



普通高等教育“十三五”数字化规划教材

“互联网+”精品教材
二维码、AR移动学习

电工技术 (电工学 I)

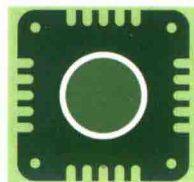
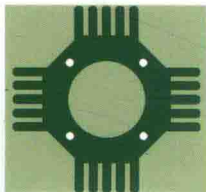
DIANGONG JISHU

(第3版)

(DIAN GONG XUE I)

主 编 方厚辉 谢胜曙

主 审 张晓冬



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

等教育“十三五”数字化规划教材

电工技术

(电工学 I)

(第 3 版)

主编 方厚辉 谢胜曙

主审 张晓冬



广益教育“九斗”
APP 操作说明

北京邮电大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书是根据教育部电工课程教学指导委员会最新制定的“电工技术(电工学 I)课程教学基本要求”,为高等学校非电专业的理工科学生编写的规划教材。全书分为3篇,共13章。第1篇为电路,内容包括电路的基本概念和基本分析方法、正弦交流电路、三相交流电路、非正弦周期电流电路、电路的暂态分析等。第2篇为传动与控制,内容包括磁路与变压器、交流电动机、直流电动机、控制电机、电动机的继电器接触器控制、可编程控制器等。第3篇为电工测量与安全用电。本书主要特点是内容精炼、起点高、知识新、系统性和实用性强。

本书可作为各类高等学校非电专业学生电工技术(电工学 I)课程的教材或教学参考书,也可供有关工程技术人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术.电工学. I /方厚辉,谢胜曙主编. —3版. —北京:北京邮电大学出版社,2019.1
ISBN 978-7-5635-5513-0

I. ①电… II. ①方… ②谢… III. ①电工技术—高等学校—教材 ②电工学—高等学校—教材
IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 167331 号

书 名 电工技术(电工学 I)(第3版)
主 编 方厚辉 谢胜曙
责任编辑 韩 霞
出版发行 北京邮电大学出版社
社 址 北京市海淀区西土城路10号(100876)
电话传真 010-82333010 62282185(发行部) 010-82333009 62283578(传真)
网 址 www.buptpress3.com
电子信箱 ctrd@buptpress.com
经 销 各地新华书店
印 刷 北京泽宇印刷有限公司
开 本 787 mm×1 092 mm 1/16
印 张 19
字 数 485 千字
版 次 2019年1月第3版 2019年1月第1次印刷

ISBN 978-7-5635-5513-0

定价:49.00元


如有质量问题请与发行部联系
版权所有 侵权必究

前 言

本书是按照教育部电工课程教学指导委员会最新制定的“电工技术(电工学 I)课程教学基本要求”组织编写的规划教材,在第2版的基础上,重新修订、编写而成的,可作为高等学校非电专业理工科《电工技术(电工学 I)》课程的教学教材。

21世纪的到来,推动着时代的进步,伴随着新技术的日新月异,电工技术也发生了巨大的变化。为了适应新世纪信息化时代的需要,在第2版的基础上,本书作者在分析和总结以往教材和教学经验的基础上,根据电工技术课程教学基本要求,对传统的教学内容进行了精选,适当地提高了教材的起点,并增加和加强了部分电工领域的新技术和新内容,如可编程序控制器、异步电动机的变频调速技术、非电量的电测技术等。此外,在内容体系上加强了知识结构的系统性和完整性,扩大了知识面,加强了应用性。从而形成了本书的主要特点:内容精炼、起点高、知识新、系统性和实用性强。

教学内容、教学体系的改革,必须和教学方法、教学手段的改革相结合。为帮助更新教学观念和教学方法,增加课堂信息,除基本内容外,本书还提供了丰富的思考题和习题,供教师选讲和学生练习,以培养学生的自学能力和创新能力。

本书为“互联网+”立体化教材,通过广益教育“九斗”APP,扫描书中二维码和带有  标的图片,可以查看相关知识点的微课、动画视频以及相关内容的扩展阅读等。

全书由方厚辉和谢胜曙主编。参加本书编写工作的有方厚辉、谢胜曙、李中发、许新民、邹津海、江亚群、陈洪云、姜燕、方璐。本书承蒙国家电工电子基地副主任、北京市电工学会理事长、北京交通大学张晓冬教授主审,并提出了许多宝贵意见。本书还得到了中国高等学校电工学会理事长、教育部原电工学课程教学指导委员会委员唐介教授和杨欣荣教授等专家的帮助与指导。北京邮电大学出版社对本书的出版给予了大力支持,在此谨表示衷心感谢。

由于编者水平有限,经验不足,加之成书时间短促,书中不妥之处在所难免,敬希广大读者和同仁批评指正。

编 者

绪论 (1)

