| 5.5 | 三相变压器 | (102) |
| *5.6 | 特殊用途变压器(选学) | (104) |
| | 习题 | (106) |
| 第6章 | 电动机 | (108) |
| 6.1 | 电机概述 | (108) |
| 6.2 | 三相异步电动机的构造 | (108) |
| 6.3 | 三相异步电动机的工作原理 | (111) |
| 6.4 | 三相异步电动机的电磁转矩和功率平衡 | (114) |
| 6.5 | 三相异步电动机的机械特性 | (116) |
| 6.6 | 三相异步电动机的启动、调速和制动 | (118) |
| 6.7 | 三相异步电动机的铭牌参数 | (122) |
| *6.8 | 三相异步电动机的选择(选学) | (123) |
| | 习题 | (124) |
| 第7章 | 常用控制电器与电气控制技术 | (126) |
| 7.1 | 常用控制电器 | (126) |
| 7.2 | 电气控制技术 | (138) |
| | 习题 | (144) |

下篇 电子学部分

| | | |
|------------|---------------|-------|
| 第8章 | 半导体器件 | (149) |
| 8.1 | 半导体基础知识 | (149) |
| 8.2 | 普通二极管 | (153) |
| 8.3 | 特殊用途二极管 | (159) |
| 8.4 | 晶体管 | (162) |
| *8.5 | 绝缘栅场效应管(选学) | (168) |
| | 习题 | (171) |
| 第9章 | 基本放大电路 | (175) |
| 9.1 | 共射极放大电路 | (175) |
| 9.2 | 共集电极放大电路 | (187) |
| *9.3 | 共基极放大电路(选学) | (190) |
| 9.4 | 多级放大电路 | (192) |
| 9.5 | 差分放大电路 | (196) |



| | | |
|-----------------|---------------------|--------------|
| 9.6 | 功率放大电路 | (200) |
| * 9.7 | 场效晶体管放大电路(选学) | (203) |
| | 习题 | (206) |
| 第 10 章 | 集成运算放大电路 | (211) |
| 10.1 | 集成运算放大电路概述 | (211) |
| 10.2 | 理想运算放大器 | (214) |
| 10.3 | 电子电路中的反馈 | (215) |
| 10.4 | 基本运算电路 | (224) |
| * 10.5 | 集成运算放大器的选择和使用(选学) | (230) |
| | 习题 | (232) |
| 第 11 章 | 数字电路基础 | (236) |
| 11.1 | 基本逻辑门电路及其组合 | (236) |
| 11.2 | 逻辑代数 | (242) |
| | 习题 | (245) |
| 第 12 章 | 组合逻辑电路的分析与设计 | (247) |
| 12.1 | 组合逻辑电路分析 | (247) |
| 12.2 | 组合逻辑电路设计 | (251) |
| * 12.3 | 常见组合逻辑电路(选学) | (254) |
| | 习题 | (264) |
| 第 13 章 | 时序逻辑电路 | (267) |
| 13.1 | 双稳态触发器 | (267) |
| 13.2 | 常见时序逻辑电路 | (277) |
| 13.3 | 555 集成定时器 | (286) |
| | 习题 | (295) |
| * 第 14 章 | 模拟量和数字量的转换 | (299) |
| 14.1 | D/A 转换器 | (299) |
| 14.2 | A/D 转换器 | (303) |
| | 习题 | (306) |
| | 部分习题参考答案 | (308) |
| | 参考文献 | (313) |

上篇 电工学部分

第 1 章 电路基础

本章内容为电子电路的基础,介绍了电路的基本概念,电路中的基本物理量及其参考方向,理想电路元件,以及电位的概念与计算等,这些概念是电路分析和计算的基础。

1.1 电路的基本概念

1.1.1 电路的组成与作用

电路(electrical circuit)或称电子回路,是由电气设备和元器件(又称电器件)按一定方式连接起来,为电荷流通提供路径的总体,也叫电子线路或称电气回路,简称网络或回路。

电路由电源、负载、连接导线和辅助设备四大部分组成,其中连接导线和辅助设备合称为中间环节。如图 1.1.1(a)所示实际应用的电路都比较复杂,因此,为了便于分析电路的实质,通常用符号表示组成电路的实际原件及其连接线,即画成电路图,如图 1.1.1(b)所示。

