

电工电子技术基础

主 编 吉武庆 许 磊

主 审 卢庆林

副主编 张 维 杨 奕

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术基础/吉武庆,许磊编.—西安:西北大学出版社,2015.8

ISBN 978—7—5604—3693—7

I. ①电… II. ①吉… ②许… III. ①电工技术—高等职业教育—教材 ②电子技术—高等职业教育—教材
IV. ①TM ②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 195200 号

电工电子技术基础

主 编:吉武庆 许 磊

出版发行:西北大学出版社

地 址:西安市太白北路 229 号

邮 编:710069

电 话:029-88303313

经 销:全国新华书店

印 装:陕西向阳印务有限公司

开 本:787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张:17.5

字 数:400 千字

版 次:2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978—7—5604—3693—7

定 价:36.00 元

前言

电工及电子技术是高等学校工科非电类专业的一门重要课程。电工及电子技术研究的是电工和电子技术的基本理论、基本知识和基本技能。以往的教材大多注重理论性,没有很好地体现实用性,不能满足当前技能型、实用型人才的培养需要。本书结合高等职业教育理念,基础知识以“够用”为原则,对内容精心选择,做到了浅显好学,精简好用,全书结构严谨,重点突出,知识深入浅出,案例通俗易懂。

本书紧扣电子产品实际,学以致用,锻炼学生将理论知识应用于实践的技能,按电子产品开发思路来完成内容选择,让学生快速建立概念,快速入门,提高兴趣。在实际操作中锻炼学生的电路设计、接线、焊接、线路板制作技能,以及常用仪表的测量技能。这符合应用技术学习规律,符合工业化、信息化时代学习方法,适合应用技术思维方法。

本书将电工及电子技术整个知识体系分成 14 章,内容包括电路的基本概念与基本定律;直流电路的分析方法;正弦交流电路;磁路与变压器;低压器件与电机控制;供电与安全用电;半导体器件;三极管放大电路;集成运算放大器;直流稳压电源;逻辑代数基础与组合逻辑电路;触发器与时序逻辑电路;555 集成定时器等。

本书可作为高职高专院校机电类专业、机械制造类专业、电子信息类专业、设备维护类专业等的教材,也可作为应用型本科、成人教育、电视大学、函授学院、中职学校、培训班的教材以及企业工程技术人员的自学参考书。

本书由陕西工业职业技术学院吉武庆、西安航空职业技术学院许磊任主编。陕西工业职业技术学院张维、杨奕任副主编。陕西工业职业技术学院张维编写第 1—3 章;西安航空职业技术学院许磊编写第 4—6 章;西安航空职业技术学院王航宇编写第 7 章;陕西工业职业技术学院杨奕编写第

8—11 章;陕西工业职业技术学院吉武庆编写第 12—14 章及附录。本书由陕西工业职业技术学院卢庆林教授担任主审。由于编者的水平有限,书中难免存在不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2015 年 6 月

目 录

上篇 电工技术

第一章 电路的基本概念和基本定理

- 1.1 实际电路与电路模型
- 1.2 电路的基本物理量
- 1.3 电路中的基本元件
- 1.4 基尔霍夫定律及其应用

思考与练习

第二章 直流电路及分析方法

- 2.1 电路网络的等效变换
- 2.2 电源的连接与等效变换
- 2.3 直流电路基本分析方法

思考与练习

第三章 正弦交流电路

- 3.1 交流电路基础知识
- 3.2 正弦电路相量分析法
- 3.3 单一参数的正弦交流电路
- 3.4 多参数的正弦交流电路
- 3.5 三相交流电路基础知识
- 3.6 三相交流电源的连接形式
- 3.7 三相负载的连接形式

