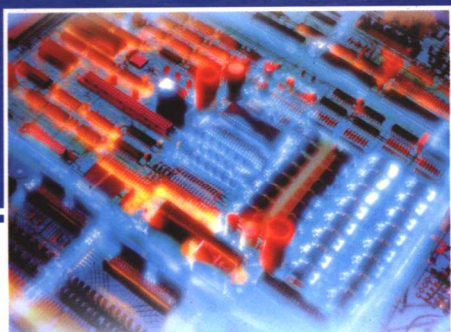


交通职业教育教学指导委员会推荐教材

电工与电子技术

主 编 赵晓玲
副主编 潘凤娥 张桂臣 于风卫 高兴斌 付 君
主 审 许明华

DIANGONG YU DIANZI JISHU



大连海事大学出版社

交通职业教育教学指导委员会推荐教材

电工与电子技术

主 编 赵晓玲
副主编 潘凤娥 张桂臣 于风卫
 高兴斌 付 君
主 审 许明华

大连海事大学出版社

©赵晓玲 2007

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术 / 赵晓玲主编. —大连: 大连海事大学出版社, 2007. 3
(交通职业教育教学指导委员会推荐教材)

ISBN 978-7-5632-2041-0

I. 电… II. 赵… III. ①电工技术—教材②电子技术—教材 IV. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 028956 号

大连海事大学出版社出版

地址:大连市凌海路1号 邮政编码:116026 电话:0411-84728394 传真:0411-84727996

<http://www.dmupress.com> E-mail:cbs@dmupress.com

大连天正华延彩色印刷有限公司印装 大连海事大学出版社发行

2007年3月第1版 2007年3月第1次印刷

幅面尺寸:185 mm × 260 mm 印张:20.5

字数:507千 印数:1~3000册

责任编辑:史洪源 版式设计:海韵

封面设计:王艳 责任校对:董玉洁

ISBN 978-7-5632-2041-0 定价:30.00元

内容简介

本书主要介绍电工与电子技术基础知识,电工部分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、三相电路、磁路与铁芯线圈电路、电路的暂态过程;电子技术主要包括半导体器件及其特性、交流放大电路、集成运算放大电路、直流稳压电源、电力电子技术、门电路和组合逻辑电路、时序逻辑电路以及模拟量和数字量的转换等内容。

本书内容详尽,深入浅出,可作为高职高专工科类学生,特别是航海类专业高职高专学生的教科书,也可作为成人电气基础知识培训的参考书。

前 言

高职高专航海类专业“十一五”规划教材(下称“系列教材”)是交通部科教司为了使高职航海类专业人才培养进一步符合《STCW78/95 公约》和我国海事局颁布的《中华人民共和国海船船员适任考试、评估和发证规则》要求而组织编写的。首批系列教材共 22 种(航海技术专业 11 种,轮机工程技术专业 11 种)。编审人员是由交通职业教育教学指导委员会航海类专业指导委员会在全国航海高职院校范围内组织遴选并聘请的专业教师。参加编审的人员普遍具有较丰富的航海高职教学经验与生产实践经历,其中主编和主审均具有副教授以上专业技术职务。

本系列教材依据 2006 年 3 月新版《高职高专院校海洋船舶驾驶(航海技术)专业教学指导方案》和《高职高专院校轮机工程技术教学指导方案》中相应课程大纲编写,适用于三年制高职高专航海技术和轮机工程技术专业学生使用,也可作为上述专业中等职业教育和船员培训教材或教学参考书。

本系列教材具有如下特点:

1. 较好地体现了《STCW78/95 公约》和《中华人民共和国海船船员适任考试、评估和发证规则》,强调知识更新、突出技能,有利于培养适应现代化船舶的航海技术应用性人才。

2. 紧密结合航海类专业人才培养目标和岗位任职条件,及时充实了新颁布的《中华人民共和国海船船员适任考试大纲》(海船员[2005]412 号)内容,有利于增强高职航海类专业毕业生岗位就业能力。

3. 按照《高职高专院校海洋船舶驾驶(航海技术)专业教学指导方案》、《高职高专院校轮机工程技术教学指导方案》设计,使教材理论教学体系与实践教学体系在知识内容与职业技能之间做到相互交融。

4. 把培养合格海员所需的品格素质、知识素质、能力素质和身心素质贯彻教材当中,强化了高职航海类专业学生素质教育力度。

在本系列教材编写、统稿和审校过程中业经多方把关,力求做得更好。时逢教育部普通高等教育“十一五”国家级规划教材遴选,本系列教材中《船舶操纵》等 12 种教材入选其中。衷心感谢为本系列教材付梓而辛劳的海事局、行业协会、港航企业、航海院校各位专家的帮助和支持。

