



教育部高职高专规划教材
Jiaoyubu Gaozhi Gaozhuan Guihua Jiaocai

电工电子技术

(多学时)

陈小虎 主编

高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



158

7M-43

098

教育部高职高专规划教材

电工电子技术

(多学时)

陈小虎 主编

高等教育出版社

内容提要

本书是教育部高职高专规划教材,是根据教育部最新制定的《高职高专教育电工电子技术课程教学基本要求》编写的。

全书共有五个部分,主要包括:电工基础知识、电子技术基础、常用低压控制电器与应用、常用电工仪表与测量、常用电子仪器仪表、电工常用工具和安全用电知识等内容。

本书力求在保证必要的基础知识、基本分析方法和基本技能的基础上,加强了电工电子技术理论与工程实践的紧密结合,以适应当前教学改革的需要。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校非电类专业相应学时的教材,同时也可作为电工电子技术基本应用知识与技能的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术(多学时)/陈小虎主编. —北京:高等教育出版社, 2000

教育部高职高专规划教材

ISBN 7-04-008737-5

I. 电... II. 陈... III. ①电工技术—高等学校:技术学校—教材②电子技术—高等学校:技术学校—教材
IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 28978 号

电工电子技术(多学时)

陈小虎 主编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 北京地质印刷厂

开 本 787×1092 1/16

版 次 2000 年 8 月第 1 版

印 张 27.75

印 次 2000 年 8 月第 1 次印刷

字 数 640 000

定 价 23.30 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

本书是教育部高职高专规划教材,是根据教育部最新制定的《高职高专教育电工电子技术课程教学基本要求》编写的。

本书有多年的教学实践基础,编者为长期从事高等工程专科教育和高等职业教育的教师,本书在结构、内容安排等方面,吸收了编者近几年在教学改革、教材建设等方面取得的经验体会,力求全面体现高等职业教育的特点,满足当前教学的需要。我们在编写过程中注意了以下五个方面:

(1) 根据非电类电工电子技术教学的特点,在教材内容选取上,以“必需、够用”的基本概念、基本分析方法为主,舍去复杂的理论分析,辅之以适量的思考题与习题,内容层次清晰,循序渐进,让学生对基本理论有系统、深入地理解,为今后的持续学习奠定基础。如对电路的暂态分析,以电阻电容电路为主,保留介绍了线性电路的过渡过程基本分析方法,对复杂、繁琐的时域分析等未予介绍。

(2) 注重将理论讲授与实践训练相结合,理论讲授贯穿其应用性,实践中有理论、有方法,以基本技能和应用为主,易学易懂易上手,且具有工程应用性。如增加了时基 555 芯片的应用、三端稳压器、相序测量等内容。

(3) 注重分析问题、解决问题能力的培养。如增加了选择、设计、调试实用电子线路的内容,增加了选择、使用低压电器及有关电气控制线路的常用基本知识、安全用电知识等。

(4) 在内容安排上,注重吸收新技术、新产品、新内容。如增加了新颖的集成电路芯片、固态继电器,已广泛应用的可编程序控制器(PLC)、漏电保护器等内容。

(5) 全书涉及电工、电子技术基础、常用低压控制电器与应用、常用电工仪表与测量、常用电子仪器仪表、电工常用工具和安全用电等知识,是根据电工电子技术基础知识特点,按照高职高专教育要求,融知识、能力、技能和实用等方面为一体而做的一次有益探索。

本教材由南京动力高等专科学校陈小虎博士任主编并编写了第一部分;第二部分由金陵职业大学朱一伦副教授编写;第三、四、五部分由南京动力高等专科学校赵美生高工、副教授编写,全书由陈小虎博士统稿。

本书主审哈尔滨理工大学张淑丽副教授详细地审阅了书稿并提出了许多宝贵意见,在此表示诚挚的谢意。由于编写时间较紧且教材涉及面较宽,有些想法难以一并体现在教材中,加之我们水平有限,错误和不妥之处恳请读者和同行批评指正。