第 1 篇 电 路

第 1 章 电路的基本概念和基本分析方法

- (3)
- 1.1 电路与电路模型 (3)
- 1.2 电路的基本物理量 (5)
- 1.3 电路的工作状态和电气设备的额定值 (9)
- 1.4 电压源与电流源及其等效变换 (12)
- 1.5 基尔霍夫定律 (18)
- 1.6 支路电流法 (22)
- 1.7 节点电压法 (25)
- 1.8 叠加原理 (26)
- 1.9 等效电源定理 (29)
- 1.10 电位的概念及计算 (33)
- 1.11 含受控电源电路的分析 (36)
- 1.12 非线性电阻电路的分析 (41)
- 习题 (43)

第 2 章 正弦交流电路 (48)

- 2.1 正弦交流电的基本概念 (48)
- 2.2 正弦交流电的相量表示法 (52)
- 2.3 单一参数的交流电路 (55)
- 2.4 RLC 串联电路 (63)
- 2.5 复阻抗的串联与并联电路 (67)
- 2.6 交流电路的频域分析 (71)
- 2.7 功率因数的提高 (77)
- 习题 (80)

第 3 章 三相交流电路 (83)

- 3.1 三相交流电源 (83)

3.2 负载星形连接的三相电路 ... (86)

3.3 负载三角形连接的三相电路 (91)

3.4 三相电路的功率 (93)

习题 (94)

第 4 章 非正弦周期电流电路 (97)

4.1 非正弦周期信号的分解与合成 (98)

4.2 非正弦周期信号的最大值、平均值、有效值和功率 (102)

4.3 线性参数的非正弦周期电流电路的计算 (104)

习题 (108)

第 5 章 电路的暂态分析 (110)

5.1 暂态过程的基本概念和换路定律 (110)

5.2 RC 电路的暂态响应 (114)

5.3 求解一阶电路的三要素法 (121)

5.4 微分电路与积分电路 (123)

5.5 RL 电路的响应 (125)

习题 (130)

第 2 篇 传动与控制

第 6 章 磁路与变压器 (133)

6.1 磁路 (133)

6.2 交流铁芯线圈电路 (140)

6.3 变压器 (144)

6.4 电磁铁 (156)

习题 (158)

第 7 章 交流电动机	(161)	11.3 PLC 应用实例	(255)
7.1 三相异步电动机的结构	(162)	习题	(260)
7.2 三相异步电动机的工作原理	(164)	第 3 篇 电工测量与安全用电	
7.3 三相异步电动机的电磁转矩、 机械特性和运行特性	(168)	第 12 章 电工测量	(261)
7.4 三相异步电动机的起动、调速和 制动	(174)	12.1 电工仪表的类型、误差和准确度	(261)
7.5 三相异步电动机的铭牌数据与 选择	(182)	12.2 电工仪表的结构和工作原理	(266)
7.6 单相异步电动机	(190)	12.3 电流和电压的测量	(270)
7.7 三相同步电动机	(194)	12.4 万用电表	(271)
习题	(196)	12.5 电功率和电能的测量	(276)
第 8 章 直流电动机	(198)	12.6 兆欧表	(280)
8.1 直流电动机的结构和分类	(198)	12.7 电桥及其应用	(281)
8.2 直流电动机的工作原理	(201)	12.8 非电量电测法简介	(283)
8.3 直流电动机的机械特性	(203)	习题	(285)
8.4 直流电动机的起动、调速和制动	(207)	第 13 章 安全用电	(286)
习题	(213)	13.1 电流对人体的危害和触电方式	(286)
第 9 章 控制电机	(214)	13.2 电气设备的接地和接零	(288)
9.1 伺服电动机	(214)	13.3 静电防护和电气防火与防爆	(293)
9.2 测速发电机	(219)	习题	(293)
9.3 步进电动机	(223)	附录	(294)
习题	(228)	附录 A 国际单位制(SI)、静电单位制 (CGSE)和电磁单位制(CGSM) 之间的关系	(294)
第 10 章 电动机的继电器控制	(229)	附录 B 国际单位制(SI)的词头	(295)
10.1 常用控制电器	(229)	附录 C 常用导电材料的电阻率和电阻 温度系数	(295)
10.2 三相异步电动机的基本控制环节	(234)	附录 D 常用电动机、电器的图形符号	(296)
10.3 三相异步电动机的基本控制原则	(238)	附录 E 部分 Y 系列三相异步电动机的 参数	(297)
习题	(242)	主要参考文献	(298)
第 11 章 可编程序控制器	(243)		
11.1 可编程序控制器的基本结构和 功能特性	(243)		
11.2 PLC 的结构原理与程序编制	(247)		