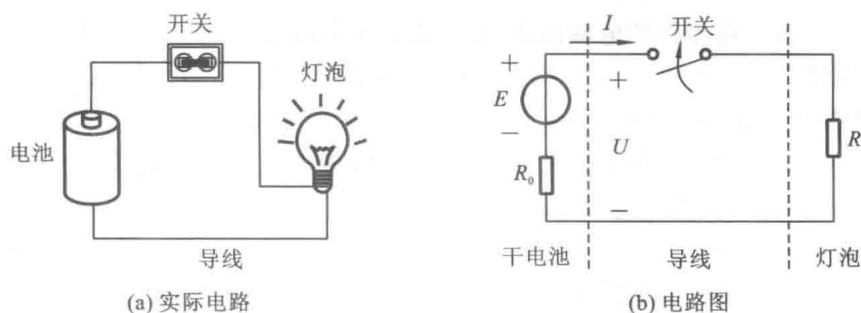


图 1.1.1 实际电路和电路图

1. 电源

电源(electric source)是提供电能的设备。电源的功能是把非电能转变成电能,例如,电池是把化学能转变成电能,发电机是把机械能转变成电能。由于非电能的种类很多,转变成电能的方式也很多,所以目前使用的电源类型也很多,最常用的电源是固态电池、蓄电池和发电机等。



2. 负载

在电路中使用电能的各种设备统称为负载(load)。负载的功能是把电能转变为其他形式的能。例如,电炉把电能转变为热能,电动机把电能转变为机械能,等等。通常使用的照明器具、家用电器、机床等都可称为负载。

3. 连接导线

连接导线(conductor)用来把电源、负载和辅助设备连接成一个闭合回路,起着传输电能的作用。

4. 辅助设备

辅助设备(supplemental equipment)是用来实现对电路的控制、分配、保护及测量等作用的设备。辅助设备包括各种开关、熔断器、电流表、电压表及测量仪表等。

电路是为实现某种目的而设计的,它的形式多种多样,但就其作用而言可以归为以下两类。

(1)进行能量的转换、传输与分配。如电力系统中的输电线路是发电机组将其他形式的能量转换成电能,通过变压器、输电线等输送给各用户,再把电能转换成机械能、光能、热能等。

(2)实现信息的传递与处理。如收音机是把收到的电磁波信号,通过电路变换或处理为扬声器所需要的输出信号,还原为声音。

1.1.2 电路模型(circuit model)

电路理论是研究电路普遍规律的一门科学,它讨论的对象不是实际的电路和电气设备或电器件,而是它们的模型。由实际电路的定义可知,要建立电路的模型,首先要建立构成电路最基本的电气设备和电器件的模型。

所谓电气设备和电器件的模型,是指在一定条件下能准确地反映电气设备或电器件的主要电磁性能,而从中抽象出来的一种理想化的电路元件。电路元件与电气设备或电器件在概念上是不同的,前者是模型,并有其严格的数学定义,后者是实物。模型只是在一定程度上反映电气设备和电器件的电磁性能,它不等于实物,但是它可以逼近实物。显然要得到一个最佳逼近电气设备和电器件的实际效果,就得抽象出最佳的元件模型。电路元件模型是唯一的,它只能反映一种电磁性能,用一种特定的函数关系来表示,它并非与电气设备和电器件一一对应。仅有的几种电路元件,就能描述诸多电气设备和电器件的电磁性能。在某种情况下,一些电气设备和电器件的电磁性能用一个模型不能足以最佳逼近时,可以用多个或多种模型的组合来逼近,以准确地反映其电磁性能。

电路元件相互连接构成电路模型。图 1.1.1(b)所示的电路是图 1.1.1(a)的电路模型。这个模型是由三个元件和无电阻的导线组合而成的。在图 1.1.1(a)中,干电池具有提供电能的电磁特性,所以可以将其抽象为一个提供电能的电源元件,如图 1.1.1(b)所示的电源。白炽灯的主要电磁性能是消耗电能,可用一个电阻元件表示。诸如此类,各种电气设备和电器件及实际电路均有各自的模型。电路理论基础中所研究的对象就是这种电路模型,习惯上称为电路。大规模的电路又称为电网络,简称为网络。

模型一般都是理想的,比如开关,其导通时电阻为零,关断时电阻为无穷大,导线模型也被认为其电阻为零。如要考虑实际情况,只要将所考虑的元件因素加进来就可以了,如导线



中分散的电阻可以集中成一个电阻来分析,开关接通时会有一定的小电阻,断开时会有相当大的漏电阻等。在以后的分析中,可以根据需要考考虑许多非理想的参数,使计算结果更为精确。