编 者

2000 年 2 月

第一部分

电工基础知识

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,学好电路,特别是掌握电路的分析方法,对后面所要学习的电子电路、电机电路及电气控制、电气测量打下坚实的基础。本章主要介绍电路模型和各种电路理想元件,其中包括电压和电流参考方向的概念、欧姆定律、基尔霍夫电流电压定律。

1.1 电路与电路模型

电路是电流流通的路径,是为某种需要由若干电气元件按一定方式组合起来的整体,主要用来实现能量的传输和转换,或实现信号的传递和处理。

电路的结构形式,按所实现的任务不同而多种多样,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。

电源是提供电能的设备,如发电机、电池、信号源等;

负载就是指用电设备,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。

图 1.1.1 是电路在两种典型场合的应用。图(a)是发电厂的发电机把热能、水能或原子能等转换成电能,通过变压器、输电线路等中间设备输送至各用电设备;图(b)通过电路把所接收的信号经过变换(放大)和传递,再由扬声器输出。

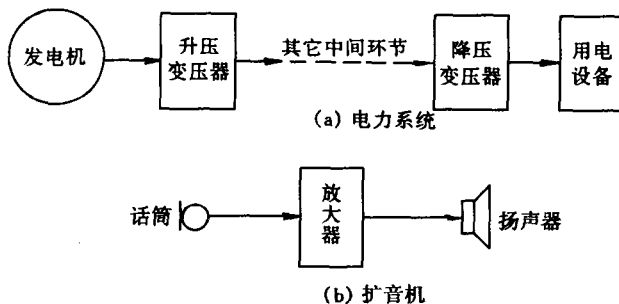


图 1.1.1 电路在两种典型场合应用示意图

无论是电能的传输和转换电路,还是信号的传递和变换电路,其中电源或信号源的电压、电流输入称为激励,它推动电路工作;激励在电路各部分所产生的电压和电流输出称为响应。分析电路,其实质就是分析激励和响应之间的关系。

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,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,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,我们所接触的电阻元件、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。

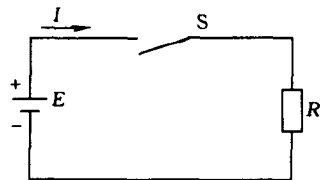


图 1.1.2 手电筒电路模型

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 (对于干电池一般在考虑其电动势外,还要考虑其本身的内阻,在本例中,干电池的内阻阻值与灯泡的阻值相比,是次要因素,忽略不计了,故将干电池理想化为无电阻的电源元件),干电池与灯泡的连接还有筒体和开关,其电阻微小忽略不计,认为是一个无电阻的理想导体。

1.2 电流和电压的参考方向

尽管从物理课程中已经学过了,在分析电路时,当元器件中有了电流通过,其流动方向总是从高电位一端流向低电位的一端,这是电流流动的实际方向;或者当知道了电流流动的实际方向,也能判别出元器件两端的电位高低。然而,当分析较为复杂电路时,往往很难知道电流的实际流动方向,特别是交流电路,由于电流的实际流动方向随时间变化,其实际流动方向难以在电路中标注。因此,引入了电流“参考方向”的概念,这是分析和计算电路的基础。

电流的实际方向是指正电荷运动的方向或负电荷运动的反方向。

电流的参考方向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。当所假定的电流方向与实际方向一致时,则电流为正值($I > 0$);所假定的电流方向与实际方向不一致时,则电流为负值($I < 0$)。可见,参考电流的值是个标量,有正负之分;只有参考方向被假定后,电流的值才有正负之分。

电压在分析电路时也有方向性,电压的方向规定为从高电位端指向低电位端,即电位降低的方向*。电压参考方向和电流参考方向一样,也是任意指定,分析电路时,假定某一方向是电位降低的方向,如所假定的电压方向与实际方向一致时,则电压为正值($U > 0$);电压参考方向与实际方向不一致时,则电压为负值($U < 0$)。因此,参考电压的值也是个标量,有正负之分;只有参