热切期待教材使用者对本系列教材存在的问题给予指正,欢迎大家积极建言献策,以利交通职业教育教学指导委员会航海类专业指导委员会适时组织人员对本系列教材内容进行修改、调整和充实。

交通职业教育教学指导委员会航海类专业指导委员会

2006 年 12 月

编者的话

随着科学技术的飞速发展,以轮机自动化为核心的船舶自动化已达到令人瞩目的新水平。作为管理现代船舶的轮机员必须掌握这种日新月异的轮机自动化知识,才能应对工作的需要。作为学习轮机自动化知识的前提,必须具备坚实的电工电子技术的基础,为此编写了这本专门针对航海类高职高专学生的教材。

本书主要讲解电工及电子技术的基础知识,内容翔实,为便于学生掌握,列举了大量例题,每一节都列出部分思考题,每章给出大量习题,便于学生练习。

全书分两篇,共十四章。其中第一、二、四章由于风卫老师编写,第三、五、六章由张桂臣老师编写,第七、八、九、十一章由高兴斌老师编写,第十、十二章由付君老师编写,第十三、十四章由赵晓玲老师编写,潘凤娥老师参与了全书初稿素材提供,全书由赵晓玲老师统编定稿,由许明华老师主审。

由于编者水平有限,书中难免有不足之处,恳请读者批评指正。

编者

2006年12月

目 录

第 1 篇 电工基础

第 1 章 电路的基本概念与基本定律	(1)
1.1 电路与电路模型	(1)
1.2 电流和电压的参考方向	(2)
1.3 欧姆定律	(4)
1.4 电源有载工作、开路与短路	(7)
1.5 基尔霍夫定律	(11)
1.6 电路中电位的概念及计算	(16)
习题	(18)
第 2 章 电路的分析方法	(22)
2.1 电阻的串联、并联和混联	(22)
2.2 电压源与电流源及其等效变换	(26)
2.3 支路电流法	(31)
2.4 叠加原理	(33)
习题	(35)
第 3 章 正弦交流电路	(38)
3.1 正弦电压与电流	(38)
3.2 正弦量的相量表示法	(42)
3.3 电阻元件、电感元件与电容元件	(46)
3.4 电阻元件的交流电路	(51)
3.5 电感元件的交流电路	(53)
3.6 电容元件的交流电路	(55)
3.7 电阻、电感与电容元件串联的交流电路	(58)
3.8 阻抗的串联与并联	(63)
3.9 正弦交流电路中的谐振	(67)
3.10 功率因数的提高	(71)
习题	(73)
第 4 章 三相电路	(77)
4.1 三相电压	(77)
4.2 负载星形连接的三相电路	(80)
4.3 负载三角形连接的三相电路	(84)
4.4 三相功率	(86)

习题	(87)
第5章 磁路与铁芯线圈电路	(90)
5.1 磁场的基本物理量	(90)
5.2 磁性材料的磁性能	(91)
5.3 磁路及其基本定律	(95)
5.4 交流铁芯线圈	(98)
5.5 电磁铁	(100)
习题	(102)
第6章 电路的暂态过程	(103)
6.1 换路定则	(103)
6.2 RC 电路的暂态过程	(104)
习题	(106)

第2篇 电子技术

第7章 半导体器件及其特性	(107)
7.1 半导体及其导电特性	(107)
7.2 PN 结	(109)
7.3 半导体二极管	(111)
7.4 特殊二极管	(116)
7.5 半导体三极管	(119)
7.6 场效应晶体管	(126)
习题	(129)
第8章 交流放大电路	(133)
8.1 基本交流电压放大电路	(133)
8.2 分压式偏置放大电路	(145)
8.3 阻容耦合放大电路	(148)
8.4 放大电路中的负反馈	(151)
8.5 功率放大电路	(157)
8.6 直接耦合放大电路	(158)
8.7 差分放大电路	(160)
习题	(163)
第9章 集成运算放大电路	(168)
9.1 集成运算放大电路简介	(168)
9.2 集成运算放大器在信号运算方面的应用	(173)
9.3 集成运算放大器在信号处理方面的应用	(183)
9.4 集成运算放大器在信号测量方面的应用	(186)
9.5 集成运算放大器在使用中应注意的几个问题	(187)
习题	(188)