1.1.3 电路的工作状态

电路在不同的工作条件下会处于不同的状态,并具有不同的特点。电路的工作状态主要有以下三种。

1. 通路

当电源与负载接通,如图 1.1.2 中的开关 K 闭合时,电路中有电流及能量的输送和转换。电路的这一状态称为通路(closed circuit),此时电源向负载输出电功率,电源这时的状态称为有载(load),或称为负载状态。

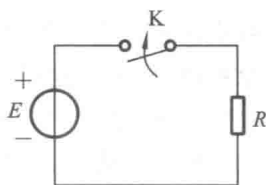


图 1.1.2 通路

通路时,电源产生的电功率应该等于电路各部分消耗的电功率之和,电源输出的电功率应等于外电路中各部分消耗的电功率之和,即功率应该是平衡的。

各种电气设备在工作时,其电压、电流和功率都有一定的限额,这些限额是用来表示它们的正常工作条件和工作能力的,称为电气设备的额定值(rated value)。额定值通常在铭牌上标出,也可以从产品目录中找到,使用时必须遵守这些规定。如果实际值超过额定值,将会引起电气设备的损坏或使用寿命的缩短;如果实际值低于额定值,某些电气设备也会损坏或缩短使用寿命,或者不能发挥正常的功能。通常,当实际值等于额定值时,电气设备的工作状态称为额定状态(rated state)。

2. 开路

当某一部分电路与电源断开,该部分电路中没有电流,也无能量的输送和转换,这部分电路所处的状态称为开路(open circuit)。如图 1.1.3 所示,当开关 K_1 单独断开时,照明灯 EL_1 所在的支路为开路;当开关 K_2 单独断开时, EL_2 所在的支路为开路。开路的一般特点如图 1.1.4 所示,开路处的电流等于零,开路处的电压应视电路情况而定。

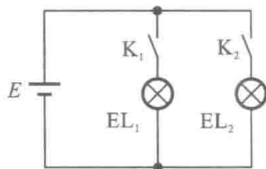


图 1.1.3 开路

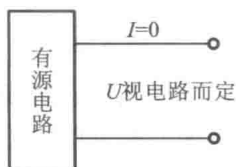


图 1.1.4 开路的特点

如果开关 K_1 和 K_2 全部断开,电源既不产生也不输出电功率,电源这时所处的状态称为空载(no-load)。

3. 短路

某一部分电路的两端用电阻可以忽略不计的导线或开关连接起来,使得该部分电路中的电流全部被导线或开关所旁路,这一部分电路所处的状态称为短路(short circuit)或短接。如图 1.1.5 所示,当开关 K_1 单独闭合时,照明灯 EL_1 被短路;当开关 K_2 单独闭合时,照明灯 EL_2 被短路。短路的一般特点如图 1.1.6 所示,短路处的电压等于零,短路处的电流视电路而定。

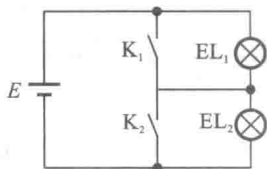


图 1.1.5 短路



图 1.1.6 短路的特点

如果图 1.1.5 中的开关 K_1 和 K_2 全部闭合,即所有负载全部被短路,电源所产生的电功率将全部消耗在电源的内电阻和连接导线的电阻上,这时电源所处的状态称为电源短路。电源短路时,电流比正常工作电流大得多,时间稍长,便会使供电系统中的设备烧毁和引起火灾。因此,图 1.1.5 所示的电路接线方式是不妥的,它容易造成电源短路,工作中应尽量避免发生这种情况,而且还必须在电路中接入熔断器等短路保护装置,以便在电源短路时能迅速将电源与电路的短路部分断开。

1.2 电路的基本物理量

1.2.1 电流

1. 电流的基本概念

电路中电荷沿着导体的定向运动形成电流,其方向规定为正电荷流动的方向(或负电荷流动的反方向),其大小等于在单位时间内通过导体横截面的电量,称为电流强度(简称电流),用符号 I 或 $i(t)$ 表示,讨论一般电流时可用符号 i 来表示。