绪 论

电工技术是研究电磁学理论及其在工程领域应用的科学技术。电工技术发展到今天,人们已经掌握了大量的电工技术方面的知识,并已经或正在运用这些知识推动着电工事业不断前进。电工技术的发展是和电的应用紧密联系的。电的应用包括两个方面:一是能量方面;二是信息方面。

在能量方面,现在电能的应用非常广泛,无论是工农业生产、科学研究、国防建设,还是人们日常的物质文化生活,都离不开电能。例如,工业中的各种生产机械,农业中的各种电力排灌设备和粮食加工设备,都是以电能作为主要动力,采用电动机来驱动的;日常生活中的电灯、电话、电视机、电风扇、电冰箱、洗衣机、空调机等也都是利用电能来工作的。

电能之所以得到如此广泛的应用,是因为它较之其他形式的能量具有便于转换、便于输送和便于控制等突出的优点。电能便于转换,一方面是电能能够很方便地由其他形式的能量转换而来。例如,我国的多数火力发电厂都是利用燃烧煤来发电,即将热能转换为电能;水力发电厂,如装机容量为 1 768 万千瓦,年发电量为 840 亿千瓦时的长江三峡水利工程,则是利用水力发电,是将水的位能转换为电能的;核发电厂,如广东的大亚湾核电站和浙江的秦山核电站,则是利用核反应发电,是将原子能转换为电能的;而干电池、蓄电池则是利用化学反应,将化学能转换为电能的,此外,太阳能电池是将太阳能转换为电能的,风力发电机是将风能转换为电能的,等等。另一方面,电能也能够很方便地转换成其他形式的能量。例如,利用电动机可以将电能转换成机械能,利用电炉可以将电能转换成热能,利用电灯可以将电能转换成光能,利用扬声器可以将电能转换成声能,等等。电能便于输送是指它可以很方便地被送到远方,而且输电设备简单、损耗小、效率高。电能便于控制是指利用电能对生产过程和设备控制非常方便。

在信息方面,电信号具有易于获取、处理、转换和存储等优点,成为信息科学形成和发展的基础。例如,在机械制造工程中,可以利用传感器把反映机械加工状态的信息转换成电信号,送入计算机分析处理后,对加工状态进行监控,从而实现对工件的自动检测和自动加工。此外,利用信息技术还可以实现巡回检测、遥控遥测以及自动故障诊断和处理等功能。

21 世纪的到来,人类已经进入了信息时代,这将是不同领域的科学技术互相渗透和融合的时代。电工技术和电子技术已与其他学科结合,相互渗透,相互促进,并且开拓出新的学科领域。显然,电的应用对劳动生产率的提高和社会的发展起着巨大的作用。因此,学习和掌握电工技术的基本理论和应用技术具有十分重要的意义。

电工技术课程是高等学校本科非电专业的一门技术基础课程。本课程的作用与任务是:使学生通过本课程的学习,获得电工技术必要的基本理论、基本知识和基本技能,了解电工技术的应用和我国电工事业的发展概况,为学习和从事与本专业有关的工程技术等工作打下一定的基础。

本书是电工技术课程的基本教材,全书包括电路、传动与控制、电工测量与安全用电 3 篇。

第1篇电路是本课程的基本理论部分,也是学习电子技术和其他后续课程的基础,学习时要着重对电路的基本概念、基本定理和基本分析方法加深理解和掌握。第2篇传动与控制是电气设备应用方面的知识,应在了解电气设备工作原理的基础上,将重点放在应用上。第3篇是电工测量与安全用电方面的知识,可在实践中结合实验进行学习。

实验是本课程重要的实践教学环节。实验的目的不仅是验证和加深理解所学的理论知识,更重要的是训练学生的实验技能,树立工程实际观点和严谨的科学作风。因此,应保证足够的实验学时,创造较好的实验条件(如增加设计性和综合应用型实验、开放实验室等),使学生有充分的实践机会。每个学生都应珍惜这种机会,以提高自己的工程实际能力和综合应用能力。

习题不仅能巩固加深学生对所学理论的理解,而且能培养学生分析和解决问题的能力,同时也是学生检查自己学习情况的重要手段,应当予以重视。本书各章都安排了适当的习题和思考题,以便在教学中根据具体情况选用。对于教师布置的习题,学生必须认真独立完成。

第 1 篇 电 路

第 1 章 电路的基本概念和基本分析方法

内容提要

本章主要讨论电路的基本物理量及它们的参考方向、电路的基本定律、电路的状态以及电路的分析方法,如支路电流法、叠加原理、等效电源定理、节点电压法等。此外,对含受控源电路的分析和非线性电阻电路的分析也作了简单介绍。