第 10 章 直流稳压电源	(193)
10.1 整流电路	(193)
10.2 滤波电路	(199)
10.3 稳压电路	(203)
习题	(211)
第 11 章 电力电子技术	(214)
11.1 电力电子器件	(214)
11.2 可控整流电路	(219)
11.3 单结晶体管触发电路	(225)
习题	(230)
第 12 章 门电路和组合逻辑电路	(232)
12.1 脉冲信号	(232)
12.2 二极管、晶体管的开关特性	(233)
12.3 分立元件门电路	(237)
12.4 集成门电路	(240)
12.5 组合逻辑电路	(252)
12.6 二进制和加法器	(260)
12.7 编码器	(264)
12.8 译码器和数字显示	(268)
习题	(273)
第 13 章 时序逻辑电路	(277)
13.1 双稳态触发器	(277)
13.2 寄存器	(286)
13.3 计数器	(292)
13.4 单稳态触发器	(300)
习题	(303)
第 14 章 模拟量和数字量的转换	(307)
14.1 数/模转换器(DAC)	(307)
14.2 模/数转换器(ADC)	(311)
习题	(316)
参考文献	(317)

第 1 篇 电工基础

第 1 章 电路的基本概念与基本定律

电路是电工技术和电子技术的基础,只有学好电路,特别是掌握电路的分析方法,才能为后续电子电路、电机电路及电气控制、电气测量、电力拖动及电气自动化等课程的学习打下坚实的基础。电路基本概念与基本定律是分析与计算电路的基础。本章主要介绍的电路基本概念有电路模型和各种理想电路元件、电压和电流的参考方向、电位、额定值、开路与短路等,基本定律是欧姆定律和基尔霍夫电流、电压定律。

1.1 电路与电路模型

电路(circuit)是电流的通路,它是为了某种需要由某些电工设备或电气元件按一定方式组合起来的整体。电路的结构形式和所能实现的任务是多种多样的,但无论是哪种电路,均离不开电源、负载和必要的中间环节这三个最基本的组成部分。

电源(source)是提供电能的设备,如发电机、电池、信号源等;

负载(load)是指用电设备,如电灯、电动机、空调、冰箱等;

中间环节是用作电源与负载相连接的,通常是一些连接导线、开关、接触器等辅助设备。下面以两种典型电路举例说明电路的结构形式及作用。

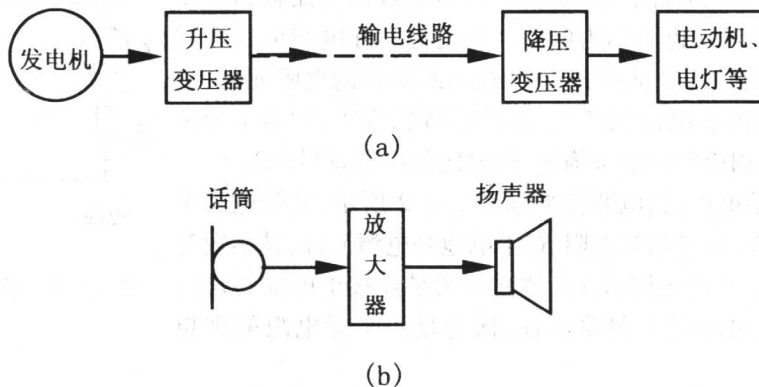


图 1.1.1 电路示意图

(a)电力系统 (b)扩音机

电路最典型的例子是电力系统,其示意图如图 1.1.1(a)所示。它的作用是实现电能的传输和转换。图中,发电机是电源,在发电厂内把热能、水能或原子能等转换成电能。电动机、电灯等用电设备是负载,是取用电能的设备,它们把电能转换成机械能、光能、热能等。变压器、

输电线路等是中间环节,把发电机与用电设备连接起来,把电能输送至各用电设备。

电路另一典型的应用是传递和处理信号,例如扩音机电路。其电路示意图如图 1.1.1(b) 所示。先由话筒把语言或音乐(通常称为信息)转换为相应的电压与电流,它们就是电信号,这些信号再经过变换(放大)传递到扬声器,把电信号还原为语言或音乐。由于话筒输出的电信号比较微弱,不足以推动扬声器工作,因此中间还要用放大器来放大。信号的这种转换和放大,称为信号的处理。

在图 1.1.1(b)中,话筒是输出电信号的设备,称为信号源,相当于电源,但与发电机、电池等电源不同,信号源输出的电信号(电压与电流)的变化规律是取决于所加的信息。扬声器是接受和转换信号的设备,也就是负载。