设在 $\Delta t = t_2 - t_1$ 时间内,通过导体横截面的电荷量为 $\Delta q = q_2 - q_1$,则在 Δt 时间内的电流强度可用数学公式表示为

$$i(t) = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (1.2.1)$$

式中, Δt 为很小的时间间隔,时间的国际单位制单位为秒(s);电量 Δq 的国际单位制单位为库仑(C);电流 $i(t)$ 的国际单位制单位为安培(A)。

常用的电流单位还有毫安 mA、微安 μA 、千安 kA 等,它们与安培的换算关系分别为

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

2. 直流电流和交流电流

1) 直流电流

如果电流的大小及方向都不随时间变化,即在单位时间内通过导体横截面的电量相等,则称之为直流电流、稳恒电流或恒定电流,简称为直流(direct current),记为 DC 或 dc,直流电流要用大写字母 I 表示,用公式表示为

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{Q}{t} = \text{常数} \quad (1.2.2)$$

直流电流 I 与时间 t 的关系在 $I-t$ 坐标系中为一条与时间轴平行的直线。



2) 交流电流

如果电流的大小及方向均随时间变化,则称这样的电流为交流电流。对于电路分析来说,最为重要的交流电流是正弦交流电流,其大小及方向均随时间按正弦规律做周期性变化,将之简称为交流(alternating current),记为 AC 或 ac,交流电流的瞬时值要用小写字母 i 或 $i(t)$ 表示。

1.2.2 电压

1. 电压的基本概念

电压是指电路中两点 A、B 之间的电位差,其大小等于单位正电荷因受电场力作用从 A 点移动到 B 点所做的功,电压的方向规定为从高电位指向低电位的方向。

电压的国际单位制单位为伏特(V),常用的单位还有毫伏(mV)、微伏(μV)、千伏(kV)等,它们与伏特的换算关系分别为

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

2. 直流电压与交流电压

1) 直流电压

如果电压的大小及方向都不随时间变化,则称之为直流电压、稳恒电压或恒定电压,用大写字母 U 表示。

2) 交流电压

如果电压的大小及方向都随时间变化,则称之为交流电压。对电路分析来说,一种最为重要的交流电压是正弦交流电压,其大小及方向均随时间按正弦规律做周期性变化。交流电压的瞬时值要用小写字母 u 或 $u(t)$ 表示。

1.2.3 电动势

电动势是描述电源力做功大小的一个物理量,电源力在电源内部把单位正电荷从电源的负极移到正极所做的功称为电源电动势,用字母 E 表示,其表达式为

$$E = \frac{W}{q} \quad (1.2.3)$$

式中: W 表示电源力所做的功,单位是焦耳(J); q 表示电荷量,单位是库仑(C);电动势与电压的单位相同,也是伏特(V)。

不同种类的电源有着不同的电源力。例如:在发电机中,导体在磁场中运动,磁场能转换为电源力;在电池中,化学能转换成电源力。每个电源的电动势是由电源本身决定的,跟外电路的情况没有关系。

电动势的实际方向是电源力克服电场力移动正电荷的方向,是从低电位到高电位的方向,即由负极指向正极。

1.2.4 电功率

电功率(简称功率)所表示的物理意义是电路元件或设备在单位时间内吸收或发出的电



能,又叫作有功功率或平均功率。两端电压为 U 、通过电流为 I 的元件的功率大小为

$$P = UI \quad (1.2.4)$$

功率的国际单位制单位为瓦特(W),常用的单位还有毫瓦(mW)、千瓦(kW),它们与瓦特的换算关系分别为

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

一个电路最终的目的是电源将一定的电功率传送给负载,负载将电能转换成工作所需要的一定形式的能量,即电路中存在发出功率的器件(供能元件)和吸收功率的器件(耗能元件)。

通常把耗能元件吸收的功率写成正数($P > 0$),把供能元件发出的功率写成负数($P < 0$),而储能元件(如理想电容、电感元件)既不吸收功率也不发出功率,即其功率 $P = 0$ 。

1.2.5 电能

电能是指在一定的时间内电路元件或设备吸收或发出的电能量,用符号 W 表示,其国际单位制单位为焦耳(J),电能的计算公式为

$$W = Pt = UI t \quad (1.2.5)$$

通常电能用千瓦小时($\text{kW} \cdot \text{h}$)来表示大小,也叫作度(电),它与焦耳的换算关系为

$$1 \text{度(电)} = 1 \text{kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$$