1.1 电路与电路模型

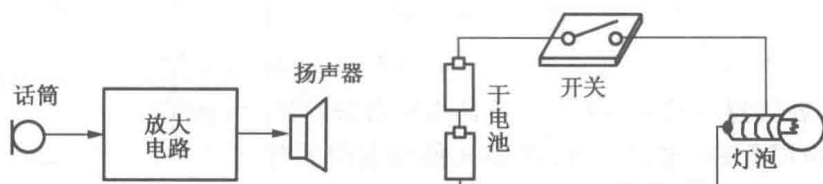
1.1.1 电路的作用

为了某种需要,将某些电工设备或元件按一定方式组合起来所构成的电流通路,称为电路。

电路的结构形式和所能完成的任务是多种多样的。最典型的例子是电力系统,其示意图如图 1.1(a) 所示。它的作用是实现电能的传输和转换。



(a) 电力系统电路



(b) 扩音机电路

(c) 手电筒电路

图 1.1 几种电路

电路的另一个重要作用是进行电信号的传递和处理,如存储、控制和测量等。常见的例子如扩音机,其示意图如图 1.1(b) 所示。先由话筒把语言或音乐(通常称为信息)转换为相应的电压和电流,它们就是电信号;通过放大和转换(称为信号的处理)后传递到扬声器,把电信号还原为语言或音乐。

更简单的电路如图 1.1(c) 所示的手电筒电路。

1.1.2 电路的组成

不论电路结构的复杂程度如何,其组成都包括以下 3 个基本部分。

1. 电源

电源是将其他形式的能量转换为电能的装置。常用的电源有干电池、蓄电池和发电机等,它们分别将化学能和机械能转换成电能。此外,还有将某种形式的电能转换成另一种形式的电能的装置,通常也称为电源。例如,常见的直流稳压电源就是将交流电转换为直流电,并在一定范围内保持输出电压稳定的一种装置。

2. 负载

负载是将电能转换为其他形式的能量的装置。例如,电灯把电能转换成光能和热能,电动机将电能转换成机械能等。负载有时也称负荷。

3. 中间环节

中间环节在电路中起传递、分配和控制电能的作用。最简单的中间环节就是开关和连接导线,一般还有保护和测量装置;更为复杂的中间环节可能是各种电路元件组成的网络系统,电源接在它的输入端,负载接在它的输出端。

不论是电能的传输和转换,或者是信号的传递和处理,电路中的外施信号或输入信号常称为激励,而输出信号则称为响应。所谓电路分析,就是在已知电路结构和元件参数的条件下,讨论电路的激励与响应之间的关系。

1.1.3 电路模型

实际电路都是由一些按需要起不同作用的实际电路元件所组成的,如发电机、变压器、电动机、电池、晶体管以及各种电阻器和电容器等,它们的电磁关系较为复杂。最简单的例子如一盏白炽灯,它除具有消耗电能的性质(电阻性)外,当有电流通过时还会产生磁场,就是说它还具有电感性。因其电感微小,可忽略不计,所以,可认为白炽灯是一个电阻元件。

为了便于对电路进行分析计算,常常将实际元件理想化(也称模型化),即在一定条件下突出其主要的电磁性质,忽略次要的因素,用一个足以表征其主要特性的理想元件近似表示。由一些理想电路元件所组成的电路,称为电路模型。在理想电路元件(此后理想两字略去)中,主要有电阻元件、电感元件、电容元件和电源元件等。这些元件分别由相应的参数来表征。

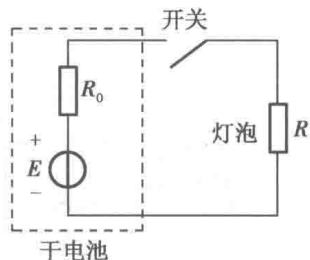


图 1.1(c) 为手电筒电路,其电路模型如图 1.2 图 1.2 手电筒的电路模型

所示。干电池是电源元件,其参数为电动势 E 和内电阻 R_0 ;灯泡是电阻元件,其参数为电阻 R ;筒体是连接干电池和灯泡的中间环节(还包括开关),其电阻忽略不计,认为是一个无电阻的理想元件。