信号传递和处理的例子是很多的,如收音机和电视机,它们的接收天线(信号源)把载有语言、音乐、图像信息的电磁波接收后转换为相应的电信号,而后通过电路把信号传递和处理(调谐、变频、检波、放大等),送到扬声器和显像管(负载),还原为原始信息。不论电能的传输和转换还是信号的传递和处理,其中电源或信号源的电流或电压均称为激励(excitation),它推动电路工作。激励在电路各部分产生的电流或电压称为响应(response)。所谓电路分析,就是在已知电路的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。

在电路分析中用电流、电压、磁通等物理量来描述其工作过程。然而,实际电路是由电工设备和器件等组成的,它们的电磁性质较为复杂,难以数学化描述。因此,对实际电路的分析和计算,需将实际电路元件理想化(或模型化),即在一定条件下突出其主要的电磁性质,忽略次要因素,将它近似地看作理想元件,如电炉通电后,会产生大量的热(电流的热效应),呈电阻性,同时由于有电流通过还要产生磁场(电流的磁效应),它又呈电感性。但其电感微小,是次要因素,可以忽略,因此可以理想化地认为电炉是一个电阻元件,用一个参数为 R 的电阻器元件来表示。

对实际电路分析,就是在一定条件下将实际元器件理想化表示,即将电路中元器件看作理想元件,所组成的电路称为电路模型(circuit model),也简称为电路。这是对实际电路电磁性质的科学抽象和概括。在今后学习中,我们所接触电阻元件、电感元件、电容元件和电源元件等,若没有特殊说明,均表示为理想元件,分别由相应的参数来描述,用规定的图形符号来表示。

如常用的手电筒,其电路模型如图 1.1.2 所示,实际电路中灯泡是电阻元件,其参数为电阻 R ,干电池是电源元件,其参数为电动势 E 及其自身的内阻 R_0 ,筒体和开关是连接干电池与灯泡的中间环节,其电阻微小忽略不计,认为是一个无电阻的理想导体。

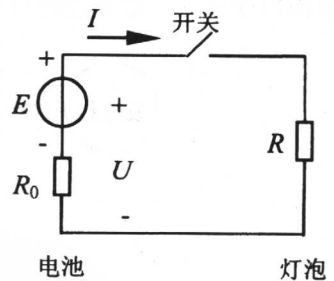


图 1.1.2 手电筒电路模型

1.2 电流和电压的参考方向

电流在导线中或一个电路元件中实际的流动方向只有两种可能,如图 1.2.1 所示。我们习惯上规定正电荷运动的方向或负电荷运动的反方向为电流的实际方向。例如在图 1.2.1(a)中,电流的实际方向是由 A 端流向 B 端;在图 1.2.1(b)中,电流的实际方向是由 B 端流向

A 端。电压和电动势都是标量,但在分析电路时,我们也说它们具有方向性。电压的方向规定为由高电位(“+”极性)端指向低电位(“-”极性)端,即为电位降低的方向。电源电动势的方向规定为在电源内部由低电位(“-”极性)端指向高电位(“+”极性)端,即为电位升高的方向。

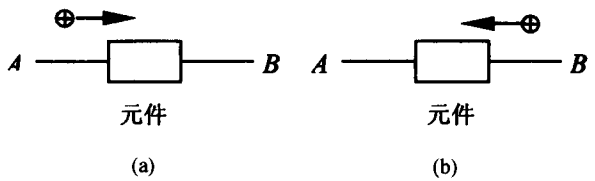


图 1.2.1 电流方向

在分析电路时,必须在电路上用箭标或“+”、“-”来标出各基本物理量(电动势、电压、电流)的方向或极性,才能正确列出电路方程。然而,当分析较为复杂电路时,往往很难预先判断出某一段电路中电流的实际流动方向,也很难判别出元器件两端的电位高低以及电源电动势的极性。在交流电路中,由于电源的电动势的大小和方向是随时间变化的,因而电流的实际流动方向、各元件两端电压的方向也是随时间变化的,其实际方向难以在电路中标注。因此我们引入了“参考方向”这个概念。

电流的参考方向(reference direction)是指在分析与计算电路时,任意假定某一个方向作为电流的参考方向,或称为正方向(positive direction)。当所假定的电流方向与实际方向一致时,电流为正值($I > 0$);反之,若假定的电流方向与实际方向不一致,则电流为负值($I < 0$)。例如图 1.2.2 所示电路中,电源的电动势为 6 V,内阻 R_0 为 1 Ω ,负载电阻 R 为 5 Ω ,则 $I = 1$ A, $I' = -1$ A。只有参考方向被选定后,电流的值才有正负之分。