思考与练习

第四章 磁路与变压器

- 4.1 磁路及相关概念
- 4.2 交流铁芯线圈
- 4.3 单相变压器及工作原理
- 4.4 三相变压器

4.5 特殊变压器

思考与练习

第五章 低压器件与电机控制电路

5.1 认识常用低压器件

5.2 电动机介绍

5.3 基本电气控制线路

思考与练习

第六章 供电与用电基础知识

6.1 供配电系统

6.2 安全用电基本知识

6.3 电力节能

思考与练习

下篇 电子技术

第七章 半导体基础知识

7.1 半导体二极管

7.2 半导体三极管

思考与练习

第八章 三极管放大电路

8.1 单管放大电路

8.2 多级放大电路

8.3 功率放大电路

思考与练习

第九章 集成运算放大器及应用

9.1 集成运算放大器

9.2 集成运放的线性应用

9.3 负反馈放大电路

思考与练习

第十章 直流稳压电源

10.1 概述

10.2 单相整流电路的组成与工作原理

10.3 滤波电路的组成与工作原理

10.4 稳压电路的组成与工作原理

思考与练习

第十一章 数字逻辑基础知识

- 11.1 概述
- 11.2 数制与代码
- 11.3 逻辑代数基础知识
- 11.4 逻辑门电路

思考与练习

第十二章 组合逻辑电路分析与设计

- 12.1 组合逻辑电路的分析与设计方法
- 12.2 常用组合集成电路

思考与练习

第十三章 时序逻辑电路分析与设计

- 13.1 触发器
- 13.2 时序逻辑电路的分析
- 13.3 集成计数器

思考与练习

第十四章 脉冲信号的产生与整形

- 14.1 555 集成定时器
- 14.2 施密特触发器
- 14.3 单稳态触发器
- 14.4 多谐振荡器

思考与练习

附录 A 常用物理量及其计量单位

附录 B 常用电气图形符号和文字符号

附录 C 国产半导体器件型号命名法及常用半导体器件参数选录

附录 D 集成电路型号命名法及部分集成运放参数选录

参考文献

上篇 电工技术

第一章 电路的基本概念和基本定理

在生产、科研、国防和日常生活中,我们几乎天天和电打交道。电不仅是主要动力来源,也是各种领域的技术基础。我们可以通过各种电路来完成各种任务,不同的电路具有不同的功能。例如:供电电路用来传输电能;整流电路可以将交流电变成直流电;滤波电路可以滤掉附加在有用信号上的噪声,完成信息处理任务;计算机中的存储器电路能存储原始数据、中间结果和最终结果,具有存储功能等等。随着科学技术的进步和人们日常生活水平的提高,现代电工电子设备种类日益繁多,规模、结构和功能更是日新月异,但无论怎样设计、制造和更新,它们几乎都是由各种基本电路组成的。所以,学习电路的基础知识,掌握分析电路的基本规律与方法,是学习电工学的重要内容,也是进一步学习电子技术、电机和电气控制等技术的基础。本章重点阐明与电路有关的基本概念和基本定律。

1.1 实际电路与电路模型

日常生活中和工业生产中,应用各种实际电路实现其所要求的目的和功能。下面阐述实际电路和电路模型的基本概念。

1.1.1 实际电路的概念和分类

通常把由电工设备及电气元件按预期的目的搭建构成的能进行能量形式转换、电能传输和分配等功能的电流通路叫做实际电路。一个电路一般应包括电源、负载、导线、控制装置等几部分。其中导线与控制设备也称中间环节,是电路中电能或信号的传输和控制器件,电路通过传输和控制把电源与负载连接起来。

根据实际电路的功能可将其分为两类。

第一类是强电类电路,主要实现电能的传输、分配与转换。如图 1-1 所示为强电类电力系统电路,可分为电源、中间环节及负载三部分。电源是将非电能量转换成电能的装置,如发电机、干电池等;负载是将电能转换成非电能量的装置,如各种电器、工业设备、各种仪器仪表等;中间环节连接电源和负载,起传输、分配和控制转换电能的作用。

第二类是弱电类电路,主要实现信号的传递和处理。如图 1-2 所示弱电类扬声器电路模型,分为信号源、中间环节、负载三部分。信号源主要是提供电路预处理的信号信息;负载是经过中间环节处理之后的信号信息;中间环节包括信号的放大、调谐、检波等。