本书所分析的都是电路模型,简称电路。电路中的各种元件用规定的图形符号表示。

1.2 电路的基本物理量

1.2.1 电流

电荷有规则地定向运动形成电流。电流是一种物理现象,又是一个表示电流强弱的物理量。电流在数值上等于单位时间内通过某一导体横截面的电量。

在图 1.3 所示的导体内,设在时间 dt 内通过导体横截面 S 的电量为 dq ,则导体中的电流为

$$i = \frac{dq}{dt}$$

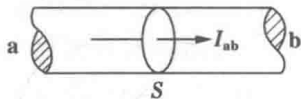


图 1.3 导体中的电流

如电流不随时间而变化,即 $\frac{dq}{dt} = \text{常数}$,则这种电流称为直流电流。直流电流常用大写字母 I 表示,所以上式可改写为

$$I = \frac{q}{t}$$

电流的基本单位是安培,简称为安(A)。在 1 秒(s)的时间内通过导体截面的电荷为 1 库仑(C)时,则电流为 1 安(即 $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$)。对于较小的电流可用毫安(mA)和微安(μA)表示,它们间的关系为

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

本书中物理量的单位及其代号统一采用与国际单位制(SI制)一致的国家法定计量单位。

习惯上规定正电荷运动的方向(或负电荷运动的相反方向)为电流的实际方向。在电路分析中,由于往往难于事先判定某支路中电流的实际方向,因此常任意选定某一方向作为电流的参考方向,或称为正方向。当电流的实际方向与其参考方向一致时,则电流为正值,如图 1.4(a)所示;当电流的实际方向与其参考方向相反时,则电流为负值,如图 1.4(b)所示。可见,在参考方向选定之后,电流之值才有正负之分。



(a) 电流的实际方向与其参考方向一致

(b) 电流的实际方向与其参考方向相反

图 1.4 电流的实际方向与参考方向

本书电路图中所标电流的方向都是参考方向。

电流的参考方向除用箭头表示外,还可用双下标的变量表示。如图 1.3 中的 I_{ab} 即表示参考方向是由 a 指向 b 的电流。如果参考方向选定为由 b 指向 a,则为 I_{ba} 。 I_{ab} 和 I_{ba} 两者之间相差一个负号,即

$$I_{ab} = -I_{ba}$$

1.2.2 电压与电动势

图 1.5 中, a 和 b 是电源的两个电极, 设 a 极带正电, b 极带负电, 因此在两极之间产生电场, 其方向从 a 指向 b。如用导线将 a 和 b 连接起来, 则在电场的作用下, 正电荷就从 a 极沿导线移至 b 极(实际上是导线中的自由电子从 b 极经导线移至 a 极, 两者是等效的)。这表明电场力对电荷做了功。为了表示电场力做功的能力, 引入电压这一物理量。电场力把单位正电荷从 a 点移动到 b 点所做的功, 称为 a、b 两点间的电压, 用 U_{ab} 表示。设电场力将电荷 dq 从 a 点移动到 b 点所做的功为 dW , 则 a、b 两点间的电压 U_{ab} 为

$$U_{ab} = \frac{dW}{dq}$$

在电场内 a、b 两点间的电压也常称为该两点间的电位差, 即

$$U_{ab} = V_a - V_b$$

在国际单位制中, 电压的单位是伏特, 简称伏(V)。当电场力把 1 库仑(C)电量从一点移到另一点所做的功为 1 焦耳(J) 时, 则该两点间的电压为 1 伏特(V)。大电压可用千伏(kV)、小电压可用毫伏(mV)、微伏(μ V) 表示。

习惯上把电压的方向规定为由高电位端指向低电位端, 即电位降低的方向, 用 +、- 号表示, 也可用箭头表示或用双下标的变量表示。

计算较复杂电路时, 电压与电流一样, 实际方向较难确定, 因此也任意选定某一方向作为电压的参考方向。当电压实际方向与其参考方向一致时, 电压为正值; 如果两者相反, 则电压为负值。

当一个元件或一段电路上的电流、电压参考方向一致时, 则称它们为关联的参考方向, 否则称为非关联的参考方向。如图 1.6 中电阻 R 上的 I 与 U , 或 I' 与 U' 为关联参考方向, 而 I 与 U' 或 I' 与 U 为非关联参考方向。

在电场力的作用下, 正电荷就从高电位沿着导线向低电位移动。这样, 电极 a 因正电荷的减少而使电位逐渐降低, 电极 b 因正电荷的增多而使电位逐渐升高, 其结果是 a 和 b 两电极间的电位差逐渐减小到等于零。与此同时, 连接导线中的