* 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,其参考方向的选定与电流、电压参考方向选定相同。

考方向被假定后,电压的值才有正负之分。

在电路中所标注的电流、电压方向,通常均为参考方向,它们的值为正,还是为负,与所假定的参考方向有关。见图 1.1.3 和图 1.1.4 所示。



图 1.1.3 电流参考方向与实际方向



图 1.1.4 电压参考方向与实际方向

电压的参考方向除可以用“+”、“-”极性表示外,还可以用双下标表示。如, a、b 两点间的电压 U_{ab} , 它的参考方向是由 a 指向 b, 即 a 点的参考极性为“+”, b 点的参考极性为“-”; 若参考方向选为 b 指向 a, 则为 U_{ba} , $U_{ba} = -U_{ab}$ 。

电流的参考方向用箭头标注, 也可用双下标表示。如 I_{ab} 表示电流的参考方向是由 a 点流向 b 点。

【练习与思考】

- 1.2.1 图 1.1.5(a)中, 已知 $U_{ab} = -6\text{ V}$; 问 a、b 哪点电位高?
- 1.2.2 图 1.1.5(b)中, 以 b 点为参考电位, 求其它两点的电位。
- 1.2.3 图 1.1.5(c)中, $U_1 = -4\text{ V}$, $U_2 = -2\text{ V}$, 求 $U_{ab} = ?$

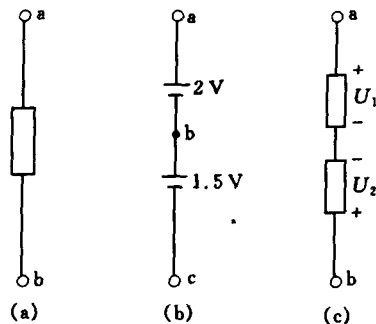


图 1.1.5 练习与思考题图

1.3 欧姆定律

1.3.1 欧姆定律

流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比, 这是欧姆定律的基本内容。欧姆定律是电路分析中, 最基本、最重要的定律之一。在图 1.1.6 电路中, 欧姆定律可表示为下式:

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

式中 R 为电路中的电阻。

由上式可见, 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。

在电路图中,由于所选电流、电压的参考方向的不同,欧姆定律的表达式中可带有正负号,当电压和电流的参考方向一致时[如图 1.1.6(a)所示],则得

$$U = RI \quad (1.3.2)$$

当电压和电流的参考方向不一致时[如图 1.1.6(b)和图 1.1.6(c)所示],则得

$$U = -RI \quad (1.3.3)$$

式(1.3.2)和式(1.3.3)中的正、负号是由于选取的电压和电流的参考方向不同而得出的,此外还应注意电压、电流其值本身也有正值和负值之分。

电阻的国际单位是欧[姆](Ω)。当电路两端的电压为 1 V 时,流过的电流是 1 A,则该段电路的电阻阻值为 1 Ω 。电阻的单位除欧[姆](Ω)外,还有千欧(k Ω)、兆欧(M Ω),它们的换算关系为:

$$1 \text{ k}\Omega = 1\,000 \Omega = 10^3 \Omega$$

$$1 \text{ M}\Omega = 1\,000 \text{ k}\Omega = 10^6 \Omega$$

电阻的倒数($1/R$),称为电导,用 G 表示,它的国际单位为西门子(S)。在电流、电压参考方向一致时,欧姆定律也可表示为

$$I = GU \quad (1.3.4)$$

1.3.2 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)中表示了电流与电压的正比关系。欧姆定律中电阻的伏安特性同样也采用实验的方法测得,它表示两端的电压与流过电流的关系,以电压为横坐标,电流为纵坐标,电阻的特性是一条经过原点的直线,如图 1.1.7 所示。具有该特性的电阻称为线性电阻; U 与 I 之间不具有图 1.1.7 所示关系的,称为非线性电阻。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为一曲线(图 1.1.8 所示),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。)