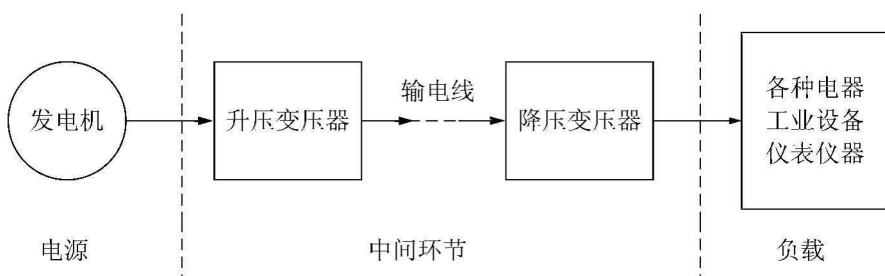


图 1-1 一般电力电路框图

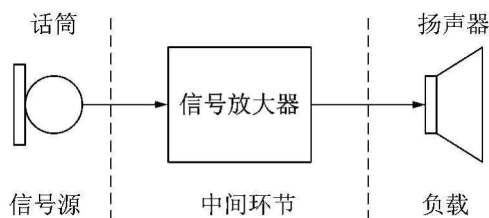


图 1-2 扬声器放大电路

1.1.2 电路模型

在工程实际允许的条件下,为了便于画图、分析和计算,一般将实际电路中的设备或元件进行理想化,使其能反映对电路本身主要的电磁性质。一般用特定的符号来表示这些设备或元件,并根据实际电路的要求将这些符号按一定的方式连接起来,构成电路模型,也称工作原理图。如图 1-3(a)所示,为日常生活中简单的照明电路,由电池、开关、灯泡和导线等组成。其中电池是电源元件,能持续的向外电路提供电动势,其电动势为 U_s ,内阻为 R_s ;开关是用来控制电路的通断,用 S 来表示;灯泡是负载,主要是消耗电池的电能并发光,是电阻元件,用 R_L 表示;导线电阻忽略不计,认为是无电阻的理想导体。为了便于使用数学方法分析电路,实际简单照明电路就可以转化成为如图 1-3(b)所示的电路模型,由于忽略导线的电阻大小,故为理想电路模型。由于理想电路模型只是在一定条件下实际电路的简化、模拟和近似,所以其并不能完全表示实际电路。以后分析电路都是指实际电路转换成的理想电路模型,简称电路。

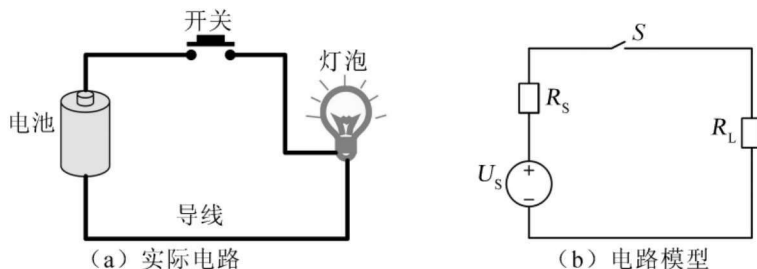


图 1-3 照明实际电路及理想模型

1.2 电路的基本物理量

电路中的主要物理量有电压、电流、电位、电动势、电功率、电能等。下面将对电路中各个物理量分别进行描述。

1.2.1 电流

1. 电流的定义

电流是由大量的电荷在导体中做定向移动形成的。电流的大小可用电流强度来表示。单位时间内通过导体横截面的电荷量称为电流强度,简称电流,用 i 表示。

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (\text{直流: } I = \frac{Q}{t}) \quad (1-1)$$

式(1-1)中, q 表示电荷量大小, t 表示时间大小。

在国际单位制(SI)中,电流的单位是安培,简称安,符号为 A,常用的单位还有千安(kA)、毫安(mA)、微安(μA)等,之间的换算关系为: $1\text{A} = 10^3\text{mA}$, $1\text{A} = 10^6\mu\text{A}$, $1\text{A} = 10^{-3}\text{kA}$ 。