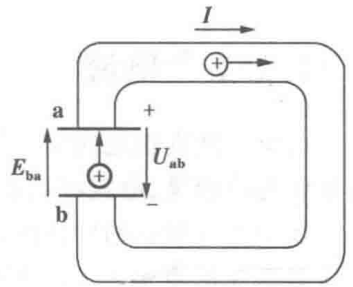


图 1.5 说明电压、电动势概念的图

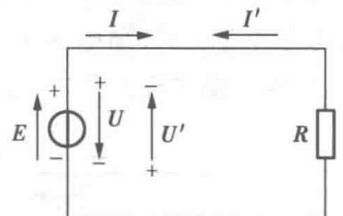


图 1.6 电流、电压和电动势参考方向的关系

电流也会相应减小到等于零。

为了维持连接导线中的电流连续并保持恒定,则必须使 a、b 间的电压 U_{ab} 保持恒定,即必须有另一种力能克服电场力而使电极 b 上的正电荷经过另一路径移向电极 a。电源就能产生这种力,称为电源力。电源力将单位正电荷由低电位端 b 经过电源内部移动到高电位端 a 所做的功,称为电源的电动势,用 E 表示。

电源电动势的方向规定为在电源内部由低电位端指向高电位端,即电位升高的方向。

和电流一样,在电路图上所标的电压和电动势的方向也都是参考方向(也用+、-号或箭头或双下标的变量表示,本书主要用+、-号表示),它们是正值还是负值,视选定的参考方向而定,如图 1.6 所示。例如,电压 U 的参考方向与实际方向一致,故为正值;而电压 U' 的参考方向与实际方向相反,故 U' 为负值。

电动势的单位也是伏特(V)。

1.2.3 电功率

一个电路最终的目的是要将一定的功率传送给负载,供负载将电能转换成工作时所需要的那种形式的能量。因此,电能传送和负载消耗功率的问题是一个很重要的问题。功率和电能的计算在电路的分析计算中是很重要的。

电场力在单位时间内所做的功称为电功率,简称功率,用 P 表示。设电场力在 dt 时间内所做的功为 dW ,则功率 P 为

$$P = \frac{dW}{dt}$$

在国际单位制中,功率的单位为瓦特,简称瓦(W)。1 秒(s)内转换 1 焦耳(J)的能量,则功率为 1 瓦(W)。

在电路中,人们更关注的是功率与电流、电压之间的关系。根据电压及电流的定义式,可推出功率与电流、电压之间的关系。

设元件的电压和电流为关联参考方向,由 $U = \frac{dW}{dq}$ 得 $dW = U dq$,所以

$$P = \frac{dW}{dt} = U \frac{dq}{dt}$$

因

$$I = \frac{dq}{dt}$$

故得

$$P = UI$$

值得注意的是,如果元件的电压和电流为非关联参考方向,则功率计算公式应为

$$P = -UI$$

根据以上两式计算, $P > 0$ 则表示元件吸收功率, $P < 0$ 则表示元件产生功率。

例 1.1 计算图 1.7 所示各元件的功率,并指出该元件是电源还是负载。

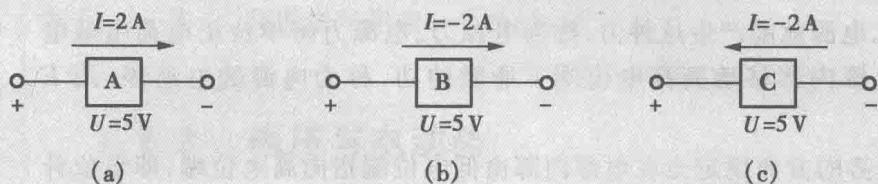


图 1.7 例 1.1 的图

解 图 1.7(a) 中电流 I 与电压 U 是关联参考方向,所以

$P = UI = 5 \times 2 \text{ W} = 10 \text{ W}$, $P > 0$, 元件 A 吸收 10 W 的功率,为负载。

图 1.7(b) 中电流 I 与电压 U 是关联参考方向,所以

$P = UI = 5 \times (-2) \text{ W} = -10 \text{ W}$, $P < 0$, 元件 B 产生 10 W 的功率,为电源。

图 1.7(c) 中电流 I 与电压 U 是非关联参考方向,所以

$P = -UI = -5 \times (-2) \text{ W} = 10 \text{ W}$, $P > 0$, 元件 C 吸收 10 W 的功率,为负载。

例 1.2 在图 1.8 所示电路中,已知 $I = 1 \text{ A}$, $U_1 = 10 \text{ V}$, $U_2 = 6 \text{ V}$, $U_3 = 4 \text{ V}$ 。求各元件的功率,并分析电路的功率平衡关系。

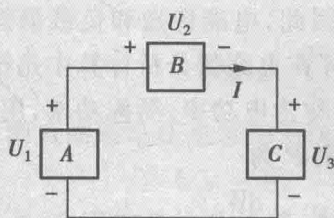


图 1.8 例 1.2 的图

解 由于元件 A 的电流与电压是非关联参考方向,所以

$P_1 = -U_1 I = -10 \times 1 \text{ W} = -10 \text{ W}$, $P_1 < 0$, 元件 A 产生 10 W 的功率,为电源。