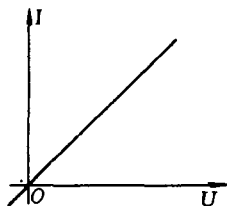


图 1.1.7 电阻伏安特性

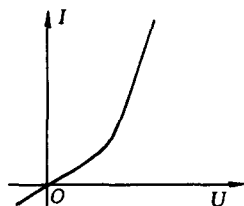


图 1.1.8 二极管伏安特性

应该指出的是,欧姆定律只适用于线性电阻。

【例 1.3.1】 如图 1.1.9 所示的电路,试应用欧姆定律求电路中的电阻 R 。

【解】

图 1.1.9(a): $R = U/I = 10/2 \Omega = 5 \Omega$

图 1.1.9(b): $R = -U/I = -10/(-2) \Omega = 5 \Omega$

图 1.1.9(c): $R = -U/I = -(-10)/2 \Omega = 5 \Omega$

图 1.1.9(d): $R = U/I = (-10)/(-2) \Omega = 5 \Omega$

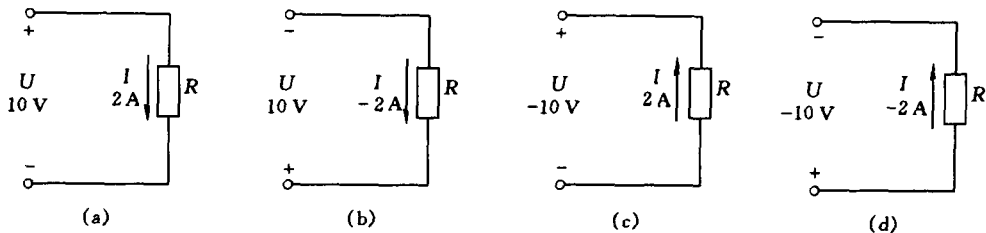


图 1.1.9 例 1.3.1 图

【练习与思考】

1.3.1 计算图 1.1.10 中的两题。

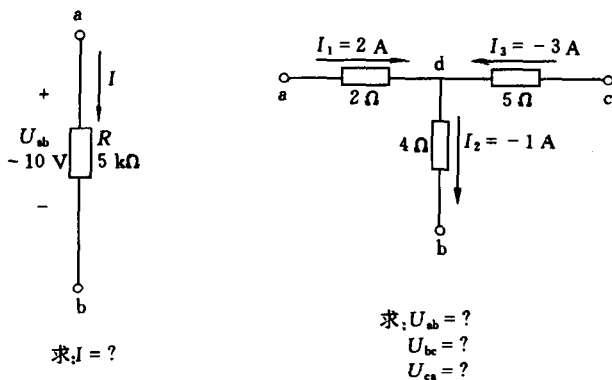


图 1.1.10 练习与思考题图

1.4 电源有载工作、开路与短路

1.4.1 电源有载工作

前面主要介绍了不含电源的一段电阻电路(如图 1.1.6 所示),而实际分析、应用的电路往往是含有电源的闭合电路。如图 1.1.11 所示的电路是一个简单的电源有载工作电路,下面从这个简单的有源闭合电路出发,得出电源有载工作电路的常规分析方法。

图 1.1.11 电路中, R_L 为负载电阻, R_0 为电源内阻, E 为电源电动势。

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

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

和负载电阻两端的电压

$$U = R_L I$$

并由上面两式得出

$$U = E - R_0 I \quad (1.4.2)$$

式(1.4.2)称为全电路欧姆定律*,其表示: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,则端电压下降的就越多。