2. 电流的参考方向

电流除了大小还有方向,电流的方向习惯上规定为和正电荷移动的方向相同,和负电荷移动的方向相反。电流方向的规定是电路中客观存在的,称为实际方向。然而在分析复杂电路时,电路中的实际方向很难预先判断出来,有时电流的方向还会不断改变,因此很难在电路中标明电流的实际方向,所以在分析电路时采用标定参考方向(箭头)的方法。参考方向是任意选定的一个方向,如果最终根据计算得到的电流数值为正($i > 0$),则表明选择的任意方向即为实际电路中电流的方向;如果最终计算得到的电流为一负数($i < 0$),则表明选择的任意方向和实际电路中电流的方向相反。应该注意,在未选定参考方向时,电流大小的正负号没有实际意义。如图 1-4 所示为电流的实际方向和参考方向的关系。



图 1-4 电流的参考方向和实际方向

常见电流的参考方向有三种表示方法,如图 1-5 所示,第一种是在元件旁边标以箭头指示电流参考方向;第二种是在导线上直接标以箭头指示电流参考方向;第三种直接用字母 i_{AB} 表明电流的参考方向为由 A 端流向 B 端。

如图 1-6 所示为几种直流电流和交流电流(正弦波电流和三角波电流)的波形。

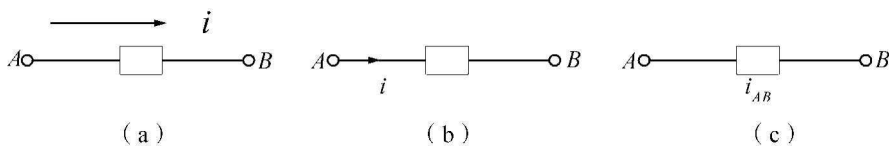


图 1-5 电流参考方向表示法

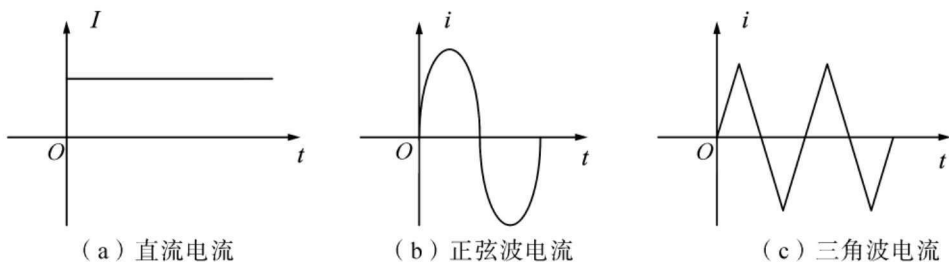


图 1-6 几种电流波形

1.2.2 电压

1. 电压的定义

如图 1-7 所示的闭合电路,在电场力的作用下,正电荷要从电源 U_S (R_S 为电源的内阻) 的正极 A 经过导线和负载流向负极 B (实际上是带负电的电子由负极 B 经负载流向正极 A) 形成电流,故电场力就对电荷做了功。通常,电场力把单位正电荷从 A 点经外电路(电源以外的电路)移到 B 点所作的功,叫做 A 、 B 两点之间的电势差,简称电压,记作 u_{AB} 。

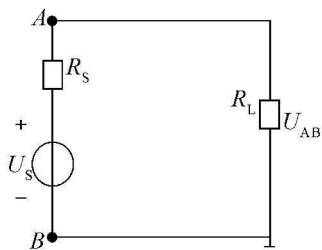


图 1-7 电压定义示意图

$$u_{AB} = \frac{d\omega}{dq} \text{ (直流: } U_{AB} = \frac{W}{Q} \text{)} \quad (1-2)$$