由于元件 B、C 的电流与电压是关联参考方向,所以

$P_2 = U_2 I = 6 \times 1 \text{ W} = 6 \text{ W}$, $P_2 > 0$, 元件 B 吸收 6 W 的功率,为负载;

$P_3 = U_3 I = 4 \times 1 \text{ W} = 4 \text{ W}$, $P_3 > 0$, 元件 C 吸收 4 W 的功率,为负载。

计算结果表明,该电路中产生的功率与吸收的功率相等,符合功率平衡关系,即

$$P_1 + P_2 + P_3 = 0$$



思考题

1. U_{ab} 是否表示 a 点的电位高于 b 点的电位?若某电路中 a、b 两点之间的电压为 $U_{ab} = -5 \text{ V}$, 试问 a、b 两点哪点电位高?

2. 在图 1.9 所示电路中,各方框泛指元件。已知 $I_1 = 3 \text{ A}$, $I_2 = -2 \text{ A}$, $I_3 = 1 \text{ A}$, $V_a = 8 \text{ V}$, $V_b = 6 \text{ V}$, $V_c = -3 \text{ V}$, $V_d = -9 \text{ V}$ 。求电压 U_{ac} 、 U_{db} 及各元件的功率,并由此判断哪些元件是电源,哪些元件是负载。

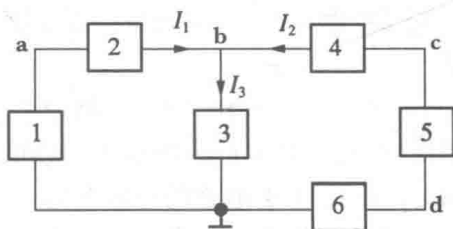


图 1.9 思考题 2 的图

1.3 电路的工作状态和电气设备的额定值

1.3.1 电路的工作状态

电路的工作状态共有三种：负载状态、开路（空载）状态和短路状态。现分别讨论每一种状态的特点。

1. 负载状态

在图 1.10 中，将开关 S 合上时，电路接通，有电流通过负载 R ，这种状态称为负载状态。电路中的电流为

$$I = \frac{E}{R_0 + R}$$

通常电源电动势 E 和内阻 R_0 是一定的，所以电流 I 的大小取决于负载电阻 R 。 R 越小，则电流 I 越大。

负载两端的电压为

$$U = IR$$

在忽略导线的电阻时，电源两端的电压就等于负载两端的电压。

由以上两式得

$$U = E - IR_0$$

由上式可见，电源端电压小于电动势，两者之差等于电流通过电源内阻所产生的压降 IR_0 。它与负载电流的大小有关。电流越大，电压降 IR_0 也越大。

将上式中的各项乘以电流 I ，则得功率平衡式为

$$UI = EI - I^2 R_0$$

即

$$P = P_E - \Delta P$$

式中， $P_E = EI$ ，电源产生的功率； $\Delta P = I^2 R_0$ ，电源内阻上损耗的功率； $P = UI$ ，电源输出的功率。

根据上面的分析可知，在负载状态下，电源的输出功率和电流取决于负载的大小；并且电源产生的功率等于负载消耗的功率与电源内阻上损耗的功率之和，符合能量守恒定律。

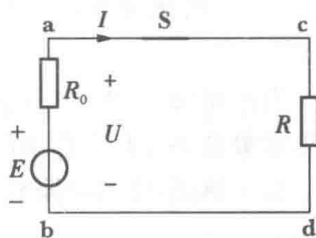


图 1.10 电路的负载状态

2. 开路(空载) 状态

在图 1.10 所示电路中,当开关 S 断开时,电路处于开路(空载) 状态,如图 1.11 所示。

由于开路时电路未形成闭合回路,电路中的电流为零,负载两端的电压也为零,负载不消耗功率。这时电源的端电压在数值上等于电动势,称为开路电压或空载电压,用 U_0 表示。由于电路的电流为零,故电路不输出功率。

由上所述,开路时电路的主要特征可归纳为

$$\left. \begin{aligned} I &= 0 \\ U_0 &= E \\ P &= 0 \end{aligned} \right\}$$

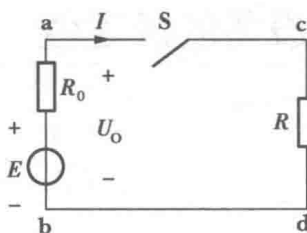


图 1.11 电路的开路(空载) 状态

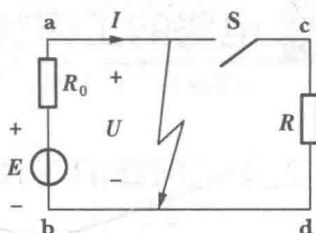


图 1.12 电路的短路状态

3. 短路状态

在图 1.10 所示电路中,当电源的两端 a 和 b 由于某种原因而直接接通,即外电路电阻等于零,称电源被短路,如图 1.12 所示。这时电流仅由内阻 R_0 限制。在 R_0 很小的情况下,电流会达到很大的数值,这个电流称为短路电流,用 I_s 表示。