即功率为 1000W 的供能或耗能元件,在 1 小时的时间内所发出或消耗的电能量为 3.6×10^6 焦耳。

本书中各物理量的单位都采用国际单位制(SI),如前述的 A、V、W 等。但在实际应用中,有时会感到这些基本单位太大或太小,使用不便,在这种情况下,可以改用如 mA(毫安)、mV(毫伏)、kW(千瓦)等辅助单位。辅助单位是在基本单位的前面加上相应的词头而构成的,表 1.2.1 中列出了国际单位制中规定的十进制倍数和分数的单位词头,例如:

$$1 \text{微安} [\mu\text{A}] = 1 \times 10^{-6} \text{安} [\text{A}]$$

$$5 \text{千伏} [\text{kV}] = 5 \times 10^3 \text{伏} [\text{V}]$$

$$2 \text{毫秒} [\text{ms}] = 2 \times 10^{-3} \text{秒} [\text{s}]$$

表 1.2.1 部分国际单位制倍数与分数的单位词头

| 倍率 | 词头名称 | | 词头符号 | 分率 | 词头名称 | | 词头符号 |
|-----------|------|-------|------|------------|------|-------|-------|
| | 中文 | 原文(法) | | | 中文 | 原文(法) | |
| 10^{12} | 太[拉] | tera | T | 10^{-1} | 分 | deci | d |
| 10^9 | 吉[咖] | giga | G | 10^{-2} | 厘 | centi | c |
| 10^6 | 兆 | mega | M | 10^{-3} | 毫 | milli | m |
| 10^3 | 千 | kilo | k | 10^{-6} | 微 | micro | μ |
| 10^2 | 百 | hecto | h | 10^{-9} | 纳[诺] | nano | n |
| 10 | 十 | deca | da | 10^{-12} | 皮[可] | pico | p |



1.3 电路中的参考方向

1.3.1 电流的参考方向

通常,习惯上将正电荷移动的方向规定为电流的正方向,也称电流的实际方向。但是在进行电路分析时,电路中某个元件或某段电路的电流是未知的,也可能是随时间变化的,这时就很难用一个固定箭头来表示出电流的实际方向。为了解决这个问题,需要指定电流的参考方向。

参考方向的指定可以是任意的,一般可用一个实箭头表示,如图 1.3.1(a)所示,长方框表示电路中的一个元件或一段电路。箭头由 a 指向 b 的方向,是指定流经这个元件电流的参考方向。但流过元件的电流的实际方向,可能是由 a 指向 b ,也可能是由 b 指向 a 。也就是说,电流的参考方向与电流的实际方向可能相同,也可能相反。若电流的实际方向是由 a 指向 b ,如图 1.3.1(b)中虚线箭头所示,它与指定的参考方向一致,则电流 i 为正值,即 $i > 0$ 。在图 1.3.1(c)中指定电流的参考方向是由 b 指向 a ,而实际方向是由 a 指向 b ,与电流 i 的参考方向相反,则电流 i 为负值,即 $i < 0$ 。这样,在已指定电流参考方向的情况下,电流 i 值的正和负,就反映了电流 i 的实际方向。电流参考方向指定后,电流 i 就为代数量,若没指定电流参考方向,电流 i 的正值和负值毫无意义,所以在分析电路时要预先指定电流的参考方向。

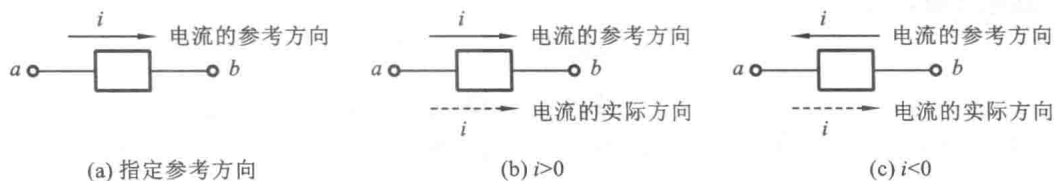


图 1.3.1 电流的参考方向

1.3.2 电压的参考方向

对电路中两点之间的电压,如同电流一样,也需要指定参考极性或参考方向。当指定电压参考极性或参考方向后,电压 u 的值就成为代数量。在图 1.3.2(a)中,如果指定 a 点的电位高于 b 点的电位,则 a 点为“+”极性, b 点为“-”极性,而实际 a 点的电位高于 b 点的电位,则电压 $u > 0$ 。这表示元件两端的电压实际极性与指定参考极性相同,或者说电压实际方向与参考方向一致。如果 $u < 0$,说明电压的指定参考方向与实际方向相反,如图 1.3.2(b)所示。