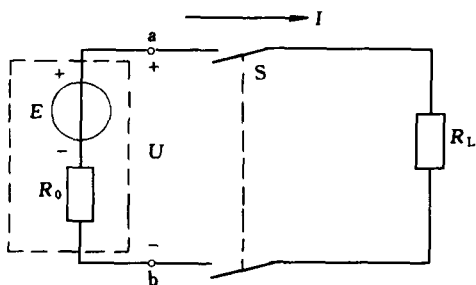


图 1.1.11 简单的有源闭合电路

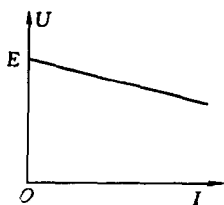


图 1.1.12 电源外特性曲线

表示电源端电压 U 和输出电流 I 之间的关系曲线,称为电源的外特性曲线,如图 1.1.12 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 $R_0 \ll R_L$ 时, $U \approx E$ 。

式(1.4.2)表明当电流(负载)变动时,电源的端电压波动不大,同时也说明了它带负载能力强。反之,当 R_0 不能忽略时,电源的端电压随电流(负载)变化波动明显,说明它带负载能力弱。

2. 功率与功率平衡

对式(1.4.2)的各项均乘以电流 I ,则得到功率平衡式

$$\begin{aligned} UI &= EI - R_0 I^2 \\ P &= P_E - \Delta P \end{aligned} \quad (1.4.3)$$

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[特](kW)。

【例1.4.1】 在图1.1.11所示的电路中,已知电源电动势 $E = 220\text{V}$,内阻 $R_0 = 10\Omega$,负载

* 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。

$R_L = 100 \Omega$, 求: (1) 电路电流 I ; (2) 电源端电压 U ; (3) 负载上的电压降; (4) 电源内阻上的电压降。

【解】 (1) 由式(1.4.1)得: $I = \frac{E}{R_0 + R_L} = \frac{220}{10 + 100} \text{ A} = 2 \text{ A}$

(2) 电源端电压 $U = E - R_0 I = (220 - 10 \times 2) \text{ V} = 200 \text{ V}$

(3) 负载上的电压降 $R_L I = 100 \times 2 \text{ V} = 200 \text{ V}$

(4) 电源内阻电压降 $R_0 I = 10 \times 2 \text{ V} = 20 \text{ V}$

【例 1.4.2】 如图 1.1.13 所示的电路中, 已知 $U = 200 \text{ V}$, $I = 5 \text{ A}$, 内阻 $R_{01} = R_{02} = 0.5 \Omega$ 。(1) 求电源的电动势 E_1 和负载反电动势 E_2 ; (2) 试说明功率的平衡。

【解】 (1) 求电源电动势 E_1 和负载反电动势 E_2

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

$$E_1 = U + R_{01} I = (200 + 0.5 \times 5) \text{ V} = 202.5 \text{ V}$$

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

$$E_2 = U - R_{02} I = (200 - 0.5 \times 5) \text{ V} = 197.5 \text{ V}$$

(2) 求功率的平衡

由(1)可知:

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

等号两边同乘以 I , 则得

$$E_1 I = E_2 I + R_{01} I^2 + R_{02} I^2$$

$$202.5 \times 5 \text{ W} = (197.5 \times 5 + 0.5 \times 5^2 + 0.5 \times 5^2) \text{ W}$$

$$1012.5 \text{ W} = (987.5 + 12.5 + 12.5) \text{ W}$$

其中, $E_1 I = 1012.5 \text{ W}$, 是电源产生的功率;

$E_2 I = 987.5 \text{ W}$, 是负载取用的功率;

$R_{01} I^2 = 12.5 \text{ W}$, 是电源内阻上损耗的功率;

$R_{02} I^2 = 12.5 \text{ W}$, 是负载内阻上损耗的功率。

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。由于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电流就会相应增加。这说明电源输出的功率和电流决定于其所带负载的大小。从电路可靠正常运行角度讲, 电气设备也不是在任何电压、电流下均可正常工作, 它们要受其绝缘强度和其耐热性能等自身因素决定。那么有没有一个最合适的数值呢? 要回答这个问题, 必须了解电气设备的额定