电压、电动势的参考方向和电流参考方向一样,也是任意假定的。分析电路时,假定某一方面是电位降低的方向,若所假定的电压方向与实际方向一致,则电压为正值($U > 0$);若所假定的电压参考方向与实际方向不一致,则电压为负值($U < 0$)。例如图 1.2.2 所示电路中 $U = 5$ V, $U' = -5$ V。只有参考方向被假定后,电压的值才有正负之分。同样,若所假定的电动势的方向与实际方向一致,则电动势为正值($E > 0$);若电动势参考方向与实际方向不一致,则电动势为负值($E < 0$),例如图 1.2.2 所示电路中 $E = 6$ V, $E' = -6$ V。

在电路中所标注的电流、电压方向,通常均为参考方向,电流、电压的值为正还是为负,与所假定的参考方向有关。

电动势、电压和电流的参考方向在电路中有多种表示方法。电流的参考方向在电路中除了用箭头表示外,还可以用双下标表示,例如 I_{ab} 表示电流的参考方向由 a 点流向 b 点, I_{ba} 表示电流的参考方向由 b 点流向 a 点,则图 1.2.2 电路中 $I_{ab} = -I_{ba} = 1$ A。电动势、电压的参考方向在电路中除了用极性“+”、“-”表示外,还可以用双下标或箭头表示。例如 a 、 b 两点间的电压 U_{ab} 表示电压的参考方向由 a 点指向 b 点,也就是说 a 点的参考极性为“+”, b 点的参考极性为“-”。如果参考方向选为由 b 点指向 a 点,则为 U_{ba} 。图 1.2.2 电路中 $U_{ab} = -U_{ba} = 5$ V。有时为了图示方便起见,也可以用一个箭头来表示电动势或电压的参考方向,箭头的指向即为选定的参考方向。例如图 1.2.2 电路中负载电阻两端电压 $U'' = 5$ V。

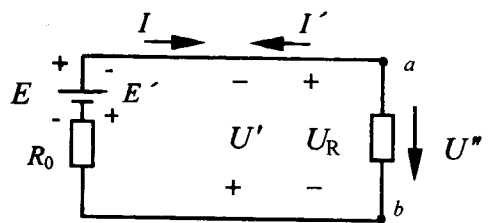


图 1.2.2 电动势、电压和电流参考方向

对于一段电路或一个电路元件上电压的参考方向和电流的参考方向可以独立地加以任意指定。如果指定电流从表示电压“+”极性的一端流入,并从表示电压“-”极性的一端流出,

即电流的参考方向与电压的参考方向一致,则把电压和电流的这种参考方向称为关联参考方向(图 1.2.3),又称电流和电压正方向。

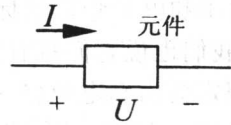


图 1.2.3 电压和电流的关联参考方向

在国际单位制中,电流的单位是安[培](A)。若 1 s 内通过导体横截面的电荷量为 1 C(库[仑]),则导体中的电流为 1 A。计量微小的电流时,以毫安(mA)或微安(μA)为单位, $1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$, $1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$ 。

在国际单位制中,电压的单位是伏[特](V)。当电场力把 1 C(库[仑])的电荷量从一点移到另一点所做的功为 1 J(焦[耳])时,该两点之间的电压为 1 V。计量微小的电压时,以毫伏(mV)或微伏(μV)为单位, $1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V}$, $1 \mu\text{V} = 10^{-6} \text{ V}$ 。计量高电压时,则以千伏(kV)为单位, $1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}$ 。在国际单位制中,电动势的单位也是伏[特](V)。

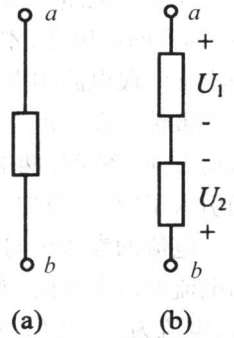


图 1.2.4 练习与思考
1.2.1 和 1.2.2 图

【练习与思考】

1.2.1 图 1.2.4(a)中,已知 $U_{ab} = -6 \text{ V}$;问 a, b 哪点电位高?