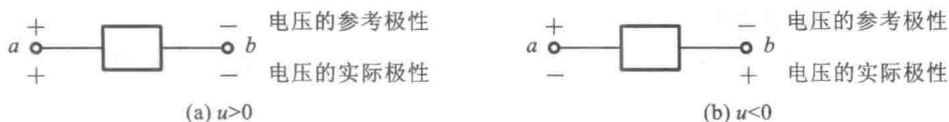


图 1.3.2 电压的参考极性

1.3.3 电压和电流的关联参考方向

一个元件通过的电流或端电压的参考方向可以任意指定。如果指定流过元件的电流的参考方向是从标有电压“+”极性的一端指向“-”极性的一端,即电流和电压的参考方向一致,称为关联参考方向,如图 1.3.3(a)所示。如果电压和电流的参考方向不一致,则称为非关联参考方向,如图 1.3.3(b)所示。

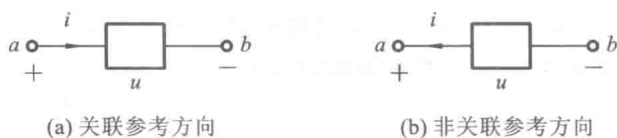


图 1.3.3 关联参考方向和非关联参考方向

根据关联方向可以很方便地区别是负载还是电源,其原则如下。

(1) 元件的电压和电流取关联参考方向时,

$$p = ui \text{ (或 } P = UI) \begin{cases} > 0, \text{ 吸收功率(负载)} \\ < 0, \text{ 发出功率(电源)} \end{cases}$$

(2) 元件的电压和电流取非关联参考方向时,

$$p = ui \text{ (或 } P = UI) \begin{cases} > 0, \text{ 发出功率(电源)} \\ < 0, \text{ 吸收功率(负载)} \end{cases}$$

功率守恒:

$$\sum P = 0 \text{ (即 } \sum P_{\text{吸}} = \sum P_{\text{发}})$$

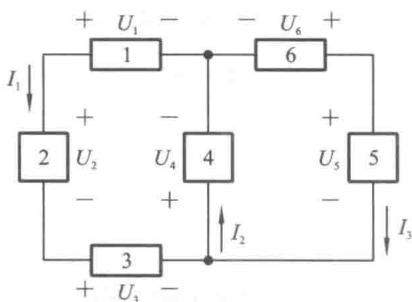


图 1.3.4 例 1.3.1 图

【例 1.3.1】 图 1.3.4 所示电路标出了各元件的电流、电压的参考方向。已知: $U_1=1 \text{ V}, U_2=-3 \text{ V}, U_3=8 \text{ V}, U_4=-4 \text{ V}, U_5=7 \text{ V}, U_6=3 \text{ V}, I_1=2 \text{ A}, I_2=1 \text{ A}, I_3=-1 \text{ A}$ 。试求各个元件的功率大小,并判断其功率性质及该电路功率是否平衡。

【解】

(1) 计算并判断各元件功率。

U_1 和 I_1 为非关联参考方向,则

$$P_1 = U_1 I_1 = 1 \text{ V} \times 2 \text{ A} = 2 \text{ W (发出)} \quad (\text{元件 1 为电源})$$

U_2 和 I_1 为关联参考方向,则

$$P_2 = U_2 I_1 = (-3) \text{ V} \times 2 \text{ A} = -6 \text{ W (发出)} \quad (\text{元件 2 为电源})$$

U_3 和 I_1 为关联参考方向,则

$$P_3 = U_3 I_1 = 8 \text{ V} \times 2 \text{ A} = 16 \text{ W (吸收)} \quad (\text{元件 3 为负载})$$

U_4 和 I_2 为关联参考方向,则

$$P_4 = U_4 I_2 = (-4) \text{ V} \times 1 \text{ A} = -4 \text{ W (发出)} \quad (\text{元件 4 为电源})$$

U_5 和 I_3 为关联参考方向,则

$$P_5 = U_5 I_3 = 7 \text{ V} \times (-1) \text{ A} = -7 \text{ W (发出)} \quad (\text{元件 5 为电源})$$

U_6 和 I_3 为非关联参考方向,则