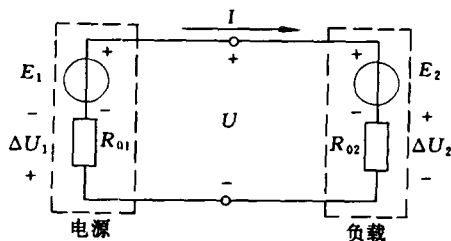


图 1.1.13 例 1.4.2 图

值的意义。

到商店去买灯泡,我们会告诉售货员这盏灯是多少瓦(功率)、是照明用、冰箱用还是其它场合用的(电压等级)。每一个电气设备都有一个正常条件下运行而规定的正常允许值,这是由电气设备生产厂家根据其使用寿命与所用材料的耐热性能、绝缘强度等而标注的,这就是该设备的额定值。电气设备的额定值常标注在铭牌上或写在说明书中,我们在使用中要充分考虑额定数据。

如一只灯泡,标有电压 220 V,功率 100 W,这是它的额定值,表示这只灯泡的额定电压是 220 V、额定功率是 100 W,在使用时就不会接到 380 V 的电源上。

电气设备的额定值常有:额定电压、额定电流和额定功率等,分别用 U_N , I_N 和 P_N 表示。

不能将额定值与实际值等同,例如前面所说的额定电压为 220 V、额定功率为 100 W 的灯泡,在使用时,接到了 220 V 的电源上,但电源电压经常波动,稍高于或低于 220V,这样灯泡的实际功率就不会正好等于其额定值 100 W 了。所以,电气设备在使用时,电压、电流和功率的实际值不一定等于它们的额定值。

【例 1.4.3】 有一只额定值为 5 W、500 Ω 的线绕电阻,求其额定电流 I_N 和额定电压 U_N 值。

【解】

$$I_N = \sqrt{\frac{P_N}{R_N}} = \sqrt{\frac{5}{500}} \text{ A} = 0.1 \text{ A}$$

$$U_N = I_N R_N = 0.1 \times 500 \text{ V} = 50 \text{ V}$$

【例 1.4.4】 一只标有“220 V、40 W”的灯泡,试求它在正常工作条件下的电阻和通过灯泡的电流。若每天使用 4 h,问一个月消耗多少度的电能?(一个月按 30 天(d)计算,1 kW·h 即为俗称的 1 度电。)

【解】

$$I = \frac{P}{U} = \frac{40}{220} \text{ A} = 0.182 \text{ A}$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{0.182} \Omega = 1\,210 \Omega \text{ 或 } R = \frac{U^2}{P} = 1\,210 \Omega$$

$$W = Pt = 40 \times (4 \times 30) \text{ W} \cdot \text{h} = 0.04 \times 120 \text{ kW} \cdot \text{h} = 4.8 \text{ kWh}$$

所以,灯泡的电阻为 1 210 Ω ;通过灯泡的电流为 0.182 A;一个月耗电 4.8 度。

1.4.2 电源开路

图 1.1.14 所示的电路中,当开关 S 断开时,就称电路处于开路状态。开路时,电源没有带负载,所以又称电源空载状态。电路开路,相当于电源负载为无穷大,因此电路中电流为零。无电流,则电源内阻没有压降 ΔU 损耗,电源的端电压 U 等于电源电动势 E ,电源也不输出电能。

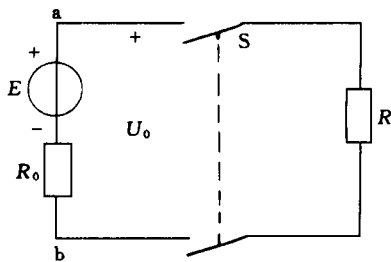


图 1.1.14 电源开路状态图

电路开路时外电阻视为无穷大,电路开路时的特征可表示为式(1.4.4)。

$$\left. \begin{aligned} I &= 0 \\ U &= U_0 = E \\ P &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.4.4)$$

1.4.3 电源短路

图 1.1.15 所示电路,当电源的两端由于某种原因被电阻值接近为零的导体连接在一起,电源处于短路状态。

电源短路状态,外电阻可视为零,电源端电压也为零,电流不经过负载,电流回路中仅有很小的电源内阻 R_0 ,因此回路中的电流很大,这个电流称为短路电流,用 I_S 表示。