1.2.2 图 1.2.4(b)中, $U_1 = -4 \text{ V}$, $U_2 = -2 \text{ V}$,求 U_{ab} 。

1.2.3 U_{ab} 是否表示 a 端的电位高于 b 端的电位?

1.3 欧姆定律

一、欧姆定律(Ohm's law)

在中学教材中已经讲过,流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比,这就是欧姆定律。欧姆定律是电路分析中最基本、最重要的定律之一。在图 1.3.1(a)电路中,欧姆定律可表示为下式

$$\frac{U}{I} = R \quad (1.3.1)$$

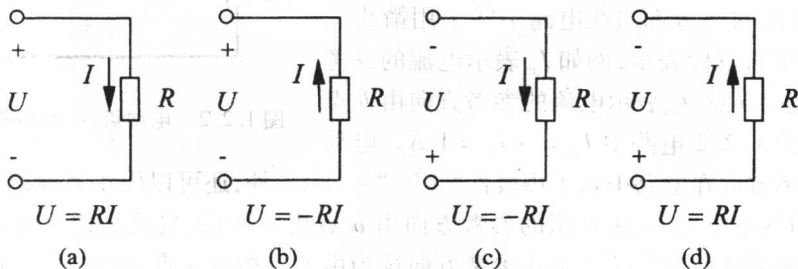


图 1.3.1 欧姆定律

式中: R 是该段电路的电阻(resistance)。

由式(1.3.1)可见,如果电阻固定,则电流的大小与电压成正比;如果电压固定,电流的大

小与电阻成反比,它反映电阻对电流起阻碍作用的物理性质。

在国际单位制中,电阻的单位是欧[姆](Ω)。当电路两端的电压为1 V 通过电路的电流为1 A 时,该段电路的电阻为1 Ω 。计量高电阻时,则以千欧(k Ω)或兆欧(M Ω)为单位,1 k Ω = $10^3 \Omega$,1 M Ω = $10^6 \Omega$ 。

根据电路图中所选电压、电流的参考方向不同,欧姆定律的表示式也不相同。对于一个电阻元件,如果电流的参考方向是由电压参考方向的“+”极性端流入,从“-”极性端流出,我们说电压、电流的参考方向选得一致(即关联参考方向),否则二者的参考方向相反。当电压、电流为关联参考方向时[图 1.3.1(a)和图 1.3.1(d)],欧姆定律的表示式前为正号,即

$$U = RI$$

当电压、电流的参考方向相反时[图 1.3.1(b)和图 1.3.1(c)],欧姆定律的表示式前要加负号,即

$$U = -RI$$

列欧姆定律的表示式要以电路中电压和电流的参考方向为依据。因参考方向不一定与实际方向相同,因而欧姆定律的计算式中有两套正负号,公式前的正负号是根据电压和电流的参考方向得出的,电压和电流自身也有正值和负值之分。

【例 1.3.1】应用欧姆定律对图 1.3.2 的电路列出式子,并计算电阻 R 。

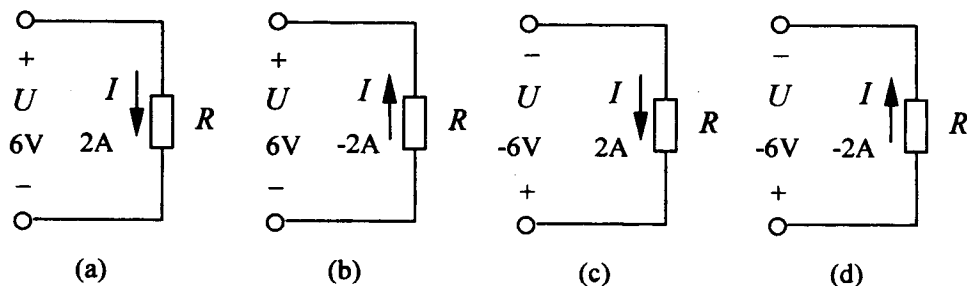


图 1.3.2 例 1.3.1 的电路

【解】图 1.3.2(a): $R = \frac{U}{I} = \frac{6}{2} = 3 \Omega$

图 1.3.2(b): $R = -\frac{U}{I} = -\frac{6}{-2} = 3 \Omega$

图 1.3.2(c): $R = -\frac{U}{I} = -\frac{-6}{2} = 3 \Omega$

图 1.3.2(d): $R = \frac{U}{I} = \frac{-6}{-2} = 3 \Omega$

二、伏安特性

欧姆定律是德国物理学家欧姆于 1826 年采用实验的方法得到的,式(1.3.1)表示了电流与电压的正比关系,具有该特性的电阻称为线性电阻。我们可以测量电阻两端的电压值和流过电阻的电流值,以电压为横坐标,电流为纵坐标,绘出的是一条通过坐标原点的直线,如图 1.3.3 所示。因此,遵循欧姆定律的电阻称为线性电阻(linear resistance),它是一个表示该段电路特性而与电压和电流无关的常数。图 1.3.3 的直线称为线性电阻的伏安特性曲线。