电源短路时,由于外电路的电阻为零,所以电源的端电压也为零。这时电源的电动势全部降落在内电阻上。

由上所述,电源短路时的特征可归纳为

$$\left. \begin{aligned} U &= 0 \\ I_s &= \frac{E}{R_0} \\ P &= 0 \\ P_E &= \Delta P = I^2 R_0 \end{aligned} \right\}$$

短路通常是一种事故,应尽量避免。为了防止短路事故的危害,通常在电路中安装熔断器或其他断路器等保护装置,一旦发生短路,能迅速切断故障电路,从而防止事故扩大,以保护电气设备和供电线路。

有时由于某种需要,人为地将电路的某一部分短路。如在图 1.13 所示电路中,为防止电动机 M 起动电流对电流表 A 的冲击,在起动时用开关 S_2 将电流表短路,使起动电流从开关 S_2 旁路通过,待起动结束,再断

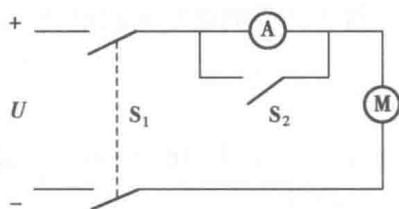


图 1.13 开关将电流表短接

开 S_2 ,恢复电流表的作用。这种人为地将电路某一部分短路,常称为“短接”。

1.3.2 电气设备的额定值

各种电气设备的电压、电流及功率等都有一个额定值。例如,一盏电灯的电压是 220 V,功率是 60 W,这就是它的额定值。额定值是制造厂为了使产品能在给定的工作条件下正常运行而规定的正常容许值。大多数电气设备(如电动机、变压器等)的寿命与绝缘材料的耐热性能及绝缘强度有关。当电流超过额定值过多时,由于发热过甚,绝缘材料将遭受损坏;当所加电压超过额定值过多时,绝缘材料也可能被击穿。反之,如果电压和电流远低于其额定值,不仅得不到合理的工作情况,而且也不能充分利用设备的能力。此外,对电灯及各种电阻器来说,当电压过高或电流过大时,其灯丝或电阻丝也将被烧毁。

因此制造厂在制定产品的额定值时,要全面考虑使用的经济性、可靠性及寿命等因素,特别要保证设备的工作温度不超过规定的容许值。

电气设备或元件的额定值常标在铭牌上或写在其他说明中,在使用时应充分考虑额定数据。例如,一把电烙铁,标有 220 V 45 W,这是额定值,使用时不能接到 380 V 的电源上。

电气设备工作在额定情况下称为额定工作状态。

额定电压、额定电流和额定功率分别用 U_N 、 I_N 和 P_N 表示。

必须注意的是,电气设备或元件的电压、电流和功率的实际值不一定等于它们的额定值。其原因有以下两个。

一个原因是受电源的影响。例如,电源额定电压为 220 V,但电源电压经常波动,稍低于或稍高于 220 V。这样,额定值为 220 V 40 W 的电灯上所加的电压不是 220 V,实际功率也就不是 40 W 了。

另一原因是受负载的影响,在一定电压下电源输出的功率和电流取决于负载的大小,就是负载需要多少功率和电流,电源就给多少,所以电源通常不一定处于额定工作状态,但是一般不应超过额定值。对于电动机也是这样,它的实际功率和电流也取决于它轴上所带的机械负载的大小,通常也不一定处于额定工作状态。

例 1.3 设图 1.14 所示电路中的电源额定功率 $P_N = 22 \text{ kW}$, 额定电压 $U_N = 220 \text{ V}$, 内阻 $R_0 = 0.2 \Omega$, R 为可调节的负载电阻。求:

- (1) 电源的额定电流 I_N ;
- (2) 电源开路电压 U_0 ;
- (3) 电源在额定工作情况下的负载电阻 R_N ;
- (4) 负载发生短路时的短路电流 I_s 。

解 (1) 电源的额定电流为

$$I_N = \frac{P_N}{U_N} = \frac{22 \times 10^3}{220} \text{ A} = 100 \text{ A}$$

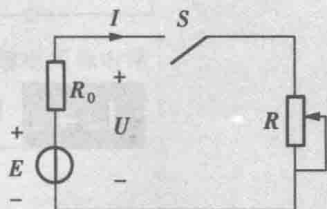


图 1.14 例 1.3 的图