电源短路时的特征可表示为式(1.4.5)

$$\left. \begin{aligned} U &= 0 \\ I &= I_S = \frac{E}{R_0} \\ P_E &= \Delta P = R_0 I_S^2 \\ P &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.4.5)$$

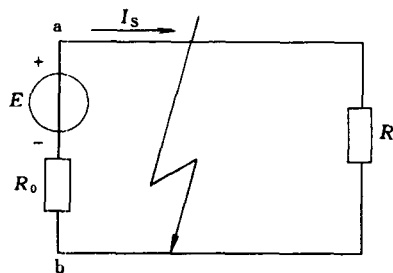


图 1.1.15 电源短路状态图

电源处于短路状态,其危害性是很大的,它会使电源或其它电气设备因严重发热而烧毁,因此应该积极预防和在电路中增加安全保护措施。

造成电源短路的原因主要有:绝缘损坏或接线不当,因此在实际工作中要经常检查电气设备和线路的绝缘情况(具体方法在本书“常用电工仪表与测量”部分的章节中介绍)。此外,在电源侧接入熔断器和自动断路器,当发生短路时,能迅速切断故障电路和防止电气设备的进一步损坏。

【练习与思考】

1.4.1 什么是电路的开路状态、短路状态、空载状态、过载状态、满载状态?

1.4.2 电气设备的额定值的含义什么?

1.4.3 若一只白炽灯标有 220 V、100 W,如将它接到 110 V 电源上,则其实际消耗的功率为多少?

1.4.4 图 1.1.16 所示电路,已知 $E = 100 \text{ V}$, $R_0 = 10 \Omega$, 负载电阻 $R_L = 100 \Omega$,问开关处于 1、2、3 位置时电压表和电流表的读数分别是多少?

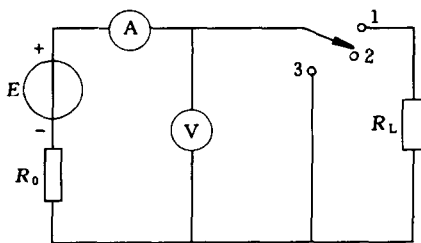


图 1.1.16 练习与思考 1.4.3 图

1.5 基尔霍夫定律

欧姆定律是电路分析与计算的基础。除了欧姆定律,电路分析与计算还离不开基尔霍夫电流定律和电压定律。电流定律应用于对电路结点的分析,电压定律应用于对电路回路分析。

就图 1.1.17 电路,介绍支路、结点和回路的概念。

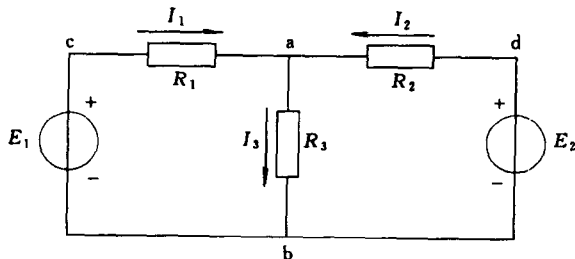


图 1.1.17 电路举例

(1) 支路:简单地说电路中通过同一电流的分支称为支路。图 1.1.17 电路中有 acb、adb 和 ab 三条支路。其中,acb、adb 支路中有电源,叫含源支路;ab 中无电源叫无源支路。

(2) 结点:电路中三条及三条以上支路的连接点叫结点。图 1.1.17 电路中,共有 a、b 两个结点,c 和 d 不是结点。

(3) 回路:由一条或多条支路组成的闭合路径叫回路。在图 1.1.17 电路中,共有三个回路:abca、adba、cbdac。

1.5.1 基尔霍夫电流定律(KCL*)