式(1-2)中, $d\omega$ 表示电场力将正电荷 dq 从 A 点经外电路移到 B 点所作的功。

在国际制单位(SI)中,电压的单位为伏特,简称伏,符号为 V。常用的电压单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μV),其之间的换算关系为 $1V = 10^{-3} kV$, $1V = 10^6 \mu V$, $1V = 10^3 mV$ 。

2. 电压的参考方向

在分析比较复杂的电路中,往往不能事先知道电路中任意两点间的电压,为了分析和计算的方便,在分析计算电路之前必须对电压标以参考方向(箭头)或标以极性(正、负号)。电压参考方向类似电流的表示方法,如图 1-8 所示,有三种:第一种是在元件旁边标以箭头指示电压的参考方向;第二种是在 A 、 B 两端分别标上正、负号,表示电压的参考方向;第三种是采用双下标法,电压的参考方向意味着从前一个下标指向后一个下标,如图 1-8(c)中电压参考方向选 A 端指向 B 端,则元件两端电压记作 u_{AB} ;若电压参考方向选 B 端指向 A 端,

则应写成 u_{BA} , 两者仅差一个负号, 即 $u_{AB} = -u_{BA}$ 。

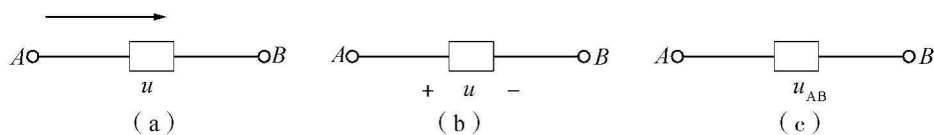


图 1-8 电压参考方向表示法

与电流类似, 分析求解电路时, 先按选定的电压参考方向进行分析、计算, 再由计算结果中电压值的正负来判断电压的实际方向与任意选定的电压参考方向是否一致; 即电压值为正, 则实际方向与参考方向相同; 电压值为负, 则实际方向与参考方向相反。

3. 电压与电流参考方向的关联性

电压与电流既然都有参考方向, 而其参考方向都是任意假定的, 所以电流与电压的假定方向或者相同, 或者相反。若同一元件或支路的电流、电压采用一致的参考方向称为关联参考方向; 反之, 称为非关联参考方向, 如图 1-9 所示:



图 1-9 电压、电流方向的关联性

注意电学中各种物理量的表示方法与正确书写: 一般地, 按照惯例, 通常根据电量参数的大小、方向是否随时间改变, 将其分为两类: 一类是大小和方向不随时间改变的称为恒定电量参数, 简称直流, (如直流电流, 英文简称为 DC), 一般用大写字母表示, 如直流电流与直流电压分别用“ I ”、“ U ”表示; 另一类是大小方向都随时间改变的称为变动电量参数。其中, 一个周期内电量的平均值为零的变动电量参数称为交流电量, 简称交流, (如交流电流, 英文简称为 AC), 一般用小写字母表示, 如交流电流与交流电压的瞬时值分别用“ i ”、“ u ”表示。

1.2.3 电位

1. 电位的定义

为了分析问题方便, 常在电路中指定一点作为参考点, 则电路中某一点到该点的电压就叫做电位, 记作 V 。由此可见, 电路中两点间的电位差等于这两点之间的电压。若选定 O 为参考点, 其电位记作 V_O , 电路中 A 点的电位记为 V_A , 则 AO 两点的电压可表示为:

$$U_{AO} = V_A - V_O \quad (1-3)$$

若假定 O 点的电位是零, 则式(1-3)化简为:

$$V_A = U_{AO} \quad (1-4)$$

一般把 O 称为接地点或零电位点, 用符号“ $\perp$ ”表示。在生产实践中, 把地球做为零电位

点。凡是机壳接地的设备,机壳电位即为零电位。有些设备或装置,机壳并不接地,而是把许多元件的公共点做为零电位点。

2. 电位的分析计算

电路中电位的值并不恒定,根据参考点选取的不同,各点电位的高低也不同,但是电路中任意两点之间的电压与参考点的选取无关。在电路中,凡是比参考点电位高的各点电位是正电位,比参考点电位低的各点电位是负电位。