如果电阻两端的电压与其中电流的关系不遵循欧姆定律,即电阻不是一个常数,而是随着

电压与电流变动的,这种电阻就称为非线性电阻(nonlinear resistance)。如在本书后面所要介绍的半导体二极管,其正向电阻的伏安特性(图 1.3.4)为一曲线,表明半导体二极管的正向电阻为非线性电阻(在本书中未加以说明的电阻均为线性电阻)。

应该指出的是,欧姆定律只适用于线性电阻。

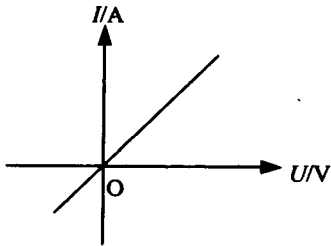


图 1.3.3 电阻伏安特性

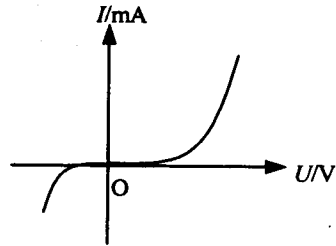


图 1.3.4 二极管伏安特性

【练习与思考】

1.3.1 计算图 1.3.5 中两题。

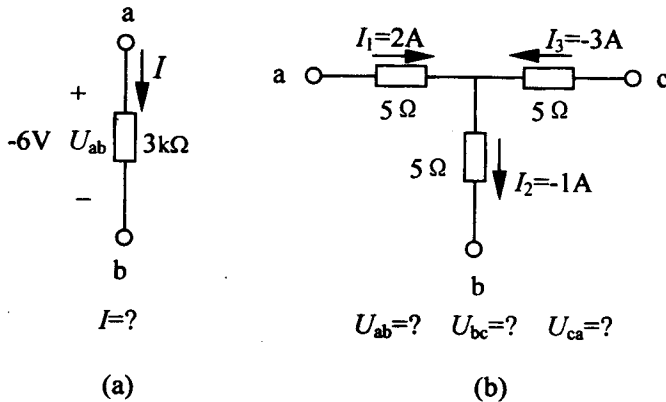


图 1.3.5 练习与思考 1.3.1 的图

1.3.2 计算图 1.3.6 所示电路开关断开和闭合两种情况下的电压 U_{ab} 和 U_{cd} 。

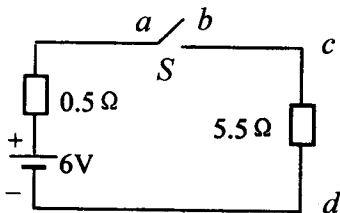


图 1.3.6 练习与思考 1.3.2 的图

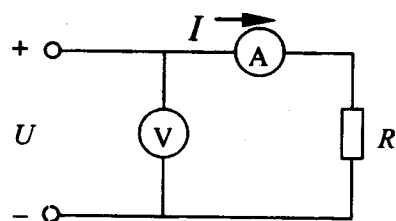


图 1.3.7 练习与思考 1.3.3 的图

1.3.3 为了测量某直流电机励磁线圈的电阻 R ,采用了图 1.3.7 所示的“伏安法”。电压表的读数为 220 V,电流表的读数为 0.7 A,试求线圈的电阻。如果在实验时有人误将电流表当作电压表,并联在电源上,其后果如何? 已知电流表的量程为 1 A,内阻 R_0 为 0.4 Ω 。

1.4 电源有载工作、开路与短路

前面主要介绍了不含电源的一段电阻电路,而实际分析、应用的电路往往是含有电源的电路。现以图 1.4.1 所示最简单的直流电路为例,分别讨论电源有载工作状态、开路与短路时常规的分析方法。