基尔霍夫电流定律是用来确定连接在同一结点上的各个支路电流之间的关系。

“电路中任何一个结点,所有支路电流的代数和等于零”,这就是基尔霍夫电流定律基本内容。电流的正负号通常规定为:参考方向指向结点的电流取正号,背离结点的电流取负号。

例如,图 1.1.17 电路中结点 a(图 1.1.8 所示)流经的电流可以表示为:

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad (1.5.1)$$

或将上式表示为:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

即

$$\sum I = 0 \quad (1.5.2)$$

图 1.1.18 基尔霍夫
电流定律

从上面的分析,基尔霍夫电流定律也可描述为:任何时刻,流入任一结点的支路电流等于流出该结点的支路电流,见式(1.5.1)。

基尔霍夫电流定律也可推广应用于包围几个结点的闭和面,图 1.1.19 所示电路中,闭和面 S 内有三个结点 A、B、C。

由电流定律可列出

$$I_A = I_{AB} - I_{CA}$$

$$I_B = I_{BC} - I_{AB}$$

* KCL 为“Kirchhoff's Current Law”的缩写;常用 KCL 代表基尔霍夫电流定律。

$$I_C = I_{CA} - I_{BC}$$

上面三式相加,得

$$I_A + I_B + I_C = 0$$

即

$$\sum I = 0$$

可见在任一时刻,通过任何一个闭和面的电流代数和也恒为零。它表示着流入闭和面的电流和流出闭和面的电流是相等的。基尔霍夫电流定律体现了电流的连续性。

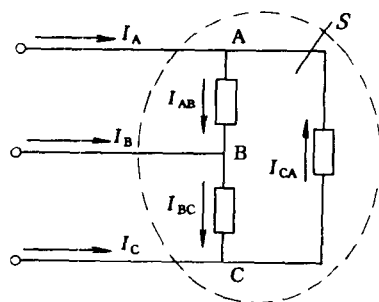


图 1.1.19 KCL 的推广应用

1.5.2 基尔霍夫电压定律(KVL*)

基尔霍夫电压定律是用来确定回路中的各段电压间的关系。

“在任一回路中,从任何一点以顺时针或逆时针方向沿回路循行一周,则所有支路或元件电压的代数和等于零”,这就是基尔霍夫电压定律的基本内容。为了应用 KVL,必须指定回路的参考方向,当电压的参考方向与回路的参考方向一致时带正号,反之为负号。

例如,图 1.1.20 回路 cadbc,回路中电源电动势、电流和各段电压的参考方向均已标出。按虚线所示的回路参考方向可列出方程式:

$$U_{bc} + U_{ca} + U_{ad} + U_{db} = 0$$

即

$$U_1 + U_2 + U_3 + U_4 = 0$$

也就是

$$\sum U = 0$$

(1.5.3)

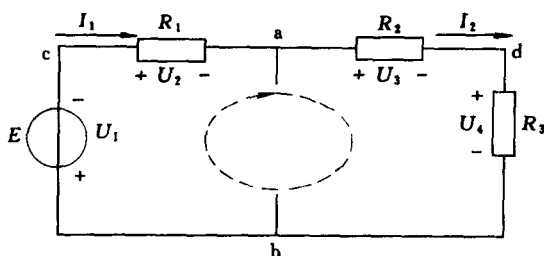


图 1.1.20 电路举例

图 1.1.20 所示回路是由电动势和电阻构成的,因此上式也可表示为

$$E + R_1 I_1 + R_2 I_2 + R_3 I_2 = 0$$

或

$$E = -R_1 I_1 - R_2 I_2 - R_3 I_2$$

即

$$\sum E = \sum (RI)$$

(1.5.4)

式(1.5.4)表示:任一回路内,电阻上电压的代数和等于电源电动势的代数和。电动势正号的选定通常规定为参考方向与所选回路循行方向相反时取正号,一致时取负号;电流的参考方向与所选回路循行方向一致时,电阻上电压降取负号,相反时电压降取正号。

* KVL 为“Kirchhoff's Voltage Law”的缩写;常用 KVL 代表基尔霍夫电压定律。