由图 1-10 所示实验电路可知:参考点选取不同,电路中各点电位值也不同,电位大小与参考点的选择有直接关系;参考点选取不同,任意两点间的电压不变,电压大小与参考点选取无关。

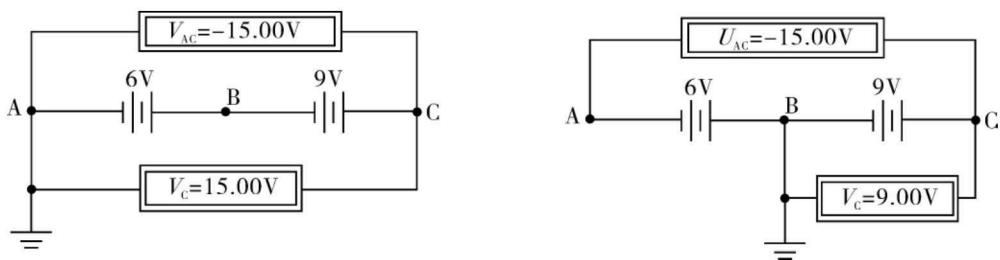


图 1-10 实验电路

【例 1-1】求图 1-11 中 a 点的电位。

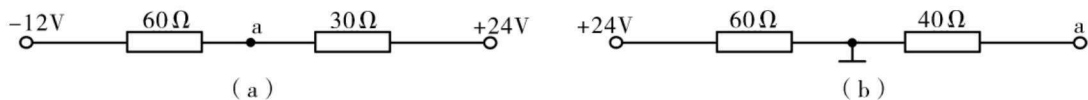


图 1-11 例 1-1 电路图

解:对于图 1-11(a)有: $V_a = -12 + \frac{60}{60+30} \times [24 - (-12)] \text{V} = 12 \text{V}$

对于图 1-11(b),因 40Ω 电阻中电流为零,故 $V_a = 0$ 。

1.2.4 电动势

电动势是一个表征电源特征的物理量,是电源将其他形式的能转化为电能的本领,在数值上,等于非静电力在电源内部将单位正电荷从电源的负极通过电源内部移送到正极时所做的功,记作 e 。

$$e = \frac{d\omega}{dq} \quad (\text{直流: } E = \frac{W_{AB}}{Q}) \quad (1-5)$$

式(1-5)中 ω 表示非静电力(也称电源力)所做的功, q 表示电荷量。

电动势的单位和电压相同。电动势的方向规定为从电源的负极经过电源内部指向电源的正极,即与电源两端电压的方向相反。

1.2.5 电功率

1. 电功率

单位时间内电场力所作的功,即单位时间内电路吸收(消耗)或释放(发出)电能的速率,称为电功率,简称功率,记作 p 。

$$p = \frac{d\omega}{dt} \quad (\text{直流: } P = \frac{W}{t}) \quad (1-6)$$

式(1-6)中 ω 表示电能的大小, t 表示时间的大小,

在国际制单位(SI)中,功率的单位为瓦特,简称瓦,符号为 W。常用的功率单位还有千瓦(kW)、毫瓦(mW),其之间的换算关系是: $1\text{W} = 10^3\text{mW}$, $1\text{W} = 10^{-3}\text{kW}$ 。

由电压的定义可知 $u = d\omega/dq$, 又由于 $i = dq/dt$, 因此电路吸收或释放的功率可表示为:

$$p = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d\omega}{dq} \times \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-7)$$

由式(1-7)可见,元件吸收或释放的功率等于元件上的电压乘以元件上的电流。

2. 电功率的分析计算

电功率计算时有两种形式:

当 u 、 i 为关联参考方向时:

$$p = ui \quad (\text{直流功率: } P = UI) \quad (1-8)$$

当 u 、 i 为非关联参考方向时:

$$p = -ui \quad (\text{直流功率: } P = -UI) \quad (1-9)$$

无论电压与电流是否关联,只要计算结果 $p > 0$, 则该元件就是在吸收功率,即消耗功率,该元件是负载;若 $p < 0$, 则该元件是在释放功率,即发出功率,该元件是电源。根据能量守恒定律,对一个结构完整的电路,释放功率的总和应正好等于吸收功率的总和。

【例 1-2】 计算图 1-12 中各元件的功率,指出是吸收还是发出功率,并求整个电路的功率。已知电路为直流电路, $U_1 = 4\text{V}$, $U_2 = -5\text{V}$, $U_3 = 8\text{V}$, $I = 3\text{A}$ 。

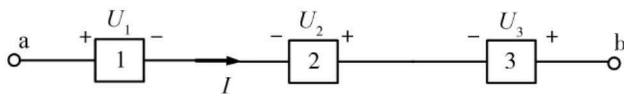


图 1-12 例 1-2 图

解: 在图 1-12 中,元件 1 电压与电流为关联参考方向,由式(1-8)得

$$P_1 = U_1 I = 4 \times 3 = 12\text{W}$$

故元件 1 吸收功率。

元件 2 和元件 3 电压与电流为非关联参考方向,由式(1-9)得

$$P_2 = -U_2 I = -[(-5) \times 3] = 15\text{W}$$

$$P_3 = -U_3 I = -8 \times 3 = -24\text{W}$$

故元件 2 吸收功率,元件 3 发出功率。

整个电路功率为: $P=P_1+P_2+P_3=12+15-24=3\text{W}$

本例中,元件 1 和元件 2 的电压与电流实际方向相同,二者吸收功率;元件 3 的电压与电流实际方向相反,发出功率。由此可见,当电压与电流实际方向相同时,电路一定是吸收功率,反之则是发出功率。实际电路中,电阻元件的电压与电流的实际方向总是一致的,说明电阻总在消耗能量;而电源则不然,其功率可能正也可能为负,这说明它可能作为电源提供电能,也可能被充电,吸收功率。

1.2.6 电能

电路在一段时间内消耗或提供的能量称为电能。根据式(1-7),电路元件在 t_0 到 t 时间内吸收或释放的能量为:

$$W = \int_{t_0}^t p dt \quad (1-10)$$

直流时:

$$W = P(t-t_0) \quad (1-11)$$

在国际单位制中,电能的单位是焦耳,简称焦,符号位 J。1J 等于 1W 的用电设备在 1s 内消耗的电能。实际生活中通常用度作为电能的单位,度是千瓦时(kWh)的简称。1 度(或 1 千瓦时)电等于功率为 1 千瓦的元件在 1 小时内消耗的电能,即:1 度 = 1kWh = $10^3 \times 3600 = 3.6 \times 10^6 \text{J}$ 。

1.2.7 电气设备的额定值

如果通过实际元件的电流过大,会由于温度升高使元件的绝缘材料损坏,甚至使导体熔化;如果电压过大,会使绝缘击穿。所以设备或元件制造厂家规定了电气设备在正常运行时的额定使用值。通常把电气设备或元件长期正常运行的电流容许值称为额定电流,记作 I_N ;其长期正常运行的电压容许值称为额定电压,记作 U_N ;额定电压和额定电流的乘积称为额定功率,记作 P_N 。通常电气设备或元件的额定值标在产品的铭牌上。如日光灯标牌标有“220V、60W”,表示它的额定电压为 220V,额定功率为 60W。

选择设备的额定值有三种情况:

- (1) 额定工作状态: $I=I_N, P=P_N$ (安全、经济、可靠);
- (2) 欠载(轻载)状态: $I<I_N, P<P_N$ (不经济、未充分利用);
- (3) 过载(超载)状态: $I>I_N, P>P_N$ (不安全,设备易损坏)。

1.3 电路中的基本元件

在电工电路中,常用的电路元件有四种,分别为电阻元件、电感元件、电容元件、电源元