一、电源有载工作

图 1.4.1 电路中, R 为负载电阻, R_0 为电源内阻, E 为电源电动势。将电路中的开关合上,接通电源和负载,这就是电源有载工作状态。

1. 电压与电流

开关闭合时,应用欧姆定律得到电路中的电流

$$I = \frac{E}{R_0 + R} \quad (1.4.1)$$

负载电阻两端的电压

$$U = RI \quad (1.4.2)$$

并由上面两式得出

$$U = E - R_0 I \quad (1.4.3)$$

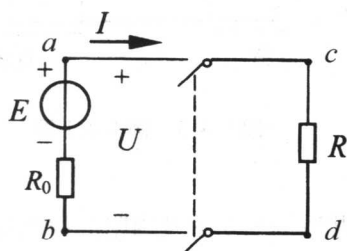


图 1.4.1 电源有载工作

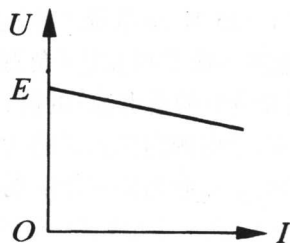


图 1.4.2 电源的外特性曲线

式(1.4.3)称为全电路欧姆定律。在 1.3 节中介绍的欧姆定律,其表示形式仅适用于不含电源的一段电阻电路,故称为部分电路欧姆定律。由式(1.4.3)可见,电源端电压(U)小于电源电动势(E),两者之差等于电流在电源内阻上产生的压降($R_0 I$)。电流越大,则端电压下降得就越多。表示电源端电压 U 和输出电流 I 之间关系的曲线,称为电源的外特性曲线,如图 1.4.2 所示。曲线的斜率与电源的内阻 R_0 有关。电源的内阻一般很小,当 $R_0 \ll R$ 时,则 $U \approx E$,即当电流(负载)变动时,电源的端电压波动不大,我们说电源的带负载能力强;反之,当内阻 R_0 压降大到不能忽略时,电源的端电压随电流(负载)变化波动明显,说明它带负载能力差。

2. 功率与功率平衡

对式(1.4.3)的各项均乘以电流 I ,则得到功率平衡式

$$UI = EI - R_0 I^2 \quad (1.4.4)$$

$$P = P_E - \Delta P$$

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

在国际单位制中,功率的单位是瓦[特](W)或千瓦(kW)。1 s内转换1 J的能[量],则功率为1 W。

【例 1.4.1】在图 1.4.3 所示的电路中, $U=220\text{ V}$, $I=5\text{ A}$,内阻 $R_{01}=R_{02}=0.6\ \Omega$ 。

(1)求电源的电动势 E_1 和负载的反电动势 E_2 ;

(2)试说明功率的平衡。

【解】(1)电源

$$U = E_1 - \Delta U_1 = E_1 - R_{01}I$$

$$E_1 = U + R_{01}I = 220 + 0.6 \times 5 = 223\text{ V}$$

负载

$$U = E_2 + \Delta U_2 = E_2 + R_{02}I$$

$$E_2 = U - R_{02}I = 220 - 0.6 \times 5 = 217\text{ V}$$

(2)由(1)中两式可得

$$E_1 = E_2 + R_{01}I + R_{02}I$$

上式中各项均乘以电流 I ,则得

$$E_1I = E_2I + R_{01}I^2 + R_{02}I^2$$

$$223 \times 5 = 217 \times 5 + 0.6 \times 5^2 + 0.6 \times 5^2$$

$$1\ 115\text{ W} = 1\ 085\text{ W} + 15\text{ W} + 15\text{ W}$$

其中 $E_1I=1\ 115\text{ W}$ 是电源产生的功率,即在单位时间内由电能转换成的机械能(负载是电动机)或化学能(负载是充电时的蓄电池)的值;

$R_{01}I^2=15\text{ W}$,是电源内阻损耗的功率;

$R_{02}I^2=15\text{ W}$,是负载内阻损耗的功率。

由上所述可见,在一个电路中,电源产生的功率和负载取用的功率及内阻的损耗功率是平衡的。

3. 电源与负载的判别

根据电压和电流的实际方向或参考方向可判别电路中某个电路元件是电源(或起电源的作用)还是负载(或起负载的作用)。

根据电压和电流的实际方向判别:

电源 电压和电流的实际方向相反,电流从“+”流出,发出功率;

负载 电压和电流的实际方向相同,电流从“+”流入,取用功率;

根据电压和电流的参考方向判别:

当某一电路元件电压和电流为关联参考方向时,若 $P=UI<0$,则此电路元件是电源(或起电源的作用),若 $P=UI>0$,则此电路元件是负载(或起负载的作用)。

当电路元件电压和电流的参考方向选得相反时,则 $P=UI>0$,此电路元件是电源, $P=UI<0$,此电路元件是负载。

4. 电气设备的额定值

通常负载(例如电灯、电动机等用电设备)都是并联运行的。因为电源的端电压是基本不变的,所以负载两端的电压也是基本不变的。电源带负载运行,总希望整个电路运行正常、安全可靠,然而随着电源所带负载的增加,负载吸收电源的功率增大,即电源输出的总功率和总

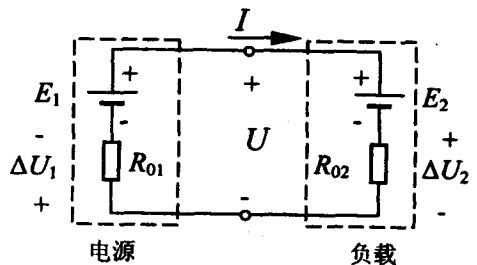


图 1.4.3 例 1.4.1 图